

Kleinseen im Kanton Bern

Petits plans d'eau du canton de Berne

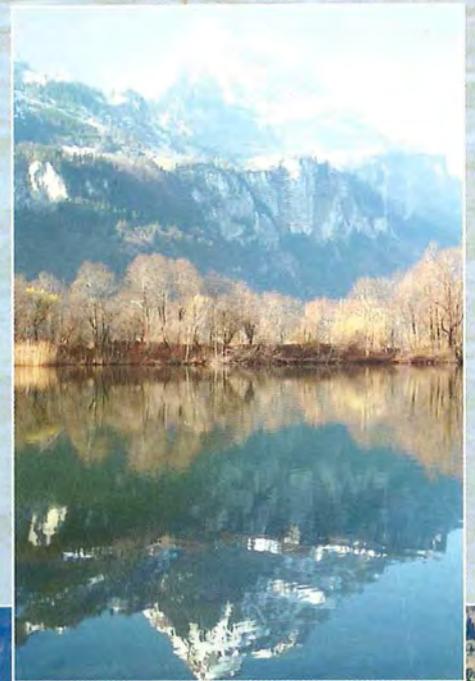


Autoren / Auteurs:
Joachim Guthruf
Katrin Guthruf-Seiler
Markus Zeh

Amt für Gewässerschutz
und Abfallwirtschaft des
Kantons Bern,
Gewässer- und Boden-
schutzlabor

*Office de la protection
des eaux et de la gestion
des déchets du canton
de Berne,
Laboratoire pour
la protection des eaux
et du sol*

August / Août 1999





Kleinseen im Kanton Bern

Petits plans d'eau du canton de Berne



Autoren / Auteurs:
Joachim Guthruf
Katrin Guthruf-Seiler
Markus Zeh

Amt für Gewässerschutz
und Abfallwirtschaft des
Kantons Bern,
Gewässer- und Boden-
schutzlabor

*Office de la protection
des eaux et de la gestion
des déchets du canton
de Berne,
Laboratoire pour
la protection des eaux
et du sol*

August / Août 1999



Impressum

Herausgeber:

Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern (GBL)

AMT FÜR GEWÄSSERSCHUTZ
UND ABFALLWIRTSCHAFT (GSA)

Autoren:

Dr. Joachim Guthruf-Seiler, AQUATICA GmbH, Oberwichterach
Dr. Katrin Guthruf-Seiler, AQUATICA GmbH, Oberwichterach
Dr. Markus Zeh, Projektleitung, GBL

Mitarbeit:

Daphne Zbären, GBL (Phytoplankton)
Dr. Vinzenz Maurer, HYDRA, Bern (Zooplankton)
Nadia Pedutto, Wabern (Feldarbeit)

Chemische Analytik:

Gewässer- und Bodenschutzlabor (GBL)

Karten:

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie vom 28.6.99

GIS-Beratung und Unterstützung:

Fachstelle GEODAT

Berechnung der Einzugsgebiete und Tiefenkarten:

Geo7, Bern

Layout:

Werbeatelier H.P. & E. Meier, Bern

Druck:

Druckerei Paul Haupt AG, Bern

Titelseite:

Junzlenseeelin, Hinterburgseeli, Oberstockensee, Lobsigensee
(von oben nach unten)

Bezugsquelle:

Der Bericht kann zu einem Preis von Fr. 45.– bezogen werden bei:
Gewässer- und Bodenschutzlabor
Schermenweg 11
3014 Bern
Tel. 031 634 23 80
Fax 031 634 23 96
E-Mail info.gsa@bve.be.ch

Impressum

Editeur:

Laboratoire pour la protection des eaux et du sol (LPES)

OFFICE DE LA PROTECTION DES EAUX
ET DE LA GESTION DES DÉCHETS (OPED)

Auteurs:

Dr. Joachim Guthruf-Seiler, AQUATICA GmbH, Oberwichterach
Dr. Katrin Guthruf-Seiler, AQUATICA GmbH, Oberwichterach
Dr. Markus Zeh, chef de projet, LPES

Collaboration:

Daphne Zbären, LPES (phytoplankton)
Dr. Vinzenz Maurer, HYDRA, Berne (zooplancton)
Nadia Pedutto, Wabern (travail de terrain)

Analyses chimiques:

Laboratoire pour la protection des eaux et du sol (LPES)

Traduction:

Michel Burnand, TTE

Cartes:

Office fédéral de topographie,
Autorisation du 28.6.99

Conseils et soutien SIG:

Service GEODAT

Délimitation des bassins versants et cartes bathymétriques:

Geo7, Berne

Conception:

Werbeatelier H.P. & E. Meier, Berne

Impression:

Imprimerie Paul Haupt SA, Berne

Page de titre:

Junzlenseeelin, Hinterburgseeli, Oberstockensee, Lobsigensee
(de haut en bas)

Distribution:

Le rapport peut être obtenu au prix de 45 francs auprès du
Laboratoire pour la protection des eaux et du sol (LPES)
Schermenweg 11
3014 Berne
Tél. 031 634 23 80
Fax 031 634 23 96
e-mail info.gsa@bve.be.ch

Inhaltsverzeichnis / Sommaire

| | |
|---|-----|
| Einleitung / Introduction | 7 |
| Wie funktioniert ein See? / Comment fonctionne un plan d'eau? | 12 |
| Seearbeit / Opérations in situ | 16 |
| AEG Aegelsee | 17 |
| AMS Amsoldingerseesee | 19 |
| AMZ Ammertenseelein | 22 |
| ARN Arnensee | 23 |
| AWE Aarbergerweiher | 25 |
| BAA Bachsee (Bachalpsee) | 27 |
| BAB Baggerseeeli Bönigen | 29 |
| BAC Bächlisee | 31 |
| BAE Burgäschisee | 32 |
| BAH Baggersee Hunzigen | 35 |
| BAK Baggersee Kiesen | 37 |
| BAM Baggersee Münsingen | 39 |
| BAU unterer Bachsee | 41 |
| BIA Biaufond | 43 |
| BIR Birkehofweiher | 45 |
| BLA Blausee | 47 |
| BLT Bleienbacher Torfsee | 49 |
| BLU Blüemlisalpsee | 51 |
| BME Baggersee Meienried | 53 |
| BRG Breithorn-gletscherseeeli | 55 |
| BUL Büeltigenseelein | 56 |
| BUR Burgseeeli | 58 |
| BZU unteres Bänzlauseeli | 61 |
| BZO oberes Bänzlauseeli | 63 |
| CUP Cul des Prés | 64 |
| DIT Dittligsee | 66 |
| EGL Egelmösli | 68 |
| ELS Elsigsee | 70 |
| ENG Engstlensee | 72 |
| FLU Flueseeli | 74 |
| FOR Forellensee | 75 |
| FRA Fräschelsweiher | 76 |
| GAD Gadenlausee | 78 |
| GAS Gaulisee | 79 |
| GAT Gantrischseeeli | 80 |
| GEF Gerlafingerweiher | 82 |
| GEI Geistsee | 84 |
| GEL Gelmersee | 87 |
| GER Gerzensee | 89 |
| GRA Grauseewli | 91 |
| GRI Grimsensee | 92 |
| GRU Gruebensee | 94 |
| HAG Hagelseeli | 95 |
| HAW Hagelseewli | 96 |
| HAX Häxeseeli | 98 |
| HIN Hinterburgseeeli | 99 |
| HOR Hornseeeli 1 | 102 |
| HOS Hornseeeli 2 | 103 |
| HST Hinterstockensee | 104 |
| IFF Iffigsee | 107 |
| INK Inkwilersee | 109 |
| JUW/JUO Junzlenseelein | 113 |
| KIH Kiesgrube Heimberg | 115 |
| LAG Lauenensee | 117 |
| LAK kleiner Lauenensee | 120 |

| | | |
|--|--|-----|
| LCH | Les Chaufours | 121 |
| LEN | Lenkerseeli | 123 |
| LOB | Lobsigensee | 126 |
| LUW | Baggersee Lütscheren | 129 |
| MAR | La Marnière | 131 |
| MAT | Mattenalpsee | 133 |
| MEI | Meienfallseeli | 134 |
| MGW | Mühlguetweiher | 136 |
| MOG | Moossee | 138 |
| MOK | Chli Moossee | 142 |
| MUG | Muggeseeli | 144 |
| MUM | Muemetaler Weiher | 146 |
| NOZ | La Noz | 148 |
| OBA | Oberaarsee | 150 |
| OES | Oeschinensee | 151 |
| OFE | See beim Ofenhoren | 155 |
| OST | Oberstockensee | 156 |
| PUF | Pumpenfassung Furen | 158 |
| RAE | Räterichsbodensee | 159 |
| RAM | Rawilseeeleni | 160 |
| REM | Remersee | 161 |
| REZ | Rezigletscherseeli | 163 |
| SAG | Sägistalsee | 164 |
| SAW | Sängeliweiher | 166 |
| SCH | Schoriweiher | 168 |
| SEB | Seebodensee | 169 |
| SEE | Seebergsee | 171 |
| SIS | Siselenweiher | 174 |
| SPI | Spittelmattensee | 176 |
| SSW/SSO | Stauweiher Spiez (Kanderweiher, Simmeweiher) | 178 |
| STE | Steinsee | 179 |
| SUL | Sulsseewli | 181 |
| SUO | Obers Sulsseewli | 183 |
| TAL | Tälliseeli 1 | 184 |
| TEI | Ausgleichsbecken Teiflauri | 186 |
| TLL | Tälliseeli 2 | 187 |
| TRG | Triftgletscherseeli | 188 |
| TRI | Triebtenseewli | 189 |
| TSI | Tschingelsee | 190 |
| TUN | Tungelgletschersee | 192 |
| UEB | Uebeschisee | 193 |
| VER | Lac Vert | 195 |
| WAH | hinterer Walopsee | 197 |
| WAN | Wannisbordsee | 199 |
| WAV | vorderer Walopsee | 200 |
| WHA | Weiher bei Hardern | 202 |
| WHG | Weiher bei Hagneck (Länggrabenweiher) | 204 |
| WID | Widi | 206 |
| WYS | Wyssensee | 208 |
| Zusammenfassung / Résumé | | 210 |
| Übersichtskarte / Carte synoptique | | 217 |
| Literaturverzeichnis / Bibliographie | | 223 |
| Dank / Remerciements | | 229 |

Kleinseen im Kanton Bern

Unbekannte Gewässer...

Die Kantone sind verpflichtet, die Qualität der Oberflächengewässer regelmässig zu prüfen und zu überwachen. Die Öffentlichkeit ist über den Gewässerschutz und den Zustand der Gewässer zu informieren. Dieser Gesetzesauftrag wird im Kanton Bern durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor im Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (GSA) wahrgenommen. Bedingt durch die sehr grosse Anzahl an fliessenden und stehenden Gewässern im Kanton Bern müssen sich dabei die Untersuchungen auf eine Auswahl von Bächen, Flüssen und Stillgewässern beschränken. Eine flächendeckende und regelmässige Überwachung der Gewässer wäre weder finanziell tragbar noch sinnvoll.

Während der Briener-, Thuner- und Bielersee gut untersucht sind und deren Wasserqualität

routinemässig überwacht wird, fehlten bisher von den meisten der kleineren Seen entsprechende Daten. Es ist leicht nachvollziehbar, dass den drei grossen Berner Seen aufgrund ihrer Bedeutung für die Landschaft, Trinkwasserversorgung, Fischerei, Freizeitaktivitäten sowie den Tourismus ein höherer Stellenwert eingeräumt wird. Es sind jedoch oft die kleinen Stillgewässer, welche in der Natur- und Kulturlandschaft wichtige Lebensräume für eine Vielzahl von Pflanzen und Tieren bilden. Als Landschaftselemente und Erholungsräume haben sie zudem eine Bedeutung auch für den Menschen. Kleinräumig betrachtet können daher diese Gewässer für uns Menschen und die Natur ebenso wichtig sein, wie die drei grossen Seen für das Berner Oberland oder das Seeland.

Petits plans d'eau du canton de Berne

Eaux inconnues

La loi oblige les cantons à contrôler régulièrement et à surveiller la qualité des eaux de surface et à informer le public sur l'état des eaux et sur leur protection. Dans le canton de Berne, ce mandat légal est assumé par le Laboratoire pour la protection des eaux et du sol, rattaché à l'Office de la protection des eaux et de la gestion des déchets (OPED). Vu l'importance du réseau hydrographique, une surveillance systématique et constante de l'ensemble ne serait ni possible financièrement, ni judicieux. Les études doivent donc se limiter à un certain nombre de rivières, de ruisseaux et de plans d'eau.

Alors que les lacs de Brienz, de Thoune et de Bienna sont bien étudiés et que le contrôle de la qualité de leur eau va de soi, les petits plans d'eau n'ont, pour la plupart, pas encore fait l'objet d'investigations analogues. La

priorité accordée aux premiers est certes facile à comprendre compte tenu de l'importance qu'ils revêtent pour le paysage, l'alimentation en eau, la pêche, les loisirs et le tourisme. Il n'empêche que les seconds constituent souvent des biotopes essentiels pour une multitude de plantes et d'animaux dans la nature et le paysage, sans oublier le rôle qu'ils jouent pour l'être humain en lui servant de lieux de détente. Du point de vue local les petits plans d'eau peuvent être tout aussi importants pour l'homme et la nature que les trois grands lacs le sont pour l'Oberland bernois ou le Seeland.



Büeltigenseelein

Egelmösl

Hinterburgseeli



Seebergsee

...verschieden genutzt

Viele Kleinseen werden durch den Menschen genutzt, wobei diese Nutzung sehr unterschiedlich sein kann. Im alpinen und voralpinen Raum dominiert die hydroelektrische Nutzung (saisonale Speicherung und anschließende Abarbeitung des

Wassers zur Stromproduktion). Zunehmend werden auch künstliche Becken zur Speicherung des Wassers für die technische Beschneidung erstellt. Die Angelfischerei in einigen Bergseen hat zudem eine lokale Bedeutung für den Tourismus.

Utilisation multiple

Beaucoup de petits plans d'eau sont utilisés par l'homme, le type d'utilisation pouvant varier très fortement. C'est ainsi que l'usage hydroélectrique prédomine dans la zone alpine et préalpine: ils servent à l'accumulation saisonnière de l'eau, destinée en

suite à la production d'électricité. Par ailleurs, un nombre croissant de bassins artificiels sont aménagés en guise de réservoirs prévus dans l'optique de l'enneigement technique. Enfin, la pêche à la ligne confère à quelques lacs de montagne une vocation touristique locale.



Oberaarsee

Hinterstockensee



Weiher bei Hagneck



Birkenhofweiher



Gerzensee



Gantrischseeli

Kleinseen in den Voralpen und im Hügelland können dem sommernden Vieh als Tränke dienen. Im Mittelland entstanden einige Seen durch Baggerung von Kies und Sand, oder bestehende Stillgewässer wurden durch die Materialentnahme vergrößert und vertieft. Andere Kleinseen wiederum sammeln Drainagewasser aus Landwirtschaftsflächen,

werden als Hochwasserrückhaltebecken oder als Fischaufzuchtgewässer genutzt. Viele Seen und Weiher werden von der Bevölkerung als Erholungsgebiete besucht und sind zudem oft Badegewässer. Für Berggänger, Wanderer und Spaziergänger figurieren Kleinseen sehr oft als Touren- oder Wanderziele.

Les petits plans d'eau des pré-alpes et collinées peuvent servir d'abreuvoir au bétail en estivage. Sur le Plateau, l'extraction de gravier et de sable a donné naissance à quelques bassins ou agrandi et approfondi des eaux stagnantes qui existaient déjà. D'autres plans d'eau encore collectent l'eau drainée provenant

de terres agricoles ou sont utilisés comme bassin d'amortisseur de crues ou à des fins piscicoles. Nombre de lacs et d'étangs offrent un cadre accueillant pour la détente et la baignade ou attirent les amoureux de la montagne, les randonneurs et les promeneurs.

...vielseitig beeinflusst und beeinträchtigt

Der Druck auf die Gewässer hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten zugenommen. Noch können zwar einige Kleinseen im Kanton Bern als natürlich und von Menschen (fast) unbeeinflusst bezeichnet werden. Doch selbst im Hochgebirge ist der anthropogene Einfluss sichtbar. Der Ausbau der Wasserkraftnutzung und des Wintertourismus führte und führt immer noch zum Bau von neuen künstlichen Speicherbecken oder zum Aufstau bestehender Kleinseen. Einzelne dieser Gewässer können allenfalls als ästhetische Bereicherung für die Landschaft betrachtet werden, sind aber keine funktionierenden aquatischen Ökosysteme. Während das Wasser in der Regel Trinkwasserqualität hat, sind es neben den natürlichen Hoch-

gebirgsinflüssen das schwebstoffhaltige Wasser, die künstlichen Seespiegelschwankungen sowie die veränderten Abflussverhältnisse, welche diese Speicherbecken als Lebens- und Fortpflanzungsraum für Tiere und Pflanzen unbrauchbar machen. Die Sömmerung von Vieh in der montanen, voralpinen und alpinen Zone kann Auswirkungen auf die Wasserqualität der im Weidegebiet liegenden Fließ- und Stehgewässer haben. Trittschäden am Ufer sowie direkter oder diffuser Nährstoffeintrag können zu einer unnatürlich hohen Algenproduktion führen.

Contraintes nombreuses

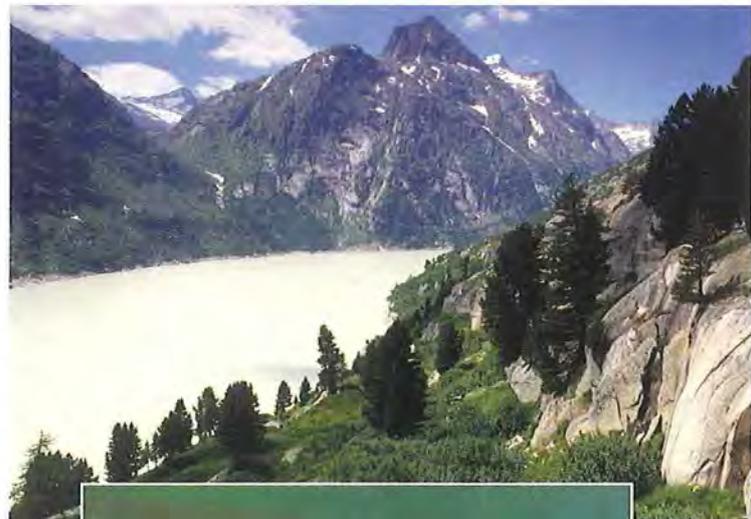
Les eaux ont subi des contraintes croissantes au cours des années et des décennies passées. Si quelques petits lacs bernois peuvent encore être considérés comme naturels et presque intacts, l'influence anthropique est visible jusqu'en haute montagne. L'exploitation de la force hydraulique et le tourisme hivernal ont entraîné et entraînent toujours l'aménagement de réservoirs artificiels ou de retenues agrandissant des plans d'eau existants. Certains de ces bassins d'accumulation peuvent constituer un enrichissement esthétique du paysage, mais n'ont pas la fonction d'écosystèmes aquatiques. Leur eau a généralement la qualité d'eau potable. Mais la haute teneur en matière en suspension, les influences naturelles de la Haute-Montagne, les fluctua-

tions artificielles de leur niveau ainsi que les variations des conditions d'écoulement les empêchent d'être des biotopes et des sites de reproduction pour les plantes et les animaux. L'estivage du bétail à l'étage montagne, subalpine et alpine est susceptible d'influer sur la qualité de l'eau des plans et des cours d'eau situés dans la zone de pâturage. Les dégâts dus au piétinement des rives ainsi que l'apport direct ou diffus de nutriments peuvent se traduire par une production artificiellement élevée d'algues.



Bachsee

Grimseelsee



Hinterstockensee



hinterer Walopsee

Während und nach dem Zweiten Weltkrieg wurden im Rahmen der Anbauschlacht (Plan Wahlen) und von Meliorationen grosse Feuchtflächen durch dichte Drainagesysteme entwässert und landwirtschaftlich nutzbar gemacht. Aus damaliger Sicht waren diese Eingriffe nötig für die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung, den Ausbau von Transportwegen und für die Schaffung von Siedlungsflächen. Heute wissen wir, trotz allem Verständnis für die damalige Situation, dass diese Meliorationen einen nachhaltig verheerenden Einfluss auf die Naturlandschaft ausgeübt ha-

ben. Bach- und Flussläufe wurden begradigt, eingedolt oder verschwanden völlig. Auenlandschaften und Kleinseen mussten dem Fortschritt weichen, und die Landschaft präsentiert sich heute vielerorts öde und ausgeräumt.

Neben der Siedlungsentwässerung, welche bei einigen Seen durch Einleitung von geklärtem Abwasser zu einer Nährstoff- und Schadstoffbelastung führt, ist es im Mittelland primär die Landwirtschaft, welche durch die Drainage von Agrarflächen und diffusem Düngereintrag die Kleinseen belastet.

Pendant et après la seconde Guerre mondiale, de vastes zones humides furent systématiquement asséchées et mises en valeur à des fins agricoles dans le cadre du Plan Wahlen et de nombreuses améliorations foncières. A l'époque, ces interventions étaient considérées comme nécessaires pour assurer l'approvisionnement alimentaire du pays, l'aménagement de voies de communication et la création d'espaces habitables. Aujourd'hui, nous savons qu'en dépit de la compréhension dont il faut faire preuve pour la situation d'alors, ces opérations ont eu des effets désastreux, à long terme, sur

l'environnement. Rivières et ruisseaux rectifiés, endigués, enterrés, zones alluviales et plans d'eau sacrifiés sur l'autel du progrès: un peu partout, le paysage a perdu son âme, apparaissant désolé et monotone.

Sur le Plateau, c'est en premier lieu l'agriculture qui, par l'assèchement de surfaces arables et un apport diffus d'engrais, pollue les petits plans d'eau. Pour sa part, même l'assainissement urbain charge quelques lacs par le rejet des eaux traitées contenant des nutriments et des substances nocives.

Limpachtal



...ausgewählt mit Hilfe des Geografischen Informationssystems GIS

Als Kartengrundlage für das Kleinseenprojekt wird die digitalisierte Landeskarte Massstab 1:25000, Digitalisierungsstand 1997, benützt. Mit Hilfe des GIS wurden aus der Gesamtzahl von 823 stehenden Gewässern im Kanton Bern alle diejenigen Seen ausgewählt, welche eine Fläche von mehr als einer halben Hektare aufweisen. Aus dieser Liste der noch verbleibenden 139 Seen wurden die drei grossen Seen, der Wohlen- und Niederriedstausee, die Auengewässer, die noch genutzten Baggerseen und ein Schwimmbad (!) gestrichen. Da zu Beginn dieses Projektes die digitalisierte LK 1:25000 noch nicht flächendeckend verfügbar war, erfolgte die erste Auswahl der Seen mit Hilfe der digitalisierten Gewässerschutzkarte des Kantons Bern, Massstab 1:10000, Stand 1996. Aufgrund dieser unterschiedlichen Kartengrundlagen sind in der aktuellen Kleinseenliste auch einige Gewässer enthalten, welche heute eine Fläche von weniger als einer halben Hektare aufweisen. Diese Kleinseen wurden trotzdem in der Untersuchung beibehalten.

Alte und neue Daten sammeln und verfügbar machen

In älteren und neueren Zeitschriften sowie in wissenschaftlichen Publikationen sind von etlichen Seen bereits Informationen vorhanden. Die lokale Bevölkerung sowie interessierte

Angelfischer, Ornithologen und andere Naturfreunde verfügen zudem oft über wertvolle Kenntnisse zur Flora und Fauna im Bereich des Gewässers.

In einem ersten Schritt ging es daher darum, diese bereits vorhandenen Daten aus verschiedensten Quellen zu sammeln, aufzuarbeiten und in einer Datenbank verfügbar zu machen. Im Verlauf des Jahres 1997 wurden mit Feldarbeiten von möglichst vielen, bisher zum Teil noch nie untersuchten, Kleinseen Daten über die Morphologie, Wasserchemie, Biologie und Sedimente erhoben. Die Resultate der Feldarbeiten und Laboranalysen flossen in die neue Datenbank ein. Anfang 1998 wurde die Applikation als Access-Datenbank mit einer Verknüpfung auf das Geografische Informationssystem ArcView realisiert.

Information der Öffentlichkeit

Das erste Ziel der Arbeiten war eine Bestandsaufnahme und naturwissenschaftliche Beschreibung der Kleinseen. Wo nötig und wo die Datengrundlage dies erlaubt, werden Vorschläge für Massnahmen zur Behebung von allfälligen ökologischen Defiziten gemacht. Die entsprechenden Informationen dürfen jedoch nicht nur innerhalb der Verwaltung vorhanden sein. Eine interessierte Bevölkerung soll ebenfalls Zugang zu den Resultaten der Untersuchungen haben. Denn nur wer informiert ist, kennt den Wert dieser Naturräume und ist auch motiviert, etwas für deren Schutz zu tun.

Choix opéré à l'aide du système d'information géographique (SIG)

Le projet des petits plans d'eau a pour base cartographique la carte nationale numérique 1:25000, état 1997. A l'aide du SIG, on a sélectionné, parmi les 823 plans d'eau du canton de Berne, celles dont la superficie dépasse un demi-hectare, au nombre de 139. De cette liste, on a ensuite biffé les trois grands lacs, les lacs artificiels de Wohlen et de Niederried, les plans d'eau alluviaux, les lacs dragués et une piscine (!). Vu qu'au début du projet, la carte nationale numérique 1:25000 ne couvrait pas encore l'ensemble du territoire concerné, la première sélection des plans d'eau s'est faite au moyen de la carte numérisée de la protection des eaux du canton de Berne 1:10000, état 1996. En raison de l'hétérogénéité des bases cartographiques, quelques-uns des petits plans de la liste actuelle ont une superficie inférieure à un demi-hectare. Ils ont néanmoins été englobés dans les investigations.

Collecte et mise à disposition de données anciennes et nouvelles

Des informations sur plusieurs lacs ont déjà paru dans des revues anciennes et récentes ainsi que dans des publications scientifiques. En outre, la population locale, les pêcheurs sportifs intéressés, les ornithologues et d'autres amis de la nature disposent d'indications précieuses sur la flore et la faune des plans d'eau respectifs.

Dans un premier temps, il a donc fallu extraire ces données des sources les plus diverses, les rassembler, les préparer pour les mettre à disposition dans une banque de données. Les travaux de terrain effectués en 1997 ont servi à recenser un maximum de données – qui n'avaient encore jamais été étudiées jusque-là – sur la morphologie, l'hydrochimie, la biologie et les sédiments. Les résultats de ces opérations et des analyses de laboratoire ont été intégrés dans la nouvelle banque de données. Au début de 1998, l'application a été réalisée en tant que banque de données Access assortie d'une connexion au système d'information géographique ArcView.

Information du public

Le premier but des travaux était de faire l'état des lieux et de donner une description scientifique des petits plans d'eau. Au besoin et lorsque les données de base le permettent, des mesures sont proposées pour combler les éventuels déficits écologiques. Toutefois, les informations correspondantes ne doivent pas rester à l'intérieur de l'administration. Il importe que les personnes intéressées aient également accès aux résultats des études, car seule une population bien informée connaît la valeur de ces espaces naturels et est donc prête à s'engager en faveur de leur protection.

Wie funktioniert ein See?

Zum besseren Verständnis der Vorgänge in Seen und als Hilfe für die Interpretation der nachfolgenden Daten werden hier zuerst einige Begriffe und Zusammenhänge erklärt.

Das Einzugsgebiet dominiert den See

Stehende Gewässer sind einer Vielzahl von äusseren Faktoren ausgesetzt: Lufttemperatur, Wind, Sonneneinstrahlung, Zu- und Abflüsse, eingetragene Nährstoffe, menschliche Aktivitäten. Das Zusammenspiel dieser einzelnen Einflüsse bestimmt die Abfolge der physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse im Laufe des Jahres.



Fräschelsweiher

Seen können je nach geografischen und hydrogeologischen Gegebenheiten mit dem Grundwasserleiter oder mit Fliessgewässern in mehr oder weniger enger Wechselbeziehung stehen. Das (hydrologische) Einzugsgebiet übt dabei einen bestimmenden Einfluss auf den See aus. Die Höhenlage, die Geologie und die Nutzung des Einzugsgebietes widerspiegeln sich im See.

Je nach Tiefe, eindringendem Licht, Wasserzirkulation und Entstehung werden in der Limnologie verschiedene Typen

von stehenden Gewässern unterschieden. Neben dem «klassischen» See finden wir Weiher, Auengewässer, Tümpel, künstliche Teiche und Speicherbecken. Wir verzichten hier jedoch auf eine exakte Definition und Zuordnung der einzelnen Gewässer zu einem dieser Typen und sprechen im folgenden schlicht von Seen oder Kleinseen.

Die vier Jahreszeiten

Jeder See ist anders! Dies gilt nicht nur für die mit unseren Sinnen wahrnehmbaren Merkmale wie z.B. die Umgebung, die Uferbeschaffenheit, der Geruch oder die Farbe und Temperatur des Wassers. Auch die zur wissenschaftlichen Beschreibung des Sees verwendeten Messgrössen können von See zu See stark variieren. Trotzdem folgen im Verlaufe eines Jahres alle stehenden Gewässer gewissen Gesetzmässigkeiten. Je nach Seetyp manifestieren sich diese jedoch unterschiedlich.

Comment fonctionne un plan d'eau?

La compréhension des processus qui se déroulent dans les plans d'eau et l'interprétation des données présentées ci-dessous nécessite l'explication de quelques notions et corrélations.

Le bassin versant domine le plan d'eau

Les plans d'eau dépendent d'une multitude de facteurs extrinsèques: température de l'air, vent, ensoleillement, affluents et exutoire, apport de nutriments, activités humaines. La combinaison de ces influences détermine le

lumière et la circulation de l'eau, ajoutant aux lacs «classiques» les eaux stagnantes alluviales, les mares, les étangs naturels ou artificiels et les bassins d'accumulation. Dans le présent travail, nous renonçons toutefois à une telle différenciation et utiliserons le terme générique de petit plan d'eau – ou plus simplement plan d'eau.



Flueseeli

dérroulement des processus physiques, chimiques et biologiques tout au long de l'année.

Selon la situation géographique et hydrogéologique, le plan d'eau est en corrélation plus ou moins étroite avec l'aquifère ou avec des cours d'eau. Il est le reflet de l'altitude, de la géologie et de l'utilisation de son bassin versant (hydrologique), dont il subit l'influence.

La limnologie distingue plusieurs types de corps aquatiques selon leur profondeur, leur mode de formation, la pénétration de la

Les quatre saisons

Chaque plan d'eau est unique! Si cela est vrai pour les caractéristiques que nous percevons avec nos sens (aspect du site et des rives, odeurs, couleur et température de l'eau, etc.), les paramètres utilisés pour donner une description scientifique de ces milieux aquatiques sont eux aussi très variables. Ces derniers suivent tous un certain cycle annuel, mais qui se manifeste sous des formes différentes d'un cas à l'autre.

Winterzirkulation

Circulation hivernale



Im Winterhalbjahr ist der Wasserkörper gemischt. Im Idealfall sind die Temperaturen sowie die Konzentrationen der chemischen Parameter über die ganze Tiefe homogen verteilt. Der See zirkuliert oder, auf den Sauerstoff bezogen, der See «atmet».

Durant les six mois de la saison hivernale, la masse d'eau est mélangée. Idéalement, les températures et les concentrations des paramètres chimiques sont homogènes sur toute l'épaisseur de la couche. L'eau circule ou, en d'autres termes, le lac, oxygéné, «respire».

Sommer/Herbst Stagnation

Stagnation estivale/automne



Im Spätsommer und Herbst, zur Zeit der höchsten Wassertemperaturen, ist der See stabil geschichtet. Oben schwimmt das warme Epilimnion, diejenige lichtdurchflutete Wasserschicht, in welcher die Photosynthese der Algen stattfindet. Das Hypolimnion ist kalt, dunkel und häufig sauerstoffarm oder, nahe über dem Grund, völlig anaerob, d.h. ohne Sauerstoff.

Vers la fin de l'été et en automne, à l'époque des températures maximales, la stratification du lac est stable. Couche supérieure chaude recevant la lumière et dans laquelle a lieu la photosynthèse des algues (production primaire), l'épilimnion flotte sur l'hypolimnion, couche inférieure froide, sombre et souvent peu, voire pas du tout oxygénée près du fond (anaérobie).

Eine grundlegende Eigenschaft des Wassers ist seine Dichteanomalie, d.h. Wasser ist bei 4 °C am schwersten; sowohl wärmer als auch kälter ist es leichter. Als Konsequenz wird in den tiefsten Wasserschichten der Seen in der Regel etwa viergradiges Wasser gemessen. Ausnahmen bilden sehr tiefe Seen (wie der Briener- und Thunersee), wo der Austausch des Tiefenwassers oft unvollständig abläuft und tief einschichtende Zuflüsse Wärmeenergie in der Nähe des Seegrundes eintragen.

Im **Frühling** beginnen sich durch die Sonneneinstrahlung die oberen Wasserschichten zu erwärmen. Bei tieferen Seen (Tiefe grösser als etwa 10 m) schwimmen diese warmen Schichten auf dem kälteren Tiefenwasser und mischen sich mit diesem nicht oder nur wenig. Dieser Zustand wird im **Sommer** durch die intensivere Sonneneinstrahlung noch verstärkt. Die Schichtung in warmes Oberflächenwasser (Epilimnion) und kaltes Tiefenwasser (Hypolimnion) kann sehr stabil sein. Diese Zeit mit fehlender Durchmischung wird als Stagnations-

phase bezeichnet. Die Zone zwischen diesen beiden Wasserkörpern, die Sprungschicht oder das Metalimnion, weist ausgeprägte vertikale Temperaturunterschiede auf und ist oft nur wenige Meter hoch.

Der Sauerstoff aus der Atmosphäre und aus der Photosynthese der Algen (Phytoplankton) gelangt während der Stagnationsphase nicht mehr in tieferes Wasser. Zusätzlich findet im Hypolimnion eine Sauerstoffzehrung durch den bakteriellen Abbau von totem, absinkendem Plankton statt. Im Laufe des Sommers kommt es daher im Tiefenwasser zu sauerstoffarmen oder völlig sauerstofflosen Verhältnissen (siehe Kapitel Wasserqualität). Diese Zonen können nur noch von einer spezialisierten Organismenwelt (aber beispielsweise nicht mehr von Fischen) bewohnt werden.

Im **Herbst** kühlt sich das Epilimnion von der Oberfläche her ab und die Schichtung wird zunehmend instabil. Winde beginnen den See zu mischen. Im **Winter** ist der Temperaturgra-

L'eau présente, au niveau de sa densité, une anomalie fondamentale qui fait que c'est à 4 °C qu'elle est la plus lourde. Il s'ensuit que les couches les plus basses des plans d'eau ont en général à peu près cette température. Les lacs très profonds (tels que ceux de Brienz et de Thoune) font exception à cette règle, parce que l'échange des eaux est souvent incomplet au fond et que les affluents qui pénètrent en profondeur y apportent de l'énergie thermique.

Au **printemps**, les couches superficielles de l'eau commencent à se réchauffer sous l'effet des rayons du soleil. S'il s'agit de plans d'eau profonds (profondeur > 10 m), elles flottent sur les couches inférieures plus lourdes et ne s'y mélangent pas ou que peu. Ce phénomène se renforce encore en **été** en raison de l'intensification du rayonnement solaire. La stratification en couche superficielle (épilimnion) chaude et en couche profonde (hypolimnion) froide peut être extrêmement stable. Cette période d'absence de mélange est appelée phase de stagnation. Entre les deux couches men-

tionnées se trouve la zone dite métalimnion, qui se caractérise par d'importantes différences verticales de température et souvent par une épaisseur de quelques mètres seulement.

L'oxygène provenant de l'atmosphère et de la photosynthèse des algues (phytoplancton) n'atteint plus les couches inférieures durant la phase de stagnation. En outre, la décomposition, par les bactéries, de plancton mort en train de sédimenter consomme de l'oxygène dans l'hypolimnion, où règnent donc en été des conditions pauvres en oxygène, voire anaérobies et où seuls peuvent vivre des organismes spécialisés (à l'exclusion, par exemple, des poissons).

En **automne**, l'épilimnion se refroidit à partir de la surface et les couches deviennent de plus en plus instables. Causé par les vents, le mélange des eaux fait chuter le gradient thermique et **en hiver** provoque une circulation de haut en bas qui, selon le type de lac, sera complète (par exemple dans celui de Brienz) ou partielle (par exemple ceux de Brienz et de Thoune). Ces proces-

dient zusammengefallen und der See zirkuliert, je nach Typ, vollständig von oben bis unten (z. B. Bielersee) oder nur teilweise (z. B. Briener- und Thunersee). Durch diese sich jährlich wiederholenden Prozesse wird dem Tiefenwasser wieder Sauerstoff zugeführt. Gewisse Seen weisen eine sehr stabile chemische Schichtung auf. Diese Seen zirkulieren in der Regel nicht, und das Tiefenwasser ist ständig sauerstofflos.

Bei seichten Gewässern kann sich keine stabile Schichtung ausbilden. Je nach Seefläche, Tiefe und Windexposition reicht für eine Durchmischung des Wasserkörpers im Frühling und Sommer bereits eine nächtliche Abkühlung aus. Die Gefahr eines Fischsterbens ist in jenen nährstoffreichen Kleinseen gross, in welchen eine Schichtung über einige Wochen bestehen kann, aber dann nach einer Abkühlung und gleichzeitig starken Winden plötzlich zusammenfällt (z. B. Inkwilensee). Dabei gelangt sauerstoffloses Wasser aus den unteren Schichten nach oben und die ganze Wassersäule wird sauerstofflos (= anaerob). Der See kippt, die Fische ersticken.

Wasserqualität

Das Wachstum der Algen und grösseren Wasserpflanzen (= Primärproduktion) wird hauptsächlich durch die verfügbaren Nährstoffe und das Licht bestimmt. Die Nährstoffe sind bei natürlichen Verhältnissen im See in der Regel untervertreten und halten die (Algen-)Produktivität auf einem niedrigen Niveau. Bei übermässigem Phosphor- und Stickstoffeintrag (durch Abwasser, Abschwemmung aus landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen) wird die Produktion stark erhöht, und es können sich einzelne Algenarten explosionsartig vermehren. Dabei kann es zu sogenannten «Algenblüten», d. h. einem sichtbaren Belag auf der Wasseroberfläche, und/oder sehr trübem Wasser kommen. Durch die Photosynthese kommt

es in den oberflächlichen Wasserschichten zu einer Übersättigung mit Sauerstoff. Diese Übersättigung kann so hoch sein, dass sich im Körper von Jungfischen Blasen bilden (VENTLUNG-SCHWANK 1992), die zum Tod führen können. Im Gegensatz zum sauerstoffreichen Oberflächenwasser stellt sich im Tiefenwasser durch den bakteriellen Abbau des Planktons eine Sauerstoffzehrung ein. Auch wenn der Sauerstoff vollständig aufgebraucht ist, findet der Abbau weiter statt, indem andere Substanzen wie z. B. Sulfat oxidiert (veratmet) werden. Es entstehen reduzierte Substanzen wie Ammonium, Methan und der nach faulen Eiern riechende Schwefelwasserstoff. Der Sauerstoffschwund weitet sich so zum Sauerstoffdefizit aus. Kommt solches Wasser in Kontakt mit Sauerstoff, wird dieser sofort zur Oxidation der reduzierten Substanzen aufgezehrt. In seichten Seen kann es daher während Zirkulationsphasen zu länger dauernden Situationen kommen, in denen der ganze See keinen Sauerstoff enthält. Ein Sauerstoffdefizit am Seegrund kann auch dazu führen, dass der im Sediment gebundene Phosphor wieder freigesetzt wird und somit den See zusätzlich düngt (interne Düngung).

Als Massstab für die Wasserbeschaffenheit wird die Produktivität (die Trophie) beigezogen. Der Intensität der Primärproduktion entsprechend werden verschiedene Trophiestufen unterschieden. Von Natur aus kommen alle Trophiestufen in stehenden Gewässern vor. Der menschliche Einfluss hat jedoch bei vielen Seen dazu geführt, dass der Trophiegrad um eine oder mehrere Stufen angehoben wurde (z. B. von mesotroph zu eutroph).

Zur Beurteilung des aktuellen Trophiegrades eines grossen Sees wird, vereinfacht ausgedrückt, häufig die Phosphorkonzentration beigezogen: Je weniger Phosphor (oft limitierender Nährstoff für Algen und

sus annuels réoxygène les eaux profondes. Certains lacs ont une stratification chimique très stable et se caractérisent en général par une absence de mouvement vertical et donc par des couches profondes toujours dépourvues d'oxygène.

La stratification stable n'est pas possible dans les eaux peu profondes. Selon la superficie, la profondeur et l'exposition aux vents, un refroidissement nocturne au printemps ou en automne suffit à mélanger le corps aquatique. Le risque d'une hécatombe de poissons est élevé dans un petit plan d'eau riche en nutriments et dont la structure verticale demeurée la même durant plusieurs semaines s'effondre brusquement à la suite d'une baisse de température accompagnée de vents violents (par exemple Inkwilensee). Les eaux profondes dépourvues d'oxygène remontent alors, ce qui crée des conditions anaérobies à tous les niveaux, provoquant l'asphyxie des poissons.

Qualité de l'eau

La croissance des algues et des plantes aquatiques d'une certaine taille (= production primaire) est déterminée par la lumière et les nutriments disponibles. En conditions naturelles, ces derniers sont en général présents en petites quantités, ce qui maintient la production d'algues à un faible niveau. Un apport excessif de phosphore et d'azote (par

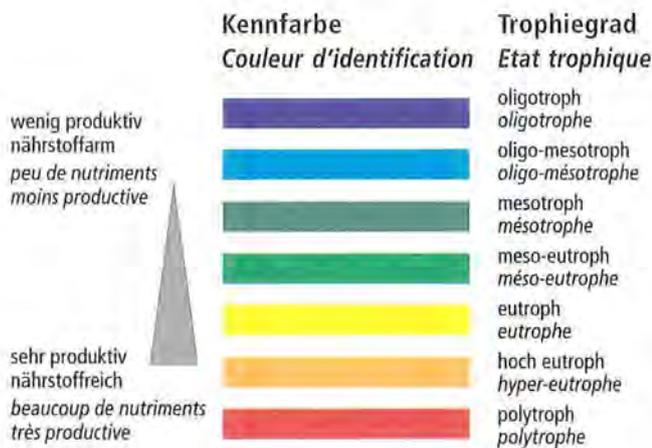
les eaux usées ou l'érosion des surfaces agricoles exploitées de façon intensive) peut toutefois entraîner un développement explosif de certaines espèces, ayant comme corollaire des fleurs d'eau ou provoquant une forte turbidité de l'eau.

La photosynthèse entraîne dans les couches superficielles de l'eau une sursaturation d'oxygène qui peut atteindre un degré tel que des bulles mortelles peuvent se former dans le corps des jeunes poissons (VENTLUNG-SCHWANK 1992). Les algues meurent et descendent dans les couches profondes, où elles sont décomposées par des bactéries. Ce processus consomme de l'oxygène, qui vient à y manquer de plus en plus, mais il se poursuit par l'oxydation d'autres substances, par exemple des sulfates. Il en résulte des substances réduites telles que l'ammonium, le méthane ou l'hydrogène sulfuré, qui sent les œufs pourris. Lorsque de l'oxygène entre en contact avec cette eau qui en est déficitaire, il est aussitôt consommé pour l'oxydation des substances réduites. Même en phase de circulation, le lac tout entier peut être privé d'oxygénation pendant des périodes prolongées. Ce qui peut à son tour libérer le phosphore lié au sédiment et ainsi créer une fertilisation (interne) supplémentaire du lac.

La qualité de l'eau se mesure à l'aide de la productivité (état trophique). On distingue plusieurs états trophiques, qui correspon-



Inkwilensee



Wasserpflanzen) während der Zirkulationsphase im Winter vorhanden ist, desto geringer ist der Trophiegrad. Bei kleinen Seen zeigt es sich aber, dass dies allein nicht ausreicht. Zur fundierteren Beurteilung sollten neben den Phosphor- und Phosphatkonzentrationen auch die Nitrat- und Chlorophyllkonzentrationen, die minimalen Sauerstoffwerte während der Stagnationsperiode, die Sichttiefe nach Secchi, die Algen und übrigen Wasserpflanzen sowie die Sedimente beigezogen werden. Im vorliegenden Bericht wurde die Trophieeinteilung unter Würdigung aller verfügbaren Parameter vorgenommen. Die Gewichtung der einzelnen Parameter erfolgte spezifisch für jeden See und wird diskutiert.

Wenn die Beurteilung auf neueren Daten beruht, ist die entsprechende Kennfarbe des Trophiegrades gleichmässig angegeben. Liegen keine neueren Daten für einen See vor, lassen aber andere Informationen (z.B. Höhenlage, Nutzung des Einzugsgebietes) eine vernünftige Abschätzung des Trophiegrades zu, wird die Kennfarbe auslaufend angegeben.

Während eine Zunahme des Nährstoffeintrags in den See sehr schnell zu einer gesteigerten Algenproduktion führt, ist das Gegenteil bei der in vielen Seen bereits stattgefundenen Reduktion des Nährstoffinputs nicht der Fall. Trotz des im allgemeinen deutlich geringeren Phosphoreintrages nimmt die Produktion je nach See (noch)

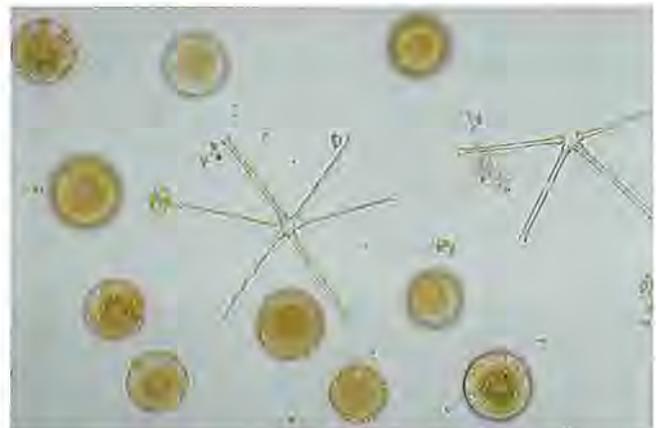
nicht oder nur geringfügig ab. Weshalb? Die Gründe dafür sind nicht restlos geklärt, dürften aber sicher mit den komplexen Interaktionen der einzelnen Glieder in der Nahrungskette (oder eben realistischer im Nahrungsnetz) zusammenhängen. Die Nährstoffe, Algen, Fische, Lichtdurchlässigkeit des Wassers sowie das Zooplankton beeinflussen einander gegenseitig. Ob und in welcher Zeitdauer sich ein neues dynamisches Gleichgewicht einstellt, ist für jeden See verschieden. Eine deutliche Verbesserung des Seezustandes bei ehemals hoch eutrophen Gewässern ist jedoch kurzfristig nicht zu erwarten.

Im Sinne einer Erfolgskontrolle für die anhaltenden Anstrengungen seitens des Gewässerschutzes ist ein sinnvolles Langzeit-Monitoring nötig. Damit können einerseits die Auswirkungen der hohen Investitionen in die Siedlungsentwässerung und deren Werterhaltung dokumentiert werden. Andererseits sollte sich durch die langfristig ausgelegten Untersuchungsprogramme der positive Einfluss der sich im Wandel befindenden landwirtschaftlichen Düngepraxis auf die Gewässerqualität zeigen.

dent à l'intensité de la production primaire. Si, de par la nature, tous les degrés sont possibles dans les plans d'eau, les activités humaines contribuent à l'eutrophisation de nombreux lacs, les faisant passer de l'état mésotrophe à l'état eutrophe.

Pour juger – de manière simplifiée – de l'état trophique d'un grand lac, on se réfère souvent à sa teneur en phosphore: moins cette substance (principal nutriment des algues) est présente durant la phase de circulation hivernale, moins il est marqué. Mais dans le cas des petits plans d'eau, cette approche ne suffit pas. Une étude plus approfondie devrait prendre en considération non seulement les concentrations de phosphore et de phosphates, mais encore celles des

Alors que les algues prolifèrent rapidement à la suite d'une augmentation de l'apport de nutriments, le recul de ce dernier, constaté dans de nombreux lacs, n'a pas produit le phénomène inverse. En dépit d'une baisse générale des quantités de phosphore aboutissant dans les plans d'eau, la production n'y diminue pas (du moins pour l'instant) ou que très peu. Si les raisons n'en ont pas encore été complètement élucidées, elles sont certainement liées aux interactions complexes des différents éléments de la chaîne alimentaire (qui est en fait plutôt un réseau). En effet, les nutriments, les algues, les poissons, la transparence de l'eau et le zooplancton s'influencent mutuellement. L'installation ou non d'un nouvel équilibre dynamique et le temps



Kieselalgen/Diatomées

nitrites et de la chlorophylle ainsi que les teneurs minimales en oxygène pendant la période de stagnation, la transparence selon Secchi, les algues et les autres plantes aquatiques ainsi que les sédiments. Dans le présent rapport, nous avons réparti les états trophiques en tenant compte des tous les paramètres disponibles. Nous les pondérons spécifiquement en fonction de chaque plan d'eau. La couleur d'identification est indiquée en uni si l'état trophique a été évalué sur la base de données récentes, et en dégradé si de tels renseignements font défaut mais que d'autres informations (altitude, utilisation du bassin versant, etc.) permettent de supposer que l'appréciation est néanmoins plausible.

qu'elle requiert diffèrent d'un lac à l'autre, mais il ne faut pas s'attendre à ce que l'état des eaux anciennement hyper-eutrophes s'améliore sensiblement à brève échéance.

Une surveillance judicieuse à long terme est nécessaire pour contrôler l'efficacité des efforts continus déployés par les responsables de la protection des eaux. D'une part, elle permettra de démontrer les effets des importants investissements réalisés dans l'assainissement et la conservation de sa valeur. D'autre part, elle devrait mettre en évidence les effets positifs que les changements actuels de la pratique adoptée en matière d'engrais par les milieux agricoles ont sur la qualité de l'eau.

Seearbeit

Mit der hier verwendeten Multi-sonde (sie wird langsam bis auf den Seegrund abgesenkt) können jede halbe Sekunde gleichzeitig die Wassertiefe, die Temperatur, die Leitfähigkeit, die Sauerstoffkonzentration, die Lichttransmission («Trübung») und der pH gemessen werden (Abb. 1). Die Daten dieser hochauflösenden Tiefenprofile erlauben Aussagen über die chemisch- oder temperaturbedingte Wasserschichtung sowie die Produktions- und Abbauprozesse der Algen und geben damit erste Anhaltspunkte über die Nährstoffbelastung des Sees.

Für die Bestimmung der chemischen Parameter werden die Wasserproben mit einer Schöpfflasche aus bestimmten Wassertiefen entnommen (Abb. 2). Aus einer Mischprobe aus verschiedenen Wassertiefen werden die Planktonzusammensetzung und die Chlorophyllkonzentration bestimmt.

Einige der Hochgebirgsseen wurden im Winter beprobt. Hier wird das Gerät zum Stechen eines Sedimentkerns durch die 1.5 m dicke Eisschicht abgesenkt (Abb. 3).

Durch ein Loch im Eis wird ein feinmaschiges Netz heruntergelassen und wieder hochgezogen. Damit können aus dem Wasser die kleinen Zooplankton-Krebschen herausfiltriert werden (Abb. 4).

Bei Seen mit oberirdischem Zu- und Abfluss wurden auch diese Gewässer in die Untersuchung miteinbezogen.

Zudem wurde das Vorkommen der Wasserpflanzen protokolliert, wobei nur die häufigsten Arten festgehalten wurden. Eine detailliertere botanische Untersuchung hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Opérations in situ

Cette multisonde, que l'on fait descendre lentement jusqu'au fond du lac, permet de mesurer simultanément, toutes les demi-secondes, la profondeur, la température, la conductibilité, la teneur en oxygène, la turbidité et le pH de l'eau (fig. 1). Par les indications qu'ils fournissent sur la stratification chimique et thermique ainsi que sur les processus de formation et de décomposition des algues, ces profils à haute résolution donnent des premiers points de repères sur la charge du lac en nutriments.

Le dosage des paramètres chimiques se fait à l'aide d'échantillons d'eau pris à certaines profondeurs au moyen d'une bouteille de prélèvement (fig. 2). Un échantillon intégré provenant de différents niveaux sert à déterminer la composition du plancton et la concentration en chlorophylle.

Quelques-uns des lacs de haute montagne ont été étudiés en hiver. Ici, un outil descendu par un trou pratiqué dans la couche de glace de 1.5 m d'épaisseur sert à remonter une carotte de sédiment (fig. 3).

Descendu par un trou pratiqué dans la glace, puis remonté, un filet à mailles fines sert à recueillir le zooplancton (petits crustacés) (fig. 4).

Lorsque l'alimentation et l'écoulement d'un plan d'eau se faisaient en surface, ils étaient intégrés aux investigations.

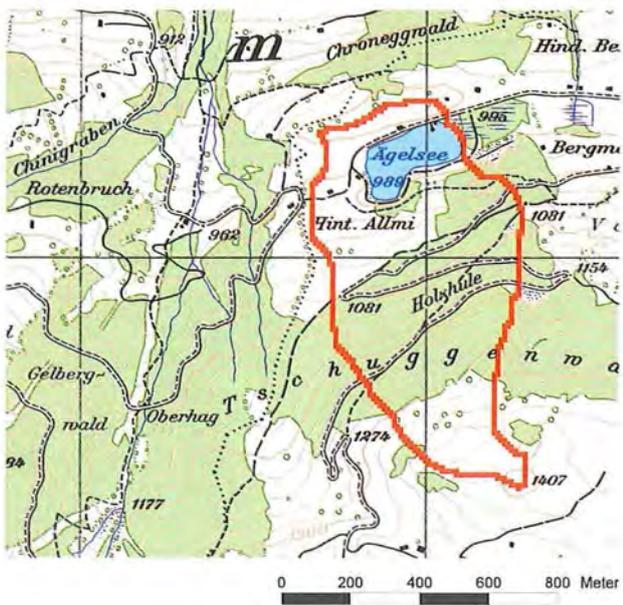
La présence des plantes aquatiques les plus courantes a fait l'objet d'un procès-verbal. Une étude botanique plus détaillée aurait dépassé le cadre de ce travail.



Fotos: M. Zeh, GBL



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------|-----------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1227 |
| Koordinaten | 607 877 / 166 188 |
| Maximaltiefe | 989 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 3.49 ha |
| Seefläche | 6.9 m |
| Maximaltiefe | 88 130 m ³ |
| Seevolumen | |



Geologie, Hydrologie und Geschichte

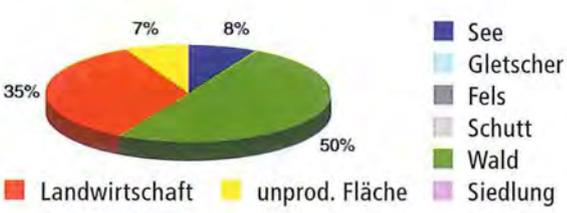
Der Aegelsee liegt im Simmental etwa 1 km nördlich von Erlenchbach. Die Aegelseemulde entstand am Ende der Würm-Eiszeit nach dem Rückzug des Simmentalgletschers, dessen Seitenmoräne eine Abdämmung gegen Westen bewirkte. Feine Tonablagerungen aus dem Gletscherwasser dichteten das Becken gegen unten ab. Die Grundlage des Aegelsees war damit gegeben (LOTTER & FISCHER 1991). Das Einzugsgebiet ist geprägt durch Kalke und Schiefer der Simmentaldecke. Seit dem Mittelalter hat sich das in einem Gipstrichter gelegene Becken um viele Meter abgesenkt und auch flächenmässig stark vergrössert (SCHMALZ 1978). Mit Hilfe von Sediment- und Pollenanalysen konnte die vegetationsgeschichtliche Entwicklung des Gebietes

rekonstruiert werden (LOTTER & FISCHER 1991): Bis vor etwa 13 000 Jahren existierte eine waldlose Vegetation, die sich aus zahlreichen Kräutern und einigen Zwergsträuchern zusammensetzte. Vor 12 500 Jahren breitete sich die Birke aus und wurde 500 Jahre später von der Waldföhre abgelöst. Etwa 2000 Jahre später kamen die lichte- und wärmeliebenden Laubholzarten (Hasel, Eiche, Linde, Ulme und Ahorn) hinzu. Diese wiederum wurden vor 6000 Jahren von der Weisstanne und vor 4500 Jahren von Fichte und Rotbuche abgelöst. Die nach der Eiszeit einsetzende Erwärmung des Klimas hatte auch Auswirkungen auf den See selbst: Mit dem zunehmend dichteren Pflanzenbewuchs ging auch eine verstärkte Mineralisation des Muttergesteins und ein Zuwachs der Humusschicht einher. Das Angebot an Nährstoffen

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 47.00 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 38 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 1405 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1135 m ü.M. |

Flächenanteile



wurde grösser, was zusammen mit den zunehmend günstigen klimatischen Bedingungen eine Steigerung der Produktivität des Sees bewirkte. Dies schlug sich in der Zusammensetzung der Seesedimente (zunehmende Seekreideeinlagerung, ansteigender organischer Gehalt) nieder. Selbst Rückschläge in der Klimaentwicklung, welche vorübergehend zum Verschwinden der Bewaldung führten, konnten aus den Archiven der Seesedimente herausgelesen werden.

Eine erstmalige Landnahme durch den Menschen fand vor etwa 5000 Jahren statt, wie aus der Zusammensetzung der Pollen ersichtlich ist. Weitere Rodungen geschahen in der Bronzezeit und insbesondere im Mittelalter. Der See selbst und die ihn umgebende Verlandungszone war von diesen Eingriffen kaum betroffen. Alle Übergangsstufen von der offenen Wasserfläche bis hin zum teilweise bewaldeten Hochmoor waren in völlig intaktem Zustand erhalten, und die natürliche Verlandungsdynamik war noch in vollem Gange. 1956 war das Aegelseemoor die letzte derart gut erhaltene Verlandungsgesellschaft des Kantons Bern (WELTEN 1953).

1956 wurde mit dem Bau des Ausgleichsbeckens der Simmentaler Kraftwerke begonnen. Ein Teil des Moors wurde ausgebagert, um das Seevolumen zu vergrössern. Die damit verbundene Absenkung des Wasserspiegels bewirkte eine teilweise Entwässerung des Moors. Der fortschreitenden Verbuschung des

Moors und dem Eindringen von Nährstoffen aus der umgebenden Landwirtschaft wurde damit Vorschub geleistet (WEGMÜLLER & LOTTER 1990). Am stärksten von dem Projekt war aber der See selbst betroffen: Der Moorsee, der seinen Namen dem reichen Egelvorkommen verdankt (WIDMANN 1920, zit. in SCHMALZ 1978), hatte bis vor 1956 praktisch keinen oberirdischen Zufluss (LOTTER & FISCHER 1991). Durch die Einleitung von Wasser aus den Bächen Fildrich und Kiriel hat sich das Einzugsgebiet des Aegelsees um einen Faktor 220 vergrössert. Jährlich durchfliessen 75 Mio. m³ Wasser den See (0,2–6,0 m³/s, Durchschnitt 2,4 m³/s). Die theoretische Wassernerneuerungszeit beträgt dadurch zwischen 4 und 122 Stunden. Als Folge der Nutzung als Ausgleichsbecken kann der Wasserspiegel in kurzer Zeit um bis zu 3,3 m variieren. Durch diesen massiven Eingriff wurde die Ökologie des Sees völlig verändert.

Produktivität / Trophiegrad

Als Folge der Einleitung grosser Wassermengen wird der See «durchgespült», bevor sich eine Phytoplanktonproduktion einstellen kann. Dies schlägt sich in durchwegs geringen Individuenzahlen und sehr schwachen Gehalten an Chlorophyll a nieder. Zudem ist das eingeleitete Wasser äusserst nährstoffarm. Beurteilt nach Phosphor, Stickstoff und Chlorophyll a ist er (falls eine trophische Einteilung

für ein derart künstliches Gewässer überhaupt zulässig und sinnvoll ist) als oligotroph einzustufen.

Temperatur / Mischverhalten

Auch die Temperatur und das Mischverhalten sind vollständig durch die Wasserkraftnutzung diktiert: Die Tiefe des Sees würde an sich ausreichen, dass sich eine Temperaturschichtung einstellen könnte. Durch die ausserordentlich kurze Wassernerneuerungszeit ist der See aber dauernd gemischt, was aus den Tiefenprofilen aller Parameter ersichtlich ist. Auch am Grund in über 6 m Wassertiefe ist das Wasser 100% mit Sauerstoff gesättigt, was auch erklärt, warum das Sediment vollständig oxidiert ist. Die Wassertemperatur im See entspricht im wesentlichen der Temperatur der Zuleitung, mit Ausnahme der Seeoberfläche, wo das Wasser um 0,2 °C (!) erhöht ist, was auf Sonneneinstrahlung zurückzuführen sein dürfte.

Plankton

Das Phytoplankton ist trotz geringer Dichte mit 42 Spezies relativ artenreich. Alleine die Kieselalgen tragen etwa zur Hälfte zur Artenzahl bei. 18 dieser 20 Arten sind reine Aufwuchsformen, die restlichen zwei kommen sowohl im Aufwuchs wie im schwebenden Plankton vor. Auch bei den übrigen Algenfamilien spielen Vertreter, die an Substrat gebunden sind, eine wichtige Rolle. Es ist davon auszugehen, dass ein Grossteil des «Aegelsee-Planktons» aus dem Sohlenaufwuchs der beiden Bäche stammt und durch Abschwemmung via Wasserfassungen in den See gelangt ist. Es darf folglich nicht zum autochthonen (im See gewachsenen) Plankton gezählt werden. Auch das Zooplankton ist nur durch Einzelindividuen vertreten und setzt sich lediglich aus drei Arten zusammen.

Flora

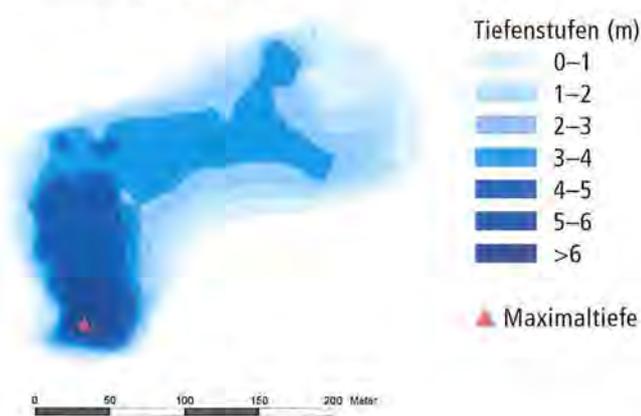
Der Aegelsee wies vor der Nutzung als Ausgleichsbecken eine sehr artenreiche Flora auf, bestehend aus submersen Wasserpflanzen (6 Arten), Röhrichtarten (2 Arten) und Vertretern des Grosseggensrieds (8 Arten). Zehn Pflanzenarten dieser offenen Wasserfläche, dazu je neun Arten des Zwischenmoors und des Flachmoors sind im Lauf der letzten 50 Jahre verschwunden (LOTTER & FISCHER 1991). Im Rahmen dieser Untersuchung konnte keine einzige Art aus der Gruppe der untergetauchten Wasserpflanzen oder Röhrichtpflanzen mehr gefunden werden, was das Ausmass der Zerstörung im direkten Bereich des Sees veranschaulicht.

Fauna

Die starken Wasserstandsschwankungen und die Unterdrückung einer Primärproduktion machen den See als Habitat für Libellen und Amphibien unattraktiv (LOTTER & FISCHER 1991). Die einzigen aktuellen Amphibiennachweise (Grasfrosch, Erdkröte, Bergmolch, Fadenmolch) beziehen sich auf das Moor, nicht auf den See. Im Aegelsee leben heute 4 Fischarten: Die Elritze wurde früher einmal eingesetzt. Die drei anderen (Bachforelle, Regenbogenforelle, Seesaibling) werden durch die regionale Pachtvereinigung bewirtschaftet. Eine natürliche Fortpflanzung konnte bisher bei keiner der vier Arten nachgewiesen werden.

Trotz des massiven Eingriffs in die Ökologie wurde das Gebiet 20 Jahre nach dem Bau des Ausgleichsbeckens unter Naturschutz gestellt, da das Hochmoor, im Gegensatz zum See selbst, den Eingriff relativ gut verkraftet hat. Der Moorwald ist zwar etwas trockener geworden und die Artenzusammensetzung etwas verarmt, aber die Vegetation ist immer noch typisch für Hochmoore.

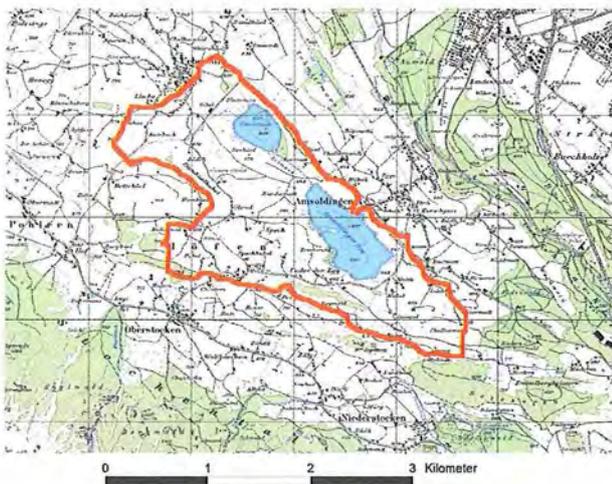
Tiefenkarte Aegelsee



Amsoldingersee

meso-eutroph

Foto: GBL / M. Zeh

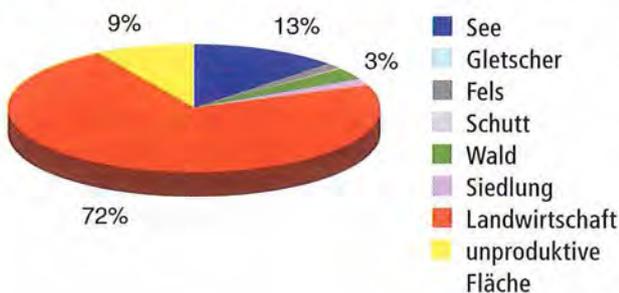


| | | |
|--------------------------|--------------------------|---|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1207 |  |
| Koordinaten Maximaltiefe | 610 530 / 174 905 | |
| Höhe Seeoberfläche | 641 m ü.M. | |
| Seefläche | 38.07 ha | |
| Maximaltiefe | 13.9 m | |
| Seevolumen | 2 552 682 m ³ | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|-----------------------------|----------|
| Fläche topographisches EzG: | 420.2 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 448.0 ha |
| maximale Höhe ü.M.: | 761 m |
| mittlere Höhe ü.M.: | 670 m |

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Amsoldingersee liegt 5 km südwestlich von Thun. Das Seebecken ist durch den Aaregletscher entstanden, dessen Seitenmoräne im nordöstlichen Bereich als stauende Schicht wirkte. Die Morphologie lässt vermuten, dass Toteis zu deren Bildung und zur Erhaltung der Seewanne beigetragen haben könnte (LOTTER 1983). Der Seematt-Bach (Ausfluss Uebesichsee) ist der grösste der 5 Zuflüsse des Amsoldingersees. Der Abfluss (Amlebach oder Walenbach) verlässt den See beim Schloss Amsoldingen und mündet via Glütschbach in die Aare. VON BÜREN (1938) ermittelte aufgrund einer einmaligen Messung einen Abfluss von 111 l/s. Unter Annahme, dass dieser Abfluss der mittleren Wasser-

führung nahekommt, beträgt die theoretische Wassererneuerungszeit 270 Tage. Die Maximaltiefe hat seit 1902 (14.2 m (BOURCART 1906)) nur geringfügig abgenommen (13.9 m, 1997). Die maximalen Spiegelschwankungen waren zwischen 1933 und 1935 mit 29 cm sehr gering. Sedimentanalysen geben Aufschluss über die Vegetationsentwicklung in der Umgebung des Sees, welche ähnlich abließ wie im Aegelseemoos (siehe Aegelsee, (LOTTER 1983)). Darüber hinaus liefert die Arbeit von LOTTER & BOUCHERLE (1984) ein umfassendes Bild über die trophische Entwicklung des Sees während der letzten 16 000 Jahre: Im Laufe der ältesten Dryas (vor 16 000 bis 13 300 Jahren) war das Klima kalt und die Biomasseproduktion im See sehr gering. Die Sedimente waren vorwiegend allochthonen Ursprungs, was

auf grosse Erosion im Einzugsgebiet hindeutet, welches damals noch kaum Vegetation aufwies. Während des Bølling (vor 13 300 bis 11 800 Jahren) war das Klima wärmer, die Produktion des Sees nahm zu, so dass am Seegrund schon damals anoxische Phasen auftraten. Als Folge einer Seeabsenkung im Allerød (vor 11 800 bis 10 900 Jahren) nahm die Produktivität weiter zu und der See wurde erstmals eutroph. Ein Temperatursturz in der jüngeren Dryas (vor 10 900 bis 10 200 Jahren) bewirkte den Wechsel zum oligotrophen Seetyp. Wegen dieser Klimaabkühlung verblieb der See während des gesamten Boreals (vor 10 200 bis 7450 Jahren) im oligotrophen Zustand. Erst am Ende des alten Atlantikums (vor 5950 Jahren) wurde er mesotroph. Im Subatlantikum wird zunehmend der anthropogene Einfluss bemerkbar. Waldrodungen äussern sich in einer Zunahme der Nicht-Baum-Pollen im Sediment. Als Folge der menschlichen Nutzung wurde der See in den letzten 2000 Jahren immer eutropher (LOTTER 1983).

Trotz des frühen menschlichen Einflusses im Einzugsgebiet blieb der Charakter des Sees selbst bis in die heutige Zeit erhalten. Dies ist weitgehend der Verdienst der früheren Besitzerin, Madame Elisabeth De Meuron. Schon früh trug sie durch den Kauf see- naher Parzellen dazu bei, dass die Umgebung des Sees nicht überbaut wurde oder einer in-

tensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zum Opfer fiel (Vergleiche Burgäschisee, Inkwiliersee, Lobsigensee). Sie war es auch, die 1941 verhinderte, dass der Seespiegel im Rahmen der «Anbauschlacht» um 1–2 m abgesenkt wurde, wie dies die Bauern wünschten. Auch den Bau eines Schiessplatzes der Luftwaffe (1947–1949) konnte sie unter Mithilfe der Bevölkerung und der Gemeinden abwenden, obwohl ihr seitens des Militärdepartements mit Enteignung gedroht wurde. Anfänglich wies sie auch den Wunsch des Naturschutzinspektors ab, den See unter Schutz zu stellen. Am 10. Juni 1977 lenkte sie ein und ermöglichte so die Schaffung des Naturschutzgebietes Amsoldinger- und Uebeschisee. Am 8. Oktober 1980 konnten durch Landabtausch weitere Parzellen dem Schutzgebiet angegliedert und damit die Fläche um 12% auf 97.5 ha vergrössert werden (STRASSER 1980).

Produktivität / Trophiegrad

Zwischen 1933 und 1935 wurde der Amsoldingersee umfassend untersucht (VON BÜREN 1938). Nach Sauerstoffprofilen beurteilt, war er in diesem Zeitraum **mesotroph bis eutroph**. Die Sauerstoffsättigung sank nie unter 17%. Im Vergleich zu den dreissiger Jahren hat der Trophiegrad 1993 deutlich zuge-

nommen: Schon im Mai war der Sauerstoff in Tiefen > 7 m fast vollständig aufgezehrt; im September wurde schon in 5 m Tiefe kein Sauerstoff mehr gemessen, typische Merkmale eines eutrophen Sees. Aufgrund der Gesamtposphorkonzentrationen muss der Zustand von 1993 hingegen als mesotroph bezeichnet werden. Die Diskrepanz zwischen der Beurteilung aufgrund der Sauerstoffverhältnisse bzw. des Nährstoffgehaltes kann folgendermassen erklärt werden: Wegen seines grossen Epilimnions (78% des Seevolumens) ist die Tendenz zu Sauerstoffzehrung im Hypolimnion auch bei relativ geringen Phosphorkonzentrationen gegeben (VON BÜREN 1938).

Die stark wechselnden und zeitweise sehr geringen Sichttiefen führte VON BÜREN (1938) primär auf die hohe Algenproduktion in den obersten Wasserschichten zurück. Auch Huminsäuren, welche in der moorigen Umgebung entstehen und dem See eine bräunliche Färbung geben, können zur Herabsetzung der Sichttiefe beitragen. Die Farbe des Sees wirkte effektiv leicht gelbbraunlich. Die Vermutung, dass Huminstoffe für diese Färbung verantwortlich sind, wird durch aktuelle DOC-Messungen gestützt: Die Werte waren über das ganze Jahr und unabhängig von der Tiefe sehr hoch. In Seen mit hoher Produktion ohne Huminsäuren weist der DOC jedoch während der Stagnationsphase wegen des Abbaus von Biomasse einen deutlichen Tiefengradienten auf.

VON BÜREN (1938) schrieb, dass der grösste Teil der Biomasse in der Wassersäule abgebaut wird und folglich der organische Gehalt im Sediment gering ist. Er schloss daraus, dass die Eutrophierung noch nicht sehr weit fortgeschritten war. Die relativ geringe Verlandungsgeschwindigkeit (Abnahme der Maximaltiefe um 30 cm in 95 Jahren) stützt diesen Befund. Allerdings wechseln sich im Sediment Phasen mit hohem (0–3 cm; 15–30 cm) und geringem organischem Gehalt (3–15 cm;

30–74 cm) ab (siehe Foto Sediment). Diese farblichen Veränderungen in den Sedimentschichten sind ein Hinweis, dass der See im Laufe der näheren Vergangenheit mehrmals zwischen mesotroph und eutroph wechselte. Damit ist er nicht weit vom Zustand entfernt, den er unter natürlichen Bedingungen (bewaldetes Einzugsgebiet) hätte.

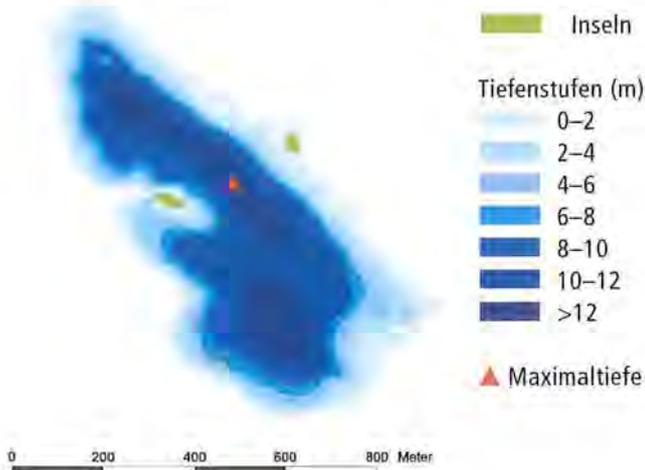
Gemäss Berechnung nach PRA-SUHN & BRAUN (1994) würde die natürliche P-Belastung 0.13 g P/m² Seefläche • Jahr betragen. Diese Belastung lässt nach VOLLENWEIDER (1968) bei einer mittleren Tiefe von 6.7 m auf einen **mesotrophen** Zustand schliessen.

Ohne den umfassenden Schutz, insbesondere die Erhaltung eines ausreichend grossen und natürlichen Pufferstreifens, wäre der Amsoldingersee hoch eutroph, wie mancher andere Kleinsee des Berner Mittelandes.

Temperatur / Mischverhalten

Der Amsoldingersee erreicht im Laufe des Sommers Temperaturen von bis zu 26 °C (Juli 1934). In den dreissiger Jahren vereiste der See praktisch in jedem Winter. Die Zeit der Eisbedeckung dauerte 98 Tage (1933/34) bzw. 78 Tage (1934/35). Während der Stagnationsphase ist der See thermisch und chemisch recht stabil geschichtet, zwischen Epilimnion und Hypolimnion findet kein wesentlicher Austausch statt, und im Hypolimnion entsteht mit zunehmender Dauer der Stagnation ein Sauerstoffdefizit. Während der Zirkulationsphase wird sauerstoffreiches Oberflächenwasser mit dem sauerstoffreichen Tiefenwasser vermischt. Dabei kann es im ganzen Seekörper zu Bedingungen kommen, welche für Fische mit hohen Sauerstoffansprüchen limitierend werden (am 14.12.1993 lag die Sauerstoffkonzentration von 0–8 m Tiefe zwischen 4 und

Tiefenkarte Amsoldingersee



5 mg/l). Der Amsoldingerseersee zirkuliert bis zum Grund, und kann als **holomiktisch** bezeichnet werden, bei länger dauernder Vereisung zirkuliert er zweimal, er ist **dimiktisch**.

Plankton

Schon in den dreissiger Jahren war weder das Phytoplankton noch das Zooplankton sehr artenreich. Das Zooplankton setzte sich damals aus zwei Zeigerarten für eutrophe (*Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris*) und einer Art für mesotrophe Verhältnisse (*Diaphanosoma brachyurum*) zusammen. Eine weitere Art (*Eudiaptomus gracilis*) bevorzugt oligo- bis mesotrophe Gewässer, kann aber auch in eutrophen überleben. Als planktisch lebendes Insekt lebt die Larve der Büschelmücke im Amsoldingerseersee. Als Art, die im sauerstofffreien Milieu sehr gut überleben kann, verbringt sie den Tag im Hypolimnion und macht nachts Raubzüge auf Kleinkrebse in den oberen Wasserschichten.

Die Artenvielfalt des Phytoplanktons hat zwischen 1933/34 (29 Taxa) und 1993 (zwischen 39 und 61 Taxa) zugenommen. Die Artenvielfalt war im Winter/Frühjahr am höchsten, im Sommer/Herbst 1993 am geringsten. Grünalgen und Augenflagellaten kommen recht häufig vor, was ebenfalls für einen eher hohen Trophiegrad spricht.

Flora

Der Amsoldingerseersee wies 1933–35 dank der natürlichen und unveränderten Verlandungszonen eine sehr artenreiche Flora (39 Taxa) auf. Die Wasservegetation setzte sich, beurteilt nach LAUBER & WAGNER (1996) aus einer Zeigerart für überdüngte Gewässer, neun Nährstoffzeigern, 3 Magerkeitszeigern und 21 indifferenten Arten zusammen. Es kamen Sumpf-, Röhricht- und Schwimmblattpflanzen vor. Die untergetauchten Wasserpflanzen fehlten dagegen, abgesehen

von einem ganz kleinen Myriophyllum-Bestand am Ostende und zwei Laichkrautarten im Graben des Schlossparks, vollständig (VON BÜREN 1938). Das Fehlen von Früchten und Oogonien lässt auch das Vorkommen von Laichkräutern und Armleuchteralgen in noch früherer Zeit als fraglich erscheinen. Andererseits spricht der Zusammenbruch des Molluskenreichtums (siehe «Fauna») eher für eine frühere Besiedlung mit untergetauchten Wasserpflanzen. Auch die Existenz von Seekreide, welche in der Regel durch Wasserpflanzen gebildet wird, stützt diese Hypothese (VON BÜREN 1938).

In den Seekreideablagerungen sind weitere Informationen über die Entwicklung der Produktivität enthalten: Weisse Seekreide fand man 1933–1935 bis in eine Tiefe von 3,5–4,0 m. In 4,5 m war die oberste Schicht mit grauem Schlamm durchsetzt, erst tiefer im Sediment war die Seekreide weiss. VON BÜREN (1938) schloss daraus, dass die trophogene Zone vor den dreissiger Jahren tiefer in den See hinab reichte und die Biomasseproduktion folglich geringer war. Auch diese Ergebnisse weisen auf zeitliche Schwankungen des Trophiegrades hin.

Fauna

Auch in der zeitlichen Entwicklung der Fauna kommt die Dynamik des Kleinsees zum Ausdruck: VON BÜREN (1938) weist auf ein früheres massenhaftes Molluskenvorkommen hin, welches sich aus neun Arten zusammensetzte. Fast sämtliche dieser Mollusken kamen aber schon in den Dreissigerjahren nur subfossil (Schalen in Seekreideablagerungen) vor. Lebende Mollusken konnten lediglich in Einzelexemplaren zweier Arten gefunden werden. Den starken Rückgang der Mollusken führt VON BÜREN (1938) auf den Zusammenbruch der Bestände untergetauchter Wasserpflanzen zurück. Ein so reiches Vorkommen ist nur auf der Basis von submersen Was-

serpflanzen möglich. Auch die Insektenfauna war in den dreissiger Jahren, abgesehen von den Libellen, arten- und individuenarm.

Der See hat heute eine wichtige Bedeutung als Habitat für Erdkröte, Teich- und Grasfrosch; die ersten beiden Arten sind gefährdet. Mit dem Edelkrebs lebt eine weitere gefährdete Art im Amsoldingerseersee. Von neun in den Dreissigerjahren festgestellten Fischarten sind sieben typisch für den nährstoffreichen Mittellandsee, zwei weitere (Aal und Karpfen) zeugen davon, dass schon in dieser Zeit eine rege Faunenverfälschung durch den Menschen stattfand.

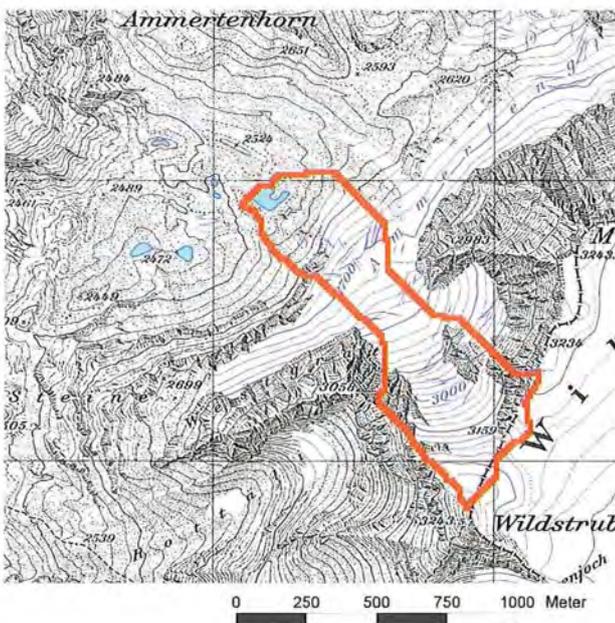


Ammertenseelein

oligotroph



Foto: GBL / K. Gutruf



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1267
 606 181 / 139 938
 2509 m ü.M.
 0.61 ha

Geologie, Geografie und Geschichte

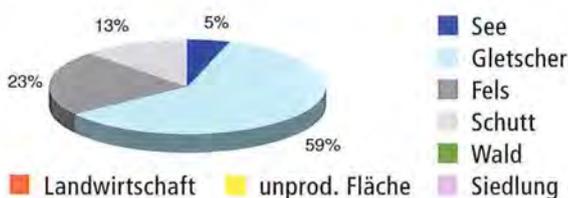
Das Ammertenseelein, es liegt etwa 1 km westlich des Wildstrubel, gehört zu den höchstgelegenen Kleinseen des Kantons Bern. Es ist in den letzten Jahrzehnten durch den Rückzug des Ammertengletschers entstanden. Noch 1980 reichte der Gletscher bis 60 m an den heutigen Rand des Kleinsees. 1992 betrug die Entfernung bereits 160 m. Die grosse Dynamik des Gebietes kommt auch in der Entwicklung der Seefläche zum Ausdruck: In der Landeskarte aus dem Jahr 1985 erscheint der See erstmals in der heutigen Grösse. Noch 1980 existierten im Gebiet lediglich 2 kleine Seelein mit einer Gesamtfäche von 0.057 ha. Die Ursache der Verzehnfachung der Wasserfläche ist nicht bekannt. Eine zunehmende Verdichtung des

Untergrundes durch die Sedimentation von Gletscherschliff könnte eine denkbare Ursache für das Ansteigen des Wasserspiegels gewesen sein. Das Einzugsgebiet ist durch Gletscher, Fels und Geröll geprägt. Auch die Geologie (65% fluvioglazial, 35% karbonatisch) widerspiegelt den glazialen Ursprung des Sees. Mehrere Versuche, den Bergsee mit Fischen zu bewirtschaften, schlugen fehl (RIEDER 1993). Daten über die Wasserqualität liegen keine vor.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 41.65 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3240 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2859 m ü.M.

Flächenanteile



Arnensee

oligotroph

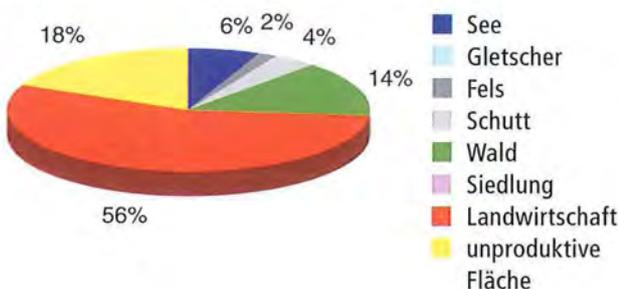
Foto: E. Zbären



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 717.09 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2210 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 1812 m ü.M.

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1265
 582 874 / 137 435
 1543 m ü.M.
 44.99 ha
 47.2 m
 9 592 239 m³

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Arnensee liegt 10 km süd-südwestlich von Gstaad. Während die Wasserfläche ganz auf Berner Boden liegt, befindet sich 1/7 des Einzugsgebietes im Kanton Waadt (PERNET & DUMONT 1960). Nach dem Rückzug der Gletscher entstand in einer Senke ein kleiner See. Beidseitig des Tales kam es zu Hangrutschungen, wodurch im Tal Ablagerungen von 50 m Mächtigkeit entstanden. Ganze Waldpartien wurden dabei ins Tal gerissen. Hinter diesen Gesteins- und Geröllmassen staute sich der See auf. Bei der Absenkung des Seespiegels kamen Tannenstämme zum Vorschein, welche zum Teil noch aufrecht standen. Der See entwässerte ursprünglich via Tschärzibach in die Saane, welche westlich von Saanen den

Kanton Bern verlässt, bei Laupen wieder in den Kanton Bern zurückfliesst und 8 km weiter nördlich in die Aare mündet. Von den 12 Zuflüssen ist der Seebach (= Aigue Courbe) der grösste. Er entspringt einem kleinen See auf knapp 1900 m ü.M. Bis 1920 waren die Spiegelschwankungen minimal, die Maximaltiefe betrug 39.2 m (BOURCART 1906). Die hohe Lage, das grosse Volumen und die gute geologische Abdichtung des Gebietes machen den Arnensee sehr interessant für eine Wasserkraftnutzung. 1912 erhielt die Société Romande d'Electricité die Konzession. Zwischen 1912 und 1920 wurde der Arnensee durch einen Stollen mit dem Grande Eau verbunden. Die Wasserentnahme befand sich in einer Tiefe von 26.5 m. Als Folge dieses Eingriffs entwässert der See seither ins Einzugsgebiet der Rhone. In

den Tschärzibach wird nur noch wenig Wasser abgelassen (GRIMAS & NILSSON 1962). Dadurch konnte vorerst ein Gefälle von rund 370 m hydroelektrisch genutzt werden.

Auf Grund des steigenden Strombedarfs in den vierziger und fünfziger Jahren wurde das Wasser 1942 durch einen 1.5 m hohen Damm aus Mauerwerk gestaut. Eine Erweiterung erfuhr das Projekt 1957, indem das Wasser des «Isenau» gefasst und in den Stollen zwischen Arnensee und Les Diablerets geleitet wurde. Nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefässe trägt das Wasser dieses Baches je nach Seepiegel zur Füllung des Sees bei. Das Einzugsgebiet des Arnensees erweiterte sich so um 58% auf 11.2 km². Gleichzeitig wurde ein 17 m hoher Damm errichtet, hinter dem der See um weitere 8 m höhergestaut werden konnte. Durch eine Kette von weiteren Kraftwerken wurde so das Gefälle (gesamthaft 986.85 m) bis hinunter zur Rhone nutzbar (SCHMIDHAUSER 1923; PERNET & DUMONT 1960).

Diese intensive Nutzung blieb nicht ohne Folgen für den See: Durch die Nutzung als Speichersee entstanden Wasserspiegelschwankungen von 35 m (GRIMAS & NILSSON 1962). Heute betragen sie maximal 23.5 m (pers. Mitt. G. LOCHER, Romande Energie SA). Diese Spiegelschwankungen haben eine sukzessive Uniformierung der Sohle zur Folge, indem Feinsedimente und organisches Material erodiert und unter die Senkgrenze verfrachtet werden. Es bleiben Kies- und Geröllböden übrig (GRIMAS & NILSSON 1962). Auch die Wasserentnahme in 34.5 m Tiefe hatte einschneidende Auswirkungen auf die Thermik des Sees. Die Charakteristik des Bergsees ist ganz wesentlich durch diese Wasserkraftnutzung geprägt.

Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund der Konzentrationen von Gesamtphosphor und -stickstoff ist der See als **oligotroph**

zu bezeichnen. Diese Beurteilung bestätigt sich im Sauerstoff-Tiefenprofil: Weder Übersättigung im Epilimnion noch Zehrung im Hypolimnion konnten festgestellt werden. An der tiefsten Stelle betrug die Sättigung meist über 75%. Dies äussert sich auch in einem hell gefärbten, aeroben Sediment. In keiner Tiefe konnten schwarze Sulfidhorizonte festgestellt werden. Eine feine Schichtung deutet daraufhin, dass die Umschichtung durch Lebewesen (Bioturbation) gering ist. Die Sichttiefen betragen während der Vegetationszeit 3.3 und 4.5 m und sprechen für eine niedrige Produktivität. Die Planktonbiomasse ist noch geringer als im oligotrophen Oeschinensee.

Temperatur / Mischverhalten

Ursprünglich wies der Arnensee im Sommer eine klassische Schichtung auf mit einem Epilimnion zwischen 0 und 5 m, einem Metalimnion zwischen 5 und 15 m und einem mächtigen Hypolimnion zwischen 15 und 40 m. Im Winter unter dem Eis dagegen herrschte eine inverse Schichtung (GRIMAS & NILSSON 1962). Durch die Wasserentnahme auf 34.5 m Tiefe wird nun dem See kaltes Tiefenwasser entzogen, und das Hypolimnion schrumpft auf den Bereich zwischen 30 m und dem Grund. Von der Oberfläche bis in 30 m nimmt die Temperatur kontinuierlich ab. Eine Trennung in Epilimnion und Metalimnion ist nicht mehr feststellbar.

Plankton

Die Zusammensetzung der Bakterien und des Phytoplanktons widerspiegelt ganz deutlich die **oligotrophen Verhältnisse**: An anaerobe Bedingungen angepasste Arten und Schwefelbakterien konnten in keiner Probe nachgewiesen werden. Auch die auf Nährstoffe hinweisenden Augenflagellaten kamen nur in einer von drei Proben in

einzelnen Zellen vor. Gold- und Kieselalgen dominieren sowohl bezüglich Artenzahl wie auch Dichte und Biomasse.

Das Zooplankton setzt sich dagegen sowohl aus Zeigern für oligo- wie eutrophe Verhältnisse zusammen. Die Dichte beurteilen GRIMAS & NILSSON (1962) als hoch. Sie gehen davon aus, dass das Zooplankton durch den Höherstau des Sees zugenommen hat.

Flora und Fauna

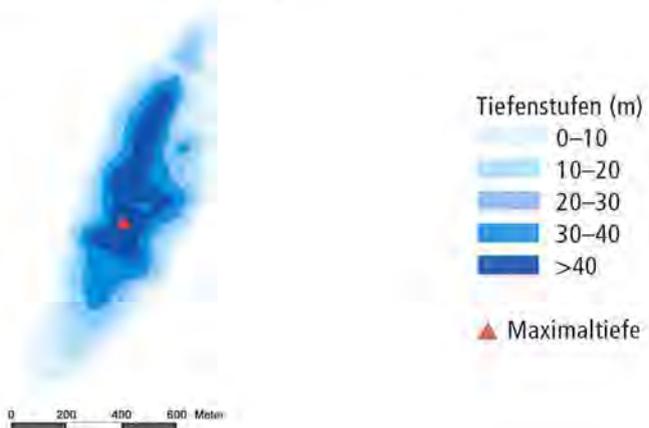
Die Unterwasserflora und -fauna, insbesondere die Fische, wurden durch GRIMAS & NILSSON (1962) untersucht. Die grossen Spiegelschwankungen verhindern eine Besiedlung mit Wasserpflanzen.

Die Bodenfauna ist entscheidend durch die grossen Wasserspiegelschwankungen geprägt: Es konnten grosse quantitative Verluste festgestellt werden, und viele Tiergruppen sind teilweise verschwunden. Der Bereich des Seegrundes, der von Pegelschwankungen betroffen ist, friert jährlich durch, und das Substrat ist sehr monoton (siehe oben). Während in unregulierten Seen im Litoral am meisten Bodentiere (Benthos) leben, ist dieser Bereich im Arnensee praktisch unbesiedelt. Die Benthosdichte im Litoral war 1963 um etwa einen Faktor 10 geringer als im Engstlensee. Die maximalen Dichten wurden dagegen unterhalb der Senkgrenze festgestellt. Auch die Artenzusam-

mensetzung ist verändert: Die Anreicherung des ausgewaschenen Feinmaterials in der Tiefenzone schafft ein günstiges Klima für Ringelwürmer, welche 60% der Gesamtf fauna ausmachen, doppelt so viel wie in Seen mit geringen Pegelschwankungen.

Die Fischfauna scheint ursprünglich aus Elritze, Groppe und Bachforelle bestanden zu haben. Heute ist der See ein beliebtes und stark frequentiertes Angelgewässer. Der Bestand setzt sich gemäss der kantonalen Fangstatistik primär aus den eingesetzten Regenbogenforellen, kanadischen Seesaiblingen und Seesaiblingen zusammen. Daneben leben zahlreiche Arten des Tieflandes (Alet, Brachsmen, Rotaue/Rotfeder/Hasel, Flussbarsch), welche wahrscheinlich durch Fischer verschleppt worden sind. Die Bachforelle hat durch die hydroelektrische Nutzung die Wandermöglichkeit in Zu- und Ausflüsse verloren und ist ausgestorben. Ob die Groppe heute noch im See lebt, kann nicht beurteilt werden, da sie in der Fangstatistik nicht erhoben wird. Auf Grund des geringen Bestandes an Bodentieren leben die Regenbogenforellen im Arnensee primär von Steinfliegenlarven, welche aus den Zuflüssen eingeschwemmt werden, sowie von auf dem Wasser niedergegangenen Landinsekten. Die kanadischen Seesaiblinge dagegen leben hauptsächlich von Elritzen. Daneben spielen Zuckmücken- und Eintagsfliegenlarven eine gewisse Rolle.

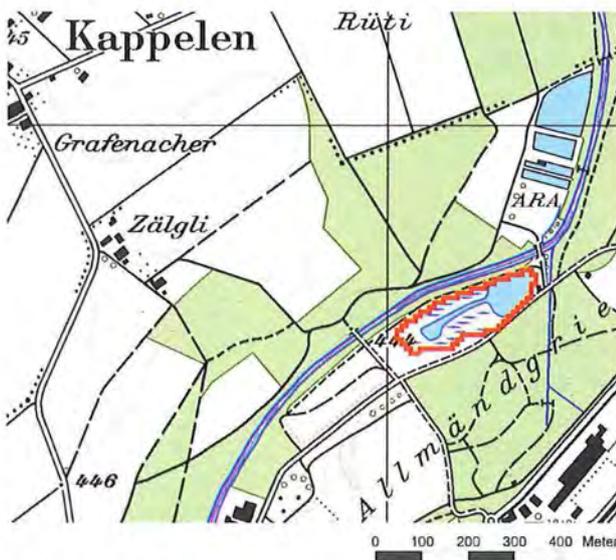
Tiefenkarte Arnensee



Aarbergerweiher

polytroph

Foto: GBL / M. Zeh

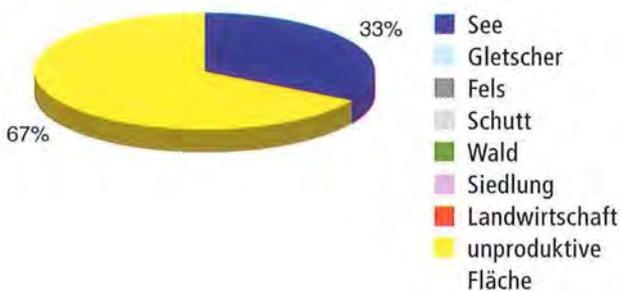


| | |
|------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1146 |
| Koordinaten | 588 292 / 211 657 |
| Maximaltiefe | 444 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 444 m ü.M. |
| Seefläche | 0.96 ha |
| Maximaltiefe | 1.3 m |
| Seevolumen | 4148 m ³ |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 2.51 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 444 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 444 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Nach der 1. Juragewässerkorrektur wurde 1898 die Zuckerrübenfabrik Aarberg in die trocken-gefallene Schwemmebene der Aare gebaut. Um die Humifizierung der unbewachsenen Kiesflächen und die pflanzliche Besiedlung zu beschleunigen, wurde das erdige Rübenwaschwasser grossflächig darauf verteilt. In den sechziger Jahren wurde diese Methode aufgegeben und zu einer konzentrierten Auflandung übergegangen. Es wurden zwei, durch einen Damm voneinander getrennte, Absetzbecken gebaut. Zuerst wurde nur das südwestliche, obere Becken verwendet. Nach zweimaligem Ausbaggern wurde der Überlauf des oberen Beckens, welches mittlerweile über das Niveau der Strasse und

5–6 m über dasjenige der alten Aare reichte, in das untere Becken geleitet. Im oberen Becken lagerten sich so die groben Fraktionen ab, im unteren die feinen. Um die Fraktionierung zu verbessern und die Absetzleistung zu erhöhen, wurde das unterste Becken durch einen Damm noch einmal in zwei Becken geteilt. Im untersten Teilbecken wurde das schwebstoffarme Wasser aufgefangen und als Waschwasser wieder verwendet. Anfangs der achtziger Jahre wurde dann die Erde durch Zentrifugation vom Waschwasser getrennt. Heute geschieht dies mit Schlammpressen. Die ehemaligen Absetzbecken wurden deshalb stillgelegt. Das obere Becken wurde trotz Protesten der Bevölkerung aufgeforstet. Das untere wurde durch Zusammenarbeit mit Fachleuten und der Gemeinde erfolgreich rena-

turiert. Die beiden unteren Teilbecken sind heute durch einen Graben verbunden und bilden den heutigen Weiher. Der Untergrund des heute bestehenden Weihers und des ehemaligen oberen Beckens besteht aus der stark gedüngten Rübenwascherde. Die Sohle des Weihers ist durch die sedimentierten, feinen Festteilchen so abgedichtet, dass kaum Wasser versickern kann. Nur bei starken Niederschlägen fließt Wasser mittels eines Überlaufs in die alte Aare, sonst fehlt ein Abfluss. Das Gewässer wird ausschliesslich durch Oberflächenwasser, das in Form von Niederschlägen auf die Flächen der insgesamt drei ehemaligen Absetzbecken fällt, gespeisen, da eine Röhre im Damm das überstehende Wasser im oberen Becken in den Aarbergerweiher leitet. Niederschläge und Verdunstung halten sich etwa die Waage (pers. Mitt. H. BRUNNER, Kappelen). Das Einzugsgebiet besteht aus Wald (oberes Becken) oder Sumpfröhricht (oberes Teilbecken). Landwirtschaftlich genutzte Flächen fehlen.

Mischverhalten und Temperatur

Die geringe maximale Tiefe von 1.3 m erlaubt keine länger dauernde, stabile Schichtung. Nächtliche Abkühlung und Windereig-

nisse können bereits zu einer Durchmischung führen. Zum Zeitpunkt der einmaligen Probenahme (18.6.1997) hatte sich das Wasser von der Oberfläche bis zum Grund auf 21.4 °C erwärmt. Es liess sich keine Temperaturschichtung erkennen.

Produktivität und Trophiegrad

In keinem anderen der untersuchten Berner Kleinseen konnten so hohe Gesamtphosphor- und Stickstoffgehalte gemessen werden. Der DOC-Gehalt erreichte mit 17 mg/l ebenfalls Spitzenwerte. Der Aarbergerweiher ist als **polytroph** einzustufen.

Im Gegensatz zur Temperatur, welche in der gesamten Wassersäule gleich hoch war, wies der Sauerstoffgehalt einen ausgeprägten Gradienten auf. Über Grund betrug die Sättigung nur noch 2%. Die extreme organische Belastung im Sediment zehrt den Sauerstoff innert kürzester Zeit auf, obwohl dieser durch die hohe Primärproduktion in grossen Mengen freigesetzt und durch die fast tägliche Zirkulation im ganzen Wasserkörper verteilt wird. Dieser Vorgang ist typisch für polytrophe Gewässer.

Der Aarbergerweiher ist ein Gewässer, dessen hoher Trophie-

grad nicht durch heutige Nährstoffzufuhren bedingt ist. Die längst sedimentierte, hochgradig überdüngte Zuckerrüben-Wascherde, die den Untergrund von Weiher und Einzugsgebiet bildet, wird den Weiher noch auf lange Zeit belasten.

Plankton

Der Chlorophyll-a-Gehalt von über 85 µg/l weist auf ein hoch eutrophes Gewässer hin. Zu diesem Wert tragen hauptsächlich Arten der Grünalgen (28 von 52 Taxa) und Blaualgen bei. Die Augenflagellaten, ebenfalls Zeiger eutropher Bedingungen, sind mit sieben Arten vertreten. Die grünlich-braune Wasserfarbe war wegen eines Massenvorkommens des algenfressenden Zooplanktons von roten Punkten durchsetzt. Nebst der Sauerstoffzehrung durch das Sediment kann auch die extrem hohe Zooplanktondichte zur geringen Sauerstoffsättigung von 56% an der Wasseroberfläche beigetragen haben.

Flora

Die vorkommenden Zeigerarten bevorzugen gut gedüngte Standorte. Ausser der weissen Seerose fanden sich nur Sumpfpflanzen und keine untergetauchten Wasserpflanzen. Trotz der geringen

Wassertiefe dürften die Lichtverhältnisse im Wasser wegen der hohen Trophie ungenügend sein.

Fauna

Im Bereich des Weihers kommen Amphibien (Grasfrosch) und Reptilien (Ringelnatter, Blindschleiche) vor, und vom Beobachtungsturm lassen sich Enten und andere Vögel beobachten. Verschiedene Fischarten wurden ausgesetzt. Welche von diesen Arten aber überlebten, ist nicht bekannt. Detailliertere faunistische Daten sind nicht verfügbar.

Tiefenkarte Aarbergerweiher

Tiefenstufen (m)
 0–0.5
 0.5–1
 >1

▲ Maximaltiefe

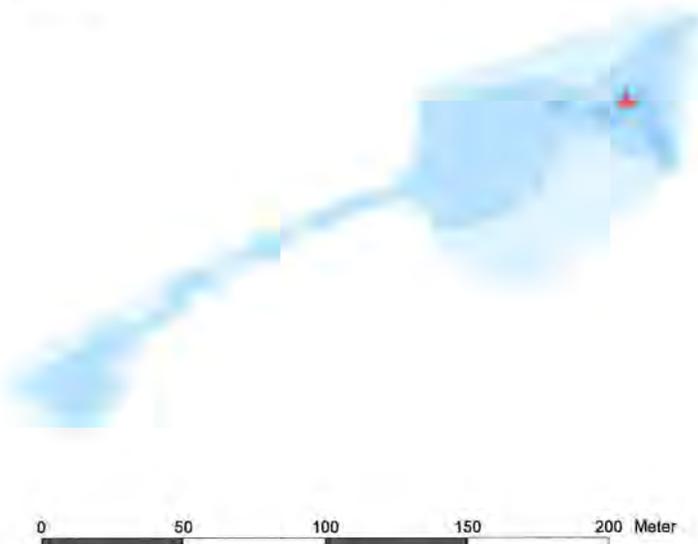
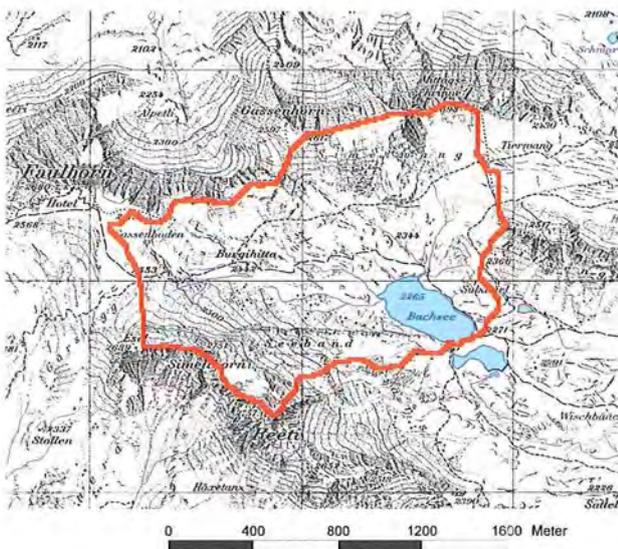




Foto: GBL / M. Zeh

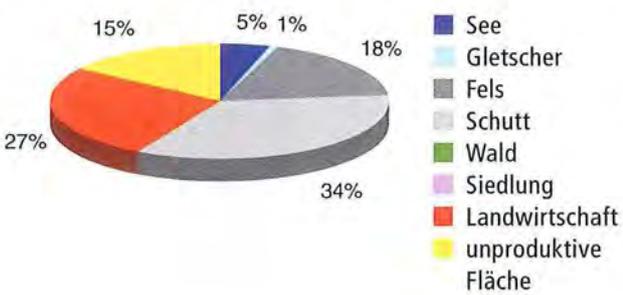


| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1229 |
| Koordinaten | 644 634 / 168 822 |
| Maximaltiefe | 2265 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 8.03 ha |
| Seefläche | 15.8 m |
| Maximaltiefe | 573 354 m ³ |
| Seevolumen | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 167.24 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 168.5 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2749 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2441 m ü.M. |

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Bachsee oder Bachalpsee liegt 5 km nördlich von Grindelwald, südlich der Bergkette von Faulhorn und Schwarzhorn. Er ist durch einen natürlichen Querriegel am südlichen Ufer entstanden.

Im Rahmen der Wasserkraftnutzung durch das Elektrizitätswerk Grindelwald wurde er zwischen 1911 und 1912 höhergestaut und durch einen 108 m langen Tunnel (1% Gefälle) mit dem unteren Bachsee verbunden. Durch diese Eingriffe standen etwa 300 000 m³ Wasser mehr für die Nutzung zur Verfügung (SPENGLER 1973). Das Wasser beider Seen wird im freien Fall zum Ausgleichsbecken bei der Station Bort abgeleitet. In einer Druckleitung gelangt es zur Zentrale im hinteren Teil von Grindelwald, wo es turbinert wird.

Heute liefert das Wasser der Bachseen 1/7 des Stromverbrauches von Grindelwald (pers. Mitt. Hr. MOSER, Elektrizitätswerk Grindelwald AG). Ein geringer Anteil des Wassers verlässt den See oberirdisch. Die ersten Meter dieses Überlaufes fließen über eine sehr steile Schrägmauer. Eine Aufwärtswanderung von Fischen oder Wassertieren ist nicht möglich. Der Austausch zwischen den beiden Seen oder dem Ausfluss (Milibach) ist nicht gewährleistet. Zur Erhöhung der Produktion von teurem Winterstrom wird der Seespiegel in der kalten Jahreszeit um 11 m abgesenkt. Vor der Wasserkraftnutzung waren die Spiegelschwankungen mit 29 cm gering (SPENGLER 1973).

Durch den Bau der Firstbahn im Jahr 1947 wurde das Gebiet für den Sommer- und Wintertourismus erschlossen. Der Nutzungsdruck durch die vielen Touristen

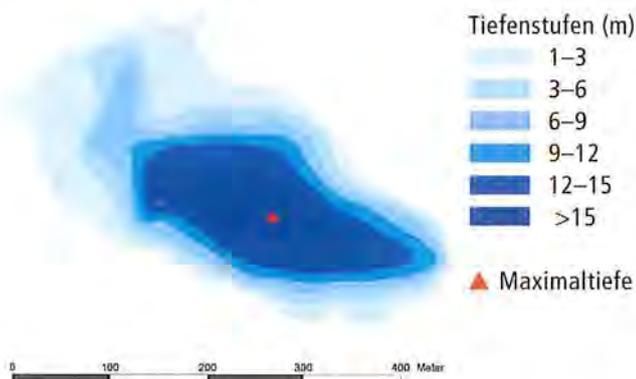
führte zu einer gewissen Belastung des Gewässers und dessen Uferzonen.

Der Bachsee hat vier Zuflüsse, welche während der Schneeschmelze grosse Mengen an Schwebstoffen mit sich führen. Deshalb ist im Sommer das Wasser ziemlich trüb. Dies zeigt sich beim Bachsee besonders stark, da das Gebiet sehr niederschlagsreich ist und leicht erodierbares Gesteinsmaterial vorliegt (SPENGLER 1973).

Temperatur / Mischverhalten

Da der Bachsee in der alpinen Höhenstufe liegt, ist er lange gefroren. 1971 dauerte die Vereisung bis Ende Juni, 1970 sogar noch länger. Unmittelbar nach dem Auftauen des Eises setzt die Frühjahrs-Vollzirkulation ein (SPENGLER 1973). Wegen der starken Trübung durch feine Gesteinspartikel erwärmt sich das Oberflächenwasser im Sommer stärker als in benachbarten, klareren Seen (STEINER 1911), und es können im Sommer Temperaturen bis zu 10.7 °C gemessen werden (Daten EAWAG). Wärmephasen wechseln mit Kälteeinbrüchen und starken Windergebnissen ab. Je nach Stärke des Ereignisses wird die Wärme der oberflächlichen Wasserschichten mehr oder weniger tief eingemischt, und es entstehen wellenartige Temperaturprofile mit «mehreren kleinen Sprungschichten». Erst im Frühherbst kommt es zur «Sommerstagnation» mit einer andeutungsweisen Sprungschicht in 8 m Tiefe

Tiefenkarte Bachsee



(SPENGLER 1973). Der Wärmeumsatz des Bachsees ist grösser als in Kleinseen der Umgebung, da der Bachsee durch seine Grösse mehr Energie aufzunehmen und später wieder abzugeben vermag. Der Unterschied der mittleren Wassertemperatur (Mittelwert über gesamtes Tiefenprofil) zwischen Sommer und Winter ist dagegen im Bachsee nur gering. SPENGLER (1973) führt dies primär auf die Höhenlage, die starken Zuflüsse von kaltem Quell- und Bachwasser und auf die lange dauernde Vereisung zurück. Durch die starke Windexposition verdunstet das Wasser am Bachsee stärker als in benachbarten Seen (SPENGLER 1973).

Produktivität / Trophiegrad

Der Bachsee ist auf Grund der mittleren Gesamtphosphorkonzentration von 21 µg/l als mesotroph zu beurteilen (MÜLLER ET AL. 1998). Diese Nährstoffgehalte finden auch in der Biologie des Sees ihren Niederschlag: Am 11.8.1993 war das Wasser bis zu 132% mit Sauerstoff übersättigt, was auf starke Photosynthese durch Phytoplankton und Wasserpflanzen hindeutet. Für eine starke Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser reicht die Primärproduktion dagegen nicht aus, was für mesotrophe Seen typisch ist. Das Sediment weist Laminationen auf (siehe Abbildung), was durch den Wechsel von feinen und groben Partikeln zustandekommt (vergl. Oeschinensee). Eine solche Schichtung bleibt nur erhalten, wenn das

Sediment nicht durch die Bodenfauna umgeschichtet wird. Dank der sehr kargen Bodenfauna trifft dies für den Bachsee zu.

Plankton

STEINER (1911) konnte 1909 nur sehr wenige Phytoplanktonarten nachweisen und sucht die Ursache in der zeitweise starken Wassertrübung. Auch SPENGLER (1973) beschreibt nur ein vereinzelt Auftreten von Phytoplankton. Das Zooplankton dagegen bezeichnet STEINER (1911) als «recht beträchtlich». Neuere Daten über das Phyto- und Zooplankton sind nicht verfügbar.

Flora und Fauna

Auch die Flora und die Litoralfauna war anfangs dieses Jahrhunderts auf Grund der starken sommerlichen Wassertrübung sehr spärlich (STEINER 1911). Untergetauchte Wasserpflanzen konnte er damals keine beobachten. 64 Jahre später wies SPENGLER (1973) Bestände von zwei Armluchteralgenarten nach. Vermutlich dürfte in der Zwischenzeit das Wasser deutlich klarer geworden sein. Während STEINER (1911) anfangs September 1909 beim Eintauchen des Armes bis zum Ellbogen die Finger nicht mehr erkennen konnte, stellte SPENGLER (1973) in der gleichen Jahreszeit eine Secchitiefe von 3.5 m fest. Es ist ferner davon auszugehen, dass die winterliche Absenkung des Sees ganz wesentlich zur Armut an Wasserpflanzen beiträgt. Die fischereiliche Bewirtschaftung erfolgt heute vor allem mit nordamerikanischen Fischarten (Regenbogenforelle, kanadischer Seesaibling), während die einheimische Bachforelle in der Besatzwirtschaft eine untergeordnete Rolle spielt. Während der Probenahme vom 13.8.1997 konnte die Elritze, welche sich natürlich fortpflanzt, in grossen Schwärmen beobachtet werden. 1994 wurde der Alpensalamander im Gebiet des Bachsees nachgewiesen (Daten CSCF).



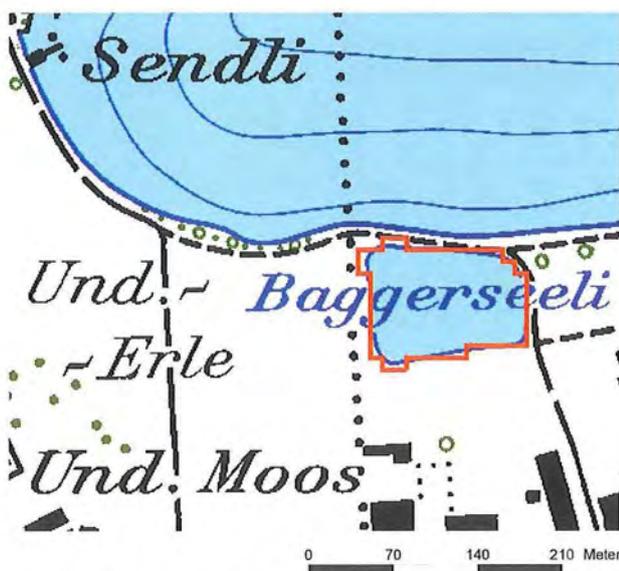
Foto: EAWAG

Baggerseeli Bönigen

mesotroph



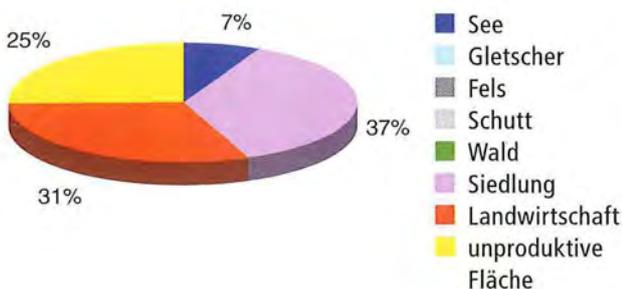
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 1.15 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 564 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 564 m ü.M.

Flächenanteile



| | |
|------------------------|-----------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1208 |
| Koordinaten | 634 447 / 171 218 |
| Maximaltiefe | 564 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 1.07 ha |
| Seefläche | 6.5 m |
| Maximaltiefe | 34 221 m ³ |
| Seevolumen | |

Geschichte, Hydrologie

Der Baggersee Bönigen liegt in der gleichnamigen Gemeinde am unteren Ende des Brienzersee-Südufers. Die Lutschine hat vor der Kanalisierung zwischen Bönigen und Interlaken ihr Geschiebe abgelagert. Durch die Ausbeutung dieser Fluss-Schotter ist der rechteckige, etwa 1 ha grosse Kleinsee entstanden. Ihm fehlt ein oberirdischer Zu- und Abfluss. Es ist anzunehmen, dass Grundwasser in den See infiltriert. Das topographische Einzugsgebiet ist nicht viel grösser als der See selbst, wobei Siedlungen und landwirtschaftlich genutzte Flächen den grössten Teil ausmachen.

Temperatur / Mischverhalten

Der an der tiefsten Stelle 6.5 m messende See wies zum Zeitpunkt der einmaligen Probenahme (30.4.1997) keine Temperaturschichtung auf. Auf Grund seiner Seefläche wäre eine vollständige Mischung bis in eine Tiefe von 10.2 m möglich (vergleiche Formel nach BERGER S.9 in ANONYMUS 1997). Es ist deshalb von einem holomiktischen Zirkulationsverhalten auszugehen.

Produktivität und Trophiegrad

Die Nährstoffgehalte erreichen knapp mesotrophe Werte. Der DOC-Gehalt und die elektrische Leitfähigkeit sind dagegen relativ hoch und weisen auf eine anthropogene Belastung hin. Bis

in 5 m Tiefe war das Wasser mit Sauerstoff gesättigt. Erst über Grund nahm die Sättigung auf 52% ab. Sauerstoffsättigungen zwischen 30 und 70% am See-Grund an der tiefsten Stelle sind typisch für **mesotrophe** Gewässer.

Plankton

Die Sichttiefe von 2.6 m und der Chlorophyll-a-Gehalt von 5.5 mg/m^3 sprechen ebenfalls für eine mässige Belastung des Baggersees Bönigen. Im April war das Phytoplankton artenreich (69 Taxa) und setzte sich hauptsächlich aus Grünalgen (19 Vertreter), Kieselalgen (16) und Goldalgen (10) zusammen, wie es unter mesotrophen Verhältnissen in etwa zu erwarten ist. Ein Vertreter der Augenflagellaten deutet auf eine gewisse Nährstoffbelastung hin. Im Zooplankton wurden fünf verschiedene Arten entdeckt.

Zwei davon bevorzugten eher eutrophe, zwei mesotrophe und eine Art oligotrophe Gewässer.

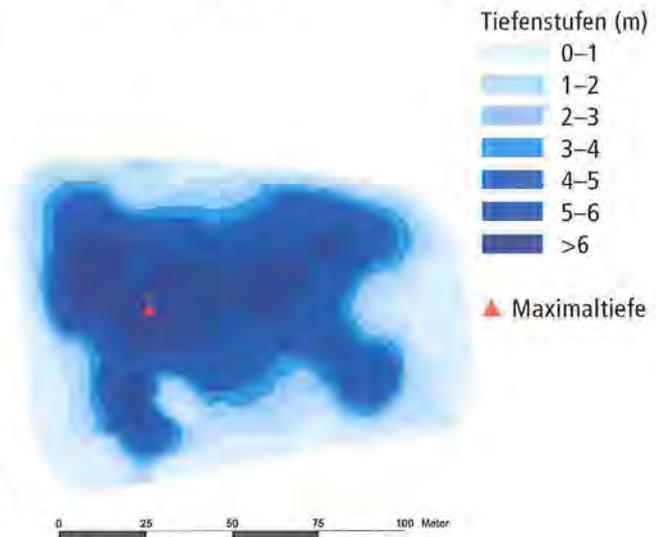
Flora

Die relativ steilen Ufer verhindern die Ausbildung eines ausgedehnten Röhrichtes. An den flacheren Stellen wachsen verschiedene Seggenarten und die See-Flechtbinse. Einige Weiden und andere Gehölze bilden einen lockeren Saum um das Gewässer. Es ist möglich, dass auch untergetauchte Wasserpflanzen in diesem Gewässer vorkommen. Solche konnten jedoch zum Zeitpunkt der Probenahme noch nicht beobachtet werden.

Fauna

Der Baggersee wird als Pachtgewässer von einem Fischereiverein bewirtschaftet. Dabei werden verschiedene Arten (z. B.

Tiefenkarte Baggerseeli in Bönigen



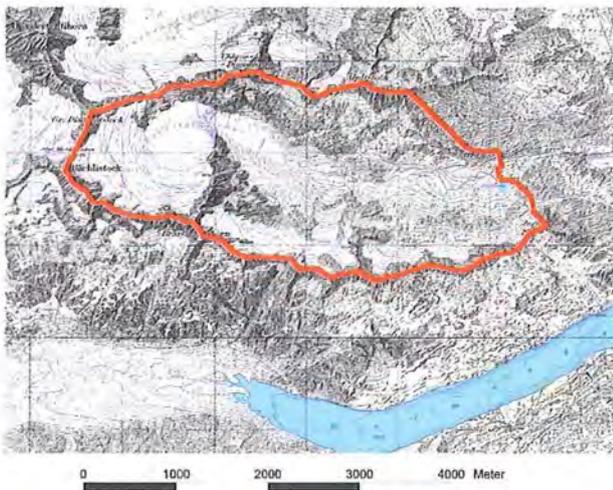
Flussbarsch und Hecht) eingesetzt. Daneben ist der exotische Sonnenbarsch zu finden, der durch Aquarianer in den See gelangt sein dürfte. Auch der amerikanische Kamberkrebs hat bereits seinen Weg in dieses Gewässer gefunden. Auf Grund der

unmittelbaren Nähe von Siedlungen ist das Seelein einem starken Erholungsdruck ausgesetzt. Auch dies dürfte mit ein Grund sein, dass das Gewässer nicht als wertvolles Habitat für Insekten, Amphibien und Vögel gewertet werden kann.

