

Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 22, 1978

Institut für Seeforschung

Langenargen

-Bibliothek-

Do

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

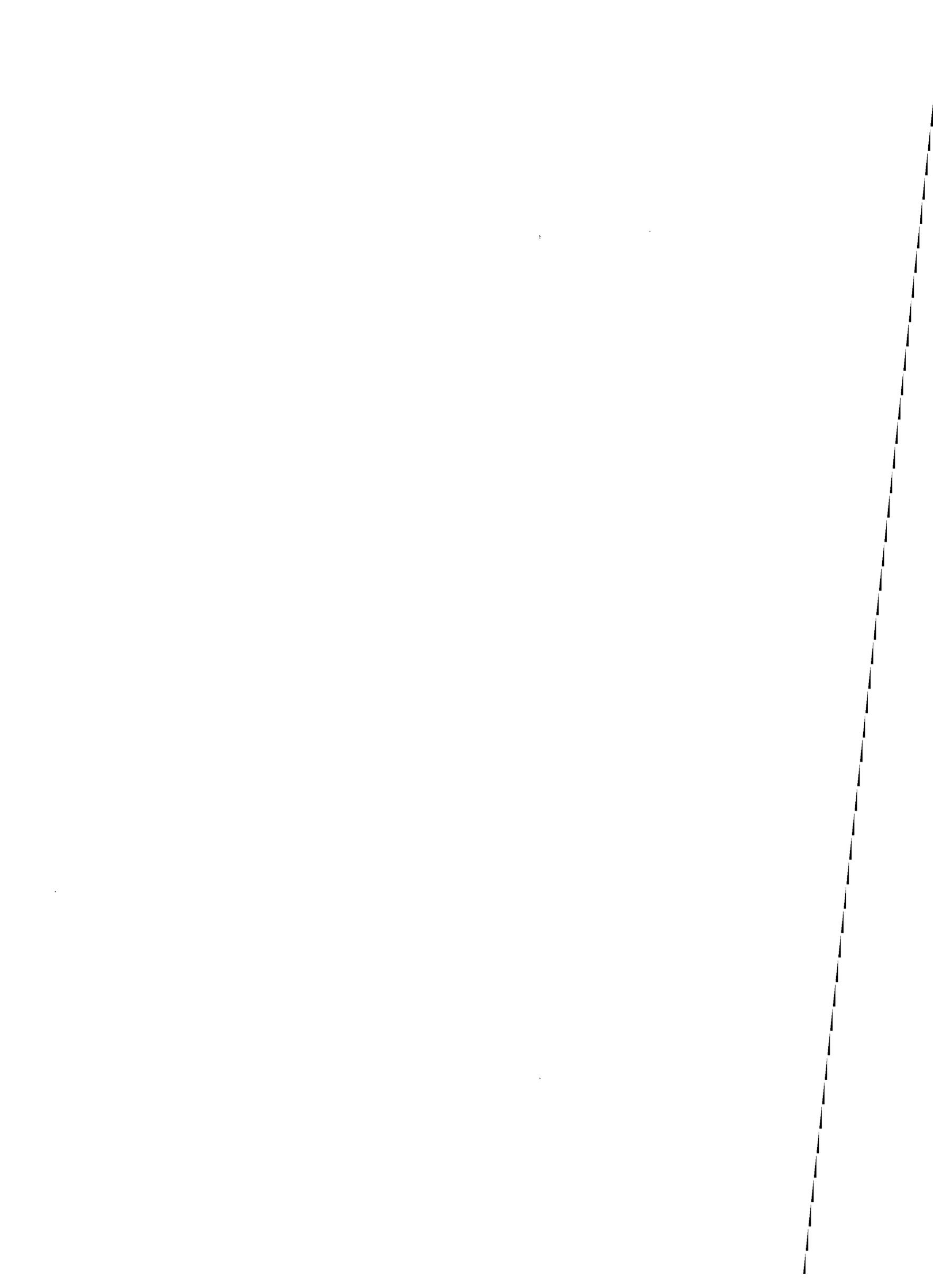
Bericht Nr. 22

DER CHEMISMUS DES FREIWASSERS DES BODENSEE-OBERSEES IN DEN
JAHREN 1961 BIS 1974

Bearbeiter: Wolfgang Schmitz
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft

A 16706

Inhalt	Seite
Einleitung	5
HYDROGRAPHISCHE UND METEOROLOGISCHE BEDINGUNGEN IM BERICHTSZEITRAUM	7
Witterung	7
Zufluss- und Abflussverhältnisse	8
Wasserstände	8
ERGEBNISSE DER FREIWASSERUNTERSUCHUNGEN AN DER STATION FISCHBACH-UTTIL	9
Sichttiefe	9
Thermik	10
Sauerstoff	23
Orthophosphat	44
Andere gelöste Phosphorverbindungen	48
Nitrat	49
Umsetzen im Stickstoffhaushalt	51
Anorganische Kohlenstoffverbindungen	53
Alkalinität	54
Freie Kohlensäure	55
Weitere Parameter des Kalk-Kohlensäure-Gleich- gewichtes	56
Quantitativ vorherrschende Ionen	57
Gelöste und suspendierte organische Stoffe	59
VERGLEICH DER CHEMISCHEN VERHAELTNISSE AN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSSTATIONEN IM OBERSEE	60
ZUSAMMENFASSUNG	61
LITERATUR	64
TABELLEN	65
ABBILDUNGEN	72



Einleitung

Seit dem Frühjahr 1961 lässt die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee durch die limnologischen Institute der Anliegerstaaten regelmässige Untersuchungen des Freiwassers durchführen, um die Zustandsentwicklung des Bodensees laufend zu verfolgen. Die Untersuchungsreihen begannen mit intensiven, an mehreren Untersuchungsstationen des Bodensee-Obersees und Bodensee-Untersees zugleich unternommenen Erhebungen in den Jahren 1961 bis 1963. In der Folgezeit wurde das Programm in der Regel nur noch an der zentralen Messstation in der Seemitte zwischen Fischbach und Uttwil über der grössten Tiefe von 252 m durchgeführt.

Es war ursprünglich geplant, die Untersuchungsergebnisse der Jahre 1961/63 in einem ausführlichen Bericht vollständig darzustellen. Eine Veröffentlichung über die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Bodensees in den Jahren 1961 bis 1963 liegt auch bereits vor [IGKB 1967]. Bei der Sichtung der Untersuchungsergebnisse stellte sich allerdings heraus, dass eine Interpretation der Daten und Situationsbeurteilung lediglich beschränkt auf die Zeitspanne 1961 bis 1963 schwer möglich war. Gewisse Schwankungen in den limnologischen Verhältnissen treten nämlich bereits von Jahr zu Jahr entsprechend den jeweiligen hydrographischen und meteorologischen Verhältnissen ein. Die naturwissenschaftlichen Sachbearbeiter plädierten daher dafür, mit der Gesamtzusammenstellung der Daten abzuwarten, bis eine längere Frist von Untersuchungen verstrichen war, in denen sich auch gewisse Entwicklungstendenzen des limnologischen Zustandes deutlich abzeichnen würden.

Der hiermit vorgelegte Bericht über die chemischen Verhältnisse des Bodensee-Obersees in den Jahren 1961 bis 1974 fasst nunmehr alle in diesem Zeitraum auf Veranlassung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee erarbeiteten Daten zusammen.

Das Datenmaterial wird hierbei möglichst weitgehend in Form von graphischen Darstellungen präsentiert, da auf diese Weise die Zustandsentwicklung des Sees besser überschaubar wird. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens besteht auch darin, dass bei der Darstellung der Konzentrationsänderungen in Isoplethen kleinere kaum erklärbare oder auch bisweilen analytisch bedingte Schwankungen der Konzentrationswerte unterdrückt werden und so eine bessere Uebersicht der prinzipiellen Linien des Verlaufes der chemischen Erscheinungen erzielt werden kann. Alle Einzeldaten stehen zur weiteren Verarbeitung im Datenarchiv der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg sowie der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz zur Verfügung. Eine weitere Auswertung der Daten, insbesondere im Zusammenhang mit den biologischen Untersuchungsergebnissen in der Untersuchungsperiode 1961/74 ist im Gange.

In der Bodenseekarte der Abbildung 1 sind die Lagen der Untersuchungsstationen eingezeichnet. Die Tabelle 1 enthält eine synoptische Uebersicht über die durchgeführten Messprogramme, Messtermine und die angewandten Untersuchungsverfahren sowie die an der Messdatengewinnung beteiligten Institute.

Mit der Datenpublikation des Chemismus des Freiwassers der Periode 1961 bis 1974 ist der Anschluss an die neuerdings erfolgende jährliche Publikation der aktuellen Freiwasserdaten durch die Internationale Gewässerschutzkommission (IGKB 1976) erreicht.

HYDROGRAPHISCHE UND METEOROLOGISCHE BEDINGUNGEN IM
BERICHTSZEITRAUM

Witterung

Bekanntlich steht das alljährliche limnische Geschehen in den Seen in einem engen Zusammenhang mit dem jeweiligen Witterungsverlauf, sei es, dass dadurch die Wassertemperaturen und die Zirkulations- und Schichtungsverhältnisse bestimmt werden, sei es, dass sich unter den waltenden Licht- und Wassertemperaturverhältnissen die Phytoplanktonproduktion in jeweils ganz bestimmter Weise einstellt. Zur Vermittlung einer generellen Uebersicht über das Witterungsverhalten im Bodenseegebiet in der Berichtsperiode 1961/74 wurden einige Kennzahlen der Beobachtungsdaten der Untersuchungsstation Friedrichshafen in dieser Periode zusammengestellt, nämlich die mittleren monatlichen Lufttemperaturen (Abb. 2 (3)), die Niederschlagssummen der einzelnen Monate (Abb. 2 (2)) und die Sonnenscheindauer in Stunden (Abb. 2 (1)).

Während der Sommermonate lagen die Monatsmittel der Lufttemperaturen im Höchstfall etwa bei 20^o, vielfach auch darunter. Die winterlichen Temperaturmittel lagen selten unter dem Gefrierpunkt, abgesehen von besonders kalten Wintern wie 1962/63, 1963/64 und 1969/70. Jedoch beschränkte sich die Dauer dieser Frostperiode zumeist auf etwa einen Monat.

Die Niederschlagsmengen stehen naturgemäss zumeist in umgekehrter Relation zur jahreszeitgemässen Sonnenscheindauer. Diese lag während der Sommermonate im allgemeinen bei etwa 200 Stunden. Im Juli traten vielfach höhere Werte bis zu etwa 300 Stunden im Monat auf.

Zufluss- und Abflussverhältnisse

Das dem Bodensee mit den verschiedenen Zuflüssen zufließende Wasser durchfließt den See relativ rasch (theoretische Aufenthaltsdauer 4,5 Jahre). Je nach Wasserführung und Stofffracht der einzelnen Zuflüsse kann daher zuströmendes Wasser die chemischen Verhältnisse des Seewassers lokal oder unter Umständen auch generell beeinflussen. Die folgende Uebersicht zeigt die Abflussverhältnisse der wichtigsten Zuflüsse des Bodensees in der Berichtsperiode 1961/74 (Abb. 3 (1) - 3 (4)).

Für die Stoffbilanz des Sees ist nicht nur die Menge des zuströmenden Wassers wichtig, sondern ebenfalls die aus dem See abgeführte Wassermasse mit ihren Stofffrachten. Die Uebersicht über die Abflüsse wird daher ergänzt durch die Abflussmenge des Seewassers, die dem Bodensee-Obersee bei Konstanz verlässt, um durch den Seerhein dem Bodensee-Untersee zuzufliessen. Diese entspricht weitgehend dem bei Rheinklingen gemessenen Abfluss des Rheins unterhalb des Bodensee-Untersees (Abb. 3).

Wasserstände

Unter der Dynamik der Zustrom- und Abfluss-Verhältnisse stellen sich im Bodensee-Obersee wechselnde Wasserstände ein. Eine Uebersicht über den Verlauf der Wasserstände bei Konstanz in der Untersuchungsperiode 1961/74 gibt die folgende Zusammenstellung (Abb. 4). Im allgemeinen werden die Höchstwasserstände während der Sommerzeit erreicht, da zu diesem Zeitpunkt der Alpenrhein den grössten Abfluss besitzt. Demgegenüber liegen die Wasserstände im Winter, wenn die Niederschläge im Alpengebiet meist als Schnee fallen und sich zunächst nicht im Abfluss auswirken, am niedrigsten. Die Amplitude der jährlichen Wasserstandsschwankungen liegt im langjährigen Durchschnitt bei 1,5 m, je nach Witterungsverhältnissen kann es von Jahr zu Jahr jedoch erhebliche Abweichungen geben.

ERGEBNISSE DER FREIWASSERUNTERSUCHUNGEN AN DER STATION
FISCHBACH-UTTWIL

Sichttiefe

Die auf einfache Weise mit der Secchi-Scheibe gemessenen Sichttiefen geben eine recht gute Uebersicht über die optischen Verhältnisse im Seewasser an. Da Lichttransmissionsmessungen im Bodensee-Obersee nur gelegentlich durchgeführt werden konnten, müssen wir uns in der Beurteilung der optischen Verhältnisse des Seewassers in erster Linie auf die Sichttiefen-Daten stützen. Bekanntlich ist die Sichttiefe in oligotrophen Seen meist sehr gross, da der Partikelgehalt sehr gering ist, es sei denn, dass stärkere Einschwemmungen anorganischer Trübstoffe auftreten und sich im See ausbreiten. Die Sichttiefe der eutrophen Seen mit hohem Planktongehalt ist bedingt durch die Lichtstreuung und Eigenabsorption des Lichtes an Planktonpartikel meist nur gering. Im Wasser des Bodensees gibt es bei der Sichttiefe starke regelmässige jahreszyklische Divergenzien (Abb. 5). Während der Wintermonate steigt die Sichttiefe regelmässig auf 10 bis 15 m, bedingt durch die in dieser Jahreszeit nur sehr geringen Planktondichten. Ab April, spätestens Mai ist eine deutliche Verminderung der Sichttiefe zu verzeichnen. Seit Mitte der sechziger Jahre folgte recht regelmässig im Juni eine vorübergehende deutliche Vergrösserung der Sichttiefe, die offenbar auf Abnahme der Algenkonzentration durch Frassleistung des Zooplanktons zurückzuführen ist. Im Oktober und dann deutlicher im November nimmt die Sichttiefe parallel mit den zu dieser Zeit eintretenden Verminderungen der Phytoplanktonkonzentrationen wieder zu. Um die jeweilige Jahreswende wird dann in der Regel das winterliche Niveau maximaler Sichttiefen wieder erreicht.

Eine weitere Interpretation der Sichttiefenwerte unter Hinzuziehung der gelegentlichen Transmissionsmessungen und des Ueberwasserlichtklimas zur Ermittlung des Unterwasserlichtklimas in der Berichtsperiode 1961/74 steht noch aus.

Thermik

Wie in den Seen der temperierten Zone der Erdoberfläche üblich, so vollziehen sich auch im Bodensee-Obersee jahreszyklische Veränderungen der Temperaturverhältnisse mit erheblichen Temperaturschwankungen in den oberflächennahen Wasserschichten und nur geringfügige Temperaturschwankungen im Bereich von ca. 4°C im Tiefenwasser. Die wesentlichen Kenndaten zur Thermik des Obersees aus der Untersuchungsperiode 1961/1974 sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Daraus und aus Abbildung 6 ist ersichtlich, dass der Wärmeinhalt des Sees im Durchschnitt alljährlich zwischen 1360×10^{12} Joule (325×10^9 Mcal) und 787×10^{12} (188×10^9 Mcal) schwankt. Das Minimum des Wärmeinhaltes tritt am Ende der winterlichen Abkühlungsperiode in den Monaten Februar oder März, das Maximum am Ende der sommerlichen Erwärmungsperiode meist im August oder manchmal Anfang September auf. Im Durchschnitt steht damit ein sommerlicher Wärmegewinn von 573×10^{12} Joule (137×10^9 Mcal) einem ebenso hohen winterlichen Wärmeverlust gegenüber. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, schwanken der Wärmeeintrag und der Wärmeverlust in den einzelnen Jahren recht erheblich, nämlich der sommerliche Wärmegewinn zwischen 448 und 653×10^{12} Joule (116 und 166×10^9 Mcal). Erheblich über dem Durchschnitt lag der Wärmegewinn im Sommer 1964, 1965 und 1968. Erheblich über dem Durchschnitt liegende Wärmeverluste traten im Winter 1962/63, 1964/65, 1968/69 und 1970/71 ein. Besonders gravierend wirkte sich der Umstand aus, dass nach zwei Sommerperioden mit sehr geringem Wärmegewinn, nämlich 1961 und 1962 ein Winter mit besonders hohem Wärmeverlust, im Jahre 1962/63 auftrat. Dies hatte das ausserordentlich seltene Ereignis zur Folge, dass der Bodensee-Obersee auf nahezu der gesamten Wasseroberfläche zufror.

Die sommerlichen Aufwärmungseffekte erzielten im Durchschnitt im Bodensee-Obersee Temperaturen an der Wasseroberfläche über 10°C für die Dauer von 6 Monaten, Wassertemperaturen von mehr als 15°C für die Dauer von 3,5 Monaten und oberflächliche

Wassertemperaturen von über 20°C für die Dauer von 0,8 Monaten. Das Temperaturmaximum an der Wasseroberfläche betrug während des Sommers im Durchschnitt $21,6^{\circ}$ und das winterliche Temperaturminimum $3,7^{\circ}$. Auch hinsichtlich dieser thermischen Charakteristika traten in den einzelnen Jahren recht unterschiedliche Werte ein. So schwankten die jährlichen Temperaturmaxima in der Untersuchungsperiode zwischen $19,5$ und $24,4^{\circ}$, die Ueberschreitungsdauer von Wassertemperaturen von 10° an der Wasseroberfläche zwischen 5,4 und 6,6 Monaten, die Ueberschreitungsdauer von 15° an der Wasseroberfläche zwischen 3,2 und 5,3 Monaten und die Dauer der Ueberschreitung von 20° zwischen 0,2 und 1,8 Monaten. Die jährlichen Temperaturminima an der Wasseroberfläche lagen in der Untersuchungsperiode zwischen 0 und $4,4^{\circ}$.

Die Schwankungen der Wassertemperatur in der grössten Seetiefe (252 m) betragen innerhalb eines Jahres meist nicht mehr als $0,1$ bis $0,2^{\circ}$. Sie lagen überwiegend im Bereich von $4,1$ bis $4,3^{\circ}$. Ungewöhnlich niedrige Temperaturen im Tiefenwasser traten im Anschluss an die Seegefrörne, beginnend mit den Wintermonaten Anfang 1963, auf. Die Tiefenwassertemperaturen sanken dabei auf etwa $3,5^{\circ}$. Eine anschliessende Wiederaufwärmung des Tiefenwassers erfolgte nur sehr langsam und erstreckte sich über mehrere Jahre. Erst 1966/67 wurde das Ausgangsniveau von 1961/62 etwa wieder erreicht.

Der Temperaturverlauf während der Untersuchungsperiode in verschiedenen Tiefen des Sees ist in den Abbildungen 7 dargestellt. Im allgemeinen erfolgt mit Beginn des Seejahres im April eine Erwärmung der oberflächennahen Wasserschichten, die bis Mai in der Regel in eine verhältnismässig stabile Thermostratifikation überging. Die thermische Sprungschicht liegt zunächst im Bereich von etwa 10 m. Im Verlaufe des Sommers verlagert sie sich in immer grössere Tiefen bis etwa 15 bis 20 m. Während des Sommers besteht somit das für Seen der temperierten Zone typische thermische Schichtungsbild von Epilimnion, Metalimnion mit grossem thermischen Gradienten und relativ homothermem Hypolimnion. Zirkulationsbewegungen verlagern ab September

die thermische Sprungschicht in immer grössere Tiefen. Ein Ausgleich der Wassertemperaturen zwischen Oberfläche und Seeboden erfolgt jedoch zumeist erst am Ausgang des Winters. Wegen der grossen Seetiefe erreichen die Wasserzirkulationen in vollem Ausmass das Tiefenwasser erst zu diesem Zeitpunkt. In manchen Jahren kommt es nicht zu einem Ausgleich der Wassertemperaturen in allen Tiefen, bevor im Frühjahr die von der Oberfläche ausgehende Erwärmung erneut eine stabile Schichtung herbeiführt. Hinsichtlich seines thermischen Zirkulations- und Stagnationsverhaltens muss der Bodensee-Obersee somit dem Typus des monomiktischen Sees mit nur einer jährlichen Zirkulationsperiode mit oligomiktischen Tendenzen zugeordnet werden, da Vollzirkulation während des Seejahres mitunter überhaupt nicht zustandekommen.

Im einzelnen gestalteten sich die Temperaturverhältnisse im Bodensee-Obersee in der folgend beschriebenen Weise:

Seejahr 1961/62:

Frühzeitig mit Beginn des Seejahres 1961/62 trat bereits oberflächennah eine Wassererwärmung ein, die bereits im Mai zu einer stabilen thermischen Schichtung führte, wobei der grösste Temperaturgradient den Sommer über zwischen 10 und 20 m Tiefe lag. Die Temperatur an der Wasseroberfläche überschritt 10° zwischen Ende April und Mitte November, 15° von Anfang Juli bis Anfang Oktober. Das beobachtete sommerliche Temperaturmaximum an der Wasseroberfläche lag mit $19,4^{\circ}$ ausserordentlich niedrig. Ab November war ein Vordringen erwärmter Wasserschichten von der Oberfläche auch in grössere Schichten bemerkbar. Dies führte bis Februar 1962 zu annähernd homothermen Verhältnissen mit $4,5^{\circ}$ zwischen 0 und 60 m, $4,4^{\circ}$ zwischen 100 und 200 m und $4,3^{\circ}$ in 250 m Tiefe. Im März ergab sich noch eine weitere Abkühlung um $0,2$ bis $0,3^{\circ}$ in der gesamten Wassermasse, nach der Anfang April 1962 bereits wieder oberflächennahe Aufwärmungseffekte sichtbar wurden.

Seejahr 1962/63:

Eine Temperaturschichtung wurde im Seejahr 1962/63 von Ende Mai 1962 an sichtbar, mit tiefer ausgedehntem homothermem Epilimnion erst von September an. Sie löste sich im November-Dezember 1962 wieder auf. Der grösste Temperaturgradient lag dabei im allgemeinen in Tiefen zwischen 10 und 20 m. Die Oberflächentemperaturen überschritten 10° C von Ende Mai bis zum ersten Drittel des Monats November, 15° von Ende Juni bis Anfang Oktober und 20° während des Monats August, wobei ein Maximum von über 21° erreicht wurde. Um die Jahreswende 1962/1963 wurde annähernde Homothermie bis zur Tiefe von 170 m bei etwa $3,9^{\circ}$ erreicht. Infolge der kalten Witterung bildete sich von Januar 1963 an eine inverse thermische Schichtung mit Oberflächentemperaturen bis an den Gefrierpunkt aus, die im Zusammenhang mit der inzwischen eingetretenen Seegefrörne bis zum April 1963 stabil blieb. Dabei kam es auch zu einer Abkühlung des gesamten Tiefenwassers auf Temperaturen unter 4° . Nach Auftauen des Sees gegen Ende April näherte sich der thermische Zustand des Sees für kurze Zeit der Homothermie bei $3,7^{\circ}$.

Seejahr 1963/64:

Im Frühjahr 1963 bildete sich eine Temperaturschichtung in der zweiten Hälfte des Monats Mai aus. Ein tiefer reichendes homothermes Epilimnion kommt für kürzere Zeitspannen im Frühjahr und Sommer, dauerhafter erst im Oktober, zustande. Der grösste Temperaturgradient lag in der Folgezeit wieder im Bereich von 10 bis 20 m Tiefe. 10° Oberflächentemperatur wurden von Mitte Mai bis Mitte November überschritten, 15° von Anfang Juli bis Anfang Oktober und 20° von Mitte Juli bis Mitte August, wobei ein Temperaturmaximum von über 21° erreicht wurde. Die Auflösung des Metalimnions vollzog sich in den Monaten November-Dezember; Homothermie wurde im Januar 1964 bei einer Temperatur von $3,8^{\circ}$ erreicht. Anschliessend stellte sich noch eine leichte Abkühlung in Oberflächennähe auf $3,5^{\circ}$ ein. Gegen Ende

März 1964 näherte sich der See dem homothermen Zustand bei auffallend niedriger Temperatur von $3,6^{\circ}$ bis zu einer Tiefe von etwa 150 m hinab und $3,7$ bis $3,8^{\circ}$ im tieferen Wasser.

Seejahr 1964/65:

Das Seejahr 1964/65 begann Anfang April 1964 mit homothermem Zustand bei $3,6^{\circ}$ bis $3,7^{\circ}$ bis in 150 m Tiefe. Die Tiefentemperaturen lagen nach wie vor bei $3,8^{\circ}$. Im Laufe der Monate Mai/Juni 1964 wärmte sich das Tiefenwasser unter 150 m, wie man annehmen muss, durch Beimischung von Wasser aus höheren Schichten allmählich auf $3,9^{\circ}$ auf. Zugleich entwickelten sich bereits Ende April oberflächennah thermische Schichtungen, die in den Monaten Mai bis Anfang November deutlich ausgeprägt aufrechterhalten blieben. Die Lage des grössten Temperaturgradienten sank von oberflächennahen Werten im Mai bis Ende Juli auf eine Tiefe von etwa 20 m ab und veränderte sich nicht bis Anfang November, wo die Schichtung sich dann aufzulösen begann. Die Oberflächentemperaturen betragen im Sommer 1964 vom ersten Drittel des Monats Mai bis Anfang November über 10° , von Ende Mai bis Mitte Oktober mit kurzer Unterbrechung über 15° und von Mitte Juli bis Mitte August über 20° . Mit einem Maximum von $24,4^{\circ}$ und der relativ grossen Ueberschreitungsdauer der anderen genannten Temperaturwerte lagen die sommerlichen Oberflächentemperaturen 1964 deutlich höher als im vorausgegangenen Jahr. Auch die Temperatur der tiefsten Schichten lag mit $3,9^{\circ}$ zwei Zehntelgrad höher als im Sommer 1963 und nähert sich damit allmählich wieder dem Zustand vor der Seegefrörne 1962/63. Die Herbstzirkulation 1964 erzielte keine Homothermie. Diese trat erst Mitte Februar 1965 bei $3,9^{\circ}$ ein. Anschliessend bildete sich im März 1965 eine schwache inverse Temperaturschichtung aus, die Ende des Monats einem ganz kurzfristigen homothermen Zustand von $3,8^{\circ}$ bis zur Tiefe von 200 m wich.

Seejahr 1965/66:

Das Seejahr 1965/66 begann mit einem kurzfristig homothermen Zustand bei $3,8^{\circ}$ bis in 200 m Tiefe. Die Temperaturen unter 200 m lagen bei $3,9^{\circ}$. Von Mitte Juni 1965 an wärmte sich das Tiefenwasser unter 150 m, wie man annehmen darf, infolge von Durchmischungsvorgängen im Zusammenhang mit Schichtschwankungen auf $4,0^{\circ}$ auf. Zugleich entwickelten sich im Mai oberflächennah thermische Schichtungen, die von Ende Mai bis Ende Oktober deutlich ausgeprägt aufrechterhalten blieben. Die Lage des grössten Temperaturgradienten sank von oberflächennahen Werten im Mai bis Ende Juli auf eine Tiefe von 15 bis 20 m ab und veränderte sich nicht bis Oktober, wo die Schichtung sich dann aufzulösen begann. Die Oberflächentemperaturen betragen im Sommer 1965 von Mitte Mai bis zum 1. Drittel des Monats November über 10° , vom 2. Drittel Juni bis Ende September über 15° und nur ganz kurzfristig Anfang und Mitte Juli über 20° . Mit einem Maximum von $20,4^{\circ}$ und der nur kurzfristigen Ueberschreitungsdauer der 20° -Temperaturwerte lagen die sommerlichen Oberflächentemperaturen 1965, der kühlen Sommerwitterung des Jahres entsprechend, unterdurchschnittlich niedrig. Die Temperatur der tiefsten Schichten lag mit $4,0^{\circ}$ ein Zehntel Grad höher als im Sommer 1964 und näherte sich damit weiterhin dem Zustand vor der Seegefrörne 1962/63. Die herbstlichen und winterlichen Zirkulationsvorgänge brachten bis Januar 1966 eine kurzfristige Erwärmung des Wassers in der Tiefe bis zu 150 m auf $4,6^{\circ}$ und in der Folgezeit eine Abkühlung auf $4,2^{\circ}$ zustande. In 250 m Tiefe wurde im Februar 1966 erstmalig seit der Seegefrörne wieder eine Temperatur von $4,1^{\circ}$ gemessen. Im Winter 1965/66 trat keine inverse Temperaturschichtung auf, die Temperatur an der Oberfläche oder bis zu 50 m Tiefe lag um einige Zehntel Grad höher als in den grösseren Tiefen. In der letzten Februarwoche wurde dabei nahezu Homothermie des Wasserkörpers erreicht mit Temperaturen von $4,3^{\circ}$ zwischen 0 und 50 m, $4,2^{\circ}$ bei 100 m und 150 m und $4,1^{\circ}$ zwischen 200 m und dem Grund. Anschliessend erwärmte sich das Oberflächenwasser bereits wieder geringfügig.

Seejahr 1966/67:

Im Seejahr 1966/67 waren Anfang April bereits die ersten Anzeichen einer Thermostratifikation erkennbar. Die Thermostratifikation wurde von Mai an stabil und blieb das ganze Jahr über bis Anfang November hin erhalten. Der grösste Temperaturgradient lag in der Zeit von Mai bis Mitte Juli bei etwa 10 m Tiefe, sank dann jedoch ziemlich plötzlich auf eine Tiefe von knapp 20 m, in der sie bis Anfang November verblieb. Erst von diesem Zeitpunkt an erfassen die Zirkulationsvorgänge auch den tieferen Wasserkörper des Sees, wie am Absinken der Isoplethen zu erkennen ist. Die Oberflächentemperaturen betragen im Sommer 1966 von Ende April bis Mitte November über 10° , zeitweise im Mai und von Anfang Juni bis Ende Oktober über 15° . 20° wurden nur ganz kurzfristig Mitte September überschritten. Insgesamt gesehen ergab sich für den Sommer 1966 ein recht unruhiges Bild der Oberflächentemperaturen. Auf eine anfängliche Erwärmungsperiode mit einem Maximum von über 17° im zweiten Drittel des Monats Mai erfolgte eine Abkühlung. Eine neue Erwärmung war erst wieder nach dem ersten Drittel des Monats Juni spürbar. Sie hielt bis Mitte Juli mit Oberflächentemperaturen von ca. 19° an. Nach einer darauffolgenden Abkühlung hin schliesslich erbrachte die Monatsmitte September das Jahresmaximum von $20,3^{\circ}$. Damit ergaben sich für das Jahr 1966 wiederum wie im Vorjahr unterdurchschnittlich niedrige Oberflächentemperaturen. Bereits während der Sommerzeit 1966 trat auch in den tieferen Wasserschichten schon eine geringfügige Erwärmung ein. So stiegen die Temperaturen in 30 m Tiefe von $5,0^{\circ}$ Anfang Mai bis auf mehr als 7° Mitte Juli an und blieben in der Grössenordnung bis zum Absinken des Metalimnions Anfang November. Auch in 50 m Tiefe bemerkt man Mitte Juli einen plötzlichen Temperatursprung durch hinabdringendes Oberflächenwasser. Ab November dringen Zirkulationsströme immer weiter in die Tiefe vor, so dass schliesslich bei ständigem Wärmeverlust an der Oberfläche Mitte Februar 1967 ein homothermer Zustand mit $4,3^{\circ}$ erreicht wird. Inverse Temperaturschichtungen traten im Winter 1966/67 nicht auf. Bereits Ende Februar setzt schon wieder eine

leichte Erwärmung des Oberflächenwassers ein, so dass Ende März bereits wieder geringfügige Temperaturunterschiede mit $4,7^{\circ}$ an der Oberfläche gegenüber $4,3^{\circ}$ im Tiefenwasser vorlagen. Die kontinuierliche Tendenz zur Aufwärmung des Tiefenwassers seit der Seegefrörne des Winters 1963/64 hat sich auch im Seejahr 1966/67 fortgesetzt.

Seejahr 1967/68:

Mitte April waren die ersten Anzeichen einer Thermostratifikation erkennbar. Diese wurde von Mai an stabil und blieb das ganze Jahr über bis Ende November hin erhalten. Die Lage des grössten Temperaturgradienten lag in der Zeit von Mai bis August oberhalb 10 m Tiefe, von August bis Mitte Oktober etwa bei 15 m Tiefe. Die Oberflächentemperaturen betrug im Sommer 1967 vom ersten Drittel des Monats Mai bis zum zweiten Drittel des Monats November über 10° , von Anfang Juni bis zweite Hälfte Oktober über 15° . 20° wurden von Anfang Juli bis Mitte August überschritten. Mit kurzen Unterbrechungen Ende April und Mitte Juni verliefen im Sommer 1967 die Oberflächentemperaturen zunächst ansteigend, erreichten im August ein Maximum von $23,6^{\circ}$ und nach einer Abkühlungsperiode Mitte August nochmals $19,7^{\circ}$ Anfang September. Danach sanken sie allmählich wieder ab. Die Oberflächentemperaturverhältnisse entsprachen damit im Sommer 1967 etwa der durchschnittlich am Bodensee herrschenden Situation. Während der Sommerzeit 1967 trat auch bereits in den tieferen Schichten eine geringfügige Erwärmung ein. So stiegen die Temperaturen in 30 m Tiefe von 5° Mitte April bis auf mehr als 8° Mitte September an und blieben in dieser Grössenordnung bis zum Absinken des Metalimnions Anfang November. Auch in 60 bis 70 m Tiefe bemerkte man in der ersten Junihälfte ein Ansteigen der Temperatur durch hinabdringendes Oberflächenwasser. Im Juli erreichte die $4,5^{\circ}$ -Isotherme eine Tiefe von 20 m gegenüber durchschnittlichen Tiefen von 125 m im vorhergehenden Sommer. Die von der Oberfläche ausgehenden Zirkulationsvorgänge im Herbst erreichten Anfang November etwa 15 m Tiefe, bis Ende November erfassten sie den Bereich bis 35 m Tiefe, Mitte Dezember

etwa 100 m Tiefe und Mitte Januar wurden bei 4,5 bis 4,6^o wiederum nahezu homotherme Verhältnisse erreicht. Im Januar erreichte die 4,5^o-Isotherme erstmals seit der Seegefrörne 1964 wieder den Seeboden. Im weiteren Verlauf des Winters kühlte sich bei weiterhin stattfindenden Zirkulationsvorgängen das Seewasser zwischen Oberfläche und Seegrund wiederum geringfügig ab. Im Februar war kurzfristig eine ganz leichte Temperaturinversion mit Oberflächentemperatur von 4,2^o gegenüber 4,4^o im Tiefenwasser sichtbar. In der zweiten Märzhälfte war für kurze Zeit wieder ein homothermer Zustand bei 4,2^o vorhanden. Die kontinuierliche Tendenz zur Aufwärmung des Tiefenwassers seit der Seegefrörne des Winters 1963/64 hat sich auch im Seejahr 1967/1968 fortgesetzt und den Zustand vor der Seegefrörne wieder erreicht.

Seejahr 1968/69:

Gegen Ende März 1968 waren bereits die Ansätze zur neuerlichen sommerlichen Temperaturschichtung zu beobachten. Die Schichtungsverhältnisse blieben von April 1968 an den ganzen Sommer über stabil. Dabei bestand ein starker Temperaturgradient in den Monaten Juni bis Mitte Oktober in etwa 12 m Tiefe. Nahezu homogene Tiefentemperatur wurde jedoch während des Sommers erst etwa unterhalb 70 m erreicht. Die Oberflächentemperaturen stiegen von April bis Juni von 5^o auf 20,0^o an. Als Folge einer Schlechtwetterperiode im Juli 1968 wurde die thermische Schichtung um die Monatsmitte weitgehend zerstört, und durch Zumischung von Tiefenwasser kam es auch zu einer kurzfristigen Abkühlung des Oberflächenwassers auf etwa 13^o. Bis August 1968 hatte sich das Oberflächenwasser auf 19,2^o wieder aufgewärmt und die Sprungschicht in etwa 12 m Tiefe wieder erneuert. Insgesamt gesehen herrschten Oberflächentemperaturen von > 10^o von Anfang Mai bis Mitte November 1968, solche von > 15^o von Anfang Juni bis Anfang Oktober, von der erwähnten Unterbrechung abgesehen. Temperaturen von > 20^o wurden nur um die Monatswende Juni/Juli 1968 erreicht. Im Vergleich zum vorausgegangenen Jahr 1967 war die Erwärmung des Epilimnions damit im Sommer 1968

erheblich geringer, lag jedoch immer noch innerhalb des gängigen Schwankungsbereiches der sommerlichen Temperaturverhältnisse des Bodensees. Die allmähliche Auflösung des Epilimnions erfolgte von Mitte November an, bis gegen Ende Februar 1969 bei etwa $4,2^{\circ}$ nahezu homotherme Verhältnisse erreicht wurden. In der Zeit von Juni 1968 bis Januar 1969 war das gesamte Tiefenwasser von 100 m an abwärts homotherm bei $4,3^{\circ}$, und auch im Bereich des oberen Hypolimnions von 50 bis 70 m Tiefe blieb der Temperaturzuwachs in dieser Zeit mit weniger als $1,0^{\circ}$ relativ klein. Im März 1969 fand von der Oberfläche her bereits wieder eine bis auf fast 50 m Tiefe herabgreifende geringfügige Erwärmung statt, die gegen Ende des Monats jedoch wieder unterbrochen wurde und einem etwa homothermen Zustand mit Temperaturen von $4,2$ und $4,1^{\circ}$ Platz machte.

