

Kuehn, B., Büttner, O., Packroff, G. & B.W. Scharf
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Gewässerforschung Magdeburg

Tiefenvermessung und Volumenberechnung des Sees im Tagebaurestloch Kayna-Süd

Zusammenfassung

Neben der Beschreibung einer konkreten Tiefenvermessung und Volumenberechnung eines Sees wird ein Rückblick auf die Entwicklung der Tiefenvermessung gegeben.

Einleitung

Das Tagebaurestloch (TRL) Kayna-Süd gehört zu dem großen Braunkohlenabbaugebiet des Geiseltales und liegt ca. 20 km südlich von Halle/Saale. Der entstehende See soll künftig als Naherholungsgebiet genutzt werden und bei einem Wasserstand von 95 m NN Badewasserqualität aufweisen.

Die derzeitige Wasserbeschaffenheit entspricht nicht der EG-Richtlinie für Badegewässer. Um die Qualität eines Badegewässers zu erreichen, sind daher Therapie-Maßnahmen erforderlich. Im Vorfeld waren folgende Aufgaben zu bearbeiten:

1. Tiefenvermessung und Volumenberechnung des derzeitigen und des künftigen Sees
2. Beschreibung und Bewertung der Belastungsquellen
3. Beschreibung der gegenwärtigen Wasserbeschaffenheit
4. Vorschlag für Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen

Hier soll nur über die Tiefenvermessung und Volumenberechnung berichtet werden. Vorweg werden einige Daten zur Entwicklung des Sees gegeben, um die Morphometrie des Gewässers zu verstehen.

Entwicklung des Sees

Der Braunkohletagebau Kayna-Süd wurde 1906/07 begonnen und 1972 stillgelegt. Ein Teil des Abraumes wurde im Tagebau selber verkippt. Das nord-westliche Ufer z.B. besteht aus abgelagertem Abraum. Nach 1972 wurden in dem Tagebaurestloch ein Schwemmfächer im Nordosten und einer im Südosten angelegt.

Anfang 1994 hatte der Wasserstand eine Höhe von 91,6 m NN erreicht, d.h. die größte Tiefe des Sees betrug damals etwa 16 m.

Tiefenvermessung und Volumenberechnung

Die Tiefenvermessung des Sees im TRL Kayna-Süd erfolgte im Januar 1994 in Zusammenarbeit zwischen der Markscheiderei der Anhaltinischen Braunkohle-Sanierungsgesellschaft (ABS) und dem GKSS-Institut für Gewässerforschung Magdeburg (heute: UFZ, Sektion Gewässerforschung Magdeburg).

Als Basis für eine Volumenberechnung des Tagebaurestloches wurden 20 Echolotprofile (Echolot Lowrance X16, 8°-Schwinger) erstellt. Die Koordinaten für deren Anfangs- und Endpunkte hat die Markscheiderei eingemessen. Ebenso wurde an 10 - 20 Punkten - je nach Länge der Strecke - die jeweilige Position des Bootes bestimmt und im Echogramm gekennzeichnet, zusammen ca. 400 Meßpunkte (Abb. 1).

Diese 400 Meßpunkte mit eingemessenen Koordinaten bildeten die Ausgangsdatei. Zusätzlich wurden die Echogramme digitalisiert und durch lineare Interpolation in das Koordinatensystem eingepaßt. So umfaßte die erweiterte Ausgangsdatei schließlich ca. 9800 Datensätze (Hoch- und Rechtswert sowie die dazu gehörende Seetiefe). Diese Datei wurde mit dem GIS ARC/INFO weiter bearbeitet. Aus den Meßpunkten sowie den Koordinaten der gegenwärtigen und zukünftigen Wasserlinie wurde ein 'Triangulated Irregular Network' (TIN) abgeleitet, welches die Grundlage für alle weiteren Berechnungen bildete (Abb. 2). Ein TIN ist ein Datenmodell, das aus einer Menge von Punkten mit x-, y- und z-Koordinaten und einer Anzahl von Kanten besteht, die diese Punkte zu Dreiecken verbinden. Die Dreiecksvermaschung erfüllt dabei die DECANNY-Bedingung, d.h. ein durch die Eckpunkte eines Dreiecks gezeichneter Kreis enthält keinen weiteren Punkt, oder anders ausgedrückt, jeder Punkt ist jeweils mit seinen beiden am nächsten liegenden Nachbarn verbunden. Die Erfüllung dieses Kriteriums hat den Vorteil, daß jeder (interpolierte) Punkt auf der Oberfläche des Dreiecknetzes so nah wie möglich an einem Meßpunkt liegt. Das Volumen des Seekörpers wird nun mit Hilfe eines Datenmodells (TIN) berechnet, indem sukzessive die Volumina der einzelnen "Dreieckssäulen" berechnet und anschließend addiert werden. Da es sich dabei um ein numerisches Verfahren handelt, kann für die Volumenberechnung keine geschlossene geometrische Formel, z.B. die eines Kegelstumpfes, angegeben werden.