Bächlisee

oligotroph

Foto: GBL / M. Zeh

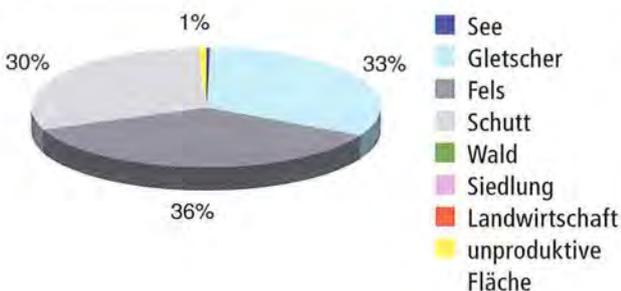


| | |
|------------------------|-------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1230 |
| Seekoordinaten | 666 175 / 159 625 |
| Höhe Seeoberfläche | 2165 m ü.M. |
| Seeffläche | 1.32 ha |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 776.72 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 81 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 3245 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2567 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Der Bächlisee liegt auf 2165 m ü.M. nördlich des Grimselsees. Sein Einzugsgebiet wird durch einen Stollen, der Wasser aus dem Tal nördlich des Alplistockes in den Seezufluss leitet, künstlich vergrößert. Im Bereich des Zuflusses befindet sich die ökologisch sehr wertvolle Schwemmlandchaft Bächlisboden (SIGMAPLAN 1988). Der Bach ist in verschiedene Wasserarme geteilt, und die gesamte Schwemmebene steht dem Bach zur Verfügung. Der Lauf ist einer grossen Dynamik unterworfen und verändert sich nach jedem Hochwasser. Der gestaute See wird durch einen Stollen entwässert, der in den Grimselsee führt. Das topographische Einzugsgebiet besteht zu einem überwiegenden Teil aus Granitgestein in Form von Fels und Schutt. In den höheren Lagen ist der Boden vom Gletschereis bedeckt.

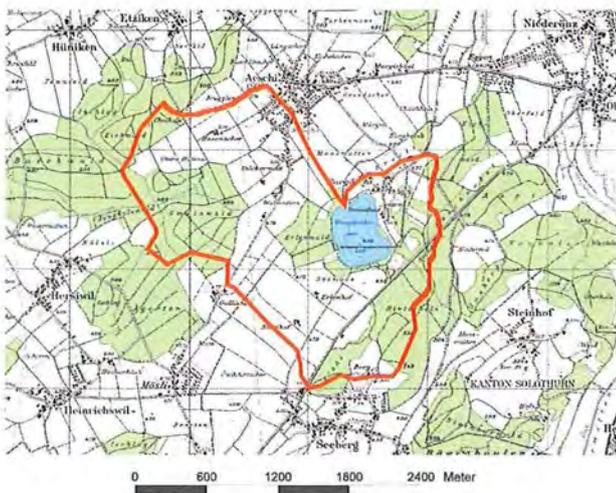
Das Konzessionsprojekt 1988 zum Ausbau von Grimsel-West sah im Bächlisboden einen Steinbruch vor, um das dort gewonnene Material zusammen mit Kies und Sand in einer grossen Aufbereitungsanlage zu Beton-Zuschlagstoffen für den Bau der Staumauer zu verarbeiten. In der Projektanpassung von 1990 wird jedoch auf den Steinbruch und die Aufbereitungsanlage gänzlich verzichtet (BENELLI 1990). Damit werden im Bächlisboden weitere bleibende Eingriffe in die Landschaft vermieden. Der Bächlisee und sein Einzugsgebiet stehen jedoch weiterhin im Dienste der Energienutzung durch die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO). Über die weiteren limnologischen Parameter ist nichts bekannt. Auf Grund des grossen Durchflusses (künstlich erhöht) und des alpinen Einzugsgebietes ist der See mit grösster Wahrscheinlichkeit als oligotroph einzuordnen.

Burgäschisee

hoch-eutroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1127
 617 432 / 224 211
 465 m ü.M.
 20.65 ha
 30.0 m
 2 784 114 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Burgäschisee liegt etwa 10 km südwestlich von Langenthal. Er ist wie der nahe gelegene Inkwilsersee ein Moränensee, welcher nach dem Rückzug des Rhonegletschers entstanden ist. Das Seebecken ist durch Tot-eismassen vor frühzeitiger Verlandung bewahrt worden (Tot-eissee) (BAUMBERGER 1911). Durch seine grosse Tiefe und die relativ geringe Grösse des Einzugsgebietes ist der Burgäschisee einer der wenigen Mittellandseen, welche natürlicherweise nicht eutroph, sondern mesotroph wären (BINDERHEIM-BANKAY 1998). Via Seebach entwässert der See in die Önz und diese in die Aare. Der mittlere Jahresabfluss des Seebachs wird auf 48 l/s geschätzt, die theoretische Wasseraufenthaltszeit beträgt

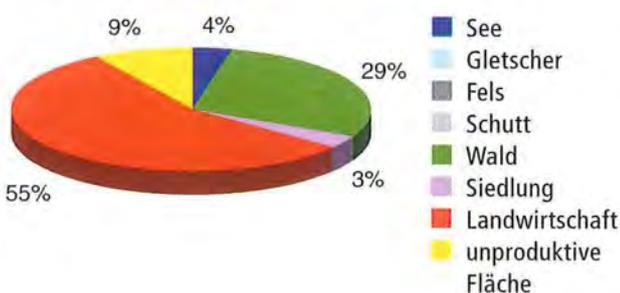
somit rund 17 Monate (AMBÜHL & STUMM 1976).

Wie viele andere Kleinseen war auch der Burgäschisee mit seinem grossen moorigen Umland wie geschaffen für Landgewinnung. Dieses Ziel wurde durch Seeabsenkung und Entsumpfung verfolgt. Die Zeit der ersten Seeabsenkung ist nicht genau bekannt: ARN (1945) geht davon aus, dass diese um 1850 stattfand, WEBER (1989) dagegen berichtet, dass der See 1880 um 20 cm abgesenkt wurde. Die Auswirkungen auf den See selbst waren geringfügig, in der Umgebung jedoch waren schon damals grosse Moorflächen verschwunden (PROBST 1911). Dennoch war das Gebiet um die Jahrhundertwende von einer grossen landschaftlichen Vielfalt geprägt, welche durch ein Nebeneinander von Natur und menschlicher Nutzung zustande

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 382.73 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 319 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 541 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 484 m ü.M.

Flächenanteile



kam: Der See wurde durch viele Bäche und Gräben aus den «Mösern» gespeist. Schwingende Rasen reichten damals noch bis ans Seeufer, und auch der Seebach floss, gesäumt von Weiden und Erlen, in Windungen der Önz entgegen. Ein Mosaik von unterschiedlich alten Torfstichen bot Lebensraum für Pionierarten von Pflanzen und Tieren.

Bereits 1917 bestanden Pläne für eine grosse Seeabsenkung, deren Verwirklichung aber aus finanziellen Gründen scheiterte. Im Rahmen des Plans Wahlen wurde 1941 das Projekt wieder aufgegriffen. Innerhalb von zwei Monaten wurde der See zwischen Mai und Juli 1943 in zwei Etappen um gut zwei Meter abgesenkt, der Seebach auf einer Strecke von 735 m eingedolt und auf der restlichen Strecke kanalisiert (ARN 1945; VON BÜREN 1949). Die Wanderverbindung für Wasserlebewesen zur Önz und zur Aare war damit unterbrochen (MAURER 1998). Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurden alle Zuflüsse kanalisiert und mit Beton-Halbschalen oder Bretterboden versehen sowie sämtliche Feuchtstandorte ausser dem Burgmoos künstlich entwässert (WEBER 1989). Grosse Moorgebiete und eine völlig intakte Verlandungszone wurden damit zerstört.

Schon die Entsumpfungen im letzten Jahrhundert läuteten wahrscheinlich den ökologischen Wandel des Sees ein, wie AMBÜHL & STUMM (1976) vermuten: 1943–45 hatte sich der Zustand des ursprünglich mesotrophen Sees bereits in den Übergangsbereich zwischen meso- und eutroph verlagert (VON BÜREN 1949). In der Untersuchung im Jahr der Absenkung konnten bereits Auswirkungen auf den See festgestellt werden (VON BÜREN 1949). Was man damals noch nicht ahnte, traf in den folgenden Jahren ein: Die gesamte Ökologie des Sees veränderte sich weiter zum Negativen: Durch die Absenkung des Grundwasserspiegels gelangte Sauerstoff in den Moorboden, und es setzte eine Mineralisation ein. Grosse Mengen an Nährstoffen wurden freigesetzt und gelangten zusammen mit Dünger, welcher durch die immer intensiver werdende Landwirtschaft auf Felder und Wiesenland ausgebracht wurde, via Drainagen in den See. Auch häusliche Abwässer trugen letztlich dazu bei, dass der See zunehmend überdüngt wurde. Häufig traten Algenblüten auf, und in der Tiefe wurde dem Seewasser der Sauerstoff entzogen. Mit Ausnahme der obersten zwei Meter war das Wasser

im Sommer eine faulige stinkende Brühe, in der weder Fische noch Invertebraten leben konnten. Der zeitweise penetrante Geruch nach faulen Eiern minderte zudem die Qualität als Erholungs- und Badegewässer. Es bestand dringlicher Handlungsbedarf zur Sanierung des Sees.

Produktivität / Trophiegrad

Die hohen Nährstoffgehalte, vollständiger Sauerstoffschwund und reduzierende Bedingungen im Hypolimnion, massive Sauerstoff-Übersättigungen im Epilimnion (bis 500%) charakterisieren den Burgäschisee auch heute noch als **hoch eutroph** (ZEH & ZBÄREN 1995; ZEH 1996; AMBÜHL & STUMM 1984). Während der Phosphorgehalt (siehe Sanierungsmassnahmen) zurückging, hat die Nitratkonzentration sukzessive zugenommen und ist erst seit 1986 leicht rückläufig.

Temperatur / Mischverhalten

Die Tiefe des Burgäschisees ist im Verhältnis zur Oberfläche sehr gross. Teilweise bewaldete Ufer tragen zusätzlich dazu bei, dass der Wind nicht optimal angreifen und so zur Zirkulation des Wassers beitragen kann. Dennoch hat der Burgäschisee in den vierziger Jahren regelmässig zweimal im Jahr gemischt (VON BÜREN 1949), der See war **dimiktisch**. Eine optimale Anreicherung des Tiefenwassers mit Sauerstoff war damals noch möglich, und die Sauerstoffsättigung sank während der Stagnationsphase im Sommer auch an der tiefsten Stelle über dem Seegrund nie unter 18%. Spätere Untersuchungen zeigen, dass die Mischung oft nicht mehr vollständig bis hinunter an den Seegrund stattfindet (AMBÜHL & STUMM 1976; ZEH & ZBÄREN 1995). Der See entwickelte sich in Richtung **meromiktisch**. Die unvollständige Zirkulation verhindert, dass das Wasser im Winterhalb-

jahr mit Sauerstoff angereichert wird. Schon im Mai ist über dem Grund jeglicher Sauerstoff aufgezehrt, und im weiteren Verlauf verschiebt sich die sauerstofflose Zone immer weiter nach oben. Ende Sommer ist das Wasser in mehr als 5 m Tiefe völlig anoxisch.

Plankton

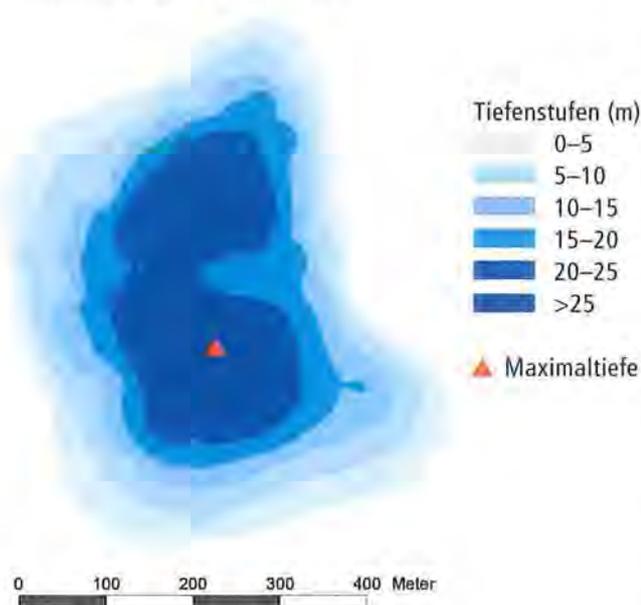
Dichte und Artenzusammensetzung des Planktons sowie die hohen Konzentrationen an Chlorophyll a sprechen ebenfalls für den hohen Trophiegrad des Burgäschisees. Auch nach der Installation einer Tiefenwasserableitung (siehe **Sanierungsmassnahmen**) verbesserte sich die Situation nicht (ZEH & ZBÄREN 1995).

Flora

Die Flora des Burgäschisees wurde in verschiedenen Jahren (1911, 1943–45, 1976 und 1986) umfassend untersucht: Es bestehen somit optimale Grundlagen zur Beurteilung der zeitlichen Veränderungen, insbesondere unter dem Aspekt der Seeabsenkung und Eutrophierung. ARN (1945) beobachtete, dass sich die nackten Ufer nach der Absenkung relativ rasch wieder mit Schilf besiedelten, und vermutete, dass die Wunden des Eingriffs recht schnell verheilen werden. Die Realität zeigte aber, dass ausgesprochene Moorpflanzen abgesehen vom Burgmoos zwischen 1911 und 1945 flächendeckend aus dem Gebiet verschwunden sind und Röhrichte und Grosseggengerieder massive Einbussen erlitten haben, vgl. PROBST (1911) und VON BÜREN (1949). Dieser Flächenverlust ist dadurch erklärbar, dass sich die Wasserlinie in den steilen Haldenbereich verschob und die zuvor dicht mit Pflanzen besiedelten grossflächigen Uferbänke austrockneten. Dies wird eindrücklich durch VON BÜREN (1949) beschrieben.

Gross war auch das Ausmass der langfristigen Folgen, welche durch die Eutrophierung ausgelöst worden sind: Von der ur-

Tiefenkarte Burgäschisee



sprünglichen Vegetation sind 5 untergetauchte Arten verschwunden, drei davon Magerkeitszeiger (GEMSCH & VASELLA 1990). Das Kammlaichkraut, dessen Auftreten in eutrophierenden Gewässern mehrfach beobachtet wurde, erschien dagegen neu. Die Diversität der untergetauchten Arten ist um 50% zurückgegangen (LACHAVANNE 1979). Auch unter den Röhrichtpflanzen haben Zeiger für nährstoffarme Gewässer stark abgenommen oder sind ganz verschwunden (GEMSCH & VASELLA 1990). Während der Burgäschisee 1911 noch von einem dichten Röhrichtgürtel umsäumt war, wies dieser schon 1979 grosse Lücken auf (LACHAVANNE 1979), 1987 gab es nur noch wenige Gebiete, in denen das Röhricht auf langer Strecke stand. Insbesondere das Schilf ist markant zurückgegangen: Einerseits ist bekannt, dass Überdüngung von Gewässern (insbesondere mit Stickstoff) zum Rückgang der Wasserschilfbestände führen kann (GUTHRUFSEILER 1993). Andererseits wurde das Schilf durch die Ausdehnung der Ufergehölze und Verbuschung, welche als Folge der Entsumpfung einsetzte, zusätzlich vom Ufer her zurückgedrängt. Nur in durchnässten Gebieten ist es gegenüber Sträuchern und Bäumen konkurrenzfähig. In trockengelegten Arealen wird es immer stärker beschattet und verkümmert.

Fauna

Vögel: Der Arten- und Individuenreichtum hat seit der letzten Melioration stark abgenommen (VON BÜREN 1949). Insbesondere Arten, welche auf Röhrichte angewiesen sind, erlitten massive Bestandeseinbrüche oder verschwanden vollständig (ARN 1945; VON BÜREN 1949). Selbst anpassungsfähige Arten wie Stockente, Teich- und Blässhuhn waren betroffen (VON BÜREN 1949). Arten mit hohen ökologischen Ansprüchen wie Zwergrohrdommel (VON BÜREN 1949) und Flussuferläufer (ARN 1945) sind ganz verschwunden.

Fische: Der grösste Teil der 10 vorkommenden Arten ist typisch für eutrophe stehende Gewässer. Der Bitterling findet im Burgäschisee heute noch geeigneten Lebensraum. Der Lebenszyklus dieser Fischart ist ganz eng an das Vorkommen von Fluss- und Teichmuscheln gebunden. Er gilt in der Schweiz als stark gefährdet. Karausche und Sonnenbarsch sind zwei standortfremde Arten, welche wahrscheinlich durch Teichbesitzer oder Aquarianer in den See gelangten. Mit dem Teichfrosch und dem Edelkrebs leben zwei weitere gefährdete Tierarten im Burgäschisee.

Am Burgäschisee leben 37 verschiedene **Libellenarten**. Damit ist er eines der libellenreichsten Kleingewässer Mitteleuropas (WEGMÜLLER 1991). Auch sehr seltene Arten kommen vor: Der Zweifleck, eine vom Aussterben bedrohte Art, lebt ausser am Burgäschisee nur noch an vier Gewässern der Schweiz. Drei weitere Arten gelten als stark gefährdet und neun als gefährdet. Diese Vielfalt kann gut durch die Vegetationsverhältnisse des Sees erklärt werden: Im Burgäschisee existiert eine zum Teil dichte Vegetation an untergetauchten Wasserpflanzen, ein intakter Schwimmblattgürtel und auch noch Restbestände von Röhrichtern. Alles sind wichtige Habitate für verschiedene Libellenarten. Als Lebensraum für Larven, als Eiablagesubstrat, als Ausstiegsmöglichkeit für Larven, die kurz vor der Metamorphose stehen, und als Warte für die Jagd der ausgewachsenen Insekten spielen Wasserpflanzen eine entscheidende Rolle. Dennoch gibt es auch in der Libellenfauna Anzeichen dafür, dass sich der Lebensraum im Gebiet des Burgäschisees verschlechtert hat. Im Vergleich mit LINIGER (1889, zit. in WEGMÜLLER (1991)) haben von 21 Arten 10 in ihrem Bestand deutlich abgenommen. Dies betrifft besonders Arten, welche eng an den Schilfgürtel gebunden sind. 51% der gefundenen Arten stellen keine hohen Ansprüche an ihren Lebensraum (WEGMÜLLER 1991).

Eine solche Abnahme der Diversität ist meist ein Zeichen für eine Verarmung des Lebensraumes. Insbesondere die Zerstörung der Moore durch Melioration, die Überdüngung und die Kanalisierung der Zu- und Ausflüsse können dafür verantwortlich gemacht werden. Um eine weitere Verarmung zu verhindern, ist es notwendig, die seltenen Vegetationselemente vor weiterem Rückgang zu bewahren und soweit möglich zu fördern.

Sanierungs-massnahmen

Als nach dem Anschluss der Gemeinden Aeschi und Burgäschli an die Kanalisation keine Gesundung des Sees eintrat, wurde die EAWAG beauftragt, einen Sanierungsplan auszuarbeiten. Da Massnahmen im Einzugsgebiet (Extensivierung der Landwirtschaft, Pufferstreifen) kurzfristig schwer durchzusetzen sind und erst mit einer grossen zeitlichen Verzögerung zum Erfolg führen, waren rasch wirkende Massnahmen notwendig. Eine Tiefenwasserableitung (TWA) wurde als bestgeeignete Sofortmassnahme beurteilt und im September 1977 in Betrieb genommen (EMCH + BERGER 1976). Mit Hilfe einer Rohrleitung wird nährstoffbelastetes, sauerstoffreiches und giftiges Tiefenwasser von der tiefsten Stelle des Sees direkt im freien Fall in den Seebach abgeleitet. Dort werden die giftigen Stoffe (Schwefelwasserstoff, Sulfid und Ammoniak) nach kurzer Fliessstrecke durch Zutritt von Sauerstoff zu ungiftigen Substanzen oxidiert (der Seebach wird dadurch jedoch sehr stark mit Nährstoffen belastet). Dank dieser Massnahme konnte der Nährstoffgehalt im Hypolimnion (insbesondere Phosphor und Ammonium) stark gesenkt werden. Auch die sauerstoffhaltige Oberflächenschicht ist tendenziell grösser geworden. Durch die Ableitung von nährstoffreichem, kaltem (= schwerem) Tiefenwasser trägt die TWA zudem

zur Schwächung der Schichtungsstabilität bei. Dadurch ist gewährleistet, dass die Zirkulation früher im Jahr einsetzt und das Tiefenwasser besser mit Sauerstoff angereichert wird (AMBÜHL & STUMM 1976). Schon bei der Projektierung wurde darauf hingewiesen, dass die TWA eine Symptombekämpfung ist. Ohne gleichzeitige Massnahmen im Einzugsgebiet kann sie nicht zur Gesundung des Sees beitragen (AMBÜHL & STUMM 1976), was klar aus den Ergebnissen der Erfolgskontrolle hervorgeht (AMBÜHL & STUMM 1984): Die immense Algenproduktion, welche die Ursache des Sauerstoffschwundes ist, konnte mit Hilfe der TWA nicht vermindert werden, da der Nährstoffinput aus dem Landwirtschaftsgebiet alleine ausreicht, um die üppige Algenproduktion aufrechtzuerhalten.

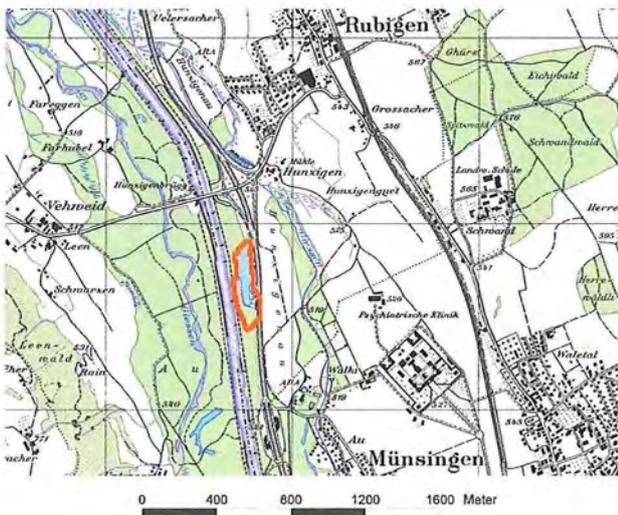
Aus diesem Grunde wurde ein umfassendes **Natur- und Landschaftsschutzkonzept** erarbeitet. Das Konzept sah vor, das Schutzgebiet um 28 ha zu erweitern und den Seespiegel um einen Meter anzuheben. Die Anlage eines Teich- und Kanalsystems sollte zudem dazu beitragen, den Abflüssen aus der Drainage Nährstoffe zu entziehen. Die Aufgabe der Waldnutzung und extensive Nutzung eines Pufferstreifens sollten zusätzlich den Nährstoffeintrag vermindern helfen. Dieser Massnahmenkatalog hätte zur Gesundung des Sees, zu einer umfassenden Aufwertung des Lebensraumes und zur Wiederherstellung der ökologischen Vernetzung zwischen Land und Wasser beigetragen (WEBER 1989). Das Projekt scheiterte an der grundsätzlichen Opposition der bernischen Landbesitzer und Landwirtschaftskreise. Im Kanton Solothurn stiess das Projekt auf geringeren Widerstand und hätte wahrscheinlich realisiert werden können (WEBER 1991).

Baggersee Hunzigen

mesotroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1187
 607 732 / 192 838
 519 m ü.M.
 2.02 ha
 5.2 m
 37 427 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Baggersee Hunzigen liegt in der westlichen Hunzigenau, 10 km südöstlich von Bern. Er liegt im ursprünglichen Auengebiet der Aare (siehe Baggersee Kiesen). Der Baggersee Hunzigen ist, wie zahlreiche andere Kleinseen, «Lebensraum aus zweiter Hand»: An einer Stelle, die zuvor landwirtschaftlich genutzt worden war, ist er durch Kiesausbeutung in den siebziger Jahren im Rahmen des Baus der Autobahn A6 entstanden. Gegen Ende der Baggerarbeiten wurde ein Konzept für die Gestaltung des Sees ausgearbeitet. Das Ostufer wurde durch Einbringen von Aushub aus der nördlich gelegenen Kleinhöchstettenau abgeflacht. Dieser Aushub enthielt Wurzelwerk und Keime der in der Klein-

höchstettenau vorkommenden Sumpf- und Wasserpflanzen. Dadurch war eine pflanzliche Besiedlung der neu geschaffenen Flachwasserzone gewährleistet. Auch die übrigen Ufer wurden, soweit möglich, abgeflacht. Zudem wurde an der Südostecke eine künstliche Insel geschaffen (HAURI 1978). Sein Einzugsgebiet entspricht mehr oder weniger der Seefläche. Die Hydrologie wird vorwiegend durch Grundwasser beeinflusst.

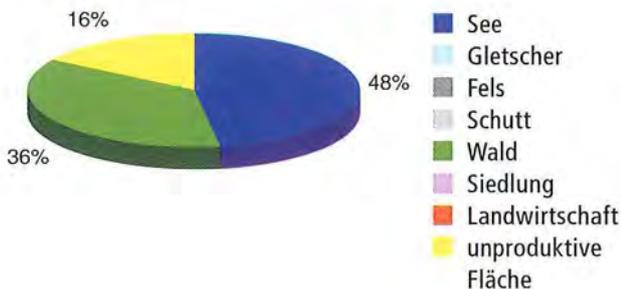
Temperatur / Mischverhalten

Der Baggersee wies zur Zeit der Probenahme (2.4.1997) keine Schichtung auf, und die Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser betrug lediglich 0.5 °C. Keiner der un-

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 4.30 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 519 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 519 m ü.M.

Flächenanteile



tersuchten Parameter wies einen Gradienten auf, was darauf hinweist, dass die Vollzirkulation noch nicht sehr lange zurücklag. Auf Grund seiner Seefläche wäre eine vollständige Mischung bis in eine Tiefe von 11.9 m möglich (vergleiche Formel nach BERGER S. 9 in ANONYMUS 1997). Es ist daher von einem **holomiktischen** Verhalten auszugehen. Ob sich im Sommer eine stabile Schichtung aufbauen kann, ist angesichts der geringen Tiefe unwahrscheinlich, kann aber auf Grund der einmaligen Probenahme nicht mit Sicherheit gesagt werden.

Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund der mittleren Gesamtposphorkonzentration von 11 µg/l und einer Chlorophyll-a-Konzentration von 4.8 mg/l ist das Gewässer als **mesotroph** zu bezeichnen. Die Sauerstoffverhältnisse können nicht zur Beurteilung des Trophiegrades beigezogen werden, da die Probenahme während oder kurz nach der Zirkulation stattfand. Die leichte Untersättigung der gesamten Wassersäule kann sowohl durch das Mischverhalten als auch durch den Zufluss von nicht 100% gesättigtem Grundwasser zustandekommen.

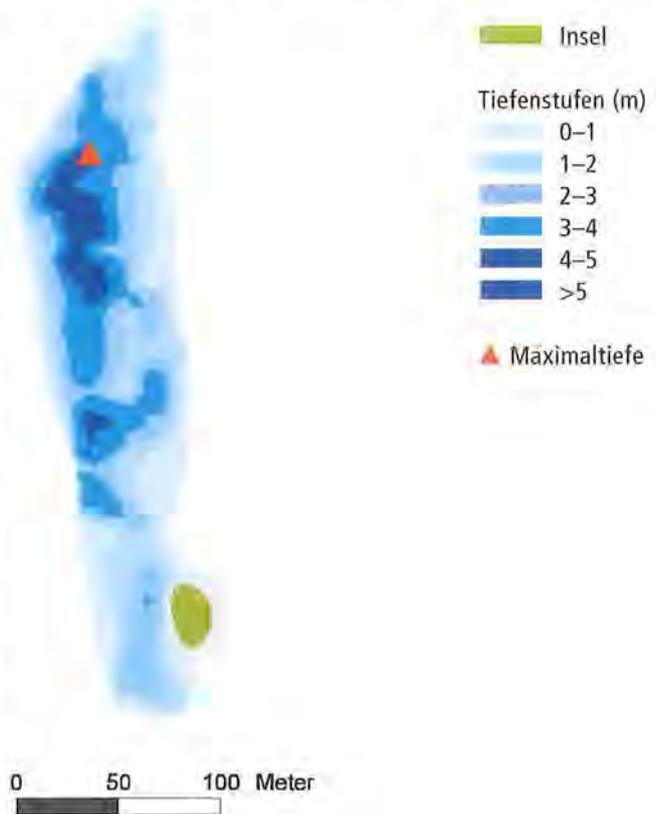
Plankton

Im Baggersee Hunzigen lebt ein sehr artenreiches Phytoplankton. Mindestens 73 taxonomische Einheiten wurden allein in der April-Probe bestimmt. Die Phytoplanktongemeinschaft war durch Kieselalgen (19 Vertreter), Goldalgen (16) und Grünalgen (16) dominiert. Auch drei Vertreter der Augenflagellaten und sieben der Blaualgen waren vorhanden. Damit hat das Gewässer sowohl Elemente eines nährstoffreichen wie nährstoffarmen Planktons. Der Befund der Chemieanalysen (mesotropher See) findet somit in der Zusammensetzung des Phytoplanktons Bestätigung. Das Crustaceen-Zooplankton ist mit 9 Arten sehr vielfältig und durch Zeigerarten für meso- bis eutrophe Gewässer dominiert.

Fauna

Schon früh nach der Einstellung der Baggerarbeiten konnte eine Besiedlung durch Vögel beobachtet werden. In den ersten fünf Jahren konnten 31 Vogelarten nachgewiesen werden, sieben davon (Zwergtaucher, Stockente, Teichhuhn, Blässhuhn, Sumpf- und Teichrohrsänger und Rohrammer) galten als sichere oder wahrscheinliche Brutvögel

Tiefenkarte Baggersee Hunzigen

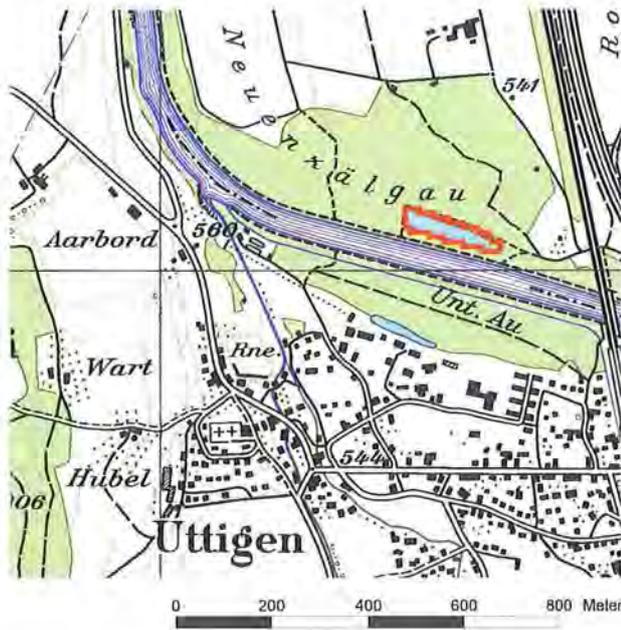


(HAURI 1978). Der Baggersee Hunzigen wird fischereilich bewirtschaftet. Schuppen- und Spiegelkarpfen werden regelmässig besetzt und befishet. Daneben ist das Vorkommen von Hecht, Flussbarsch, Alet und Schleie belegt. 1982 konnten lediglich zwei Amphibienarten (Gras- und Wasserfrosch) nachgewiesen werden. Wegen seiner

grossen Fläche ist das Gewässer für Libellen sehr attraktiv. Die Trockenstandorte zwischen Baggersee und Autobahn stellen wichtige Lebensräume für Heuschrecken, Schmetterlinge und Hautflügler (Bienen, Wespen, Hummeln und Ameisen) dar. Auf Grund dieser strukturellen Vielfalt ist das Gebiet für den Naturschutz sehr wertvoll (BFÖ 1986).

Baggersee Kiesen

oligotroph



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1187
 610 532 / 183 107
 539 m ü.M.
 0.61 ha
 4.6 m
 11 779 m³

wurde die Aare in ein Korsett gelegt und ihre modellierende Kraft gebändigt. Der Fluss frass sich in der Folge mehrere Meter tief ein, und im ursprünglichen Auengebiet senkte sich der Grundwasserspiegel. Die regelmässigen Überschwemmungen blieben aus und die Altwasser versiegten. Der Uferwald veränderte sich, indem Arten wie die Fichte, welche trockene Standorte bevorzugen, Fuss fassten. Der Wald konnte forstwirtschaftlich genutzt werden, was zu einer weiteren Veränderung des Baum- und Strauchbestandes führte (BFÖ 1986).

Für den Bau der Centralbahn um 1875 wurde Kies benötigt, welcher an Ort und Stelle gefördert wurde. Die Senke, welche durch die Kiesentnahme in der Neuzälgau entstand, füllte sich mit Grundwasser. Der Baggersee Kiesen ist damit schon mehr als 100 Jahre alt. Für die Fauna ist das Gewässer heute einer der wichtigen Ersatzstandorte für die Feuchtgebiete, welche durch die Aarekorrektur zerstört worden sind.

Der See wird zu 100% durch Grundwasser gespeisen, oberirdische Zuflüsse gibt es keine. Das Einzugsgebiet entspricht mehr oder weniger der Seefläche.

teres mit natürlichen Seen verglichen werden. Obwohl die Probenahme im Sommer erfolgte, konnte keine thermische Schichtung beobachtet werden. Dies könnte eine Folge der schlechten Witterung während der Probenahme sein. Viel wahrscheinlicher kommt der starke Grundwassereinfluss als Ursache in Frage, wodurch auch die Untersättigung mit Sauerstoff im ganzen See erklärbar ist. Die Secchitiefe entspricht der Maximaltiefe des Gewässers, das heisst, es gibt kein lichtfreies Hypolimnion.

Produktivität / Trophiegrad

Die mittlere Gesamtposphorkonzentration liegt bei 15 µg/l, was charakteristisch für einen mesotrophen See ist. Niedrige Chlorophyll-a-Konzentration, fehlende Sauerstoffübersättigung und grosse Secchitiefe sind charakteristisch für eine sehr geringe Algendichte und Primärproduktion während der Probenahme, das heisst typisch für oligotrophe Gewässer. Allerdings dürfen diese Parameter nicht überinterpretiert werden, da sie im Jahresverlauf sehr stark schwanken können. Der Unterschied zwischen chemischer und biologischer Beurteilung könnte unter anderem durch den starken Grundwassereinfluss zustandekommen. Der Stickstoffgehalt des Wassers ist auf Grund des starken Grundwassereinflusses gering, was auch für die gute Qualität des Grundwassers spricht.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 0.78 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 539 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 539 m ü.M.

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Baggersee Kiesen liegt 6 km nordwestlich von Thun in der Schwemmebene der Aare, welche ursprünglich ein ausgedehntes Auengebiet war. Die Aare war in mehrere Flussarme geteilt und von einem grossflächigen Auenwald gesäumt. Dieser war von Feuchtgebieten und Altwässern durchzogen, welche nur bei extremen Hochwassern in direkter Verbindung mit der Aare standen. Je nach Überschwemmungshäufigkeit kamen andere Pflanzenarten vor, und auch für die Tiere enthielt die Landschaft eine Vielfalt verschiedener Habi-

tate. Vom kiesigen Trockenstandort bis hin zur ganzjährig feuchten, moorigen Senke, vom stark strömenden Wasser in den Hauptarmen bis hin zu stillen, von der Gewalt der Aare kaum beeinflussten Stehgewässern war alles vorhanden. Durch die Abfluss- und Geschiebedynamik der Aare war die Landschaft einem stetigen Wandel unterworfen, so dass Pionierarten zu jeder Zeit wieder Flächen vorfanden, die sie neu besiedeln konnten. Damals muss das Gebiet eine unsagbare Vielfalt von Pflanzen und Tieren beherbergt haben. Durch die Korrektur, welche im vorletzten und letzten Jahrhundert stattfand (GUTHRUF 1996),

Temperatur / Mischverhalten

Da der Baggersee Kiesen, wie alle Baggerseen, primär durch Grundwasser beeinflusst ist (ANONYMUS 1997), darf das Mischverhalten nicht ohne wei-

Plankton

Zum Zeitpunkt der Probenahme war das Phytoplankton durch Gold- und Kieselalgen dominiert, während Grünalgen eine untergeordnete Rolle spielten und Augenflagellaten völlig fehlten. Dieser Zustand deutet auf einen geringen Nährstoffgehalt hin. Mit 44 Taxa ist das Plankton eher artenarm. Im Unterschied zum Phytoplankton weist das Zooplankton einen grossen Artenreichtum auf. Es ist dominiert durch Zeiger für nährstoffarmes Wasser: Nur 2 von 12 Arten sind typisch für eutrophe Gewässer.

Flora

Während der Untersuchungen im Jahr 1997 wurden die häufigsten Pflanzenarten protokolliert. Dabei konnten eine Armleuchteralge, welche eher für nährstoffarme Gewässer typisch ist, und die weisse Seerose nachgewiesen werden.

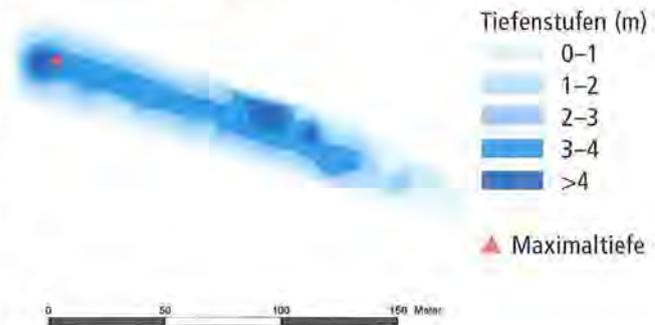
Fauna

Der Baggersee Kiesen wird fischereilich bewirtschaftet. Auf diese Weise gelangten Karpfen, Hechte, Trübschen, Regenbogenforellen, Flussbarsche und Rotfedern in das Gewässer. Der See gilt als wichtiger Amphibienstandort und dient Gras- und Wasserfrosch sowie der Erdkröte als Lebensraum. In den nahe gelegenen Giessen leben zusätzlich Berg- und Fadenmolch (BFÖ 1986). Diese Amphibien dienen der Ringelnatter als Nahrungsgrundlage. Auch ein Krebsbestand wird erwähnt.

Abschliessende Beurteilung

Auf Grund biologischer und chemischer Parameter ist der Baggersee Kiesen als **oligotroph** zu beurteilen, auch wenn gewisse Werte (Gesamtphosphor) für einen mesotrophen Zustand sprechen.

Tiefenkarte Baggersee Kiesen



Das Gebiet ist von naturschutzrechtlichem Wert. Die fehlende Hochwasser- und Geschiebedynamik führt jedoch zu einer Verarmung der Flora und Fauna in der Umgebung des Sees. Die forstwirtschaftliche Nutzung verstärkt diesen Trend (Fichtenkultur bis ans Ufer). Die Beschattung durch die Bäume verhindert das Aufkommen einer vielfältigen Wasser- und Ufervegetation. Eine langfristige Lösung dieses Problems wäre dadurch möglich, das Auengebiet den Hochwassern der Aare mit

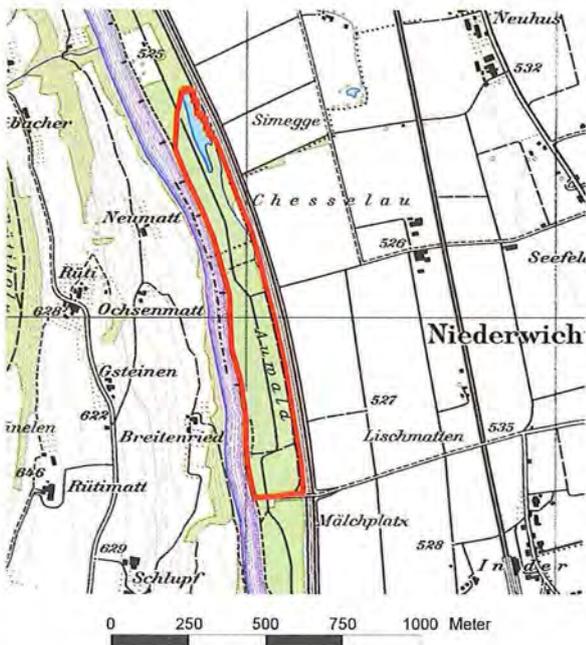
Hilfe von Durchlässen im Hochwasserdamm wieder zugänglich zu machen. Solange dies nicht realisiert werden kann, ist es Aufgabe des Naturschutzes, den Wert des Gebietes durch Pflegemassnahmen (Ausholzen der Bäume und Sträucher im Uferbereich) aufrechtzuerhalten. Die Schaffung von Flachufern und Flachwasserzonen würde zudem wesentlich zur Aufwertung des Baggersees als Habitat für eine vielfältige Fauna und Flora beitragen (siehe Baggersee Hunzigen) (BFÖ 1986).

Baggersee Münsingen

mesotroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1187
 608 861 / 189 575
 526 m ü.M.
 0.79 ha
 3.7 m
 11 687 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

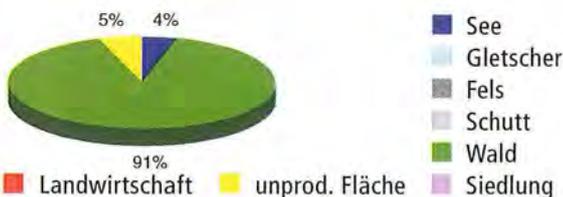
Der Baggersee Münsingen liegt in der Chesselau, 13 km südöstlich von Bern. Auch er ist Teil des Auengebietes der Aare (siehe Baggersee Kiesen). In den siebziger Jahren ist der Baggersee Münsingen infolge Kiesgewinnung für den Bau der Autobahn A6 entstanden. Im Gegensatz zum Baggersee Kiesen ist er also noch jung. Der See wird nicht zu 100% von Grundwasser gespeisen. Ein Teil des Zuflusses stammt von der Münsinger Giesse, einem Auengewässer der Aare.

3.4.1997, das heisst während oder kurz nach der Vollzirkulation. Die Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Grund betrug lediglich 1°C. Auch die übrigen Parameter wiesen geringe Gradienten auf. Auf Grund seiner Seefläche wäre eine vollständige Mischung bis in eine Tiefe von 9.4 m möglich (vergleiche Formel nach BERGER S. 9 in ANONYMUS 1997). Es ist daher von einem holomiktischen Verhalten auszugehen. Ob sich im Sommer eine stabile Schichtung aufbauen kann, kann aber auf Grund der einmaligen Probenahme nicht mit Sicherheit gesagt werden.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 18.17 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 526 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 524 m ü.M.

Flächenanteile



Temperatur / Mischverhalten

Die Probenahme im Baggersee Münsingen erfolgte am

Produktivität / Trophiegrad

Die mittlere Gesamtphosphorkonzentration (13.7 µg/l) war

während der Probenahme leicht erhöht und lag im mesotrophen Bereich. Die Algenbiomasse muss zum Zeitpunkt der Probenahme auf Grund der niedrigen Chlorophyll-a-Konzentration als sehr gering beurteilt werden, was eher für einen oligotrophen See spricht. Das Beispiel des Baggersees Münsingen zeigt, dass eine geringe Sichttiefe nicht unbedingt mit einer hohen Primärproduktion zusammenhängen muss. Durch die Zirkulation des Wassers oder eventuell auch durch Veränderungen des Grundwasserzuflusses können feine Sedimentpartikel in Suspension gebracht werden, was wiederum zu einer Trübung des Wassers führt.

Die beiden Zuflüsse unterscheiden sich bezüglich Gesamtphosphor ganz deutlich vom Seewasser. Ihre Konzentration liegt im eutrophen Bereich. Wie stark sich diese auf den Trophiegrad des Sees auswirken, hängt von der Bedeutung des Austausches mit dem Grundwasserleiter ab. Unter diesem Aspekt wären weitergehende Untersuchungen, das heisst mehrmals im Jahr stattfindende Probenahmen, sehr interessant.

Plankton

Das Phytoplankton war, verglichen mit den anderen Baggerseen der Region, am artenärmsten. Während der Probenahme im April wurden 39 taxonomische Einheiten festgestellt. Kieselalgen und Goldalgen dominierten. Die Augenflagellaten, welche als Nährstoffzeiger gelten, fehlten, und auch die Grünalgen waren lediglich durch acht Arten vertreten. Diese Zu-

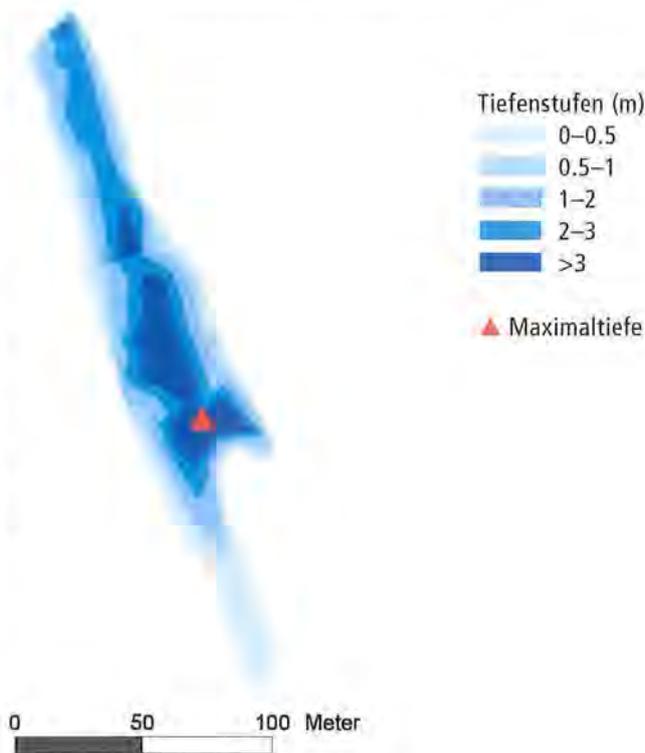
sammensetzung deutet auf einen wenig nährstoffbelasteten Zustand hin. Allerdings kann sich die Zusammensetzung und Dichte des Phytoplanktons sehr rasch ändern. Die Ergebnisse sind daher mit Vorsicht zu interpretieren. Wie in allen untersuchten Baggerseen des Aaretals zwischen Thun und Bern wurden auch im Baggersee Münsingen keine anaeroben Bakterien gefunden, was zusammen mit den übrigen Eigenschaften für eine geringe Belastung des Kleinsees spricht.

Das Zooplankton ist im Vergleich mit den übrigen Baggerseen der Region eher artenarm. Es sind sowohl Zeiger für oligo-, meso- und eutrophe Gewässer vertreten.

Fauna

Im und am Baggersee lebt eine recht artenreiche Libellenfauna. Insgesamt 13 Arten, zwei darunter gefährdet, konnten zwischen 1984 und 1994 nachgewiesen werden. Das Gewässer wird fischereilich bewirtschaftet. Es findet Besatz mit Karpfen und Bachforellen statt. Auch Hecht, Rotaugen, Rotfeder und Alet leben im See. Durch die Verbindung mit der Münsinger Giesse könnten theoretisch auch Fließwasserfischarten einwandern. So wurden mit elektrischen Abfischungen unmittelbar unterhalb des Sees Groppen, Barben, Bachschmerlen, Trübschen und Äschen gefangen. Allerdings ist das Vorkommen dieser Arten im See selbst fraglich, da der Zugang durch eine Eindolung verhindert wird. Durch Beseitigung dieses Bauwerks würde der See all diesen Arten zugänglich gemacht.

Tiefenkarte Baggersee Münsingen

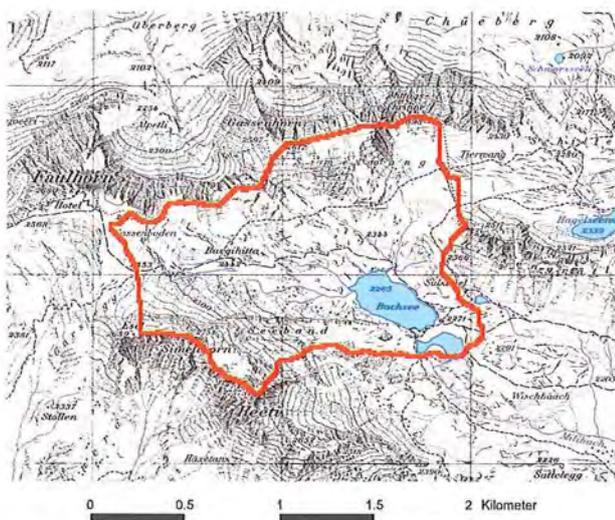
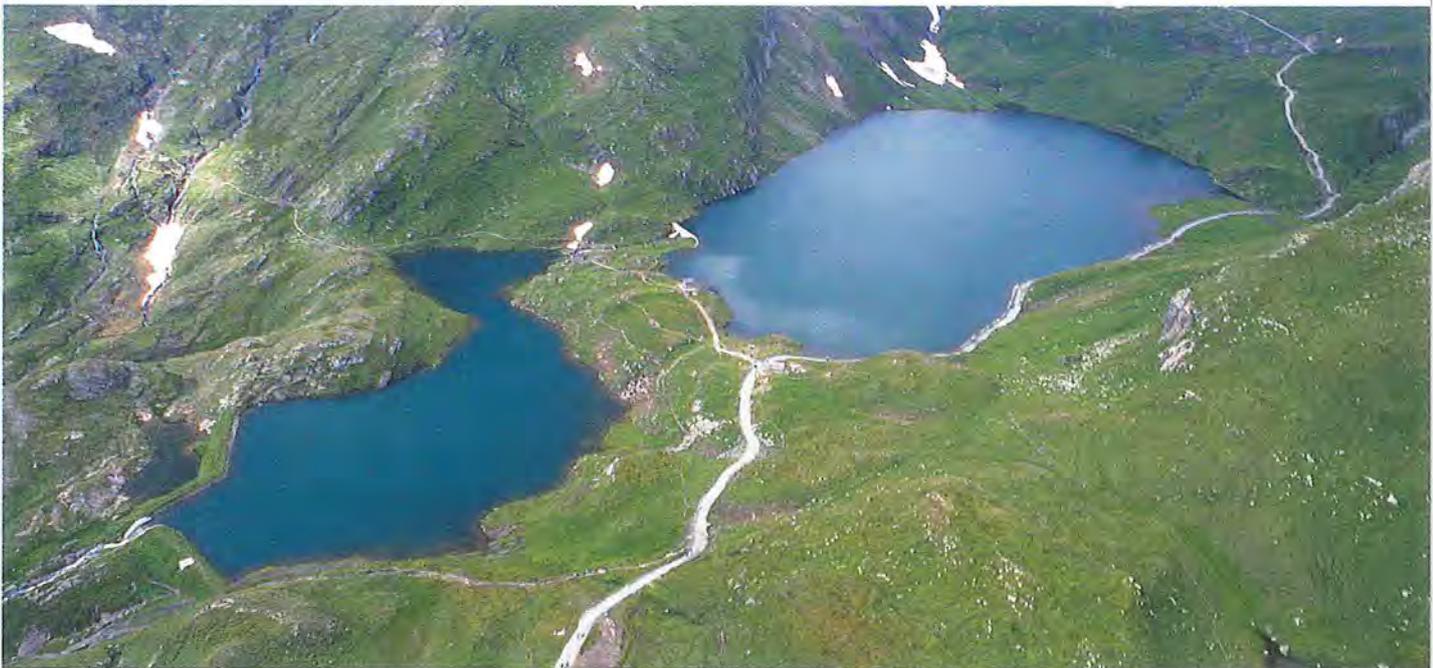


Der Baggersee Münsingen hat eine grosse Bedeutung als Amphibienhabitat. Grasfrosch, Wasserfrosch, Teichmolch, Fadenmolch und Bergmolch konnten nachgewiesen werden (BFÖ 1986). Die Fischbewirtschaftung, insbesondere der starke Karpfenbesatz, widerspricht dem Ziel der Erhaltung des Gewässers als Amphibienhabitat (BFÖ 1986). Die steilen Ufer bewirken zudem, dass die Amphibien keine Zuflucht vor den Fischen finden. Vermehrte Schaffung flacher Uferzonen würde deshalb den Wert als Amphibienhabitat aufwerten (BFÖ 1986), ohne dass die fischereiliche Nutzung eingestellt werden müsste. Eine solche Flachwasserzone ist bereits auf natürliche Weise durch

die Sedimentablagerungen des Zuflusses im Mündungsbereich entstanden.

Der ökologische Wert des Gewässers wird durch zunehmende Beschattung gemindert. Dazu tragen insbesondere massive Fichtenpflanzungen im Auenwald bei. Durch Auslichtung des Waldes kann die Besonnung des Gewässers erhöht werden, was zu einer Förderung der Gewässervegetation beiträgt, welche wiederum Grundlage bildet für eine angepasste und artenreiche Fauna. Angesichts der fehlenden Dynamik der Aare, welche durch die Korrektur verloren gegangen ist, ist der hohe landschaftliche und ökologische Wert nur durch Pflegemassnahmen aufrechtzuerhalten.

Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|--------------------------|-----------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1229 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 644 918 / 168 623 |
| Höhe Seeoberfläche | 2256 m ü.M. |
| Seefläche | 1.74 ha |
| Maximaltiefe | 5.1 m |
| Seevolumen | 39 746 m ³ |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der untere Bachsee liegt unmittelbar unterhalb des Bachsees und wird einzig von dessen Abfluss gespeist. Beide Seen sind auf ähnliche Weise entstanden, nämlich durch einen natürlichen Querriegel. Im Gegensatz zum oberen war der untere natürliche See aber nur wenige Dezimeter tief. Um die Speicherkapazität um 60 000 m³ zu vergrößern, wurde er im Zusammenhang mit dem Kraftwerksprojekt von 1911/12 mit einem künstlichen Damm um etwa 3 m aufgestaut und durch einen Tunnel mit dem oberen See verbunden. Alljährlich im Winter wird der untere Bachsee vollständig abgesenkt und das Wasser turbinieren (pers. Mitt. Hr. MOSER, Elektrizitätswerk Grindelwald AG). Im Sommer fließt das Wasser,

welches vom oberen See zufließt, oberirdisch über eine mehrere Meter hohe schräge Mauer ab. Eine Wanderung von Fischen und Wassertieren zwischen dem Milibach und dem See ist daher nicht möglich. Auch ein Austausch mit dem oberen See wird durch ein Absturzbauwerk verhindert.

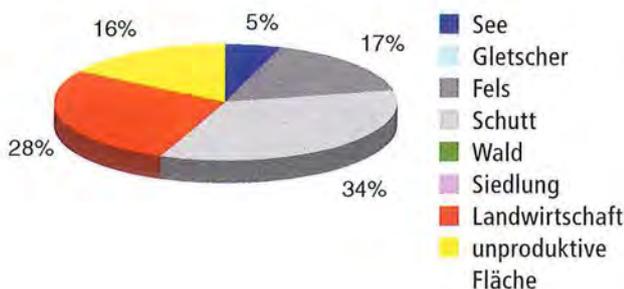
Temperatur / Mischverhalten

Wegen des geringen Wasservolumens schwankt die Temperatur des unteren Bachsees viel stärker als die des oberen. Im Sommer erwärmt sich das Wasser schneller und im Winter kühlt es rascher aus (STEINER 1911). Zudem ist die Temperatur des Sees ganz wesentlich durch den oberen See beeinflusst. In der Regel fließen die warmen ober-

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 175.85 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 168.5 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2749 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2433 m ü.M. |

Flächenanteile



flächlichen Wasserschichten in den unteren See ab, wo sie sich weiter aufwärmen können. Die Oberflächentemperatur war etwas wärmer als der Abfluss des oberen Bachsees. Allerdings können Winde dazu führen, dass kaltes Tiefenwasser des oberen Sees in den Bereich des Abflusses gelangt und kurzfristig eine massive Abkühlung im unteren See herbeiführt.

Zirkulations- und Schichtungsverhalten des unteren Bachsees werden durch die hydroelektrischen Eingriffe (regelmässiges Ablassen des Wassers) beeinflusst und können nicht als natürlich bezeichnet werden.

Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund der einmaligen Messung des Gesamtphosphors ($4 \mu\text{g/l}$) ist der untere Bachsee als **oligotroph** zu bezeichnen. Der Zufluss enthielt während der Probenahme nährstoffarmes Oberflächenwasser des Bachsees. Der Nährstoffgehalt kann jedoch je nach Windstärke und -richtung kurzfristig ändern (siehe Temperatur und Mischverhalten). Die dichten Wasserpflanzenbestände und Sauerstoffübersättigung sind ein Hinweis, dass der Nährstoffgehalt zeitweise höher sein muss. Im Ufer-

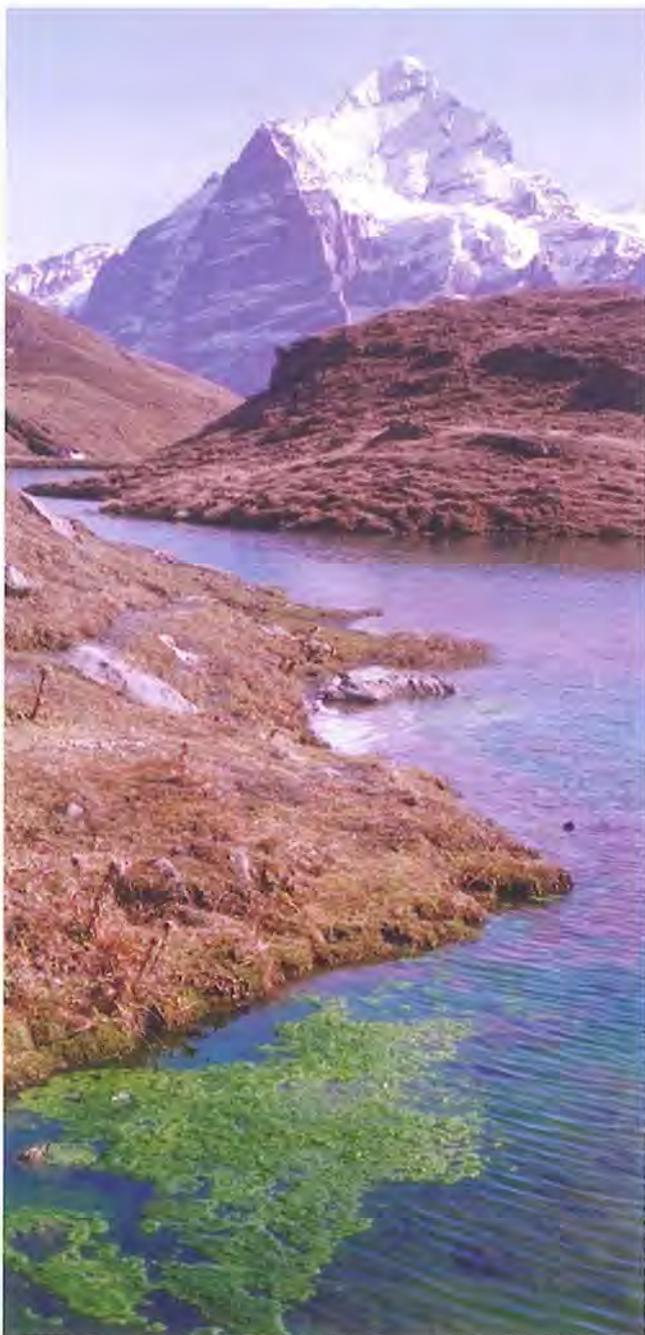
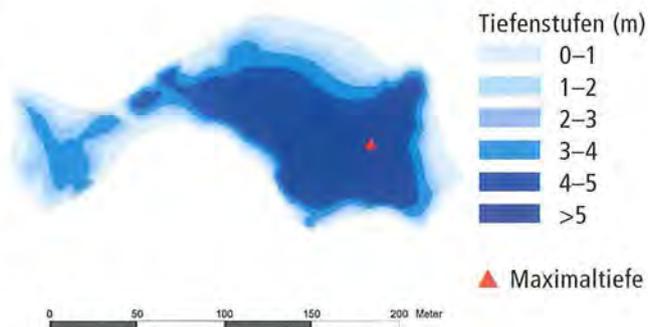


Foto: M. Zeh

Tiefenkarte unterer Bachsee



bereich kommt es zeitweise zu unästhetischen Ansammlungen von Algenwatten (siehe Foto). Auch die Chlorophyll-a-Konzentration weist eher auf einen **mesotrophen** Charakter des Sees hin. Die Secchitiefe reichte während der Probenahme fast bis zum Grund, das heisst Photosynthese ist bis in die grösste Tiefe möglich. Aus diesem Grund und wegen des geringen Nährstoffgehaltes sind Sauerstoffdefizite nicht zu erwarten, was durch die Sauerstoffmessungen bestätigt wurde.

Plankton

Ungeachtet seiner Lage in der alpinen Zone und seines geringen Nährstoffgehaltes lebt im unteren Bachsee ein ausserordentlich artenreiches Phytoplankton. In einer einzigen Probenahme konnten 56 taxonomische Einheiten nachgewiesen werden. Die Artenzusammensetzung ist typisch für einen nährstoffarmen See: Die dominierenden Gruppen sind Kiesel- und Goldalgen. Auch die für nährstoffarme Gewässer charakteristischen Jochalgen sind durch vier Arten repräsentiert. Grünalgen dagegen spielen eine untergeordnete Rolle. Allerdings deutet das Vorkommen eines Augenflagellaten auf einen gewissen Nährstoffgehalt hin. Das Phytoplankton ist somit typisch für einen mesotrophen See. Das Zooplankton setzt sich teils aus indifferenten Arten, teils aus Zei-

gern für nährstoffarme Gewässer zusammen.

Die Bakterienfauna enthält keinerlei Arten, welche auf Sauerstoffschwund hinweisen, und bestätigt somit die Resultate der chemischen Analytik und See-physik.

Flora

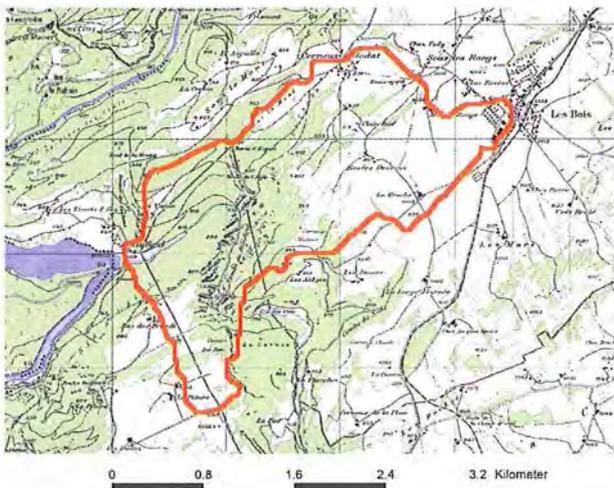
Der untere Bachsee enthält eine Mischung aus Nährstoffzeigern (Fadenalge *Cladophora*, haarblättriger Wasserhahnenfuss) und Magerkeitszeigern (Armleuchteralge *Chara gymnophylla*). Somit ist auch die Flora charakteristisch für einen mesotrophen Kleinsee.

Fauna

Im Unterschied zum oberen Bachsee war die Seebodenfauna des unteren Bachsees 1909 viel ausgeprägter. Das Zooplankton dagegen war viel spärlicher als im oberen See (STEINER 1911). Allerdings wurde diese Beobachtung vor dem künstlichen Aufstau gemacht. Über die heutige Situation liegen keine Daten vor. Die Fischfauna entspricht in etwa derjenigen des oberen Sees, da immer wieder Fische durch den Tunnel oder den Überlauf eingeschwemmt werden. Jedes Jahr, wenn der See abgelassen wird, muss der örtliche Fischereiverein die trockenfallenden Fische retten.



Photo: GBL / M. Zeh

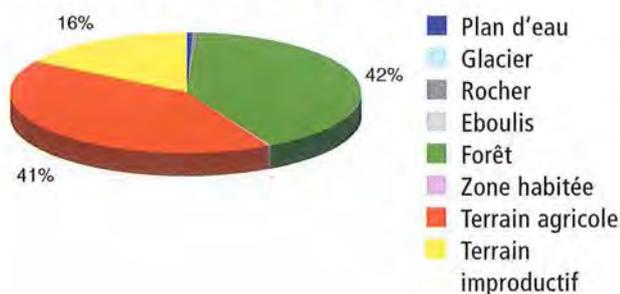


| | |
|------------------------------|-------------------|
| Carte nationale 1 : 25 000 | 1124 |
| Coordonnées | |
| de la profondeur maximale | 556 134 / 223 984 |
| Cote du niveau du plan d'eau | 607 m |
| Superficie du plan d'eau | 1.81 ha |
| Profondeur maximale | 12.7 m |

Bassin versant (bv)

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Superficie du bv topographique: | 447.41 ha |
| Altitude maximale du bv topogr.: | 1041 m |
| Altitude moyenne du bv topogr.: | 900 m |

Répartition des surfaces



Géologie, hydrologie et histoire

Le lac de Biaufond est sis dans la localité du même nom, à quelque 7 km au nord de La Chaux-de-Fonds, sur la rive droite du Doubs. Une retenue maintient son niveau à environ 0.5 m au-dessus du niveau d'étiage du Doubs, mais les eaux de ce dernier peuvent monter plus haut en cas de crue ou de rétention par le barrage du Refrain situé en aval, pénétrant alors dans le petit bassin (communication personnelle de J.-F. MAGES, La Neuveville). Ce plan d'eau se divise en deux secteurs complètement différents.

La partie orientale, bernoise, a une profondeur nettement inférieure à 1 m. On y trouve de grandes quantités de plantes aquatiques et d'algues filamenteuses, signe d'une abondance

de nutriments. Il ne reçoit un apport d'eaux superficielles que pendant et après les pluies. Lors du prélèvement d'échantillons du 27 mai 1997, le ruisseau débouchant dans le lac depuis le nord-est était à sec. Le secteur de son embouchure contient des résurgences de sources non permanentes situées au-dessus du niveau du lac. Il faut donc partir de l'hypothèse que l'eau se réchauffe fortement dans la partie supérieure.

La partie occidentale, neuchâteloise, subit surtout l'influence de résurgences abondantes dont le débit est tel qu'il s'est peu à peu formé deux entonnoirs, d'une profondeur de respectivement 2m et 14 m. Les propriétés chimiques et physiques de leur eau sont identiques (communication personnelle de J.-F. MAGES). On n'y a trouvé aucun peuplement de végétaux. Relativement petit,

le bassin versant topographique ne comprend pratiquement que des roches carbonatées. Toutefois, les apports importants provenant de ces entonnoirs montrent que le bassin versant hydrologique est passablement plus vaste en raison de la présence de systèmes karstiques. Selon des études géologiques, il s'étend jusqu'au Noirmont, distant d'une dizaine de kilomètres (communication personnelle de J.-F. MAGES). Les échantillons ont été prélevés au fond de l'entonnoir le plus grand.

Productivité / état trophique

Des températures estivales élevées et une eau riche en nutriments favorisent la croissance de plantes et d'algues dans la partie orientale, qui est probablement eutrophe. La présence de végétaux, mais moins abondante, a également été observée dans la partie occidentale à l'extérieur des entonnoirs. Les données de l'Université de Genève (LACHAVANNE ET AL. 1998) renseignent sur l'évolution annuelle de la température: dans l'entonnoir même, celle-ci était basse (8.0 et 8.5 °C) en toute saison, ce

qui confirme que l'eau a parcouru un long trajet dans le système karstique. Outre l'important débit des sources et le fort courant qui en résulte, c'est probablement le régime froid qui explique l'absence de végétation subaquatique dans les entonnoirs. La teneur de l'eau en nutriments (phosphore total: 57 µg P/l; azote total: 2.65 mg N/l) permettrait en soi la croissance de plantes. Compte tenu des éléments nutritifs qu'elle contient, la partie occidentale du lac peut également être considérée comme **eutrophe**. L'oxygénation relativement faible – le point de saturation est loin d'être atteint – serait due au long trajet de l'eau dans le karst et non pas à une consommation d'oxygène dans le lac lui-même.

Température / mélange des eaux

Les profils profonds reflètent eux aussi l'importance de l'apport provenant des sources karstiques: tous les paramètres mesurés varient à l'intérieur d'une fourchette étroite et n'indiquent aucun gradient vertical. Les eaux sont brassées en permanence durant toute l'année, ce qui em-

pêche leur stratification thermique en dépit de leur profondeur relativement grande.

Plancton

Le plancton indique lui aussi un mélange particulier des eaux de ce petit lac. Le phytoplancton, et notamment les diatomées, est principalement composé de périphyton, le reste est constitué d'espèces caractéristiques des mares et des très petits plans d'eau, à l'exclusion de toutes celles qui vivent normalement dans des lacs de plus de 10 m de profond: le courant qui le traverse et le brassage de ses eaux sont trop marqués. La très faible teneur en chlorophylle a et la bonne transparence (8 m) mettent en évidence les quantités infimes de planctons dans l'entonnoir. La forte concurrence des plantes aquatiques limite également les possibilités de production de ces organismes dans les parties peu profondes de ce plan d'eau. Les nutriments disponibles permettent malgré tout la présence de plusieurs espèces de flagellés (algues vertes). Parmi le zooplancton, on trouve deux espèces indicatrices d'eaux eutrophes. La présence de bac-

téries anaérobies indique aussi une consommation de l'oxygène à certains endroits du lac. Ces organismes pourraient provenir de la partie orientale, productive, du plan d'eau, ou alors d'eaux eutrophes provenant du bassin versant hydrologique.

Flore

Globalement, la densité des plantes aquatiques est très élevée, mais seules quatre espèces ont été répertoriées. *Veronica anagallis-aquatica* compte parmi les indicateurs de nutriments, ce qui est en concordance avec la présence massive d'algues filamenteuses. Les trois autres sont des espèces indifférentes.

Faune

Les échantillons prélevés ont permis de constater la présence de plusieurs spécimens de brochet, certains de grande taille. Vu que cette espèce figure au début de la pyramide alimentaire, il est probable que le plan d'eau est relativement riche en organismes nutritifs (poissons, batraciens). Il n'existe cependant pas d'informations à ce sujet pour l'instant.

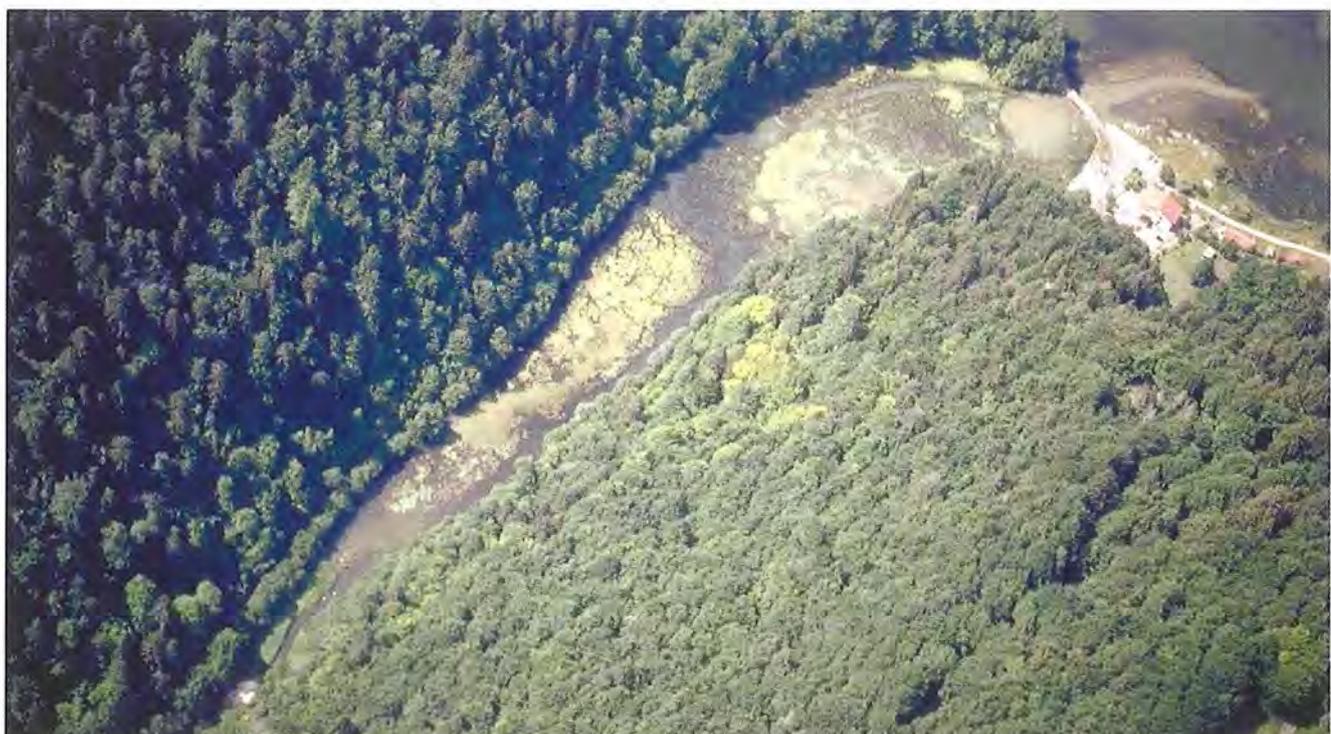


Photo: GBL / M. Zeh

Birkehofweiher

eutroph

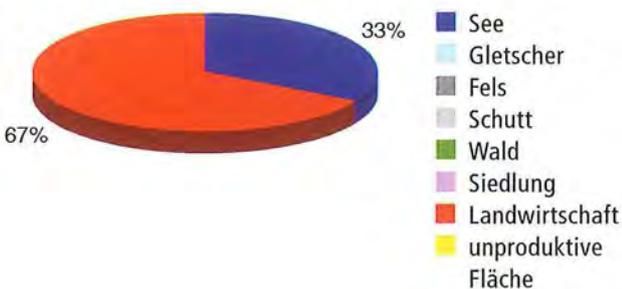
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 2.63 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 432 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 432 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1165
 572 628 / 204 635
 432 m ü.M.
 2.4 ha
 2.7 m
 21 775 m³



Geschichte, Hydrologie

Der nierenförmige Weiher 2,5 km südwestlich von Ins ist noch relativ jung. Ursprünglich befanden sich an seiner Stelle Reste einer Sanddüne, welche während der Eiszeit durch die Wirkung von Wellen und Wind entstanden war.

Im Rahmen der Gesamtmelioration wurde 1987/88 dieser Sand ausgehoben und in der näheren Umgebung verteilt. Dadurch sollte die Torfsetzung (Absacken des seit der 1. Juragewässerkorrektur entwässerten Torfes) reduziert werden. Zudem beabsichtigte man, die früheren Kehrichtablagerungen der Stadt Bern mit Sand zu überdecken (BALZARI 1991).

Die entstandene Grube füllte sich mit Wasser. Sie ist seit 1989 Teil eines grösseren Naturschutzgebietes, welches Hecken, Trocken-

wiesen und ein weiteres Stillgewässer, den Inserweiher, umfasst (BALZARI 1991). Die zum Naturschutzgebiet gehörenden Flächen bilden eine Pufferzone um den Birkehofweiher. Die dichten Hecken, die Lage (das Landwirtschaftsgebiet gehört zur Strafanstalt Witzwil) und das sommerliche Begehungsverbot schützen das Gewässer und seine Umgebung vorbildlich. Der Birkehofweiher ist durch einen allerdings nicht durchgehenden Kanal mit dem Inserweiher verbunden. Einen direkten Zufluss und Abfluss weisen die beiden Weiher jedoch nicht auf. Der Wasserspiegel ist durch das im Seeland angewendete Kanal-Pumpsystem geregelt, was zu relativ grossen Wasserspiegelschwankungen führen kann. Ausserdem ist der Wasserstand vom Grundwasser beeinflusst (pers. Mitt. Hr. MOSIMANN).

Temperatur / Mischverhalten

Mit einer maximalen Tiefe von 2.7 m ist der Weiher relativ seicht und kann so keine länger-dauernde stabile Schichtung ausbilden. Die Temperatur betrug während der Probenahme (24.6.1997) von der Oberfläche bis zum Grund rund 18 °C. Im Sommer kann sich das Wasser in den Flachwasserzonen bis auf 24 °C erwärmen.

Die Sauerstoffsättigung wies über Grund keine Abnahme auf und betrug in der gesamten Wassersäule rund 92%. Die Momentaufnahme zeigt eine durch schlechtes Wetter ausgelöste Zirkulationsphase.

Produktivität und Trophiegrad

Der Gesamtphosphorgehalt lag im meso- bis eutrophen Bereich. Der DOC-Gehalt war dagegen sehr hoch und deutet auf eine anthropogene Belastungsquelle hin. Die Leitfähigkeit und der Stickstoffgehalt des Verbindungskanals waren wesentlich höher als im Weiher, so dass hier die Quelle der Belastung vermutet werden kann. Allerdings kann die Nährstoffsituation in Kleingewässern sehr rasch ändern.

Plankton

Zum Artenreichtum des Phytoplanktons von 64 Taxa trugen hauptsächlich die Vertreter der Grünalgen (24 Arten), Blaualgen (11) und Jochalgen (8) bei. Daneben wurden drei Arten der Augenflagellaten gefunden. Besonders auffällig ist, trotz genügender Sauerstoffsättigung

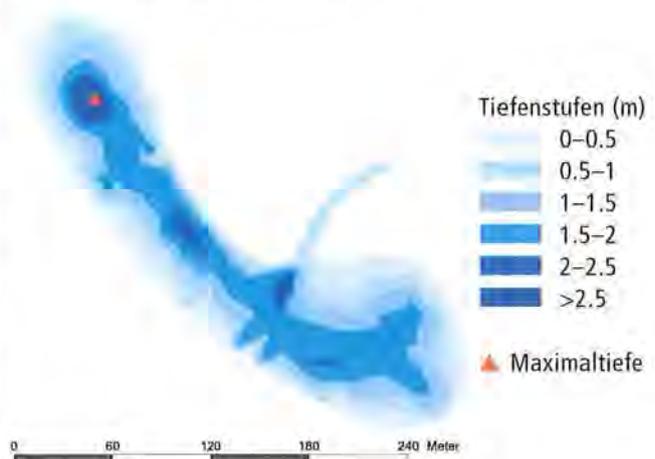
zum Zeitpunkt der Probenahme, das massenhafte Vorkommen von anaeroben Schwefelbakterien. Das schlechte Wetter hatte zu einer Durchmischung des Wasserkörpers geführt. Vorher muss jedoch eine anaerobe Schicht über dem Seegrund bestanden haben. Das schwärzliche, organische Sediment des Birkehofweihers belegt, dass diese Situation relativ häufig auftreten muss. In der gesamten Beurteilung muss der Weiher eher als eutroph eingestuft werden.

Das Zooplankton ist mit neun Spezies vielfältig. Darunter sind Vertreter aller Trophiestufen zu finden.

Flora

Als der Weiher noch in seiner ersten Entwicklungsphase war, stellte BALZARI (1991) einen dichten Armleuchteralgentteppich fest. Dieses Pionierverhalten einzelner Armleuchteralgenarten wie z.B. von *Chara vulgaris* kann in vielen neu entstandenen oder frisch ausgebaggerten Gewässern beobachtet werden (siehe Widi). Das Auftauchen dieser Pflanzen nach jahrzehntelangem Ausbleiben bezeugt die lange dauernde Keimfähigkeit. Begünstigend wirkt das oft unbelastete oder nur schwach belastete Wasser (Niederschläge oder Grundwasser), das die meisten neuen Becken vorübergehend füllt. Die Armleuchteralgen verschwinden normalerweise wieder wegen zunehmender Düngung des Gewässers nach ein bis zwei Vegetationsperioden (KRAUSE 1997). Im Birkehofweiher konnte diese Pflanzengruppe 1997 nicht mehr beobachtet werden. Die 1990 noch sehr arme Vegetation

Tiefenkarte Birkehofweiher



(BALZARI 1991) hat sich dagegen stark ausgebreitet: Fast im gesamten Weiher reichten die untergetauchten Wasserpflanzen bis an die Wasseroberfläche. Schilf und zwei Rohrkolbenarten bildeten 1997 den schön entwickelten Röhrlichtgürtel, welcher 1990 nur etwa 20% der Uferzone umfasste (BALZARI 1991). Die Artenzusammensetzung spricht für eine Zunahme des Nährstoffgehaltes seit 1990. 1997 wucherte im Weiher das quirlige Tausendblatt, begleitet vom Kammlaichkraut. Beides sind Gewässer bevorzugen.

Fauna

Insgesamt konnten drei Fischarten (Rotaugen, Flussbarsch, Schleie) nachgewiesen werden, welche im Birkehofweiher unkontrolliert ausgesetzt worden sind.

Diese Fische dienen verschiedenen Vogelarten (Zwergtaucher, Gänsesäger, Kormoran, verschiedene Reiherarten) als Nahrungsbasis. 1990 konnte ein Eisvogel beobachtet werden, welcher eine Warte suchte, um diesen

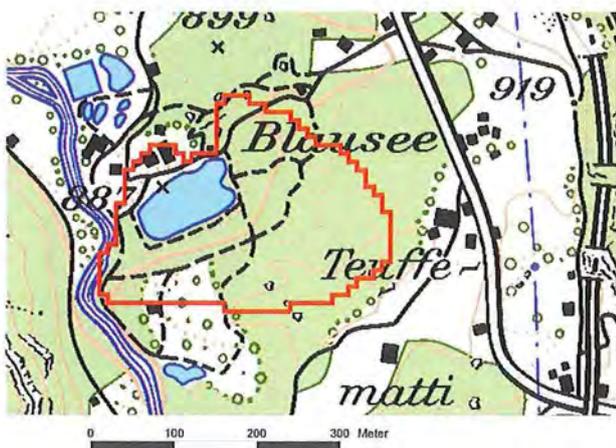
Fischen im Sturzflug nachzustellen. Da es am Birkehofweiher keine überhängenden Äste gibt, kann diese sehr seltene Vogelart das reiche Fischangebot nicht oder nur sehr schlecht nutzen. Von März bis Oktober konnten insgesamt 101 Vogelarten beobachtet werden. Davon beschränkten sich 32 Arten auf Wasservogel und Arten, die ihre Nahrung im Uferschlamm suchen (Limikolen). Als Brutvogelart konnte einzig das Blässhuhn nachgewiesen werden (BALZARI 1991). Angesichts der grossen Veränderungen in der Vegetation ist nicht auszuschliessen, dass sich die Liste der Brutvögel seit 1990 erweitert hat.

Insgesamt konnten drei Amphibienarten beobachtet werden (Teichfrosch, Kreuzkröte und Erdkröte). Ob sich alle Arten im Weiher erfolgreich fortpflanzen, ist unsicher.

Auch für Libellen hat der Weiher eine gewisse Bedeutung. Insgesamt sind sieben Arten beschrieben, von denen allerdings keine Art hohe Ansprüche an ihren Lebensraum stellt (BALZARI 1991).



Foto: A. Lotter



| | |
|------------------------|-----------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1247 |
| Koordinaten | 617 356 / 153 501 |
| Maximaltiefe | 887 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 0.64 ha |
| Seefläche | 10.1 m |
| Maximaltiefe | 21 480 m ³ |
| Seevolumen | |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

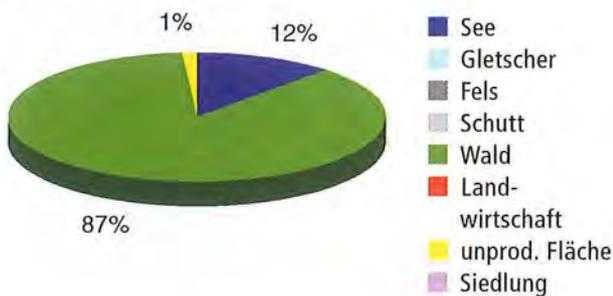
Der Blausee liegt in unmittelbarer Nähe der Kander, 4 km nördlich von Kandersteg. An seiner Entstehung sind nach der Beurteilung von BECK & RICKENBACH (1954) zwei Faktoren beteiligt: Durch den gewaltigen Bergsturz vom Fisistock, dem schon der Oeschinensee seine Entstehung verdankt, müssen mächtige Eismassen von der Zunge des Kanderstegergletschers abgerissen und zu Tal transportiert worden sein. Beim Abtauen dieser Tot-eismassen entstanden Senken, welche sich mit Wasser füllten. Eine dieser Senken ist der Blausee. Der Bergschutt um den See ist ein guter Grundwasserleiter, was auch der Grund ist, warum der Blausee keine oberirdischen Zuflüsse hat. Das Wasser fließt unterirdisch und tritt an Stellen, wo das wasserundurchlässige

Moränenmaterial nahe an die Oberfläche reicht, als Quelle aus. Auch der Blausee wird durch mehrere ergiebige Quellaustritte gespeist, welche zusammen etwa 8000 l/min ergeben. Bei einem Volumen von 21 500 m³ beträgt die Wassererneuerungszeit nur 45 Stunden. Die Wasserführung der Quellen ist abhängig von der Abflussmenge der Kander. Bei starkem Hochwasser des Flusses kann es sogar zu einer vorübergehenden Trübung des Kleinsees kommen. Im Nordwestteil des Sees fließt das Wasser unterirdisch ab, um als Quelle im Bereich der Fischzucht erneut zutagezutreten. Ursprünglich wurde vermutet, dass die blaue Farbe des Sees durch ein blaues Sediment zustandekommt. Mit Hilfe von Sedimentproben konnte aber BOURCART (1906) diese Hypothese widerlegen. Auch Eigenfärbung des Wassers ist nicht der Grund,

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 6.35 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 931 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 903 m ü.M. |

Flächenanteile



sondern Lichtreflexion der steilen, mit Tannen bewachsenen Uferhänge und des Himmels (KEUSEN ET AL. 1989). Der See befindet sich in Privatbesitz und ist ein beliebtes Touristenziel.

Temperatur / Mischverhalten

Die Daten der Probenahme vom 30.3.1996 wurden von der EAWAG zur Verfügung gestellt. Das Tiefenprofil zeigt, dass der See zu dieser Zeit in Zirkulation war. Ob sich im Sommer eine stabile Schichtung einstellt, kann auf Grund der im Vergleich zur Seefläche grossen Tiefe und der windgeschützten Lage vermutet werden. Allerdings wird das Mischverhalten des Sees ganz wesentlich durch die unterirdischen Zuflüsse beeinflusst. Sichere Aussagen sind deshalb angesichts der einmaligen Probenahmen nicht möglich.

Produktivität / Trophiegrad

Die Stickstoffkonzentrationen sind sehr gering. Dies ist auf Grund des zu 87% bewaldeten Einzugsgebietes und des geringen Landwirtschaftsanteils (vgl. MÜLLER ET AL. 1998) zu erwarten. Entsprechend einer mittleren Gesamtposphorkonzentration von 12 µg/l ist der Blausee als **mesotroph** zu bezeichnen. Die Sedimentationsrate ist sehr gering: Seit der Jahrhundertwende (BOURCART 1906) hat sich die Maximaltiefe (10 m) nicht geändert. Allerdings ist das Sediment in den obersten 10 cm

deutlich dunkler gefärbt als in den tieferen, was auf anaerobe Bedingungen hinweist. Die leicht erhöhten Gesamtposphorkonzentrationen sowie das anaerobe Sediment in den obersten Schichten könnten mit der intensiven Bewirtschaftung mit Regenbogenforellen zusammenhängen.

Plankton

Die in der Wasserchemie festgestellte mässige Belastung äussert sich auch in der Bakterienzusammensetzung: Drei Arten von Schwefelpurpurbakterien konnten gefunden werden, ein Hinweis, dass zumindest in der Wasser/Sediment-Grenzschicht zeitweise sauerstofffreie Bedingungen herrschen. Dies wiederum deutet auf einen intensiven Abbau von Biomasse hin. Die anaeroben Oberflächenschichten des Sediments weisen darauf hin, dass dieser Zustand während wesentlichen Teilen des Jahres anhält.

Das Dezember-Phytoplankton fiel durch eine geringe Dichte und geringe Artenvielfalt (24 taxonomische Einheiten) auf. Vier Ursachen kommen in Frage: Erstens wurden nur tiefere Wasserschichten beprobt, die produktive Oberflächenschicht wurde nicht berücksichtigt. Zweitens wurde die Probe im Winter genommen, der Zeit mit der geringsten Produktivität. Drittens kann sich im Blausee auf Grund der kurzen Wassererneuerungszeit kein sehr dichtes Plankton entwickeln; es wird fortlaufend wieder ausgeschwemmt. Viertens

ist ein artenarmes Plankton geringer Dichte ein Hinweis auf nährstoffarme Bedingungen. Dies findet in der Artenzusammensetzung Bestätigung, indem die Kieselalgen klar dominieren, während Grünalgen nur durch drei Arten vertreten sind und Augenflagellaten ganz fehlen.

Flora

Die einzige gefundene Wasserpflanzenart ist eine Armleuchteralge (*Chara contraria*), welche auf geringe Nährstoffbelastung hinweist.

Fauna

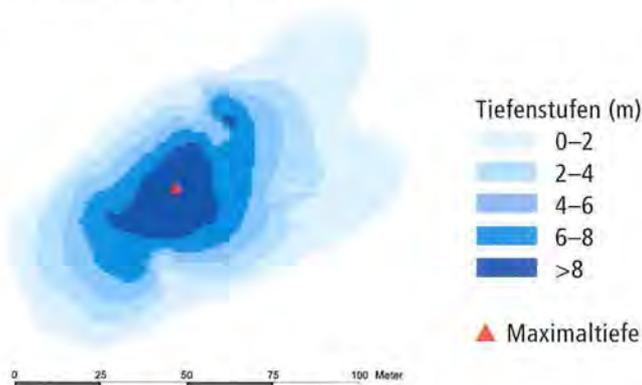
Zur Fauna waren einzig Daten über Fische verfügbar. Grösstenteils handelt es sich dabei um Regenbogenforellen aus der betriebseigenen Fischzucht, welche ursprünglich aus Nordamerika stammen und jährlich als fangfähige Fische eingesetzt werden. Daneben konnten einzelne Bachforellen beobachtet werden.

Abschliessende Beurteilung

Der Blausee weist Merkmale eines nährstoffarmen Sees auf. Die Bakterienzusammensetzung und das Sediment dagegen sind deutliche Hinweise auf eine gewisse Belastung. Während die kurze Wasseraufenthaltszeit die Wahrscheinlichkeit eines Massenaufkommens von Phytoplankton vermindert, können sich die Armleuchteralgenrasen am Grund üppig entwickeln. Die absterbenden Pflanzenteile sammeln sich zusammen mit den festen Ausscheidungen der Regenbogenforellen auf dem Seeboden an. Dieses organische Material bildet die Grundlage für einen intensiven Abbau, welcher so stark werden kann, dass der Sauerstoff im und über dem Sediment aufgezehrt wird. Auf Grund der heutigen Situation kann der Blausee als **mesotroph** beurteilt werden (MÜLLER ET AL. 1998).



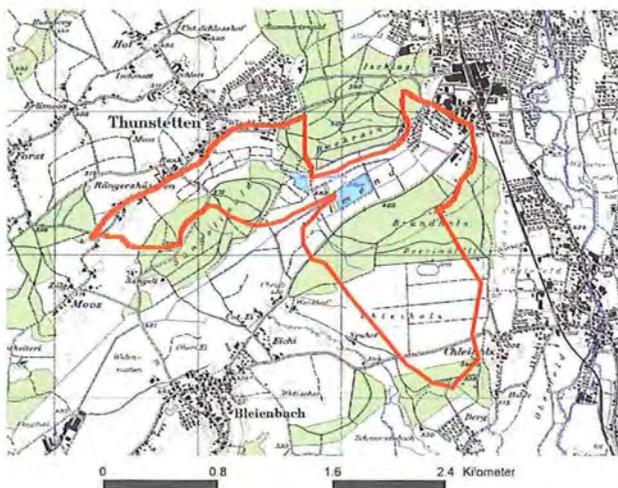
Tiefenkarte Blausee



Bleienbacher Torfsee

hoch eutroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe

1128
 625 175 / 227 461
 481 m ü.M.
 3.56 ha
 0.9 m



Geologie, Hydrologie und Geschichte

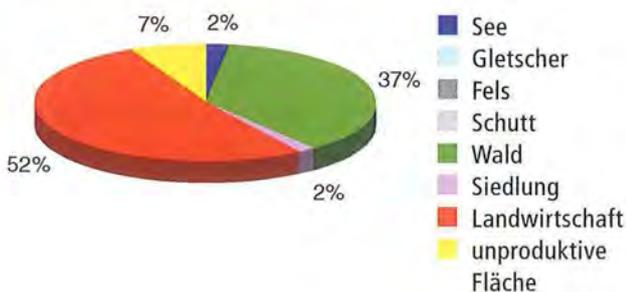
Der hauptsächlich aus Molassemergel bestehende Felsuntergrund an der Stelle des heutigen Kleinsees ist vor etwa 50 Mio. Jahren entstanden. Dieses Sedimentgestein verdankt seine Entstehung den von den Alpen herkommenden Urflüssen, welche ihr Geschiebe in der Senke des Mittellandes in gewaltigen Schuttfächern ablagerten. Das Gebiet um Bleienbach lag am mündungsfernsten Teil dieser Schuttfächer, wo feinsten Schlamm sedimentierte, welcher sich im Lauf von Jahrtausenden zu Mergel oder Lehm verkittete. Nach der Aquitanzeit wurde das Mittelland vom Meer überflutet. Es bildeten sich die Ablagerungen der Meeresmolasse, welche Fossilien wie Muscheln und Haifischzähne enthalten (BINGGELI 1990).

Während der Riss-Eiszeit war das ganze Mittelland während Jahrtausenden durch die gewaltigen Eismassen des Rhonegletschers und des Aaregletschers überdeckt. Auch in der Würm-Eiszeit reichte der Rhonegletscher bis hinunter nach Bützberg. Das weite Sohlental ist das Erosionswerk mächtiger Gletscherflüsse, welche, zusammen mit dem Wasser der Emme, von Burgdorf her dem südlichen Gletscherrand entlang flossen. Als das Eis sich weit genug zurückgezogen hatte, nahm die Emme ihren Lauf Richtung Norden, und das Tal wurde zum Urstrom- oder Trockental (BINGGELI 1990). Hinter der Endmoräne des Gletschers bildete sich ein etwa 5 km langer Stausee, welcher sich von Thörigen bis nach Langenthal erstreckte. Dieser See verlandete allmählich und entwickelte sich über ein Flachmoor zum Hochmoor. Schon im

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 220.35 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 558 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 502 m ü.M.

Flächenanteile



Jahr 1745 war er vollständig verlandet, und es existierte keine natürliche offene Wasserfläche mehr (MEYER 1965, zit. in EICHER 1978).

Die riesigen Torflager wurden schon im 18. Jahrhundert genutzt, um den Brennofen einer Ziegelei zu heizen. Das alte «Turbenloch»¹ lag etwa 300 m oberhalb des heutigen Torfsees. Durch den damals gegrabenen Mooskanal wurde das Wasser nordöstlich Richtung Langenthal abgeführt. Anfangs der 1920er Jahre wurde der Schalenkanal erstellt, und das Gebiet entwässerte neu in südwestlicher Richtung in die Altache. Die hydrologische Verbindung Altache-Önz-Aare existiert noch heute. Im ersten Weltkrieg wurde in der Schweiz das Brennmaterial knapp. Zwischen 1918 und 1920 wurde deshalb an der Stelle des heutigen Sees Torf abgebaut. Die Torfgesellschaft verpflichtete sich gegenüber der Burgergemeinde Bleienbach, die Grube nach dem Abbau zu drainieren und für die Landwirtschaft nutzbar zu machen. Dies wurde mit einem Pumpwerk bewerkstelligt, welches gerade ein Jahr lang funktionierte. Riesige Wassermengen, welche während einer langen Regenperiode im Herbst 1922 fielen, konnten durch die Pumpen nicht mehr bewältigt werden. Der Pumpbetrieb wurde eingestellt, und der See begann sich langsam zu füllen. In einem Verfahren vor Obergericht kam ein Vergleich zwischen der Torfgesellschaft und der Burgergemeinde Bleienbach zustande, und es wurde beschlossen, den Pumpbetrieb nicht weiterzuführen. Der Bleienbacher Torfsee war entstanden (EICHER 1978; SOLLBERGER 1987). Auch heute noch zeugt das grobkörnige, mit vielen Pflanzenfasern durchsetzte Sediment von der Torfabbautätigkeit (siehe Abbildung Sediment).

Der Verschönerungsverein Langenthal, der seit 1927 mit Bleienbach einen Pachtvertrag abgeschlossen hat, hat wesentlich

dazu beigetragen, dass der See während der Anbauschlacht und der anschliessenden baulichen Hochkonjunktur nicht aufgefüllt worden ist, wie dies mit vielen Kleingewässern geschehen ist. Anfänglich waren die Ufer noch kahl, doch allmählich entwickelte sich ein Gehölzsaum, und der naturschützerische Wert des Ökosystems stieg zunehmend. Während der Verschönerungsverein primär an der Nutzung des Sees als Erholungsgebiet und Fischgewässer interessiert war, erkannte die Abteilung Vogelschutz des ornithologischen Vereins den grossen ökologischen Wert des Gewässers. Sie bewirkte denn auch 1950 die Ausscheidung eines Brutschutzgebietes im oberen Teil des Sees und 1966 die Errichtung eines Jagdbannbezirks. 1977 wurde der Torfsee zusammen mit dem Sängeliweiher durch Regierungsratsbeschluss unter Naturschutz gestellt und mit einem Fischereiverbot belegt (SCHMALZ 1977).

Produktivität / Trophiegrad

Das Einzugsgebiet des Bleienbacher Torfsees wird zum grossen Teil landwirtschaftlich genutzt. Auf Grund eines mittleren Gesamtphosphorgehaltes von 79 µg/l muss er als **hoch eutroph** eingestuft werden. Orthophosphat lag in allen Tiefen unter der Nachweisgrenze, ein Hinweis, dass dieser Nährstoff während der Probenahme der Minimumfaktor war, d.h. das Algen- und Pflanzenwachstum limitierte. Auf Grund der hohen Stickstoffkonzentrationen (Nitrat, Nitrit und Ammonium) ist anzunehmen, dass dieser Nährstoff nicht limitierend war. Der See gehört bezüglich gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) zu den 10 am stärksten belasteten Kleinseen des Kantons Bern. Dies dürfte primär auf Huminstoffe aus dem ehemals moorigen Einzugsgebiet zurückzuführen sein. Das Wasser hat eine stark gelblichbraune Farbe. Der hohe Trophiegrad äussert

sich auch in einer ausgeprägten Sauerstoffzehrung: Am Grund, in nur knapp 1 m Tiefe, beträgt die Sättigung lediglich noch 54%.

Temperatur / Mischverhalten

Mit 90 cm ist der Bleienbacher Torfsee sehr seicht, und das Sonnenlicht gelangt trotz der starken Färbung des Wassers meist bis an den Grund. Auch während der warmen Jahreszeit reichen geringste Abkühlungen oder Winde aus, um das Wasser bis zum Grund zirkulieren zu lassen und mit Sauerstoff anzureichern. Dies dürfte auch der Grund sein, warum trotz des hohen Trophiegrades weder schwarze Sedimente noch anaerobe Bakterien festgestellt werden konnten. Entgegen seinem Namen handelt es sich nicht um einen See, sondern um einen Weiher.

Plankton

Eutrophe Gewässer sind in der Regel durch ein artenreiches Plankton charakterisiert. Dies trifft für den Bleienbacher Torfsee sehr gut zu, konnten doch 93 Arten nachgewiesen werden. Auch die Artenzusammensetzung (etwa die Hälfte sind Grünalgen und Augenflagellaten) charakterisiert den Weiher ganz klar als eutroph. Im Gegensatz dazu ist das Zooplankton mit zwei Arten äusserst artenarm. Allerdings ist zu bemerken, dass das Zooplankton ebenfalls einer grossen Dynamik unterliegt, welche von der Jahreszeit, Witterung und Phytoplanktondichte abhängt. Teile ihres Lebenszyklus verbringen die Plankter im Schlamm und sind für die Netzzüge nicht erreichbar. Deshalb reicht eine einmalige Probenahme nicht aus, um die Artenzusammensetzung und Bestandesdynamik des Zooplanktons vollständig zu erfassen.

Flora

Im April 1997 fielen vor allem die grossen Bestände der weissen

Seerose und des Sumpfknöterichs auf. An manchen Stellen gab es auch einen schmalen Schilfgürtel. Submerse Wasserpflanzen konnten so früh im Jahr noch keine festgestellt werden.

Fauna

Der Bleienbacher Torfsee ist als Amphibienhabitat von grosser Bedeutung. Grasfrosch, Wasserfrosch, Erdkröte, Bergmolch und Fadenmolch kommen in mittel- bis sehr grossen Beständen vor. Bis 1970 konnte gelegentlich sogar der stark gefährdete Kammolch beobachtet werden. Anlässlich von Rettungsaktionen entlang der Kantonsstrasse konnten jährlich bis zu 4600 Amphibien vor dem Tod durch den Strassenverkehr bewahrt werden, was damals als Spitzenresultat für den Kanton Bern gewertet wurde (SCHMALZ 1977). Auch ist der Bleienbacher Torfsee ein wichtiger Lebensraum, sei dies als Bruthabitat oder als Rastplatz für die Vögel auf ihren Wanderungen. Stockente, Teichhuhn, Blässhuhn und Haubentaucher brüten regelmässig, und in Zugzeiten können bis zu 445 Wasservögel auf der Wasserfläche beobachtet werden (SCHMALZ 1977).

Die Fischfauna umfasst 10 Arten (MAURER 1998) und besteht primär aus typischen Bewohnern eines eutrophen Weihers. Das Vorkommen des Karpfens zeigt, dass das Gewässer einmal fischereilich bewirtschaftet wurde. Sonnenbarsch und der Karausche sind zwei exotische Arten, welche durch den Menschen dorthin verschleppt worden sind.

Auch der gefährdete Edelkrebs lebt im See. In den letzten Jahren ist dessen Bestand in der Schweiz durch Gewässerverschmutzung und Zerstörung des Lebensraumes massiv zurückgegangen. Konkurrenz durch exotische Krebsarten wie den Kamberkrebs und die Ausbreitung der Krebspest, einer Pilzkrankheit, welche mit amerikanischen Krebsen eingeschleppt wurde, bedrohen ebenfalls die Edelkrebsbestände.

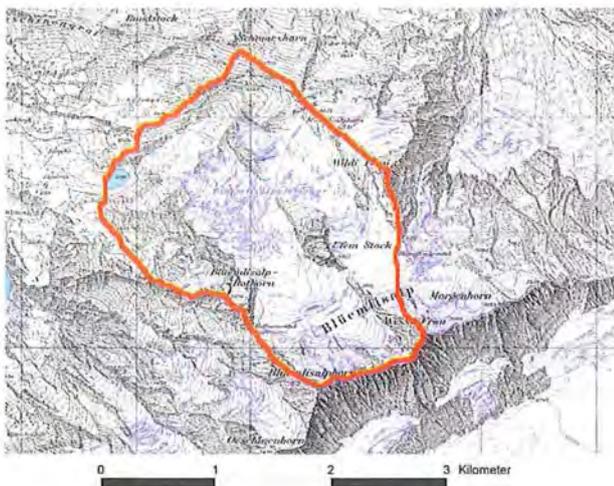
¹ «Turbe» ist das berndeutsche Wort für Torf.

Blüemlisalpsee

oligotroph



Foto: GBL / M. Zeh

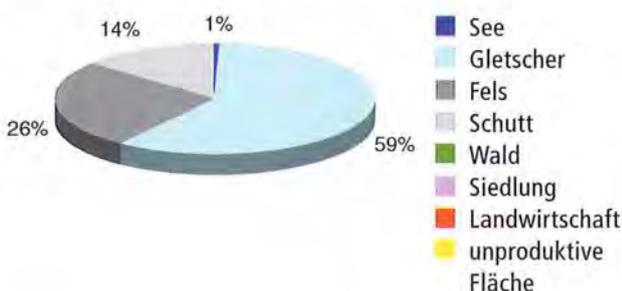


| | |
|--------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1248 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 623 861 / 150 492 |
| Höhe Seeoberfläche | 2184 m ü.M. |
| Seefläche | 2.5 ha |
| Maximaltiefe | 12.6 m |
| Seevolumen | 132 063 m ³ |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 471.38 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 3665 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2852 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Im Verlauf der letzten 100 Jahre hat sich der Blüemlisalpsee um mehr als 300 m zurückgezogen (NIKLAUS 1967). Wann genau die erste kleine Wasserfläche hinter der Stirnmoräne entstanden ist, ist nicht bekannt. Sicher ist, dass der See zu Beginn der 50er Jahre bereits existierte. Er liegt unterhalb des Blüemlisalpsee, dessen Schmelzwasser in zwei Armen direkt in den See fließt. 1965 schätzte NIKLAUS (1967) die Seeoberfläche auf rund 1 ha. Der See wies keinen oberirdischen Abfluss auf, und die Seeoberfläche lag auf einer Höhe von 2182 m ü.M. NIKLAUS (1967) befürchtete einen Murgang, falls der See weiter bis auf 2185 m ü. M. anstiege und so oberflächlich abfließen könnte. Heute liegt der Seespiegel zwei Meter höher als 1965 (2184 m

ü. M.) und die Seefläche ist rund 2.5 Mal grösser als damals. Der See wird durch zwei oberirdische Abflüsse entwässert. Es ist anzunehmen, dass Gletscherschliff den Moränenwall so weit abgedichtet hat, dass der Anstieg des Wasserspiegels und der oberflächliche Abfluss möglich wurden.

Wo nicht Eis sein Einzugsgebiet abdeckt, finden sich Fels und Schuttflächen. Da in einem Kalkgebiet wie diesem die hydrologischen Grenzen des Einzugsgebietes selten mit den topographischen zusammenfallen, besteht die Möglichkeit eines unterirdischen Zuflusses (vergleiche Oeschinensee).

Temperatur und Mischverhalten

Der See wird nur in den obersten 2 m erwärmt. An der Oberfläche wurden am 28.7.1997 4,9°C gemessen. Über Grund, in 12 m Tiefe, war das Wasser gerade 3,4°C warm. Die Zuflüsse schichteten sich mit ihrem kalten Wasser in 4–6 m Tiefe ein, wo die niedrigste Temperatur festgestellt wurde (3,2°C).

Produktivität und Trophiegrad

Der Gesamtphosphor- und der Stickstoffgehalt bewegten sich im oligotrophen Bereich. Die Messung am Grund und in einem der Zuflüsse wiesen Phosphorwerte im mesotrophen Bereich auf, was ein Hinweis auf phosphorhaltiges Gestein im Einzugsgebiet sein dürfte.

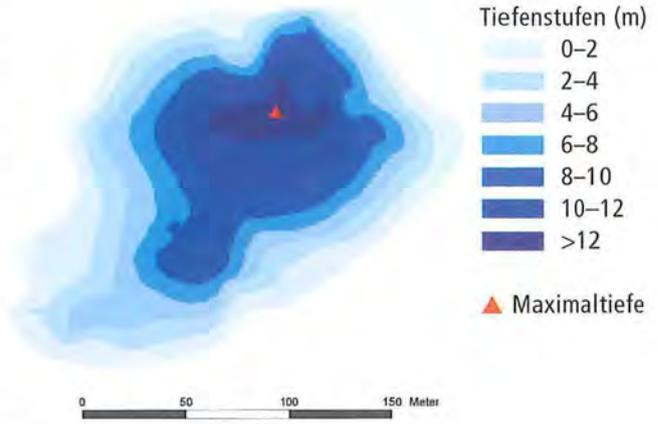
Die Karbonat- und Gesamthärte sind wegen des dominierenden Einflusses des Gletscherwassers trotz Kalkgebiet sehr niedrig (siehe Oeschinensee).

Das Wasser war mehr oder weniger über die ganze Wassersäule mit Sauerstoff gesättigt, was klar auf **oligotrophe Bedingungen** hinweist.

Plankton

Das Phytoplankton wird im Blüemlisalpsee nicht nur durch die Nährstoffe limitiert, sondern auch durch die starke Wassertrübung (Sichttiefe 0,3 m). Mit Geisseln versehene (bewegliche) Formen sind besonders an diesen Gewässertyp angepasst, da sie aktiv die helle Oberflächenschicht aufsuchen können. Der Chlorophyll-a-Gehalt lag unter der Nachweisgrenze. Die häufigsten und artenreichsten

Tiefenkarte Blüemlisalpsee



Planktonorganismen waren Blaualgen (6 Vertreter), Goldalgen (5), Grünalgen (4) und Panzerflagellaten (3). Blaualgen haben in stickstoffarmen Gewässern einen Konkurrenzvorteil, da sie Luftstickstoff binden können. Zooplankton wurde nicht gefunden.

Flora und Fauna

Sumpf- und Wasserpflanzen haben sich bis jetzt keine angesiedelt. Mehrere Versuche, Fische einzusetzen, schlugen fehl (RIE-DER 1993).

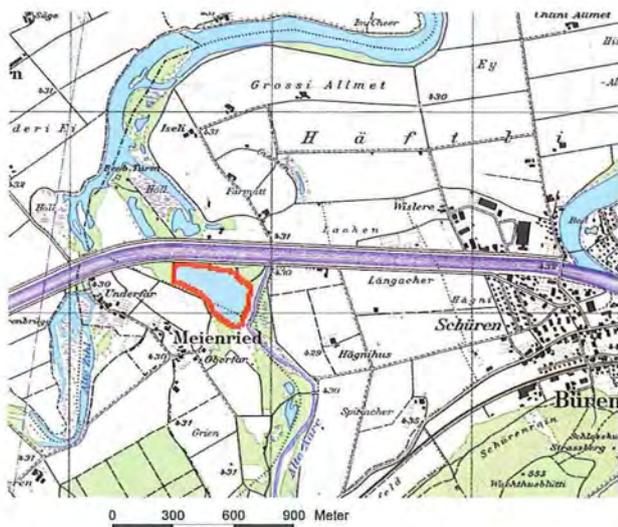


Foto: GBL / M. Zeh

Baggersee Meienried

polytroph

Foto: GBL / M. Zeh

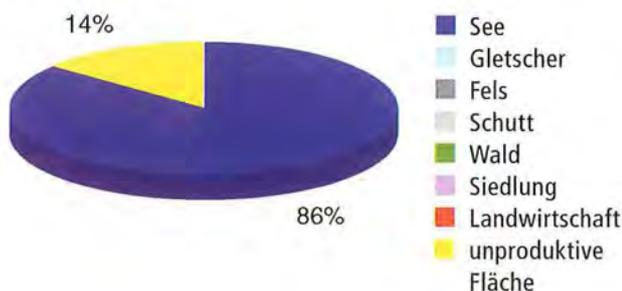


| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1126 |
| Koordinaten | 592 819 / 221 118 |
| Maximaltiefe | 428 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 428 m ü.M. |
| Seefläche | 6.39 ha |
| Maximaltiefe | 16.0 m |
| Seevolumen | 367 909 m ³ |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 6.58 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 428 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 428 m ü.M. |

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Baggersee Meienried liegt nahe der Mündung der alten Aare in den Nidau-Büren-Kanal, 7 km östlich von Biel. In der Mitte des letzten Jahrhunderts floss die Aare noch nicht in den Bielersee, sondern folgte bei Aarberg dem heutigen Lauf der alten Aare, um bei Meienried die Zihl, den ursprünglichen Ausfluss des Bielersees, aufzunehmen. Damals war das Gebiet eine grosse Schwemmlandchaft, welche von der Aare in Windungen durchflossen wurde. Zahlreiche Inseln waren vom Wasser der Aare und der Zihl umgeben, und die Flussläufe waren von Altwassern und Auengebieten gesäumt (ANONYMUS 1949). In diesen ausgedehnten Feuchtgebieten lebten damals noch seltene Vögel wie der Weissstorch

und die Rohrdommel, welche wegen ihres Rufes, der dem Stierengebrüll ähnelt, «Moosstier» genannt wurde. Flussuferläufer und Regenpfeifer suchten auf den Sandbänken nach Nahrung (ANONYMUS 1949). Die Landschaft wurde gelegentlich von katastrophalen Überschwemmungen heimgesucht. Die erste Juragewässerkorrektur, ein für damalige Verhältnisse gigantisches Wasserbau- und Entwässerungskonzept, sollte Abhilfe schaffen. 1869 wurde mit dem Bau des Nidau-Büren-Kanals begonnen. Mit der Fertigstellung dieses Jahrhundertbauwerks ging die Ära der grossen und lange dauernden Überschwemmungen zu Ende und weite Gebiete, wo früher Sumpf und Auenwald war, konnten landwirtschaftlich genutzt werden. Durch den Eingriff verloren 32 Vogelarten ihre Lebensgrundlage und starben im

Gebiet aus 17 weitere sind zu seltenen Gästen geworden (MÜHLEMANN 1927, zit. in ANONYMUS 1949). Auch seltene Pflanzenarten wie der Froschbiss sind aus der Gegend vollständig verschwunden (BERGER 1954).

Der Baggersee Meienried war ursprünglich ein Ausläufer der Aare. Der Kleinsee ist durch Kiesbaggerung (für den Bau des Nationalstrassennetzes) in den Sechzigerjahren entstanden. Die Grube füllte sich anschliessend mit Wasser.

Das Einzugsgebiet entspricht mehr oder weniger der Seefläche. Oberirdische Zuflüsse gibt es nicht. Durch eine Röhre ist der Baggersee mit der östlich vorbeifliessenden alten Aare verbunden. Je nach Wasserstand kann der Austausch in beiden Richtungen stattfinden (pers. Mitt. E. BEUTLER, Büren an der Aare).

Temperatur / Mischverhalten

Während der Probenahme Ende November 1997 war die Teilzirkulation bis in eine Tiefe von 8 m vorgedrungen. Auf Grund seiner Seefläche wäre eine Vollzirkulation im Frühjahr knapp möglich (vergleiche Formel nach BERGER S. 9 in ANONYMUS 1997). Unter Einbezug der beobachteten chemischen Schichtung ist jedoch eine Mischung bis auf den Grund eher unwahrscheinlich. Das Zirkulationsverhalten des Sees hängt ausserdem wesentlich vom Austausch mit dem Grundwasserleiter ab. Die Daten der einmaligen Probenahme lassen keine schlüssige Aussage zu, ob Meromixie vorliegt.

Produktivität / Trophiegrad

Die Beurteilung des Trophiegrades hängt wesentlich davon ab, ob der See meromiktisch ist: Bei holomiktischen (bis auf den Grund zirkulierenden) Seen berechnet man die mittlere Gesamtphosphorkonzentration

über den gesamten Tiefenbereich. Mit 135 µg/l wäre der See als **polytroph** einzustufen.

Falls Meromixie (nur teilweise Zirkulation) vorliegt, haben sich die hohen Nährstoffgehalte im Tiefenwasser im Lauf von Jahren angesammelt. Dies ist auch bei relativ geringer Belastung möglich. Zudem stehen die Nährstoffe des Tiefenwassers nicht für die Primärproduktion zur Verfügung, da sie nicht durch Mischung in die produktive Zone gelangen können. In diesem Falle dürften nur die oberflächennahen Schichten zur Berechnung des Trophiegrades beigezogen werden und dieser läge dann viel tiefer (**meso-eutroph**).

Die Chlorophyll-a-Konzentration, welche Aussagen über die Algenbiomasse zulässt, ist mit 5.6 µg/l tief und charakteristisch für mesotrophe Gewässer. Allerdings darf dieser Einzelwert nicht überinterpretiert werden, da Ende November keine hohe Biomasse zu erwarten ist. Zudem wirkt die beobachtete Teilzirkulation a priori einer Ausbildung eines üppigen Phytoplanktons entgegen.

Die geringen Sauerstoffgehalte und das grosse Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser (bis zu 1.3 mg/l Sulfid) können ebenso durch beide Ursachen (Polytrophie und Meromixie) zustande kommen. Auffällig sind die sehr geringe Sauerstoffkonzentration (2 mg/l) und das Vorkommen von Sulfid im Oberflächenwasser. Es ist davon auszugehen, dass infolge Teilzirkulation anoxisches Wasser aus mittleren Tiefen mit dem Oberflächenwasser vermischt wurde. Der gesamte Wasserkörper enthielt somit weniger als 2 mg/l Sauerstoff. Diese Verhältnisse verhindern, dass Fische oder Wassertiere mit hohen Sauerstoffansprüchen im See überleben können. Die reduzierenden Bedingungen über dem Seegrund sind auch in der Farbe des Sediments sichtbar: Die obersten 20–28 cm sind sehr dunkel gefärbt, ein Hinweis auf Sulfid (siehe Abbildung Sediment).

Plankton

Das Phytoplankton ist mit 82 Taxa sehr artenreich und weist mehrheitlich Merkmale eines nährstoffbelasteten Sees auf. Artenzahl sowie Dichte werden durch Vertreter der Grünalgen dominiert. Die nährstoffliebenden Augenflagellaten sind durch vier Arten vertreten.

Mit 12 taxonomischen Einheiten ist auch das Zooplankton sehr vielfältig. Im Unterschied zum Phytoplankton lässt es aber keinen Schluss über den Trophiegrad zu. Das Spektrum reicht von Zeigern für oligotrophe bis eutrophe Gewässer. Das Vorkommen von anaeroben Schwefelpurpurbakterien widerspiegelt die prekären Sauerstoffbedingungen im Seewasser.

Flora

Im Vergleich zu den Relikten der ursprünglichen Auenlandschaft (Häftli, Meienriedloch), welche auch heute noch durch eine sehr artenreiche Flora auffallen (BERGER 1954), ist die pflanzliche Besiedlung des Baggersees recht eintönig. Das ährige Tausendblatt, ein Nährstoffzeiger, bildet grosse Bestände. Die beiden Schwimmblattpflanzen (weisse Seerose, gelbe Teichrose) wurden durch den Menschen angepflanzt. Wo die Beschattung durch Ufergehölze nicht zu gross ist, haben sich Schilfbestände angesiedelt.

Fauna

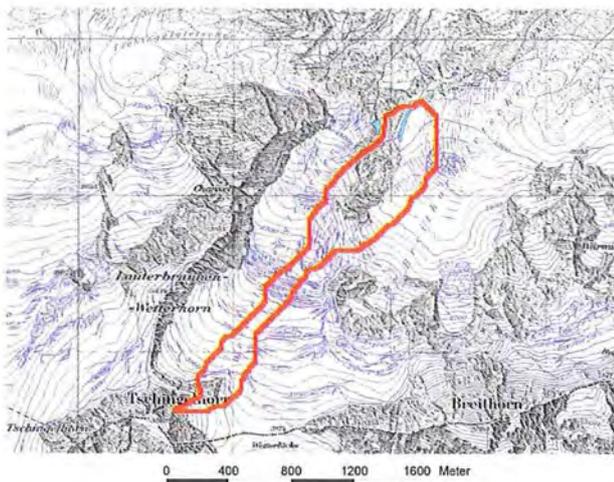
Trotz der ungünstigen Sauerstoffverhältnisse lebt erstaunlicherweise eine vielfältige Fischfauna im Baggersee. Insgesamt kommen 13 Arten vor, worunter besonders der stark gefährdete Bitterling zu erwähnen ist. Leider wurde auch der Kamberkrebs im Baggersee beobachtet. Schon vor Jahren hat diese aus Nordamerika eingeführte Art die Bestände des einheimischen Edelkrebsses aus zahlreichen Gewässern des Seelandes verdrängt.



Breithorngletscherseeli

oligotroph

Foto: GBL / K. Guthruf



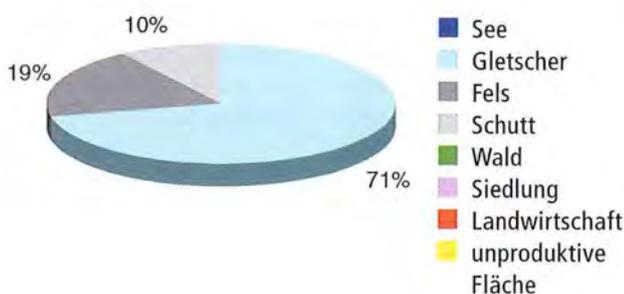
Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1248
 633 093 / 149 471
 2284 m ü.M.
 0.54 ha

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 64.46 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3399 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2632 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

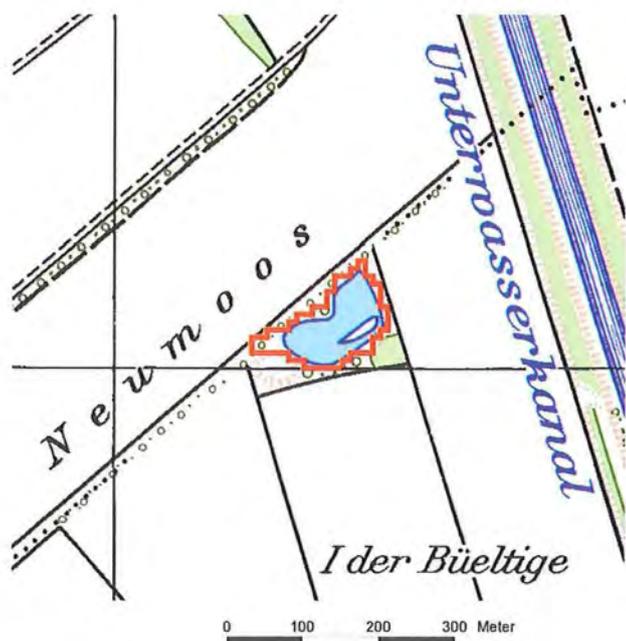
Das hochalpine Seeli liegt 7 km süd-südwestlich von Mürren am westlichen Rand des Breithorngletschers. Bis 1986 hatte es lediglich eine Oberfläche von etwa 0.1 ha. Gespiesen wurde es damals durch den östlichen Abfluss des Wetterlückengletschers und durch Schmelzwasser des Breithorngletschers. Der Abfluss war damals unterirdisch. Veränderungen des Gletschers oder der gletschernahen Geröllformationen führten zum Aufstau des Seespiegels. Die Seefläche vergrösserte sich zwischen 1986 und 1993 um etwa einen Faktor 5. Der heute oberirdische Abfluss (Chrumbach) ist einer der Zuflüsse der Weissen Lutschine. Der Untergrund des zum gröss-

ten Teil vergletscherten Einzugsgebietes (71% der Fläche) besteht aus kristallinem Gestein.