Seejahr 1969/70:

Die thermische Sommerschichtung des Jahres 1969 setzte im Frühjahr zunächst erst recht zögernd ein. Eine thermische Sprungschicht existierte im Bereich der 10° -Isotherme, die von Mitte Mai bis Ende Juni von der Oberfläche kontinuierlich bis auf 20 m Tiefe absank und etwa in dieser Tiefenlage bis Ende Oktober verblieb. Ein verhältnismässig starker Temperaturgradient war in der Zeit von Mitte Juli bis Ende September in etwa 12 bis 15 m Tiefe bei 15° zu verzeichnen. Das Oberflächenwasser erwärmte sich während des Sommers zeitweise recht erheblich. Oberflächentemperaturen von 10° wurden in der Zeit von Mitte Mai bis Mitte November überschritten. Ende Juni wurde kurzfristig eine Temperatur von $15,2^{\circ}$ im oberen Epilimnion erreicht, gefolgt von einer Abkühlung auf $13,9^{\circ}$ an der Oberfläche. Schliesslich blieben von Mitte Juli bis Mitte Oktober die Oberflächentemperaturen ständig höher als 15° und in der Zeit von Ende Juli bis Mitte August fortgesetzt über 20° . Anfang August wurde die maximale Oberflächentemperatur des Jahres mit $23,3^{\circ}$ registriert. Die Durchmischungsvorgänge von der Oberfläche setzten sich von Anfang November an in immer grössere Tiefen fort und führten schliesslich im Februar 1970 zu einem völlig homo-

thermen Zustand bei $4,1^{\circ}$. Im Gegensatz zum Sommer 1968 war das Hypolimnion während des Sommers 1969 thermisch, wenn auch sehr schwach geschichtet. Die $4,5^{\circ}$ -Isotherme verlief in etwa 100 m Tiefe, die Bodentemperaturen lagen bei $4,1$ bis $4,2^{\circ}$ und im Bereich zwischen 150 und 200 m verlief etwa die $4,25^{\circ}$ -Isotherme. Während des Winters machte sich mit Jahresbeginn 1970 eine fortgesetzte Abkühlung des Wasserkörpers bis in grosse Tiefen hinab bemerkbar, aus der gegen Ende März ein Temperaturzustand von $3,8^{\circ}$ bis in etwa 100 m Tiefe und $3,9^{\circ}$ von 100 bis 200 m Tiefe und $4,0^{\circ}$ in 250 m Tiefe resultierte. In der thermischen Ausgangssituation für das Seejahr 1970 lag die Wassertemperatur damit niedriger als im Durchschnitt, jedoch weniger tief als im Anschluss an die Seegefrörne 1963/64.

Seejahr 1970/71:

Durch weitere Zirkulationsbewegungen am Beginn des Seejahres 1970/71 erreichte auch das Tiefenwasser im April 1970 schliesslich $3,9^{\circ}$, während gleichzeitig schon eine geringfügige oberflächliche Erwärmung einsetzte. Zur Ausbildung von deutlichen Temperaturschichtungen kam es erst gegen Ende Mai. Das Zentrum der thermischen Sprungschicht verlagerte sich zwischen Juni und September 1970 allmählich tiefer von anfänglich ca. 8 m auf etwa 15 m. Von der zweiten Septemberhälfte an wurde die Thermostratifikation von der Oberfläche ausgehend allmählich abgebaut bis schliesslich um die Monatswende Januar/Februar 1971 ein Temperatúrausgleich im Gesamtprofil bei $4,1^{\circ}$ zustandekam. Die sommerliche Aufwärmung des Oberflächenwassers erfolgte 1970 gleichmässig und führte im August schliesslich zu einer maximalen Oberflächentemperatur von $21,2^{\circ}$. Oberflächentemperaturen von 10° wurden von Ende Mai bis Ende Oktober überschritten, von 15° von Anfang Juni bis Ende September. Die Aufwärmung des Wassers setzte sich im Sommer 1970 auch noch bis in grössere Tiefen fort. Im Hochsommer wurden in 50 m $4,9^{\circ}$, in 100 m $4,5^{\circ}$ und in 150 m $4,2^{\circ}$ gegenüber $4,1^{\circ}$ im tiefen Hypolimnion von 200 bis 250 m gemessen. Eine Erwärmung des Tiefenwassers während der herbstlichen Zirkulationsperiode blieb auf die obersten

100 m Wasserschicht beschränkt. Von Anfang Dezember an machte sich die oberflächliche Abkühlung in diesem Bereich schon bemerkbar. Dem kurzfristigen Temperatúrausgleich um die Monatswende Januar/Februar 1971 folgte alsbald eine inverse Temperaturschichtung, die bis 150 m hinab spürbar war. Das Temperaturminimum an der Wasseroberfläche trat in der ersten Märzhälfte bei $3,4^{\circ}$ ein. Auch bis zum Beginn des neuen Seejahres Ende März blieb das Wasser invers temperaturgeschichtet mit Oberflächentemperaturen von $3,6^{\circ}$ und Tiefenwassertemperaturen von $4,1^{\circ}$. Nach den Temperaturverhältnissen zu urteilen, blieb das Tiefenwasser -es Sees während des Winters 1970/71 von länger anhaltenden Vertikalzirkulationen und damit einer Wiederbelüftung weitgehend ausgeschaltet.

Seejahr 1971/72:

Nach kurzfristig homothermem Zustand nach Auflösung der winterlichen inversen Schichtung baute sich ab April 1971 die normale thermische Schichtung wieder auf. Das Zentrum der thermischen Sprungschicht lag während des Monats Mai etwa bei 8 m und verlagerte sich bis zum Juli in grössere Tiefen um etwa 20 m. Wie gewöhnlich setzte der Abbau der thermischen Schichtung ab Oktober 1971 ein, jedoch wurde während des ganzen Winters kein vollständiger Temperatúrausgleich zwischen Oberfläche und Seeboden erzielt. Der geringste Gradient bestand im Februar 1972 mit Oberflächentemperaturen von $4,3^{\circ}$ gegenüber Tiefentemperaturen von $4,1^{\circ}$. Die sommerliche Aufwärmung des Oberflächenwassers erfolgte 1971 ungleichmässig. Nach einer ersten Erwärmungsperiode, die bereits im Mai Oberflächentemperaturen von 15° erreichte, kühlte sich das Wasser während des Juni oberflächlich wieder bis auf $9,9^{\circ}$ ab. Anschliessend erfolgte eine kontinuierliche Aufwärmung, die zu einem Temperaturmaximum von $22,1^{\circ}$ im August 1971 führte. Oberflächentemperaturen von 15° wurden, abgesehen von der erwähnten kurzen Periode im Mai, von Mitte Juli bis Anfang Oktober überschritten. Eine Ueberschreitung von 20° ergab sich von Mitte Juli bis Ende August. Die Aufwärmungserscheinungen im Tiefenwasser waren während des Sommers 1971 in gering-

függigem Masse bis in die grössten Tiefen des Sees spürbar, wobei jedoch keine höheren Temperaturen als $4,2^{\circ}$ gemessen wurden. Im übrigen erwärmte sich das Tiefenwasser durch die Zirkulationserscheinungen im Herbst und Winter 1971/72 nicht. Im Zusammenhang damit, dass während des Winters 1971/72 kein vollständig homothermer Zustand des Freiwassers eintrat, war zu erwarten, dass die Wiederbelüftung des Sees in der zweiten Hälfte des Seejahres 1972 unvollständig blieb.

Seejahr 1972/73:

Die Erwärmung des Oberflächenwassers setzte im Frühjahr 1972 sehr zeitig ein und führte ab Mai zu einer stabilen thermischen Schichtung, deren Schwerpunkt zunächst bei 5 m lag, im Lauf des Sommers jedoch absank und im Spätsommer eine Tiefe von etwa 18 m erreicht hatte. Ab Oktober 1972 setzte wie gewöhnlich der Abbau der thermischen Schichtung ein, jedoch wurde ein annähernder Temperatenausgleich zwischen Wasseroberfläche und Tiefenwasser erst im Februar 1973 erreicht (Oberflächentemperatur $4,4^{\circ}$, Temperatur in 250 m $4,2^{\circ}$). Ende März 1973 besass die gesamte Wassermasse von der Oberfläche bis 200 m Tiefe eine Temperatur von $4,3^{\circ}$, die Temperatur in 205 m betrug $4,2^{\circ}$. Die sommerliche Aufwärmung der Wasseroberfläche vollzog sich nicht ganz gleichmässig, Ende April gab es eine kurze Abkühlungsperiode, ebenfalls in der ersten Julihälfte, nachdem Ende Juni eine Oberflächentemperatur von $18,3^{\circ}$ vorlag. Die Oberflächentemperaturen überschritten 15° von Anfang Juli bis in die zweite Septemberhälfte. Ueberschreitungen von 20° traten von Ende Juli bis Mitte August auf. In der ersten Augushälfte lag auch das beobachtete Temperaturmaximum an der Wasseroberfläche von $22,4^{\circ}$. Geringfügige Aufwärmungen der tieferen Wasserschichten traten von Mai bis August 1972 auf. Eine vorübergehende Erwärmung des Tiefenwassers mit beginnender Vertikalzirkulation war nur bis in 50 m Tiefe zu verzeichnen. Infolge der Zirkulationserscheinungen gegen Ende des Winters 1972/73 war mit einer Belüftung auch des Wassers in grösseren Tiefen zu rechnen, insgesamt jedoch nicht mit einer allzu hohen Aufstockung des Sauerstoffinhaltes des

Sees, da die Vollzirkulationsperiode nur verhältnismässig kurze Zeit andauerte.

Seejahr 1973/74:

Auf den kurzfristigen homothermen Zustand bei $4,3^{\circ}$ zu Beginn des Seejahres 1973/74 erfolgte in der zweiten Aprilhälfte eine Erwärmung des Oberflächenwassers, die auch noch in Tiefen von 30 m spürbar war. Eine verhältnismässig stabile Sprungschicht stellte sich erst in der zweiten Maihälfte ein. Das Zentrum der thermischen Sprungschicht lag während der Sommermonate zwischen 10 und 15 m Tiefe mit allmählich absinkender Tendenz. Die Erwärmung führte zu einer Ueberschreitung der Oberflächentemperaturen über 10° in der Zeit von Mitte Mai bis Anfang November, zu Ueberschreitungen von 15° in der Zeit von Anfang Juni bis Anfang Oktober und Oberflächentemperaturen über 20° in der Zeit von Ende Juni bis in die zweite Julihälfte. Eine nochmalige Erwärmungsperiode mit Oberflächentemperaturen über 20° fiel in die Zeit von Mitte August bis Anfang September. Das Vordringen vom Epilimnion ausgehender Wasserzirkulationen bis in grössere Tiefen war ab November 1973 spürbar; ab Januar wurde eine geringfügige Temperaturerhöhung auch in 250 m Tiefe gemessen. Kurzfristig wurde Anfang März ein homothermer Zustand bei $4,4^{\circ}$ erreicht. In der zweiten Monatshälfte März 1974 lagen die Temperaturen zwischen 0 und 30 m bei $4,5^{\circ}$.

Sauerstoff

Wie die klassischen limnologischen Untersuchungen der Seen ergeben haben, spiegelt sich in den Sauerstoffverhältnissen die Aktivität des biologischen Geschehens im Wasserkörper der Seen wieder. Das Ausmass der biologischen Umsetzungen wird in erster Linie durch den Umfang der planktischen Primärproduktion bestimmt, die aufgrund ihrer Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen überwiegend in der Zeit vom Frühjahr bis zum Ende des

Sommers stattfindet und im Winter im allgemeinen auf sehr geringe Produktionsraten zurückgeht. Die Phytoplanktonproduktion ist aufs engste mit dem Sauerstoffhaushalt des Sees verknüpft, indem zum einen durch die photosynthetische Primärproduktion Sauerstoff erzeugt wird und zum anderen fortgesetzt Phytoplanktonbiomasse abstirbt, in die Tiefe des Sees absinkt und bakteriologisch zersetzt wird, wobei Sauerstoff verbraucht wird. In der Regel wirkt sich die photosynthetische Sauerstoffproduktion erst bei hoher Produktionsrate auf die Sauerstoffverhältnisse des Seewassers aus, da sie sich nur in den oberflächlichen Wasserschichten abspielt, wo die Möglichkeit des turbulenten Gasaustausches mit der Atmosphäre besteht und die Sauerstoffkonzentrationen immer zur Annäherung an das Sättigungsgleichgewicht neigen. Beträchtlich kann jedoch die Auswirkung der Sauerstoffzehrung durch bakteriologische Degradation organischer Substanzen in der Tiefe des Seewassers sein, da dieses während der Sommerzeit thermisch durch eine stabile Schichtung gegen Austauschvorgänge mit der Oberfläche abgeriegelt ist. Ob es dabei zu einer merklichen Abnahme der Sauerstoffgehalte im Hypolimnion kommt, hängt davon ab, wie gross die im See produzierte und wieder absterbende Biomasse und andererseits der Vorrat des Sauerstoffs im Hypolimnion ist. Im Obersee ist der Sauerstoffvorrat im Hypolimnion nach winterlicher Belüftung beträchtlich, so dass nur eine hohe Biomasse-Produktionsleistung eine stärkere Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Tiefenwasser während der Stagnationsperiode zustande bringt.

Wie die schon über 50 Jahre zurückliegenden ersten eingehenden Untersuchungen des Bodensee-Obersees erkennen liessen [AUERBACH et al. 1924, 1924/26] war ursprünglich die Produktionsrate im See so gering und der Sauerstoffvorrat im Tiefenwasser demgegenüber so gross, dass überhaupt nur geringfügige Schwankungen des Sauerstoffgehaltes zu verzeichnen waren. Aus diesem Grund wurde der See in den Lehrbüchern der Limnologie als klassisches Beispiel des oligotrophen Sees mit orthograder Sauerstoffkurve aufgeführt.

Bereits aufgrund der Untersuchungen von GRIMM [1955] und der durch die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee veranlassten eingehenden Untersuchungen in den Jahren 1961 bis 1963 war zu erkennen, dass sich im Sauerstoffhaushalt des Sees deutliche Veränderungen gegenüber diesem ursprünglichen Zustand ergeben hatten. Die Ergebnisse der letztgenannten Untersuchungen wurden bereits eingehend dargelegt [IGKB 1967]. Danach waren die Abnahme der Sauerstoffkonzentrationen im Hypolimnion während der sommerlichen Stagnationszeit besonders im tiefen Hypolimnion von 200 bis 250 m bereits sehr deutlich, nämlich in 250 m Tiefe bis zum November 1961 auf 5,4 mg O₂/l und bis November 1962 auf 6,8 mg O₂/l. Von dieser Jahreszeit an regenerierte sich der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser durch Zufuhr zirkulierender Wassermassen von der Oberfläche während der Wintermonate mehr oder weniger. So wurde im April 1962 eine Sauerstoffkonzentration von 10,9 mg O₂/l und im April 1963 eine Konzentration von 10,8 mg O₂/l erreicht.

Eine weitere Abweichung gegenüber dem früheren Zustand stellt das Auftreten von Sauerstoffkonzentrationsmaxima im Frühjahr und Sommer in oberflächennahen Schichten, mitunter auch im Metalimnion und oberen Hypolimnion dar, wobei zeitweise deutliche Uebersättigungen an Sauerstoff im Wasser auftreten können. Ihre Ursache ist in der auch im Jahre 1961 bis 1963 schon erheblichen Produktionsrate des Phytoplanktons zu suchen. Diese wirkt sich ferner in dem Auftreten eines metalimnischen Sauerstoffminimums vornehmlich während der Spätsommerzeit oder im Frühherbst aus, das durch den bakteriellen Abbau oder die Atmung bis in die Sprungschicht absinkender Plankter bedingt ist. So wurden im Oktober 1961 6,7 mg O₂/l und im September 1962 8,2 mg O₂/l in 20 m Tiefe gemessen. Im Spätherbst setzt ausgehend von der Wasseroberfläche eine Regeneration des Sauerstoffvorrates im Freiwasser ein, die auch allmählich in grössere Tiefen dringt. Unter günstigen Zirkulationsverhältnissen wird der Sauerstoff auch im tiefen Hypolimnion während der Wintermonate oder allenfalls noch im zeitigen Frühjahr regeneriert, wie dies im Winter 1961/62 und 1962/63 weitgehend der Fall war.

Wie die Untersuchungen in der Folgezeit gezeigt haben, hat der Bodensee-Obersee grundsätzlich dieses jahreszyklische Schwankungsverhalten der Sauerstoffgehalte im Freiwasser beibehalten, jedoch war das Ausmass der Konzentrationsschwankungen von Jahr zu Jahr recht unterschiedlich, wie aus den in Tabelle 3 zusammengestellten Hauptkennzahlen der Sauerstoffverhältnisse an der Station Fischbach-Uttwil und den Ganglinien und Isoplethen des Sauerstoffinhaltes des Sees (Abb. 8 und 9) hervorgeht. Betrachtet man die Sauerstoffsituation während der gesamten Untersuchungsperiode 1961/74 so wird deutlich, dass der Sauerstoffvorrat des Tiefenwassers nicht regelmässig von Jahr zu Jahr regeneriert wird, sondern erheblich niedrigere Konzentrationen aufweist als Wasser in höheren Schichten, wie zum Beispiel im Winter 1963/64, 1970/71, 1971/72 und 1972/73. In den darauffolgenden Sommern 1964, 1971, 1972 und 1973 bewirkte die hypolimnische Sauerstoffzehrung während der Stagnationszeit daher besonders tiefe Sauerstoffminima, nämlich von 3,5 mg O₂/l 1964, 2,4 mg O₂/l 1971, 3,4 mg O₂/l 1972 und 2,3 mg O₂/l 1973. Insgesamt gesehen ist eine Tendenz zu geringeren Konzentrationen bei den Sauerstoffminima im tiefen Hypolimnion während der Untersuchungsperiode zu erkennen, wenngleich dazwischen auch immer wieder einmal etwas höhere Sauerstoffminima im Tiefenwasser auftreten.

Die Maxima des Sauerstoffgehaltes im tiefen Hypolimnion treten in der Regel im April, seltener im Mai oder gar im Juni auf (Abb. 9). Auch hier ist eine Tendenz zu immer niedrigeren Sauerstoffmaxima im Tiefenwasser während der Untersuchungsperiode zu erkennen. Während im Frühjahr 1961, 1962 und 1963 die Sauerstoffgehalte in 250 m Tiefe noch nahezu 11 oder 12 mg O₂/l erreichten, wurde ein Wert von 10 mg O₂/l in der Folgezeit nur einmal, nämlich im April 1970 erreicht. Im April 1973 war das Sauerstoffmaximum in 250 m Tiefe mit 6,0 mg O₂/l extrem niedrig.

In den Schwankungen des Sauerstoffgehaltes nahe der Wasseroberfläche ist eine Tendenz zu immer grösseren Fluktuationen innerhalb eines Jahreszyklus zu erkennen (Abb. 9). Dabei hat sich die Höhe der an der Wasseroberfläche auftretenden Konzentrations-

minima des Sauerstoffs nicht sehr wesentlich verändert. Diese schwankten zwischen 8,8 und 9,8 mg O₂/l. Hingegen besteht eine deutliche Tendenz zur Zunahme hoher Sauerstoffkonzentrationen und -übersättigungen im oberflächennahen Wasser während des Untersuchungszeitraumes. Besonders hohe Konzentrationen wurden im April 1968 (19,3 mg O₂/l), im Mai 1970 (18,6 mg O₂/l) und im Mai 1971 (17,7 mg O₂/l) festgestellt. Die oberflächlichen Konzentrationsmaxima wurden, abgesehen von den Jahren 1961, 1962 und 1968, wo sie im April auftraten, während des Monats Mai beobachtet, im Jahre 1965 im Juni. Sie korrelieren mit dem Frühjahrsmaximum der Phytoplanktonproduktion, durch das sie ursächlich bedingt sind. Die Sauerstoffminima in den oberflächennahen Schichten treten entweder im Spätsommer oder im Frühherbst auf. Sie werden durch zirkulationsbedingte Anreicherungen des Sauerstoffs in der kalten Jahreszeit abgelöst.

Die metalimnischen Konzentrationsminima während der Spätsommer- oder Frühherbstzeit führen in der Regel zu einem Absinken der Sauerstoffgehalte auf etwa 7 bis 8 mg O₂/l mit geringen Unterschieden der Konzentrationsminima von Jahr zu Jahr (Abb. 9). Das Minimum wurde seit 1965 regelmässig in 20 m Tiefe gemessen, in den Jahren vorher überwiegend in 10 m Tiefe. Die Eintrittszeit lag regelmässig in den Monaten September oder Oktober, im Sommer 1962 und 1963 im August und im Sommer 1964 im Juli. Tendenzen zur Veränderung des Ausmasses der metalimnischen Sauerstoffzehrungen sind in der Untersuchungsperiode 1961/74 nicht zu erkennen.

Insgesamt gesehen hat sich das Schema des jahreszyklischen Verlaufes der Sauerstoffverhältnisse im Bodensee-Obersee innerhalb der Untersuchungsperiode 1961/74 nicht grundsätzlich verändert. Die Sauerstoffverhältnisse im See werden in erster Linie durch das Zirkulationsverhalten der Wassermassen bestimmt, wobei wegen der oligomiktischen Tendenzen mitunter eine vollständige Regeneration des Sauerstoffvorrates im Tiefenwasser in einzelnen oder manchmal auch einige aufeinanderfolgenden Jahren unterbleiben kann. Das Ausmass der Sauerstoffzehrung innerhalb eines

Jahresverlaufes wird durch das hohe Produktionsniveau des Phytoplanktons bestimmt, das in der Untersuchungsperiode steigende Tendenzen aufweist. Diese zeichnen sich auch in der Tendenz zu zunehmender Sauerstoffübersättigung im Epilimnion ab, die zur Belüftung des Tiefenwassers jedoch nichts Wesentliches beitragen, da sie während der Stagnationszeit auftreten und bis zum Einsetzen der Vertikalzirkulationen im Herbst bereits wieder abgebaut sind und durch ein metalimnisches Sauerstoffminimum abgelöst worden sind. Insgesamt gesehen wird das Ausmass der Sauerstoffschwankungen im See sowohl im Epilimnion als auch im Hypolimnion heute in erster Linie durch die Eutrophierungerscheinungen und das Phytoplankton-Produktionsniveau bestimmt. In dieser Hinsicht ist im Sauerstoffzustand des Bodensee-Obersees die Tendenz zu einer Steigerung der Eutrophierungseffekte in der Untersuchungsperiode 1961/74 unverkennbar.

Im folgenden wird nun der Verlauf der Sauerstoffverhältnisse während der einzelnen Seejahre in der Untersuchungsperiode dargestellt. Die Veränderung der Konzentrationsverhältnisse im Vertikalprofil der Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil ist in der Abbildung 9 im Isoplethenbild dargestellt.

Seejahr 1961/62:

Die Ausgangssituation der Sauerstoffverhältnisse im Seejahr 1961/62 ist durch ein oberflächliches Konzentrationsmaximum von 12,2 mg O_2 /l im April gekennzeichnet, das in Zusammenhang mit der Frühjahrs-Planktonproduktion gesehen werden muss. Zu dieser Zeit lag der Sauerstoffgehalt bis in 100 m Tiefe bei etwa 11 mg O_2 /l, darunter bei Werten um 10 und 9 mg O_2 /l. Im Epilimnion erfuhren während der Sommerzeit die Sauerstoffkonzentrationen eine geringfügige Abnahme, lagen jedoch wegen der zunehmenden Temperatur zumeist über der Sättigungskonzentration. Im Oktober sanken die Sauerstoffgehalte im Epilimnion und besonders auch im Metalimnion, wo ein metalimnisches Sauerstoffminimum von 6,7 mg O_2 /l in 20 m Tiefe erreicht wurde. Während der ganzen Zeit sank der Sauerstoffgehalt im tiefen Hypolimnion fortgesetzt

ab und erreichte im November 1961 ein Minimum von 5,4 mg O_2/l . Zirkulierende Wassermassen erbrachten im Dezember 1961 verhältnismässig gleichmässige Sauerstoffkonzentrationen im Vertikalprofil zwischen 9 und 10 mg O_2/l . Eine weitere Erhöhung der Sauerstoffkonzentrationen während des Winters 1961/62 betraf zunächst nur die Wasserschichten zwischen Wasseroberfläche und 150 m Tiefe, während im Hypolimnion in 250 m Tiefe sich zunächst eine Sauerstoffzehrung wieder bemerkbar machte. Im März 1962 wurde jedoch auch das Tiefenwasser wieder belüftet und ein gleichmässiger Sauerstoffzustand bei Konzentrationen zwischen 10 und 11 mg O_2/l in der gesamten Wassermasse erzielt.

Seejahr 1962/63:

Die Ausgangslage im April 1962 verzeichnete Sauerstoffgehalte von über 10 mg O_2/l im Tiefenwasser und die Ausbildung einer Sauerstoffanreicherungszone im oberen Hypolimnion. Diese entwickelte sich im Laufe des Frühjahrs noch weiter, wobei ein Maximum von über 14 mg O_2/l erreicht und ihre Auswirkung bis in eine Tiefe von 150 m sichtbar wurde. In der Zeit von Juli bis November 1962 kam es wie üblich zu einem Sauerstoffschwund im Epilimnion und Metalimnion. Gleichzeitig erfolgte auch ein Sauerstoffschwund im Tiefenwasser, wobei Sauerstoffgehalte von 10 mg O_2/l von Juni 1962 bis April 1963 und Sauerstoffgehalte von 8 mg O_2/l von August bis November 1962 unterschritten wurden. In 250 m Tiefe wurde ein Minimum von weniger als 7 mg O_2/l erreicht.

Die winterliche Zirkulation 1962 erfasste offensichtlich nicht den Tiefenwasserkörper unter 170 m. Hier vollzog sich ein Nachschub sauerstoffreicherer Wassermassen mit über 10 mg O_2/l - offenbar von den flacheren Randpartien des Sees ausgehend - erst im April 1963.

Während der Seegefrörne 1963 war die winterliche Temperaturschichtung unter dem Eis mit einer Zunahme des Sauerstoffgehaltes bis zu mehr als 13 mg O_2/l verbunden. Der sich anschließende sommerliche Sauerstoffschwund im Oberflächenwasser und

Metalimnion erfasste mit Werten von weniger als 10 mg O₂/l diesmal auch grössere Tiefen.

Seejahr 1963/64:

Einen Sauerstoffschwund, wie bisher noch nie in solchem Ausmass beobachtet, erfuhr das Tiefenwasser vom Frühjahr 1963 an, wobei ein kurzfristiges Minimum von weniger als 5 mg O₂/l in 250 m Tiefe erreicht wurde. Von Ende August 1963 bis März 1964 blieb der Sauerstoffgehalt des Wassers in der grössten Tiefe meist unter 7 mg O₂/l gegenüber ca. 8 bis 10 mg O₂/l bei allen aus den Jahren von 1892 bis 1953 bekannt gewordenen Untersuchungen. Auch reichte die saisonmässige Sauerstoffanreicherung des Oberflächenwassers im Winter 1963/64, wie aus der hohen Lage der 10 mg O₂-Isoplete ersichtlich, nicht so weit wie sonst in das Tiefenwasser hinab. Bis Ende 1964 war noch keine Vollzirkulation mit Sauerstoffausgleich in Gang gekommen. Der See ging unter erheblich schlechteren Sauerstoffverhältnissen als sonst in den neuen Jahreszyklus 1964/65.

Seejahr 1964/65:

Wie bereits im Jahrbuch 1963 berichtet, erfuhr das Tiefenwasser vom Frühjahr 1963 an einen Sauerstoffschwund, wie er bisher noch nie in solchem Ausmass beobachtet worden war. In 250 m Tiefe wurde um die Monatswende September/Okttober ein kurzfristiges Minimum von weniger als 5 mg O₂/l erreicht. Von Ende August 1963 bis März 1964 blieb der Sauerstoffgehalt des Wassers in der grössten Tiefe meist unter 7 mg O₂/l. Trotz des nahezu homothermen Zustandes um die Monatswende März/April 1964 unterblieb ein völliger Ausgleich der Sauerstoffgehalte des Oberflächen- und Tiefenwassers zu diesem Zeitpunkt. Von Vorstössen kleiner linsenförmiger Wasserkörper abgesehen, drangen Wassermassen mit mehr als 10 mg O₂/l lediglich kurzfristig bis in eine Tiefe von etwa 160 m vor. Zehrungsvorgänge führten bereits ab Mai 1964 zu einem Absinken der Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser in solchem Ausmass, dass in 250 m Tiefe zwischen Mitte

Juli bis Mitte Oktober 1964 Sauerstoffkonzentrationen von 5 mg/l nur ganz kurzfristig überschritten wurden. Die beobachteten Sauerstoffminima in dieser Tiefe lagen bei 3,5 mg O₂/l. Wie der Verlauf der 10 mg-Isoplete zeigt, machten sich die Zehrvorgänge im Jahre 1964 auch in Schichten geringerer Tiefe wesentlich stärker als sonst bemerkbar.

Seejahr 1965/66:

Auch im Frühjahr 1965 unterblieb ein völliger Ausgleich der Sauerstoffgehalte des Oberflächen- und Tiefenwassers. Wassermassen mit mehr als 10 mg O₂/l drangen in der Zeit von Frühjahr bis September 1965 und auch später ab Dezember nicht in Tiefen von mehr als 100 bis 130 m vor, während die 10 mg-Isoplete Anfang 1965 noch 150 m Tiefe erreichte. Zwischen September und November 1965 wies der See, von Resten kleiner linsenförmiger Wasserkörper abgesehen, von der Seeoberfläche bis zur grössten Tiefe überall weniger als 10 mg O₂/l auf. Demgegenüber sanken die Sauerstoffgehalte des Tiefenwassers, das während des Frühjahrs 1965 bis auf Werte von über 7 mg O₂/l belüftet worden war, im Verlaufe des Jahres 1966 nicht mehr so stark ab wie im vorausgegangenen Jahre. 6 mg O₂/l wurden nur während sechs Wochen im Oktober und November 1965 unterschritten, wobei das Minimum 5,0 mg O₂/l betrug. Wiederbelüftungserscheinungen machten sich auch in der Folgezeit im Tiefenwasser bemerkbar, wo erstmals seit Frühjahr 1964 Werte von 8 mg O₂/l in 250 m Tiefe beobachtet wurden. Beginnend mit der Herbstzirkulation 1965 hat sich ein stärkerer Ausgleich der Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser unter 100 m vollzogen, was daran zu erkennen ist, dass die Abnahme der Sauerstoffkonzentrationen von dieser Tiefe an einen erheblich geringeren Gradienten als in den vorausgegangenen Jahren aufweist.

In den oberflächennahen Schichten trat im Mai und Juni 1965 die jahreszeitlich übliche Uebersättigungszone mit Sauerstoffgehalten von diesmal maximal 14,2 mg O₂/l auf. Oberflächen-nahe Maxima von etwas mehr als 10 mg O₂/l wurden im August und

September nochmals beobachtet. Von Juli bis Oktober bildete sich die auch schon früher regelmässig beobachtete metalimnische Zehrungszone aus, deren Minima von 8 bis 9 mg O_2 /l von anfänglich etwa 10 m bis auf schliesslich 30 m Tiefe absanken. Insgesamt gesehen blieb das Ausmass sowohl der Sauerstoffzehrungen als auch der Uebersättigungen erheblich niedriger als im vorausgegangenen Jahr.

Bereits ab September 1965 machten sich, wie vorher schon im Metalimnion oder oberen Hypolimnion, Zehrungsvorgänge auch in Wasserschichten zwischen 50 und 100 m bemerkbar, so dass die von der 10 mg-Isoplete umschlossenen Felder metalimnischer und hypolimnischer Sauerstoffzehrung im Isopletenbild ähnlich wie im Vorjahr wieder zusammenfliessen. Erst mit dem Monat Dezember 1965 erfolgte eine Wiederbelüftung der Wasserschicht bis zu 100 m Tiefe auf Konzentrationen über 10 mg O_2 /l, die im Gegensatz zum vorausgehenden Jahr bis zum Ende des Seejahres im März 1966 erhalten blieben. Zur selben Zeit erhöhte sich die Sauerstoffkonzentration auch im Tiefenwasser unter 100 m jeweils um etwa 1 mg O_2 /l.

Im Seejahr 1965 hat sich der Sauerstoffzustand im Tiefenwasser des Sees deutlich verbessert. Der Sauerstoffschwund war hier geringer und die Wiederbelüftungserscheinungen waren intensiver als in den beiden vorausgegangenen Seejahren 1963 und 1964. Wie aus den Veränderungen der Gesamtmenge des Sauerstoffes abzulesen ist, liegen die Sauerstoffzehrungserscheinungen im See insgesamt gesehen jedoch weiterhin in der Grössenordnung des Vorjahres. Das Minimum des Gesamtsauerstoffgehaltes lag im November 1965 tiefer als zu irgendeinem früheren Zeitpunkt; anschliessend führte die winterliche Wiederbelüftung des Seewassers jedoch wieder zu höheren Gesamtsauerstoffgehalten als im Jahr zuvor.

Seejahr 1966/67:

Obwohl es im Jahre 1966 ebenso wie im Vorjahr nicht zu einem vollständigen Ausgleich der Sauerstoffgehalte des Oberflächen- und Tiefenwassers kam, verbesserte sich der Sauerstoffzustand in den tieferen Wassermassen des Sees recht beträchtlich. Bereits Anfang April wurden kurzfristig 10 mg O_2 /l in 200 m überschritten. In 250 m wurden noch 9 mg O_2 /l erreicht. Zwar trat im Laufe des Sommers, wie zu erwarten war, wiederum eine Abnahme der Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser ein, die Ende Oktober einen Tiefstwert von 4,8 mg O_2 /l in 250 m Tiefe ergab. In der Winterzeit Anfang des Jahres 1967 verbesserten sich die Sauerstoffgehalte jedoch verhältnismässig bald. Im März 1967 lag die 10 mg-Isoplete bereits wieder erheblich unter 200 m Tiefe, und auch über Grund wurde ein Höchstwert von 9,6 mg O_2 /l wieder erreicht. 6 mg O_2 /l wurden in 250 m Tiefe im Jahre 1966 für etwa 12 Wochen, nämlich zwischen Mitte September und Anfang Dezember, unterschritten. Damit lagen die Sauerstoffzehrungserscheinungen über Grund etwas höher als im vorausgegangenen Jahr.

In den oberflächennahen Schichten trat von Mitte April bis Ende Mai 1966 die jahreszeitlich übliche Uebersättigungszone mit Sauerstoffgehalten von diesmal maximal 16,4 mg O_2 /l auf. Verschiedentlich wurden auch in den folgenden Monaten bis in den Oktober hinein Sauerstoffgehalte von mehr als 10 mg O_2 /l beobachtet. Von Ende Juli bis Mitte November bildete sich die auch schon früher regelmässig beobachtete metalimnische Zehrungszone aus, wobei in einer Tiefe von 20 m zwischen Ende September und Ende Oktober die stärkste Sauerstoffzehrung bis auf weniger als 8 mg O_2 /l und beobachteten Minima von 7,1 mg O_2 /l lag. Das Ausmass der Uebersättigungen im Zuge der Frühjahrsplanktonproduktion sowie auch der Sauerstoffzehrungen im Metalimnion war somit wieder höher als im Jahre 1965 und lag in der Grössenordnung des Jahres 1964.

Im Oktober und November, ehe Zirkulationsvorgänge auch tiefere Wasserschichten ergriffen, war eine Sauerstoffzehrung auch in

Tiefen von 50 und 100 m spürbar, so dass die von der 100 mg-Isoplete umschlossenen Felder metalimnischer und hypolimnischer Sauerstoffzehrung im Isopletenbild ähnlich wie im Vorjahr wieder zusammenfliessen. Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers durch Vertikalzirkulation führte im Dezember ähnlich wie im Vorjahr zu Konzentrationen über 10 mg O_2/l bis in 100 m Tiefe. Diese Konzentration wurde bis zum Frühjahr 1967, vom tiefsten Teil des Seebeckens unter 220 m abgesehen, ebenfalls erreicht. Auch über Grund lagen die Werte nicht unter 9 mg O_2/l . Die Sauerstoffgehalte des Tiefenwassers nahmen seit Beginn der Zirkulationsperiode bis zum Ende des Seejahres um etwa 3 mg O_2/l zu. Bei im Vergleich zum Vorjahr höheren Sauerstoffübersättigungen im Oberflächenwasser zur Zeit hoher Planktonproduktion und stärker ausgeprägten Sauerstoffzehrungen im Metalimnion war die Wiederbelüftung durch Zirkulation im Winter 1966/67 deutlich stärker als im vorausgegangenen Jahr, so dass die Ausgangslage für den Sauerstoffhaushalt des Seejahres 1967/68 wiederum günstiger war als für das Seejahr 1966/67. Dies ist auch erkennbar aus den Veränderungen der Gesamtmenge des Sauerstoffs, die während der Sommermonate und auch noch um die Jahreswende 1966/1967 in der Grössenordnung des Vorjahres lagen, im März 1967 jedoch einen etwas günstigeren Betrag aufwiesen.

