Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 81 (1983)

Heft: 11

Artikel: Die topographische Neukartierung des Walensees

Autor: Lambert, A. / Schlund, R.A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-231659

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 22.08.2025

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

sollten erhältlich sein. Solch kleine Zeitintervalle sind äusserst wichtig für die Definierung des oder der Bemessungsregen.

c) die Charakteristiken des bestehenden oder des zu erstellenden Entwässerungs-Systems.

Zusätzlich werden zur Eichung und Kontrolle der Modelle auch noch Abfluss-Messdaten notwendig sein, allerdings in kleinerem Volumen.
Heutzutage wird leider noch allzu oft festgestellt, dass die notwendigen Messdaten nur schwer erhältlich, ungenügend oder überhaupt nicht erhältlich sind. Dies kann, je nach Fall, die Verwendung von aussagekräftigen Methoden stark beeinträchtigen. Wenn irgend möglich sollten deshalb Messungen, insbesondere Regenmessungen, systematisch und gezielt durchgeführt werden. Dies könnte z. B. von lokalen Behörden übernommen und die entsprechenden Daten dem potentiellen Benützer als Bemessungsgrundlage zur Verfügung gestellt oder verordnet werden.

6. Schlussbemerkungen

Trotz grosser Verbreitung und Beliebtheit im Ausland, speziell in den USA und Kanada, jedoch ebenfalls in Frankreich und Deutschland, ist bei uns eine das gesamte Einzugsgebiet betreffende Planung der Entwässerung und des Hochwasserschutzes im Zusammenhang mit Überbauungen noch eher selten anzutreffen. Dies liegt wohl zum Teil an einer mangelnden Planungs-Politik auf Regierungsebene, auf welcher Stufe dies auch sei. Die Ausarbeitung einer Rahmen-Planung oder Global-Konzeption sollte von den Behörden unternommen werden, eventuell durch mandatierte Ingenieurbüros. Gleichzeitig müssen die notwendigen gesetzlichen und reglementarischen Grundlagen erarbeitet werden.
Dem einzelnen Planer stehen jedoch sämtliche Möglichkeiten zur Ergreifung der Initiative offen. Selbst bei totaler Abwesenheit einer Gesamtkonzeption sind die Realisierungsmöglichkeiten im Klein- und Kleinstmassstab, d. h. im Bereiche jedes Einzel-Projektes zahlreich. Ihre Wirksamkeit dürfte aber in einem solchen Fall reduziert sein.
Jeder einzelne kann also mit seinen ihm zur Verfügung stehenden Mitteln mithelfen, unsere Umwelt zu schützen und zu erhalten. Unnötig grosser und möglicherweise noch verschmutzter Regenwasserabfluss könnte somit vermieden oder zumindest positiv beeinflusst werden.

Literatur

David F. Kibler: Urban Stormwater Hydrology, Water Ressources Monographie 7. American Geophysical Union, Washington D. C., 1982

A. J. Randkivi: Hydrology – An advanced Introduction to hydrological Processes and Modelling. Pergamon-Press, London 1979

P. Fouquet: Evacuation des eaux pluviales urbaines, Assoc. Amicale des Ingénieurs Anciens Elèves de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 1978

Markham (Kanada): Storm Water Management in the Town of Markham. Department of Engineering, Town of Markham 1980

I. A. U. R. I. F.: Contrôle du ruissellement des eaux pluviales en amont des réseaux. Ministère de l'Urbanisation et du Logement, Service Technique de l'Urbanisation, Paris 1981

AGW: Regenwasser-Rückhalt im Siedlungsgebiet, Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Zürich 1981

J. L. Sautier: Problèmes liés au dimensionnement du réseau d'eau de pluie en milieu urbain – compte rendu de la Journée d'Etude 1980, Institut de Génie Rural EPFL, IGR No 158, 1980

R. Gloor: Journées d'Etudes en Hydrologie de Surface – compte rendu des Journées d'Etudes 1982, 2e partie, Institut de Génie Rural EPFL, IGR No 164, 1982

J. P. Jordan, P. Wisner: Description du modèle OTTHYMO et exemples d'application. Institut de Génie Rural EPFL, IGR No 172, 1983

R. Gloor, J. P. Jordan, J. L. Sautier, P. Wisner: Etude hydrologique du bassin versant de la Seymaz (GE) – Rapport final, Institut de Génie Rural EPFL, IGR No 173, 1983

R. Gloor, J. P. Jordan, P. Wisner: Etude hydrologique du bassin versant de la Seymaz (GE) – Synthèse. Institut de Génie Rural EPFL, IGR No 174, 1983

Adresse des Verfassers:
Rudolf Gloor, dipl. Bau-Ing. ETH
Institut de Génie Rural
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
En Bassenges, CH-1024 Ecublens

Die topographische Neukartierung des Walensees

A. Lambert, R. A. Schlund

Zusammen mit den Gletschern bilden die Seen den grössten Teil unserer oberirdischen Wasserreserven. Die Rauminhalte der Seen gehören deshalb zu den wichtigen wasserwirtschaftlichen Kenngrössen. Ihre Genauigkeit hängt jedoch von der sorgfältigen Vermessung der Becken ab. In vielen Fällen erweisen sich die zur Verfügung stehenden, meist auf Lotungen aus der Zeit um die Jahrhundertwende beruhenden hydrographischen Grundlagen als ungenügend. Mit den damals zur Verfügung stehenden Mitteln musste man sich mit einer beschränkten Anzahl von Einzellotungen oder Querprofilen begnügen, um daraus ein Höhenkurvenbild zu ‹konstruieren›. Echolotung kombiniert mit computergesteuerter Navigation und Auswertung digitaler Geländemodelle ermöglichen heutzutage wirtschaftlich vertretbare hydrographische Aufnahmen von hoher Auflösung und Präzision. Der vorliegende Artikel beschreibt die in zwei Phasen durchgeführte Neuvermessung des Walensees in den Jahren 1979 und 1981/82. Zusammen mit der geologischen Auswertung der insgesamt 635 km langen Echolotprofile sind die erarbeiteten Pläne nicht nur eine topographische Grundlage für Gewässernutzung und Gewässerschutz, sondern auch für die Planung und Realisierung baulicher Vorhaben im See und in seiner näheren Umgebung.

