

**BIOLOGISCHE STATION NEUSIEDLERSEE**

BFB-Bericht 65  
ISSN 0257-3105

Illmitz 1988

CSAPLOVICS Elmar

DIE NEUVERMESSUNG DES SEEBODENS DES  
NEUSIEDLER SEES - ZWISCHENBERICHT FÜR DIE  
PROJEKTPHASE 1986/87

Eigentümer, Herausgeber, Verleger, Druck:

Biologisches Forschungsinstitut Burgenland A-7142 Illmitz

Schriftleitung: Dr.L.Hammer

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.

Für den Inhalt der einzelnen Beiträge ist jeweils der Autor  
verantwortlich.

## DIE NEUVERMESSUNG DES SEEBODENS DES NEUSIEDLER SEES - ZWISCHENBERICHT FÜR DIE PROJEKTPHASE 1986/87

E. CSAPLOVICS<sup>+</sup><sup>+</sup>Biologische Station Neusiedler See, A-7142 Illmitz

Zusammenfassung: Die zweite Phase des Projektes Seevermessung Neusiedler See wird nach einer Zusammenschau der bereits vorliegenden Meßergebnisse hinsichtlich theoretischer und praktischer Arbeitsschritte diskutiert. Repräsentative Datenpools werden exemplarisch kartiert und dienen der Charakterisierung der thematischen Darstellungsmöglichkeiten des Seereliefs. Die Problembereiche Refraktion und Echolot-Tiefenmessung werden detailliert behandelt. Ein Ausblick dient der Skizzierung der noch zu erwartenden Projektergebnisse.

Abstract: After a synopsis of already existing results the second stage of the project of surveying the bottom of Lake Neusiedl is discussed with regard to theoretical and practical aspects. Representative results are entered on maps and serve the description of various possibilities of thematic presentation of the relief of the bottom of the lake. Atmospheric refraction and echo-sounding are dealt with in detail separately. An outlook serves the delineation of the results still to come.

## 1. EINLEITUNG

Das Projekt Seevermessung dient der umfassenden Aufnahme des Reliefs des Seebodens des österreichischen Anteiles am Neusiedler See. Besondere Berücksichtigung erfahren hierbei die von Schilf bedeckten Bereiche. In Flächenzahlen ausgedrückt ergibt sich eine Gesamtfläche des Arbeitsgebietes von 233 km<sup>2</sup>, wobei die Schilfbereiche 103 km<sup>2</sup> und die offenen Wasserflächen des Sees 130 km<sup>2</sup> bedecken (Stand 1979 nach CSAPLOVICS 1982 und CSAPLOVICS 1985).

In Kenntnis der großen Bedeutung des Lamellenbereiches, der durch die Höhenlinien 115.50 m und 116.50 m begrenzt wird, wird eine Erweiterung der Untersuchungen auf die landseits an die Schilfbereiche anschließenden Zonen angestrebt, um die Dynamik der Höhenlinie 116.50 m zu erfassen und vor allem in Hinblick auf Aspekte der Seespiegelschwankungen und Wasserhaushaltsrelationen Niederungsgebiete im Seerandbereich zu dokumentieren. Damit würde sich das zu bearbeitende Gebiet um vorerst zumindest ca. 60 km<sup>2</sup> vergrößern. Die Arbeiten zur Höhenaufnahme und zur Einbeziehung der Höhendaten in ein umfassendes digitales Geländemodell Neusiedler See wären in der zweiten Jahreshälfte 1988 einplanbar.

Die dem Projekt zugrunde liegende Meßanordnung basiert auf den Algorithmen der trigonometrischen Höhenmessung (Abb. 1.1 nach BRANDSTÄTTER 1981).

Hierbei gilt:

$$\Delta h = s \cdot \cos z - \frac{s^2 \cdot \sin z}{2r} + \frac{d^2}{2R} + I - Z \quad (1,1)$$

$$\text{bzw. } \Delta h = s \cdot \cos z + \frac{1}{2R} \left( d^2 - \frac{R}{r} \cdot s^2 \cdot \sin z \right) + I - Z \quad (1,2)$$

Die gängige Näherungsformel lautet im Gegensatz dazu (JORDAN, EGGERT, KNEISSL 1956):

$$\Delta h = d \cdot \cot z + \frac{1-k}{2R} \cdot d^2 + I - Z \quad (1,3)$$

$$\text{bzw. } \Delta h = s \cdot \cos z + \frac{(s \cdot \sin z)^2}{2R} \cdot (1-k) \quad (1,4)$$

Beide Ansätze beruhen auf der Annahme eines kreisförmigen Visurstrahlverlaufes. Die Näherungsformel liefert bei flachen Visuren ( $z \approx 90^\circ$  bzw.  $\sin z \approx 1$ ) ausreichend genaue Ergebnisse. In diesem Fall ist die Vereinfachung  $d \approx s$  statt  $d = s \cdot \sin z$  zulässig. Damit wird der zweite Ausdruck in Gleichung (1,2) in die in (1,3) ersichtliche Form übergeführt.

Da im Falle der für den Projektbereich Seevermessung Neusiedler See relevanten topographischen Charakteri-

stika sämtliche Zenitdistanzen um  $90^{\circ}$  liegen und die gemessenen Schrägdistanzen nicht größer als 3 km sind, ist die Anwendung der Näherungsformel zulässig und liefert praktisch strenge Werte (BAHNERT 1977).

Bei der Messung der Zenitdistanzen (Wild T3) und Schrägdistanzen (Geodimeter) führen hochgenaue geodätische Technologie und spezifische Organisation der Messungen zur Beherrschung der ausgeprägten Refraktionseinflüsse (vgl. Kap.4) zu größtmöglichen Genauigkeiten bei der Höhenbestimmung. Bei Einhaltung der Bedingung  $s < 3$  km kann der mittlere Höhenfehler auf  $m_{\Delta h} = \text{ca.} \pm 2.5$  cm gehalten werden (CSAPLOVICS 1987a).

Die Einrichtung von Master-Stationen (Beobachtungsstationen) und Remote-Stationen (Meßstationen in situ), die der fortschreitenden Messung von Punktdaten in bezug auf die Oberfläche des Schlammes und des festen Untergrundes dienen, hat sich im Laufe des Projektes bestens bewährt.

Probleme bei der Befahrung der unwegsamen Schilfbereiche, die in der Havarie der Motorraupe in der Nähe von Jois im Juni 1986 ihren Kulminationspunkt fanden, sowie der immense Einfluß witterungsbedingter Faktoren - sei es Kälte und Wind im Winterhalbjahr, oder Hitze, große Luftfeuchtigkeit über der Seefläche (Bildflimmern) und heftige Stürme im Sommerhalbjahr - haben dennoch zu Verzögerungen im ursprünglich geplanten Projektablauf (vgl. Projektbeschreibung Seevermessung, 1985) geführt. Obgenannte Einflüsse sowie die zu erwartende zusätzliche Höhenaufnahme des Seerandbereiches lassen mit Gewißheit eine Verzögerung des Projektablaufes bis in die erste Jahreshälfte 1989 erwarten.

Weitere Einzelheiten zur Projektstruktur, zu ausgeführten Vorarbeiten, zur Varietät der im Laufe unseres Jahrhunderts bereits realisierten Versuche zur Vermessung des Seebodens (vor allem KOPF 1964), aber auch Details zum Meßablauf und zu den organisatorischen Aspekten sind an anderer Stelle ausführlichst beschrieben worden (CSAPLOVICS 1987a, CSAPLOVICS 1987b, CSAPLOVICS 1987c).

## 2. KURZER ABRISS DER PROJEKTARBEITEN DER ERSTEN PHASE (CSAPLOVICS 1987a)

Im Zuge der ersten Projektphase 1985/86 wurde der mächtigste Bereich des Schilfgürtels, der Nordwest-Teil, erfaßt. Sowohl bei den Arbeiten im Schilfgürtel als auch im Zuge der im Herbst 1986 gestarteten Bearbeitung der Wasserflächen bewährte sich die bereits angesprochene flexible Master-Stationen - Remote-Stationen Interaktion auf Basis der trigonometrischen Messung von Höhenunterschieden. Erste Auswertungen der Punktdaten führten zu Kartierungen der Höhenverhältnisse der Schlammoberfläche und der Oberfläche des festen Untergrundes in einem exemplarisch ausgewählten Gebiet des Schilfgürtels südöstlich von Purbach. Das Bild der Höhenlinien ließ den Schluß auf starke Strukturierung der Schlammoberfläche zu. Im speziellen die im Schilfgürtel in Nähe der Schilf-Wasser-Grenze mehrfach erkannte Auflandungszone (z.B. WAIDBACHER 1985) ist klar dokumentiert. Ausgewählte Profile durch Schilf- und Wasserzonen des nördlichen Seeteiles zeigen Auflandungstendenzen in den Schilfbereichen und relativ homogene Verhältnisse im Bereich des offenen Sees. Untermauert werden diese Erkenntnisse durch die Miteinbeziehung der im Jahre 1963 auf nivellitischen Wege gewonnenen Vermessungsdaten und den daraus resultierenden Seeprofilen (KOPF 1964).

Ein vorbehaltloser Vergleich der Meßergebnisse des Projektes 1963 mit den Daten der Seevermessung 1985-1988 ist sicher nicht statthaft, da sowohl die Meßanordnung als auch die Technologie der Hard- und Software - Komponenten zufolge der rasanten Entwicklungen auf dem Gebiete der Präzisionsmessung von Winkeln und insbesondere Schrägdistanzen zu stark unterschiedlichen Interpretationsgrundlagen führen müssen. In Kenntnis dieser Umstände kann ein überblicksmäßiger Vergleich der Meßdaten dennoch überaus aufschlußreich sein. Auch in bezug auf die detaillierte Aufschlüsselung und Diskussion der Ergebnisse der ersten Projektphase wird an dieser Stelle auf die vorliegenden Berichte verwiesen (CSAPLOVICS 1987a, CSAPLOVICS 1987b).

## 3. DIE ZWEITE PROJEKTPHASE 1986/87

Unter Berücksichtigung der im Zuge der Herbstmeßkampagne 1986 aufgenommenen Wasserflächen im Nordteil des Sees - nördlich der Linie alte Wulkamündung - Podersdorf - und der im Sommerhalbjahr 1987 durchgeführten Arbeiten im restlichen offenen Seebereich kann für die zweite Projektphase ein Meßprogramm, das im großen und ganzen die Reliefverhältnisse im gesamten nicht von Schilf bedeckten Seeteil dokumentiert, dargelegt und erläutert werden (Abb.3.1).

Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die möglichst homogene und zeitlich kontinuierliche Aufnahme dieser Bereiche. Vor allem die hydrodynamisch stark beanspruchten Seeteile waren kurzfristig zu bearbeiten. Dies führte zu einem umfassenden Messungskonvolut, das im Oktober 1987 abgeschlossen war.

Die spezifische Planung unterstützten bereits vorliegende Aussagen über die Profildynamik in einigen Seeteilen (KOPF 1964-1968).

### 3.1. BESCHREIBUNG DER PROJEKTARBEITEN

Zufolge der großen Ausdehnung der Wasserflächen des offenen Sees ( $103 \text{ km}^2$ ) und der meßrelevanten Zielsetzung, Distanzen größer als 3 km zwischen den jeweiligen Master-Stationen und den Meßpunkten zu vermeiden (vgl. CSAPLOVICS 1987a -  $m_{\Delta h} = \pm 2.2 \text{ cm}$  für  $s = 3 \text{ km}$ ), ergab sich zu allererst das Problem, die speziell adaptierte Beobachtungsplattform an Stellen am offenen See zu installieren. Insgesamt zwölf Auf- und Abbauvorgänge unter schwierigsten Bedingungen, d.h. durch Arbeit vom Boot aus, waren vonnöten, um den nunmehr vorliegenden optimalen Grad an Flächendeckung bzw. Punktdichte zu erreichen, aber auch um die bereits erwähnten Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen (Abb.3.2).

Nach eingehender Ablaufplanung im Team wurden vom Meßboot aus Aufnahmepunkte in unregelmäßigem Raster über die Seefläche abgesetzt und gemessen.

Einen Ausschnitt aus den resultierenden Karten der Meßpunkte für den Seebereich westlich der Biologischen Station zeigt Abb.3.3.

Die ersten beiden Ziffern der Punktbezeichnung definieren die jeweilige Standpunktnummer, die folgenden Ziffern die fortlaufende Meßpunktnummerierung.

Die Messungen am offenen See waren in höchstem Maße witterungsabhängig. Starker Wind, wie er am Neusiedler See häufig aus Nordwest bzw. Südost weht, zwang des öfteren zum Abbruch der Messungen. Im Sommer führte starke Sonneneinstrahlung zur Ausbildung von negativen vertikalen Temperaturgradienten, die das sogenannte Bildflimmern (Szintillation) bewirken. Dieser Effekt geht, wie Abb.4.2 in Kap.4.2. der vorliegenden Arbeit anschaulich zeigt, Hand in Hand mit dem Auftreten negativer Refraktion (BAHNERT 1985).

Über dem Neusiedler See waren derartige Erscheinungen mehrmals so ausgeprägt, daß an ein seriöses Kontinuum der Messungen nicht zu denken war. An anderer Stelle (Kap.4.2.) wird auf die angesprochenen Phänomene näher eingegangen werden.

Die an dieser Stelle exemplarisch angeführten Aspekte stehen stellvertretend für die Vielzahl von Faktoren, die sowohl Gerät als auch Personal in höchstem Maße beanspruchten. Nur Teamgeist und absolute Konsequenz und Präzision während der Meßfahrten und im speziellen während der Messungen an sich konnten die Aufzeichnung exakter Informationen gewährleisten.

Eine Zusammenschau der ersten beiden Projektabschnitte zeigt, daß bis dato über 1000 Meßpunkte aufgenommen wurden. Im Vergleich dazu fand die Seevermessung des Jahres 1963 mit ca. 800 Nivellementpunkten für den gesamten See-Schilf-Bereich ihr Auslangen (KOPF 1964).

Nunmehr liegen pro Meßpunkt drei Meßgrößen (Horizontalwinkel, Zenitdistanz, Schrägdistanz), die auf den Master-Stationen ermittelt werden, und zwei Meßgrößen (Schlammtiefe, Tiefe des festen Untergrundes) pro Remote-Punkt vor. Berücksichtigt man die nach annähernd jeder Messung zu einem Remote-Punkt durchgeführte Beobachtung eines in Visurrichtung liegenden Festpunktes zum Zwecke der möglichst effizienten Beherrschung der Refraktionseinflüsse, welche ebenfalls je zwei Meßgrößen umfaßt (Horizontalwinkel, Zenitdistanz), so kann nunmehr ein Konvolut von ca. 7000 Einzeldaten, die computerkompatibel zu Lage- und Höhenkoordinaten der Meßpunkte verarbeitet sind, vorgelegt werden.