Seejahr 1967/68:

Obwohl es im Jahre 1967 ebenso wie im Vorjahr nicht zu einem gänzlichen Ausgleich der Sauerstoffgehalte des Oberflächen- und Tiefenwassers kam, verbesserte sich der Sauerstoffzustand in den tieferen Wassermassen des Sees recht beträchtlich. Im April 1967 betrug die Sauerstoffwerte in 200 m Tiefe 10,3 mg O_2/l und in 250 m Tiefe 9,2 mg O_2/l . Die Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Tiefenwasser während der Sommermonate blieb verhältnismässig gering. In der Tiefe von 200 m wurden 9 mg O_2/l nur gelegentlich unterschritten, in 250 m Tiefe ergab sich im September ein Minimum von 6,1 mg O_2/l . Bereits mit dem Monat Dezember und in den folgenden Wintermonaten verbesserten sich die Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser jedoch wieder merklich. Im März

1968 erreichte die 10 mg-Isoplete erstmalig seit mehreren Jahren wieder die Tiefe von 250 m, wobei ein Höchstwert über Grund von 10,2 mg O_2/l gemessen wurde. 8 mg O_2/l wurden in 250 m Tiefe für etwa zwei Monate (von Mitte Juli bis Mitte September) unterschritten, 7 mg O_2/l mit kurzer Unterbrechung für 3 1/2 Monate (von Anfang September bis Mitte Dezember). Damit haben die Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser etwa den Zustand des Sees vor der Seegefrörne 1963/64 wieder erreicht.

In den oberflächennahen Schichten trat von Mitte März bis Mitte Juni die jahreszeitlich übliche Uebersättigungszone mit Sauerstoffgehalten von diesmal maximal 14,3 mg O_2/l auf. Dieses Maximum ist zwar geringer als das des Vorjahres, jedoch erfassten Sauerstoffübersättigungen im Frühjahr 1967 auch grössere Tiefen als im Vorjahr, wie aus dem Verlauf der 100 mg-Isoplete zu erkennen ist. Von Ende Juli bis Mitte November bildete sich die auch schon früher regelmässig beobachtete metalimnische Zehrungszone aus, wobei in einer Tiefe von 20 m zwischen Anfang September und Ende Oktober die stärkste Sauerstoffzehrung bis auf weniger als 8 mg O_2/l beobachtet wurde und ein Minimum von 7,5 mg O_2/l auftrat. Das Ausmass der Sauerstoffzehrungen im Metalimnion lag in der Grössenordnung des Jahres 1966.

Die Auswirkung der Zehrungsvorgänge im Tiefenbereich um 100 m war während der Sommermonate 1967 nur gering, so dass erstmalig seit dem Jahre 1963 die von den 10 mg-Isopleten umschlossenen Felder metalimnischer und hypolimnischer Sauerstoffzehrung im Isopletenbild nicht mehr zusammenfliessen. Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers durch Vertikalzirkulation setzte im Dezember mit stärkerer Wirkung als im vergangenen Jahr ein, so dass Konzentrationen von über 10 mg O_2/l in 150 m Tiefe zeitweise erreicht und ab Januar ständig überschritten wurden. Im Februar und März setzte sich die Wiederbelüftung des Tiefenwassers auf Werte über 10 mg O_2/l zunächst bis auf 200, schliesslich bis auf 250 m Tiefe fort. Damit erreichte die 10 mg-Isoplete erstmalig seit dem Jahre 1963 den Seeboden an der tiefsten Stelle. Die Sauerstoffgehalte des Tiefenwassers nahmen vom

Beginn der Zirkulationsperiode bis zum Ende des Seejahres um etwa 3 mg O_2 /l zu. Bei im Vergleich zum Vorjahr grössenordnungsmässig ähnlichen Sauerstoffübersättigungen im Oberflächenwasser zur Zeit hoher Planktonproduktion und ähnlich ausgeprägten Sauerstoffzehrungen im Metalimnion hatte die Wiederbelüftung durch Zirkulation im Winter 1967/68 zusammen mit der gegenüber dem Vorjahr geringeren Auszehrung des hypolimnischen Sauerstoffgehaltes einen deutlich verbesserten Effekt auf den Sauerstoffzustand des Sees, so dass die Ausgangslage für den Sauerstoffhaushalt des Seejahres 1968/69 wiederum günstiger war als für das Seejahr 1967/68. Aus den Zahlenwerten der Veränderung der Gesamtmenge des Sauerstoffs im Bodensee ist zu erkennen, dass das Ausmass der Zehrungsvorgänge etwa noch die gleiche Grössenordnung wie im Vorjahr aufwies. Infolge der Wiederbelüftung lag jedoch das Minimum des Gesamtsauerstoffgehaltes im November sowie auch der Gesamtsauerstoffgehalt zum Zeitpunkt der Zirkulation im Frühjahr um etwa 2% höher als im vorhergehenden Jahr.

Seejahr 1968/69:

Nachdem sich die Sauerstoffverhältnisse im tiefen Hypolimnion während des Jahres 1967 gegenüber den Vorjahren nachhaltig verbessert hatten, erreichte der Bodensee-Obersee im Zuge einer kräftigen Durchmischung im März 1968 mit Sauerstoffgehalten von über 10 mg O_2 /l im gesamten Wasserkörper bis hinab zu 250 m Tiefe eine recht günstige Ausgangssituation für die Entwicklung des Sauerstoffzustandes im Seejahr 1968. Bereits Ende März 1968 fiel der Sauerstoffgehalt in 250 m Tiefe wieder unter 10 mg O_2 /l und trat im Tiefenwasser eine fortgesetzte Abnahme der Sauerstoffgehalte ein. Die hypolimnischen Zehrungsvorgänge blieben, erkennbar etwa am weiteren Verlauf der 10 mg O_2 /l-Isoplete, in den Monaten April bis Juli auf den Wasserkörper von 200 bis 250 m Tiefe und in der Folgezeit bis November auf den hypolimnischen Bereich von 150 bis 250 m Tiefe beschränkt. Bis Ende August sanken die Sauerstoffgehalte in 250 m Tiefe auf 8 mg O_2 /l und bis Mitte Oktober auf etwa 7 mg O_2 /l ab. Im November und Dezember wurden 6 mg O_2 /l unterschritten und Minima von

5,6 mg O_2 /l erreicht. Von diesem Zeitpunkt an setzte bereits wieder eine allmähliche Verbesserung des Sauerstoffgehaltes im tiefsten Wasserkörper ein, die schliesslich zu einer Anreicherung auf 9,8 mg O_2 /l im März 1969 führte.

Im Epilimnion des Sees traten im Frühjahr, wie nunmehr üblich, Sauerstoffübersättigungen ein, wobei Ende April sogar 19,3 mg O_2 /l an der Oberfläche registriert werden konnten. Der Sauerstoffzuwachs machte sich im April 1968 bis in Tiefen von etwa 50 m bemerkbar und erklärt sich sicherlich zum Teil aus den zu dieser Zeit noch herrschenden kräftigen Zirkulationsvorgängen, die aus dem Bild der thermischen Situation erkennbar sind. Die Sauerstoffverhältnisse an der Wasseroberfläche lagen während des Sommers 1968 im allgemeinen im Bereich von 10 bis 11 mg O_2 /l. Wie üblich traten in der Zeit von Juli bis November 1968 metalimnische Sauerstoffminima mit tiefsten Sauerstoffwerten in etwa 20 m Wassertiefe auf. Ein Minimum wurde hier im September mit 7,7 mg O_2 /l erreicht. Im übrigen lagen während der Sommerstagnation die Sauerstoffgehalte zwischen 50 und 150 m Tiefe insgesamt bei etwas über 10 mg O_2 /l.

Im Zuge der herbstlichen Zirkulationserscheinungen verminderte sich der Sauerstoffgehalt des Wassers in diesem Bereich im Verlaufe des Monats Dezember 1968 und Januar 1969 auf Werte zwischen 9 und 10 mg O_2 /l. In dieser Zeit verbesserten sich die Sauerstoffgehalte des Tiefenwassers noch nicht, dagegen ab Februar 1969 in allen Wasserschichten wieder sehr erheblich. Jedoch wurde ein voller Konzentrationsausgleich nicht erzielt, obwohl Ende Februar das Wasser des Sees nahezu homotherm war. Bis 150 m Tiefe lagen zu diesem Zeitpunkt die Sauerstoffgehalte > 10 mg O_2 /l, in 150 bis 200 bei 9-10 mg O_2 /l und zwischen 250 und 200 m Tiefe bei 9 mg O_2 /l. Im Laufe des Monats März verbesserte sich der Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers noch auf 9,8 mg O_2 /l, die 10 mg-Isoplete verblieb jedoch im Gegensatz zum vorausgehenden Jahr bei etwa 150 m, während im oberflächennahen Wasser bis in 50 m Tiefe sich ein leichter Anstieg des Sauerstoffgehaltes bemerkbar machte. Insgesamt gesehen hat sich

damit der Sauerstoffzustand des Sees gegenüber dem Jahre 1967 im Verlaufe des Jahres 1968 etwas verschlechtert, was sich am absoluten Minimum des Sauerstoffes im Tiefenwasser von $5,6 \text{ mg O}_2/\text{l}$ dem Minimum des gesamten Sauerstoffinhaltes von $446 \cdot 10^3 \text{ t}$ im Dezember 1968 sowie dem Sauerstoffinhalt am Ende des Seejahres mit $504 \cdot 10^3 \text{ t}$ im März 1969 gegenüber $514 \cdot 10^3 \text{ t}$ im April 1968 ablesen lässt.

Seejahr 1969/70:

Die Entwicklung der Sauerstoffverhältnisse am Ende des Seejahres 1968/69 war gekennzeichnet durch einen nicht ganz vollständigen Ausgleich der Sauerstoffverhältnisse im gesamten Wasserkörper zu Beginn der neuen Stagnationszeit. Im April 1969 lagen die Sauerstoffkonzentrationen zwischen $11,3 \text{ mg O}_2/\text{l}$ an der Wasseroberfläche und $9 \text{ mg O}_2/\text{l}$ in 250 m Tiefe. Der Sauerstoffzustand verschlechterte sich während des Sommers 1969 weiterhin. Die Lage der 10 mg -Isoplete verlagerte sich auf eine Tiefe von etwa 100 m und fiel im November mit der 10 mg -Isoplete des metalimnischen Sauerstoffdefizites zusammen. Sauerstoffanreicherungen im Oberflächenwasser waren zwar im März und April sowie im Mai 1969 zu verzeichnen, Sauerstoffübersättigungen waren jedoch damit im März und April nicht und im Mai nur in geringfügiger Masse verbunden. Die metalimnischen Sauerstoffdefizite erreichten ein grösseres Ausmass als im vorangegangenen Jahr. Ende Oktober wurde in 20 m Tiefe ein Minimum von $6,9 \text{ mg O}_2/\text{l}$ beobachtet.

Die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser waren gekennzeichnet durch eine Abnahme der Sauerstoffgehalte in 250 m Tiefe auf $9 \text{ mg O}_2/\text{l}$ Anfang April, $8 \text{ mg O}_2/\text{l}$ Mitte Juni, $7 \text{ mg O}_2/\text{l}$ Mitte Juli und weniger als $6 \text{ mg O}_2/\text{l}$ in der Zeit von Mitte August bis Anfang November. Ende Oktober wurde in dieser Tiefe der geringste Sauerstoffgehalt von $5,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ermittelt. Gegen Ende der Stagnationsperiode im Herbst 1969 lagen die Sauerstoffgehalte in Tiefen unter 150 m unter $9 \text{ mg O}_2/\text{l}$, in Tiefen unter 200 m unter $8 \text{ mg O}_2/\text{l}$ und in 250 m unter $6 \text{ mg O}_2/\text{l}$.

Die Zirkulationsverhältnisse im Winter 1969/70 erwiesen sich auf die Dauer gesehen als sehr durchgreifend. Die 10 mg-Iso-plete erreichte Ende März 1970 wieder die grösste Tiefe des Sees und zwischen November und Anfang Dezember 1969 erhöhte sich der Sauerstoffgehalt hier von 5,6 mg O_2 /l auf mehr als 7 mg O_2 /l und auf mehr als 9 mg O_2 /l bis Ende Februar 1970.

Insgesamt gesehen war die Auswirkung der Sauerstoffzehrungsverhältnisse im Bodensee-Obersee im Verlaufe des Seejahres 1969 stärker als im vorangegangenen Jahr. Sauerstoffgehalte von weniger als 6 mg O_2 /l herrschten im Tiefenwasser über nahezu 2 1/2 Monate, das absolute Sauerstoffminimum betrug wieder 5,0 mg O_2 /l. Der Sauerstoffinhalt des Sees lag im Minimum im Oktober 1969 bei $437 \cdot 10^3$ t und erreichte damit etwa wiederum den Zustand des Jahres 1966. Diese Verhältnisse erklären sich zum Teil sicher durch die verhältnismässig ungünstige Ausgangssituation zu Beginn des Seejahres mit einem Sauerstoffvorrat von nur $504 \cdot 10^3$ t im See. Die Wiederbelüftung des Bodenseewassers im Winter 1969/70 konnte jedoch dieses erhöhte Defizit wieder wettmachen und im März 1970 betrug der durchschnittliche Gesamtgehalt des Seewassers bereits wieder $501 \cdot 10^3$ t bei vollem Ausgleich der Sauerstoffkonzentrationen auf etwa 10,8 mg O_2 /l in allen Tiefen.

Seejahr 1970/71:

Im April 1970 lag der Sauerstoffgehalt von der Oberfläche bis zur Tiefe von 250 m bei 10,8 mg/l. Im weiteren Verlauf des Jahres 1970 entwickelten sich die Sauerstoffverhältnisse des Bodensee-Obersees im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren sehr günstig. Erhebliche Sauerstoffübersättigungen konnten bis zu Tiefen von 30 m während der Monate April bis Juni beobachtet werden. Ende Mai erreichte die Sauerstoffübersättigung bei 18,6 mg O_2 /l an der Wasseroberfläche einen Höchstwert. Auch in der Folgezeit wurden 12 mg O_2 /l in den obersten Wasserschichten wiederholt überschritten. Ein metalimnisches Sauerstoffdefizit während der Monate August und September im Bereich von 10 bis

20 m Tiefe war erkennbar, blieb jedoch in seinem Ausmass mit einem Minimum von 8,5 mg O_2 /l verhältnismässig gering ausgeprägt. Gering blieb auch die Sauerstoffabnahme des Tiefenwassers, die während des Sommers 1970 kontinuierlich erfolgte und in der ersten Septemberhälfte zu einer Minimumkonzentration von 7,0 mg O_2 /l in 250 m Tiefe führte. Die Sauerstoffzehrung im Hypolimnion führte im Verlaufe des Sommers zu Sauerstoffgehalten von weniger als 8 mg O_2 /l in Tiefen von unterhalb 225 m, von weniger als 9 mg O_2 /l in Tiefen von unterhalb 200 m. Die 10 mg-Sauerstoff-Isoplethe stieg vom Seeboden Ende Mai 1970 bis auf etwa 90 m Tiefe im Januar 1971 an. Mit $471 \cdot 10^3$ t lag der Sauerstoffinhalt des Obersees im Oktober 1970 (Jahresminimum) deutlich höher als mit $437 \cdot 10^3$ t im Oktober 1969.

Die inverse thermische Schichtung während des Winters 1970/71 verhinderte eine nachhaltige Anreicherung des Tiefenwassers mit Sauerstoff. Die Zunahme des Sauerstoffs in 250 m Tiefe fand Mitte Dezember 1970 mit 8,4 mg O_2 /l ein Ende, dem sich eine fortgesetzte Sauerstoffzehrung im tiefen Hypolimnion anschloss. Verhältnismässig stark mit Sauerstoff angereichert wurde das Bodenseewasser während des Winters 1970/71 bis 150 m Tiefe, wo Ende Februar 1971 10,7 mg O_2 /l bei gleichzeitig 12,5 mg O_2 /l an der Wasseroberfläche erreicht wurden. Mit Beginn des neuen Seejahres ergab sich ein Zustand, in dem die Sauerstoffgehalte von der Oberfläche bis 50 m Tiefe bei 11 mg O_2 /l lagen und 10 mg O_2 /l auch in Tiefen bis zu 120 m noch überschritten wurden. Von hier ab fiel der Sauerstoffgehalt bis zum Seeboden graduell auf 7,1 mg O_2 /l ab. Mit $498 \cdot 10^3$ t lag der Gesamtinhalt des Obersees immer noch auf fast gleicher Höhe wie im März 1970. Das Maximum wurde jedoch bereits im Februar mit $522 \cdot 10^3$ t 1971 (1970 im Mai mit $525 \cdot 10^3$ t) erreicht. Infolge dieses frühzeitigen Einsetzens der Sauerstoffzehrung im Jahre 1971 war mit einer Verschlechterung des Sauerstoffzustandes des Bodensee-Obersees im weiteren Verlaufe des Jahres 1971 zu rechnen.

Seejahr 1971/72:

Die Sauerstoffverhältnisse im See entwickelten sich während des Seejahres 1971/72 wesentlich ungünstiger als im vorangegangenen Jahr. Die Ausgangslage im April 1971 zeigte eine deutliche Sauerstoffschichtung mit 11,2 mg O₂/l an der Wasseroberfläche und 6,8 mg O₂/l in 250 m Tiefe. Frühzeitig traten in den obersten Wasserschichten von April an Uebersättigungserscheinungen durch starke Planktonentwicklung ein, die erst Anfang Juni normalen Verhältnissen Platz machte. Dabei wurden an der Oberfläche Gehalte von 17 mg O₂/l überschritten. Die Zehrungserscheinungen im Tiefenwasser nahmen ein erhebliches Ausmass an. Sie setzten sich in der grössten Tiefe bis November 1971 fort, wo ein Sauerstoffminimum von 2,4 mg O₂/l erreicht wurde. Im gesamten Tiefenwasser unter 200 m waren ab Sommerende die Sauerstoffgehalte unter 7 mg O₂/l abgesunken. Auch in einer Tiefe von 100 m war die Sauerstoffzehrung noch spürbar. Hier lagen die Sauerstoffgehalte vom Frühjahr 1971 an fast ständig unter 10 mg O₂/l. Desgleichen war das Ausmass der metalimnischen Sauerstoffzehrung im Jahre 1971 wesentlich grösser als im vorangegangenen Jahr.

Im August 1971 wurden in 10 m Tiefe Werte von 7 mg O₂/l unterschritten. Im Zuge der herbstlichen Zirkulationserscheinungen nahmen die Sauerstoffgehalte auch im mittleren Tiefenbereich von 50 bis 100 m ab, so dass im November die Sauerstoffkonzentrationen insgesamt im ganzen Freiwasser eine Konzentration von 10 mg O₂/l nicht mehr erreichten. Da die Wiederbelüftung während des Winters 1971/72 nicht sehr durchgreifend war, bleiben Sauerstoffkonzentrationen von über 10 mg O₂/l gegen Ende des Winters auf den Bereich von weniger als 100 m Tiefe beschränkt. Die seit Ende November 1971 zu verzeichnende Zunahme des Sauerstoffgehaltes in der grössten Tiefe blieb geringfügig und erreichte bis Ende März 1972 noch nicht einmal eine Konzentration von 6 mg O₂/l. Angesichts der hohen Verlustrate des Sees an Sauerstoff während der Stagnationsperiode, die im Jahre 1971 56×10^3 t betrug, führte die anschliessende Unterbilanz der Wiederbelüftung

zu einem bedenklichen Zustandsbild der Sauerstoffsituation des Sees zu Beginn des Seejahres 1972.

Seejahr 1972/73:

Die Wiederbelüftung des Sees während des Winters 1971/72 blieb unvollständig, so dass der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser im April 1972 erst 6,2 mg O₂/l erreicht hatte bei einer Sauerstoffkonzentration von 11,6 mg O₂/l an der Wasseroberfläche. Während der Stagnationsperiode 1972 verminderte sich der Sauerstoffgehalt im Bereich unterhalb der thermischen Sprungschicht überall. Im Tiefenwasser von 250 m wurde Ende September ein Minimum von 3,4 mg O₂/l erreicht. In dieser Zeit nahm der Sauerstoff in 200 m Tiefe von 7,2 auf 5,9 mg O₂/l, in 100 m von 10,3 auf 8,7 mg O₂/l und in 50 m von 11,1 auf 9,0 mg O₂/l ab. Im gesamten Tiefenwasser von 150 m abwärts waren gegen Sommerende die Sauerstoffgehalte niedriger als 7,0 mg O₂/l. Infolge Sauerstoffproduktion durch Phytoplankton traten wie alljährlich in den oberen Wasserschichten Sauerstoffübersättigungen auf, bei denen im Mai 1972 13,6 mg O₂/l, im Juni 15,7 mg O₂/l und im August nochmals 13,6 mg O₂/l erreicht wurden. Die Auswirkung oberflächlicher biogener Sauerstoffanreicherungen war zeitweise bis in 50 m Tiefe an Erhöhungen des Sauerstoffgehaltes noch zu spüren. Die sommerliche metalimnische Sauerstoffzehrung blieb mässig, im September wurde in 20 m Tiefe eine Konzentration von 8,0 mg O₂/l gemessen. Nach den Ergebnissen der Sauerstoffmessungen hat es den Anschein, als ob Ende Oktober eine bis in 250 m Tiefe reichende Sauerstoffanreicherung eingetreten war. Dies spiegelt sich auch in einer geringfügigen Zunahme der Wassertemperatur wieder. Diese Veränderungen der thermischen und chemischen Situation stehen in ursächlichem Zusammenhang mit der Wirkung von Starkwinden, die zu diesem Zeitpunkt aufgetreten waren, auf Wasserbewegungen im See. Zwar führte nach Wiederberuhigung der Wassermassen die Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser anschliessend nochmals zu einem Konzentrationsabfall auf 3,8 mg O₂/l. Ohne die Durchlüftungserscheinungen im Oktober 1972 und damit gegebene Unterbrechung der Stagnationsperiode

wären zweifellos Sauerstoffminima bei etwa 20 mg O_2/l eingetreten. Insgesamt gesehen nahm der Sauerstoffinhalt des Sees während der Stagnationszeit von April bis November 1972 um $87 \cdot 10^3$ t ab und erreichte damit einen sehr niedrigen Stand, der in der Entwicklung des Sees bislang nur 1965 noch unterschritten wurde. Die Wiederbelüftung während des Winters 1972/1973 erbrachte demgegenüber nur einen Zugewinn von $59 \cdot 10^3$ t, der sich allerdings vorwiegend nur auf den Bereich von der Wasseroberfläche bis in 150 m Tiefe stärker begünstigend auswirkte. In tieferen Wasserschichten dominierten bis zu diesem Zeitpunkt immer noch die Zehrungserscheinungen, so dass der Sauerstoffgehalt Ende März in 250 m Tiefe nur noch $4,3$ mg O_2/l und in 200 m Tiefe $6,2$ mg O_2/l betrug. Die Ausgangssituation der Sauerstoffverhältnisse war zu Beginn des Seejahres 1973 damit noch erheblich schlechter als zu Beginn des Seejahres 1972.

Seejahr 1973/74:

Bei Beginn des Seejahres 1973/74 waren die Sauerstoffverhältnisse bei Konzentrationen zwischen 10 bis 12 mg O_2/l lediglich in den Wassermassen zwischen der Oberfläche und 150 m Tiefe einigermaßen ausgeglichen, während im tiefen Hypolimnion die winterliche Wiederbelüftung unvollständig geblieben war. In 250 m Tiefe lag Anfang April 1973 eine Konzentration von $4,9$ mg O_2/l vor. Die Zunahme der Sauerstoffgehalte im Zusammenhang mit der Frühjahrs-Planktonproduktion führte im Mai zu einem Konzentrationsmaximum von $16,4$ mg O_2/l (= 161% Sauerstoffsättigung) an der Wasseroberfläche. Infolge der Phytoplanktonproduktion auch in tieferen Wasserschichten und von Zirkulationsvorgängen war die Sauerstoffzunahme, wenn auch in absolut gesehen bescheidenem Umfang, noch in grösseren Wassertiefen spürbar. Zwar nahmen die sehr hohen Sauerstoffkonzentrationen im Epilimnion in der Folgezeit wieder ab, jedoch blieben während des Sommers die oberflächennahen Sauerstoffgehalte zum Teil immer noch über der Sättigungskonzentration. Während dieser Zeit bildete sich ein sommerliches metalimnisches Sauerstoffminimum aus, wobei

Anfang Oktober ein Tiefststand von 6,8 mg O_2 /l in 20 m Tiefe erreicht wurde.

Infolge der schlechten Ausgangssituation der Sauerstoffverhältnisse zu Anfang des Seejahres führte die Sauerstoffzehrung im tiefen Hypolimnion während der Stagnationszeit zu extrem niedrigen Sauerstoffgehalten. Fast während des ganzen Monats Juli und dann wieder von Mitte August bis Mitte November lagen die Sauerstoffkonzentrationen in 250 m Tiefe unter 4 mg O_2 /l, im September wurde hier ein Tiefstwert von 2,2 mg O_2 /l und im Oktober wieder ein Wert von 2,3 mg O_2 /l gemessen.

Eine nachhaltige Sauerstoffzufuhr in grössere Tiefen setzte erst im Dezember 1973 ein, erzielte im tiefen Hypolimnion jedoch nur einen relativ langsamen Wiederanstieg der Sauerstoffkonzentration. Bis März 1974 wurden Konzentrationen von 10 mg O_2 /l nur bis in eine Tiefe von 100 m überschritten. In 250 m Tiefe lagen die Sauerstoffkonzentrationen zu diesem Zeitpunkt immer noch erst bei 8,6 mg O_2 /l. Sie waren damit allerdings schon wesentlich günstiger als zum gleichen Zeitpunkt im vorausgegangenen Jahr.

Orthophosphat

Das Phytoplanktonwachstum im Obersee wird zur Zeit im wesentlichen durch den Gehalt des Seewassers an gelösten Phosphorverbindungen als limitierenden Nährstoff begrenzt. Gegenüber früheren Jahren besteht derzeit die Phosphormangelsituation im See für die Algen, allerdings nur in gewissen Zeitperioden im Sommer. Die Phosphorverbindungen liegen zum grössten Teil in der Form von Orthophosphat im Seewasser vor. Daneben spielen Polyphosphate und organisch gebundener Phosphor noch eine gewisse Rolle. Bei der vergleichenden Betrachtung der Entwicklung der Konzentrationsverhältnisse an gelösten Phosphorverbindungen gehen wir deswegen von den Orthophosphat-Verhältnissen aus

(Abb. 10) weil die Konzentrationen dieser Komponente nahezu lückenlos in der Untersuchungsperiode 1961-1974 gemessen worden sind, während das Informationsmaterial über andere gelöste Phosphorverbindungen weniger vollständig ist.

Bei den Untersuchungen des Bodensees von Einsele [ELSTER und EINSELE 1935] lag die Orthophosphat-Konzentration unter der Nachweisbarkeitsgrenze von $1 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$. In den fünfziger Jahren wurden die Limnologen auf eine allmähliche Zunahme der Orthophosphat-Konzentrationen im Bodenseewasser aufmerksam. Bei der Aufnahme des Untersuchungsprogrammes der Internationalen Gewässerschutzkommission im Jahre 1961 war die inzwischen eingetretene Erhöhung der Orthophosphat-Konzentration schon sehr deutlich. Dabei zeichnete sich auch schon ein gewisses jahreszeitliches Verteilungsmuster der Konzentration im Seewasser ab. Ueberwiegend lagen diese im Bereich zwischen 5 und $10 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$. Im Frühjahr und während der Sommerzeit sanken die Orthophosphat-Konzentrationen im Epilimnion zeitweise auch bis in Tiefen von 30 m deutlich, zum Teil bis unter die Nachweisbarkeitsgrenze von $1 \text{ mg PO}_4\text{-P}$, ab. Eine gewisse Anreicherung erfahren die Orthophosphat-Konzentrationen im Hypolimnion insbesondere in grösseren Tiefen und in der Nähe des Seebodens, wobei im Jahre 1961 bereits 20 mg häufig überschritten wurden. Winterliche Zirkulationsercheinungen lassen die Konzentrationsunterschiede am Ende des Seejahres weitgehend wieder verschwinden.

Im Verlaufe der gesamten Untersuchungsperiode 1961 bis 1974 zeigten die Orthophosphat-Konzentrationen eine zunehmende Tendenz, wobei die hier geschilderten Verteilungsverhältnisse auf ein immer höheres Konzentrationsniveau rückten.

Der Anstieg der Orthophosphatkonzentrationen geht am übersichtlichsten aus den Ganmlinien des Gesamtinhaltes des Sees an Orthophosphat (Abb. 11) hervor. Diese Summenwerte wurden aus den $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen, die in monatlichen Abständen an der Station Fischbach-Uttwil gemessen wurden, berechnet. Hierbei wurden die Orthophosphat-Mengen in den Schichten 0-10, 10-20,

20-30, 30-50, 50-100, 100-150, 150-200 und 200-252 m Tiefe einzeln aus den jeweiligen Konzentrationsmittelwerten sowie daraus der Gesamtinhalt an Orthophosphat errechnet. Neben den errechneten Beträgen für die einzelnen Monate 1961-1973 wurden die gleitenden Mittelwerte (Jahresmittelwert mit in Monatsabständen gleitender Periode) in die Abbildung eingetragen. Danach ist der Jahresmittelwert von Orthophosphat von 12,1 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^2$ im Jahre 1961/62 auf 63,7 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^2$ im Seejahr 1973/74 angestiegen, wobei die Zuwachsrate allmählich grösser geworden ist. Entsprechend der Zunahme der Phytoplanktonproduktion vergrösserte sich die Schwankungsamplitude von Orthophosphat im Epilimnion von 1961 bis 1963 von durchschnittlich 8 auf 60 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^2$ (vgl. Abb. 10). Die jährlichen Schwankungen von $\text{PO}_4\text{-P}$ im tiefen Hypolimnion betragen 1961 6-28 mg und 1973 94-117 mg/m² (Abb. 12).

Die Verhältnisse der zeitlich-räumlichen Verteilung von Orthophosphat gehen aus der Isopletendarstellung in Abbildung 10 hervor. Für die einzelnen Jahre können folgende Angaben gemacht werden:

Bereits während des Jahres 1962 stieg das Konzentrationsniveau im Epilimnion zeitweise auf über 20 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$ an. In tieferen Wasserschichten wurden Konzentrationen von mehr als 50 mg $\text{PO}_4\text{-P}$ beobachtet. Konzentrationen von weniger als 5 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$ wurden im Epi- und Metalimnion nur kurzfristig im April beobachtet.

Im April 1963 wurden nahezu homochemische Verhältnisse des Orthophosphates auf einem Konzentrationsniveau von etwa 30-40 mg $\text{PO}_4\text{-P}$ erreicht. Im Verlaufe des Jahres 1963 nahm das Konzentrationsniveau an Orthophosphat nicht nur im Epilimnion in der gewohnten Weise ab, sondern es reduzierte sich im gesamten Wasserkörper des Sees und lag zu Beginn des Seejahres 1964/65 im Bereich von 10-20 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$.

Während des Sommers 1964 lagen die Orthophosphat-Konzentrationen im Bodenseewasser in den obersten 50 m meist unter 5 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$, vielfach sogar bei 1 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$. Auffällig ist, dass

im Sommer 1964 merkliche Konzentrationszunahmen im tiefen Hypolimnion eintraten, was möglicherweise mit der erheblichen Abnahme der Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser in Verbindung steht. Wahrscheinlich kam es dabei zu einer noch stärkeren Sauerstoffverarmung der Kontaktschichten von Sediment und Seewasser und im Interstitialwasser der Bodenseesedimente, welche die Freisetzung von Orthophosphat aus Sedimenten begünstigen könnte.

Diese Konzentrationszunahme wiederholte sich in noch ausgeprägterem Masse während der Stagnationszeit des Jahres 1966, wo im Oktober Konzentrationen von über $110 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ in 250 m Tiefe gemessen wurden. Die Konzentrationen im Epilimnion und Metalimnion lagen während der Sommerzeit auch 1966 wieder vielfach unter 10 oder $5 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$.

1967 lag die Ausgangskonzentration an Orthophosphat im Frühjahr bei etwa $40 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$, Konzentrationszunahmen in der Seetiefe waren weniger dramatisch als in den vorausgegangenen Jahren. Die Höchstwerte in 250 m Tiefe lagen über $50 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$. Die Situation wiederholt sich etwa im Jahre 1968 mit Ueberschreitungen von $70 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ in 250 m Tiefe. In dieser Grössenordnung blieben die bodennahen Konzentrationen in 250 m Tiefe gegen Ende der Stagnationszeit auch in den Jahren 1969 und 1970. Vom Jahre 1970 an erreichte die Phytoplanktonproduktion ein solches Ausmass, dass die Orthophosphatkonzentration im Epilimnion zeitweise unter die Nachweisbarkeitsgrenze von $0,5 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ absank.

Am Ende des Seejahres 1970/71 hob sich das Konzentrationsniveau auf etwa $50 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$, während der folgenden Stagnationszeit des Jahres 1971 erreichte auch die Orthophosphatkonzentration über Grund in 250 m Tiefe mit über $150 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ einen neuen Höhepunkt. Von nun an blieben während des nahezu gesamten Verlaufes im Jahre 1972 und 1973 die Orthophosphatkonzentrationen im tiefen Hypolimnion zumeist über $100 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$. Ein Konzentrationsausgleich von Orthophosphat zwischen Wasseroberfläche und Tiefenwasser wurde während der Jahre 1972 und 1973 zu keinem

Zeitpunkt mehr erzielt. Am Ende des Seejahres 1971/72 bewegten sich die Orthophosphatkonzentrationen zwischen 38 mg $\text{PO}_4\text{-P}$ an der Wasseroberfläche und 108 mg $\text{PO}_4\text{-P}$ in 250 m Tiefe. Am Ende des Seejahres 1972/73 waren es 65 mg $\text{PO}_4\text{-P}$ an der Wasseroberfläche und 118 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$ in 250 m Tiefe und am Ende des Seejahres 1973/74 lagen die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen bei 63 mg/m³ an der Wasseroberfläche und 83 mg/m³ in 250 m Tiefe. Auch während der Sommermonate 1970, 1972 und 1973 sank die Orthophosphatkonzentration im Epilimnion zeitweise unter die Nachweisbarkeitsgrenze von 0,5 mg $\text{PO}_4\text{-P/m}^3$.

Andere gelöste Phosphorverbindungen

Neben Orthophosphat traten im Wasser des Bodensees nahezu ständig merkliche Mengen andersartiger gelöster Phosphorverbindungen auf, von denen man annehmen muss, dass sie für die Nährstoffversorgung des Phytoplanktons teils direkt, teils indirekt eine Rolle spielen. Bei diesen Verbindungen handelt es sich um organisch gebundenen Phosphor oder um hydrolysierbare Polyphosphate. Die Konzentrationen, in denen diese Verbindungen vorliegen, schwankten in den Jahren 1968/69 und ab 1971 in der Regel nicht allzu weit um 10 mg P/m³. Vom Frühjahr 1969 bis 1970 wurden meist Werte zwischen 10 und 20 mg P/m³ gemessen (Abb. 13). Vor 1968 wurden keine regelmässigen Messungen dieser Komponenten durchgeführt. Da Konzentrationen dieser Grössenordnung auch noch auftreten, während das Orthophosphat zeitweise bis auf ganz geringe Reste aufgezehrt worden war, hat diese Komponente der Phosphorverbindungen sicherlich erhebliche Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Phytoplanktonproduktion bei Orthophosphatmangel. Erst während der Winterzeit wurde verschiedentlich ein Verschwinden dieser Phosphorverbindungen unter die Nachweisbarkeitsgrenze beobachtet.

Da für die Pflanzenernährung die Gesamtmenge der gelösten Phosphorverbindungen zur Verfügung steht, lässt sich der Eutrophie-

rungsstatus des Sees an der Gesamtmenge der in ihm enthaltenen gelösten Phosphorverbindungen am besten ablesen. Die Abbildung 14 zeigt die Ganglinien und die Abbildung 13 A die Isoplethen dieses Parameters von 1968 bis 1973, Abbildung 14 A die Konzentrationen des Totalphosphors (gelöst und partikulär) im See. In dieser Zeitspanne stieg der Jahresmittelwert von gelösten Phosphorverbindungen von 39 mg/m^3 im Jahr 1969 auf 65 mg im Jahr 1973 an.

Nitrat

Das Verhalten des Nitrats im Bodensee-Obersee in der Untersuchungsperiode 1961/74 ist ähnlich wie das des Orthophosphats dadurch geprägt, dass Nitrat als Pflanzennährstoff bei der Phytoplanktonproduktion inkorporiert wird. Seen können auch durch erhöhte Nitratzufuhr eutrophiert werden. Bei den schon immer sehr hohen Nitratgehalten des Bodensees war allerdings anzunehmen, dass die Nitratkonzentrationen hier vorerst nicht als begrenzender Faktor für die Algenproduktion im Bodensee in Betracht kommen.

Die Ganglinien der Gesamtgehalte des Nitrats (Abb. 15) im Bodensee-Obersee zeigen zunehmende Konzentrationstendenzen in den Jahren 1961 bis 1966, wobei die mittleren Jahreskonzentrationen von 500 auf 750 mg N/m^3 stiegen. Danach hat sich das Konzentrationsniveau von Nitrat stabilisiert. Regelmässige jahreszeitliche Schwankungen sind im Epilimnion erkennbar (Abb. 15) mit sommerlichen Minima während der Plankton-Hochproduktion und einem Gipfel am Ausgang des Winters. Der Restbetrag an Nitrat im Sommer liegt immer noch so hoch, dass er derzeit das Planktonproduktionsniveau nicht begrenzt.