1. Einleitung

Das Wachstum eines Flussdeltas in einem See ist ein Mass für den langzeitlichen Feststofftransport aus dem zugehörigen Einzugsgebiet. Die quantitative Erfassung des Abtrags und der Verfrachtung der Erosionsprodukte durch die Fliessgewässer ist eine wichtige wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Kenngrösse. Aus diesem Grund wurden im Jahre 1979 im Rahmen eines von der ETH Zürich finanzierten Forschungsprojektes der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) die Deltagebiete der Glarner Linth und der Seez im Walensee neu vermessen.

Glaciers et lacs réunis représentent la majeur partie de nos réserves d'eau superficielle. C'est pourquoi les volumes des lacs font partie des caractéristiques importantes pour la gestion des eaux. Leur exactitude dépend de la précision des levés bathymétriques des bassins. Or, on constate souvent que les données hydrographiques existantes – datant souvent de sondages effectués au début du siècle – sont insuffisantes. A l'époque il fallait se contenter d'un nombre restreint de sondages isolés ou en profil comme base d'interpolation des courbes de niveau. L'application de l'échosondeur en combinaison avec le positionnement automatique par ordinateur pour l'élaboration de modèles digitaux de terrain permet des levés hydrographiques de haute précision tout en restant économiques. L'article présent décrit le nouveau levé bathymétrique du lac de Walenstadt effectué en deux phases en 1979 et en 1981/82. En ajoutant l'analyse géologique des 635 km de profils d'échosondeur, les plans établis ne sont pas seulement une base topographique pour les besoins de la gestion et de la protection des eaux mais aussi pour la planification et la réalisation de projets de construction dans le lac et dans ses alentours immédiats.

Der Schwemmkegel der Linth war seit 1931 nicht mehr, derjenige der Seez noch nie im Detail aufgenommen worden. Hauptziel dieses Projekts war also die Kartierung der Sohlenveränderungen im Bereich des Linthdeltas und die Bestimmung der entsprechenden Volumenzunahme. Zusätzlich sollte mit der Neuvermessung des Seegrundes im östlichen Teil des Walensees eine kartographische Grundlage für die künftige Bestimmung von Sohlenveränderungen im Seezdelta geschaffen werden (vgl. Abb. 5). Die Resultate dieser Untersuchungen sind in verschiedenen Publikationen bereits bekanntgemacht worden (Lambert, 1980 a, b; 1982). Als Grundlage für diese Untersuchungen über Abtrag und Sedimentation sind gleichsam als ‹Nebenprodukt› detaillierte topographische Karten des östlichen (263 ha) und westlichen (476 ha) Walensee-Beckens (insgesamt 739 ha) entstanden; sie wurden in VPK 1/82 bereits publiziert (Schlund & Lambert, 1982).

Die Kartierung der Auflandungszonen des Linthdeltas zeigte jedoch, dass sich im Bereich der östlichen Begrenzung des Vermessungsperimeters (Koord. 730 000) seit 1931 noch bis zu 3 m Sedimente (im Vertikalprofil) abgelagert haben. Das heisst, dass die Ablagerungen ausserhalb des eigentlichen Deltakegels weit in die zentrale See-Ebene hinausreichen und mengenmässig nicht zu vernachlässigen sind. Zudem war auch eine Revision der Angaben über den Rauminhalt des Sees naheliegend. Als Konsequenz ergab sich die Notwendigkeit einer Neuaufnahme des gesamten Sees, vor allem auch deshalb, weil die bisher einzige verfügbare Seekarte aus dem Jahr 1880 stammte und auf lediglich 35 von Hand ausgeloteten Querprofilen beruhte. Diese Höhenlinien sind im wesentlichen auch in die Landeskarten übertragen worden.

Da die Kantone St. Gallen und Glarus für die Planung verschiedener Bauvorhaben auf eine genaue Seetopographie angewiesen sind, konnte die Finanzierung der Vermessung der verbleibenden 1685 ha wie folgt aufgeteilt werden: Forschungsprojekt der VAW (ETH Zürich): Fr. 35 000.–; Kanton St. Gallen: Fr. 25 000.–; Kanton Glarus: Fr. 5000.–. Aufgrund der Gesamtsumme von Fr. 65.000.– ergibt sich ein Preis von durchschnittlich Fr. 38.60/ha.

2. Das hydrographische Vermessungssystem ‹Explorer›

Das verwendete Vermessungssystem ist in VPK 1/82 detailliert beschrieben worden (Schlund & Lambert, 1982); deshalb genügt an dieser Stelle eine kurze Zusammenfassung. Die Arbeitsweise beruht auf der Messung und automatischen Auswertung digitaler Geländemodelle (DGM), deren Punktdichte den Anforderungen (Planmassstab, Äquidistanz usw.) entsprechend gewählt wird. Die Seegrundaufnahme erfolgt polar, wobei auf vorausberechneten Azimuten Messlinien gefahren werden. Die zu steuernden Kurse werden mit einem auf der Landstation stehenden Theodolit eingestellt und durch einen aufgesetzten Laser sichtbar gemacht. Die Distanz zwischen Landstation und Schiff wird automatisch und kontinuierlich mit Radiowellen (34/68 MHz) gemessen. Gleichzeitig misst das Ultraschall-Echolot ebenfalls kontinuierlich die Tiefe, wobei im Echographen massstabgetreue Profile aufgezeichnet werden, weil der Papiervorschub mit der Distanzmessung gekoppelt ist. In vorausbestimmten Abständen werden digitale Tiefenwerte und die entsprechenden Distanzen automatisch in den Bordcomputer eingespiesen, welcher aus diesen Werten sowie den Koordinaten der Landstation, dem Azimut der Messlinie und dem aktuellen Wasserstand die Koordinaten und Meereshöhen der Punkte des digitalen Geländemodells berechnet und abspeichert. Durch geeignete Wahl des maximalen Abstandes zwischen den – radial angeordneten – Messlinien und zwischen den Punkten auf denselben kann die Punktdichte des Geländemodells, und damit der Detailreichtum und die Genauigkeit der daraus interpolierten Höhenkurven, leicht den Spezifikationen angepasst werden.