### 3.2. ERGEBNISSE

Ohne der geplanten Verarbeitung der in unregelmäßigem Raster angeordneten Reliefdaten des Neusiedler Sees, die in einem Block geschehen soll, vorgreifen zu wollen, sollen für den Bereich des im Projektjahr 1986/87 bearbeiteten Seeteiles repräsentative Untersuchungsgebiete vorgestellt und verschiedene Verarbeitungsmodi skizziert werden. Hierbei wird, auf den Lage- und Höhenkoordinaten der Meßpunkte aufbauend, die Kartierung von Rastermodellen, Höhenschichtlinien und Profilen verdeutlicht.

#### 3.2.1. PUNKTDATEN

Die Verteilung der Meßpunkte für einen Ausschnitt der Seefläche westlich der Biologischen Station zeigt Abb.3.3 in Kap.3.1..

Die in diesem Gebiet abgesetzten Punkte weisen eine deutliche Anordnung in unregelmäßigem Raster auf. Die Punktdichte steigt im Buchtbereich, da hier ein nach größerem Detailreichtum orientiertes Aufnahmeziel vorformuliert worden war. Das im Buchtbereich eingezeichnete Rasterquadrat definiert die Ausdehnung eines exemplarischen kleinräumigen Raster-Höhenmodelles, welches in Kap.3.2.2. näher besprochen werden wird.

Die Schilf-See-Grenzlinie in Abb.3.3 ist dem Kartenblatt 2 der Schilfkartierung Neusiedler See 1979 entnommen (CSAPLOVICS 1982).

In analoger Weise überziehen in unregelmäßigem Raster angeordnete Meßpunktzeilen den gesamten bis dato aufgenommenen See-Schilf-Bereich, also ca.  $180 \text{ km}^2$  bzw. 80% des Projektgebietes (vgl. Abb.3.1, Kap.3.).

### 3.2.2. DAS HÖHENMODELL

Sind auch die restlichen noch nicht bearbeiteten Schilfbereiche durch diskrete Meßpunktdaten hinsichtlich des Reliefs charakterisiert, wird der gesamte Koordinaten-Pool mit Hilfe des Programmsystems SCOP, das in Zusammenarbeit der Institute für Photogrammetrie der TU Wien und der TU Stuttgart sowie des Forschungsinstitutes für Luftbildtechnik in Stuttgart entwickelt wurde, am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien weiterverarbeitet. Im ersten Software-Modul SCOP-DMS werden die Daten geordnet und für die Verarbeitung aufbereitet. Im Software-Modul SCOP-DTM wird die Struktur des digitalen Geländemodelles (Digital Terrain Model - DTM) definiert und das DTM interpoliert.

Die Effizienz des Systems ist vielfach erprobt und durch zahlreiche Einsätze bei verschiedenen Institutionen bewiesen (KRAUS, ASSMUS, KÖSTLI, MOLNAR, WILD 1982; KRAUS 1987; INSTITUT FÜR PHOTOGRAMMETRIE (ed.) 1986).

Um auch dem mit der Materie nicht Vertrauten einen überblicksartigen Eindruck in bezug auf die vorerst nur angedeuteten Charakteristika von digitalen Höhenmodellen zu geben, soll anhand eines kleinräumigen Raster-Quadrates im Bereich der westlich der Biologischen Station gelegenen Bucht exemplarisch ein DTM aufgebaut werden (Abb.3.4).

Die Lage des Raster-Quadrates ist, wie bereits in Kap.3.2.1. erwähnt, in Abb.3.3 kartiert.

Durch Interpolation der Höhen der Raster-Schnittpunkte aus den in unregelmäßiger Anordnung um diese Schnittpunkte situierten Meßpunkten wird eine in regelmäßigem Raster angeordnete Höheninformation geschaffen. SCOP-DTM verwendet drei Interpolationsalgorithmen, nämlich die lineare Prädiktion, die gleitende Schrägebene und die gleitende Horizontalebene. Verbindet man die mit konkreten Höhen versehenen Rasterpunkte miteinander, entsteht ein Geländemodell, das die Oberflächenverhältnisse wiedergibt.

Im vorliegenden Beispiel für die Schlammoberfläche wird sowohl der steile Terrainabfall im Bereich des Schilf-See-Randes als auch der im Öffnungsbereich der Bucht gelegene Höhenrücken und die buchtseitig befindliche wannenartige Vertiefung eindrucksvoll dargestellt.

Ebenso wie das vorliegende Geländemodell für die Schlammoberfläche kann natürlich auch ein Modell des Reliefs des festen Untergrundes konstruiert werden. Es ist leicht zu erkennen, daß einfache Algorithmen die Berechnung von Schlammkubaturen erlauben. Auf ähnliche Weise ist jede beliebige Horizontalebene (z.B. Wasseroberfläche) mit dem vorliegenden DTM verknüpfbar. Rückschlüsse auf Wasservolumina werden möglich.

### 3.2.3. HÖHENLINIEN

Nach der Interpolation des regelmäßigen Punktrasters (DTM) folgt die Berechnung und Kartierung der Höhenlinien mit Hilfe des Software-Moduls SCOP-ISOLINES (INSTITUT FÜR PHOTOGRAMMETRIE 1986).

Als Diskussionsbeispiel sollen die aus den in Abb.3.3, Kap.3.1., kartierten Meßpunkten durch händische Interpolation gewonnenen Höhenlinienkarten für die Schlammoberfläche und die Oberfläche des festen Untergrundes dienen. Der Kartierungsmaßstab ist 1:10000 (Abb.3.5 und Abb.3.6).

Betrachten wir vorerst Abb.3.5, die die Reliefverhältnisse für den festen Untergrund wiedergibt, so können folgende Charakteristika hervorgehoben werden. In Richtung Westen, dem zentralen Seeteil zu, sind nur ganz geringe Höhenunterschiede erkennbar. Ungefähr 200-300 m vor dem Schilfrand befindet sich eine markante Geländestufe, die durch das Zusammenrücken der Höhenschichtlinien auch für den Laien klar interpretierbar ist. Beim Buchteingang hat sich auch im festen Untergrund ein kleiner Höhenrücken ausgebildet. Im zentralen Buchtbereich liegt eine ausgeprägte Oberflächendepression. Am Schilf-See-Rand folgt eine zweite Höhenstufe. Etwas anders ist die Reliefsituation für die Schlammoberfläche, Abb.3.6. Die Niveau-Unterschiede im offenen See sind marginal. 100 m vor der Schilf-See-Grenze steigt der Seeboden an. Im Bereich der Bucht wird der bereits im festen Untergrund ablesbare Höhenrücken breiter und führt ebenfalls in eine wannenartige Vertiefung in Buchtmitte über. Die vor allem in der Schilf-See-Grenzzone nördlich der Bucht eng aneinander liegenden Höhenlinien lassen auf markant ansteigende Reliefstrukturen schließen. Dies steht in Einklang mit den im Schilf-See-Grenzbereich stattfindenden Sedimentierungsvorgängen.

Natürlich ist der kleine Gebietsausschnitt für das umfassende Untersuchungsgebiet nicht vollinhaltlich repräsentativ, dennoch lassen die Höhenlinienkarten in Abb.3.5 und Abb.3.6 der vorliegenden Arbeit in Kontext mit den im Zwischenbericht für die erste Projektphase publizierten Karten (CSAPLOVICS 1987a) informative Rückschlüsse auf die Reliefstrukturen des Seebodens in ausgewählten Bereichen zu und geben darüber hinaus dem Betrachter einen vorläufigen Eindruck über die geplanten Höhenlinienkarten des gesamten Projektgebietes.

### 3.2.4. PROFILE

Das SCOP-Anwenderprogramm SCOP-PROFILES interpoliert Höhenkoten im DTM. Beliebige Längs- oder Querprofile können berechnet und anschließend geplottet werden. Hierbei folgt die Profiltrasse je nach Aufgabenstellung einem Polygon, einfacheren Kurven, aber auch Klotoiden. Weiters besteht die Möglichkeit, Höhenkoten für

Punktfelder zu interpolieren (INSTITUT FÜR PHOTOGRAMMETRIE 1986).

Die im Zuge der Meßkampagne 1986/87 aufgenommenen Punkte im Bereich des offenen Sees definieren Polygone, die bei geeigneter Auswahl der Punktfolge Grundlage repräsentativer Profile des Seebodens sein können. Für den vorliegenden Bericht wurden zwei See-Querprofile ausgewählt, deren Lage in Abb.3.7 dargelegt ist (Abb.3.7). Profil A durchschneidet das Seebecken ausgehend von der Bucht westlich der Biologischen Station in Ost-West-Richtung. Abb.3.8 zeigt die Lage der als Profilpunkte adaptierten Remote-Punkte und damit die Lage des Profils im Maßstab 1:25000 sowie das Profil ansich, und zwar sowohl für den festen Untergrund als auch für die Schlammoberfläche (Abb.3.8).

Beginnen wir am östlichen Endpunkt des Profils und bewegen wir uns nach Westen, so wird die Beckenstruktur der Bucht klar ersichtlich. Im festen Untergrund scheint sich diese Wanne sogar bis in den Schilfgürtel zu erstrecken. Nach Überschreiten des am Buchtausgang gelegenen Höhenrückens, der sowohl im festen Untergrund als auch im Schlammoberflächen-Relief klar ersichtlich ist, folgt ein mehr oder weniger ausgeprägter Abfall (Geländestufe) seewärts. Die Niveau-Unterschiede sind hierbei beim Profil des festen Untergrundes wesentlich markanter als beim Profil für die Schlammoberfläche und betragen 80 cm gegenüber 40 cm auf ca. 500 m. Einer relativ ebenen Strecke folgt ein in Seemitte situierter leichter Höhenrücken. Dem Westufer zu steigt der Seeboden ab nun kontinuierlich an. Der am westlichen Schilfrand abgesetzte Meßpunkt liegt sowohl für die Schlammoberfläche als auch für die Oberfläche des festen Seeuntergrundes um ca. 40 cm höher als sein Pendant am Ostufer. Dies könnte auf die wesentlich ausgeprägtere Sedimentierung am westlichen Schilf-See-Rand hindeuten. Profil B liegt nahe der ungarischen Staatsgrenze südlich von Mörbisch (vgl. Abb.3.7).

Eine Diskussion des in Abb.3.9 kartierten See-Querprofils muß einerseits auf die in diesem schmalen Seeteil schön dokumentierte Seewanne, andererseits auf den in Richtung Mörbischer Schilfinself ausgeprägt ansteigenden Reliefverlauf eingehen (Abb.3.9).

Die in diesem Bereich durch die geringe Ost-West-Erstreckung des offenen Sees wirksame Strömung schafft die erwähnte markante Durchzugsrinne, während durch Abschwächung der Wasserzirkulation in Richtung Mörbischer Schilfinself bereits mehrere hundert Meter vor den Schilfzonen ein signifikanter Anstieg des Seebodens zu erkennen ist. In dem schmalen offenen Seebereich zwischen den Schilfinseln und dem geschlossenen Schilfgürtel am Westufer des Sees hat sich ebenfalls eine leichte Senke im See-Querprofil ausgebildet. Im großen und ganzen ist der Profilverlauf für den festen Seeboden ähnlich dem für die Schlammoberfläche. Auffallend ist der starke Abfall des Terrains am Ostufer des Sees, und zwar ca. 80 cm auf 400 m für den festen Untergrund.

Wiederum sollen die nunmehr kurz vorgestellten Profile als Beispiele für die Vielzahl der Profilm Manipulationen stehen, die im Zuge der Verarbeitung der Rasterhöhendaten des Seebodens mittels SCOP möglich sein werden. Durch Profilinterpolation ist es dann möglich, an jeder beliebigen Stelle des DTM und auf Basis verschiedener wählbarer Profiltrassen die Höhenverhältnisse im See und im Schilfgürtel wiederzugeben.

An dieser Stelle soll noch auf die wichtigsten weiteren Programme des Programmsystems SCOP in Hinblick auf ihre mögliche Anwendung zur Weiterverarbeitung der Meßpunktdaten Neusiedler See hingewiesen werden.

SCOP-SLOPE dient der Ableitung eines digitalen Neigungsmodelles aus einem DTM. Werden die so ermittelten Daten als Eingabe für SCOP-DTM und die SCOP-Anwenderprogramme verwendet, können z.B. Linien gleicher Neigung mit SCOP-ISOLINES gerechnet und geplottet werden.

Von besonderer Bedeutung für ein Konvolut an anwenderorientierten Auswertungen der Reliefdaten ist das Programm SCOP-INTERSECT. Die Algorithmen dieses Programmes ermöglichen die Berechnung von Differenzen zweier DTM. Dadurch können Schlammvolumina und im einfacheren Fall (horizontale Bezugsfläche) Wasservolumina berechnet werden (vgl. Kap.3.2.2.). Ebenfalls bereits in Abb.3.4, Kap.3.2.2., ist eine weitere Verarbeitungsvariante der Höhendaten angedeutet. Durch Verschneidung von Raster- und Vektordaten, in unserem Falle des DTM mit Schilfgrenzlinien (nach CSAPLOVICS 1982), wird ein interessanter Aspekt der dreidimensionalen, die Reliefvarianzen des Untergrundes berücksichtigenden Darstellung der Schilf-Wasser-Grenzlinien möglich. Schließlich können mit Hilfe des Programmes SCOP-PERSPECTIVES Projektionen des DTM unter beliebigen Winkeln auf beliebige Ebenen ausgeführt werden (KAGER 1984).

Diese Verarbeitungsmöglichkeit öffnet ein breites Spektrum zur Veranschaulichung des charakteristischen Seebodenreliefs in Verbindung mit Wasserstand und Schilfbereichen bis hin zur Simulation von Modellfällen verschiedenster theoretischer Wasserstandsverhältnisse. Andeutungsweise soll vor allem auf den Aspekt der Ersichtlichmachung des Trockenfallens entsprechender Schilfbereiche bei sommerlichem Niedrigwasserstand aufmerksam gemacht werden.

Durch Verschneidung der Wasseroberfläche mit dem DTM der Schlammoberfläche können diese Bereiche auch mathematisch definiert und lage-, höhen- und flächenrelevant dokumentiert werden.

## 4. BEMERKUNGEN ZUM PHÄNOMEN REFRAKTION

## 4.1. GRUNDLAGEN (WESTPHAL 1970)

Gleich mechanischen Wellen unterliegen auch Lichtwellen beim Übergang von einem Stoff in einen anderen, wobei jeweils unterschiedliche Lichtgeschwindigkeiten vorausgesetzt werden, einer Richtungsänderung, die Brechung oder Refraktion genannt wird.