Die Uebersicht über die Entwicklung der Nitratwerte seit 1961 (Abb. 16) zeigt, dass zu Beginn der Untersuchungsperiode die Nitratkonzentration im Frühjahr etwa bei $600 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ lagen. Bereits während der Sommerzeit 1961 kam es zu erheblichen Konzentrationsabnahmen im Epilimnion auf weniger als $300 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$.

Im folgenden Jahr traten auch im tieferen Wasser zum Teil niedrigere Werte auf, während im Epilimnion die Werte zeitweise auf unter 200 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ absanken.

Eine deutliche Konzentrationszunahme des Nitrats war während des Jahres 1963 zu verzeichnen mit Anstiegen bis über 900 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$.

Während im Jahre 1964 die Nitratgehalte in den tieferen Wasserschichten wieder niedriger blieben, meist um 600 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$, traten im Jahre 1965 wieder stark wechselnde Konzentrationsverhältnisse im Bodenseewasser auf, wobei in grösseren Tiefen Konzentrationen über 800 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ verschiedentlich überschritten wurden. Die epilimnischen Konzentrationen sanken im Sommer für kurze Zeit wieder unter 200 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$.

Mit dem Jahre 1966 stellte sich eine erneute Konzentrationserhöhung ein. Das Nitratniveau erreichte nunmehr in Tiefen unter 50 m über lange Zeiten Werte von über 800 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$. Im Epilimnion sank die Konzentration nur etwas unter 400 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$ ab.

Die Konzentrationsanstiege setzten sich im Jahre 1967 fort mit Werten über 1000 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$. Die epilimnische Nitratabnahme erreichte Konzentrationen unter 300 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$.

Vom Jahre 1968 an scheint sich die Nitratsituation im Bodensee stabilisiert zu haben. Die Werte im tieferen Wasser unter 50 m lagen im allgemeinen bei über 700 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$, mitunter wurden 800 mg/l überschritten. Die sommerliche Konzentrationsabnahme im Epilimnion war von Jahr zu Jahr verschieden. Regelmässig wurden Werte von 300 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ unterschritten, mitunter auch 200 mg/l. Damit zeigt sich, dass auch trotz hohen Verbrauches des Nitrates durch Phytoplankton während der Sommermonate noch relativ hohe Konzentrationen dieses Nährstoffes im Wasser vorhanden sind, so dass zur Zeit von diesem Nährstoff keine Begrenzung der Produktion ausgehen dürfte.

Bezeichnend ist, dass sich die Nitratkonzentration während der letzten Jahre im See stabilisiert haben, während sich gleichzeitig die Konzentrationen an Orthophosphat noch ständig erhöht haben. Offensichtlich ist ein gewisses Gleichgewicht zwischen Eintrag und Verlust von Nitrat im See eingetreten.

Umsetzungen im Stickstoffhaushalt

Unter den anorganischen Stickstoffverbindungen im Bodenseewasser dominiert das Nitrat-Ion. Ammonium-Ionen und Nitrit-Ionen waren, sofern sie überhaupt analytisch nachweisbar sind, demgegenüber nur in untergeordneten Konzentrationen im Seewasser zu finden. Beim Ammonium dürfte es sich im allgemeinen um höchstens einige $\text{mg/m}^3 \text{NH}_4\text{-N}$ handeln. Genaue Angaben lassen sich darüber nicht machen, weil die Empfindlichkeit der angewandten Untersuchungsmethode am Beginn der Untersuchungsperiode etwa bei $10 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ lag. Höhere Konzentrationen wurden nur zeitweise beobachtet (Abb. 17).

Ein gewisser Anstieg der Ammonium-Werte war erstmalig im Jahre 1966 mit häufiger auftretenden Werten über $20 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ zu verzeichnen. Auch im Juni 1967 stiegen die Werte im Epilimnion bis auf 28 mg/m^3 an. Wesentlich stärkere Konzentrationen mit bis $72 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ traten in der Winterzeit 1968/69 auf. Von hier an zeigte die Verteilung des Ammoniums in den Folgejahren einen regelmässigen Charakter. Im grössten Teil der Wassermassen blieben das Jahr über die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen geringer als 10 mg/m^3 . Während der warmen Jahreszeit ergaben sich im Epilimnion jedoch auch noch in das Metalimnion und höhere Hypolimnion hinabreichend deutliche Konzentrationserhöhungen mit Jahresmaxima von häufig über $100 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$. Im September 1972 wurde sogar ein Maximum von $333 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ an der Wasseroberfläche erreicht. Ferner zeigten sich von Zeit zu Zeit im tiefen Hypolimnion während des Sommers ebenfalls deutliche Konzentrationserhöhungen mit Werten bis zuweilen über 60 mg/m^3 .

Das Auftreten erhöhter Ammoniummengen im späteren Zeitraum der Untersuchungsperiode 1961/74 gestattet die Annahme, dass die Herkunft des Ammoniums in erster Linie aus der Degradation organischer Eiweissverbindungen zu suchen ist. Im tiefen Hypolimnion, besonders in Kontakt mit dem Seeboden, könnte auch die Nitratreduktion als Quelle der Ammoniumerzeugung unter den Bedingungen der hier stark herabgesetzten Sauerstoffkonzentrationen in Betracht kommen. Das Auftreten der erhöhten Ammoniumkonzentrationen im Epilimnion lässt auf das Vorhandensein eines intensiven kurzgeschlossenen Nährstoffkreislaufes während der Sommerzeit im Epilimnion schliessen. Wahrscheinlich können grössere Mengen an $\text{NH}_4\text{-N}$ sich im Epilimnion während des Sommers nicht akkumulieren und es mindern sich die im frühen Sommer beobachteten Werte im Spätsommer deswegen wieder, weil das gebildete Ammonium der bakteriellen Oxydation zu Nitrat unterliegt. Dabei tritt als Zwischenstufe Nitrit auf, welches in der Tat mit dem Erscheinen höherer $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte im Epilimnion in Konzentrationen von wenigen mg/m^3 auftrat.

Die Nitrit-Konzentrationen (Abb. 18e-g) lagen im gesamten Zeitraum der Untersuchungsperiode 1961/74 im grössten Teil der Wassermassen des Bodensee-Obersees meist unter 2 mg/m^3 . Sommerliche Anstiege des Nitrits im Epilimnion erreichten bis zum Jahre 1965 ein Konzentrationsniveau von kaum über 5 oder 10 mg/m^3 . Ab 1966 wurden mehr oder weniger regelmässig höhere Werte im Epilimnion beobachtet. Mit Ausnahme des extremen Falles im Juni 1966 wurden jedoch 20 mg/m^3 dabei nie erreicht.

Konzentrationserhöhungen an Nitrit über dem Seeboden im tiefen Hypolimnion wurden gelegentlich, jedoch im Zeitverlauf sehr unregelmässig beobachtet. Auch hier blieben die Konzentrationen relativ gering und erreichten nur einmal im Juli 1964 30 mg/m^3 . Durch die rasche bakterielle Oxydation des Nitrits zu Nitrat vermag sich dieses Ion nicht auf höhere Konzentrationsniveaus anzureichern.

Im allgemeinen treten die höheren Maxima der NO_2 -N-Konzentrationen in Verbindung mit höheren NH_4 -Konzentrationen auf, jedoch meist mit zeitlicher Verzögerung, was deutlich macht, dass das Nitrit im Zuge der bakteriellen Oxydation von Ammonium zu Nitrat erfolgt. Die Akkumulation von NO_2 wird erst besonders deutlich, wenn dieser Prozess bereits eine Weile abgelaufen ist und ein Teil des Ammoniums bereits oxidiert worden ist.

Anorganische Kohlenstoffverbindungen

Da bei der Photosynthese der Wasserpflanzen unter allen inkorporierten Nährstoffen mengenmässig der anorganische Kohlenstoff in irgendeiner (dissoziierten oder undissoziierten) Form der Kohlensäure aufgenommen wird, sind dementsprechend jahreszeitliche Unterschiede in der Konzentrationsverteilung der Gesamtkohlensäure zu erwarten. Diese werden allerdings zum Teil dadurch ausgeglichen, dass es zu einem Austausch zwischen im Wasser gelöster und in der Luft vorhandener Kohlensäure kommt. Ferner kann als Folge der Aufzehrung der Kohlensäure durch Phytoplanktonentwicklung und damit verbundene Verschiebung des Kohlensäuregleichgewichtes im Wasser sich zusätzlich der Gehalt an gelöstem anorganischem Kohlenstoff im Wasser durch Ausfällung von Kalziumkarbonat vermindern. Andererseits steigt durch Remineralisation von Biomasse die Konzentration der Gesamtkohlensäure teils direkt und zum Teil auch indirekt durch die Wiederauflösung von ausgefälltem Kalziumkarbonat an.

Im Bodenseewasser liegt bei einem relativ hohen pH-Niveau der Gehalt an freier Kohlensäure verhältnismässig niedrig, so dass der grösste Teil der Gesamtkohlensäure in Form von Hydrogenkarbonat und in gewissem Umfang auch als Karbonat vorliegt. Insofern spiegeln die Verteilungsverhältnisse der Alkalinität ($A = \text{HCO}_3 + 2 \text{CO}_3$) die geschilderten Erscheinungen ebenfalls deutlich wieder. Die Konzentrationsverteilung der freien Kohlen-

säure verläuft parallel dazu entsprechend den Gleichgewichtsverhältnissen.

Zum vollständigen Verständnis der Verteilungsverhältnisse der Alkalinität im Bodenseewasser muss allerdings die Zufuhr dieser Substanzen mit den einmündenden Nebenflüssen in Rechnung gestellt werden, die jahreszeitlich schwanken kann, wobei zudem je nach den Temperaturverhältnissen die Einschichtungstiefe der zufließenden Wassermassen sich ändern kann. Eine genaue Analyse der Auswirkungen solcher Zuflüsse wird durch den Mangel an Kenntnissen über das System der Wasserströmung im Bodensee sehr erschwert.

Alkalinität

Die Verteilungsverhältnisse der Alkalinität (Abb. 19) zeigten in der gesamten Untersuchungsperiode 1961/74 ein gewisses jahreszyklisch immer wiederkehrendes Schema. Zu Beginn des Seejahres lag die Alkalinität im allgemeinen in allen Wassertiefen etwa auf einem Niveau von 2,5 mval/l. Im Verlaufe der sommerlichen Vegetationsperiode kam es durch Aufzehrung der Kohlensäure durch Phytoplankton regelmässig zu einer gewissen Abnahme im Epilimnion, die im Zusammenhang mit der Ausfällung von Kalziumkarbonat steht, wie aus dem ähnlich gearteten Verhalten der Kalziumkonzentrationen hervorgeht. Umgekehrt nimmt im Hypolimnion besonders in Seebodennähe im Verlaufe der Stagnationszeit die Alkalinität regelmässig zu. Das Ausmass dieser Veränderungen kann von Jahr zu Jahr verschieden sein. Insgesamt gesehen ergibt sich in der Untersuchungsperiode eine Tendenz zu immer extremeren Konzentrationsdivergenzen während der Sommerzeit zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser, was sich mit der Zunahme des Niveaus der Photosyntheserate im Verlaufe des Untersuchungszeitraumes leicht erklären lässt. Soweit sonstige Schwankungen zu verzeichnen sind, besteht angesichts des Mangels unserer Kenntnisse über die Dynamik der Wasserbewegungen im Bodensee zur Zeit keine eindeutige Erklärungsmöglichkeit dafür. In der Tabelle 4 sind die alljährlich auftretenden Minima

der Alkalinität im Epilimnion und die beobachteten Maxima im Hypolimnion sowie die im Monat April jeweils herrschenden Alkalinitätsverhältnisse dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass die Alkalinitätswerte im April entweder ausgeglichen in allen Wassermassen bei 2,5 mval/l lagen oder mitunter gewisse vertikale Unterschiede aufwiesen. Bei den beobachteten hypolimnischen Maxima ist keine gerichtete Tendenz bemerkbar, jedoch sanken die epilimnischen Minima in der Untersuchungsperiode allmählich ab. Erst mit dem Sommer 1970 wurden Alkalinitätswerte von weniger als 2,0 mval/l erreicht. Der niedrigste Wert wurde mit 1,85 mval/l im Sommer 1973 beobachtet. Der Zeitpunkt des Auftretens der epilimnischen Minima ist verschieden, liegt jedoch überwiegend im Spätsommer im August oder September. Die hypolimnischen Maxima traten nie vor August auf, verschoben sich zeitlich bisweilen jedoch bis in die Herbst- und Wintermonate.

Freie Kohlensäure

Wie schon erwähnt, ist das Verteilungsbild der freien Kohlensäure (Abb. 20) ähnlich dem der Alkalinität. Während der Stagnationszeit entwickelt sich eine Konzentrationsdivergenz mit geringen Werten der freien Kohlensäure im Epilimnion und Höchstwerten der freien Kohlensäure im Hypolimnion, hervorgerufen durch den Kohlensäureverbrauch bei der Photosynthese und die Kohlensäureerzeugung bei der Remineralisierung organischer Substanzen. Die vertikale Konzentrationsverteilung der freien Kohlensäure zu Beginn des Seejahres im April war selten homogen. An der Oberfläche lagen die Konzentrationen zu diesem Zeitpunkt etwa bei 1-2 mg CO₂/l. Im Tiefenwasser wurden zu diesem Zeitpunkt in den einzelnen Jahren unterschiedliche Werte zwischen 2 und 8 mg CO₂/l beobachtet. Die Maxima im tiefen Hypolimnion traten ab Monat August, mitunter jedoch auch verspätet erst im Herbst oder Winter auf und schwankten in der Untersuchungsperiode zwischen etwa 6 und nahezu 12 mg CO₂/l. Die Jahresminima im Epilimnion schwankten zwischen 7 mg CO₂/l und Werten unter der Nachweisbarkeitsgrenze (kleiner als 1 mg CO₂/l). Die letztgenannten Werte traten regelmässig vom Jahre 1968 an auf, jedoch

nie in der voranliegenden Untersuchungsperiode. Sie lassen daher eine Verstärkung der Umsatzaktivitäten im Kohlensäurehaushalt im Verlaufe der Untersuchungsperiode erkennen.

Weitere Parameter des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes

Die Verteilung des Kalzium-Ions im Bodenseewasser (Abb. 21) lässt deutlich werden, dass die zyklischen Veränderungen im Kohlensäurehaushalt weitgehend an die Ausfällung und Wiederauflösung von Kalziumkarbonat gebunden sind. Die Kalziumkonzentrationen im April des jeweiligen Seejahres liegen vielfach bei 52 mg Ca/l, mitunter auch einige Milligramm höher, was ziemlich genau der der Alkalinität äquivalenten Menge entspricht. Die Abnahme im Epilimnion während der Sommerzeit führt zu erheblichen Konzentrationserniedrigungen (Abb. 22 (1) und 22 (2)). Kalziumminima im Epilimnion wurden im Juli, August oder September beobachtet. Die Minima unterschritten bis zum Jahre 1969 niemals 40 mg Ca/l. Im Jahre 1971 wurden 36 mg Ca/l im im Jahre 1973 38 mg Ca/l erreicht. Diese Tendenz zur zunehmenden Erniedrigung der Kalzium-Minima wird verständlich durch die zunehmenden Tendenzen in der Phytoplanktonproduktion. Die Anreicherungen an Kalzium im tiefen Hypolimnion gehen im allgemeinen nicht sehr weit über das Niveau der Frühjahreskonzentrationen hinaus. Spitzenwerte wurden im Jahre 1970 mit 62 mg Ca/l und 1971 mit 59 mg Ca/l beobachtet. Die hypolimnischen Höchstwerte wurden in recht unterschiedlichen Monaten beobachtet.

Im Zusammenhang mit den Schwankungen der Kohlensäureverhältnisse fluktuieren auch die pH-Werte des Bodenseewassers recht erheblich. Regelmässige pH-Messungen im Bodenseewasser liegen erst seit dem Jahre 1973 vor (Abb. 23). Im allgemeinen hat das Bodenseewasser ein hohes pH-Niveau mit Werten von fast ständig über 8 pH-Einheiten. Entsprechend dem Kohlensäureentzug im Epilimnion während der Frühjahrs- und Sommerzeit steigen die pH-Werte hier bis auf fast 9 pH-Einheiten an. Im Mai 1973 wurde ein Maximum von 8,94 und im Juli von 8,97 pH an der Wasseroberfläche erreicht. Umgekehrt treten die niedrigsten Werte im

tiefen Hypolimnion bei 250 m auf, wobei die Werte meist dicht unter pH 8 liegen. Ein Minimum wurde 1973 im April mit 7,75 pH beobachtet.

Quantitativ vorherrschende Ionen

Ein brauchbares Mass für den Gehalt gelöster Ionen im Wasser ist die spezifische elektrolytische Leitfähigkeit (20°C). Sie liegt generell im Bodenseewasser bei etwa 280 (Abb. 24) μS . Diese Werte werden zu Beginn des Seejahres im Monat April etwa erreicht, wobei in der Regel keine grossen vertikalen Unterschiede vorhanden sind. Wegen des Vorherrschens von Kalzium und Hydrogenkarbonat unter den Ionenbestandteilen des Bodenseewassers ergibt sich eine jahreszeitliche und räumliche Verteilung der Leitfähigkeits-Werte, die dem bereits geschilderten Verteilungsbild der Alkalinität und des Kalziums entspricht. Somit ist ein regelmässiges Absinken der spezifischen Leitfähigkeit während der Sommermonate im Epilimnion zu verzeichnen, während andererseits gewisse, wenn auch nicht so extreme Erhöhungen der spezifischen Leitfähigkeit zeitweise im tiefen Hypolimnion beobachtet werden können. Dies war bereits im Seejahr 1964/65 der Fall. Die regelmässigen Untersuchungen der spezifischen Leitfähigkeit ab 1969 bestätigten dieses räumlich-zeitliche Verteilungsmuster. Die beobachteten epilimnischen Leitfähigkeitsminima lagen im Jahre 1969 bei 229 μS , 1970 bei 233 μS und 1971 bei 258 μS , 1972 bei 221 μS und 1973 bei 177 μS . Vergleichsweise lag das epilimnische Minimum 1964 bei 236 μS . Ähnlich wie beim Kalzium und der Alkalinität verringerten sich die Werte des Jahresminimums der spezifischen Leitfähigkeit gegen Ende der Berichtsperiode.

Die Konzentrationen von Magnesium lagen nach neueren Messungen im Durchschnitt etwa bei 7-8 mg/l, jedoch wurden in der Berichtszeit zeitweise auch höhere sowie niedrigere Konzentrationen beobachtet. In Extremfällen lagen die Werte unter 2 mg sowie über

20 mg/l. Auch MUELLER [1966] berichtete über Konzentrationschwankungen von Magnesium im Bodensee-Obersee. Wieweit diese realer Natur sind oder nur durch analytische Fehler vorgetäuscht werden, erscheint zunächst ungewiss.

Das Bild der Chloridkonzentrationen im Bodenseewasser (Abb. 25) wird weitgehend bestimmt durch die Zufuhr des chloridarmen Wassers des Alpenrheines. Die Konzentrationen lagen in den Jahren von 1961 bis 1966 meist unter 3 mg Cl/l, mitunter sogar unter 2 mg Cl/l. Höhere Werte, die absolut gesehen allerdings auch sehr niedrig sind, wurden erstmalig im Winter 1966/1967 mit zum Teil über 5 mg/l beobachtet. In den folgenden Jahren wurden des öfteren 4 oder mitunter auch 5 mg Cl/l überschritten. Ansonsten lag das Konzentrationsniveau meistens zwischen 3 und 4 mg/l. Im Winter 1969/70 traten besonders hohe Werte zeitweise über 6-8 mg Cl/l auf. Die beobachteten Fluktuationen sind im einzelnen schwer zu interpretieren. Insgesamt gesehen besteht in der Untersuchungsperiode eine Tendenz zur Zunahme der Chloridwerte, wie an den Zahlen über die jahresdurchschnittlichen Gesamtinhalte des Seewassers an Chlorid zu erkennen ist (Tab. 5). Danach hat von 1961 bis 1964 der Chloridgehalt des Sees um ca. 50% zugenommen. Diese Zunahme erklärt sich durch den Anstieg der Belastung des Sees mit vorwiegend häuslichen Abwässern, die hauptsächlich durch die Erweiterung der Kanalisationsnetze im Zuge des Kläranlagenbaues im Bodensee-Einzugsgebiet zustande gekommen ist. Chloride werden bei der herkömmlichen Abwasserreinigung nicht eliminiert. Insofern spiegelt sich im Anwachsen des Chloridpegels im See neben möglichen anderen Herkunftsquellen die vermehrte Zufuhr von - wenn auch gereinigten - Abwässern wieder.

Gelöste und suspendierte organische Stoffe

Eine durchgängige Beurteilung dieser Verhältnisse in der Beobachtungsreihe 1961/74 ist nur anhand der Werte des Kaliumpermanganat-Verbrauches (Abb. 26) möglich. In den Jahren 1961 bis 1964 lagen die Werte meist zwischen 5 und 7,5 mg KMnO_4 /l. Gelegentlich wurden im tiefen Hypolimnion Werte von über 10 mg/l beobachtet. Auch in den folgenden Jahren blieben die Verhältnisse recht ähnlich. Gelegentlich wurden auch sehr kleine Werte von weniger als 5 mg KMnO_4 /l beobachtet. Seit 1968 ist ein deutlicher Zuwachs der KMnO_4 -Werte zu beobachten. Im allgemeinen lagen die Werte dabei in der Frühjahrszeit nach wie vor niedrig, zumeist zwischen 5 und 7,5 mg/l und dabei ziemlich gleichmässig vertikal verteilt. Regelmässig traten jedoch im Sommer höhere KMnO_4 -Werte im Epilimnion auf, wobei im September 1968 ein Jahreshöchstwert von 12,6 mg/l, im Juli 1969 von 10,6 mg/l, im August 1970 von 16,1 mg/l, im Mai 1971 von 11,5, im Juni 1972 von 14,4 mg/l und im September 1973 von 14,6 mg/l beobachtet wurden. Die hohen KMnO_4 -Werte gegen Ende der sechziger und Anfang der siebziger Jahre stehen im Zusammenhang mit der gegenüber früheren Jahren hohen Planktondichte. Obwohl die Phytoplanktonkonzentrationen in der Regel während der Frühjahrsmonate im Bodensee-Obersee am höchsten sind, trat das Maximum der KMnO_4 -Werte erst später während des Hoch- oder Spätsommers ein. Offensichtlich trägt Detritus oder aus abgestrobenen Planktonzellen lysiertes organisches Material zur Höhe der KMnO_4 -Werte bei.

Im selben Zeitraum, in dem die erhöhten sommerlichen KMnO_4 -Werte im Epilimnion zu beobachten sind, traten in Seebodennähe zumeist gegen Ende der Stagnationszeit erhöhte KMnO_4 -Werte auf, die auf die Akkumulation organischer Substanzen im Tiefenwasser, unter Umständen auch auf die Freisetzung reduzierter Abbauprodukte aus dem Seeboden hinweisen. Die Höchstwerte lagen im Oktober 1968 in 250 m Tiefe bei 12,4 mg/l, im September 1969 bei 17,8 mg/l, im März 1972 bei 11,1 mg/l, im September 1972 ebenfalls bei 11,1 mg/l. In den Jahren 1970 und 1973 waren im tiefen Hypolimnion keine besonders hohen KMnO_4 -Werte zu beobachten.

VERGLEICH DER CHEMISCHEN VERHAELTNISSE AN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSSTATIONEN DES BODENSEE-OBERSEES

Im Rahmen des Untersuchungsprogrammes der Internationalen Gewässerschutzkommission in den Jahren 1961 bis 1963 wurden eine Reihe von Untersuchungsstationen auf dem Bodensee-Obersee hinsichtlich der dort herrschenden chemischen Situation überprüft, weil zu diesem Zeitpunkt in nicht genügendem Masse bekannt war, wie weit das Seewasser in einzelnen Teilen des Sees sich chemisch voneinander unterscheidet. Aus der Tabellenübersicht dieser Untersuchungsergebnisse (Tab. 4) lässt sich allerdings folgern, dass Unterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsstationen nur eine verhältnismässig geringe Rolle spielen, so dass die langfristige Entwicklung sich weitgehend aus den Ergebnissen der Seemitte-Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil ablesen lässt.

Die stärkere Abnahme der Sauerstoffgehalte beschränkte sich in den Jahren 1963/64 auf den Bereich des tiefen Hypolimnions in der Seemitte. Die Zusammenstellung der beobachteten Sauerstoffminima der verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen lässt erkennen, dass das Absinken des Sauerstoffs in den flacheren Seepartien selbst in Bodennähe nicht sehr stark war. An der Untersuchungsstation Langenargen-Arbon bei 200 m Tiefe sanken die Werte 1961 auf 6,9 mg/l, 1962 auf 8,4 und in der Seemitte-Station Fischbach-Uttwil bei 250 m auf 6,7 bzw. 6,8 mg/l.

Eine genauere Untersuchung der Sauerstoffverhältnisse im tiefen Hypolimnion des Bodensee-Obersees hat MUCKLE in den Jahren 1963/1964 angestellt [IGKB 1967]. Die Untersuchungen ergaben, dass, bezogen auf gleiche Seetiefe, sich die Sauerstoffverhältnisse in Richtung von West nach Ost jeweils etwas ungünstiger gestalteten. Dies steht im Einklang mit unseren Erfahrungen, dass die Hauptmenge des Zuflusswassers und zugleich die Hauptmenge der Abwasserlast im östlichen Teil des Bodensee-Obersees liegt.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Übersicht der chemischen Verhältnisse des Freiwassers des Bodensee/Obersees in der Berichtsperiode 1961-1974 lässt erkennen, dass der See sich in einer typischen Eutrophierungsphase befindet. Die Konzentrationsverteilungen der Inhaltsstoffe werden durch das vorwiegend thermisch bestimmte Schichtungs- und Zirkulationsverhalten der Wassermassen bestimmt. Der See zeigt einen monomiktischen Zirkulationszyklus, wobei die winterliche Vollzirkulationsperiode je nach Witterungsverhalten auch mehr oder weniger unvollständig bleiben kann, so dass es bis zum Frühjahr mitunter nicht zu vollständigem Ausgleich von Konzentrationsschichtungen kommt und insbesondere auch die Wiederbelüftung unvollkommen bleiben kann.

Die Zufuhr von Pflanzennährstoffen aus Zuflüssen in den See hat beim Orthophosphat und den gelösten Phosphorverbindungen insgesamt zu ständig ansteigenden Konzentrationen im Seewasser geführt. Die mittlere Gesamtmenge von Orthophosphat im See hat sich in der Berichtsperiode versechsfacht. Die Nitratkonzentrationen im See sind bis 1968 angestiegen und danach auf einem Niveau von durchschnittlich $750 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ verblieben. Alle Pflanzennährstoffe wie Kohlensäure, Nitrat und Phosphat zeigten im Epilimnion einen typischen Jahresgang mit Minima zur Zeit der Phytoplanktonhochproduktion im Sommer und Maxima am Ende des Winters, eine ausgeprägte Konzentrationsschichtung während des Sommers und Akkumulationen im tiefen Hypolimnion besonders im Spätsommer und Herbst. Das gleiche Erscheinungsbild ergibt sich für die Parameter pH, Ca, $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, die wegen der Gleichgewichtsbedingungen der Fluktuation der Kohlensäure folgen. Ähnliche Schwankungen traten im Gehalt an organischen Stoffen auf und lassen sich anhand der KMnO_4 -Verbrauchswerte verfolgen. Das Ausmass der Konzentrationsschwankungen der durch die pflanzliche Nährstoffaufnahme tangierten Stoffe ist im Laufe der Berichtsperiode zum Teil erheblich grösser geworden, was im Einklang mit Produktionssteigerungen und Biomassezuwachs im See steht.

Die Konzentrationsschwankungen der vorherrschenden Mineralbestandteile im Seewasser sind, abgesehen von Kalzium, nicht eindeutig zu erklären. Beim Chlorid konnte eine deutliche Konzentrationszunahme im Laufe der Berichtsperiode festgestellt werden, jedoch blieb die absolute Konzentration dieses Ions nach wie vor gering.

Die Auswirkungen der vermehrten Phytoplanktonproduktion auf den Sauerstoffhaushalt des Sees haben sich in der Berichtsperiode gesteigert. Regelmässig traten im Frühjahr in oberflächennahen, zum Teil auch bis zu 50 m tiefen Wasserschichten Sauerstoffübersättigungen auf, die auf die photosynthetische Aktivität des Phytoplanktons zurückzuführen sind. Absinken und teilweises Absterben und Degradation des Phytoplanktons lassen regelmässig im Spätsommer ein Sauerstoffminimum im Metalimnion zustandekommen.

Gravierend wird der Sauerstoffhaushalt des Hypolimnions durch bakteriellen Abbau des absinkenden Phytoplanktons belastet. Während der Sommerstagnation kommt es regelmässig zu grossen Sauerstoffdefiziten im Hypolimnion mit von Jahr zu Jahr etwas verschiedenen Sauerstoffminima in der grössten Seetiefe. Das Ausmass der Sauerstoffzehrung und die Intensität der Minima ist durch die von Jahr zu Jahr verschiedenen Planktonproduktionsgrössen beeinflusst. Infolge der Tendenz zu einem immer höheren Produktionsniveau ergab sich auch ein Trend zu immer tieferen Sauerstoffminima im Tiefenwasser gegen Ende der Stagnationsperiode. Einen nachhaltigen Einfluss auf das Ausmass der Sauerstoffzehrung und die Höhe der Sauerstoffminima im Hypolimnion hat jedoch auch der jährliche Witterungsverlauf, von dem es abhängt, ob während der Herbst- und Winterperiode bis zum Frühjahr die Wassermassen des Sees in ausreichendem Masse bis in die grösseren Tiefen zirkulieren und dabei das Hypolimnion wiederbelüften. Wie schon erwähnt, neigt der Bodensee-Obersee dazu, nur unvollständig zu zirkulieren, so dass Sauerstoffdefizite im Hypolimnion über mehrere Jahreszyklen ohne nachhaltige Unterbrechungen fortwirken und die Effekte der Sauer-

stoffzehrung sich summieren können. Hierin liegt eine besondere Gefahr für die Auswirkung der Eutrophierung im Bodensee. In der geschilderten Weise sind im Tiefenwasser des Bodensees in der Berichtsperiode mehrfach ausserordentlich geringe Sauerstoffgehalte registriert worden, wie 2,4 mg O_2 /l im Jahre 1971 und 2,3 mg O_2 /l im Jahre 1973. Die Zunahme des gelösten Phosphors im tiefen Hypolimnion des Obersees könnte ebenfalls im Zusammenhang mit der Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse gesehen werden und auf Freisetzungerscheinungen von Phosphorverbindungen aus den Sedimenten hindeuten.

Insgesamt gesehen haben sich in der Untersuchungsperiode 1961 bis 1974 die direkten Anzeichen für die Eutrophierung des Bodensees noch fortgesetzt verstärkt sowie ebenfalls die Folgeerscheinungen dieser Eutrophierung auf den chemischen Zustand des Freiwassers, während zum gegenwärtigen Zeitpunkt kein weiteres Ansteigen der Phosphorkonzentrationen mehr beobachtet wurde [IGKB 1978].

Literatur:

- AUERBACH M., MAERKER W. und SCHMALZ J. (1924): Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen. I. Ergebnisse der Jahre 1920-22. Arch. f. Hydrobiologie Suppl. III, 1924.
- AUERBACH M., MAERKER W. und SCHMALZ J. (1924/26): II. Ergebnisse der Jahre 1923-24 und Zusammenfassung 1920-24. Verh. Naturw. Ver. Karlsruhe 30, 1-128, 1924/26.
- ELSTER H.J., EINSELE W. (1937): Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee), Int. Rev. Hydrobiol. 35, 520-585, 1937.
- GRIM J. (1955): Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensees-Obersees in den letzten 30 Jahren. Arch. f. Hydrobiologie/Suppl. 22, 1955.
- IGKB (1967) AMBÜHL H., MUCKLE R. und SCHMITZ W.: Die Temperatur und Sauerstoffverhältnisse des Bodensees in den Jahren 1961 bis 1963. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht Nr. 5, 1967
- IGKB (1967 A) MUCKLE R.: Die Sauerstoffschichtung im tiefen Hypolimnion des Bodensees-Obersees 1963/64 mit Berücksichtigung einiger Untersuchungsergebnisse auf frühere Jahren. Int. Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 3, 1964
- IGKB (1976): Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Jahresbericht über den Limnologischen Zustand des Bodensees Nr. 1. Der Limnologische Zustand des Freiwassers von Januar 1974 bis März 1975, 1976.
- IGKB (1978): Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Jahresbericht über den limnologischen Zustand des Bodensees Nr. 3. Der limnologische Zustand des Freiwassers von Januar 1976 bis März 1977, 1978.

Tabelle 1 (1)

Normal-Tiefenserien an den Stationen

Fischbach-Uttwil:	Für chemische Untersuchungen: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 150, 200, 250 m.
Langenargen-Arbon:	2,5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200 m.
Lindau-Rohrspitz:	0, 2,5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 m.
Vor Wasserwerk Konstanz:	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 m.
Vor Süssenmühle:	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 m.

Tabelle 1 (2)

Untersuchungstermine April 1961 bis März 1974
an den Stationen Fischbach-Uttwil (F), Langen-
argen-Arbon (L), vor Süssmühle (Ü), vor Wasser-
werk Konstanz (K) und Lindau-Rohrspitz (L).

1961	17.04.	F Ü		
	25.04.		K	
	17.05.	F Ü		
	24.05.		K	
	25.05.			L LA
	14.06.	F Ü		
	20.06.			L LA
	28.06.		K	
	12.07.	F Ü		
	25.07.			L LA
	26.07.		K	
	16.08.	F Ü		
	24.08.		K	
	23.08.			L LA
	13.09.	F Ü		
	19.09.			L LA
	27.09.		K	
	18.10.		K Ü	
	23.10.	F		
	25.10.			L LA
	15.11.	F Ü		
	23.11.		K	L LA
	13.12.	F Ü		
	28.12.		K	
1962	17.01.	F Ü		
	18.01.			L LA
	25.01.		K	
	14.02.		K Ü	
	21.02.	F		

Tabelle 1 (2) Fortsetzung

1962	14.03.	F	Ü	
	28.03.		K	
	29.03.			L LA
	11.04.	F	Ü	
	17.04.			L LA
	30.04.		K	
	16.05.	F	Ü	
	21.05.			L LA
	23.05.		K	
	13.06.	F	Ü	
	19.06.			L LA
	28.06.		K	
	19.07.	F	Ü	L LA
	25.07.		K	
	16.08.	F	Ü	
	21.08.			L LA
	22.08.		K	
	13.09.		Ü	
	17.09.	F		
	26.09.		K	L LA
	18.10.	F	Ü	
	24.10.		K	L LA
	15.11.	F	Ü	
	26.11.			L LA
	25.11.		K	
	13.12.	F	Ü	
	21.12.		K	
1963	16.01.	F	Ü	
	24.01.		K	L LA
	15.02.		Ü	
	26.02.		K	
	20.03.	F	K	

Tabelle 1 (3)

Liste der untersuchten Inhaltsstoffe und Untersuchungsmethoden

Parameter	Datenbestand	Methoden
Sichttiefe	1961 - 74	Secchi-Scheibe
Temperatur	1964 - 74	Umkippthermometer
Leitfähigkeit bei 20°C	1964 - 65, 1969 - 74	elektrometrisch
pH	1973 - 74	elektrometrisch
Sauerstoff	1961 - 74	Winkler
freies CO ₂	1961 - 72	titrimetr. m. NaOH
Alkalinität	1961 - 74	titrimetr. m. HCl
Gesamthärte	1961 - 74	komplexometr. m. ÄDTA
Kalzium	1965 - 74	komplexometr. m. ÄDTA
Silikat	1961 - 74	photometr. m. Ammoniummolybdat
Orthophosphat	1961 - 74	photometr.: Molybdänblau-Reaktion mit S _n Cl
Phosphor gelöst (im Filtrat nach Aufschluß)	1964 - 65 1968 - 74	wie PO ₄ nach Aufschluß mit H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂ heiss 30 Min.
Phosphor total (im Rohwasser nach Aufschluß)	1963 - 74	" " "
Ammonium	1961 - 74	1961 - 67 n. Nessler, danach mit Indophenol
Nitrit	1961 - 74	Sulfanils. - Alpha-Naphthylami
Nitrat	1961 - 74	1961 - 67 m. Phenoldisulfons., danach m. Salycilsäure
partikulärer Stickstoff	1974	Kjeldahl von Glasfilterrücksta
Chlorid	1961 - 74	titrimetr. mit Quecksilber-II-nitrat
Sulfat	1974	titrimetr. mit BaCl ₂ u. ÄDTA
KMnO ₄ -Verbrauch	1961 - 74	titrimetr. mit saurer KMnO ₄ -Lsg (DEV)
Extinktion bei 240 nm	1974	photometrisch

Jahr	Wärmeinhalt 0-250 m 10^{12} kcal			Friedrichshafen		Wassertemperatur	
				Sonnenscheindauer Jahressumme h	Lufttemperatur Jahresmittel	Max. 0m	Min. 250 m
	Mittel	Max.	Min.				
1961	296	337	239	1870	10,04	19,4	4,3
1962	261	320	204	1940	9,44	21,9	4,1
1963	240	296	154	1590	12,24	21,8	3,4
1964	243	315	168	1750	11,43	24,4	3,8
1965	270	328	178	1400	9,36	17,9	3,9
1966	277	341	202	1630	10,62	20,3	4,0
1967	282	343	205	1820	10,36	22,7	4,2
1968	275	344	194	1660	11,04	19,2	4,2
1969	267	330	195	1690	10,85	23,3	4,1
1970	255	331	182	1520	9,33	19,4	4,0
1971	253	325	177	1870	9,91	22,1	4,1
1972	284	349	203	1620	9,50	22,9	4,1
1973	271	332	205	1620	9,82	21,5	4,2
1974	275	342	212	1700	9,72	18,6	4,4

Tabelle 2:

Kennzahlen für Witterung (Friedrichshafen) und Seethermik (Fischbach-Uttwil) 1961-1974.