Das Software-System für die Verarbeitung digitaler Geländemodelle umfasst die Berechnung der Azimute sowie der Anfangs- und Enddistanzen der zu fahrenden Messlinien bezüglich der Landstationen, ferner die Datenübertragung auf Magnetbänder, die Bereinigung und Ergänzung der Messdaten sowie deren Sortierung, die Kontroll-

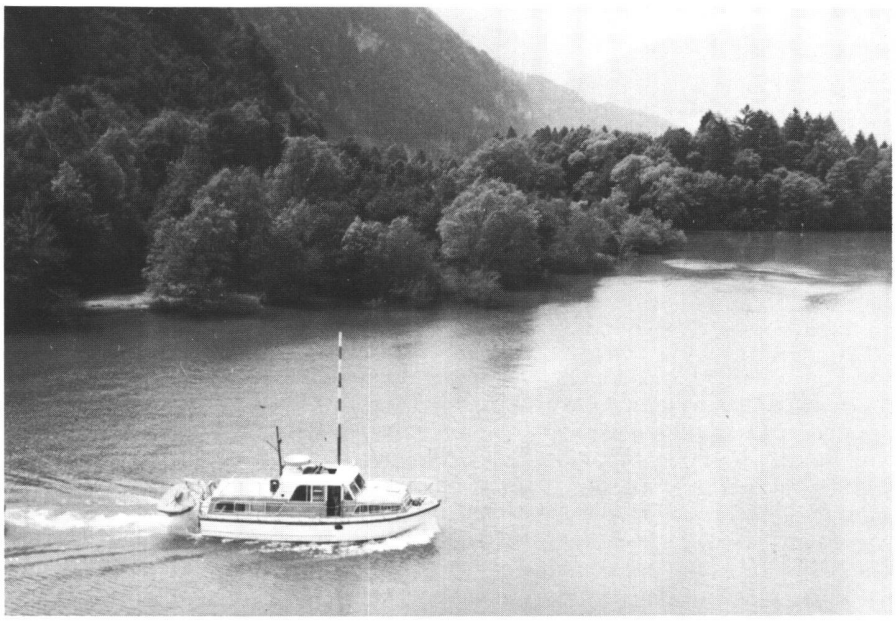

Abb. 1 Das Vermessungsschiff ‹Explorer› im Einsatz auf dem Walensee. Die Wassertiefe wird mit einem Ultraschall-Echolot kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. Die Positionsbestimmung des Schiffes erfolgt mit Hilfe von Laser- und Radiowellen ebenfalls kontinuierlich von einer Landstation aus; alle Messwerte werden im Bord-Computer verarbeitet.

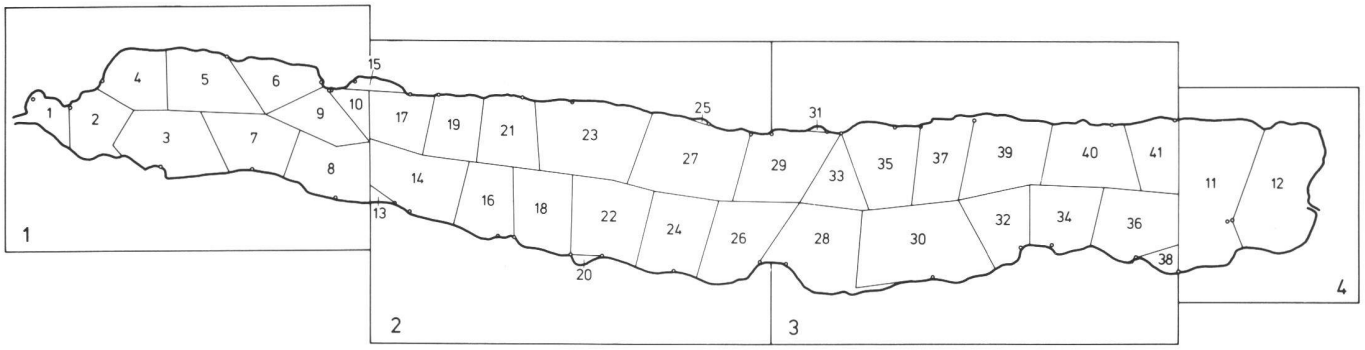

Abb. 2 Verteilung der 41 Aufnahmesektoren und der entsprechenden Landstationen sowie Aufteilung der Neukartierung in vier Einzelblätter.