Für isotrope Stoffe gilt das Brechungsgesetz von SNELLIUS (SNELLIUS 1615), das von DESCARTES theoretisch bewiesen wurde. Sind  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  die Winkel, die der Lichtstrahl mit dem Lot einschließt, und  $c_1$  und  $c_2$  die Lichtgeschwindigkeiten in zwei Stoffen, so gilt:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = n_{21} \quad (4,1)$$

Die Größe  $n_{21}$  wird relative Brechzahl des Stoffes 2 gegenüber dem Stoff 1 genannt. Aus Gleichung (4,1) folgt, daß  $\alpha_1 > \alpha_2$  ist, wenn  $c_1 > c_2$  gilt, und  $\alpha_1 < \alpha_2$  ist, wenn  $c_1 < c_2$  gilt.

Werden die Brechzahlen des Lichtes auf das Vakuum (Lichtgeschwindigkeit  $c_0$ ) bezogen, so folgt für die Brechung eines Lichtstrahles, der aus dem Vakuum in einen Stoff, in dem die Lichtgeschwindigkeit  $c$  herrscht, einfällt:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha} = \frac{c_0}{c} = n \quad (4,2)$$

Die Größe  $n$  ist die Brechzahl des Stoffes.

In Kenntnis der Proportion  $n_1 : n_2 = c_2 : c_1$  kann geschrieben werden:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4,3)$$

Gleichung (4,3) besagt, daß Lichtstrahlen vom Lot gebrochen werden, wenn  $n_2 < n_1$  ist, bzw. zum Lot gebrochen werden, wenn  $n_2 > n_1$  ist.

Für die Erdatmosphäre soll nun die Änderung der Brechzahl in Funktion der Höhe angegeben werden. Der Brechungsindex von Gasen, also auch von Luft, ist nach GLADSTONE-DALE von der Dichte des Gases abhängig:

$$\frac{n-1}{\rho} = C \quad (4,4)$$

Hierbei ist  $C$  eine Refraktionskonstante.

Im Normalfall nimmt die Dichte der Luft mit zunehmender Höhe ab. Das bedeutet, daß in diesem Fall der Gradient  $d\rho/dh$  und daher auch der Gradient  $dn/dh$  negativ sind.

Aus dem Brechungsgesetz von SNELLIUS folgt, wenn  $\alpha_i$  der Winkel eines Lichtstrahles zum Lot in einer Luftschicht mit der Dichte  $\rho_i$  und  $\alpha_{i+1}$  der Winkel zum Lot in einer unmittelbar darüber liegenden Luftschicht mit der Dichte  $\rho_{i+1}$  ist, wobei  $\rho_{i+1} < \rho_i$  und daher auch  $n_{i+1} < n_i$  gelte, daß  $\alpha_i < \alpha_{i+1}$  gegeben ist. Ein Zielstrahl wird daher im Normalfall bei Zenitdistanzen kleiner  $90^\circ$  vom Lot gebrochen werden, bis der Einfallswinkel an einer Grenze zweier Luftschichten den Wert des Grenzwinkels der Totalreflexion  $\sin \alpha_g = n_{i+1}/n_i$  überschreitet. Es ergibt sich demnach bei homogen geschichteter Luft mit negativem Vertikalgradienten  $d\rho/dh$  ein gekrümmter Zielstrahlverlauf, der näherungsweise als Kreisbogen angesehen werden kann.

Differentiell läßt sich die Krümmung der Lichtkurve wie folgt darstellen:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dh} \cdot \sin \alpha_i \quad (4,5)$$

Die Zenitdistanz des Zielstrahles im jeweils betrachteten Punkt des Zielstrahlverlaufes wird mit  $z_i$ , der Krümmungsradius mit  $r$  bezeichnet.

Um  $dn/dh$  in Abhängigkeit von  $d\rho/dh$  näher beschreiben zu können, ist die Kenntnis der allgemeinen Zustandsgleichung für Gase, des BOYLE - MARIOTTE - GAY-LUSSAC schen Gesetzes, vonnöten:

$$p = \frac{R \cdot T}{V} \quad (4,6)$$

$R$  ist die universelle Gaskonstante. Nun folgt, daß  $dn/dh$  eine Funktion von Druck  $p$ , Temperatur  $T$  und den vertikalen Gradienten dieser Größen ist:

$$\frac{dn}{dh} = f(p, T, \frac{dp}{dh}, \frac{dT}{dh}) \quad (4,7)$$

Eine Möglichkeit,  $dn/dh$  explizit darzustellen, ist (MOZZUCHIN 1977):

$$\frac{dn}{dh} \approx -79.2 \cdot \frac{p}{T^2} \cdot (0.0342 - \frac{\delta_1}{T}) \quad (4,8)$$

$\delta_1$  ist der Temperaturgradient in  $Z = 1m$  Höhe.

## 4.2.METHODEN DER REFRAKTIONSBESTIMMUNG

Von primärer Bedeutung für die geodätischen Arbeiten im Zuge des Projektes Seevermessung ist die Frage, auf welche Weise die Refraktion während der trigonometrischen Höhenmessung größtmäßig erfaßt werden kann. Der Winkel, den die Tangente an den gekrümmten Zielstrahl im Standpunkt mit der geradlinigen Verbindung von Stand- und Zielpunkt einschließt, wird Refraktionswinkel  $\delta$  im Standpunkt genannt und charakterisiert das Ausmaß der Refraktion ausschließlich für den Standpunkt (vgl. Abb.1.1).

Bei stetigem Temperaturverlauf in der Atmosphäre und bei Kenntnis des lokalen Refraktionskoeffizienten  $\mathfrak{K}(x)$  entlang des Zielstrahles kann  $\delta$  wie folgt dargestellt werden (FEARNLEY 1884):

$$\delta = \frac{1}{R \cdot s} \int_0^s (s-x) \cdot \mathfrak{K}(x) dx \quad (4,9)$$

$R$  ist der mittlere Erdradius,  $s$  die Zielweite,  $\mathfrak{K}(x)$  der lokale Refraktionskoeffizient und  $x$  mit  $0 \leq x \leq s$  die laufende Koordinate.

Bei Annahme eines kreisförmigen Verlaufes des Zielstrahles kann als einfachster Fall ein Bezug zwischen dem mittleren Erdhalbmesser  $R$  und dem Radius des Zielstrahlbogens  $r$  durch die Beziehung  $R = r \cdot k$  hergestellt werden. Die Größe  $k = R/r$  wird Refraktionskoeffizient genannt.

Unter diesen vereinfachenden Annahmen gilt für den Refraktionswinkel im Standpunkt die Beziehung (JORDAN, EGGERT, KNEISSL 1956):  $\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{r}$  bzw. mit  $r = \frac{R}{k}$   $\delta = \frac{k}{2} \cdot \frac{d}{R}$  (4,10)

Durch  $d$  wird die Horizontalabstand zwischen Stand- und Zielpunkt bezeichnet.

Eine einfache Methode der Bestimmung von  $k$  folgt aus der Auflösung der Ingenieurformel der trigonometrischen Höhenmessung, wie sie durch Gleichung (1,3) angegeben wird. Diese Formel genügt den Genauigkeitsansprüchen unter der Voraussetzung flacher Visuren und Schrägdistanzen kleiner 3 km.

$$k = 1 - \frac{2R}{d^2} (\Delta h - d \cdot \cot \alpha) \quad (4,11)$$

Voraussetzung für die Bestimmung des Refraktionskoeffizienten aus Gleichung (4,11) ist die Kenntnis des Höhenunterschiedes  $\Delta h$  zwischen dem Standpunkt und dem Zielpunkt, sowie der Horizontalabstand zwischen den beiden Punkten. Dies ist bei Visur vom lage- und höhenmäßig bestimmten Standpunkt zu einem koordinativ bekannten Ziel möglich. Diese Methode der fortwährenden Bestimmung des Refraktionskoeffizienten im Zuge einer Meßkampagne wird, wie noch zu erläutern sein wird, bei den trigonometrischen Höhenmessungen des Projektes Seevermessung Neusiedler See angewandt.

Die am häufigsten benutzte Methode zur Refraktionsbestimmung ist die gegenseitige gleichzeitige Messung von Zenitdistanzen im Stand- und Zielpunkt. Das Mittel des nach Gleichung (1,3) bzw. Gleichung (1,4) berechneten Höhenunterschiedes zwischen Stand- und Zielpunkt ist nicht mehr von der Unsicherheit des Refraktionswinkels  $\delta$ , sondern von der Unsicherheit der Differenz der Refraktionswinkel im Stand- und im Zielpunkt  $\Delta \delta = \delta_{12} - \delta_{21}$  abhängig. Bei Gleichzeitigkeit der Zenitdistanzmessungen im Stand- und im Zielpunkt erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, daß die beiden Refraktionswinkel sehr wenig voneinander abweichen.

Bereits seit dem 18. Jahrhundert wurden Meßreihen zur Bestimmung des Refraktionskoeffizienten durchgeführt. Vereinfachend nahm man an, daß durch die Gleichzeitigkeit der Zenitdistanzmessungen  $\delta_{12} = \delta_{21}$  wird und damit folgt (JORDAN, EGGERT, KNEISSL 1956):

$$k = 1 - \frac{R}{d} \left( \frac{\beta - \alpha}{g} \right) \quad (4,12)$$

$\alpha$  und  $\beta$  sind die Höhenwinkel im Stand- bzw. Zielpunkt,  $g$  ist die Konstante  $180^\circ/\pi$ .

Als Mittelwert für den Refraktionskoeffizienten  $k$  dient der von GAUSS 1823 ermittelte Wert von  $k = 0.13$ . Aber bereits all die historischen Meßreihen zur Berechnung von Mittelwerten des Refraktionskoeffizienten haben gezeigt, daß  $k$  großen Schwankungen unterliegt. Bei Annahme einer mittleren Abweichung von ca. 1/4 des Wertes für  $k$  hat sich die gebräuchliche Schreibweise  $k = 0.13(1 \pm 0.25)$  eingebürgert. Dessenungeachtet sind auch negative Refraktionskoeffizienten möglich, die eine Krümmung des Zielstrahles beschreiben, die nicht nach unten konkav, sondern konvex ist (vgl. Abb.4.2).

Physikalische Methoden der Refraktionsbestimmung beruhen auf der genauen Ermittlung atmosphärischer Parameter während der Zenitdistanzmessung und auf der auf Modellvorstellungen über den Aufbau der Luftschichten beruhenden Berechnung der Refraktionswinkel.

Andere Ansätze gehen von der physikalischen Eigenschaft der Dispersion des Lichtes aus (BAHNERT 1982; GLISSMANN 1978; WILLIAMS 1978).

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen in einem Medium ist eine Funktion der Frequenz

der Schwingungen. Für kleiner werdende Wellenlängen nimmt auch die Lichtgeschwindigkeit ab, der Brechungsindex wird größer. Im Bereich des sichtbaren Spektrums wird daher rotes Licht am geringsten, violettes Licht am stärksten gebrochen. Tageslicht wird beim Durchgang durch ein dichteres Medium in seine Farbkomponenten zerlegt. Diese Erscheinung wird Dispersion genannt.

Bei Visur zu einer in einem Zielpunkt befindlichen Lichtquelle, die stark gebündeltes, monochromatisches Licht aussendet (Laser), verlaufen die Licht- bzw. Zielstrahlen zufolge des Refraktionseinflusses gekrümmt. Die Dispersionswirkung führt dazu, daß Lichtwellen verschiedener Wellenlängen unterschiedlich gekrümmte Kurven beschreiben. Die Größenordnung dieser Differenzen ist jedoch sehr gering und äußert sich bei einer Zielweite von ca. 20 km in einem maximalen Strahlenabstand (violett - rot) von ca. 5 mm (TENGSTROM 1974). Der Dispersionswinkel  $\Delta\delta$  wird aus der Differenz der Refraktionswinkel im Standpunkt gebildet,  $\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2$ . Aus der Bestimmung des Dispersionswinkels kann somit direkt auf den Refraktionswinkel geschlossen werden. Die Kleinheit der zu messenden Größe erfordert jedoch die Anwendung komplizierter und teurer Technologie (Laser, Cassegrain-Fernrohr). Für die Praxis sind daher diese Meßverfahren vorläufig nur sehr bedingt geeignet.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, daß die vorliegende kurze Beschreibung der Vertikalrefraktion und der Möglichkeiten ihrer größenmäßigen Bestimmung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Die Komplexität der Fragestellung verlangt eine wesentlich umfangreichere Darstellung. Dies würde jedoch den Rahmen des für das Projekt Seevermessung Wissenswerten sprengen.

Zum Zwecke des weiteren Studiums der Grundlagen der Refraktion und der Vielzahl ihrer physikalischen, mathematischen und geometrischen Bestimmungsmöglichkeiten wird auf die vorhandene Literatur verwiesen (z.B. WUNDERLICH 1985).

#### 4.3.DIE BERÜCKSICHTIGUNG DER VERTIKALREFRAKTION IM ZUGE DES PROJEKTES SEEVERMESSUNG

Die projektspezifische Meßanordnung zur Ermittlung von Zenitdistanzen von Master-Stationen zu Zielpunkten im Schilf-See-Bereich des Neusiedler Sees schließt die Anwendung der Methode der gleichzeitigen gegenseitigen Messung von Zenitdistanzen zur Minimierung des refraktionsbedingten Fehlereinflusses auf die trigonometrisch bestimmten Höhenunterschiede aus. Vielmehr wird der aus einseitig gemessenen Zenitdistanzen zu koordinativ bekannten Zielen, die in Visurrichtung zum Untersuchungsgebiet liegen, berechenbare Refraktionskoeffizient nach jedem Meßvorgang zu einer Remote-Station bestimmt und als aktueller Wert in die Berechnung der Höhenunterschiede eingeführt.

Bei koordinativ bekannter Lage und Höhe des Stand- und Zielpunktes folgt die bereits erwähnte Gleichung (4,11):

$$k = 1 - \frac{2R}{d^2} (\Delta h - d \cdot \cot z)$$

Mit Hilfe der aus den Koordinaten berechneten Größen Höhenunterschied  $\Delta h$  und Horizontalabstand  $d$ , der gemessenen Zenitdistanz  $z$  und des mittleren Erdradius  $R$  kann somit  $k$  laufend berechnet werden.

Für zwei Meßtage soll im folgenden exemplarisch der aus den wiederholten Messungen zur Vertikalrefraktionsbestimmung resultierende Gang des Refraktionskoeffizienten diskutiert werden. Die Lage der zu besprechenden Visuren ist Abb.3.7 zu entnehmen.