Wegen seiner Unzugänglichkeit und seines kurzen Bestehens sind in diesem Gletschersee noch keine Untersuchungen durchgeführt worden.



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1145
 583 307 / 209 039
 439 m ü.M.
 0.83 ha
 3.8 m
 9029 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

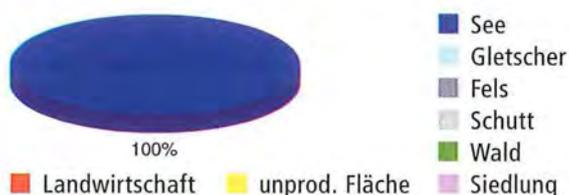
Am Unterwasserkanal des Elektrizitätswerks Kallnach, 12 km südlich von Biel, liegt das Büeltigenseelein (auch Büeltigenweiher genannt). Schon seit längerer Zeit befand sich dort eine Kiesausbeutungsstelle. Im Rahmen der Melioration des Seelandes wurde die Kiesentnahme gesteigert, da Material für die Flurwegbauten benötigt wurde. Nach der Einstellung der Kiesgewinnung setzte die Besiedlung durch Amphibien, Vögel und Pionierpflanzen ein. Angesichts der faunistischen und floristischen Vielfalt verzichtete man 1974 auf die ursprünglich geplante Zuschüttung des Baggerses und beschloss, die Grube als «Meliorationsdenkmal» zu erhalten. Ein Jahr später wurde das Gebiet unter Naturschutz

gestellt. Zur Steigerung des Wertes wurden folgende Anpassungen vorgenommen: Durch erneute Baggerung wurde die Wasserfläche vergrößert und eine Insel, seichte Buchten und Flachufer geschaffen. Nach diesen technischen Eingriffen wurde das Gebiet bepflanzt (BOSSERT 1979; HAURI 1979). Oberflächlichen Zufluss erhält der Kleinsee nicht. Die wesentliche Speisung erfolgt über Grundwasser. Das Einzugsgebiet ist somit der Wasserfläche gleichzusetzen. Durch seine kiesigen Ufer und das klare und relativ kühle Wasser hebt er sich von den übrigen Kleinseen des Seelandes ab.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 1.23 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 439 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 439 m ü.M.

Flächenanteile



Temperatur / Mischverhalten

Das Büeltigenseelein ist mit 3.7 m nicht sehr tief. Die Temperaturunterschiede zwischen Oberfläche und Seegrund waren während der Probenahme am 17.4.1997 nicht gross. Der Aufbau einer stabilen Schichtung während des ganzen Sommers ist deshalb eher unwahrscheinlich. Auch an der tiefsten Stelle konnte man bis auf den Grund sehen, das heisst zumindest zeitweise fehlt eine lichtfreie Tiefenzone. Das Gewässer liegt somit im Grenzbereich zwischen einem Kleinsee und einem Weiher. Der Name Büeltigenweiher wäre daher eher zutreffend.

Produktivität / Trophiegrad

Das Wasser des Büeltigenseeleins ist unbelastet, wie die mittlere Gesamtposphorkonzentration, aber auch der Gehalt an Chlorophyll a zeigen. Sauerstoffzehrung war während keiner Probenahme feststellbar.

Plankton

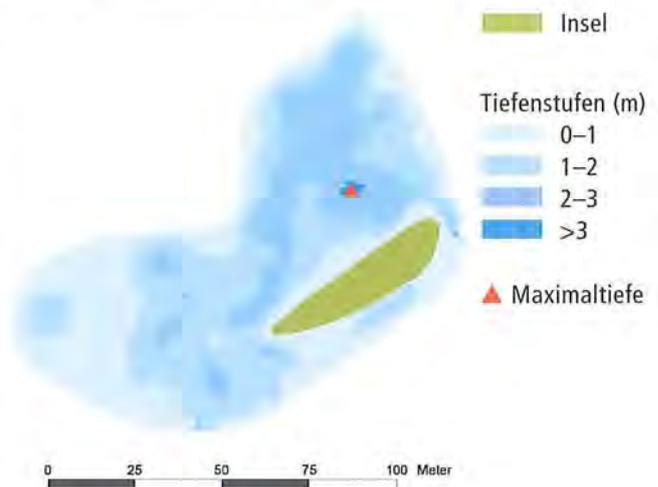
Das Phytoplankton ist mit 79 taxonomischen Einheiten artenreich. Grünalgen (24 Vertreter) dominieren zusammen mit Blaualgen (13), was an sich für ei-

ne gewisse Nährstoffbelastung spricht. Dagegen fehlten die Augenflagellaten, welche als Belastungszeiger gelten, in der Probe vollständig. Das Vorkommen von Goldalgen ist ein weiteres Zeichen für eine eher geringe Nährstoffbelastung. Im Bakterienplankton wurden keine Arten festgestellt, welche auf einen sauerstofffreien Zustand hindeuten. Unter den fünf gefundenen Arten waren jedoch zwei tolerant für niedrige Sauerstoffgehalte. Aus der Zusammensetzung des Zooplanktons sind keine klaren Tendenzen erkennbar.

Flora

Der Übergang von kiesigen Trockenstandorten zum Wasser ermöglicht einer Vielfalt verschiedener Pflanzen das Überleben. Trotz des geringen Alters konnte eine hohe Diversität an Pflanzen gefunden werden. Die kiesigen Flächen sind sehr geeignet für das Aufkommen von Pionierpflanzen. 13% der Fläche des Schutzgebietes sind mit Pioniervegetation bewachsen. Bei der terrestrischen Vegetation waren bereits Anzeichen eines Nährstoffeintrages von aussen (Brennesseln, Winden und Brombeeren) feststellbar. Das umliegende Land wird intensiv landwirtschaftlich genutzt, und eine Pufferzone fehlt (WYLER 1988). Hecken haben die wichti-

Tiefenkarte Büeltigenseelein



ge Funktion einer Vernetzung des Büeltigenseeleins mit anderen «naturnahen Inseln» im «Meer des intensiven Ackerbaus» (WYLER 1988). 30% der Uferlänge werden bereits durch ein Schilfröhricht gesäumt, und es bestehen auch schon Ansätze eines Schwimmblattgürtels (WEGMÜLLER 1990).

Fauna

Die kiesigen Flächen können als Ersatz für die verlorengegangene Flusslandschaft betrachtet werden (BOSSERT 1979). Die vegetationslosen oder mit Pioniervegetation bewachsenen Kiesflächen sind Zwischenstadien im Zyklus der Natur, welche in unserer Agrarlandschaft äus-

erst selten geworden sind. Für menschliche Begriffe sind diese Kiesflächen unproduktiv, für die Fauna stellen sie jedoch einen sehr wichtigen Lebensraum dar, für zahlreiche spezialisierte Arten sind sie schlicht Existenzgrundlage.

Im Büeltigenseelein leben sieben verschiedene Amphibienarten (Grasfrosch, Teichfrosch, Laubfrosch Gelbbauchunke, Erdkröte, Kreuzkröte, Fadenmolch), wovon fünf gefährdet sind. Der stark gefährdete Laubfrosch ist ganz besonders auf kiesige Lebensräume angewiesen. Diese dürfen nicht zu stark durch Vegetation beschattet werden, da der Laubfrosch besonders auf Licht und Wärme angewiesen ist. Gemäss Daten des Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) kommt der Laubfrosch lediglich in zwei in diesem Projekt untersuchten Kleinseen vor. Im ganzen Kanton Bern sind 35 Standorte bekannt (GROSSENBACHER 1977). Auch Kreuzkröte und Geburtshelferkröte, welche beide kiesige, wenig beschattete und wenig bewachsene Biotope bevorzugen, leben im Büeltigenseelein (GROSSENBACHER 1977). Neben seinem Wert als Lebensraum für Amphibien (HÄNGGI & WEGMÜLLER 1989) hat das Büeltigenseelein eine grosse Bedeutung als Libellenhabitat. Zwischen 1984 und 1995 konnten 32 Arten nachgewiesen werden, acht davon sind gefährdet, zwei stark gefährdet (Daten CSCF).



Foto: GBL / M. Zeh



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|--------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1208 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 634 139 / 171 864 |
| Höhe Seeoberfläche | 613 m ü.M. |
| Seefläche | 5.25 ha |
| Maximaltiefe | 19.1 m |
| Seevolumen | 449 638 m ³ |



Geologie, Hydrologie und Geschichte

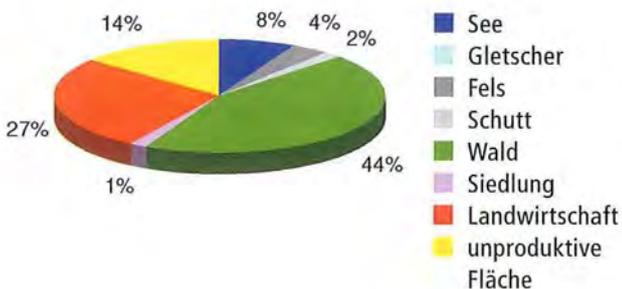
Das Burgseeli liegt am rechten Brienerseeufer 2.5 km nordöstlich von Interlaken. Früher wurde es wegen seines «faulen» (moorigen) Wassers Faulenseeli genannt. Dieser Name ist auch heute noch bei der lokalen Bevölkerung geläufig. Als der Tourismus im Berner Oberland an Bedeutung gewann und der Kleinsee wegen seines warmen Wassers als Badegewässer grosse Attraktivität erlangte, fürchtete man, ein «faules Seeli» würde sich nachteilig auswirken und es wurde kurzerhand umbenannt: Der neue, in den Landeskarten aufgeführte Name stammt von der «Burg», dem südlich anschliessenden Berg Rücken (FRUTIGER & ZURBUCHEN 1977). Gegen Norden steigt das Gelände steil zum 1585 m ü.M.

gelegenen Gipfel des Harder an und gegen Osten wird es durch einen 673 m ü.M. hohen Hügel mit einer Kirchenruine begrenzt. Diese Lage in einem windgeschützten Kessel hat entscheidenden Einfluss auf das Mischverhalten des Sees. 83 % des Einzugsgebietes bestehen aus Karbonatgestein und der Rest aus fluvioglazialen Schotter. Es kommen also zwei Ursachen in Frage, die an der Entstehung des Burgseelis beteiligt sein können: Gletscher und Karst. Welcher der beiden Prozesse wirklich verantwortlich ist oder ob allenfalls beide beigetragen haben, kann mit den verfügbaren Datengrundlagen nicht beantwortet werden. Die heutige Hydrologie ist jedenfalls durch Karsterscheinungen geprägt: Das Wasser verschwindet in einer unterirdischen Felspalte und entwässert durch ein

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 71.71 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 118 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 1602 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 861 m ü.M. |

Flächenanteile



Höhlensystem in die Aare bei Interlaken. Gespiesen wird der Kleinsee von drei ständig Wasser führenden oberirdischen Zuflüssen. Die gesamte zufließende Wassermenge ist allerdings gering und die Verweilzeit des Wassers im See entsprechend gross (FRUTIGER & ZURBUCHEN 1977). Wasserspiegelschwankungen fehlen praktisch vollständig (IMHOF & ISELI 1989).

Temperatur / Mischverhalten

Das Burgseeli friert in der Regel jeden Winter zu (FRUTIGER & ZURBUCHEN 1977; NEF 1991) und im Sommer erwärmt es sich an der Oberfläche bis auf 27 °C. Das Tiefenwasser dagegen zeigte praktisch während allen Messungen Werte zwischen 5 und 5,5 °C. Das Schichtungs- und Zirkulationsverhalten des Kleinsees ist gut dokumentiert, da in allen Jahreszeiten mehrere Tiefenprofile aufgenommen wurden. Dank dieser zahlreichen Untersuchungen lassen sich einige interessante Phänomene des Burgseelis erklären: Das 5 °C «warme» Tiefenwasser müsste sich eigentlich mit dem darüberliegenden 4 °C kalten Wasser mischen, da 4 °C-Wasser in der Regel schwerer ist. NEF (1991) vermutet den Grund in einer **chemischen Schichtung**. Ein hoher Mineralgehalt kann nämlich bewirken, dass Wasser mit 5 °C schwerer ist als mit 4 °C. Diese Vermutung wird durch chemische Analysen bestätigt: Das Tiefenwasser hat Karbonat-,

Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen, welche zu den höchsten, im Rahmen dieses Projektes gemessenen Werten gehören. Die Kieselsäuregehalte sind im Tiefenwasser bis um einen Faktor 100 höher als im Epilimnion. Auch die elektrische Leitfähigkeit, welche den Ionengehalt des Wassers wiedergibt, ist in der Tiefe fast doppelt so hoch wie an der Oberfläche. Wie die Temperatur, war auch die chemische Zusammensetzung des Tiefenwassers während allen Jahreszeiten sehr ähnlich. Sowohl die ausserordentlich hohen Mineralgehalte als auch das Fehlen von jahreszeitlichen Schwankungen sprechen dafür, dass das Tiefenwasser schon längere Zeit keinen Austausch mehr mit dem Oberflächenwasser erfährt. Zumindest in den Wintern 89/90 und 92/93 hat der See mit Sicherheit nicht vollständig gemischt, und die Tiefenzone blieb vollständig abgetrennt vom Oberflächenwasser. Es ist anzunehmen, dass sich die grossen Mineralgehalte in Zeiträumen von Jahrzehnten dort angereichert haben. Diese hohen Konzentrationen wiederum erhöhen zunehmend die Schichtungsstabilität und verhindern somit, dass Wind und Kälteeinträge das Wasser zum Zirkulieren bringen können. Falls der See zirkuliert, findet dies nur sporadisch statt, er ist **meromiktisch**. Dies hat nicht nur Auswirkungen auf die Chemie, sondern auch auf seine Eigenschaften als Lebensraum für Tiere und Pflanzen. Die Meromixie zieht sich wie ein

roter Faden durch die Limnologie des Burgseelis.

Produktivität / Trophiegrad

Bei der Beurteilung der Produktivität ist die Kenntnis der Meromixie sehr wichtig, gilt es doch, einen mittleren Nährstoffgehalt der Zone zu berechnen, welche für die Primärproduktion ausschlaggebend ist. Würde man den mittleren Gesamtphosphorgehalt des ganzen Tiefenbereichs (160–360 µg/l) in die Beurteilung einbeziehen, wäre das Burgseeli polytroph. Klammert man jedoch das Monimolimnion aus, und beschränkt sich auf die von der jährlichen Zirkulation erfasste Tiefenzone, ist das Gewässer als **eutroph** einzustufen (34–82 µg/l). Die Untersuchungen von 1993 zeigen sogar eine Tendenz in Richtung mesotroph (22–33 µg/l), was auch seinem natürlichen Zustand entsprechen würde.

Gemäss Berechnung nach PRASUHN & BRAUN (1994) würde die natürliche Phosphor-Belastung 0.16 g P pro m² Seefläche und Jahr betragen. Diese Belastung lässt nach (VOLLENWEIDER 1968) bei einer mittleren Tiefe von 8.6 m auf einen mesotrophen Zustand schliessen.

Der erhöhte Nährstoffgehalt äussert sich in einer zeitweise hohen Primärproduktion: Durch eine Algenblüte wurde das Wasser im Mai 1989 sehr trüb und hatte eine bräunliche Farbe. Auch die Sauerstoffsättigung erreichte damals in der produktiven Zone Spitzenwerte von 178 %, was auf die intensive Photosynthese durch die dichten Algenbestände zurückzuführen ist. Allerdings konnte eine so hohe Primärproduktion während den Probenahmen im Jahr 1993 nicht mehr festgestellt werden. Auf Grund des Vergleiches mit den übrigen Probenahmen, aber auch in Anbetracht der Reaktionen in der Bevölkerung, welche dieses Ereignis auslöste (GÜNTER 1981; NEF 1991)

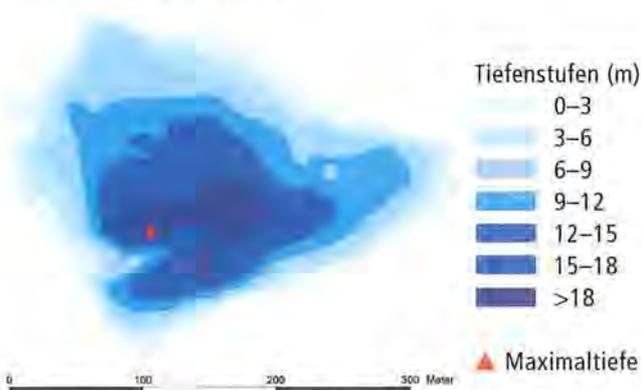
ist anzunehmen, dass die starke Algenblüte von 1989 eine Ausnahmeerscheinung war. Damit stimmen die biologischen Befunde sehr gut mit den Ergebnissen der chemischen Analytik überein und charakterisieren den Kleinsee als eutroph.

Die Algen sinken nach ihrem Tod ab und werden in den tieferen Wasserschichten unter Sauerstoffzehrung abgebaut. Ist kein Sauerstoff mehr vorhanden, wird durch anaerobe Bakterien Sulfat «veratmet» und zu Schwefelwasserstoff reduziert. Es entsteht ein Sauerstoffdefizit. Die Vollzirkulation, welche in holomiktischen Seen alljährlich das Tiefenwasser mit Sauerstoff anreichert, bleibt in meromiktischen Seen aus. Jedes Jahr wächst das Sauerstoffdefizit im Monimolimnion und das stark organisch belastete Sediment trägt zusätzlich dazu bei, dass das Tiefenwasser während des ganzen Jahres sauerstofffrei ist und hohe Konzentrationen des giftigen Schwefelwasserstoffs enthält. Ausser für die hoch spezialisierten Schwefelbakterien stellt das Monimolimnion für tierische und pflanzliche Organismen ein äusserst lebensfeindliches Milieu dar.

Im Burgseeli beschränkt sich die Sauerstoffzehrung im Sommer nicht nur auf das Tiefenwasser. Im Mai 1989 wurde schon in 6 m Tiefe eine grosse Sauerstoffzehrung gemessen.

Während der Teilzirkulation wird anoxisches Wasser aus 6–10 m Tiefe mit dem sauerstoffhaltigen Oberflächenwasser vermischt. So kann es vorkommen, dass der Sauerstoffgehalt im ganzen See auf weniger als 4 mg/l sinkt, was für Fische und andere Wassertiere mit hohem Sauerstoffbedarf lebensbedrohlich werden kann. Die obersten 60 cm des Sediments sind schwarz gefärbt, das heisst anoxisch. In tieferen Schichten ist die Farbe heller, was darauf hinweist, dass der See früher aerobe Phasen erlebte. Auf Grund der Tatsache, dass die Maximaltiefe seit 1784 (19.8 m, aus FRUTIGER & ZURBUCHEN 1977) nur um 70 cm abgenommen hat, ist von einer geringen

Tiefenkarte Burgseeli



Sedimentationsrate auszugehen, was vermuten lässt, dass dieser Wechsel schon lange zurückliegt.

Plankton

Das Phytoplankton setzt sich aus 79 taxonomischen Einheiten zusammen. Die Grünalgen dominieren mit 24 Arten und die Augenflagellaten, als Nährstoffzeiger bekannt, sind mit 5 Arten vertreten. Auch die Burgunderblutalge kam während mehrerer Probenahmen vor. Diese Zusammensetzung spricht für einen erhöhten Nährstoffgehalt des Wassers. Allerdings konnte während keiner der 5 Probenahmen im Jahr 1993 ein Massenvorkommen einer oder mehrerer Arten festgestellt werden.

Der Bademeister des Strandbades hat schon mehrere Tauchgänge im Burgseeli unternommen. Er beschreibt, dass sich etwa in 10 m Tiefe ein schwarzer Horizont befindet, der beim er-

sten Betrachten mit dem Seegrund verwechselt werden könnte. Darunter breitete sich eine völlig andere Welt aus: Das Wasser war derart trüb, dass der Taucher trotz einer Lampe die Hand vor Augen nicht mehr sehen konnte, und es roch stark nach faulen Eiern (Schwefelwasserstoff). Diese Beobachtung wurde durch die Planktonproben bestätigt, indem im Tiefenwasser mehrere Schwefelpurpurbakterienarten vorkamen. Diese können dem Wasser eine rötliche Farbe geben, welche vom Taucher als schwarz-braun empfunden wurde. Diese Bakterien sind an das sauerstofffreie Milieu bestens angepasst.

Flora

1970 konnten 38 verschiedene Pflanzenarten nachgewiesen werden (FRÜTIGER & ZURBUCHEN 1977). Das Spektrum reichte von Nährstoffzeigern bis zu Magerkeitszeigern und von Säurezei-

gern bis zu Arten, welche neutrale pH-Werte bevorzugen. Auch bedrohte Arten wie das stark gefährdete langästige Zyperngras und die gefährdete dreifurchige Wasserlinse wurden gefunden. Insbesondere auf der nördlichen Seite war das Burgseeli von einem Schilfgürtel begrenzt (IMHOF & ISELI 1989). Diesem waren zum Teil ausgedehnte Bestände der weissen Seerose vorgelagert. Untergetauchte Wasserpflanzen waren durch grosse Bestände des ährigen Tausendblatts vertreten.

Fauna

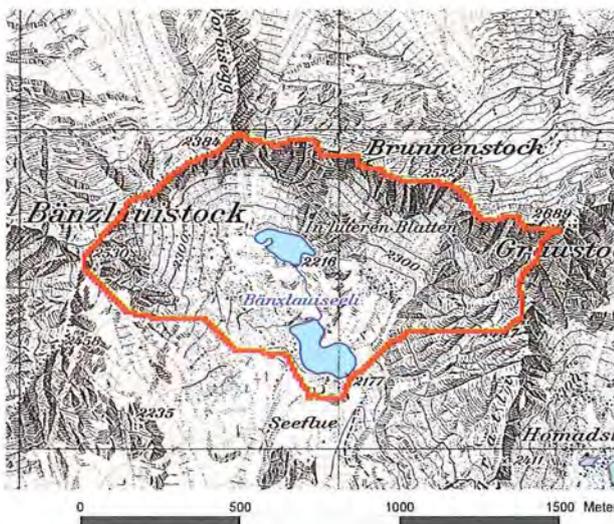
Die vielfältige Vegetation aus Sumpf- und Wasserpflanzen erhöht die Qualität als Lebensraum für Tiere: Zwischen 1984 und 1990 konnten 22 Libellenarten, darunter zwei gefährdete, nachgewiesen werden. Erdkröte, Grasfrosch und Bergmolch dient der See als Laichgewässer. Eine grosse Zahl von Amphibien

kann jährlich durch die Sammelaktionen der Schule Ringgenberg vor dem Strassentod bewahrt werden. Auch die stark an naturnahe Fluss- und Seeufer angepasste Ringelnatter findet im Burgseeli geeigneten Lebensraum. 1958 wurde es durch Regierungsratsbeschluss unter Naturschutz gestellt.

Mit Schleie, Rotauge, Hasel und Flussbarsch leben heute vier typische Fischarten eutropher Kleinseen im Burgseeli, welche schon im 18. Jahrhundert dort vorkamen. 1778 wurde das Gewässer erstmals mit Hechten besetzt (FRÜTIGER & ZURBUCHEN 1977). Der Hecht gehört zusammen mit Brachsmen, Alet, Hasel Rotfeder und Karpfen zu den Arten, welche seit 1770 neu im Burgseeli leben. Auch Aale wurden zeitweise eingesetzt, verschwanden aber mit der Einstellung des Besatzes (FRÜTIGER & ZURBUCHEN 1977). Edelkrebse bevölkerten den Seegrund im 18. Jahrhundert in grossen Mengen.



Foto: GBL / M. Zeh



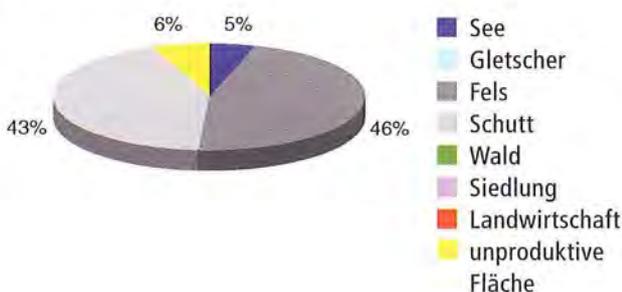
Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1210
 665 000 / 171 275
 2177 m ü.M.
 2.07 ha

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 69.92 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2647 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2317 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Das untere ist das grössere der zwei Bänzlauseeli, welche sich beide in der alpinen Höhenstufe südlich des steilen Grates, der sich vom Bänzlauseeli zum Brunnenstock parallel zum Aaretal hinzieht, befinden. Es liegt rund 40 m unterhalb des oberen Seelis und wird vor allem durch dessen Abfluss gespeist. Selber weist es keinen oberirdischen Abfluss auf. Trotz der grossen Höhe ist das Einzugsgebiet nicht vergletschert, sondern besteht vor allem aus Fels und Geröllhalden. Der kristalline Anteil des Einzugsgebietes ist mit 75% geringer als beim oberen Seeli, jedoch immer noch sehr prägend. Der Kalkanteil ist vernachlässigbar.

Temperatur / Mischverhalten

Die Probenahme erfolgte wie beim oberen Seeli am 9.4.1997, als das Gewässer noch vollständig eisbedeckt war. Die Messstelle wies eine Tiefe von 11.8 m auf. Trotz mehrerer Lotungen durch verschiedene Eislöcher kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob dies der tiefste Punkt ist. Der See wies mit einem Minimum von 0.0 °C in 2 m Tiefe eine noch deutlichere inverse Temperaturschichtung auf als das obere Seeli. Über Grund erreichte die Temperatur 3.9 °C und damit das Wasser seine höchste Dichte. Das hell gefärbte aerobe Sediment ist ein Hinweis, dass die anaeroben Verhältnisse über Grund nur von beschränkter

Dauer sind. Es ist daher anzunehmen, dass das Wasser mindestens einmal im Jahr vollständig zirkuliert (Holomixie).

Produktivität und Trophiegrad

Bis in 10 m Tiefe lag die Gesamtposphorkonzentration nicht über 5 µg/l. Einzig über Grund war der Wert leicht erhöht (11 µg/l). Auf Grund der durchschnittlichen Konzentration dieses Nährstoffs ist der See klar als **oligotroph** zu beurteilen. Auch gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und Gesamtstickstoff wurden nur in geringen Konzentrationen gemessen. Dagegen wies das Wasser bereits an der Oberfläche eine Sauerstoffsättigung von nur 81% auf. Mit zunehmender Tiefe nahm der Sauerstoffgehalt ab und sank über dem Grund ganz auf Null. Auf Grund seiner Sauerstoffverhältnisse ist das untere

Bänzlauseeli als **eutroph** einzustufen. Diese Diskrepanz zwischen der Zuordnung des Trophiegrades auf Grund des Nährstoffgehaltes und der Sauerstoffsättigung wurde in zahlreichen alpinen und subalpinen Kleinseen beobachtet. Mehrere Erklärungen kommen in Frage: Wegen der lange dauernden Vereisung ist der Gasaustausch mit der Atmosphäre gegenüber Mittellandseen stark vermindert und die Zeit, in der das Wasser zirkulieren kann, sehr kurz. Unter dem Eis ist jedoch die produktive, sauerstoffreiche Zone wegen der stark verminderten Sonneneinstrahlung auf die obersten Zentimeter reduziert und wird nach unten von einer grossen, dunklen Tiefenzone abgelöst, in welcher Abbau und Sauerstoffzehrung vorherrschen. Zudem ist in hoch gelegenen Seen der Sauerstoffvorrat viel geringer als in Mittellandseen, da die Sättigungskonzentration wegen des niedrigeren Luft-

drucks herabgesetzt ist. Es ist jedoch auch möglich, dass während der Schneeschmelze erhöhte Nährstofffrachten in den See gelangen und im Sommer zu starker Produktion von Algen führen, welche im Winterhalbjahr unter Sauerstoffzehrung abgebaut werden.

Die Leitfähigkeit ist wegen des kristallinen Einzugsgebietes sehr niedrig. Über Grund stieg sie leicht an (auf 49 µS/cm). Auch die Karbonathärte und der Calciumgehalt, die in unbelasteten Gewässern am wesentlichsten zur Leitfähigkeit beitragen, hatten ihr Maximum über dem Seegrund.

Plankton

Trotz gleichviel gefundener Taxa (32) wie im oberen Bänzlauseeli war die Zusammensetzung etwas verschieden. Goldalgen waren die artenreichste Gruppe (8 Taxa), gefolgt von den Blau-

und Grünalgen mit je 6 Vertretern. Die beiden gefundenen Augenflagellaten-Arten deuten auf eine stärkere Nährstoffbelastung hin als im oberen See. Anaerobe Bakterien wurden trotz sauerstofffreiem Milieu nicht nachgewiesen, da das Tiefenwasser bei der Planktonprobenahme nicht berücksichtigt wurde.

Im Zooplankton konnten vier Arten nachgewiesen werden, wovon eine Art oligotrophe und eine andere mesotrophe Bedingungen bevorzugt.

Flora/Fauna

Der Probenahmezeitpunkt und die Art der Probenahme (Eisbohrung) lassen keine Aussagen über das eventuelle Vorhandensein von Wasser- und Sumpfpflanzen zu. Aus der Literatur sind uns weder Aufzeichnungen zur Flora noch zur Fauna bekannt.

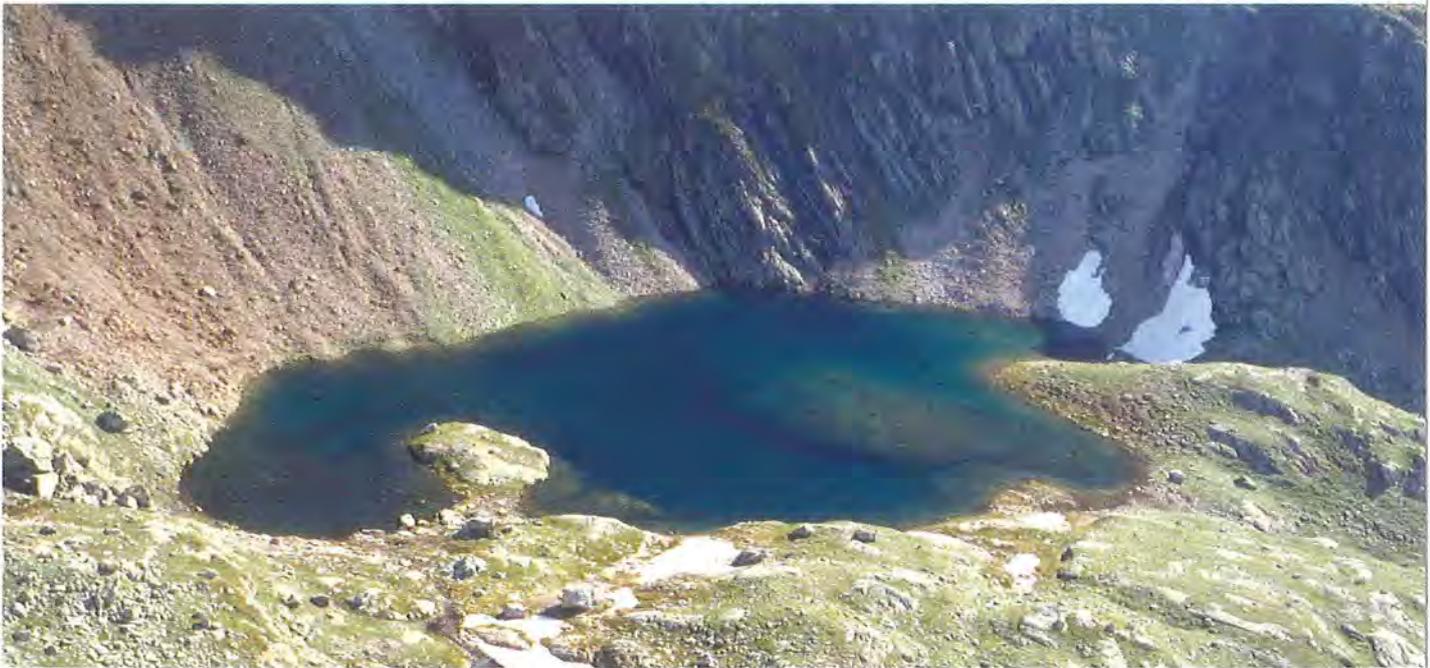


Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------|-------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1210 |
| Seekoordinaten | 664 825 / 171 625 |
| Höhe Seeoberfläche | 2216 m ü.M. |
| Seefläche | 1.14 ha |

Temperatur / Mischverhalten

Die Probenahme erfolgte am 9.4.1997, als der See noch vollständig vereist war. Der See ist während der Kälteperiode invers geschichtet. Die niedrigsten Temperaturen (0.0 °C) fanden sich zwischen 0.5 und 2 m. Bis zum Grund in rund 5.3 m Tiefe erreichte die Temperatur 3.0 °C.

Das Wasser weist an der Oberfläche nur noch eine Sauerstoffsättigung von 75% auf. Über Grund hat sich diese auf 26% vermindert. Auf Grund des unter dem Eis gemessenen Sauerstoffprofils wäre das obere Bänzlauseeli als eutroph einzustufen, was der Beurteilung nach der Gesamtposphorkonzentration klar widerspricht (vergl. unteres Bänzlauseeli).

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 28.42 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2528 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2312 m ü.M. |

Produktivität und Trophiegrad

Der DOC-Gehalt und die Nährstoffgehalte sind so gering, dass der See als oligotroph bezeichnet werden kann. Die Leitfähigkeit ist wegen des kristallinen Einzugsgebietes über das ganze Tiefenprofil sehr niedrig. Dieser Befund spricht gegen einen meromiktischen Zustand des Sees (nicht vollständige Durchmischung des Wassers bis zum Grund), wie man auf Grund des Sauerstoffprofils auch vermuten könnte.

Plankton

Im April war das Phytoplankton mit 32 gefundenen Taxa artenarm. Zum Zeitpunkt der Probenahme traten zwei sehr kleine Formen von Blaualgen und Grünalgen in Massen auf. Die dominierenden Algengruppen waren jedoch Kieselalgen und Goldalgen. Dies ist ein Hinweis auf oligotrophe Verhältnisse. Die Präsenz eines anaeroben Schwefelbakteriums *Chlorobium* sp. deutet jedoch darauf hin, dass trotz der geringen Nährstoffbelastung zeitweise sauerstofffreie Bedingungen über Grund herrschen.

Flächenanteile

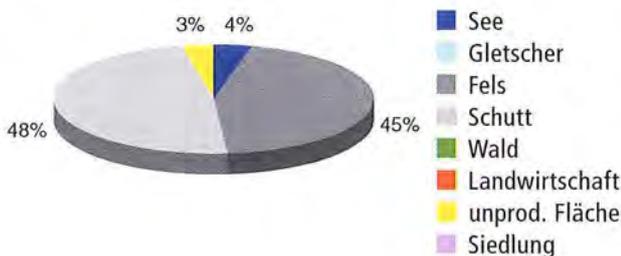
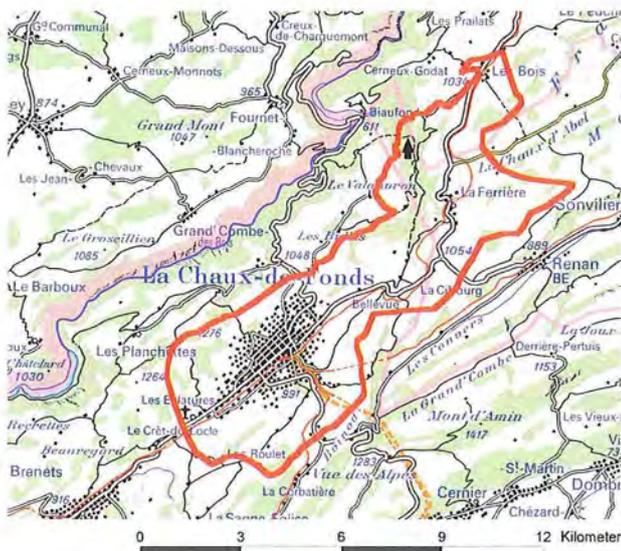




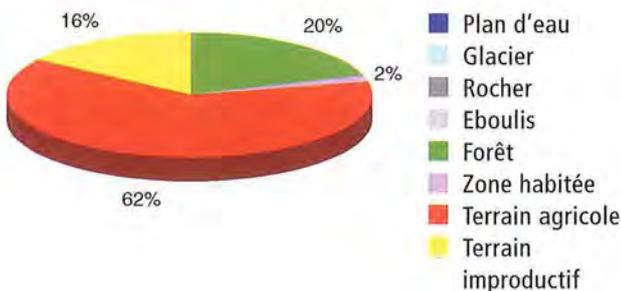
Photo: GBL / M. Zeh



Bassin versant (bv)

| | |
|----------------------------------|------------|
| Superficie du bv topographique: | 4953.54 ha |
| Altitude maximale du bv topogr.: | 1276 m |
| Altitude moyenne du bv topogr.: | 1029 m |

Répartition des surfaces



Carte nationale 1 : 25 000

Coordonnées

de la profondeur maximale

Cote du niveau du plan d'eau

Superficie du plan d'eau

Profondeur maximale

Volume du plan d'eau

1124

557 308 / 223 507

796 m

1.37 ha

2.3 m

12 205 m³

Géologie, hydrologie et histoire

Le Cul des Prés se situe dans le Jura bernois, à quelque 7 km au nord-ouest de La-Chaux-de-Fonds, sur un substrat composé presque entièrement de roches carbonatées. Le système karstique détermine son hydrologie globale: l'exutoire est souterrain et même l'affluent (La Ronde) ne coule qu'en cas de fortes précipitations. Gonflé par la pluie diluvienne qui tombait au moment du prélèvement d'échantillons, il avait un débit de plus de 100 l/s, provoquant une hausse du niveau du plan d'eau de plusieurs décimètres, puis à la fin de l'averse, il diminua progressivement pour finir par tarir avant d'arriver dans le petit lac. L'effluent de la STEP de La Chaux-de-Fonds déverse dans La Ronde, 6.1 km en amont de l'embou-

chure. En cas de crue, elle a un effet direct sur le Cul des Prés.

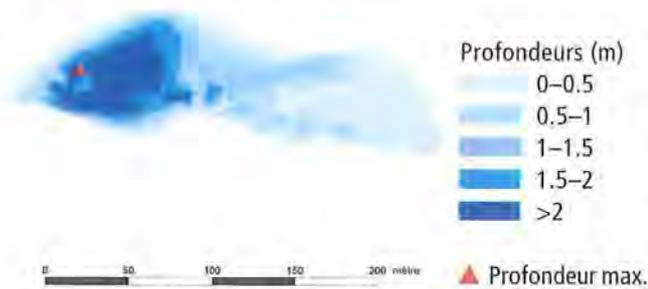
Température / mélange des eaux

La profondeur maximale ne dépasse pas 2.3 m. Les périodes de circulation et de stagnation des petits plans d'eau peu profonds se répètent plusieurs fois par année. L'exposition au vent, l'intensité de celui-ci et, dans une moindre mesure, la température de l'eau déterminent le moment et la fréquence des phases de circulation (lac polymictique).

Productivité / état trophique

L'affluent avait une forte odeur d'eaux usées. Sa teneur en nutriments, et notamment en phosphore total, était de 2 à 5 fois

Carte bathymétrique Cul des Prés



supérieure aux concentrations mesurées dans le plan d'eau lui-même, phénomène manifestement dû aux eaux épurées provenant de la STEP de La Chaux-de-Fonds. La pollution par les nutriments se traduisait également par une consommation d'oxygène au-dessus du fond, où une circulation du corps aquatique a lieu fréquemment tout au long de l'année. Ces paramètres attestent clairement le caractère **eutrophe** du Cul des Prés. Le jour du prélèvement des échantillons (6 mai 1997) la profondeur de Secchi, de 1.4 m était supérieure à la moyenne de ces derniers.

Plancton

Les flagellés et les algues vertes constituent presque la moitié de toutes les espèces répertoriées dans le plan d'eau, signe de l'ap-

port de nutriments précité. Le zooplancton est également représenté par une espèce (*Cyclops vicinus*) qui préfère les eaux eutrophes, état mis en évidence par la composition du plancton du Cul des Prés.

La faible concentration de chlorophylle est par contre un indice de la modeste densité d'algues et les 38 taxons de phytoplancton recensés sont relativement peu nombreuses par rapport à d'autres petits plans d'eau hypereutrophes, tandis que la présence de zooplancton se limite à deux espèces. Cette pauvreté peut avoir plusieurs causes:

Le Cul des Prés se caractérise par une hydrologie très fluctuante. Alors que le temps sec peut le faire quasiment tarir, son niveau monte fortement et rapidement en cas de précipitations, ses eaux subissent un brassage intense qui se traduit

par une turbidité marquée, ce que les échantillons prélevés ont confirmé.

Lors de telles pluies, les eaux usées jouent un rôle supplémentaire en ce sens qu'outre celles qui sont traitées, le déversoir d'orage évacue le surplus non épuré dans La Ronde. Cette pollution, qui s'ajoute à la surfertilisation, a un effet toxique chronique susceptible de réduire la diversité du plancton, seules les espèces les plus robustes étant capables de survivre.

La biomasse des algues est très variable dans le temps. Dans les lacs eutrophes surtout, les phases de prolifération de ces plantes et les phases d'eau claire peuvent alterner plusieurs fois par année, sous l'action du zooplancton, dont certaines espèces se nourrissent de phytoplancton, notamment les phyllopoques. Si leur densité est élevée, la base de nourriture est vite consommée, les algues se font plus rares et l'eau devient claire. Il en résulte à son tour une diminution du zooplancton et les conditions sont favorables pour une nouvelle prolifération d'algues. À l'époque du prélèvement des échantillons, la densité de zooplancton était extrême, et notamment celle de la puce d'eau (*Daphnia pulex*), un phyllopoque. Il est donc probable que le Cul des Prés se trouvait

peu avant ou peu après une phase d'eau claire. Pour étudier plus en détail la dynamique du plancton et en particulier pour examiner un éventuel effet toxique chronique, il conviendrait de prélever plus souvent des échantillons.

Flore

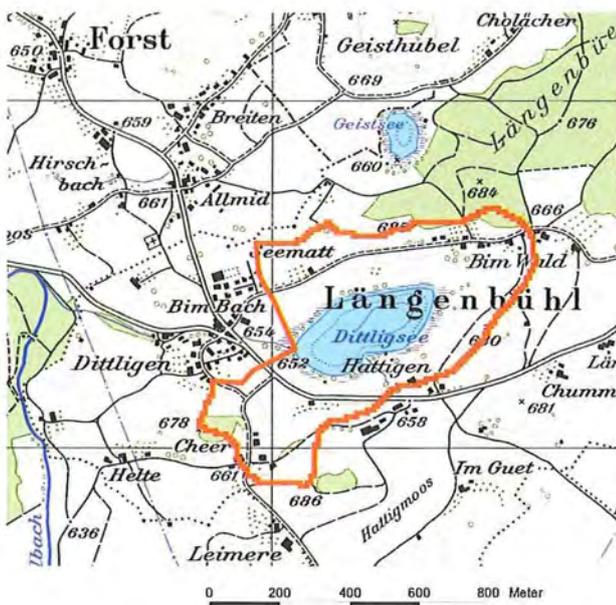
La flore du Cul des Prés est extrêmement pauvre puisqu'elle ne comprend que deux espèces, à savoir la grande ortie (*Urtica dioica*) et l'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea*) qui indiquent que les sols sont riches en nutriments et surfertilisés. Une telle pauvreté, et notamment l'absence de toute espèce de plante marécageuse et aquatique, n'a été constatée dans aucun autre plan d'eau. Les raisons en sont probablement les mêmes que pour le plancton.

Faune

Le crapaud commun, qui a utilisé le Cul des Prés pour frayer en 1977, constitue la seule présence faunique connue.



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1207 |
| Koordinaten | 607 342 / 178 386 |
| Maximaltiefe | 652 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 6.02 ha |
| Seefläche | 16.4 m |
| Maximaltiefe | 412 562 m ³ |
| Seevolumen | |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Dittligsee liegt im Thuner Westamt, 7.5 km westlich von Thun. Er ist wie der Amsoldinger-, Uebeschi- und Geistsee nach dem Rückzug des Aaregletschers am Ende der Würm-Eiszeit entstanden. Der grössere der beiden Zuflüsse fliesst nur auf den letzten 100 m offen, der Rest ist eingedolt. Er mündet von Südosten her in den See und hat im Mündungsbereich ein kleines Delta aufgeschüttet. Der kleinere Zufluss mündet am Ostufer in den See. Auch vom steilen Nordufer gelangt Hangwasser in den See. Der Mühlebach oder Dittligsee-Bach, ein kanalartiger, etwa 4 m breiter Graben, entwässert den See im Westen und mündet via Fallbach in die Gürbe. Die Wasserführung der Zuflüsse und des Abflusses ist im Verhältnis zum Seevolumen sehr klein. Die Wassererneuerungszeit ist

deshalb entsprechend gross (genaue Zahlen liegen nicht vor). Die Uferbänke sind relativ schmal, umfangreiche Flachwasserzonen fehlen (HAURI 1994).

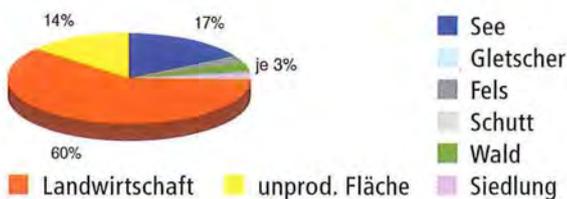
Produktivität / Trophiegrad

Bis 1962 gelangten mit dem Hauptzufluss Käsereiabwässer ungeklärt in den See. Der Bach war damals schaffellartig mit Abwasserpilz ausgekleidet. Im Oberflächenwasser des Sees wurden massenhaft auftretenden Algen, darunter die Burgunderblutalge, beobachtet. Das Wasser war durch die intensive Photosynthese mit Sauerstoff übersättigt. Dem Tiefenwasser dagegen wurde der Sauerstoff durch Zersetzungsprozesse entzogen. In Tiefen von mehr als 5 m konnte während der Probenahme im Juni 1962 kein Sauerstoff

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 39.37 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 313 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 686 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 660 m ü.M. |

Flächenanteile



mehr gemessen werden. Das Seesediment an der tiefsten Stelle enthielt keine sichtbaren Lebewesen und bestand aus tiefschwarzem, feinkörnigem, sehr lockerem Schlamm (Ner 1962).

1993 waren die wasserchemischen und sedimentologischen Verhältnisse ähnlich, obwohl in der Zwischenzeit die Einleitung des Abwassers eingestellt worden war. Nach den Gesamtposphorkonzentrationen muss der Dittligsee als **polytroph** bezeichnet werden. Auch die Konzentrationen verschiedener Stickstoffparameter (Gesamtstickstoff, Nitrat, Ammonium) gehören zu den höchsten im Rahmen dieses Projektes gemessenen Werten. Die grün-gelbe Farbe des Wassers und der ganzjährig hohe gelöste organische Kohlenstoff (DOC), könnten von Huminstoffen herrühren, die aus dem ehemals moorigen Einzugsgebiet ausgewaschen werden. Allerdings gilt der DOC auch als Zeigerparameter für eine anthropogene Belastung, welche im Dittligsee eindeutig gegeben ist. Die Sauerstoffprofile sind nach wie vor durch Übersättigung an der Oberfläche (217% am 1.9.1993) und ein grosses Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser geprägt. 1993 war die Sauerstoffkonzentration bereits im Juni in 2.5 m Tiefe praktisch auf null gesunken. Präzise Aussagen über Veränderungen der Nährstoffsituation sind jedoch nicht möglich, da 1962 keine Analysen der Wasserchemie durchgeführt worden sind.

Gemäss Berechnung nach PRA-SUHN & BRAUN (1994) würde die natürliche Phosphorbelastung 0.09 g P pro m² Seefläche und Jahr betragen. Der Dittligsee wäre daher bei einer mittleren Tiefe von 6.9 m unter natürlichen Bedingungen (bewaldetes Einzugsgebiet) mesotroph (VOLLENWEIDER 1968).

Temperatur / Mischverhalten

Das Tiefenwasser weist bei allen Messungen sehr tiefe Tempera-

turen auf. Diese schwanken im engen Bereich zwischen 4 und 5 °C. Das Oberflächenwasser erwärmt sich dagegen im Sommer recht stark, so dass sich dazwischen eine ausgeprägte Sprungschicht bildet, welche sich im Verlauf des Sommers immer mehr in die Tiefe verschiebt. Die konstant tiefen Temperaturen und die starken Gradienten der verschiedenen Chemieparameter lassen vermuten, dass sich während des Sommers im See eine stabile Schichtung einstellt. Im Dezember 1993 dagegen betrug die Temperatur in der ganzen Wassersäule 4.0 °C. Die Voraussetzungen für eine Zirkulation waren somit ideal. Auch der Sauerstoffgehalt war im ganzen See hoch (zwischen 6.8 und 7.9 mg/l). Diese starke Anreicherung des drei Monate zuvor völlig anoxischen Tiefenwassers mit Sauerstoff kann nur über Zirkulation stattgefunden haben. Der Dittligsee wechselt jährlich zwischen Stagnation und Zirkulation, er ist **holomiktisch**.

Plankton

Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons ist grossen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen; es setzt sich je nach Saison aus 33–58 Arten zusammen. Auch die dichtemässig dominierende Art war in jeder Jahreszeit eine andere. Es konnten insgesamt 9 Familien festgestellt werden. Die klare Dominanz der Grünalgen (13–23 Arten), das Vorkommen von Augenflagellaten (5 Arten) sowie die grosse Dynamik sind charakteristisch für einen eutrophen See. Die «aktuellsten» Zooplanktonproben stammen aus dem Jahr 1906 (LA ROCHE 1906) und enthalten zwei Zeigerarten für eutrophe Gewässer (*Macrocyclops albidus*, *Paracyclops fimbriatus*). Dies ist ein Hinweis, dass der See schon um die Jahrhundertwende eutroph war.

Flora

Auf Grund der steil abfallenden Ufer ist nur wenig Platz für eine Verlandungszone. Den grossen ökologischen Wert des Dittligsees stellt der praktisch geschlossene Schilfgürtel dar, dessen Breite zwischen 5 und 20 m beträgt. An einigen Stellen sind dem Schilfgürtel Binsenbestände vorgelagert. Im Osten und Westen schliessen Riedflächen an das Röhricht an, sonst ist die Grenze zwischen Ufervegetation und intensiv genutztem Kulturland sehr scharf (HAURI 1994). Im Beschattungsbereich von gepflanzten Bäumen kam es zu einem Schilfrückgang und sogar zu Uferanrissen. Am Dittligsee besteht nicht die Gefahr einer Verbuschung, da die Uferbereiche regelmässig überflutet werden (HAURI 1994). Eine umfassende Untersuchung der Flora wurde bislang noch nicht durchgeführt.

Fauna

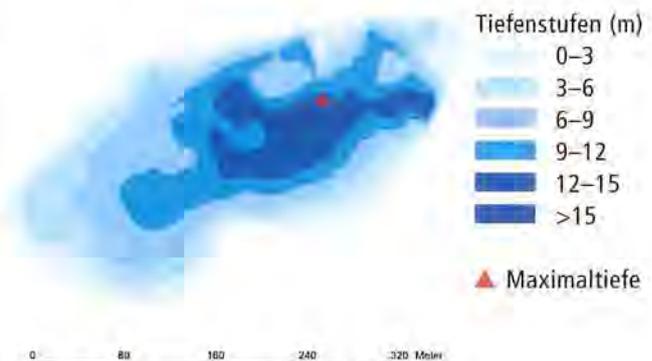
Das geschlossene Schilfröhricht ist von grosser Bedeutung als Lebensraum für verschiedene Tierarten. Die meisten der sieben regelmässig brütenden Wasservogelarten (Haubentaucher, Stockente, Teichhuhn, Blässhuhn, Sumpf- und Teichrohrsänger, Rohrammer) sind eng an das Röhricht gebunden. Daneben ist der Dittligsee sehr wichtig als Lebensraum für Durchzügler, Nahrungs- und Wintergäste. Zwi-

schen 1957 und 1993 konnten insgesamt 50 Vogelarten beobachtet werden (HAURI 1994). 1974 konnten 4 Amphibienarten (Grasfrosch, Teichfrosch, Erdkröte, Bergmolch) nachgewiesen werden. Die Libellenfauna setzte sich 1989/90 aus 21 Arten zusammen, worunter sich 6 gefährdete befanden. Die Wasserschnecken sind durch zwei gefährdete Arten vertreten. Eine weitere vorkommende Tierart, welche auf intakte Verlandungsgebiete angewiesen ist, ist die Ringelnatter.

Spezielle Problematik des Dittligsees

Die sehr starke Überdüngung des Sees stellt ein grosses Problem dar: Nicht nur der Fischbestand findet suboptimale Lebensbedingungen, auch das für die Wasservögel, Fische und Amphibien so wichtige Wasserlöhricht ist durch den hohen Nährstoffgehalt, insbesondere die hohen Stickstoffkonzentrationen, langfristig gefährdet (vgl. GUTHRUF-SEILER 1993). Bezüglich Nährstoffeintrag besteht ein dringlicher Handlungsbedarf. Da das Einzugsgebiet zu einem hohen Prozentsatz aus landwirtschaftlich genutzten Flächen besteht, kann eine Verbesserung der Nährstoffbedingungen nur über eine drastische Verminderung der Nährstofffracht durch die Schaffung einer extensiv genutzten Pufferzone erzielt werden.

Tiefenkarte Dittligsee



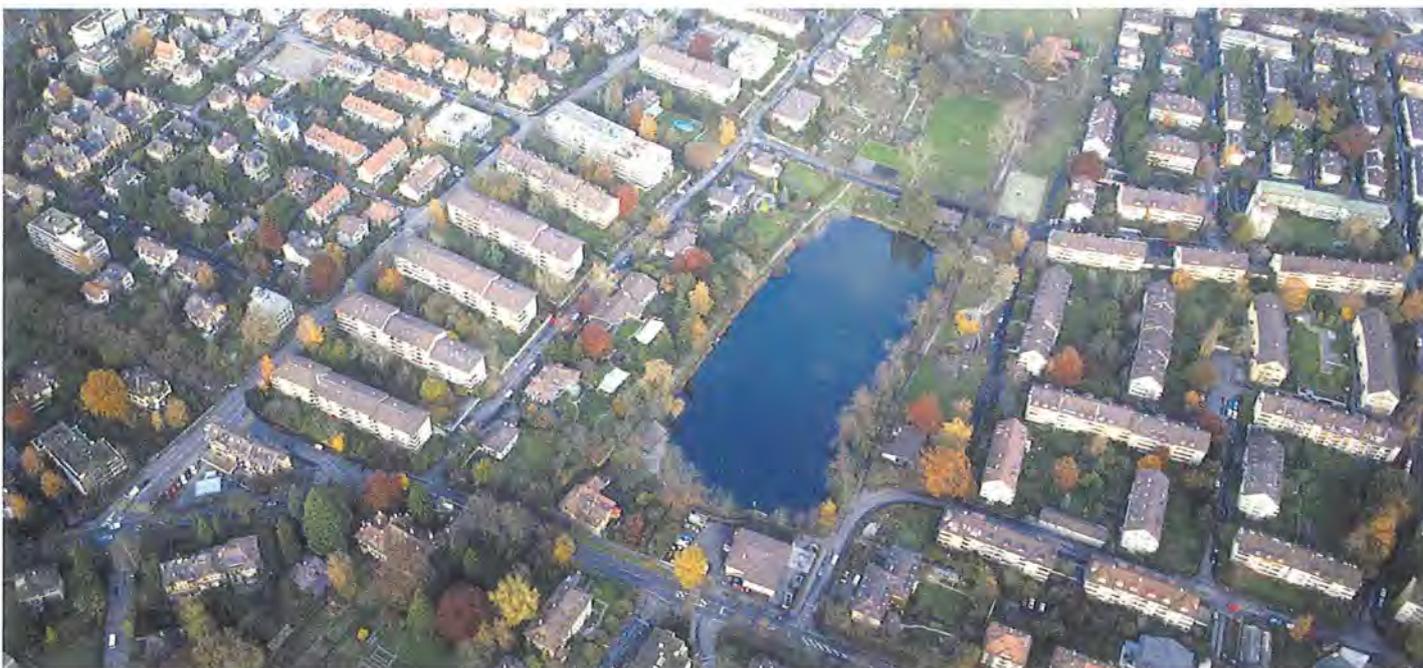
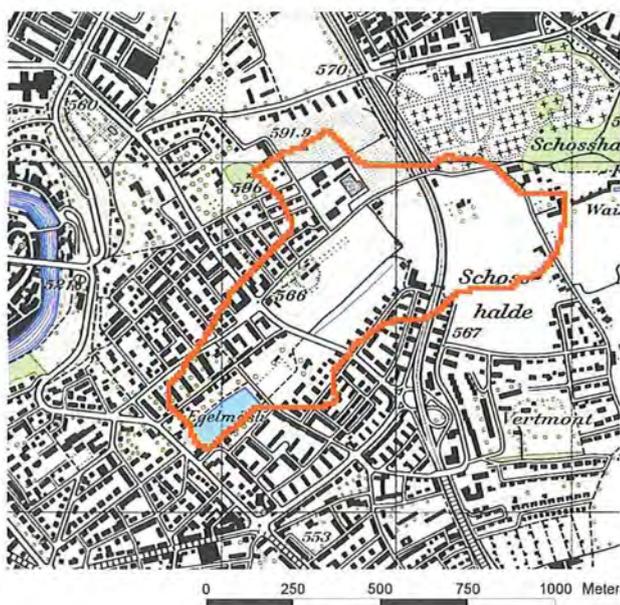


Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|--------------------------|-----------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1166 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 601 938 / 199 245 |
| Höhe Seeoberfläche | 550 m ü.M. |
| Seeffläche | 1.52 ha |
| Maximaltiefe | 3.4 m |
| Seevolumen | 17 200 m ³ |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Das Egelmösli oder der Egelsee ist ein kleiner Moränensee im Südosten der Stadt Bern (Schosshalde). Er ist zwischen zwei Stirnmoränen des Aaregletschers eingebettet (VON TAVEL 1933) und Dank einer Lehmschicht, die gegen unten abdichtet, entstanden (der Grundwasserleiter liegt bedeutend tiefer als der heutige Seespiegel). Das Vorkommen von Seesedimenten in der Umgebung zeigt, dass der See ursprünglich grösser gewesen ist. Durch Verlandung wurde er allmählich immer kleiner, so dass zeitweise keine offene Wasserfläche mehr vorhanden war. Diese historischen Informationen lassen sich aus Torfschichten herauslesen, welche im Sediment eingelagert sind (DERVEY ET AL. 1993).

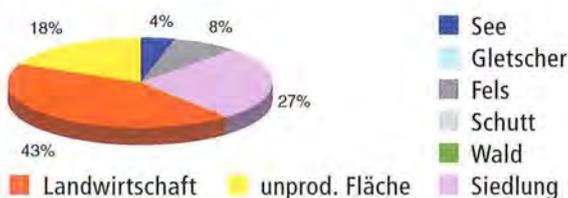
Der See wurde schon früh für die Eisgewinnung genutzt. Um die Ausbeute zu erhöhen, wurde 1884 die Seefläche durch Abgraben der Ufer und Ausbaggerung des östlichen, mit Seebinseln bewachsenen Teils, vergrössert. Damit wurde die bis dahin reiche Fauna und Flora des Egelmösli zerstört. Sie hat sich bis Mitte der Dreissigerjahre nicht wieder erholen können (VON TAVEL 1933). 1908 war sogar geplant, das Egelmöos aufzufüllen und zu überbauen.

Die hydrologischen Bedingungen änderten sich mehrmals grundlegend. Bis 1933 erfolgte die Speisung des Gewässers durch den Wysslochbach, welcher in Trockenzeiten und im Winter kein Wasser führte. Während Jahrzehnten war dann der Bach eingedolt und floss, zusammen mit kommunalem Ab-

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 47.73 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 593 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 568 m ü.M. |

Flächenanteile



wasser, in die Kanalisation von Bern. Nach einer ersten Sanierungsetappe im Jahr 1996 fließt der Wysslochbach nun wieder in den See. Gleichzeitig wurden das West- und Ostufer abgeflacht. Im Winter 1998/99 erfolgte die zweite Sanierungsetappe (EMMENEGGER 1999). Dabei wurde an der Nordseite ein Flachufer geschüttet, was zusätzlichen Lebensraum für Tiere und Pflanzen schafft und den ökologischen Wert des Gewässers nochmals erhöhen dürfte. Der speziellen Lage des Egelsees mitten im Stadtgebiet wurde Rechnung getragen, indem auch die Attraktivität des Gewässers als Naherholungsgebiet verbessert wurde. So wird der See künftig in ein Naturschutzgebiet auf der Ostseite und einen «Freizeitteil» auf der Westseite aufgeteilt. Ein Nebeneinander von Schutz und Nutzung sollte damit möglich sein.

Temperatur / Mischverhalten

Das Egelmösli hat nur eine geringe Tiefe und das Wasser kann sich im Sommer bis auf den Grund erwärmen. Eine stabile Schichtung während des Sommers ist unwahrscheinlich. Das Gewässer ist daher eher als

Weiber statt als Kleinsee einzustufen.

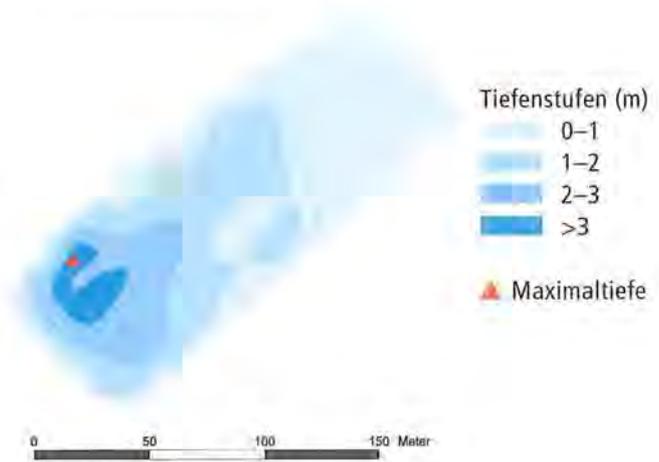
Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund der hohen Orthophosphatkonzentrationen ist das Egelmösli als hoch eutroph zu bezeichnen. Auch Sauerstoffübersättigung in oberflächlichen Wasserschichten und Zehrung am Grund sowie anoxische, nach Schwefelwasserstoff riechende Sedimente, sind unverkennbare Merkmale eines überdüngten Sees. Im Januar/Februar 1991 kam es unter dem Eis auf Grund einer starken Sauerstoffzehrung (0.2–0.4 mg/l Sauerstoff im Wasser) zu einem grossen Fischsterben (DERVEY ET AL. 1993). Inwieweit nach der Sanierung die neuen hydrologischen und morphologischen Bedingungen die Produktivität beeinflussen, kann zurzeit nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden. Nährstoffdepots in den Sedimenten dürften aber für eine weiterhin hohe Algenproduktion sorgen.

Flora

Die Flora war vor den Sanierungsarbeiten angesichts der

Tiefenkarte Egelmösli



Lage inmitten der Stadt sehr artenarm. Immerhin konnte ein Saum aus Grosseeggen, Hochstaudenfluren und Ufergehölze aus Weiden, Eschen und Schwarzerlen kartiert werden (DERVEY ET AL. 1993). Neuere Daten liegen nicht vor, doch dürften die Schaffung von Flachufern und geschützten Seeabschnitten zu einer markanten ökologischen Aufwertung führen.

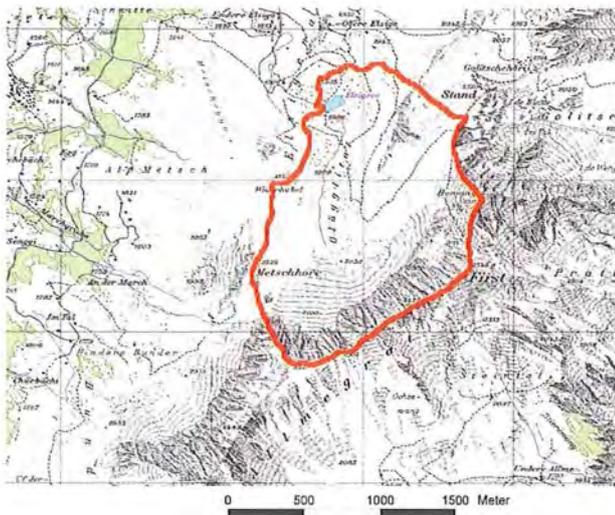
Fauna

Früher war das Gewässer bekannt für seinen Amphibienreichtum (VON TAVEL 1933). Über die heutige Amphibienfauna

konnten keine Daten beschafft werden. Der Fischbestand hat seit den Dreissigerjahren eher zugenommen. Heute ist die Vielfalt mit 10 Arten relativ gross. Allerdings ist durch den hohen Trophiegrad ein dauerhaftes Überleben nicht gesichert. Die neu geschaffenen Flachufer, die standortgerechte Ufervegetation sowie das neue Schutz- und Nutzungskonzept werden jedoch auch für verschiedenste Tierarten verbesserte Lebensbedingungen bringen.



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe bei Probenahme

1247
 614 757 / 151 494
 1886 m ü.M.
 0.84 ha
 0.4 m

Geschichte, Hydrologie

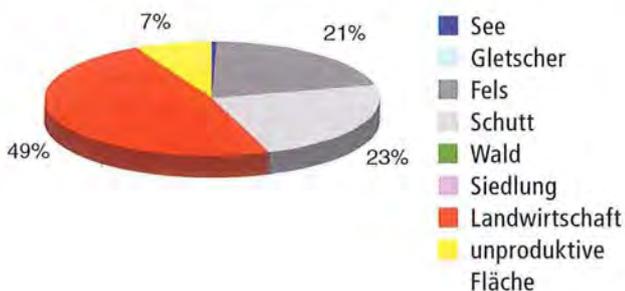
Am östlichen Hang des Engstligentals, 6 km nordöstlich von Adelboden, befindet sich der Elsigsee südlich der Alp «obere Elsig». Der See liegt in der Tiefe eines Talkessels ohne oberirdischen Abfluss und weist im Verhältnis zu seiner Seeoberfläche ein grosses topographisches Einzugsgebiet auf. Die flacheren Partien werden als Alpweide genutzt. Der See liegt in einem Karstgebiet. Aus diesem Grund muss das aus Fels- und Schutthängen bestehende topographische Einzugsgebiet nicht unbedingt mit dem hydrologischen übereinstimmen. Die oberirdischen Zuflüsse fallen nach der Schneeschmelze und ohne regelmässige und ausreichende Niederschläge trocken. Durch den unterirdischen Abfluss kann es zu starken Spiegelschwan-

kungen und grossen Veränderungen der Seefläche kommen. Im Sommer 1997 konnten wir innerhalb von vier Wochen ein fast vollständiges Verschwinden des Seeleins beobachten (siehe Foto nächste Seite). Bei der Probenahme waren vom See nur noch zwei weniger als 0.5 m tiefe Tümpel übrig geblieben. Wassertiefen von bis zu 1.3 m müssen auf Grund der klar erkennbaren Uferlinie jedoch regelmässig auftreten. Unterhalb dieser Linie konnte keinerlei Vegetation beobachtet werden.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 198.46 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2542 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2145 m ü.M.

Flächenanteile



Temperatur / Mischverhalten

Ein Gradient der Wassertemperatur konnte bei der geringen Wassertiefe nicht festgestellt werden. Es ist klar, dass unter diesen Bedingungen eine Durch-

mischung des Wassers fast täglich erfolgt, da sich das Wasser im Lauf eines schönen Tages stark aufwärmen kann und sich in der Nacht wieder abkühlt.

Produktivität und Trophiegrad

Die Nährstoffgehalte und der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) waren so gering, dass der See als oligotroph bezeichnet werden kann. Die Leitfähigkeit war wegen des kalkreichen Was-

sers etwas höher. Trotz der geringen Nährstoffkonzentrationen war das Wasser an der Oberfläche zu mehr als 140% gesättigt, was hauptsächlich auf den dichten Algenbewuchs des Seegrundes zurückzuführen sein dürfte.

Plankton

Im August war das 49 taxonomische Einheiten umfassende Phytoplankton durch Vertreter der Blau- und Kieselalgen (je 13) und Grünalgen (11) dominiert.

Unter den Kieselalgen fanden sich zahlreiche Aufwuchsformen. Sicher hat neben dem dichten Aufwuchs auch das Phytoplankton zur Übersättigung mit Sauerstoff beigetragen. Allerdings ist der Beitrag eher gering, wie aus den sehr niedrigen Chlorophylla-Konzentrationen zu entnehmen ist.

Massenhaft vorhanden war auch der Muschelkrebs, *Chydorus sphaericus*, ein Zooplankter, der auch in eutrophen Gewässern vorkommt.

Flora/Flora

Die Feuchtebedingungen dieses Sees können innerhalb kurzer Zeit drastisch ändern. Ausser einzelnen Exemplaren der Sumpfdotterblume sind keine typischen Sumpfpflanzen und gar keine Wasserpflanzen gefunden worden. Die Bedingungen sind auch für wasserliebende Tiere eher unsicher. Es sind uns keine faunistischen Befunde bekannt.



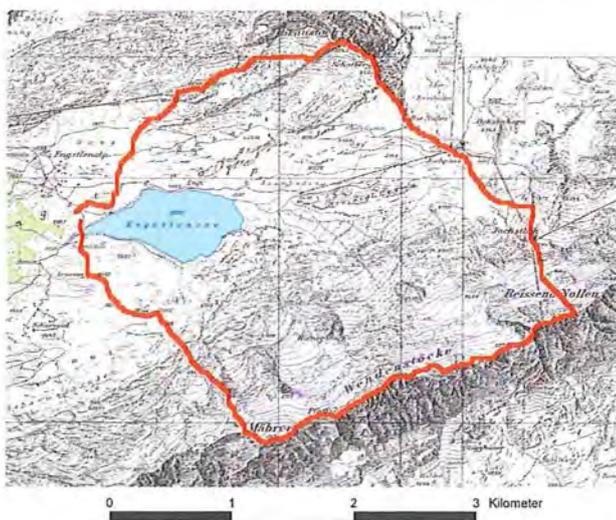
Foto: GBL / K. Guthruf

Engstlensee

oligotroph



Foto: A. Lotter



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1210
 670 308 / 180 505
 1850 m ü.M.
 45.95 ha
 49.4 m
 9 254 760 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

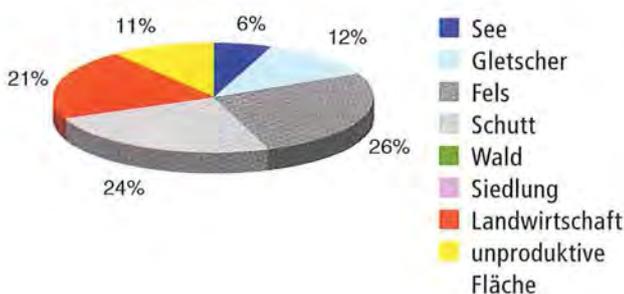
Am oberen Ende des Gental, nördlich der Sustenpassstrasse, liegt einer der grössten Bergseen des Kantons, der Engstlensee. Der grösste Teil des Gesteins am Seegrund und im Einzugsgebiet besteht aus Jurakalk, wodurch sich auch der hohe Kalkgehalt des Seewassers erklärt. Der Bach, welcher das Gebiet des Jochpasses entwässert, ist der grösste der drei Zuflüsse. Da die Wassermenge des natürlichen Abflusses 1903 viel grösser war als die gesamte Menge aller Zuflüsse, schloss man auf bedeutende unterseeische Zuflüsse. Ursprünglich entwässerte der See via Gentalwasser und Gadmerwasser in die Aare. Der Wasserspiegel schwankte damals maximal zwischen 50 und 70 cm (BOURCART 1906). Im Rahmen der Wasserkraftnutzung durch die Kraftwerke Oberhasli (KWO) wird das Wasser des Eng-

stlensees in einer Tiefe von 4.2 m gefasst, in einer Druckleitung zur Zentrale Fuhren geleitet und turbinert. Unmittelbar nach der Turbinenpassage wird es abermals gefasst und in der Zentrale Innertkirchen I ein zweites Mal turbinert, bevor es der Aare zurückgegeben wird (BENELLI 1990). Nur während Situationen mit viel Abfluss herrscht Überlauf in das Gentalwasser. Jeden Winter wird der Seespiegel um 3.5 m abgesenkt. Trotz der Nutzung durch die KWO ist der Engstlensee wenig beeinflusst. Wegen seiner reichhaltigen Flora und der landschaftlichen Schönheit wurde das Gebiet 1973 unter Naturschutz gestellt (SCHMALZ 1974).

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 783.4 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3034 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2261 m ü.M.

Flächenanteile



Produktivität / Trophiegrad

Die Phosphorkonzentrationen im Seewasser sind sehr gering. Während im Juni 1993 (Daten

EAWAG) der See mit einer mittleren Gesamtposphorkonzentration von 10.8 µg/l knapp im mesotrophen Bereich lag, waren die Konzentrationen 1994 in allen Tiefen unter der Nachweisgrenze, was für einen oligotrophen Zustand spricht. Auf Grund der Orthophosphatkonzentrationen, welche in beiden Probenahmen in allen Tiefenbereichen unter der Nachweisgrenze lagen, muss eine Phosphatlimitierung angenommen werden.

Das Wasser ist tiefblau und sehr durchsichtig. Die Sichttiefe betrug 1994 8 bis 9 m. Auch die Sauerstoffprofile sind weder durch Übersättigung noch durch Zehrung charakterisiert. Somit herrschen über dem Sediment ganzjährig aerobe Bedingungen. In der Bakterienfauna fehlen anaerobe Formen. Das Sediment ist in allen Tiefenschichten hell gefärbt und frei von anaeroben Zonen (Abbildung). Alle diese Beurteilungskriterien sprechen für sehr nährstoffarme Verhältnisse im Engstlensee.

Temperatur / Mischverhalten

Die maximal gemessenen Oberflächentemperaturen betragen 12 °C (BOURCART 1906), was mit der Höhenlage und der sehr kurzen Sommerzeit zusammenhängen dürfte. Die Temperatur des Tiefenwassers lag während allen Messungen um 4 °C. Im Sommer ist der See geschichtet, wobei das Hypolimnion den Tiefenbereich zwischen 20 m und dem Grund umfasst. Eine Unter-

scheidung von Epilimnion und Sprungschicht ist, wie in anderen Bergseen, nicht möglich (vergleiche Oeschinensee). Auch der Übergang zum Hypolimnion ist relativ fließend. Über Zeitpunkt, Dauer, Häufigkeit und Intensität von Zirkulationsphasen kann nichts ausgesagt werden, da Probenahmen während des Winterhalbjahres fehlen.

Plankton

Die geringen Nährstoffkonzentrationen, aber auch die harten klimatischen Bedingungen eines alpinen Bergsees bewirken, dass die Algendichte sehr gering ist. Das Phytoplankton setzte sich im Juni 1997 aus 48 taxonomischen Einheiten zusammen und war durch Goldalgen (16) und Kieselalgen (9 Vertreter) dominiert. Daneben konnten Grünalgen, Schlund- und Panzerflagellaten sowie Blaualgen gefunden werden. Häufig kamen kleine, bewegliche und kälteliebende Formen vor (ZEH 1996).

Das Zooplankton war äusserst artenarm. Die beiden 1994 festgestellten Arten sind typisch für oligotrophe Gewässer.

Flora

In diesem Gewässer konnten trotz geringer Wasserstandsschwankungen und ausgezeichneter Lichtverhältnisse keine untergetauchten Wasserpflanzen entdeckt werden (1996). Die übrigen Bedingungen scheinen für

das Wachstum dieser Pflanzen zu karg zu sein.

Der im Sommer 1993 festgestellte mesotrophe Zustand (MÜLLER ET AL. 1998) liegt wohl eher an der oberen Grenze des Schwankungsbereiches. Auf Grund aller erwähnten Ergebnisse ist der See als **oligotroph** zu bezeichnen (ZEH 1996).

Fauna

In Bergseen, welche nicht durch extreme Spiegelschwankungen beeinflusst sind, ist das Litoral durch eine sehr vielfältige und dichte Benthosfauna besiedelt. In den obersten Wasserschichten des Engstlensees konnten bis zu 15 000 Tiere/m² festgestellt werden. Gegen die Tiefe nahm die Häufigkeit ab. Zuckmückenlarven dominierten mit 48%, was in der Mehrzahl der Alpenseen beobachtet werden konnte. Im Litoral waren die Larven der Schlammfliege die häufigsten grossen Insekten (GRIMAS & NILSSON 1962).

Die Benthosorganismen, aber auch Landinsekten, welche auf der Seeoberfläche landen, bilden die Nahrungsbasis für die Fischfauna des Engstlensees. Es ist nicht bekannt, ob es vor dem Fischbesatz überhaupt Fische im See gab. Schon 1900 wurden erstmals kanadische Seesaiblinge eingesetzt, und 1920 folgte ein Besatz mit See- und Bachsaiblingen (GRIMAS & NILSSON 1962). Nebst dem einheimischen (und gefährdeten) Seesaibling und dem kanadischen Seesaibling wird der Engstlensee vor allem mit Regenbogenforellen bewirtschaftet. Diese drei Arten tragen auch hauptsächlich zum Fang bei (FISCHEREIINSPEKTORAT 1990–1997). Elritzen bilden einen Bestand, der sich natürlich fortpflanzt. Daneben kommen auch mehrere Arten des Tieflandes vor (Flussbarsch, Rotaugen/Rotfeder/Hasel, Trütsche), welche von Fischern hierher verschleppt worden sind. Der Engstlensee dient dem Grasfrosch als Laichgewässer. Auf den umliegenden Wiesen kommt der Alpensalamander vor.

Tiefenkarte Engstlensee

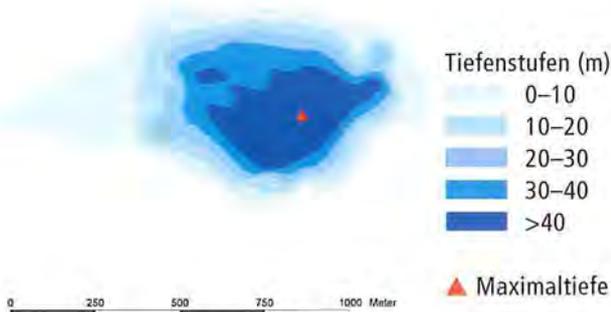
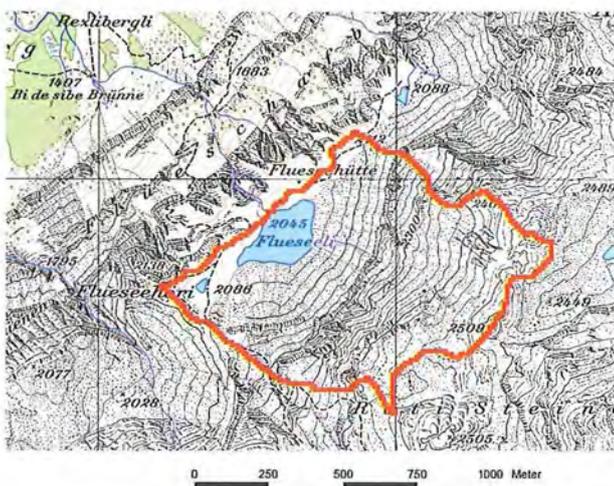




Foto: A. Lotter



| | |
|--------------------------|-------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1267 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 604 626 / 139 812 |
| Höhe Seeoberfläche | 2045 m ü.M. |
| Seefläche | 3.47 ha |
| Maximaltiefe | 8.5 m |

Geschichte, Hydrologie

Das alpine Flueseeli liegt 7 km südöstlich von Lenk, 2.5 km nordwestlich des Wildstrubelgipfels in einer von Kalkfelsen und Schutt umgebenen Mulde. In seinem gletscherfreien Einzugsgebiet wird nur geringfügig Alpwirtschaft betrieben. Der See erhält sein Wasser von einem zeitweise trockenfallenden Zufluss, während der einzige oberirdische Abfluss bereits nach 1.2 km Fließstrecke in die Simme mündet.

Grund der einmaligen Probenahme offen (Daten aus MÜLLER ET AL. 1998).

Produktivität und Trophiegrad

Das Wasser war über die ganze Tiefe leicht mit Sauerstoff übersättigt (107–116%), so dass die produktive Zone nicht klar identifizierbar ist. Die Nährstoffkonzentrationen und der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) charakterisieren das Flueseeli als mesotroph (MÜLLER ET AL. 1998). Leitfähigkeit (140 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und pH (8.4) erreichen Werte, die typisch für unbelastete Gewässer in kalkreichen Gebieten sind.

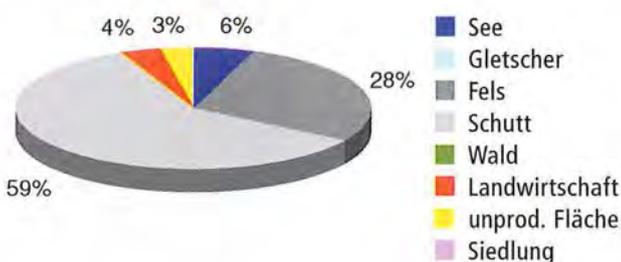
Fauna / Flora

Der gefährdete Bergmolch, der auf Wasser- und Ufervegetation angewiesen ist, kommt im Flueseeli vor (GROSSENBACHER 1977).

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 63.55 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 79 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2506 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2244 m ü.M. |

Flächenanteile



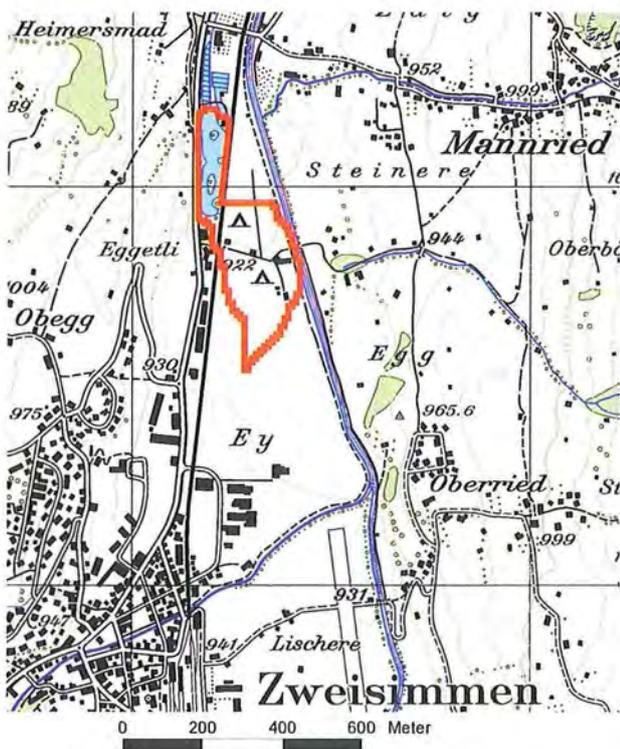
Temperatur / Mischverhalten

Im Hochsommer, zum Zeitpunkt der Probenahme, befand sich der See in der sommerlichen Erwärmungsphase, die das Tiefenwasser noch nicht erreicht hatte. Ob der Kleinsee einmal oder mehrmals pro Jahr bis zum Grund zirkuliert, bleibt auf

Forellensee

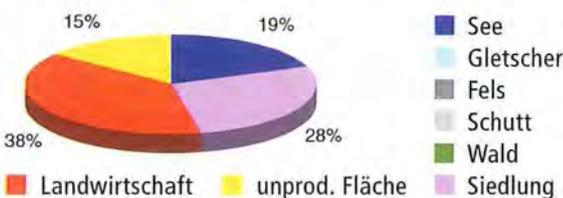
eutroph

Foto: AGR / Meteotest



Fläche topographisches EzG: 7.62 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 927 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 920 m ü.M.

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1246
 595 200 / 157 000
 920 m ü.M.
 1.21 ha



Geschichte, Hydrologie

Der Forellensee liegt in der Schwemmebene der Simme, 1 km nördlich von Zweisimmen. Das Mannried ist der letzte erhaltene Rest der ehemaligen Auenlandschaft im Gebiet des Zusammenflusses der kleinen und der grossen Simme. In diesem Moorgebiet wurde um die Jahrhundertwende der Forellensee künstlich geschaffen (HAURI 1997). Grundwasser und Niederschläge führen ihm das Wasser zu. Das Gewässer wird durch den Besitzer der nördlich anschliessenden Fischzucht fischereilich bewirtschaftet und als Angelfischteich genutzt. Der See ist teilweise von Schilfröhricht umgeben, und der südliche Teil steht wegen seines Pflanzenreichtums und seiner Bedeutung als Lebensraum für Vögel seit 1992 unter Naturschutz. Der Seeabfluss speist die unterhalb liegenden Fischteiche mit Frischwasser.

Wie gross der Einfluss der Landwirtschaft auf die Nährstoffsituation und die Wasserqualität dieses Weiher ist, kann aufgrund der vorhandenen Datengrundlage nicht beurteilt werden.

Fauna/Flora

Mannried und Forellensee sind durch ihre reichhaltige Vegetation bekannt (HAURI 1997) und bieten verschiedensten Tieren Lebensraum. Nebst dem Grasfrosch suchen auch Bergmolch und Erdkröte, welche beide gefährdet sind, den Forellensee als Laichgewässer auf. Das Vorkommen von vier verschiedenen Reptilienarten zeigt an, dass nebst den Feuchtgebieten auch Trockenstandorte existieren. Der Weiher mit seiner Ufervegetation ist als Lebensraum für vier Brutvogelarten (Stockente, Reiherente, Blässhuhn und Sumpfrohrsänger) geeignet (HAURI 1997). Libellen waren 1992 durch vier Arten vertreten (Daten: CSCF).

Fräschelsweiher

polytroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1165
 581 449 / 205 676
 437 m ü.M.
 0.91 ha
 1.1 m
 4314 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Im Seeland, 8 km südwestlich von Aarberg, liegt der künstlich entstandene Fräschelsweiher. Da in der Zeit von 1900 bis 1957 dort Lehm ausgebeutet (BOSSERT 1988) wurde, nennen ihn die Bewohner der Umgebung «Lättloch». Nach Abschluss der Lehmgewinnung wurde die Grube zum Teil wieder aufgefüllt (HANGGI 1987). Der Rest füllte sich mit Grundwasser, und es siedelte sich eine reichhaltige Fauna und Flora an. Das Gebiet wurde 1966 unter Naturschutz gestellt. Die Randzonen wurden anschliessend mit Bäumen und Büschen bepflanzt (BOSSERT 1988). Gespiesen wird der Weiher durch Grund- und Oberflächenwasser, welches vom Rand der Grube gegen den See hin abfließt. Das topographi-

sche Einzugsgebiet besteht deshalb lediglich aus dem Areal der ursprünglichen Lehmgrube. Die Umgebung ist intensiv bewirtschaftetes Gemüseanbaugelände. Es ist anzunehmen, dass das hydrologische Einzugsgebiet weit über die Ränder der Grube hinausreicht, das heisst dass der Weiher nährstoffmässig stark durch seine weitere Umgebung beeinflusst wird.

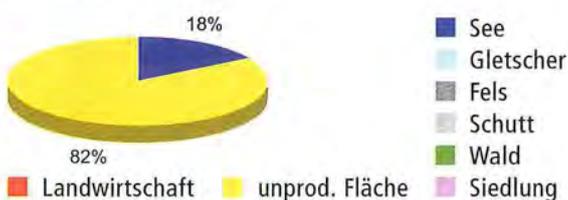
Temperatur / Mischverhalten

Die Maximaltiefe des Fräschelsweihers beträgt lediglich 1.0 m. Ein schwaches Windereignis oder eine nächtliche Abkühlung reichen aus, um den Wasserkörper auch im Sommer zu mischen. Das Licht gelangt wahrscheinlich während wesentlichen Tei-

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 5.52 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 437 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 436 m ü.M.

Flächenanteile



len des Jahres bis zum Grund. Er ist deshalb ein polymiktischer Weiher.

Produktivität / Trophiegrad

Der Fräschelsweiher ist aufgrund der mittleren Gesamtposphorkonzentration (140 µg/l) als **polytroph** einzustufen. Dieser Nährstoffreichtum wird von den Wasserpflanzen und insbesondere vom Phytoplankton genutzt, wie die hohen Chlorophyll-a-Konzentrationen zeigen. An der tiefsten Stelle wurden lediglich 0.5 mg/l Sauerstoff gemessen, ein Hinweis auf die starke Sauerstoffzehrung. All diese Parameter weisen auf eine starke Nährstoffbelastung hin.

Plankton

Das Phytoplankton war im April mit 95 taxonomischen Einheiten sehr artenreich. Grünalgen (39 Taxa) trugen wesentlich zur hohen Artenzahl bei, und die Augenflagellaten, welche als Belastungszeiger gelten, waren durch neun Arten vertreten. Im Bakterienplankton befanden sich Schwefelpurpurbakterien, welche unter anaeroben Bedingungen leben. Auch das Zooplankton setzt sich vorwiegend aus Zeigern für nährstoffreiche Gewässer zusammen. Die Zusammensetzung des Planktons bestätigt somit die Resultate der

chemischen und seephysikalischen Messungen.

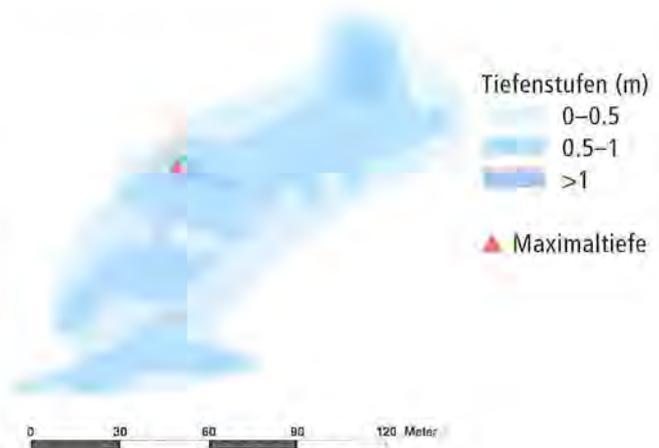
Flora

Der Fräschelsweiher ist bezüglich Vegetation eines der wertvollsten Gebiete des Berner Seelandes (WYLER 1988). Er weist eine stellenweise sehr schöne Zonierung auf: Diese beginnt mit einer Schwimmblattzone, welche zeitweise fast die gesamte Wasserfläche einnimmt. Uferseitig schliessen Seebinsenbestände an. Die Ufer sind fast lückenlos durch einen Schilfgürtel gesäumt, welcher landseitig in ein Grossseggenried übergeht (WYLER 1988). Gerade diese Pflanzengesellschaft fiel in zahlreichen Gewässern den Seeabsenkungen zum Opfer (BOSSERT 1988). Weiter landeinwärts wird das Grossseggenried durch ein Kopfbinsenried abgelöst. Auch diese Gesellschaft ist sehr selten und konnte im Rahmen der Untersuchung von WYLER (1988) einzig am Fräschelsweiher gefunden werden. Noch weiter landwärts schliesst die Pfeifengraswiese an. Die Ränder des Naturschutzgebietes sind mit Weiden- und Erlengebüsch gesäumt.

Fauna

Der Fräschelsweiher weist eine ausgesprochen reichhaltige Fauna auf: 14–15 Vogelarten brüten

Tiefenkarte Fräschelsweiher



im Naturschutzgebiet, und weitere 8 brüten in der unmittelbaren Umgebung. Für 25 Vogelarten spielt der Fräschelsweiher eine wichtige Rolle als Rastplatz auf Wanderungen oder als Winterhabitat (BOSSERT 1988).

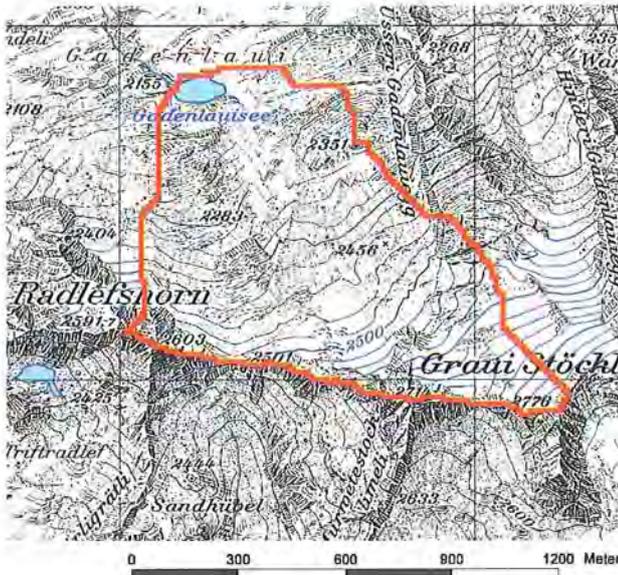
Sechs Amphibienarten dient der Weiher als Lebensraum: Neben Grasfrosch, Teichfrosch, Erdkröte, Gelbbauchunke und Teichmolch ist besonders der stark gefährdete Laubfrosch zu erwähnen. Er findet sich nur noch in einem weiteren untersuchten Berner Kleinsee (Büeltigenweiher). Die reichen Amphibienvorkommen dienen der Ringelnatter als wichtigste Nahrungsgrundlage. Während der Probenahme am 10.4.1997 konnten wir diese Schlange beobachten, wie sie den See durchschwamm. Als weitere Reptilienart kommt die Bergeidechse im Naturschutzgebiet vor (Daten CSCF). Im Sin-

ne eines Versuchs wurden zwischen 1975 und 1977 insgesamt 36 Exemplare der in der Schweiz ausgestorbenen europäischen Sumpfschildkröte im Fräschelsweiher ausgesetzt, allerdings ohne Erfolg: Eine Fortpflanzung konnte nicht nachgewiesen werden, und die Tiere wurden zum Teil weit vom Weiher entfernt wiedergefangen, was auf Abwanderung schliessen lässt.

Libellen sind im Seeland infolge der grossangelegten Melioration stark zurückgegangen. Insbesondere Arten mit hohen ökologischen Ansprüchen sind aus weiten Gebieten verschwunden. Der Fräschelsweiher ist als Lebensraum für Libellen sehr geeignet, so dass zwischen 1983 und 1995 23 verschiedene Arten nachgewiesen werden konnten (Daten CSCF). Fünf davon sind gefährdet und zwei potentiell gefährdet.

Gadenlauisee

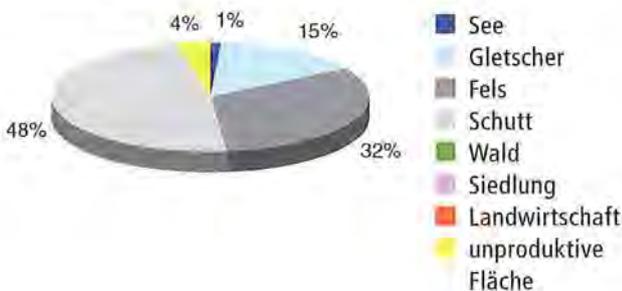
oligotroph



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG | 71.44 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG | 2775 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG | 2419 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

13 km östlich von Meiringen, am steilen Südhang des Gadmentals 2 km südlich von Gadmen, liegt der Gadenlauisee. Sein hauptsächlich aus Kristallin-gestein bestehendes Einzugs-gebiet wird zum grössten Teil von Fels- und Schutthängen beherrscht. Der südliche der beiden Zuflüsse führt auch Gletscher-schmelzwasser. Durch den Far-lauigraben wird der Kleinsee oberirdisch in nördlicher Rich-tung entwässert. Dieser Bach mündet unterhalb von Gadmen in das Gadmerwasser.

Temperatur / Mischverhalten

Während der Probenahme am 16.7.1997 wurde im Oberflächen-wasser eine Temperatur von 10°C gemessen. Innerhalb der ersten 3.5 m sank sie auf 5.8°C. Dieselbe Temperatur wies das Wasser über Grund (7.5 m) auf. Die sommerliche Erwärmung hatte in diesem See bereits das Tiefenwasser erreicht.

| | |
|------------------------|-----------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1210 |
| Koordinaten | 670 258 / 174 809 |
| Maximaltiefe | 2155 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 0.82 ha |
| Seefläche | 7.5 m |
| Maximaltiefe | 31 050 m ³ |
| Seevolumen | |

Produktivität und Trophiegrad

Die Nährstoffgehalte und der Gehalt an gelöstem organi-schem Kohlenstoff (DOC) waren sowohl in den Zuflüssen wie im See selbst im **oligotrophen** Be-reich. Der Gesamtphosphor lag in allen gemessenen Tiefenbe-reichen sowie in den Zu- und Abflüssen unter der Nachweis-grenze. Ebenso wiesen die Ges-amthärte und die Leitfähigkeit äusserst tiefe Werte auf. Der See ist kaum gepuffert, so dass schon kleine chemische Diffe-renzen zu drastischen Sprüngen im pH-Gradienten des Sees füh-ren können.

Der See war über seine ganze Tiefe mit Sauerstoff gesättigt. Die Produktion muss also sehr gering sein, und es ist anzunehmen, dass der See mindestens einmal pro Jahr zirkuliert und kein dauern-des Sauerstoffdefizit über dem Grund entstehen kann.

Sauerstoffversorgung bis an den Grund. Das Phytoplankton bestand aus 25 taxonomischen Einheiten, hauptsächlich Gold-algen (7), Grünalgen (6) und Jochalgen (5 Vertreter), darun-ter vier Zieralgenarten. Die als Nährstoffzeiger geltenden Au-genflagellaten waren durch kei-ne einzige Art vertreten. Diese Zusammensetzung deutet auf geringe Nährstoffbelastung hin und bestätigt die oligotrophe Einschätzung.

Das in sehr geringer Dichte gefangene Zooplankton enthielt drei Arten, wovon eine Art auch unter eutrophen Bedingungen leben kann.

Fauna / Flora

Im See konnten keine Wasser-pflanzen festgestellt werden. Die Ufer waren mit Gras be-wachsen und von Schafen be-weidet.

Aktuelle faunistische Unters-uchungen fehlen. Es ist einzig bekannt, dass der Gadenlaui-see mit kanadischen Seesaib-lingen bewirtschaftet wird. Diese Fische konnten während der Probenahme beobachtet werden.

Plankton

Das Fehlen anaerober Bakterien während der Probenahme im Juli 1997 bestätigte die gute

Tiefenkarte Gadenlauisee

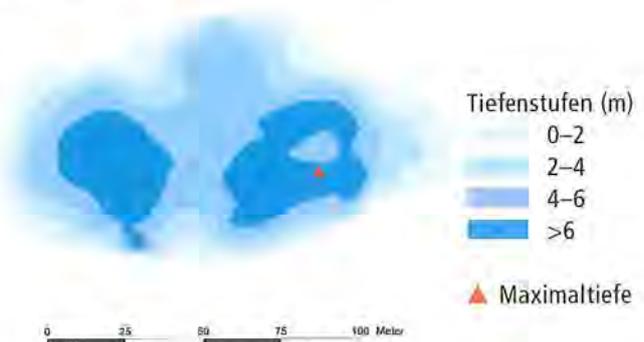
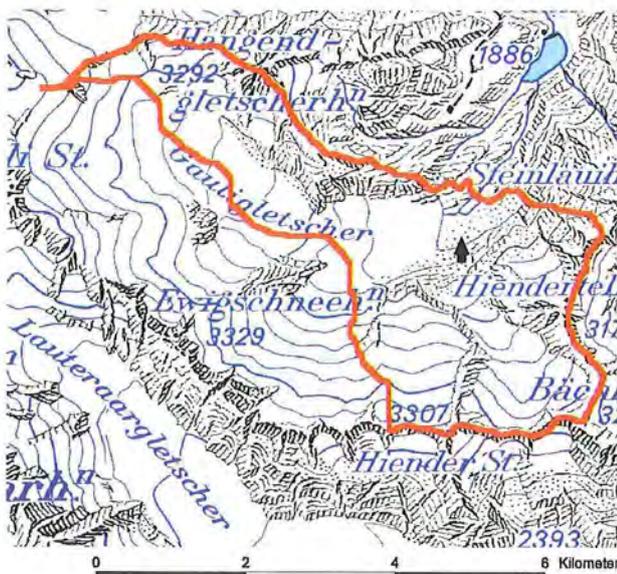
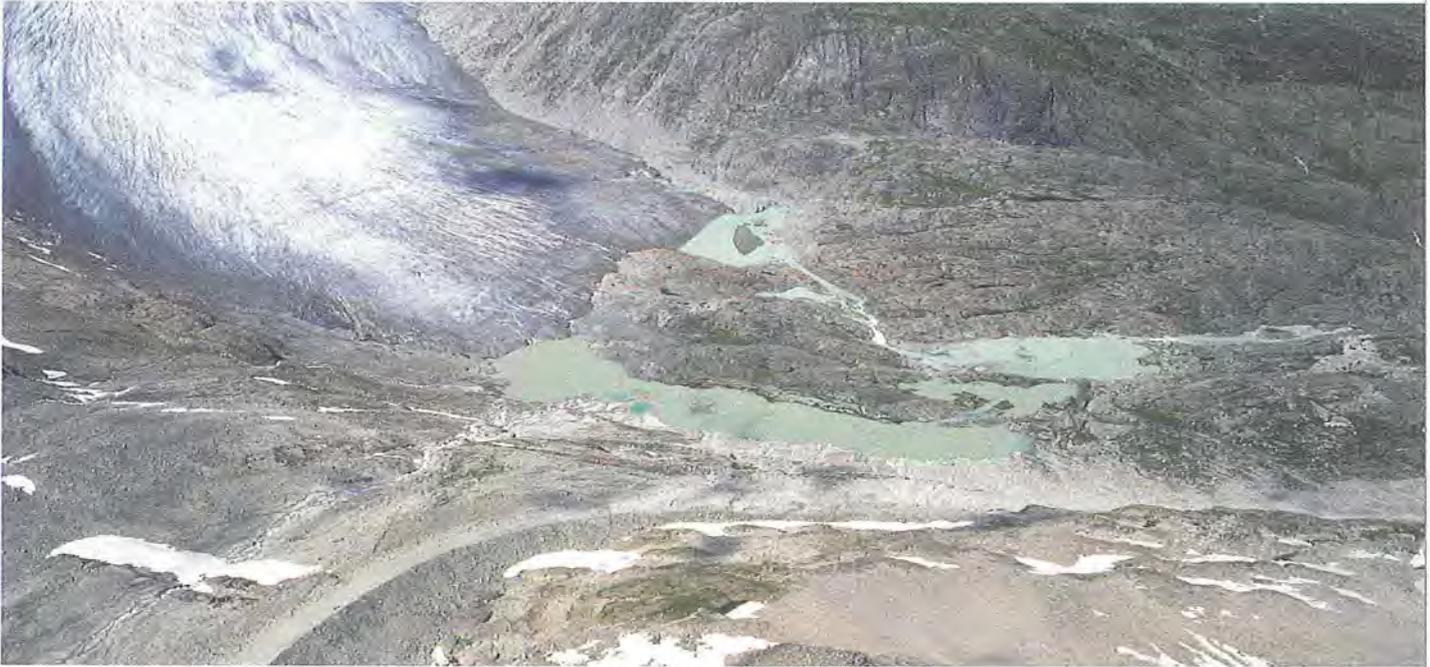


Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten
 Höhe Seeoberflächen
 Seeflächen

1230
 659 770 / 162 400
 2138–2150 m ü.M.
 0.5–3.96 ha

Geschichte, Hydrologie

Zuhinterst im Urbachtal, 13 km nördlich von Meiringen, liegt der bis in grosse Höhen ausgeaperte Gauligletscher. Das Urbachtal gilt wegen seiner Wildheit als das im ganzen Alpenraum am tiefsten gelegene Tal, das im Winter unbewohnt ist (MARTI 1997). Unterhalb des Gletschers finden wir eine vom Menschen noch unbeeinflusste, urtümliche Landschaft: das Gletschervorfeld. Dieses gliedert sich in vier Bereiche: die Rundhöckerflur, die gletscherne Auenlandschaft, die Wasserfälle und Entwässerungsrinnen sowie die alpinen Rasen. In der hochalpinen Auenlandschaft auf kristallinem Untergrund fanden sich 1997 unter den vielen kleinen Schmelzwasserseelein vier Seen, die auf Grund ihrer Grösse in das Kleinseeninventar aufgenommen wurden. Das Gebiet liegt zwischen der ausgedehnten Rundhöckerflur und wird durch eine sehr

hohe Dynamik fluss- und gletscherbedingter Prozesse geprägt. Im Bereich der Seen finden sich gletscherne Kies- und Sandschwemmebenen (Sanderflächen), die sich durch ständig wechselnde Wassermassen und Bachbette in dauernder Umgestaltung befinden (BURRI & WÄSPI 1991). Aus dem untersten, nördlichen Gauliseeli fliesst der Gaulibach, um sich dann in eindrücklichen Kaskaden ins Tal hinunterzustürzen. Er mündet schliesslich in den gestauten Mattenalpsee.

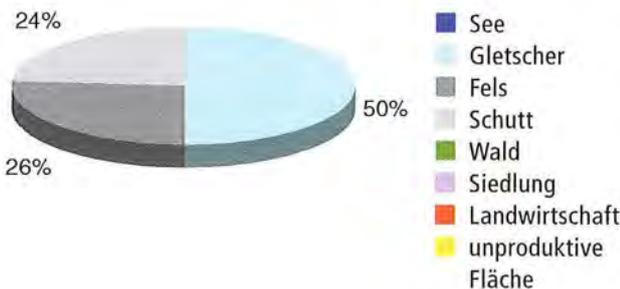
Flora/Fauna

Von einzelnen Pionierpflanzen in Gletschernähe verdichtet sich die Vegetation mit zunehmender Distanz zum Eisstrom bis zu einem alpinen Rasen. Im Bereich der vier Seen hat sich eine prachtvolle, streifenförmig angeordnete Ufervegetation mit Scheuchzers Wollgras sowie anderen Sauergräsern und Weidenarten entwickelt (BURRI & WÄSPI 1991).

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 1414.36 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3571 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2670 m ü.M.

Flächenanteile

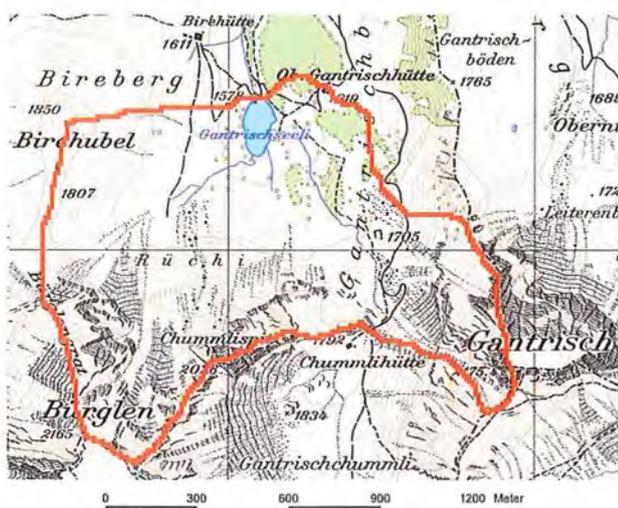


Gantrischseeli

eutroph



Foto: GBL / K. Gutruf



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1206
 600 092 / 173 384
 1578 m ü.M.
 1.41 ha
 2.2 m
 15 248 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Das Gantrischseeli liegt im Westen des Kantons, nordwestlich des Gantrisch. Es entwässert in die Sense. Das Einzugsgebiet setzt sich aus kalkhaltigem Gestein und fluvioglaziale Schotter zusammen. Der See hat einen oberirdischen Abfluss, der aber nicht ganzjährig Wasser führt. Im Winter, ohne sichtbaren Zufluss, versickert das Wasser im See. So sank der Seespiegel zwischen 2.9.1997 und 10.2.1998 um 1.5 m. An der tiefsten Stelle war die Wasserschicht unter dem Eis nur noch 60 cm dick. Es ist anzunehmen, dass der See in kalten Wintern bis zum Grund durchfriert.

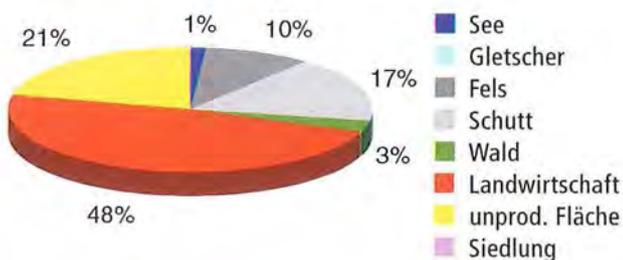
Temperatur / Mischverhalten

Mit 2.2 m ist das Gantrischseeli zu wenig tief, als dass sich eine stabile Schichtung einstellen könnte. Der See ist polymiktisch, d.h. er kann bei entsprechenden Temperatur- und Windverhältnissen mehrmals pro Jahr vollständig durchmischen. Dies äussert sich in geringen Unterschieden aller seephysikalischen Parameter in den Tiefenprofilen. Die Temperaturen waren an beiden Probenahmedaten relativ niedrig, was mit dem Zeitpunkt der Probenahmen (29.5. und 2.9.1997, beide nach einer Schlechtwetterperiode) zusammenhängt. Es ist davon auszugehen, dass das Temperaturmaximum bedeutend höher liegt.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 110.67 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 167 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2174 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 1781 m ü.M.

Flächenanteile



Produktivität / Trophiegrad

Die Wasseranalysen zeigen im Frühling sehr niedrige Phosphorgehalte. Eine wesentliche Zehrung der Nährstoffe durch die Primärproduzenten ist jedoch angesichts der sehr kurzen Wasseraufenthaltszeit während der Schneeschmelze (rund 2 Tage) nicht möglich. Die Konzentrationen im See und in den Zuflüssen sind deshalb ähnlich. Im Spätsommer wurden mittlere Nährstoffkonzentrationen gemessen, nach welchen der See als mesotroph charakterisiert werden kann.

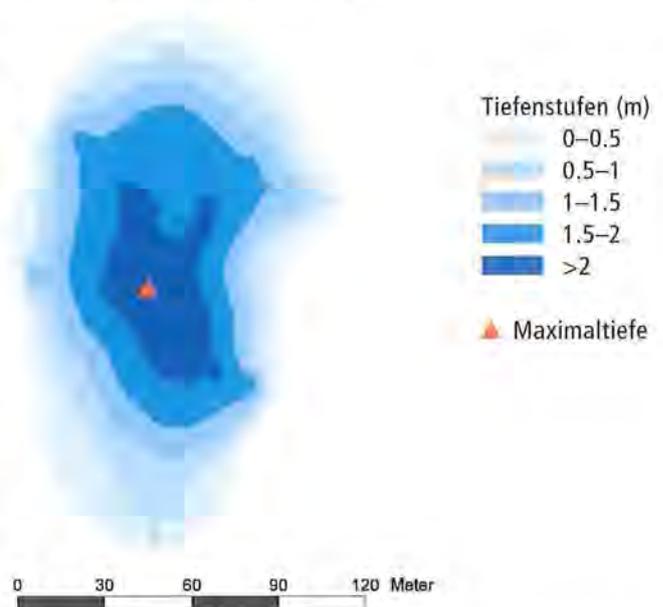
Im Winter ist der Seezustand als deutlich schlechter zu beurteilen. Die Verhältnisse widerspiegeln Zustände, wie sie in eutrophen Gewässern vorkommen. Durch das Absinken des Wasserspiegels kann das Seevolumen bis auf rund 10% der Sommersituation vermindert werden. In diesem massiv verringerten Wasservolumen findet während der Wintermonate unter einer geschlossenen Eisdecke der Abbau der Wasserpflanzen statt. Dies führt neben hohen Phosphorkonzentrationen nicht nur zu einer vollständigen Aufzehrung des Sauerstoffs, sondern auch zur Bildung toxischer, reduzierter Substanzen. So wurden am 10.2.1998 relativ hohe Sulfidkonzentrationen gemessen, was sich auch in einem starken Geruch des Wassers nach Schwefelwasserstoff (faule Eier) zeigte. Der völlig sauerstofffreie Wasserkörper im Winter ist als

Lebensraum nur noch für sehr wenige Organismen, aber nicht mehr für Fische geeignet (siehe unten). Auf Grund der Wintersituation und der Resultate der Planktonuntersuchungen (siehe unten) beurteilen wir den Trophiegrad des Gantrischseelis als **eutroph**.

Plankton

Das Zooplankton setzt sich aus Arten zusammen, welche sowohl eutrophe (*Chydorus sphaericus*) wie oligotrophe (*Cyclops abyssorum*) Gewässer bevorzugen, was die Charakteristik des Sees gut beschreibt. Das Phytoplankton war im Sommer 1997 mit 56 Arten sehr vielfältig, Massenvorkommen von kleinen Grünalgen (z.B. *Chlorella sp.*) sowie das Vorkommen von Augenflagellaten weisen auf eutrophe Verhältnisse hin. Im Februar 1998 wurden, trotz der für tierische Organismen äusserst lebensfeindlichen Bedingungen, 45 Arten gefunden, wodurch die Anpassungs- und Überlebensfähigkeit der Phytoplankter zum Ausdruck kommt. Das Dominieren der Bakterien widerspiegelt einerseits die intensive Abbautätigkeit unter dem Eis, andererseits aber auch die äusserst geringe Wassertiefe und Nähe zum Sediment. Die anaeroben Bedingungen sind geeignet als Lebensraum für Schwefelpurpurbakterien und Schwefelbakterien, welche in drei Arten vorkommen.

Tiefenkarte Gantrischseeli



Flora

Die Wasserpflanzenflora besteht aus zwei Arten: dem haarblättrigen Hahnenfuss und dem Bachungen-Ehrenpreis, beides Nährstoffzeiger.

Fauna

Das Fischereirecht befindet sich in privater Hand. In den Faunenerhebungen ist lediglich eine Art, die Bachforelle, erwähnt. Diese Art wird alljährlich in fangfähiger Grösse eingesetzt (*Put-and-take-Bewirtschaftung*). Fische, die bis im Herbst nicht gefangen werden, gehen regelmässig zugrunde. Auch am 29.5.1997 konnten tote Fische beobachtet werden. Der Grund für dieses jährliche Fischsterben,

nämlich völlig sauerstoffreies Wasser, konnte anlässlich der Eisprobenahme vom 10.2.1998 klar eruiert werden. Da das Gantrischseeli natürlicherweise kein Fischgewässer ist und die Forellen, die bis zum Herbst nicht gefangen werden, jedes Jahr zugrunde gehen, ist die heutige Bewirtschaftungspraxis auch aus tierschützerischer Sicht ernsthaft in Frage zu stellen.

Es gibt keinen Amphibiennachweis, obwohl der See von seiner Lage her als Amphibiengewässer geeignet wäre. Es ist möglich, dass ein Zusammenhang zwischen dem Fehlen von Amphibien und dem Besatz mit fangfähigen Bachforellen besteht. Dieser Zusammenhang konnte in anderen Seen aufgezeigt werden (pers. Mitt. S. ZUMBACH, KARCH).

Gerlafingerweiher

meso-eutroph

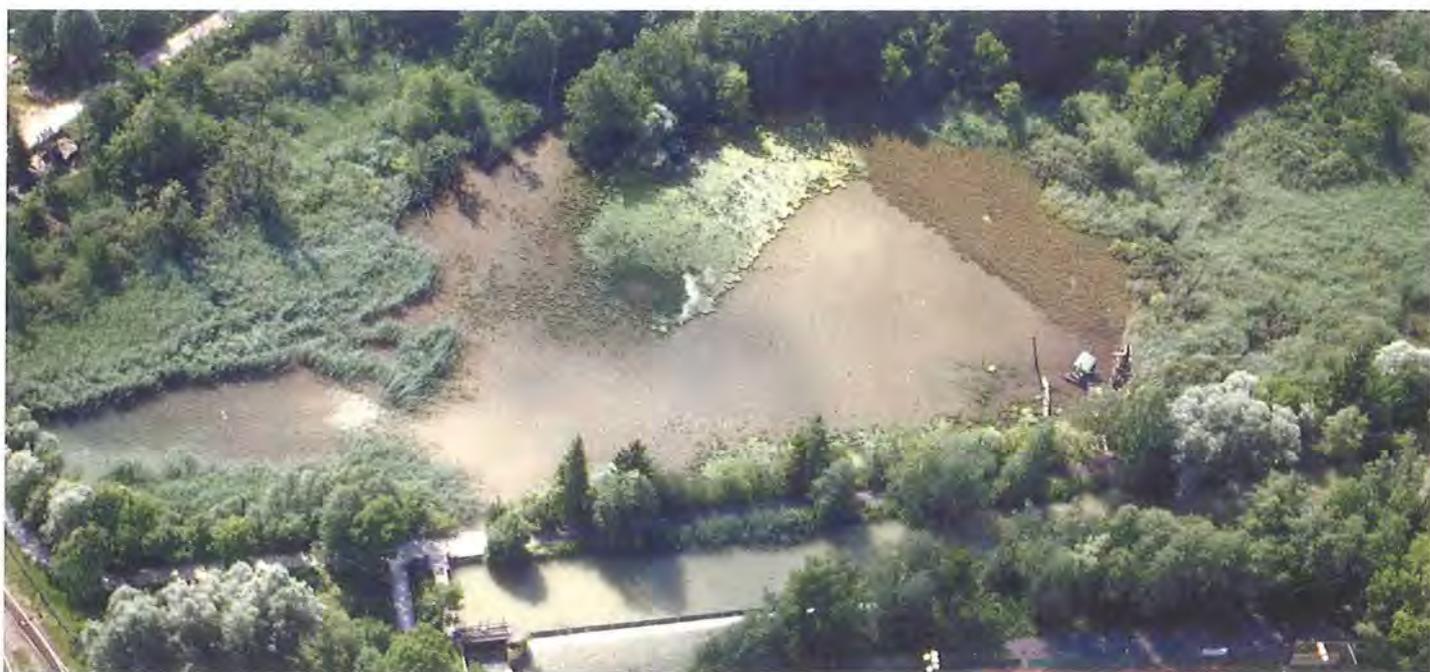
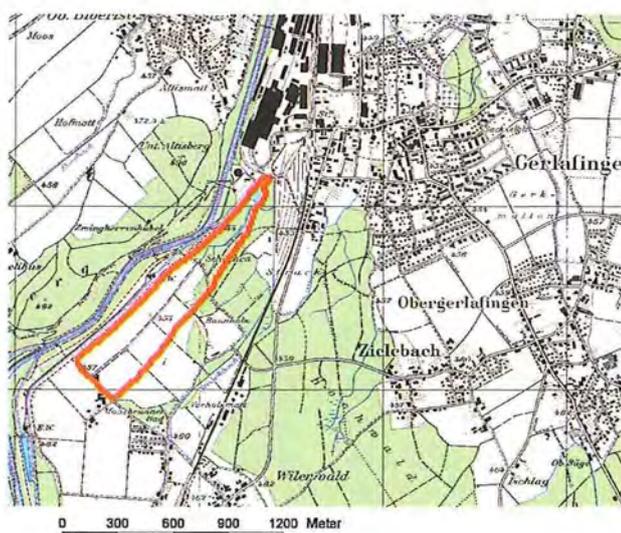


Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe

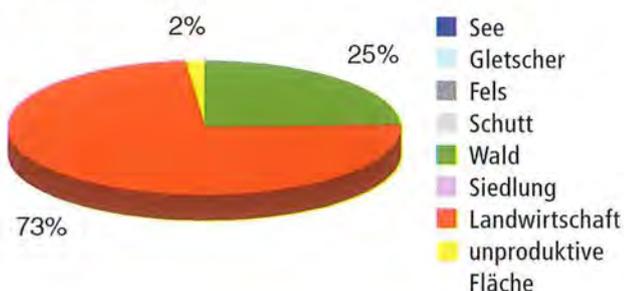
1127
 609 287 / 224 072
 454 m ü.M.
 0.96 ha
 0.5 m



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 28.74 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 454 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 454 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Der Gerlafingerweiher ist ein Grenzgewässer nahe der gleichnamigen Ortschaft, 5 km süd-südöstlich von Solothurn. Der grösste Teil liegt auf Berner Boden und steht seit 1983, ebenso wie die angrenzenden Bruch-, Auen- und Mischwälder, unter Naturschutz. Zum Kanton Solothurn gehört ein kleiner Rest, der seit 1984 nicht mehr unter Naturschutz steht. Bereits seit 1929 ist der gesamte Weiher ein offizielles Vogelschutzreservat. Im 1976 erschienenen «Inventar der Schweizer Wasservogelgebiete» wird der Gerlafingerweiher als Gebiet von nationaler Bedeutung eingestuft. Der Weiher liegt in der ursprünglichen Schwemmebene der Emme, welche früher ihren Lauf selbst bestimmen konnte, ist selbst aber ein künstliches

Gewässer, welches seine Entstehung den Wassernutzungsansprüchen des Menschen verdankt. Bereits 1812/1813 wurde durch die Firma von Roll an Stelle eines alten Teiches ein Holzaufangweiher ausgehoben (Bossert 1988). Das Holz, welches die Flösser die Emme hinuntertransportiert hatten, wurde darin aufgefangen und bis zur Verarbeitung zu Holzkohle gelagert. Die Holzkohle diente zur Eisengewinnung im Hochofen des zweiten Werks bei Balsthal. Die Umstellung von Holzkohle auf fossile Brennstoffe führte schliesslich zur Aufgabe der Köhlerei. 1869 wurde auch die betriebseigene Flösserei auf der Emme eingestellt. Der Weiher wurde immer weniger beansprucht und verlandete zusehends. 1921 fasste die Werkleitung eine Eindämmung der fortschreitenden Verlandung ins

Auge. Aus naturschützerischen Gründen wurde jedoch vorerst darauf verzichtet. 1963 musste die Firma von Roll dennoch mit Hilfe eines Flosses eine teilweise Ausbaggerung vornehmen, da der Weiher nach wie vor als Ausgleichsbecken zur Speisung von Kühlanlagen und zum Bezug von Gebrauchswasser genutzt wurde (HAURI 1984). Noch einmal wurde der Weiher verändert, als 1984 wegen eines neuen Werkgeleises ein Grossteil des nördlichen, solothurnischen Zipfels aufgeschüttet wurde. 9% der damaligen Seefläche von rund 1.8 ha gingen verloren.