Listen, die Interpolation der Höhenkurven, das Sortieren der Kurvenpunkte entlang den Schichtlinien sowie das mit einer Ausgleichung verbundene, automatische Zeichnen der Höhenkurven, falls gewünscht auch der Messpunkte.
Ein wesentlicher Vorteil der eingesetzten Echolot-Apparatur ist die Verwendung von zwei verschiedenen Frequenzen, welche einzeln oder zusammen eingesetzt werden können: 210 kHz werden von Schlamm reflektiert, während 33 kHz diesen ignorieren, aber von festem Boden reflektiert werden und teilweise in diesen eindringen; somit lässt sich im Echogramm die Mächtigkeit der Schlammschicht (wenn vorhanden) bestimmen. Das verwendete Echolot-Schwingersystem Typ SW 6020 besteht zudem aus einer Schwingerkombination: 12 + 7 = 19 Einzelschwinger sind auf zwei konzentrischen Kreisen angeordnet. Diese Konfiguration erlaubt es, den Öffnungswinkel des Schallkegels von 10° bis auf 2° zu verringern und damit die gesamte Sendeleistung auf eine kleine Fläche des Seegrundes zu konzentrieren; dadurch wird das Eindringvermögen der Schallsignale in die Seeablagerungen substantiell vergrössert. Das Echogramm vermittelt somit ein akustisches Bild des Untergrundes, das je nach Schichtung, Korngrösse, Gasgehalt usw. erheblich variiert. Die vorliegenden Echogramme (insgesamt etwa 635 km gefahrene Profilkilometer) werden nun mit bereits vorhandenen Sediment-Kernproben verglichen, ausgewertet und in einer geologisch/sedimentologischen Karte zusammenfassend dargestellt (Lambert, 1984).

3. Massstab und Blattaufteilung

Für die Vermessung des Linthdeltas war als Planmassstab 1 : 2000 gewählt worden, weil die zum Vergleich vorliegende Originalkartierung aus dem Jahr 1931 (Eidg. Amt für Wasserwirtschaft) in diesem Massstab vorliegt. Da es bei diesem Vorhaben in erster Linie um die Volumenberechnung des abgelagerten Feststoffmaterials ging, mussten die Höhenlinien aus einem engmaschigen digitalen Geländemodell von mindestens 25 Punkten/ha interpoliert werden, um die gewünschte Genauigkeit zu erzielen.
Mit der selben Punktdichte wurde darauf auch das Seezdelta und der östliche Teil des Walensees aufgenommen, obwohl es hier wegen der nicht vorhandenen Vergleichsgrundlage nicht um eine Volumenbestimmung gehen konnte, sondern darum, eine kartographische Grundlage für eine künftige Vergleichsmessung zu schaffen.
Für die Gesamtkartierung wurde ein Massstab von 1 : 5000 vereinbart, wobei die bereits im Jahr 1979 aufgenommenen Seepartien im Westen und Osten durch Reduktion auf 1 : 5000 (Blatt 1 bzw. 4, Abb. 2) Verwendung fanden. Aus den erwähnten Gründen (hohe Punktdichte des DGM) sind diese beiden Pläne durch einen für diesen Massstab ungewöhnlichen Detailreichtum gekennzeichnet. Dies kommt auch in den Äquidistanzen von 1 bzw. 2 m zum Ausdruck. Im mittleren Teil des Sees (Blatt 2 und 3) betragen die Höhenkurven-Abstände 5 m mit 2,5 m Zwischenkurven.*
Wie bereits die Aufnahmen von 1979 sowie früher durchgeführte Seismik-Kampagnen gezeigt hatten, genügen in der flachen, zentralen See-Ebene etwa drei Punkte/ha, während im Bereich der grösseren Neigungen der Beckenberandung 10–20 Punkte/ha vorgesehen werden mussten, um die topographischen Feinheiten zu erfassen. Diese von der Seemitte zum Ufer kontinuierlich zunehmende Punktdichte liess sich mit dem flexiblen Vermessungssystem ‹Explorer› problemlos realisieren, indem Landstationen an beiden gegenüberliegenden Seeufern für die Aufnahme bis zur Seemitte reichender Sektoren bestimmt wurden. In der Seemitte beträgt der *maximale* Abstand zwischen den Messlinien 100 m, mit digitalen Messwerten entlang den Profilen alle 50 m, wo erforderlich (topographische ‹Unruhe›, geplante Linienführung für Seeleitungen) auch 20 m. Im Abstand von ¼ Seebreite schrumpft der Abstand zwischen den radialen Messlinien auf 50 m und bei ⅛ Seebreite auf 25 m. Dadurch ergibt sich für den zentralen Seeteil (Blätter 2 und 3) ein digitales Geländemodell von insgesamt etwa 10 700 Punkten. Dafür waren 615 Einzelprofile notwendig.

4. Ablauf der Vermessungsarbeiten

Nach Erkundung und Beurteilung der Zugänglichkeit der erforderlichen Standpunkte für die 41 Landstationen wurden deren Landeskoordinaten durch Vor- oder Rückwärtseinschnitte bestimmt; die Genauigkeit entspricht derjenigen von Punkten 4. Ordnung. In vereinzelten Fällen konnten vorhandene Triangulationspunkte verwendet werden. Jeder Stationspunkt wurde permanent versichert, markiert und durch ein Kroki festgehalten.
Die relativ grosse Anzahl von Landstationen und Aufnahmesektoren ist in erster Linie durch die spezielle topographische Situation des Walensees bedingt: Oft mussten für kleine Buchten – wegen ungenügender Sichtverbindung – zusätzliche Stationen für wenige Hektaren oder gar nur einzelne Profile bestimmt werden. Dies bedeutete einen erheblichen Mehraufwand, zumal viele Uferpartien aus senkrechten Felswänden bestehen und ein grosser Teil der Landstationen nur mit dem Boot zu erreichen ist (Abb. 3). Die gesamte Messausrüstung musste zum Teil mit akrobatischen Einlagen an Land gebracht werden.
Für die Arbeiten im Winter 1981/82 musste für das Messschiff ein geeigneter Hafenplatz gesucht werden, wo es mit Landstrom versorgt und geheizt werden konnte, weil die Bordelektronik bei nächtlicher Unterkühlung Schaden nahm. Die Zement- und Kalkfabrik Unterterzen stellte uns in verdankenswerter Weise den am Walensee wohl

* Die Pläne sind über das Amt für Wasser- und Energiewirtschaft des Kantons St. Gallen sowie über die Baudirektion des Kantons Glarus zu beziehen.