Die erste Visur weist als Standpunkt die Master-Station 29000 und als Zielpunkt den KT 62-78 auf. Der Zielstrahl verläuft fast ausschließlich über der offenen Wasserfläche des Neusiedler Sees. Die Schwankungen des Betrages des Refraktionskoeffizienten für den Zeitraum der Messungen (7.9.1987, 10<sup>h</sup>-19<sup>h</sup>) zeigt Abb.4.1 (Abb.4.1). Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts war bekannt, daß die Refraktion unter Normalbedingungen einen ziemlich regelmäßigen Tagesverlauf zeigt. Vom Morgen bis zum Mittag nimmt ihr Wert ab, um gegen den Abend wieder in ähnlichem Ausmaß anzuwachsen. Ein übereinstimmendes Bild gibt auch das Diagramm in Abb.4.1 wieder. Da die Messungen erst um 10<sup>h</sup> vormittags begonnen haben, ist der morgendliche Teil des Tagbogens nicht erfaßt. Das mittägliche Minimum der Refraktion ist deutlich erkennbar und beträgt in etwa  $k = 0.10$ . Der signifikante Anstieg auf Werte bis über 0.20 bis 19<sup>h</sup> steht in Übereinstimmung mit bereits postulierten Aussagen historischer Meßreihen (z.B. HARTL 1883).

Auch Untersuchungen rezenter Datums zeigen für Meßzeiträume ähnlich dem im vorliegenden Beispiel angegebenen signifikante Tagesgänge des Refraktionskoeffizienten mit einem Minimum zu Mittag und einem Maximum am Abend (z.B. MENUCHOV 1978).

Als zweites Beispiel dient eine Visur im Südost-Teil des Sees, vom Standpunkt 40000 zum KT 116-108 (Abb.4.2). Dieser Zielstrahl verläuft im Gegensatz zum ersten Beispiel nicht nur über Wasserflächen, sondern über heterogenem Relief, das sowohl Wasser- als auch Schilf- und Festlandstrecken aufweist.

Der in Abb.4.2 für den Meßzeitraum 14.10.1987, 10<sup>h</sup>-18<sup>h</sup>, dargestellte Verlauf des Refraktionswinkels zeigt dennoch ein dem Diagramm in Abb.4.1 ähnliches Bild. Die symptomatischen Extrema sind jedoch deutlich stärker ausgebildet. So ist knapp vor dem Mittag das Auftreten negativer Refraktion dokumentiert. Ab 12<sup>h</sup> steigt der Betrag des Refraktionswinkels stark an und erreicht am Nachmittag ausgeprägte Maximalwerte ( $\delta = 100^{\text{CC}}$  bzw.  $k = 0.30$ ). Am Abend scheinen sich diese Werte nach leichtem Abfall zu stabilisieren.

Ein Vergleich dieses Kurvenverlaufes mit Bestimmungen der Refraktionswinkel durch Messung eines vertikalen Viereckes in gebirgigem Gelände ist sicher gewagt, da die atmosphärischen und topographischen, aber auch themenrelevanten Faktoren stark differieren. Dennoch ist in den meisten Fällen für den Zeitraum 10<sup>h</sup>-18<sup>h</sup> ein ähnlicher Kurvenverlauf diagnostizierbar (WUNDERLICH 1985).

Die vorliegende exemplarische Diskussion der Dynamik der Vertikalrefraktion während der Meßarbeiten am Neusiedler See basiert auf einer Meßanordnung und Datenverarbeitung, die auf die möglichst gute Beherrschung des Ganges des Refraktionskoeffizienten zur Genauigkeitssteigerung bei der Berechnung von Höhenunterschieden zwischen Master-Stationen und Meßpunkten im Schilf-See-Bereich ausgerichtet sind. Hauptziel der Messungen ist demgemäß nicht die wissenschaftliche Untersuchung der Refraktionsphänomene am Neusiedler See. Dennoch liefern die Messungen repräsentative Daten zur Charakterisierung dieser Effekte.

In diesem Zusammenhang sei nur am Rande auf skizzenhafte Untersuchungen der Horizontalrefraktion durch Analyse des projektrelevanten Datenpools hingewiesen.

Es ist geplant, das Konvolut an refraktionsspezifisch auswertbaren Daten, wie auch angeregt wurde (BRAND-STÄTTER 1987), näheren, systematischen Untersuchungen hinsichtlich der Beschreibung der Refraktionsdynamik über Schilf- und Seeflächen des Neusiedler Sees zu unterziehen.

##### 5. BEMERKUNGEN ZUR SEETIEFENBESTIMMUNG MITTELS ECHOLOT

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt (CSAPLOVICS 1987c), wurde für die Seetiefenvermessung am Neusiedler See auch die Anwendung des Echolot-Verfahrens in Betracht gezogen.

Überblicksartig gewonnene Daten für die offene Seefläche liegen aus früheren Arbeiten vor (LÖFFLER 1979). Das Prinzip der Echolot-Tiefenmessung baut auf folgender Beziehung auf:

$$c = \nu \cdot \lambda = \frac{\lambda}{T} \quad (5,1)$$

Die Ultraschall-Geschwindigkeit  $c$  wird aus dem Produkt von Frequenz  $\nu$  und Wellenlänge  $\lambda$  bzw. aus dem Quotienten von Wellenlänge  $\lambda$  und Schwingungsdauer  $T$  gebildet.

Die Ultraschall-Geschwindigkeit in Wasser ergibt sich zu:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\alpha \cdot \rho_w}} \quad (5,2)$$

Hierbei ist  $\alpha$  die Kompressibilität und  $\rho_w$  die Dichte des Wassers.

Die Wassertiefe kann nun gemäß folgender Gleichung berechnet werden (HEYNE 1981) (Abb.5.1):

$$z = \frac{c \cdot t}{2} + s \quad (5,3)$$

Die gesuchte Wassertiefe ist somit eine Funktion der Ultraschall-Geschwindigkeit in Wasser  $c$ , der zu messenden Ultraschall-Laufzeit  $t$  und der Eintauchtiefe des Ultraschall-Schwingers  $s$ .

Zufolge der Komplexität der projektspezifischen Aufgabenstellung im Sinne der Höhenbestimmung von zwei Bezugsflächen im gesamten Schilf-See-Bereich des Neusiedler Sees hat sich jedoch die Anwendung der Echolot-Tiefenmessung vor allem wegen ihrer problematischen Handhabung im Schilfbereich als nicht zweckmäßig erwiesen. Im Schilfbereich liegt ein durch steten Wechsel von Rhizom- und Wasserflächen strukturiertes Oberflächenprofil vor, das fehlerhafte Tiefenmessungen mittels Echolot bewirkt.

Generell kann eine mittlere Genauigkeit der Echolot-Tiefenmessung durch folgende Gleichung angegeben werden (GROTHENN 1962):

$$m_z = \pm \sqrt{19 + 0.6z^2} \quad (5,4)$$

In Gleichung (5,4) besitzt der mittlere Fehler der Tiefenmessung  $m_z$  die Dimension cm, die Wassertiefe  $z$  die Dimension m.

Im vorliegenden Projektfall ergäbe dies bei einer mittleren Seetiefe von 1.2 m einen Fehler der Tiefenmessung von ca.  $\pm 4.5$  cm. Bei dieser Fehlerabschätzung ist die ebenfalls mit Ungenauigkeiten behaftete Bestimmung der Bezugshöhe (Höhe des Wasserspiegels) nicht berücksichtigt.

Der Beschickungsfehler, das ist der Höhenfehler der geometrisch oder tachymetrisch bestimmten Wasseroberfläche, liegt bei ca.  $\pm 20$  cm. Betrachten wir daher im Kontext den mittleren Fehler einer mit Echolot ermittelten absoluten Höhe eines auf einer ebenen Unterwassersohle gelegenen Punktes (HEYNE 1982):

$$m_{H,abs} = \pm \sqrt{0.01z^2 + 427} \quad (5,5)$$

Für eine Wassertiefe von 1.2 m resultiert ein mittlerer Fehler der absoluten Punkthöhe von ca.  $\pm 20.7$  cm. Man käme also auch bei der Anwendung von Echoloten zur Tiefenmessung am Neusiedler See nicht umhin, genaue Verfahren der Höhenbestimmung der Meßpunkte einzusetzen. Damit wird aber der Meßaufwand noch größer und die Meßunsicherheit in keinem Fall geringer (Horizontierung des Echolotes u.ä.) als bei der im Zuge des Projektes Seevermessung Neusiedler See zur Anwendung gelangenden Meßmethode.

Noch komplexer werden die Bedingungen beim Vorliegen geneigter Unterwasserhänge. Zufolge der kegelförmigen Ausbreitung des Ultraschalles (vgl. Abb.5.1) vergrößert sich der durch den Schallkegel erfaßte Bereich. Im allgemeinen wird die Wassertiefe um folgenden Wert zu klein gemessen:

$$K_H = z' \cdot \sin \frac{\Theta}{2} \cdot (\tan \varepsilon - \tan \frac{\Theta}{4}) \quad (5,6)$$

$\Theta$  ist der Öffnungswinkel des Schwingers,  $\varepsilon$  ist der Hangneigungswinkel und  $z'$  die gemessene Wassertiefe. Die exakte Bestimmung dieser Unsicherheit wird im wesentlichen durch die nicht genaue Erfassbarkeit des Hangneigungswinkels beeinträchtigt. Ausgehend vom Öffnungswinkel des Schallfeldes eines gängigen Echolotes (Sonometer 40 - 46.8°) tritt ein zu berücksichtigender Hangneigungsfehler erst ab Hangneigungen größer 11.7° auf (HEYNE 1982).

Im Schilfbereich führen nun nicht nur die stark unterschiedlichen Neigungsverhältnisse im heterogenen Schilfrhizombereich, sondern auch Effekte des sogenannten back-scattering der Schallwellen zufolge starker Streuung durch die differenzierten Unterwasserstrukturverhältnisse zu großen Genauigkeitsverlusten.

Neuerdings ermöglichen LASER-Verfahren zur Tiefenmessung eine extrem schmale Bündelung der elektromagnetischen Lichtwellen. Dadurch kann die Meßgenauigkeit gegenüber Echolot-Verfahren gesteigert werden (LANGE 1972).

Eine weitere Fehlerquelle bei der Messung von Seetiefen mittels Echolot folgt aus der Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit im Wasser von der Dichte des Wassers, also von der Temperatur, Salinität und Wassertiefe.

Örtliche und/oder zeitliche Schwankungen dieser Parameter führen zu Meßfehlern zufolge der Unsicherheit der Schallgeschwindigkeit im Bereich von  $\Delta c = \pm 10-20$  m/sec bei sommerlichen Bedingungen. Echolot-Messungen erfordern aus diesem Grund die Kenntnis von Temperaturprofilen und der Salinität des Wassers im jeweiligen Untersuchungsgebiet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß trotz der Fülle der die Genauigkeit der Tiefenmessung mittels Echolot beeinflussenden Faktoren auch am Neusiedler See in gewissen Bereichen durchaus akzeptable Meßgenauigkeiten erreicht werden könnten. Bei Berücksichtigung der Heterogenität des Unterwasserreliefs in den Schilfbereichen und der unterschiedlichen Oberflächenstruktur der Weichschlamm-Festschlamm-Gebiete im offenen See müssen diese Aussagen relativiert werden.

Entscheidend für die Problematik der Anwendung eines Aktivsensor-Systemes zur Vermessung des Seebodens ist das Faktum, daß die zu ermittelnden Meßdaten nicht relative Tiefen, sondern Absoluthöhen von Meßpunkten beschreiben sollen. Nur durch Koppelung hochgenauer Verfahren zur koordinativen Bestimmung der Meßpunkte und zur Tiefenmessung in situ können die Genauigkeitsansprüche erfüllt werden. Die im Zuge des Projektes Seevermessung angewandte Methode der trigonometrischen Höhenbestimmung liefert optimale Genauigkeiten für die Höhen der Meßpunkte und gestattet des weiteren durch Absetzen von Meßplatten in situ die genaue Tiefenbestimmung für zwei Bezugsflächen. Um einheitliche Diskussionsgrundlagen zu erhalten, ist als wichtiges Gebot die Anwendung einer einheitlichen Meßanordnung sowohl für den Wasser- als auch für den Schilfbereich zu realisieren.

## 6. AUSBLICK

Nach der Feldaufnahme der restlichen Schilfbereiche, die im Laufe des Frühjahres und des Sommers 1988 durchgeführt werden soll, und der einzuplanenden, zum momentanen Projektstand noch nicht gesicherten zusätzlichen Vermessung eines Randbereiches außerhalb der landseitigen Schilfbereiche, die der Erfassung der Höhenlinie 116.50 m als Begrenzung des relevanten Seebeckens dienen soll, soll die Datenaufbereitung teilweise parallel zu den letzten Meßvorgängen, hauptsächlich jedoch im Block nach Abschluß der Arbeiten in situ, vorgenommen werden. Wie den entsprechenden Kapiteln der vorliegenden Arbeit zu entnehmen ist, wird der Datenpool mit Hilfe des Programmsystemes SCOP des Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien zu einem digitalen Geländemodell verarbeitet und anschließend durch Anwendung thematischer Software-Module als Höhenlinienkarten, Profile, Perspektivansichten usw. ausgegeben werden. Weitere geplante Analysen der Projektdaten beziehen sich auf die Ausgabe von Volumina als Differenz der beiden relevanten digitalen Geländemodelle

für den festen Untergrund und die Schlammoberfläche bzw. die Berechnung und graphische Simulation von Verschneidungen der digital codierten Schlammoberfläche mit Horizontalflächen, die unterschiedliche Wasserstände symbolisieren. Wie bereits erwähnt wird es möglich sein, für beliebige Wasserstände die trockenfallenden Bereiche zu dokumentieren und lage-, höhen- und flächenmäßig auszugeben.

Damit ist ein Hauptziel des Projektes Seevermessung angedeutet. Die vom geodätischen Standpunkt ausgewerteten und kartographisch dokumentierten bzw. EDV-gestützt verarbeiteten und gespeicherten Reliefdaten sollen dem Aspekt der Benutzerfreundlichkeit für die Anliegen möglichst vieler involvierter Wissenschaften Genüge leisten. Dies ist durch die im vorliegenden Bericht skizzierte und in Excerpten dargestellte Methode der Verarbeitung sichergestellt.

In weiterer Folge können Zeitreihen der Reliefdynamik des Neusiedler Sees durch Digitalisieren der relevanten historischen Daten (KOPF 1964; KOPF 1964-1968) aufgebaut werden.