Die Toleranzwerte beim Erstellen des TIN's wurden so gewählt, daß alle Meßpunkte berücksichtigt werden konnten. Für die linienhaften Inputelemente (Wasserlinie) wurde eine Toleranz von 3 Metern gewählt, d.h. der Abstand der Stützpunkte am Rand ist nie größer als 3 Meter.

Zum Fehler dieser Methode: ARC/INFO bietet bei der Eingabe der Stützstellen für das TIN die Möglichkeit, die Toleranz für linienhafte Elemente ebenso wie für Punktkoordinaten manuell anzugeben, d.h. der Bearbeiter bestimmt die Anzahl der Stützstellen für die Berechnung von Volumina, Flächen und Höhenlinien. Im allgemeinen ist es bei "glatten" Formen möglich, bei gleichbleibender Genauigkeit die Zahl der Stützstellen zu verringern und somit Rechenzeit zu sparen.

Beim TRL Kayna-Süd wurden sowohl die 'weed tolerance' für Linien als auch die 'proximal tolerance' für Punkte zwischen 0 und 50 Metern variiert. Die Ergebnisse bei der Volumenberechnung unterscheiden sich um nicht mehr als 2%. Die 'weed tolerance' wirkt sich nicht aus (Änderung < 1%), da sich beide Uferlinien, die gegenwärtige bei 91,6 m NN und die zukünftige bei 98 m NN, auch innerhalb der größten angegebenen 'weed tolerance' von 50 Metern nicht abrupt ändern. Nur die 'proximal tolerance' hat einen nachweisbaren Einfluß, da über die 'proximal tolerance' die Anzahl und Dichte der Meßpunkte aus der Echogramm-Auswertung gesteuert werden, die in der Berechnung berücksichtigt werden.

Der Fehler durch die EDV bei der vorliegenden Schätzung des Seevolumens läßt sich bis auf etwa 2% reduzieren. Ungenauigkeiten bei der Erfassung der Ausgangsdaten (Koordinaten, Tiefenlotung) sind dabei nicht berücksichtigt.

Alle Zahlen, die sich im weiteren auf ein Volumen beziehen, wurden mit den oben schon genannten Toleranzen errechnet (weed = 3 Meter; proximal = 0, d.h. jeder Meßpunkt wurde berücksichtigt).

Aus dem TIN wurde neben der Isobathenkarte (Abb. 3) auch die Tiefen-Flächen-Kurve (Abb. 4) und die Tiefen-Volumen-Kurve (Abb. 5) abgeleitet. In Tab. 1 sind einige morphometrische Kenngrößen für den See im TRL Kayna-Süd zusammengefaßt

Tab. 1. Einige morphometrische Kenngrößen des Sees im TRL Kayna-Süd

		See 91,6 m NN	See 98,0 m NN	Tagebau	Insel*
größte Tiefe	m	16,0	22,4		
Volumen	10 ⁶ m ³	13,8	28,3		
Fläche	km ²	1,98	2,55	4,23	0,008
Umfang	km	9,36	9,45	10,38	0,46

*unter der Annahme, daß der Wasserspiegel auf 98,0 m NN ansteigt und es keine weiteren Rutschungen gibt.