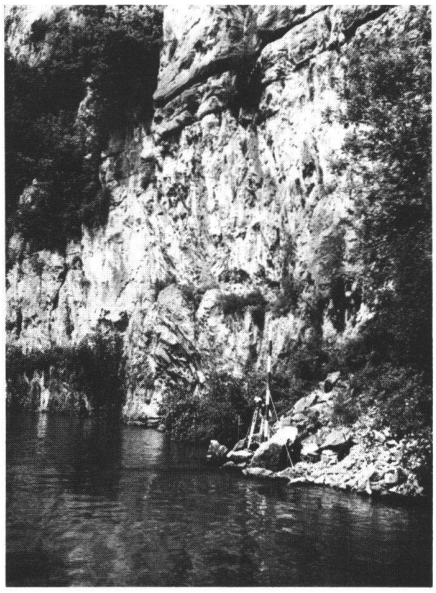

Abb. 3 Landstation (Nr. 5) am Fuss einer Felswand.

Blatt	Fläche (ha)	Anzahl Messlinien	Profil-km	Anzahl digitaler Messpunkte	Messpunkte/ha (Durchschnitt)
1	477	609	264	14 354	30
2,3	1685	615	279	10 930	6,5 (Uferzone 10; See-Ebene 2–3)
4	263	141	92	4 816	18,3
Gesamtkarte	2425	1365	635	30 100	12,4

einzigen diesen Bedingungen genügenden Anlegeplatz innerhalb ihres Hafens zur Verfügung.

Am Nachmittag des 23. März 1979 (14.00 Uhr), also unmittelbar vor Beginn der Vermessungsarbeiten im Linthdelta, löste sich oberhalb der ‹Muslen› (Rombach-Wasserfall) beim Amdener Kleinkraftwerk eine Felsmasse (ca. 20 000 m³ Gestein). Es entstand erheblicher Sachschaden: die Strasse von Weesen nach Betlis wurde verschüttet und die vom Kraftwerk wegführende Hochspannungsleitung zerstört. Um die Stromversorgung von Amden aufrechtzuerhalten, wurde diese Leitung provisorisch wieder hergestellt, aber nicht mehr dem Ufer entlang, sondern quer über die Bucht westlich der Rombachmündung geführt. Bei den Vermessungsfahrten für den Sektor 6 kam es beinahe zur Berührung zwischen der 16-kV-Leitung und der Vermessungsantenne des Schiffs. Geistesgegenwart und Warnrufe des Kraftwerkmaschinisten, Herrn Schläpfer, trugen massgeblich dazu bei, dass das Vermessungsvorhaben im vorgesehenen Rahmen zu Ende geführt werden konnte ...

Die eigentlichen Messfahrten für die Sektoren 1–10 (Blatt 1) erfolgten im Mai/Juni 1979, für die Sektoren 11 und 12 (Blatt 4) am 12. und 13. Juli 1979. Der zweite Teil der Vermessungsarbeiten für den grösseren Teil des Sees (Sektoren 13–41, Blatt 2 und 3) nahm – mit grösseren Unterbrüchen – den Zeitraum von September 1981 bis März 1982 in Anspruch.

Die Gesamtkartierung beanspruchte insgesamt 57 Messtage, wovon 12 Tage für die Erkundung und die Bestimmung der Landstationen. 11 Tage waren wegen schlechter Wetter- und Wellenbedingungen oder technischer Ausfälle ganz oder teilweise unproduktiv. Das Messschiff hat für die Neuaufnahme insgesamt rund 1525 km auf dem See zurückgelegt, wovon 635 km auf die eigentlichen Messprofile entfallen. Die Tabelle gibt einen Überblick über Flächeninhalte, Anzahl Messlinien, Profilkilometer und Messpunktdichte für die einzelnen Blätter der neuen Walensee-Karte.

5. Besonderheiten und Fehlerquellen bei der Seenvermessung mit Ultraschall-Echoloten

Die exakte Tiefenlotung mit Ultraschall setzt eine genaue Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls im Wasser voraus. Diese ist je nach Temperatur, Salz- und Feststoffgehalt verschieden und muss deshalb immer wieder kontrolliert werden. Das System ‹Explorer› umfasst speziell zu diesem Zweck ein Gerät, bestehend aus einem Testschwinger und einer in genau 1000 mm Entfernung montierten Reflektor-Platte. Damit kann die Schallgeschwindigkeit in jeder Tiefe einfach und präzis bestimmt und der Echograph entsprechend geeicht werden. Bei den Aufnahmen im Walensee schwankte die durchschnittliche Schallgeschwindigkeit über die ganze Wassersäule zwischen 1435 und 1440 m/s. Bei Echoloten, die mit einer einzigen (Durchschnitts-)Schallgeschwindigkeit arbeiten, können deshalb besonders bei tiefen Seen erhebliche Fehler auftreten.

Bei der Tiefenmessung mit dem Echolot muss der Öffnungswinkel des sich kegelförmig ausbreitenden Schallsignals berücksichtigt werden, weil bei geneigtem Hang ein systematischer Fehler entsteht (Abb. 4). Auf dieses Problem hatte Bertschmann (1953) bei ersten Messversuchen mit Echoloten im Thunersee hingewiesen. Im *Fall A* (± horizontaler Seegrund) trifft als erstes Echolotsignal dasjenige ein, das im Punkt P' reflektiert wurde; es gibt somit die gewünschte Tiefe senkrecht unter dem Punkt P an. Im *Fall B* (geneigter Seegrund) trifft jedoch als erstes Echo das in Punkt P'' reflektierte Signal ein (Strecke T') und nicht dasjenige von P'. Somit wird für den eingemessenen Punkt P eine um ΔT *zu geringe Tiefe* aufgezeichnet. Dieser Fehler wird deshalb bei der Kartierung korrigiert, indem die interpolierte Höhenlinie in Funktion von Tiefe und Hangneigung α um D nach P''' hangwärts verschoben wird (‹Hangkorrektur›). Der Öffnungswinkel β des Echolotes ‹DESO 10› beträgt 10°.