Ein wichtiger Aspekt ist die Komplettierung der Höhenlinienkarten für den gesamten See. Dies ist durch das Digitalisieren der für den ungarischen Anteil am Neusiedler See vorliegenden Karten möglich (VIZGAZDALKOTASI TUDOMANYOS KUTATO KÖZPONT (ed.) 1981).

So steht als endgültiges Projektziel die Schaffung eines umfassenden digitalen Datenpools zur Charakterisierung des gesamten Neusiedler See - Raumes fest.

Weiterführend wird dieses Konvolut Grundlage für die Überlagerung mit anderen thematischen Flächen- oder Punktdaten (z.B. CSAPLOVICS 1982) nach dem Overlay-Prinzip geographischer Informationssysteme (GIS) sein. Insbesondere dient das DTM Neusiedler See als wichtiges Basisdatenarchiv für die Weiterführung der Forschungen zur Schaffung eines auf den Methoden der Fernerkundung basierenden Systems zur Aufnahme, Interpretation und Kartierung des Naturraumes Neusiedler See (CSAPLOVICS 1987d).

#### LITERATUR

- BAHNERT,G.,1977: Die Berechnung trigonometrischer Höhenunterschiede. Vermessungstechnik, 25.Jg., H.12, 417-420, Berlin.
- BAHNERT,G.,1982: Die Bestimmung der terrestrischen Refraktion aus der Dispersion des Lichtes. Vermessungstechnik, 30.Jg., H.2, 52-55, Berlin.
- BAHNERT,G.,1985: Bildflimmern und terrestrische Refraktion. Vermessungstechnik, 33.Jg., H.4, 127f., Berlin.
- BRANDSTATTER,G. et al.,1981: Die Höhe des Großglockners. Geowiss.Mitt.18, TU Wien.
- BRANDSTATTER,G.,1987: Stellungnahme zum Projekt Neusiedler See - Seevermessung. Interne Stellungnahme, unveröffentlicht.
- CSAPLOVICS,E.,1982: Interpretation von Farbinfrarotbildern - Schilfkartierung Neusiedler See. Geowiss.Mitt.23, TU Wien.
- CSAPLOVICS,E.,1985: Die land- und seeseitige Ausdehnung des Schilfgürtels des Neusiedler Sees. AGN-Forschungsbericht 1981-1984, WAB 72, 63f., Eisenstadt.
- CSAPLOVICS,E.,1987a: Die Neuvermessung des Seebodens des Neusiedler Sees - Grundlagen und Zwischenbericht. BFB-Bericht 63, 69-79, Illmitz.
- CSAPLOVICS,E.,1987b: Projekt Seevermessung - Zwischenbericht 1985/86. Interner Zwischenbericht, unveröffentlicht.
- CSAPLOVICS,E.,1987c: Projekt Seevermessung - Stellungnahme der Projektleitung zum Projektstand und zur Kostensituation, Stand Nov.1987. Interne Stellungnahme, unveröffentlicht.
- CSAPLOVICS,E.,1987d: Fernerkundung am Neusiedler See. Geowissenschaften in unserer Zeit, 5.Jg., H.4, 129-136, Weinheim.
- FEARNLEY,C.,1884: Zur Theorie der terrestrischen Refraktion. Verh.7.Allg.Conferenz Europ.Gradmessung Rom 1883, Anhang 13-27, Berlin.
- GLISSMANN,T.,1978: Ein Koinzidenzverfahren zur Messung von refraktionsfreien Richtungen. Zeitschrift für Vermessungswesen, Jg.103, H.5, 209-216, Stuttgart.
- GROTHENN,D.,1964: Untersuchungen zur Wattvermessung. Diss.TH Hannover.
- HARTL,H.,1883: Beiträge zum Studium der terrestrischen Strahlenbrechung. Mitt.k.u.k.Militärgeogr.Inst., Bd.3.
- HEYNE,K.-H.,1981: Hydrographische Lotungs-Meßverfahren. Vermessungstechnik, 29.Jg., H.2, 48-51, Berlin.
- HEYNE,K.-H.,1982: Über die Genauigkeit von Echolot-Messungen. Vermessungstechnik, 30.Jg., H.3, 94-98, Berlin.
- INSTITUT FÜR PHOTOGRAMMETRIE (ed.),1986: Program System SCOP - to Create, Maintain and Apply Digital Terrain Models. Inst.f.Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien.
- JORDAN,W.,EGGERT,E.,KNEISSL,1956: Handbuch der Vermessungskunde, 3.Bd.-Höhenmessung, Tachymetrie. Stuttgart.
- KAGER,H.,1984: DTM Displayed Perspective. Int.Archives Photogrammetry and Remote Sensing XXV/A3a, 513-522, Rio de Janeiro.
- KOPF,F.,1964: Höhenaufnahme des Neusiedler Sees (österr.Teil). Projekt i.A.d.Neusiedler See - Planungsgesellschaft, Wien.

- KOPF, F., 1964-1968: Kontrollmessungen im Neusiedler See (österr. Teil) in den Jahren 1964, 1965, 1966, 1967 und 1968. I.A.d. Neusiedler See - Planungsgesellschaft, Wien.
- KRAUS, K., ASSMUS, E., KÖSTLI, A., MOLNAR, L., WILD, E., 1982: Anforderungen an das digitale Geländemodell aus der Sicht des Anwenders. Allg. Vermessungsnachrichten 89, 330-344, Karlsruhe.
- KRAUS, K., 1987: Photogrammetrie. Bd. 2, Dümmler Verlag, Bonn.
- LANGE, T., 1972: Seetiefenmessung mit einem LIDAR-System. Diss. TU München.
- LÖFFLER, H., (ed.), 1979: Neusiedler See - Limnology of a Shallow Lake in Central Europe. Monographiae Biologicae, Vol. 37, 43-46, Dr. W. Junk bv. Publishers, The Hague-Boston-London.
- MENUCHOV, I. I., 1978: Ob učete viljanija refrakcii na točnost trigonometričeskogo nivelirovanija. Geodez. i. Kartogr. 12, 17-21, Moskau; bespr. i. Vermessungstechnik, 27. Jg., H. 12, S. 430.
- MOZZUCHIN, O. A., 1977: Die nivellitische Refraktion und die Methoden ihrer Berücksichtigung. Vermessungstechnik, 25. Jg., H. 10, 335-338, Berlin.
- TENGSTRÖM, E., 1974: Appendix to Dr. Tengström's Letter to Dr. Brein Concerning the Influence of Humidity on the Determination of Refraction with the Dual Wavelength Method. Paper Int. Symp. Terrestrial Electromagnetic Distance Measurement and Atmospheric Effects on Angular Measurements, Stockholm.
- VIZGAZDALKOTASI TUDOMANYOS KUTATO KÖZPONT (ed.), 1981: Fertő Tó. Vizrajzi Atlasz Sorozat 24, Budapest.
- WAIDBACHER, H., 1985: Fischereibiologische Untersuchungen am Neusiedler See unter besonderer Berücksichtigung des Aals. AGN-Forschungsbericht 1981-1984, WAB 72, 469-525, Eisenstadt.
- WESTPHAL, W., 1970: Physik. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- WILLIAMS, D., 1978: A Coincidence Procedure for the Measurement of Refraction-free Directions. Zeitschrift für Vermessungswesen, Jg. 103, H. 5, 216-221, Stuttgart.
- WUNDERLICH, T., 1985: Die voraussetzungsfreie Bestimmung von Refraktionswinkeln. Geowiss. Mitt. 26, TU Wien.

Anschrift des Verfassers:

Dipl. Ing. Dr. techn. Elmar Csaplovics  
Biologische Station Neusiedler See  
A-7142 Illmitz

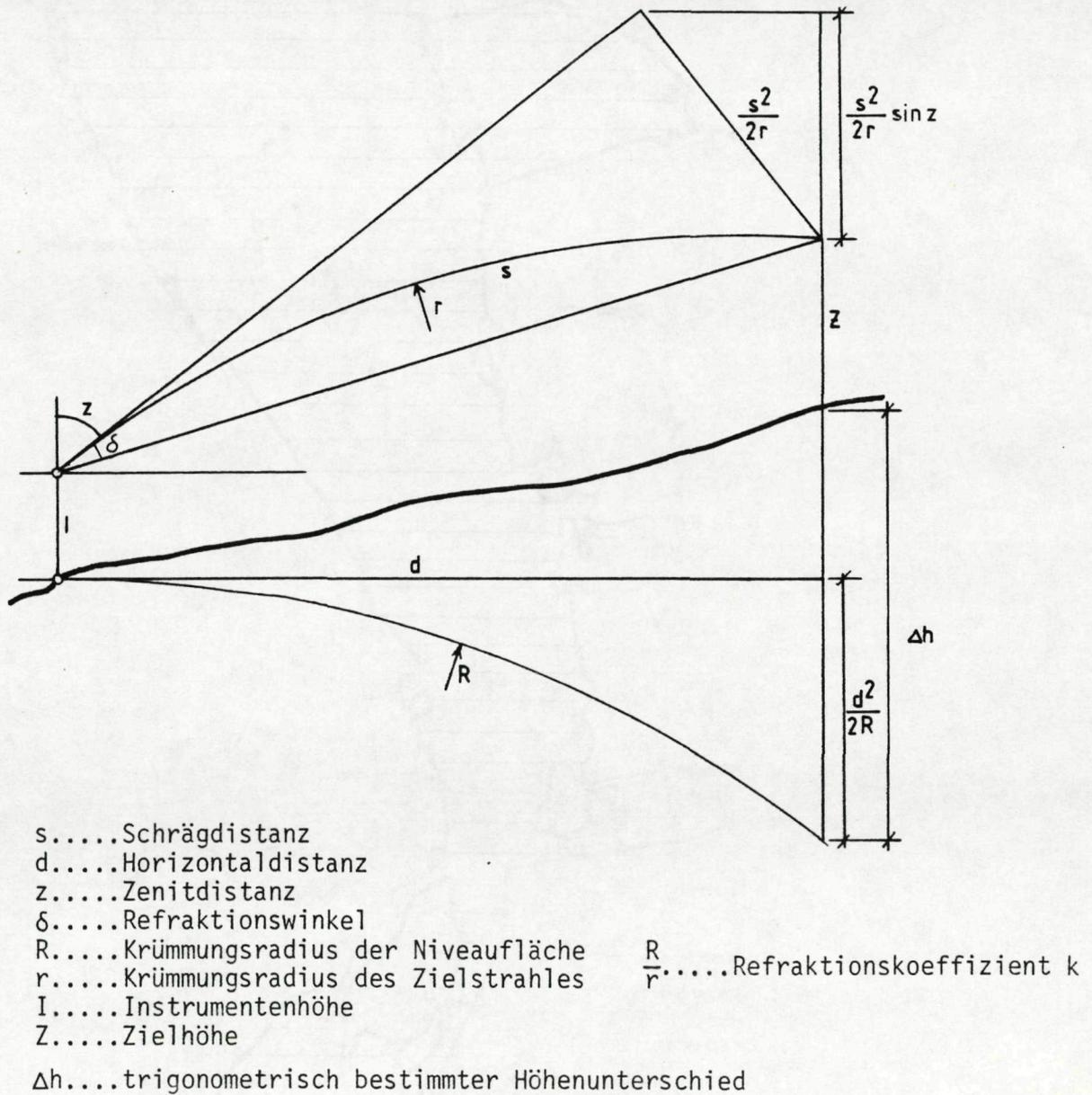


Abb.1.1 Skizze zur trigonometrischen Höhenmessung (nach BRANDSTÄTTER 1981).

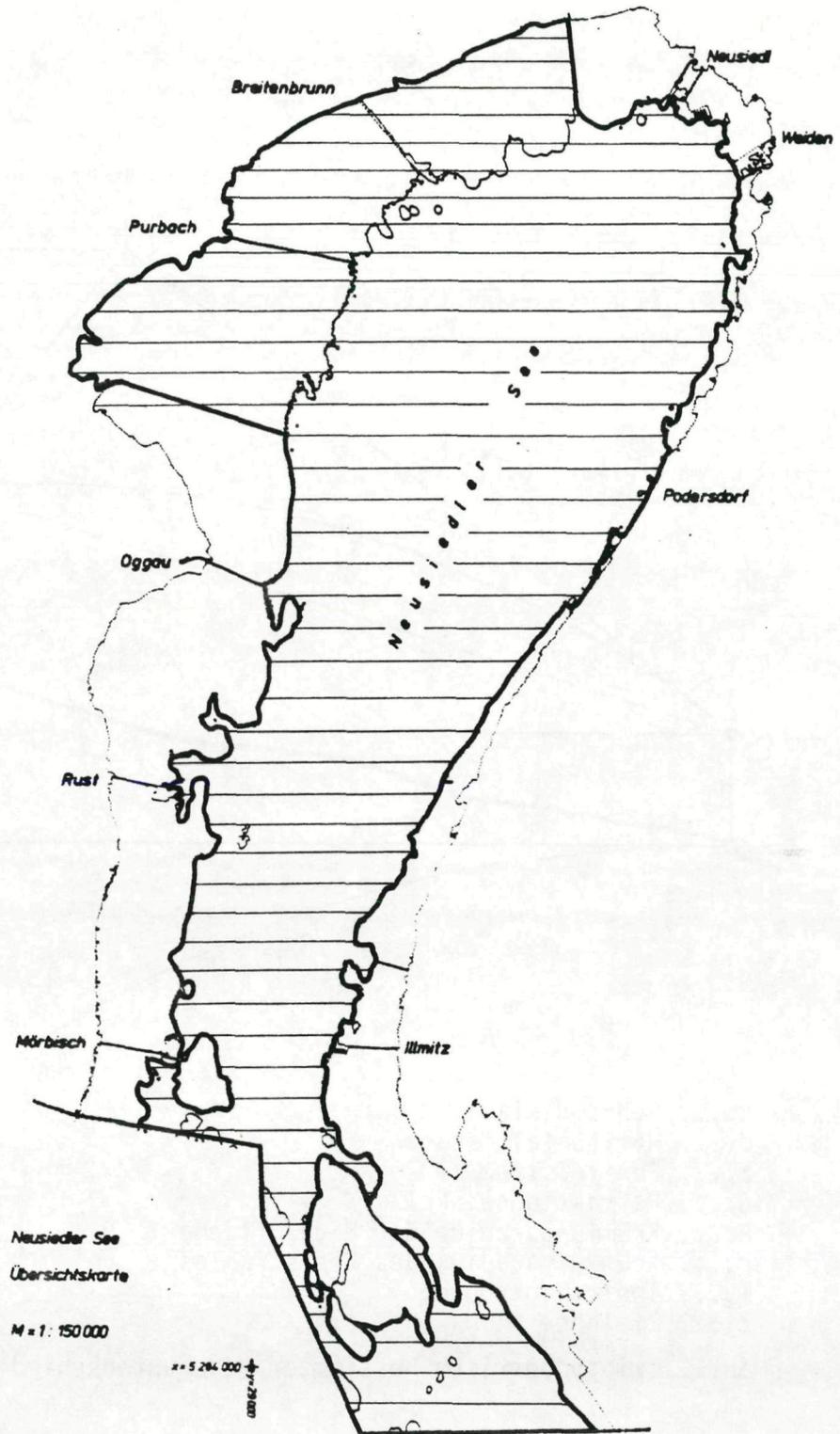


Abb.3.1 Projekt Seevermessung - bearbeitete Gebiete Stand Okt.1987.  
Schilf-Land- und Schilf-See-Grenzlinie Stand 1979 (CSAPLOVICS 1982).