Diskussion

Die Vermessung von Seen hat verschiedene Entwicklungsstadien durchlaufen. Am Anfang wurden Lotungen an einzelnen Punkten mit zum Teil recht aufwendigen mechanischen Lotungsmaschinen durchgeführt (Abb. 6). Eine genaue Methode, die Position der Lotung zu bestimmen, war die Einmessung von Land aus mit Hilfe von Theodolithen. Die Vermessung im Winter auf dem zugefrorenen See brachte einige Vorteile (sehr genaue Einmessung möglich), hatte aber auch viele Nachteile (nicht jeder See gefriert jeden Winter; die Bildung einer tragfähigen Eisdecke ist zeitlich oft schwer vorhersagbar; das Arbeiten auf dem Eis kann eine Gefahr darstellen). Bei dieser Art der Lotungen handelt es sich stets um Punktmessungen. Erst eine sehr große Zahl von Einzelpunkten ermöglicht eine genaue Tiefenkarte.

Einen wesentlichen Fortschritt brachten die selbstschreibenden Echolote. Mit Hilfe dieser Geräte ist es möglich, auch die Tiefen zwischen den einzelnen Meßpunkten zu erfassen. Dieses ist bei einem unebenen Profil von großer Bedeutung. Der kontinuierliche Ortswechsel während der Fahrt erschwerte die Einmessung der Fahrtroute. Bei kleinen Seen und windstillem Wetter ist es möglich, den vorgesehenen Kurs sehr exakt mit konstanter Geschwindigkeit zu fahren, wobei Anfangs- und Endpunkt einer Fahrt genau einzumessen sind. Notfalls kann auch längs des vorgesehenen Profils eine Leine gespannt werden, die alle 25 oder 50 m mit einer Boje versehen ist. Das Vorbeifahren an einer Boje wird auf dem Echolotausdruck markiert, so daß entsprechend der Anzahl der Bojen Punkte mit bekannten Positionen vorhanden sind. Damit ist es möglich, Ungleichheiten in der Fahrtgeschwindigkeit, z.B. durch eine von vorne kommende Windbö zu erkennen und auszugleichen (s. SCHARF & MENN 1992). Seitliche Abweichungen von der Ideallinie lassen sich mit dieser Methode nicht erfassen. Bei Echolotprofilen mit mehr als 300 m Länge ist dieses Verfahren sehr aufwendig und führt bereits an Tagen mit einer nur geringen Luftbewegung zu Ungenauigkeiten, weil das Seil entsprechend der Wasserströmungen an der Seeoberfläche abgedriftet wird.

Der See im TRL Kayna-Süd ist zu groß, um Leinen darüber zu spannen. Insofern stellte die Vermessung einzelner Punkte der Fahrtroute von Land aus eine sinnvolle Lösung dar. Ein Einmessen der eigenen Position mit Hilfe eines Lasermeßgerätes durch Anpeilen von zwei bis drei Landmarken hat sich in Vorversuchen als nicht durchführbar erwiesen, da sich die Position des Bootes zu schnell während des Meßvorganges änderte. Das Laser-Entfernungsmeßgerät wurde jedoch bei der Vermessung dazu eingesetzt, um die Abstände von ca. 50 m, an denen die Markscheider die Position des Bootes von Land aus bestimmen sollten, in etwa einzuhalten. Hierzu wurde es auf den Endpunkt des jeweiligen Echolotprofils gerichtet und brauchte deshalb während der Fahrt nicht oder nur kaum bewegt zu werden.

Das eingesetzte Verfahren stellt also eine genaue Methode zur Vermessung von Seen dar. Mit Hilfe einer Satellitennavigation (GPS), gekoppelt mit einem Echolot, hätte die Vermessung einfacher durchgeführt werden können. Mit einem solchen System liegen alle benötigten Daten für das Postprocessing, z.B. eine Volumenberechnung, in digitaler Form vor, so daß keinerlei Digitalisierarbeit mehr notwendig ist. Da das GPS die Position im Sekundenbereich liefert, ist die Fahrtgeschwindigkeit des Bootes vernachlässigbar.

Danksagung

Wir danken der Markscheiderei der Anhaltinischen Braunkohle-Sanierungsgesellschaft (ABS) für die gute Zusammenarbeit, insbesondere ihrem Leiter, Herrn Pausch. Unser Dank gilt ebenfalls unserem Mitarbeiter Herrn Michael Herzog für seinen Einsatz bei der Vermessung im Januar 1994.

Literatur

DELEBECQUE, A. (1898): Les lacs francais. - Paris 436 S.