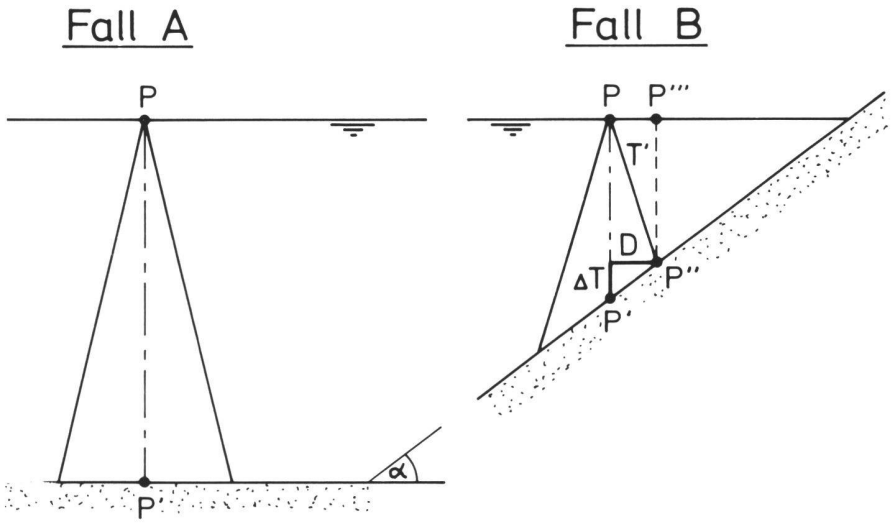

Abb. 4 Infolge der kegelförmigen Ausbreitung des Echolot-Schallsignals entsteht bei geneigtem Seegrund ein systematischer Tiefen-Messfehler ΔT, weil das zuerst eintreffende Echosignal von Punkt P'' stammt, welcher aber nicht senkrecht unter der gleichzeitig eingemessenen Position P des Messschiffs liegt. Weitere Erläuterungen im Text.

Demnach gilt

$$D = T' \sin\frac{\beta}{2} = T' \cdot 0{,}0872$$

Der Tiefenfehler ΔT im Messpunkt P beträgt also

$$\Delta T = D \tan\alpha = \sin\frac{\beta}{2} \cdot \tan\alpha \cdot T' = 0{,}0872 \tan\alpha \cdot T'$$

Das bedeutet zum Beispiel einen Fehler von etwa 9 m (!) in 100 m Tiefe bei einer Hangneigung von 45°. Werden diese Fehler nicht berücksichtigt, so erscheinen die durch die Höhenkurven dargestellten Hangpartien durchwegs als zu wenig tief.

Genauigkeit

Im Walensee bestand eine solide Grundlage für eine Überprüfung der kartographischen Genauigkeit: 1966 hatte das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft ein Querprofil im Raume Walenstadt mit höchster Präzision vermessen. Von Ufer zu Ufer wurde zur Profilmarkierung ein Stahlseil gespannt. Das Messschiff bewegte sich diesem Seil entlang, wobei die genaue Einmessung durch Vorwärtseinschnitt vom Land aus und die Tiefenbestimmung mit dem Drahtlot erfolgte. Der Abstand der Lotungspunkte auf dem Profil beträgt durchschnittlich 11 m. Auf dem neu erstellten Plan von 1979 (Blatt 4) wurde nun die Profilspur eingetragen und der entsprechende topographische Querschnitt aus den Schnittpunkten mit den *interpolierten* Höhenlinien konstruiert. Aus dem graphischen Vergleich der beiden Profile (Abb. 5) geht folgendes hervor: Im mittleren Teil zeigt sich eine Höhenänderung, welche auf die Volumenzunahme des Seez-Schuttkegels (von 1966 bis 1979) zurückzuführen ist (schraffierte Fläche). In den randlichen Gebieten, wo der Feststoffeintrag durch die Seez nicht mehr ins Gewicht fällt und demnach auch keine wesentlichen Änderungen infolge der Sedimentation zu erwarten sind, ist eine weitgehende Kongruenz festzustellen. Diese Übereinstimmung übertraf unsere Erwartungen, weil bei diesem Test – wie erwähnt – nicht zwei auf der selben Spur aufgenommene Profile verglichen werden, sondern der eine Querschnitt aufgrund von Höhenlinien konstruiert wurde, die ihrerseits schon durch Interpolation aus einem punktförmigen Geländemodell hervorgegangen sind.

Ein analoges Vergleichsprofil befindet sich etwa zwischen Quinten und Unterterzen (Blatt 3). Hier stammt das ausgelotete Profil aus dem Jahr 1960 (Eidg. Amt für Wasserwirtschaft im Auftrag der PTT), aber da es fernab der grossen Zuflüsse Linth und Seez liegt, sind keine wesentlichen Änderungen aufgrund der Sedimentation zu erwarten. Auch hier zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung der Profile.

Mittlerer Fehler der Höhenkurve

Im Lungern-Stausee bestand die seltene Möglichkeit, nach der gleichen Vermessungsmethode ermittelte Höhenkurven während der Absenkung des Stauspiegels mit photogrammetrisch ausgewerteten Schichtlinien zu vergleichen. Bei einem mittleren Fehler der photogrammetrischen Höhenkurven von ±0,2 m wurde eine Standardabweichung gegenüber den hydrographisch ermittelten Schichtlinien von ±0,3 m festgestellt. In den Jahren 1972/74 ist mit dem gleichen Verfahren der Grund des Zürichsees vermessen worden. Die Auflage der Auftraggeber (Kantone Zürich und St. Gallen), die Vermessungspräzision betreffend, war die Einhaltung der Toleranzbestimmungen für photogrammetrisch ausgewertete Übersichtspläne; der mittlere Fehler m_h der Höhenkurve musste folglich innerhalb der durch die Beziehung