Der Tannschachenbach, der kleinere der beiden oberirdischen Zuflüsse, mündet von Süden in den Weiher. Sein Bett ist mehrfach verzweigt und bietet im oberhalb des Weihers gelegenen Bruch- und Auenwald vielfältigen Lebensraum. Die Mündung des kanalisierten Strackbachs befindet sich am nordwestlichen Zipfel (BRAND ET AL. 1987). Bei Bedarf wird der Weiher zusätzlich durch Wasser aus dem Werkskanal gespiesen. Die Wasserstandsschwankungen sind trotz wechselndem Bedarf der von Roll AG gering, da neben den Zuflüssen vor allem das reichlich vorhandene Grundwasser (Wasseramt) für einen raschen Ersatz in Weiher sorgt (HAURI 1984).

Bis 1974 flossen die Abwässer der Papierfabrik Utzenstorf in den Weiher. Dank der Inbetriebnahme einer Kläranlage werden keine Zellulosepartikel mehr eingeschwemmt (HAURI 1984). Trotzdem verkleinerte sich die

Seeoberfläche infolge der fortschreitenden Verlandung in den letzten 15 Jahren um rund 45%. Das Röhricht breitete sich vor allem im Südwesten des Weihers stark aus. Da die Wassertiefe 1997 nirgends mehr als 0.5 m beträgt und der ganze Boden von sehr weichem dunkelbraunem Schlamm bedeckt ist, wird sich das Röhricht weiter ausdehnen können.

Temperatur / Mischverhalten

Bei 0.5 m Wassertiefe kann sich keine stabile Temperaturschichtung aufbauen. Selbst schwache Windereignisse und Abkühlungen können das Wasser jederzeit vollständig zum Zirkulieren bringen (Polymixie). Auch bei starker Wassertrübung gelangt das Sonnenlicht bis auf den Grund.

Produktivität / Trophiegrad

Im Weiher selbst war die Gesamtposphorkonzentration im Frühling 1997 mit weniger als 10 µg/l gering. Im Zufluss war sie um einen Faktor zwei höher. Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) war relativ tief (1.3 mg/l). Der Gesamtstickstoffgehalt und die Leitfähigkeit sprechen dagegen für eine gewisse Belastung. Entsprechend den Nährstoff-

gehalten zur Zeit der Probenahme (23.4.1997) ist der Weiher als oligo- bis mesotroph zu beurteilen.

Allerdings ist von sehr grossen Schwankungen der Nährstoffkonzentrationen auszugehen: Erstens ist der Zufluss im Verhältnis zum Wasservolumen des Weihers äusserst gross. Starke Niederschläge oder landwirtschaftliche Aktivitäten wie das Ausbringen von Jauche können den Chemismus des Weihers in kürzester Zeit grundlegend verändern, zumal der Landwirtschaftsanteil am Einzugsgebiet hoch ist. Zweitens wird je nach Bedarf Emmenwasser eingeleitet. Deshalb wird die einmalige Probenahme einer sicheren Charakterisierung des Gewässers nicht gerecht.

Eine leichte Übersättigung des Wassers mit Sauerstoff ist ein Hinweis auf die Aktivität der Algen und Wasserpflanzen. Sauerstoffmangel konnte nicht festgestellt werden, was auf Grund der geringen Tiefe und der Häufigkeit von Mischprozessen zu erwarten ist. Der Sauerstoff ist hier für die Beurteilung des Trophiegrades ungeeignet.

Plankton

Das 64 taxonomische Einheiten umfassende Phytoplankton enthielt im April 1997 nebst Blaualgen, Grünalgen und Goldalgen hauptsächlich Kieselalgen. Augenflagellaten waren durch eine Art vertreten. Diese Zusam-

mensetzung deutet meso- bis eutrophe Verhältnisse im Weiher an. Das Vorkommen fakultativ anaerober Bakterien und die Zusammensetzung des Zooplanktons spricht eher für eutrophe Bedingungen.

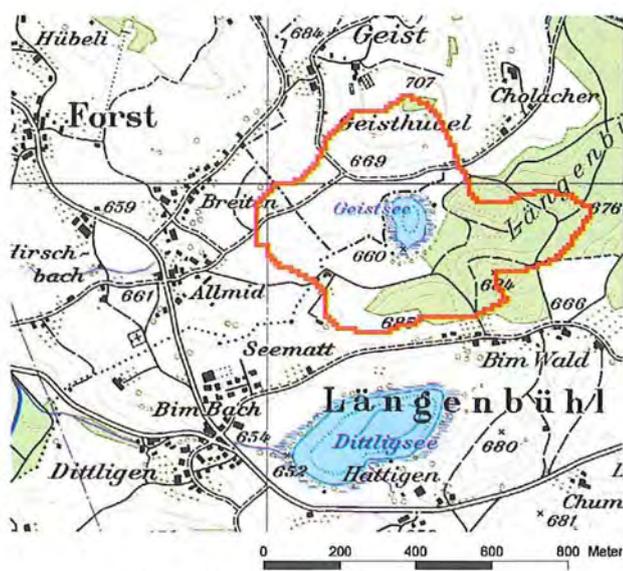
Flora und Fauna

Seit den zwanziger Jahren konnten sich im mehr oder weniger sich selbst überlassenen Weiher Sumpfpflanzen ansiedeln, und am Ufer entwickelte sich allmählich ein Auenwald (BRAND ET AL. 1987). Die Wasser- und Sumpfpflanzenvegetation ist am und im Weiher sehr vielfältig. Sowohl im Röhricht wie im Wasser kommen Nährstoffzeiger (Schwertlilie, Wassermiere, Rohrkolben usw.) vor.

Der Gerlafingerweiher und der angrenzende Uferwald bieten vielen Tierarten Lebensraum. Vertreten sind nebst Amphibien (Erdkröte, Gras- und Wasserfrosch), Reptilien (Ringelnatter, Mauereidechse) sowie 13 Libellenarten vor allem die Vögel (HAURI 1984, BRAND ET AL. 1987). Um den Lebensraum, gerade für Amphibien, trotz der Verlandung zu verbessern, machte IMHOF (1987) in einem Gutachten verschiedene Vorschläge. Aus Geldmangel konnte jedoch bis 1997 keiner der Verbesserungsvorschläge umgesetzt werden. Als Fischgewässer hat der Weiher in den letzten 15 Jahren wegen der Verlandung an Wert eingebüsst.



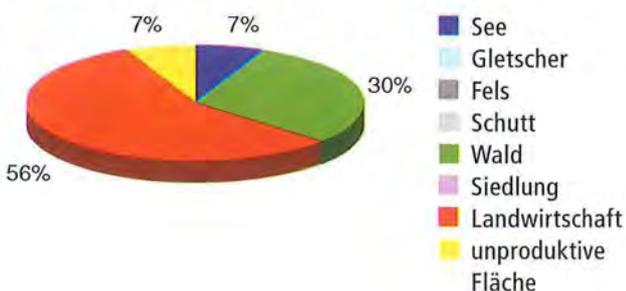
Foto: GBL / K. Gurthuf



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 30.6 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 707 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 671 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1207
 607 371 / 178 931
 660 m ü.M.
 0.95 ha
 6.4 m
 21 938 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Geistsee liegt auf dem Hügelszug zwischen Gürbe- und Aaretal, 7 km westlich von Thun. Er ist ein Moränensee in der Moränenlandschaft des Aaregletschers. VON BÜREN (1952) vermutet, dass Toteis bei der Bildung des Seebeckens mitbeteiligt gewesen ist. Der Geistsee wird durch die grosse Müsche entwässert, welche allerdings die ersten 500 m in einer Röhre von 45 cm Durchmesser unter der Erde verbringt, da sie im Rahmen der Tieferlegung des Seespiegels um 50–60 cm (1916/17) eingedolt wurde. Die Müsche fliesst Richtung Gelterfingen, nimmt dort den Mühlebach, den Abfluss des Gerzensees, auf und mündet bei Kaufdorf in die Gürbe, welche wiederum bei Kehrsatz in die Aare entwässert.

Der Geistsee hat keine eigentlichen Zuflüsse. Am südlichen Ende des Sees mündet eine Leitung mit dem gesammelten Wasser aus Drainagen in den Kanal beim Bootshaus. Dazu kommen Grundwasseraustritte im östlichen Seeteil und eine Schwefelquelle, die im Süden in unmittelbarer Nähe des Ufers mündet. Bei Grabungen stiess man im Abstand von bis zu 75 m vom heutigen Seeufer auf Seekreideschichten, was darauf hinweist, dass der See früher grösser war. Die Fläche ist primär durch Verlandung kleiner geworden. Die Seeabsenkung hat direkt nur unwesentlich zur Verkleinerung der Seefläche und Maximaltiefe beigetragen. Vor der Absenkung war der See noch 10 m tief (SCHREYER 1921, zit. in VON BÜREN 1952), danach zwischen 9.50 und 9.40 m. Viel massiver waren jedoch die indirekt-

ten Folgen der Melioration: Der See war vollständig von Moorvegetation umgeben. Zum grossen Teil handelte es sich dabei um schwingende Rasen. Diese senkten sich mit dem Seespiegel, brachen an vielen Stellen am Übergang zum festen Boden ab und trieben als schwimmende Inseln auf dem See. Mit der Zeit sanken sie auf den Grund und trugen wesentlich zur Auffüllung des Seebeckens bei, so dass VON BÜREN (1952) 20 Jahre nach der Melioration an der tiefsten Stelle nur noch 6.5 m feststellte. Am 6. Dezember 1984 wurde der Geistsee durch Regierungsratsbeschluss unter Naturschutz gestellt (HAURI 1994).

Temperatur / Mischverhalten

Das Schichtungsverhalten wurde zwischen 1936 und 1939 umfassend untersucht (VON BÜREN 1952). Die beschriebenen Vorgänge sind für einen See in dieser Grösse charakteristisch: Kurze Zeit nach der Frühjahrszirkulation im März erwärmt sich die Seeoberfläche. Damit etabliert sich die thermische Schichtung, die im Verlauf des Sommers immer stabiler wird. Mit zunehmender Dauer der Stagnation weitet sich die sauerstofffreie Zone gegen die Seeoberfläche hin aus und erfasst grosse Teile des Wasserkörpers. Im Herbst kühlt sich das Wasser von der Oberfläche her ab und beginnt immer tiefer zu zirkulieren. Dieser Vorgang schreitet voran, bis der See auf der ganzen Tiefe die gleiche Temperatur hat. In dieser Phase kann das Wasser erstmals bis zum Grund zirkulieren und sich durch den Luftkontakt mit Sauerstoff anreichern. Da im Tiefenwasser ein Sauerstoffdefizit herrscht (Schwefelwasserstoff, Ammonium), reichte diese Phase 1936/37 und 1938/39 nicht aus zur Sättigung mit Sauerstoff, und der See ging untersättigt in den Winter. Unter der Eisschicht, die sich auf dem Geistsee alljährlich bildet, fand eine weitere Sauerstoffzehrung statt. Erst in der anschliessenden

Frühjahrszirkulation konnte sich das Wasser in sehr kurzer Zeit mit Sauerstoff sättigen. Diese Beobachtung (VON BÜREN 1952) deckt sich mit aktuellen Messungen.

Produktivität / Trophiegrad

Der Geistsee wies in den dreissiger Jahren zahlreiche Merkmale eines **dystrophen** Moorsees auf: Der Seegrund bestand grösstenteils aus wenig zersetztem pflanzlichem Material, das in der Fachsprache Dy genannt wird. Die Primärproduktion war damals im Geistsee sehr klein, was durch geringe Planktonbiomassen, schwache pH-Unterschiede zwischen Epi- und Hypolimnion und eine kaum messbare biogene Entkalkung zum Ausdruck kam. Dennoch beobachtete man schon damals Sauerstoffzehrung, welche ebenfalls ein typisches Merkmal dystropher Seen ist. Sie geht vom stark organisch dominierten Sediment aus. Die Primärproduktion, welche in eutrophen Seen für den Sauerstoffschwund verantwortlich ist, trug damals im Geistsee nur unwesentlich dazu bei (VON BÜREN 1952). Das gelblichbraun gefärbte Wasser enthielt grosse Mengen an Huminstoffen, welche beim teilweisen Abbau des organischen Materials entstehen. Noch heute äussert sich dies in einer gelbbräunlichen Färbung des Wassers und ganzjährig sehr hohen Konzentrationen an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC).

Im Vergleich zu damals hat sich heute die trophische Situation des Geistsees grundlegend geändert: Die Phosphorkonzentration im Hypolimnion (Gesamtphosphor und das pflanzenverfügbare Orthophosphat) charakterisieren den Geistsee deutlich als **eutroph**. Der hohe Gehalt an Chlorophyll a beweist, dass bereits im frühen Frühjahr das Nährstoffangebot effizient genutzt wird. Anfangs März konnte 1997 eine starke Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser beobachtet werden. Das Vor-

kommen von anaeroben Schwefelbakterien spricht zudem für reduzierende Bedingungen im Hypolimnion. In dieser Jahreszeit wurden in den dreissiger Jahren die höchsten Sauerstoffkonzentrationen gemessen. Wir vermuten, dass diese verschärfte Sauerstoffzehrung im Hypolimnion durch die gesteigerte Primärproduktion verursacht wird. Allerdings kann dieses Sauerstoffdefizit auch mit einem Ausbleiben der Frühjahrszirkulation zusammenhängen. Eine umfassendere Untersuchung des Geistsees bezüglich Trophiegrad und Zirkulationsverhalten wäre angebracht. Insbesondere müsste abgeklärt werden, wie weit das Drainagewasser zur Eutrophierung beiträgt.

Plankton

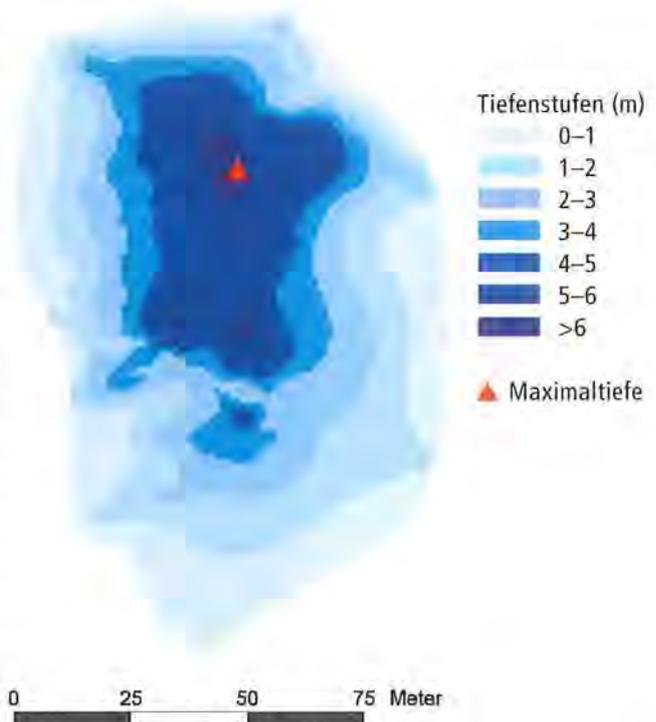
Das Phytoplankton ist im März mit 73 Taxa ziemlich artenreich. Grünalgen, Goldalgen und Blaualgen machen 68% der Artenzahl aus. Auch die Augenflagellaten, welche als Zeiger für eutrophe Gewässer gelten, sind mit 6 Arten vertreten. Gesamthaft spricht diese Zusammensetzung für einen hohen Nährstoffgehalt und bestätigt somit die

Nährstoffanalysen. Die starke Eutrophierung des Gewässers seit der Untersuchung in den dreissiger Jahren ist also auch beim Phytoplankton ersichtlich. Die artenmässige Zusammensetzung des Crustaceen-Zooplanktons gibt bezüglich Trophie etwas weniger eindeutige Resultate: Das Spektrum reicht von Zeigern für oligotrophe bis zu Arten, welche eutrophe Gewässer bevorzugen. In der Probenahme vom 4. März 1997 konnten insgesamt 5 Arten nachgewiesen werden.

Flora

Die Flora des Geistsees ist durch die Melioration (1916/17) glücklicherweise relativ wenig betroffen worden, wie aus den Untersuchungsergebnissen der Jahre 1936–39 hervorgeht. Der Geistsee gehört zu den wenigen Seen im Kanton Bern, welche eine intakte Abfolge der Verlandungsgesellschaften aufweisen. Während der Gürtel der submersen Makrophyten, das heisst der untergetauchten Wasserpflanzen, nur rudimentär vorhanden ist, ist der Schwimmblattgürtel mit einer Breite von 7 m gut ausgebildet. Daran schliesst im östlichen

Tiefenkarte Geistsee



Seeteil ein kleines Binsicht (Seebinsenbestand) an. Mehr oder weniger das gesamte Ufer ist von einem Röhrichtgürtel umgeben, welcher aus Schilf und Schneidebinse besteht. Schon im Schilfgürtel ist der Boden von Torfmoosen bedeckt, welche landeinwärts eine eigene Pflanzengesellschaft (Sphagnetum) bilden. Noch weiter landeinwärts wird diese Moorgesellschaft durch eine Pfeifengraswiese abgelöst.

VON BÜREN (1952) konnte am Geistsee nachweisen, dass mit zunehmender Entfernung vom See der pH-Wert abnahm. Das Gleiche konnte er in vertikaler Richtung aufzeigen, indem das Porenwasser an der Moor-Oberfläche am sauersten war und mit zunehmender Nähe zum Grundwasser basischer wurde. Seine Beobachtungen können durch die Prozesse der Moorentwicklung erklärt werden. Da die Moorbildung in Seerichtung fortschreitet, können die Entwicklungsstadien räumlich getrennt beobachtet werden: Der Entwicklungsprozess beginnt mit dem Flachmoor-Stadium. Dieses ist vollständig dem Einfluss des nährstoff- und kalkreichen Seewassers unterworfen. Zeiger für neutralen pH und Nährstoffreichtum dominieren in der Regel. Es gibt unter anderem auch Torfmoose, welche sehr tolerant gegenüber hohem pH und Nährstoffgehalt sind. Diese beginnen mit der Besiedlung des Flachmoors und bauen eine immer dicker werdende Schicht auf, indem die unteren Pflanzenteile absterben und vertorfen. Mit der Dicke der Torfschicht nimmt auch der Einfluss des Seewassers immer stärker ab und der des Regenwassers zu. Dies hat zur Folge, dass Nährstoffgehalt und pH sinken. Erstens hat Regenwasser an sich einen niedrigen pH-Wert. Zweitens wird durch die Abbauprozesse, welche bei der Vertorfung stattfinden, Kohlendioxid freigesetzt, welches seinerseits zur Senkung des pH beiträgt. Drittens tragen die lebenden Torfmoospflanzen aktiv zur Versauerung des Milieus bei. Wenn

der pH weit genug gesunken ist, werden die pH-toleranten Torfmoosarten durch säureliebende ersetzt (VON BÜREN 1952). Durch diese Entwicklung kommt die hohe Artenvielfalt der Uferzone zustande. Die Verlandungszone des Geistsees ist damit ein äusserst wertvolles Ökoton. Allerdings hat in den letzten Jahrzehnten die Verbuchung stark zugenommen, wie HAURI (1988) in eindrücklicher Weise anhand von Luftbildern zeigen konnte.

Fauna

Obwohl der Geistsee von relativ geringer Ausdehnung ist, dient er zahlreichen Tieren als Lebensraum: Drei Amphibienarten (Erdkröte, Teich- und Grasfrosch, erste zwei gefährdet), dient er als Laich- und Larvalhabitat. Der Teichfrosch, welcher im Geistsee das höchstgelegene Vorkommen des Kantons hat, ist auch als ausgewachsenes Tier stark an den See gebunden.

Auch der Fischbestand setzt sich heute aus vier Arten zusammen, welche alle typisch für einen derartigen Kleinsee sind. Einzig der Besatz mit Karpfen und Hechten trägt zu einer gewissen Verfälschung der Fischfauna bei. Der Aal erlitt schon in den dreissiger Jahren eine starke Abnahme und ist mittlerweile ganz verschwunden. Wasserkraftwerke und Sohlschwellen in Fließgewässern wirken als Hindernisse

für die Wanderungen der Aale vom Meer her. Diese Bauwerke müssen als Ursachen seines Verschwindens betrachtet werden. Auch die 500 m lange Eindolung direkt unterhalb des Sees ist ein unüberwindbares Hindernis für Fischwanderungen.

In den Libellenerhebungen stellte VON BÜREN (1952) 16 Arten aus 12 Gattungen fest. Zwischen 1990 und 1991 konnten noch fünf Arten nachgewiesen werden, zwei darunter gefährdet (Daten CSCF).

Die europäische Sumpfschildkröte, welche in der Schweiz vermutlich aus klimatischen Gründen ausgestorben ist, wurde zwischen 1973 und 1978 am Geistsee angesiedelt. Über das Schicksal der ausgesetzten Tiere ist nichts bekannt (HOFER 1998). Trotz seiner geringen Grösse dient der Geistsee vier Vogelarten (Stockente, Teichhuhn, Teich- und Sumpfrohrsänger) als Bruthabitat (HAURI 1988).

Handlungsbedarf

Heutzutage geht die Gefährdung wertvoller Ökosysteme wie des Geistsees dank umfassender Schutzbestimmungen weniger von direkten Schädigungen wie z.B. Seespiegelabsenkungen aus. Vielmehr tragen Nährstoffeinträge aus der umgebenden Intensiv-Landwirtschaft zur Eutrophierung der

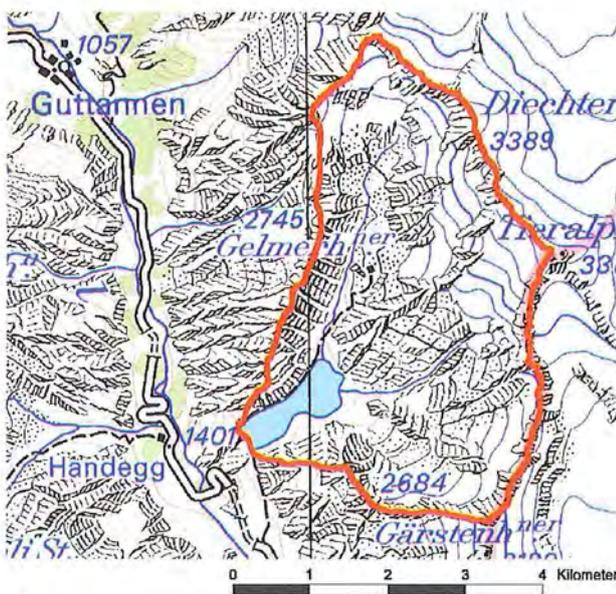
Gewässer bei. Der Geistsee leidet unter viel zu hohem Düngereintrag aus der Umgebung, insbesondere Stickstoff (HAURI 1994). Die Auswirkungen machen nicht beim See halt, sondern können auch auf die umliegenden Moore übergreifen (SCHÄFER & WEIBEL 1995). Besonders Schilfröhrichte sind durch zu hohen Stickstoffeintrag gefährdet (GUTHRUF-SEILER 1993). Die Vegetationsaufnahmen aus den dreissiger Jahren sind, so weit bekannt, die letzten. In der Zwischenzeit hat, wie aus der einmaligen Probenahme im März 1997 geschlossen werden kann, eine starke Eutrophierung stattgefunden. Ob und in welchem Ausmass sich die Nährstoffbelastung auf die Flora der umgebenden Moore ausgewirkt hat, ist weitgehend unbekannt. Die limnologischen Untersuchungen sollten deshalb durch floristische Erhebungen ergänzt werden, um die Veränderungen seit 1939 zu quantifizieren. Nur auf Grund eines ausreichenden Kenntnisstandes ist ein nachhaltiger Schutz des wertvollen Ökosystems gewährleistet. Langfristig sollte das Ziel verfolgt werden, eine weitere Eutrophierung des Gewässers und die Gefährdung der wertvollen Verlandungsgesellschaften zu stoppen oder zumindest drastisch zu verlangsamen. Auf Grund des hohen Anteils der Agrarflächen ist dabei primär die Landwirtschaft gefordert.



Foto: GBL / M. Zeh



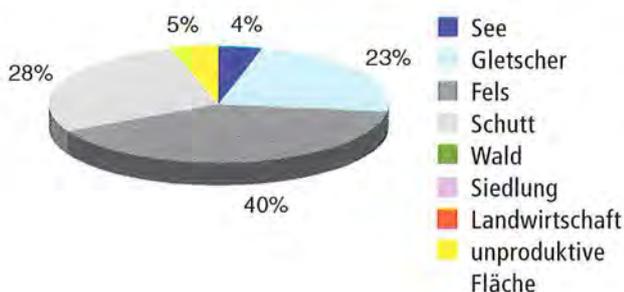
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 1574.21 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 3384 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2576 m ü.M. |

Flächenanteile



| | |
|--------------------------|---------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1230 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 667 865 / 162 664 |
| Höhe Seeoberfläche | 1849 m ü.M. |
| Seefläche | 61.71 ha |
| Maximaltiefe | 48.0 m |
| Seevolumen | 12 538 178 m ³ |

Geschichte, Hydrologie

Der nebst dem Grimselsee älteste Stausee der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) im Grimselgebiet (Inbetriebnahme 1932) war ursprünglich ein kleiner Gletschersee, der heute wie damals Wasser aus dem Diechtersalpe, vom Alpigletscher sowie von den Gletschern der hinteren Gelmerhörner erhält. Heute werden 23% des topographischen Einzugsgebietes von Gletschern bedeckt. Der Rest besteht wie fast überall im Aaremassiv aus kristallinem Fels und Geröll. Sein Einzugsgebiet ist um dasjenige des Grimselsees vergrößert, da ihm via Stollen der ganze Zufluss des Grimselsees (ca. 200 Mio. m³ pro Jahr) zufließt (KUH 1947). Der jährliche Zufluss aus dem ursprünglichen Einzugsgebiet ist sechsmal kleiner.

Temperatur / Mischverhalten

Die Temperatur des Gelmersees erreichte im Sommer 1994 an der Oberfläche 15 °C. Bereits in 5 m Tiefe war die Temperatur auf 7.5 °C gefallen. Zwischen 15 m und Grund wurden rund 6.2 °C gemessen. Auch die Gesamtheit der ungelösten Stoffe wies eine klare Schichtung auf. In den obersten, warmen Schichten wurden 4–5 mg/l, in den kalten Schichten 80 mg/l gemessen (ZEH 1996). Das kalte, trübe und sauerstoffreiche Wasser des Grimselsees sichtet sich im Sommer in der Tiefe des Sees ein, während die oberflächlichen Wasserschichten durch das klarere Wasser der natürlichen Zuflüsse gebildet werden und sich erwärmen.

Produktivität / Trophiegrad

Wegen der Trübstoffe in der Tiefe findet die gesamte Produktion in den obersten Metern statt. Der Gletscherschliff und Detritus der Zuflüsse bedingen jedoch auch eine gewisse Trübung in den wärmsten Schichten, so dass nur eine Sichttiefe von 1.5 m gemessen werden konnte (KUHNS 1947). Das Wasser des Gelmersees war zwischen 31.7. und 9.8.1946 über die ganze Tiefe mehr oder weniger mit Sauerstoff gesättigt, was auf eine sehr geringe Produktion hindeutet, wie dies für **oligotrophe** Seen typisch ist.

Plankton

Im August 1994 setzte sich das schwach entwickelte Phytoplankton lediglich aus 18 taxonomischen Einheiten zusam-

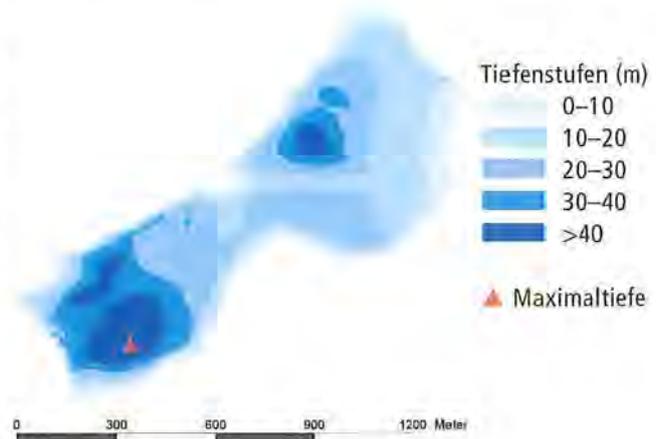
men. Goldalgen, Panzer- und Schlundflagellaten waren hauptsächlich vertreten. Viele der gefundenen Formen waren begeißelt, eine Anpassung an die unnatürlich starke Trübung des Gewässers. Sie können aktiv die sehr dünne, vom Sonnenlicht erhellte Oberflächenschicht aufsuchen. Vom Zooplankton bevorzugten zwei der vier gefundenen Arten oligotrophe Verhältnisse.

Flora und Fauna

Die schlechten Lichtverhältnisse und die Wasserstandsschwankungen von etwa 30 m verhindern ein Vorkommen von Wasser- und Sumpfpflanzen in und um den Gelmersee.

Bis Mitte der achtziger Jahre war der Gelmersee ein gutes Fischgewässer. In den folgenden Jahren kam es in kurzen Abständen zu mehreren grösseren Fisch-

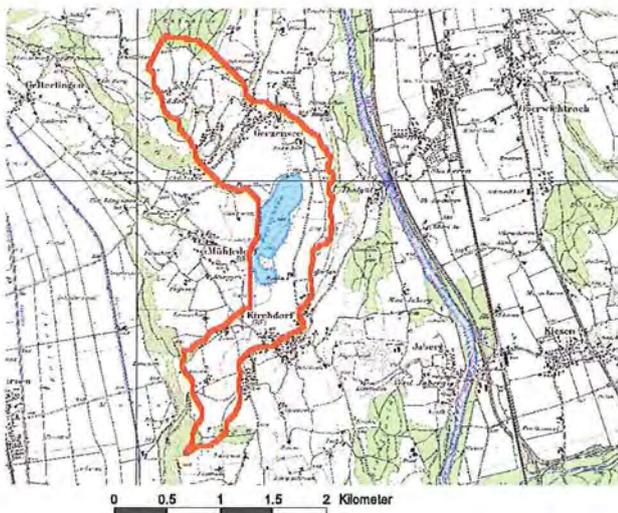
Tiefenkarte Gelmersee



sterben, deren Ursache nie einwandfrei ermittelt werden konnte. Es wird vermutet, dass diese im Zusammenhang mit dem Umwälzwerk *Grimsel-Oberaar* stehen, welches den Gelmersee vermehrt als Ausgleichsbecken benutzte. Seit 1987 wurde praktisch kein Fischbesatz mehr gemacht (MARRER 1998). Wenn

auch Echolotaufnahmen im Sommer 1994 eindeutige Fischechos zeigten (ZEH 1996), deuten neuere Fangzahlen auf einen massiven Zusammenbruch des Ertrags hin. Die jährlichen Fangerträge schwanken zwischen 0 und 4 Bachforellen (FISCHEREI-INSPEKTORAT 1990-1997).

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

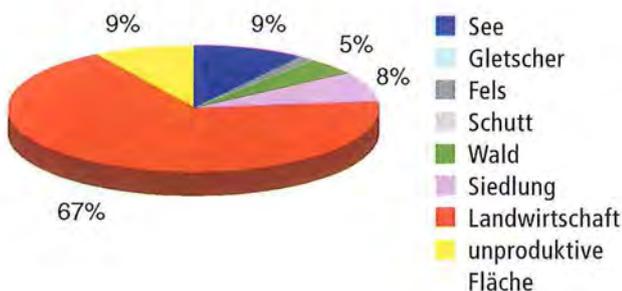
1187
 608 289 / 186 620
 603 m ü.M.
 25.16 ha
 10.7 m
 1 443 054 m³



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 273.07 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 839 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 652 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte

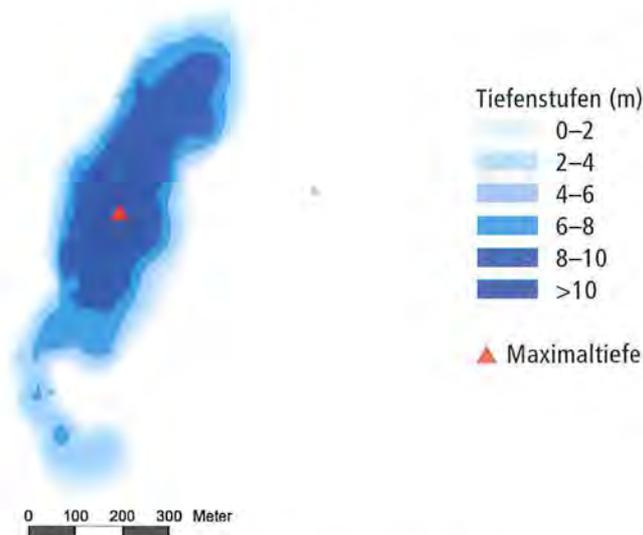
Der Gerzensee ist ein Moränen-see im Berner Mittelland. Der Seespiegel liegt in der montanen Höhenstufe auf 603 m ü.M., 1936 lag er 3 m höher (VON BÜREN 1936). Pollen- und Sauerstoff-isotopenanalysen ergaben, dass der Gerzensee im Spätglazial auf Grund der damals sehr niedrigen Temperaturen ein vegetationsloser oder -armer Kaltwassersee war (EICHER 1980). Mit zunehmender Erwärmung des Klimas nahm die Produktivität des Sees zu, so dass sich seit der letzten Eiszeit bis heute ein 3.7 m mächtiges Seesediment aufbauen konnte (EICHER 1980). Sedi-menteinträge durch Zuflüsse trugen dazu wegen des verhältnismässig kleinen Einzugsgebietes in eher geringem Masse bei. So stellte VON BÜREN (1936) fest, dass der Gerzensee schon 1933–1935 deutlich eutroph war und zeit-

weise in Tiefen von 6 m keinen Sauerstoff mehr aufwies. Algenblüten bewirkten schon damals, dass die Sichttiefe zeitweise weniger als 50 cm betrug. Auch unter Annahme natürlicher Bedingungen (Einzugsgebiet bewaldet) wäre der Gerzensee als eutroph einzustufen (BINDERHEIM-BANKAY 1998).

Produktivität / Trophiegrad

Auch aktuelle Untersuchungen belegen, dass der Gerzensee deutlich **eutroph** ist. Dies ist sowohl den Nährstoffkonzentrationen (Phosphor und Stickstoff) als auch den hohen Phytoplankton-Biomassen (ersichtlich aus den Chlorophyllkonzentrationen) zu entnehmen. Auch die Sichttiefe ist heute als Folge des hohen Algenwachstums im Sommer stark reduziert. Die hohe

Tiefenkarte Gerzensee



Planktondichte führt zu einer Sauerstoffübersättigung im Epilimnion (266% im Juni 1995). Im Tiefenwasser (Hypolimnion) verursacht der Abbau der grossen anfallenden Biomasse eine vollständige Zehrung des Sauerstoffs während der Stagnationsphase und sogar das Auftreten beachtlicher Sulfidkonzentrationen. Die Herkunft dieser hohen Nährstoffbelastung ist auf den sehr hohen Landwirtschaftsanteil am Einzugsgebiet zurückzuführen.

Temperatur / Mischverhalten

Wegen seines Temperaturregimes gehört der Gerzensee nach der Beurteilung von FOREL zu den gemässigten Seen, in denen die Wassertemperatur bisweilen auch unter 4 °C absinkt. In kalten Wintern gefriert der See. Im Sommer steigt die Temperatur zum Teil über 24 °C. Zusammen mit den hohen Nährstoffkonzentrationen ist dies eine der wichtigsten Voraussetzungen für die hohe Produktivität des Sees. Mit einer Maximaltiefe von 10 m kann sich im Gerzensee eine Temperaturschichtung ausbilden. In Jahren mit kalten Wintern ist der See im Sommer und Winter geschichtet, im Frühjahr und Herbst findet Vollzirkulation statt. In warmen Wintern mischt der See nur einmal (Herbst bis Frühjahr)

vollständig (VON BÜREN 1936). Im Sommerhalbjahr (April–September) ist der See geschichtet. Auch starke Winde vermögen das Wasser nur in Tiefen von 1–2 m zu mischen. Verglichen mit der Seefläche ist die Tiefe von 10 m relativ gering. Dies hat zur Folge, dass die Temperaturschichtung nicht allzu stabil ist und vom Herbst bis ins Frühjahr durch starke Windereignisse relativ leicht aufgehoben werden kann. So ist gewährleistet, dass während einer relativ langen Periode Sauerstoff bis an den Seegrund gelangt. So erklärt sich, dass sich trotz des hohen Trophiegrades an der tiefsten Stelle im See aerobe Sedimente befinden (siehe Abbildung), die regelmässig von tierischen Organismen umgeschichtet werden (Bioturbation).

Phytoplankton

Auch im Phytoplankton kommt der eutrophe Charakter des Gerzensees zum Ausdruck: In mehreren Monaten dominierten Grünalgen, und die als Belastungszeiger bekannten Augenflagellaten waren 1995 durch zehn Arten vertreten. Die Biomassen waren recht hoch (bis zu 123 g/m²), und auch das Auftreten eines Klarwasserstadiums (Mai 1995) ist typisch für nährstoffreiche Seen. Dieses Klarwasserstadium fällt mit der höchsten Biomasse algenfres-

sender Blattfusskrebse zusammen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Dezimierung der Algen durch diese Zooplankter für das Klarwasserstadium verantwortlich war (ZEH & ZBÄREN 1995).

Weiter fällt die sehr grosse zeitliche Variabilität auf: Während 6 Probenahmen dominierten 5 verschiedene Familien, und auch die Biomasse schwankte sehr stark (8–123 g/m²). Die Biomassenmaxima lagen in den Monaten Juni und September. Diese Ergebnisse veranschaulichen die grosse Dynamik des Phytoplanktons. Einzelproben sind deshalb mit grosser Vorsicht zu interpretieren.

Zooplankton

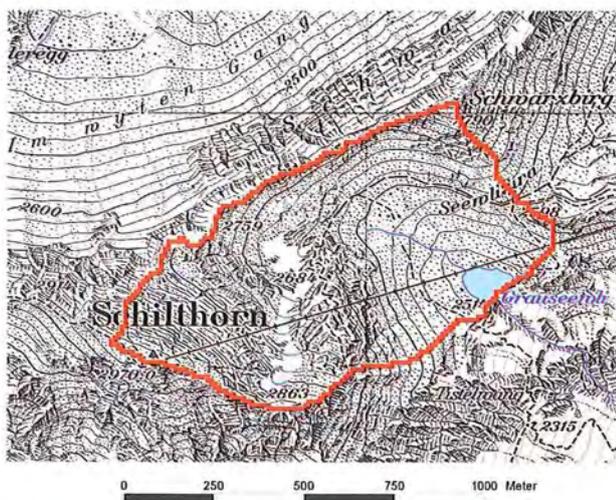
Die Dominanzverhältnisse des Zooplanktons waren deutlich weniger variabel als diejenigen des Phytoplanktons. In der Regel dominierten klar die *Daphniidae* (wasserflohartige Blattfusskrebse). Der Juni 1995, in dem die zu den Ruderfusskrebsen gehörenden Calanoida am häufigsten waren, bildet eine Ausnahme. Die Biomasse schwankt zwischen 9 und 113 g/m². Die geringsten Biomassen wurden im Februar festgestellt. Im Verlauf des Frühjahrs nahm die Biomasse zu, die höchsten Werte wurden im Sommer beobachtet (Ausnahme Juni).

Fauna / Flora

Der Gerzensee hatte 1933 sehr natürliche, intakte Ufer und einen reichhaltigen Bestand an Röhricht-, Schwimmblatt- und untergetauchten Wasserpflanzen (VON BÜREN 1936). Diesen Zustand hat er in die heutige Zeit hinübergerettet. Entsprechend gross ist auch die Artenvielfalt in der Fauna: Im Gerzensee leben 4 Amphibienarten (3 davon gefährdet), eine Reptilienart, 25 Libellenarten und 14 verschiedene Süswasserschnecken (Daten: CSCF 1997). 1933–35 wies VON BÜREN (1936) 9 Fischarten nach.



Foto: GBL / K. Guthruf



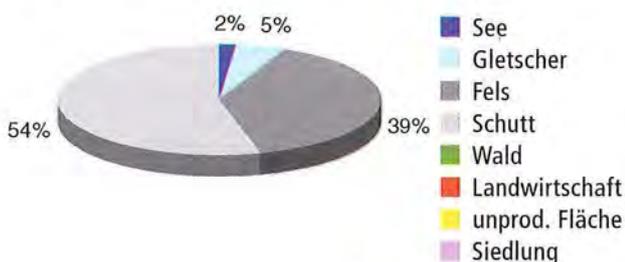
Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1248
 631 316 / 156 531
 2509 m ü.M.
 0.93 ha

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 59.16 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2963 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2686 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Dieser natürliche See liegt 3.5 km westlich von Müren, rund 900 m östlich des Schiltthorns in einer kleinen Mulde. Er ist südlich exponiert, so dass sein topographisches Einzugsgebiet trotz der 2500 m über Meer nur zu 5% vergletschert ist. Die übrige sichtbare Fläche des Einzugsgebietes wird aus Schutt und Fels gebildet. Wie gross das hydrologische Einzugsgebiet dieses Sees ist, bleibt bei einem kalkreichen Untergrund ungewiss. Das Gewässer wird von einem Zufluss aus Nordwesten gespiesen. Das Wasser verlässt den See oberirdisch in südöstlicher Richtung. Als Schiltbach fliesst es in die Sefinen-Lütschine, die schliesslich in die weisse Lütschine mündet.

Weitere Informationen sowohl zum Alter wie zur Biologie des Sees waren in der uns bekannten Literatur nicht vorhanden. Wegen seiner Abgelegenheit wurde der Kleinsee bis heute noch nicht beprobt.



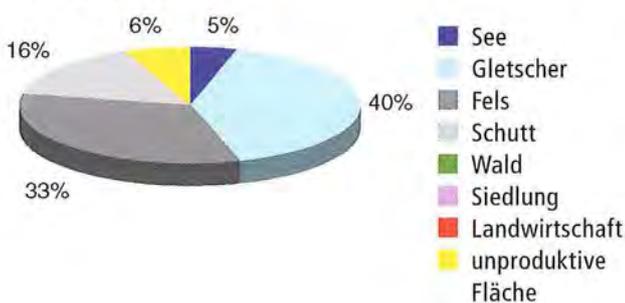
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 9639.1 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 4272 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2688 m ü.M. |

Flächenanteile



| | |
|--------------------------|---------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1230 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 668 297 / 158 259 |
| Höhe Seeoberfläche | 1909 m ü.M. |
| Seefläche | 268.41 ha |
| Maximaltiefe | 100 m |
| Seevolumen | 96 892 432 m ³ |



Geschichte, Hydrologie

Ursprünglich lagen an Stelle des heutigen, bis 100 m tiefen Stausees zwei kleine Seen: der hintere und vordere Grimsesee, die zusammen weniger als 15 ha Seeoberfläche aufwiesen (STIRNIMANN 1926). Beide Seen lagen im östlichsten Teil des heutigen Stausees, südlich und südöstlich des Hospizes. Die Maximaltiefe des hinteren Sees lag bei 18.5 m, die des vorderen bei 12.6 m. Das gemeinsame topographische Einzugsgebiet war etwas über 500 ha gross (BOURCART 1906). Nach dem Bau einer Staumauer zwischen Spittelnollen und Spittelamm entstand 1932 der heutige Grimsesee. Mit einer Seeoberfläche von fast 270 ha ist er der grösste Stausee in den Berner Alpen. Das hydrologische Einzugsgebiet ist wegen verschiedener Zuleitungsstollen

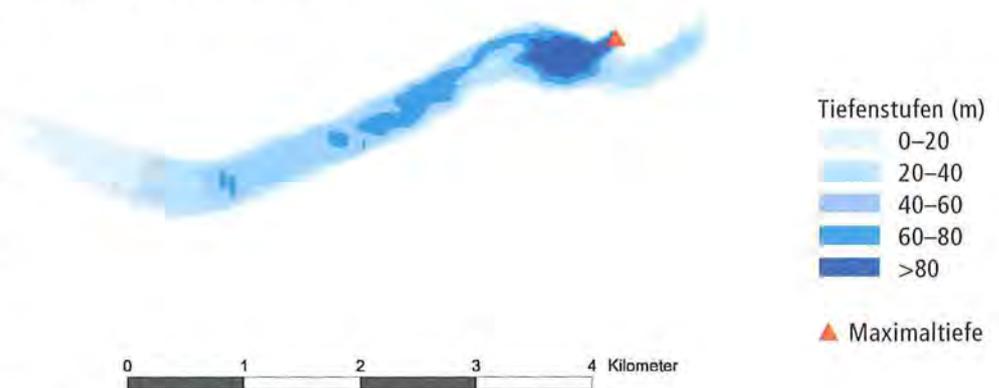
aus anderen Gebieten, wie z.B. dem Bächlisboden, wesentlich grösser als das topographische. Dieses besteht zur Hauptsache aus kristallinem Fels und Geröll und ist fast zur Hälfte von ewigem Eis bedeckt. Während die früheren beiden Kleinseen nur je einen Zufluss aufwiesen, wird dem Grimsesee heute aus 15 Zuflüssen Wasser zugeführt. Der Abfluss des ehemaligen vorderen Kleinsees mündete nach nur 400 m in die Aare, dabei floss er unter dem Hospiz durch. Ein Teil des Stauwassers des heutigen Beckens wird in einem Stollen gefasst und in den Gelmersee geleitet. Erst von dort gelangt das Wasser durch einen 545 m hohen Druckschacht zur ersten Kraftwerkstufe Handeck (KUHN 1947). Im Rahmen des Projektes *Grimseel-West* von 1988 ist der Bau einer grösseren Staumauer auf

der Linie «Chessituren–Juchli-stock» geplant, für die auch in den Projektanpassungen von 1990 keine Veränderungen vorgesehen wurden. Die geplante 214 m hohe Staumauer unterteilt den Grimselsee in das neue Speicherbecken Grimsel-West (410 Mio. m³ nach etwa 10jährigem Einstau) und das verbleibende Becken Grimsel-Ost (etwa 44 Mio. m³). Mit der Vergrößerung des Speichervolumens könnte Strom vor allem im Winter produziert werden. Heute wird im Sommer wie im Winter etwa gleichviel Energie gewonnen. Mit dem revidierten Projekt von 1990 könnten 95% des Stromes im Winterhalbjahr produziert werden. Dem Gewinn an teurem Winterstrom steht unter anderem der Verlust von Hochmooren, eines in seiner Grösse einmaligen Arvenwaldes und das Versinken des Unteraargletschers auf einer Länge von etwa 3 km gegenüber (BENELLI 1990). Das Projekt liegt zur Zeit auf Eis.

Temperatur / Mischverhalten

Untersuchungen in der ersten Hälfte von 1975 zeigten, dass der See in den Wintermonaten eine inverse Temperaturschichtung aufwies. Das kälteste Wasser (0.0 °C) wurde an der Oberfläche gemessen. In 55 m Tiefe erreichte die Temperatur 2.15 °C. Im April und Mai wies der See über eine Tiefe von 20 bzw. 15 m eine Temperatur von

Tiefenkarte Grimselsee



0.4 °C auf. Da die Temperaturwerte in 20 bzw. 15 m Wassertiefe nicht identisch mit Messwerten über Grund waren, lässt sich nicht entscheiden, ob die Messungen eine Frühjahrszirkulation erfassten oder ob sich Schmelzwasser im oberen Bereich eingeschichtet hatte. Ebenfalls unklar bleibt, wann der Grimselsee eisfrei wurde und ob sich wegen der grossen Wasserstandsschwankungen von mehr als 58 m überhaupt je eine Schichtung einstellen kann. In den ehemaligen Kleinseen, die nur geringe Wasserstandsschwankungen von 0.5 m aufwiesen (BOURCART 1906), bewegte sich die Oberflächentemperatur im Sommer zwischen 8 und 12 °C (STIRNIMANN 1926). Die genauen Messdaten sind uns nicht bekannt.

Produktivität / Trophiegrad

Die ehemaligen Grimselseeli wiesen im Hochsommer Sicht-

tiefen von 7 bzw. 9 m auf. Die Sichttiefe des dauertrüben Stausees ist heute wegen des Gletscherschliffs auf ein Minimum von 0.2 m geschrumpft (KUHN 1947). Diese geringe Sichttiefe erlaubt keine nennenswerte Primärproduktion, selbst wenn genug Nährstoffe vorhanden wären. 1946 lag der Gesamtphosphorgehalt des Sees unter der Nachweisgrenze (KUHN 1947). Der Zustand des Sees wird sich seither kaum verändert haben, so dass er auch jetzt als **oligotroph** eingestuft werden kann.

Plankton

Im See wurden bei einem qualitativen Netzzug 3 Arten (2 Kieselalgen, 1 Panzerflagellat) gefangen (KUHN 1947). Die Zusammensetzung und äusserst geringe Zahl an Algen bestätigt die Beurteilung des Sees als **oligotroph**. Allerdings wurden durch die Probenahmemethode (Planktonnetz) nur grosse

Formen selektiert, während das Nano- und Pikoplankton unterrepräsentiert war. Es ist daher davon auszugehen, dass Artenzahl und Dichte im See höher waren als in der Probe. Im Zooplankton konnte eine einzige Art (*Cyclops strenuus*) festgestellt werden, eine Art, die sonst eher in eutrophen Gewässern lebt (KUHN 1947).

Flora und Fauna

Wasserpflanzen und Sumpfpflanzen können wegen der starken Trübung und der grossen Wasserstandsschwankungen nicht überleben.

In den ehemaligen Grimselseen wurden bereits vor der Jahrhundertwende Trütschen und kanadische Seesaiblinge ausgesetzt (STIRNIMANN 1926). Unter den heutigen Bedingungen ist ihr Vorkommen jedoch mehr als fraglich. Seit 1994 wurden im Grimselsee keine Fische mehr gefangen (FISCHEREINSPEKTORAT 1990–1997).

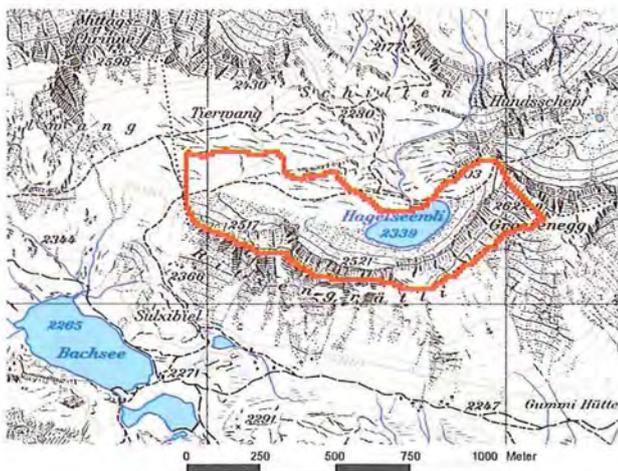


Quellgebiet der Aare. Dieses Gletschervorfeld würde durch das Projekt *Grimsel-West* überflutet.

Foto: M. Zeh



Foto: A. Lotter

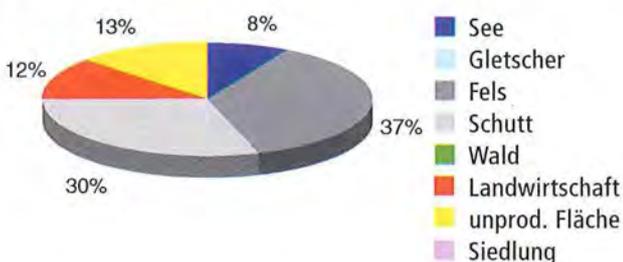


| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1229 |
| Koordinaten | 645 675 / 169 255 |
| Maximaltiefe | 2339 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 2.49 ha |
| Seefläche | 18.8 m |
| Maximaltiefe | 209 989 m ³ |
| Seevolumen | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 32.57 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 36 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2619 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2404 m ü.M. |

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Das Hagelseewli liegt in einem kalkhaltigen Gebiet zwischen Faulhorn und Schwarzhorn, 5 km nördlich von Grindelwald. Die Faltenbildung der Wildhorndekke dürfte für die tektonische Entstehung des Hagelseewlis verantwortlich sein (BIGLER 1998). Durch seine hochalpine, schattige Lage kann sich das Wasser im Sommer nicht richtig erwärmen, und das Eis taut nur in warmen Sommern vollständig auf. Ein einziger oberirdischer Zufluss versorgt das Hagelseewli mit Schmelzwasser. Während der Schneeschmelze wird das Seeli zusätzlich durch Hangwasser gespeist (BIGLER 1998). Aufgrund des geringen Gefälles erodiert das Bächlein nur sehr wenig Material, und eine Trübung des Seewassers findet

nicht statt. Der See wird als blau beschrieben mit sehr klarem Wasser (STEINER 1911; BIGLER 1998). Das Hagelseewli entwässert durch den gleichnamigen Bach nach Norden. Nach einer Fliessstrecke von 1.6 km vereinigt sich dieser mit dem Giessbach, welcher in den Brienersee mündet.

Temperatur / Mischverhalten

Bei einer Maximaltiefe von 18.8 m ist davon auszugehen, dass das Hagelseewli im Sommer eine relativ stabile thermische Schichtung aufweist. Detaillierte Aufzeichnungen über den Temperaturverlauf zeigen aber, dass die Sommerstagnation nur von sehr kurzer Dauer ist (August–September 1996). GOUDSMIT ET AL. (in prep.) konn-

ten während ihrer Messkampagne 1996 und 1997 zu keiner Zeit eine vollständige Durchmischung der Wassersäule feststellen. Während der kurzen eisfreien Periode beobachteten sie jedoch eine teilweise Zirkulation bis etwa 10 m Tiefe. Während des grössten Teils des Jahres herrschte eine inverse Schichtung, das heisst, eine Schicht von weniger als 4°C kaltem, leichtem Wasser «schwamm» auf einer Schicht von schwerem, 4°C «warmem» Wasser (BIGLER 1998).

Produktivität / Trophiegrad

Während des Auftauens der Eisdecke werden dem See grosse Mengen von Ammonium (aber nicht Phosphat) zugeführt (GOUDSMIT ET AL. in prep.). Dieser Stickstoffeintrag dürfte aus der atmosphärischen Deposition und der Schneeschmelze, aber auch aus dem Boden des Einzugsgebietes stammen. Phosphor wird dem Seewasser durch Rücklösung aus den Sedimenten zugeführt. Während der eisfreien Periode findet eine starke Primärproduktion statt, und die Orthophosphat-Konzentrationen sinken unter die Nachweiskante.

Zur Beurteilung des Trophiegrades wurden uns Chemiedaten von GOUDSMIT ET AL. (in prep.) und das Foto eines Sedimentstiches von der EAWAG zur Verfügung gestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Dynamik der Produktivität geprägt ist durch die langdauernde Eisbedeckung, das Auftauen des Eises und die allenfalls kurze eisfreie Periode im Hochsommer. Die Messwerte der Stickstoff- und Phosphorparameter schwankten jahreszeitlich sehr stark. Chlorophyll-a-Konzentrationen bis 15 µg/l im Juli/August sowie die Phosphat-Limitierung während dieser Zeit (MÖLLER ET AL. 1998) deuten auf eine mittlere Produktion hin. Die Sauerstoffverhältnisse über Grund (ca. 43% Sättigung) bestätigen die Beurteilung des Sees als **mesotroph**.

Das Seesediment ist sehr dunkel gefärbt, was auf anaerobe Verhältnisse über dem Seegrund schliessen lässt (siehe Abbildung). Es weist deutliche Laminationen auf. In den obersten 7 cm fehlt die Schichtung und das Sediment ist durchgehend schwarz. Dieser Wechsel könnte ein Hinweis auf limnologische Veränderungen sein, welche in den letzten 20 Jahren stattgefunden haben. Auch die Artenzusammensetzung der Kieselalgen

an der Sedimentoberfläche lässt Rückschlüsse auf den Trophiegrad zu. Diese lassen darauf schliessen, dass im Uferbereich mesotrophe, im Rest des Sees oligotrophe Bedingungen herrschen (BIGLER 1998).

Plankton

Das Phytoplankton war 1909 mit 27 taxonomischen Einheiten sehr artenarm und dominiert durch Kieselalgen (19 Arten). Daneben kamen Jochalgen und Blaualgen in je vier Arten vor. Grünalgen und Augenflagellaten fehlten vollständig (STEINER 1911). Eine solche Zusammensetzung kann in alpinen, kalten und nährstoffarmen Seen beobachtet werden. Das Crustaceen-Zooplankton bestand aus vier Arten (STEINER 1911), von denen keine an spezifische Nährstoffverhältnisse gebunden ist.

Flora und Fauna

In den zur Verfügung stehenden Arbeiten wurden keine Wasserpflanzen beschrieben, was mit den harten Bedingungen an der Grenze der dauernden Vereisung zusammenhängen dürfte. Die Fauna dagegen war vielfältig. Im Grundschlamm kamen Wenigborster (mit den Regenwürmern verwandt) in grosser Zahl vor. Daneben konnten auch Zuckmückenlarven dreier verschiedener Arten und Köcherfliegenlarven gefunden werden (STEINER 1911). Neuere Daten dazu liegen nicht vor. Im Zusammenhang mit Forschungsprojekten zu Klimaveränderungen wurde auch das Hagelseewli in den letzten Jahren von Wissenschaftern der Universität Bern und der EAWAG untersucht (WENGER 1999).

Tiefenkarte Hagelseewli

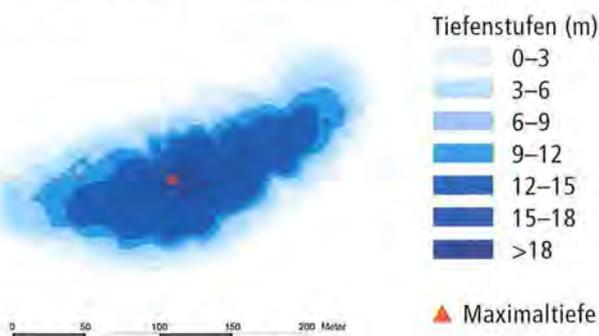
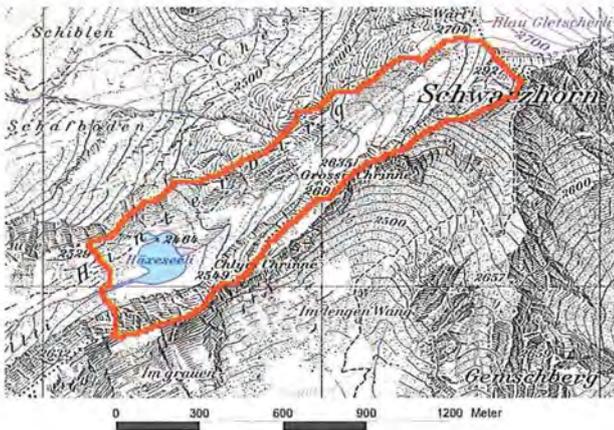


Foto: EAWAG



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1209
 647 397 / 170 098
 2464 m ü.M.
 2.43 ha

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Das Häxeseeli ist einer der am höchsten gelegenen Kleinseen des Kantons Bern. Es liegt 7 km südlich der Mündung der Aare in den Brienzersee und verdankt seine Entstehung einer Abdämmung durch Erosionstrümmen (STEINER 1911). Den Namen erhielt es seiner Form wegen, die an eine auf einem Besen sitzende Hexe erinnert. Sein einziger Zufluss entwässert die Nordwestflanke des Schwarzhorns und führt während der Schneeschmelze trübes Wasser, welches die Durchsichtigkeit des Wassers stark herabsetzt (STEINER 1911). Am Ende der Schneeschmelze wird das Wasser jedoch rasch klarer, wie im August 1997 ersichtlich war. Der Seeabfluss verläuft in südwestlicher Richtung und verschwindet nach einer Fließstrecke von 450 m im Boden. Das karstige Einzugsgebiet besteht zu 100% aus Kalkgestein (SPENGLER 1973).

Eine geschlossene Vegetationsbedeckung fehlt (STEINER 1911).

Temperatur / Mischverhalten

Anlässlich der geplanten Probenahme am 4. August 1997 bedeckte eine dicke Eisschicht den grössten Teil des Häxeseelis. Nur in warmen Sommern ist es während einem oder zwei Monaten ganz eisfrei. Die harschen Bedingungen in der alpinen Höhenstufe prägen im wesentlichen die Biologie des Kleinsees.

Plankton

Das Phytoplankton setzte sich um die Jahrhundertwende vorwiegend aus Kiesel-, Joch- und Blaualgen (STEINER 1911) zusammen. Auch dichte Polster der Jochalge *Spirogyra* sp. (STEINER 1911) widersprechen nicht der **Oligotrophie**, da die Art auch in nährstoffarmen Gewässern grosse Bestände bilden kann.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 50.34 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2919 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2579 m ü.M.

Flächenanteile

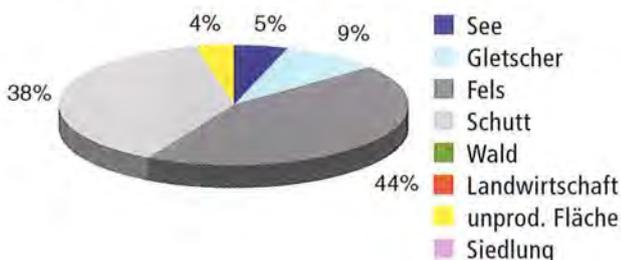
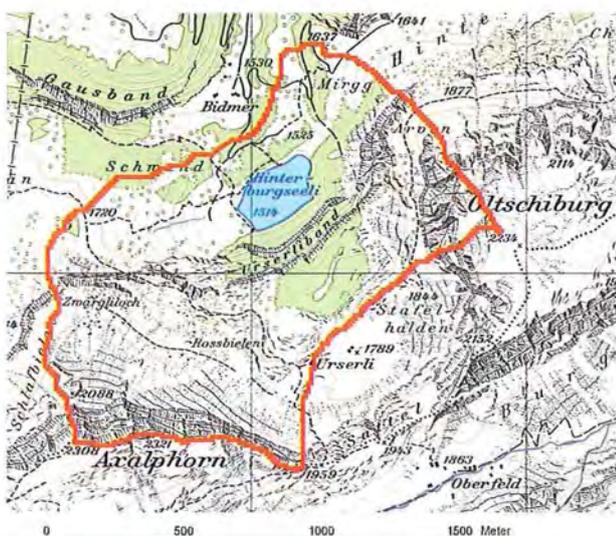


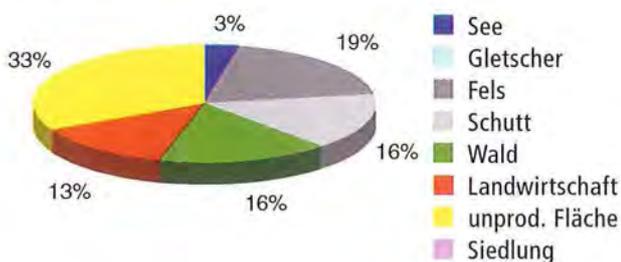
Foto: GBL / U. Ochsenbein



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 135.66 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 162.4 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2319 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1773 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1209
 648 078 / 174 203
 1514 m ü.M.
 4.5 ha
 11.4 m
 273 462 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Das Hinterburgseeli befindet sich südwestlich des Brienzerses im Faulhorngebiet. Der Untergrund ist zu 100% karbonatisch. Im Westen wird er durch eine Kreidezone, im Norden und Süden durch Malmkalk gebildet. Im Einzugsgebiet spielen Karsterscheinungen eine wichtige Rolle (SPENGLER 1973). Die treppenartig ansteigenden Talzirkusse lassen zudem auf Gletschererosion schliessen. Das Seeli selbst ist in einer elliptischen Doline gelegen (LUGEON & JEREMIN 1911, zit. in STEINER 1911). Ob das Seeli ursprünglich einen oberirdischen Abfluss besass (d.h. der Seespiegel bis an den Rand des Kessels reichte), ist nicht mehr erkennbar. Heute hat es am nördlichen Ende einen siphonartigen, nahe der Seeoberfläche gelegenen

unterirdischen Abfluss, welcher durch eine Ansammlung von Schwemmholz erkennbar wird (STEINER 1911). Im Bereich des Abflusses ist das Tosen eines unterirdischen Wasserfalls hörbar. Das Wasser tritt nach 5.5–7 km im Bereich des Wandelbaches und des Chruttbaches (Giessen) in der Umgebung von Meiringen wieder an die Oberfläche, wie Färbeversuche ergaben. Die ausserordentlich hohe Fließgeschwindigkeit im Felsinneren (10 m/s!) lässt auf einen sehr rasch fließenden Karstbach (Höhlenbach) schliessen. Im näher gelegenen Giessbach dagegen konnte kein Wasser aus dem Hinterburgseeli nachgewiesen werden. Alle Angaben zum Abfluss stammen aus SPENGLER (1973). Der einzige Zufluss (von Westen) wird im Frühjahr durch Schmelzwasser gespiesen und führt im Sommer in der Regel

kein Wasser. SPENGLER (1973) und STEINER (1911) vermuten aufgrund des grossen, regelmässigen Abflusses und des praktisch konstanten Seepegels (Schwankungen: 20–30 cm), dass ein wesentlicher Teil des Wassers unterirdisch zufließt. Der geringe oberirdische Zufluss ohne Gletscherwasseranteil ist für die grosse Durchsichtigkeit des Wassers verantwortlich, was in hohen Sichttiefen (8.5 m am 8.9.1970) zum Ausdruck kommt. Ein Wirbelsturm entwurzelte vor etwa 100 Jahren grossflächig Baumbestände, ein Teil davon gelangte in den See. Noch heute wird der Charakter dieses Kleinesees wesentlich durch dieses Totholz geprägt. Das hydrologische Einzugsgebiet ist aufgrund des Karstvorkommens wahrscheinlich bedeutend grösser als das topographische.

Produktivität / Trophiegrad

Trotz der relativ hohen Lage, der langen Vereisungsphase und der kurzen Vegetationszeit weist das Hinterburgseeli alle Merkmale eines produktiven Sees auf. Die durchschnittliche Gesamt-Phosphorkonzentration (45 µg/l am 28.5.1997) charakterisiert es bereits als eutroph. Auch die Chlorophyll-a-Konzentrationen weisen auf eine recht hohe

Primärproduktivität hin. Die hohe Algendichte bewirkt eine Grünfärbung des Wassers, welche schon um die Jahrhundertwende beschrieben wurde (STEINER 1911). Aufgrund der Algenproduktion kann die Sichttiefe zeitweise vermindert werden (3.9 m am 28.5.1997). Die Algenbiomasse wird im Tiefenwasser abgebaut, und es kommt zu einer Sauerstoffzehrung, welche in den Messungen vom 28.5.1997 deutlich zum Ausdruck kommt: In Tiefen von mehr als 6 m konnte kein Sauerstoff mehr gemessen werden. Auch das schwarze, anaerobe Sediment (siehe Abbildung) lässt erkennen, dass während einer überwiegenden Periode im Jahr anoxische Bedingungen herrschen. Ein Vergleich der oberflächennahen, jungen mit tiefergelegenen, alten Sedimentschichten lässt erkennen, dass die Sauerstoffzehrung früher weniger stark war als heute. Zum gleichen Ergebnis führt die Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Wasserpflanzenbestände.

Temperatur / Mischverhalten

LIVINGSTONE ET AL. (in press) haben im Juni 1997 maximale Oberflächentemperaturen bis knapp 21 °C gemessen. Die Tag-Nacht-

Schwankungen betragen während dieser Messperiode zwischen 1 °C und 6 °C. Im Sommer bildet sich eine Schichtung aus, welche aus allen Tiefenprofilen deutlich ersichtlich ist. Zwischen Mitte Oktober/Anfang November und Mitte Mai ist der See eisbedeckt. Die Temperatur in der Tiefe liegt Sommer wie Winter im Bereich zwischen 4 und 5 °C. Unter dem Eis herrscht eine inverse Schichtung. Die stetige Zunahme der Temperatur auf über 4 °C am Grund lässt ebenfalls unterirdische Quellsutritte vermuten.

Plankton

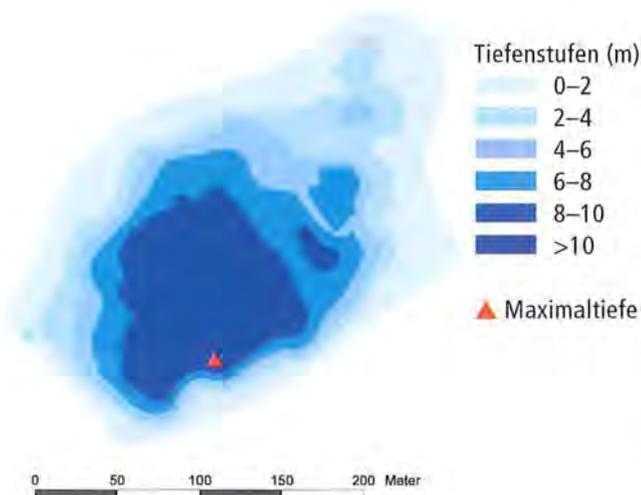
Das Phytoplankton des Hinterburgseelis ist relativ artenreich. Am 28.5.1997 konnten 65 Arten aus 9 Familien nachgewiesen werden. Die grossen Anteile an Bakterien deuten auf eine intensive Abbautätigkeit hin. Bei drei Arten handelt es sich um Zeiger für Schwefelwasserstoff, d.h. stark anaerobe Bedingungen. Das Massenvorkommen von Blaualgen, die starke Vertretung der Augenflagellaten und der Grünalge *Chlorella* sp. qualifizieren den See klar als eutroph und bestätigen damit die Beurteilung nach chemischen Parametern (Phosphor, Sauerstoff). Im Gegensatz dazu ist das Zooplankton mit 4 Arten eher artenarm, und die Beurteilung bezüglich Trophiegrad ist weniger eindeutig: Eine Art ist ein klarer Zeiger für eutrophe Gewässer, während eine andere eher oligo- bis mesotrophe Gewässer bevorzugt.

Flora

Die zeitliche Abfolge der untergetauchten Wasserpflanzen ist sehr interessant im Zusammenhang mit der Beurteilung des Trophiegrades: Im Jahr 1911 dominierten das Alpenlaichkraut und die Armeleuchteralge *Chara aspera*, Arten, die in oligo- bis mesotrophen Seen vorkommen, während der Nährstoffreicher haarblättriger Was-



Tiefenkarte Hinterburgseeli



serhahnenfuss damals nur auf eine Stelle begrenzt war. Heute dominiert dieser, die beiden anderen Arten konnten hingegen nicht mehr gefunden werden. Es ist daher davon auszugehen, dass der Nährstoffgehalt zwischen 1911 und heute deutlich zugenommen hat.

Fauna

Im Hinterburgseeli wurden 1997 im Rahmen dieser Arbeit drei Fischarten (Elritze, Flussbarsch, Bachforelle) beobachtet. Literaturrecherchen und Nachfragen beim Fischereiverein, dem die Bewirtschaftung obliegt, ergaben, dass weitere vier ortsfremde Arten (Regenbogenforelle,

kanadischer Seesaibling, Bachsaibling, atlantischer Lachs(!)) eingesetzt wurden oder z.T. heute noch besetzt werden. Nebst fischereilichen Angaben liegen wenige faunistische Befunde vor. In STEINER (1911) wird das Vorkommen zweier Amphibienarten (Bergmolch und Grasfrosch) überliefert. Spätere

Nachweise von Amphibien oder Reptilien fehlen. Am 28.7.1976 wurde das Gebiet gezielt auf Amphibien untersucht. Es wurden keine gefunden. Es wird vermutet, dass das Verschwinden dieser beiden Arten im Zusammenhang mit dem intensiven Fischbesatz steht (pers. Mitt. S. ZUMBACH, KARCH).



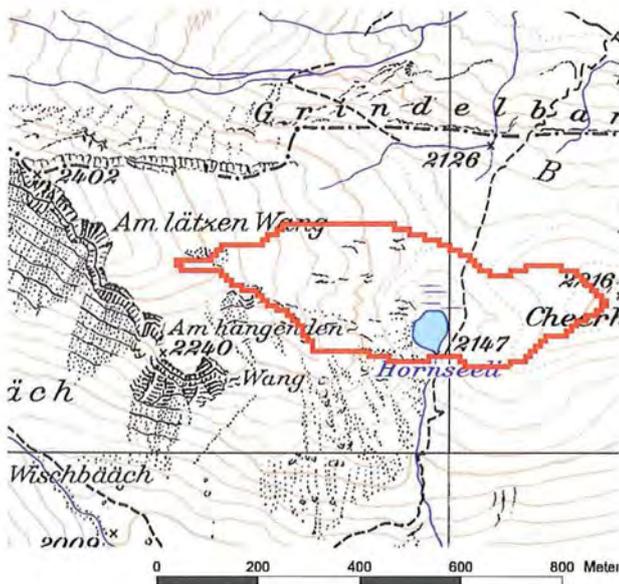
Foto: A. Lotter

Hornseeli 1

oligotroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1209
 650 950 / 170 250
 2147 m ü.M.
 0.43 ha

Geologie, Hydrologie und Geschichte

wässert in den Rychenbach, welcher bei Meiringen in die Aare mündet.

Das Hornseeli liegt östlich des Schwarzhorns, 8 km südwestlich von Meiringen. In der Arbeit von NEF (1992) wird seine Fläche mit 0.5 ha angegeben. Nach aktuellen Berechnungen beträgt die Seeoberfläche aber nur noch 0.43 ha und erfüllt somit das Aufnahmekriterium für diesen Bericht (mindestens 0.5 ha) nicht mehr. Da das Gewässer aus faunistischer Sicht interessant ist und die Berechnungen bezüglich Einzugsgebiet bereits vorhanden waren, wird es hier trotzdem aufgeführt. Das Einzugsgebiet besteht aus Kalkgestein und wird zu 64% landwirtschaftlich (Alpweiden) genutzt. Es hat einen oberirdischen Abfluss, der nach etwa 1 km in den Geissbach mündet. Dieser ent-

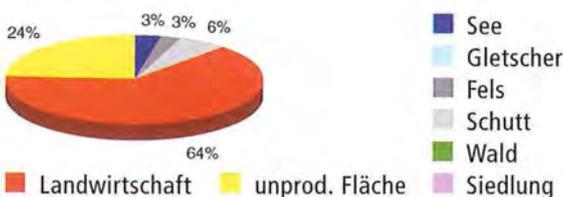
Fauna

Trotz seiner Lage in der alpinen Höhenstufe dient der Kleinsee dem Grasfrosch und dem Bergmolch als Laichhabitat. Zudem lebt im Hornseeli die höchstgelegene Erdkrötenpopulation des Kantons Bern (GROSSENBACHER 1977). Neben den Amphibienvorkommen konnten Bergeidechsen und zwei Libellenarten nachgewiesen werden (Daten CSCF). Der Bergsee wurde nach Aussagen eines Mitgliedes des Fischereivereins Grindelwald früher einmal mit kanadischen Seesaiblingen bewirtschaftet. Limnologische Untersuchungen wurden bisher im See keine durchgeführt.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 14.00 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2324 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2195 m ü.M.

Flächenanteile



Hornseeli 2

oligotroph



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1248
 629 630 / 154 050
 2305 m ü.M.
 0,49 ha

Geologie, Hydrologie und Geschichte

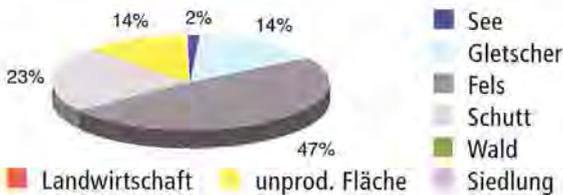
Das zweite Hornseeli im Kanton Bern liegt in der alpinen Höhenlage 6 km südwestlich von Müren. Der grösste Teil des Untergrundes im Einzugsgebiet besteht aus Kalkgestein. Der Kleinsee hat einen oberirdischen Abfluss, der in östlicher Richtung verläuft. Nach einer Fließstrecke von knapp 500 m mündet dieser in einen kleinen See ohne oberirdischen Abfluss. Es ist wahrscheinlich, dass das Wasser des Seelis knapp 200 m weiter südlich wieder zutage tritt und weiter flussabwärts in die Sefinen-Lütschine, einen Zufluss der weissen Lütschine, mündet. Angesichts des hohen Karbonatanteils (Karsteinfluss) nimmt das Wasser nicht immer den Weg, der auf Grund der Topografie der

naheliegendste wäre (vergleiche Sägistalsee, SPENGLER 1973). Die Hydrologie kann nur mit einem Färbeversuch endgültig geklärt werden. Wegen der Abgelegenheit und geringen Grösse des Sees sind bis heute keine Daten zu Hydrologie und Limnologie verfügbar.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 20.53 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2908 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2507 m ü.M.

Flächenanteile

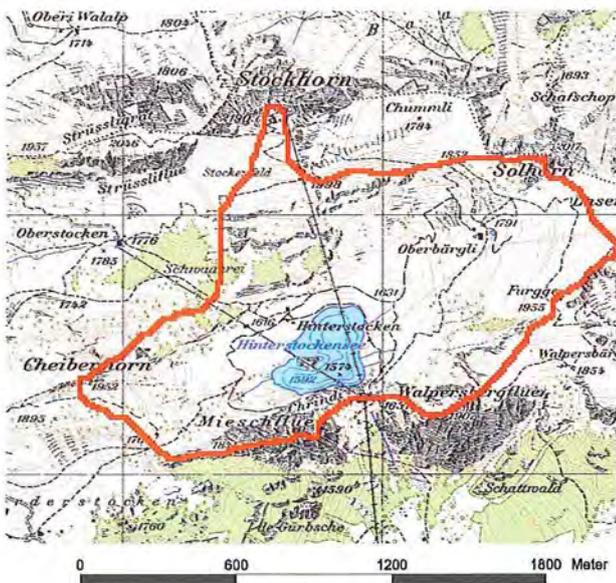


Hinterstockensee

eutroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1207
 607 834 / 170 383
 1592 m ü.M.
 8.22 ha
 18.0 m
 461 115 m³

Geologie, Hydrologie und Geschichte

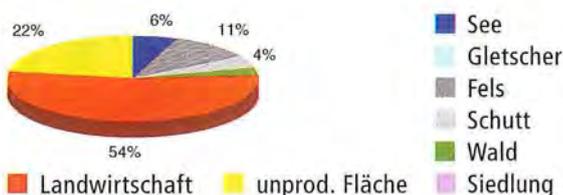
Der Hinterstockensee liegt am Nordhang des Simmentals südlich des Stockhorns, 10 km südwestlich von Thun in einem Gebiet, welches aus reinem Karbonatgestein besteht. Karsterscheinungen sind häufig. So entstand auch der am Südufer des Sees gelegene unterirdische Abfluss. COLLET (1917) konnte mit einem Färbversuch zeigen, dass das Wasser die Formation der Mieschfluh passierte, in der etwa 700 m entfernten Klusiquelle nach 13–16 Stunden wieder zutage trat und via Wildenbach in die Simme mündete. Auch diverse Brunnen von Erlenbach standen in hydrologischer Verbindung mit dem Hinterstockensee. Durch den Bau des Kraftwerks hat sich die Hydrologie des Gebietes grundlegend

verändert: Durch einen Freilaufstollen wird dem See das Wasser des Oberstockensees zugeleitet. Der künstliche Ausfluss des Hinterstockensees befindet sich in einer maximalen Seetiefe von 11 m. Das Wasser wird in einer Druckleitung der Zentrale Erlenbach zugeleitet und dort turbiniiert. Die maximalen Spiegelschwankungen betragen heute 5.5 m (Daten BKW Energie AG), und nur noch bei Hochwasser gelangt der Pegel in den Bereich des ursprünglich unterirdischen Abflusses.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 147.20 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2190 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 1764 m ü.M.

Flächenanteile



Produktivität / Trophiegrad

Der Hinterstockensee weist hohe Nährstoffkonzentrationen auf, insbesondere im Hypolimnion. Allerdings sind die Konzentrationen deutlich geringer als im

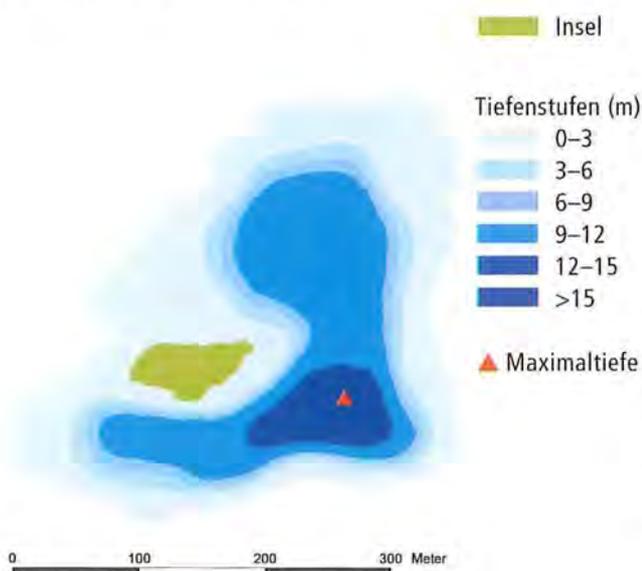
höher gelegenen Oberstockensee. Auf Grund der durchschnittlichen Gesamtposphorkonzentration kann er als **eutroph** beurteilt werden. Die Sichttiefe war während der Probenahmen im Sommer bedeutend höher und die Primärproduktion deutlich geringer als im Oberstockensee, wie dem tieferen pH und der geringeren Sauerstoffübersättigung im Epilimnion zu entnehmen ist. Auch der Gehalt an Chlorophyll a ist eher klein. Diese Daten sprechen dafür, dass der Hinterstockensee von beiden Seen der weniger belastete ist. Allerdings sind diese Momentaufnahmen mit Vorsicht zu interpretieren, da sie sehr stark von der jeweiligen Witterung und Algenbiomasse abhängig sind, welche wiederum eine sehr starke saisonale Dynamik aufweist. Die Eutrophie des Sees widerspiegelt sich auch in der Sauerstoffzehrung im Hypolimnion. 1997 war der Sauerstoff in mehr als 10 m Tiefe vollständig aufgezehrt, und der Nachweis von Sulfid in mehr als 12.5 m Tiefe deutet auf ein Sauerstoffdefizit hin. Rund 15% des Wasservolumens waren somit anaerob. 1994 wurden dagegen bis in die grösste Tiefe noch Sauerstoffkonzentrationen von etwa 1 mg/l gemessen, ein Hinweis, dass der See zeitweise zirkuliert. Während längerer Phasen ist das Wasser über dem

Grund jedoch anaerob, was aus dem teils schwarz gefärbten Sedimentkern zu schliessen ist (siehe Abbildung). Es kommen aber auch aerobe Phasen vor, wie die hellen Schichten zwischen 8 und 20 cm bzw. 30 und 35 cm zeigen. Der Wechsel aerober und anaerober Phasen hängt nebst der Nährstoffbelastung ganz wesentlich vom Zirkulationsverhalten des Sees ab.

Temperatur / Mischverhalten

Die Temperatur kann im Sommer bis auf 19 °C ansteigen. Das Epilimnion war im August 1997 mit 3 m nur sehr wenig mächtig, wenn man überhaupt von einem Epilimnion sprechen kann. Die Sprungschicht lag zwischen 3 und 9 m. Das Hypolimnion war durch anaerobe Verhältnisse und tiefe Temperaturen (4–6 °C) charakterisiert und klar gegenüber dem Oberflächenwasser abgrenzbar. Der See befand sich in Stagnation, und die Schichtung kann angesichts des Beitrages der chemischen Schichtung als sehr stabil bezeichnet werden (ZEH 1996). Über das Zirkulationsverhalten, insbesondere die Häufigkeit einer Vollzirkulation, können keine Aussagen gemacht werden. Probenahmen im Frühjahr, Herbst und Winter wären dazu notwendig.

Tiefenkarte Hinterstockensee



Plankton

Die trophischen Verhältnisse werden sehr gut durch die Zusammensetzung des Phytoplanktons wiedergegeben: Die in mehreren Arten vorkommenden Schwefelbakterien und Schwefelpurpurbakterien sind speziell an Schwefelwasserstoff und Sulfid sowie anaerobe Bedingungen angepasst und kommen in der Regel in eutrophen Seen vor. Auch die Augenflagellaten und hohe Anteile von Grünalgen sind charakteristisch für einen gewissen Nährstoffreichtum. Das Dominieren von Gold- und Kieselalgen spricht dagegen eher für ein wenig belastetes Gewässer. Die einmalige Aufnahme wird der grossen Dynamik des Gewässers nicht gerecht und muss daher mit Vorsicht interpretiert werden (ZEH 1996).

Das Zooplankton setzt sich vorwiegend aus Zeigern für eutrophe Gewässer zusammen. Insbesondere die Larve der Büschelmücke ist charakteristisch für eutrophe Gewässer mit Sauerstoffschwund in der Tiefe.

Flora

Der Hinterstockensee hat grosse Flachuferanteile, welche von dichten Wasserpflanzenbeständen besiedelt werden. In der groben Bestandaufnahme im Rahmen dieser Arbeit konnten 4 untergetauchte Arten festgestellt werden. Sowohl Nährstoffzeiger (haarblättriger Wasserhahnenfuss) als auch Magerkeitszeiger (Alpen-Laichkraut) kommen vor. Auch das gefährdete schimmernde Laichkraut war vorhanden. Den zum Teil sehr üppigen Laichkrautbeständen waren umfangreiche Armeleuchteralgenrasen vorgelagert. Auf Grund der Wasserpflanzen enthält der See sowohl eutrophe als auch mesotrophe Elemente.

Fauna

Die dichten Wasserpflanzenbestände bieten Lebensraum für eine Bodenfauna, welche viel



fältiger ist als im Oberstockensee. Die Larven von Libellen, Eintagsfliegen, Schlammfliegen, Köcherfliegen und Zuckmücken konnten in grosser Zahl und Artenvielfalt festgestellt werden (BAUMANN 1910). Von den drei Amphibienarten (Grasfrosch, Erdkröte, Bergmolch), welche 1910 vorkamen, existiert für die Erdkröte ein aktueller Nachweis (Daten CSCF). Während der Probenahme im Sommer 1997 konnten unzählige Grasfrösche beobachtet werden, welche die Metamorphose soeben abgeschlossen hatten. Die Fischfauna ist ganz wesentlich durch den intensiven Besatz mit Regenbo-

genforellen geprägt. Der Hinterstockensee ist, wie auch der Oberstockensee, ein beliebtes und sehr stark frequentiertes Angelgewässer.

Spezielle Problematik des Hinterstockensees

Durch seine steilen Uferböschungen und den hohen Landwirtschaftsanteil im Einzugsgebiet ist der Hinterstockensee einer starken Nährstoffbelastung ausgesetzt (siehe auch Oberstockensee). Verschärft wurde die Situation, indem bis 1994 die vorgereinigten Abwässer des

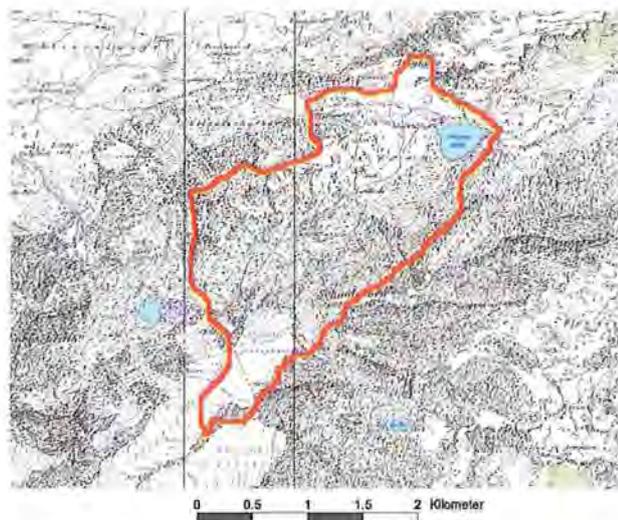
Bergrestaurants Chrindi in den See geleitet wurden. Dies führte nebst der Überdüngung des Sees zur Gefahr einer Verseuchung des Trinkwassers von Erlenbach mit Fäkalbakterien (SCHMIDT 1994). Dieses Problem besteht heute nicht mehr, nachdem der Anschluss des Restaurants an die ARA erfolgt ist.

Um die prekären Sauerstoffverhältnisse in der Tiefe zu sanieren, bedarf es jedoch einer weitergehenden Nährstoffreduktion. Dies ist nur durch Massnahmen im Einzugsgebiet, das heisst Umstellen von Gülle auf Mist zu lösen (BEUTLER & JUTZELER 1994). Die Schaffung ei-

nes Pufferstreifens mit einem Düngeverbot wäre eine weitere, wirksame Massnahme zur Reduktion des Nährstoffeintrages in den See.

Iffigsee

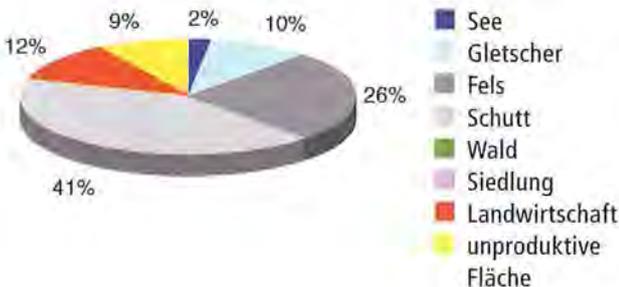
mesotroph



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 452.61 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 461 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2935 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2449 m ü.M. |

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Iffigsee liegt 8 km süd-südwestlich von Lenk nahe der Kantongrenze Bern/Wallis. Er hat einen kleinen Zufluss aus Nordwesten, welcher das Gebiet von Stiereniffigen entwässert. Den grössten Teil des Zuflusses (90–95%) erhält der Iffigsee jedoch durch unterirdische Quellen aus südwestlicher Richtung. Das topographische Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von mehr als 4 km². Etwa die Hälfte dieses Gebietes wird durch Klüfte im Karstgebiet unterirdisch entwässert, das heisst, das Wasser gelangt nicht in den Iffigsee.

Das hydrologische Einzugsgebiet entspricht also nur etwa der Hälfte des topographischen. Der geringe oberirdische Zufluss ist ein wichtiger Grund, dass der Iffigsee seine grosse Tiefe (28.5 m) bis in die heutige Zeit bewahren konnte. Seen mit stärkerem Zufluss werden in der Regel nach kurzer Zeit durch das mitgeführte Geschiebe aufgefüllt (WILDBERGER 1981). Der unterirdische Karstabfluss befindet sich am Nordostufer des Sees. Mehrere Ausflusstellen, auch Ponore oder Schwinden genannt, nehmen das Wasser auf. Der Zufluss des Iffigsees kann während der Schneeschmelze im Maximum etwa

Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe

1266
 597 436 / 137 218
 2065 m ü.M.
 10.2 ha
 28.5 m



400 bis 600 l/s betragen, während der unterirdische Abfluss im Extremfall höchstens 200 l/s bewältigen kann. Dies führt zu natürlichen Spiegelschwankungen, welche im Maximum bis zu 5.9 m ausmachen können. Der Seespiegel liegt während des grössten Teils des Jahres im Bereich der wichtigsten unterirdischen Ausflusstellen (WILDBERGER 1981).

Färbeversuche zeigten, dass das Wasser des Iffigsees nicht an der topographisch naheliegendsten Stelle wieder an die Oberfläche tritt, nämlich im Quellgebiet des Iffigbaches, sondern erst viel weiter unten, 3.3 km ost-nordöstlich des Iffigsees, bei der Iffiglägerquelle. Diese entwässert in den Rawilpassbach, welcher erst weiter flussabwärts in den Iffigbach mündet. Der Iffigbach vereinigt sich oberhalb Lenk mit der Simme. Weiter zeigten die Färbeversuche, dass das Iffigseewasser nur einen Teil der Karstquelle bildet. Der Rest stammt aus höhergelegenen Gebieten und vereinigt sich unterirdisch mit dem Iffigseewasser (BADOUX & NABHOLZ 1976).

Das Iffigtal ist heute noch weitgehend unberührt und unbeeinflusst von der Wasserkraftnutzung. 1932 wurden vom Bundesamt für Wasserwirtschaft zwei mögliche Projekte vorgeschlagen: das Werk Sanetsch (siehe Lauenensee) und das Stauseeprojekt Iffigen. Geplant war eine Talsperre von 520 m Länge und 80 m Höhe, hinter welcher sich ein Speichersee mit 27 Mio. m³ Nutzinhalt und Maximalhöhe 1610 staut. Der Iffigsee selbst wäre also vom Projekt nicht betroffen gewesen. Es war

vorgesehen, das Wasser in Druckleitungen talwärts zu führen und in der Zentrale Oberried bei Lenk zu turbinieren. Glücklicherweise erwies sich das Projekt beim näheren Studium als unwirtschaftlich und wurde aufgegeben. Wegen seiner Naturnähe und der ungebrochenen Schönheit, aber auch wegen seiner grossen ökologischen Bedeutung wurde das Gebiet 1967 ins Inventar der zu erhaltenden Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung aufgenommen (SCHMALZ 1968). 1969 wurde es mitsamt dem Iffigsee durch Regierungsratsbeschluss unter Naturschutz gestellt (ROMANG 1984).

Temperatur / Mischverhalten

Das Wasser kann sich an der Oberfläche bis auf 15 °C erwärmen. Auf Grund der grossen Tiefe des Iffigsees (28.5 m) ist davon auszugehen, dass sich im Sommer eine stabile Schichtung einstellt (WILDBERGER 1981). Ob der See im Herbst oder Frühjahr vollständig zirkuliert, ist bis heute nicht bekannt. Auf Grund seiner Tiefe existiert während des ganzen Jahres eine lichtfreie Tiefenzone. Der Iffigsee unterscheidet sich dadurch klar von einem Kleinsee.

Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund chemisch-physikalischer Messungen ist der See **mesotroph** (MÜLLER ET AL. 1998). Die grün-blau schillernde Farbe

des Iffigsees (WILDBERGER 1981) widerspricht dieser Beurteilung nicht.

Flora / Fauna

Über die Flora war der verfügbaren Literatur nichts zu entnehmen, und auch faunistische Angaben sind spärlich. Der Bergmolch benutzt den Iffigsee als Laichgewässer (Daten CSCF). Der See wird vom Fischereiverein Lenk bewirtschaftet. Die Fänge setzen sich aus zwei einheimischen Arten (Bachforelle, Seesaibling), der Regenbogenforelle und dem ebenfalls aus Nordamerika eingeführten kanadischen Seesaibling zusammen. Obwohl vor 15 Jahren letztmals mit kanadischen Seesaiblingen besetzt wurde, taucht diese Art heute immer noch in der Fangstatistik auf, was auf eine natürliche Fortpflanzung schliessen lässt. In Echolotaufnahmen wurden Signale von sehr grossen Fischen festgestellt (Pers. Mitt. R. BACH, Fischereiverein Lenk). Früher dominierten Regenbogenforellen in den Fängen. Heute hat sich das Verhältnis stark zugunsten der Bachforellen verschoben. Die Gesamt-Fangerträge waren in den letzten zehn Jahren gering (34–291 Fische).

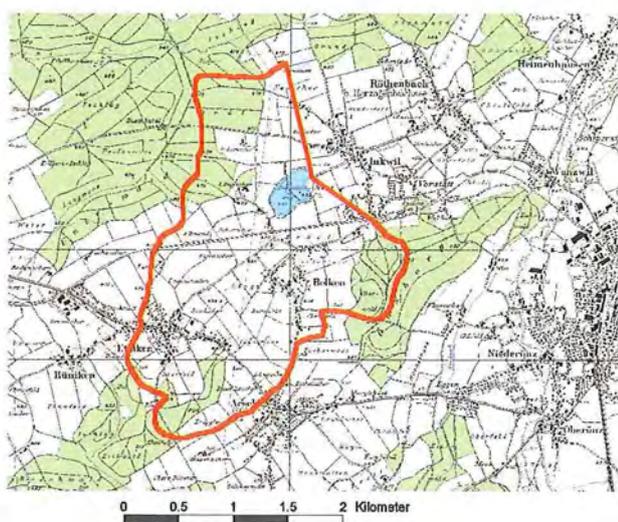


Foto: A. Lotter

Inkwilersee

hoch eutroph

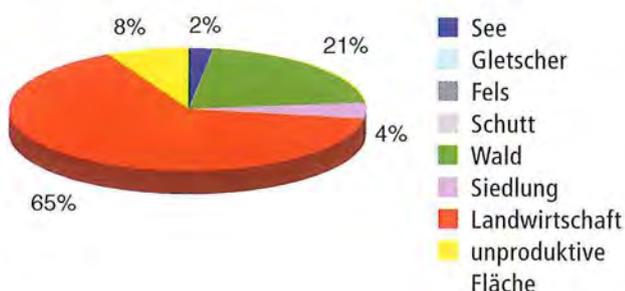
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 467.89 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 320–355 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 521 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 480 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1127
 617 086 / 227 525
 461 m ü.M.
 10.16 ha
 5.0 m
 210 277 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Inkwilersee liegt 9 km östlich von Solothurn auf der Kantonsgrenze Bern/Solothurn. Nach dem Rückzug des Rhonegletschers am Ende der Würmeiszeit vor etwa 15 000 Jahren bildete sich hinter der wasserstauenden Stirnmoräne, im Gebiet des heutigen Önztales, ein grosser See. Dieser wurde sehr rasch mit fluvioglazialen Schotter aufgefüllt, da während langer Zeit das Wasser des Aaregletschers und ein Teil des Rhonegletscherwassers durch das Trockental von Wynigen-Bollodingen floss, bevor der Weg entlang des heutigen Laufes der Emme durch den Gletscher freigegeben wurde (BAUMBERGER 1911). An manchen Orten blieben Toteismassen liegen. An diesen Stellen blieben Senken zu-

rück, da keine Auffüllung durch fluvioglaziales Material stattfand, bis das Eis geschmolzen war. Der Inkwiler- und der nahe gelegene Burgäschisee sind auf diese Weise als Toteisseen entstanden (MARRER 1998). Als der Einfluss des Gletscherwassers nachliess, begannen die Wasserflächen zu verlanden, und es bildeten sich Moore. Der See befindet sich heute in der letzten Phase seiner Entwicklung vom offenen Gewässer zum Flachmoor.

Untersuchungen über die Zusammensetzung der Seesedimente geben Aufschluss über die pflanzliche und tierische Besiedlung des Gebietes seit der Eiszeit (EICHER 1990): Die Abfolge der Vegetationsgesellschaften war ähnlich wie bei dem auf 1800 m ü.M. gelegenen Aegelsee, mit dem Unterschied, dass die Besiedlung im Mittelland

früher einsetzte. In der Zeit vor etwa 11 000 Jahren setzte in Europa eine massive Klimaabkühlung ein, der Golfstrom erreichte das Festland nicht mehr, und der Atlantik glich einem Eismeer. Nördlich der Alpen verlagerte sich in der Folge die Baumgrenze von 1500 m auf 400 m ü.M. Im Gegensatz zum Gebiet des Aegelsees blieb die Umgebung des Inkwilersees auch während dieser Kälteperiode bewaldet. Auch über die Geschichte der menschlichen Besiedlung lassen sich aus dem Seesediment viele Informationen entnehmen (EICHER 1990).

Trotz des Jahrtausende dauernden Einflusses des Menschen behielt das Umland des Sees seinen moorigen Charakter bis ins 19. Jahrhundert. Man muss sich das Gebiet als Mosaik von Hoch- und Flachmooren, Senken mit offenen Wasserflächen, Röhrichten und Uferwäldern vorstellen. Ein Gebiet mit einer Vielzahl von verschiedenen Lebensräumen für zum Teil hochspezialisierte Pflanzen- und Tierarten. Auf Grund der Fläche der Schwarzerde-Böden mit Seekreidespuren muss die Ausdehnung des Sees (insbesondere West-Ost) früher viel grösser gewesen sein. Der zunehmende Landbedarf des Menschen führte 1818/19 zum Bau des Ab-

flusskanals («Seebach») und einer damit verbundenen Absenkung um 2 m. 1891/92 wurde die Sohle des Kanals um einen weiteren Meter abgesenkt. Das heutige Seenniveau wurde als Folge der Seeabsenkung im Rahmen der Melioration von 1965 erreicht (WEGMÜLLER 1991). Die trockengelegten Areale wurden entsumpft, und ein äusserst dichtes Netz von Drainageleitungen durchzieht das gesamte Einzugsgebiet. Zu- und Abflüsse sind kanalisiert, mit Brettern ausgekleidet und werden periodisch entschlammt.

Spezielle Problematik des Inkwilersees

Als Folge der Seeabsenkung gelangte Luft in die ehemaligen Moorböden, die Mineralisierung setzte ein, Nährstoffe wurden mobilisiert (insbesondere Stickstoff) und flossen dem See zu. Dieser Effekt wurde verstärkt durch Düngung sowie Bearbeitung des neu gewonnenen Landes mit dem Pflug. Durch die Drainagen und oberflächliche Abschwemmung gelangten Nährstoffe, ohne Pufferung durch einen Streifen mit natürlicher Ufervegetation, in den See. Zusammen mit der Einleitung häuslicher Abwässer bewirkte

dies ein sprunghaftes Ansteigen der Produktivität (Eutrophierung). Der See war in den sechziger Jahren polytroph (MARRER 1998). Im Rahmen der Abwässersanierung zwischen 1965 und 1969 wurden die Abwässer der Gemeinden Bolken und Etziken vom See ferngehalten und auch der stark belastete Tägermoosbach an die ARA angeschlossen. Die Einzugsgebietsfläche verminderte sich auf diese Weise von 468 ha auf rund 320–355 ha (BINDERHEIM-BANKAY 1998). Die Nährstoffbelastung konnte mit dieser Massnahme stark reduziert werden, was aus der Zusammensetzung und Farbe des Sediments deutlich ersichtlich ist (siehe Abbildung). Trotzdem werden heute aus dem Einzugsgebiet immer noch zwischen 120 und 190 kg Phosphor pro Jahr in den See eingetragen (ARBEITSGRUPPE INKWILERSEE 1999). Die berechnete theoretische Hintergrundlast bei einem vollständig bewaldeten Einzugsgebiet beträgt 30 kg Phosphor pro Jahr. Damit wäre der flache Inkwilersee auch unter natürlichen Verhältnissen als hoch eutroph einzustufen.

Die mittlere Wasserführung des Seeausflusses wurde von MARRER (1998) auf 55 l/s geschätzt. Bei einem Volumen von 210 000 m³ wird das Wasser rund achtmal pro Jahr erneuert, die theoretische Wassererneuerungszeit ist folglich mit 44 Tagen sehr kurz. Dadurch wird die Produktivität des Sees zusätzlich angekurbelt, indem den Algen immer wieder neuer Nährstoff zugeführt wird. In den obersten Wasserschichten setzt in der warmen Jahreszeit eine gewaltige Algenentwicklung ein. In der Tiefe entsteht durch den Abbau dieser Biomasse eine Sauerstoffzehrung. Dies geht so weit, dass Sauerstoff nur noch in den obersten 1 bis 2 Metern vorhanden ist. Im sauerstofffreien Tiefenwasser beginnen Bakterien unter Veratmung chemischer Verbindungen wie Nitrat und Sulfat, die Biomasse weiter abzubauen. Reduzierte chemische Verbindungen wie Sulfid, Schwefelwasserstoff, Ammoni-

um/Ammoniak und Methan entstehen, welche bei Kontakt mit Sauerstoff diesen sofort aufzehren. Wird dieses Tiefenwasser mit dem Oberflächenwasser durchmischt, ist im gesamten Seewasser kein Sauerstoff mehr vorhanden. Reduzierte Substanzen verschlimmern die Situation noch, indem sie giftig sind und die sauerstofffreie Phase auf mehr als einen Tag ausdehnen können, wie MARRER (1998) feststellte. Bereits bei Sauerstoffgehalten von weniger als 4 mg/l stellen Fische die Nahrungsaufnahme ein. Konzentrationen von 0,5 mg/l können sie nur kurzfristig überstehen, indem sie auf Notatmung umstellen. Die Fische schwimmen an die Wasseroberfläche und atmen das Wasser an der Wasser-Luft-Grenzschicht. Dauert es jedoch längere Zeit, bis dieses Sauerstoffdefizit im See abgebaut ist, kommt es zu grossen Fischsterben. Diese traten im Inkwilersee in den neunziger Jahren bereits mehrmals auf.

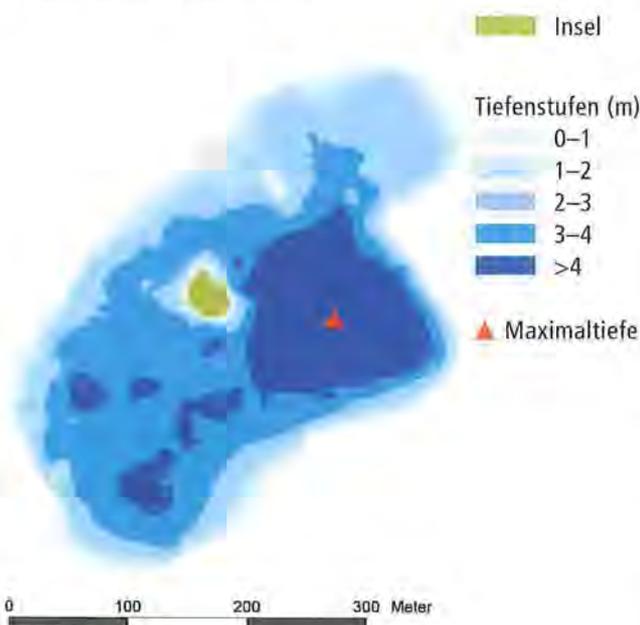
Temperatur / Mischverhalten

Der Inkwilersee ist durch seine fortgeschrittene Verlandung sehr flach geworden. Es stellt sich somit keine stabile Trennung von nährstoffhaltigem kaltem Tiefenwasser und warmem Oberflächenwasser ein. Im Sommer kann sich der gesamte Wasserkörper erwärmen und unter Windeinfluss durchmischen. Der Inkwilersee ist **polymiktisch** (ARBEITSGRUPPE INKWILERSEE 1999). Eine Stagnationsphase ist in der Regel nur von kurzer Dauer. Im Gegensatz zu einem Weiher kann beim Inkwilersee eine nächtliche Abkühlung in der Regel keine Durchmischung der Wasserschichten einleiten (BINDERHEIM-BANKAY 1998).

Produktivität / Trophiegrad

Im Inkwilersee wird die Primärproduktion selten durch Nähr-

Tiefenkarte Inkwilersee



stoffe limitiert (BINDERHEIM-BANKAY 1998), sondern durch die Eigenbeschattung des Phytoplanktons: Die produktive Wasserschicht wird durch eine «dike Algensuppe» auf weniger als 1 m Dicke begrenzt. Darunter ist das Sonnenlicht zu schwach für eine positive Photosynthesebilanz. Diese Verhältnisse kommen in sehr geringen Sichttiefen und den höchsten, je im Kanton Bern gemessenen Chlorophylla-Konzentrationen zum Ausdruck. In den seltenen Phasen mit Nährstofflimitierung waren am Inkwilensee Phosphor und Stickstoff gleichermaßen Minimumfaktoren (BINDERHEIM-BANKAY 1998). Wegen der auch im Sommer stattfindenden Vollzirkulationen gelangt in Kleinseen auch der Nährstoff aus dem Tiefenwasser an die Oberfläche und ist dort für die Algen verfügbar. Selbst Phosphor, der bereits im Sediment eingelagert ist, geht durch die anaeroben Verhältnisse am Grund in Lösung und kann durch anschliessende Vollzirkulation in die produktive Zone gelangen (BINDERHEIM-BANKAY 1998). Die Primärproduktion ist daher in seichten Kleinseen grösser als bei gleicher Nährstoffbelastung in tieferen Seen. Der Inkwilensee gilt heute als **hoch eutroph**.

Die Produktion von Algen und Wasserpflanzen zusammen wurde 1994 auf 457 g C/m² geschätzt (SUNDER 1995). Diese grosse Menge an Biomasse sinkt zum grossen Teil an den Grund und trägt zusammen mit Kalzitkristallen, welche durch biogene Entkalkung (siehe Lobsigensee) entstehen, zur Bildung des Sediments bei. Das Seesediment wächst jährlich in der Freiwasserzone um 2,2–2,5 cm, in der Uferzone sogar um 4,2–5,4 cm. Derartig hohe Sedimentationsraten wurden bis heute in keinem See des Schweizer Mittelandes festgestellt (BINDERHEIM & VOLKMANN 1998). Die Verlandung schreitet rasant voran: In etwa 100 Jahren wird der Inkwilensee verlandet sein, ein Vorgang, der bei natürlichem Nährstoffeintrag rund 360 Jahre dauern würde (BINDERHEIM-BANKAY 1998).

Plankton

Das Plankton des Inkwilensees ist ausführlich durch SUNDER (1995) untersucht worden. Das Phytoplankton (**Primärproduzenten**) ist, verglichen mit allen anderen im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Kleinseen, am artenreichsten. Es wurden insgesamt 232 Algenarten festgestellt. Die ausgeprägte Dynamik beim Phytoplankton zeigte sich in einer schnellen Abfolge verschiedener Arten. Zu keiner Zeit dominierten dieselben Formen. Auch die Dichte variierte saisonal sehr stark. Algenblüten und Klarwasserstadien wechselten mehrmals im Jahr.

Das algenfiltrierende Zooplankton (**Primärkonsumenten**) reagierte auf dieses üppige Nahrungsangebot durch starke Vermehrung. Dies führte dazu, dass die Algen die Frassverluste durch Vermehrung nicht mehr wettmachen konnten und ihr Bestand zusammenbrach; ein Klarwasserstadium war die Folge. Das Zooplankton ging aus Mangel an Nahrung, aber auch als Folge des zunehmenden Frasses durch Larven der Büschelmücke, ebenfalls zurück. In der Folge konnten sich die Algen wieder ungehindert vermehren, so dass sich im August 1994 die zweite Algenblüte entwickelte. Die Primärkonsumenten erreichten jedoch im weiteren Verlauf des Sommers nie mehr Dichten, die zur abermaligen Dezimierung der Algen ausgereicht hätten, der Frassdruck durch die Larve der Büschelmücke war dazu zu gross.

Die Larven der Büschelmücke machten praktisch während allen Probedaten im Jahr 1994 den grössten Teil der Zooplanktonbiomasse aus, was ihre Bedeutung im Ökosystem unterstreicht. Die Büschelmückenlarve ist im Inkwilensee praktisch der einzige planktische **Sekundärkonsument**, da sie an die sauerstofffreien Bedingungen am Grund bestens angepasst ist. Räuberische Zooplankter können dagegen wegen des zeitweise grossen Sauerstoffmangels nicht überleben.

Flora

Ursprünglich war die Flora des Inkwilensees sehr artenreich. Der See selbst war Lebensraum für Nährstoffzeiger mit einem pH-Optimum im neutralen Bereich. Im umliegenden moorigen Land kamen eher Pflanzen vor, die an ein saures, nährstoffarmes Milieu angepasst sind. Das Mosaik von Wasserflächen und erhöhten Trockenstandorten trug als weiterer Faktor zur pflanzlichen Diversität des Gebietes bei. Diese Vielfalt ist, zumindest teilweise, aus den Daten der floristischen Untersuchungen von 1910 (Hess 1919) ersichtlich. Schwimmblattpflanzen bildeten schon 1910 umfangreiche Bestände. Daneben kamen aber auch mehrere untergetauchte Wasserpflanzenarten vor. Bereits 1945/46 fehlten typische Landschaftselemente wie Schwinggras und Verlandungsgürtel im Einzugsgebiet des Inkwilensees (VON BÜREN 1951). Moorpflanzen wie Sonnentau und Wollgras waren zwischen 1910 und 1945 als Folge der Entsumpfung ausgestorben. Einige Magerkeitszeiger überlebten bis 1945 dank der damals noch extensiven Landwirtschaft.

Im Vergleich sind heute die meisten Säure- und Magerkeitszeiger verschwunden. Sie sind den Meliorationen und der intensiven Landwirtschaft zum Opfer gefallen. Die Vielfalt hat einen starken Einbruch erlitten, und die Flora setzt sich praktisch ausschliesslich aus Nährstoffzeigern zusammen. Die landwirtschaftliche Nutzung hatte aber auch indirekte Auswirkungen auf die Flora: Mit der Eutrophierung wurde der Seegrund zunehmend durch die grossen Algendichten beschattet, das Aufkommen untergetauchter Wasserpflanzen wurde dadurch erschwert. In aktuellen Untersuchungen wurden denn auch keine untergetauchten Wasserpflanzen mehr festgestellt (WEGMÜLLER 1991; MARRER 1998). Auch Zu- und Abfluss haben durch die Kanalisierung und periodische Entschlammung ihre Bedeutung als Habitat für submerse Makrophyten verloren.



Fauna

Die drastische Veränderung der Flora des Inkwilensees hat auch Auswirkungen auf die Fauna. Die Libellen sind sehr gut als Indikatororganismen für die Beeinträchtigung von Ökosystemen geeignet und wurden im Inkwilensee umfassend untersucht (WEGMÜLLER 1991). Die aktuellen Untersuchungen zeigen, dass die Meliorationen eine starke Beeinträchtigung bewirkt haben:

- Den massivsten Eingriff stellte die Trockenlegung des Seelumlandes dar. Dies bedeutete nicht nur eine wesentliche Verminderung des Lebensraumes, sondern den gänzlichen Verlust von Habitaten für säureliebende Arten.
- Pionierarten, welche auf verlandende Kleinbiotope angewiesen sind, verschwanden.
- Der Verlust der untergetauchten Wasserpflanzen muss eine weitere sehr einschneidende Veränderung gewesen sein, da diese nicht nur als Eiablagesubstrat, sondern auch als Larvenhabitat eine wichtige Rolle spielen.
- Strömungsliebende Arten verloren ihr Habitat durch die Kanalisierung und periodische Entschlammung der Zu- und Ausflüsse.
- Weiter geht WEGMÜLLER (1991) davon aus, dass der Verlust an Arealen mit Schilfbewuchs und das Einsetzen ortsfremder Fischarten eine Gefahr für die Libellenfauna darstellen.

Heute besteht die Libellenfauna des Inkwilensees zu 60% aus Arten, welche keine hohen Ansprüche an den Lebensraum stellen. Dies ist ein eindeutiges Zeichen für die strukturelle Verarmung des Gewässers. Dennoch leben im und am Inkwilensee auch heute noch 32 Libellenarten, darunter einige, welche in der gesamten Schweiz nur noch an wenigen Stellen vorkommen.

Dank der Fernhaltung von Abwasser hat sich der See so weit erholt, dass der Seegrund bis in die grösste Tiefe wieder durch

wirbellose Tiere besiedelt werden kann. Der Sedimentkern (siehe Abbildung) weist in den obersten Schichten eindeutige Zeichen von Bioturbation (Umschichtung durch Lebewesen) auf. Untersuchungen des Seegrundes ergaben, dass die Besiedlung sehr gross ist. Der grösste Anteil der Biomasse wird durch Zuckmückenlarven (*Tanitarsini*) gebildet. MARRER (1992) stellte Dichten von mehr als 8000 Individuen/m² bzw. Biomassen von mehr als 100 g/m² fest. Diese bilden zusammen mit den Larven der Büschelmücke die Lebensgrundlage für die Fischfauna, welche im Inkwilensee Biomassen erreicht, welche nur in hochproduktiven Fischteichen übertroffen werden (MARRER 1998). Die Fischfauna setzt sich aus neun, z.T. ortsfremden Arten zusammen: Der Sonnenbarsch (in Nordamerika heimisch) wurde wahrscheinlich durch Aquarianer in den See gebracht. Die beiden anderen Arten (Giebel und Karausche) dienten Angelfischern als Köder und gelangten vermutlich auf diesem Weg in den Inkwilensee. Zuchtformen wie der Spiegelkarpfen gehören ebenfalls nicht zur natürlichen Fischfauna des Inkwilensees.

Als Habitat und Laichgewässer für den Teich- und Grasfrosch hat der Inkwilensee eine gewisse Bedeutung. Den Aufzeichnungen des Centre de Cartographie de la Faune ist ausserdem zu entnehmen, dass die europäische Sumpfschildkröte, die heute in der ganzen Schweiz ausgestorben ist, um 1800 im Inkwilensee heimisch war.

Seesanie rung

Als nach der Abwassersanie rung der Trophiegrad nicht im gewünschten Ausmass zurückging, wurde nach weiteren Lösungen gesucht, zumal die interne Düngung die externe Nährstoffzufuhr um einen Faktor 3.5 übertraf. Durch Belüftung wollte man das Tiefenwasser oxidieren und dadurch die Phosphor-Rücklösung aus dem Se-

diment unterbinden (EAWAG 1970). Trotz der Belüftung kam es jedoch 1968 im See zum ersten Fischsterben. Da die Belüftung zur Schwächung der Schichtungsstabilität des Sees beigetragen haben kann und somit die Gefahr bestand, dass sauerstoffloses Tiefenwasser mit dem Oberflächenwasser vermischt wird, wurde der Versuch abgebrochen und von einer weiteren Seebelüftung abgesehen (EAWAG 1970). In den folgenden Jahren wurde Trinkwasser ins Tiefenwasser eingeleitet. Auch diese, sehr kostspielige, Massnahme erwies sich als Misserfolg und wurde eingestellt (MARRER 1998). Nachdem 1991 und 1992 weitere Fischsterben auftraten, wurde versucht, mit einer neuen Belüftungsanlage die Nährstoffrücklösung zeitlich etwas einzuzugen. Bei einem künftigen «Kippen» des Sees sollte für Fische ein Refugium mit ausreichend Sauerstoff geschaffen werden. Diese Anlage wurde am 9.7.1993 an der tiefsten Stelle in Betrieb genommen. Am 10.8.1993 «kippte» der See und trotz Dauerbetrieb der Anlage konnte ein Fischsterben nicht verhindert werden. Auch längere Zeit nach der Zirkulation konnte selbst in unmittelbarer Nähe des Aggregates kein Sauerstoff gemessen werden. Nach einer Erholungsphase «kippte» der See am 24.8.1994 abermals. Der Sauerstoffeintrag durch das Belüftungsaggregat reichte bei beiden Ereignissen bei weitem nicht aus, das Sauerstoffdefizit auch nur annähernd auszugleichen. Vielmehr vermutet MARRER (1998), dass das Aggregat zur Destabilisierung der Schichtung und somit zur Zirkulation beigetragen haben könnte. Das Gerät wurde in der Folge von der tiefsten Stelle entfernt und in den Einflussbereich des Etzikerkanals verlegt, wo die Gefahr einer Zwangszirkulation geringer ist. Seither kam es noch mindestens zweimal zu kritischen Sauerstoffkonzentrationen (1994 und 1996), aber glücklicherweise zu keinem Fischsterben mehr.

Soll der Inkwilensee als Landschaftselement, als Badeseesee und Erholungsraum für die Bevölkerung sowie in seiner ökologischen Funktion als Lebensraum für eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten erhalten bleiben, müssen die Sünden der Vergangenheit behoben werden. Vor allem die in den letzten Jahrzehnten massiv erhöhte Verlandung muss nicht nur gestoppt, sondern rückgängig gemacht werden. Aus einer Vielzahl von möglichen baulich-technischen Massnahmen kann nur die Kombination folgender zwei Massnahmen zur Erreichung dieses Ziels als wirksam eingestuft werden (ARBEITSGRUPPE INKWILENSEE 1998):

1. Ausbaggerung des Seesedimentes;
2. Reinigung der Zuflüsse mit einem Absetzteich und einem bepflanzten Bodenfilter und Ableitung der linksufrigen Drainagen mit einer Leitung.

Die Extensivierung der Landwirtschaft als nachhaltige, begleitende Massnahme soll die beiden obigen technischen Lösungen unterstützen.

Die Arbeitsgruppe Inkwilensee, welche sich aus Vertretern verschiedener kantonaler Fachstellen, Gemeinden, Naturschutzgruppen und privater Büros zusammensetzt, ist zurzeit (Sommer 1999) daran, ein mögliches Sanierungskonzept einer breiten Öffentlichkeit vorzustellen.

mer stabil ist. Auf Grund seiner Seefläche wäre eine vollständige Mischung bis in eine Tiefe von 12.6 m möglich (vergleiche Formel nach BERGER, S. 9 in ANONYMUS 1997), das heisst, der See liegt im Grenzbereich zwischen Holomixie und Meromixie. In solchen Fällen spielt die Lage des Sees (Windexposition, Bestockung der Ufer) sowie die Morphologie des Seebeckens eine zentrale Rolle, ob der See zirkuliert oder nicht. Der geringe Leitfähigkeitsgradient hingegen spricht eher gegen Meromixie. Das Sonnenlicht gelangt, wenn überhaupt, nur während sehr kurzer Zeit im Jahr bis auf den Grund. Das westliche Junzenseelein verhält sich somit wie ein tiefer See.

Produktivität / Trophiegrad

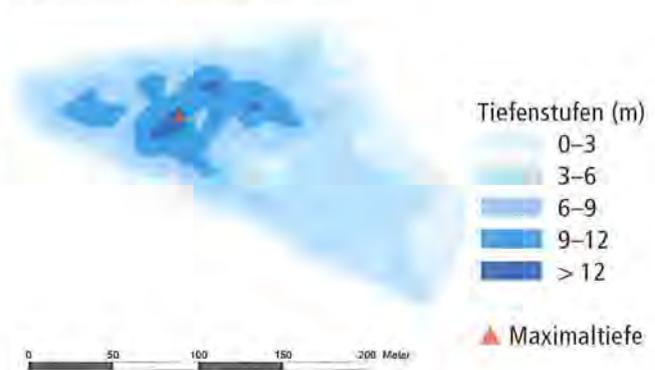
Entsprechend der mittleren Gesamtphosphorkonzentration ist der Baggersee als **mesotroph** einzustufen. Dieser Befund wird durch die Chlorophyll-a-Konzentration (3.7 µg/l), die Sichttiefe (3.6 m) und die Sauerstoffsättigung über Grund (40%) bestätigt. Allerdings ist die Sauerstoffsättigung in Anbetracht der Probenahme im Frühjahr sehr gering und wird sich im Verlauf

des Sommers noch weiter verschlechtern. Ob der See im Winter 1996/97 nicht vollständig zirkulierte oder der Sauerstoff seit der Zirkulation schon so weit aufgezehrt wurde, kann auf Grund der einmaligen Probenahme nicht beantwortet werden.