Jahr	Inhalt Sauerstoff 0-250 m in 10 ³ t			Sauerstoff mg/l		Inhalt Phosphor 0-250 m in 10 ¹ t P			PO ₄ -P mg/l	Inhalt Nitrat 0-250 m in 10 ³ t
	Mittel	Max.	Min.	Maximum	Minimum	PO ₄ -P	P-gelöst	P-total	Maximum in 250 m	
				Epilimn.	250 m					
1961	469	515	409	12,2	6,0	46	-	-	34	25
1962	497	570	468	11,6	4,5	84	-	-	49	22
1963	499	557	458	13,6	5,2	91	-	-	55	23
1964	471	506	423	15,7	3,5	61	-	-	60	25
1965	469	516	445	12,7	5,1	88	-	-	83	28
1966	478	514	434	13,2	4,8	101	-	-	111	36
1967	480	517	450	12,7	6,1	137	-	214	56	37
1968	494	594	444	19,3	5,6	132	-	207	72	33
1969	473	506	444	17,1	5,8	151	211	223	86	32
1970	483	520	471	14,8	7,0	174	240	250	73	35
1971	468	521	433	17,7	2,4	208	240	249	172	36
1972	441	489	399	15,7	3,4	303	354	362	153	36
1973	464	540	416	16,4	2,3	-	355	374	129	37

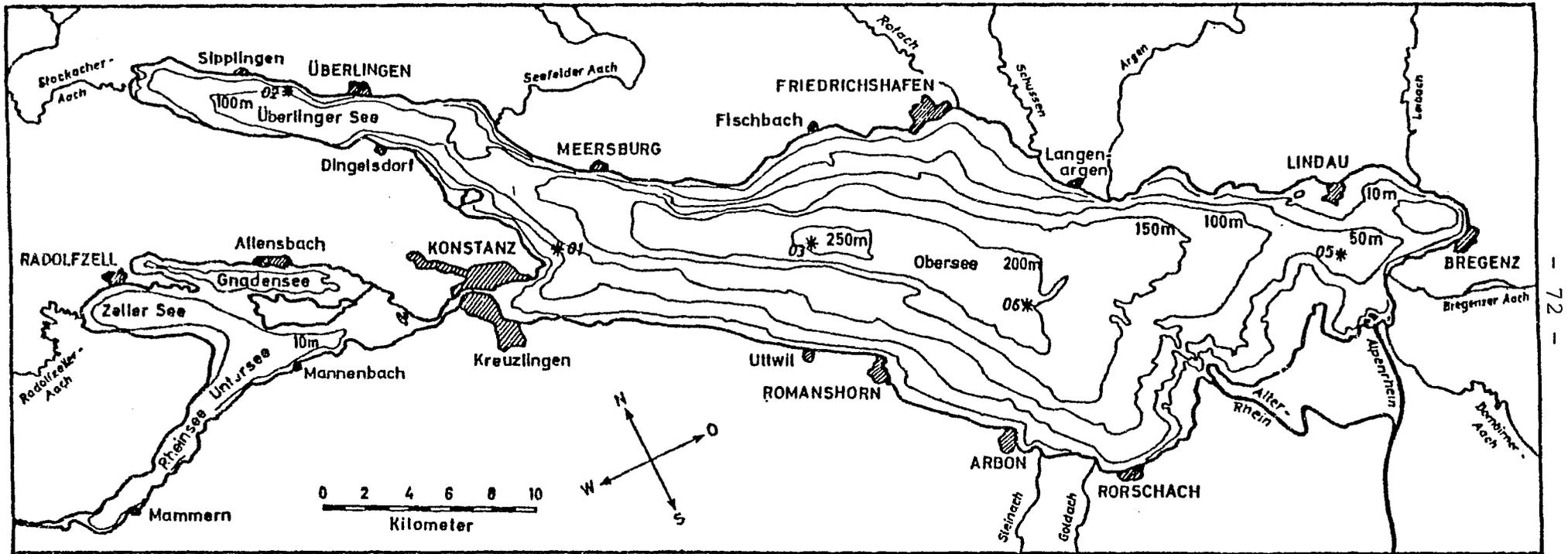
Tabelle 3:

Kenndaten zum Chemismus des Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) 1961-1973

Station	Temperatur- Maximum Om		Sauerstoffmaximum Epilimnion		Sauerstoff-Minimum		
	1961	1962	1961	1962		1961	1962
vor Wasserwerk Konstanz	21,6	19,9	12,5	16,0	Tiefe 60 m	8,8	9,3
vor Süssenmühle	19,6	22,3	13,0	13,9	" " "	8,0	9,8
Lindau-Rohrspitz	20,3	20,1	11,7	12,2	" " "	7,4	9,6
Langenargen-Arbon	21,4	20,4	12,2	11,7	" 50 m	9,6	9,5
					200 m	7,5	8,4
Fischbach-Uttwil	19,4	21,9	12,2	13,4	" 60 m	9,2	10,0
					200 m	7,6	9,0
					250 m	5,4	6,8

Tabelle 4

Vergleich limnologischer Daten von verschiedenen Meßstationen des Bodensee-Obersees



- UNTERSUCHUNGSSTATIONEN: *
- 01: VOR WASSERWERK KONSTANZ
 - 02: VOR SÜSSENMÜHLE
 - 03: FISCHBACH-UTTWIL, SEEMITTE
 - 05: LINDAU-ROHRSPITZ, SEEMITTE
 - 06: LANGENARGEN-ARBON, SEEMITTE

ABB. 1 KARTE DES BODENSEES

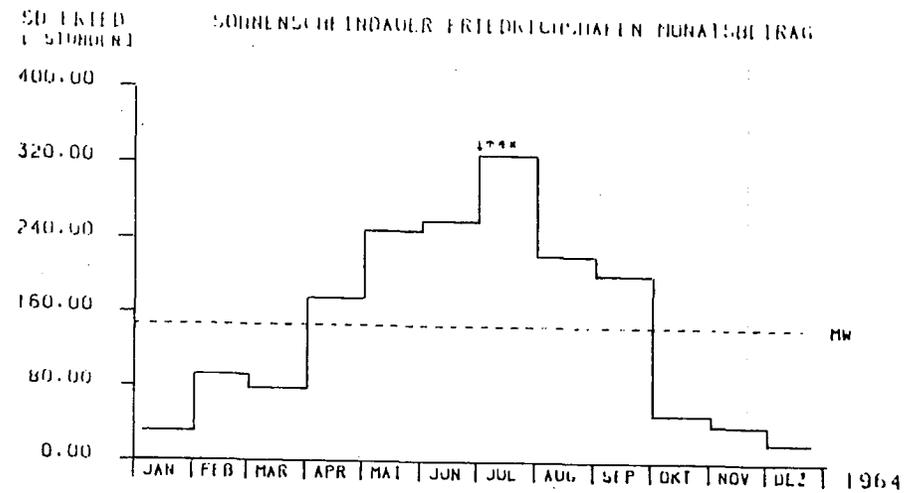
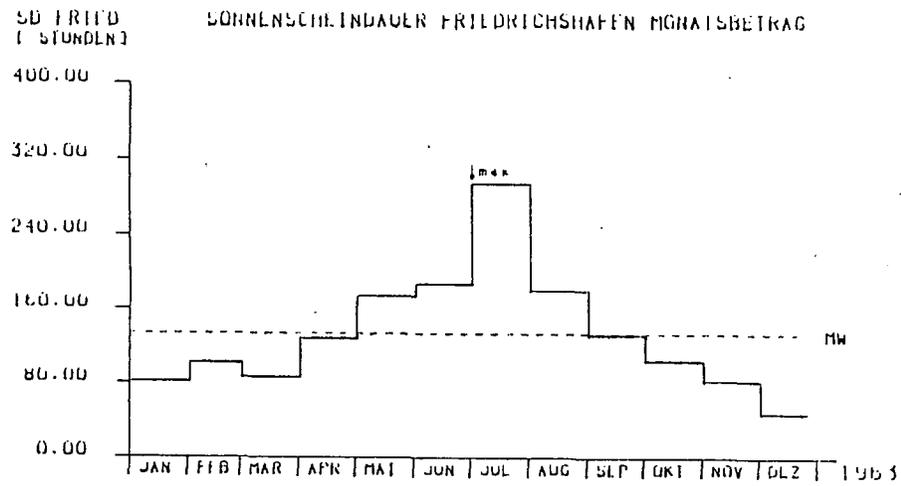
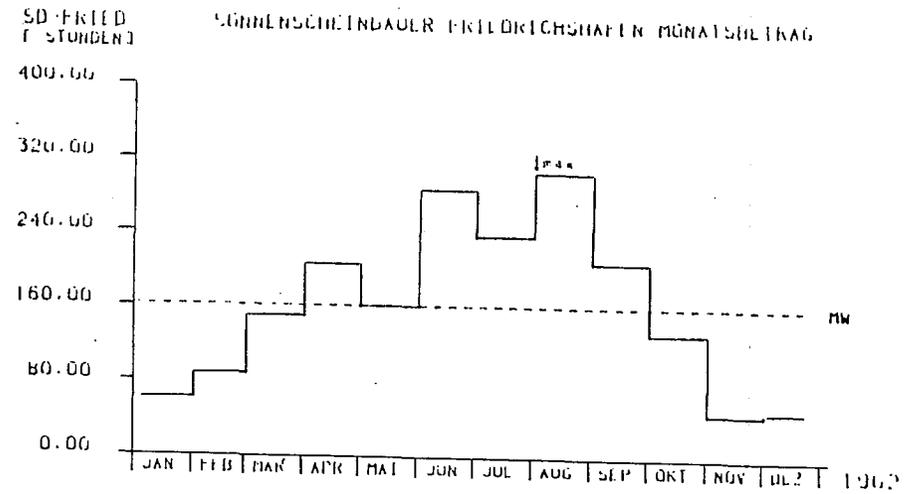
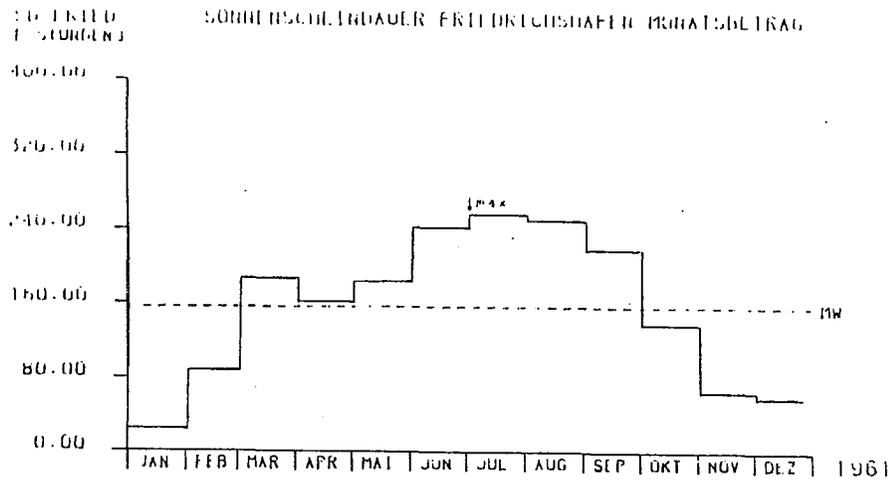


ABB. 2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (1) SONNENSCH.INDAUER

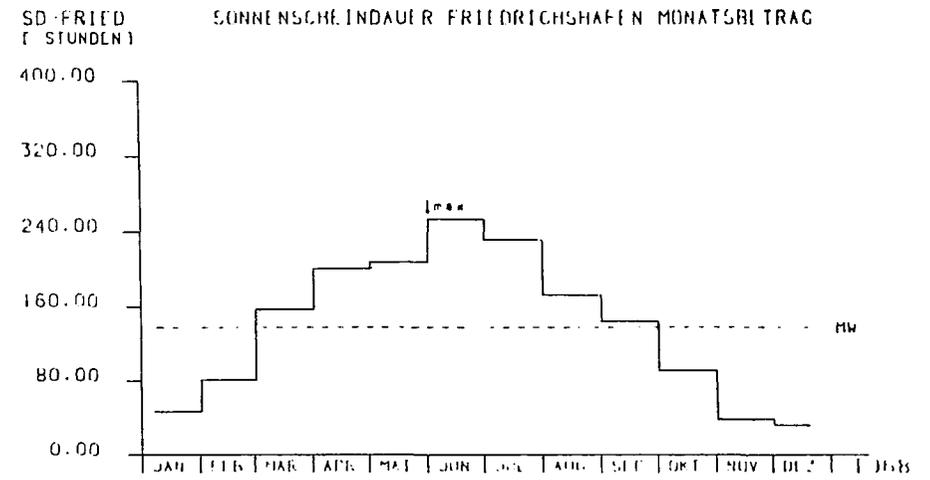
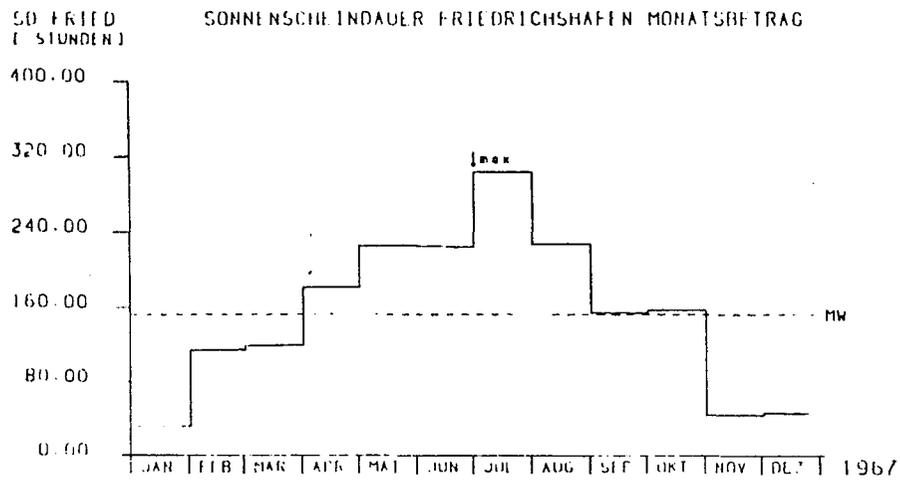
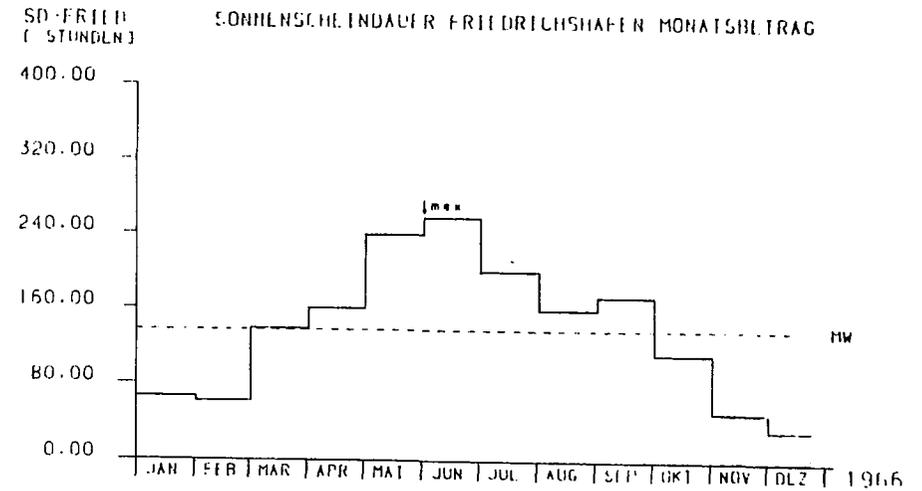
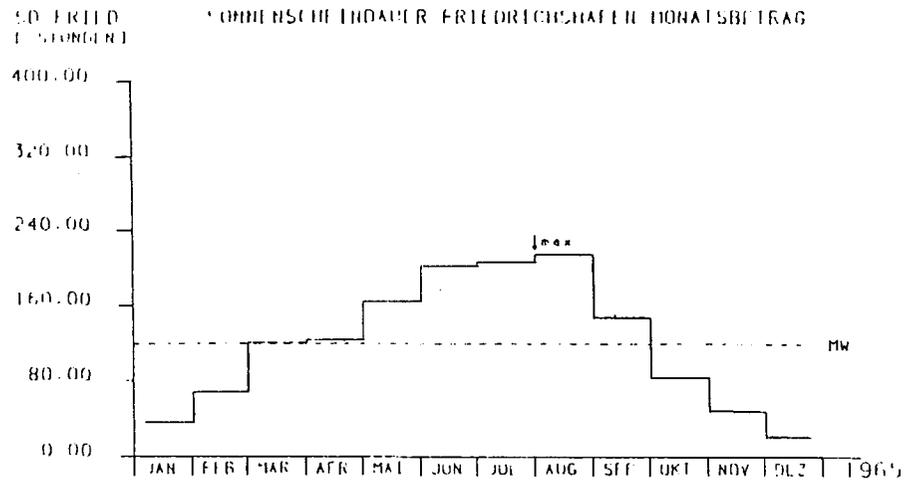


ABB. 2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (1) SONNENSCH. INDAUER

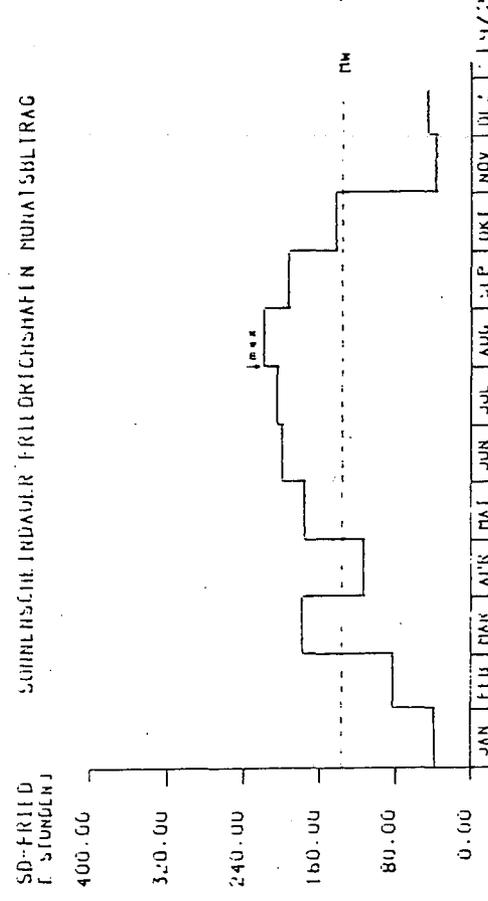
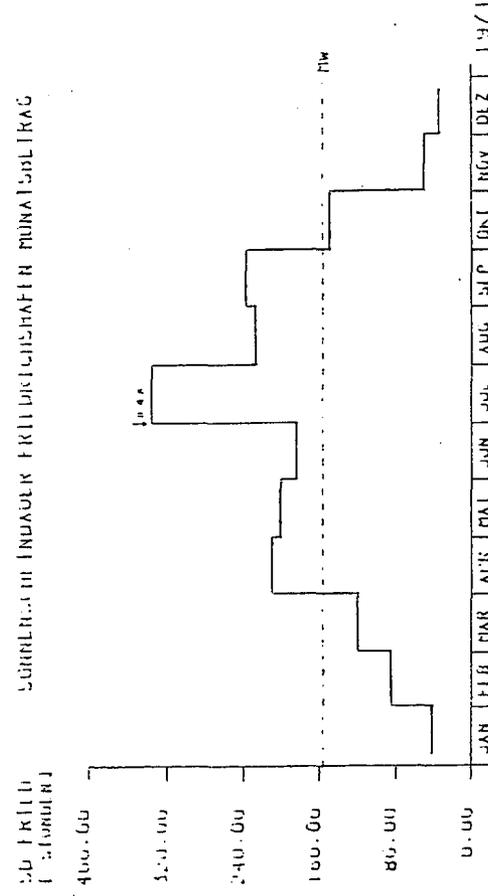
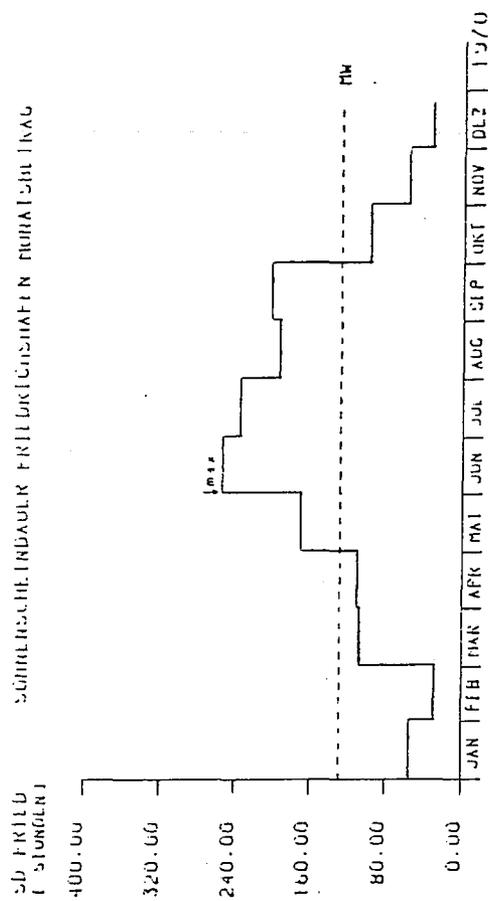
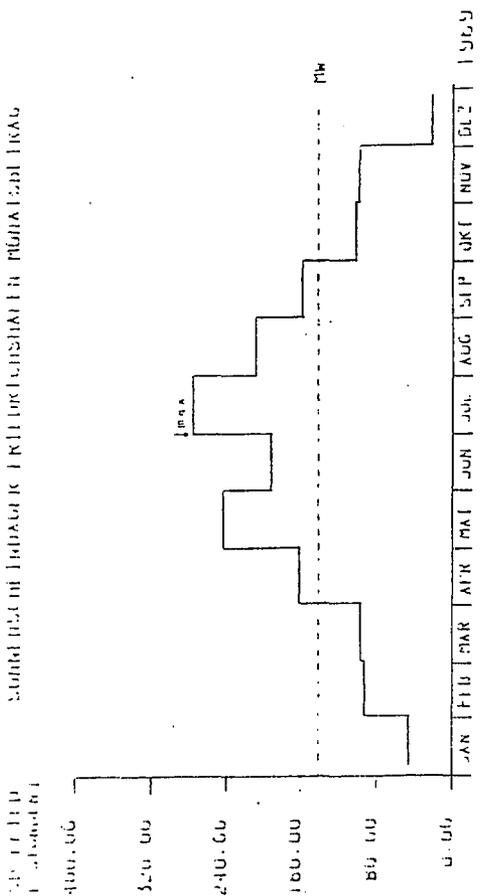


Abb. 2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (1) SONNENSCHNEIDAUER

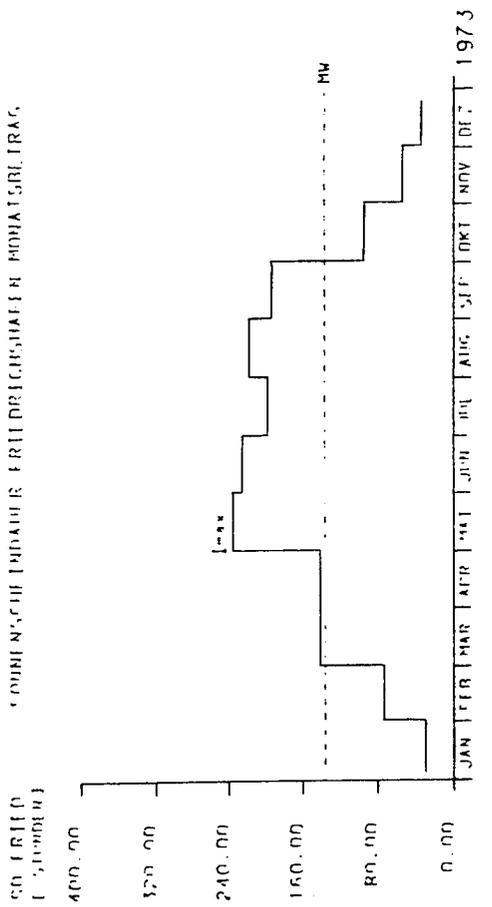
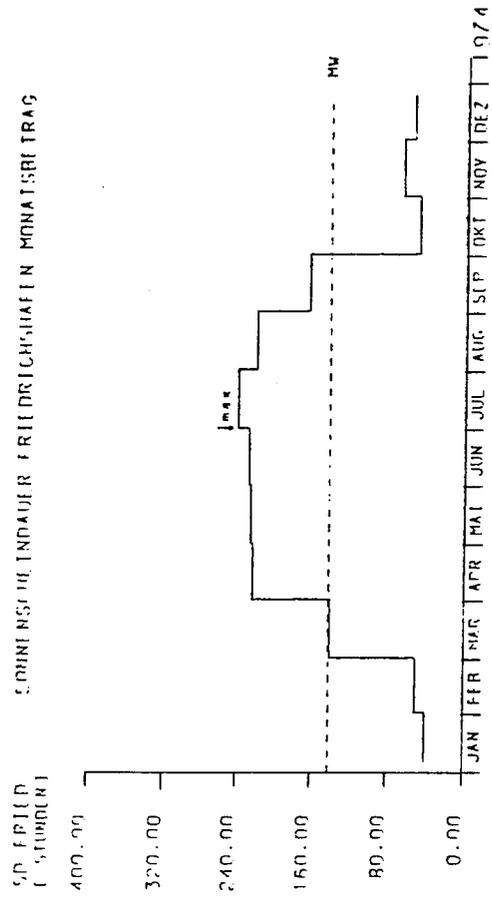


Abb. 2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (1) SONNENSCHHEINDAUER

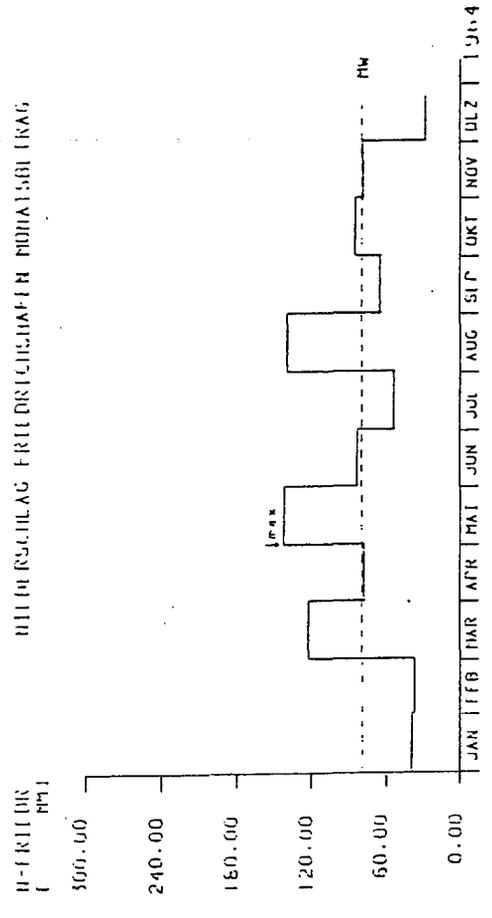
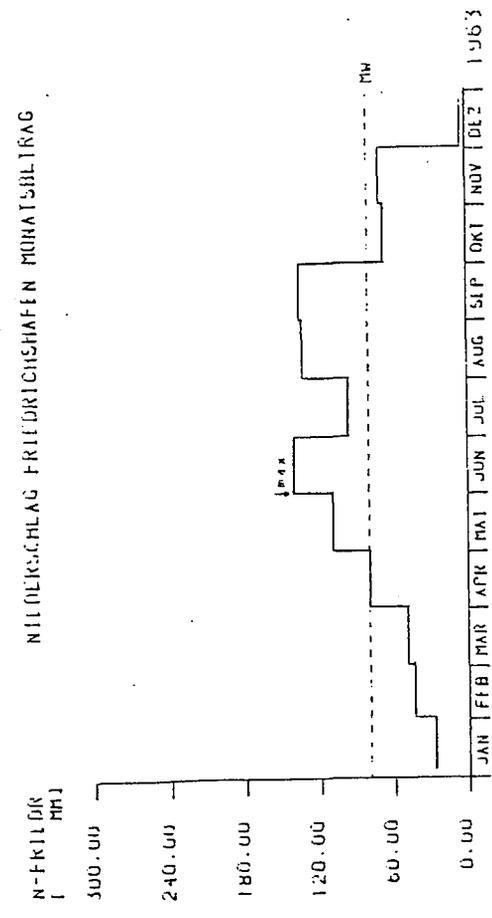
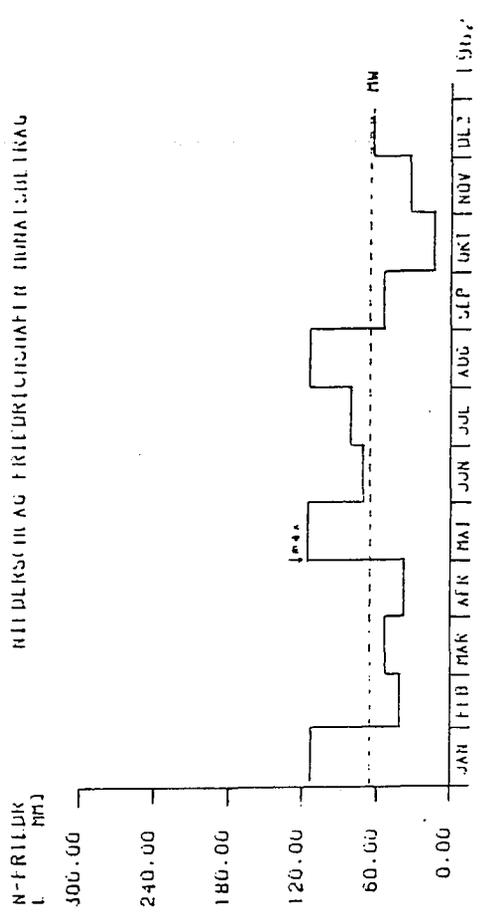
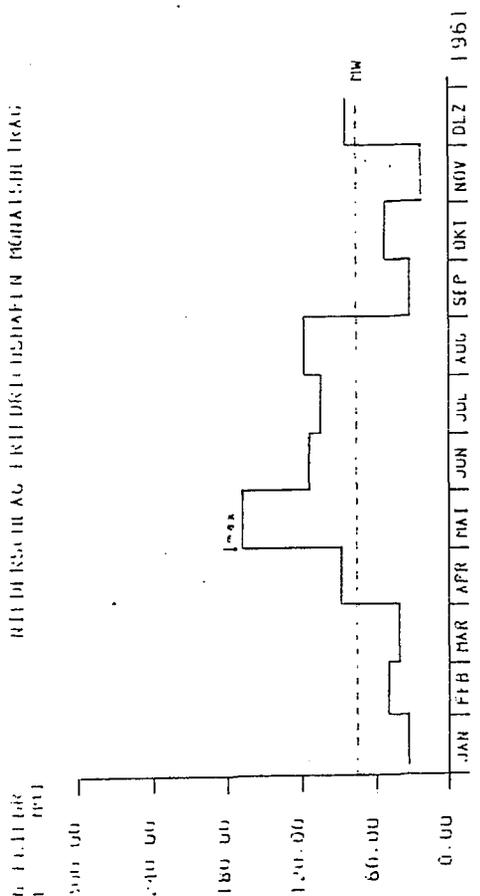


ABB.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (2) NIEDERSCHLAG

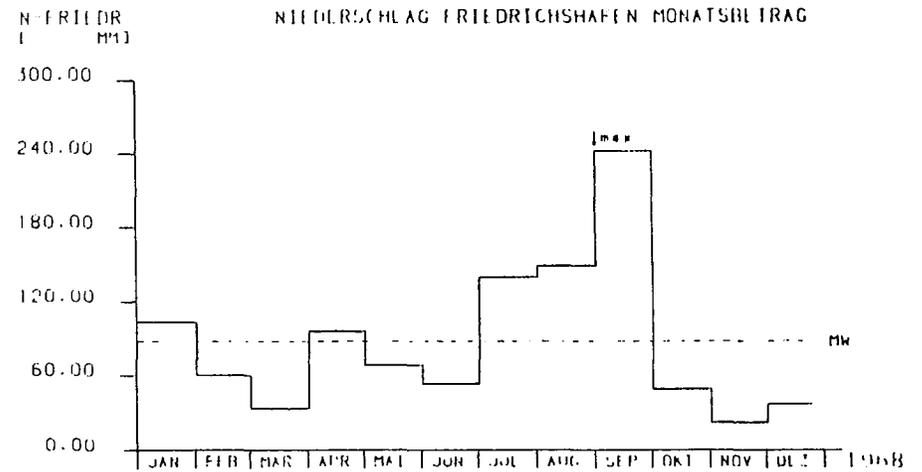
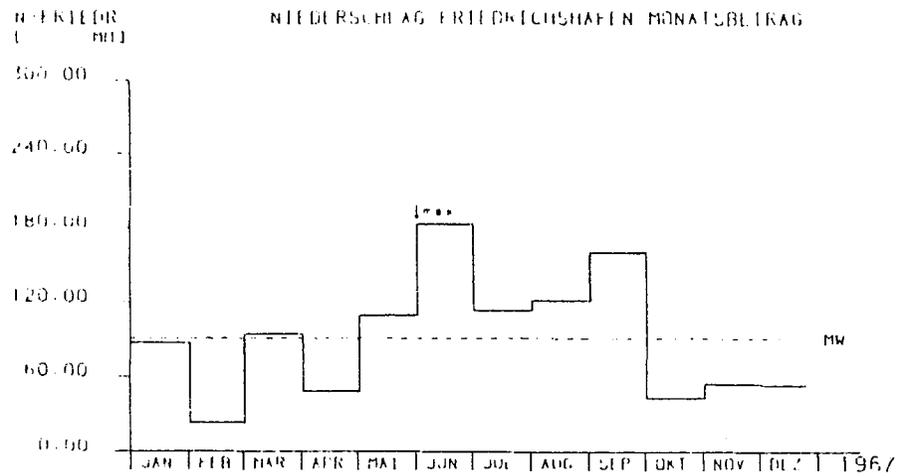
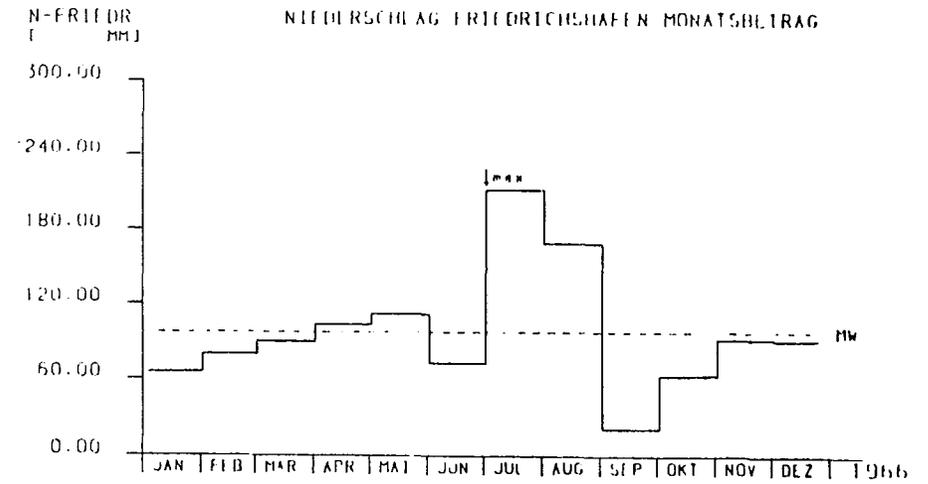
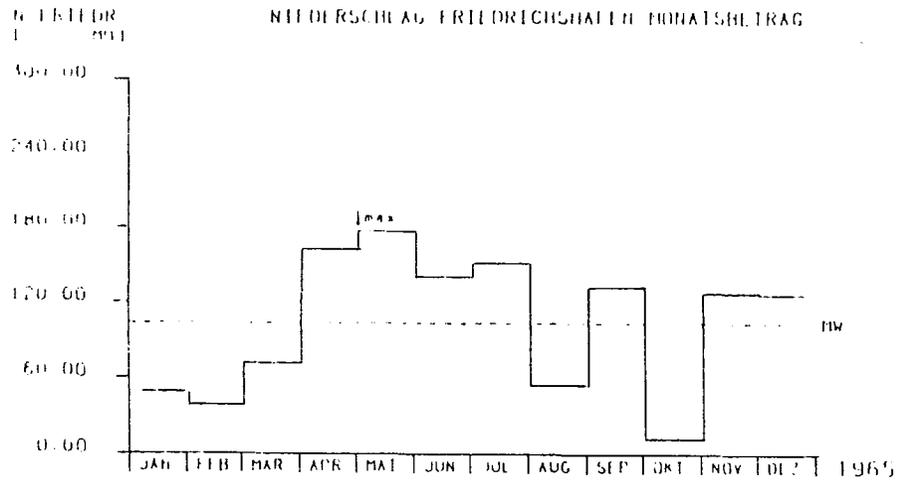