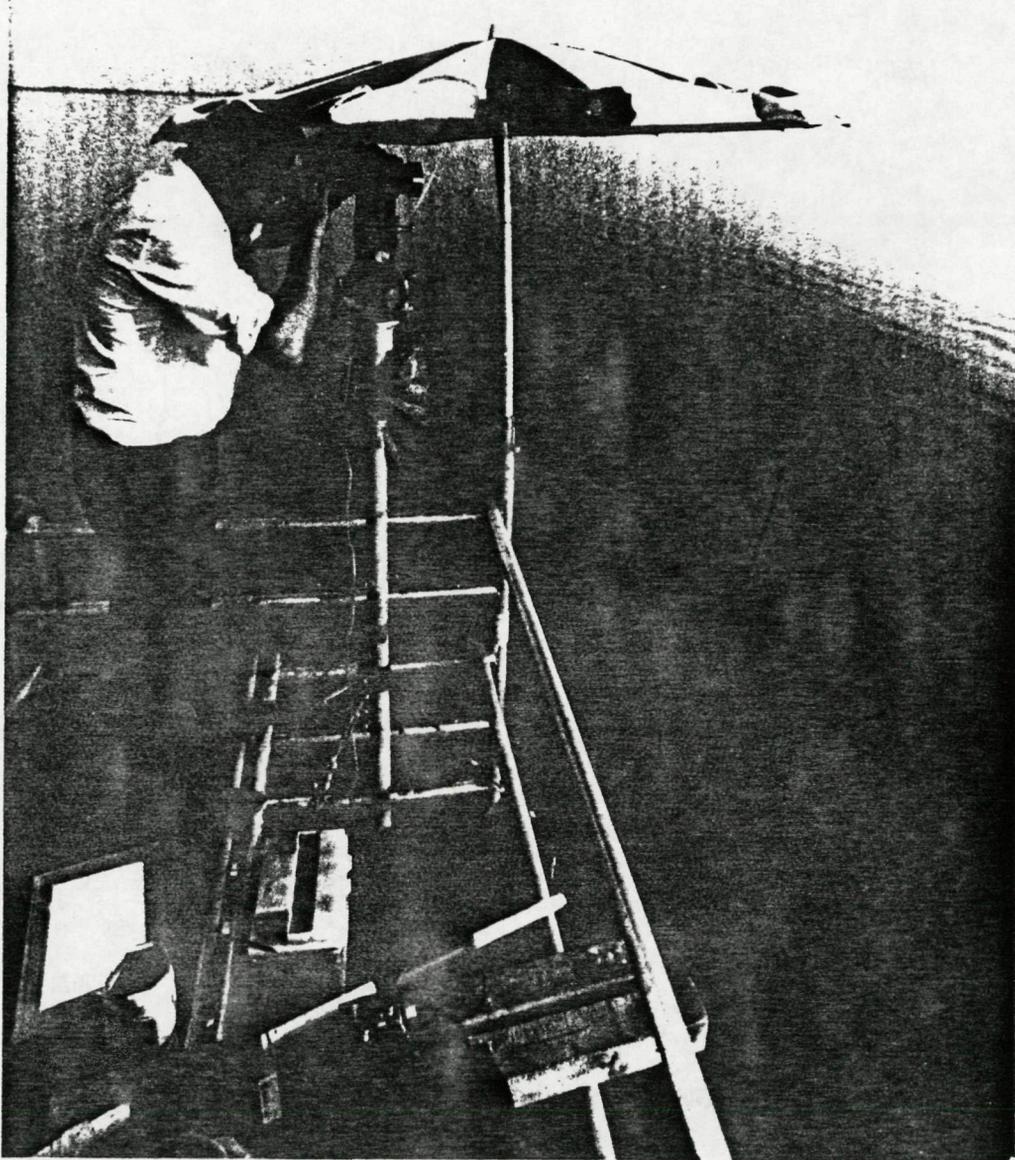


Abb.3.2 Master-Station Seemitte, Standpunkt 19000.

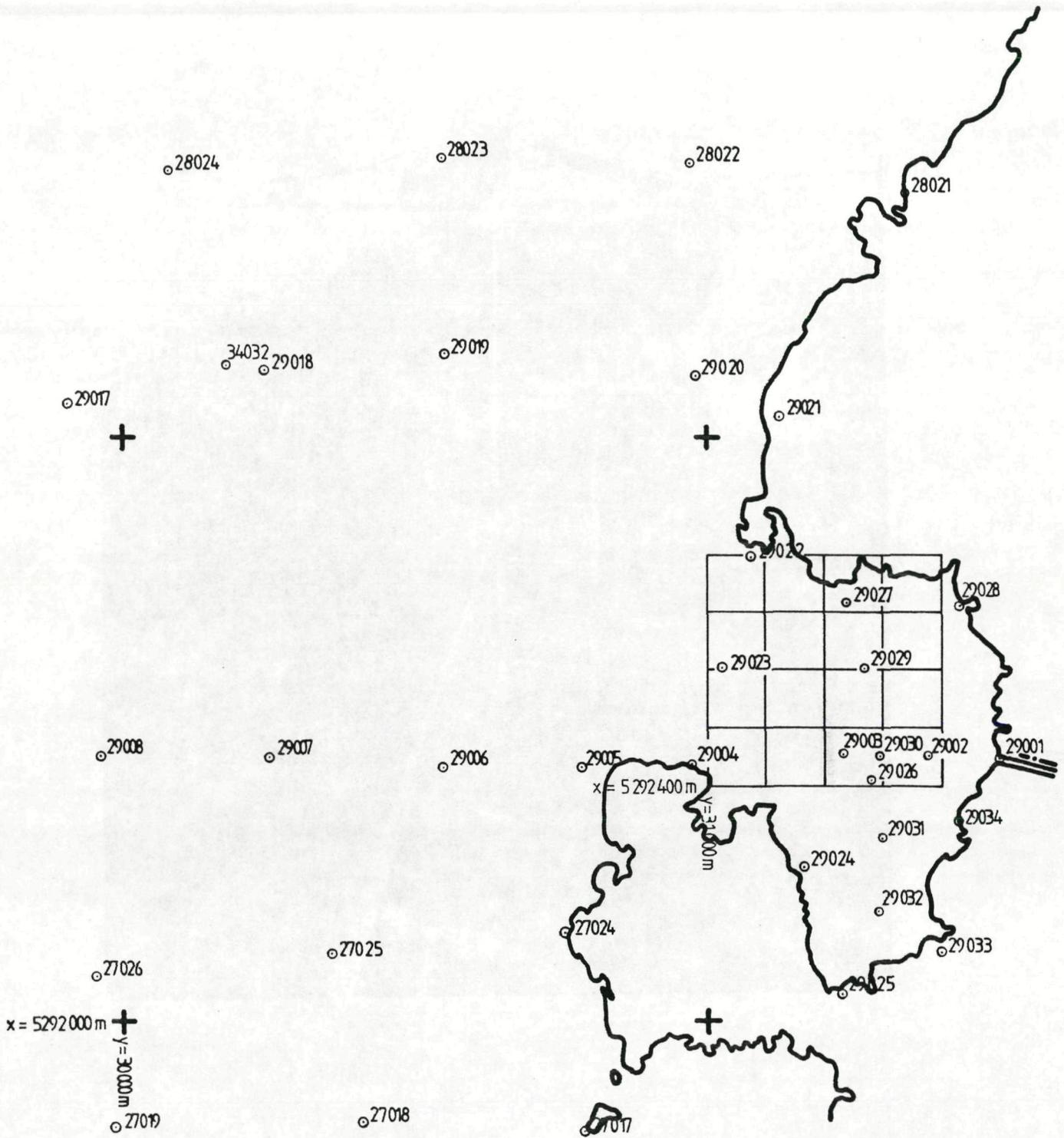


Abb.3.3 Karte der Meßpunkte für den Seebereich westlich der Biologischen Station, M = 1:10000. Schilf-Wasser-Grenzlinie - Stand 1979 (CSAPLOVICS 1982).

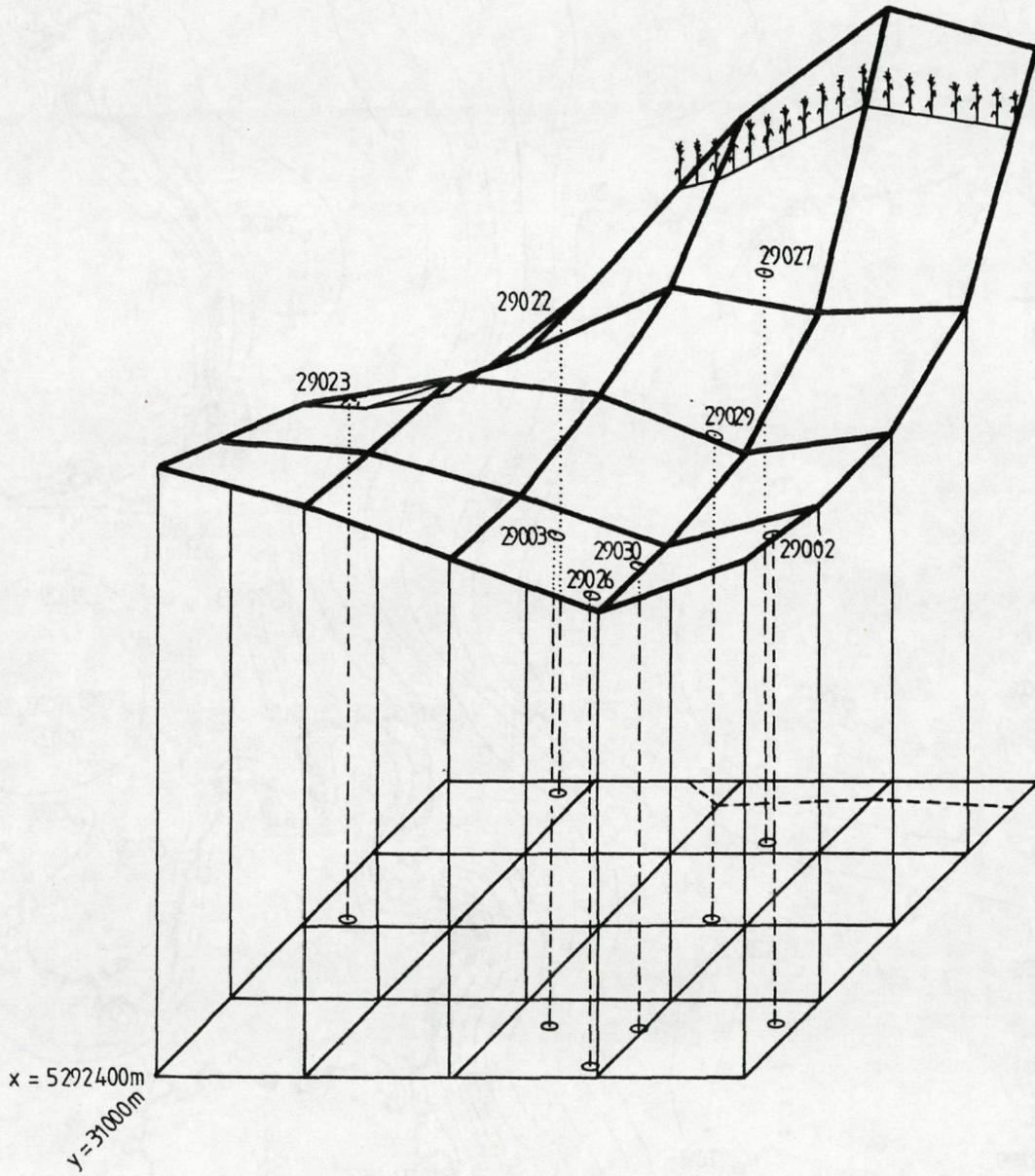


Abb.3.4 Digitales Geländemodell über dem in Abb.3.3 kartierten Rasterquadrat.  $M_{hor} = 1:5000$ ,  $M_{vert} = 1:10$ .