SCHARF, B.W. & MENN, U. (1992): Hydrology and morphometry. - in SCHARF, B.W. & S. BJÖRK (eds.): Limnology of Eifel maar lakes. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 38: 43-62. Stuttgart

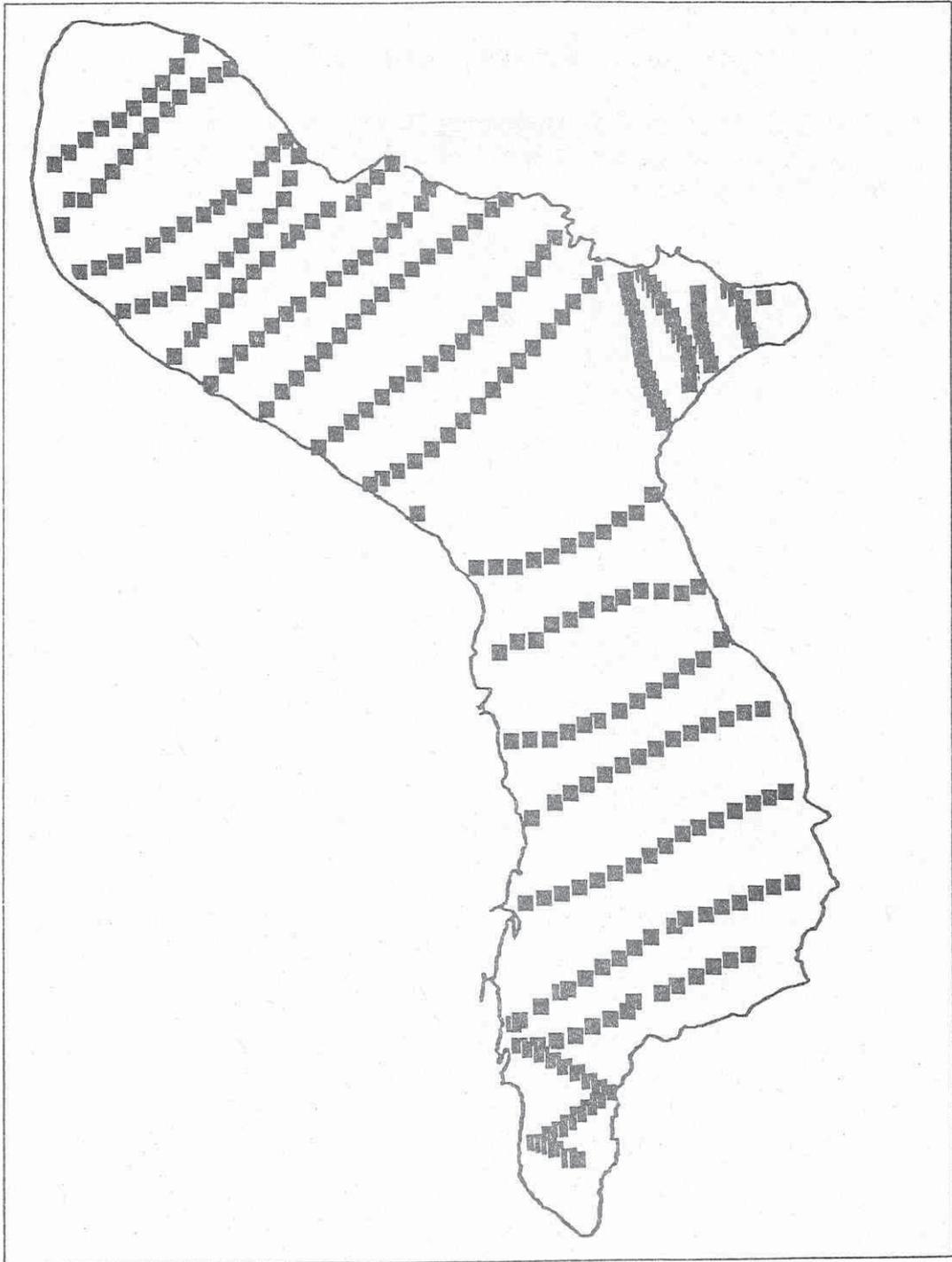


Abb. 1. Lage der Echolotprofile im Tagebaurestloch Kayna-Süd. Die einzelnen von der Markscheiderei während der jeweiligen Echolotprofilaufnahme eingemessenen Punkte sind als schwarze Quadrate eingezeichnet.