ABB.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (2) NIEDERSCHLAG

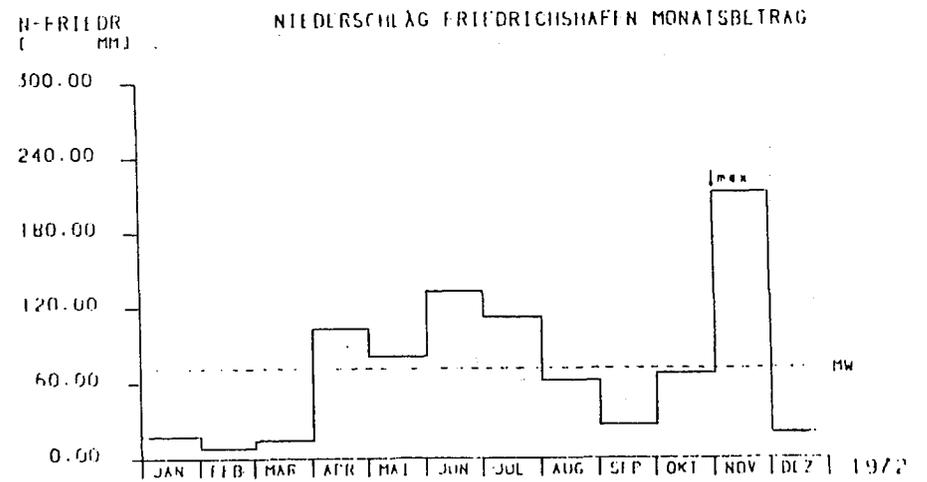
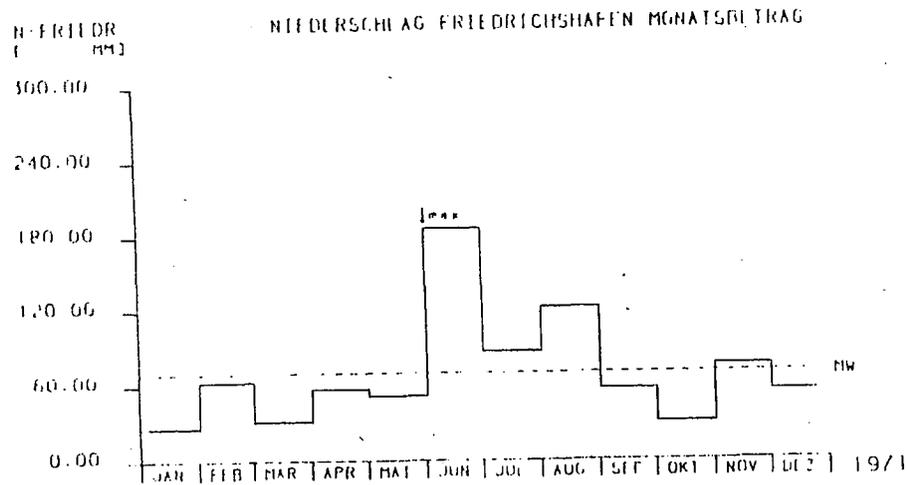
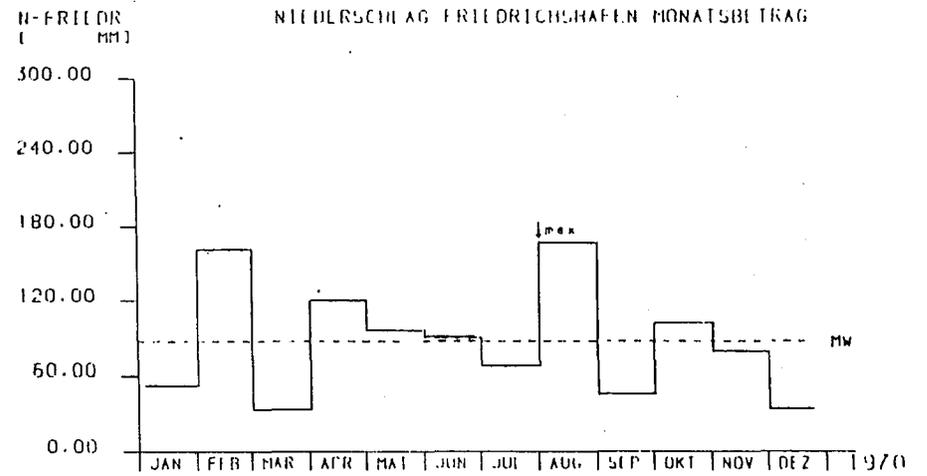
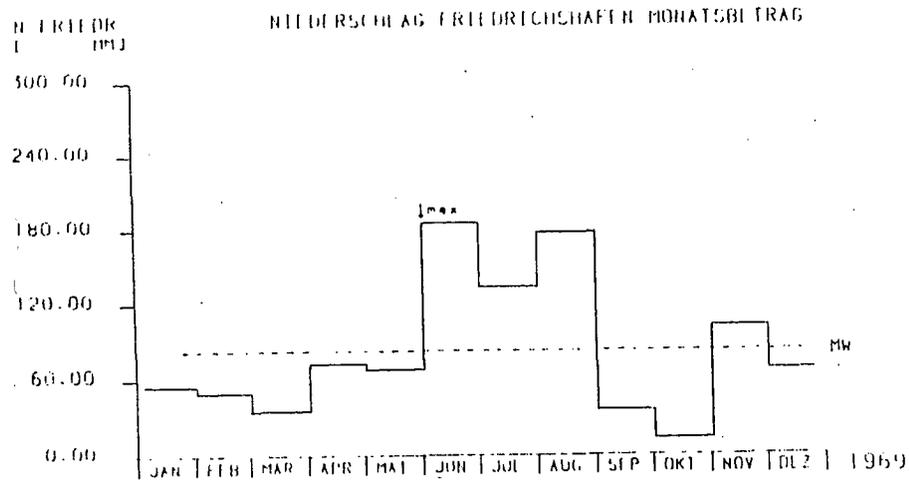


ABB.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (2) NIEDERSCHLAG

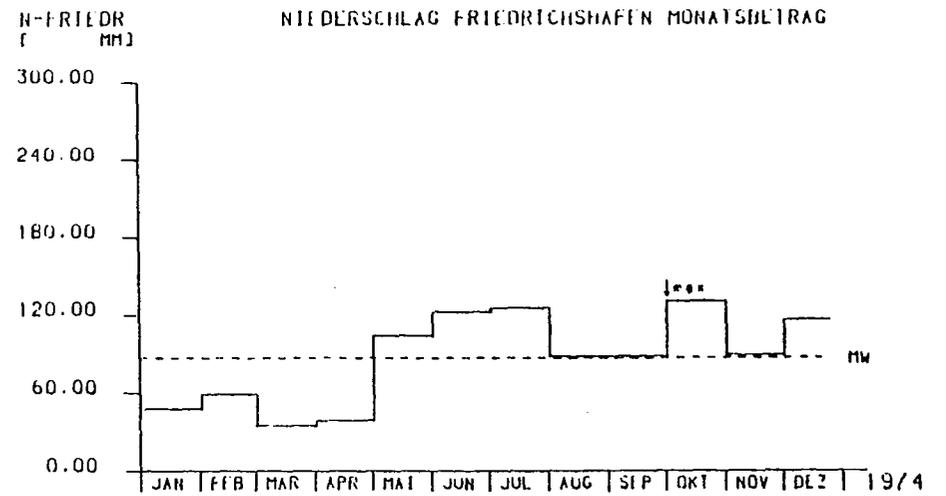
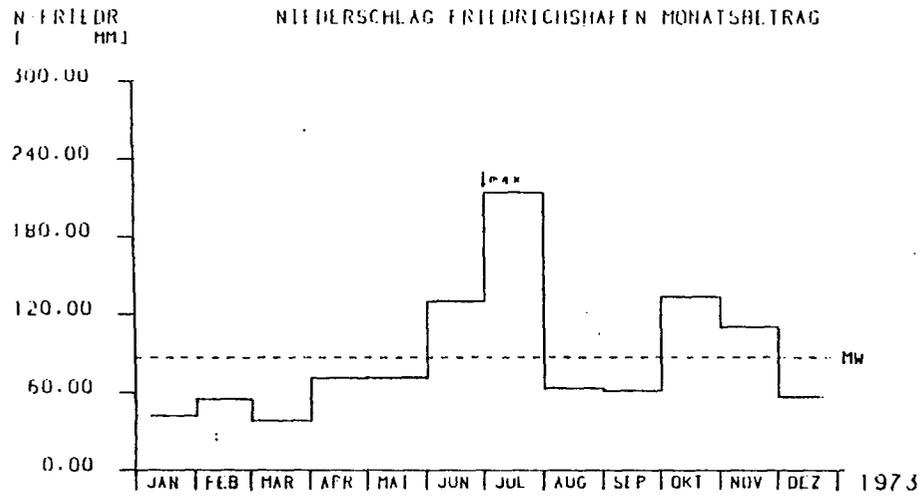


ABB.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (2) NIEDERSCHLAG

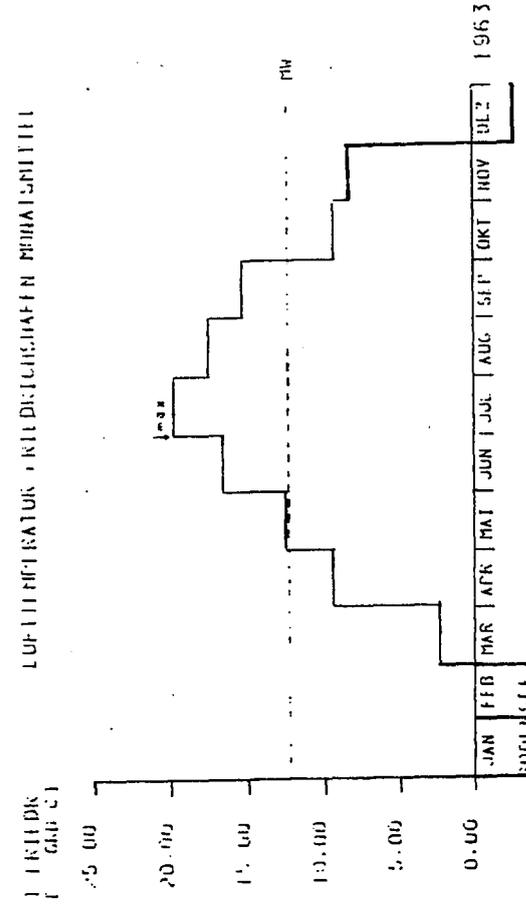
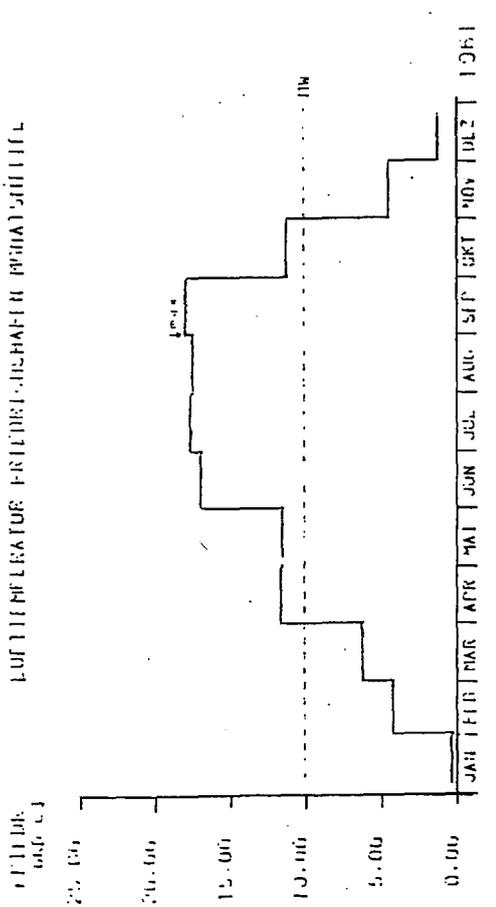
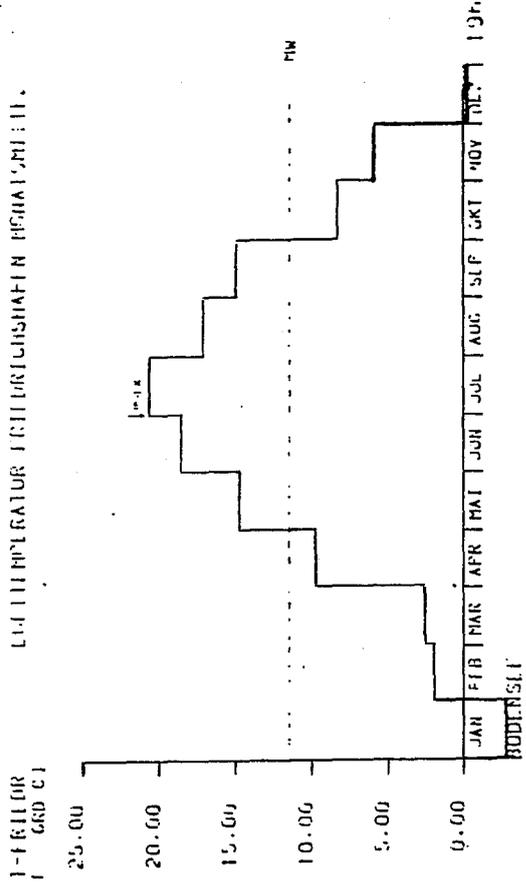
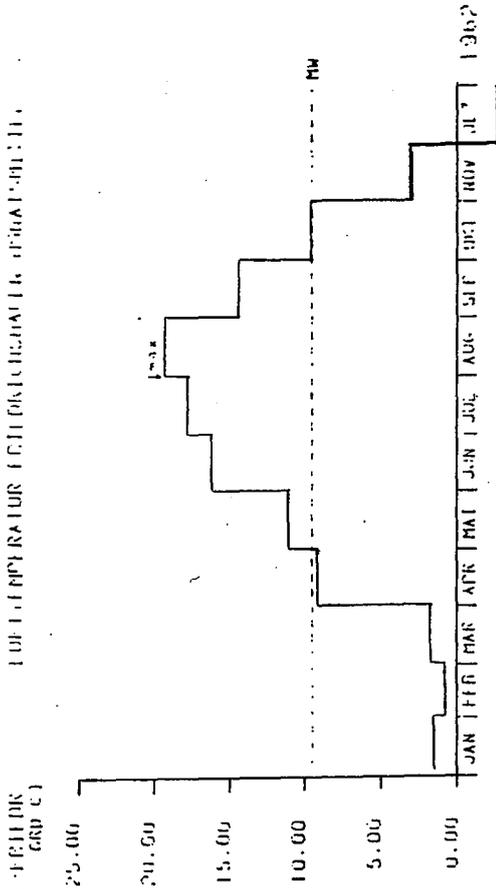


ABB.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (3) LUFTTEMPERATUR

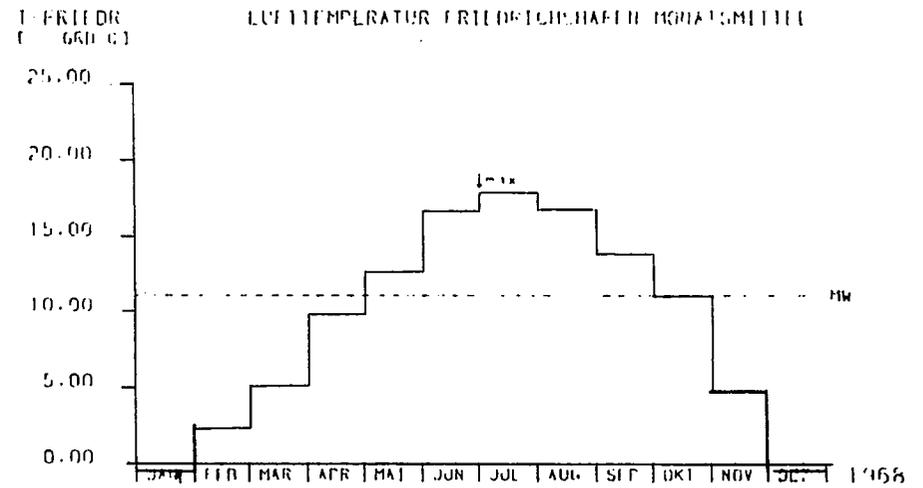
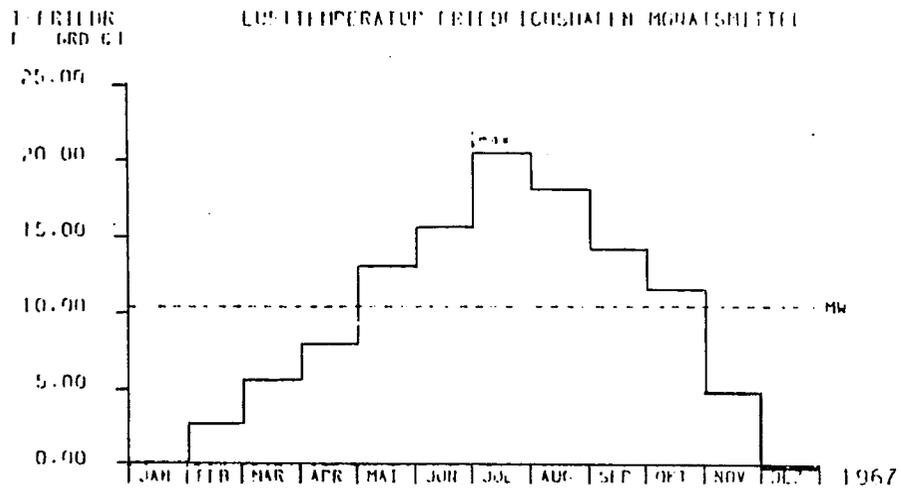
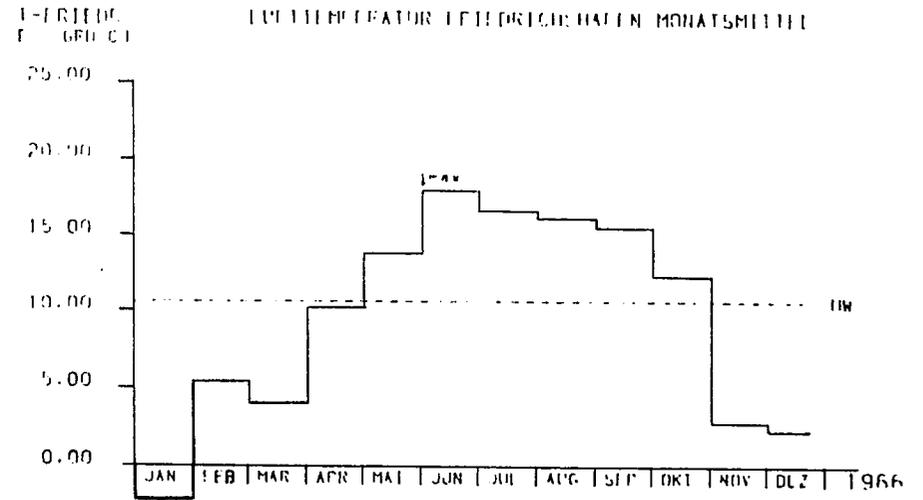
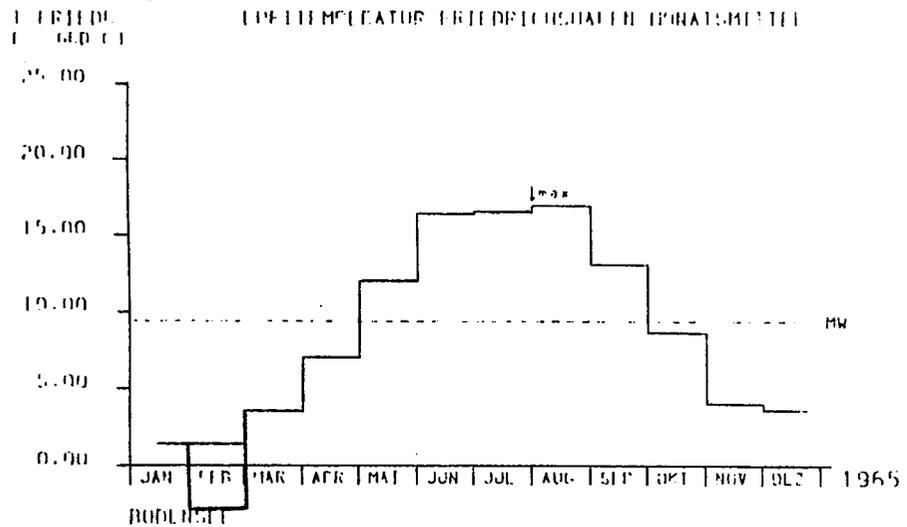


Abb.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (3) LUFTTEMPERATUR

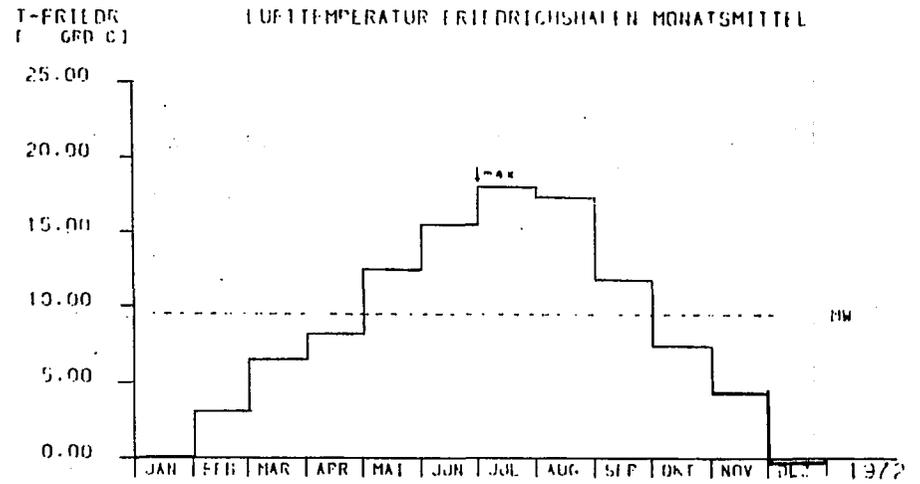
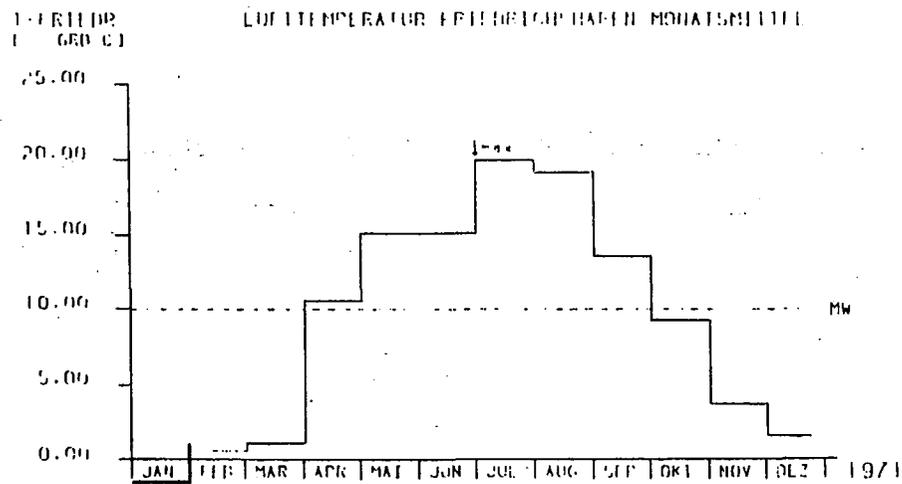
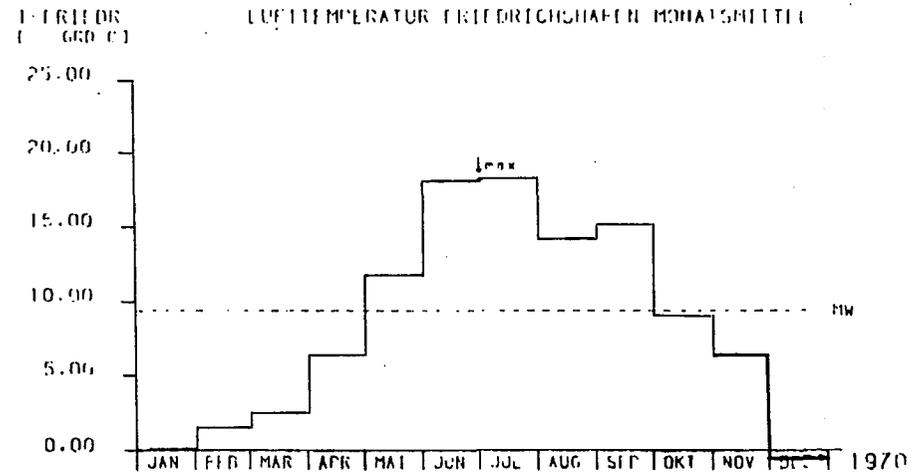
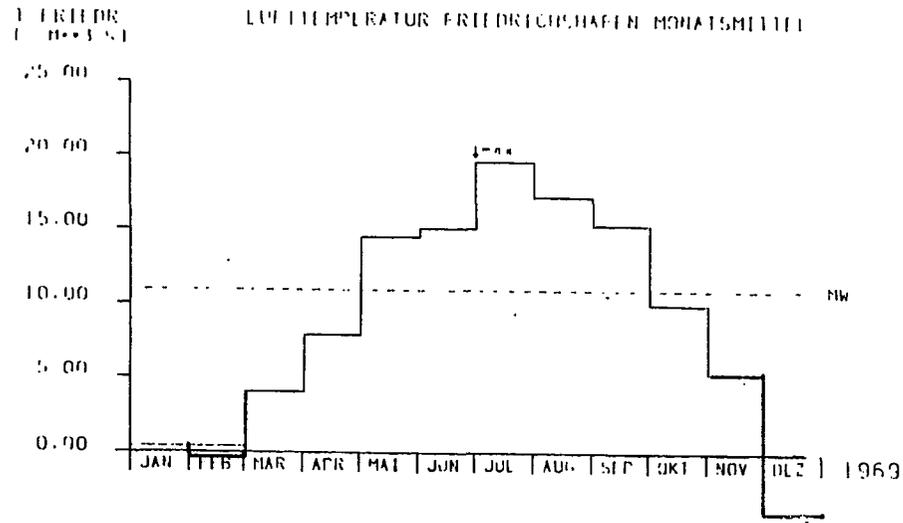


ABB.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (3) LUFTTEMPERATUR

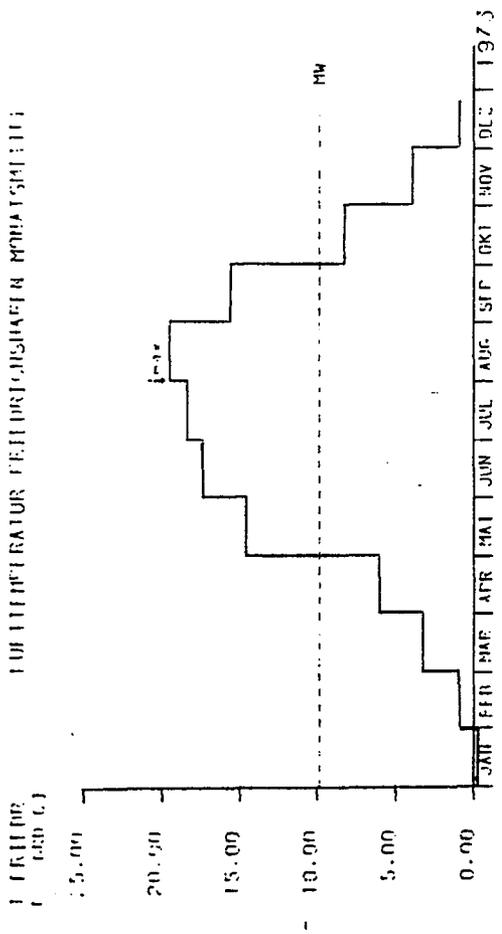
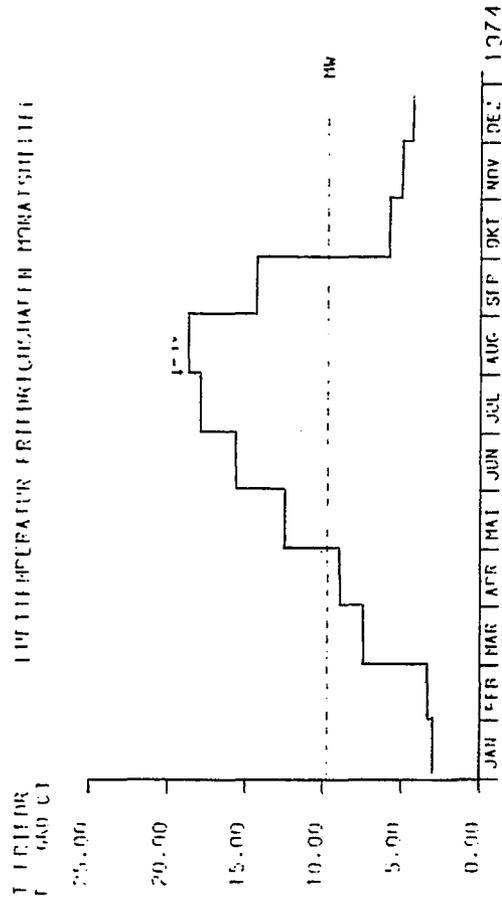


ABB.2 METEOROLOGISCHE DATEN FRIEDRICHSHAFEN (3) LUFTTEMPERATUR

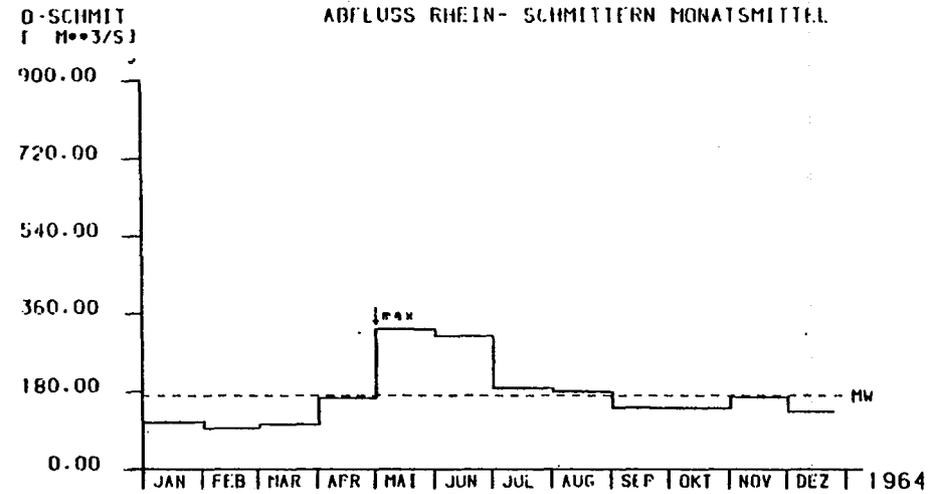
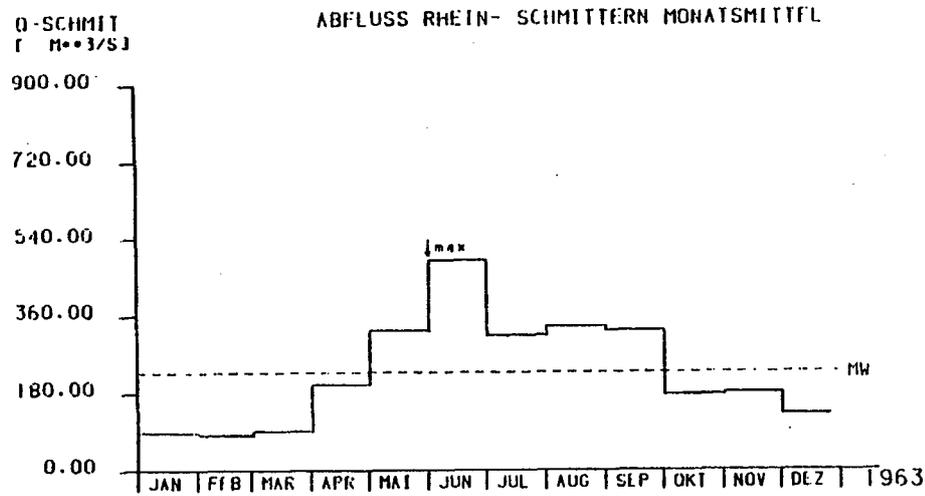
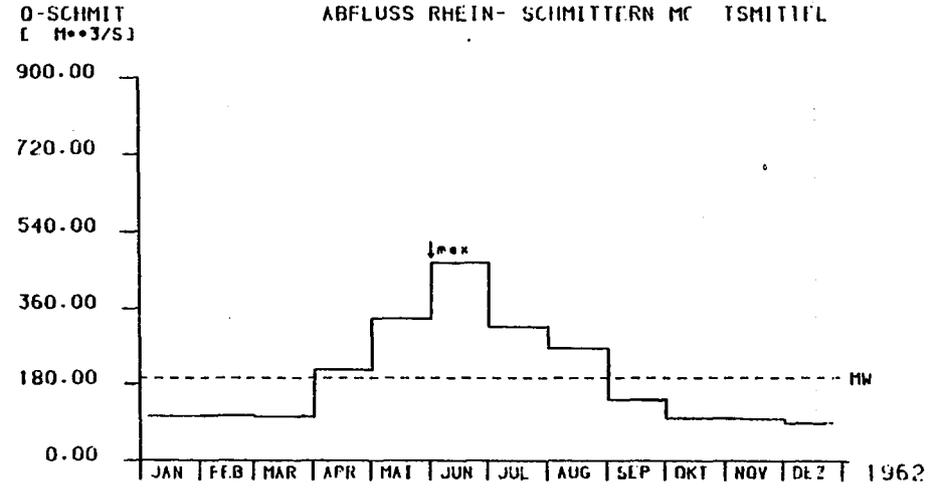
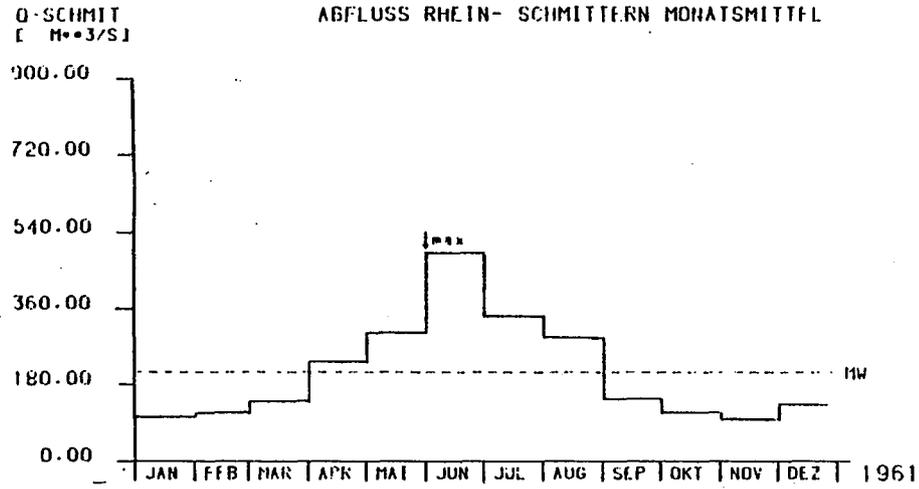