$$m_h = \pm(0{,}3 + 1{,}5 \tan\alpha)$$
(α = Neigungswinkel)

festgelegten Grenzen liegen. Die Einhaltung dieser Vorschriften ist nach der Ablieferung der Pläne von den Vermessungsämtern mit grossem Aufwand durch Vorwärtseinschnitt und Präzisionspeilung (Drahtlot) mit positivem Befund geprüft worden. Da das Netz des digitalen Höhenmodells im Zürichsee mit durchschnittlich 5 Punkten/ha wesentlich weniger dicht ist als im Walensee (durchschnittlich 12/ha), darf angenommen werden, dass man bei Anwendung der erwähnten Beziehung für den mittleren Höhenfehler auf der sicheren Seite liegt. Demnach beträgt die Toleranz für diese Fehler bei flachem Seegrund ±0,3 m, bei 5° Neigung: ±0,4 m, bei 10° Neigung: ±0,55 m, bei 15°: ±0,7 m.

Das Volumen des Walensees

In der vom Bundesamt für Wasserwirtschaft 1983 zusammengestellten Liste der schweizerischen Seen figuriert der Walensee mit einem Gesamtinhalt von $2{,}490 \times 10^9$ m³ bei einem mittleren Seestand von 419,07 m ü. M. und einer mittleren Seefläche von 24,1 km². Die grösste Tiefe wird mit 150 m beziffert. Nun basieren diese Angaben im wesentlichen auf den Seegrundprofilen von 1880 (und den daraus ‹konstruierten› Höhenlinien) und der Linthdelta-Vermessung von 1931 (Eidg. Amt für Wasserwirtschaft).

Aufgrund der hier dargelegten Neuvermessung von 1979 und 1981/82 ist auch das Seevolumen neu berechnet worden. Diese Arbeit konnte mit Hilfe der vermessungsorientierten CAD-Anlage der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG in Zürich schnell und zuverlässig durchgeführt werden. Zunächst mussten die 10-m-Höhenkurven (im tieferen Teil und im ufernahen Bereich auch die 5-m-Kurven) der einzelnen Planblätter auf einer CALMA-Einheit digitalisiert und zusammengesetzt werden. Die insgesamt rund 530 Höhenlinien-Kilometer wurden mit nahezu 62 000 digitalen Punkten aufgelöst, was einem durchschnittlichen Punktabstand von 8,5 m in der Natur entspricht. Gleichzeitig werden mit einem für Stauseen entwickelten Programm die Inhalte der Teilschichten berechnet und aufsummiert (Abb. 6).

Aus diesen Grundlagen ergibt sich das Gesamtvolumen des Walensees mit $2{,}425 \times 10^9$ m³, also $6{,}5 \times 10^7$ m³ (~3%) weniger als bisher angenommen. Diese

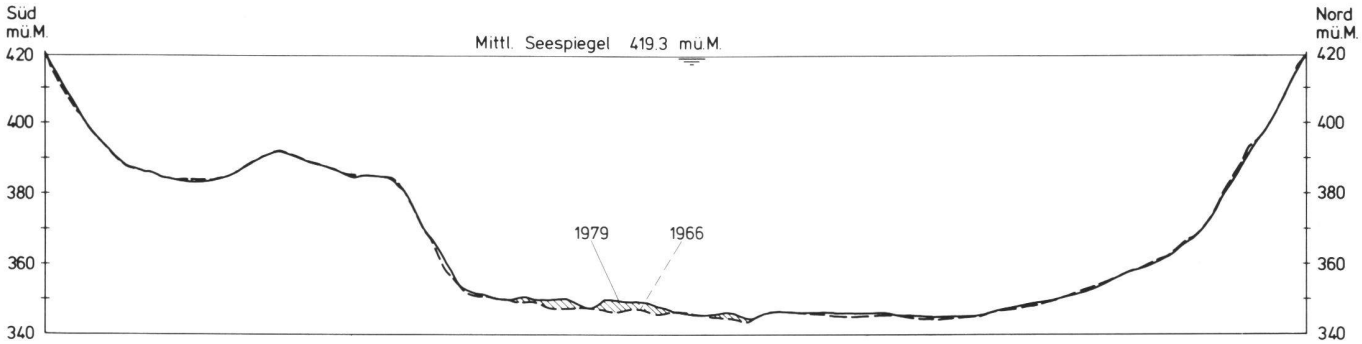

Abb. 5 Vergleich zweier Seegrundabschnitte von 1966 (gestrichelte Linie) und 1979 (durchgehende Linie) auf dem gleichen Nord-Süd-Profil ca. 1 km westlich von Walenstadt. Schraffierte Fläche: Ablagerungen des Seez-Schuttfächers.

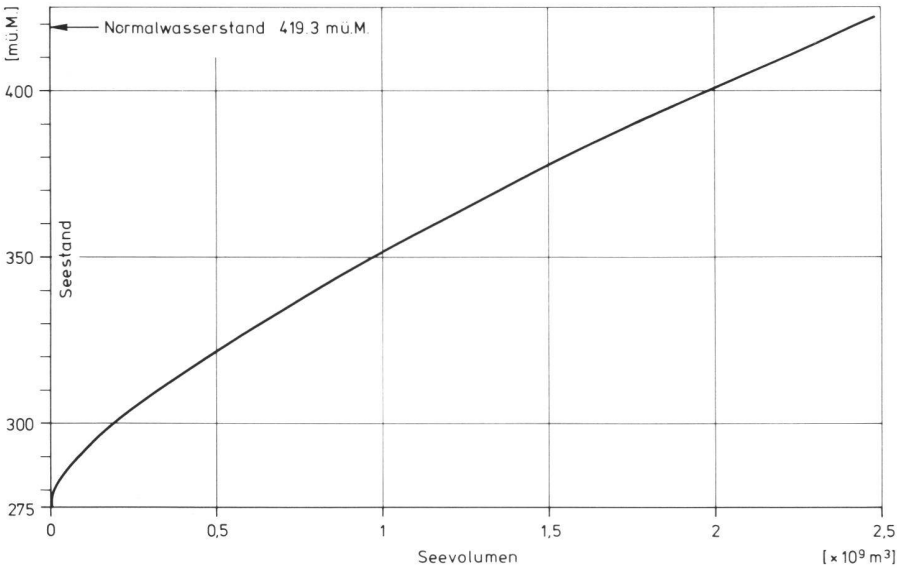

Abb. 6 Inhaltskurve des Walensees in Funktion der Meereshöhe aufgrund der topographischen Vermessung von 1979 und 1981/82.