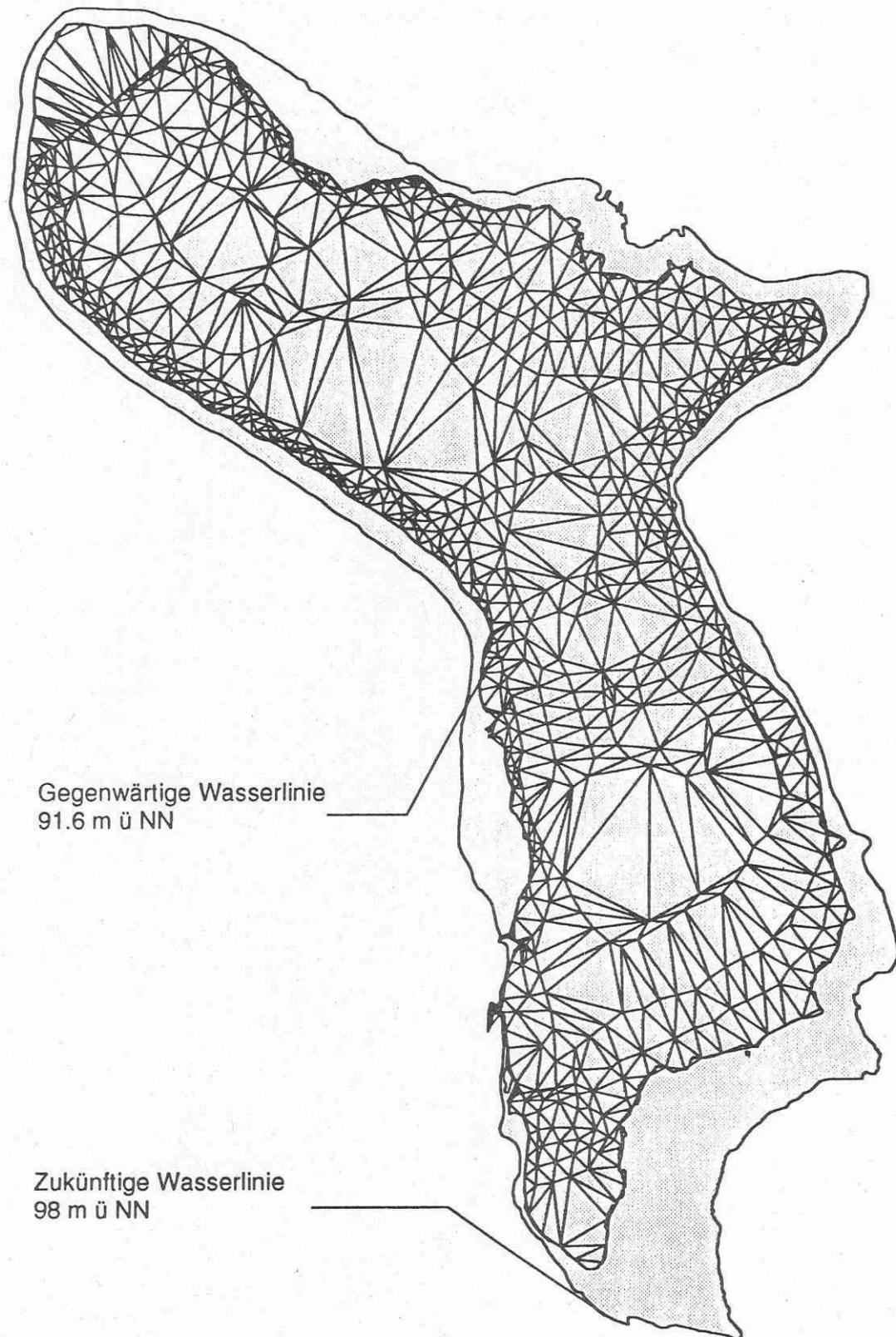


Abb. 2. Triangulated Irregular-Network (TIN) zur Berechnung der morphometrischen Angaben zum Tagebaurestloch Kayna-Süd (3456 Knoten, 6092 Dreiecke)