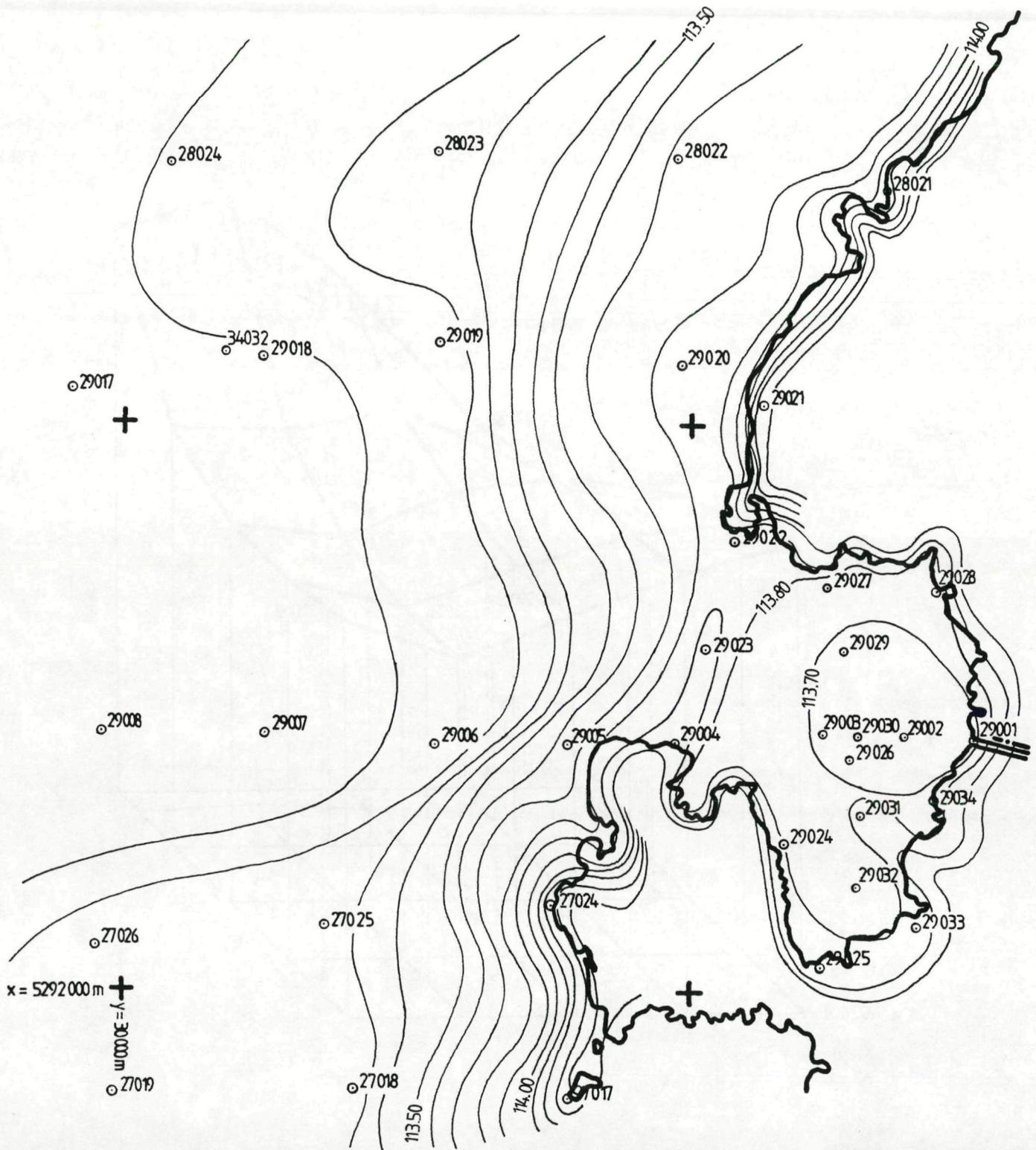


Abb.3.5 Höhenlinien des festen Untergrundes im Seebereich westlich der Biologischen Station. M = 1:10000,  $\Delta h = 10$  cm.

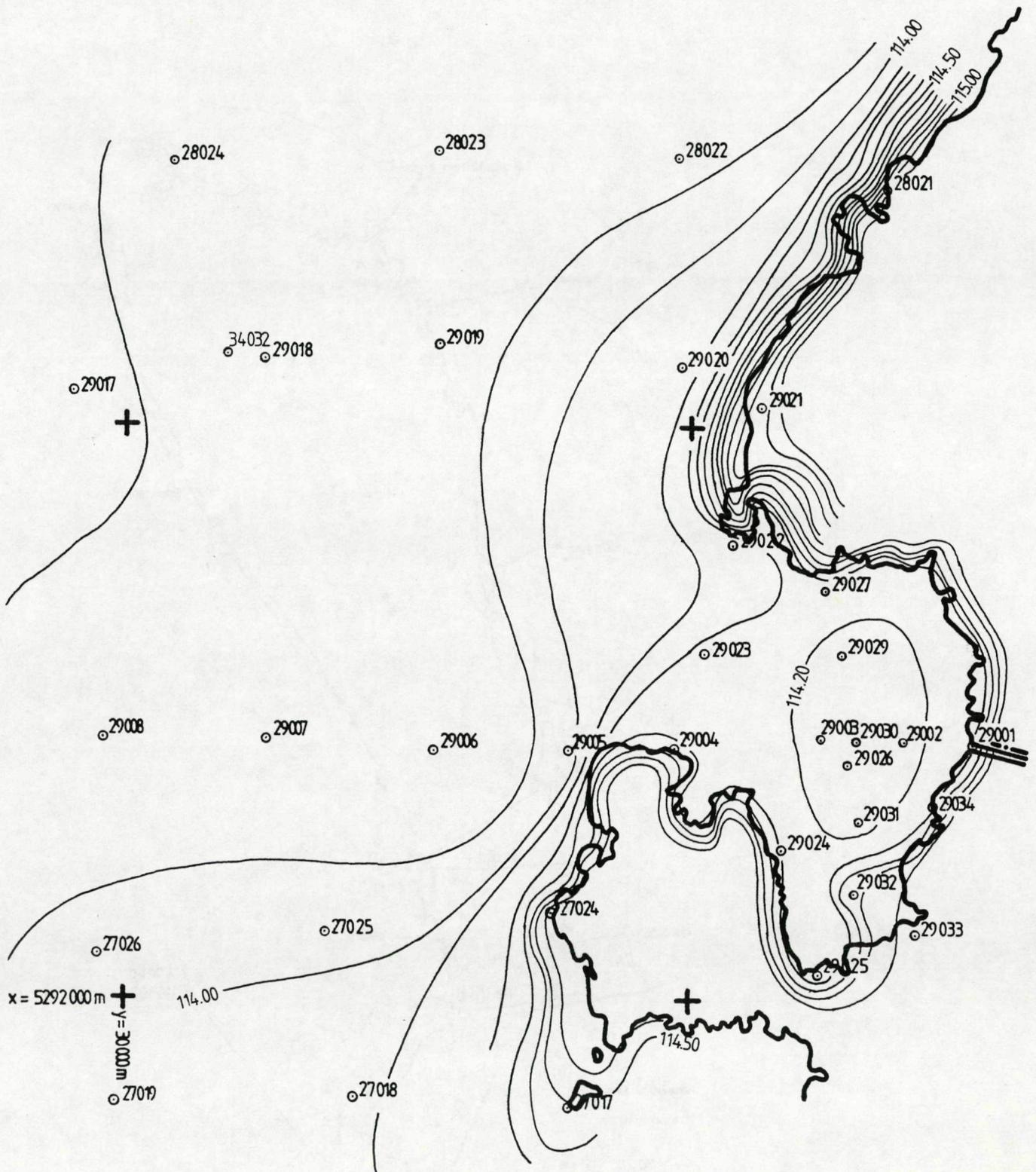


Abb.3.6 Höhenlinien der Schlammoberfläche im Seebereich westlich der Biologischen Station. M = 1:10000,  $\Delta h = 10$  cm.

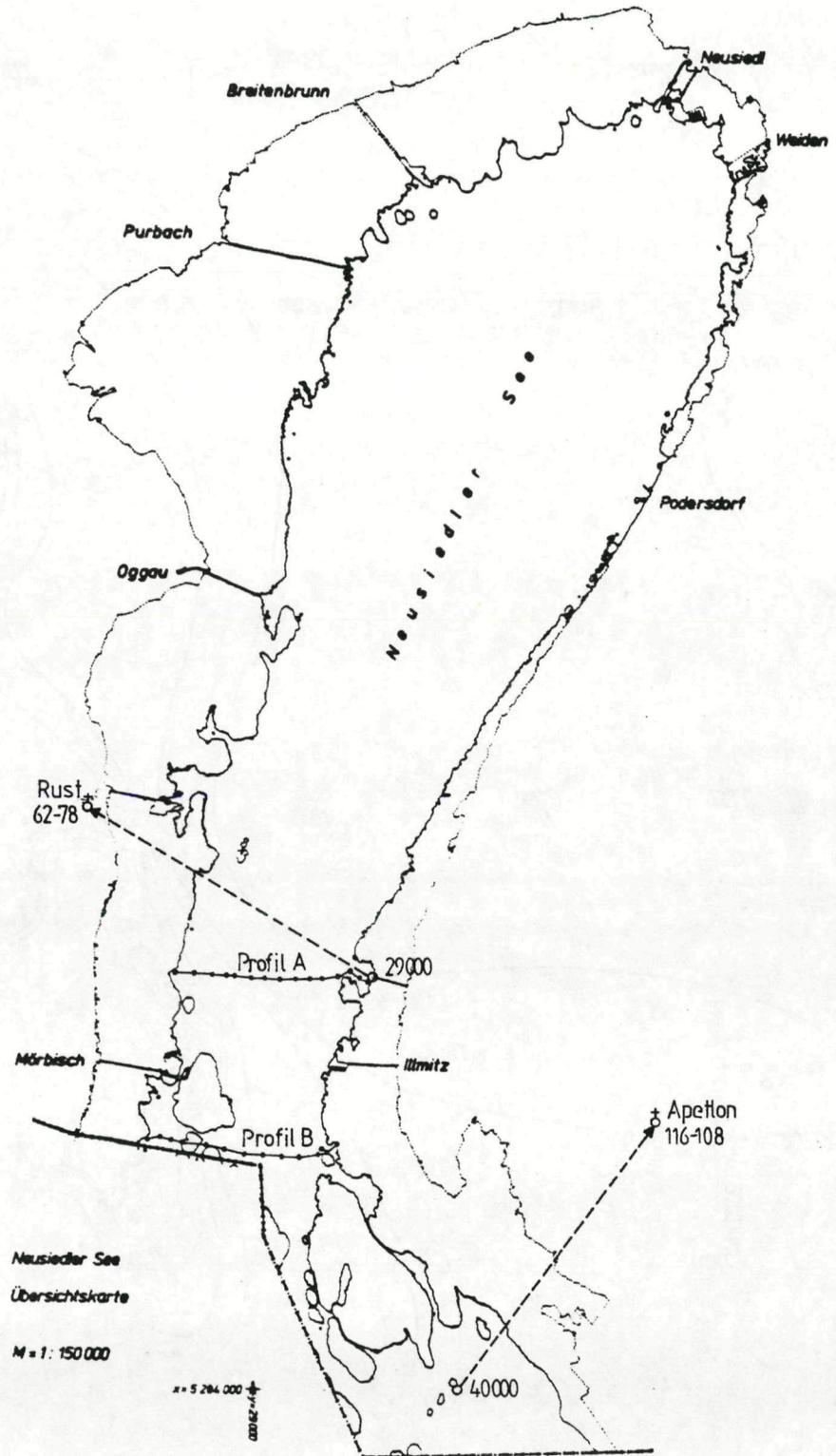


Abb.3.7 Lage der exemplarisch kartierten Profile (Profil A, Profil B) und der für die Diskussion der Refraktion herangezogenen Visuren im Untersuchungsgebiet.

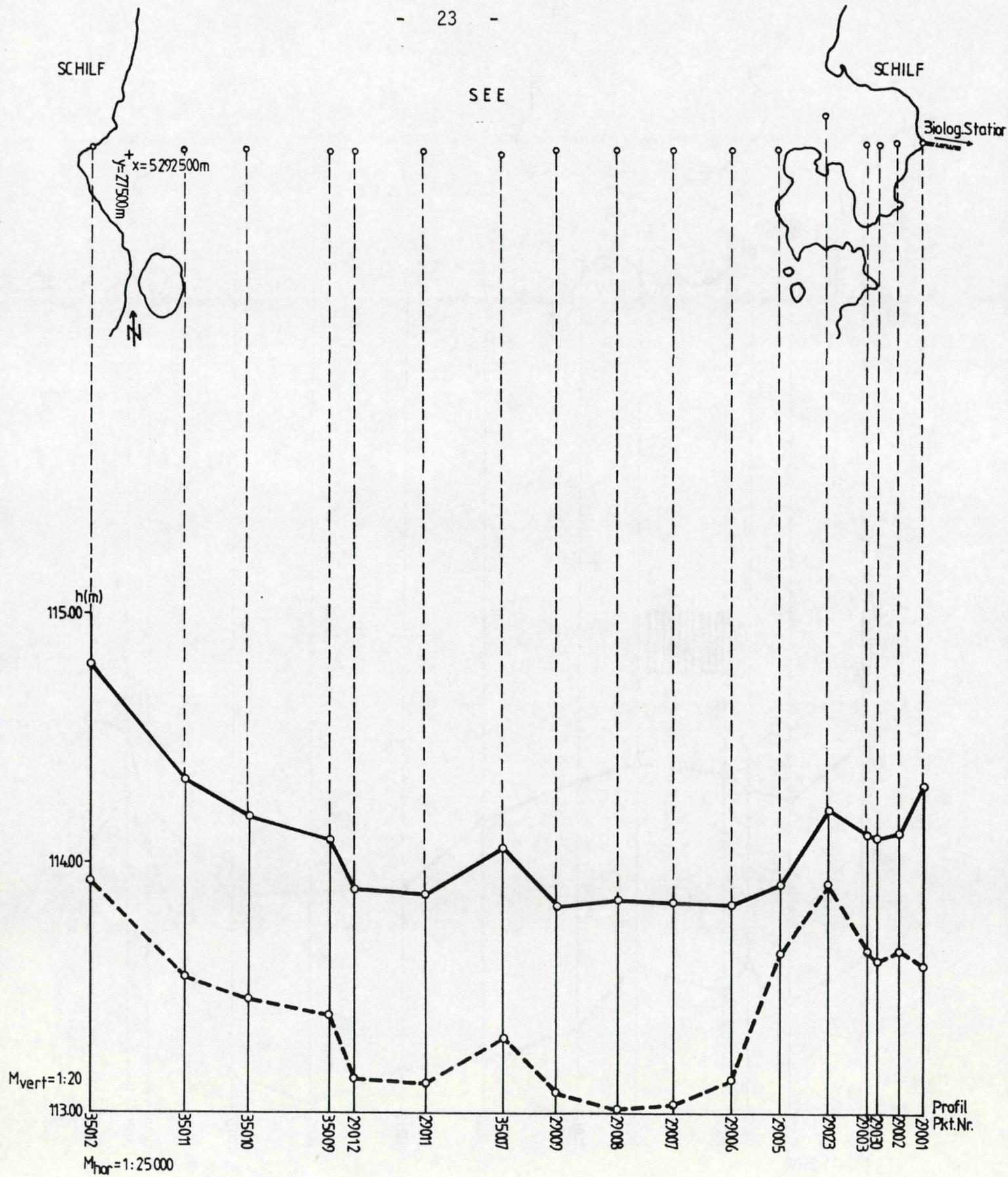


Abb.3.8 Profil A (Biologische Station). Lage des Profils  $M = 1:25000$ . Profilschnitt  $M_{hor} = 1:25000$ ,  $M_{vert} = 1:20$ , strichlierte Linie - fester Untergrund, ausgezogene Linie - Schlammoberfläche.