Plankton

Das Phytoplankton setzte sich im März 1997 aus 69 taxonomischen Einheiten zusammen. Wie oft im Frühjahr wird es zu grossen Anteilen durch Kiesel- und Goldalgenarten (je 15 Vertreter) gebildet. Auch Grünalgen (13) waren gut vertreten, was zusammen mit sieben Schlundflagellaten- und drei Augenflagellaten-Taxa für eine gewisse Nährstoffbelastung spricht. Unter den gefundenen Bakterien waren keine, welche unter anaeroben Bedingungen leben. Das Crustaceen-Zooplankton wurde durch sieben Arten gebildet. Zwei davon sind typisch für eutrophe Gewässer. Daneben kam eine Zeigerart für mesotrophe Bedingungen vor. Der **mesotrophe** Zustand wird durch die Zusammensetzung des Planktons im allgemeinen bestätigt.

Tiefenkarte Junzenseelein



Flora

Zur Zeit der Probenahme konnten lediglich drei verschiedene Pflanzenarten identifiziert werden. Angesichts der Jahreszeit der Probenahme war ein solches Ergebnis zu erwarten. Die untergetauchten Wasserpflanzen und Schwimmblattpflanzen sind zu dieser Zeit noch nicht sichtbar.

Fauna

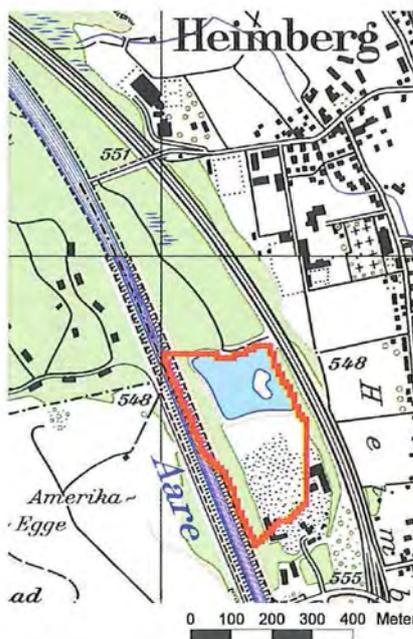
Der Baggersee beherbergt eine sehr reichhaltige Amphibienfauna. Gelbbauchunke und Geburtshelferkröte leben bevorzugt in frisch entstandenen, wenig bewachsenen Gewässern. Kies- und Lehmgruben stellen daher die wichtigsten Habitate

dieser beiden Arten dar (GROSSENBACHER 1977). Daneben kommen Erdkröte, Grasfrosch, Teichfrosch, Bergmolch und Fadenmolch vor. Sechs der sieben Arten gelten in der Schweiz als gefährdet. Das häufige Vorkommen von Amphibien und Fischen dient der Ringelnatter als Nahrungsbasis. Die Schilfbestände, die offenen kiesigen Gebiete und der Uferwald sind für diese Schlange ein geeignetes Habitat. Eine weitere Reptilienart ist die Zauneidechse, welche dank dem Übergang vom Feuchtgebiet (reiche Insektennahrung) zu Trockenstandorten (kiesige offene Flächen) geeigneten Lebensraum findet. Zurzeit sind Bestrebungen im Gange, die Junzenseelein unter Naturschutz zu stellen.

Kiesgrube Heimberg

meso-eutroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1207
 612 182 / 181 665
 547 m ü.M.
 2.77 ha
 8.1 m
 44 669 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

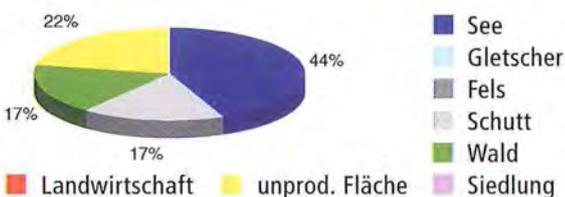
Die Kiesgrube Heimberg liegt im Schwemmland der Aare 4 km nordwestlich von Thun. Die Kander mündete ursprünglich nicht in den Thunersee, sondern in die Aare unterhalb von Thun und lagerte bis über Bern hinaus ihr Geschiebe ab. Seit 1947 werden die Kiesablagerungen im Raum Heimberg ausgebeutet. Die Baggergrube füllte sich rasch mit Grundwasser, so dass ein angepasstes Verfahren gewählt werden musste: In der Mitte des Sees wurde ein Betonturm errichtet. Von diesem Turm aus wurde ein Drahtseil in den See gespannt, an welchem eine Baggerschaukel auf den Seegrund abgesenkt werden konnte. Nachdem auch mit dieser Methode kein lohnenswerter Abbau mehr möglich war, reichte

die Firma ein weiteres Rodungsgesuch ein zur Erweiterung der Kiesgrube. Dieses Gesuch wurde, nachdem das Naturschutzinspektorat und die Wasserversorgung der Stadt Bern Einspruch erhoben hatten, vom Kanton abgelehnt mit der Auflage, die Grube aufzufüllen und das Gebiet aufzuforsten (STRASSER 1994). Mittlerweile setzte der Bewuchs mit Pionier- und Wasserpflanzen ein, und zum Teil seltene Tierarten begannen die Kiesgrube zu besiedeln. Diese Lebensgemeinschaft war durch die drohende Auffüllung und Aufforstung akut gefährdet. Andererseits drohte das Gewässer zu verschlammten, da jahrelang die Abwässer der Kieswaschanlage in den See eingeleitet wurden. Dagegen wehrten sich verschiedene Naturschutzorganisationen und die Grundeigentümerin, die Bürgergemeinde

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 10.05 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 547 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 547 m ü.M.

Flächenanteile



Heimberg, welche den Baggersee in seiner Eigenart als wichtiger ökologischer Bestandteil der Aarelandschaft erhalten wollten (RUBIN 1993). Die Erhaltung des Sees stiess auf breite Akzeptanz, auch seitens des Kieswerks. 1973 wurde das Gebiet unter Naturschutz gestellt. Der Turm wurde gesprengt und der südliche Teil der Kiesgrube aufgefüllt, so dass der Betrieb des Werks aufrechterhalten werden konnte. 1991/92 wurde mit der Gestaltung begonnen und die Insel geschaffen, welche bewusst nicht mit Humus bedeckt wurde, um eine Besiedlung durch Pioniervegetation zu ermöglichen. Der See hat ein sehr kleines Einzugsgebiet, und die Speisung erfolgt zu 100% durch Grundwasser. Oberirdische Zu- und Abflüsse fehlen.

Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund der mittleren Phosphorkonzentration ist die Kiesgrube Heimberg als mesotroph zu bezeichnen. Betrachtet man die Biologie des Sees, liegt der Trophiegrad aber eher höher, also im eutrophen Bereich.

Der hohe Chlorophyll-a-Gehalt, aber auch Sauerstoffsättigungen von bis zu 155%, weisen auf eine hohe Primärproduktion hin. Entsprechend stark ist die Sauerstoffzehrung in der Tiefe. Trotz der frühen Probenahme (13. März 1997) betrug die Sättigung über Grund lediglich noch 67%. Auf Grund chemischer und biologischer Grundlagen ist das Gewässer als **meso-bis eutroph** zu bezeichnen. Das Sediment ist grösstenteils hell gefärbt, was auf aerobe Verhältnisse über dem Grund hinweist. Allerdings deutet die dunkel gefärbte Schicht an der Sedimentoberfläche auf eine Zunahme der Belastung in jüngster Zeit hin.

Temperatur / Mischverhalten

Trotz der sehr frühen Probenahme im März 1997 konnte eine gewisse Schichtung beobachtet werden. Eine abschliessende Beurteilung des Schichtungsverhaltens ist jedoch auf Grund der einmaligen Probenahme nicht möglich, zumal das Mischverhalten in Baggerseen nicht ohne weiteres mit natürlichen

Seen vergleichbar ist (ANONYMUS 1997). Auf Grund der hohen Sauerstoffkonzentration in der grössten Tiefe kann aber von einer vollständigen Zirkulation ausgegangen werden. Nach der Formel von BERGER (ANONYMUS 1997) würde das Wasser auch in einer Tiefe von 12.9 m noch vollständig zirkulieren. Es ist also davon auszugehen, dass die Kiesgrube Heimberg holomiktisch ist.

Plankton

Das Phytoplankton war im März 1997 mit 70 taxonomischen Einheiten in einer einzigen Probenahme sehr artenreich und wird dominiert durch Gold- und Kieselalgenarten. Daneben waren die Grünalgen mit 10 Taxa und die Augenflagellaten mit drei Arten gut vertreten. Diese beiden Gruppen sprechen für eine gewisse Nährstoffbelastung. Das Bakterienplankton enthielt keine Vertreter, welche auf anaerobe Verhältnisse angewiesen sind. Es wurden aber Arten gefunden, welche zumindest Sauerstoffarmut tolerieren. Auch das Crustaceen-Zooplankton war mit 14 Arten äusserst artenreich und enthielt sowohl Zeiger für nährstoffbelastete wie nährstoffarme Gewässer, wobei Arten überwogen, welche eutrophe Gewässer bevorzugen. Die chemischen Befunde werden durch das Plankton sehr gut wiedergegeben.

Flora

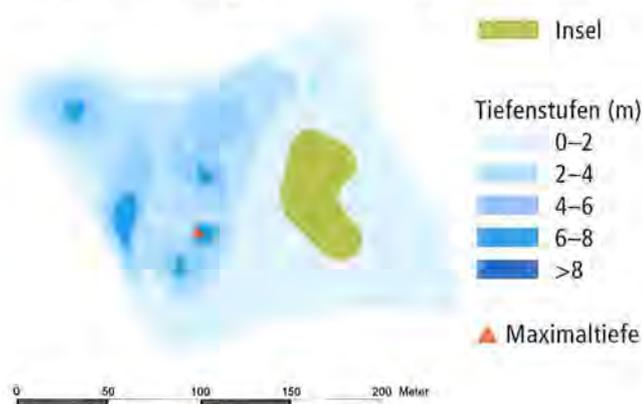
Die Wasserpflanzen sind durch Nährstoffzeiger (breitblättriger Rohrkolben, Rohrglanzgras, ähriges Tausendblatt) repräsentiert. Insbesondere die letztere Art kam schon im Frühjahr in

äusserst dichten Beständen vor. Andere Arten konnten in dieser frühen Jahreszeit keine festgestellt werden. Auch die Flora ist damit charakteristisch für eine mässige Belastung mit Nährstoffen. Auf der Kiesinsel und den umliegenden Ödlandflächen wächst eine Pioniervegetation, welche einer starken Dynamik unterworfen ist (STRASSER 1994).

Fauna

Das Gewässer wurde bereits kurz nach Aufgabe der Kiesausbeutung zu einem wichtigen Lebensraum für Vögel. Auf Grund einer einmaligen Zählung konnten auf dem See 140 Vögel (10 Arten) gezählt werden (RUBIN 1993). Insbesondere erwiesen sich die von Pioniervegetation bedeckte Kiesinsel und das Seeufer als ideales Habitat für Flussuferläufer und Bekassine. Drei verschiedene Amphibienarten (Grasfrosch, Teichfrosch und Gelbbauchunke) konnten nachgewiesen werden. Für vier weitere Arten (Teichmolch, Kammolch, Kreuzkröte, Laubfrosch) existieren günstige Habitate, und es besteht Hoffnung, dass sich diese Arten auch noch ansiedeln (RUBIN 1993). Mit Schlingnatter, Ringelnatter und Zauneidechse konnten drei Reptilienarten beobachtet werden, die im fliessenden Übergang von Feucht- und Trockenstandorten idealen Lebensraum finden. Ausserdem spricht das Vorkommen von 23 Libellenarten (5 davon gefährdet) für den hohen ökologischen Wert des Gewässers. Drei Fischarten (Bachforelle, nicht weiter bestimmte Karpfenfische, Hecht) konnten beobachtet werden (alle eingesetzt).

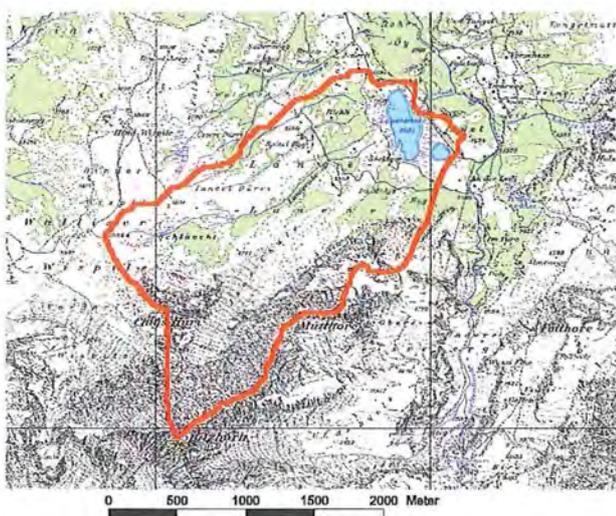
Tiefenkarte Kiesgrube Heimberg



Lauenensee

oligo-mesotroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

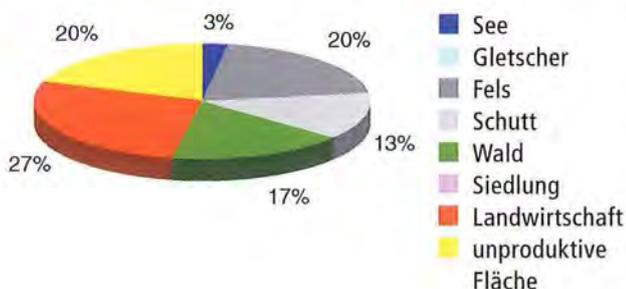
1266
 591 755 / 138 412
 1381 m ü.M.
 8.78 ha
 3.5 m
 90 246 m³



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 334.94 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 313 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2804 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 1781 m ü.M.

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der grosse Lauenensee liegt etwa 9 km südlich von Gstaad, im Lauenental. Es ist davon auszugehen, dass das breite Trogtal durch Gletscher geformt worden ist. HAURI (1981) nimmt an, dass der See ursprünglich vom Geltenbach durchflossen wurde; nur so kann man die mächtigen Auflandungen erklären. Mit zunehmender Auffüllung liess der direkte Einfluss des Baches nach, bis der See ganz von ihm getrennt war. Heute wird er von fünf kleineren Zuflüssen gespeist, von denen nur einer direkt mündet. Die übrigen ergiessen sich in das Moorgebiet, welches den See lückenlos umgibt. Mit dem kleinen Lauenensee ist er durch einen Kanal verbunden. Nebst den oberflächlichen Zuflüssen gibt es

im See zahlreiche Quellaufstösse (BOURCART 1906). Während BOURCART bedeutende Spiegelschwankungen beobachtete, beschreibt HAURI (1981) nur geringe Niveauschwankungen. Dieser Unterschied kann mit den zur Verfügung stehenden Informationen nicht erklärt werden. Der See ist heute stark dem Verlandungsprozess unterworfen. Grosse Teile des Sees sind weniger als 1 m tief, und die Maximaltiefe, welche 1902 noch 4.0 m betragen hatte (BOURCART 1906), ist heute auf 3.5 m zurückgegangen. Auch Lawinniedergänge tragen zur Verlandung des Sees bei. Im Winter 1978/79 riss eine Grosslawine eine ganze Waldflanke zu Tal und lagerte das Material auf dem Seereal ab. Im folgenden Frühjahr war der See von einem gut 200 m breiten Band von Baumstämmen bedeckt, welche anschliessend

entfernt wurden. Baumstämme lagen schon vor diesem Ereignis im See und zeugen davon, dass er schon in früheren Zeiten von Lawinnenniedergängen heimgesucht worden ist (HAURI 1979). Das noch heute vorhandene Holz ist nicht nur eine Bereicherung der wilden und urtümlichen Naturlandschaft, sondern hat auch eine wichtige Funktion als Laichsubstrat und Unterstand für Wassertiere. Bis über die Mitte dieses Jahrhunderts war das Gebiet sehr abgeschieden und nur über einen Saumpfad erreichbar. Deshalb war der touristische Einfluss verhältnismässig gering, und die landwirtschaftliche Nutzung war sanft und extensiv. Schon 1917 bestanden Pläne, den Geltenbach hydroelektrisch zu nutzen. Das Projekt wurde in einer Volksabstimmung in der Stadt Bern abgelehnt. 1949 wurde ein neues Konzessionsgesuch eingereicht: Es war geplant, das Wasser des Geltenbaches zu fassen und in einen grossen Stausee im Sanetschgebiet abzuleiten. Durch diesen Eingriff hätte sich die Hydrologie des gesamten Lauenentals verändert. Die Schönheit des Tales, insbesondere der imposante Wasserfall (Geltenschuss), wäre verloren gegangen. Das

Projekt stiess daher bei Einheimischen auf grundsätzliche Ablehnung, und die Bevölkerung von Lauenen wollte gerne auf die Wasserzinsen verzichten, um die einzigartige Naturlandschaft zu erhalten. Der engagierte Kampf der Gemeinde gegen das Grossprojekt wird von ROMANG (1974) beschrieben. Der Einsatz der Bevölkerung lohnte sich, und das Kraftwerkprojekt musste ohne den Einbezug des Geltenwassers realisiert werden. Das Geltenal ist heute inklusive Lauenenseen unter Naturschutz (ROMANG 1984). Neben anderen Kleinseen stellt auch der Lauenensee ein idyllisch gelegenes Psychotop für den Erholung suchenden Menschen dar. Wie sangen schon SPAN (1992): «I gloube, i gange no meh, a Louenesee.»

Produktivität / Trophiegrad

Das Wasser des Lauenensees ist schwach mit Nährstoffen belastet. 1967 und 1985 lag die mittlere Gesamtposphorkonzentration im Bereich zwischen 10 und 14 $\mu\text{g/l}$, was auf einen mesotrophen Charakter schliessen lässt. Die hohe Sauerstoff-

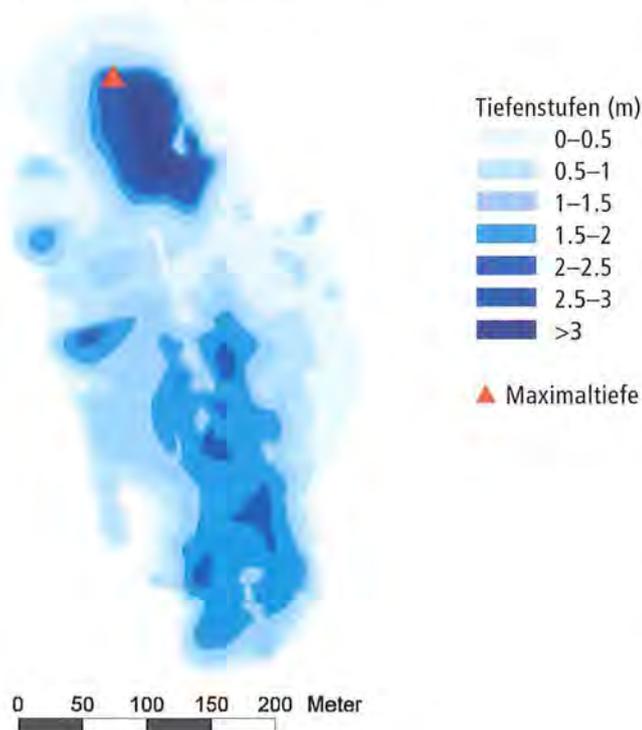
sättigung von 225% im Oktober 1967 ist auf eine starke Primärproduktion zurückzuführen und stützt die Beurteilung als mesotroph. Durchwegs geringe Orthophosphatkonzentrationen sprechen für eine Limitierung durch diesen Nährstoff. 1994 lag die Gesamtposphorkonzentration mit 5 $\mu\text{g/l}$ deutlich tiefer, also im oligotrophen Bereich. Da nur ein Oberflächenwert existiert, kann nicht abschliessend beurteilt werden, ob die Nährstoffbelastung effektiv abgenommen hat.

Im Frühjahr (Daten 1968 und 1985) herrschten zeitweise im Tiefenwasser geringe Sauerstoffkonzentrationen bis hinunter auf 2 mg/l. Auch Sulfid konnte im März 1968 in der gesamten Wassersäule nachgewiesen werden. Gleichzeitig sind die Sulfatgehalte (277 mg $\text{SO}_4\text{-S/l}$) sehr hoch. Es spricht vieles dafür, dass die niedrigen Sauerstoffkonzentrationen nicht primär durch Abbauprozesse im See, sondern durch anaerobe, stark schwefelhaltige Quellaustritte zustande kommen. Der Lauenensee ist bekannt für seine schwefelhaltigen Zuflüsse, welche im Zusammenhang mit Gipsformationen im Einzugsgebiet stehen (BOURCART 1906, HAURI 1981, ZEH 1996). Das Sediment ist mehr oder weniger grau gefärbt (siehe Abbildung). Die grobe, von Auge erkennbare Körnung kommt durch nicht vollständig abgebaute Pflanzenteile zustande und ist typisch für Mooreseen. In 12–18 cm Tiefe liegt ein heller, lehmiger Horizont, welcher wahrscheinlich im Zusammenhang mit Einschwemmung allochthonen Materials während eines Gewitters steht. Anaerobe, schwarz gefärbte Horizonte fehlen, was für den nährstoffarmen Charakter des Sees spricht.

Temperatur / Mischverhalten

Der Lauenensee hat auf Grund seiner geringen Tiefe eher den Charakter eines Weihers. Ihm fehlt eine ganzjährig unprodu-

Tiefenkarte Lauenensee



tive Zone, da Licht zeitweise bis auf den Grund gelangt. Auch das Mischverhalten ist typisch für einen Weiher, indem sich kaum je eine stabile Schichtung ausgebildet (NEF 1992). Im Frühjahr 1985 konnte eine inverse Schichtung beobachtet werden. Ansonsten war das Wasser immer mehr oder weniger gemischt. Er kann als **polymiktisch** bezeichnet werden.

Plankton

Mit 89 taxonomischen Einheiten war das Phytoplankton des Lauenensees im Juni 1994 sehr vielfältig und artenreich (ZEH 1996). Die Dichte war gering und von Kiesel- und Goldalgen dominiert. Die Grün- und Blaualgen waren ebenfalls durch relativ viele Taxa vertreten, was zusam-

men mit einer Augenflagellaten-Art auf eine mittlere Nährstoffbelastung hinweist. Auf Grund der Zusammensetzung des Phytoplanktons kann der See als mesotroph bezeichnet werden (ZEH 1996).

Flora

Dank der geringfügigen Beeinflussung des Gebietes durch den Menschen ist die sehr intakte Moorvegetation um den See erhalten geblieben. Seggenbestände und Schilfröhrichte umgeben den See praktisch vollständig, und ihre Breite ist zum Teil beträchtlich. Die untergetauchten Wasserpflanzen sind mit 4 Arten vertreten. Es kommen sowohl Magerkeits- als auch Nährstoffzeiger vor. Der Seegrund ist von ausgedehnten Armelech-

teralgenrasen bedeckt. Ein weisser Belag auf den Pflanzen zeugt von biogener Entkalkung (NEF 1992), siehe Lobsigensee.

Fauna

Mit seinen ausgedehnten Verlandungsgebieten, Schilfbeständen, Wiesen von Laichkräutern, ährigem Tausendblatt und Armelech-teralgen sowie natürlichen Zuflüssen und Abfluss bietet der Lauenensee ideale Bedingungen für Libellen. 18 Arten konnten nachgewiesen werden, was einzigartig für so hoch gelegene Seen im Kanton Bern ist. Auch als Laichgewässer für Erdkröte und Bergmolch ist er von Bedeutung. Die Fischfauna, welche sich aus Flussbarsch, Hecht und Karpfen zusammensetzt, ist primär durch Besatzmassnahmen geprägt.

Der Lauenensee mit seiner intakten Ufervegetation dient drei Wasservogelarten (Stockente, Blässhuhn (HAURI 1981) und Reiherente (NEF 1992)) als höchstgelegener Brutplatz. Auch als Aufenthaltsort für Zugvögel ist er von grosser Bedeutung (HAURI 1981).

Beurteilung des Trophiegrades

Unter Berücksichtigung der chemischen und biologischen Faktoren kann der Lauenensee als **oligotroph** bis **mesotroph** bezeichnet werden. Der Pufferwirkung der natürlichen Verlandungsvegetation ist es hauptsächlich zuzuschreiben, dass der See seinen nährstoffarmen Charakter in die heutige Zeit hinübergerettet hat.



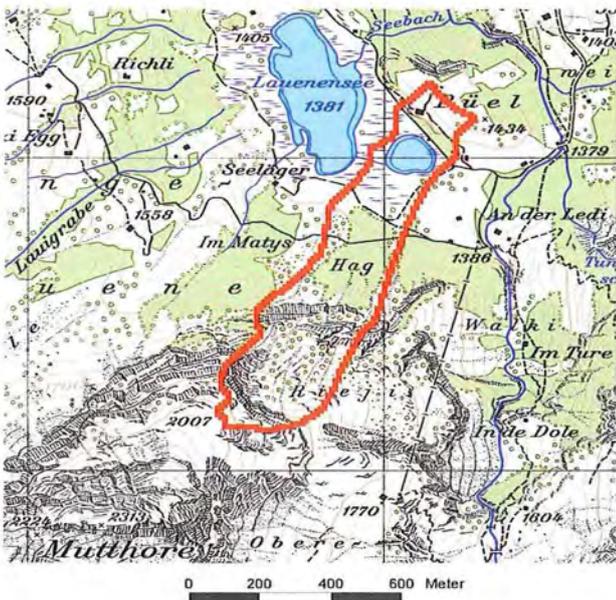
Foto: AGR / Meteotest

kleiner Lauenensee

oligo-mesotroph



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1266 |
| Koordinaten | 592 061 / 138 020 |
| Maximaltiefe | 1381 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 1381 m ü.M. |
| Seefläche | 1.27 ha |
| Maximaltiefe | 1.7 m |
| Seevolumen | 8880 m ³ |



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Im Verlaufe der Verlandung wurde der kleine vom grossen Lauenensee getrennt, und die Tiefe des kleinen Lauenensees nahm sukzessive ab. Trotz der Ausbaggerung von 1990 (HAURI 1991) ist die Maximaltiefe sehr gering (1.7 m). Der kleine Lauenensee hat keine oberirdischen Zuflüsse.

Temperatur / Mischverhalten

Eine lichtfreie Tiefenzone existiert nicht, und kleinste Abkühlungen (Tag-Nacht-Rhythmus) können das Wasser im Sommer zum Zirkulieren bringen.

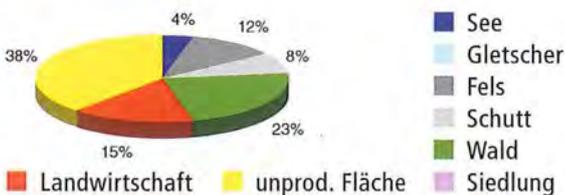
Flora

Die Flora ist für die subalpine Höhenlage sehr artenreich und umfasst alle Verlandungsstadien: Am Seegrund wachsen ausgedehnte Armleuchteralgenrasen (3 Arten), durchsetzt von drei Laichkrautarten. Fiebertkleebestände wachsen an Stellen, wo das Moor direkt an den See grenzt. Andere Uferpartien sind von Schilfröhrichten gesäumt. Magerkeitszeiger sind in der Mehrzahl vorhanden.

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 26.93 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 313 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2006 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1570 m ü.M. |

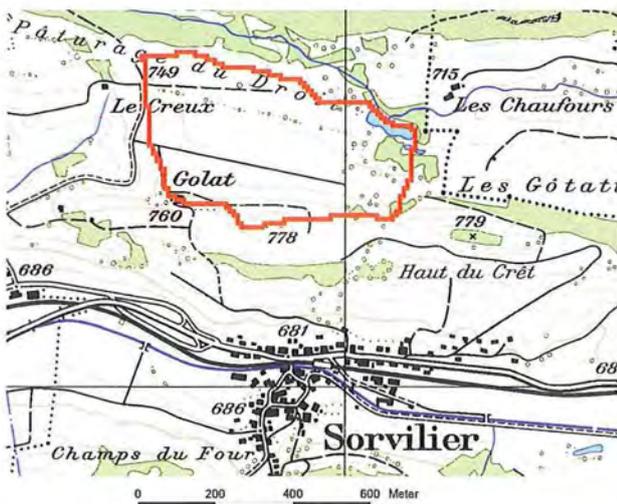
Flächenanteile



Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund der Gesamtphosphorkonzentration im Oberflächenwasser (7–13 µg/l) gilt er als oligo- bis mesotroph. Vom grossen See unterscheidet er sich durch eine doppelt so hohe DOC-Konzentration und geringeren Sulfatgehalt, was auf ein unterschiedliches Einzugsgebiet schliessen lässt (ZEH 1996).

Photo: GBL / M. Zeh



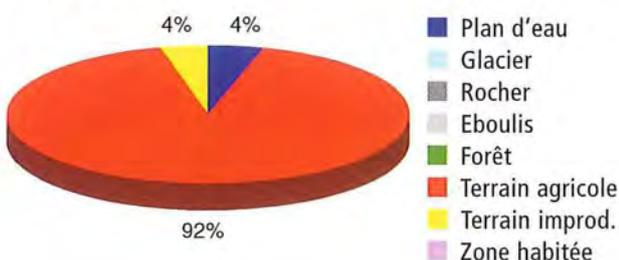
| | |
|------------------------------|---------------------|
| Carte nationale 1 : 25 000 | 1106 |
| Coordonnées | |
| de la profondeur maximale | 590 069 / 232 690 |
| Cote du niveau du plan d'eau | 719 m |
| Superficie du plan d'eau | 0.32 ha |
| Profondeur maximale | 1.7 m |
| Volume du plan d'eau | 1799 m ³ |



Bassin versant (bv)

| | |
|----------------------------------|----------|
| Superficie du bv topographique: | 22.41 ha |
| Altitude maximale du bv topogr.: | 777 m |
| Altitude moyenne du bv topogr.: | 739 m |

Répartition des surfaces



Géologie, hydrologie et histoire

L'étang des Chauffours se situe dans la Vallée de Tavannes, 650 m au nord de Sorvilier et 6.5 km au sud-ouest de Moutier. Sa création est récente, puisque c'est en 1973 que cette zone humide en grande partie asséchée a été mise à disposition par la Bourgeoisie de Sorvilier au club ornithologique «Alouette» pour un montant symbolique de 1000 francs. Avec l'aide de l'armée, deux bassins ont été creusés, puis remplis d'eau provenant du ruisseau de Court qui passe juste à côté. Un dispositif permet de vider l'étang (LSPN 1990). 91% de la superficie du bassin versant est soumise à une utilisation agricole (pâturages, céréales).

Productivité / état trophique

La forte emprise agricole sur le bassin versant se traduit par un état **hyper-eutrophe** des eaux de l'étang des Chauffours. De 81.5 µg/l, la concentration en chlorophylle a est la quatrième plus élevée à avoir été enregistrée dans le cadre de ce programme de recherche. De telles valeurs ne sont possibles qu'en présence de quantités extrêmes de plancton. Par ailleurs, l'eau était très trouble en raison de nombreuses algues, ce qui se répercutait sur la faible transparence selon Secchi (70 cm). Cet auto-ombrage limitait la zone trophogène à la couche superficielle de l'eau. Les teneurs en nutriments (phosphore total, azote total) et le carbone organique dissous

(DOC) mettent en évidence le caractère hyper-eutrophe du plan d'eau.

Température / mélange des eaux

En dépit de sa profondeur maximale de 1.7 m seulement qui permet une circulation complète et donc une bonne oxygénation du corps aquatique par légère brise déjà, on a constaté une consommation considérable d'oxygène au fond le 28 août 1997. Il est probable que des périodes d'anaérobiose et des phases de circulation alternent plusieurs fois par année selon les vents.

Plancton

La présence massive de sulfobactéries et autres bactéries anaérobies porte à croire que certaines couches d'eau sont complètement dépourvues d'oxygène. L'état trophique élevé se traduit par une très grande richesse d'espèces. Un échantillon de phytoplancton renfermait à lui seul 97 taxons issus de 10 fa-

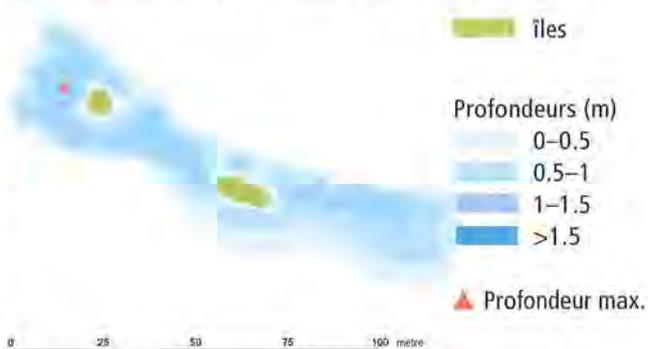
milles. La présence massive ou fréquente de 20 d'entre elles indique clairement qu'il n'y en a pas de dominantes. Toutefois, le nombre d'espèces et la fréquence relative subissent de fortes fluctuations annuelles, ce qui est caractéristique des petits plans d'eau eutrophes et nettement mis en évidence par les importantes quantités d'algues vertes et de flagellés, qui forment ensemble plus de la moitié des espèces vivant dans l'étang des Chauffours.

Si la diversité du zooplancton est illustrée par les 8 taxons présents, la composition de ces derniers reflète moins l'état trophique que celle du phytoplancton, dont trois espèces indiquent des conditions eutrophes, une des conditions mésotrophes et deux des conditions oligotrophes.

Flore

Le fort ombrage dû aux algues empêche le peuplement de plantes aquatiques immergées, une des caractéristiques de tous les plans d'eau hyper-eutrophes du Plateau. Parmi les plantes capables de croître au-dessus de la

Carte bathymétrique Les Chauffours



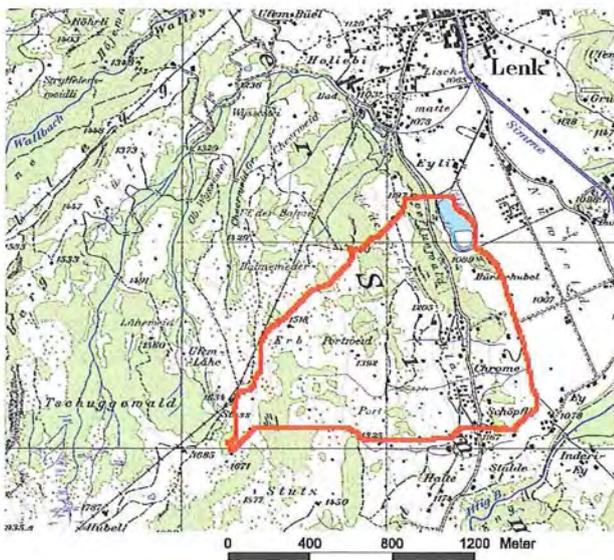
surface de l'eau, on a constaté quatre espèces, dont deux indicatrices de nutriments et une indicatrice de conditions contraires.

Faune

La faune se compose d'une part d'espèces typiques de tels petits plans d'eau (écrevisse à pattes rouges, tanche) et d'autre part d'espèces allogènes (carpe, écrevisse américaine, écrevisse rouge de Louisiane) en plus grand nombre. Les deux dernières surtout, qui proviennent d'Amérique du Nord, menacent gravement l'existence des crustacés indigènes: alors que la peste des écre-

visses décime ceux-ci, les espèces exotiques y résistent et contribuent à la propager. Par conséquent, les espèces indigènes meurent généralement peu après l'apparition des «intrus» américains. En créant des zones humides, il faut donc absolument éviter d'introduire des plantes ou des animaux étrangers au site. En principe, mieux vaut laisser la nature agir seule en matière de peuplement faunistique: une année après la réalisation du plan d'eau, sept espèces d'oiseaux avaient déjà élu domicile dans cette réserve naturelle: la foulque, la poule d'eau, le râle d'eau, le chevalier cul-blanc, la bécassine, le canard colvert et le héron cendré (LSPN 1990).

Foto: K. Guthruf



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

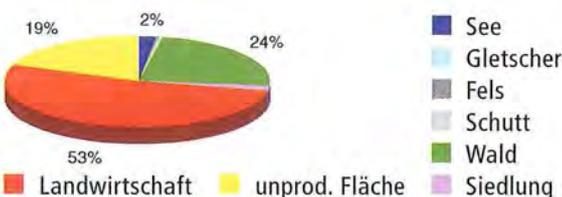
1266
 600 355 / 144 084
 1065 m ü.M.
 2.56 ha
 2.4 m
 14 145 m³



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 112.5 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 2 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 1661 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 1281 m ü.M.

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Das Lenkerseeli liegt im Simmental, etwa 1 km südwestlich des Dorfzentrums von Lenk. Die Entstehungsgeschichte wurde von HAURI (1997) umfassend und interessant beschrieben: Ursprünglich war es Teil des umfangreichen Schwemmlandes der Simme. Man muss sich das Gebiet als Mosaik von Kiesablagerungen, Auenwäldern, Pionierstandorten, Riedarealen, Mooren und offenen Wasserflächen vorstellen. Die Landschaft wurde durch die Hochwasser der Simme geformt. Sie war einer steten Dynamik unterworfen, weil der Fluss seinen Lauf dauernd änderte. Auf Grund dieser Vielfalt zeichnen sich solche Gebiete durch einen besonderen Artenreichtum in Flora und Fauna aus. Dieser Reichtum wurde

anfänglich durch den Menschen in keiner Weise geschmälert, da er das Gebiet extensiv nutzte (Streunutzung). Der Landbedarf wurde jedoch immer grösser. So wurde der Lauf der Simme nach 1870 korrigiert und das Wasser in einem Kanal durch die Ebene geführt. Die Dynamik der Flusslandschaft war dadurch gebrochen. Die Grundlage der grossen Dynamik und landschaftlichen Vielfalt fehlte. Für die Bewohner des Tals wurde auf diese Weise die Überschwemmungsgefahr vermindert, konnte aber nicht ganz gebannt werden. Die Korrektur war Grundstein für die Urbarmachung des Landes, welche 1913 eingeleitet wurde. Das Gebiet wurde drainiert, und aus Riedland entstanden Fettwiesen. Die wilde Naturlandschaft machte einer ertragreichen Kulturlandschaft Platz.

Wo heute das Seeli liegt, war seit jeher die tiefste Stelle der Ebene. Der westlich gelegene Hang hiess schon auf alten Karten Seeflueh, ein Hinweis, dass dort früher eine grössere offene Wasseroberfläche war. Diese war jedoch schon vor der Korrektur bis auf einige Tümpel verlandet, was auf alten Karten und Bildern erkennbar ist. Eine Trockenlegung dieser tiefsten Stelle war ohne Pumpbetrieb nicht möglich. Deshalb hob man das Lenkerseeli aus und verwendete das Aushubmaterial zum Auffüllen von Tümpeln und sumpfigen Senken in der Umgebung. Nach Abschluss der Meliorationsarbeiten im Jahr 1925 waren die Ufer noch vollständig vegetationslos. Die Wassertiefe war von Anfang an nur gering (1.5 m), und rasch setzte Verlandung ein. Bis 1965 war die Wasseroberfläche auf weniger als die Hälfte geschrumpft. Mit der Verlandung entwickelte sich jedoch auch eine reichhaltige Ufervegetation, und der ökologische und landschaftliche Wert des Kleinsesee stieg, zumal er als Folge der immer weiter fortschreitenden Melioration zu einem der beiden letzten Feuchtgebiete des Talgrundes geworden war (LUDER 1981). Seit 1960 bemühte man

sich, das Gewässer zu erhalten. 1971 wurde das Gebiet unter Naturschutz gestellt, nachdem 1966 der Jagdbann ausgesprochen worden war. Mit Baggerungen in den Jahren 1967/68 und 1976 wurde der Verlandung entgegengewirkt und gleichzeitig die Insel geschaffen, welche als Nahrungs- und Nisthabitat für Wasservögel von grosser Bedeutung ist. Auch in jüngster Zeit wurde durch die Schaffung eines Amphibienteiches am Ostufer, eines Limikolenflosses auf der Insel sowie durch Heckenpflanzungen zur Verbesserung des Lebensraumes beigetragen (HAURI 1997). Die Verlandung des Sees ist auch heute noch aktuell, und Abklärungen für ein weiteres Sanierungsprojekt laufen (ZEH & GUTHRUF 1998). Das Lenkerseeli wird durch einen südlichen oberirdischen Zufluss und einen Quellaustritt im Westen gespeist. Der Zufluss ist im Verhältnis zum Seevolumen sehr gross und die Aufenthaltszeit des Wassers sehr kurz. Das Wasser verlässt das Seeli im Norden und stürzt über eine Sohlschwelle (HAURI 1997). Nach 415 m langem schnurgeradem Lauf verschwindet das Wasser in der Erde und legt die letzten Meter vor der Mündung in die

Simme unterirdisch zurück. Ein Austausch von Fischen und anderen Wassertieren zwischen Simme und Lenkerseeli ist deshalb nicht möglich. Der Seespiegel kann bei der Schwelle beim Abfluss geringfügig reguliert werden. Die Spiegelschwankungen übersteigen in der Regel 10 cm nicht. Ein Hochwasser im Juni 1990 riss Seggenstöcke mit sich, welche sich beim Abfluss ansammelten und einen Aufstau des Wasserspiegels um 30 cm verursachten. Dieses Hochwasserereignis hatte einen vollständigen Ausfall der Stockentenbruten zur Folge (HAURI 1997).

Temperatur / Mischverhalten

Der See ist von Anfang November bis Ende Februar, Anfang März vereist (HAURI 1997). Im Umkreis der Quelle, welche auch im Winter wärmer als 5 °C ist, befindet sich eine eisfreie Fläche von etwa 50 m Durchmesser. Dies ermöglicht den Wasservögeln ein Überwintern auf dem See. Das Gewässer ist auch an der tiefsten Stelle nur 2.7 m tief. Das Sonnenlicht gelangte während allen Probenahmen bis auf den Grund. Auch tiefere Wasserschichten werden erwärmt, und die Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser ist während des ganzen Jahres gering. Die Schichtungsstabilität ist entsprechend schwach, und ein Temperatursturz oder Windereignis kann auch im Sommer eine Zirkulation auslösen.

Produktivität / Trophiegrad

Wegen der starken Wasserpflanzendichte ist eine Beurteilung des Trophiegrades des Lenkerseelis schwierig. Grosse Anteile des Phosphors liegen in pflanzlicher Form vor und können mit der Analytik nicht erfasst werden (ZEH & GUTHRUF 1998). Auf Grund des Gesamtphosphors ist das Lenkerseeli als oligo- bis mesotroph zu beurteilen. Auch

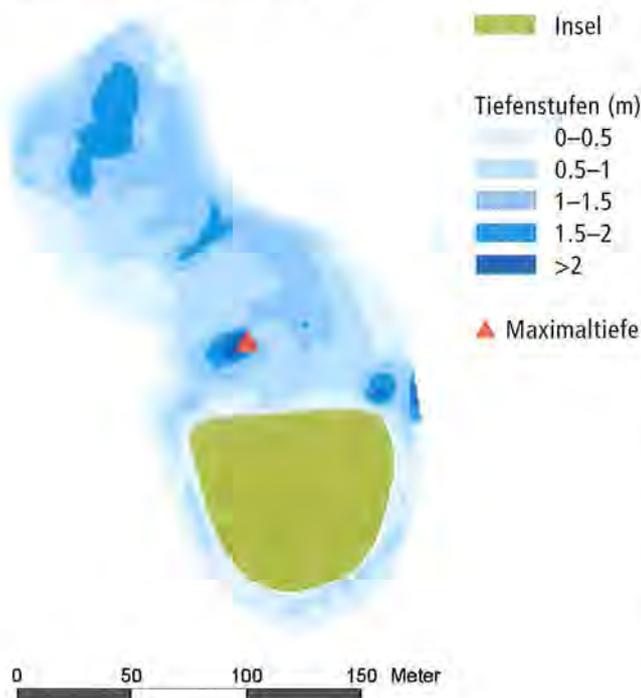
die Algendichte, ausgedrückt durch die Konzentration an Chlorophyll a, ist sehr gering und charakteristisch für einen oligotrophen See. Allerdings liegt es auf der Hand, dass sich bei einer derartig starken Konkurrenz durch Wasserpflanzen kein üppiges Phytoplankton entwickeln kann. Die Orthophosphatkonzentrationen lagen bei allen Proben knapp über oder unter der Nachweisgrenze, ein Hinweis darauf, dass dieser Nährstoff limitierend für das Wachstum von Wasserpflanzen und Phytoplankton ist.

Ein besseres Beurteilungskriterium ist der Sauerstoffhaushalt, da dieser auch durch die Wasserpflanzen beeinflusst wird: Am Ende der Winterstagnation konnte eine mässige Sauerstoffzehrung festgestellt werden. Die mittlere Sauerstoffsättigung betrug 59% und über dem Grund war das Wasser nur noch zu 38% gesättigt. Diese Verhältnisse sprechen eher für einen mesotrophen bis eutrophen Zustand. Auch das anaerobe, stark organische Sediment und die hohe Sedimentationsrate (ZEH & GUTHRUF 1998) sind typisch für einen eutrophen See. Anhand von Sedimentkernen konnte gezeigt werden, dass die Verlandung an der tiefsten Stelle stärker voranschreitet als im Uferbereich, indem sich Pflanzenreste und Detritus bevorzugt in der strömungsberuhigten Tiefenzone ansammeln (Trichtereffekt). Damit konnten die Beobachtungen von HAURI (1997) bestätigt werden. Das organische Sediment zeigt weiter, dass die Verlandung hauptsächlich auf den Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet zurückzuführen ist. Eine dauerhafte Lösung des Verlandungsproblems ist daher nur durch eine Verringerung der Nährstofffracht gewährleistet (ZEH & GUTHRUF 1998).

Plankton

Das Phytoplankton ist sehr artenreich, konnten doch in zwei Proben 80 taxonomische Einheiten gefunden werden. Die domi-

Tiefenkarte Lenkerseeli



nierenden Algenfamilien (Goldalgen und Kieselalgen) deuten eher auf schwach belastete Bedingungen hin. Allerdings sind die Augenflagellaten, welche als Belastungszeiger gelten, durch fünf verschiedene Arten vertreten. Auch die Bakterienfauna weist auf erhöhte Nährstoffbelastung und anaerobe Verhältnisse über dem Grund und im Sediment hin: Insgesamt konnten vier anaerobe Schwefelpurpurbakterien bzw. Schwefelbakterien nachgewiesen werden. Das gleichzeitige Vorkommen von Zeigern für einen meso- und eutrophen Zustand könnte durch stark schwankenden Nährstoffinput erklärt werden. Es ist anzunehmen, dass grosse Nährstoffmengen stossweise in den See gelangen, ein Teil rasch von den Wasserpflanzen und Algen aufgenommen wird und ein Teil durch den Seeabfluss ausgeschwemmt wird.

Das Crustaceen-Zooplankton ist mit acht verschiedenen Arten sehr artenreich und setzt sich, wie das Phytoplankton, sowohl aus Zeigern für eutrophe wie oligotrophe Gewässer zusammen.

Flora

Seit der künstlichen Schaffung des Lenkerseelis hat sich eine üppige Wasservegetation entwickelt, welche eine Zonierung aufweist. Die untergetauchten Wasserpflanzen werden durch den Tannenwedel dominiert. Das 1988 nachgewiesene schwimmende Laichkraut und eine Armelechteralgenart (NSI 1988) konnten in späteren Untersuchungen nicht mehr bestätigt werden. Landseitig schliesst, insbesondere am Ostufer, ein Wasserschilfbestand an, der teilweise 30–50 m breit ist. Die Schilfbestände dehnen sich auch über die Wasserlinie aus, und ihre gesamte Breite beträgt bis annähernd 100 m. Landröhrichte gehen am Ostufer fliesend in Hochstaudenfluren über. Die grosse Insel ist nebst einigen Schilfröhrichten vor allem von Grossseggenried bewachsen (TEUSCHER 1976, NSI 1988, HAURI 1997).

Diese üppige Flora ist in vieler Hinsicht wichtig für die Fauna: Den Wasserschilfröhrichten kommt besondere Bedeutung

zu, sind sie doch Nistplatz für verschiedene Wasservögel (HAURI 1997), Laich- und Larvalhabitat für Amphibien und Laichgebiet für Fische. Im Winter dienen die Rispen als Nahrungsgrundlage für Vögel, welche die Samen fressen, oder Insektenlarven, die in den dünnen Schilfstengeln überwintern. Die Schnabelseggenfluren, insbesondere auf der Insel, sind sehr wichtig als Nistplatz für Vögel (HAURI 1997). Der Tannenwedel wird im Winter zu einer wichtigen Nahrungsgrundlage für Wasservögel. Im Sommer dient er zahllosen wirbellosen Tieren als Lebensraum, welche wiederum den Vögeln, Amphibien und Fischen als Nahrungsgrundlage dienen.

Fauna

Das Lenkerseeli hat sich im Lauf der Zeit zu einem wichtigen Lebensraum für Sumpf- und Wasservögel entwickelt. Die Reiherente hat dort einen der erfolgreichsten Nistplätze in der Schweiz. Auch Stockente, Bläss-

huhn, Graureiher, Teichrohrsänger und Rohrammer brüten mehr oder weniger regelmässig am Lenkerseeli. Daneben spielt das Gewässer als Rastplatz für Durchzügler, aber auch als Überwinterungsgebiet für Wasservögel, darunter auch sehr seltene Arten, eine wichtige Rolle (HAURI 1997).

Erdkröte, Grasfrosch und Bergmolch laichen in beachtlicher Zahl. Sogar Spuren des Fischotters, einer Tierart, die in der Schweiz am Aussterben ist, konnten im Februar 1979 beobachtet werden (HAURI 1997).

Das Lenkerseeli wird mit strengen Naturschutzauflagen (HAURI 1997) fischereilich genutzt. Nebst einzelnen Karpfen werden vor allem Bachforellen gefangen. Der Bestand der Bachforelle wird jährlich durch Besatz gestützt. In der Fangstatistik von 1994 erscheinen zusätzlich Regenbogenforellen, die damals noch ausgesetzt wurden.



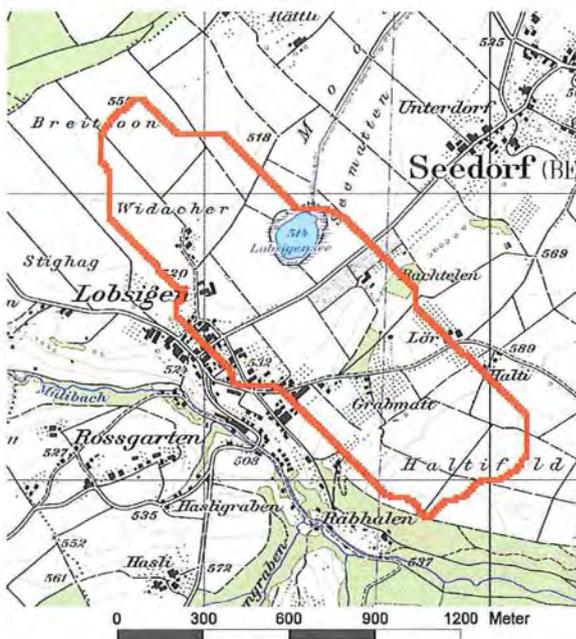
Foto: A. Lotter

Lobsigensee

eutroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1146
 589 323 / 208 851
 514 m ü.M.
 1.73 ha
 2.5 m
 21 953 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Lobsigensee liegt 14 km nordwestlich von Bern. Er entstand nach dem Rückzug des Rhonegletschers in der Würm-Eiszeit vor mehr als 15 000 Jahren in einer durch glaziale Lehme abgedichteten Senke (AMMANN 1985). Auf Grund von Seekreideablagerungen muss die Seefläche ursprünglich 10 ha betragen haben. Auch die Maximaltiefe war mit 17 m bedeutend grösser (BOSSERT 1987). Verlandungsprozesse haben im Lauf der Jahrtausende zur Schrumpfung des Sees beigetragen.

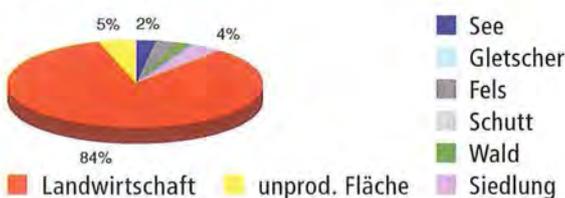
Sedimentuntersuchungen geben Aufschluss über Trophiegrad und Höhe des Seespiegels im Lauf der letzten 12 000 Jahre (AMMANN 1985). Schon in der postglazialen Zeit herrschte über dem Sediment Sauerstoff-

schwund, der aber eher auf Meromixie (der damals noch gegen 17 m tiefe See zirkulierte nicht bis zum Grund) als auf Eutrophie zurückzuführen ist. In vier Phasen senkte sich der Seespiegel bis vor 5300 Jahren um insgesamt 3.2 m. Im Zusammenhang mit diesen Spiegelsenkungen wurde der See eutroph: Die erste Eutrophierungsphase fand vor 10 000 bis 9000 Jahren, die zweite vor 6800–5200 Jahren statt. Als erstes trat Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser auf. Höhere Wasserpflanzen, insbesondere Seerosen, nahmen auf Kosten der Armeleuchteralgen zu. Auch das Algen- und Bakterienspektrum veränderte sich. Später setzte eine starke Torfbildung ein, welche allmählich zur Verlandung des Sees, gleichzeitig aber auch zum Ansteigen des Seespiegels um 1.4 m führte, da die Moore um den See an Mäch-

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 93.2 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 631 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 549 m ü.M.

Flächenanteile



tigkeit gewannen und das Abflussniveau zunehmend erhöht wurde. Jahr für Jahr lagerte sich Sediment am Seegrund ab, was trotz des Anstiegs des Seespiegels zu einer sukzessiven Verminderung des Seevolumens beitrug. Die menschliche Besiedlung beschleunigte diesen Prozess, indem dem See durch Bodenerosion zusätzliches Material zugeführt wurde. Gleichzeitig zur Volumenminderung wurde der Nährstoffeintrag durch den Menschen erhöht. Beides löste die dritte Eutrophierungsphase vor etwa 2000 Jahren aus.

Im 20. Jahrhundert, ganz besonders während der «Anbauschlacht», nahm der Druck auf die wenigen Sumpf- und Moorlandschaften stark zu. Im Mai 1944 senkte man den Seespiegel um rund 1 m ab. Dies war ein gewaltiger Eingriff für den kleinen See, der ohnehin zuvor nur 3.5 m tief war. Ursprünglich war eigentlich vorgesehen, ein übermässiges Absinken des Seespiegels mittels eines Regulierwehrs zu verhindern. Beim Kanalbau wurden jedoch «über Nacht» die letzten Meter Torf durchstochen. Damals wurde auch der Seeabfluss kanalisiert, mit einer Holzsohle versehen und teilweise sogar ausbetoniert. Der einzige Zufluss des Lobsigensees wurde

vor 1949 zugeschüttet (VON BÜREN & LEISER 1963). Es ist davon auszugehen, dass die Eutrophierung ganz wesentlich durch die künstliche Seespiegelabsenkung angekurbelt worden ist. Nährstoffhaushalt, Fauna, Flora und Plankton veränderten sich grundlegend. Trotzdem weist der Lobsigensee im Gegensatz zu anderen Kleinseen des Berner Mittellandes Elemente natürlicher Verlandungsvegetation auf. Er wurde 1955 unter Naturschutz gestellt (WEGMÜLLER 1986).

Produktivität / Trophiegrad

Der hohe Landwirtschaftsanteil im Einzugsgebiet ist einer der wesentlichen Faktoren, welche den Nährstoffgehalt eines Kleinsees bestimmen (MÜLLER ET AL. 1998). Die Nährstoffmessungen deuten denn auch auf die Überdüngung des an sich natürlicherweise schon eutrophen Kleinsees hin. Die Stickstoffparameter Ammonium und Gesamtstickstoff gehören zu den höchsten, im Rahmen dieses Projektes gemessenen Werten. Die Konzentrationen haben seit 1969 eher noch zugenommen. Die Phosphormessungen von 1969 weisen den See als **eutroph** (90 µg/l Phosphat), ja so-

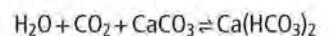
gar als **polytroph** aus (190 µg/l Gesamtphosphor an der Wasseroberfläche). 1994 wurden 2.5- bis 5mal geringere Gesamtphosphorkonzentrationen gemessen. Die Gründe dafür sind in der weniger starken Düngung des Umlandes mit Phosphor zu suchen (pers. Mitt. W. HEIMBERG). Trotz des Phosphorrückgangs war der Lobsigensee auch 1994 noch deutlich eutroph, da lediglich das Überangebot abgebaut wurde (ZEH 1996). 1994 war Orthophosphat an allen Probedaten und Tiefen unter der Nachweisgrenze. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf eine Phosphatlimitierung. Eine weitere Drosselung der Nährstoffzufuhr kann daher wesentlich zur Reduktion der Überdüngung beitragen. Die Grundfarbe des Lobsigensees ist gelblich, was auf Huminstoffe hindeutet, welche aus dem ehemals moorigen Einzugsgebiet ausgewaschen werden. Auch der ganzjährig hohe DOC-Gehalt spricht für Huminstoffe, gleichzeitig aber auch für die Überdüngung (ZEH 1996). In der Vegetationszeit dringt das Sonnenlicht zeitweise bis zum Grund vor. Der Lobsigensee ist somit kein echter See, da er nicht ganzjährig eine lichtfreie Tiefenzone hat. Weiter kann man aus der grünen Wasserfärbung und der zeitweise geringen Secchitiefen im Sommer schliessen, dass der See eutroph ist. Die Verminderung der Sichttiefe ist primär durch Algen bedingt. Während der Zirkulation kann auch aufgewirbelter Detritus, während starken Regenfällen abgeschwemmtes Erdreich (Bodenerosion) zur Trübung beitragen (VON BÜREN & LEISER 1963).

Auch der Sauerstoffhaushalt ist stark durch den hohen Trophiegrad geprägt: Nahe der Oberfläche wies das Wasser im August 1950 Sauerstoffsättigungen von 196% auf (VON BÜREN & LEISER 1963), im September 1969 wurden sogar 225% gemessen. Dem Tiefenwasser wurde dagegen durch den bakteriellen Abbau der grossen Algen- und Makrophytenbiomasse der Sauerstoff entzogen. Schon im Juni 1950 war der Sauerstoff in mehr als

1.3 m Tiefe vollständig aufgebraucht, und das Wasser roch intensiv nach faulen Eiern, das heisst, es enthielt Schwefelwasserstoff. Auch 1994 sank die Sauerstoffkonzentration im Sommer im Tiefenwasser auf null. Schwefelwasserstoff oder Sulfid konnte jedoch während keiner Probenahme gemessen werden, was ein Zeichen für eine leichte Verbesserung sein könnte. Allerdings wird der Sulfidgehalt in seichten Seen ganz wesentlich durch den Wechsel von Zirkulation und Stagnation beeinflusst, und die Wasserchemie kann sich kurzfristig ändern (ZEH 1996).

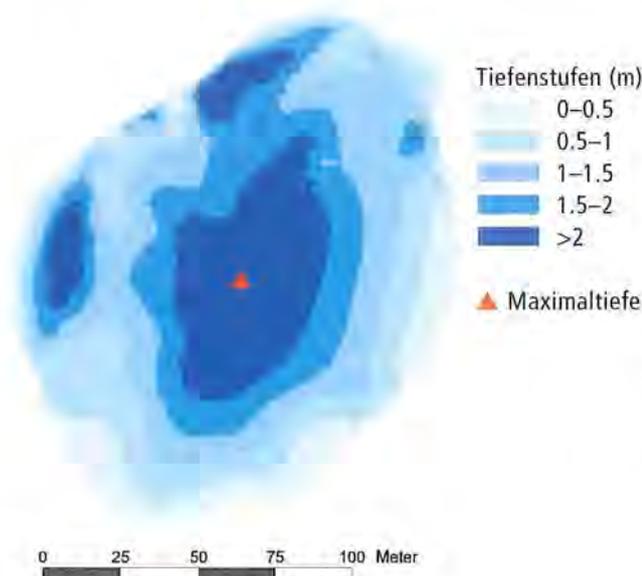
Die **biogene Entkalkung** kann im Lobsigensee sehr ausgeprägt sein und soll hier am Beispiel von Daten aus dem Sommer 1950 genauer beschrieben werden: Am 23. Mai war das Wetter schön, das krause Laichkraut bildete sehr dichte Bestände. Auch Kieselalgen waren reichlich vorhanden, wie aus Algenzählungen und sehr niedrigen Kieselsäurekonzentrationen im Wasser ersichtlich ist. Die hohe Sauerstoffübersättigung im Oberflächenwasser deutet ebenfalls auf eine hohe Primärproduktion hin.

Bei hohem CO₂-Gehalt kann der sonst unlösliche Kalk (CaCO₃) als Calcium-Bicarbonat Ca(HCO₃)₂ in Lösung gehen. Es herrscht folgendes Gleichgewicht:



Bei der Photosynthese entziehen die Pflanzen dem Wasser Kohlendioxid (CO₂). Damit das System wieder ins Gleichgewicht kommt, zerfällt Calcium-Bicarbonat in Wasser (H₂O), Kohlendioxid und Kalk. Dieser Kalk fällt als Calcit-Kristall aus, was im Lobsigensee deutlich beobachtet werden konnte (die Blätter der untergetauchten Wasserpflanzen waren von einer Kalkkruste überzogen). In der Tiefe wurde durch den Abbau der Biomasse CO₂ freigesetzt. In tiefen Seen führt dies im Tiefenwasser zu einer Umkehrung des Prozesses, das heisst zur Rücklösung der Calcit-Kristalle. Im seichten

Tiefenkarte Lobsigensee



Lobsigensee dagegen lagert sich der grösste Teil am Grund ab. Calcit-Kristalle bilden daher einen wichtigen Anteil des Sediments (Kalk-Faulschlamm) und leisten somit einen wesentlichen Beitrag zur Verlandung (VON BÜREN & LEISER 1963).

Temperatur / Mischverhalten

Das Mischverhalten des Lobsigensees wurde durch die Seeabsenkung stark beeinflusst: Auf Grund seiner heute geringen Tiefe reicht ein Temperatursturz im Sommer bereits aus, um den See zum Zirkulieren zu bringen. Der Lobsigensee ist **polymiktisch** und verhält sich somit wie ein richtiger Kleinsee (vgl. Inkwilensee). Durch mehrmalige Zirkulation während der Sommermonate gelangen jedesmal Nährstoffe aus den tieferen Wasserschichten in die gesamte Wassersäule. Auch bei einer völligen Unterbindung der externen Nährstoffzufuhr würde sich die Primärproduktion mittelfristig kaum ändern.

Plankton

Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons und das Fladentreiben (Blaualgen-Matten, welche sich vom Boden lösen und durch Gasblasen an die Oberfläche aufsteigen) sprechen für den hohen Nährstoffgehalt des Sees um 1950 (VON BÜREN & LEISER 1963). 1994 war das Phytoplankton mit 150 Arten sehr vielfältig. Es setzte sich zu etwa einem Drittel aus Grünalgen zusammen. Die Artenzahl nahm zwischen Frühjahr und Sommer zu. Auch die Augenflagellaten waren mit sieben Arten vertreten und kamen in allen Proben vor. Die hohe Artenzahl und die Zusammensetzung sprechen ganz klar für einen hohen Trophiegrad (ZEH 1996). Allerdings fehlten in allen Proben anaerobe Schwefelbakterien, welche Schwefelwasserstoff produzieren und nur in Gewässern mit Sauerstoffdefizit vorkommen.

Auch das Zooplankton hat sich seit 1952 verändert: Während 1949–52 fünf von sieben Arten Zeiger für eutrophe Gewässer waren, setzt sich der heutige Bestand aus Zeigern für verschiedene Trophiegrade zusammen, und nur noch drei von sieben Arten sind Zeiger für eutrophe Gewässer.

Flora

Trotz zahlreicher massiver Eingriffe in das Ökosystem sind am Lobsigensee noch wichtige Pflanzengesellschaften der Verlandungszone erhalten. WEGMÜLLER (1990) beschreibt eine klassische Abfolge über Schwimmblattgürtel, Schilfröhricht und Grosseggried. Auch untergetauchte Wasserpflanzen sind vertreten (BOSSERT 1987). Einzelbäume und Buschgruppen grenzen das Gebiet gegen das intensiv genutzte Kulturland ab. Die Untersuchung der einzelnen Arten lässt jedoch grosse Defizite erkennen: Vor der Melioration beherbergte der See noch 42 seltene Pflanzenarten. Zwischen 1944 und 1950 sind 22 davon verschwunden, und 1978 stellte man lediglich noch 11 Arten fest (BOSSERT 1987). Abgenommen haben dabei vor allem Habitatspezialisten: Während Säurezeiger (Moorpflanzen) vor 1952 noch 24% der Flora bildeten, sind diese nach 1952 auf 8% geschrumpft. Zeiger für nährstoffarme Böden haben im gleichen Zeitraum von 62% auf 25% abgenommen. Auch der Schilfgürtel hat massiv an Ausdehnung verloren, da in der ursprünglichen Röhrichtzone als Folge der Wasserspiegelsenkung nach und nach Sträucher und Bäume Fuss fassten. Unter Leitung des Naturschutzinspektorats wurde deshalb die Ufervegetation 1985 entbuscht. Der Schilfgürtel und die Bestände einiger Sumpfpflanzen (gelbe Schwertlilie, Sumpfhaarstrang, gliederblättrige Binse, Sumpfwurmfarn, Sumpfhelmkraut) haben sich dank dieser Massnahme erholt (BOSSERT 1987).

Fauna

Auch die Fauna reagierte sehr empfindlich auf die Veränderungen des Seeökosystems. Während LINIGER (1885) noch 35 Libellenarten feststellte, ist die Zahl nach der Melioration auf 24 und später auf 19 Arten zurückgegangen (WEGMÜLLER 1991). Der Autor führt den Rückgang primär auf die Seespiegelabsenkung von 1944 zurück. Die Ausräumung der Landschaft ist ein weiterer wichtiger Grund für den Rückgang der Libellenfauna. Durch die Zuschüttung des Zuflusses und die Verminderung des Abflussgefälles sowie die Befestigung des Seebachs mit Brettersohle und Beton wurden Habitate für strömungsliebende Arten zerstört. Der Verlust einer typischen Moorflora führt zum Verschwinden der säureliebenden Libellenarten. Ferner können weitere Faktoren, wie Intensivierung der Landwirtschaft und Klimaveränderungen, zum massiven Artenrückgang beigetragen haben (WEGMÜLLER 1986). Der Artenrückgang muss aber auch in einem grösseren Rahmen gesehen werden: Die Verluste an Feuchtgebieten beschränkten sich nicht nur auf den Lobsigensee: Im gesamten Seeland hat das Angebot an Verlandungsgebieten seit der ersten Juragewässerkorrektion stark abgenommen. Besonders der Lebensraum für spezialisierte und deshalb auch gefährdete Arten ist massiv geschrumpft (WEGMÜLLER 1986). In einer ausgeräumten Landschaft gibt es nur noch kleine, isolierte Habitate, welche meist weit voneinander entfernt sind. Das Aussterben von Populationen in einzelnen Gewässern ist an sich ein natürliches Phänomen. Solche Verluste werden aber in intakten Ökosystemen wettgemacht, indem Individuen aus benachbarten Populationen einwandern und eine neue Population gründen können. Je kleiner aber die Habitate und ihre entsprechenden Populationen sind, umso grösser ist die Gefahr des Aussterbens. Die grosse Distanz verhindert eine rasche Wiederbe-

siedlung und erhöht die Gefahr eines Aussterbens im ganzen Gebiet. Selbst für Libellen, welche an sich sehr weit wandern können, hatte diese Veränderung des Lebensraumes fatale Folgen (WEGMÜLLER 1990).

Der Lobsigensee stellt einen wichtigen Lebensraum für Vögel dar: Er ist eines der kleinsten isolierten Gewässer, auf denen der Haubentaucher brütet. Auch anderen Arten (Stockente, Teichhuhn, Blässhuhn, Teichrohrsänger, Rohrammer, Fitis) dient er als Brutgebiet. Er hat auch eine Bedeutung als Rastplatz für Zugvögel auf ihren Wanderungen (BOSSERT 1987). Über den Vogelbestand vor der Melioration sind uns keine Untersuchungen bekannt.

Die Fischfauna setzt sich mit Ausnahme des Spiegelkarpfens, einer Zuchtform, aus Arten zusammen, welche typisch für einen eutrophen Kleinsee sind. Gefährdete Arten mit einem spezialisierten Lebenszyklus (z.B. Bitterling) und Fische, welche Teile ihres Lebens in naturnahen Fließgewässern verbringen (Alet, Hasel, Strömer, Schneider) konnten im Lobsigensee nicht beobachtet werden. Das Fehlen strömungsliebender Arten ist mit Sicherheit auf die Eindolung des Zuflusses und auf die Kanalisierung des Seeabflusses zurückzuführen.

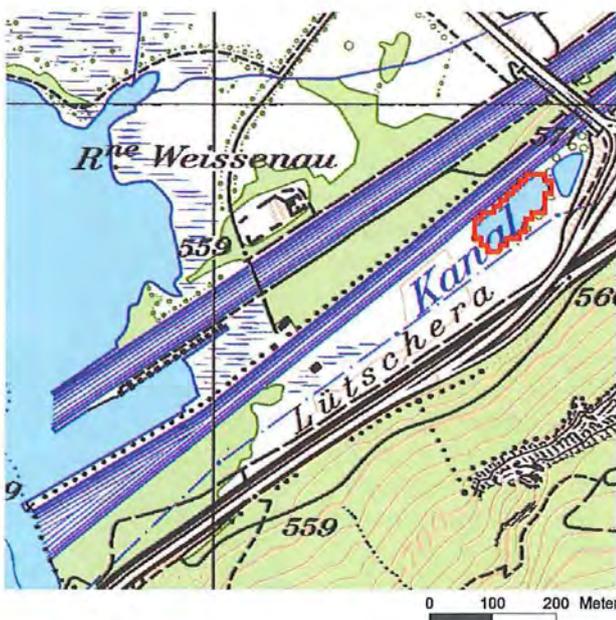
Die Amphibienfauna (Erdkröte, Wasserfrosch, Bergmolch, Gelbbauchunke, Grasfrosch) und der Reptilienbestand (Ringelnatter, Zauneidechse) des Gebietes sind vielfältig. Durch das Ausdolen des Zuflusses und eine Renaturierung des Abflusses könnte das Habitatangebot für Libellen- und Fischarten noch stark verbessert werden.

Baggersee Lütscheren

mesotroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1228
 630 440 / 168 797
 559 m ü.M.
 0.61 ha
 4.3 m
 12 785 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Für den Autobahnbau im Raume Interlaken wurden grosse Kiesmengen benötigt, welche zwischen 1980 und 1981 in der Schwemmebene zwischen Thuner- und Brienersee ausgebeutet wurden. Auf diese Weise sind die beiden Baggerseen südlich des Schiffahrtskanals nahe seiner Mündung in den Thunersee entstanden. Der westliche dieser beiden umfasst eine Fläche von 0.61 ha, während der östliche mit knapp 0.2 ha nicht die Kriterien der vorliegenden Untersuchung (> 0.5 ha) erfüllte. Durch frühzeitige Zusammenarbeit mit dem Naturschutzinspektorat konnte die Gestaltung des Baggersees für Fauna und Flora optimiert werden. So wurden die Uferlinien nicht gerade gezogen, das Ufer gegen den

Schiffahrtskanal hin flach gestaltet und eine Insel geschaffen. Im Winter 1982/83 wurden die Ufer mit einheimischen, standortgemässen Baum- und Straucharten bepflanzt. Die Wasserfläche selbst und die Insel wurden der natürlichen Entwicklung überlassen. 1982 erwarb das Naturschutzinspektorat das Grundstück für 15 000 Franken vom Autobahnamt (HAURI 1982).

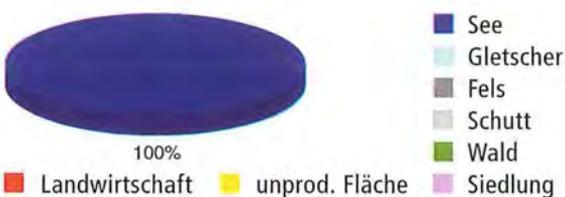
Temperatur / Mischverhalten

Im Juni 1997 konnte eine deutliche Schichtung des Wasserkörpers beobachtet werden. Das Epilimnion umfasste die obersten 2 m, und die Sprungschicht hatte eine Ausdehnung von 2 bis 3.5 m Tiefe. Das Hypolimnion war mit einer Mächtigkeit von einem Meter sehr klein.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 0.72 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 559 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 559 m ü.M.

Flächenanteile



Auf Grund seiner Seefläche wäre eine vollständige Mischung bis in eine Tiefe von 8.8 m möglich (Formel nach BERGER in ANONYMUS 1997). Es ist deshalb von einem **holomiktischen** Verhalten auszugehen. Auf Grund der relativ hohen Temperatur des Tiefenwassers (11 °C) und einer nicht nachweisbaren chemischen Schichtung ist sogar anzunehmen, dass bei einem Temperatursturz oder einem starken Windereignis das Wasser auch im Sommer vollständig zirkulieren kann.

Produktivität / Trophiegrad

Nach der gemessenen mittleren Gesamtphosphorkonzentration (16 µg/l) ist der Baggersee als **mesotroph** einzustufen. Dieser Befund wird durch die biologisch beeinflussten Parameter (Chlorophyll a, Sauerstoffsättigung an der Oberfläche und Secchitiefe) bestätigt. Auch das sandige, grösstenteils mineralische Sediment (siehe Abbildung) ist typisch für eine schwache Be-

lastung, aber auch für das geringe Alter des Baggersees. Der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser dagegen spricht für eutrophe Verhältnisse, wurden doch über Grund nur noch 7% der Sättigungskonzentration gemessen. Dieses Ergebnis weist auf eine starke Sauerstoffzehrung hin, kann allerdings auch durch den Austausch mit sauerstoffarmem Grundwasser zustande kommen (ANONYMUS 1997). Für eine sichere Beurteilung des Trophiegrades wären daher häufigere Probenahmen und eine Untersuchung des Grundwasserleiters notwendig.

Plankton

Mit 51 taxonomischen Einheiten war das Juni-Phytoplankton nicht besonders artenreich. Kieselalgen, Grünalgen und Panzerflagellaten machten mehr als 60% der Taxa aus. Auf Grund der grossen Grünalgenanteile und des Vorhandenseins eines Vertreters der anaeroben Bakterien ist das Gewässer eher als mesotroph einzustufen. Das Phyto-

plankton bestätigt somit die Resultate der wasserchemischen Analytik. Das Zooplankton setzte sich sowohl aus Zeigern für oligo- wie eutrophe Gewässer zusammen.

Flora

Die Flora setzt sich zum grossen Teil aus indifferenten Arten zusammen, welche keine spezifischen Nährstoffansprüche haben. Mit der See-Flechtbinse, der geflügelten Braunwurz und dem Rohrglanzgras kommen drei Arten vor, welche klar nährstoffreiche Böden bevorzugen. Das grosse Süssgras gilt als gefährdet.

Fauna

Aufgrund der spezifisch abgestimmten Gestaltungsmassnahmen geht HAURI (1982) davon aus, dass sich zahlreiche Amphibienarten einfinden werden. Die Insel wurde als zukünftiger Brutplatz für Vögel geschaffen. Welche Arten bis heute schon den neugeschaffenen Lebensraum angenommen haben, ist aus der verfügbaren Literatur nicht zu entnehmen.

Das Gewässer wird fischereilich bewirtschaftet. Nach Angaben des betreffenden Fischereiver eins besiedeln acht verschiedene Fischarten den See. Der stark gefährdete Bitterling konnte erfolgreich angesiedelt werden, und auch der bedrohte Edelkrebs kommt in der Lütscheren vor (pers. Mitt. P. FIECHTER, Därligen). Spiegelkarpfen (eine Zuchtform des einheimischen Karpfens) und Regenbogenforelle stammen aus Besatzmassnahmen.

Tiefenkarte Baggersee Lütscheren

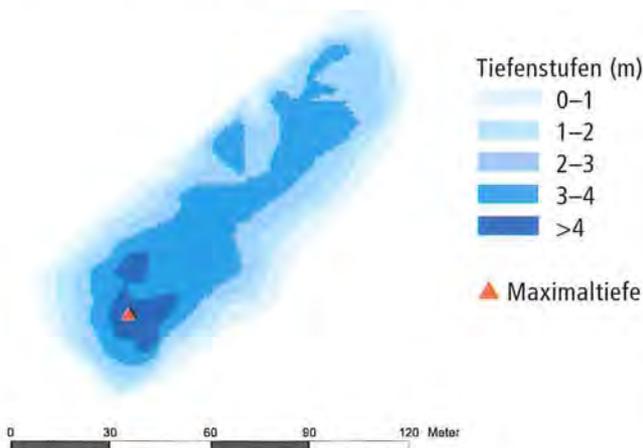
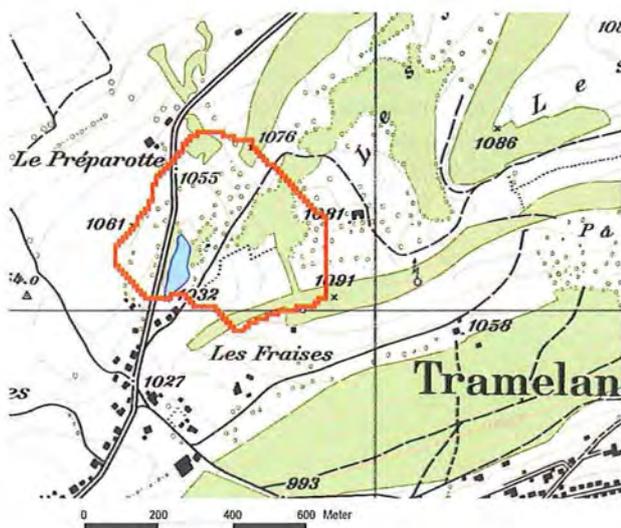


Photo: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------------|---------------------|
| Carte nationale 1 : 25 000 | 1105 |
| Coordonnées | |
| de la profondeur maximale | 573 470 / 231 074 |
| Cote du niveau du plan d'eau | 1032 m |
| Superficie du plan d'eau | 0.59 ha |
| Profondeur maximale | 3.1 m |
| Volume du plan d'eau | 9229 m ³ |

Géologie, hydrologie et histoire

Situé à 1 km au nord-ouest de Tramelan, l'étang de La Marnière est géré par une association locale de pêcheurs. A son point le plus bas, il est muni d'un dispositif de vidange. Son substrat est entièrement composé de roches carbonatées, d'où l'action tampon efficace de ses eaux en matière de pH. Vu que plus de la moitié des surfaces du bassin versant topographique sont utilisées à des fins agricoles, il faut s'attendre à un important apport de nutriments et donc à une forte eutrophisation.

Productivité / état trophique

La forte concentration en chlorophylle a, la faible profondeur de Secchi et les teneurs élevées en carbones organiques dissous indiquent une productivité intense du plan d'eau, ce que confirme la présence concentrée de nutriments (phosphore et azote). La Marnière est **hyper-eutrophe**. En raison de sa faible profondeur moyenne (1.6 m), cet étang serait toutefois eutrophe même dans des conditions naturelles (si le bassin versant était entièrement situé en zone forestière).

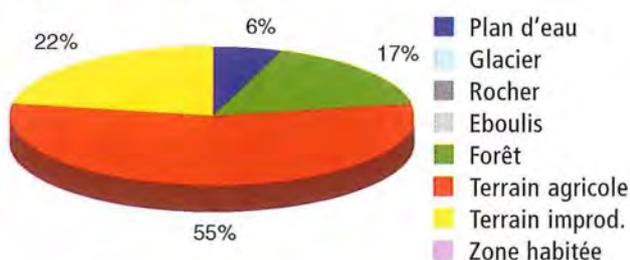
Température / mélange des eaux

L'étang de la Marnière étant peu profond – son maximum est de 3.1 m – des vents faibles suffi-

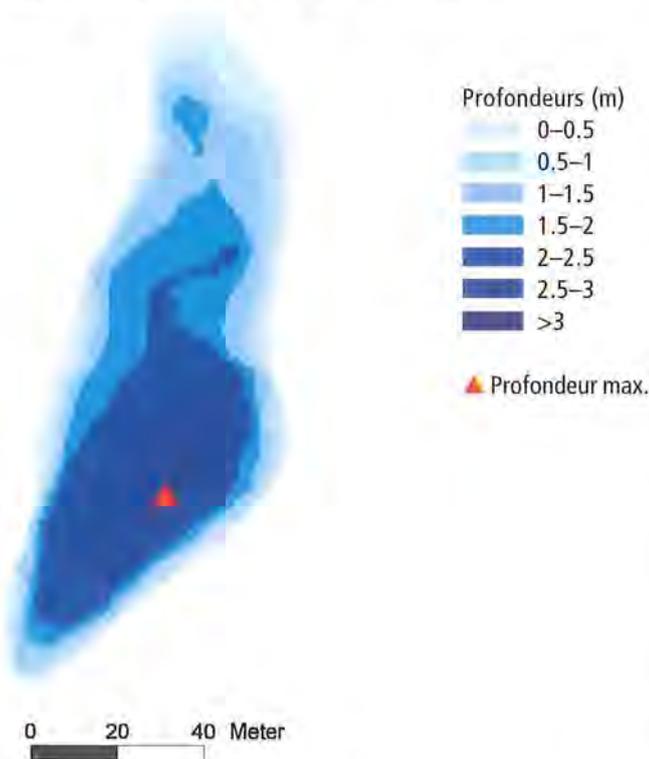
Bassin versant (bv)

| | |
|----------------------------------|----------|
| Superficie du bv topographique: | 18.59 ha |
| Altitude maximale du bv topogr.: | 1089 m |
| Altitude moyenne du bv topogr.: | 1056 m |

Répartition des surfaces



Carte bathymétrique La Marnière



sent à faire circuler le corps aquatique. Ce phénomène peut se produire même en été, lorsque la stratification des lacs profonds est extrêmement stable,

ce qu'a révélé le profil profond du 9 juillet 1996 (données de LACHAVANNE ET AL. 1998). Tous les paramètres, et surtout la température, ne varient que peu. Quant

au profil du 25 janvier 1997 (LACHAVANNE ET AL. 1998), il fait état d'une zonation verticale inverse (de l'eau de 2 °C «flotte» sur celle, plus lourde, de 4 °C). La faible profondeur et la stratification instable qui en résulte n'empêchent pas une forte consommation d'oxygène dans les basses couches, signe certain d'une production intense de biomasse et d'un état hyper-eutrophe. Par moments, les conditions peuvent même être limitatives pour les poissons et les invertébrés très exigeants en matière d'oxygène. La concentration de ce dernier était inférieure à 3.5 mg/l à tous les points de mesure le 25 janvier 1997.

Plancton

Les flagellés (15 taxons) et les algues vertes (34 taxons) représentent plus de la moitié des espèces de phytoplancton, confirmant les résultats chimiques et physiques. L'étang est **hyper-eutrophe**. En outre, la surfertilisation est assortie d'une grande

diversité, puisqu'un échantillon a permis à lui seul de répertorier 95 espèces d'algues. Le zooplancton était assez bien représenté au niveau des espèces (7) et très bien sur le plan de la densité. La majorité était des indicateurs d'eaux eutrophes.

Flore

Les études floristiques ont identifié cinq espèces, dont une majorité (3) sont des indicateurs de nutriments.

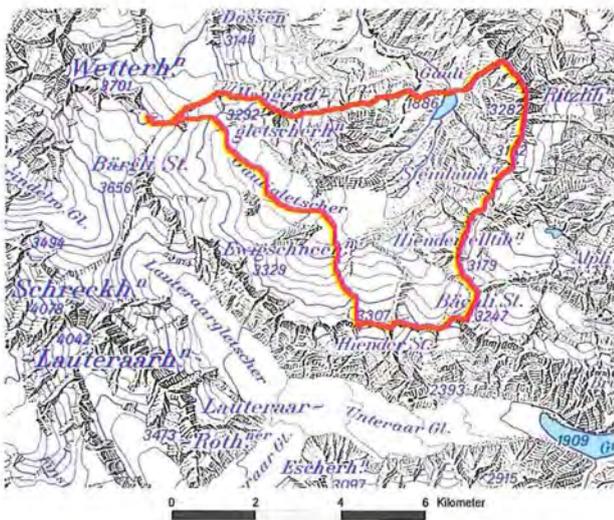
Faune

Selon les indications de l'association locale de pêcheurs, trois espèces de poissons vivent dans l'étang: la carpe, le gardon et la tanche. Entrepris autrefois, les essais d'introduction de la truite de rivière ont échoué, probablement en raison de la mauvaise adaptation de cette espèce aux manques périodiques en oxygène (communication personnelle de G. MATHEZ, Les Reussilles).

Mattenalpsee

oligotroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1230
 661 004 / 164 629
 1874 m ü.M.
 18.64 ha

Geschichte, Hydrologie

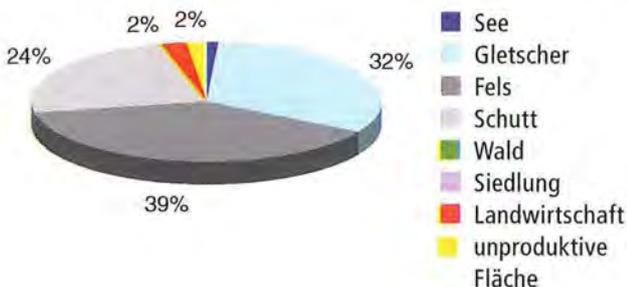
Unmittelbar südlich des vom Hangendgletscherhorns östlich abfallenden Telligrates liegt der Mattenalpsee im Urbachtal, 8 km südlich von Innertkirchen. Er ist künstlichen Ursprungs. Sein Einzugsgebiet besteht aus kristallinem Fels und Schutt und ist zu rund einem Drittel von Gletschereis bedeckt. Die Wasser seiner rund 13 Zuflüsse werden im Staubecken gesammelt (2 Mio. m³) und am nördlichen Ende durch einen Stollen zur Zentrale Handeck II der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) geleitet (BENELLI 1990). Im Urbach, der das Tal entwässert und etwas oberhalb von Innertkirchen in die Hasli-aare mündet, herrschen Restwasserbedingungen. Durch den geplanten Ausbau Grimsel-West würden die Zuflüsse des Mattenalpsees aus dem Gaulgebiet gefasst und direkt in den Grimselsee geleitet (BENELLI 1990). Auf diese Weise könnte eine grössere Höhendifferenz

für die Energieproduktion genutzt werden. Die Strecke, auf welcher der Urbach Restwasser führt, würde sich durch diesen Eingriff noch weiter nach oben ausdehnen. NEF (1992) konnte im Oktober bei sehr trübem Wasser und der geringen Oberflächentemperatur von 5.2 °C kein Phytoplankton nachweisen. Die Trübung und die geringe Produktion deuten auf einen **oligotrophen** Seezustand hin. Die starke Trübung und die Wasserspiegelschwankungen von mehr als 14 m verunmöglichen Wasser- und Sumpfpflanzen eine Besiedlung des Sees und seiner Ufer. Die regelmässig ausgesetzten Bachforellen scheinen dagegen trotz des mageren Futterangebotes zu überleben. Allerdings ist der jährliche Fangtrag mit 1 bis 41 Bachforellen sehr bescheiden (FISCHEREI-INSPEKTORAT 1990–1997). Dies dürfte eine Folge der sehr schwachen Befischung sein (MARRER 1998).

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 2443.06 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3571 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2567 m ü.M.

Flächenanteile



Meienfallseeeli

mesotroph

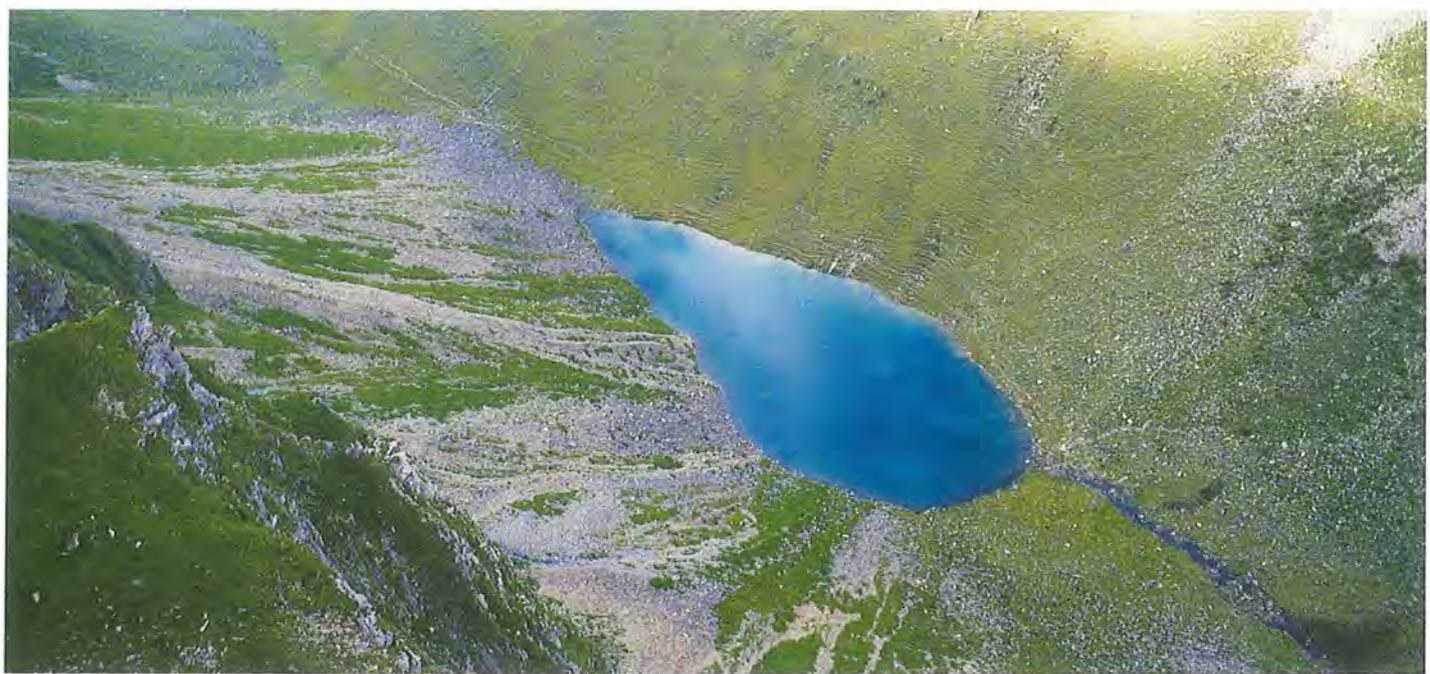
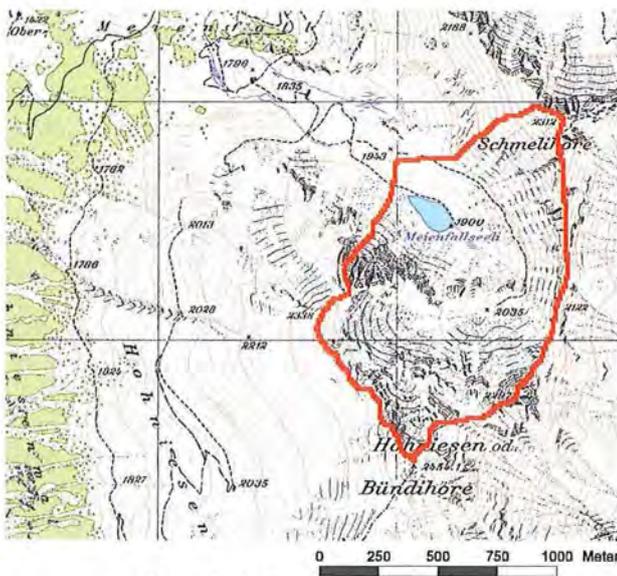


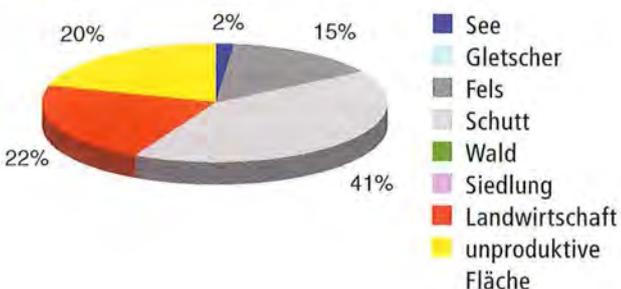
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 97.43 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2445 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2106 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1227
 611 158 / 159 532
 1900 m ü.M.
 1.52 ha

Geschichte, Hydrologie

Das am Osthang des Diemtigtals, 4.7 km westlich von Frutigen gelegene Meienfallseeeli ist natürlichen Ursprungs. Der Untergrund des topographischen Einzugsgebietes ist sehr kalkreich. Neben den steileren Fels- und Schutthängen wird in den flacheren Partien des Einzugsgebietes Vieh gesömmert. Unmittelbar oberhalb des Seeleins quert der einzige Zufluss eine kleine Sumpfwiese. Der See besitzt keinen oberirdischen Abfluss.

phischer Kriterien vermuteten tiefsten Stelle wurde ein Eisloch gebohrt. Anhand der dort durchgeführten Tiefenlotung kann mit Sicherheit gesagt werden, dass der Kleinsee 2.5 m oder tiefer ist. Die effektive Maximaltiefe hingegen ist nicht bekannt. Direkt unter dem Eis wurde eine Wassertemperatur von 0.2 °C gemessen. In 2.5 m Tiefe, über Grund erreichte die Temperatur 2.0 °C.

Temperatur / Mischverhalten

Die Probenahme erfolgte Ende März, als der See noch vollständig von Eis und Schnee bedeckt war. An der auf Grund topogra-

Produktivität / Trophiegrad

Die Nährstoffgehalte und der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) waren unter dem Eis extrem niedrig. Einzig der Gesamtstickstoffgehalt war leicht erhöht. Gesamthärte und Leitfähigkeit wiesen typische Werte für einen

See mit kalkreichem Einzugsgebiet auf.

Das Wasser unter dem Eis erreichte Ende März 1997 immer noch eine Sauerstoffsättigung von 94%. Über Grund nahm diese auf 71% ab. Im Januar 1989 wurde in einer Probe des bodennahen Wassers nur noch eine Sättigung von 45% festgestellt (ZSCHALER 1989), was auf **mesotrophe** Bedingungen hinweist. Es ist anzunehmen, dass je nach Dauer der Eisbedeckung der Sauerstoffvorrat über Grund stärker oder schwächer aufgezehrt wird.

Die Färbung des Sedimentstichs war auf der gesamten Länge ähnlich hell. Da sich die einzelnen dunklen Streifen bei Sauerstoffzutritt im Labor nicht hell verfärbten, ist davon auszu-

gehen, dass es sich um dunkle Gesteinsfraktionen handelt und nicht um anaerobe, organische Ablagerungen. Eine längerdauernde sauerstofffreie Phase über Grund ist deshalb an der Probe Stelle eher unwahrscheinlich. Über die Verhältnisse an der effektiv tiefsten Stelle (Nährstoff- und Sauerstoffgehalt, Plankton und Sediment) sind auf Grund der Probenahme-Methodik keine Aussagen möglich. Eine Beurteilung des Trophiegrades ist deshalb unsicher.

Plankton

Unter dem Eis war das Phytoplankton mit 41 Taxa relativ artenarm und von geringer Dichte. Es setzte sich hauptsächlich aus

Kiesel-, Gold-, Blau- und Grünalgen zusammen. Nur eine sehr kleine Grünalgenform (Pikoplankton) trat massenhaft auf. Es wurde auch ein Vertreter der Augenflagellaten festgestellt, die üblicherweise Gewässer mit einer gewissen Nährstoffbelastung bevorzugen. Das Plankton deutet auf einen **mesotrophen** Zustand des Gewässers hin.

Im Zooplankton fanden sich zwei Arten, wovon eine als Zeiger oligotropher Gewässer gilt. Die Dichte des Zooplanktons war ebenfalls gering.

Flora und Fauna

Das Seelein und seine sumpfige Umgebung bieten Lebensraum für Grasfrosch und Bergmolch.

Auch Insekten wie Libellen sind gut vertreten.

1989 wurden im See Flohkrebse und eine Käferart aus der Gruppe der Schnellschwimmer gefunden (ZSCHALER 1989). Da Flohkrebse abgestorbenes, pflanzliches Material als Nahrung dient und die Ufer des Sees nicht von Laubbäumen und Sträuchern bestanden sind, ist eine untergetauchte Wasserpflanzenvegetation sehr wahrscheinlich. Zudem können Pflanzenreste aus dem Sumpf oberhalb des Sees in den See geschwemmt werden. Zweimal wurde versucht, Fische anzusiedeln, beide Male waren sie nach dem Winter verschwunden.

Mühliguetweiher

meso-eutroph



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|--------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1107 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 606 553 / 239 472 |
| Höhe Seeoberfläche | 765 m ü.M. |
| Seefläche | 0.59 ha |
| Maximaltiefe | 2.8 m |
| Seevolumen | 5862 m ³ |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Mühliguetweiher liegt im Berner Jura im nordöstlichsten Zipfel des Kantons Bern, 11 km nördlich von Solothurn. Er wurde 1994 im europäischen Jahr der Natur durch den Landbesitzer geschaffen, indem an der engsten Stelle des Tales ein Damm errichtet wurde. Der Bach (Le Gabiare) wurde am linken Seeufer vorbeigeleitet und hat keine direkte Verbindung zum See. Bei Hochwasser kommt es vor, dass Wasser des Baches durch den Damm in den See infiltriert. Im wesentlichen wird der See durch mehrere unterirdische Quellen gespeist. Die Orte der Quellaufstöße bleiben im Winter am längsten eisfrei. Der Abfluss mündet am unteren Ende des Sees in den Bach. Für Notfälle existiert eine Einrichtung zum Ablassen des Wassers.

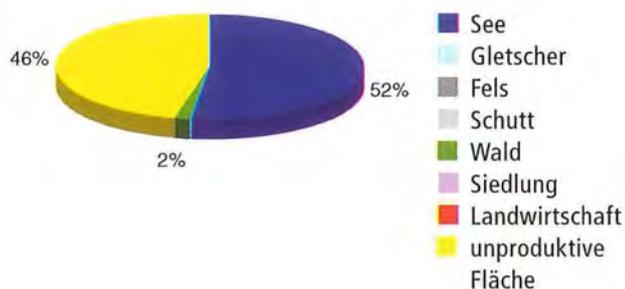
Produktivität / Trophiegrad

Die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser war am 27.11.1997 zwar gegenüber der Oberfläche etwas geringer, von einer eigentlichen Sauerstoffzehrung kann jedoch nicht gesprochen werden. Die gute Sauerstoffversorgung dürfte primär mit den kalten Wintertemperaturen und dem damit verbundenen geringen bakteriellen Abbau zusammenhängen. Auf Grund der im Winter gemessenen Nährstoffgehalte ist der See als oligo- bis mesotroph einzustufen. Diese stellen aber eine momentane Situation dar. Zur besseren Beurteilung des Trophiegrades sind weitere Kriterien beizuziehen, vor allem solche, die den Zustand über längere Zeit integrieren. Der Sedimentkern ist an der Oberfläche deutlich dunkel gefärbt, ein Hin-

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 2.22 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 854 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 787 m ü.M. |

Flächenanteile



weis auf zeitweise anaerobe Bedingungen im Tiefenwasser und daher eher eutrophe Verhältnisse.

Temperatur / Mischverhalten

Während der Probenahme war der See mit einer dünnen Eisschicht bedeckt. Unter dem Eis waren Ansätze einer inversen Schichtung (Tiefenwasser wärmer als an der Oberfläche) erkennbar. Die Temperaturdifferenz war jedoch mit 1 °C sehr gering und die Schichtung entsprechend labil. Nach dem Auftauen des Eises genügt ein schwacher Wind, um den See zum Zirkulieren zu bringen. Auf

Grund seiner geringen Tiefe ist anzunehmen, dass im Mühlguetweiher Windereignisse geringerer Stärke eine Zirkulation herbeiführen können.

Plankton

Im Unterschied zu den Resultaten der wasserchemischen Untersuchungen gibt die Zusammensetzung des Planktons mehrere Hinweise auf eine mässige Nährstoffbelastung: Schwefelbakterien (*Chlorobium sp.*) weisen darauf hin, dass es im Mühlguetweiher Stellen mit anaeroben Bedingungen gibt. Beinahe die Hälfte des Phytoplanktons setzt sich aus Augenflagellaten (3 Taxa) und Grünalgen (12 Taxa)

zusammen, welche nährstoffreichere Gewässer bevorzugen. Auch im Zooplankton kommen zwei nährstoffliebende Arten vor. Unter Beurteilung von Chemie, Plankton und Sediment muss der Mühlguetweiher als **meso- bis eutroph** beurteilt werden.

Flora

Im Rahmen der winterlichen Probenahme wurden zwei Pflanzenarten festgestellt. Zur floristischen Beurteilung wäre eine sommerliche Probenahme notwendig. Da der Weiher jedoch erst vor kurzem geschaffen worden ist, ist dies nicht sinnvoll. Die momentane Artenzusammen-

setzung gibt viel mehr Hinweise auf die Bepflanzung beim Bau des Weihers als über dessen Ökologie.

Fauna

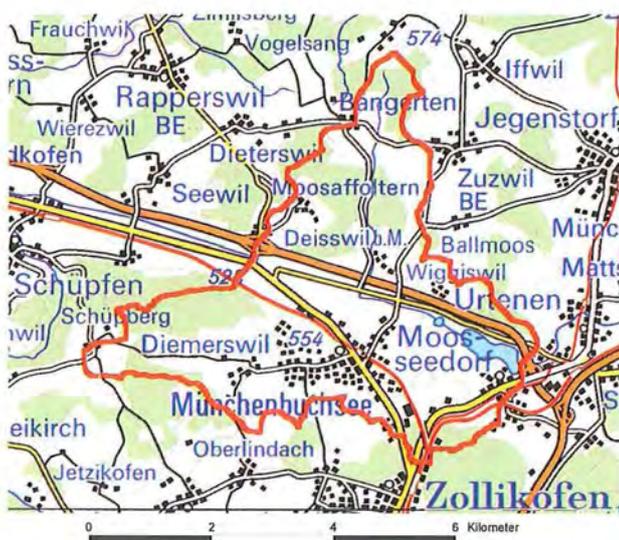
Auch die Besiedlung mit Fischen widerspiegelt die menschlichen Aktivitäten: Die Fauna setzt sich aus standortfremden Arten zusammen, welche auf Grund der fischereilichen Bedeutung (Hecht, Bachforelle, Karpfen) oder ihrer Rolle als Futterfische für den Hecht (Rotauge) eingesetzt wurden. Der Mühlguetweiher ist ein Laichhabitat für Grasfrosch und Erdkröte.

Moossee

eutroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1147
 602 994 / 207 917
 521 m ü.M.
 30.35 ha
 21.1 m
 2 950 858 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

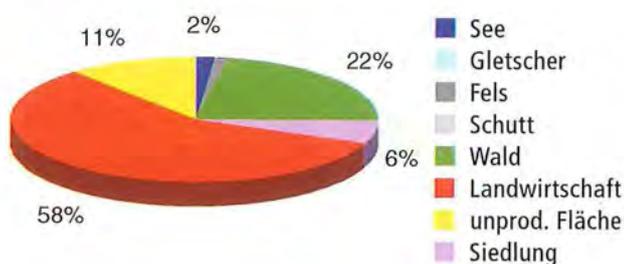
Der grosse Moossee liegt 8 km nördlich von Bern. Während der Eiszeit wurde das Gebiet des Moosseetals zuerst durch den Aaregletscher, später durch den viel grösseren Rhonegletscher überdeckt. Der Rückzug des Rhonegletschers nach der Würm-Eiszeit fand nicht kontinuierlich statt, sondern erfolgte im Wechsel von Ausbreitungs- und Rückzugsphasen. Dadurch entstand der mächtige Moränenwall zwischen Schönbühl und Urtenen, hinter welchem sich ein grosser See aufstaute. Seine Ausdehnung war ursprünglich mehr als zehnmals grösser als heute, wie aufgrund von Seekreideschichten in Bohrprofilen festgestellt werden konnte (VON BÜREN 1943). Durch Verlandung hat sich die Fläche sukzessive verkleinert.

Es werden zwei Verlandungsarten beschrieben: Einerseits vermindert sich die Tiefe des Sees durch biogene Entkalkung (siehe Lobsigensee). Durch diese Kalkausfällungen können sich Seekreidebänke von grosser Mächtigkeit bilden. Andererseits lagern sich, besonders im Uferbereich, grosse Mengen pflanzlichen Materials ab. Diese Pflanzenreste werden im ruhigen, sauerstoffarmen Milieu nicht oxidiert (zersetzt), sondern bilden Torf unter Anreicherung von Kohlenstoff und Huminsäure. Diese Auflandung schreitet vom Ufer her konzentrisch zur Seemitte hin voran (VON BÜREN 1943). Auf diese Weise ist im Verlauf der letzten 15 000 Jahre ein beachtliches Mooregebiet entstanden. Durch die Übernutzung der Wälder im 18. Jahrhundert stieg das Interesse an der Torfausbeu-

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 2081.24 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 256 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 685 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 569 m ü.M.

Flächenanteile



tung. Das Moosseeal eignete sich durch seine zum Teil über 3 m mächtigen Torflager besonders gut für den Torfabbau. Um das Gebiet zu entsumpfen, musste der Seespiegel abgesenkt werden. Dies war nicht einfach, da der Seeabfluss, die Urtenen, damals der **Wasserkraftnutzung** diente. Er wurde zum Betrieb einer Säge und Öle am Stalden in Urtenen aufgestaut. Unmittelbar unterhalb wurde das Wasser abermals gefasst und in einen Seitenkanal ausgeleitet, um die Mühle in Urtenen zu betreiben (RUFER 1954). Schon damals bestanden am Moossee **Nutzungskonflikte**, welche 1780 zugunsten der Obrigkeit und der Bauern entschieden wurden. Dem Besitzer der Säge und Öle wurde eine Entschädigung zum Abbruch des Damms und des Werks bezahlt. Damit war der Weg geebnet für die Absenkung um 2.35 m. Daraufhin setzten grosse Entsumpfungsarbeiten im Einzugsgebiet der Urtenen ein, gefolgt von intensiver Torfausbeutung in dessen östlichem Teil. Im westlichen Teil begannen die Bauern den Boden zu bearbeiten, so dass er sich mit der Zeit für den Anbau von Getreide und Hackfrüchten eignete. Die Fruchtbarkeit hielt aber nicht lange an, da sich der Boden nach erfolgter Entwässerung zunehmend setzte. So wurde das Landwirtschaftsgebiet immer unbrauchbarer, da das Grundwasser zunehmend schlechter abfloss und Hochwasser immer häufiger auftra-

ten. Durch den intensiven Torfabbau versumpfte auch das östliche Gebiet des Moosseeals erneut. Eine zweite Melioration und damit eine **zweite Seeabsenkung** drängte sich auf. Der Zuführungskanal zur Mühle Urtenen (die zweite Wasserkraftnutzung unterhalb des Moossees) wurde abgebrochen und das Wasserrad der Mühle tiefergelegt. Dadurch war es möglich, den See 1856 um weitere 2.40 m abzusenken. Anschliessend wurden in einem Grossprojekt die Urtenen kanalisiert und durch das Anlegen von Seitenkanälen die «Möser» von Schönenbrunnen bis Mattstetten entsumpft. Durch den Eingriff wurden die bis über 3 m mächtigen Torflager nutzbar, und es entstanden grosse Flächen besten Ackerlandes. Als Folge der Absenkung rutschte jedoch die Seelandstrasse auf einer Länge von mehreren 100 Fuss in den Moossee, und in Moosseedorf versiegten mehrere Sodbrennen. Das Land setzte sich infolge Wasserentzug und Zutritt von Sauerstoff weiter. Dies trug, zusammen mit der Torfausbeutung, welche bis um 1920 andauerte, zur abermaligen Vernässung des Gebietes bei. Eine weitere Melioration wurde beschlossen. Um 1919 wurde der Seespiegel des Moossees um weitere 90 cm und die Urtenen zwischen dem kleinen und dem grossen Moossee um 60 cm abgesenkt. Dieser Eingriff war, verglichen mit den Veränderungen in den beiden

vorangegangenen Jahrhunderten, verhältnismässig gering. Die Veränderungen im Einzugsgebiet und im Bereich des Ausflusses waren jedoch sehr tiefgreifend: Der Urtenenkanal oberhalb der Moosseen wurde um bis zu 2 m tiefer gelegt. Durch diese Massnahme verringerte sich das Gefälle sehr stark. Um eine Abführung der Schwabestoffe auch unter diesen Umständen zu gewährleisten, wurde der Kanal in Beton-Halb-schalen geführt. Dieselbe Verbaueungsart wurde auch für den Seeabfluss bis hinunter nach Schönbühl gewählt. Fast sämtliche damals bestehenden natürlichen Wasserläufe, Kanäle und grossen Drainage-Sammelleitungen wurden «geschlossen geführt», das heisst eingedolt. So wurde auch der Hofwilbach, welcher zuvor nach zahlreichen Windungen in den kleinen Moossee mündete, 1918 gefasst. Das Wehr am Seeauslauf stammt ebenfalls aus dieser Zeit. Die Mühle in Urtenen fiel diesem Eingriff endgültig zum Opfer. Durch diese dritte Melioration konnten insgesamt 220 ha Land drainiert werden, dazu wurden 107.6 km Leitungen verlegt. Die Veränderung der Landschaft durch diesen Eingriff muss enorm gewesen sein. Die ökologischen Folgen ziehen sich wie ein roter Faden durch Limnologie, Fauna und Flora des Sees.

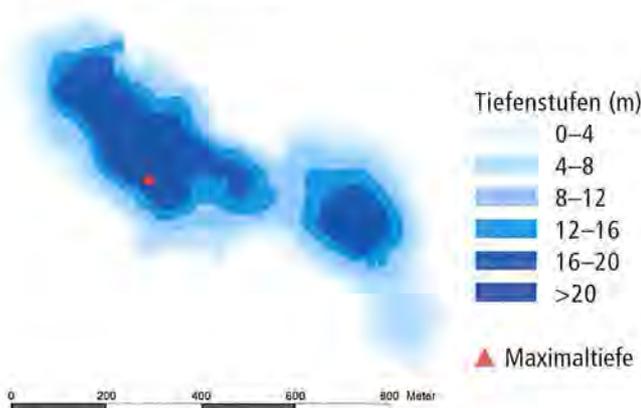
Der Hauptzufluss des Moossees ist die Urtenen, welche zuvor den kleinen Moossee durchfliesst. Daneben erreichen drei kleine Zuflüsse den See von Süden her. Alle drei flossen noch 1941 in kiesigem Bett, gesäumt von Röhricht und Hochstaudenfluren, in etwa 200 m langem Lauf dem See zu (VON BÜREN 1943). Sie wurden später eingedolt und verlassen heute die Röhren erst wenige Meter vor dem See. Der Abfluss im Seeauslauf schwankte im Zeitraum von Juli bis Dezember 1988 zwischen 94 und 588 l/s, der Mittelwert dieser Periode lag bei 193 l/s (GSA 1989). Die theoretische Aufenthaltszeit des Wassers im Moossee beträgt somit 177 Tage (GSA 1989).

Produktivität / Trophiegrad

Der Moossee ist einer der **natürlicherweise eutrophen** Mittelalandseen (BINDERHEIM-BANKAY 1998). Die Bestimmung des aktuellen trophischen Zustandes fällt je nach Beurteilungskriterium unterschiedlich aus: Beurteilt nach der Gesamt-Phosphorkonzentration liegt der Moossee im Grenzbereich zwischen meso- und eutroph.

Nach dem Sauerstoffgehalt beurteilt, war der Moossee schon zwischen 1938 und 1941 hoch eutroph (VON BÜREN 1943). Im Vergleich zu damals haben die Zehrungsprozesse heute sogar noch zugenommen. Während in den dreissiger Jahren die Sauerstoffsättigung mit einer Ausnahme (6.5%) nie unter 9% sank, kann heute während eines beachtlichen Teils des Jahres (Juni bis Oktober 1997) in Tiefen von mehr als 12 m kein Sauerstoff mehr gemessen werden. Der Nachweis von 0.36 mg/l Sulfid in 20 m Tiefe im Oktober 1997 und sehr hohe Ammoniumkonzentrationen zeigen zudem auf, dass ein beachtliches Sauerstoffdefizit existiert. Die Konzentrationen an Chlorophyll a weisen auf eine hohe Primärproduktion hin. Auch das schwarz gefärbte, anaerobe Sediment (Abbildung) ist eine Folge der hohen Primärproduktion und der damit verbundenen Sauerstoffzehrung im Hypolimnion, ein deutliches Merkmal eines **eutrophen** Sees. Tiefere Sedimentschichten dagegen sind hell gefärbt, was bedeutet, dass die Belastung des Seegrundes mit organischem Material in früheren Zeiten noch nicht so stark war und auch das Wasser über dem Sediment noch mehr Sauerstoff enthielt. Dieser Befund deckt sich mit früheren Erhebungen (VON BÜREN 1943) und ist ein Hinweis, dass die Überdüngung des Sees infolge Intensivierung der Landwirtschaft seit 1941 zugenommen hat. Die Verbesserungen im Zusammenhang mit der Abwassersanierung in den siebziger Jahren sind in den obersten Sedimentschichten als

Tiefenkarte Moossee



hellere Zone erkennbar. Der Bau der Autobahn am Nordufer dürfte für den lehmigen Horizont bei etwa 10 cm verantwortlich sein (Abbildung).

Die Diskrepanz zwischen der Beurteilung nach chemischen und biologischen Parametern kann durch die spezielle Situation des Sees erklärt werden: Erstens ist das Einzugsgebiet im Vergleich zur Seefläche sehr gross, was in der kurzen Wasser-aufenthaltszeit zum Ausdruck kommt. Daraus ergibt sich eine hohe flächenspezifische Nährstoffbelastung, das heisst, der Planktonproduktion wird durch die grosse zufließende Wassermenge immer ausreichend Nährstoff nachgeliefert. Zweitens wird aufgrund der speziellen Morphologie des Seebeckens (das Epilimnion ist etwa siebenmal grösser als das Hypolimnion) die im riesigen Epilimnion gebildete Algenmasse im kleinen Hypolimnion abgebaut. Bereits eine relativ geringe Primärproduktion reicht aus, um dort zu einem Sauerstoffdefizit zu führen.

Temperatur / Mischverhalten

Der Moossee ist ein typisches Beispiel für einen **dimiktischen** See. Das Zirkulationsverhalten hat VON BÜREN (1943) umfassend beschrieben: Im Frühjahr und Sommer besteht eine stabile Temperaturschichtung. Durch die herbstliche Abkühlung der oberen Wasserschicht setzt von oben nach unten fortschreitend Teilzirkulation ein, welche allmählich den ganzen Seekörper erfasst (Herbst-Vollzirkulation). Diese dauert in der Regel nur kurze Zeit und geht, sobald sich das Oberflächenwasser unter 4 °C abkühlt, in eine inverse Schichtung über. Diese ist sehr instabil und kann durch ein starkes Windereignis bei offener Wasserfläche in Zirkulation übergehen. Setzt Eisbildung ein, was in der Regel in jedem Jahr der Fall ist, kommt es zur Winterstagnation. Nach dem Auftauen des Eises setzt rasch eine

Erwärmung der obersten Wasserschicht ein, und es kommt zur Frühjahrs-Vollzirkulation. Im Unterschied zur Herbstzirkulation ist die Mischphase im Frühjahr intensiver und der Sauerstoffeintrag entsprechend grösser. Dies ist auch der Grund, warum das Wasser im Verlauf des Winters untersättigt ist und die Sauerstoffsättigung erst nach der Frühjahrszirkulation einsetzt. Diese Aussagen basieren auf Daten aus den Jahren 1938 und 1941 (VON BÜREN 1943) und werden durch aktuelle Untersuchungen sehr gut bestätigt.

Plankton

Das Phytoplankton des Moossees ist sehr variabel in Artenzahl, Zusammensetzung und Dichte. Es wurden zwischen 32 und 112 taxonomische Einheiten festgestellt. In vier quantitativen Probenahmen im Jahr 1995 dominierte jedesmal eine andere Familie: Februar: Goldalgen, Mai: Kieselalgen, Juli: Blaualgen, September: Cryptomonaden. Auch die Biomasse schwankte zwischen 0,4 und 6,3 g/m³. Dies verdeutlicht die grosse Dynamik, die in einem Kleinsee steckt. Das Vorkommen mehrerer Augenflagellaten-Arten und die Dominanz der Grünalgen in Artenzahl und Biomasse charakterisiert den Moossee ganz klar als eutroph. Auch die langzeitliche Dynamik ist dokumentiert: NEF (1986) bestimmte zwischen 1976 und 1985 Biomasse und Artenzusammensetzung des Phytoplanktons im Seeabfluss. In diesem Zeitraum haben ein starker Biomassenrückgang und eine relative Zunahme des Winteranteils stattgefunden. Die Produktion ging also zurück und verteilte sich gleichmässiger übers Jahr. In den untersuchten 10 Jahren haben die Grünalgen deutlich abgenommen, während die Kiesel- und Blaualgen anteilmässig stark zulegten.

Das Zooplankton gibt ein etwas weniger deutliches Bild über den Trophiegrad des Moossees: Es

ist mit 12 Taxa sehr artenreich und setzt sich aus zwei Zeigerarten für oligotrophe, einem für oligo-mesotrophe, zwei für mesotrophe und vier für eutrophe Gewässer zusammen. Das Vorkommen von Larven der Büschelmücke war schon früher (VON BÜREN 1943) ein deutlicher Hinweis für Sauerstoffmangel im Hypolimnion und damit für Eutrophie. Diese Art spielt auch heute noch eine wichtige Rolle für den Betrieb der Fischzucht in Moosseedorf. Mit grossen Planktonnetzen werden sie gefischt und den Jungfischen verfüttert (pers. Mitt. R. BACHOFNER).

Flora

Früchte, Pollen und Pflanzenteile im Seesediment geben Aufschluss über die pflanzliche Besiedlung während der Jungsteinzeit. Heute ausgestorbene Arten wie Wassernuss, zusammengesetztes Laichkraut oder Fluss-Hahnenfuss (*Ranunculus fluvialis*) deuten auf das milde Klima zu dieser Zeit hin. Andere Arten (Armleuchteralgen, durchwachsenes Laichkraut) geben zudem einen Hinweis, dass der See damals oligo- bis mesotroph war. Dies steht scheinbar im Widerspruch zu der Beurteilung des Moossees als natürlich eutroph. Bezieht man aber den Verlandungsprozess in die Überlegung mit ein, wird klar, dass der See früher oligotroph gewesen sein muss: Erstens war die Seefläche damals viel grösser als heute, während das Einzugsgebiet mehr oder weniger der heutigen Situation entsprach. Die flächenbezogene Nährstoffbelastung nach PRASUHN & BRAUN (1994) war folglich bedeutend niedriger. Zweitens war die Tiefe des Sees damals grösser und damit das Verhältnis zwischen Epilimnion und Hypolimnion günstiger (VON BÜREN 1943). Es dauerte damals viel länger, bis dem Tiefenwasser der Sauerstoff entzogen wurde. Ausserdem pufferten damals riesige Verlandungsgebiete die Nährstoffzufuhr.



Diese Verlandungsgebiete sind durch die drei Meliorationen bis auf sehr kleine Restbestände am Nord- und Ostufer verschwunden (AGB & NATURAQUA 1991). Die grössten floristischen Einbussen fanden jedoch nach der letzten Melioration statt. Als Folge der Intensivierung der Landwirtschaft und der Bewirtschaftung bis unmittelbar an das Seeufer gehören Gross- und Kleinseggenried sowie Pfeifengraswiese der Vergangenheit an. Auch die Existenz einer Laichkrautzone fand wegen der fortschreitenden Überdüngung des Sees zwischen 1940 und 1989 ein Ende. Von ursprünglich 11 Pflanzengesellschaften überlebten nur deren fünf bis 1989. Im Vergleich zur Jahrhundertwende hat die Verlandungsvegetation an Vielfalt, Fläche und Qualität sehr grosse Beeinträchtigungen erfahren (AGB & NATURAQUA 1991). Die Artendichte hat stark abgenommen, und unempfindliche Arten haben sich auf Kosten ökologisch anspruchsvoller, seltener Arten ausgebreitet. Die noch bestehende Ufervegetation birgt jedoch ein bedeutendes Regenerationspotential, da sie trotz aller Beeinträchtigungen sehr artenreich ist (AGB & NATURAQUA 1991). Mit Ausnahme der Zeigerarten für Moore und nährstoffarme Gewässer sind die wichtigen Arten vorhanden, aus denen sich die entsprechenden Verlandungsgesellschaften zusammensetzen könnten, wenn der nötige Raum zur Verfügung stehen würde. Diesbezüglich besteht ein klarer Handlungsbedarf, weil die Flora auch auf dem Artniveau weiter verarmt, sofern nicht in den nächsten Jahren der nötige Raum zur Verfügung gestellt wird.