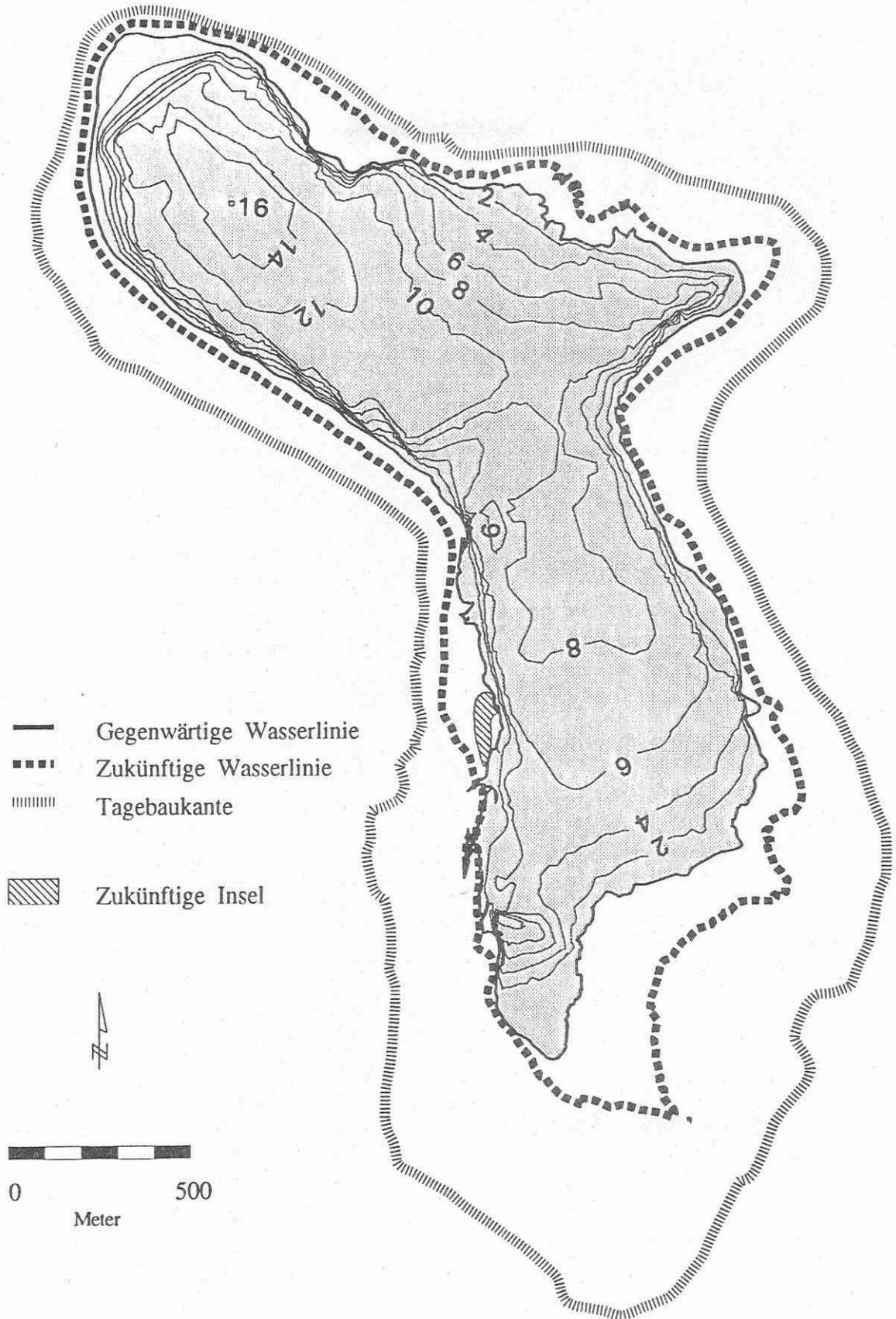


Abb. 3. Tiefenkarte des Tagebaurestloches Kayna-Süd

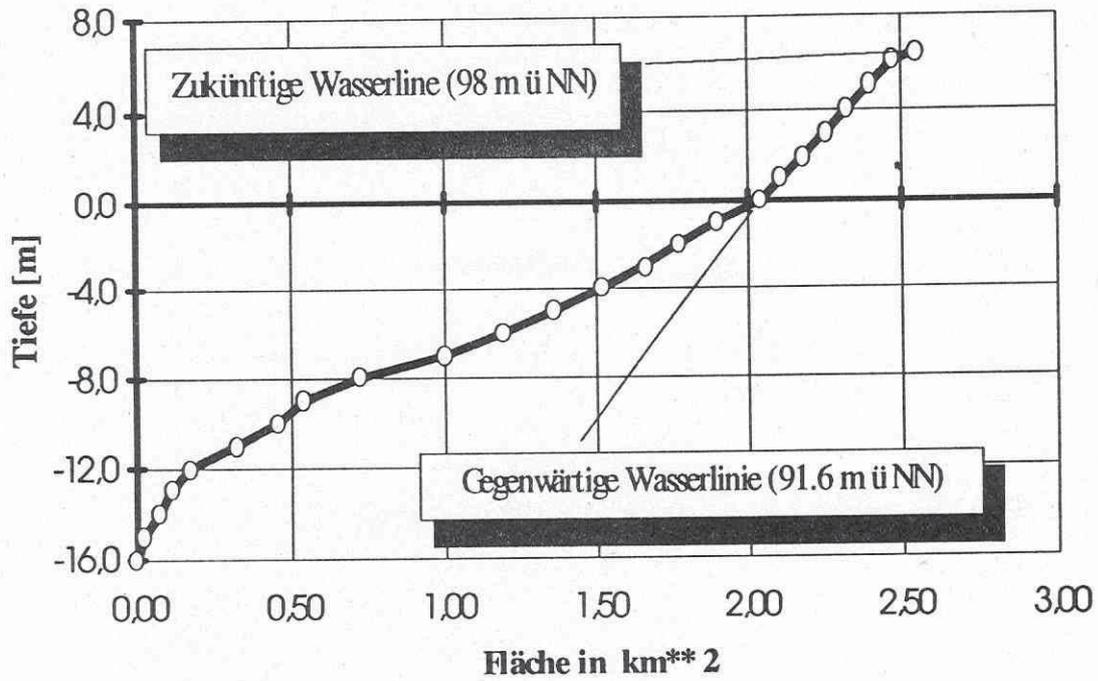