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (1) ALPENRHEIN

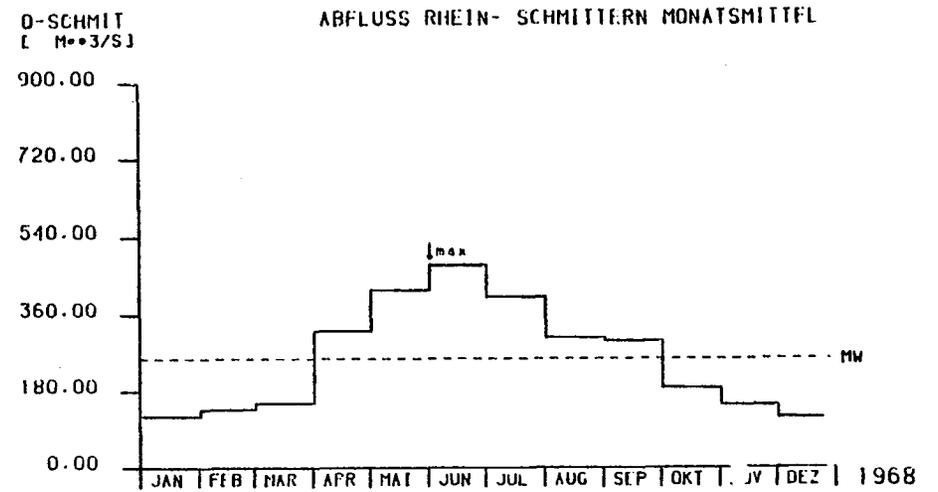
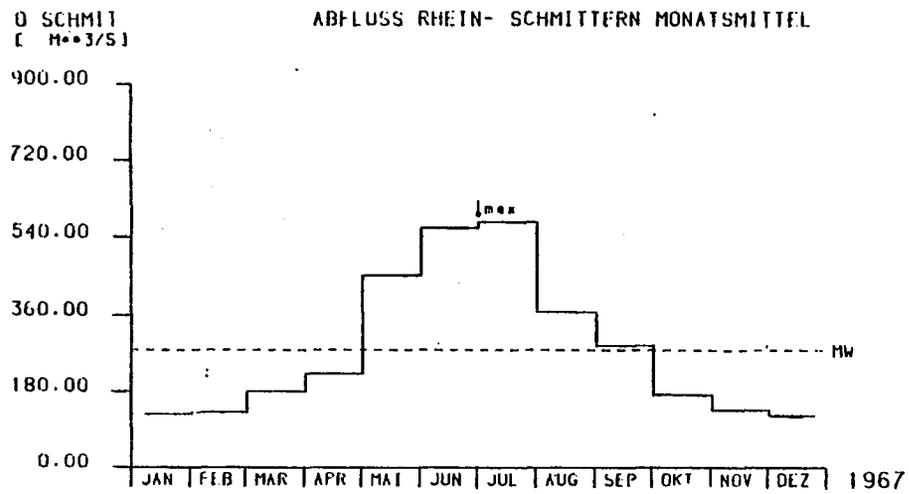
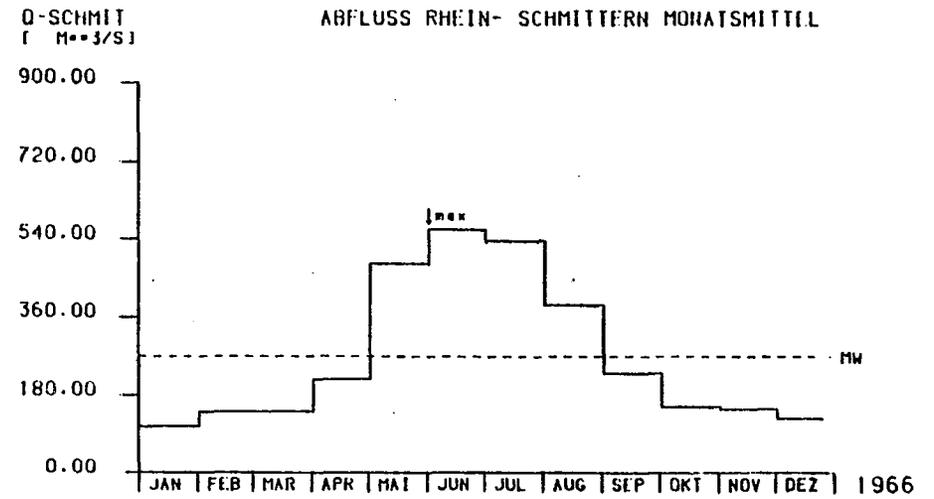
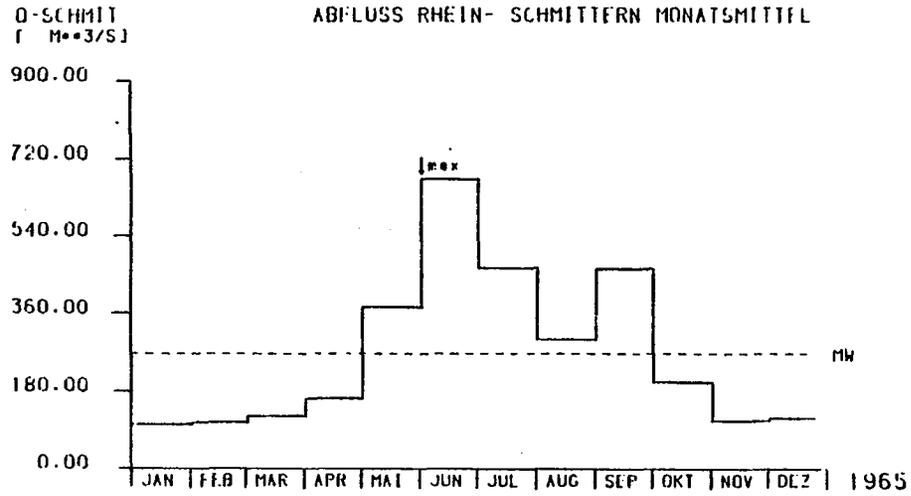


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (1) ALPENRHEIN

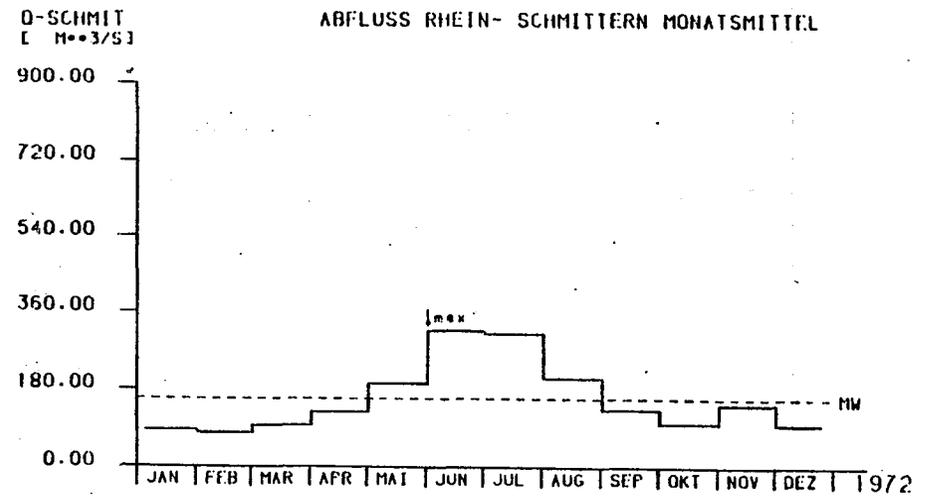
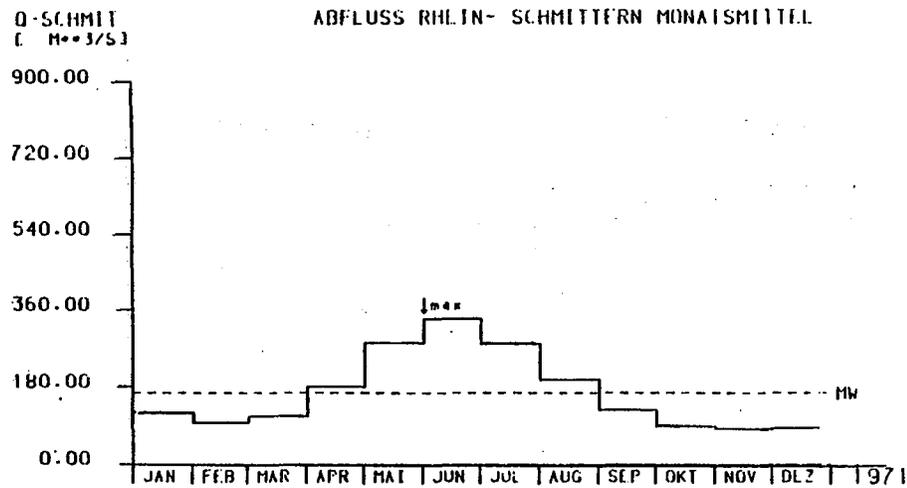
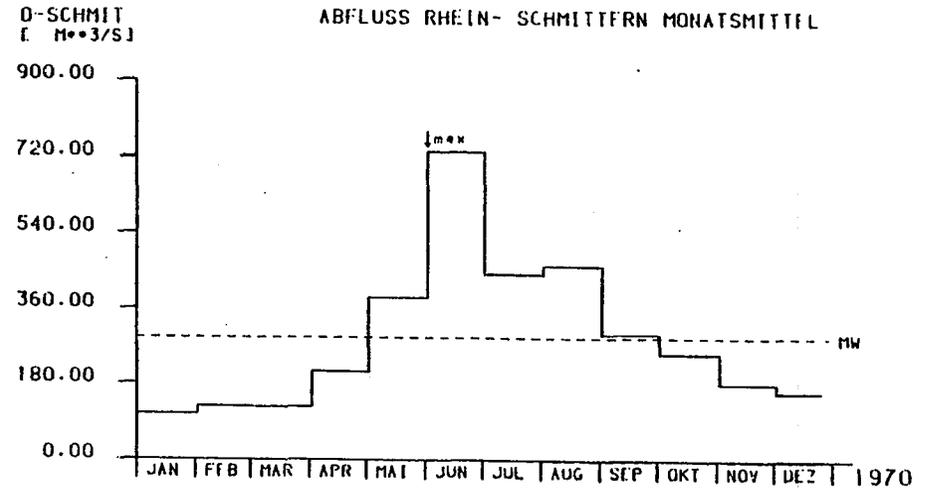
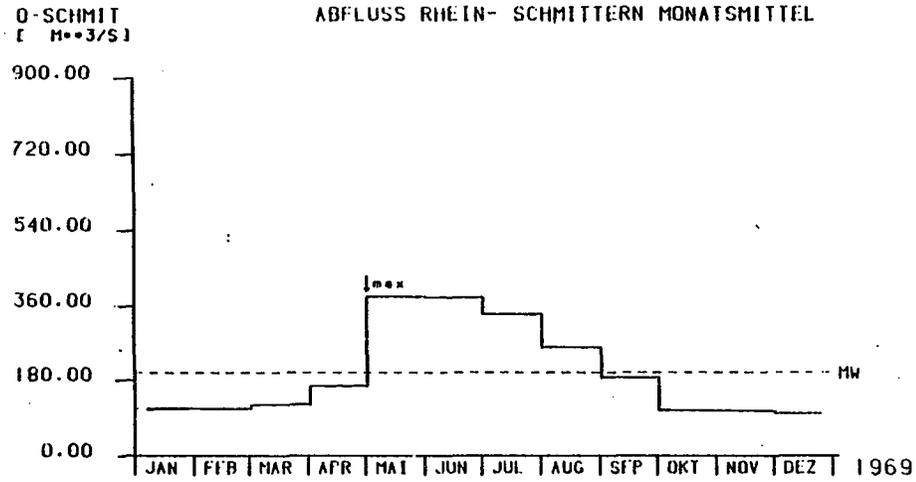


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (1) ALPENRHEIN

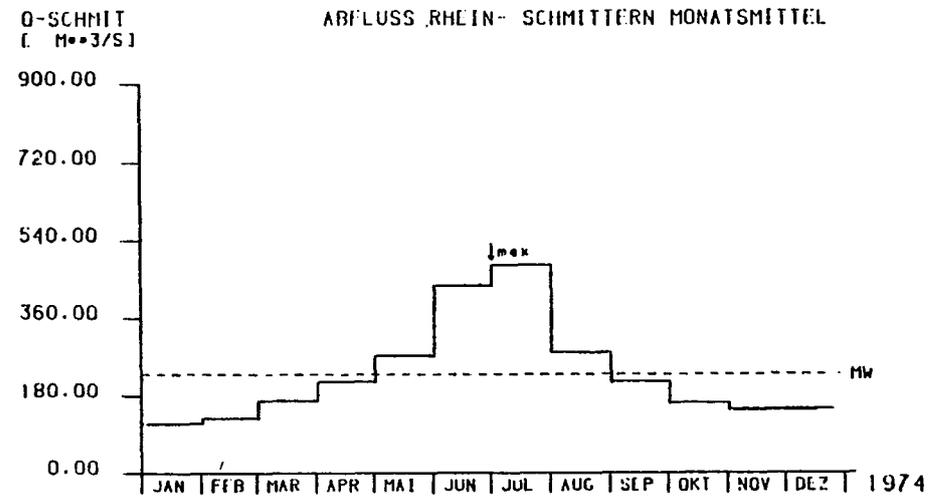
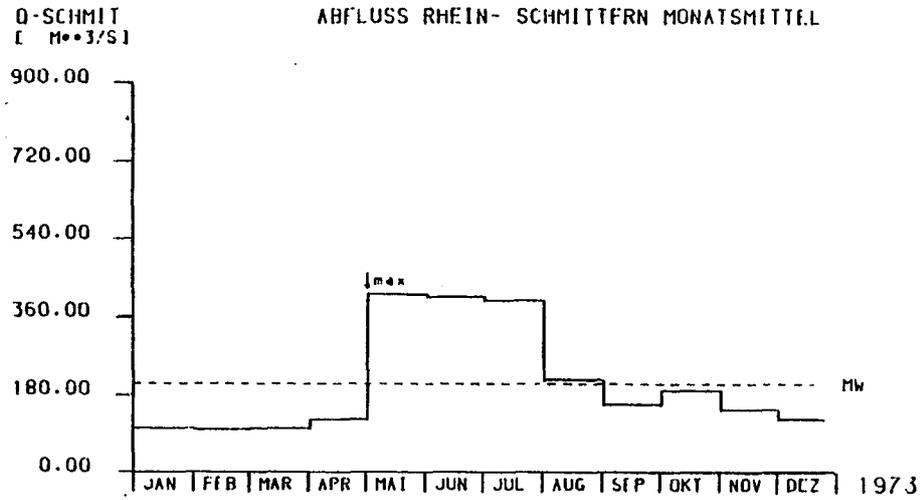


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFÜSSE (1) ALPENRHEIN

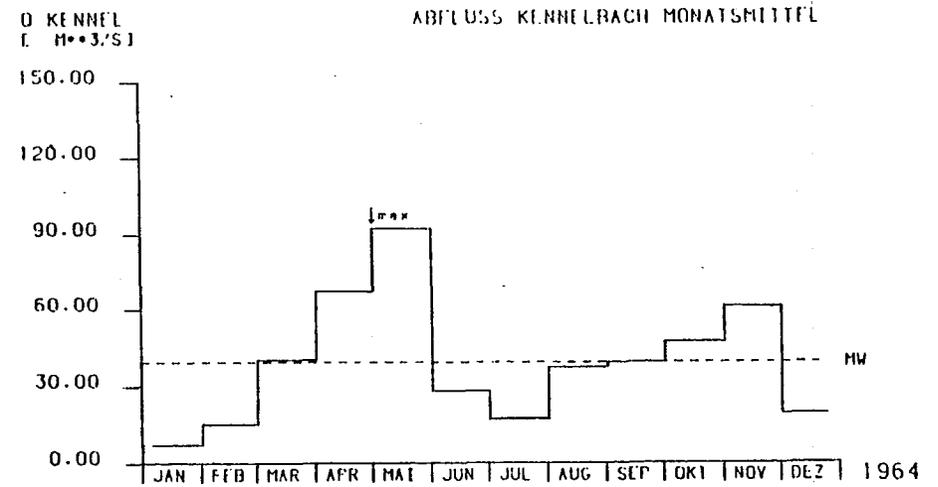
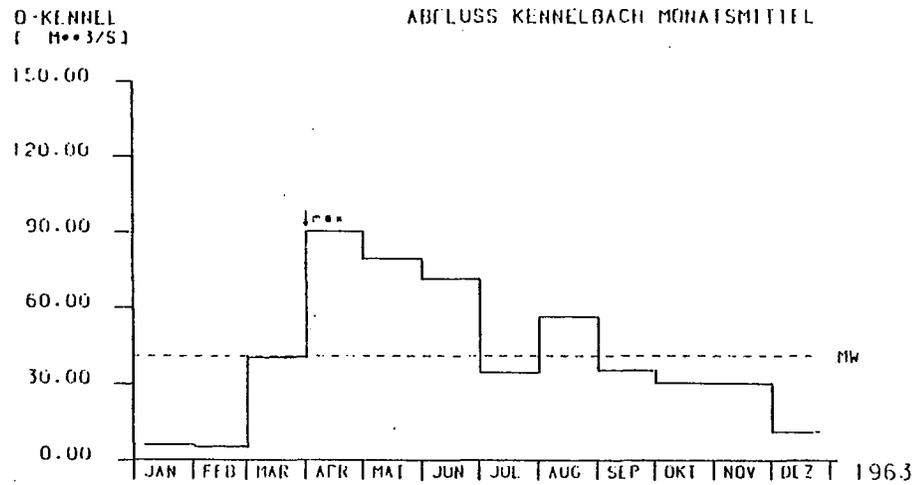
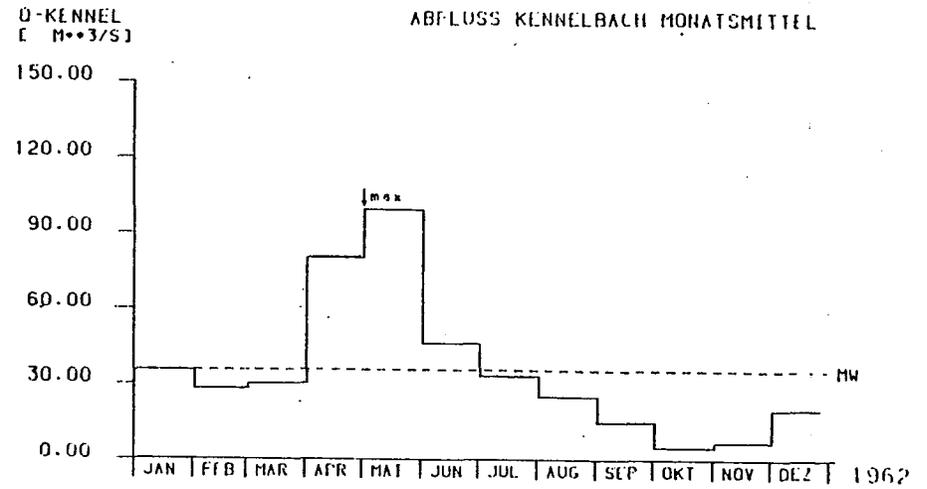
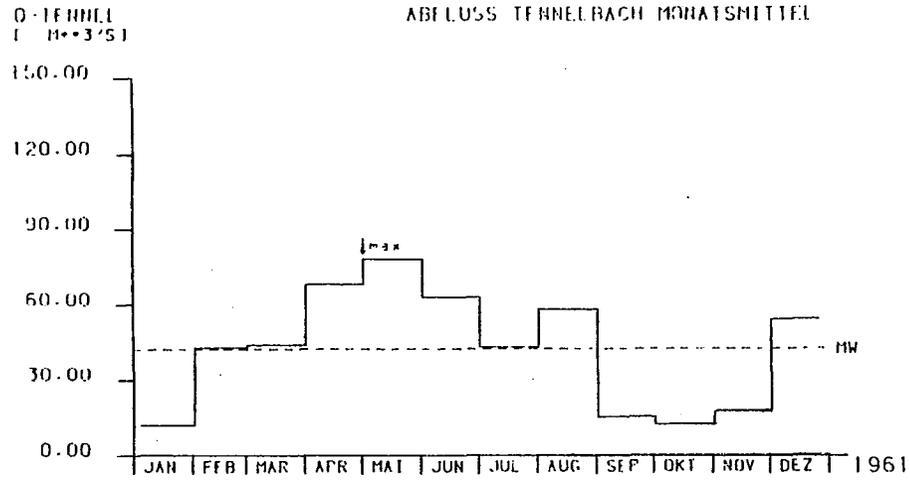


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (2) BREGENZER ACH

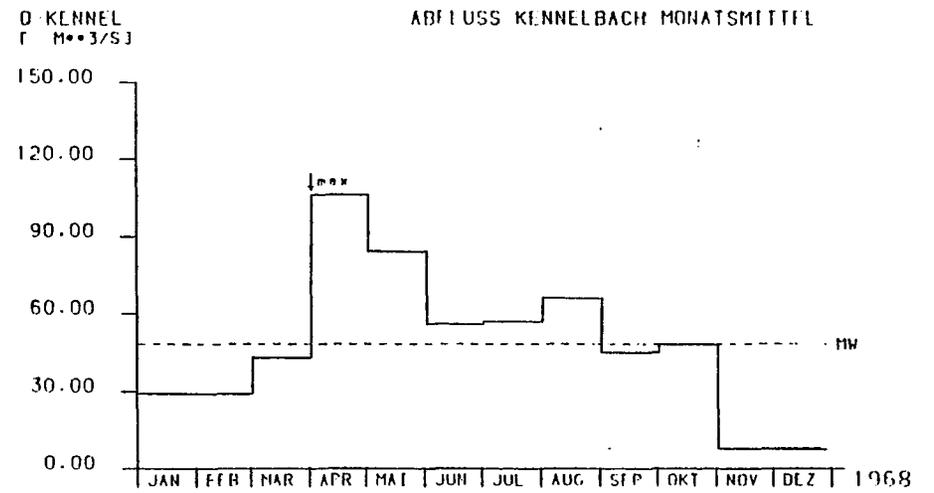
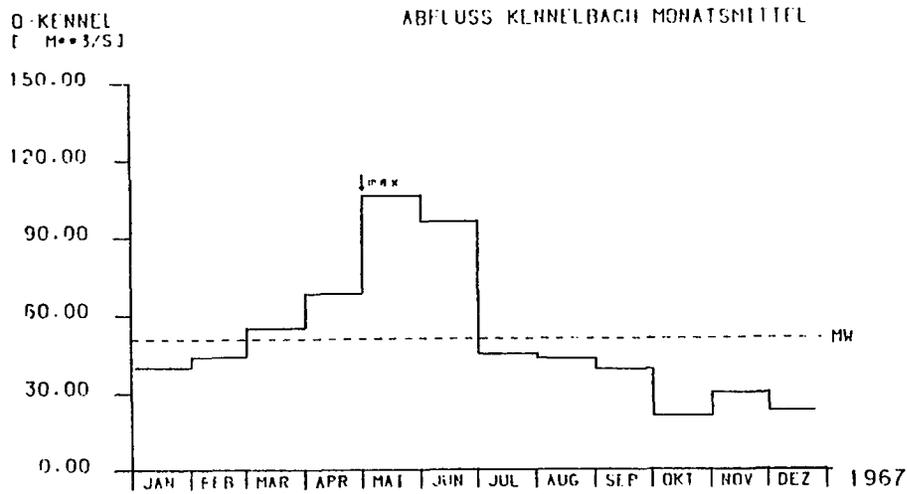
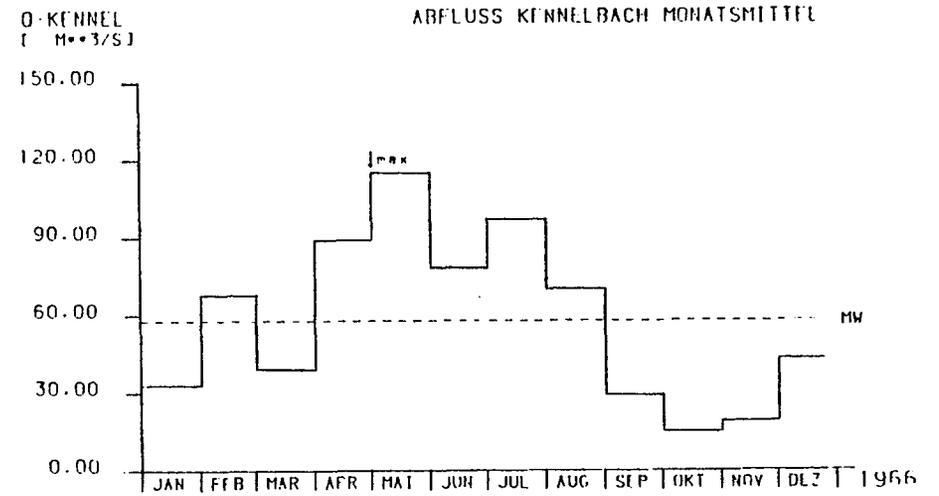
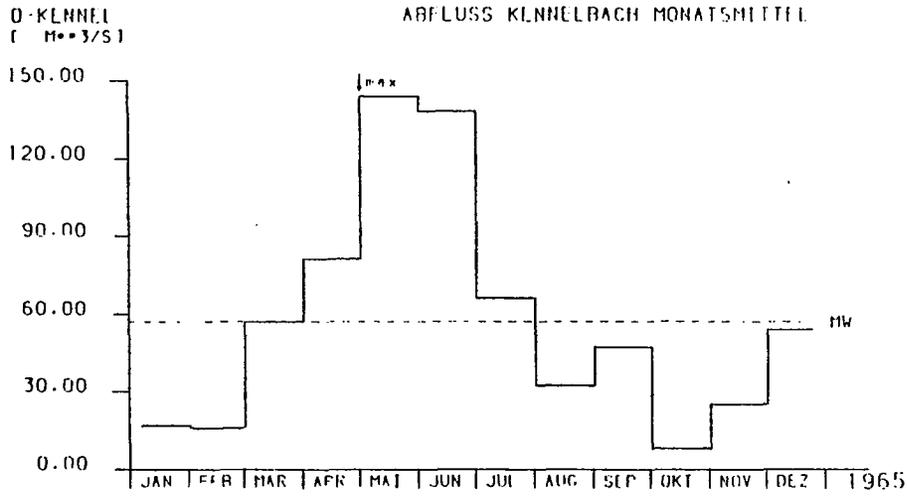


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (2) BREGENZER ACH

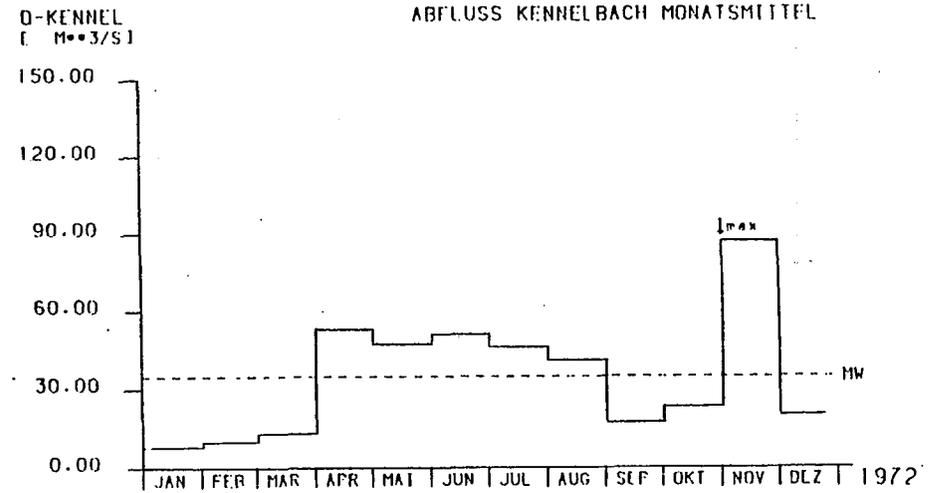
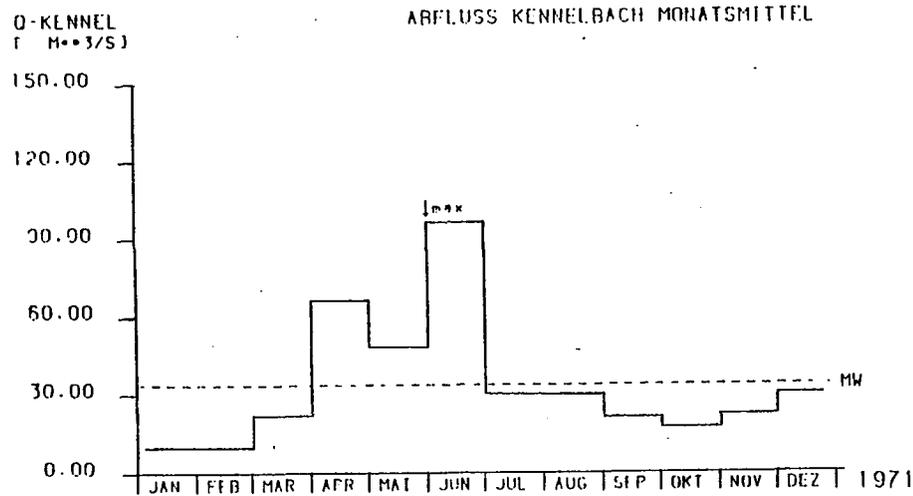
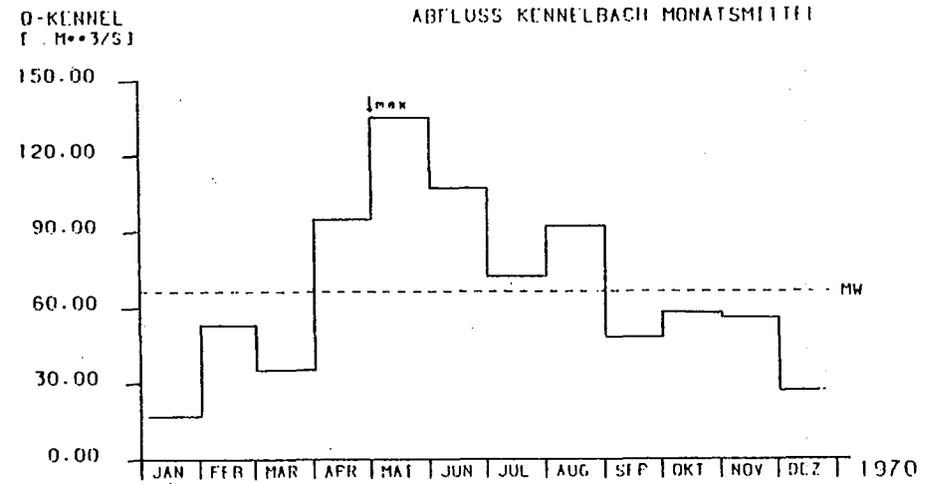
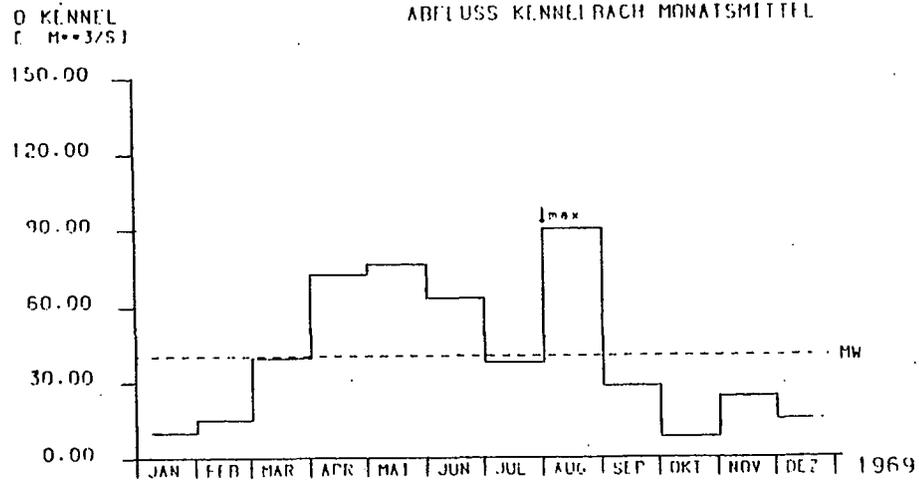


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (2) BREGENZER ACH

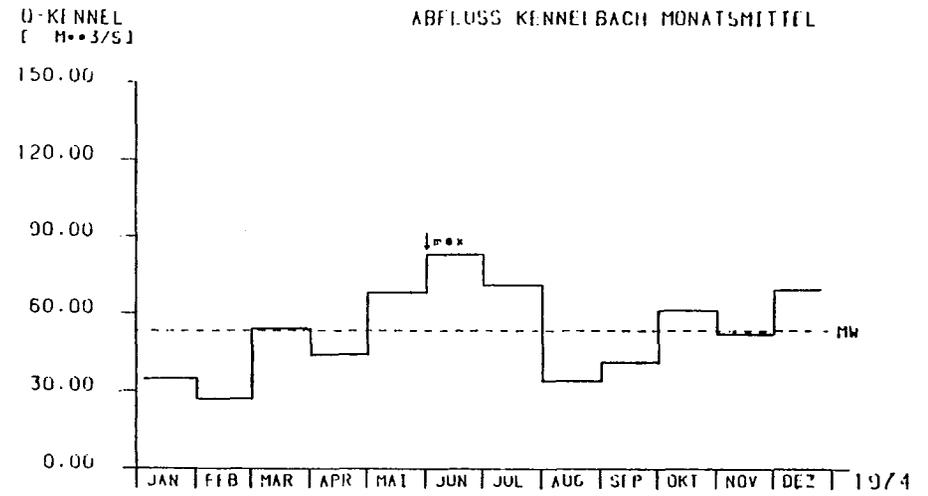
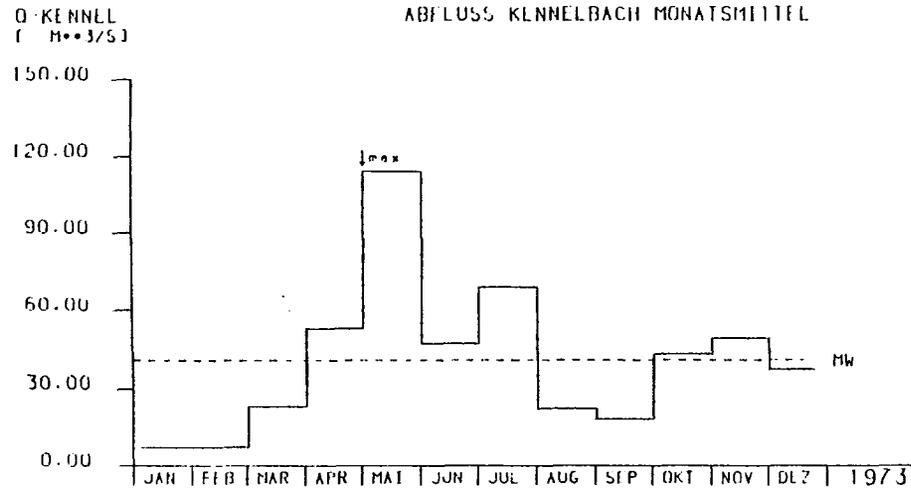
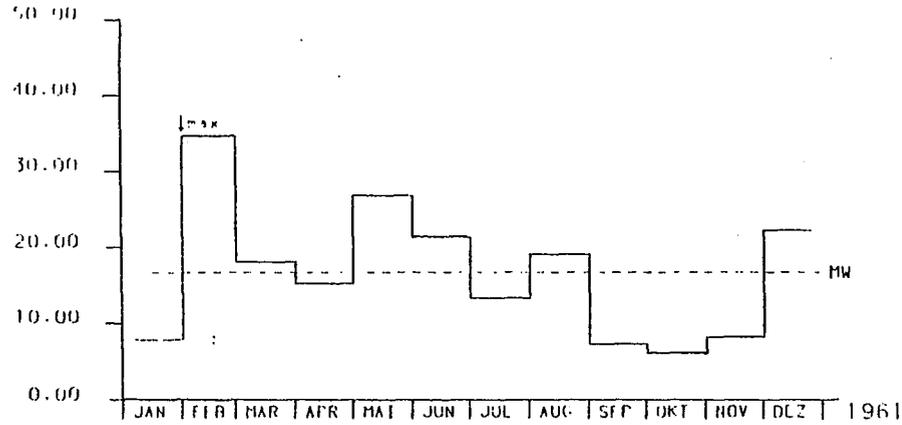


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (2) BREGENZER ACH

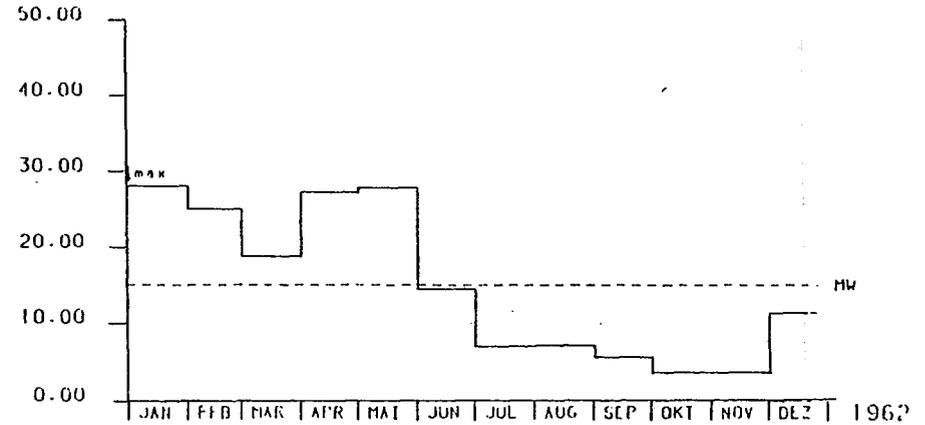
0-ARG.-G
[M³/S]

ABFLUSS ARGEN GIESSENBRUECKE MONATSMITTEL



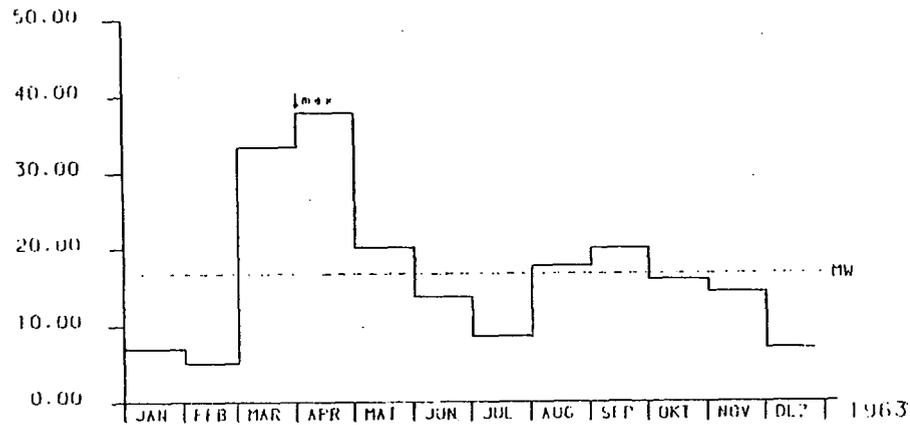
0-ARG.-G
[M³/S]