Fauna

Die massive Verarmung an Lebensraum durch die Meliorationen wirkte sich auch auf die Fischfauna aus: Der Aal lebte noch um die Jahrhundertwende im Moossee, kann aber heute wegen zahlreicher Wanderhin-

dernisse den Weg vom Meer in den Moossee nicht mehr zurücklegen. Auch in der Urtenen selbst existieren mehrere Aufstiegs-hindernisse (HYDRA 1995). Die Kleinfischarten Strömer (stark gefährdet), Schneider (gefährdet), Elritze und Bachschmerle, welche zum Teil hohe ökologische Ansprüche an die Ver-netzung mit morphologisch in-takten Fliessgewässern stellen (MESSMER & LEHMANN 1994; SCHWARZ 1998), sind seit der Jahr-hundertwende verschwunden (vergeiche STECK (1893) und MÜLLER (1995)). Die Ursache ihres Verschwindens ist in der Kanali-sierung der Urtenen, der Einle-gung in Beton-Halbschalen und der Eindolung der meisten klei-neren Zuflüsse (HYDRA 1995) zu suchen. Trotz dieser empfind-lichen Einbussen lebt mit dem Bitterling auch heute noch eine stark gefährdete Art im Moos-see, und die Fischfauna ist mit 20 Arten sehr artenreich. Aller-dings kommt diese hohe Zahl unter anderem durch die sieben folgenden Arten zustande, wel-che ursprünglich nicht dort vor-kamen, aber durch Aussetzen, Besatz oder Flucht aus Fisch-zuchten in den See gelangten: Sandfelchen (Herkunft Neuen-burgersee), Regenbogenforelle (Nordamerika), Zander (Nord- und Osteuropa), dreistachliger Stichling (im Alpenraum ur-sprünglich fehlend), Spiegel-karpfen (Zuchtform), Silber- und Marmorkarpfen (Ostasien). Auch auf die Besiedlung mit Amphibien und Reptilien müs-sen die Meliorationen einen verheerenden Einfluss gehabt haben. Lediglich der Teich-frosch konnte 1973 im Moossee nachgewiesen werden. Andere Amphibienarten oder an Verlan-dungszonen angepasste Schlan-gen wurden nicht gefunden. Die europäische Sumpfschildkröte wurde um 1800, etwa 20 Jahre nach der ersten Melioration, zum letzten Mal beobachtet. Auch die Vogelwelt war von den Meliorationen stark betrof-fen. Im Bericht von HESS (1919) befindet sich eine lange Liste von seltenen Arten, welche vor 1900 noch vorkamen und heute

im Gebiet des Moossees nicht mehr angetroffen werden (z.B. Purpurreiher, Nachtreiher, gros- ser Brachvogel, Regenbrach- vogel, rostrote und schwarz- schwänzige Uferschnepfe sowie der dunkle Wasserläufer).

Trotz der nachgewiesenen Ver-armung der Pflanzenwelt ist die Libellenfauna am Moossee reichhaltig. 26 Arten (2 stark gefährdet, 6 gefährdet) konnten zwischen 1981 und 1994 noch nachgewiesen werden. Allerdings ist dem Datenmaterial nichts über Diversität oder Häufigkeit der einzelnen Arten zu entneh-men, woraus Schlüsse auf die Lebensraumqualität eher mög-lich wären.

Gewässerschutz- Problematik / Sanie- rungsmassnahmen

Das Hypolimnion ist während des Sommers ohne Sauerstoff, und für die Fische eignen sich zeitweise nur noch die obersten 5 m als Lebensraum. Algenblü-ten bewirken, dass der See oft trüb und unansehnlich wirkt. Zahlreiche Pflanzengesellschaf-ten sind durch die Überdüngung verschwunden. Um 1940 war er zudem stark durch Abwässer belastet, was sich in Form von Zotten des Abwässerpilzes (*Sphaerotilus natans*) beim Zu-fluss der Urtenen bemerkbar machte (VON BÜREN 1943). 1972 kam es sogar zu einem Fischster- ben im kleinen Moossee. Anschliessend an diese Vorfälle wurde die Fernhaltung von Ab-wässern an die Hand genom-men, verschiedene Kanalisati-onsnetze wurden erstellt, und die meisten Haushaltungen wur-den an die ARA angeschlossen. Zwischen 1972 und 1976 wur-den 6628 Algenkarpfen ver-suchsweise in den See ein-gesetzt (MÜLLER 1995). Man erhoffte sich, dass diese Algen-fresser die grossen Phytoplank-tonmengen verwerten würden, das Wasser dadurch klarer wür-de und die Sauerstoffzehrung im Hypolimnion zurückginge. Der Versuch fand jedoch gleichzeitig mit technischen Gewässer-

schutzmassnahmen im Einzugs- gebiet statt, so dass der Einfluss des Fischbesatzes auf die Gesun-dung des Sees nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte (MÜLLER 1995).

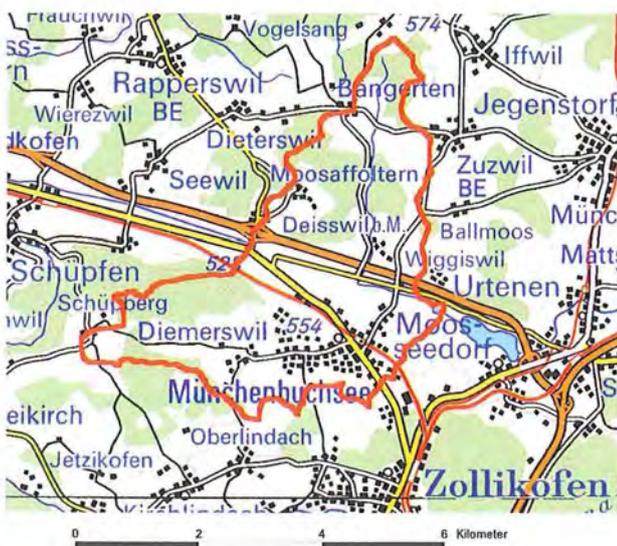
Durch den Bau der Autobahn und den Bevölkerungszuwachs in der Region nahm der Abwas-seranfall stark zu. Zwei grosse Hochwasserentlastungen mün-den in die Urtenen direkt unter- halb des grossen Moossees. Sie dienen dazu, die Kanalisation bei Regenwetter von überschüs-sigem Abwasser zu entlasten und dieses in den Vorfluter abzu-leiten. Auf diesem Weg gelangt zeitweise ungeklärtes Abwasser in die Urtenen. Bei den meisten Regenereignissen führte dies wegen der geringen Abfluss- kapazität der Urtenen zu einem Rückstau, so dass ein Teil dieses Abwassers zurück in den Moos-see floss. Da der Ausfluss direkt beim Strandbad liegt, kam es zu einer Verseuchung mit Fäkal- bakterien, welche Tage bis Wo-chen nach dem Regenereignis andauern konnte. Im Sommer 1987 wurde ein Badeverbot aus- gesprochen und das Strandbad vorsorglich geschlossen (GSA 1989). Zwei Jahre später lag eine Studie zur Sanierung des Pro-blems vor (GSA 1989). Die Erneuerung des Wehrs am See- auslauf war die erste Sofort- massnahme zur Verhinderung des Rückflusses ungeklärter Ab- wässer in den See. Auch der Bau eines Regenüberlaufbeckens (Rückhalt des Abwassers bei Re- genereignissen und spätere Ein- leitung in die Kanalisation), die Sanierung des Kanalisationsnet- zes, das Erstellen eines generel- len Entwässerungsplans (GEP) und die Erhöhung der Abfluss- kapazität der Urtenen gehören zum Massnahmenplan. Die ganze Sanierung der Abwasser- situation ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Eine nach- haltige Gesundung des Sees ist jedoch ohne Massnahmen im Einzugsgebiet, insbesondere Verringerung des Eintrages von Düngern, nicht möglich.

Chli Moossee

eutroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1146
 602 350 / 208 386
 521 m ü.M.
 1.71 ha
 2.5 m
 21 835 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

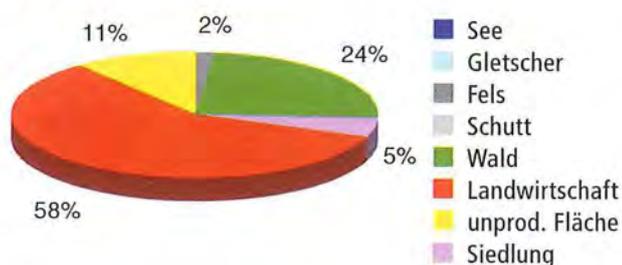
Der kleine Moossee, der nach dem südwestlich gelegenen Weiler auch Hofwilersee genannt wird (VOGT 1941), liegt im Urtenental, 8 km nördlich von Bern. Die Entstehungsgeschichte verlief weitgehend parallel zu derjenigen des 400 m flussabwärts gelegenen grossen Sees. Die Trennung in zwei Becken muss schon in der Jungsteinzeit abgeschlossen gewesen sein, was VOGT (1941) aus Pfahlbauersiedlungen zwischen den beiden Seen schliesst. Allerdings ist davon auszugehen, dass bei jedem Hochwasser die beiden Seen zu einer grossen Fläche vereint wurden (VOGT 1941). Schon seit langer Zeit ist der kleine Moossee stark am Verlanden. Diese Entwicklung wurde durch den Menschen zusätzlich beschleunigt:

Grosse Mengen an Nährstoffen und organischem Material gelangten aus den Landwirtschaftsböden via Urtenen in den See. Zudem wurden die Abwässer von Münchenbuchsee anfänglich ungeklärt via Urtenen in den See geleitet. Abwasserpilz-Fladen und Algenpolster zeugten von dieser starken Belastung (VON BÜREN 1943). Die Nährstoffe wurden durch Wasserpflanzen und Algen genutzt. Die grosse Menge der jährlich entstandenen Biomasse starb ab und wurde teilweise flussabwärts transportiert. Ein wesentlicher Teil lagerte sich zusammen mit den von der Urtenen mitgeführten Schwebstoffen am Seegrund ab. 1972 kam es zu einem Fischsterben (EMMENEGGER 1972). Die Situation verbesserte sich zwar stark nach dem Bau der ARA Münchenbuchsee. Von den intensiv genutzten Landwirt-

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 1605.3 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 19 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 685 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 575 m ü.M.

Flächenanteile



schaftsflächen gelangten jedoch nach wie vor grosse Frachten an Nährstoffen und Feinsedimenten in den kleinen See. Durch Ausbaggerungen in den Jahren 1955 (DE MONACO 1993) und 1978/79 (AEBERHARD 1979) sollte er vor einer weiteren Verlandung bewahrt werden.

Der kleine Moossee ist im Gegensatz zu dem grossen weitgehend unbeeinflusst durch Freizeitaktivitäten. Schon 1928 wurde das Gebiet mit einem Jagdverbot belegt, und nachdem das Fischereirecht aufgekauft worden war, wurde auch die Fischerei eingestellt. Durch den Bau einer Ringleitung konnte verhindert werden, dass Meteorwasser von der Autobahn in die beiden Seen gelangt. Ferner darf das Naturschutzgebiet nicht betreten werden. Auf diese Weise entwickelte sich das Gewässer zu einem wichtigen Habitat für Vögel. Ein Beobachtungsturm erlaubt einer breiten Öffentlichkeit, die Tierwelt ohne Störung zu beobachten. 1954 wurde der Kleinsee unter Naturschutz gestellt. 1979 wurde der Schutzbeschluss angesichts des Autobahnbaus und der Gesamtmelioration neu definiert (AEBERHARD 1979).

Temperatur / Mischverhalten

Der kleine Moossee ist mit 2.5 m Maximaltiefe sehr seicht. Die thermische Schichtung ist gering und eine chemische Schichtung kaum vorhanden (VON BÜREN 1943). Eine stabile Stagnation kann sich nicht aufbauen, und es sind auch Zirkulationen im Sommer zu erwarten. Es ist daher von einem **polymiktischen** Verhalten auszugehen. Auch eine dauernd lichtfreie Tiefenzone fehlt. Der kleine Moossee liegt damit im Grenzbereich zwischen einem Kleinsee und einem Weiher. Eine genaue Einordnung wäre nur auf Grund häufigerer Probenahmen und spezifischer Abklärungen (vgl. BINDERHEIM-BANKAY 1998) möglich.

Der Abfluss der Urtenen (400 l/s) ist im Verhältnis zum Seevolumen sehr gross und die theore-

tische Wassererneuerungszeit daher sehr kurz: In weniger als einem Tag (15 Stunden) ist das Wasser des Kleinsees erneuert. Es ist davon auszugehen, dass die Limnologie des Kleinsees ganz wesentlich durch diese hydrologische Eigenschaft beeinflusst wird.

Produktivität / Trophiegrad

Zum Zeitpunkt der Probenahme (6.3.1997) war die Gesamtposphorkonzentration mit 45 µg/l eher gering, was zu einer Einstufung als meso-eutroph führt. Die sehr hohe elektrische Leitfähigkeit war dagegen ein Zeichen für eine starke Belastung des Gewässers. Wegen der kurzen Wassererneuerungszeit verändert sich die Konzentration im See je nach Zuflusskonzentration sehr stark. Der Gesamtposphorgehalt schwankte im Seeabfluss zwischen 40 und 110 µg/l, also **zwischen meso-eutroph und polytroph**.

Das grosse Nährstoffangebot kann durch die Wasserpflanzen optimal genutzt werden. Die sehr geringe Chlorophyll-a-Konzentration von 2 µg/l lässt vermuten, dass dies weniger für die Algen gilt. Diese werden ausgeschwemmt, bevor sie grosse Biomassen aufbauen können. Die geringe Secchitiefe während der Probenahme war folglich weni-

ger auf die Algen als auf Feinstoffe aus der Urtenen oder dem Sediment zurückzuführen.

Während der Probenahme war keine Sauerstoffzehrung nachweisbar. Schon in den dreissiger Jahren schwankte die Sättigung trotz äusserst starker Belastung zwischen 50 und 91% (VON BÜREN 1943). Das auf der gesamten Tiefe hell gefärbte Sediment weist ebenfalls darauf hin, dass während wesentlichen Abschnitten des Jahres Sauerstoff bis hinunter zum Seeboden vorhanden ist. Die geringe Tiefe und der starke Abfluss der Urtenen verhindern, dass es während längerer Zeit zu Sauerstoffschwund kommt.

Plankton

Die chemisch-physikalischen Verhältnisse werden durch das März-Phytoplankton sehr gut wiedergegeben: Das Vorhandensein von Bakterien mit anaerobem Stoffwechsel zeigt, dass zumindest zeitweise Sauerstoffarmut vorkommt. Das Vorherrschen von Kieselalgen, die zusammen mit den Blau- und Goldalgen über 70% der Taxa ausmachen, wird in der Regel als Zeichen von geringer Nährstoffbelastung gewertet. Die Artenzusammensetzung im kleinen Moossee zeigt aber, dass nicht planktische Kieselalgenarten dominieren, sondern Aufwuchsformen. Diese können teils durch

Strömungen aus den Wasserpflanzenbeständen ins Pelagial verfrachtet worden sein, oder sie lösten sich von der Sohle der Urtenen und gelangten in den See. Es ist anzunehmen, dass Einschwemmung aus der Urtenen stärker beteiligt war, da Wasserpflanzen zum Zeitpunkt der Probenahme noch wenig entwickelt waren. Kleine Formen der Grün- und Blaualgen dominierten dichtemässig. Daneben waren sechs Vertreter der Augenflagellaten vorhanden, was als ein Hinweis auf Nährstoffbelastung zu werten ist. Das Zooplankton vermittelt kein eindeutiges Bild über den Trophiegrad.

Auf Grund einer ganzheitlichen Betrachtung chemischer, physikalischer und biologischer Kriterien ist der kleine Moossee als **eutroph** zu bezeichnen. Wegen des starken Durchflusses kann sich der hohe Nährstoffgehalt nicht in einer Massenproduktion von Algen manifestieren.

Flora

Das Gewässer weist eine relativ intakte Uferzonierung auf. Beinahe die gesamte Seefläche ist von einer Schwimmblattzone bewachsen. Gegen das Ufer hin wird diese von einem dichten und sehr breiten Röhricht abgelöst. Das Röhricht geht in ein Grosseggengried über, welches von Schwarzerlen und Eschen gesäumt wird. Der aus Asien eingeführte Kalmus konnte sich vom grossen Moossee auch in den kleinen ausbreiten.

Fauna

Der breite Schilfgürtel ist äusserst wichtig als Bruthabitat für verschiedene Sumpf- und Wasservögel (PETITMERMET 1954). Auch zwei Amphibienarten (Erdkröte und Grasfrosch) finden im kleinen Moossee Lebensraum für ihre Fortpflanzung. Insgesamt 14 Libellenarten (eine darunter gefährdet) konnten nachgewiesen werden (Daten CSCF).

Tiefenkarte Chli Moossee

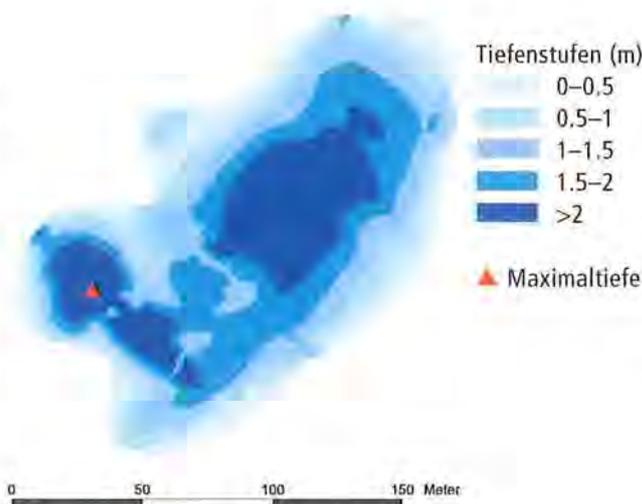
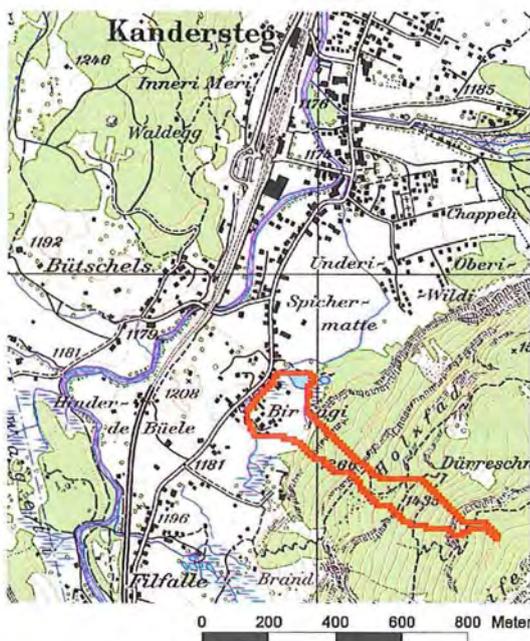




Foto: AGR / Meteotest

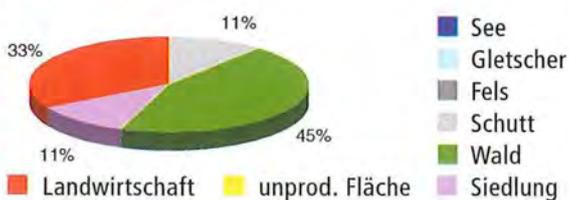


| | |
|--------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1247 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 617 941 / 148 680 |
| Höhe Seeoberfläche | 1178 m ü.M. |
| Seefläche | 0.25 ha |
| Maximaltiefe | 3.0 m |
| Seevolumen | 2293 m ³ |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 7.72 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 1696 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1323 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Das durch einen vorgeschichtlichen Felssturz entstandene Muggeseeli liegt am südöstlichen Rand der Ortschaft Kandersteg und wird als Naherholungsgebiet sehr geschätzt (HAURI 1983). Von den beiden Muggeseeli wurde das untere, grössere untersucht. Das untere Seelein wird vom kleinen oberen See her, aber vor allem durch eine ergiebige Quelle, die am Hangfuss entspringt, gespeisen. Die Wasserführung der Quelle ändert im Jahresverlauf nur wenig; Hochwasser mit Überflutungen finden am Muggeseeli deshalb nicht statt (HAURI 1983). Der Ausfluss aus dem Seeli ergiesst sich in den Irfigbach, der im Dorf in die Kander mündet. Das topographische Einzugsgebiet ist durch Fichtenwald und Wiesen sowie Siedlungsgebiet geprägt.

Temperatur/ Mischverhalten

Während der Probenahme (3.7.1997) war die Wassertemperatur mit 7.7 °C erstaunlich niedrig. Dies ist auf den starken Einfluss des ergiebigen Quellzuflusses zurückzuführen. Das Sommer wie Winter gleichmässig kühle Wasser verhindert eine allzu starke Abkühlung im Winter, und das Zufrieren des Seeleins kann nicht alle Jahre beobachtet werden (HAURI 1983). Die Maximaltiefe von 3.0 m und der Einfluss des Quellwassers verhindern vermutlich auch im Sommer die Ausbildung einer stabilen, länger dauernden Temperaturschichtung. Das Seewasser kann regelmässig das ganze Jahr mischen.

Produktivität und Trophiegrad

Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und der Gesamtphosphorgehalt waren ausserordentlich niedrig. Etwas höher lag die Stickstoffkonzentration. Die Gesamthärte (2.25 mVal/l) und die Leitfähigkeit (223 $\mu\text{S}/\text{cm}$) wiesen Werte auf, die für wenig belastete Gewässer auf kalkreichem Untergrund typisch sind. Der Sulfatgehalt war mit 25 mg/l leicht erhöht. Die Quelle muss gipshaltiges Gestein durchfliessen.

Der ganze See war mit Sauerstoff gesättigt, wobei der Quellauffluss eine geringe Untersättigung aufwies. Die geringen Nährstoffgehalte widerspiegelten sich in der äusserst niedrigen Chlorophyll-a-Konzentration (0.1 $\mu\text{g}/\text{l}$). Auf Grund dieser Resultate wird der See als **oligotroph** betrachtet.

Im Sediment sind die obersten zehn Zentimeter stärker organisch belastet als die unten anschliessenden. Der See wies aber auch früher schon Phasen mit stärkerer organischer Belastung auf (siehe Abbildung).

Plankton

Das artenarme Phytoplankton (34 Taxa) setzte sich zur Hauptsache aus Kieselalgen, Grünalgen und Blaualgen zusammen. Im Juli konnte das massenhafte Vorkommen zweier kleiner Blaualgenformen und einer Grünalge beobachtet werden. Daneben war ein Vertreter der Augenflagellaten nachweisbar. Die Zusammensetzung des Phy-

toplanktons sowie die Präsenz zweier Zeigerarten des Zooplanktons weisen auf oligo- bis mesotrophe Verhältnisse hin.

Flora

Der Ufergürtel des Muggeseeli besteht fast ausschliesslich aus der grossen Schnabelsegge, die eher eine nährstoffarme Umgebung bevorzugt. In der Nähe der Häuser in der südwestlichen Ecke des Seeufers wuchsen allerdings auch Nährstoffzeiger wie Schlangenknöterich und Moor-Geissbart. An dieses flache, dicht bewachsene Ufer schliesst ein Gänsegehege an. Die Nährstoffe, die dadurch ins Wasser gelangen, werden aus diesem Seeteil kaum abtransportiert, da dort der Durchfluss am geringsten ist. Eine zunehmende Nährstoffanreicherung führte zum üppigeren Pflanzenwachstum an diesem Ufer. Die Nährstoffe beeinflussen aber auch schon die weiter entfernte offene Wasserfläche. Nebst einem dichten Rasen an Armeleuchteralgen im direkten Einflussbereich des Zuflusses wurde das Kammlaich-

kraut in der Nähe des südwestlichen Ufers beobachtet.

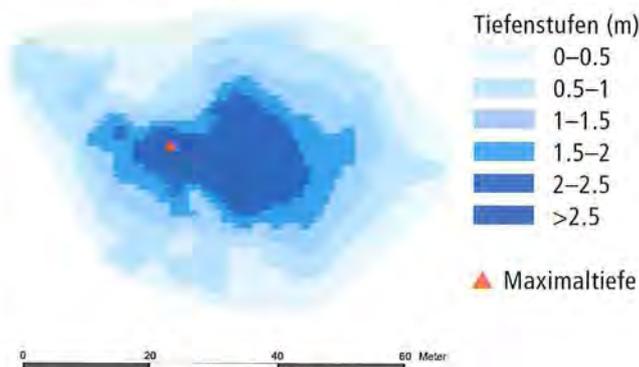
Zusammenfassend kann das Muggeseeli als **oligotrophes** Gewässer bezeichnet werden mit gewissen Tendenzen zu Mesotrophie.

Fauna

Früher wurde das Muggeseeli mit der aus Nordamerika stammenden Regenbogenforelle bewirtschaftet. Heute erfolgt der Besatz bewusst mit der einheimischen Bachforelle, die im gleichmässig kühlen Gewässer sehr günstige Bedingungen antrifft.

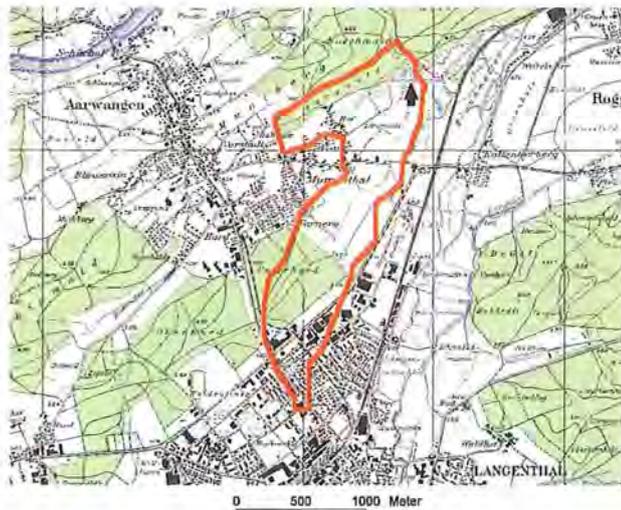
Das seit 1974 bestehende Jagdverbot bewirkte, dass die dort heimischen Wasservögel (Stockenten) ihre Furcht vollständig abgelegt haben und gerne gefüttert werden. Ein völliges Ver-eisen des Seelis kommt sehr selten vor. Es ist deshalb trotz seiner bescheidenen Ausdehnung und seiner Siedlungsnähe als winterliches Schwimmvogelgewässer in der subalpinen Höhenstufe wichtig (HAURI 1983).

Tiefenkarte Muggeseeli



Muemetaler Weiher

mesotroph



Landeskarte 1 : 25 000
Seekoordinaten
Höhe Seeoberfläche
Seefläche

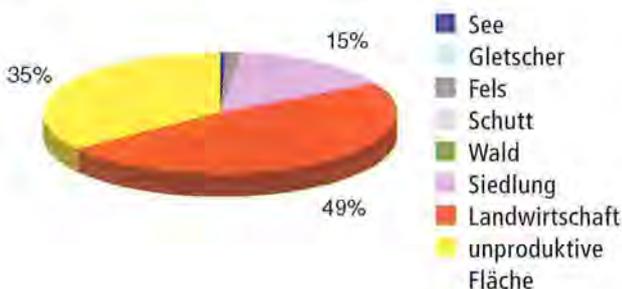
1108
626 825 / 232 600
448 m ü.M.
0.22 ha



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 153.05 ha
maximale Höhe topographisches EzG: 496 m ü.M.
mittlere Höhe topographisches EzG: 458 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Der 3 km nördlich von Langenthal gelegene Weiher wurde umfassend durch LEIBUNDGUT & LINIGER (1981) untersucht. Alle Angaben zu Geschichte, Geologie, Hydrologie sowie landwirtschaftlicher Nutzung stammen aus dieser Arbeit.

Der Boden, auf dem sich der Muemetaler Weiher befindet, wurde durch den Rhonegletscher modelliert. Die Gletscherflüsse und später die Langeten sorgten dafür, dass das tief ausgefressene Tal durch eine mehr oder weniger mächtige Schicht fluvio-glazialen Schotter über-

deckt wurde. Dieser wasser-durchlässige Untergrund reicht bis weit ins Tal der Langeten hinauf. Im Bereich des Muemetaler Weihers beträgt die Dicke etwa 15 m, was für die Hydrologie des Gebietes und die Geschichte des Weihers von zentraler Bedeutung sein wird.

Schon 1430 wird ein natürlicher, oberhalb des heutigen Gewässers gelegener Weiher erwähnt. Dieser wurde aber um 1600 zugeschüttet. In der gleichen Zeit datiert die künstliche Entstehung des heutigen Weihers. Durch einen Damm an der Nordostecke wurde das Wasser aufgestaut und in einem 3 km lan-

gen Kanal nach Wynau geführt, wo es zur Bewässerung der trockenen Felder Verwendung fand. Der Weiher selbst diente zur Forellenaufzucht. Im Abstand von 1–3 Jahren wurde das Wasser durch einen Siphon abgelassen und die Fische gefangen. Der Weiher war bis Mitte unseres Jahrhunderts wegen seines hohen Ertrages berühmt (LEIBUNDGUT & LINIGER 1981; SPYCHIGER 1996). Der Weiher wurde um 1910 durch mehrere Quellen aus südlicher und südwestlicher Richtung gespiesen.

Grundwassersituation

Das Grundwasser des Langentals trat in den Erosionsrinnen (kleine Tälchen) zutage, an denen die Mächtigkeit des Grundwasserleiters am geringsten war. Die Speisung dieses Grundwasserleiters basierte vor allem auf der Anreicherung durch die besondere Bewirtschaftungsweise der Wässer-matten: Grosse Teile des Langentals wurden früher durch ein komplexes Kanalsystem bewässert. Auch das Einzugsgebiet des Muemetaler Weihers wurde bewässert: Das warme Quellwasser wurde im Frühjahr über das Wiesland geleitet, um den Boden aufzuwärmen. Dank des beschleunigten Wachstums konnte das Gras früher geschnitten werden. Damit der Boden für die Heuernte abtrocknen konnte, wurde die Bewässerung ab April eingestellt. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden im Langental zahlreiche Wässer-matten aufgegeben und die Bewässerungskanäle

zugeschüttet. Die Grundwasseranreicherung muss in dieser Zeit stark zurückgegangen sein, was in Zusammenarbeit mit einer Zunahme der versiegelten, verdichteten und drainierten Flächen sowie der gesteigerten Trinkwassernutzung zu einem Absinken des Grundwasserspiegels führte.

Erst versiegten die am höchsten gelegenen Quellen, was im Einzugsgebiet des Muemetaler Weihers zum Einstellen der Bewässerung zwang. Andererseits kam das Versiegen der Quellen den Bauern gelegen, konnten sie doch auch in den Tälchen auf Ackerbau umstellen. Nach 1950 sank der Grundwasserspiegel aber stetig weiter ab, und von ursprünglich sechs Quellen führten nur noch deren zwei regelmässig Wasser. Der Weiher selbst war davon wenig betroffen, die Auswirkungen merkte man vorerst nur in einer verringerten Wasserführung im Weiherabfluss, dem Bewässerungskanal von Wynau. Auch die Ufervegetation reagierte, indem sich erste Anzeichen von Verbuschung bemerkbar machten. Nach 1951 versiegte eine der beiden Quellen vollständig, und die Quelle unmittelbar oberhalb des Weihers floss immer seltener. Der Grundwasserspiegel hatte sich seit der Jahrhundertwende um 2.5–3.0 m, das heisst unter den Wasserspiegel des Weihers, gesenkt. Die Speisung basierte nunmehr nur noch auf flächenhaftem, oberirdischem Abfluss und Hangwasser vom Muniberg. Dieser Zufluss reichte nicht aus zur Aufrechterhaltung des ursprünglichen Wasserspie-

gels: ersank um 1.0–1.5 m. Dies führte zu einer Verminderung der Wasserfläche um 89%.

Der Weiher erfuhr durch die drastische Volumenverminderung, das Ausbleiben des nährstoffarmen Quellwassers sowie die gesteigerte Nährstofffracht aus dem immer intensiver genutzten Landwirtschaftsgebiet eine starke Eutrophierung, welche sich in einem Zusammenbruch des Fischertrages äusserte. Die auf kaltes, sauerstoffreiches Wasser angewiesenen Forellen konnten nicht länger fortbestehen in einem Weiher, welcher immer stärkeren Schwankungen der Temperatur und Sauerstoffkonzentration unterworfen war. Das vollständige Abfliessen des Weihers wurde zwar durch tonige Sedimente und organische Sinkstoffe (Detritus) verhindert. In warmen, trockenen Monaten jedoch kann sich der Weiher durch oberflächliche Verdunstung und den Wasserbedarf der Röhrichtpflanzen so stark absenken, dass nur noch eine kümmerliche Pflüze übrigbleibt.

Aus diesem Grund wurde 1971 eine Rohrleitung erstellt, mit der Wasser aus dem tiefer gelegenen Motzet-Areal in den Weiher gepumpt wird (AEERHARD 1984; SPYCHIGER 1996). Allerdings kann mit dieser Massnahme lediglich ein vollständiges Austrocknen verhindert werden. Ein Anheben des Wasserspiegels auf den Stand um 1910 ist nicht mehr möglich. Sobald das Wasser das Niveau der nach unten abgedichteten Schichten übersteigt, fliesst es über und versickert in den wasserdurchlässigen Schottern. Der Grundwasserspiegel liegt heute meist weit unter dem Weiherspiegel und übersteigt diesen nur noch äusserst selten bei extremen Hochwassersituationen. Im Zusammenhang mit dem Projekt Bahn 2000 finden in der Umgebung des Weihers grössere Landumlegungen statt. Dabei wird u.a. angestrebt, die Landschaft im entsprechenden Perimeter ökologisch aufzuwerten. Der Muemetaler Weiher ist durch die Massnahmen des geplanten Revitalisierungsprojektes Brunnamatte kurzfristig nicht

direkt betroffen. Die heute künstliche Wasserversorgung des Weihers soll aber mittelfristig eingestellt werden. Das Gewässer wird damit weiter verlanden, was seiner natürlichen Sukzession in Richtung Flachmoor entspricht. Als Ersatz für den Verlust des Muemetaler Weihers ist die Schaffung eines neuen stehenden Gewässers in der unteren Brunnamatte vorgesehen (SIGMAPLAN 1998).

Temperatur / Mischverhalten

Der Muemetaler Weiher ist ein extremes Weihergewässer. Das Wasser ist praktisch dauernd gemischt und unterliegt starken Temperatur- und Sauerstoffschwankungen (LEIBUNDGUT & LINIGER 1981). Das Sonnenlicht gelangt zu jeder Jahreszeit bis auf den Grund.

Produktivität / Trophiegrad

Die Eutrophierung des Weihers wird heute durch die Zuleitung von nährstoffarmem, kühlem Quellwasser etwas herabgemindert. Auf Grund der Gesamtposphorkonzentration (Zufluss und Weiher) ist er als **mesotroph** einzustufen. Die Algendichte (ausgedrückt in Chlorophyll a) weist sogar auf oligotrophe Bedingungen hin. Allerdings kann dieser Wert, insbesondere in Kleingewässern wie dem Muemetaler Weiher, äusserst schnell ändern. Zudem ist die Algenentwicklung wegen der starken Konkurrenz durch Wasserpflanzen stark vermindert. Auch der Sauerstoffgehalt (91% Sättigung) kann nur schlecht als Trophie-Indikator verwendet werden, da dieser in Kleingewässern sehr stark schwankt (VON BLÜCHER 1988).

Plankton

Das Phytoplankton war mit 63 taxonomischen Einheiten den Verhältnissen entsprechend ar-

tenreich. Es wurden am häufigsten Arten der Kiesel- und Grünalgen angetroffen, wodurch der Befund der wasserchemischen Analysen bestätigt wird. Das zahlenmässige Dominieren der Grünalgen und das Vorkommen dreier Arten der Augenflagellaten spricht jedoch eher für eutrophe Bedingungen. Der Muemetaler Weiher liegt damit im Grenzbereich zwischen meso- und eutroph.

Flora

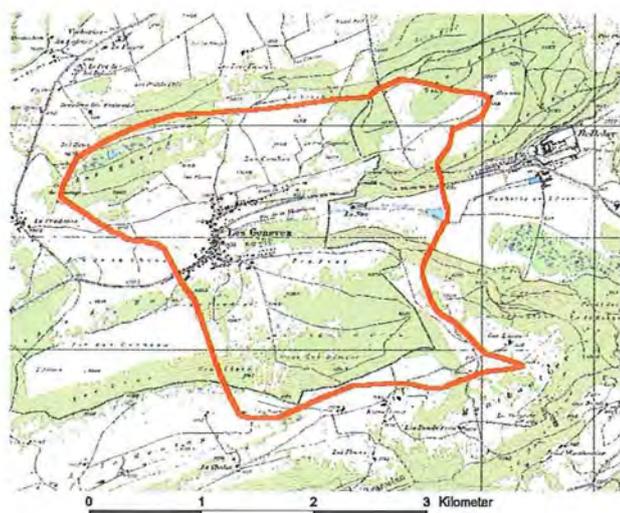
Die Vegetation veränderte sich von 1950 an drastisch: Horstseggenbestände und die Lische, die 1940 noch zweimal im Jahr geschnitten wurde, verschwanden. Auch die Seebirse ist stark zurückgegangen. An Stelle dieser ursprünglichen Flora nahmen Brennesseln, welche als Überdüngungszeiger bekannt sind, überhand und breiteten sich teils bis an die Wassergrenze aus. Auch dichte Bestände von quirlblättrigem Tausendblatt am Weihergrund sowie eine Zunahme des Rohrkolbens und des rauhen Hornblatts sind deutliche Zeichen der Eutrophierung (LEIBUNDGUT & LINIGER 1981).

Fauna

Der Muemetaler Weiher gilt trotz der äusserst prekären ökologischen Bedingungen – wegen eines Defektes der Wasserpumpe kam es 1983 zu einem Massensterben der Fische – als reichhaltiges Amphibienbiotop (AEERHARD 1984). GROSSENBACHER (1977) stufte es als Amphibienhabitat von kantonaler Bedeutung ein. Es liegt im Gebiet der ursprünglichen Wassermatten in den Tälern der Langeten, Önz und Roth, welche im KLN-Inventar aufgeführt sind. Aus diesen Gründen wurde der Muemetaler Weiher 1983 unter Naturschutz gestellt (AEERHARD 1984; SPYCHIGER 1996).



Photo: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------------|-----------------------|
| Carte nationale 1 : 25 000 | 1105 |
| Coordonnées | |
| de la profondeur maximale | 578 648 / 234 214 |
| Cote du niveau du plan d'eau | 948 m |
| Superficie du plan d'eau | 1.47 ha |
| Profondeur maximale | 2.8 m |
| Volume du plan d'eau | 13 768 m ³ |



Géologie, hydrologie et histoire

Situé à 5 km au nord-est de Tramelan, l'étang de la Noz est alimenté par la Sorne. Celle-ci sert d'exutoire de la STEP des Genevez (JU), ce qui entraîne par moments une pollution par les eaux usées. Un regroupement de cette installation et de celle de Bellelay contribuerait à résoudre ce problème. En aval de la Noz, la Sorne est sous voûtage sur une distance de 860 m. Artificiel, le plan d'eau a été créé en 1972 par un remblai muni d'un dispositif de vidange. Comme tous ceux du Jura, il a un substrat composé en grande partie de roches carbonatées.

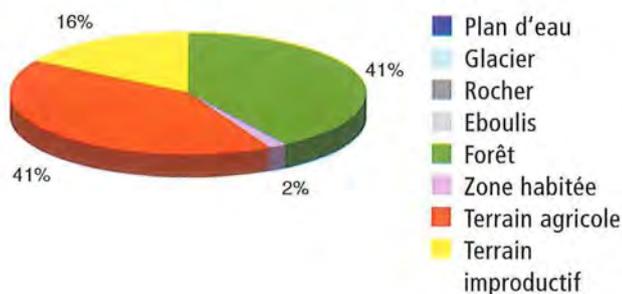
Productivité / état trophique

Compte tenu de la concentration de phosphore total (260 µg/l), l'étang de la Noz est **polytrophe**. Les résultats des échantillons prélevés, notamment, montrent la très forte pollution de l'affluent par le phosphore (560 µg/l). Il n'a pas été constaté de consommation d'oxygène dans les couches inférieures, ce que la précocité du prélèvement de l'échantillon (5 mars 1997), les mauvaises conditions météorologiques et la température basse de l'eau ne laissaient pas présager. Par contre, une forte sursaturation en oxygène a été démontrée dans les couches superficielles, ce qui, s'ajoutant à la concentration élevée de chlorophylle a, indique une production primaire importantes. La surabon-

Bassin versant (bv)

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Superficie du bv topographique: | 704.61 ha |
| Altitude maximale du bv topogr.: | 1177 m |
| Altitude moyenne du bv topogr.: | 1061 m |

Répartition des surfaces



dance de nutriments est mise à profit par le phytoplancton, qui prolifère à la fin de l'hiver. Sur la base des paramètres biologiques, la nappe d'eau appartient à la catégorie hyper-eutrophe. L'apport d'éléments nutritifs ne se limite d'ailleurs pas au phosphore, puisque des composés azotés en fortes concentrations sont également observés.

Température / mélange des eaux

Pendant le prélèvement d'échantillons, les températures encore relativement basses à la surface n'ont pas empêché d'observer des signes de stagnation. Les gradients d'oxygène et thermiques sont très marqués entre 1.5 m et 2 m de profondeur. L'étang ayant une profondeur maximale de 2.8 m, il suffit de vents relativement faibles pour provoquer

la circulation de ses eaux (plan d'eau polymictique).

Plancton

Au moment du prélèvement d'échantillons (le 5 mars 1997), le phytoplancton de la Noz abritait 48 espèces – nombre relativement modeste – nettement dominées par quatre d'entre elles. Quant au zooplancton, on en dénombre six espèces, dont deux qui privilégient les eaux riches en éléments nutritifs. La présence de sept espèces flagellés et de 14 espèces d'algues vertes confirme l'apport de nutriments constaté par les échantillons chimiques.

Flore

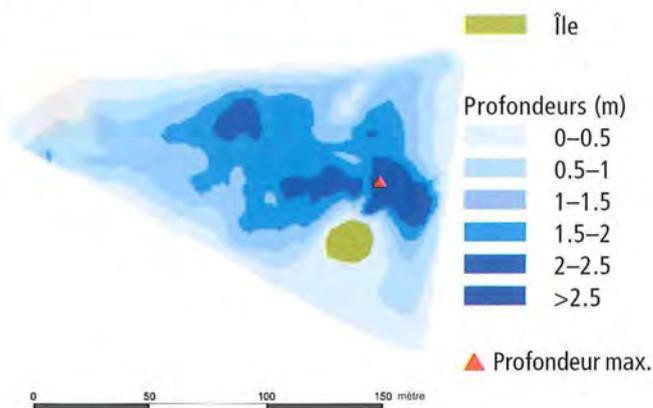
La pauvreté des espèces végétales s'explique principalement

par la précocité du prélèvement des échantillons (antérieur au début de la période de végétation). La seule plante immergée identifiée (*myriophylle à épis*, *Myriophyllum spicatum*), préfère les eaux riches en nutriments (IGKB 1973, IGKB 1981, Melzer 1991).

Faune

Ce plan d'eau est une biotope d'importance régionale pour les batraciens et les libellules. Cinq espèces (dont quatre menacées) appartenant au premier groupe et dix au second ont été identifiées entre 1990 et 1991. L'étang de la Noz est sous protection depuis 1972.

Carte bathymétrique La Noz

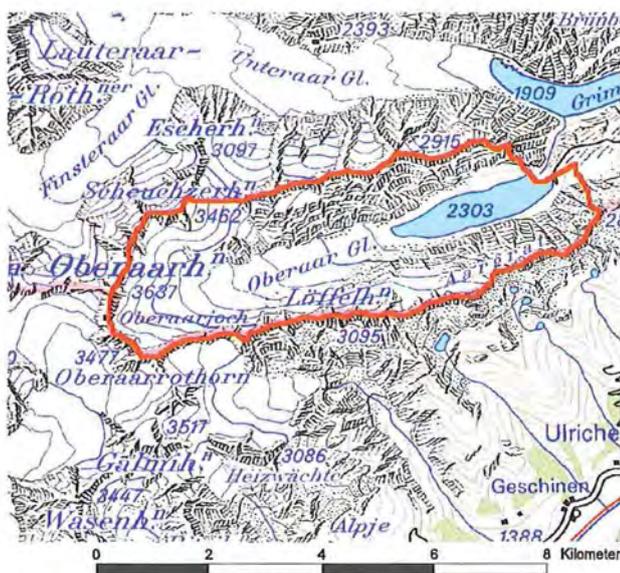


Écoulement de la Noz.

Photo: GBL / K. Guthruf



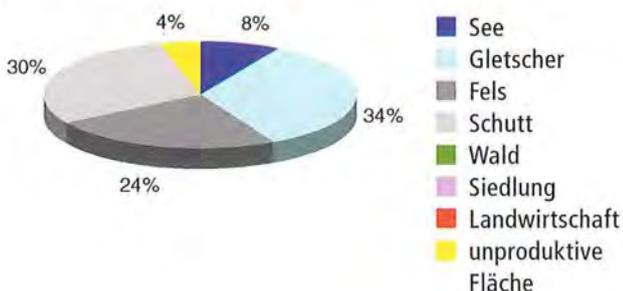
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 1928.15 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 3625 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2734 m ü.M. |

Flächenanteile



| | |
|--------------------------|---------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1250 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 663 894 / 155 577 |
| Höhe Seeoberfläche | 2303 m ü.M. |
| Seefläche | 161.09 ha |
| Maximaltiefe | 90 m |
| Seevolumen | 56 251 232 m ³ |



Geologie, Hydrologie und Geschichte

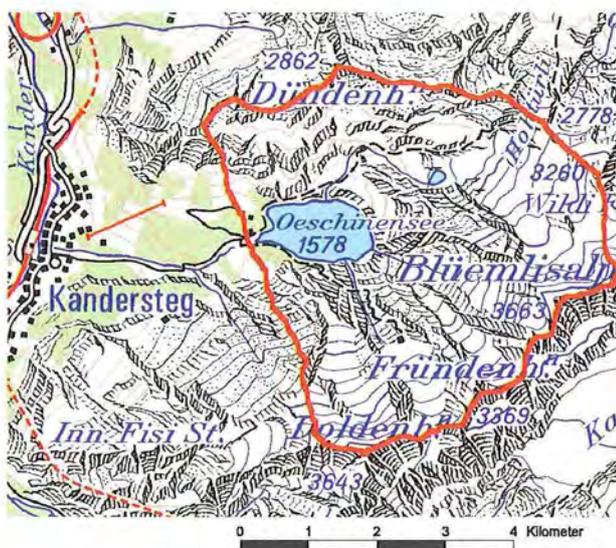
Im kristallinen Aaremassiv, sechs Kilometer west-südwestlich der Grimselpasshöhe, liegt der durch Aufstau künstlich entstandene Oberaarsee. Das Hochtal der Oberaar ist in seinem oberen Teil vom 5 km langen und bis zu einem Kilometer breiten Oberaargletscher bedeckt (AMMANN 1975). Rund ein Drittel des topographischen Einzugsgebietes ist heute noch vergletschert. Das Ende der Gletscherzunge mündet in den 1953 aufgestauten Oberaarsee, der das ehemalige Gletschervorfeld überstaut. 13 Jahre nach Beginn des Aufstaus waren die untersten 700 m des Gletschers im See versunken. Der Stausee fasst rund 63 Mio. m³ und erreicht eine Maximaltiefe von 90 m (NEF 1992). 15 relativ kurze Zuflüsse speisen

den See. Wasser aus den tiefergelegenen Stauseen wird nach Bedarf zum Speichern heraufgepumpt und später wieder abgearbeitet. Ein natürlicher Abfluss existiert nicht. Wegen seiner Höhe von über 2300 m ü.M. und seiner durch den Pumpspeicherbetrieb und Gletscherschliff verursachten ganzjährigen Trübung ist dieser See als Lebensraum für Wasserlebewesen unbedeutend.

Oeschinensee

oligotroph

Foto: GBL / M. Zeh

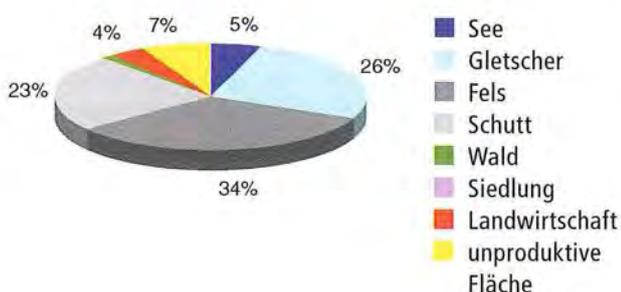


| | |
|------------------------|---------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1248 |
| Koordinaten | 622 110 / 149 634 |
| Maximaltiefe | 1578 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 114.7 ha |
| Seefläche | 56 m |
| Maximaltiefe | 37 420 336 m ³ |
| Seevolumen | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG | 2 208 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG | 3665 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG | 2479 m ü.M. |

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Oeschinensee liegt im Kanderthal, 4 km östlich von Kandersteg. Seine Entstehungsgeschichte ist ausserordentlich interessant, sind doch mehrere glaziologische und geologische Prozesse daran beteiligt (Niklaus 1967). Zitate aus dieser Arbeit dienen als Grundlage für dieses erste Kapitel.

Mehrere Anzeichen deuten darauf hin, dass Bruchtektonik zur Entstehung des tiefen Talkessels beigetragen haben könnte. In das auf diese Weise geschwächte Gestein konnten sich während der Eiszeiten die Gletscher besonders stark einfrassen und ein tiefes Tal ausgraben. Es wird vermutet, dass Toteismassen verhinderten, dass die Wanne schon in postglazialer Zeit durch fluvioglaziale Schotter und Ge-

hängeschutt vollständig ausgefüllt wurde. Der Grundstein für das Seebecken wurde durch zwei Bergstürze gelegt: Vermutlich am Ende der letzten Eiszeit (Spätglazial) bewegten sich riesige Gesteinsmassen von der «Birre», einem nördlich gelegenen Berghang, hinunter ins Oeschinental. Nach dem Rückzug der Gletscher (im Postglazial) ereignete sich der zweite Bergsturz von Süden, dem «Fisistock» her. Hinter den gewaltigen Gesteinsmassen staute sich der See, dessen Alter auf etwa 8000 Jahre geschätzt wird. Der Oeschinensee muss früher viel tiefer gewesen sein als heute. Durch ständige Sedimentation (3–4 mm pro Jahr) hat sich die Tiefe sukzessive verringert. Der Seegrund flachte sich ab, da über der tiefsten Stelle a priori die grössten Schwebstoffmengen sedimentieren. Durch den

dauernden Wellenschlag und die Wasserspiegelschwankungen werden zudem die feinen Partikel aus dem Ufersediment herausgelöst und in Richtung Seemitte verfrachtet. An der steilen Halde können sie sich nicht ablagern, da feinste Strömungen sie wieder in Suspension bringen. Durch die Steilheit der Halde kommt es zudem häufig zu unterseeischen Rutsch- und Gleitvorgängen. Erst in der strömungsberuhigten Tiefenzone lagern sich die Schwebstoffe endgültig ab.

Im Frühjahr werden durch Schmelzwasser in der Regel gröbere Fraktionen in den See transportiert. Der im Sommer eingebrachte Gletscherschliff besteht dagegen vorwiegend aus feinen Fraktionen. Zudem sinken grobe Partikel rascher ab als feine. Die Ablagerungen weisen daher Jahresschichtungen auf mit hellen, groben, siltigen Fraktionen im Frühsommer und immer feiner werdenden, dunklen Tonfraktionen gegen den Herbst hin. Das Frühjahr ist durch einen scharfen Übergang von feinem zu grobem Material charakterisiert (siehe Abbildung). Allerdings können diese Jahres-schichten durch sehr grobkörnige «Gewitterschichten» gestört werden, welche auch Holzanteile enthalten (NIKLAUS 1967).

Auch vom Ufer her wird das Seevolumen dauernd verkleinert, indem sich im Bereich der Zuflüsse Deltas bilden. Wenn man diese Auflandung einbezieht, vermindert sich die durchschnittliche Tiefe jährlich um 1.5–1.9 cm. Das Seevolumen hat

zwischen 1901 und 1962 um 2.6% abgenommen. Die Lebenserwartung des Oeschinensees ist daher begrenzt und wird auf rund 2600 Jahre geschätzt.

Auch die Hydrologie des Oeschinensees zeigt interessante Aspekte: Die natürlichen jährlichen Pegelschwankungen können bis zu 15 m betragen (NIKLAUS 1967). SCHMASSMANN (1920) gibt sogar Schwankungen von 18.5 m an. Diese Wasserstandsschwankungen kommen durch den unterirdischen Abfluss zustande: Während der Schneeschmelze kann nur ein Teil des zufließenden Wassers abfließen, und der Seespiegel steigt zeitweise um mehr als 30 cm pro Tag an. Dieser Anstieg ist weniger von der Regenmenge abhängig; vielmehr spielen die als Schnee gefallenen Niederschläge und die Massenbilanz der Gletscher eine entscheidende Rolle. Der Anstieg des Seespiegels korreliert deshalb gut mit der Sommertemperatur. Zudem konnte NIKLAUS (1967) aufzeigen, dass auf einen Höchststand in der Regel ein Tiefststand folgt, indem durch den starken Abfluss die Lückenträume im Bergsturzmaterial vergrößert werden.

Die grössten Zuflüsse entwässern die Gletscher im Einzugsgebiet des Oeschinensees: Der Berglibach mündet kurz nach Verlassen des Blüemlisalp-gletschers in einen kleinen See (siehe Blüemlisalpsee). Dessen Ausfluss mündet nach einer Fließstrecke von 2.2 km in den Oeschinensee. Die Bäche «in den Fründen» entspringen vier

weiteren Gletschern südöstlich des Oeschinensees (Doldenhorngletscher, Fründengletscher, Obere und Untere Oeschinengletscher). Läger- und Heubergbach entwässern dagegen gletscherfreie Gebiete und führen nur während der Schneeschmelze und bei starken Regenereignissen Wasser. Zudem muss der See durch unterirdische Zuflüsse gespeist werden, konnte doch SCHMASSMANN (1920) zwei typische Höhlenformen in dessen Bodenfauna nachweisen.

Die Vergletscherung des Gebietes bestimmt, wie erwähnt, ganz entscheidend die Hydrologie des Gewässers. Die von Gletschern bedeckten Areale haben sich jedoch im Laufe der Zeit wesentlich verändert: Während der Rückgang zwischen 1876 und 1926 nur 7.3% betrug, zogen sich die Gletscher im 20. Jahrhundert bedeutend stärker zurück (13.7% zwischen 1926 und 1956 (NIKLAUS 1967); 16.6% zwischen 1956 und 1998). Diese Veränderungen erklären auch, warum der See 1846 letztmals oberirdisch abfloss, ein Vorgang, welcher bei stärkerer Vergletscherung viel häufiger stattgefunden haben muss (NIKLAUS 1967). Angesichts der beobachteten Klimaerwärmung sind damit in Zukunft weitere Veränderungen der Hydrologie und Limnologie des Oeschinensees zu erwarten.

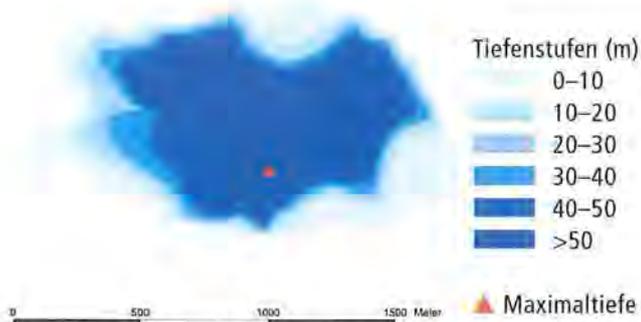
mineralische Trübung im Sommer begrenzt. Die starke ultraviolette Strahlung, welche in den Bergen viel stärker ist als im Mittelland, sorgt für eine Hemmung der bereits geringen Planktonproduktion in den oberflächlichen Wasserschichten. Damit erklärt sich, dass die Primärproduktion in oligotrophen Bergseen kleiner ist als in oligotrophen Mittellandseen (BLOESCH ET AL. 1995). Der Oeschinensee ist ein typisches Beispiel für dieses Naturgesetz. Die ganzjährig niedrige Primärproduktion schlägt sich auch in den geringen Chlorophyll-a-Konzentrationen nieder, welche nicht über 1.5 µg/l steigen (BLOESCH ET AL. 1995). Auch die zeitweise sehr grossen Sichttiefen (bis 17.25 m, NIKLAUS 1967) sind Ausdruck der äusserst geringen Primärproduktion. Diese hat wiederum Auswirkungen auf den Sauerstoffgehalt und die Zusammensetzung des Seesediments: Die Sauerstoffsättigung ist in allen Tiefen etwa gleich gross. Weder starke Übersättigung an der Oberfläche noch Zehrung im Tiefenwasser kann beobachtet werden. Selbst im Spätsommer, wenn in eutrophen Seen starke Sauerstoffdefizite herrschen, ist das Wasser an der tiefsten Stelle über dem Grund immer über 74% gesättigt (BLOESCH ET AL. 1995). Im Winter unter dem Eis wird in der gesamten Wassersäule Sauerstoffsättigung gemessen. Fische und empfindliche Wassertiere können somit während des ganzen Jahres bis in den grössten Tiefen leben. Auch das Sediment besteht praktisch vollständig aus allochthonem (von aussen eingetragenem) Material. Eine Schwarzfärbung oder Bildung von Faulschlamm konnte zu keiner Zeit an keinem Ort beobachtet werden.

Weiter ist der See durch eine für ein kalkhaltiges Einzugsgebiet sehr geringe Karbonathärte charakterisiert, was NIKLAUS (1967) folgendermassen erklärt: Die Fließstrecken der Zuflüsse sind nie länger als zwei Kilometer (BOURCART 1906). Auf dieser Strecke kann sich das Wasser

Produktivität / Trophiegrad

Dem Oeschinensee werden durch seine Zuflüsse nur sehr wenig Nährstoffe geliefert. Die Konzentrationen an Stickstoff und Phosphor sind daher während des ganzen Jahres sehr gering, was typisch ist für ein oligotrophes Gewässer (BLOESCH ET AL. 1995). Die ganzjährig niedrigen und wenig schwankenden Phosphorkonzentrationen sind ein Indiz, dass die Biologie des Sees durch diesen Nährstoff limitiert ist. Ausserdem wird die Biomasseproduktion durch die tiefen Temperaturen und die starke

Tiefenkarte Oeschinensee



nur wenig mit CO₂ anreichern, und der Kalk kann nicht aus dem umgebenden Kalkgestein herausgelöst werden. Auch der hohe Gletscheranteil trägt zu diesem Ergebnis bei. Die geringe elektrische Leitfähigkeit kann sowohl auf diesen Umstand als auch auf den geringen Nährstoffgehalt zurückgeführt werden. Der pH steigt in der Regel in den Wasserschichten mit starker Primärproduktion an. Im Oeschinensee dagegen werden an der Oberfläche die niedrigsten pH-Werte gemessen, ein weiterer Hinweis auf die geringe Primärproduktion des Sees.

Unter Berücksichtigung aller vorhandenen limnologischen Daten ist der Oeschinensee als **oligotroph** (NIKLAUS 1967; BLOESCH ET AL. 1995) zu beurteilen.

Temperatur / Mischverhalten

Obwohl der Oeschinensee über 1500 m ü.M. gelegen ist, kann sich das Oberflächenwasser im Sommer sehr stark erwärmen (19.7 °C im August 1965). Die Erwärmung der oberflächlichen Schichten wird durch die hohen Schwebstoffgehalte des Wassers begünstigt (BOURCART 1906). Da aber maximal 20% der Sonnenenergie mehr als einen Meter tief eindringt, kann die Erwärmung der tieferen Wasserschichten nur durch von Wind verursachte Mischvorgänge geschehen. Die Windexposition des Sees im engen Talkessel ist jedoch sehr beschränkt, und die Oberflächenschichten sind nur bis in geringe Tiefen erwärmt. Eine deutlich ausgeprägte Sprungschicht kann in den Sommermonaten nicht festgestellt werden (NIKLAUS 1967; BLOESCH ET AL. 1995). Bisweilen beobachtet man einen treppenartigen Verlauf der Temperaturkurve. Dies ist auf die speziellen klimatischen Bedingungen in der subalpinen Zone zurückzuführen: Schlechtwetterperioden mit Schneefall können auch mitten im Sommer auftreten und zu einer markanten Abkühlung der

Wasseroberfläche führen. Dies kann wiederum eine geringfügige Teilzirkulation auslösen. Solche Kälteeinbrüche wechseln sich mit Erwärmungsphasen ab. Selbst zwischen Tag und Nacht wechselt die Temperatur sehr stark (NIKLAUS 1967).

Erst im Herbst, wenn die Teilzirkulation eintritt, ist eine deutliche Sprungschicht feststellbar und der See ist in Epi-, Meta-, und Hypolimnion geteilt (NIKLAUS 1967; BLOESCH ET AL. 1995). Mit zunehmender Abkühlung des Wassers erfasst die Zirkulation die ganze Wassersäule. Im Winter setzt eine inverse Schichtung ein (GROLL 1904), das heißt leichteres, unter 4 °C kaltes Wasser «schwimmt» auf dem schweren, 4 °C kalten Tiefenwasser. Kurze Zeit später, Anfang November bis Mitte Dezember, setzt Vereisung ein, welche vier bis sechs Monate dauert. Das Eis bestand Anfang Mai 1963 aus 5 Schichten. Zuunterst befand sich eine Klareisschicht. Darüber wechselten sich Lagen aus Klareis und wasserdurchtränktem Schnee ab. Im Frühjahr taut das Eis von oben her auf, bis nur noch das Klareis übrigbleibt. Dieses ist durch die ständigen Temperaturunterschiede spröde und brüchig geworden und wird als «Prismeneis» bezeichnet. Nach dem Auftauen des Eises (April bis Mitte Mai) kommt es abermals zu einer Zirkulationsphase. Der Oeschinensee ist deshalb **dimiktisch** (BLOESCH ET AL. 1995). Die Temperatur des Sees wird ganz wesentlich durch die Zuflüsse bestimmt. In der Regel schichten sich die Zuflüsse in derjenigen Wasserschicht ein, welche die gleiche Dichte hat. Dabei spielt nicht nur die Temperatur eine Rolle, sondern auch ihr Gehalt an gelösten und suspendierten Stoffen. Je nach Witterungsverhältnissen kann diese Einschichtungstiefe sehr stark variieren: Während NIKLAUS (1967) beobachtete, dass sich die Zuflüsse mit der Oberflächenschicht vermischten, konnten BLOESCH ET AL. (1995) nachweisen, dass sich die Zuflüsse im Frühjahr in 35 m, im Sommer in 5–15 m Tiefe einschichteten.

Plankton

Das Phytoplankton ist mit 55 taxonomischen Einheiten zwar artenreich, die einzelnen Arten weisen aber nur sehr geringe Individuenzahlen auf. Einzig im August, September und Oktober 1991 konnte eine Massenentwicklung der Grünalge *Chlorella neustonica* beobachtet werden. Die geringe Dichte, Biomasse und das Vorherrschen kleiner Arten (Nanoplankton) sind typische Merkmale oligotropher Seen. Die Biomasse der Primärproduzenten wird zeitweise übertroffen von der Biomasse der Konsumenten (Wimper- und Rädertiere), ein weiteres typisches Merkmal nährstoffarmer Gewässer.

Auch das Zooplankton ist durch geringe Dichte, Biomasse und das Überwiegen von Zwergformen charakterisiert und ist somit typisch für einen nährstoffarmen Bergsee. Einzig zwischen August und Oktober 1991 konnte eine Massenentwicklung von *Eudiaptomus gracilis* beobachtet werden (BLOESCH ET AL. 1995). Sämtliche vorkommenden Arten sind Zeiger für oligo- bis mesotrophe Gewässer.

Flora

Die starken Wasserspiegelschwankungen (SCHMASSMANN 1920; NIKLAUS 1967; BLOESCH ET AL. 1995) verhindern eine Besiedlung mit Wasserpflanzen. Die Wassertrübung während der Vegetationszeit kann mit ein Grund sein für das Fehlen von Wasserpflanzen. Es wäre denkbar, dass sich bei ganzjährig klarem Wasser an der Niederwassergrenze Armeuchteralgenrasen entwickeln könnten.

Fauna

Trotz seiner Höhe dient der Oeschinensee dem Grasfrosch und der Erdkröte als Laichgewässer. Die Bodenfauna ist jedoch im Vergleich zu anderen Bergseen artenmässig und zahlenmässig sehr arm (SCHMASS-



MANN 1920; BLOESCH ET AL. 1995). Das klastisch geschichtete Tiefensediment bringt deutlich zum Ausdruck, dass keine Umschichtung durch Lebewesen (Bioturbation) stattfindet (siehe Abbildung). Eine Tiefenfauna fehlt praktisch vollständig. Damit ist auch die Nahrungsbasis für die Fische sehr gering, und BLOESCH ET AL. (1995) gehen davon aus, dass sich die Fische primär von Anflugnahrung ernähren. Die Fischfauna unterscheidet sich stark von der ursprünglichen Artenzusammensetzung. Falls es überhaupt früher einmal Fische im Oeschinensee gab, was aus geschichtlichen Daten nicht rekonstruiert werden kann (NIKLAUS 1967), handelte es sich wahrscheinlich um Seesaiblinge und evtl. Bachforellen. Schon 1907 bis 1909 wurden die ursprünglich im Nordamerika heimischen Regenbogenforellen und 1949 erstmals kanadische Seesaiblinge (*Salvelinus namaycush*) eingesetzt (NIKLAUS 1967). Der Autor beschreibt weiter, dass die zweite Art bei Angelfischern wegen ihres raschen Wachstums sehr beliebt ist und sich im See selbst fortpflanzen kann, da sie

unempfindlich gegenüber Wasserspiegelschwankungen ist. Allerdings widerspricht die gute Korrelation zwischen Besatz und Fang der Annahme einer gut funktionierenden Fortpflanzung des kanadischen Seesaiblings. Auch heute noch setzen sich die Fänge primär aus kanadischem Seesaibling und Regenbogenforelle zusammen. Durch diesen Fischbesatz ist die natürliche Nahrungskette im Oeschinensee deutlich verändert (BLOESCH ET AL. 1995). Zahlreiche Arten des Tieflandes wie Rotaugen, Hasel, Flussbarsch, Hecht kommen ebenfalls im Oeschinensee vor (Fangstatistik des Kantons Bern) und zeugen von wilden Einsätzen durch Angelfischer und dem Freilassen von Köderfischen.

Trinkwassergewinnung / Wasserkraftnutzung

Das Wasser des unterirdischen Seeausflusses tritt in mehreren Quellen an der Flanke des Bergsturzmaterials in Trinkwasserqualität zutage. Der gesamte Wasserbedarf der Gemeinde

Kandersteg wird durch die Fassung dieser Quellen gedeckt (EPPEL 1996).

Der Oeschinensee wirkt durch die starken Spiegelschwankungen als natürlicher Stausee mit einem Nutzvolumen von 12 Mio m³. Die Quellen des Seeausflusses haben daher eine sehr ausgeglichene Wasserschüttung: 49% fließen im Winterhalbjahr ab. Dieses Regime macht die Quellen sehr interessant für die Wasserkraftnutzung, da der Energiebedarf im Winter am grössten und der Strompreis entsprechend hoch ist. Schon 1903 wurde das Wasser der Seeabflussquellen an drei Stellen gefasst und hydroelektrisch genutzt (NIKLAUS 1967). Die Nutzung wurde mit steigendem Energiebedarf sukzessive ausgebaut. Der letzte Ausbau geschah in den Jahren 1994 bis 1996. Die wesentlichen Elemente bestanden in einer Erneuerung der Wasserfassungen, Druckleitungen und Zentralen, einer Erhöhung der Ausbauwassermenge, und einer neuen Wasserfassung im Öschibach (EPPEL 1996). Dabei konnte die Energieproduktion um fast das Dop-

pelte gesteigert werden. Der Oeschinensee selbst ist glücklicherweise von dieser Nutzung nicht betroffen.

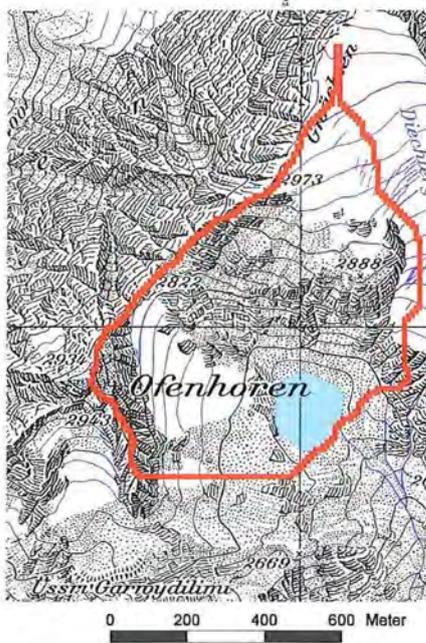
Schlussbeurteilung

Der Oeschinensee gehört zu den wenigen grösseren Gebirgsseen der Schweizer Alpen, die bis heute in ihrer Natürlichkeit erhalten blieben. Weder Wasserkraftnutzung noch Massentourismus haben die Landschaft wesentlich verändert, und der Nährstoffeintrag durch Landwirtschaft und Tourismusunterkünfte kann als gering eingestuft werden (BLOESCH ET AL. 1995). Auch wenn das Gebiet heute noch nicht unter Naturschutz steht, ist es wegen seiner intakten Ökologie und der ausgezeichneten Wasserqualität über die Grenzen des Landes hinaus von grosser Bedeutung. Dieses Ökosystem kann in seiner ganzen Natürlichkeit auch langfristig erhalten werden, wenn die Wasserkraftnutzung nicht auf den See ausgedehnt wird und weiterhin eine sanfte Nutzung durch Tourismus, Landwirtschaft und Fischerei erfolgt.

See beim Ofenhoren

oligotroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1230
 669 021 / 166 781
 2669 m ü.M.
 2.93 ha

Geologie, Geografie und Geschichte

Der natürlich entstandene See liegt im Grimselgebiet, etwa 3 km nördlich des Gelmersees. Im Einzugsgebiet des höchstgelegenen Kleinsees des Kantons dominieren Fels, Schutt und Gletscher. Wie bei allen Seen in der Grimsel besteht der Untergrund zu 100% aus kristallinem Gestein. 1993 erscheint der See beim Ofenhoren erstmals auf der Landeskarte 1 : 25 000, 1980 ist er noch nicht eingezeichnet. Ob er durch Ausaperung eines Schneefeldes in den letzten Jahren neu entstanden ist oder ob er nur in Jahren mit wenig Schnee und warmem Sommer auftaut, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Bedingt durch die schwer zugängliche, hochalpine Lage konnte der See auch in dieser Studie nicht untersucht werden.

Gerade im Zusammenhang mit dem kristallinen Untergrund und der damit verbundenen sehr schwachen Pufferung wäre jedoch eine Untersuchung bezüglich Versauerung (pH) sowie der Algenzusammensetzung von Interesse.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 50.99 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3026 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2803 m ü.M.

Flächenanteile

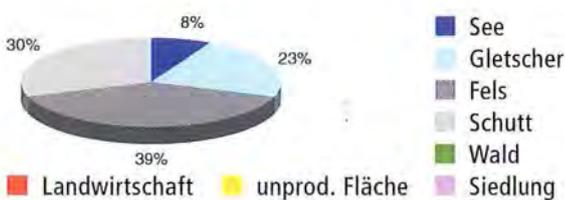


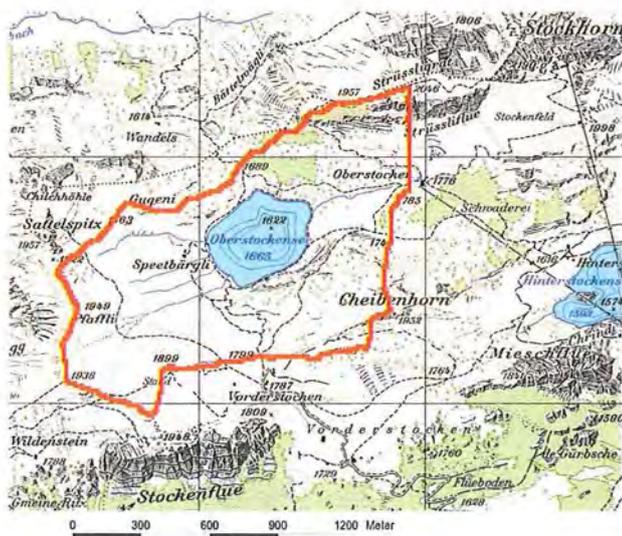
Foto: GBL / M. Zeh

Oberstockensee

polytroph



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------|--------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1207 |
| Koordinaten | 606 316 / 170 710 |
| Maximaltiefe | 1665 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 11.81 ha |
| Seefläche | 43.0 m |
| Maximaltiefe | 1 694 947 m ³ |
| Seevolumen | |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Oberstockensee liegt an der Nordflanke des Simmentals am Fusse des Stockhorns, 11 km südöstlich von Thun. Der Untergrund besteht aus reinem Karbonatgestein. Dolinen im Gebiet lassen auf Karsteinfluss schliessen. Im Nordwinkel des Sees befand sich der unterirdische Abfluss. Von dort aus floss das Wasser mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 37–44 m/h durch die Gesteinsschichten und trat 3.1 km entfernt beim Buischbach wieder zu Tag. COLLET (1917) konnte mit einem Färbeversuch nachweisen, dass bei Hochwasser ein Teil des Wassers einen kürzeren Weg nahm und nach weniger als der Hälfte der gewöhnlichen Fließzeit an der gleichen Stelle austrat. Diese hydrologischen Besonderheiten

haben sich 1945/46 beim Bau des Kraftwerkes grundlegend geändert. In einer Tiefe von 12–20 m wird das Wasser gefasst und in einem Freilaufstollen dem tiefergelegenen Hinterstockensee zugeleitet (ZEH 1996). Nur noch bei Höchststand erreicht der Seespiegel das Niveau des unterirdischen Abflusses. Der See, welcher schon vor der Energienutzung beträchtlichen Spiegelschwankungen unterlag (BAUMANN 1910), hat heute eine Pegelamplitude von 8 m.

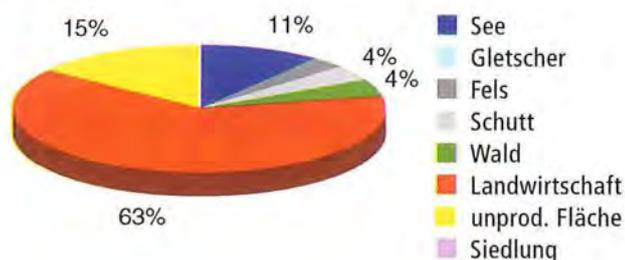
Produktivität / Trophiegrad

Der Oberstockensee, insbesondere das Hypolimnion, ist stark belastet mit Nährstoffen: Ammonium und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) weisen sehr hohe Konzentrationen auf.

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 117.81 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 1994 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1778 m ü.M. |

Flächenanteile



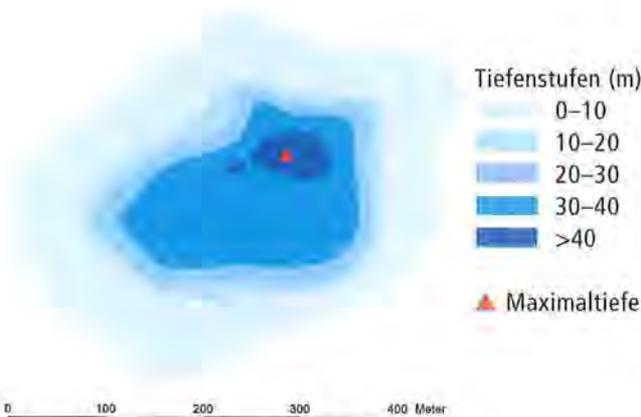
Aufgrund der mittleren Gesamtphosphorkonzentration muss der See als **polytroph** beurteilt werden. Auch Sauerstoffsättigungen von knapp 200% im Epilimnion und pH-Werte von über 9 sind aussergewöhnlich und sprechen für eine sehr hohe Primärproduktion. Entsprechend hoch ist auch die Sauerstoffzehrung im Hypolimnion: In einer Tiefe von mehr als 15 m war im Juli 1994 praktisch kein Sauerstoff mehr messbar, das heisst 45% des Seevolumens sind anaerob.

Temperatur / Mischverhalten

Im Sommer kann sich das Wasser an der Oberfläche mindestens bis auf 17,5 °C erwärmen. Das Temperaturprofil weist zwei Tiefenzonen auf: Das Oberflächenwasser (0–10 m) ist durch einen starken Temperaturgradienten geprägt. Eine Unterteilung in Epi- und Metalimnion ist, wie bei den meisten Bergseen, im Sommer nicht möglich. Das zwischen 3,6 und 4,2 °C kalte Hypolimnion ist dagegen klar abgrenzbar. Der See vereist von Ende November bis Ende Mai. Der Trophiegrad des Sees muss zwingend auch unter dem Aspekt des Mischverhaltens betrachtet werden, denn eine sichere Beurteilung der Belastung ist nur bei Kenntnis des Zirkulationsverhaltens möglich. Bei holomiktischen (d.h. regelmässig vollzirkulierenden) Seen

kommt ein derartiges Sauerstoffdefizit im Hypolimnion nur durch starke Überdüngung zustande. Bei meromiktischen Seen dagegen, welche nur äusserst selten auf Grund eines aussergewöhnlichen Wetterereignisses zur Mischung gelangen, können die beobachteten Symptome schon bei relativ geringer Nährstoffbelastung beobachtet werden. Im nicht durchmischten Tiefenwasser meromiktischer Seen (Monimolimnion) reichert sich mit den Jahren eine grosse Nährstoffmenge an, welche durch Biomasseabbau sowie Rücklösung aus dem Sediment entsteht. Dadurch wird das spezifische Gewicht des Tiefenwassers erhöht, was zusätzlich zur Stabilität der Schichtung beiträgt. Im Monimolimnion herrschen das ganze Jahr Zehrungsprozesse, und eine Sauerstoffanreicherung über die Atmosphäre findet, wenn überhaupt, nur sehr selten statt – es ist sauerstofffrei. Der Oberstockensee ist stark nährstoffbelastet und hat eine Tendenz zu Meromixie. Durch seine grosse Tiefe und kleine Oberfläche, die Lage im Bergkessel und die starke chemische Schichtung wird eine Zirkulation behindert (ZEH 1996). Ob Meromixie aber effektiv vorliegt, kann nur durch regelmässige, über das ganze Jahr verteilte Tiefenprofilmessungen bzw. durch Bestimmung des Alters des Tiefenwassers herausgefunden werden. Solche aufwendigen Untersuchungen wurden bisher nicht durchgeführt.

Tiefenkarte Oberstockensee



Plankton

Das Vorkommen von Schwefelbakterien und Schwefelpurpurbakterien sowie giftigen reduzierten Verbindungen wie Schwefelwasserstoff und Sulfid ist charakteristisch für die anaeroben Bedingungen im Hypolimnion. Gleichzeitig ist dies ein Hinweis auf ein Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser. Das Phytoplankton ist mit 44 taxonomischen Einheiten relativ artenarm. Goldalgen dominieren, Grünalgen kommen nur in vier Arten vor und Augenflagellaten fehlen. Diese Zusammensetzung ist eher typisch für einen wenig belasteten See und widerspricht scheinbar den Ergebnissen der Chemie und Physik. Allerdings handelt es sich dabei um eine Momentaufnahme, welche angesichts der grossen Dynamik solcher Bergseen (vgl. Oeschensee) nicht überinterpretiert werden darf (ZEH 1996). Die an Sauerstoffmangel angepasste Larve der Büschelmücke konnte früher ebenfalls im Oberstockensee nachgewiesen werden (BAUMANN 1910). Das heute sowohl aus Zeigern nährstoffärmer wie belasteter Gewässer zusammengesetzte Zooplankton vermittelt kein eindeutiges Bild.

Flora

Die relativ steilen Ufer bieten nur beschränkten Lebensraum für Wasserpflanzen. Die Ausdehnung der Wasserflora war schon um 1910 relativ gering, umfasste aber Armelechteralgen, Laichkrautbestände und Schachtelhalme. Über die heutige Situation liegen, soweit uns bekannt, keine Daten vor.

Fauna

Wasserpflanzenbestände sind von grosser Bedeutung als Lebensraum für Bodenorganismen. Diese Benthos-Fauna ist arten- und individuenärmer als diejenige des Hinterstockensees (BAUMANN 1910), welcher zum

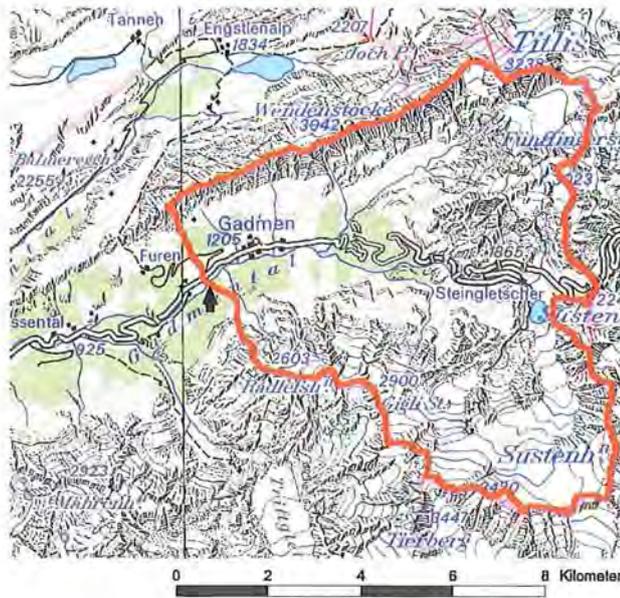
Teil ausgedehnte Litoralzonen aufweist. Die Fischfauna ist ganz wesentlich geprägt durch die intensive Besatzwirtschaft mit Regenbogenforellen, welche durch die Stockhornbahn AG betrieben wird. Trotz dieser Bewirtschaftung benützen noch heute Grasfrösche den See als Laichgewässer. Ein Vorkommen der Erdkröte und des Bergmolches konnte dagegen seit BAUMANN (1910) nicht mehr bestätigt werden.

Handlungsbedarf bei der Landwirtschaft

Das Einzugsgebiet hat einen hohen Landwirtschaftsanteil. Durch die steilen Hänge ist die Tendenz einer Abschwemmung von Nährstoffen sehr gross. Die Bestossung der Alpweiden hat zwischen 1963 und 1993 um 12% zugenommen (BEUTLER & JUTZELER 1994). Der Hofdüngeranfall ist aber stärker angestiegen, da die Leistung der Tiere zugenommen hat. Der Hofdünger wird grösstenteils als Jauche und nur in einem Teil der Weidefläche ausgebracht. Jauche wird im Gegensatz zu Mist leicht abgeschwemmt. Die Düngung ist derart intensiv, dass eine deutliche Veränderung der Vegetation festgestellt werden kann. Grosse Futterpflanzen (Stickstoffzeiger) dominieren. Dadurch ist die Grasdecke weniger geschlossen und wird empfindlicher auf Trittschäden und Erosion. Die Gefahr der Auswaschung von Nährstoffen wird so massiv erhöht. Eine Korrektur dieses Zustandes ist nur möglich, wenn die Düngewirtschaft von Jauche auf Festmist umgestellt wird (BEUTLER & JUTZELER 1994).

Eine weitere wirksame Sanierungsmassnahme besteht in der Schaffung eines Pufferstreifens mit einem totalen Düngeverbot. Dadurch würde einerseits der direkte Nährstoffeintrag durch oberflächliche Abschwemmung reduziert und andererseits durch die sich verändernde Vegetation die Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen erhöht.

Pumpenfassung Furen



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1210
 668 930 / 176 050
 1151 m ü.M.
 0.76 ha

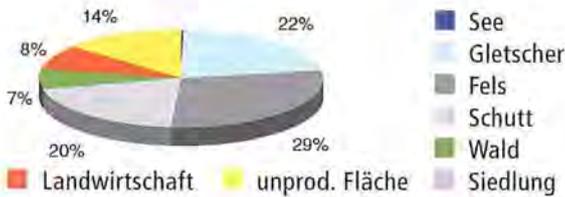
Die Pumpenfassung Furen, 12 km östlich von Meiringen, ist ein Bauwerk der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) zur Fassung des Gadmerwassers. Der Bach wird durch ein Wehr gestaut und in einem Stollen zur Zentrale Fuhren geleitet, wo das Wasser mit demjenigen aus dem Gental (siehe Engstlensee und Ausgleichsbecken Teilflau) und dem Steinwasser, welches bei Obermad an der Sustenpassstrasse gefasst wird, vereinigt wird. Von dort aus gelangt das Wasser in die Kraftwerkzentrale Innertkirchen I. Je nach Bedarf kann es auch in den Zentralen Hopflaenen und Innertkirchen II abgearbeitet werden (BENELLI 1990).

Die Pumpenfassung Furen ist ein künstliches Speicherbecken und hat als Lebensraum für Fauna und Flora keine wesentliche Bedeutung. Das Gewässer gleicht eher einem Flusstau als einem See. Aus diesen Gründen wurde auf limnologische und chemische Untersuchungen verzichtet.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 5689.47 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3500 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2204 m ü.M.

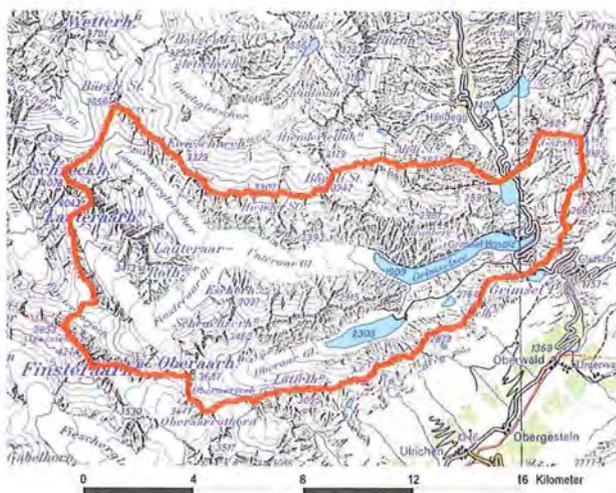
Flächenanteile



Räterichsbodensee

oligotroph

Foto: GBL / M. Zeh

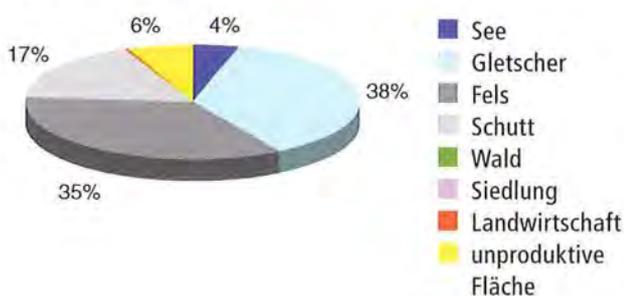


| | |
|--------------------------|---------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1230 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 667 923 / 160 195 |
| Höhe Seeoberfläche | 1767 m ü.M. |
| Seefläche | 65.77 ha |
| Maximaltiefe | 77 m |
| Seevolumen | 25 928 466 m ³ |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Fläche topographisches EzG: | 11 443.32 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 4272 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2642 m ü.M. |

Flächenanteile



Hydrologie

Der Pumpspeichersee ist der am tiefsten gelegene grosse Stausee der KWO im Grimselgebiet und erhält Wasser über Stollen aus dem Grimsel- und Oberaarsee. Er dient zudem als Speichersee für Wasser aus den anderen genutzten Einzugsgebieten der KWO. Im Vergleich zu den künstlichen Zuleitungen fällt das Wasser aus seinen fünf natürlichen oberirdischen Zuflüssen kaum ins Gewicht (BENELLI 1990). Die Nutzung des Sees bewirkt Pegelschwankungen von bis zu 55 m. Der von seinen eigenen Zuflüssen oder vom Grimsel- und Oberaarsee eingeschwemmte Gletscherschliff wird so dauernd in Schwebelage gehalten. Der See ist während des ganzen Jahres trüb.

Trophiegrad / Plankton

Der pflanzenverfügbare Phosphor lag 1996 mit 2 µg/l (Daten

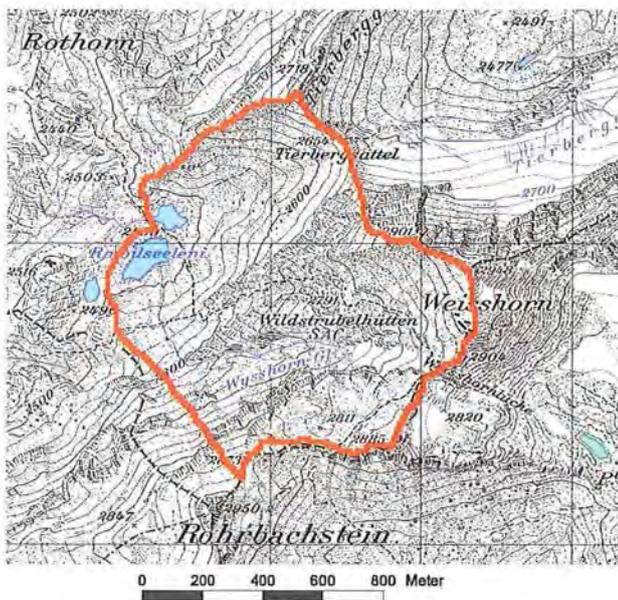
LIMNEX) klar im **oligotrophen** Bereich. Beim artenarmen August-Phytoplankton handelt es sich mehrheitlich um bewegliche Formen, eine Anpassung an die starke Wassertrübung. Im Zooplankton wurden drei Arten gefunden, wovon zwei oligotrophe Bedingungen bevorzugen.

Flora / Fauna

Die Lebensbedingungen sind für Wasser- und Sumpfpflanzen, aber auch für Fische wegen der grossen Pegelschwankungen, der ausgeprägten Gletschertrübung und damit der schlechten Lichtverhältnisse äusserst ungünstig. Die Situation wird verschärft durch den Pumpspeicherbetrieb der KWO, die extreme winterliche Absenkung und die regelmässig wiederkehrende Totalabsenkung des Sees (MARRER 1998). Der Räterichsbodensee ist daher als Lebensraum für aquatische Organismen nicht geeignet.



Foto: GBL / K. Guthruf



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten
 Höhe Seeoberflächen
 Seeflächen

1266
 601 600 / 136 970
 2487–2489 m ü.M.
 1.87 ha



Geschichte, Hydrologie

Zwischen Rawilpass und dem Gipfel des Rohrbachsteins liegen die Rawilseeleni, rund 8.5 km südlich von Lenk und knapp 400 m westlich der Wildstrubelhütten. Die Kleinseen, welche sich in einem grösseren Karstgebiet zwischen Wildhorn, Rawilpass und Wildstrubel befinden (WILDBERGER 1981), weisen grosse Spiegelschwankungen auf. Deswegen ist z.B. das Rawilseeli beim Rawilpass auf der neuesten Landeskarte nicht aufgeführt, obschon es auf der früheren Karte eine Fläche von etwa 1.2 ha aufwies.

Der nördliche See weist, soweit aus der Landeskarte 1 : 25 000 ersichtlich, keinen dauernden oberirdischen Zufluss auf. Sein vermutlich ebenfalls periodischer oberirdischer Abfluss ergiesst sich in das mittlere und momentan grösste Seeli. Wie gross der Einfluss der oberirdischen Zu- und Abflüsse ist und ob das topographische Einzugs-

gebiet grösser oder kleiner als das tatsächliche (hydrologische) ist, ist ungewiss.

Auf Grund der Luftaufnahmen ist ersichtlich, dass die Umgebung der Seeli aus fast vegetationsfreien Schutthängen und einigen Felsen besteht. Das mittlere Seeli weist einen geringen Anteil an Gletschereis in seinem topographischen Einzugsgebiet auf, dessen Schmelzwasser wahrscheinlich die milchige, von NEF (1992) beobachtete, Trübung im Herbst 1991 verursachte. Das nördliche Seeli war dagegen von klarer grüner Farbe. NEF (1992) wertete die Seeli auf Grund ihrer niedrigen Planktongehalte als **oligotroph**. Weitere limnologische Untersuchungen fehlen.

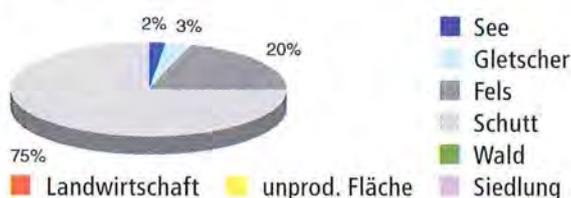
Flora / Fauna

Die grossen Spiegelschwankungen der Seeli erschweren eine Besiedlung durch Fauna und Flora.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 94.1 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2947 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2700 m ü.M.

Flächenanteile

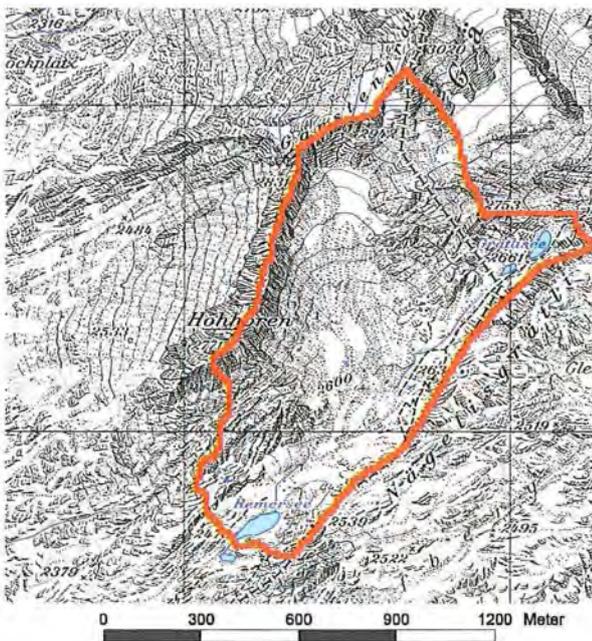


Remersee

oligotroph



Foto: GBL / M. Zeh

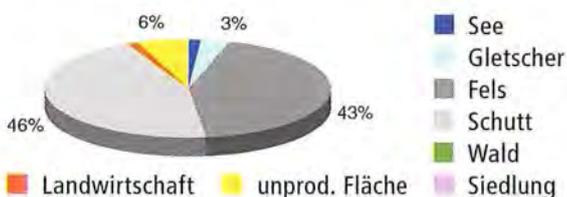


| | |
|--------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1230 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 670 195 / 158 700 |
| Höhe Seeoberfläche | 2470 m ü.M. |
| Seefläche | 0.56 ha |
| Maximaltiefe | 2.1 m |
| Seevolumen | 5260 m ³ |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 83.44 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2979 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2655 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Im nördlichen Schneetälchen des Nägeligrates, etwas mehr als 1 km nordöstlich des Grimspasses, entspringt ein kleiner Bach, der schon nach rund 100 m als einziger Zufluss in den in einer kleinen Mulde liegenden Remersee mündet. Sein oberirdischer Abfluss speist das unterhalb gelegene kleinere Seeli, wo das Wasser verdunstet oder versickert. Das topographische Einzugsgebiet besteht aus kristallinem Fels und kaum bewachsenen Schutthängen. Die Vergletscherung ist für einen See dieser Höhenlage mit 3% gering. Der Remersee dürfte mindestens schon seit einigen Jahrzehnten bestehen; die Seeli beim Nägeligrat dienen als Wasserlieferanten des hinteren Grimsees (BOURCART 1906).

Temperatur / Mischverhalten

Die geringe Tiefe von nur 2.1 m erlaubt keine stabile Temperaturschichtung, wie dies das Profil während der Probenahme im Hochsommer zeigt. Die Temperatur an der Oberfläche erreichte gerade 3.5 °C. In einem Meter Tiefe sank sie auf 2.8 °C, um in 2 m Tiefe auf 4.0 °C anzusteigen. Ob diese spezielle Temperaturschichtung auf den Temperaturverlauf und die Witterung der letzten Tage zurückzuführen ist oder durch die Einschichtung des Zuflusses im Tag-Nacht-Rhythmus zustandekommt, kann anhand der einmaligen Probenahme nicht beantwortet werden. Während der Probenahme war die Zuflusstemperatur höher als diejenige der Seeoberfläche. Das Wasser schichtete sich

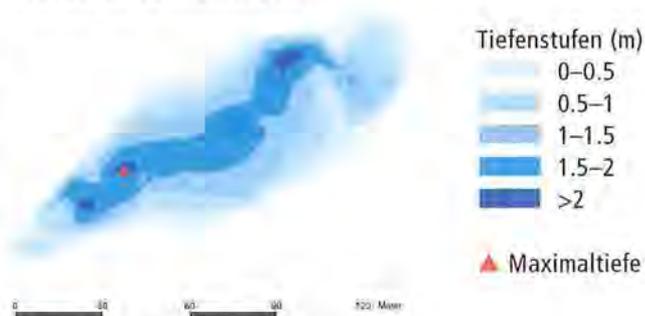
folglich während der Probenahme an der Seeoberfläche ein.

Produktivität / Trophiegrad

Der mittlere Gesamtphosphorgehalt ($< 9 \mu\text{g/l}$) zeigte einen **oligotrophen** Zustand des Remersees an. Der etwas erhöhte Oberflächenwert ($16 \mu\text{g/l}$) entsprach in etwa der Konzentration des Zuflusses. Auch die Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und an Stickstoff waren sehr niedrig. Das kristalline Einzugsgebiet und die geringe Belastung bestätigten sich in der sehr geringen Härte und Leitfähigkeit. Der im leicht sauren Bereich liegende pH ist auf die minimale Pufferung des Sees zurückzuführen.

Sichttiefe bis zum Grund, Sauerstoffsättigung und Chlorophylla-Konzentration wiesen auf eine sehr geringe Algenproduktion hin. Der auf der gesamten Länge hell gefärbte Sedimentstich lässt erkennen, dass es über Grund, wenn überhaupt, selten zu anaeroben Bedingungen kommt.

Tiefenkarte Remersee



Plankton

Die artenarme Algenzusammensetzung bestand im Juli 1997 hauptsächlich aus Gold- (7) und Grünalgen (6) mit nur wenigen Vertretern von Blaualgen (4) und Kieselalgen (2). Die Artenarmut und geringe Dichte sind auf den

niedrigen Nährstoffgehalt und die tiefe Temperatur zurückzuführen und bestätigen die oligotrophen Bedingungen. Zooplankton wurde nicht gefunden.

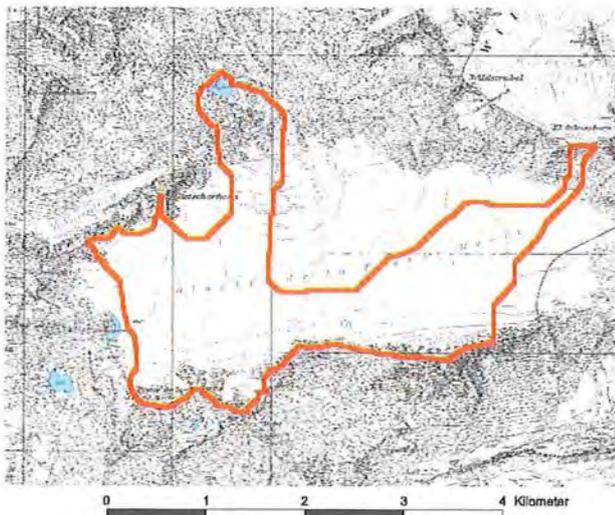
Flora / Fauna

Im glasklaren See konnte man das sehr helle, vollkommen vegetationsfreie Sediment deutlich erkennen. Inwiefern das Ufer von Sumpfpflanzen besiedelt wird, konnte nicht erfasst werden, da zum Zeitpunkt der Probenahme noch über die Hälfte von Schnee bedeckt war. Untersuchungen zur Fauna sind nicht bekannt.

Rezligletscherseeli

oligotroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1267
 604 500 / 138 675
 2265 m ü.M.
 3.08 ha

Geschichte, Hydrologie

Unterhalb des Rezligletschers, etwa 7.5 km süd-südöstlich der Ortschaft Lenk, liegt das Rezligletscherseeli. Der kalkreiche Untergrund seines topographischen Einzugsgebietes ist Teil des Karstkomplexes zwischen Wildhorn und Wildstrubel (WILDBERGER 1981). Sein einziger oberirdischer Zufluss bringt Schmelzwasser vom Rezligletscher, dessen Eis das Einzugsgebiet zu rund 84% überdeckt. Der oberirdische Abfluss mündet nach wenigen Metern in den Rezligletscherbach, welcher nach Norden in den Trüebbach, einen Zufluss der Simme, entwässert. Über unterirdische Zu- und Abflüsse ist nichts bekannt.

Oberfläche 1.3 °C und stieg über Grund (4 m Tiefe) auf 3.7 °C. Der See war folglich, wie andere mit Eis bedeckte Seen, invers geschichtet. Die Eisbohrung erfolgte an der auf Grund der Topografie des Gebietes zu erwartenden tiefsten Stelle. Ob effektiv die tiefste Stelle erfasst wurde, ist unsicher. Aussagen über das Mischverhalten sind angesichts der einmaligen Probenahme nicht möglich.

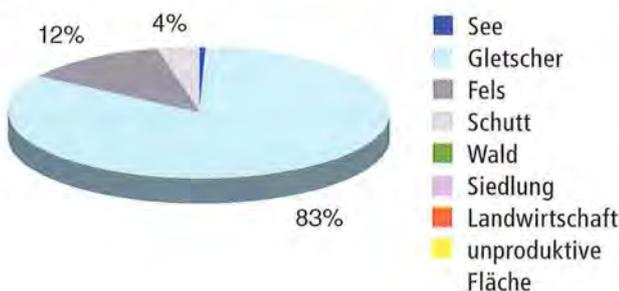
Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 605.9 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3147 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2743 m ü.M.

Produktivität / Trophiegrad

Die Nährstoffgehalte und der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) aus der einzigen Probe direkt unter dem Eis waren sehr tief und weisen auf ein **oligotrophes** Gewässer hin. Das Wasser war auch noch über Grund mit Sauerstoff gesättigt. Die elektrische Leitfähigkeit und die Gesamthärte waren für einen See in kalkreichem Gebiet sehr niedrig und bestätigen den grossen Einfluss des Gletscherwassers.

Flächenanteile



Temperatur / Mischverhalten

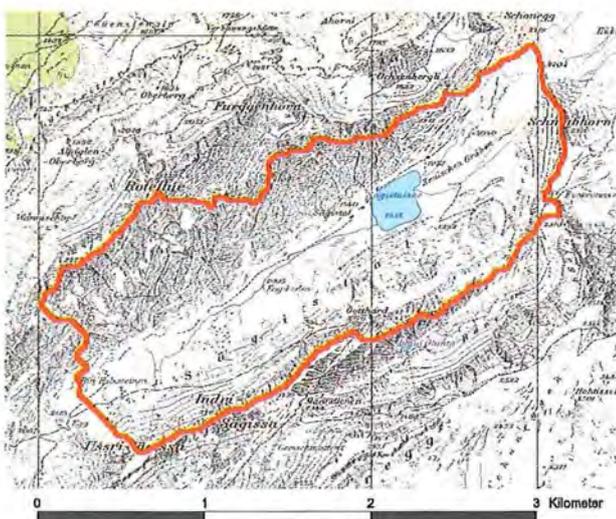
Zum Zeitpunkt der Probenahme im März 1997 war der See von einer mehr als 1.6 m dicken Eisschicht bedeckt (siehe Foto). Die Temperatur erreichte an der

Sägistalsee

oligo-mesotroph



Foto: GBL / M. Zeh

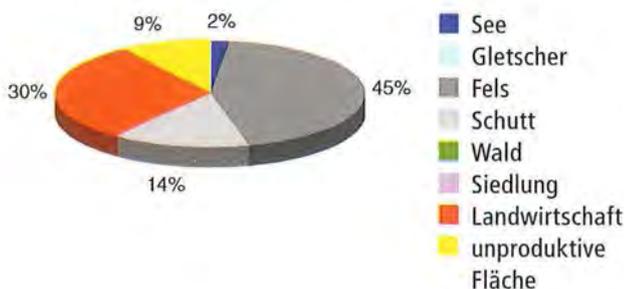


| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1209 |
| Koordinaten | 641 168 / 169 975 |
| Maximaltiefe | 1935 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 7.25 ha |
| Seefläche | 9.4 m |
| Maximaltiefe | 467 123 m ³ |
| Seevolumen | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG | 362.2 ha |
| Fläche hydrologisches EzG | 411.5 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG | 2462 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG | 2100 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Der Sägistalsee liegt 8 km östlich von Interlaken zwischen Faulhorn und Roteflue in einer Mulde ohne oberirdischen Abfluss. Das Einzugsgebiet besteht zu 100% aus Kalkgestein. Karsterscheinungen, wie Dolinen und Karrenfelder, sind häufig. Im Berner Wanderbuch (zitiert in SPENGLER 1973) wird der Sägistalsee selbst als eine mit Wasser gefüllte Doline bezeichnet. Im Westen wie im Osten speisen relativ grosse Zuflüsse den See. Er hat einen unterirdischen Abfluss am Nordufer. Das Wasser verschwindet in drei Austrittsstellen (Schwundlöchern). Zwei davon haben nur bei Hochwasser Abfluss. Es handelt sich um enge Klüfte, die während der Schneeschmelze nicht die gesamte Wassermenge bewältigen können. Der Seespiegel schwankt

daher rund 1.3 m im Jahresverlauf. Die Schwundlöcher setzen sich an der Oberfläche in Kluftlinien fort. Es wird vermutet, dass das Wasser im Berginnern diesen Kluftlinien folgt. SPENGLER (1973) konnte mit einem Färbeversuch nachweisen, dass das Sägistalsee-Wasser entlang von zwei Wegen abfließt: Der grösste Teil wählte den Weg in nördlicher Richtung und trat nach einer unterirdischen Fließsstrecke von 8.5 km im Giessbach, welcher in den Brienersee mündet, wieder zutage. Ein kleinerer Teil floss in südwestlicher Richtung ab und gelangte nach einer unterirdischen Fließsstrecke von 6.5 km via Kienbach, Oberällbach, schwarze Lütschine und Schwendibach ins Lütschinental. Die Fließgeschwindigkeiten waren selbst für Karstbäche sehr langsam (0.24–2.15 m/min). Auf Grund der hohen Spitzen der

Farbstoffkonzentration ist es unwahrscheinlich, dass sich das Wasser in Klüften und Siphons verteilt. Eher könnte die zeitliche Verzögerung auf schlecht durchlässige Gesteinsschichten zurückzuführen sein. Eine sichere Antwort auf diese Frage konnte aber auch der Färbeversuch nicht geben (SPENGLER 1973).

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde ein Wasserkraftprojekt ausgearbeitet, in dem das Wasser des Giessbaches genutzt werden sollte. Darin wurden Abklärungen über einen 8 m hohen Aufstau des Sägistalsees gemacht. Das Projekt wurde jedoch aus verschiedenen Gründen aufgegeben (SPENGLER 1973).

Temperatur / Mischverhalten

SPENGLER (1973) beobachtete im Sommer eine Erwärmung des Oberflächenwassers bis auf 13 °C. Im Juli 1993 wurden 11,5 °C gemessen (unpublizierte Daten EAWAG). Die Temperatur des Tiefenwassers schwankte während der Sommer 1970 und 1971 zwischen 5 und 6 °C. 1993 war das Tiefenwasser mit 4,4 °C bedeutend kälter. Es ist davon auszugehen, dass die Sommerschichtung relativ stabil ist und auch von Winden und Kälteeinbrüchen nicht zerstört werden kann. Über das Verhalten im Winter ist nichts bekannt, da bis heute keine Messungen vorliegen.

Produktivität / Trophiegrad

Die mittleren Gesamtposphorkonzentrationen im Sägistalsee lassen auf einen mesotrophen Zustand schliessen (MÜLLER ET AL. 1998). Der gelöste organische Kohlenstoff dagegen deutet auf eine äusserst geringe Belastung hin. Ebenso charakterisieren die Sauerstoffverhältnisse das Gewässer als oligotroph: selbst in der grössten Tiefe betrug die Sättigung über 70%, und auch an der Wasseroberfläche war nur eine sehr leichte Übersättigung feststellbar. Das Sediment ist klastisch geschichtet (vgl. Oeschinensee) und weist keine Anzeichen einer Sauerstoffzehrung auf. Auf Grund der verfügbaren Daten liegt der Sägistalsee im Übergangsbereich oligotroph-mesotroph.

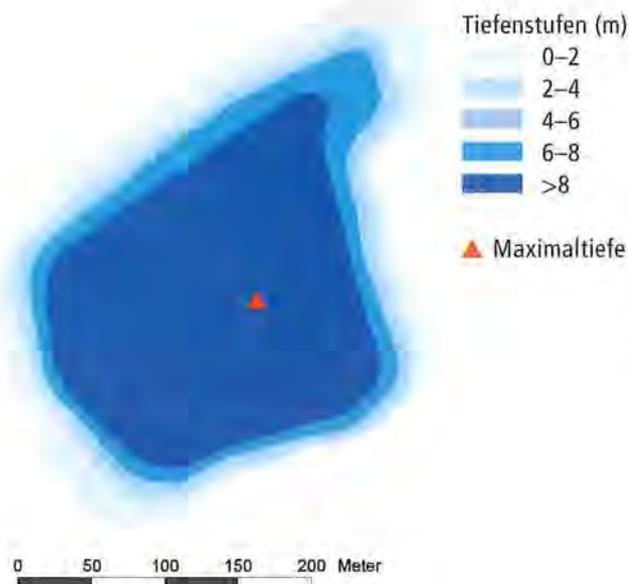
Flora

Armleuchteralgen (*Chara gym-nophylla*) bildeten um die Jahrhundertwende sehr dichte Bestände an der Halde. Die einzigen höheren Pflanzen waren nicht weiter bestimmte Gräser, die untergetaucht (submers) vorkamen (STEINER 1911). 1973 wurden neu das fadenförmige Laichkraut festgestellt und eine Armleuchteralge (*Chara vulgaris*). Früher galten die beiden Armleuchteralgen noch als Unterarten einer Art. Es könnte sich deshalb bei den Erhebungen von 1909 und 1973 um dieselbe Art handeln. Alle Wasserpflanzenarten im Sägistalsee sind typisch für nährstoffarme Gewässer.

Fauna

Ursprünglich wurde der Sägistalsee mit Regenbogenforellen besetzt. Später wurde auf Besatz mit kanadischen Seesaiblingen umgestellt, da diese besser überleben und rascher wachsen. In Bergseen können sie zwischen 50 und 100 cm lang werden (STEINER 1911). Nebst dieser Art wurde zeitweise auch Besatz mit Seeforellen gemacht, später aber wieder aufgegeben. Der heutige Fischbestand setzt sich aus Bachforellen, Elritzen und drei aus Nordamerika stammenden Arten (Regenbogenforelle, Bachsaibling und kanadischer Seesaibling) zusammen. Mit Ausnahme der Elritze werden alle Arten besetzt (pers. Mitt. P. FIECHTER, Därligen).

Tiefenkarte Sägistalsee



Plankton

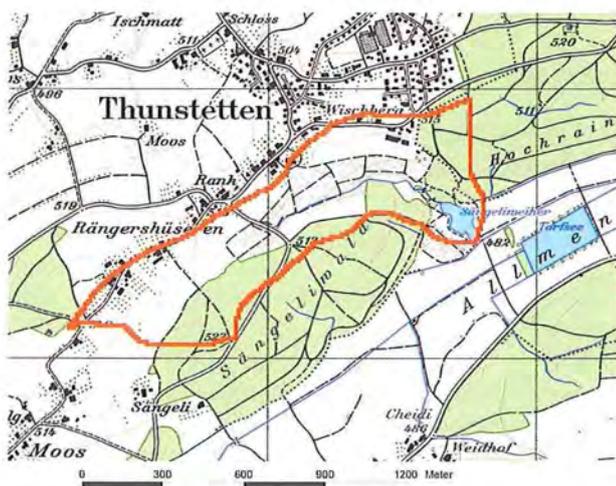
Das Phytoplankton wurde 1906 dominiert durch die Kieselalgen, was STEINER (1911) auf die Höhenlage zurückführt. Grünalgen dagegen kamen nur in geringer Artenzahl vor, und Augenflagellaten waren überhaupt nicht vertreten. Diese Artenzusammensetzung ist nicht nur charakteristisch für die grosse Höhenlage, sondern spricht auch für eine geringe Nährstoffbelastung. Ob sich die Artenzusammensetzung heute geändert hat, kann auf Grund fehlender Vergleichsdaten nicht gesagt werden.

Sängeliweiher

polytroph



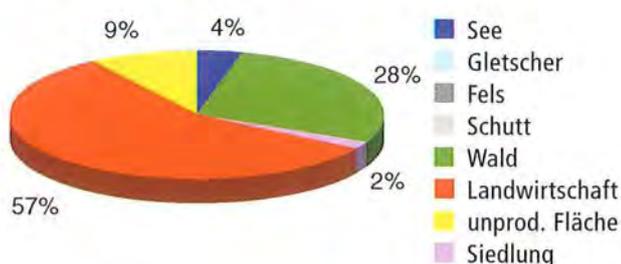
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 54,89 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 540 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 509 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe

1128
 624 747 / 227 529
 481 m ü.M.
 1.11 ha
 2.0 m



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Sängeliweiher liegt rund 200 m nordwestlich des Bleienbacher Torfsees. Die Entstehungsgeschichte dieser beiden Gewässer verlief daher sehr ähnlich. Der ursprüngliche, am Gletscherrand gelegene, grosse See war schon im Jahr 1745 vollständig verlandet, und es existierte keine natürliche offene Wasserfläche mehr (MEYER 1965 zit. in EICHER 1978). Während der Bleienbacher Torfsee, wie der Name sagt, durch Torfausbeutung neu entstanden ist, verdankt der Sängeliweiher seine Existenz der Lehmgewinnung, welche von 1915 bis 1934 dauerte (SCHMALZ 1977). Dabei wurden auch Überreste von Tieren aus der Tertiärzeit zu Tage gefördert. Die Funde im Sängeliweiher selbst und einer weiteren, in

der Nähe gelegenen Lehmgrube (Wischberg) belegen, dass Nashörner, Tapire und Schildkröten im Gebiet lebten und die Vegetation unter anderem aus Fächerpalmen bestand. Auf Grund dieser Funde muss damals (vor etwa 65 Mio. Jahren) ein subtropisches Klima geherrscht haben (SCHMALZ 1977; BINGGELI 1990). Am Ende der Lehmgewinnung war das Sängeli eine tiefe Landschaftswunde und nur zu einem kleinen Teil mit Wasser gefüllt. Dies änderte sich nach Aufgabe der Lehmausbeutung: Zuerst begannen sich Rohrkolben an den Ufern auszubreiten, und mit der Zeit entstand ein 30 m langer und bis zu 5 m breiter Schilfgürtel. Im Bereich des Deltas entwickelte sich ein ausgedehnter Schachtelhalmbestand. Die öde Lehmgrube hatte sich in einen ökologisch wertvollen Lebensraum verwandelt. Sängeliwei-

her und Bleienbacher Torfsee wurden 1977 auf Regierungsratsbeschluss unter Naturschutz gestellt (SCHMALZ 1977; SOLLBERGER 1987). Da der Ausfluss des Sängeliweiher in den Torfsee mündet, ist die Hydrologie der beiden Gewässer sehr ähnlich.

Temperatur / Mischverhalten

Der Sängeliweiher ist maximal 2 m tief, und Licht gelangt zeitweise bis an den Grund. Auch eine länger andauernde Schichtung des Wassers ist nicht zu erwarten. Selbst eine nächtliche Abkühlung reicht aus, dass das Gewässer im Sommer zirkuliert. Damit weist es alle Merkmale eines Weiher auf.

Produktivität / Trophiegrad

Über 50% des heutigen Einzugsgebietes ist Landwirtschaftsfläche, wovon ein grosser Anteil auf eine Baumschule entfällt. Diese Lage zeigt Auswirkungen auf die gesamte Biologie des Kleinsees. Auf Grund des Gesamtphosphors ist er als **polytroph** zu bezeichnen. Pflanzenverfügbarer Phosphor und Stickstoff kommen in hohen Konzentrationen vor. Zumindest während der Probeahme lag keine Limitierung

durch diese Nährstoffe vor. Allerdings können in Kleinseen die limitierenden Faktoren in sehr kurzer Zeit wechseln (BINDERHEIM-BANKAY 1998). Der hohe Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) ist teils auf die hohe Nährstoffbelastung, teils aber auch auf das ehemals moorige Einzugsgebiet zurückzuführen. Auch die Sauerstoffverhältnisse sind ein Abbild des hohen Trophiegrades: Während das Wasser an der Oberfläche leicht übersättigt ist, liegt in 1 m Tiefe bereits eine deutliche Zehrung vor (58% Sättigung). Angesichts der Tatsache, dass Gewässer mit so geringer Tiefe praktisch täglich zirkulieren können, ist eine solche Zehrung beachtlich und widerspiegelt die massive Überdüngung.

Vor 1994 beobachtete der zuständige Fischereiaufseher Veränderungen des Fischbestandes und vermutete eine Vergiftung des Wassers durch Pestizide. Daraufhin wurden umfassende chemische Wasser- und Sedimentanalysen durchgeführt. Obwohl keine toxischen Substanzen direkt nachweisbar waren, stellte sich heraus, dass nicht nur die Fische beeinträchtigt waren, sondern auch das Phytoplankton (ZEH 1996). Die Ursache(n) für diese Veränderungen konnte(n) bisher nicht gefunden werden.

Plankton

Das Phytoplankton setzt sich primär aus Grün- und Kieselalgenarten zusammen. Auch Augenflagellaten, als Nährstoffzeiger bekannt, sind durch vier Arten vertreten. Diese Ergebnisse bestätigen die hohen Nährstoffgehalte. Mit 44 Taxa lebten im Sängeliweiher weniger als halb so viele Arten wie im benachbarten Torfsee. Der hohe Nährstoffgehalt stellt jedoch grundsätzlich ein Potential für ein viel artenreicheres und dichteres Plankton dar. Aufgrund der qualitativen und quantitativen Unterschiede muss die Phytoplankton-Lebensgemeinschaft im Sängeliweiher daher als beeinträchtigt bezeichnet werden. Das Zooplankton dagegen ist mit 10 Taxa sehr artenreich und setzt sich aus Zeigern für eutrophe Gewässer zusammen.

Flora

Im Rahmen einer Untersuchung des Wettbewerbs *Schweizer Jugend forscht* wurde das Gebiet um den Sängeliweiher botanisch untersucht. Dabei stellte sich die grosse pflanzliche Vielfalt heraus, welche sich in den 40 Jahren entwickelt hatte. 187 verschiedene Pflanzenarten konnten 1975 festgestellt wer-

den, darunter der stark gefährdete Straussgillbweiderich (FISCHER & RÜESCH zit. in SCHMALZ 1977).

Fauna

Auf Grund seiner faunistischen Vielfalt ist der Sängeliweiher als Lebensraum von hohem ökologischem Wert einzustufen, konnten doch fünf verschiedene Amphibienarten (Grasfrosch, Wasserfrosch, Erdkröte, Bergmolch, Fadenmolch) in grossen oder sehr grossen Beständen nachgewiesen werden. Bis ins Jahr 1970 kamen sogar zwei weitere vor: die Geburtshelferkröte und der stark gefährdete Kammolch. Der Sängeliweiher dient ausserdem 24 Vogelarten als Bruthabitat und weiteren 80 Arten als Rastplatz (SCHMALZ 1977). Die hydrologische Verbindung mit dem Bleienbacher Torfsee äussert sich in einer vollständigen Übereinstimmung der Fisch- und Krebsfauna.

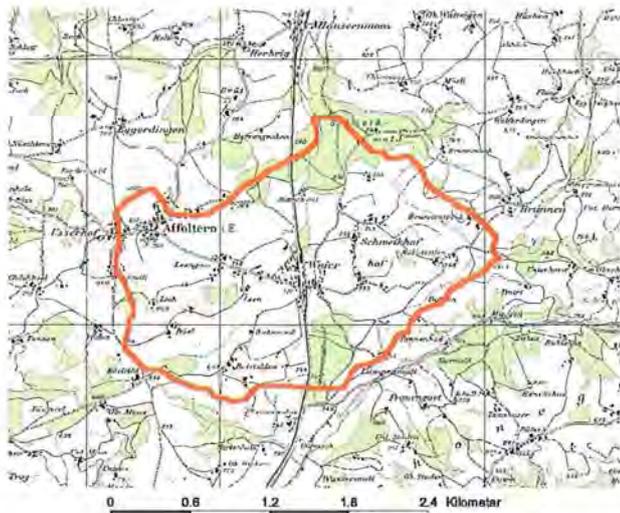
Durch Naturschutz, Jagdbann und Fischereiverbot wurden direkte Störungen durch den Menschen ausgeschlossen. Dennoch ist heute die grosse faunistische und floristische Vielfalt des Sängeliweiher durch Einflüsse von aussen (Nährstoff- und Pestizideintrag) gefährdet.