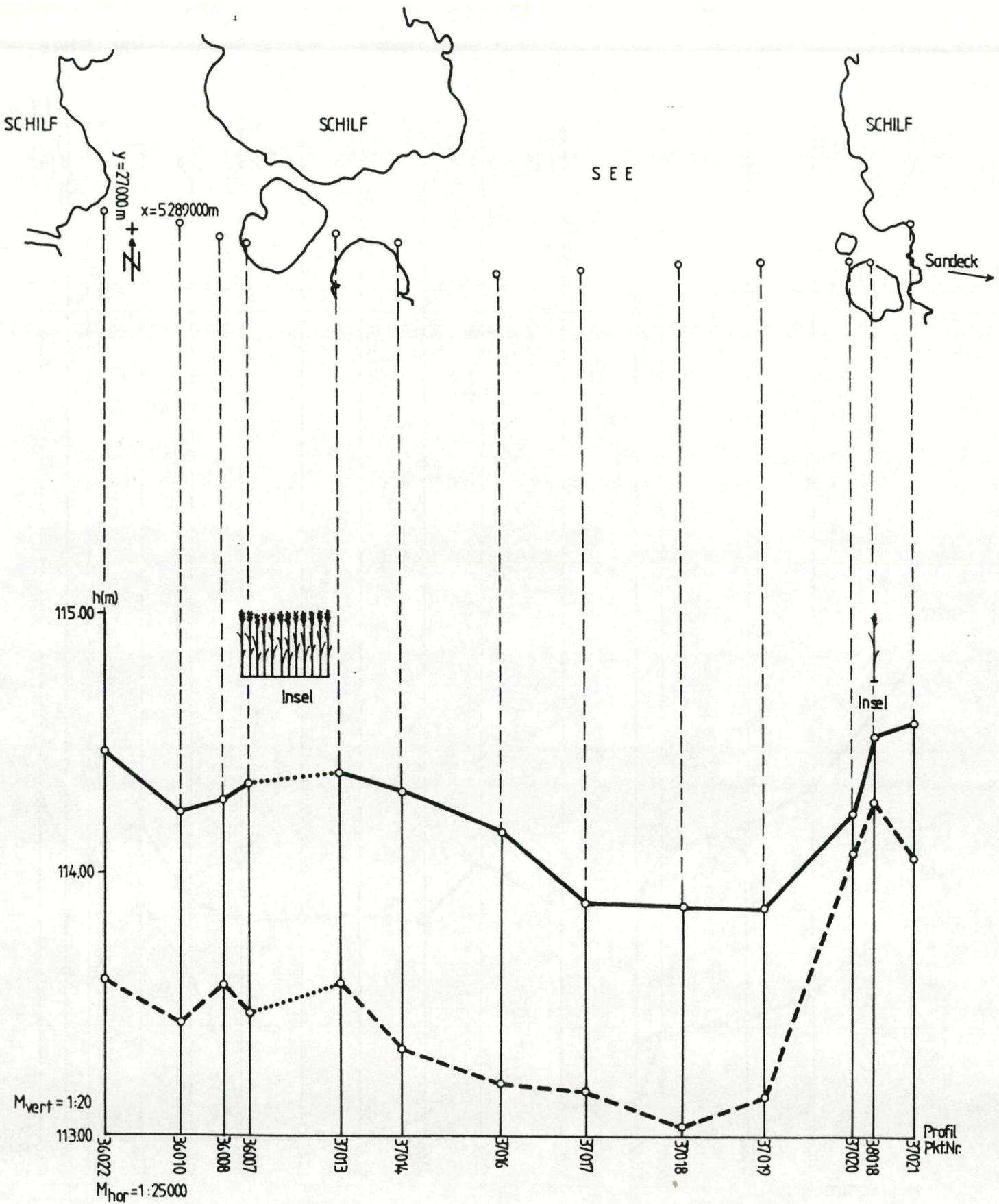


Abb.3.9 Profil B (Sandeck). Lage des Profils  $M = 1:25000$ . Profilschnitt  $M_{hor} = 1:25000$ ,  $M_{vert} = 1:20$ , strichlierte Linie - fester Untergrund, ausgezogene Linie - Schlammoberfläche.

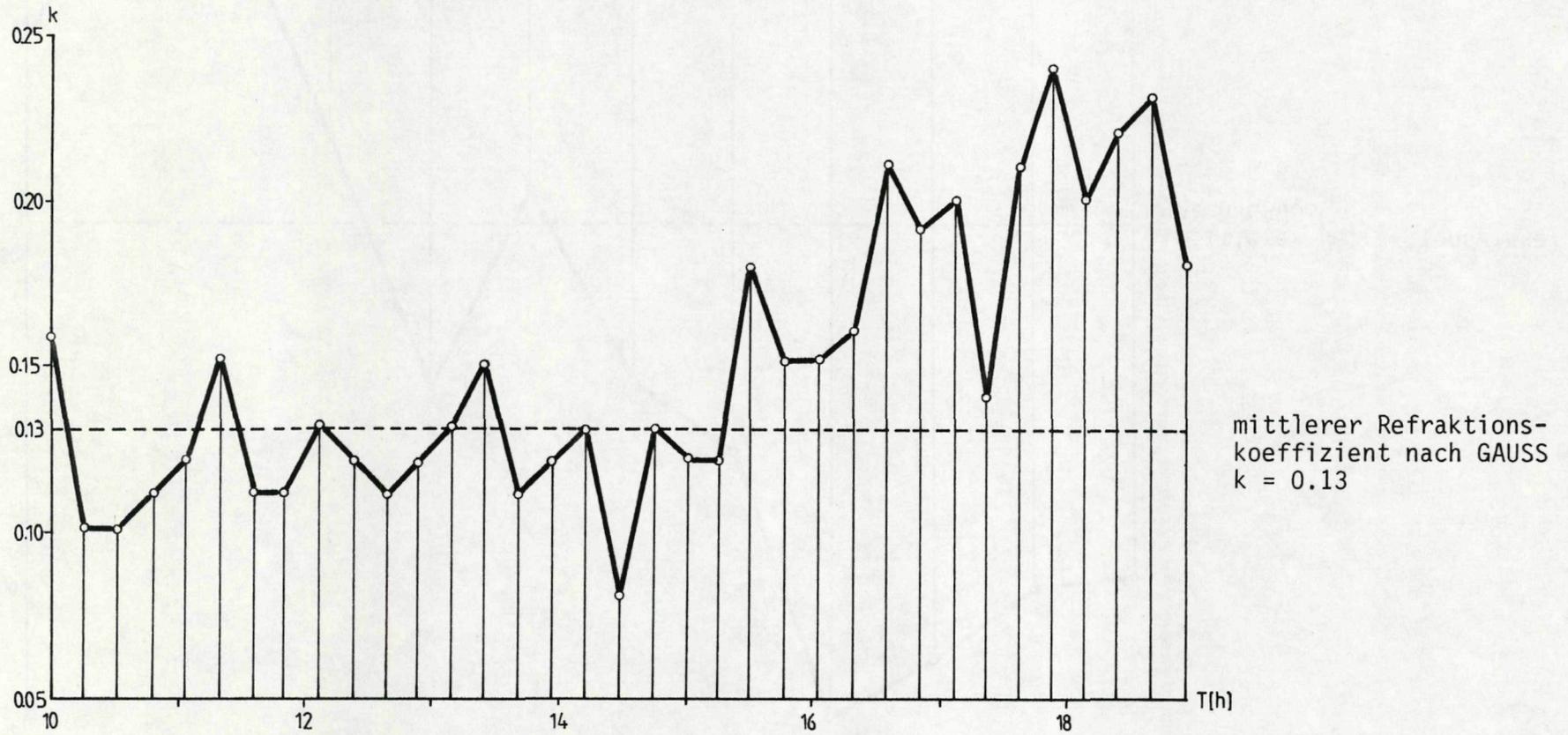
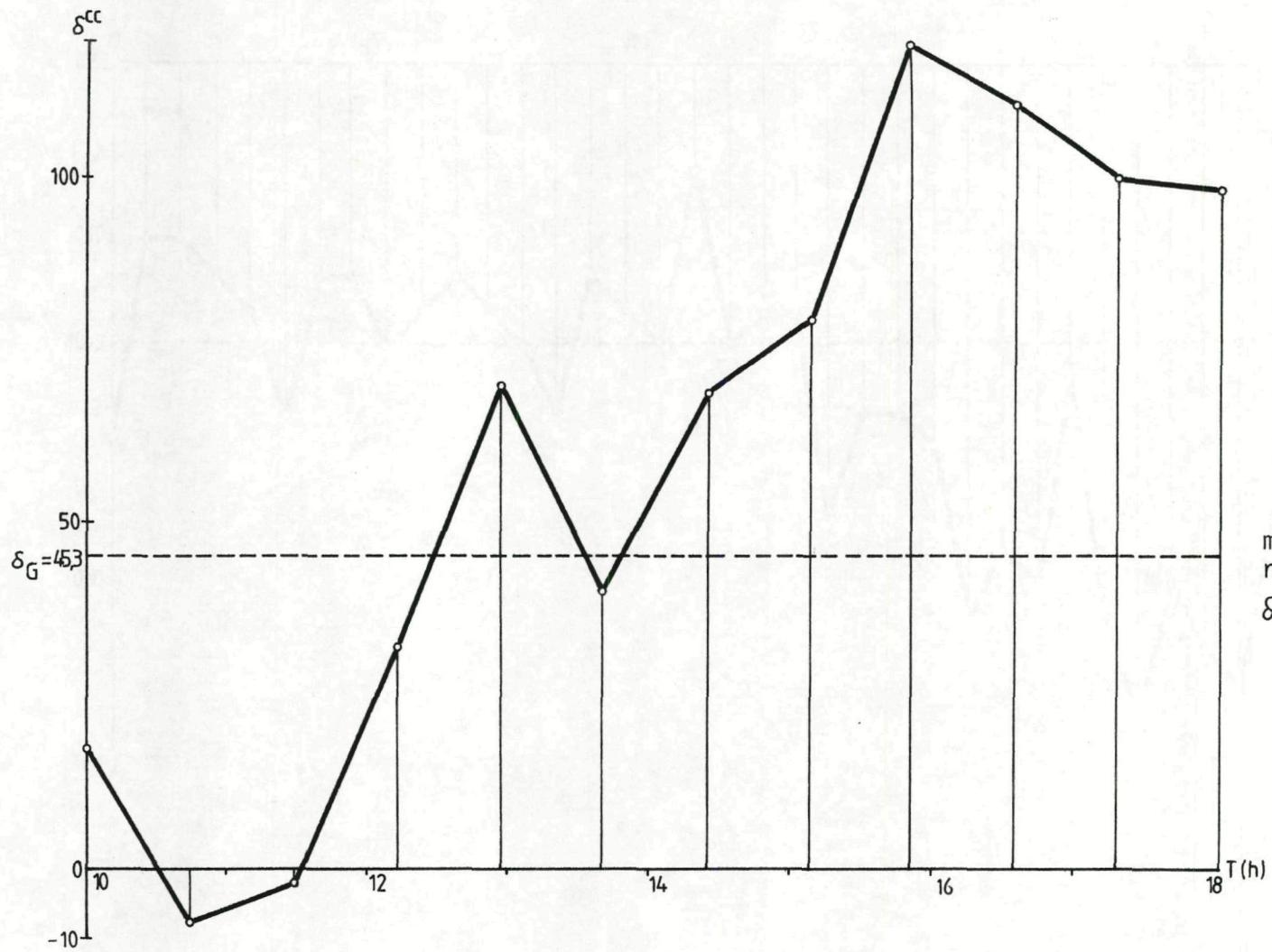


Abb.4.1 Gang des Refraktionskoeffizienten am Meßtag 7.9.1987, Visur 29000 - KT 62-78.



mittlerer Refraktionswinkel  
nach GAUSS  
 $\delta_G = 6.5^{\text{CC}}/\text{s}(\text{km})$

Abb.4.2 Gang des Refraktionswinkels am Meßtag 14.10.1987, Visur 40000 - KT 116-108.

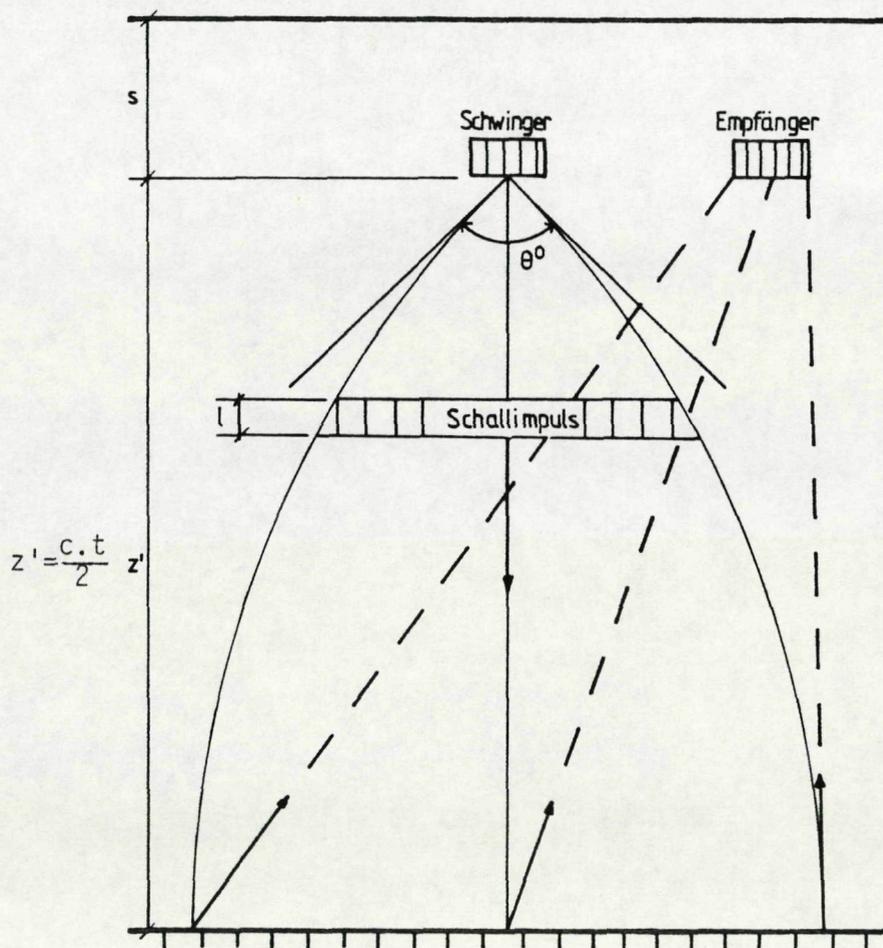


Abb.5.1 Prinzip der Echolot-Tiefenmessung

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [BFB-Bericht \(Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz 1](#)

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: [65](#)

Autor(en)/Author(s): Csaplovics Elmar

Artikel/Article: [Die Neuvermessung des Seebodens des Neusiedlersees Â– Zwischenbericht für die Projektphase 1986/87 1-27](#)