Differenz ist höchstens bis zu einem Fünftel auf eingetragenes Sediment zurückzuführen: seit 1880 (letzte Vermessung) rund $1{,}2 \times 10^7$ m^3. Der grössere Teil der Differenz beruht offensichtlich auf der Ungenauigkeit der bisher verfügbaren topographischen Unterlagen. Dies geht allein schon daraus hervor, dass die grösste Tiefe 144 m beträgt, während offiziell 150 m registriert sind. Hier ist allerdings zu erwähnen, dass der Walensee als nichtreguliertes Gewässer erhebliche Niveauschwankungen aufweist. Zwischen den bisher registrierten Hoch- und Niederwasserständen von 422,38 m (Juni 1910) und 417,91 m (Februar 1949) liegt eine Differenz von nahezu 4,5 m, was einem Wasservolumen von 110×10^6 m^3 entspricht. Die *mittleren* jährlichen Seespiegelschwankungen betragen jedoch lediglich 2,5–3 m; daraus resultiert eine Volumendifferenz von $60–70 \times 10^6$ m^3.

Die wasserwirtschaftliche Bedeutung der Seevermessung

Mit der Neuvermessung des Walensees konnte eine weitere Lücke in der topographischen Landesaufnahme geschlossen werden (die neuen Höhenlinien werden vom Bundesamt für Landestopographie in die Landeskarten übertragen). Es hat sich einmal mehr gezeigt, dass die bestehenden (meist aus dem Zeitraum um die Jahrhundertwende stammenden) Höhenkurvenpläne vieler Seen den heutigen Ansprüchen nicht zu genügen vermögen. Dabei stehen keineswegs nur topographische Gesichtspunkte im Vordergrund, sondern eine ganze Reihe aktueller wasserwirtschaftlicher Fragen: Fehlerhafte Angaben über die Topographie und somit über das Wasservolumen können nämlich zu deutlichen Fehleinschätzungen für den Wasseraustausch im See wie auch für die Mengenbestimmung von Inhaltsstoffen zur Folge haben. Darüber hinaus werden die seeinternen Bewegungsvorgänge von der Beckenform entscheidend mitgeprägt. Es ist deshalb grundsätzlich eine präzise Kenntnis der Berandungsformen erforderlich, um diese als notwendige Randbedingungen, zum Beispiel in Prognosemodelle für klein- und grossräumige Strömungsfelder, eingeben zu können. In diesem Sinne ist eine exakte Seenvermessung eigentlich die Voraussetzung für die Beurteilung der Auswirkungen von Eingriffen in das limnische Ökosystem.

Die im Rahmen dieses Artikels vorgestellte Neuvermessung des Walensees mag als Beispiel dafür gelten, dass ein solches Vorhaben durch Zusammenarbeit verschiedener Stellen aus Forschung, Verwaltung und Praxis mit vergleichsweise bescheidenem Aufwand realisiert werden kann.

Literatur

Bertschmann, S.: 1953. Seetiefenmessungen mit einem Echolot-Apparat und ihre Ergebnisse. Deutsche Geodät. Komm. Reihe B: Angewandte Geodäsie, Veröff. Nr. 10.

Bundesamt für Wasserwirtschaft: 1983. Seen und Talsperren der Schweiz. Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air 75, 1/2, 14–25.

Eidg. Amt für Wasserwirtschaft: 1931. Deltaaufnahmen. Mitteilung 34.

Lambert, A.: 1980a. Das Delta der Linth im Walensee – ein Vergleich der Seegrundaufnahmen von 1931 und 1979. Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air 72, 7/8.

Lambert, A.: 1980b. Die Entwicklung des Linthdeltas im Walensee zwischen 1931 und 1979. Eclogae geol. Helv. 73/3.

Lambert, A.: 1982. Estimation of erosion and sediment yield by volume measurements of a lacustrine river delta. Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci., Exeter. IAHS Publ. no. 137, 171–176.

Lambert, A.: 1984. Eine geologische Karte des Walensees. Eclogae geol. Helv. 77/1 (im Druck).

Schlund, R.A. und Lambert, A.M.: 1982. Anwendung eines automatisierten hydrographischen Vermessungssystems für Flussdelta-Kartierungen im Walensee. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/82, 1–6.

Adresse der Verfasser:

Dr. André Lambert
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie
ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

Dr. Robert A. Schlund
Digital Road Analysis and Control Surveys Ltd.
Via Lucerna 6, CH-6900 Lugano

SVVK / SSMAF

Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik
Société suisse des mensurations et améliorations foncières

Protokoll der 80. Hauptversammlung vom 10. Juni 1983 in Genf

J.-C. Wasser, Präsident der für die Organisation des heutigen Anlasses verantwortlich zeichnenden Sektion Genf, begrüsst die Anwesenden und eröffnet die 80. Hauptversammlung des SVVK.

Anschliessend heisst der Zentralpräsident die 118 Teilnehmer herzlich willkommen. Namentlich begrüsst er die Gäste mit Vertretern der Amtsstellen, Hochschulen, befreundeter Vereine, die Ehrenmitglieder sowie zwei Gäste aus dem Ausland. Die Dozenten-