Foto: GBL / M. Zeh

Schoriweiher

eutroph



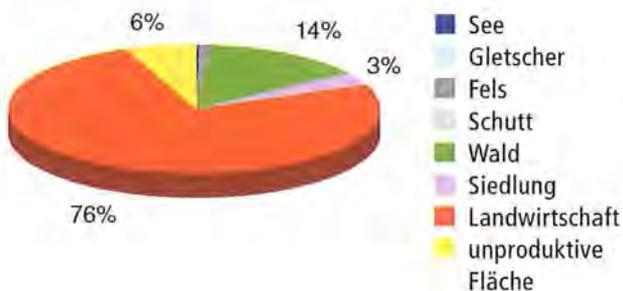
Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1148
 623 753 / 213 480
 712 m ü.M.
 0.6 ha

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 378.8 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 843 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 766 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

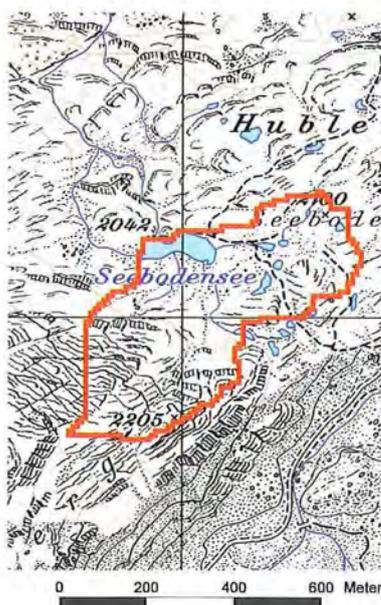
Der Schoriweiher liegt auf dem Boden der Gemeinde Sumiswald, etwa 10 km östlich von Burgdorf. Er befindet sich seit seiner Entstehung vor etwas mehr als 25 Jahren in privatem Besitz und wird als Fischweiher genutzt. Der Abfluss ist gestaut. Frischwasser erhält der Weiher aus dem Rotbach, dem einzigen Zufluss. Dieser entwässert via Langete und Murg bei Murgenthal in die Aare. Der Untergrund seines topographischen Einzugsgebietes besteht zu etwa $\frac{2}{3}$ aus Kalkgestein.

Über den Weiher ist bis jetzt kaum etwas bekannt ausser über den Fischbestand. Nebst anderen Vertretern der Karpfenfische (Karpfen, Brachsmen und Rotaugen) ist auch der stark gefährdete Bitterling nachgewiesen. Die Bach- und Regen-

bogenforellen sowie die Äschen gelangten durch Besatz ins Gewässer. Nebst den erwähnten Fischarten ist der gefährdete Edelkrebs in diesem Gewässer heimisch (pers. Mitt. H. VOGEL-SANG).



Foto: GBL / K. Gutthruf



| | |
|--------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1211 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 675 012 / 175 169 |
| Höhe Seeoberfläche | 2042 m ü.M. |
| Seefläche | 0.73 ha |
| Maximaltiefe | 3.0 m |
| Seevolumen | 8417 m ³ |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Seebodensee liegt in einer Flachmoorlandschaft (ANONYMUS 1991) im Gadmental, 18 km östlich von Meiringen, etwa 2 km westlich des Sustenpasses. 75% des Einzugsgebietes bestehen aus Kristallingestein. Das Wasser kristalliner Gebiete ist nur schwach gegen Versauerung gepuffert. Von landwirtschaftlichem Einfluss sind nur 25% des Einzugsgebietes betroffen. Der Seebodensee wird durch vier Zuflüsse gespeist und hat zwei Abflüsse. Der Seespiegel des natürlichen Kleinsees wurde durch zwei Dämme künstlich höhergestaut.

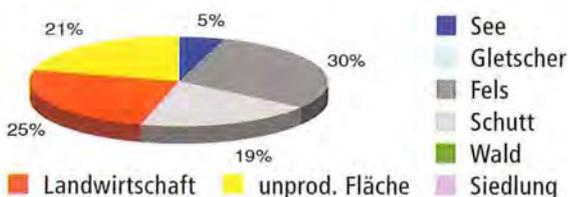
Temperatur / Mischverhalten

Der See ist nur 3 m tief. Winde oder Temperaturstürze, welche in der alpinen Höhenstufe häufig sind, können das Wasser auch im Sommer zum Zirkulieren bringen. Einzig während der langedauernden Vereisung im Winter kann sich unter Umständen eine Schichtung ausbilden. Im Tiefenprofil war bei keinem gemessenen Parameter ein Gradient feststellbar. Der See befindet sich ausserhalb des Gletschereinflusses, und das Wasser ist sehr klar. Das Sonnenlicht gelangt vermutlich während der gesamten eisfreien Zeit bis an den Grund, der von dichten Wasserpflanzenbeständen bewachsen ist. Das Vorkommen von Fischen zeigt, dass der See im Winter

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 19.77 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 18 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2283 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2109 m ü.M. |

Flächenanteile



weder bis zum Grund durchfriert noch ein Sauerstoffdefizit ausbildet.

Die Licht- und Mischverhältnisse charakterisieren den Seebodensee als **polymiktisches** Gewässer im Übergangsbereich Kleinsee-Weiher.

Produktivität / Trophiegrad

Das Wasser ist sehr nährstoffarm, und die Gesamtstickstoff- und Gesamtphosphorkonzentrationen lagen in der gesamten Wassersäule unterhalb der Nachweisgrenze. Einzig über Grund lagen die Nährstoffgehalte im messbaren Bereich. Auch in den Zuflüssen konnte kein Gesamtstickstoff festgestellt werden und der Gesamtphosphor lag im Bereich der Nachweisgrenze (6 µg/l). Der Seebodensee kann daher als **oligotroph** bezeichnet werden.

Die grosse Sichttiefe, die geringe Chlorophyll-a-Konzentration sowie das Fehlen starker Sauerstoffübersättigung oder -zehrung sind charakteristisch für eine

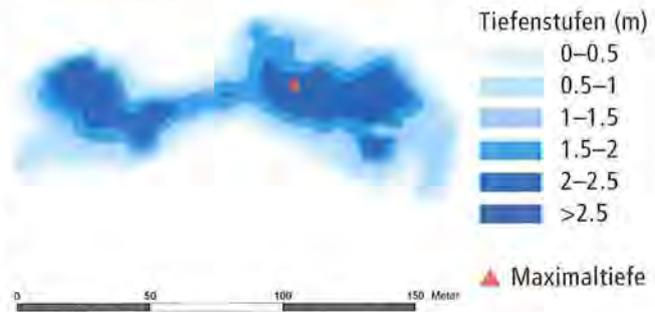
geringe Primärproduktion und bestätigen die Einstufung als oligotroph.

Aus dem Kristallingestein können sich praktisch keine Ionen lösen. Dies kommt in der sehr geringen elektrischen Leitfähigkeit (11–25 µS/cm) und der Gesamthärte (0,06–0,21 mVal/l) deutlich zum Ausdruck. Trotz dieser schwachen pH-Pufferung lagen alle gemessenen pH-Werte im neutralen Bereich. Eine Versauerung des Wassers durch saure Niederschläge wurde nicht festgestellt.

Plankton

Trotz der harten alpinen Bedingungen war das Phytoplankton im Juli 1997 artenreich, konnten doch in einer einzigen Probe 46 verschiedene taxonomische Einheiten nachgewiesen werden. Vertreter der Kiesel-, der Gold- und Jochalgen dominierten, gefolgt von Grün- und Blaualgen. Während die meisten Arten in geringen Dichten vorhanden waren, kamen zwei kleine Formen zum Zeitpunkt der

Tiefenkarte Seebodensee



Probenahme in grossen Mengen vor. Diese Zusammensetzung deutet auf geringe Nährstoffgehalte hin. Die Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen werden somit durch das Phytoplankton sehr gut bestätigt. Das Zooplankton setzte sich aus 4 Arten zusammen, welche keine eindeutige Aussage über den Trophiegrad zulassen.

Flora

Der Seegrund ist von der Armleuchteralge *Nitella flexilis* überwachsen. Diese gilt als Magerkeitszeiger (KRAUSE 1977). Im Uferbereich wurde der Moorbär-

lapp gefunden, welcher nur in sehr nährstoffarmen Gebieten überleben kann. Das Gebiet ist durch seine sauren Flachmoore und Schwingrasen bekannt, welche dem Bergwanderer auf einem Gletscherpfad näher gebracht werden (ANONYMUS 1991).

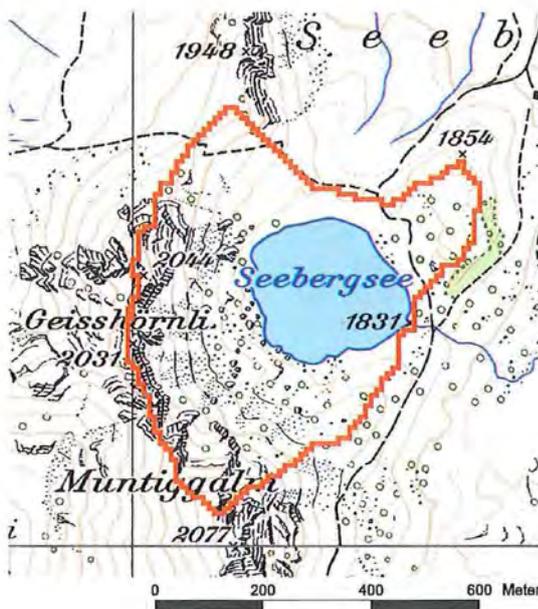
Fauna

Der Seebodensee wird fischereilich bewirtschaftet. Während sich die Elritze natürlich fortpflanzt, sind die beiden nordamerikanischen Arten (Bachsaibling und kanadischer Seesaibling) durch Besatzmassnahmen in den Kleinsee gelangt.

Seebergsee

eutroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe

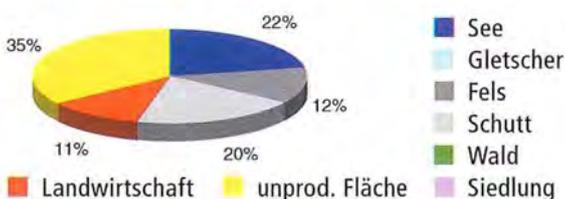
1226
 600 329 / 158 426
 1831 m ü.M.
 5.76 ha
 15.3 m



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 28.35 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 23 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2060 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 1877 m ü.M.

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Seebergsee wird zurzeit von Wissenschaftlern des Geobotanischen Institutes der Universität Bern und der EAWAG unter der Leitung von PD Dr. A. LOTTER untersucht. Besonderes Interesse gilt der Entstehungsgeschichte und Paläobotanik in Abhängigkeit von Änderungen des Klimas und der menschlichen Landnutzung. Die zum Teil noch unpublizierten Daten wurden uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt und bilden den Hauptteil des Datenmaterials zum Seebergsee. Dieser liegt auf der Wasserscheide zwischen Fildrich und Simme, 6 km nordöstlich von Zweisimmen. Das Einzugsgebiet besteht zu 100% aus Karbonatgestein. Karsterscheinungen wie Dolinen und

Karrenfelder spielen im Gebiet eine wichtige Rolle. Es wird angenommen, dass der See durch einen Karst-Einsturztrichter im Holozän entstanden ist. Auf Grund der mittleren Sedimentationsrate und der Mächtigkeit des Sediments wird das Alter des Sees auf mindestens 2000 bis 3000 Jahre geschätzt. In den Sedimentprofilen ist auf Grund von mehreren abrupten Übergängen von organischem und anorganischem Kalksediment zu schliessen, dass der Seespiegel sich im Verlauf der Zeit mehrmals stark geändert hat, was ebenfalls typisch ist für Karstseen. Auch die aktuelle Hydrologie des Sees ist durch das Karstsystem geprägt: Während der See keine oberirdischen Zuflüsse hat, verschwindet der Abfluss 300 m östlich des Sees nach einer Fließstrecke von 510 m in

einer Doline. Es wird vermutet, dass er 1.3 km weiter östlich in einem Bach zutage tritt, welcher via Senggibach, Fildrich, Chirel und Simme in die Kander mündet. Allerdings wurde diese Vermutung, so weit bekannt, bisher noch nicht durch Tracerversuche erhärtet.

Anhand der Polleneinlagerungen im Seesediment können Informationen über die Bewaldung des Einzugsgebietes gewonnen werden. In der Regel steigt die Waldgrenze bei einer Erwärmung des Klimas. Das Gegenteil trat im Einzugsgebiet des Seebergsees ein: In der Wärmeperiode zwischen 1600 und 1670 war der Baumpollenanteil sehr gering und stieg in der Phase der Abkühlung (kleine Eiszeit zwischen 1670 und 1900) stark an. Dies könnte mit der Landnutzung durch den Menschen zusammenhängen. Es wird vermutet, dass das Gebiet während der Wärmeperiode als Weideland interessant war und deshalb gerodet wurde. Während der kleinen Eiszeit waren die Bedingungen für den Weidebetrieb zu karg. Viele Alpweiden wurden verlassen und vom Wald zurückerobert.

Diese Hypothese scheint sich durch die Entwicklung des Trophiegrades zu bestätigen, indem der Nährstoffgehalt während der stärksten Beweidung (höchste Graspollenanteile im Sediment) am höchsten war. Aus der Kieselalgenzusammensetzung wurden Gesamtposphorgehalte von annähernd 300 µgP/l berechnet, was für einen polytrophen Zustand spricht. In diesem Zustand herrschten nur noch Lebensbedingungen für wenige, nährstofftolerante Algenarten. Die Diversität der Kieselalgen ist unter dieser Eutrophierung stark zurückgegangen. Gleichzeitig mit der Aufgabe zahlreicher Alpwirtschaften und damit der Zunahme der Bewaldung hat der Phosphorgehalt im kurzen Zeitraum von 60 Jahren auf etwa 50 µgP/l abgenommen. Der Trophiegrad sank in den Bereich zwischen meso- und eutroph. Auch die Klimaerwär-

mung nach der kleinen Eiszeit könnte zur Reoligotrophierung beigetragen haben, indem der See durch die längere eisfreie Zeit besser mischte (HAUSMANN ET AL. 1998). Durch diese Reoligotrophierung hat sich auch die Artenvielfalt der Algen wieder erhöht. Weitergehende Abklärungen zur Seeentwicklung sind noch im Gange.

Der See ist bis heute weitgehend unbeeinträchtigt und betreffend Natur- und Landschaftsschutz von ausserordentlich hohem Wert. SCHMALZ (1972) bezeichnet ihn sogar als einen der schönsten Bergseen. 1945 war der See bedroht durch ein Wasserkraftprojekt: Das eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft liess die Eignung des Sees als Speicherbecken prüfen. Von den geologischen Gegebenheiten her wäre ein Aufstau um 15 m durch zwei Dämme möglich gewesen. Das Projekt wurde schliesslich wegen Unwirtschaftlichkeit fallengelassen. 1971 wurde er mit samt den umgebenden alpenblumenreichen Weiden und dem am westlichen Ufer gelegenen Arvenbestand unter Naturschutz gestellt.

Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund der mittleren Gesamtposphorkonzentration (51–74 µgP/l) ist der See 1998 als eutroph bis hoch eutroph zu bezeichnen. MÖLLER ET AL. (1998) beurteilten ihn nach einer Messung vom Juni 1993 als mesotroph. Allerdings wurde bei dieser Probenahme während der Stagnation nur ein Tiefenbereich von 0–13 m beprobt, während die Maximaltiefe mit den höchsten Nährstoffkonzentrationen unberücksichtigt blieb. Die Orthophosphat- aber auch die Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen in der trophogenen (= produktiven) Zone lagen während allen Probenahmen unter der Nachweisgrenze, was eindeutig darauf hinweist, dass Nährstofflimitierung vorliegt.

Im Epilimnion wurde während den meisten Probenahmen eine leichte Übersättigung mit Sauerstoff gemessen. Im Hypolimnion dagegen herrschte eine starke Zehrung. Die Zehrung war so stark, dass der Sauerstoffgehalt auf Null sank und darüberhinaus Schwefel in der giftigen, reduzierten Form (Sulfid) vorlag. Das Wasser roch nach faulen Eiern (Schwefelwasserstoff). Diese Ergebnisse belegen das Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser.

Temperatur / Mischverhalten

Im Sommer ist das Wasser des Seebergsees deutlich geschichtet in Epi-, Meta- und Hypolimnion. Im Verlaufe des Sommers verschiebt sich die Sprungschicht in die Tiefe: Im Juni 1998 lag sie zwischen 5 und 7 m, im Juli zwischen 5.5 und 8 m, im September auf 7–8.5 m, um im Oktober auf 9–12 m zu sinken. Im November 1998 konnte der See während der Vollzirkulation beprobt werden. Das Wasser war im gesamten Tiefenbereich zu 100% mit Sauerstoff gesättigt, und die Werte aller gemessenen Parameter waren über den gesamten Tiefenbereich gleich. Das Wasser war von der Oberfläche bis an den Grund 3.3 °C kalt, also deutlich unter 4 °C. Damit konnte die Vermutung, dass der Seebergsee meromiktisch sei, widerlegt werden. Allerdings ist noch nicht bekannt, ob der See in jedem Winter mischt oder ob wir zufällig ein seltenes Phänomen erfasst haben. Eine Untersuchung des Alters des Tiefenwassers im September 1998, also vor der Mischung im November 1998, durch die EAWAG wird Aufschluss darüber geben. Unter dem Aspekt der zurzeit bekannten Ergebnisse kann der Seebergsee als **holomiktisch** bezeichnet werden.

Plankton

Das Phytoplankton des Seebergsees ist sehr artenreich, konnten doch zwischen Juni und Oktober

1998 mindestens 96 taxonomische Einheiten nachgewiesen werden. Annähernd ein Drittel aller Arten waren Grünalgen. Die Augenflagellaten waren mit 8 Arten vertreten. Eine solche Zusammensetzung spricht für einen hohen Nährstoffgehalt. Während mehrerer Monate war eine starke Population kleiner Formen der Blau- und Grünalgen vorhanden. Anzahlmässig dominierten Grün- und Blualgenarten.

Planktische Bakterien kamen im Seebergsee in sehr hohen Dichten vor und waren mit 17 verschiedenen Arten vertreten. Die anaeroben Wasserschichten mit Schwefelwasserstoff bieten optimale Bedingungen für Schwefelpurpurbakterien, welche wegen der hohen Dichte dem Tiefenwasser während der Stagnationsphase eine rosarote Farbe verliehen.

Flora

Von einem erhöhten Beobachtungsort aus sind die zwar schmalen, aber schönen Verlandungszonen gut sichtbar. An manchen Stellen schliessen kleinere Moorgebiete an die Wasseroberfläche an. Die Ufer sind durch Grosseggengerieder und Bestände des Sumpfschachtelhalms gesäumt. An flachen Uferpartien sind diesen Beständen Unterwasserrassen von Laichkräutern und Fischkraut vorgelagert, welche seewärts durch ausgedehnte Armleuchteralgenrasen abgelöst werden. Obwohl nur eine grobe Bestandesaufnahme möglich war und nur die dominierenden Arten aufgenommen wurden, fällt die grosse Vielfalt auf. Von Säurezeigern bis zu Arten, welche neutrale pH-Werte bevorzugen, von Nährstoffzeigern bis zu Magerkeitszeigern ist das ganze Spektrum vertreten. Allerdings konnten im Uferbereich Trittschäden und Nährstoffeintrag durch Kühe beobachtet werden, und die Seggenbestände waren im für das Vieh erreichbaren Bereich bis auf den Wasserspiegel abgefressen.

Fauna

Die Vielfalt in der Flora hat auch Auswirkungen auf die Fauna, für welche die Wasserpflanzenbestände wichtige Habitats darstellen. Trotz der alpinen Lage leben drei Libellenarten im Gebiet. Auch Larven des Grasfrosches und der Erdkröte konnten während den Probenahmen in den Wasserpflanzenbeständen in grosser Zahl beobachtet werden. Den Wasserpflanzen kommt besondere Bedeutung zu, da die Amphibienlarven ohne ihren Schutz dem Frass durch die eingesetzten Fische ausgeliefert wären. Die Wasserpflanzenbestände spielen auch eine nicht zu unterschätzende Rolle als Substrat für wirbellose Kleintiere. Diese wiederum dienen den

Amphibien, Fischen und Wasservögeln als Nahrungsgrundlage. HAURI (1997) beschreibt, dass der Seebergsee als Rastplatz und Nahrungshabitat für die Reiherente von Bedeutung ist. Der Flussuferläufer benutzte früher den See als Brutgebiet (HERREN 1957).

Schon 1903 wurden im See erstmals Fische ausgesetzt, wobei keine Angaben über die Art gemacht werden. 1906 wurde der Fischbesatz wiederholt mit einer «Bränte» voll Forellen (ZUMSTEIN 1992). Auch heute wird der See mit Fischen besetzt, vorwiegend mit Arten amerikanischer Herkunft (Regenbogenforelle, kanadischer Seesaibling). Daneben konnten Elritzen in grosser Zahl in Ufernähe beobachtet werden.

Tiefenkarte Seebergsee

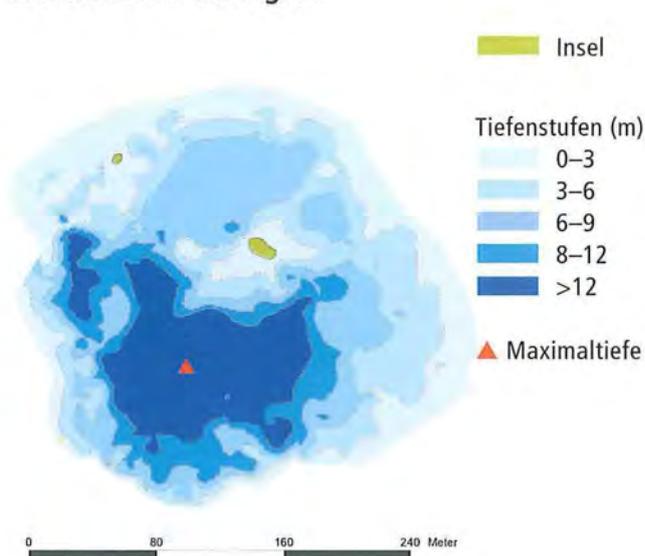
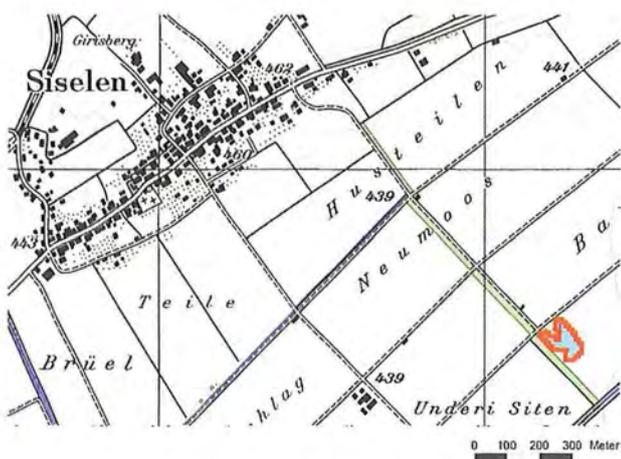


Foto: A. Lotter



Foto: GBL / M. Zeh



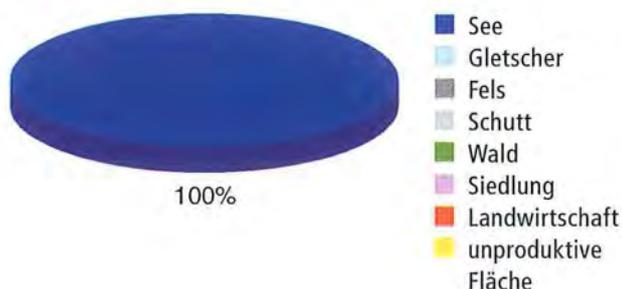
| | |
|------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1145 |
| Koordinaten | 582 267 / 208 491 |
| Maximaltiefe | 439 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 439 m ü.M. |
| Seefläche | 0.54 ha |
| Maximaltiefe | 4.0 m |
| Seevolumen | 7144 m ³ |



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG | 0.71 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG | 439 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG | 439 m ü.M. |

Flächenanteile



Geologie, Hydrologie und Geschichte

Als Folge der 1. und 2. Jura-gewässerkorrektur und der folgenden Meliorationen ging ein Grossteil des Lebensraumes für amphibische und aquatische Tiere und Pflanzen im Seeland verloren (WEGMÜLLER 1990). Es ist eine wichtige Aufgabe des Naturschutzes, in der intensiv bewirtschafteten Agrarlandschaft «naturnahe Inseln» oder «Trittsteine» zu erhalten oder neu zu schaffen, in denen seltene Arten überleben können und von denen aus eine Neubesiedlung stattfinden kann. Der im Bargenmoos, 13 km südwestlich von Biel gelegene Siselenweiher gehört zu den Feuchtgebieten, welche durch menschliche Aktivität entstanden sind. Im Rahmen der Melioration wurde das dazumal verwilderte private

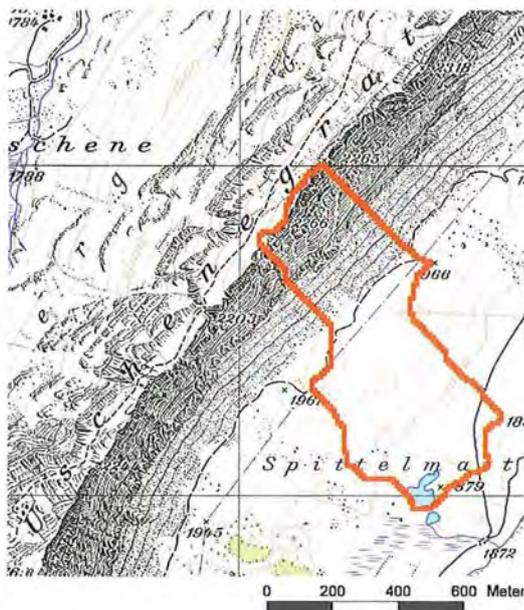
Grundstück dem Kanton zuge-teilt. 1977 wurde der Siselenweiher gebaut und unter Schutz gestellt. Schon kurze Zeit später entwickelte er sich zu einem wertvollen Feuchtgebiet mit üppiger Ufervegetation. Zwischen 1979 und 1980 wurde von der Gemeinde Siselen auf dem angrenzenden Grundstück Kies ausgebeutet. Dieses Gelände wurde nach Einstellung der Arbeiten dem bestehenden Naturschutzgebiet angefügt und in Koordination durch das Naturschutzinspektorat gestaltet. Der Wechsel von 3–4 m tiefen Teilen und grossen Flachwasserzonen trägt zur Vielfalt des Feuchtgebietes bei. Eine Niederhecke grenzt das Naturschutzgebiet nach Südosten gegen das Agrargebiet ab (BOSSERT 1980).

Spittelmattesee

oligotroph



Foto: GBL / M. Zeh

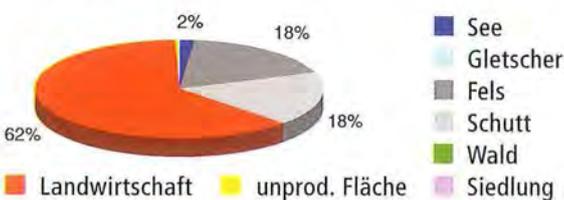


| | |
|------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1267 |
| Koordinaten | 615 563 / 143 996 |
| Maximaltiefe | 1875 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 0.53 ha |
| Seefläche | 2.8 m |
| Maximaltiefe | 3838 m ³ |
| Seevolumen | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 34.87 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 22 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2265 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1972 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Die Spittelmatt liegt nahe der Kantonsgrenze Bern/Wallis nördlich des Arvenwaldes, dem man auf dem Weg von Kandersteg zur Gemmi begegnet. Sie ist eine auf bernischem Gebiet liegende Alp, die von Wallisern bestossen wird (Alpgenossenschaft Leukerbad). Der Spittelmattesee bildet mitten in diesem landwirtschaftlich genutzten Gebiet die einzige offene Wasserfläche eines in einer kleinen Mulde gelegenen Moors. Aus Schutt und Fels besteht das restliche topographische Einzugsgebiet, dessen Untergrund aus kalkreichem Gestein und Ablagerungen des heute im Osten vorbeifliessenden Schwarzbachs gebildet wird. Der See selber besitzt weder einen oberirdischen Zu- noch Abfluss. Ob das Wasser des Spittelmattesees mit dem

Schwarzbach kommuniziert, wurde bisher noch nicht abgeklärt.

Temperatur / Mischverhalten

Am Morgen des 22.7.1997 wurden im See rund 8.5 °C gemessen. Unmittelbar an der Oberfläche war die Temperatur wegen der nächtlichen Abkühlung etwas geringer. Im rund 2.8 m tiefen See kann sich kaum eine längerdauernde stabile Schichtung ausbilden. Er ist zu seicht und dem Wind offen ausgesetzt.

Produktivität / Trophiegrad

Die Nährstoffgehalte waren ausgesprochen niedrig, was sich in der geringen Chlorophyll-a

Temperatur / Mischverhalten

Ende Juni 1997 war der Wasserkörper bis in eine Tiefe von 2.5 m durchmischt. Eine Stabilisierung der Schichtung erfolgte zu diesem Zeitpunkt vor allem durch die am Grund gegenüber der Oberfläche über einen Drittel höhere Leitfähigkeit. Wegen der geringen Tiefe ist von einer Vollzirkulation im Winter auszugehen. Ob und wie häufig der Kleinsee im Sommer zirkuliert, kann auf Grund der einmaligen Probenahme nicht gesagt werden. Die Sichttiefe reicht nicht ganz bis zum Grund. Zumindest zeitweise besteht eine lichtfreie Tiefenzone.

Produktivität / Trophiegrad

Der Siselenweiher ist sehr stark mit Gesamtphosphor belastet, insbesondere das Tiefenwasser. Diese hohe Konzentration kommt durch den Abbau von Biomasse zustande. Angesichts der anaeroben Bedingungen über Grund ist zudem von einer umfangreichen Phosphorrücklösung aus dem Sediment auszugehen. Die mittlere Gesamtphosphorkonzentration (145 µg/l) ist charakteristisch für einen **polytrophen** See. Der hohe Chlorophyll-a-Gehalt weist auf die grosse Algenbiomasse hin und zeigt, dass das reichliche Nährstoffangebot durch Phytoplankton genutzt wird. Wegen des schlechten Wetters vor und während der Probenahme war jedoch die Photosynthese reduziert und das Wasser auch an der Oberfläche nicht mit Sauerstoff gesättigt. Diese Untersättigung kann teilweise auch auf die starken

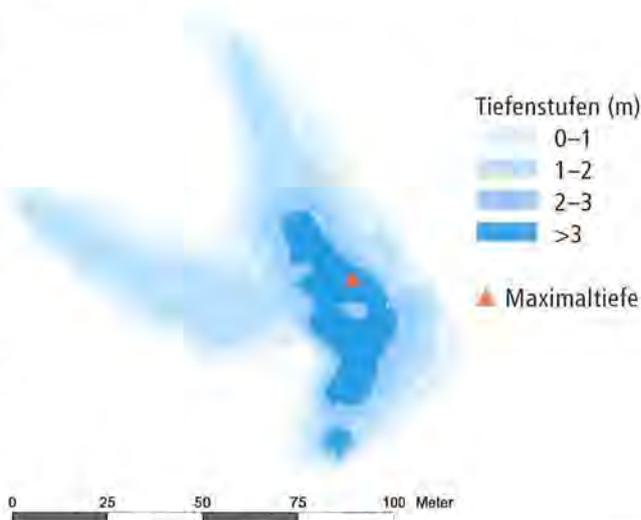
Winde zurückgeführt werden, welche sauerstoffreiches Tiefenwasser mit dem Oberflächenwasser vermischten.

Der Abbau der Algenbiomasse und der Wasserpflanzen benötigt Sauerstoff. Ist dieser aufgezehrt, bauen spezialisierte Bakterien die Biomasse weiter ab. Sie oxidieren («veratmen») Sulfat zu Schwefelwasserstoff oder Sulfid. Diese reduzierten Schwefelverbindungen sind für die meisten tierischen Organismen giftig und zehren Sauerstoff auf, sobald sie damit in Kontakt kommen (Sauerstoffdefizit). Deshalb kann es in solchen Seen trotz Sauerstoffeintrag lange dauern, bis das Wasser wieder Sauerstoff enthält, nämlich bis alle reduzierenden Substanzen oxidiert sind. Diese Zeit wird Fischen zum Verhängnis (siehe Inkwilersee). Auch das schwarze Sediment des Siselenweihes zeugt von der Nährstoffbelastung. Es deutet darauf hin, dass während wesentlichen Teilen des Jahres über dem Seegrund Sauerstoffmangel herrscht.

Plankton

Das Phytoplankton im Juni 1997 war mit 33 taxonomischen Einheiten artenarm. Goldalgen, Schlundflagellaten, Blau- und Grünalgen stellten fast gleich viele Vertreter. Insgesamt erreichte ein Drittel der Taxa eine hohe Dichte. Einige kleine Formen waren sogar massenhaft vorhanden. Auch bei den Bakterien haben sich mehrere Formen stark entwickelt, unter anderem zwei der fünf vorhandenen Schwefelbakterienarten. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf den akuten Sauerstoffmangel im Tiefenwasser. Die Artenzusam-

Tiefenkarte Siselenweiher



mensetzung und das zum Teil massenhafte Vorkommen widerspiegeln den hohen Nährstoffgehalt.

Flora

Die Flora besteht in einer üppigen Ufervegetation (BOSSERT 1980). Röhrichte mit einem hohen, für Tiere besonders wichtigen, Wasserröhrichtanteil machen einen wesentlichen Teil der Fläche aus (WYLER 1988). Dieser setzt sich aus Schilf, Seebinsse und zwei Rohrkolbenarten zusammen. Auch die Bestände untergetauchter Wasserpflanzen sind sehr üppig und werden durch das quirlige Tausendblatt dominiert. Daneben kamen Laichkräuter und Armleuchteralgen vor.

Fauna

Dank der üppigen Vegetation ist der Siselenweiher als Habitat für Libellen interessant. Besonders das ausgedehnte Wasserröh-

richt, die untergetauchten Wasserpflanzen und die hohen Flachwasseranteile spielen für diese Insekten eine wichtige Rolle. Insgesamt konnten 18 Libellenarten nachgewiesen werden (WEGMÜLLER 1990).

Der aus Asien stammende Goldfisch wurde wahrscheinlich in gutgemeinten Aktionen von Aquarianern oder Gartenteichbesitzern im Siselenweiher ausgesetzt. Er vermehrte sich explosionsartig und ist eine ernsthafte Konkurrenz für andere Fischarten und ein Fressfeind für Wirbellose und Amphibien. Es wird an dieser Stelle nochmals ausdrücklich auf die negativen ökologischen Folgen solcher unüberlegter Aussetzungsaktionen hingewiesen. Das Freilassen von exotischen Fischarten, wie z.B. dem Goldfisch oder Sonnenbarsch, ist nach der Gesetzgebung von Bund und Kanton strafbar.

Konzentration ausdrückte. Über die gesamte Wassersäule lag der Sauerstoff im Bereich der Sättigungskonzentration. Die Gesamthärte war für das kalkreiche Einzugsgebiet sehr gering, ebenso die gemessene Leitfähigkeit. Einzig der Gehalt an organischem Kohlenstoff (DOC) ist mit 5.6 mg/l hoch. Die Resultate weisen alle auf einen dystrophen See hin, also einen See, welcher arm an Nährstoffen, aber reich an Huminsäuren ist. Der Kalkgehalt solcher Gewässer ist niedrig und der Sauerstoffhaushalt intakt (NEF 1992). Nach seinem Nährstoffgehalt kann der Spittelmattensee als **oligotroph** beurteilt werden.

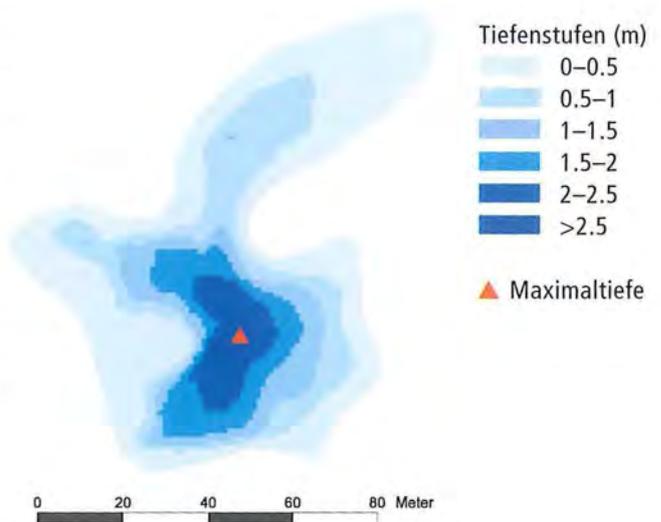
Die gute Sauerstoffversorgung und der alkalische pH-Wert des Seewassers (8.4) belegen, dass es sich (noch) um einen Flachmoorsee handelt. Das Gewässer erhält, wenn auch nicht oberirdischen Zufluss, regelmässig mi-

neralreiches Grundwasser. Erst wenn sich eine viele Meter dicke Torfschicht entwickelt hat, wird das Moorwasser völlig vom mineralischen Grundwasser abgetrennt. Das Seewasser wird sauer, da es nur noch vom Regen alimentiert wird, welcher arm an Mineralstoffen ist. Der Sauerstoffvorrat über Grund wird durch die grossen Mengen an oxidierbaren Huminstoffen aufgebraucht. Auf diese Weise entsteht ein Hochmoorsee mit seiner typischen, relativ artenarmen, Fauna und Flora (ENGELHARDT 1986).

Plankton

Im Juli 1997 kamen die meisten Phytoplanktonarten nur in geringer Dichte vor. 37 taxonomische Einheiten wurden bestimmt, darunter Vertreter der Grünalgen (13), Blaualgen (7)

Tiefenkarte Spittelmattensee



und Goldalgen (6). Das Dominieren der Grün- und Blaualgen deutet auf eine gewisse Belastung des Wassers mit Nährstoffen hin.

Im Zooplankton wurden sechs Arten identifiziert. Davon bevorzugen zwei oligotrophe und zwei eutrophe Bedingungen.

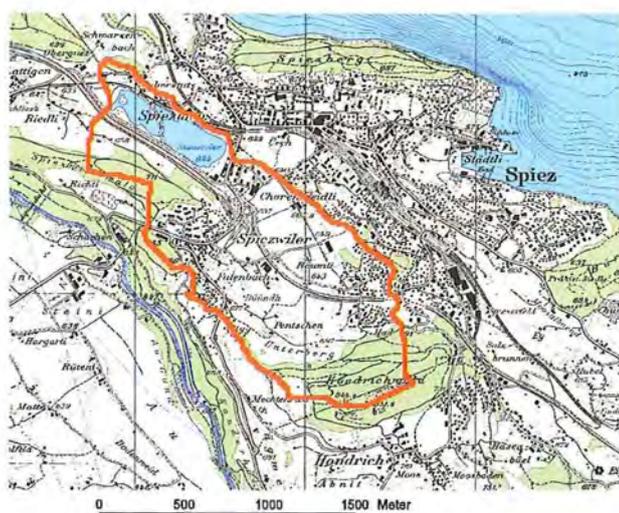


Stauweiher Spiez

oligotroph



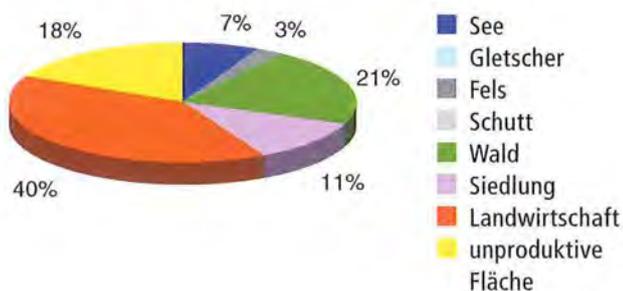
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 172.66 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 852 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 666 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten
 Höhe Seeoberflächen
 Seeflächen

1207
 617 200 / 171 000
 624 m ü.M.
 10.92 ha



Geschichte, Hydrologie

Die beiden Stauweiher wurden von 1905 bis 1907 auf der sogenannten Spiezer Allmi gebaut (SCHMID 1979). Die bereits seit 1936 unter Jagdbann stehenden Weiher sind seit 1980 auch unter Naturschutz (HAURI 1980). Der östliche oder **Kanderweiher** weist ungefähr eine doppelt so grosse Wasserfläche auf wie der westliche, der **Simmeweiher**. Täglich fliessen über 1.6 Mio. m³ Wasser durch die beiden Weiher, wovon 65% aus der Kander stammen (SCHMID 1979). Die Gewässer dienen der Vorklärung des Wassers der beiden Flüsse, um Korrosionen an den Maschinen des Kraftwerks Spiez zu vermeiden. Durch die Zuleitungsstollen gelangen erhebliche Mengen an Schwebstoffen in die Weiher. Durch regelmässiges, abwechslungsreiches Ausbaggern wird ein vollständiges Verlanden verhindert. Je nach Wasserstand erreichen die Weiher Tiefen von bis zu 3.7 m.

Flora / Fauna

Der Pegel kann täglich bis 1.5 m schwanken, und das Wasser ist oft sehr trüb (HAURI 1980). Unter diesen Bedingungen siedelten sich keine untergetauchten Wasserpflanzen an. Sumpfpflanzen wachsen an den lichtereren Stellen entlang des Ufers. Grosse Zahlen von Wasservögeln treten vorwiegend während der Durchzugszeiten im Frühling und Herbst sowie während der Mauerzeit im Sommer auf. HAURI (1980) beobachtete 155 Vogelarten. Die Stauweiher Spiez wurden 1976 im «Inventar der Schweizer Wasservogelgebiete von internationaler und nationaler Bedeutung» als Gebiet von nationaler Bedeutung ausgewiesen. Die Weiher, ihre nähere Umgebung sowie das Grosseggried am Südenende des Kanderweihers bieten Amphibien und Reptilien (Ringelnatter) ein Refugium.

Steinsee

oligotroph

Foto: GBL / K. Guthruf

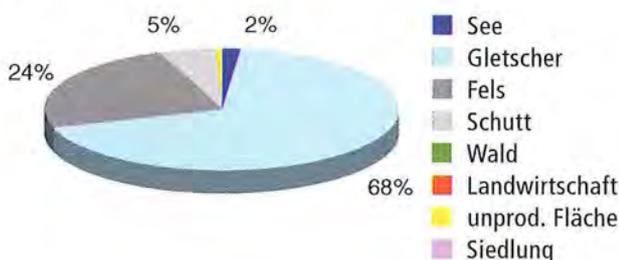


| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1211 |
| Koordinaten | 676 038 / 175 301 |
| Maximaltiefe | 1934 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 11.64 ha |
| Seefläche | 19.1 m |
| Maximaltiefe | 946 015 m ³ |
| Seevolumen | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 757.79 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 3500 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2751 m ü.M. |

Flächenanteile

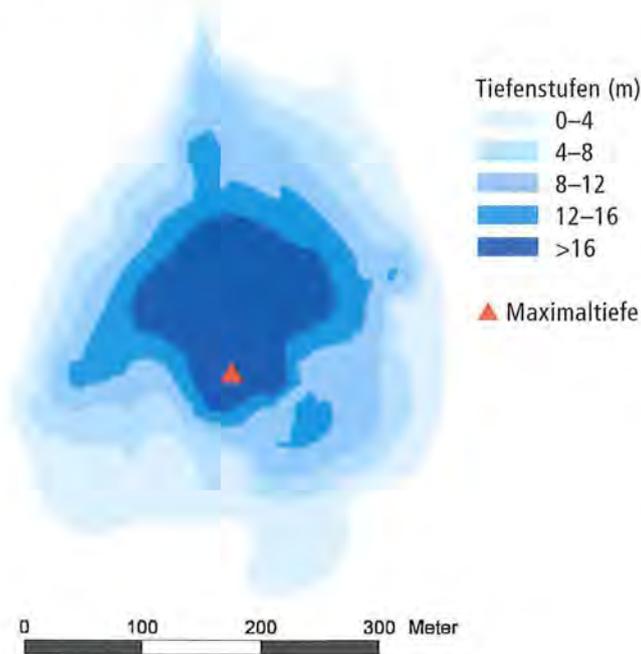


Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Steinsee liegt am Zungenende des Steingletschers an der Sustenpassstrasse, 19 km östlich von Meiringen. Zwischen 1924 und 1968 zog sich der Gletscher stark zurück. Ab 1930 bildete sich auf und am Rande der Gletscherzunge ein kleiner See. Als Folge des raschen Gletscher-rückzugs verschob sich der See gegen Norden und Osten und nahm schnell an Fläche zu. Der Ausfluss lag bis 1944 am Westufer, woran heute zwei Erosionsrinnen erinnern. Der heutige Seeabfluss befindet sich am Nordufer. Unter dem Steinsee und in den Moränenwällen, welche den See nach Norden abdämmten, konnte sich das Eis bis nach 1956 erhalten. Beim Hochwasser am 30. Juli 1956 schnitt sich das Steinwasser

von unten her in die Moränenwälle ein, welche den See umgaben (rückschreitende Erosion). Dies führte zu einem Ausbruch des Steinsees. Die reissenden Fluten schnitten eine über 10 m tiefe Schlucht in die Moränenwälle, wobei sogar die Toteisriegel durchbrochen wurden. Auf diese Weise senkte sich der Seespiegel in einer Nacht um 5.5 m (KING 1974). Häuser beim Hotel Steingletscher fielen den Fluten zum Opfer, und die Bewohner mussten evakuiert werden (pers. Mitt. H. Jossi, Meiringen). Infolge dieser natürlichen Absenkung wurde im Bereich der Gletscherzunge ein kleines Delta freigelegt. Nach 1956 hat sich der Eisstrom um weitere 200 m zurückgezogen. Seit 1971 verzeichnet der linke Teil des Steingletschers wieder einen starken Zuwachs (KING 1974).

Tiefenkarte Steinsee



Die Speisung des Sees erfolgt zu einem grossen Teil durch das Schmelzwasser des Steingletschers. Dieser unmittelbare glaziale Einfluss bestimmt die Limnologie des Gewässers ganz wesentlich.

Temperatur / Mischverhalten

Die Temperatur des Steinsees lag auch mitten im Sommer in der gesamten Wassersäule unter 4 °C. Die Temperaturschichtung war im Juli 1997 sehr speziell: Dem 3.0 °C kalten Tiefenwasser war 3.6 °C «warmes» Oberflächenwasser überlagert. Diese Schichtung ist an sich sehr instabil, da das Oberflächenwasser eine höhere Dichte aufweist als das Tiefenwasser und absinken müsste. Auch eine chemische Schichtung ist unwahrscheinlich, da die Leitfähigkeit über den gesamten Tiefenbereich etwa gleich hoch war. Dagegen ist denkbar, dass der Schwebstoffgehalt (die Transmission war in der Tiefe um einen Faktor drei geringer als an der Oberfläche) die temperaturbedingten Dichteunterschiede wettmachte. Zum besseren Verständnis des Schichtungsverhaltens wären häufigere Probenah-

men und Untersuchungen über die Schwebstoffe nötig. Das Wasser des Steinsees ist durch den Gletscherschliff stark getrübt, was in der sehr geringen Sichttiefe (30 cm) zum Ausdruck kommt. An der Seeoberfläche betrug die Durchsichtigkeit des Wassers (Transmission) 1.5%, das heisst 10 cm von einer Lichtquelle entfernt konnten nur noch 1.5% des ausgesendeten Lichtes gemessen werden. Die Trübung nahm mit der Tiefe noch zu, und die Transmission verminderte sich in 15 m auf einen Drittel des Oberflächenwerts. Es ist davon auszugehen, dass das Wasser auch im Winter nicht vollständig klar wird. Der Steinsee hat folglich während des ganzen Jahres eine lichtfreie Tiefenzone und kann damit als tiefer See bezeichnet werden.

Produktivität / Trophiegrad

Auf Grund des mittleren Gesamtphosphorgehaltes (54 µg/l) müsste der Steinsee als eutroph bezeichnet werden. Die Konzentration im Zufluss unmittelbar beim Austritt aus dem Gletschertor ist mit 65 µg/l und im Tiefenwasser, wo die Schwebstoffkonzentration am höchsten ist,

sogar noch höher. Auf Grund dieser Beobachtung ist davon auszugehen, dass phosphorhaltiges Gestein im Gletscherschliff enthalten ist. Ob dieses pflanzenverfügbar ist, kann ohne Orthophosphatdaten nicht gesagt werden. Wegen der sehr starken Trübung kommt es im Steinsee zu keiner messbaren Primärproduktion. Die Chlorophyll-a-Konzentration lag unter der Nachweisgrenze, und auch im Sauerstoffprofil fehlen Merkmale einer Planktonproduktion. Übersättigung im Epilimnion und Zehrung im Hypolimnion waren nicht feststellbar. Der Steinsee ist trotz des hohen Gesamtphosphorgehaltes als **oligotroph** zu bezeichnen.

Plankton

Das Phytoplankton des Steinsees setzte sich im Juli 1997 lediglich aus vier taxonomischen Einheiten zusammen. Die durchwegs kleinen Algenformen (Nanoplankton) waren mit Ausnahme einer Kieselalgenart Vertreter der Goldalgen. Dabei handelte es sich ausschliesslich um aktive Formen, die das klarere Oberflächenwasser nutzen

können. Im Sommer, wenn die klimatischen Bedingungen für eine Algenentwicklung am günstigsten wären, setzt durch den vermehrten Zufluss von Gletscherwasser eine sehr starke Trübung ein und reduziert das Algenwachstum praktisch auf null. Es ist daher möglich, dass im Winter, wenn die Trübung abnimmt, unter dem Eis eine beschränkte Algenentwicklung stattfinden kann. Daten dazu fehlen jedoch. Das Zooplankton setzt sich aus vier Arten zusammen. Eindeutige Aussagen über den Trophiegrad sind auf Grund der Artenzusammensetzung nicht möglich.

Flora

Wasserpflanzen konnten im Steinsee keine gefunden werden.

Fauna

Früher wurde versucht, den Steinsee mit Bachforellen zu besetzen. Diesem Experiment war wegen der sehr starken Wassertrübung kein Erfolg beschieden (pers. Mitt. A. Raz, Innertkirchen).

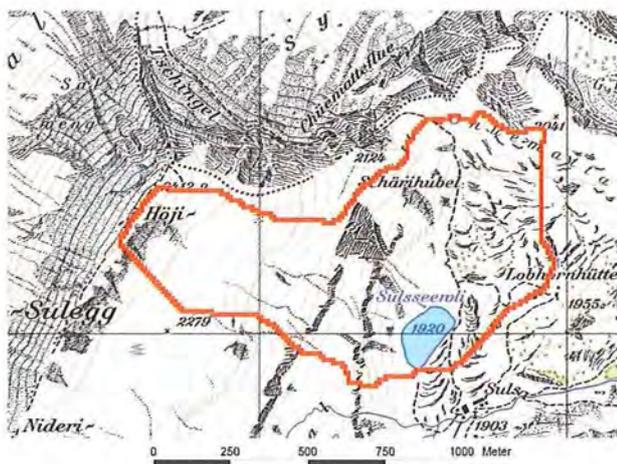


Foto: A. Lotter

Sulsseewli

mesotroph

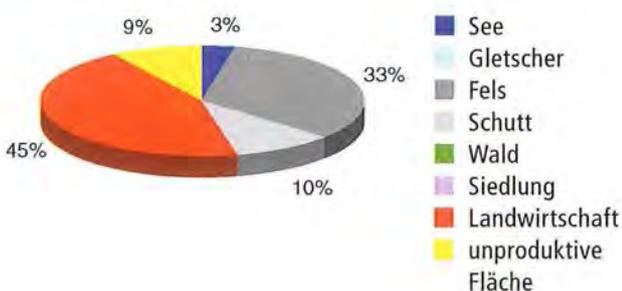
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 66.54 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2412 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2079 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000

Seekoordinaten

Höhe Seeoberfläche

Seefläche

1228

632 500 / 163 000

1920 m ü.M.

2.01 ha

Geschichte, Hydrologie

Am Westhang des Lauterbrunnentals, oberhalb der Ortschaft Ilsenfluh, verläuft der Sulegg-Grat. Im Osten unterhalb des Schärühubels liegt versteckt in einem Talkessel, 8 km südlich von Interlaken, das Sulsseewli. Ein Drittel des kalkreichen Einzugsgebiets besteht aus Fels. In den flacheren Partien (44%) wird Vieh gesömmert. Nur während der Schneeschmelze und bei reichlichen Niederschlägen führen die beiden kleinen Zuflüsse Wasser. Der eine kommt aus sumpfigem Gelände aus südwestlicher Richtung, und der andere entwässert die Südostflanke der Sulegg und mündet von Nordwesten in den See. Der Abfluss erfolgt unterirdisch. Noch 1955 hörte man das Wasser an der Auslaufstelle deutlich durch die Felsen gurgeln (Anony-

mus 1955). Der See wies damals eine Fläche von ungefähr einer Hektare auf. Seine Fläche hat sich seither verdoppelt. Wir nehmen an, dass entweder neue unterirdische Zuflüsse mehr Wasser bringen als früher oder die frühere Abflussstelle verstopft ist, so dass sich das Wasser einen neuen Ausweg an einer höhergelegenen Stelle suchen musste. Am Südostrand des Sees kann man beobachten, wie das Wasser in felsigen Klüften verschwindet. Welchen Weg es im Untergrund verfolgt und wo es wieder zutage tritt, ist gemäss der verfügbaren Literatur nicht bekannt. Die maximale Tiefe betrug 1955 knapp 10 m. 1997 wurde während der Eisprobenahme (8 Lotungen, die nach topographischen Kriterien über die Seefläche verteilt wurden) eine maximale Tiefe von 6.1 m gemessen. Es ist anzunehmen,

dass diese nicht exakt der Maximaltiefe entspricht. Allerdings ist eine Abweichung um 3.9 m eher unwahrscheinlich. Die grossen Abweichungen der beiden Messungen können nur durch weitere Probenahmen und eine Tiefenvermessung des Sees geklärt werden.

Temperatur / Mischverhalten

Im April konnte unter dem Eis eine deutliche inverse Temperaturschichtung festgestellt werden. An der Oberfläche wurden 0.0°C gemessen. In 6.1 m Tiefe betrug die Temperatur über Grund 4.6°C und wies damit die höchste Dichte auf. Die Leitfähigkeit verdreifachte sich von der Oberfläche zum Grund auf rund 325 µS/cm. Diese starke Zunahme der Leitfähigkeit mit der Tiefe ist ein deutlicher Hinweis, dass das Wasser chemisch geschichtet ist (ANONYMUS 1997). Diese chemische Schichtung verstärkt die thermische Schichtung des Wassers und kann eine Vollzirkulation verhindern. **Meromixie** ist daher nicht ausgeschlossen.

Produktivität / Trophiegrad

Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) weist auf eine geringe organische Belastung des Sees hin. Die mittlere Gesamtphosphorkonzentration lag mit 23 µg/l im **mesotrophen** Bereich.

Bereits unmittelbar unter dem Eis war das Wasser jedoch nur noch zu 85% mit Sauerstoff gesättigt. Über Grund war der Sauerstoff vollständig aufgezehrt, was als Zeichen für Eutrophie interpretiert werden könnte.

Der Unterschied zwischen der Beurteilung nach Nährstoffbedingungen und dem Sauerstoffprofil kann einerseits durch Meromixie erklärt werden. Andererseits ist diese Abweichung in Bergseen ein häufig beobachtetes Phänomen (siehe z.B. Seeburgsee, oberes und unteres Bänzlauseeli), welches so erklärt werden kann: Der Sauerstoffvorrat ist in alpinen Seen wegen des niedrigeren Luftdruckes kleiner und wird deshalb rascher aufgezehrt. Zudem dehnt sich die Sauerstoffzehrung wegen der langedauern den Vereisung auf einen grösseren

Zeitraum aus. Im Vergleich zu Mittellandseen kann es daher schon bei einer relativ geringen Nährstoffbelastung zu Sauerstoffmangel im Hypolimnion kommen.

Plankton

Im April 1997 existierte unter dem Eis eine eher artenarme Algengemeinschaft (26 taxonomische Einheiten), welche hauptsächlich aus Blaualgen (6), Schlundflagellaten (5) und Grünalgen (4) bestand. Goldalgen und Panzerflagellaten kamen mit je 3 Formen vor. Zudem wurden drei Augenflagellaten-Arten gefunden. Die Bakterien, darunter einige anaerobe Formen und zwei Schwefelbakterien, waren mit 16 Taxa gut vertreten. Das Phytoplankton und die gefundenen Bakterien deuten auf eine erhöhte Nährstoffbelastung hin. Das aus drei Arten bestehende Zooplankton enthielt eine Art, die eutrophe Verhältnisse bevorzugt.

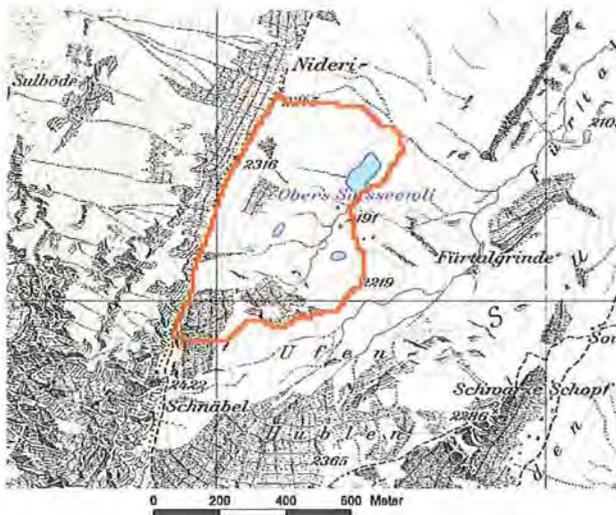
Flora und Fauna

1955 wurden im Sulsseewli Armleuchteralgenrasen und Bestände von Laichkräutern festgestellt. Auch heute noch kommen im Sulsseewli mit dem Alpenlaichkraut und einer Armleuchteralgenart zwei Magerkeitszeiger vor. Daneben wurde der haarblättrige Wasserhahnenfuss festgestellt, der eher nährstoffreichere Bedingungen bevorzugt. Die Zusammensetzung der Wasserpflanzen spricht somit eher für eine geringe Nährstoffbelastung und bestätigt die Beurteilung aufgrund des Nährstoffgehaltes als **mesotroph**.

Das Seeli wird mit kanadischen Seesaiblingen sowie Regenbogen-, Bachforellen und Seesaiblingen besetzt. Ihnen dienen die Elritzen als Nahrung. Ob die Groppe, wie 1955 (ANONYMUS 1955), noch im See vorkommt, ist nicht bekannt. Das Gewässer bietet auch dem Grasfrosch Lebensraum, so dass ebenfalls die Insektenfauna im und am See reichlich vertreten sein dürfte.

Obers Sulsseewli

mesotroph



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1228
 631 467 / 162 412
 2191 m ü.M.
 0.72 ha
 2.4 m
 9400 m³

Geschichte, Hydrologie

Das obere Sulsseewli liegt direkt unterhalb des Sulegg-Grates in einer kleinen Mulde am Westhang des Lauterbrunnentals, 8 km südlich von Unterseen (bei Interlaken). Sein topographisches Einzugsgebiet wird im Sommer zu knapp 60% als Viehweide genutzt. Der Rest sind bewachsene oder vegetationslose Schutthänge. Der oberirdische Abfluss befindet sich am südlichen Zipfel des Kleinsees. Praktisch an der selben Stelle mündet auch der einzige oberirdische Zufluss. Es ist daher davon auszugehen, dass der Zufluss den See nur während der Schneeschmelze wesentlich beeinflusst, ansonsten aber das Wasser den direkten Weg in den Abfluss nimmt und am See vorbeifliesst. Das Wasser des Abflusses versickert weiter unten im kalkreichen Gestein.

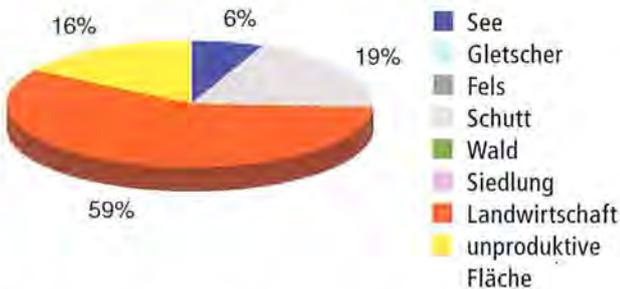
Produktivität / Trophiegrad

Die mittlere Konzentration von 17 µg Gesamtphosphor pro Liter und der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) lassen auf **mesotrophe** Bedingungen schließen. In der gesamten Wassersäule herrschte Sauerstoffübersättigung (117–147%), eine Folge intensiver Photosynthese durch Armleuchteralgen und Phytoplankton.

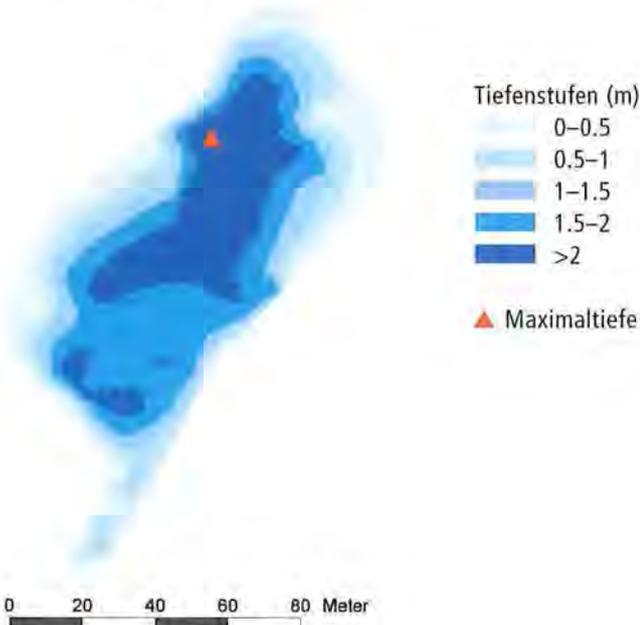
Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 30.76 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2383 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2249 m ü.M.

Flächenanteile



Tiefenkarte Obers Sulsseewli



Temperatur / Mischverhalten

Im Sommer zum Zeitpunkt der Probenahme erwies sich der nur 2.4 m tiefe See als geschichtet. Die höchste Temperatur erreichte das Wasser an der Oberfläche (15.6°C). Doch auch über dem gut sichtbaren Grund war das Wasser noch über 11°C warm. Es ist anzunehmen, dass der See im Sommer bei Wind und Temperatureinbrüchen vollständig mischt.

Plankton

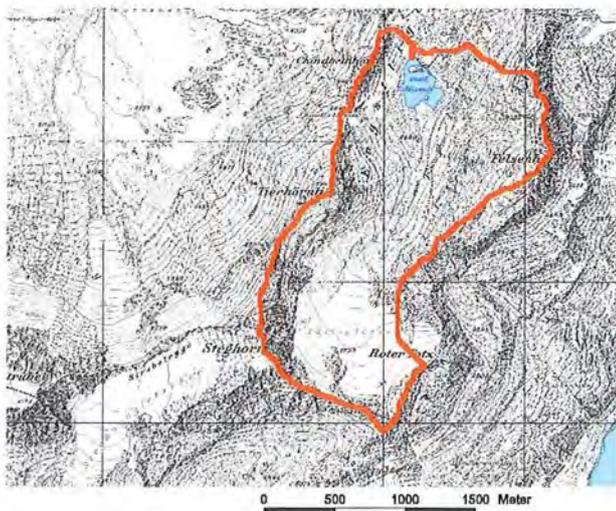
Im August enthielt das Phytoplankton 51 taxonomische Einheiten, wobei die Grünalgen (20 Vertreter) den Hauptanteil bildeten. Im See lebten anaerobe Schwefelbakterien, welche auf ein mindestens zeitweises Auftreten von Sauerstoffschwund und Schwefelwasserstoff hinweisen. Dies spricht, zusammen mit den hohen Anteilen der Grünalgen, für erhöhte Nährstoffgehalte.

Flora

Am seichten Ufer wuchsen zwei nährstoffliebende Wasserpflanzenarten. An den tiefen Stellen wurden sie durch eine Armleuchteralge abgelöst, die man oft in **mesotrophen** Gewässern findet. An den sumpfigen Stellen entlang des Ufers und beim Zu- und Abfluss wuchsen Sumpfdotterblume und einige Seggen. Trittspuren im Uferbereich weisen auf die starke Beweidung durch Kühe hin.



Foto: GBL / K. Guthruf

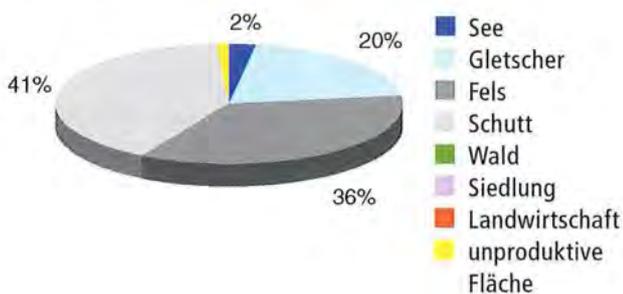


| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1267 |
| Koordinaten | 612 233 / 142 432 |
| Maximaltiefe | 2405 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 6.84 ha |
| Seefläche | 17.1 m |
| Maximaltiefe | 251 649 m ³ |
| Seevolumen | |

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 290.09 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 3147 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2631 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Rund 7.2 km südlich von Adelboden, zwischen Engstligengrat und Felsenhorn, liegt der See versteckt in einer Mulde. Er ist natürlichen Ursprungs. Sein oberirdischer Zufluss nimmt Wasser aus den Schutt- und Felshängen des Einzugsgebietes auf und bringt auch Gletscherwasser vom Tälligletscher. Das Einzugsgebiet besteht zu rund 80% aus kalkhaltigem Untergrund. Der unterirdische Seeabfluss dürfte mit Karsterscheinungen erklärbar sein.

noch 4.1 °C gemessen werden. Das Wasser war für diese Jahreszeit an der Oberfläche sehr kühl. Der See liegt in einer ausgesprochenen Schattenlage und weist mit 0.7 m eine äusserst geringe Sichttiefe auf. Das Wasser kann sich daher nur sehr langsam und nur in den obersten Schichten aufwärmen. Wegen der geringen Temperaturunterschiede zwischen Oberfläche und Grund kann das Wasser im Sommer bei Wetterumstürzen relativ tief hinunter mischen.

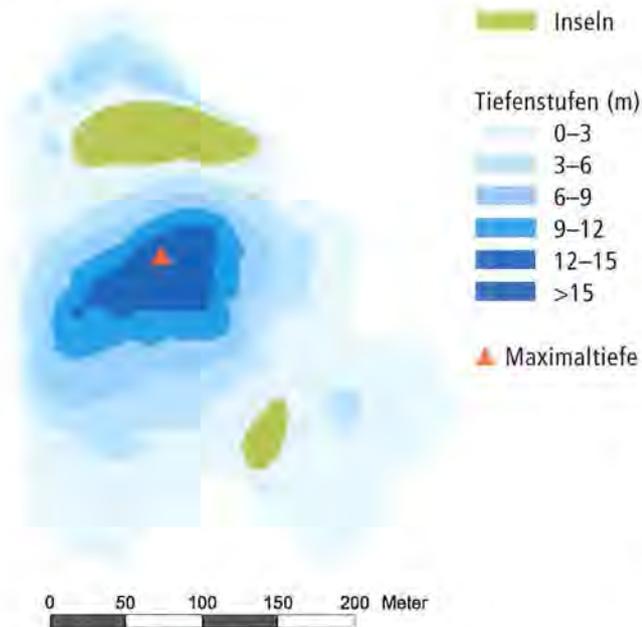
Produktivität / Trophiegrad

Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und der Gesamtstickstoffgehalt sind sehr niedrig. Allein auf Grund des Gesamtphosphorgehaltes würde der See allerdings als

Temperatur / Mischverhalten

Während der Probenahme vom 4.8.1997 erreichte die Temperatur an der Wasseroberfläche 5.5 °C. Über Grund konnten

Tiefenkarte Tälliseeli 1



mesotroph eingestuft. Vermutlich weist sein Einzugsgebiet aber phosphathaltiges Gestein auf, welches in Form von Gletscherschliff in feinsten Fraktio-

nen in den See gelangt. Diese feinen Gesteinspartikel sind jedoch nicht pflanzenverfügbar und deshalb nicht trophierelevant. Vielmehr trägt die Trübung

durch Gletscherschliff massgeblich zur äusserst geringen, auf die oberste Wasserschicht begrenzten, Primärproduktion bei. Die Chlorophyll-a-Konzentration lag mit $0.1 \mu\text{g/l}$ knapp über der Nachweisgrenze und zeigt **oligotrophe** Bedingungen an. Ebenfalls für einen oligotrophen Zustand des Sees spricht, dass das Wasser über die ganze Tiefe mit Sauerstoff gesättigt ist. Auf Grund des hellen Sedimentes lässt sich zeigen, dass das Tiefenwasser während des ganzen Jahres, also auch unter Eis, sauerstoffhaltig ist.

Plankton

Die in sehr geringer Dichte vorhandenen Algen (16 Taxa) setzen sich zur Hauptsache aus Goldalgen, Grünalgen, Panzer- und Schlundflagellaten zusammen. Die meisten Formen stellten die Goldalgen mit fünf Vertretern und die Grünalgen

mit vier. Die begeisselten Formen (Flagellaten), welche in verschiedenen Algenfamilien vorkommen, sind bestens an das gletschertrübe Wasser angepasst, da sie die hellen Oberflächenschichten aktiv aufsuchen können. Die starke Trübung kann als limitierender Faktor für das Phytoplankton betrachtet werden.

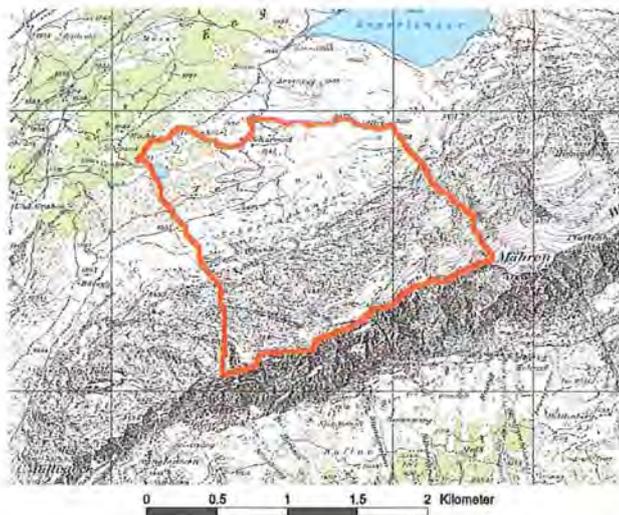
Im Zooplankton wurden Jungformen (Nauplien) und Vertreter einer ausgewachsenen Art gefunden.

Flora / Fauna

Das steinige Ufer und das durch anorganische Schwebstoffe getrübe Wasser bieten Pflanzen und Tieren kaum geeigneten Lebensraum. Die Abgelegenheit des Sees ist mit ein Grund, dass, soweit bekannt, bis heute keine faunistischen und floristischen Daten erhoben worden sind.

Ausgleichsbecken Teiflauri

oligotroph



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1210
 668 339 / 179 574
 1737 m ü.M.
 0.94 ha

Geschichte, Hydrologie

Das künstlich geschaffene Ausgleichsbecken der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) liegt am Südosthang des Gentials unterhalb des Mähren-Gipfels, 12 km ost-nordöstlich von Meiringen. Die Felsen und Schutthänge des topographischen Einzugsgebietes bestehen aus kalkreichem Gestein. Etwas mehr als 5% der Fläche sind vergletschert. Die steilen, mit Pioniervegetation bewachsenen Hänge gehen in flachere, im Sommer vom Vieh beweidete Stellen über.

Neben einem oberirdischen Zufluss aus dem natürlichen topographischen Einzugsgebiet wird dem gestauten und so regulierbaren Becken Wasser aus dem

Engstlensee und zwei weiteren Zuflüssen des Gentalbaches zugeleitet. Das Becken fasst 28 000 m³ Wasser, das durch einen Stollen zur Zentrale Fuhren im Gadmental geleitet wird (BENELLI 1990).

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 268.53 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 2842 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2207 m ü.M.

Flächenanteile

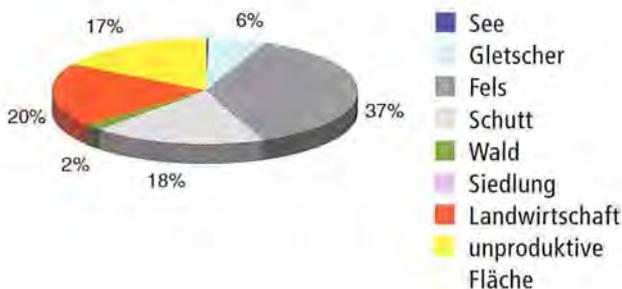
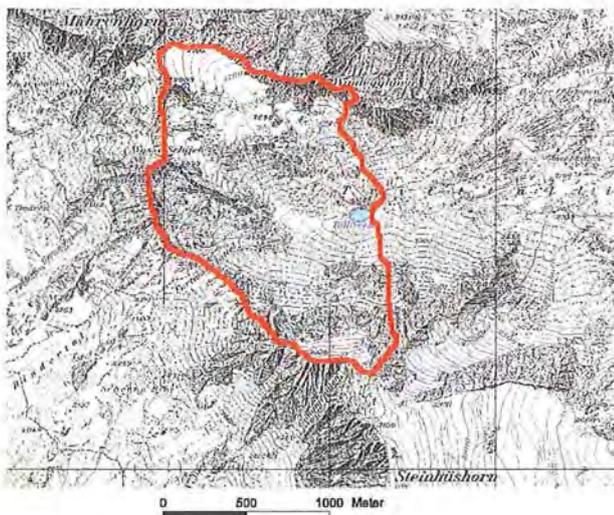


Foto: GBL / M. Zeh



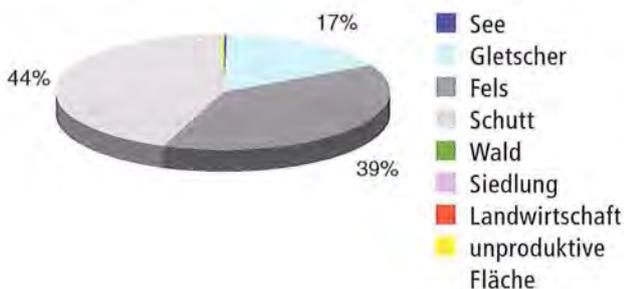
Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1210
 668 175 / 170 525
 2267 m ü.M.
 0.74 ha

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG | 193.01 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG | 3008 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG | 2584 m ü.M. |

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

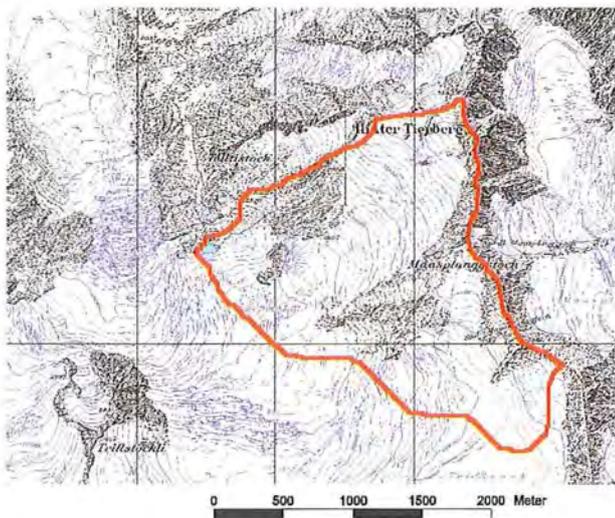
Zwischen Haslital und Gadmental östlich des Steinhaushorns liegt 12 km ost-südöstlich von Meiringen der kleine Tällisee. Der See befindet sich an der tiefsten Stelle einer Talsenke unterhalb der Südflanke des Windegghorns. Das Gewässer ist natürlichen Ursprungs. Sein Einzugsgebiet weist zum grössten Teil einen kristallinen Untergrund auf. Aus dem unteren Hang des Windegghorns entspringt eine Quelle, die als einziger, kurzer Zufluss den See mit Wasser speist. Ob der Zufluss nur während der Schneeschmelze oder dauernd Wasser führt, ist nicht bekannt. Ein oberirdischer Abfluss ist nicht vorhanden. Der See ist abgelegen, so dass bis heute keine Daten zur Limnologie und Biologie zur Verfügung stehen.

Triftgletscherseeeli

oligotroph



Foto: GBL / M. Zeh



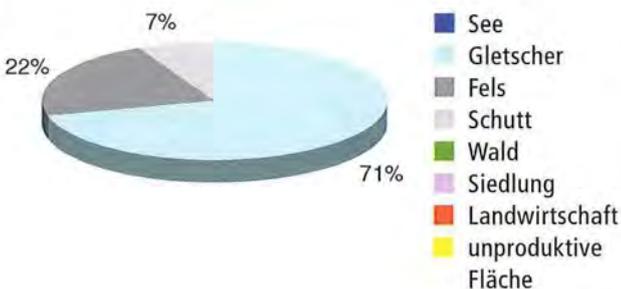
Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

1230
 671 513 / 169 694
 2419 m ü.M.
 0.66 ha

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 345.38 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3440 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2905 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Rund 8.5 km südwestlich des Sustenpasses liegt oberhalb der Gletscherabbruchkante am südwestlichen Rand des Triftgletschers der Gletschersee. Der kristalline Untergrund seines Einzugsgebietes ist zu über 70% mit Gletscher bedeckt. Von Nordosten mündet ein Zufluss in zwei Ästen in den See. Der oberirdische Abfluss verlässt den See in westlicher Richtung, um kurz darauf im Eis der nordwärts strebenden Triftgletscherzunge zu verschwinden.

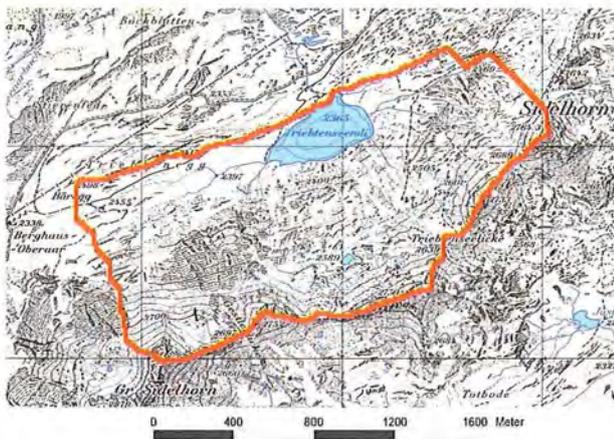
Wann der seit mindestens 1980 bestehende See entstanden ist, ist unsicher. Der noch fast rundum von Gletschern umgebene Kleinsee ist sehr unzugänglich, so dass bis jetzt keine limnologischen, faunistischen oder floristischen Untersuchungen durchgeführt worden sind.

Gemäss ihrem revidierten Projekt *Grimmel-West 1990* planen die Kraftwerke Oberhasli AG, das Wasser des Triftgletschers 200 m unterhalb der Gletscherzunge auf 1652 m ü.M. zu fassen, um es dann unterirdisch in die Zentrale Grimsel IV zu leiten. Der Stollen soll auf einer Strecke von 9 km zu einem Tunnelspeicher erweitert werden (BENELLI 1990). Das Triftwasser würde deswegen wesentlich weniger Wasser ins Gadmerwasser führen.

Triebtenseewli

oligotroph

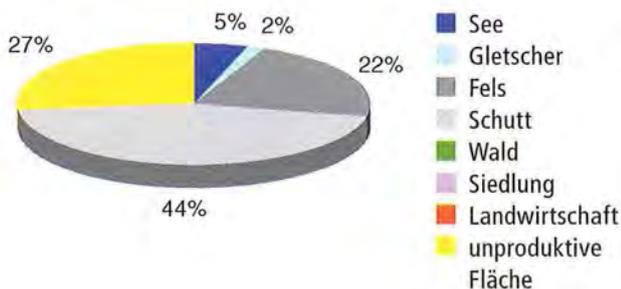
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 192.48 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2844 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2533 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1250
 665 903 / 156 094
 2365 m ü.M.
 9.66 ha
 24.0 m
 981 241 m³



Geschichte, Hydrologie

Auf einer Wanderung vom Grimselpass Richtung Westen zur Staumauer des Oberaarsees gelangt man zum kleinen, zwischen Sidelhorn und Grimselsee gelegenen, Triebtenseewli. Das saubere Wasser erhält das Seelein aus fünf kleinen Zuflüssen. Der kristalline Untergrund und der heute geringe Anteil an Gletscherfläche am topographischen Einzugsgebiet (2%) bewirken, dass das «Trübe Seeli» im Sommer klar ist (NEF 1992). Es dient dem Grimsel-Hospiz als Trinkwasserreservoir. Der oberirdische Abfluss ist reguliert. Kurz unterhalb des See-Endes wird das Wasser von der KWO für die Energiegewinnung gefasst (BENELLI 1990). Das Gewässer erreicht an der tiefsten Stelle 24 m. Der Grundablass befindet sich in einer Tiefe von 18.5 m.

Trotz fehlender Daten kann das Triebtenseewli auf Grund der Situation im Einzugsgebiet als oligotroph beurteilt werden. Das Gewässer gehört zum seit 1958 unter Naturschutz stehenden Grimselgebiet.

Flora / Fauna

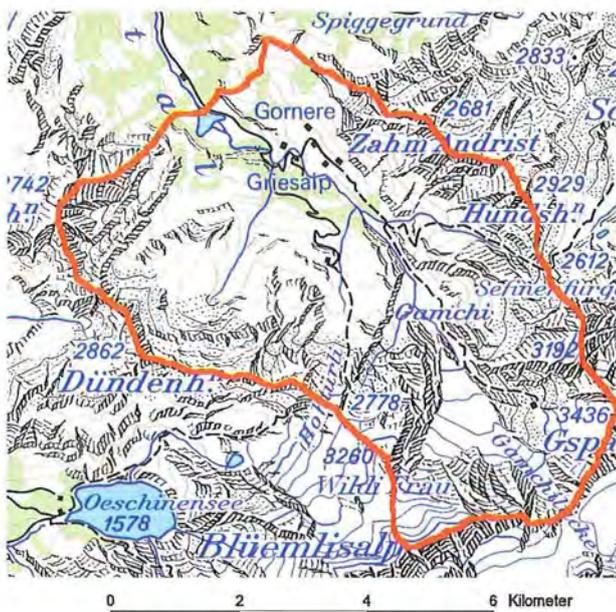
Sowohl Elritze wie kanadischer Seesaibling finden genügend Nahrung im See. Auch der Grasfrosch ist in diesem Gewässer heimisch. Die Flora der Sumpf- und Wasserpflanzen wurde, soweit bekannt, bisher nicht untersucht.

Tschingelsee

mesotroph



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1248
 623 295 / 155 641
 1150 m ü.M.
 7.1 ha
 1.7 m
 43 993 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

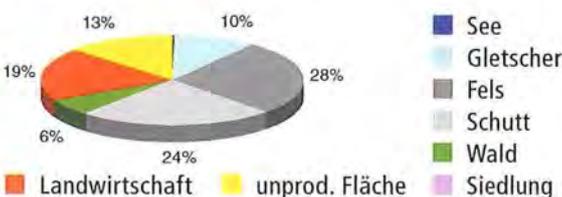
Der Tschingelsee befindet sich zuhinterst in Kiental direkt unterhalb der Griesalp, 8 km nordöstlich von Kandersteg. Er ist der jüngste der grösseren und bekannteren Berner Bergseen (NEF 1992). Im Juli 1972 ereignete sich im Gebiet ein starkes Unwetter, welches an den Hängen des Ärmighorns einen Murgang auslöste. Dieser staute beim heutigen Zufluss des Sagibaches den Gornerbach auf, worauf sich ein See bildete. Wegen seiner starken Wasserführung und Geschiebefracht schüttete der Gornerbach in kurzer Zeit ein grosses Delta auf, und die Seefläche verkleinerte sich sehr rasch (NEF 1992). Auf diesem Geschiebefächer teilte sich der Gornerbach in mehrere Läufe, und es entstand eine vielfältige

Schwemmlandschaft, welche einer grossen Dynamik unterworfen ist. Die Läufe der verschiedenen Bacharme ändern sich stetig. Auf diesem Untergrund siedelten sich Auenvegetation und Flachmoorbestände an (TEUSCHER 1994), welche wiederum zahlreichen spezialisierten Tierarten als Lebensraum dienen. Solche Landschaften sind in der Schweiz als Folge von Flusskorrekturen und Wasserkraftnutzung sehr selten geworden (HAINARD ET AL. 1987). Durch die Auflandung ist der See heute auf die südwestliche Ecke der ursprünglichen Wasserfläche reduziert. Die faszinierende Deltalandschaft steht mitsamt dem See und angrenzenden Gebieten seit 1987 unter Naturschutz (NEF 1992). Die Geschichte der Unterschiebefächer teilte sich der Gornerbach in mehrere Läufe, und es entstand eine vielfältige

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 3742.12 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 3665 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3649 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2162 m ü.M.

Flächenanteile



Temperatur / Mischverhalten

Der Tschingelsee unterscheidet sich von allen übrigen Kleinseen des Kantons. Durch den starken Einfluss des Gornerbaches hat er eher Fliessgewässercharakter. Mit 1.7 m Maximaltiefe ist eine längerdauernde stabile Schichtung nicht zu erwarten. Während längeren Perioden des Jahres gelangt Licht bis auf den Seegrund.

Produktivität / Trophiegrad

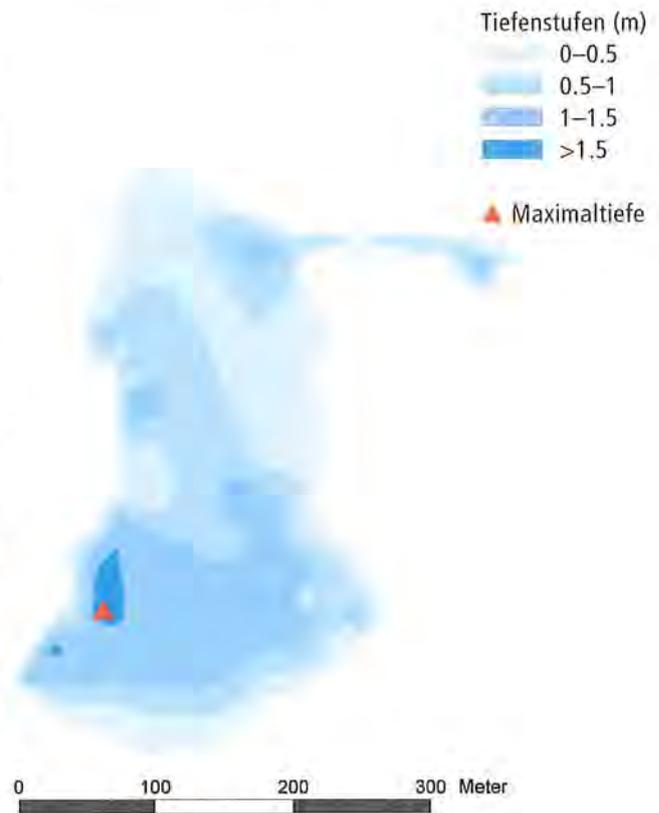
Der Tschingelsee wird auf Grund der Gesamtposphorkonzentration als mesotroph bezeichnet (MÜLLER ET AL. 1998). Das hell gefärbte, in der gesamten Tiefe oxidierte Sediment ist ein Hinweis, dass keine anaeroben Bedingungen herrschen.

Flora / Fauna

Auf den Kies- und Sandfächern konnte sich eine seltene Auen- und Flachmoorvegetation ansiedeln (TEUSCHER 1994). Über das Vorkommen von Röhrichten, untergetauchten Wasserpflanzen oder Schwimmblattpflanzen ist nichts bekannt. Während der Probenahme vom 23. Juli 1997 konnte keine dieser drei Pflanzengruppen nachgewiesen werden.

Schon kurze Zeit nach der Entstehung laichten in der Bucht am Südostufer in grossen Zahlen Grasfrösche und Erdkröten ab. Die Stockente nutzte den Tschingelsee kurz nach seiner Entstehung als Brutgewässer. Das Delta des Gornerewassers ist für Limikolen von grosser Bedeutung. Mit dem Aufkommen von Sträuchern wird vermutet, dass der sehr seltene Flussuferläufer im Deltabereich brüten wird (HAURI 1988).

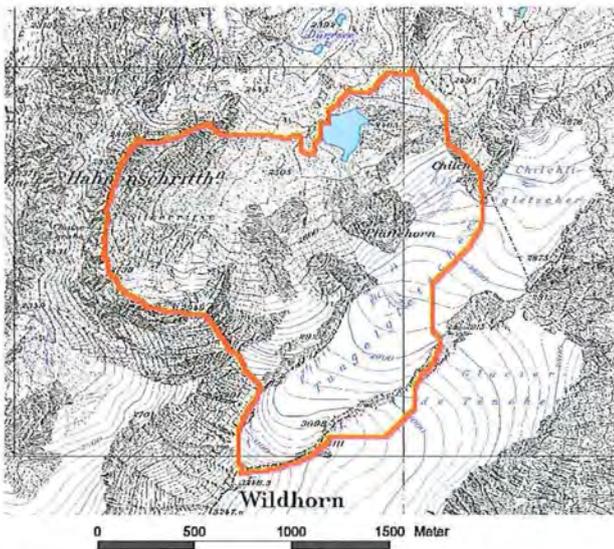
Tiefenkarte Tschingelsee



Tungelgletschersee

oligotroph

Foto: GBL / K. Gutthuf



Landeskarte 1 : 25 000
 Seekoordinaten
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche

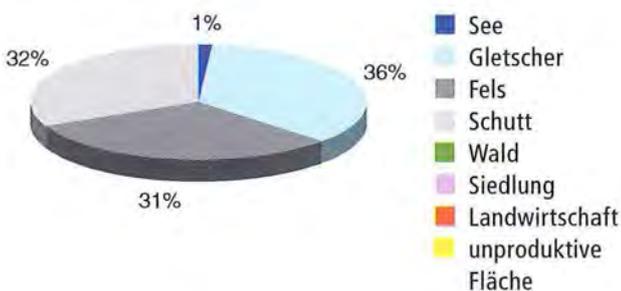
1266
 594 675 / 135 650
 2470 m ü.M.
 3.61 ha



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 241.07 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 3216 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 2731 m ü.M.

Flächenanteile



Geschichte, Hydrologie

Zwischen der SAC-Wildhornhütte und dem Wildhorn, rund 12 km südwestlich der Ortschaft Lenk, liegt der Tungelgletscher, der sich mit dem kleineren Chilchligletscher vereinigt. Das Zurückziehen des Gletschers an seinem nördlichen Ende liess hinter seiner ehemaligen Stirn-moräne einen See entstehen. Sein Alter ist ungewiss.

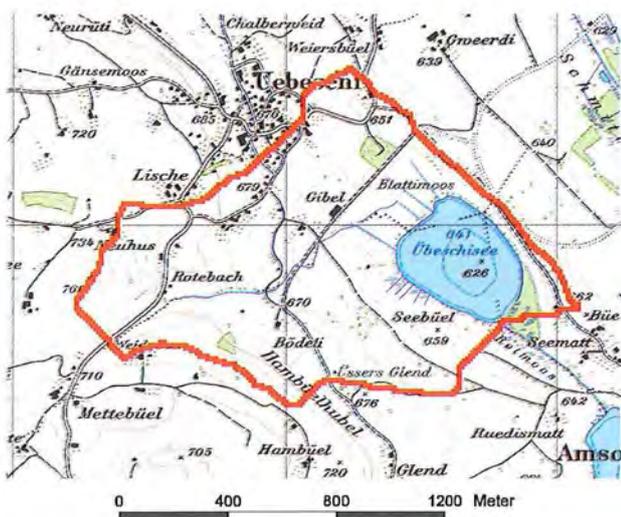
Heute ist nur noch ein Drittel des Einzugsgebietes des Gletscher-sees von Eis bedeckt. Das übrige topographische Einzugsge-biet wird aus kalkreichen Felsen und Schutt-ablagerungen gebil-det. Ein kleiner Zufluss aus der Gletscherzunge speist den See mit kaltem Schmelzwasser. Einen oberirdischen Abfluss weist der See nicht auf. Auf Grund der relativ flachen Umgebung ist im

See keine grosse Tiefe zu erwar-ten. Weitere hydrologische und biologische Informationen feh-len.

Uebeschisee

eutroph

Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1207
 609 722 / 175 875
 641 m ü.M.
 14.21 ha
 14.7 m
 1 020 657 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

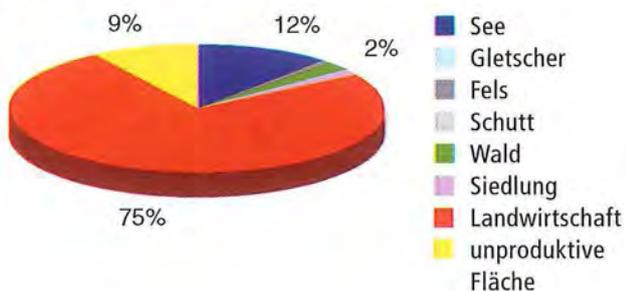
Der Uebeschisee liegt 5 km westlich von Thun. Sein Ausfluss ist der grösste Zufluss des Amsoldingersees. Die Entstehungsgeschichte und Unterschutzstellung der beiden Seen ist denn auch weitgehend identisch. Die beiden Kleinseen sind heute in einem Naturschutzgebiet zusammengefasst (HAURI 1981). Der Uebeschisee hat 9 Zuflüsse. Es handelt sich dabei um Kanäle, die durch die Bauern zur Entwässerung des Umlandes geschaffen worden sind. Obwohl seit 1977 keine Bundesbeiträge mehr für Drainagen im Einzugsgebiet der beiden Seen entrichtet worden sind, wurden noch zwischen 1987 und 1991 14% der Moorfläche durch Drainagen zerstört, welche die Landwirte auf eigene Kosten anlegten (PFISTER 1991;

SCHÄFER & WEIBEL 1995). Auch Veränderungen in der Bewirtschaftung, insbesondere der vermehrte Anbau von Silomais (SCHÄFER & WEIBEL 1995), wirkten sich negativ auf die Ökologie und Nährstoffsituation des Sees aus. Ein zwischen 5 und 55 m breiter Pufferstreifen trägt jedoch ganz wesentlich dazu bei, dass die Nährstoffbelastung der Seen bis heute auf ein tragbares Mass begrenzt geblieben ist. Für die Erhaltung der empfindlichen Moorlandschaften wären allerdings breitere Pufferstreifen oder gar eine extensive Bewirtschaftung des gesamten Einzugsgebietes notwendig. Dennoch ist der Uebeschisee und seine Umgebung eines der wertvollsten Naturreserve des Kantons Bern: Er ist im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN-Inventar) und

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 125.03 ha
 Fläche hydrologisches EzG: 216 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 760 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 669 m ü.M.

Flächenanteile



im Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung aufgeführt. Das Gebiet wurde 1996 ins Bundesinventar der Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung aufgenommen.

Produktivität / Trophiegrad

Die natürliche P-Belastung (Einzugsgebiet vollständig bewaldet) von 0.11 g P/m² Seefläche pro Jahr lässt nach VOLLENWEIDER (1968) bei einer mittleren Tiefe von 7.2 m auf einen ursprünglich mesotrophen Zustand schliessen. Der hohe Landwirtschaftsanteil und die intensive Bewirtschaftung hinterlassen hingegen deutliche Spuren: Der See ist heute **eutroph**. Die Tiefenprofile im Sommer 1993 zeigen an der Oberfläche eine hohe Übersättigung mit Sauerstoff (bis 170%), welche von der Photosynthese der grossen Algenmasse herrührt. Im Tiefenwasser dagegen wurde schon früh im Jahr eine starke Sauerstoffzehrung festgestellt. Die Interpretation des Sedimentstichs (siehe Abbildung) stützt die Berechnungen der natürlichen Phosphorbelastung und macht deutlich, dass die aktuelle Sauerstoffzehrung nicht dem natürlichen Zustand des Sees entspricht, sondern anthropogen bedingt ist. Das Sediment ist lediglich in den ober-

sten 40 cm schwarz, das heisst anoxisch. Vorher war der Seegrund während wesentlichen Teilen des Jahres in Kontakt mit Sauerstoff – das Sediment ist hell gefärbt. Auch die Nährstoffwerte (Stickstoff und DOC) sind charakteristisch für einen eutrophen See. Die ungenügende Datenlage (es fehlen Daten zu PO₄-Konzentrationen, Sichttiefe, Chlorophyll a und Sekundärproduktion) erlaubt jedoch keine sichere Beurteilung.

Temperatur / Mischverhalten

Der Uebeschiee friert in kalten Wintern zu. Es findet sowohl eine Sommerstagnation als auch eine Winterzirkulation statt, der See ist also **holomiktisch**. Die Thermokline ist nicht sehr deutlich ausgeprägt und lag im Juni 1993 zwischen 3 und 7 m.

Plankton

Die Artenvielfalt des Phytoplanktons schwankte 1993 zwischen 31 und 51 Arten. Wie im Amsoldingersee war die Zahl im Winter und Frühjahr am höchsten, im Herbst am geringsten. Das Dominieren der Grünalgen und das regelmässige Vorkommen von Augenflagellaten ist neben der starken Sauerstoffzehrung ebenfalls ein Hinweis auf die hohe Produktivität des Sees.

Flora

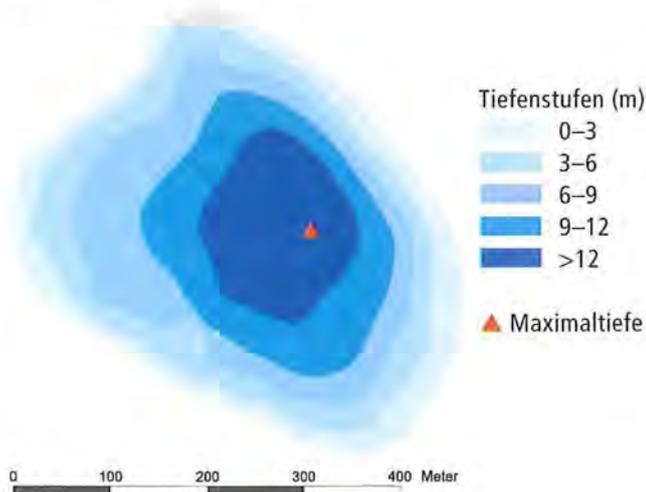
Das Gebiet Amsoldinger- und Uebeschiee ist eines der schönsten und am besten erhaltenen Verlandungsgebiete des Kantons Bern. Die meisten für Feuchtgebiete typischen Pflanzengesellschaften sind vorhanden (SCHÄFER & WEIBEL 1995). Einzig untergetauchte Wasserpflanzen (Laichkräuter, Armeleuchteralgen) fehlen in beiden Seen. 7 Nährstoffzeigerarten stehen 10 Magerkeitszeiger und 17 indifferente Arten gegenüber. Diese Zusammensetzung zeigt, dass das Gebiet auch bezüglich Nährstoffen ein vielfältiges Mosaik darstellt: Moorige, nährstoffarme Kompartimente wechseln sich mit nährstoffreichen Arealen ab.

Fauna

Die Vielfalt der Pflanzen hat auch Auswirkungen auf die Fauna des Uebeschiees: Im und am See leben 6 Amphibienarten, 30 Libellenarten und zwei Reptilienarten.

Ein Ökosystem ist umso wertvoller, je besser es mit seinem Umfeld vernetzt ist. Überall dort, wo verschiedene Lebensräume aneinander grenzen, entstehen Ökotope, welche durch eine besonders hohe Artenvielfalt auffallen. Der Uebeschiee und die daran angrenzende Thuner Allmend sind ein gutes Beispiel dafür: Trockenstandorte und Flächen mit Pioniervegetation wechseln sich dort mit Feuchtgebieten in unterschiedlichen Verlandungsstadien ab. Hecken und Feldgehölze bieten einer Vielzahl Tierarten Unterschlupf. Auf Grund seiner ausgedehnten Pionierstandorte, seiner Pflanzenvielfalt und seines Reptilien- und Heuschreckenbestandes erlangt das Gebiet regionale Bedeutung. Von nationaler Bedeutung ist es als Brutgebiet für Vögel, Rastplatz für Watvögel (Limikolen) und als Lebensraum für Libellen, Reptilien und Amphibien (PFISTER 1991).

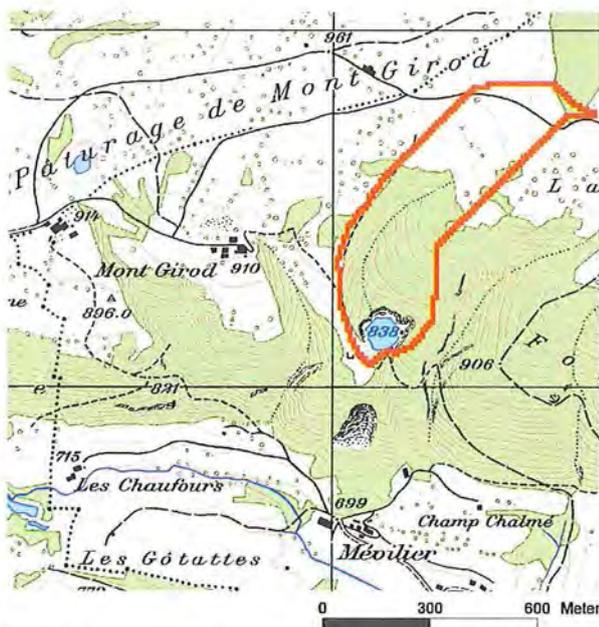
Tiefenkarte Uebeschiee



Lac Vert

mésotrophe

Photo: GBL / M. Zeh



Bassin versant (bv)

| | |
|----------------------------------|----------|
| Superficie du bv topographique: | 21.91 ha |
| Superficie du bv hydrologique: | 46 ha |
| Altitude maximale du bv topogr.: | 997 m |
| Altitude moyenne du bv topogr.: | 938 m |

Répartition des surfaces



| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Carte nationale 1 : 25 000 | 1106 |
| Coordonnées de la profondeur maximale | 591 148 / 233 163 |
| Cote du niveau du plan d'eau | 838 m |
| Superficie du plan d'eau | 0.65 ha |
| Profondeur maximale | 14.3 m |
| Volume du plan d'eau | 42 286 m ³ |

Géologie, hydrologie et histoire

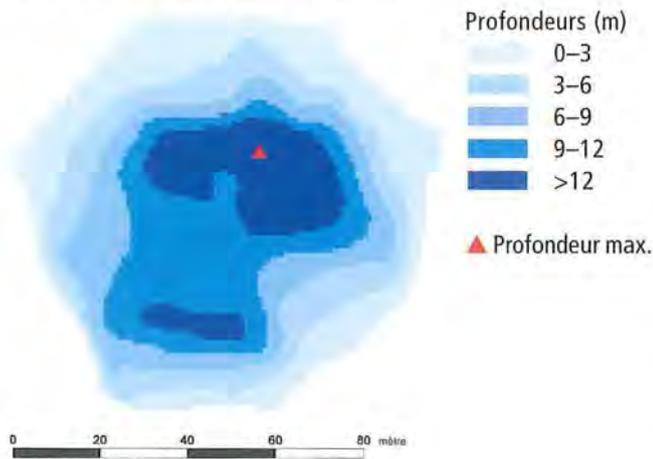
Le Lac Vert se trouve sur le versant nord de la vallée de la Birse, au nord-ouest de Court. Il a été creusé artificiellement lors de l'extraction de sable. Durant cette opération, on tomba sur un abondant aquifère qui remplit l'excavation, et il fallut abandonner la sablière. Des wagonnets, des pièces de machines et des câbles en acier disséminés sur le site témoignent encore de cette ancienne exploitation, qui a donné une morphologie particulière à ce plan d'eau. De tous ceux qui ont été étudiés, il est le plus profond par rapport à sa taille. Il repose sur un substrat entièrement composé de roches carbonatées. Le cours d'eau souterrain qui le traverse indique une influence karstique; l'affluent permet de supposer que

les bassins versants hydrologique et topographique ne sont pas identiques. Le second comprend principalement des surfaces forestières et agricoles.

Productivité / état trophique

Compte tenu des concentrations en orthophosphates et en phosphore total, le Lac Vert peut être qualifié d'oligotrophe. La visibilité relativement bonne et la faible concentration en chlorophylle ne sont possibles que grâce à une présence peu importante d'algues et indiquent un état oligotrophe ou mésotrophe. Par contre, la forte consommation d'oxygène dans l'hypolimnion parle en faveur d'un état eutrophe. Ces considérations reposent toutefois sur des observations instantanées qui ne

Carte bathymétrique Lac Vert



permettent de saisir qu'insuffisamment la variabilité de la masse d'eau dans le temps. Quant au sédiment, il témoigne des conditions trophiques antérieures, complétant ainsi les échantillons prélevés par sondages. On y reconnaît (voir l'illustration) que les phases aérobies et les phases anaérobies (1-3; 5-6; 21-29 cm) alternent. Si l'on se réfère au plancton pour apprécier la qualité de l'eau, on peut dire que le Lac Vert est **mésotrophe**.

Température / mélange des eaux

L'eau du Lac Vert était nettement stratifiée au moment du prélèvement des échantillons, surtout

en août (LACHAVANNE ET AL. 1998). La thermocline se situait entre 4 et 8 m de profondeur. Les profils de tous les paramètres sont classiques: la légère sursaturation d'oxygène en surface est due à la photosynthèse des algues, tandis qu'en profondeur, la décomposition des algues ôte à l'eau une partie de l'oxygène, dont la concentration est donc faible. L'augmentation de l'oxygène au dessus du fond est probablement lié à des résurgences d'eau souterraine.

A la surface, la décalcification biogène augmente quelque peu le pH (voir lac de Lobsigen) et la conductivité électrique est légèrement diminuée du fait de l'absorption de nutriments par les algues. En profondeur, les éléments nutritifs sont de

nouveau libérés par la décomposition, ce qui accroît la conductivité.

Plancton

Le zooplancton se composait de sept espèces le 13 mai 1997; surtout de celles qui privilégient les eaux eutrophes. Le phytoplancton est assez varié (66 espèces provenant de dix familles), mais n'indique pas de tendances marquées en ce qui concerne l'état trophique. Au niveau du plancton bactérien, les espèces anaérobies jouent un rôle secondaire, signe que la décomposition des matières organiques se déroule essentiellement de façon aérobie.

Flore et faune

Si, probablement en raison du jeune âge du Lac Vert, seule une espèce de laïche (*Carex elata*) a été identifiée en 1997, ce plan d'eau constitue un habitat important pour les batraciens. En 1990, six espèces y ont été inventoriées (crapaud commun, crapaud accoucheur, grenouille rousse, triton palmé, triton alpestre et salamandre tachetée), dont cinq sont menacées. Il joue en outre un rôle important pour la reproduction de deux espèces de libellules.

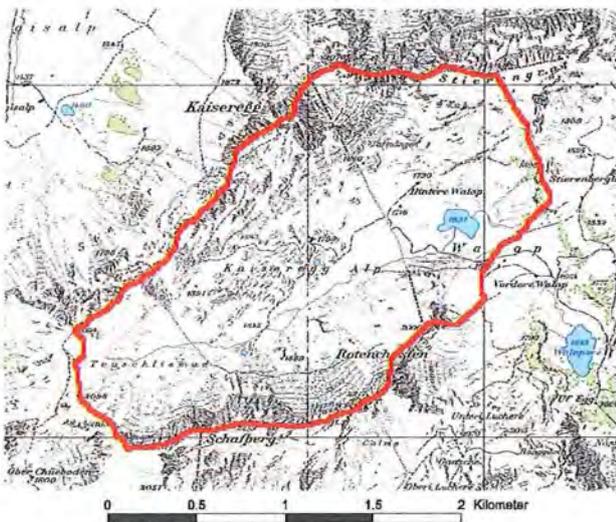


hinterer Walopsee

hoch alpen



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|-----------------------------|-------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1226 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 591 824 / 166 262 |
| Höhe Seeoberfläche | 1631 m ü.M. |
| Seefläche | 2.27 ha |
| Maximaltiefe bei Probenahme | 0.2 m |

Geschichte, Hydrologie

Der Wanderer begegnet dem höhergelegenen der beiden Walopseen auf dem Weg zur Kaiseregg, die sich nördlich des Niedersimmentals erhebt. Der in einer flachen Mulde 4.5 km nordwestlich von Boltigen liegende See weist ein sumpfiges Ufer auf, welches in intensiv genutzte Alpweiden übergeht. Das übrige Einzugsgebiet besteht aus Felsen und Schutthalden. Die Wasserführung der beiden durch Karstgebiet fließenden Zuflüsse kann stark variieren. Am Probenahmetag (27.8.1997) führte der eine beim ersten Augenschein kein Wasser. Einige Stunden später floss das Wasser reichlich. Die Wassertiefe zum Probenahmezeitpunkt betrug nur noch 0.2 m. Die Grenze zwischen bewachsenem Boden und vegetationsfreiem Schlick lag

um etwa 0.3 m höher als der gemessene Wasserstand. Der Wasserverlust durch Verdunstung und unterirdische Klüfte lässt den See vermutlich zeitweise trockenfallen. Andererseits kann der See während der Schneeschmelze 0.5–1 m über die Normalwasserlinie ansteigen, wie dies am 30.5.1997 der Fall war. Das Grasland war damals teilweise überflutet.

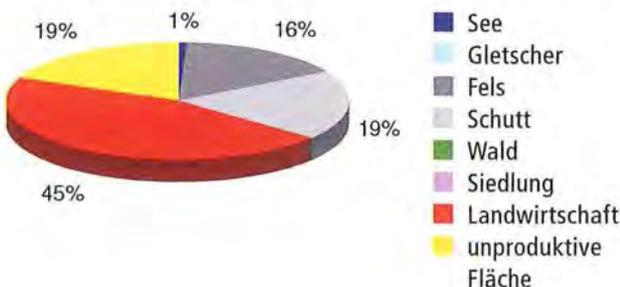
Temperatur / Mischverhalten

Das 15 bis 17 °C kalte Wasser der beiden Zuflüsse erwärmte sich im See am Probenahmetag bis auf über 27 °C. Die Durchmischung ist auch bei hohem Wasserstand durch die abendliche Abkühlung des Wasserkörpers täglich möglich.

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 348.36 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2233 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1891 m ü.M. |

Flächenanteile



Produktivität / Trophiegrad

Während die beiden Zuflüsse eine mässige Belastung mit gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) aufwiesen, wurde im See selber ein sehr hoher Gesamtphosphorgehalt von 120 µg/l gemessen. Der See muss daher als **hoch eutroph** beurteilt werden. Auch die ausserordentlich hohe Chlorophyll-a-Konzentration, zusammen mit einer Sauerstoffsättigung von mehr als 250%, deutet auf eine hohe Produktivität hin, wie sie nur in **hoch eutrophen** Gewässern auftreten kann. Die Überdüngung des Sees ist auf Grund des hohen Landwirtschaftsanteils am Einzugsgebiet zu erwarten (MÜLLER ET AL. 1998). Allerdings weist der deutliche Unterschied zwischen den Nährstoffkonzentrationen im Zufluss und im See selbst auf starke zeitliche Schwankungen hin. Ausserdem

ist davon auszugehen, dass der Nährstoffgehalt sich während der Probenahme eher im oberen Teil dieses Schwankungsbereiches befand, da durch die drastische Abnahme des Wasserspiegels die Nährstoffe im übriggebliebenen Wasser aufkonzentriert wurden.

Plankton

Das Phytoplankton war im August 1997 mit 45 taxonomischen Einheiten nicht sehr artenreich. Es bestand zur Hauptsache aus Grünalgen, Kieselalgen und Augenflagellaten, die als Zeiger **eutroph** Bedingungen mit sieben Arten vertreten waren. Allerdings kommen Augenflagellaten bevorzugt in seichten Gewässern wie dem hinteren Walopsee vor.

Trotz der geringen Wassertiefe wurden unter den 11 identifizierten Bakterientypen zwei Schwefelpurpurbakterien erkannt. Sie

wurden, nebst anderen massenhaft aufgetretenen Bakterienarten, sehr häufig gefunden. Auf Grund der Zusammensetzung der Bakterien ist anzunehmen, dass der Sauerstoffüberschuss vom Tag während der Nacht sehr rasch durch intensive Abbauprozesse sowie Respiration der Algen und Wasserpflanzen vollständig aufgezehrt wird. Da Schwefelpurpurbakterien auf Schwefelwasserstoff angewiesen sind (SCHWOERBEL 1987), ist sogar von einem Sauerstoffdefizit (siehe Inkwilersee) auszugehen. Solche Bedingungen sprechen für eine hohe Nährstoffbelastung und sind für höhere Tiere wie Fische höchst lebensfeindlich.

Flora / Fauna

Die gesamte noch vorhandene Seeoberfläche war bedeckt von blühendem haarblättrigem Hahnenfuss, der als Nährstoff-

zeiger gilt. Auch er dürfte zur Sauerstoffüberproduktion bei Tag und zur Sauerstoffzehrung bei Nacht beitragen. Gemäss Abklärungen der kantonalen Fischereiaufsicht leben im Walopsee auch keine Fische (RIEDER 1993).

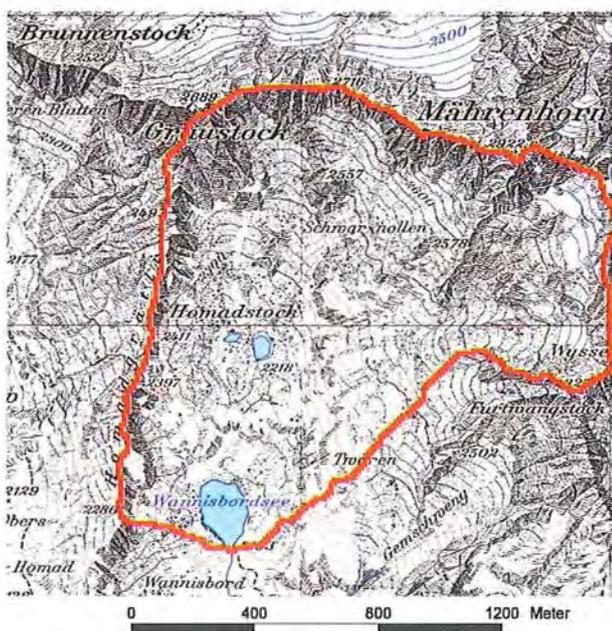
Am und im See findet der gefährdete Bergmolch Lebensraum. Am 30.5.1997 konnten Männchen und Weibchen dieser Art beobachtet werden. Auch für Grasfrösche ist der hintere Walopsee von Bedeutung. Neben zahlreichen Laichklumpen und Jungfröschen, welche die Metamorphose schon abgeschlossen hatten, konnten auch vereinzelte ausgewachsene Tiere beobachtet werden. GROSSENBACHER (1977) erwähnt das Vorkommen von zwei Libellenarten am Ufer des hinteren Walopsees.

Wannisbordsee

oligotroph



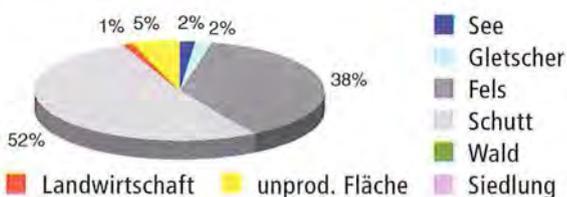
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 157.57 ha |
| Fläche hydrologisches EzG: | 164 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2919 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 2441 m ü.M. |

Flächenanteile



| | |
|------------------------|-------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1210 |
| Koordinaten | 665 779 / 170 446 |
| Maximaltiefe | 2103 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 2.43 ha |
| Seefläche | 14.0 m |
| Maximaltiefe | |

Geschichte, Hydrologie

6 km südöstlich von Innertkirchen liegt am Osthang des Haslitals, unterhalb des Mährenhorns, der Wannisbordsee. Während der Schneeschmelze und bei grossen Niederschlägen führen kleine, periodische Zuflüsse Wasser aus den umliegenden Schutthängen und Felsen in den See. Der oberirdische Abfluss (Hostetbach) mündet bei Guttannen in die Hasliaare.

die Nährstoffgehalte waren ausgesprochen niedrig, und das Wasser war über die gesamte Tiefe mit Sauerstoff gesättigt. Das Sediment (unpublizierte Daten EAWAG, MÜLLER ET AL. 1998) war hellgrau. Es ist anzunehmen, dass das Seewasser in der Tiefe während des ganzen Jahres ausreichend mit Sauerstoff versorgt ist. Diese Befunde sprechen insgesamt für einen **oligotrophen** Zustand des Sees (MÜLLER ET AL. 1998). Die Leitfähigkeit erreichte sehr tiefe Werte (17 µS/cm), ein typisches Merkmal unbelasteter, oligotropher Gewässer mit kristallinem Untergrund.

Temperatur / Mischverhalten

Die EAWAG stellte während ihrer Probenahme im Sommer 1993 einen sehr geringen Temperaturgradienten im See fest (MÜLLER ET AL. 1998).

Fauna / Flora

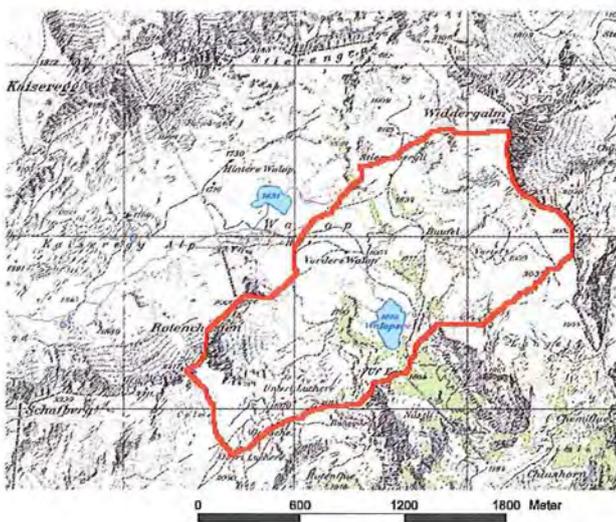
Der Wannisbordsee ist Lebensraum für den gefährdeten Bergmolch. In den verfügbaren Unterlagen fehlen weitere Angaben zur Tier- und Pflanzenwelt des Sees.

Produktivität / Trophiegrad

Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) und



Foto: GBL / M. Zeh



| | |
|------------------------|------------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1226 |
| Koordinaten | 592 582 / 165 408 |
| Maximaltiefe | 1613 m ü.M. |
| Höhe Seeoberfläche | 3.51 ha |
| Seeffläche | 10.0 m |
| Maximaltiefe | 156 672 m ³ |
| Seevolumen | |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Walopsee liegt am südlichen Ende der gleichnamigen Alp, 3 km nordwestlich von Boltigen und 10 km nördlich von Zweisimmen. Der hohe Kalkgesteinanteil am Einzugsgebiet lässt Karst-einfluss vermuten. Ebenso sind die Lage in einem Trichter und sein unterirdischer Abfluss ein Hinweis, dass Höhlensysteme die Hydrologie des Gebietes bestimmen. Im Sommer ist die Stelle des Abflusses durch einen Wirbel erkennbar. Gespiesen wird der See durch einen oberirdischen Zufluss, der während der Probenahme am 27.8.1997 jedoch kein Wasser führte (am 30.5.1997 hingegen etwa 20l/s). Über unterirdische Zuflüsse und die Richtung, in welche der See entwässert, konnte aus den verfügbaren Unterlagen nichts ent-

nommen werden. Der hohe Landwirtschaftsanteil am Einzugsgebiet dürfte der Grund sein für die hohe Nährstoffbelastung und damit auch die erhöhte Trophie (vgl. MÜLLER ET AL. 1998).

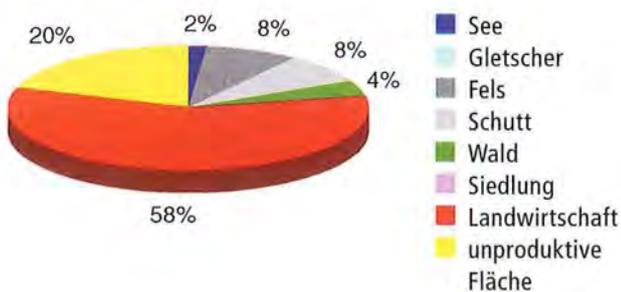
Temperatur / Mischverhalten

Zur Zeit der Probenahme war das Wasser bis in eine Tiefe von 3 m durchmischt. Die Sprungschicht reichte bis in die grösste Tiefe. In diesem Bereich (Metalimnion) wiesen alle gemessenen Parameter hohe Gradienten auf. Ein eigentliches Hypolimnion existierte nicht. Auf Grund des grossen Temperaturunterschiedes zwischen Oberfläche und Grund, der relativ grossen Tiefe (10 m) und der windgeschützten Lage im Bergkessel ist von einer stabilen Schichtung im

Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Fläche topographisches EzG: | 203.68 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 2192 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 1845 m ü.M. |

Flächenanteile



Sommer auszugehen. Ob und wie häufig der See jährlich zirkuliert, kann auf Grund der einmaligen Probenahme nicht gesagt werden.

Eine lichtfreie Tiefenzone existiert wahrscheinlich während des ganzen Jahres. Der Walopsee kann somit als tiefer See bezeichnet werden.

Produktivität / Trophiegrad

Die mittlere Gesamtposphorkonzentration betrug 30 µg/l, was einem **mesotrophen** Zustand entspricht. Dieser Nährstoff wies einen ausgeprägten Tiefengradienten auf. Bis 7.5 m lag der Gehalt in der oligo- bis mesotrophen Skala (7–26 µg/l). Über Grund dagegen war er mit 100 µg/l im hoch eutrophen Bereich. Dies ist so erklärbar: Durch den Abbau von Planktonbiomasse werden im Tiefenwasser Nährstoffe in grosser Menge freigesetzt. Die Schichtung verhindert einen Austausch mit den oberflächlichen Wasserschichten. Als Folge der anaeroben Bedingungen im Tiefenwasser kann zusätzlich im Sediment eingelagerter Phosphor in Lösung gehen (Phosphorrücklösung). Unvollständige Zirkulation (Meromixie) dagegen ist als Ursache unwahrscheinlich. Das hell gefärbte, aerobe Sediment ist ein Hinweis, dass während wesentlichen Abschnitten des Jahres Sauerstoff bis auf den Grund des Sees gelangt. Dies

kann nur durch Vollzirkulation geschehen.