Abb. 4. Tiefen-Flächen-Kurve der Tagebaurestloches Kayna-Süd

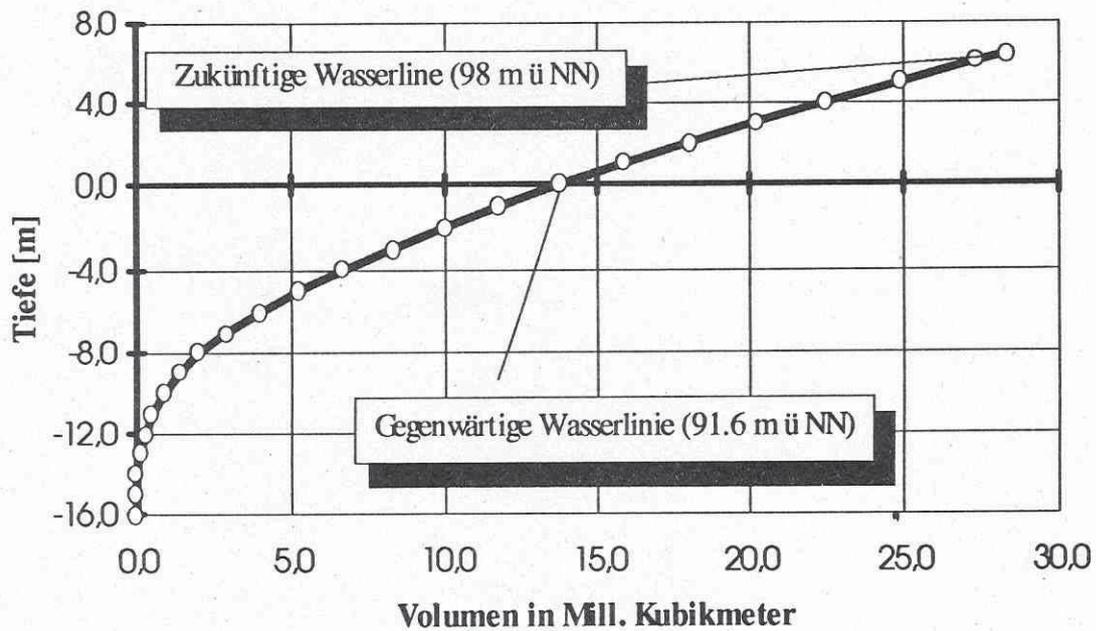


Abb. 5. Tiefen-Volumen-Kurve des Tagebaurestloches Kayna-Süd.