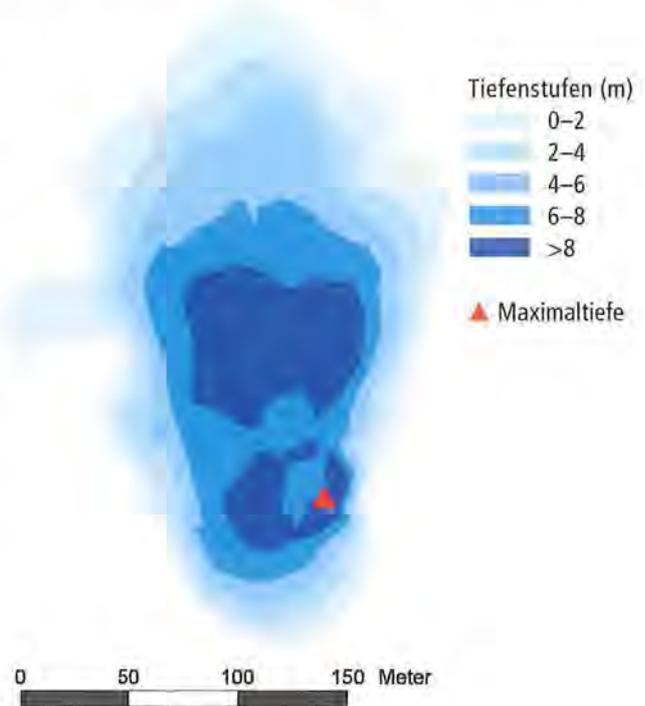
Die grosse Sichttiefe und die geringe Chlorophyll-a-Konzentration bestätigen das Bild der Nährstoffanalysen und sind charakteristisch für einen **mesotrophen** See.

Das Sauerstoffprofil wies sein Maximum zwischen 3 und 5 m Tiefe auf. Es ist anzunehmen, dass in diesem Tiefenbereich die Primärproduktion am höchsten war. Ab 5 m war eine zunehmende Sauerstoffzehrung feststellbar, und über dem Grund war das Wasser lediglich zu 1.5% gesättigt. Die Sauerstoffbedingungen sprechen für einen **eutrophen** Zustand.

Plankton

Das Phytoplankton war im August mit 49 taxonomischen Einheiten nicht sehr artenreich. Das Vorkommen von anaeroben Schwefelpurpurbakterien deutet darauf hin, dass im Tiefenwasser mindestens zeitweise Schwefelwasserstoff und Sauerstoffmangel vorkommen. Die Grünalgen dominierten bezüglich Häufigkeit und Artenzahl (16 Vertreter), gefolgt von den Goldalgen (14), was für eine gewisse Nährstoffbelastung spricht. Die Augenflagellaten dagegen kamen in keiner einzigen Art vor, was damit zusammenhängen dürfte, dass die Probe im Freiwasser an der tiefsten Stelle genommen wurde, während die Augenflagellaten bevorzugt an seichteren

Tiefenkarte vorderer Walopsee



Stellen leben. Das Fehlen dieser Gruppe gibt jedoch auch einen Hinweis, dass die Nährstoffbelastung nicht allzu hoch ist. Auch auf Grund des aus nur drei Arten bestehenden Zooplanktons lässt sich der Walopsee weder als oligo- noch eutroph einstufen. Dieser Befund widerspricht der Zuordnung zum mesotrophen Typus nicht.

Flora / Fauna

Im Walopsee waren im Bereich des Zuflusses grosse Mengen von Fadenalgen feststellbar. Hö-

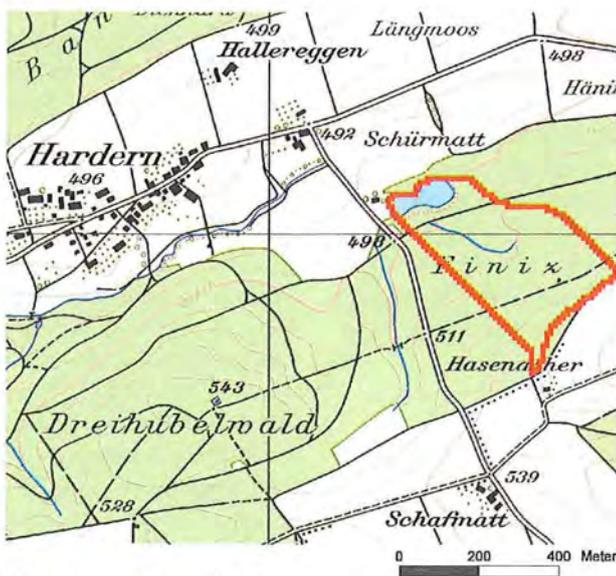
here Wasserpflanzen konnten nicht gefunden werden. Gemäss Abklärungen der kantonalen Fischereiaufsicht leben im Walopsee auch keine Fische (RIEDER 1993). Während der Probenahme konnten Grasfrösche in grosser Zahl beobachtet werden. Es handelte sich vorwiegend um Jungtiere, welche die Metamorphose bereits abgeschlossen hatten und das Wasser verliessen. Am 30. Mai 1997 konnten nebst Grasfroschlaich auch Erdkröten beobachtet werden. Weitere Hinweise über die Fauna sind in der verfügbaren Literatur nicht vorhanden.

Weiher bei Hardern

eutroph



Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 12.52 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 530 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 511 m ü.M.

Flächenanteile



100%

- See
- Gletscher
- Fels
- Schutt
- Wald
- Siedlung
- Landwirtschaft
- unproduktive Fläche

Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1146
 592 365 / 215 087
 495 m ü.M.
 0.74 ha
 4.5 m
 12 858 m³

Geschichte, Hydrologie

Der aus einer ehemaligen Lehmgrube entstandene Weiher liegt 3 km nordöstlich von Lyss. Sein auf kalkreichem Untergrund liegendes topographisches Einzugsgebiet ist relativ klein und vollständig von Wald bedeckt. Der kleine Waldsee erhält sein Wasser entweder durch Infiltration oder durch Niederschläge, da er keinen oberirdischen Zufluss aufweist. Der Abfluss muss, falls vorhanden, ebenfalls unterirdisch sein.

Temperatur / Mischverhalten

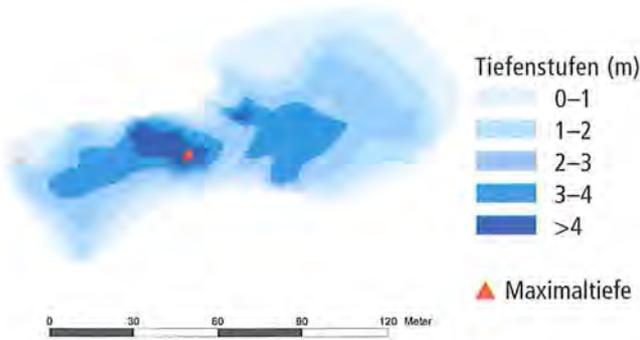
Im August 1997 erreichte die Wassertemperatur an der Oberfläche knapp 25 °C. Über Grund in 4.5 m Tiefe wurden noch 17.4 °C gemessen. Die Schich-

tung kann an dieser sehr geschützten Lage über längere Zeit stabil sein. Die herbstliche Abkühlung wird sicher zu einer Durchmischung des ganzen Sees führen (**Holomixie**).

Produktivität / Trophiegrad

Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) war mit 6.1–14.2 mg C/l ziemlich hoch. Die Nährstoffgehalte, insbesondere der Gesamtphosphorgehalt, deuten dagegen auf einen **mesotrophen** Zustand des Gewässers hin. Der kalkreiche Untergrund schlug sich in der relativ hohen Gesamthärte und Leitfähigkeit nieder. Die Sauerstoffsättigung betrug bereits an der Oberfläche nur noch 77% und fiel über Grund auf 0%, obschon die Chloro-

Tiefenkarte Weiher bei Hardern



phyll-a-Konzentration mit 15.8 µg/l hoch war und eine grosse Sauerstoffproduktion durch die Algen zu erwarten wäre. Der hohe Chlorophyll-a-Gehalt und das Sauerstoffprofil charakterisieren den Weiher als **eutroph**. Auf Grund der dunkel gefärbten, anaeroben Ablagerungen in den oberen 10 cm des Sedimentstiches (siehe Abbildung) scheint der Weiher in den letzten Jahren **eutroph** geworden zu sein. Wir nehmen an, dass sich der Verlandungsprozess in den letzten Jahren beschleunigt hat. Der herbstliche Laubfall bewirkt in dem zu 100% von Wald umgebenen Seelein eine regelmässige Düngung. Die Produktion wurde im Lauf der Zeit so hoch, dass über Grund zeitweise sauerstofffreie Bedingungen entstanden. In dieser Zone kann im Sediment gebundenes Phosphat rückgelöst werden, was eine Eigendüngung im Gewässer bewirkt. Der rückgelöste Phosphor

steht zusammen mit dem Nährstoffeintrag von aussen der pflanzlichen Produktion zur Verfügung. Dies besonders, wenn ein Windereignis den ganzen Wasserkörper durchmischt.

Plankton

Das Phytoplankton war im August 1997 sehr reich an verschiedenen Arten (82). Allein von den Grünalgen konnten 32 Arten festgestellt werden. Weitere gut vertretene Gruppen waren die Gold- und Blaualgen. Die im allgemeinen nährstoffliebenden Augenflagellaten waren durch acht Arten vertreten. Diese Zusammensetzung deutet auf einen **eutrophen** Zustand hin. Unter den sechs identifizierten Bakterienarten wurden zwei Vertreter der Schwefelpurpurbakterien gefunden, die nur bei Vorhandensein von Schwefelwasserstoff und in sauerstofffreiem

Milieu überleben können. Dies lässt darauf schliessen, dass in Teilen des Weihers ein Sauerstoffdefizit herrscht.

Drei der sechs im Gewässer gefangenen Zooplanktonarten bevorzugten eutrophe Bedingungen. Zwei Arten wiesen im Moment der Probenahme ein Massenvorkommen auf. Dieses Massenvorkommen könnte für den geringen Sauerstoffgehalt an der Oberfläche mit verantwortlich sein: Der Sauerstoffbedarf des massenhaft vorkommenden Zooplanktons und der für den Abbau zuständigen Bakterien überstieg offenbar während der Probenahme die Sauerstoffproduktion durch die Algen und Wasserpflanzen.

Flora / Fauna

Der Weiher wies einen schönen Röhrichtbestand und einen gut ausgebildeten Schwimmblattgürtel im hinteren Becken auf. Trotz einer Sichttiefe von 3.4 m konnten keine untergetauchten Wasserpflanzen festgestellt werden.

Es ist möglich, dass der vor 20 Jahren ausgesetzte weisse Amur (Graskarpfen) vorhandene Wasserpflanzenbestände eliminierte und neue Pflanzen sich noch nicht wieder angesiedelt haben. Nebst karpfenartigen Fischen (Rotauge, Rotfeder, weisser Amur) findet man auch den Flussbarsch und den Hecht, der regelmässig besetzt wird.

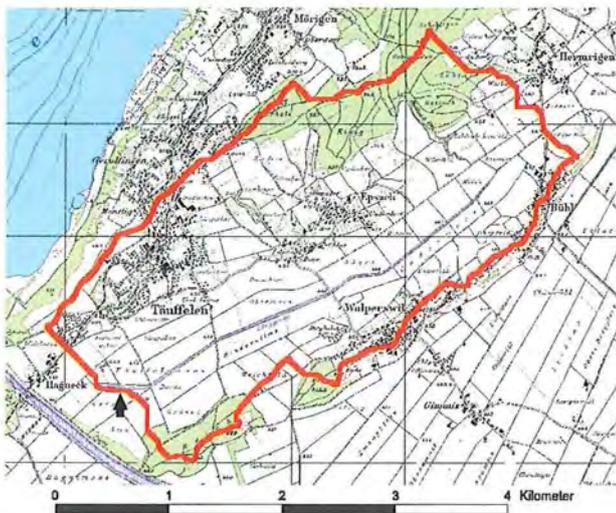


Weiherr bei Hagneck

polytroph



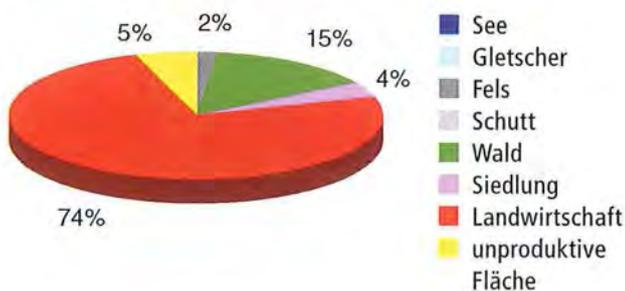
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 852.68 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 550 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 469 m ü.M. |

Flächenanteile



| | |
|--------------------------|---------------------|
| Landeskarte 1 : 25 000 | 1145 |
| Koordinaten Maximaltiefe | 581 353 / 211 668 |
| Höhe Seeoberfläche | 438 m ü.M. |
| Seefläche | 1.03 ha |
| Maximaltiefe | 1.0 m |
| Seevolumen | 4130 m ³ |

Geologie, Hydrologie und Geschichte

Der Wehrr bei Hagneck wird nach seinem Zufluss auch **Länggrabenwehrr** genannt. Er liegt 10 km südwestlich von Biel, östlich des Hagneckkanals. Auf der Landeskarte von 1976 existierte er noch nicht. Der Länggrabenkanal mündete damals noch direkt in eine 920 m lange Röhre, welche auch heute noch unter der Gemeinde Hagneck durchführt. Das Röhrenende liegt nordöstlich des Kraftwerks Hagneck, knapp 300 m vom Bielersee entfernt. Vor dieser Röhre staute sich das Wasser während starken Regenfällen, und das Länggrabental wurde regelmässig überschwemmt. Ein Ausgleichsbecken sollte Hochwasserspitzen abpuffern und diese Überschwemmungen

verhindern. Im Rahmen der Güterzusammenlegung von 1981 bis 1994 entstand so der Wehrr unmittelbar vor dem Einlauf der Röhre. Mit einem Schwimmbagger wurde der hauptsächlich aus Seekreide bestehende Grund abgesaugt, entwässert und im Bereich der Böschungen verteilt. Der Grund ist mit einem Kunststoffgewebe gegen unten abgedichtet. Damit wird ein seitliches Abrutschen der Seekreideschichten verhindert (pers. Mitt. H. ISELI, Kraftwerk Hagneck). Das Gewässer erscheint erstmals 1987 auf der Landeskarte 1 : 25 000. Der Landwirtschaftsanteil ist mit 74% sehr hoch, und bei Epsach mündet eine Hochwasserentlastung des Kanalisationsnetzes der ARA Täuffelen in den Länggraben (pers. Mitt. H. ISELI). Die Voraussetzungen für eine hohe

Nährstoffbelastung und stark schwankende Nährstofffrachten sind gegeben.

Temperatur / Mischverhalten

Mit einer Maximaltiefe von einem Meter kann sich zu keiner Jahreszeit eine stabile Schichtung einstellen. Bereits eine nächtliche Abkühlung reicht aus, um eine Vollzirkulation auszulösen. Ausserdem ist das Seevolumen im Verhältnis zum Abfluss des Länggrabens sehr gering. Das Verhalten ist daher eher mit einem langsam fliessenden Fließgewässer als mit einem stehenden Gewässer vergleichbar. Die Sichttiefe betrug während der Probenahme am 14.8.1997 lediglich 80 cm, was einerseits der sehr hohen Algendichte zuzuschreiben ist. Andererseits tragen die Karpfen durch Wühlen im Schlamm zusätzlich zur Trübung des Wassers bei.

Produktivität / Trophiegrad

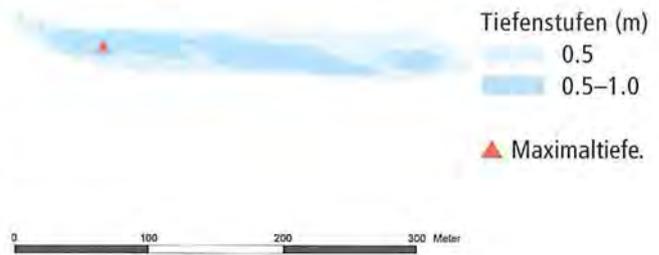
Das Wasser weist eine hohe Belastung mit Gesamtphosphor (103 µg/l) auf, welche das Gewässer als **polytroph** charakterisiert. Allerdings ist der um einen Faktor 3 geringeren Zuflusskonzentration zu entnehmen, dass der Nährstoffgehalt sehr stark schwankt. Auch die Gesamtstickstoffkonzentration ist hoch. Die starke Belastung ist auf Grund des hohen Landwirt-

schaftsanteils am Einzugsgebiet zu erwarten (MÜLLER ET AL. 1998). Ein wesentlicher Abbau (biologische Selbstreinigung) kann im begradigten, kanalisierten Länggraben nicht stattfinden. Das überhöhte Nährstoffangebot wird auch durch die Algen genutzt: Die im Weiher bei Hagneck gemessene Chlorophyll-a-Konzentration (141 µg/l) wird von keinem im Rahmen dieses Projekts untersuchten Gewässer nur annähernd erreicht. Die hohe Übersättigung mit Sauerstoff (240%) deutet gleichermaßen auf eine sehr hohe Primärproduktion hin. Auch der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) ist ein Hinweis auf starke Belastung. Sauerstoffzehrung konnte keine festgestellt werden, was angesichts der geringen Tiefe, der hohen Algendichte, des schönen Wetters und der dauernden Zufuhr von gesättigtem Wasser durch den Zufluss zu erwarten war. Die Verhältnisse können jedoch nachts (keine Photosynthese und damit keine Sauerstoffproduktion) völlig anders sein.

Plankton

Das Phytoplankton ist mit 86 taxonomischen Einheiten sehr artenreich. Sowohl Artenzahl wie Dichte sind durch das klare Dominieren von Grünalgen geprägt. Die Augenflagellaten, welche als Belastungszeiger gelten, kommen in 10 Arten vor. Damit widerspiegelt das Phytoplankton die Ergebnisse der

Tiefenkarte Weiher bei Hagneck



Gewässerchemie sehr gut. Das Bakterienplankton enthält Schwefelbakterien mit anaerobem Stoffwechsel, ein Hinweis, dass es im Gewässer Stellen mit Sauerstoffmangel gibt. Dies ist insbesondere an der Grenzschicht zwischen Wasser und Sediment zu erwarten. Im Zooplankton konnten neben indifferenten Arten ausschliesslich Zeiger für eutrophe Gewässer gefunden werden.

Flora

Im Weiher bei Hagneck konnten keine untergetauchten Wasserpflanzen gefunden werden. Der Grund für ihr Fehlen liegt im hohen Trophiegrad und der damit verbundenen starken Wassertrübung. Schilf, Seggenbestände und Weidengestrüpp geben dem ansonsten künstlichen See eine gewisse Naturnähe und eignen sich in beschränktem Mass als Lebensraum für Wasservögel.

Fauna

Insgesamt 20 Fischarten leben im See oder wurden irgendeinmal dort ausgesetzt. Bei acht (Wels, Spiegelkarpfen, dreistacheliger Stichling, Moorgrundel, weisser Amur, Goldfisch, Karausche, Blaubandbärbling) handelt es sich um standortfremde Arten. Die ersten vier Arten kommen bei uns vor, die letzten vier Arten hingegen wurden über die zoogeografischen Grenzen hinweg verschleppt. Da der Weiher durch die Röhre mit dem Bielersee verbunden ist, kann ein Abwandern dieser standortfremden bzw. unerwünschten Fischarten nicht ausgeschlossen werden. Derartige Faunenverfälschungen können für die einheimische Fischfauna negative Auswirkungen haben und sollten unterbleiben. Die Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei schreibt übrigens vor, dass diese Arten – wenn überhaupt – nur mit einer Bewilligung in öffentliche Gewässer eingesetzt werden dürfen. Wer ohne behördliche Bewilligung landes- oder standortfremde Arten, Rassen und Varietäten von Fischen einsetzt, macht sich strafbar.

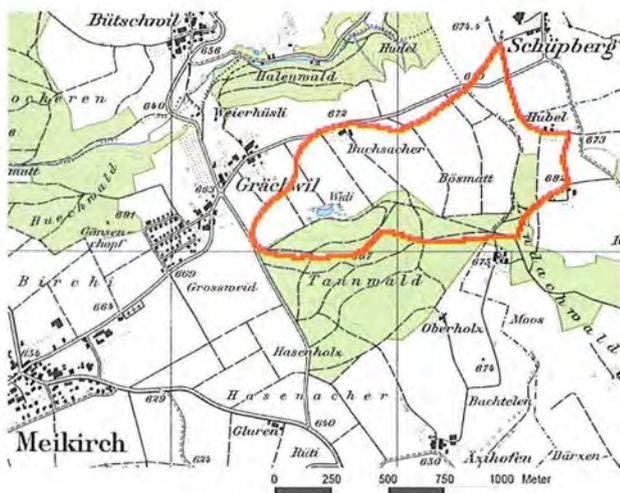


Zuflussbauwerk

Foto: GBL / K. Guthruf



Foto: GBL / M. Zeh



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1165
 595 664 / 207 168
 659 m ü.M.
 0.16 ha
 1.0 m
 666 m³



Geologie, Hydrologie und Geschichte

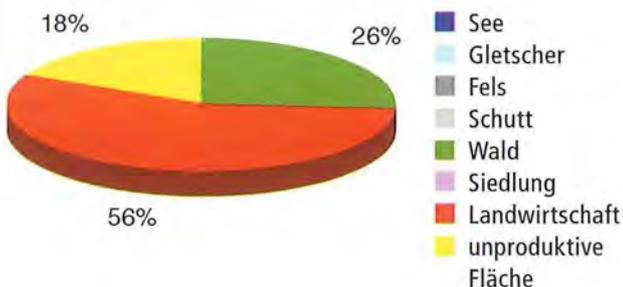
Das 9 km nordwestlich von Bern bei Meikirch gelegene Widi wurde zwischen 1986 und 1988 umfassend durch von BLÜCHER (1988) untersucht. Alle Untersuchungsergebnisse aus diesem Zeitraum sowie geschichtliche und hydrologische Daten stammen aus dieser Arbeit. Ursprünglich war das Widi wahrscheinlich ein Auffangbecken für Niederschlagswasser. Im Siegfriedatlas von 1878 erscheint das Widi erstmals als stehendes Gewässer. Das Widi hat nur eine geringe Tiefe und ist am Verlanden. Wasserpflanzen (vor allem Seggen) breiten sich vom Ufer her immer stärker gegen die See mitte aus, so dass die Fläche 1937 fast und zwischen 1968 und 1976 vollständig überwachsen war. 1977 wurde das Gewässer in seiner Mitte ausgebag-

gert. Schon kurz nach diesem Eingriff begann der Weiher erneut zuzuwachsen. Ein Vergleich verschiedener Landeskarten zeigt, dass sich die offene Wasserfläche zwischen 1987 und 1994 auf 19% verringert hat. Allerdings können auch hydrologische Gründe mitbeteiligt sein: Bei einer Maximaltiefe von 1.9 m sind die Wasserstandsschwankungen mit 80 cm sehr hoch, und das Volumen ist bei Hochwasser mehr als doppelt so gross wie bei Niederwasser. Diese Spiegelschwankungen entstehen künstlich durch Regulierung des Seezuflusses durch einen Schieber. Schon 1889 war der Zufluss eingedolt und mündete am Ostufer. Seit Ende der vierziger Jahre mündet er von Norden in den Weiher. Der Zufluss setzt sich nebst Niederschlagswasser aus Oberflächenabfluss aus den Feldern, Drainage- und Quellwasser zusammen.

Einzugsgebiet (EzG)

Fläche topographisches EzG: 64.48 ha
 maximale Höhe topographisches EzG: 680 m ü.M.
 mittlere Höhe topographisches EzG: 667 m ü.M.

Flächenanteile



Temperatur / Mischverhalten

Die Temperatur des Oberflächenwassers erwärmte sich im Sommer 1986 auf annähernd 22 °C und fiel im Winter in allen Wassertiefen auf 0 °C. Die Vereisung dauerte von Anfang November 1985 bis Ende März 1986. Die Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Grund war zu allen Jahreszeiten gering. Eine stabile Schichtung kann sich auch im Sommer nicht einstellen. Das Widi ist damit ein typischer Weiher, dessen Wasserkörper auch während nächtlichen Abkühlungen zirkulieren kann. Eine lichtfreie Tiefenzone fehlt während wesentlichen Teilen des Jahres.

Produktivität / Trophiegrad

Der Gesamtphosphorgehalt schwankte in der Untersuchungsperiode im Jahr 1985/86 sehr stark (50–500 µg/l). Diese Konzentrationen sind charakteristisch für eutrophe bis polytrophe Seen. Die Orthophosphatkonzentrationen dagegen waren sehr gering. VON BLÜCHER (1988) ging davon aus, dass der Phosphor hauptsächlich in partikulärer Form in den Weiher gelangt und das Orthophosphat sofort durch die Wasserpflanzen aufgenommen und so gebunden wird.

Die Gesamtphosphorkonzentration lag am 18.6.1997 mit 55 µg/l an der unteren Grenze der Werte von 1985/86. Angesichts der sehr grossen Schwankungen kann daraus keine Tendenz abgeleitet werden. Stickstoffverbindungen, insbesondere Nitrat, werden sehr leicht aus den landwirtschaftlich genutzten Böden ausgewaschen und gelangen in hohen Konzentrationen ins Gewässer. Im Winter, wenn es unter dem Eis zu Sauerstoffzehrung kommt, kann der Stickstoff grösstenteils in der reduzierten Form (Ammonium) vorliegen (VON BLÜCHER 1988).

1985/86 traten grosse tagesperiodische Schwankungen der Sauerstoffsättigung auf (80 bis 280%). Die Spitzenwerte kamen durch die Photosynthese der Wasserpflanzen und Algen zustande, die Minima durch Veratmung und Sauerstoffzehrung beim Abbau der Wasserpflanzen. Auch im Jahreszyklus schwankte der Sauerstoffgehalt sehr stark. Unter dem Eis kam es zeitweise zu Sauerstoffzehrung, was jedoch eher eine Ausnahme darstellte. Im Sommer 1997 war das Wasser an der Oberfläche und über Grund nur zu 55% gesättigt. Die starken Winde sorgten für eine vollständige Durchmischung von Oberflächen- und Tiefenwasser. Es ist anzunehmen, dass das Wasser über Grund vor der Mischung eine beachtliche Sauerstoffzehrung aufwies. Somit war das Widi auch 1997 eutroph.

Noch 1986 war der Seegrund im Becken über 80% mineralisch. Es ist daher anzunehmen, dass seit der Baggerung im Jahr 1977 keine wesentliche Auflandung stattgefunden hat. 1997 waren die obersten 17 bis 21 cm des Sediments sehr dunkel gefärbt, was auf Sauerstoffmangel und hohen organischen Gehalt hinweist. Daraus lässt sich vermuten, dass sich seit 1986 eine mindestens 17 cm mächtige Schicht organischen Sediments angereichert hat. Dies entspricht einer relativ hohen Sedimentationsrate von 1.6 cm pro Jahr. Die Sedimentverhältnisse sind ein weiterer Hinweis auf eutrophe Bedingungen.

Plankton

VON BLÜCHER (1988) stellte im Sommerhalbjahr 1986 nur geringe Algendichten fest. Im Juni 1997 wurde ein Massenvorkommen einer *Cryptomonas*-Art festgestellt. Dieses Ergebnis zeigt deutlich, dass im Widi Algenblüten auftreten können, was auf Grund der grossen Dynamik in der Algenbesiedlung zu erwarten ist. 87 taxonomische Einheiten veranschaulichen den hohen Artenreichtum im Juni

1997. Die Grünalgen trugen mit 29 Arten wesentlich dazu bei, gefolgt von Kiesel- und Goldalgen. Neben dem Massenvorkommen von *Cryptomonas*, einem Schlundflagellaten, konnte sich eine kleine Form der Grünalgen massenhaft entwickeln. Mit 6 Augenflagellatenarten weist das Widi ein weiteres Merkmal eines eutrophen Weihers auf. Schwefelbakterien mit anaerobem Stoffwechsel deuten darauf hin, dass es zeitweise zu Sauerstoffmangel kommt. 1997 überwogen im Zooplankton Arten, welche eutrophe Gewässer bevorzugen.

Flora

Das Widi weist eine sehr typische Verlandungsvegetation auf. Das im Kanton Bern seltene Grosse Seggenried nimmt grosse Flächen ein. Seeseitig wird es an manchen Stellen durch Schilf abgelöst. Die untergetauchten Wasserpflanzen wurden noch 1986 durch Arten dominiert, welche mesotrophe Gewässer bevorzugen. Der Grund des Weihers war mit Armeleuchteralgen (*Chara vulgaris*) und grasartigem Laichkraut bedeckt. Diese beiden Arten gaben den Ausschlag, dass VON BLÜCHER (1988) das Widi trotz erhöhter Nährstoffgehalte insgesamt als mesotroph beurteilte. Schon 1988 ist ihr Bestand um 10–15% zurückgegangen. Diese Tendenz hat angehalten. 1997 war keine der beiden Arten nachweisbar, obwohl die Untersuchung mitten in der Vegetationszeit stattfand. Sumpfknöterich und Rohrglanzgras sind zwei Nährstoffzeiger, welche dagegen 1997 neu im Gewässer vorkamen. Diese Veränderung der Flora ist ein deutlicher Hinweis auf eine Zunahme der Nährstoffbelastung.

Fauna

Der Weiher ist bekannt als wichtiger Laichplatz des Grasfrosches. Auch als Brutgebiet für Stockenten, Zwergtaucher und als Nahrungshabitat für den

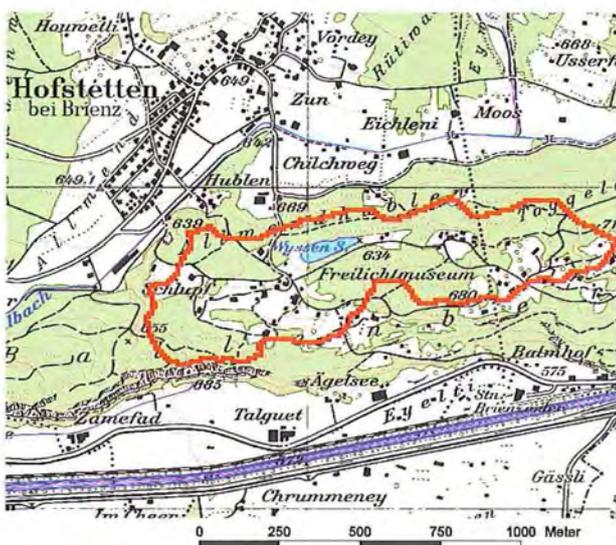
Graureiher spielt das Widi eine wichtige Rolle (VON BLÜCHER 1988). Während der Probenahme konnten Goldfische in sehr grosser Zahl beobachtet werden. Diese aus Ostasien stammende Fischart wurde im Gewässer eingesetzt. Es wurde wiederholt versucht, den Goldfischbestand mit Hilfe elektrischer Abfischungen bzw. Einsetzen von Hechten zu dezimieren, leider ohne Erfolg (pers. Mitt. H. WALTHER, Fischereiaufseher). Auf die Problematik des Aussetzens exotischer Fischarten wurde hier bereits mehrmals hingewiesen.

Abschliessende Beurteilung

Die Verlandungstendenz des Gewässers ist offensichtlich. Der Vergleich der Sedimentuntersuchungen von 1986 und 1997 zeigt, dass die Verlandung nicht nur vom Ufer her gegen die Mitte hin fortschreitet, sondern auch eine Auflandung im 1977 ausgebagerten Becken stattfindet. Während das Sediment 1986 noch vorwiegend mineralisch war und ideale Bedingungen für Armeleuchteralgen bot, wuchs in der Zwischenzeit die Mächtigkeit des organisch belasteten Sediments. Dieses trägt in zunehmendem Mass zu einer internen Düngung und Sauerstoffzehrung bei. Die untergetauchten Wasserpflanzen finden immer suboptimalere Bedingungen vor und nehmen ab. Dadurch geht der Zusammenhalt des Sediments verloren, wodurch der organische, nährstoffreiche Schlamm erleichtert in Suspension geraten kann. Ob dieses Eutrophierungsphänomen allein durch den natürlichen Prozess der Verlandung zustandekommt (vergleiche BINDERHEIM-BANKAY 1998) oder ob zusätzlich eine Erhöhung des Nährstoffeintrages aus der Landwirtschaft mitspielt, kann nicht gesagt werden.



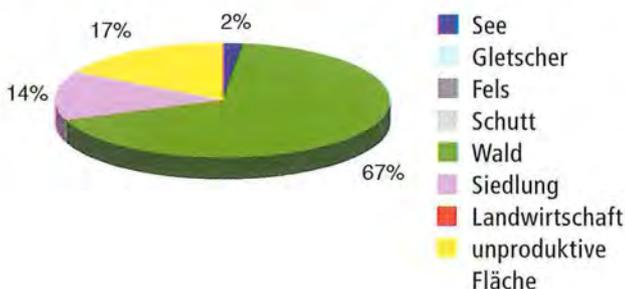
Foto: GBL / M. Zeh



Einzugsgebiet (EzG)

| | |
|------------------------------------|------------|
| Fläche topographisches EzG: | 41.08 ha |
| maximale Höhe topographisches EzG: | 710 m ü.M. |
| mittlere Höhe topographisches EzG: | 657 m ü.M. |

Flächenanteile



Landeskarte 1 : 25 000
 Koordinaten Maximaltiefe
 Höhe Seeoberfläche
 Seefläche
 Maximaltiefe
 Seevolumen

1209
 649 075 / 177 814
 634 m ü.M.
 0.68 ha
 0.9 m
 1861 m³



Geschichte, Hydrologie

Der Wyssensee ist seit 1968 als Naturschutzgebiet ausgewiesen. Er liegt heute im Freilichtmuseum Ballenberg, 2.4 km östlich des Brienzsee-Ostufers. Nebst einem sumpfigen Teil umfasst das topographische Einzugsgebiet zur Hauptsache Mischwald und in geringem Mass auch Siedlungsfläche. Das Gewässer besitzt keinen natürlichen Zu- und Abfluss und erfährt im Jahresverlauf grosse Wasserstandsschwankungen (1997 mehr als 1 m). Durch unterirdische Klüfte erhält der See vor allem während der Schneeschmelze und bei sommerlichen Gewittern viel Wasser. Dieselben Klüfte dienen auch als Abfluss (HAURI 1987). Das natürliche Regime ist wegen Entwässerungsarbeiten in der Umgebung stark verändert worden. Zudem wird

dem See künstlich Oberflächenwasser aus dem nahen Faulbach zugeleitet, damit die Ballenberg-Besucher nicht vor einem leeren, stinkenden Seebecken stehen müssen (HAURI 1987). Die Besucher können nur an einer begrenzten Stelle am Südufer den See erreichen. Die Nordseite sowie das 1983 am Ostende geschaffene Amphibienbiotop sind für Besucher nicht zugänglich.

Temperatur / Mischverhalten

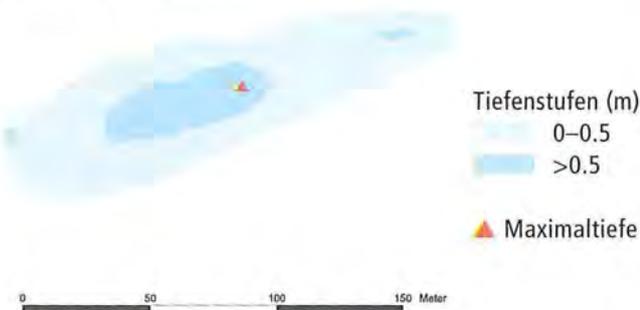
Im Mai 1997 konnte im relativ seichten Wasser (0.8 m) keine klare Temperaturschichtung festgestellt werden. Ganz im Gegensatz dazu hatte sich das Oberflächenwasser im August 1997 bis auf knapp 20 °C erwärmt, während über Grund noch eine Temperatur von 15.1 °C gemessen

wurde. Allerdings betrug der Wasserstand am zweiten Mess- tag 1.8 m (unpublizierte Daten (LACHAVANNE ET AL. 1998). Eine Durchmischung des gesamten Wasserkörpers ist bei starken Windereignissen, trotz der geschützten Lage, zu jeder Jahreszeit möglich (polymiktisches Verhalten).

Produktivität / Trophiegrad

Die nur im Mai gemessenen Nährstoffgehalte und der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) weisen auf eine mittlere Belastung des Gewässers hin (**mesotroph**). Das Wasser war zu diesem Zeitpunkt bis zum Grund mit Sauerstoff gesättigt. Im August hingegen konnte über Grund nur noch eine Sauerstoffsättigung von 57% nachgewiesen werden, was auf einen mikrobiellen Abbau organischer Stoffe hinweist.

Tiefenkarte Wyssensee



Der See muss in den letzten Jahren leicht eutrophiert worden sein, wenn man die Färbung der obersten 13 cm des Sedimentes mit dem darunterliegenden vergleicht (siehe Abbildung). Eine zeitweise sauerstofffreie Zone darf auf Grund des schwärzlichen Sedimentes angenommen werden.

Plankton

Die Zusammensetzung des Phytoplanktons war im Mai mit 57 Taxa relativ artenreich. Die häufig gefundenen Grünalgen waren mit 16 Arten vertreten, gefolgt von Kiesel-, Gold- und Blaualgen. Es wurde auch eine Art der Augenflagellaten festgestellt. Diese Algenzusammensetzung weist auf eine mittlere Nährstoffbelastung, das heißt mesotrophe Verhältnisse, hin. Bakterien mit anaerobem Stoffwechsel wurden keine gefunden. Zwei von sieben identifizierten

Zooplanktonarten leben bevorzugt in nährstoffreichen Gewässern. Bereits 1906 hatte LA ROCHE (1906) eine dieser Arten in seiner Untersuchung nachgewiesen.

Flora / Fauna

Die am West- und Ostende des Sees ausgebildeten Riedflächen bestehen aus dem nährstoffliebenden, schilfähnlichen Rohrglanzgras, der steifen Segge und weiteren Sumpfpflanzen. Bei tiefem Wasserstand entwickeln sich am nackten feuchten Ufer weitere, zum Teil nährstoffliebende, Pflanzen. Im Wasser selber wurden Tannenwedel, flutender Hahnenfuss und das grasartige Laichkraut gefunden. Früher fanden sich im Wyssensee auch Armleuchteralgen (DOHRN 1989). Das Verschwinden dieser langjährigen Pflanzen, die unbelastete Gewässer bevorzugt besiedeln, sowie das Auftauchen von Arten wie dem flutenden Hahnenfuss weisen auf eine zunehmende Eutrophierung des Wyssensees hin. Diese Aussage deckt sich mit der Interpretation des Sedimentkerns.

Von den vorkommenden fünf Amphibienarten (Grasfrosch, Teichfrosch, Erdkröte, Bergmolch, Fadenmolch) gelten die letzten vier als gefährdet. Die Ringelnatter findet dank der reichen Amphibienvorkommen ausreichend Nahrung. Am See konnten an einem einzigen Tag 10 verschiedene Libellenarten beobachtet werden (BORCHERDING 1994).



Foto: GBL / K. Guthruf

Zusammenfassung *Résumé*

Von 112 Kleinseen im Kanton Bern wurden für diese Arbeit Daten gesammelt und ausgewertet. Historische und neuere Informationen aus Archiven und Bibliotheken, zusammen mit aktuellen Messwerten aus den Jahren 1997 und 1998, zeigen ein umfassendes Bild über die Entstehung und den Zustand dieser stehenden Gewässer. Die meisten davon sind durch den Menschen stark beeinflusst. Im Spannungsfeld zwischen Landwirtschaft, Siedlungsentwicklung, Energienutzung und Naturschutz wurden in der Vergangenheit die Prioritäten häufig zuungunsten der kleinen Stillgewässer gesetzt. Dies mit entsprechend negativen Auswirkungen für die Seen. In der Zwischenzeit hat jedoch vielerorts ein Umdenken stattgefunden. Den noch verbliebenen ökologisch wertvollen Wasserflächen wird heute von der Bevölkerung ein grösserer Stellenwert als noch vor einigen Jahrzehnten eingeräumt. Trotzdem ist die Situation für viele Kleinseen nach wie vor gravierend schlecht. Sünden der Vergangenheit lassen sich nicht so schnell und in der gewünschten kurzen Zeitspanne rückgängig machen. Ein grosser Handlungsbedarf besteht nach wie vor in der Landwirtschaft, wo durch Extensivierung gewässernaher und drainierter Flächen der Nährstoffeintrag in den See weiter reduziert werden muss. Interessenkonflikte und Sachzwänge

verhindern jedoch häufig eine für alle Beteiligten vernünftige Lösung. Für Umweltschutz und Landnutzung kann es aber nur ein Miteinander und nicht ein Gegeneinander geben, wenn wir langfristig unsere Lebensqualität und eine vielfältige Landschaft, zusammen mit einer reichen Flora und Fauna, erhalten wollen.

Die Entstehung der Seen

Beim Betrachten einer Karte fällt auf, dass im Emmental nur ein einziger Kleinsee liegt: der Schoriweiher bei Affoltern. Dieser ist künstlich, durch den Aufstau eines Baches, entstanden. Warum fehlen in dieser Region die Seen? Die Gründe dafür liegen weit zurück: Die meisten Seen sind durch die Arbeit der Gletscher entstanden. Unter den verschiedenen Seetypen glazialen Ursprungs sind im Kanton Bern Moränenstauseen und Toteisen die häufigsten. Dem Emmental hingegen, das während der Eiszeit nicht vergletschert war, fehlte die formende Kraft der Eismassen. Schon lange vor der Eiszeit begannen die Flüsse im Emmental, ihre v-förmigen Flussbetten zu graben und alle Regionen zu entwässern. In den Ebenen des Emmentals stand für die Auffüllung und Verlandung der Talböden viel mehr Zeit zur Verfügung als in den vergletscherten Gebieten.

Les données de 112 plans d'eau du canton de Berne ont été saisies et traitées pour le présent travail. Les informations anciennes et récentes tirées des archives et des bibliothèques fournissent, avec les mesures datant de 1997 et 1998, une image complète de la genèse et de l'état de ces corps aquatiques, dont la plupart ont fortement subi l'influence de l'homme. Par le passé, le choix des priorités à fixer en tenant compte des intérêts contradictoires de l'agriculture, du développement urbain, de l'utilisation de l'énergie et de la protection de l'environnement s'est souvent fait au détriment de ces eaux et, par conséquent, des lacs. Entre-temps, les mentalités ont cependant changé un peu partout et accordent aux plans d'eau qui ont conservé leur valeur écologique plus d'importance qu'il n'y a quelques décennies. La situation de nombre d'entre eux demeure malgré tout très préoccupante, parce que les erreurs de jadis ne s'effacent à la vitesse souhaitée. Beaucoup reste à faire dans le secteur agricole, où il s'agit de continuer à réduire l'apport de nutriments dans les lacs par une culture plus extensive des terres avoisinantes drainées. Fréquemment, les antagonismes et les contraintes empêchent toutefois d'adopter une solution judicieuse pour toutes les parties concernées. Mais l'écologie et l'utilisation du sol se doivent d'agir de concert plutôt que de se combattre si nous voulons sauvegarder à terme notre qualité de vie et la diversité de nos paysages, en même temps que la richesse de la flore et de la faune.

de la retenue d'un ruisseau. Comment expliquer une telle absence? Les raisons de ce phénomène remontent à une époque lointaine: la plupart des lacs sont dus à l'activité des glaciers, les types les plus courants d'origine glaciaire étant, dans le canton de Berne, les lacs de barrage morainique et les lacs de glace morte. Les glaciers n'ayant par contre pas recouvert l'Emmental durant la glaciation, la force des masses de glace n'était pas là pour provoquer le surcreusement nécessaire. Bien avant cette période déjà, les rivières avaient commencé à y creuser leur lit en V et à en drainer toutes les zones. Ainsi, l'alluvionnement et l'atterrissement du fond de la vallée de l'Emme ont pu commencer beaucoup plus tôt que dans les régions glaciaires. La naissance naturelle de lacs est devenue chose rare. Les glaciers jouent ici aussi un rôle important en laissant des plans d'eau lorsqu'ils se retirent. Les lacs de Gauli, le lac de la Blüemlisalp et celui de Stein ont permis de suivre la formation de tels plans d'eau au cours de ce siècle. Des glissements de terrain peuvent par ailleurs retenir des cours d'eau et donc être à l'origine de nouveaux lacs tels que le Tschingelsee.

Les lacs ne sont pas des biotopes permanents. En effet, ils sont destinés à se combler progressivement et finissent par se transformer en marécages. L'homme a fortement accéléré ce processus au cours de ces dernières décennies. C'est ainsi que le lac d'Inkwil, qui aurait encore 300 ou 400 ans d'existence devant lui dans des conditions naturelles, sera victime de son atterrissement dans quelque 100 ans déjà en raison d'une surfertilisation. Quant au petit lac de Moos, il a fallu l'excaver à deux reprises. Le comblement s'est nettement accéléré dans la seconde moitié de ce siècle, réduisant l'espérance de vie des petits plans d'eau. Ce

Genèse des lacs

En se penchant sur une carte de l'Emmental, on est frappé de voir que l'étang de Schori près d'Affoltern est l'unique petit plan d'eau de la région; et encore est-il artificiel, puisqu'il résulte



Fotos: GBL / M. Zeh

Heute entstehen neue Seen natürlicherweise nur noch selten. Wiederum sind es dabei Gletscher, welche durch ihren Rückzug Wasserflächen schaffen. Am Beispiel der Gauliseen, dem Blüemlisalpsee und dem Steinsee konnte in diesem Jahrhundert die Entstehung solcher Seen mitverfolgt werden. Erdbeben können ebenfalls Material für den Aufstau von Bächen und die Bildung von neuen Kleinseen (z.B. Tschingelsee) verantwortlich sein.

sondern auch zu einem grossen Verlust an Lebensraum für seltene Tiere und Pflanzen.

Selten gewordene Naturräume

Diesem Verlust steht die Entstehung neuer Lebensräume gegenüber, welche durch die menschliche Nutzung der Kies-, Sand- und Lehmvorräte entstehen. HAURI (1978) bezeichnet diese Gewässer als «Lebensraum aus zweiter Hand». Durch die Entstehung neuer Kies- und Lehmgruben wird auch ein bescheidener Bruchteil der Dynamik ersetzt, welche durch die Zerstörung der Auen verlorengegangen ist. Der Bericht zeigt denn auch, dass in den Kies- und Lehmgruben heute seltene Amphibienarten, wie zum Beispiel der Laubfrosch, leben. Diese sind auf dynamische Landschaften angewiesen und kommen in Gewässern vor, welche noch nicht allzu lange bestehen (siehe Fräschelsweiher, Büeltigensee-lein). Insbesondere im Seeland, welches sich im Lauf der letzten zwei Jahrhunderte von einem riesigen Ried- und Auengebiet in eine auf hohen Ertrag ausgerichtete Agrarlandschaft verwandelt hat, sind heute solche naturnahen «Inseln» von grosser Bedeutung. Sie sind einerseits Ausgangspunkte, von denen aus die Besiedlung neuer Gebiete stattfinden kann. Andererseits gelten sie als Kernzonen, in die sich selten gewordene Tierarten zurückziehen können. Obwohl die Naturschutzgebiete aus zweiter Hand eine wichtige Funktion



sont non seulement des éléments essentiels pour la diversité et l'attrait des paysages bernois qui disparaissent, mais également des biotopes importants pour les espèces animales et végétales rares.

Raréfaction des espaces naturels

A cette perte s'oppose l'apparition de biotopes créés par l'extraction de gravier, de sable et d'argile. Dans son rapport de 1978, HAURI les appelle «biotopes de seconde main». Les nouvelles carrières et glaisières remplacent une petite partie de la dynamique anéantie par la destruction des zones alluviales. Le document cité montre que ces sites abritent aujourd'hui des batraciens rares telles que la rainette, tributaires de paysages dynamiques et vivant dans des eaux qui n'existent pas depuis très longtemps (voir étang de Fräschels, lac de Büeltigen). Ces «îlots» proches de l'état naturel revêtent une grande importance dans le Seeland notamment, immense région marécageuse et alluviale il y a 200 ans et qui s'est



transformé en des terres destinées à une culture intensive. Ils servent d'une part de points de départ pour le peuplement de nouvelles zones et constituent d'autre part des refuges vitaux pour les espèces animales menacées. Il reste qu'en dépit de l'importance de leur fonction, ces réserves naturelles... artificielles ne peuvent compenser entièrement les méfaits des améliorations foncières de grande envergure. Certains oiseaux qui jadis nichaient dans le Grand Marais ne font, au mieux, plus qu'y passer. Les libellules aux exigences écologiques élevées sont proportionnellement bien plus nombreuses sur l'ensemble du Plateau que dans le Seeland. Il en va ainsi, surtout, des espèces qui dépendent de biotopes marécageux acides, des espèces spécialisées dont les larves peuvent se développer uniquement dans des eaux courantes ou de celles dont l'existence requiert un réseau d'écosystèmes reliés les uns aux autres (WEGMÜLLER 1990). C'est la raison pour laquelle il est si important d'aménager le plus naturellement possible les cours d'eau en diversifiant leurs structure, de relier par des bosquets et des ruisseaux les îlots préservés



Auch Seen haben nur eine beschränkte Lebensdauer. Sie verlanden und entwickeln sich schlussendlich zum Moor. Der Mensch hat jedoch diesen Prozess in den letzten Jahrzehnten stark beschleunigt. Der Inkwilensee, welcher unter natürlichen Bedingungen noch 300 bis 400 Jahre bestehen würde, wird als Folge der durch den Menschen verursachten Überdüngung bereits nach rund 100 Jahren verlandet sein. Der kleine Moossee musste schon zweimal ausgebaggert werden. Die Verlandungsgeschwindigkeiten haben in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts massiv zugenommen und die Lebenserwartung der Kleinseen ist zurückgegangen. Dies führt nicht nur zu einem Verschwinden von Landschaftselementen, die unseren Kanton so vielfältig und reizvoll machen,



erfüllen, können sie die Wunden, die durch die grossflächigen Meliorationen entstandenen sind, nicht vollständig schliessen. Vogelarten, welche früher im Grossen Moos brüteten, suchen das Gebiet heute bestenfalls noch auf dem Durchzug auf. Libellenarten mit engen ökologischen Ansprüchen sind heute im Seeland, verglichen mit dem gesamten Mittelland, stark untervertreten. Dies gilt besonders für Arten, welche auf saure, moorige Lebensräume angewiesen sind, und für spezialisierte Arten, deren Larven nur in strömendem Wasser aufwachsen können. Ebenso sind Libellenarten, welche auf zusammenhängende, vernetzte Ökosysteme angewiesen sind, im Seeland stark untervertreten (WEGMÜLLER 1990). Daher muss der Schaffung von naturnahen, reich strukturierten Bachläufen, der Vernetzung der bestehenden naturnahen «Inseln» durch Gewässer und Gehölze, sowie der Erhaltung der bestehenden Gewässer, Hoch- und Flachmoore eine sehr grosse Bedeutung beigemessen werden.

Die Verlandungszone, ein Lebensraum von grossem Artenreichtum

Früher bedeckten Verlandungszone weite Teile des schweizerischen Mittellandes. Solche Übergangszonen zwischen Wasser und Land, sogenannte Ökotonen, gelten in der Biologie als besonders artenreiche Lebensräume. Wassertiefe und Überschwemmungshäufigkeit nehmen vom Ufer gegen das Wasser hin zu. In diesem kontinuierlichen Übergang lassen sich verschiedene Wasserpflanzengesellschaften beobachten. Diese Zonierung beginnt dort, wo der Grund steil gegen die Tiefe abfällt: an der Halde. Diese Zone ist durch Armleuchteralgen besiedelt, sofern das Wasser klar genug ist. In Tiefen von weniger als 8 m kommen auch andere Wasserpflanzen, wie zum Beispiel



Photo: HYDRA, V. Maurer

Laichkräuter, vor. Gegen das Ufer hin werden diese durch einen Schwimmblattgürtel (See- und Teichrosen) abgelöst. Seebinsbestände sind in der Regel dem eigentlichen Röhricht vorgelagert. Weiter gegen das Ufer hin geht das Röhricht in ein Grosseggried über, welches vom Kleinseggenried abgelöst wird. Noch weiter landeinwärts können erste Weiden- und Erlensträucher beobachtet werden, welche sich allmählich zu einem Bruchwald verdichten. Jede dieser Pflanzengesellschaften, insbesondere die landseitigen, umfasst eine Vielzahl verschiedener Arten, die sehr eng an ihren Lebensraum angepasst sind. Diese Anpassungen beziehen sich nicht nur auf Wassertiefe und Überflutungshäufigkeit: Mit zunehmendem Abstand zum See nimmt auch die Beeinflussung durch das nährstoffhaltige Seewasser ab. Mineralienarmes Regenwasser bestimmt zunehmend das Leben. Während am Seeufer vermehrt Nährstoffzeiger vorkommen, leben in den uferfernen, moorigen Zonen Pflanzenarten, welche mit Nährstoffmangel zurechtkommen. Mit zunehmendem Abstand vom See nimmt aber auch der Einfluss des Torfmooses zu. Die Flachmoorvegetation geht allmählich in Hochmoorvegetation über. Während am Ufer kalkhaltiger Seen Pflanzen dominieren, die neutrale pH-Werte bevorzugen, leben mit zunehmender Entfernung zum Wasser säureliebende Arten (Geistsee). Eine Vielzahl verschiedener Tierarten findet in der Verlandungszone Nahrung, Laich- und Nistmög-

also wie de conserver les cours d'eau, les hauts marais et les bas marais.

La zone d'atterrissement, biotope d'une grande diversité d'espèces

Autrefois, les zones d'atterrissement recouvraient de vastes parties du Plateau suisse. Appelées écotones, elles marquent la transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre et se caractérisent par une grande biodiversité. La bande dans laquelle la profondeur de l'eau et la fréquence d'inondation vont en crescendo à partir de la rive accueille plusieurs associations végétales aquatiques. Cette zonation débute là où le fond commence à descendre en pente raide. Cette zone est peuplée de characées si la clarté de l'eau est suffisante. Jusqu'à 8 m de profondeur, on rencontre également d'autres plantes telles que les potamots. En direction

de la rive, elles sont relayées par une ceinture de plantes à feuilles flottantes (nénuphars), puis viennent en règle générale les jonchaies, qui précèdent les roselières proprement dites. Ces dernières font ensuite place aux prairies à grandes laïches, substituées à leur tour par les prairies à petites laïches. Plus à l'intérieur des terres, on trouve les premiers saules et aulnes, qui se densifient progressivement pour former une forêt marécageuse. Chacune de ces associations végétales, terrestres surtout, comprend de nombreuses espèces spécifiquement adaptées à leur milieu en fonction non seulement de la profondeur de l'eau et de la fréquence d'inondation, mais aussi d'autres facteurs: à mesure que l'on s'écarte du lac, l'effet de sa teneur en nutriments diminue. L'eau de pluie peu minéralisée détermine la vie. Si la rive abrite des espèces indicatrices de nutriments, les zones marécageuses qui en sont éloignées sont peuplées d'espèces végétales capables de s'accommoder d'un manque d'éléments nutritifs. Mais plus on quitte le lac, plus l'influence des sphaignes va en augmentant. La végétation des bas marais cède la place à celle des hauts marais (voir lac de Burgäschli). Alors que les plantes qui préfèrent des pH neutres prédominent sur les rives des lacs calcaires, les espèces acidophiles privilégient d'autant plus les sols qu'ils se situent en retrait (lac de Geist). Les zones d'atterrissement offrent nourriture, possibilité de frayer et de nicher ainsi



lichkeiten sowie Schutz vor Räu-bern. Selbst Tiere mit einem komplexen Lebenszyklus finden in jedem Entwicklungsstadium einen geeigneten Lebensraum innerhalb der Verlandungszone. Diese Zonen sind nicht nur durch ihren Artenreichtum von Bedeutung, sie gehören auch zu den produktivsten Ökosystemen der Welt überhaupt.

Meliorationen

Intakte Verlandungsgesellschaften sind in unserer Kulturlandschaft sehr selten geworden. Schon im letzten Jahrhundert begann man den Abfluss verschiedener Seen tieferzulegen, um dadurch den Seespiegel abzusenken (Moossee, Burgäschisee, Inkwilersee, Lobsigensee). Die trockenfallenden Verlandungszonen wurden drainiert und unter den Pflug genommen. Besonders während des Zweiten Weltkrieges (Plan Wahlen) verschwanden zahlreiche Verlandungsgebiete von der Landkarte. Übrig blieb ein kleiner Rest in unmittelbarer Seenähe. Ausgedehnte Flach- und Hochmoore fehlen heute weitgehend. Dies führte dazu, dass in den meisten untersuchten Kleinseen der Artenreichtum von Flora und Fauna nach erfolgter Melioration jäh zusammenbrach. Da in den letzten beiden Jahrhunderten die grossen Auengebiete durch die Kanalisierung der Flüsse ihre Funktion als wilde, dynamische Lebensräume verloren haben (siehe Baggersee Meienried, Baggersee Kiesen, Kiesgrube Heimberg), wur-

de zahlreichen Tier- und Pflanzenarten des Übergangsbereichs Wasser–Land ihre Lebensgrundlage entzogen. Sie figurieren heute in Roten Listen.

Die Meliorationen bewirkten aber auch weitergehende ökologische Veränderungen: Dem moorigen Untergrund wurde durch die Seespiegelabsenkung und Drainagen das Wasser entzogen. Der Sauerstoffzutritt ermöglichte einen beschleunigten Abbau des Bodens. Dieser konnte sich sehr rasch setzen und läuft jetzt Gefahr, erneut zu vernässen (Moossee, Birkehofweiher). Die Bewirtschaftung mit schweren Maschinen beschleunigt diesen Prozess. Durch die biologische Zersetzung des Torfes werden Nährstoffe freigesetzt, welche seit Jahrhunderten im Moorboden gespeichert gewesen waren. Sie gelangen jetzt in gelöster Form via Drainagen in den See. Das Gewässer, welches durch die Volumenverminderung (Seeabsenkung) schon in Richtung Eutrophierung gedrängt wurde, erfährt durch diesen Nährstoffschub eine zusätzliche Belastung. Die intensive landwirtschaftliche Nutzung (LEIBUNDGUT & LINIGER 1981) trägt ihren Teil dazu bei, dass ein Teil der Kleinseen heute massiv überdüngt ist (z.B. Burgäschisee, Geistsee, Inkwilersee, Lobsigensee).

Trophiegrad

Die Eutrophierung, das heisst die zunehmende Produktivität, ist ein natürlicher Prozess in der

que protection contre les prédateurs à nombre d'espèces différentes. Même les animaux à cycle complexe y trouvent un biotope approprié à chaque stade de leur développement. L'importance de ces zones est due non seulement à la diversité des espèces qu'elles abritent, mais encore au fait qu'elles font partie des écosystèmes les plus productifs de notre planète.

Améliorations foncières

Les associations des zones d'atterrissement sont très rares à être demeurées intactes dans notre paysage cultivé. Dès le siècle dernier, on a commencé à abaisser le niveau de plusieurs lacs (Moossee, Burgäschisee, Inkwilersee, Lobsigensee) en agissant sur celui de leurs émissaires. Les terres ainsi asséchées furent drainées et labourées. De nombreuses zones d'atterrissement disparurent notamment pendant la Seconde Guerre mondiale en raison du plan Wahlen. Il n'en resta qu'une petite partie à proximité immédiate des plans d'eau. La plupart des bas marais et des hauts marais d'envergure ont cessé d'exister. Ainsi, les améliorations foncières se sont traduites par une brusque baisse de la diversité de la faune et de la flore dans la grande majorité des petits plans d'eau étudiés. Vu que l'endiguement des rivières a fait perdre aux vastes zones alluviales leur fonction de biotope sauvage et dynamique (voir les bassins excavés de Meienried et de Kiesen et la gravière de Heimberg) au cours de ces deux derniers siècles, de nombreuses espèces animales et végétales de la zone de transition entre la terre et l'eau sont aujourd'hui privées de leurs bases d'existence et figurent dans les listes rouges des espèces menacées. Les améliorations foncières causent des changements écologiques encore plus profonds. En effet, l'abaissement du niveau des lacs et les drainages ont enlevé l'eau au sous-sol tourbeux. L'oxygénation a permis une dégradation accélérée du sol, qui



Photo: HYDRA / V. Maurer

a pu se tasser rapidement, risquant ainsi à nouveau de se gorger d'eau (lac de Moos, étang de Birkehof). L'utilisation de machines agricoles lourdes accélère encore ce processus. La décomposition biologique de la tourbe libère des nutriments qui, stockés depuis des siècles dans le sol, parviennent maintenant, par le drainage, sous forme dissoute dans le lac. Celui-ci, qui avait déjà tendance à s'eutrophiser en raison de la baisse de son niveau et donc de la réduction de son volume, subit un apport supplémentaire d'éléments nutritifs. L'agriculture intensive (LEIBUNDGUT & LINIGER 1981) contribue à la surfertilisation massive d'une partie des petits plans d'eau (p. ex. les lacs de Burgäschi, de Geist, d'Inkwil et de Lobsigen).

Etat trophique

L'eutrophisation, soit l'augmentation de la productivité, est un processus naturel dans l'évolution des petits plans d'eau. L'analyse des sédiments (EICHER 1980; LOTTER & BOUCHERLE 1984; AMMANN 1989) montre que bien avant le début des activités humaines, certains d'entre eux ont connu une forte phase eutrophe. Cette tendance se renforce avec l'accroissement de l'atterrissement. Moins le plan d'eau est profond, moins l'apport de nutriments a besoin d'être important pour induire des phénomènes d'eutrophisation (VOLLENWEIDER 1968; PRASUHN & BRAUN



Entwicklungsgeschichte eines Kleinsees. Schon lange vor den menschlichen Aktivitäten kam es in verschiedenen Kleinseen zu stark produktiven (= eutrophen) Phasen, wie anhand von Sedimentkernanalysen gezeigt werden konnte (EICHER 1980; LOTTER & BOUCHERLE 1984; AMMANN 1989). Mit zunehmender Verlandung nimmt die Eutrophierungstendenz zu. Je kleiner dabei die Tiefe des Gewässers ist, um so weniger Nährstoffeintrag ist notwendig, um Eutrophierungsphänomene herbeizuführen (VOLLENWEIDER 1968; PRASUHN & BRAUN 1994). Ein neuer Gewässerschutzansatz besteht nun bei natürlich eutrophen Kleinseen darin, die aktuelle (beschleunigte) Verlandungsrate möglichst wieder den natürlichen Gegebenheiten anzupassen (BINDERHEIM-BANKAY 1998).

Die Abweichung vom natürlichen Trophiegrad kann je nach See durch einen oder mehrere Faktoren verursacht werden: Je höher der landwirtschaftlich genutzte Anteil am Einzugsgebiet ist, desto höher ist in der Regel der Trophiegrad. Dieser Zusammenhang trifft nicht nur für die Berner Kleinseen zu (MÜLLER ET AL. 1998). Nährstoffarme (oligo-trophe) Seen in landwirtschaft-

welche direkt durch Abwasser beeinflusst sind (La Noz und Cul des Prés), eine hohe Nährstoffbelastung auf. Auch eine Hochwasserentlastung kann im Zusammenwirken mit intensiver Landwirtschaft eine starke Belastung verursachen, wie das Beispiel des Weihers bei Hagneck deutlich zeigt.

Für eine Überdüngung ist aber nicht immer die Landwirtschaft oder die Siedlungsentwässerung verantwortlich: Der Aarbergerweiher zum Beispiel wurde in einem ursprünglichen Absetzbecken der Zuckerfabrik Aarberg angelegt. Die Rückstände des stark mit Nährstoffen belasteten Waschwassers der Zuckerrüben bilden den Untergrund des Weihers. Das Wasser wird auf Jahrzehnte hinaus Nährstoffe von dieser Altlast erhalten.

Ein besonders wirkungsvolles Mittel, die Überdüngung eines Kleinsees in Grenzen zu halten, ist – natürlich neben der eigentlichen Reduktion des Nährstoffaustrags im Einzugsgebiet – die Erhaltung bzw. Schaffung eines ausreichend grossen, naturnahen Pufferstreifens. In ihm werden die Nährstoffe aus dem Einzugsgebiet aufgefangen und von den Pflanzen der natürli-



chen Einzugsgebieten stellen eher eine Ausnahme dar (z.B. das durch Grundwasser beeinflusste, sehr junge Büeltigenseelein). Die Belastung mit Abwasser spielt in manchen Einzugsgebieten eine wesentliche Rolle: So wiesen die beiden Kleinseen,

chen Ufervegetation aufgenommen. Bis das Wasser in den See gelangt, ist es weitgehend gereinigt. Der Amsoldingersee, welcher von einem breiten, naturnahen Uferstreifen umgeben ist, konnte, obwohl grosse Teile seines Einzugsgebietes landwirtschaftlich genutzt werden, seine



1994). *Une approche nouvelle consiste désormais à adapter le taux d'atterrissement actuellement trop rapide de ces plans d'eau naturellement eutroques aux conditions rencontrées (BINDERHEIM-BANKAY 1998).*

L'écart par rapport au degré trophique naturel peut être dû à un ou à plusieurs facteurs selon les cas: il augmente en règle générale d'autant plus que la part du bassin versant exploitée à des fins agricoles est importante. Cette corrélation ne se vérifie pas seulement au niveau des petits plans d'eau bernois (MÜLLER ET AL. 1998). Les lacs qui tirent leurs eaux de telles zones sont rarement eutroques (tels que le petit lac de Büeltigen, influencé par l'eau souterraine).

La pollution par des eaux usées joue un rôle important dans bon nombre de bassins versants. Preuve en sont les deux petits plans d'eau qui reçoivent directement de tels rejets (la Noz et le Cul des Prés): leur teneur en nutriments est élevée. Par ailleurs, un déversement des crues conjugué à une agriculture intensive peut également entraîner une forte pollution, comme le montre l'exemple de l'étang situé près de Hagneck.

La surfertilisation n'est cependant pas toujours due à l'agriculture ou à l'assainissement urbain. C'est ainsi que l'étang d'Aarberg a été aménagé dans un ancien bassin de décantation de la raffinerie de cette localité, sur une couche formée par les résidus riches en nutriments de l'eau de lavage des betteraves. Les éléments nutritifs de ce site contaminé enrichiront son eau durant des décennies.

Outre la réduction proprement dite de l'apport de nutriments dans le bassin versant, un moyen efficace de limiter la surfertilisation d'un petit plan d'eau consiste à maintenir ou à créer une zone tampon adéquate et suffisamment large pour permettre la rétention des éléments nutritifs et leur absorption par la végétation naturelle de la rive. Il en va ainsi du lac d'Amsoldingen qui, dans cette situation et malgré l'exploitation agricole de grandes parties de son bassin versant, a su conserver ses conditions limnologiques naturelles jusqu'à aujourd'hui. Son état trophique actuel est quasiment tel qu'il serait naturellement.

La biodiversité des petits plans d'eau surfertilisés ne peut pas être évaluée de manière générale sur la base des données disponibles. Comme elle est très riche (plantes aquatiques, libellules, plancton, poissons, batraciens) dans certains lacs eutroques, ceux-ci revêtent une grande importance du point de vue de la protection de la nature. Mais souvent, ils ne sont plus peuplés que d'espèces qui supportent extrêmement bien les nutriments et sont capables de survivre dans des eaux très peu oxygénées. Cela est vrai tant pour les poissons, les diatomées (HAUSMANN ET AL. 1998) et le zooplancton (SUNDER 1995) que pour les plantes aquatiques immergées (SEILER & SCHULLER 1987; MELZER 1991; GRUNDER INGENIEURE AG 1996). La biodiversité de ces eaux hyper-eutroques ou même polytrophes est fortement diminuée. Actuellement, des scientifiques de l'Université de Genève travaillent à un projet qui étudie les corrélations entre la diversité

natürlichen limnologischen Bedingungen bis heute bewahren. Der heutige Trophiegrad entspricht annähernd dem Zustand, der unter natürlichen Bedingungen herrschen würde.

Die Artenvielfalt oder Biodiversität in den überdüngten Kleinseen kann aufgrund der vorhandenen Daten nicht generell beurteilt werden. Bei einigen Gewässern zeigt sich eine sehr hohe Artenvielfalt (Wasserpflanzen, Libellen, Plankton, Fischarten, Amphibien). Eutrophe Kleinseen können deshalb unter dem Aspekt des Naturschutzes und der Biodiversität eine wichtige Bedeutung haben. Andererseits kommen in eutrophen Kleinseen häufig nur noch äusserst nährstofftolerante Arten vor, welche selbst unter sehr geringen Sauerstoffkonzentrationen überleben können. Dies trifft sowohl für Fische, Kieselalgen (HAUSMANN ET AL. 1998), Zooplankton (SUNDER 1995) als auch für untergetauchte Wasserpflanzen (SEILER & SCHULLER 1987; MELZER 1991; GÜTHRUF-SEILER 1996) zu. Die Biodiversität dieser hoch eutrophen oder gar polytrophen Gewässer ist stark herabgesetzt. Zurzeit arbeiten Wissenschaftler der Universität Genf an einem Projekt, welches die Zusammenhänge zwischen der Biodiversität von kleinen Stillgewässern und deren Typologie untersucht (LACHAVANNE ET AL. 1998).

Strom ist nicht das ganze Leben

Einige der Kleinseen, insbesondere Bergseen, sind erst im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung entstanden. Es sind Gewässer, deren ökologischer Wert gering ist, welche aber als neue Landschaftselemente eine gewisse touristische Bedeutung haben. Andere Kleinseen sind zwar natürlichen Ursprungs, werden aber heute für die Energieproduktion genutzt. Dabei kommt es zu verschiedenartigen, teils schwerwiegenden Beeinträchtigungen der Seeökologie:

Ein Teil der Seen wird als Wasserfassung genutzt. Das abfliessende Wasser wird durch einen Stollen der Turbinierung zugeführt. Im ursprünglichen Seeabfluss herrschen Restwasserbedingungen. Die Fischwanderung zwischen See und Ausfluss ist dadurch beeinträchtigt oder wird vollkommen verhindert. Ansonsten bleiben die Auswirkungen auf den See selbst relativ gering (z.B. Engstlensee). Die Anlagen zur Fassung von Bächen (z.B. Pumpenfassung Furen) sind künstlich entstanden und weisen in der Regel Strukturen auf, die als Lebensraum für Tiere und Pflanzen ungeeignet sind.

Andere Kleinseen, wie z.B. der Aegelsee, werden als Ausgleichsbecken genutzt. Schon der Umbau zur Energienutzung verursachte dort grosse Zerstörungen der Seeufer (WELTEN 1953; SCHMALZ 1978; LOTTER & FISCHER 1991). Durch die Zuleitung grosser Wassermengen veränderte sich der Charakter des Kleinsees grundlegend. Der starke Durchfluss verhindert die Ausbildung einer Temperaturschichtung und eine natürliche Planktonentwicklung. Dadurch fehlt dem Ökosystem die Basis der Nahrungskette. Das ökologische Gefüge solcher Seen ist massiv beeinträchtigt und die Produktivität stark herabgesetzt.

Zahlreiche Kleinseen werden als Speicherseen genutzt. Das Wasser wird dabei im Frühjahr und Sommer hinter Staumauern aufgefangen, um in der kalten Jahreszeit, in welcher der Energiebedarf am höchsten ist, turbinieren zu werden. Diese Nutzung bringt Wasserspiegelschwankungen mit sich, welche mehr als 58 m (Grimselsee) betragen können. Manche Seen fallen im Winter vollkommen trocken (Mattenalpsee, unterer Bachsee) oder enthalten nur noch einen kleinen Bruchteil ihres Sommervolumens (Bachalpsee, Arnensee, Speicherseen im Grimselgebiet). Der Bereich des Seegrundes, der im Winter trockenfällt, friert durch und sämtli-

biologique de petits plans d'eau et leur typologie (LACHAVANNE ET AL. 1998).

Il n'y a pas que l'électricité

Plusieurs petits lacs, notamment de montagne, ont été créés en rapport avec l'utilisation de la force hydraulique. Ils ne sont pas d'une grande valeur écologique, mais l'apparition de ces éléments nouveaux dans le paysage leur a conféré une certaine importance touristique. D'autres, d'origine naturelle certes, sont exploités pour la production d'énergie, ce qui perturbe leur écologie sous différentes formes, parfois très profondément.

L'eau de certains lacs est captée pour être amenée par une conduite jusqu'aux turbines. L'émissaire naturel subit un régime de débit résiduel, ce qui entrave ou empêche la migration des poissons entre le plan d'eau et son effluent. Sinon, les effets sur le lac demeurent relativement modestes (par exemple l'Engstlensee). Les dispositifs de captage de ruisseaux (tels que celui de Furen) sont artificiels et dotés de structures qui forment généralement un milieu défavorable aux plantes et aux animaux.

D'autres petits plans d'eau servent de bassin de compensation. Il en va ainsi du lac d'Aegel, dont les rives ont été fortement endommagées lors des transformations faites en vue de l'utilisation d'énergie (WELTEN 1953; SCHMALZ 1978; LOTTER & FISCHER 1991). L'apport de grandes quantités d'eau a fondamentalement modifié le caractère du plan d'eau. Le fort courant qui le traverse a supprimé la stratification thermique et le développement naturel de plancton, privant cet écosystème de la base de la chaîne alimentaire. L'équilibre écologique de tels lacs est gravement atteint, d'où une forte réduction de leur productivité.

Nombre de lacs servent de réservoirs: l'eau est retenue par des barrages au printemps et en été, pour être turbinée pendant la saison froide, époque de bes-



soins maximaux en énergie. Cette exploitation peut faire fluctuer leur niveau de plus de 58 m (lac du Grimsel) et vider complètement certains d'entre eux en hiver (Mattenalpsee, unterer Bachsee) ou en réduire le volume à une petite partie de ce qu'il est en été (Bachalpsee, Arnensee, lacs artificiels de la région du Grimsel). Le fond mis à sec en hiver gèle complètement, causant la mort de tous les animaux terricoles et des graines et germes des plantes aquatiques. Même dans les zones riveraines qui demeurent alors tout juste immergées, les vaisseaux ou les conduits des plantes se détruisent sous l'effet de la pression de l'eau lorsque son niveau augmente de plus de 8 m en été. Les plantes supérieures, elles, ne peuvent survivre dans ce milieu. Quant aux characées, qui supporteraient des pressions plus élevées, la turbidité minérale de l'eau les empêche de recevoir en été, dans les eaux profondes, assez de lumière pour leur croissance. Aucune végétation subaquatique n'a donc été décelée dans les lacs servant de réservoirs. La forte fluctuation du niveau des eaux diminue aussi fortement la densité des animaux terricoles. La composition et la répartition des espèces y diffère donc fondamentalement de celles des lacs qui ne subissent pas ces influences (GRIMAS & NILS-

che Bodentiere sowie Samen oder Keime von Wasserpflanzen sterben ab. Selbst in Uferregionen, welche im Winter noch knapp unter Wasser stehen, werden die Gefässe oder Leitungssysteme der Pflanzen durch den vergrösserten Wasserdruck im Sommer bei Pegelschwankungen von mehr als 8 m zerstört. Das Überleben höherer Pflanzen ist dort nicht mehr möglich. Die Armleuchteralgen, welche auch bei höherem Druck überleben könnten, erhalten wegen der mineralischen Wassertrübung im Sommer in der grossen Tiefe zu wenig Licht, um zu wachsen. Eine Unterwasservegetation war daher in keinem der Speicherseen nachweisbar. Auch die Dichte an Bodentieren wird durch die grossen Pegelschwankungen stark herabgesetzt. Artenzusammensetzung und Verteilungsmuster unterscheiden sich daher grundlegend von unbeeinflussten Seen (GRIMAS & NILSSON 1962). Trotzdem können in solchen Seen Fische leben, wie die Beispiele von Arnensee und Bachsee zeigen. Kleine Fische, welche vermehrt das Planktonangebot nutzen, dienen als Hauptnahrung der grossen Fische und ersetzen so die fehlenden Bodentiere (GRIMAS & NILSSON 1962). Allerdings ist der hohe fischereiliche Ertrag nur durch Besatz möglich, wie ein Vergleich der Besatz- und Fangzahlen zeigt.

Neben den starken Spiegelschwankungen kommt durch den Pumpspeicherbetrieb ein neuer Faktor hinzu: Das Hin- und Herpumpen grosser Wassermengen erhöht die Trübung des Wassers. Die sehr kleinen, zum Teil scharfkantigen und spitzen Gesteinspartikel können bei Fischen Verletzungen an Haut und Kiemen verursachen. Da das Sonnenlicht nur in geringste Tiefen eindringen kann, wird zusätzlich die Produktivität des Sees massiv herabgesetzt. Den Fischen fehlt damit die Nahrungsgrundlage. Die wenige Nahrung, die im See noch vorhanden ist, können die Tiere kaum sehen. Im Zusammenhang mit der Einführung des Pump-

speicherbetriebes ist im Räterichsboden-, Mattenalp- und Gelmersee der fischereiliche Ertrag zusammengebrochen. Die fischereiliche Bewirtschaftung des Räterichsboden- und Gelmersees wurde in der Folge aufgegeben.

Fische

Kleine Stillgewässer bieten Lebensraum für eine Vielzahl von Fischarten. Besonders Gewässer mit einem reichen Wasserpflanzenvorkommen und gut strukturierten Uferzonen ermöglichen es auch Jungfischen, sich vor Fressfeinden (Vögel, Raubfischen) zu schützen. Gleichzeitig ist in diesen Kleinseen auch ein Nebeneinander von Amphibien und Fischen möglich.

Die Besiedlung der kleinen Stillgewässer durch Fische ist heute stark durch den Menschen geprägt. Die Fischereirechte von vielen Kleinseen sind in Privatbesitz und werden verpachtet. Im Rahmen der Bundesgesetzgebung sind die Pächter in der Bewirtschaftung dieser Gewässer frei. Neben künstlichem Besatz und ungewollten Aussetzungen (z.B. von Köderfischen) sind es auch Wasservögel, welche für die Ausbreitung der Fischarten verantwortlich sind.

Probleme ergeben sich für die natürliche Fischfauna oft durch die von Aquarianern eingesetzten exotischen Arten. Sind die Halter dieser Haustiere überdrüssig, wird für sie ein «gutes Plätzchen» gesucht und dies vermeintlich in Form eines Kleinsees gefunden. Goldfische, Sonnenbarsche, amerikanische Krebse usw. konkurrenzieren jedoch die einheimischen Arten und können diese völlig ausrotten. Diese standortfremden Arten gehören nicht in unsere Gewässer!

Die Angaben über die vorkommenden Fischarten stammen grösstenteils von Fischereivereinen bzw. Pächtern. Diese Informationen sind insofern nicht vollständig, da so vor allem fischereilich interessante Arten erfasst werden.

SON 1962). *Le lac d'Arnon et le Bachsee montrent cependant que des poissons peuvent vivre dans ce type de plans d'eau. Les petites espèces, qui se nourrissent davantage de plancton, servent de nourriture principale aux gros poissons, remplaçant les animaux terricoles qui font défaut (GRIMAS & NILSSON 1962). Toutefois, une comparaison entre les quantités empoissonnées et les quantités pêchées a montré qu'un rendement piscicole élevé n'était possible que par le biais d'un empoissonnement.*

Aux fortes fluctuations du niveau du lac s'ajoute un autre facteur défavorable: le pompage-turbinage, qui provoque un va et vient de grandes quantités d'eau et une augmentation de la turbidité. Les particules de roche, parfois très acérées et pointues, peuvent blesser à la peau et aux branchies des poissons. Par ailleurs, ceux-ci sont privés de leur base nutritive en raison de la forte réduction de la productivité du lac, réduction due à la faible profondeur de pénétration de la lumière. Et comme les animaux ne voient guère la rare nourriture disponible... Dans un tel contexte, le rendement piscicole du Räterichsbodensee, du Mattenalpsee et du Gelmersee s'est effondré après l'introduction du pompage-turbinage. Dans ces deux derniers lacs, la pisciculture a été complètement abandonnée par la suite.

Poissons

Les petits plans d'eau accueillent une multitude d'espèces de poissons. Lorsqu'ils sont riches en plantes aquatiques et que leurs zones riveraines sont bien structurées, ils offrent aux jeunes poissons une protection contre leurs prédateurs (oiseaux, autres poissons). En même temps, ils permettent la cohabitation entre les batraciens et les poissons. Aujourd'hui, les activités humaines déterminent pour une large part la présence des poissons dans les petits plans d'eau. Les droits de pêche y sont souvent détenus par des particuliers et exercés par affermage. Dans ce cas, l'exploitation est libre dans les limites de la législation fédérale. Outre le repeuplement artificiel et les poissons relâchés par exemple pour servir d'appât, ce sont les oiseaux aquatiques qui conditionnent la propagation des espèces de poissons.

Des problèmes peuvent surgir pour les poissons indigènes lorsque des détenteurs d'animaux d'aquarium, voulant s'en débarrasser, les introduisent dans un petit plan d'eau en pensant leur avoir trouvé une bonne place dans un site idyllique. Or, ces espèces exotiques (poisson rouge, perche soleil, écrevisse américaine, etc.) concurrencent la faune aquatique du lieu et peuvent aller jusqu'à l'éliminer. Elles n'ont donc pas leur place dans nos eaux.



Photo: HYDRA / V. Maurer

**Kleinseen
im Kanton Bern > 0.5 ha**

*Petits plans d'eau
du canton de Berne > 0.5 ha*

Übersichtskarte
Carte synoptique

Liste der Seen / Liste des plans d'eau

| SeeID | Seename / Nom du plan d'eau | Seite / Page | SeeID | Seename / Nom du plan d'eau | Seite / Page |
|---------|--------------------------------|-----------------|---------|---|-----------------|
| AEG | Aegelsee | 17 | LOB | Lobsigensee | 126 |
| AMS | Amsoldingerse | 19 | LUW | Baggersee Lüttscheren | 129 |
| AMZ | Ammertenseelein | 22 | MAR | La Marnière | 131 |
| ARN | Arnensee | 23 | MAT | Mattenalpsee | 133 |
| AWE | Aarbergerweiher | 25 | MEI | Meienfallseeli | 134 |
| BAA | Bachsee (Bachalpsee) | 27 | MGW | Mühliguetweiher | 136 |
| BAB | Baggerseeeli Bönigen | 29 | MOG | Moossee | 138 |
| BAC | Bächlisee | 31 | MOK | Chli Moossee | 142 |
| BAE | Burgäschisee | 32 | MUG | Muggeseeli | 144 |
| BAH | Baggersee Hunzigen | 35 | MUM | Muemetaler Weiher | 146 |
| BAK | Baggersee Kiesen | 37 | NOZ | La Noz | 148 |
| BAM | Baggersee Münsingen | 39 | OBA | Oberaarsee | 150 |
| BAU | unterer Bachsee | 41 | OES | Oeschinensee | 151 |
| BIA | Biaufond | 43 | OFE | See beim Ofenhoren | 155 |
| BIR | Birkehofweiher | 45 | OST | Oberstockensee | 156 |
| BLA | Blausee | 47 | PUF | Pumpenfassung Furen | 158 |
| BLT | Bleienbacher Torfsee | 49 | RAE | Räterichsbodensee | 159 |
| BLU | Blüemlisalpsee | 51 | RAM | Rawilseeleni | 160 |
| BME | Baggersee Meienried | 53 | REM | Remersee | 161 |
| BRG | Breithornigletscherseeeli | 55 | REZ | Rezligletscherseeeli | 163 |
| BUL | Büeltigenseelein | 56 | SAG | Sägistalsee | 164 |
| BUR | Burgseeeli | 58 | SAW | Sängeliweiher | 166 |
| BZO | oberes Bänzlauseeli | 63 | SCH | Schoriweiher | 168 |
| BZU | unteres Bänzlauseeli | 61 | SEB | Seebodensee | 169 |
| CUP | Cul des Prés | 64 | SEE | Seebergsee | 171 |
| DIT | Dittligsee | 66 | SIS | Siselenweiher | 174 |
| EGL | Egelmösl | 68 | SPI | Spittelmattese | 176 |
| ELS | Elsigsee | 70 | SSW/SSO | Stauweiher Spiez (Kanderweiher, Simmeweiher) | 178 |
| ENG | Engstlensee | 72 | STE | Steinsee | 179 |
| FLU | Fluseeli | 74 | SUL | Sulsseewli | 181 |
| FOR | Forellensee | 75 | SUO | Obers Sulsseewli | 183 |
| FRA | Fräschelsweiher | 76 | TAL | Tälliseeli 1 | 184 |
| GAD | Gadenlauisee | 78 | TEI | Ausgleichsbecken Teiffaui | 186 |
| GAS | Gauliseen | 79 | TLL | Tälliseeli 2 | 187 |
| GAT | Gantrischseeeli | 80 | TRG | Triftgletscherseeeli | 188 |
| GEF | Gerlafingerweiher | 82 | TRI | Triebtenseewli | 189 |
| GEI | Geistsee | 84 | TSI | Tschingelsee | 190 |
| GEL | Gelmersee | 87 | TUN | Tungelgletschersee | 192 |
| GER | Gerzensee | 89 | UEB | Uebeschisee | 193 |
| GRA | Grauseewli | 91 | VER | Lac Vert | 195 |
| GRI | Grimselee | 92 | WAH | hinterer Walopsee | 197 |
| GRU | Gruebensee | 94 | WAN | Wannisbordsee | 199 |
| HAG | Hagelseeli | 95 | WAV | vorderer Walopsee | 200 |
| HAW | Hagelseewli | 96 | WHA | Weiher bei Hardern | 202 |
| HAX | Häxeseeli | 98 | WHG | Weiher bei Hagneck (Länggrabenweiher) | 204 |
| HIN | Hinterburgseeeli | 99 | WID | Widi | 206 |
| HOR | Hornseeeli 1 | 102 | WYS | Wysensee | 208 |
| HOS | Hornseeeli 2 | 103 | | | |
| HST | Hinterstockensee | 104 | | | |
| IFF | Iffigsee | 107 | | | |
| INK | Inkwilersee | 109 | | | |
| JUW/JUO | Junzlenseelein | 113 | | | |
| KIH | Kiesgrube Heimberg | 115 | | | |
| LAG/LAK | Lauenenseen | 117 | | | |
| LCH | Les Chaufours | 121 | | | |
| LEN | Lenkerseeeli | 123 | | | |

Literaturverzeichnis / *Bibliographie*

- AEBERHARD, T. (1980): Kleiner Moossee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1979 37: 42–44.
- AEBERHARD, T. (1984): Mumenthaler-Weiher. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1983 41: 17–19.
- AGB; NATURAQUA (1991): Schutzgebietsrevision Grosser Moossee 1988–1990. – Naturschutzinspektorat des Kantons Bern: 3–21.
- AMBÜHL, H.; STUMM, W. (1976): Gutachten über die Möglichkeiten einer Sanierung des Burgäschisees. – EAWAG: 30 S.
- AMBÜHL, H.; STUMM, W. (1984): Bericht über die Auswirkungen der Tiefenwasserableitung im Burgäschisee. – EAWAG: 30 S.
- AMMANN, B. (1985): Lobsigensee – late-glacial and holocene environments of a lake on the central Swiss plateau. – *Dissertationes Botanicae* 87: 127–170.
- AMMANN, B. (1989): Late-quaternary palynology at Lobsigensee regional vegetation history and lokal lake development. – *Dissertationes Botanicae* 137: 127–170.
- AMMANN, K. (1975): Der Oberaargletscher im 18., 19. und 20. Jahrhundert. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie*: 253–291.
- ANONYMUS (1949): Der Hochwächter. *Blätter für heimatliche Art und Kunst* 5: 293–295.
- ANONYMUS (1955): Sömmerlingseinsatz und Fischfang im Sulsseeli. – *Schw. Fisch. Z.* 10: 269–271.
- ANONYMUS (1991): Führer durch den Gletscherpfad Steinalp am Sustenpass. Region Meiringen-Hasliberg.
- ANONYMUS (1997): Pilotprojekt «Konfliktarme Baggerseen» (KaBa). – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: 22 S.
- ARN, H. (1945): Die Melioration des Gebietes um den Burgäschisee und die Seeabsenkung. – *Tierwelt* 11: 1–12.
- BADOUX, H.; NABHOLZ, W. (1976): Karstgewässer-Markierungsversuch Rawil 1975: 41 S.
- BALZARI, C. A. (1991): Die ornithologische Bedeutung des Birkenhofweiher im Grossen Moos, ein Beitrag zur Erfolgskontrolle einer ökologischen Ausgleichsfläche. – Universität Bern, Bern: 61 S.
- BAUMANN, F. (1910): Beiträge zur Biologie der Stockhornseen. Dissertation Universität Bern, 81 S.
- BAUMBERGER, E. (1911): Kurze Darstellung der geologischen Geschichte des Geländes zwischen Emme und Önz. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern: 13–31.
- BECK, P.; RICKENBACH, E. (1954): Der Blausee: 7 S. + Datentabellen.
- BENELLI, F. (1990): Grimsel-West. Kraftwerke Oberhasli: 23 S.
- BERGER, E. (1954): Das Naturschutzgebiet Meienried im Berner Seeland. – Heimatkundekommission, Biel: 89 S.
- BEUTLER, W.; JUTZELER, M. (1994): Bericht des Beratungsdienstes der Bergbauernschule Hondrich: 6 S.
- BFÖ (1986): Naturschutzgebiet Aarelandschaft Thun–Bern Schutzkonzept Band I: Text. – Naturschutzinspektorat des Kantons Bern.
- BFÖ (1986): Naturschutzgebiet Aarelandschaft Thun–Bern Schutzkonzept Band II: Pflege- und Gestaltungskonzepte. – Naturschutzinspektorat des Kantons Bern.
- BIGLER, C. (1998): Verbreitung von Diatomeen im Oberflächensediment eines alpinen Sees im Berner Oberland (Hagelseewli 2339 m ü. M.). – Diplomarbeit Universität Bern: 79 S.
- BINDERHEIM, E.; VOLKMAN, H. (1998): Sedimentation und Verlandungstendenzen im Inkwilersee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern 55: 85–102.
- BINDERHEIM-BANKAY, E. (1998): Sanierungsziel für natürlich eutrophe Kleinseen des Schweizer Mittellandes. – Disseration ETH, Zürich: 149 S.
- BINGGELI, V. (1990): Bleienbach – eine Dorfgeografie. – *Jahrbuch des Oberaargaus*: 147–174.
- BLOESCH, J.; HOHMANN, D.; LEEMANN, A. (1995): Die Limnologie des Oeschinensees, mit besonderer Berücksichtigung des Planktons, der Sedimentation und der Schwermetallbelastung. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern 1995: 121–145.
- BORCHERDING, J. E. A. (1994): Zur Libellenfauna zweier Seen im Berner Oberland (Odonata). – *Entomologische Berichte Luzern* 31: 155 – 162.
- BOSSERT, A. (1980): Neugestaltung des Naturschutzgebietes Büeltigen-Weiher bei Kallnach. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1979 37: 21–24.
- BOSSERT, A. (1980): Siselen-Weiher, Erweiterung. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1980 37: S. 35.

- BOSSERT, A. (1987): Lobsigensee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern. Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1986 44: 33–37.
- BOSSERT, A. (1988): Die Reservate der ALA. – Der Ornithologische Beobachter: 19–22; 32–34.
- BOURCART, F.-E. (1906): Les lacs alpins Suisses, étude chimique et physique. – Université de Genève, Genève: 1–127.
- BRAND, A.; BRAND, P.; BREHMER, H.; EIGENHEER, A.; EIGENHEER, Z.; EIGENHEER, K.; HÖSLI, H.; KAPPELER, U.; KÜNG, B.; KNUCHEL, H.; KNUCHEL, Z.; ZINGG, Z.; ZINGG, P.; MEYER, O.; MURER, A.; MURER, R.; SCHENK, A.; SCHWALLER, E.; SCHWALLER, M.; STEINER, F.; THOMI, H.; WEBER, E.; WEBER, M.; WEBER, W.; WEIBEL, R.; ZÜRCHER, A.; ZÜRCHER, D. (1987): Der Gerlafinger Weiher. – Druck Paul Bütiger AG, Biberist: 68 S.
- BRÄNDLE, R. (1993): Ökophysiologie der amphibischen und submersen Gefässpflanzen. – Bern: 82 S.
- BURRI, A.; WASPI, H. (1991): Gault – gefährdete Urlandschaft im Grimselgebiet. – Die Alpen Jg. 67: 69–74.
- COLLET, L. (1917): Bericht über die Färbeversuche des Vorder- und Hinterstockensees im Oktober und November 1917. – Abteilung für Wasserwirtschaft des Schweizerischen Departements des Innern: 2–4 + Anhang.
- DE MONACO, R. (1993): Naturschutzgebiet Kleiner Moossee: 1–6.
- DERVEY, T.; GÖLDI HOFBAUER, M.; SCHUDEL, B.; TEUSCHER, F. (1993): Sanierungskonzept Egelsee. – Naturaqua: 27 S.
- DOHRN, C. (1989): Die Vegetation des Ballenbergs bei Brienz und seiner Umgebung. – Universität Bern, Bern: S. 135.
- EAWAG (1970): Bericht über den gegenwärtigen Zustand des Inkwiliersees, die getroffenen Sanierungsmassnahmen und die Belüftung. – Im Auftrag des Eidgenössischen Amtes für Gewässerschutz, Bern: 28 S. + Datenanhang.
- EICHER, U. (1978): Erste Resultate einer pollenanalytischen Untersuchung am Bleienbachermoos. – Ed.: Jufer, M.: Langenthaler Heimatblätter: 110–117.
- EICHER, U. (1980): Pollen- und Sauerstoffisotopenanalysen an spätglazialen Profilen vom Gerzensee, Faulenseemoos und vom Regenmoos ob Boltigen. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern: 65–80.
- EICHER, U. (1990): Der Inkwiliersee, eine vegetationsgeschichtliche Studie. – Ed.: Binggeli, V.: Jahrbuch des Oberaargaus: 83–132.
- EMCH + BERGER, S. A. (1976): Sanierung Burgäschisee, allgemeines Bauprojekt, technischer Bericht. – Amt für Wasserwirtschaft: 1–7.
- EMMENEGGER, J. (1972): Kann man im Moossee noch baden? – Tagwacht, 6.6.1972: S. 3.
- EMMENEGGER, N. (1999): Berns Stadtsee wird gesund gepflegt. – Der Bund, 1.2.99: S. 18.
- ENGELHARDT, W. (1986): Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? – Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart: 270 S.
- EPPLE, W. (1996): Neue Werkstufe der Licht- und Wasserkraftwerke AG, Kandersteg. – Wasser, Energie, Luft 88: 288–290.
- FISCHEREIINSPEKTORAT (1990–1997): Jahresberichte 1990–1997. – Fischereiinspektorat des Kantons Bern.
- FRUTIGER, P.; ZURBUCHEN, H. (1977): Das Burgseeli. – Separatdruck, Ringgenberg: 16 S.
- GEMSCH, J.; VASELLA, A. (1990): Die Vegetation des Gerzensees und des Burgäschisees und ihre Nutzung durch den Haubentaucher (*Podiceps cristatus*) während der Nestbauphase. – Universität Bern, Bern: 185 S.
- GOUDSMIT, G.-H.; LEMCKE, G.; LIVINGSTONE, D.M.; LOTTER, A.F.; MÜLLER, B.; STURM M. (in prep.): Hagelseewli: A fascinating high mountain lake – suitable for palaeoclimate studies?
- GRIMAS, U.; NILSSON, N.-A. (1962): Nahrungsauna und Kanadische Seeforelle in Berner Gebirgsseen. – Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 24: 49–75.
- GROLL, M. (1904): Der Oeschinensee im Berner Oberland. – Universität Bern, Bern: 1–67.
- GROSSENBACHER, K. (1977): Die Amphibien des Kantons Bern. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern NF 34: 3–64.
- GSA (1989): Die Beeinträchtigung der Gewässerqualität des Grossen Moossees durch siedlungsbedingte Einleitungen. Untersuchungen und Massnahmen. – Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (GSA).
- GÜNTER, A.-M. (1981): Sorgen mit dem Burgseeli Ringgenberg, Wohin verschwinden die Hechte? – BZ, 22.4.1981: S. 32.
- GUTHRUF, J. (1996): Populationsdynamik und Habitatwahl der Äsche (*Thymallus thymallus* L.) in drei verschiedenen Gewässern des schweizerischen Mittellandes. – Dissertation ETH Zürich: 180 S.
- GUTHRUF-SEILER, K. (1993): Vergleich zweier unterschiedlich nährstoffbelasteter Wasserschilfröhrichte. – Dissertation Universität Bern: 79 S.
- GUTHRUF-SEILER, K. (1996): Makrophyten des Bielersees 1995. – Grunder Ingenieure AG. Bericht im Auftrag des Gewässer- und Bodenschuttlabors des Kantons Bern: 52 S. + Anhang.
- HAINARD, P.; BRESSOUD, B.; GIUGNI, G.; MORET, J.-L. (1987): Wasserentnahme aus Fliessgewässern. Auswirkungen verminderter Abflussmengen auf die Pflanzenwelt. – Schriftenreihe Umweltschutz, Bundesamt für Umweltschutz 72: 103 S.

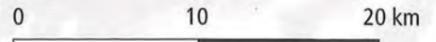
- HÄNGGI, A. (1987): Die Spinnenfauna der Feuchtgebiete des Grossen Mooses, Kt. Bern – II. Beurteilung des Naturschutzwertes naturnaher Standorte anhand der Spinnenfauna. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern N.F. Bd. 44: 157–185.
- HÄNGGI, A.; WEGMÜLLER, R. (1989): Studie über Feucht- und Naturschutzgebiete im Grossen Moos BE, Schlussbericht. – Zoologisches Institut der Universität Bern: 6 S.
- HAURI, R. (1978): Aarelandschaft Thun–Bern. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzfähigkeit im Kanton Bern, Bericht 1977, 35: 36–45.
- HAURI, R. (1979): Gesamtmelioration Kallnach–Niederried–Bargen 1962–1979, Der Naturschutz. – Flurgenossenschaft Kallnach–Niederried–Bargen: 100–104.
- HAURI, R. (1980): Gelten–Iffigen; Beseitigung von Lawinenholz im Lauenensee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1979: 36–37.
- HAURI, R. (1980): Stauweiher Spiez. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1980, 38: 36–45.
- HAURI, R. (1981): Naturschutzgebiet Amsoldinger- und Übeschisee erweitert. – Vögel der Heimat 51: 104–106.
- HAURI, R. (1981): Zur Vogelwelt der Feuchtgebiete von Lauenen, Berner Oberland. – Der Ornithologische Beobachter 78: 265–282.
- HAURI, R. (1982): Lütscheren. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1981, 39: 26–27.
- HAURI, R. (1983): Von der Vogelwelt der Muggenseeli bei Kandersteg. – Vögel der Heimat Jg. 53: 56–60.
- HAURI, R. (1984): Gerlafingerweiher. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1983, 41: 19–27.
- HAURI, R. (1987): Wyssensee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1986, 44: 44–46.
- HAURI, R. (1988): Tschingelsee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1987, 45: 32–37.
- HAURI, R. (1991): Versuchsbaggerung am Lauenensee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutzinspektorat des Kantons Bern, Bericht 1990, 48: 13–15.
- HAURI, R. (1994): Zur Vogelwelt des Dittligsees. – Mitteilungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft in Thun: 75–97.
- HAURI, R. (1997): Die Wasser- und Sumpfvögel des Lenkerseelis, Berner Oberland. – Der Ornithologische Beobachter 94: 81–114.
- HAUSMANN, S.; GRÖNLUND, E.; LEMCKE, G.; LOTTER, A. F. (1998): High-resolution study of the last 400 years in the laminated sediments of subalpine Seebergsee (Switzerland). – Würzburger Geographische Manuskripte 41: S. 91.
- HERREN, H. (1957): Flussuferläufer am Seebergsee. – Orn. Beob. 54: 36 S.
- HESS, A. (1919): Vom Naturleben an drei bernischen Moränenseen (Moosseedorf-, Burgäschi- und Inkwilersee): 1–22.
- HOFER, U. (1998): Die Reptilien im Kanton Bern. – Pro Natura Bern und KARCH: 51 S.
- IMHOF, T. (1987): Naturschutzgebiet Gerlafinger Weiher, Gutachten zur Frage eines technischen Eingriffes (Teichbau) in ein Feuchtgebiet von regionaler Bedeutung im Oberaargau. – AONL: 1–10.
- IMHOF, T.; ISELI, C. (1989): Schilfschutzkonzept Thuner- und Brienersee. – Uferschutzverband Thuner- und Brienersee: 59–61.
- ARBEITSGRUPPE INKWILERSEE (1999): Sanierung Inkwilersee. Zustand – Entwicklung – Massnahmen. – Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn: 10 S.
- KEUSEN, H. R.; SCHULER, P.; MATHEZ, C. (1989): Steinbruch Blausee Mitholz, Erweiterung des Abbaugebiets, Hydrologischer Bericht. – Geotest: 23 S.
- KING, L. (1974): Studien zur postglazialen Gletscher- und Vegetationsgeschichte des Sustenpassgebietes. – Basler Beiträge zur Geographie: 9–123.
- KRAUSE, W. (1997): Charales (Charophyceae). Ettl, H. et al. (Eds.). Series 18: 202 S.
- KUHN, H. (1947): Das Plankton des Gelmersees. – Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 7/8: 83–86.
- LA ROCHE, R. (1906): Die Copepoden der Umgebung von Bern. – Universität Bern, Bern.
- LACHAVANNE, J. B. (1979): La végétation macrophytique du Burgäsichisee. – Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft 89: 92–104.
- LACHAVANNE, J.-B.; OERTLI, B.; AUDERSET JOYE, D.; JUGE, R.; CASTELLA, E.; MÜLLER, J.; ANTOINE, C.; CAMBIN, D. (1998): Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse. Rapport scientifique no. 2, campagnes 1996–97 et 1997–98. – Université de Genève, Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique (LEBA).

- LAUBER, K.; WAGNER, G. (1996): Flora Helvetica. – Verlag Paul Haupt, Bern: 1613 S.
- LEIBUNDGUT, C.; LINIGER, H. (1981): Zur Hydrogeographie des Muemethaler Weihers. – Jahrbuch des Oberaargaus: 77–108.
- LIVINGSTONE, D.; LOTTER, A.F.; WALKER, I.R. (in press): The decrease in summer surface water temperatures with altitude in Swiss Alpine lakes: a comparison with air temperature lapse rates. – *Arctic and Alpine Research*.
- LOTTER, A. (1983): Pollenanalytische und sedimentologische Untersuchungen am Amsoldingerseer bei Thun. – Lizentiatsarbeit Universität Bern.
- LOTTER, A.; BOUCHERLE, M. M. (1984): A late-glacial and post-glacial history of Amsoldingerseer and vicinity, Switzerland. – *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 46: 192–208.
- LOTTER, A. F.; FISCHER, J. (1991): Vegetation und Flora im Gebiet des Aegelsees (Berner Oberland) im Wandel der Zeit;: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. – *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern*, 48: 77–97.
- LUDER, R. (1981): Die Avifauna der Gemeinde Lenk. – *Orn. Beob.* 78: 193–208.
- MARRER, H. (1992): Sanierung und Restauration des Inkwilersees Datendokumentation und erste Beurteilungen. – Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn: 17 S. + Beilagen.
- MARRER, H. (1998a): Empfehlungen für die fischereiliche Bewirtschaftung der Bergseen. Bericht im Auftrag des Fischereinspektorates des Kantons Bern.
- MARRER, H. (1998b): Entwicklung und aktueller Zustand des Inkwilersees sowie Vorschläge zu dessen Sanierung und Restauration. – Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn, Amt für Gewässerschutz des Kantons Bern: 105 S.
- MARTI, T. (1997): Mensch und Landschaft eines alpinen Hochtales, eine landschaftsökologische Fallstudie im Urbachtal / Gauli (BO). – Paul Haupt, Bern: 87 S.
- MAURER, V. (1995): Neue Wege für die Urtenen. Ökologische Beurteilung, Lebensraumleitbild, Renaturierungsidee, ARA Holzmühle. Im Auftrag des Gewässer- und Bodenschuttlabors des Kantons Bern: 30 S.
- MAURER, V. (1998): Neue Wege für die Önz, ökologischer Zustand, Leitbild, Renaturierungsideen. – Im Auftrag des Gewässer- und Bodenschuttlabors des Kantons Bern: 37 S.
- MELZER, A. (1991): Die submerse Vegetation bayerischer Seen – Möglichkeiten einer biologischen Gewässerbeurteilung. – Bayerische Akademie der Wissenschaften, München: 75–87.
- MESSMER, M.; LEHMANN, R. (1994): Bedeutung der Ökomorphologie für die Zusammensetzung und Struktur der Fischfauna in der Suhre unter spezieller Berücksichtigung des Schneiders (*Alburnoides bipunctatus* Bloch). – Diplomarbeit EAWAG/ETH Zürich: 104 S.
- MÜLLER, B.; LOTTER, A. F.; STURM, M.; AMMANN, A. (1998): Influence of catchment quality and altitude on the water sediment composition of 68 small lakes in Central Europe. – *Aquatic Sciences*, 60: 1–22.
- MÜLLER, R. (1995): Besitzversuche mit ostasiatischen pflanzenfressenden Fischarten in der Schweiz. – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern: 75 S.
- NEF, W. (1962): Untersuchung des Dittligsees. – Abteilung für Gewässerschutz: 3 S.
- NEF, W. (1986): Das Phytoplankton im Abfluss des Grossen Moossees (Februar 1970 – April 1985). – Gewässerschutzlaboratorium des Kantons Bern: 29 S.
- NEF, W. (1991): «Bschüttli» – Fehlalarm am Burgseeli, ein Kleinsee am Rand des Berner Oberlandes. – GSA Informationsbulletin 1/91: 4–5.
- NEF, W. (1991): Burgseeli, Untersuchungen zum chemischen, planktologischen und bakteriologischen Zustand des Burgseelis. – Bericht des Gewässerschutzamtes des Kantons Bern im Auftrag der Gemeinde Ringgenberg: 5 S.
- NEF, W. (1992): Die Seen des Kantons Bern (Uebersicht / Zustand). – Gewässer- und Bodenschuttlabor des Kantons Bern: 54 S.
- NIKLAUS, M. (1967): Geomorphologische und limnologische Untersuchungen am Oeschinensee. – *Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie* 14: 1–116.
- NSI (1988): Pflanzenliste Lenkerseeli. – Naturschutzinspektorat des Kantons Bern: 1 S.
- PERNET, R.; DUMONT, R. (1960): Aménagement de la chute Arnon–Diablerets. – Société Romande d'Electricité: 28 S.
- PETITMERMET, P. (1954): Die Vogelwelt des Kleinen Moossees und seiner Umgebung. – *Chronik des Amtes Fraubrunnen*: 35–38.
- PFISTER, H. P. (1991): Fallbeispiel Waffenplatz Thun. – Arbeitsgruppe Vögel Region Thunersee. – Schweizerische Vogelwarte: 40 S.
- PRASUHN, V.; BRAUN, M. (1994): Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. – Eidgenössische Anstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC Liebefeld): 113 S.
- PROBST, E. (1911): Die Moorflora des Burgäschisees. – *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern*: 13–31.
- RIEDER, B. (1993): Information über die Bergseen. – Fischereinspektorat des Kantons Bern: 4 S.
- ROMANG, K. (1974): Lauenen – Land und Leute. – Ed.: Haldi, U. C.: Saaner Jahrbuch 1974: 9–76.

- ROMANG, K. (1984): 35 Jahre Naturschutz im Lauenental: 10–35.
- RUBIN, A. (1993): Baggersee Heimberg: 9 S.
- RUFER, F. (1954): Die drei Meliorationen des Moosseetals. – Chronik des Amtes Fraubrunnen: 19–31.
- SBN (1990): Les réserves naturelles du Jura Bernois. – Collection LSPN Réserves Naturelles: 69–70.
- SCHÄFER, M.; WEIBEL, F. (1995): Moorschutz im Gebiet Amsoldinger-/ Übeschisee, Kanton Bern. – Projektarbeit Schweizerische Ingenieurschule Landwirtschaft: 26 S.
- SCHMALZ, K. L. (1968): Das Talerwerk 1968: Alpines Naturschutzgebiet Gelten-Iffigen. – Heimatschutz Schweiz 63: 65–86.
- SCHMALZ, K. L. (1972): Seebergsee, Gemeinde Zweisimmen. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutztätigkeit im Kanton Bern – 1971, 29: 67–70.
- SCHMALZ, K. L. (1974): Engstlensee–Jungibäche–Achtelsass. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutztätigkeit im Kanton Bern – 1973, 31: 100–112.
- SCHMALZ, K. L. (1977): Natur- und Heimatschutz im Oberaargau. – Jahrbuch des Oberaargaus 20: 185–186.
- SCHMALZ, K. L. (1978): Das Naturschutzgebiet Aegelsee-Moor auf dem Bergli, Gemeinde Diemtigen. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Naturschutztätigkeit im Kanton Bern – 1977 35: 174–185.
- SCHMASSMANN, W. (1920): Die Bodenfauna hochalpiner Seen. – Arch. Hydrobiol. III (1): 107 S.
- SCHMID, H. (1979): Die Vogelwelt des Stausees Spiez. – Mitteilungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Thun: 73–151.
- SCHMIDHAUSER, P. (1923): Forces motrices du lac d'Arnon. – Imprimerie La Concorde, Lausanne: 38 S.
- SCHMIDT, C. (1994): Brühe mit Fisch. – Schweizerischer Beobachter, Juli 94: S. 24.
- SCHWARZ, M. (1998): Biologie, Gefährdung und Schutz des Strömers (*Leuciscus souffia*) in der Schweiz. – BUWAL, Vollzug Umwelt, Mitteilungen zur Fischerei 59: 60 S.
- SCHWOERBEL, J. (1987): Einführung in die Limnologie. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 269 S.
- SCHULLER, W.; SEILER, K. (1987): Submerse Makrophyten im Litoral des Bielersees. – Lizentiatsarbeit Universität Bern: 139 S.
- SIGMAPLAN (1988): Umweltverträglichkeitsbericht zum Ausbauprojekt der KWO (Projekt 86). – Sigmaplan, (KWO): 93 S. + Anhang.
- SIGMAPLAN (1998): Detailprojekt Revitalisierung Brunnmatt – Realisierungsprogramm: 2 S.
- SOLLBERGER, F. (1987): Die Torfausbeutung im Bleienbacher Moos. – Jahrbuch des Oberaargaus: 53–60.
- SPENGLER, D. (1973): Limnologische, hydrologische und morphologische Untersuchungen im Faulhorngebiet (Berner Oberland), Dissertation Universität Bern: 155 S.
- SPAN (1992): Louenensee, CD Hämlismatt.
- SPYCHIGER (1996): Muemethaler Weier: 13 S.
- STECK, T. (1893): Biologie des grossen Moosseedorfsees. – Dissertation Universität Bern: 57 S.
- STEINER, G. (1911): Biologische Studien an Seen der Faulhornkette im Berner Oberland. – Dissertation Universität Bern: 72 S.
- STIRNIMANN, F. (1926): Faunistisch-biologische Studie an den Seen und Tümpeln des Grimselüberganges. – Universität Basel, Basel: 147 S.
- STRASSER, W. (1980): Die Vegetation des Amsoldinger- und Ubeschisee-Gebietes: 4 S.
- STRASSER, W. (1994): Die Insel im Baggersee Heimberg – eine Vegetationsstudie. – Mitteilungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft in Thun: 63–74.
- STURM, M.; LOTTER, A. F. (1995): Sedimente als Umweltarchive: Was ist natürlich, was vom Menschen verursacht? – EAWAG news 38D: 6–9.
- SUNDER, F. (1995): Der Inkwilsersee. Eine ökologische Untersuchung mit den Schwerpunkten Produktion, Sedimentation, Planktondynamik. – Diplomarbeit EAWAG/ETH Zürich: 102 S.
- TEUSCHER, F. (1976): Naturschutzgebiet Lenkerseeli, Vegetationskarte.
- TEUSCHER, F. (1994): Naturschutzgebiet Tschingelsee, Kurzbericht zu den Vegetationskarten und zur Perimetererweiterung. – Naturschutzinspektorat des Kantons Bern: 1–9.
- VASELLA, A.; GEMSCH, J. (1991): Projekt zur Untersuchung der Ursachen des stark verminderten Fortpflanzungserfolges der Haubentaucher auf dem Gerzensee. – Zoologisches Institut, Abt. Sozial- und Nutztierethologie: 86 S.
- VENTLING-SCHWANK, A. R. (1992): Reproduktion und larvale Entwicklungsphase der Felchen (*Coregonus* sp.) im eutrophen Sempachersee. – Dissertation Universität Zürich: 139 S.

- VOGT, R. (1941): Die beiden Moosseen, floristisch-ökologische Untersuchung der Ufer mit besonderer Berücksichtigung der Verlandungserscheinungen. – Universität Bern, Liebefeld: 94 S.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1968): Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. – OECD: 159 S. + Anhang.
- VON BLÜCHER, U. (1988): Hydrobiologische Untersuchungen an einem Kleingewässer der landwirtschaftlich genutzten Zone: Charakterisierung des Widis anhand von chemischen, physikalischen und biologischen Parametern. – Lizentiatsarbeit Universität Bern: 175 S. + Anhang.
- VON BÜREN, G. (1936): Der Gerzensee. – Verlag Paul Haupt, Bern: 94 S.
- VON BÜREN, G. (1938): Der Amsoldingersee. – Verlag Paul Haupt, Bern: 132 S.
- VON BÜREN, G. (1943): Der Moosseedorfsee. – Verlag Paul Haupt, Bern, Bern: 217 S.
- VON BÜREN, G. (1949): Der Burgäschisee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern 6: 1–83.
- VON BÜREN, G. (1951): Der Inkwiliersee. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Solothurn 16: 1–48.
- VON BÜREN, G. (1952): Der Geistsee. – Verlag Paul Haupt, Bern: 50 S.
- VON BÜREN, G.; LEISER, G. (1963): Der Lobsigensee. – Verlag Paul Haupt, Bern: 38–117.
- VON TAVEL, F. (1933): Das Egelmoos bei Bern. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Sonderabdruck.
- WEBER, D. (1989): Natur- und Landschaftschutzkonzept Burgäschisee, Chlepfiberimoos und Umgebung. – Hintermann & Weber AG: 46 S.
- WEBER, D. (1991): Natur- und Landschaftschutzkonzept Burgäschisee, Chlepfiberimoos und Umgebung. Ergebnis des Mitwirkungsverfahrens bzw. der Vernehmlassung. – Hintermann & Weber AG: 21 S.
- WEGMÜLLER, R. (1986): Die Libellenfauna des Lobsigensees. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern 43: 139–153.
- WEGMÜLLER, R. (1990): Libellenfauna von Feuchtgebieten im intensiv genutzten Kulturräum, dargestellt am Beispiel Grosses Moos, Kt. Bern. – Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft 63: 5–23.
- WEGMÜLLER, R. (1991): Vergleichende faunistisch-ökologische Untersuchungen an den Libellenzönosen zweier Kleinseen im schweizerischen Mittelland. – Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn, Mitteilungen 1991: 13–67.
- WEGMÜLLER, S.; LOTTER, A. (1990): Palynostratigraphische Untersuchungen zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte der nordwestlichen Kalkvoralpen. – Bot. Helv.: 40 S.
- WELTEN, M. (1953): Gutachten über die floristisch-geobotanischen Verhältnisse am Egelsee bei Diemtigen (Niedersimmental) und die speziellen geologischen Verhältnisse im Gebiet des projektierten Stausees. – Geobotanisches Institut der Universität Bern: 38 S.
- WENGER, B. (1999): Klimauntersuchungen am Hagelseewli. – Der Bund, 12.2.1999: S. 9.
- WILDBERGER, A. (1981): Zur Hydrogeologie des Karstes im Rawil-Gebiet. – Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie 27: 3–175.
- WYLER, M. (1988): Vegetation und Konfliktsituation in einigen Feuchtgebieten des Berner Seelandes. – Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern 45: 107–123.
- ZEH, M. (1996): Berner Kleinseen. Untersuchungen 1994. – Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern: 56 S.
- ZEH, M. (1996): Labiler Zustand des Burgäschisees. – Informationsbulletin des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft 2/96: 3–5.
- ZEH, M.; GUTHRUF, J. (1998): Lenkerseeli, limnologischer Zustand 1997. Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern: 13 S.
- ZEH, M.; ZBÄREN, D. (1995): Burgäschisee. Resultate der Wasser- und Planktonuntersuchungen 1977–95. Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern: 17 S. + 12 S. Anhang.
- ZEHNDER, A. (1986): Wasserbefund des Pfuntenseeli (Baggersee). – Tauchklub OKRA, Meiringen, B. & H. Wyss: 2 S.
- ZSCHALER, H. (1989): Meienfallseeli. – Interner Bericht des Gewässerschutzlaboratoriums des Kantons Bern: 1 S.
- ZUMSTEIN, A. (1992): Seeberg-Geschichten, 2. Teil: 40 S. + Anhang.

Kleinseen
im Kanton Bern > 0.5 ha
Petits plans d'eau
du canton de Berne > 0.5 ha



Dank / Remerciements

Eine Vielzahl von Personen und Institutionen haben zur Realisation dieses Berichtes beigetragen. Unser Dank geht an:
Nombre de personnes et d'institutions ont contribué à la réalisation du présent rapport. Nous tenons à remercier:

- Herren A. Bolliger, B. Niklaus und A. Hänni, Kantonales Amt für Industrie, Gewerbe und Arbeit (KIGA), sowie P. Biedermann (UP) für ihre Unterstützung des Programms;
- die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Naturschutz- und Fischereiinspektorates für die Zusammenarbeit und die Bereitstellung von Daten;
- Dr. André Lotter und Sonja Hausmann, Geobotanisches Institut der Universität Bern, für die angenehme Zusammenarbeit, den Know-how-Transfer und die Überlassung von Daten;
- Dr. Mike Sturm, EAWAG, für seine Hilfe bei der Interpretation der Seesedimente;
- Herren U. Soltermann, E. Schneider und Wegmüller der Mountain Flyers, Belp, für ihre professionelle Luftunterstützung;
- Herrn G. della Valle für seine Mithilfe bei den Luftaufnahmen;
- Dr. Vinzenz Maurer für die Tauchbergung der versenkten Geräte;
- Dr. Evi Binderheim-Bankay für die Zusammenarbeit und die Überlassung von Daten;
- Dr. B. Pokorni, SCPE Neuchâtel, für das Durchsehen des französischen Textes;
- Dr. B. Oertli, Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique, Université de Genève, pour les données aimablement mises à notre disposition;
- all die Personen, welche ihr Wissen zu den einzelnen Seen an uns weitergegeben haben;
- toutes les personnes qui nous ont fait profiter leurs connaissances des différents plans d'eau.

Kleinseen im Kanton Bern

In einer durch den Menschen stark geprägten Kulturlandschaft stellen kleine Stillgewässer und ihre unmittelbare Umgebung oft letzte naturnahe Inseln dar. Sie bieten Lebensraum für eine Vielzahl von Tieren und Pflanzen. Als Refugien für seltene Arten besitzen diese Kleinseen einen hohen ökologischen Stellenwert. Die Umgebung übt jedoch einen dominierenden Einfluss aus. Es ist darum nicht verwunderlich, dass viele Seen durch die menschliche Nutzung im Einzugsgebiet krank sind. Meliorationen und Seespiegelabsenkungen haben v.a. die Seen im Mittelland nachhaltig verändert. Ein hoher Nährstoffeintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, verbaute Ufer, Wasserkraftnutzung und vereinzelt immer noch Siedlungsabwässer beeinträchtigen die Wasserqualität und den Lebensraum der Wasser- und Uferbewohner.

Über hundert Kleinseen im Kanton Bern mit einer Fläche grösser als eine halbe Hektare werden hier in Bildern, Zahlen und Text vorgestellt. Daten über Wasserchemie, Seephysik, Sedimente, aquatische Flora und Fauna sowie die Seemorphologie ergeben eine Fülle von Informationen über den Seezustand. Angaben über die Entstehung der Gewässer und die aktuelle Landnutzung im Einzugsgebiet dokumentieren die langfristige Entwicklung und die Veränderungen, die stattgefunden haben. Neben der Aufarbeitung alter und neuerer Informationen wurden 1997 viele Kleinseen neu beprobt. Von einigen dieser Seen wurden erstmals Daten erhoben.

Petits plans d'eau du canton de Berne

Dans nos paysages fortement façonnés par l'homme, les petits plans d'eau constituent souvent les derniers biotopes à peu près naturels qui offrent un refuge à nombre d'animaux et de plantes. Ils sont donc d'une grande valeur écologique pour la survie des espèces rares. Mais ils subissent l'influence de leur environnement. Il n'est dès lors pas étonnant que les activités humaines déployées dans leurs bassins versant en aient souvent altéré la santé. Les améliorations foncières et les abaissements de leur niveau ont modifié durablement les lacs, notamment ceux du Plateau. Apport important de nutriments en provenance des surfaces agricoles, rives aménagées au point d'être dénaturées, utilisation de la force hydraulique et – phénomène qui n'a toujours pas complètement disparu – déversements d'eaux usées, voilà autant de facteurs qui affectent la qualité de l'eau et menacent l'espace vital des animaux et des végétaux de ces lieux.

Ce document présente, par l'image, le texte et les chiffres, plus de cent plans d'eau bernois d'une superficie d'un demi-hectare ou davantage. Des données relatives à la chimie, à la physique, à la morphologie, aux sédiments, à la faune et la flore aquatiques fournissent une foule d'informations sur l'état de ces lacs et étangs. Par ailleurs, des indications sur leur genèse et sur l'exploitation actuelle des terres de leurs bassins versants révèlent l'évolution qu'ils ont connue et les modifications qu'ils ont subies au cours de leur histoire. En plus d'une mise à jour d'informations anciennes et récentes, une grande partie de ces nappes d'eau ont fait l'objet d'investigations nouvelles en 1997. Certaines d'entre elles ont été étudiées pour la première fois à cette occasion.