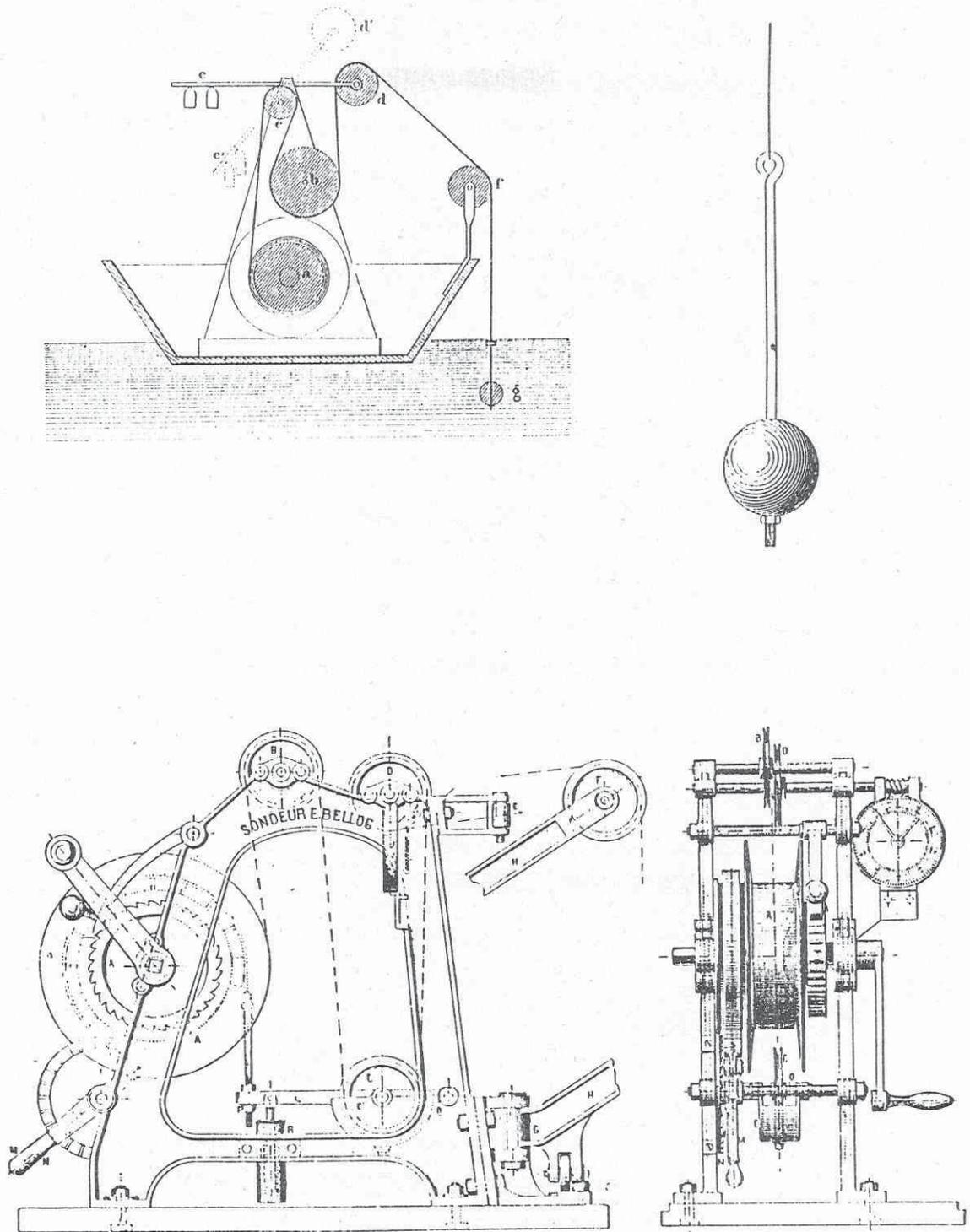


Abb. 6. Schematische Darstellung (oben links) eines Apparates zur Tiefenmessung mit automatischer Tiefenanzeige bei Aufsetzen des Bleigewichtes (oben rechts) auf dem Sediment und Konstruktionszeichnung (unten) (aus DELEBECQUE 1898)



UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 4/1995

**Beiträge
zum Workshop
"Braunkohlebergbaurestseen"**

**24.-25. November 1994
in Bad Lauchstädt**

Sektion Hydrogeologie
UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH

ISSN 0948-9452