ABFLUSS ARGEN GIESSENBRUECKE MONATSMITTEL



0-ARG.-G
[M³/S]

ABFLUSS ARGEN GIESSENBRUECKE MONATSMITTEL



0-ARG.-G
[M³/S]

ABFLUSS ARGEN GIESSENBRUECKE MONATSMITTEL

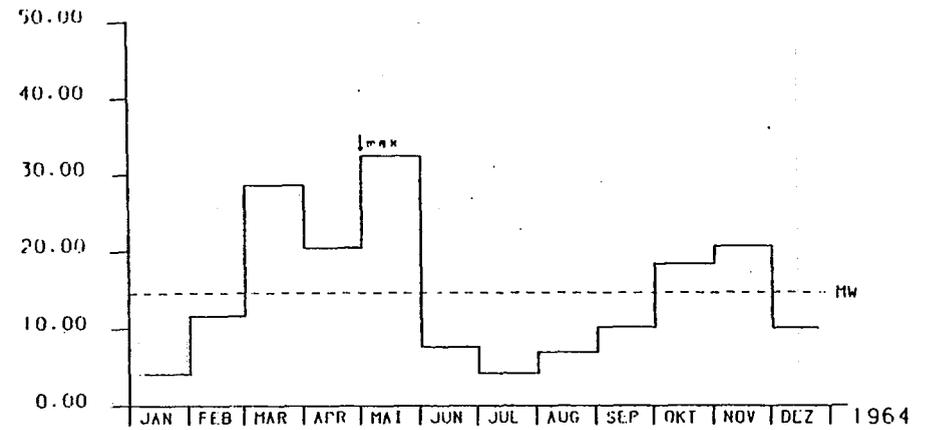


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (3) ARGEN

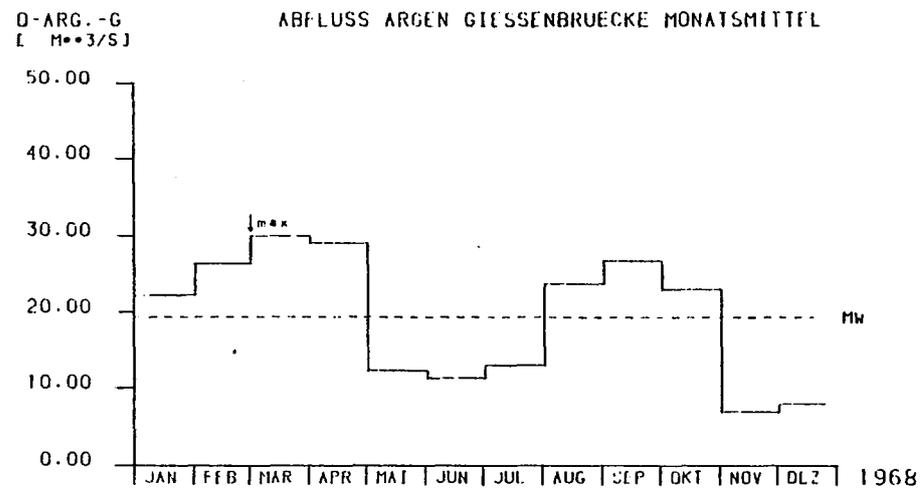
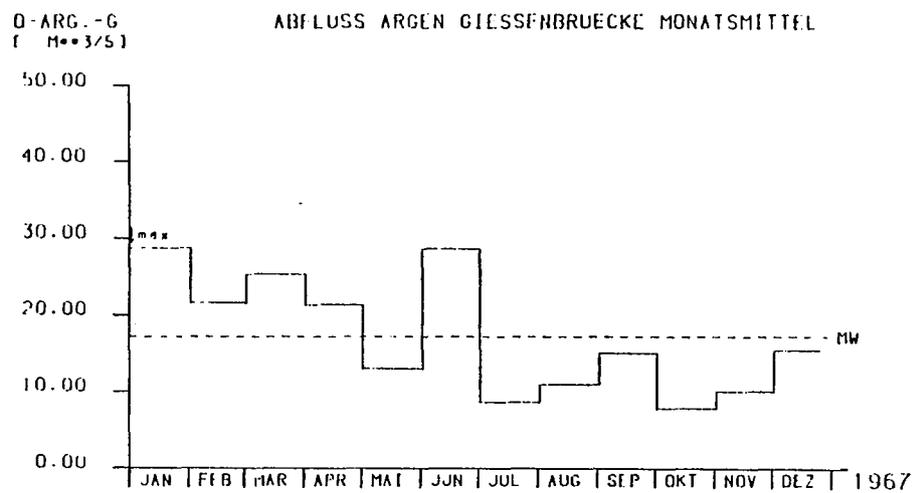
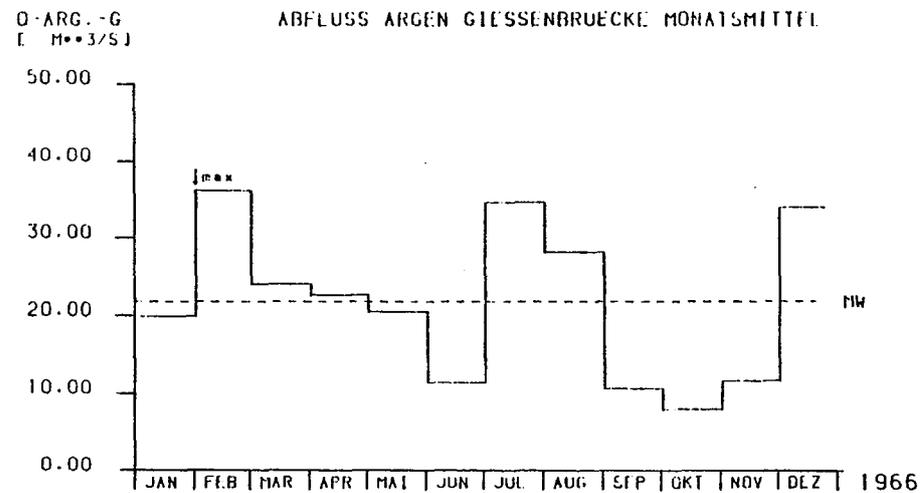
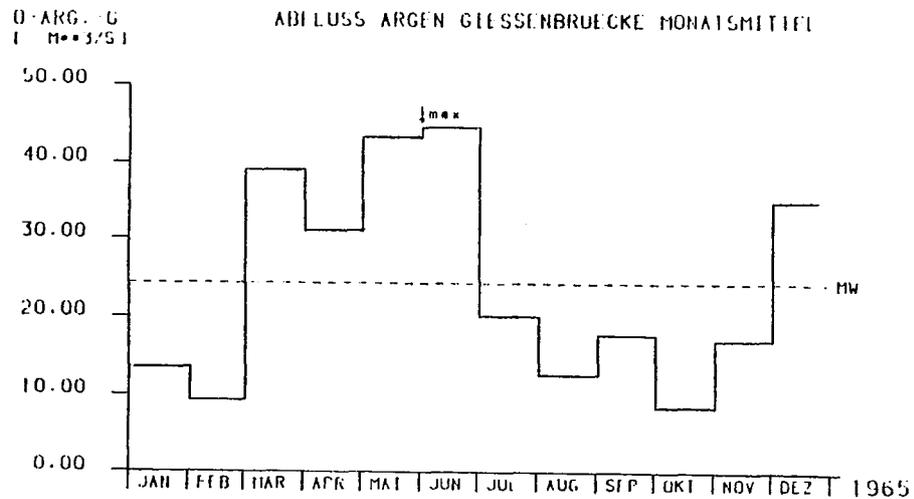


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (3) ARGEN

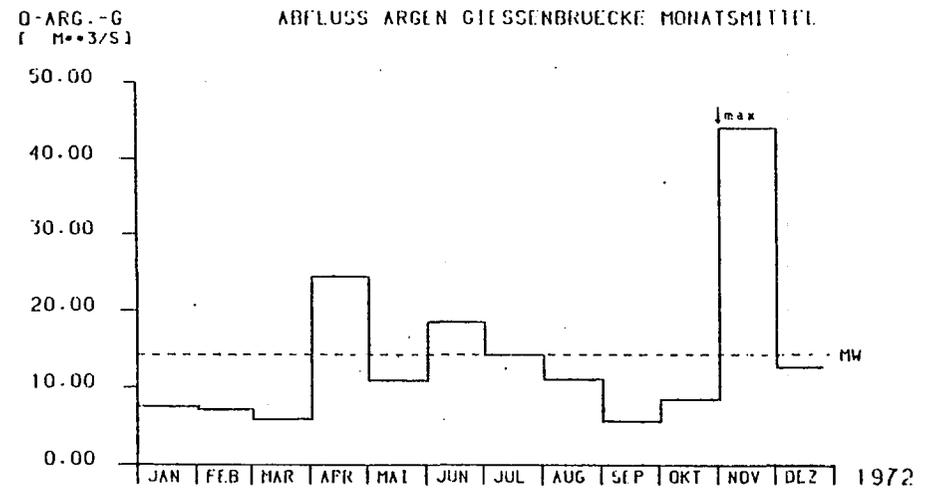
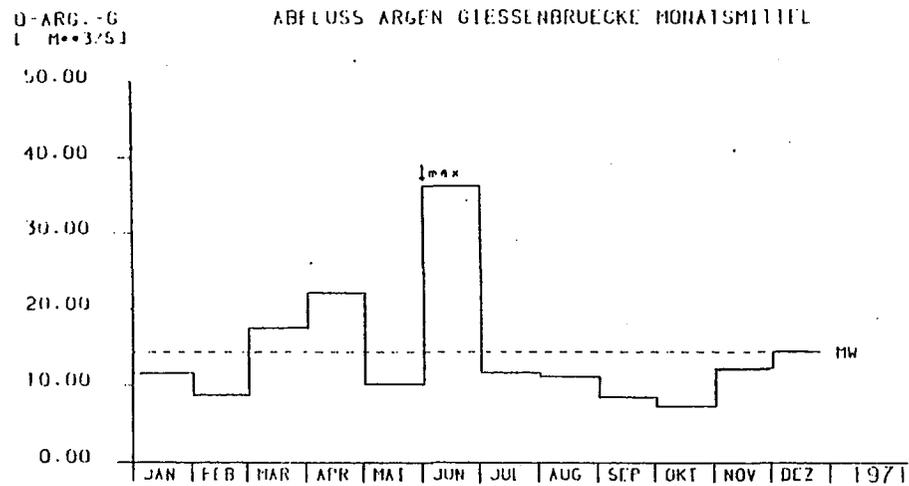
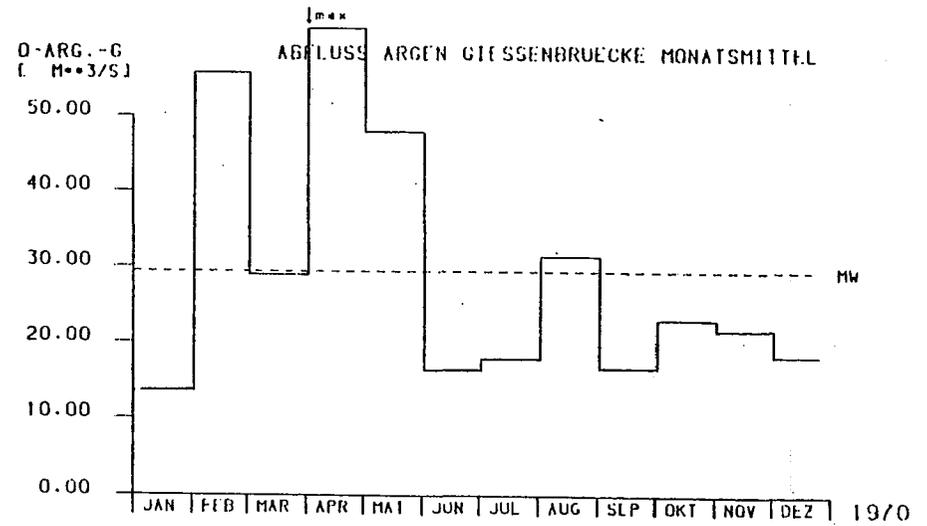
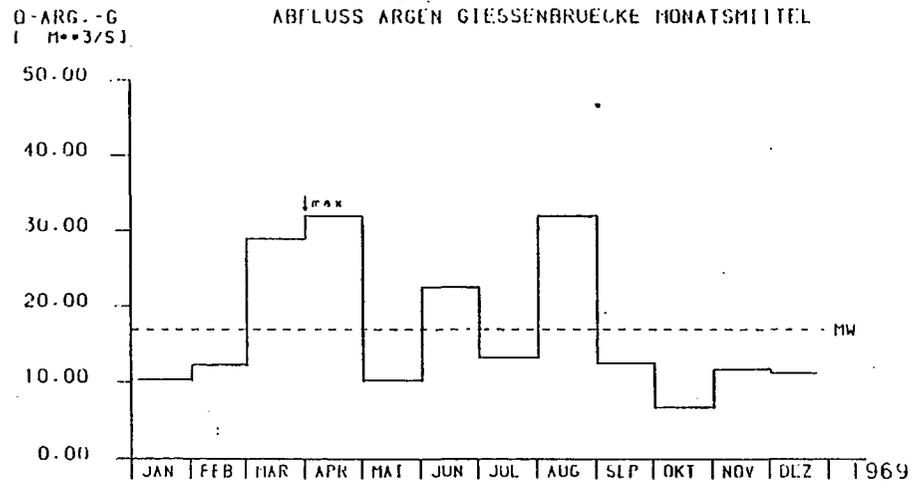


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (3) ARGEN

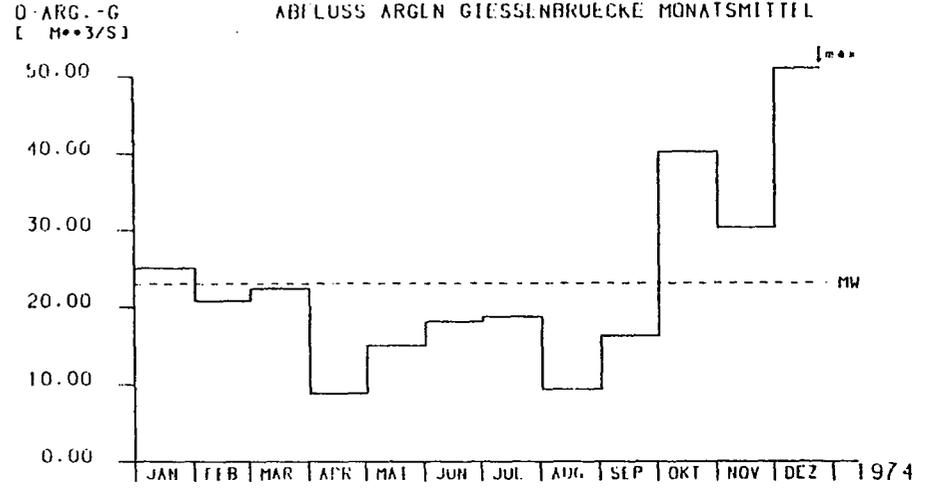
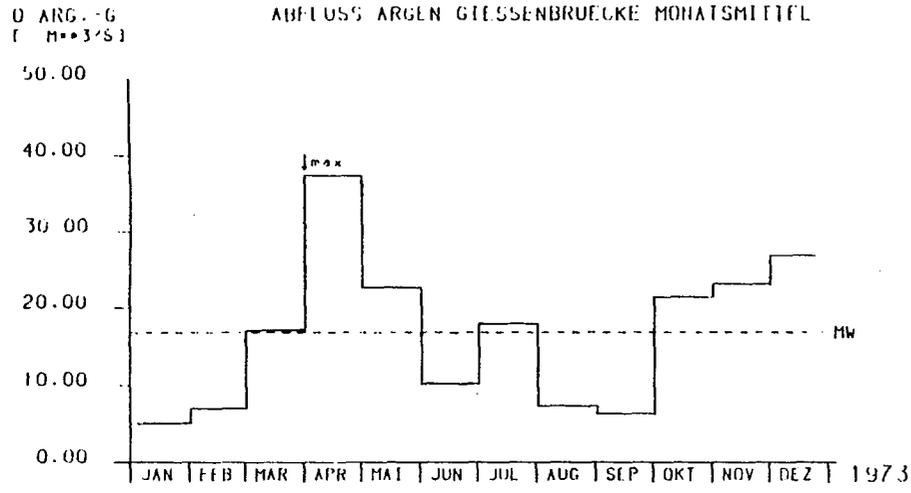


ABB.3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (3) ARGEN

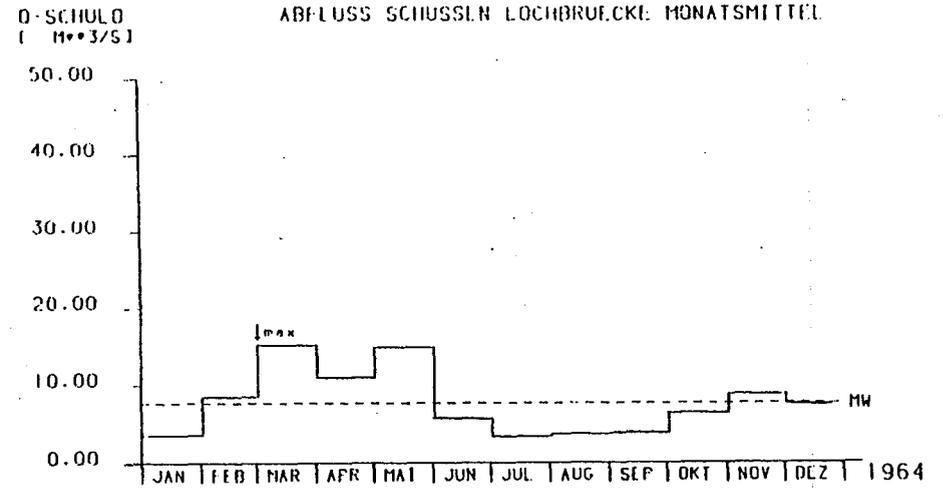
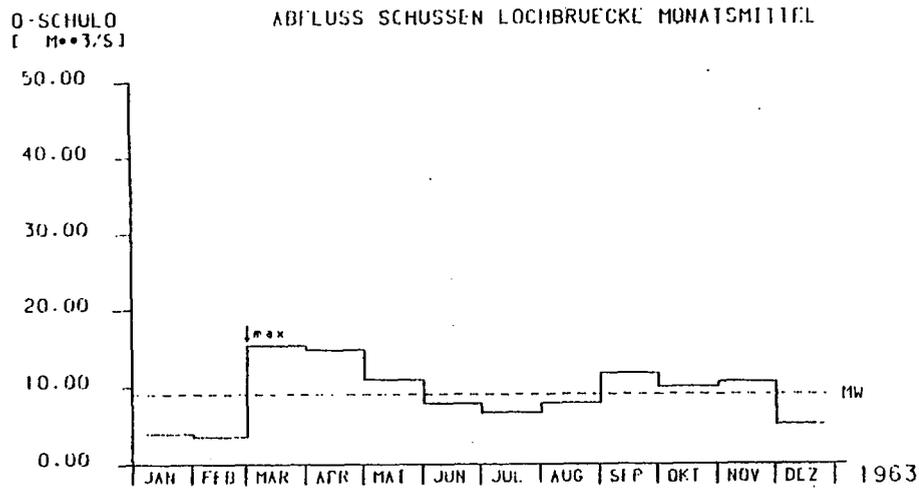
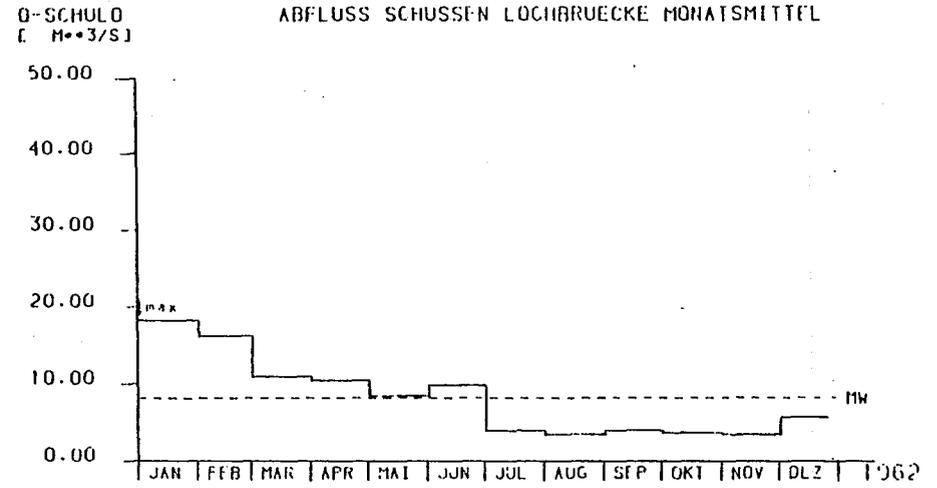
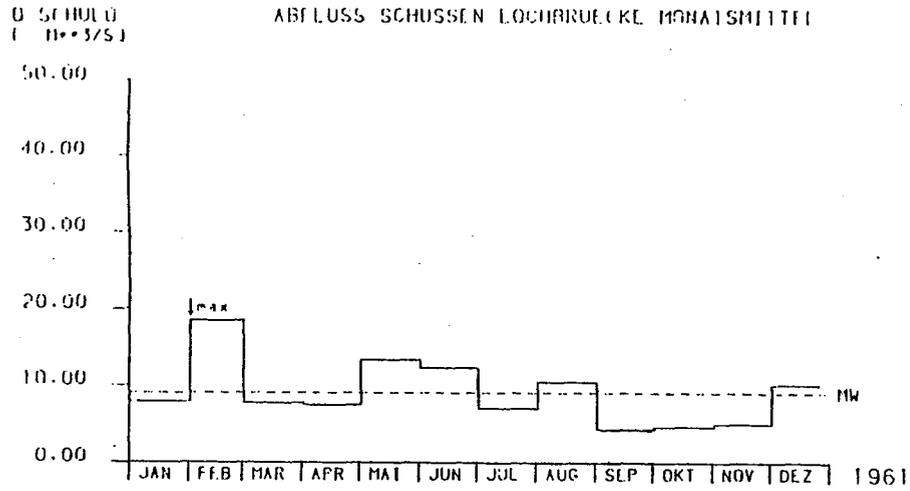


ABB. 3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (4) SCHUSSEN

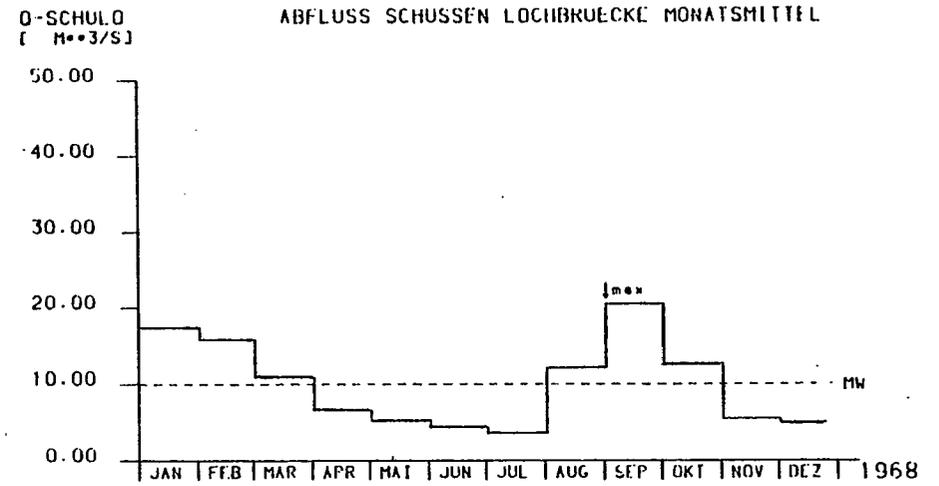
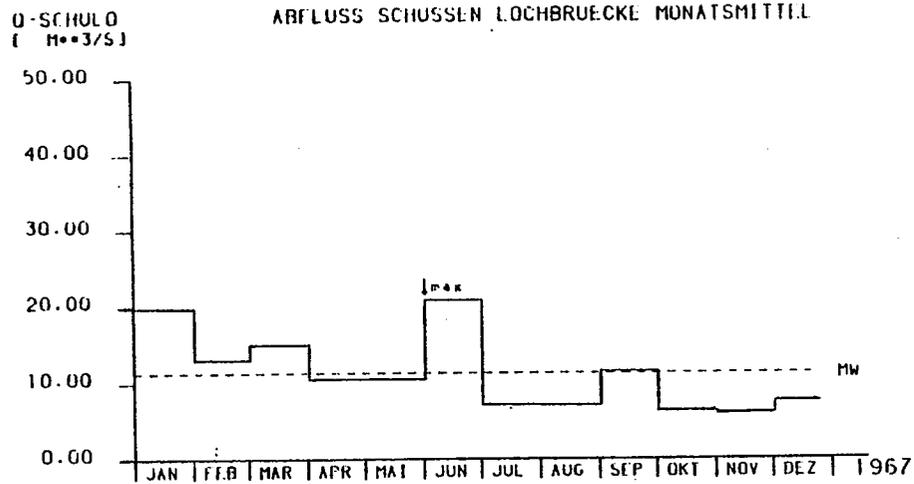
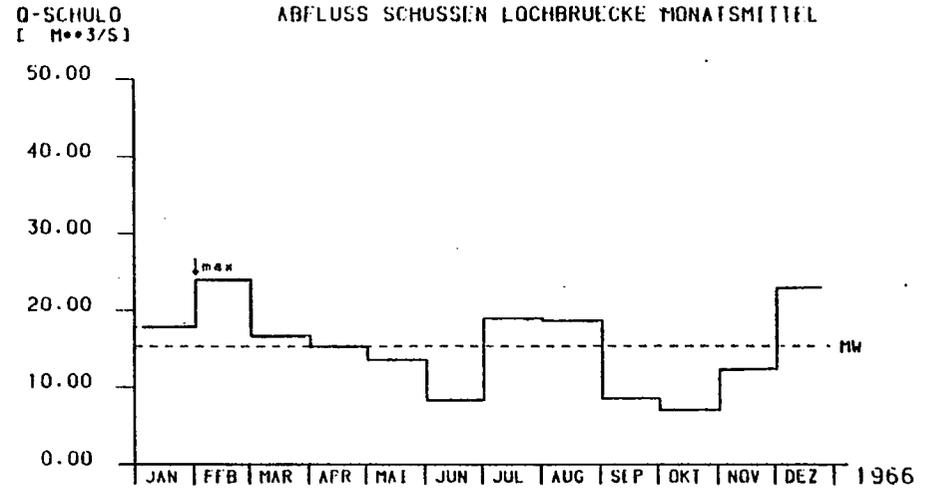
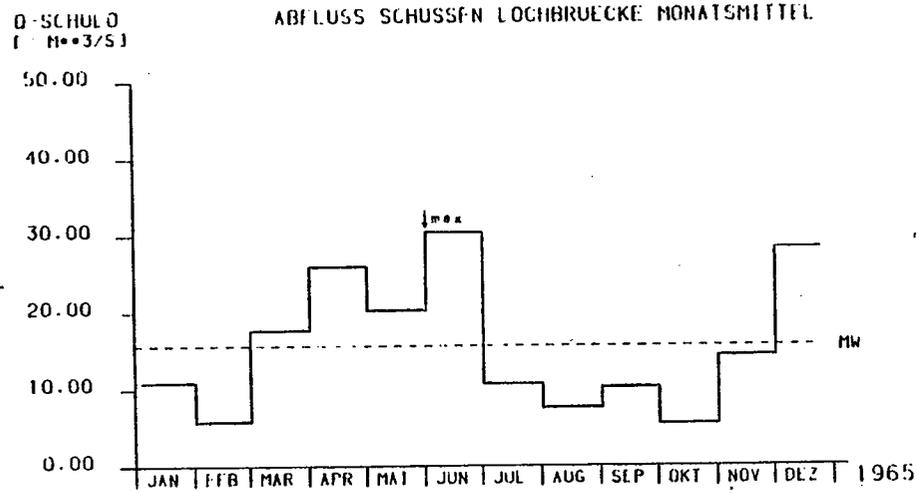


ABB. 3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (4) SCHUSSEN

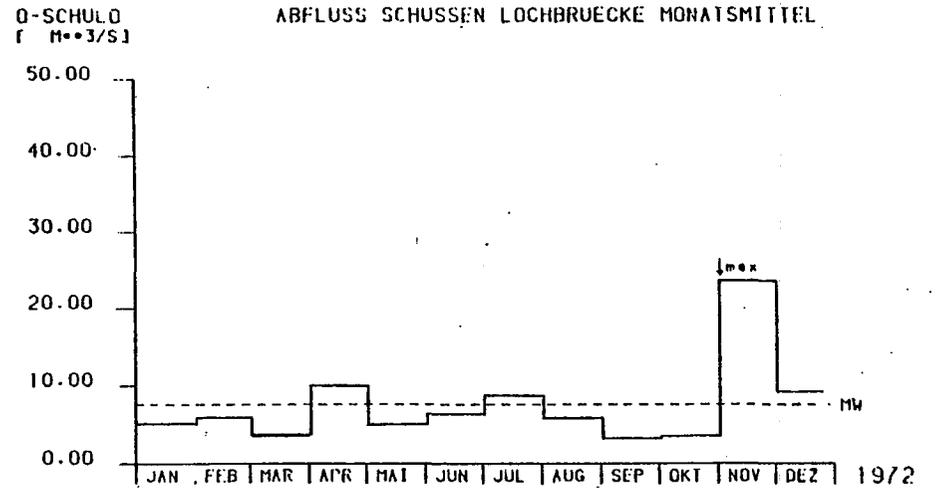
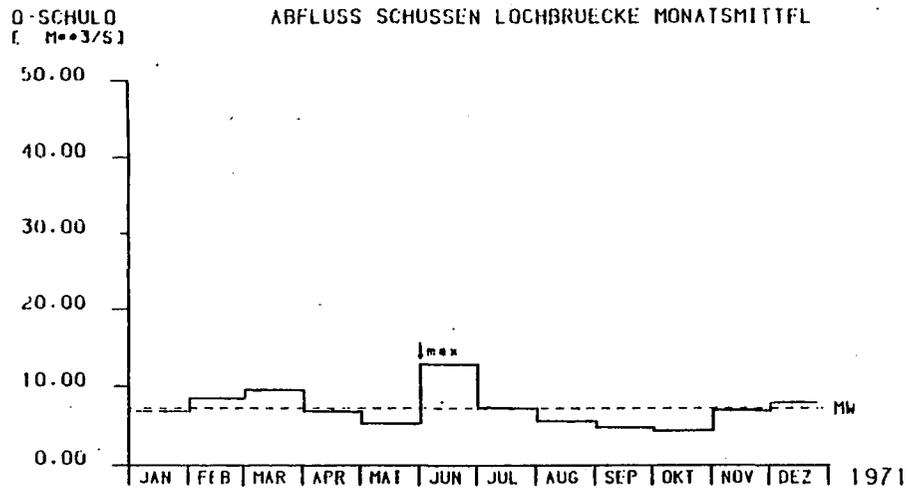
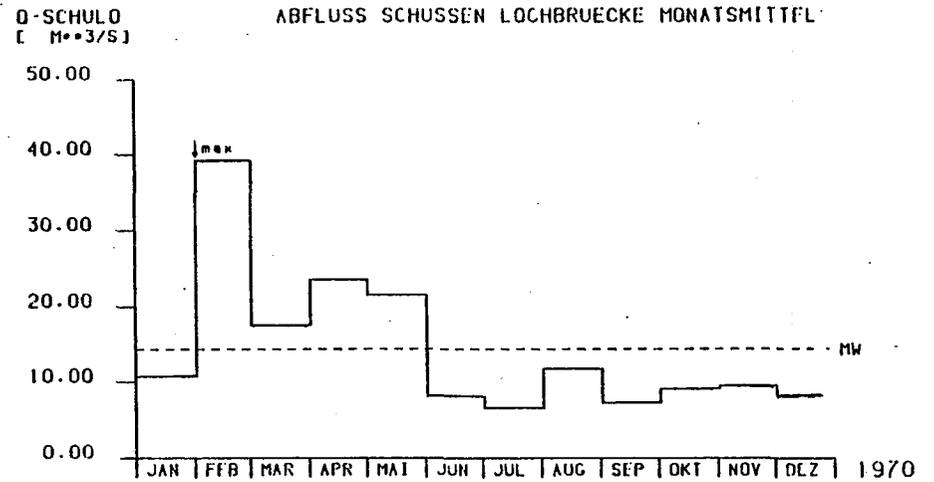
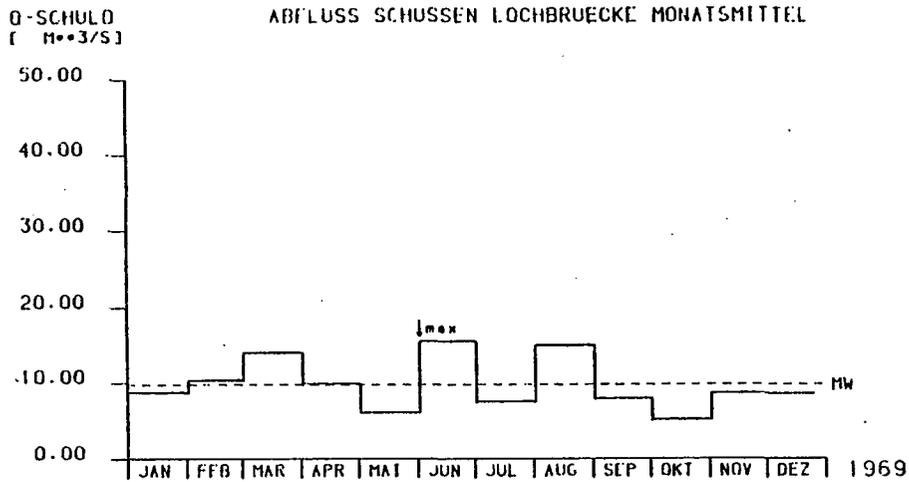


ABB. 3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (4) SCHUSSEN

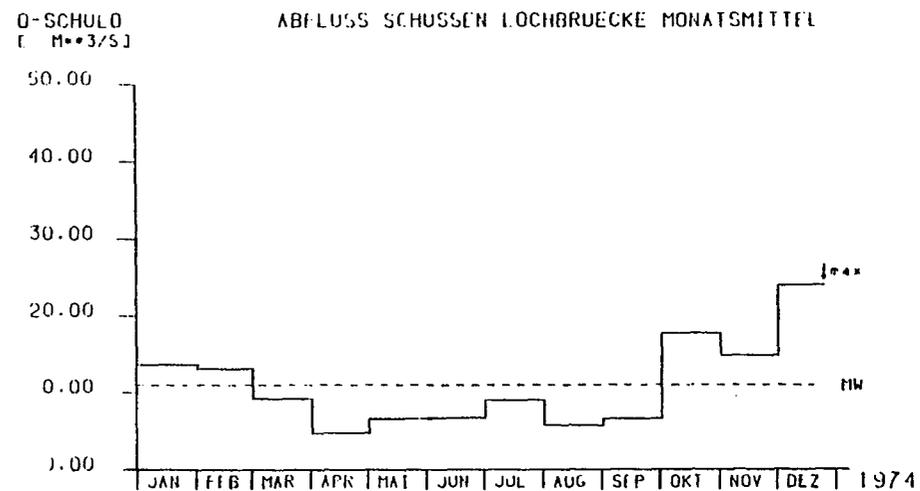
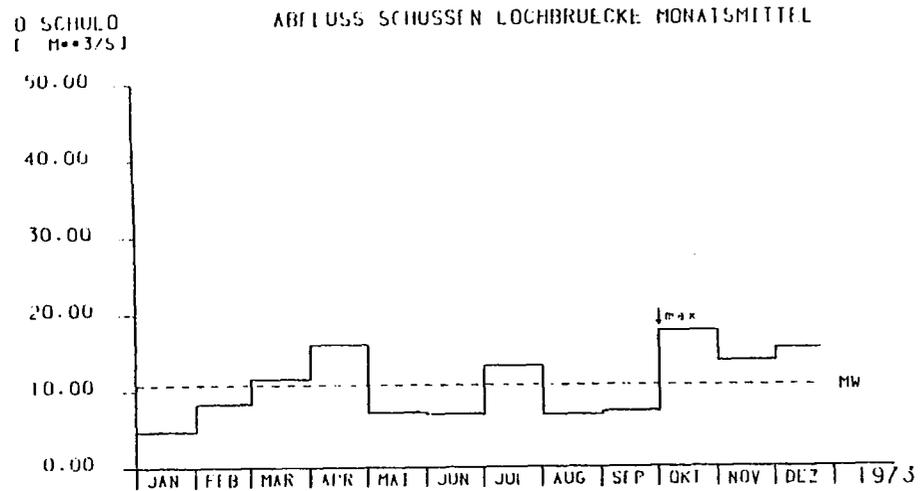


Abb. 3 WASSERFÜHRUNG DER BODENSEEZUFLÜSSE (4) SCHUSSEN

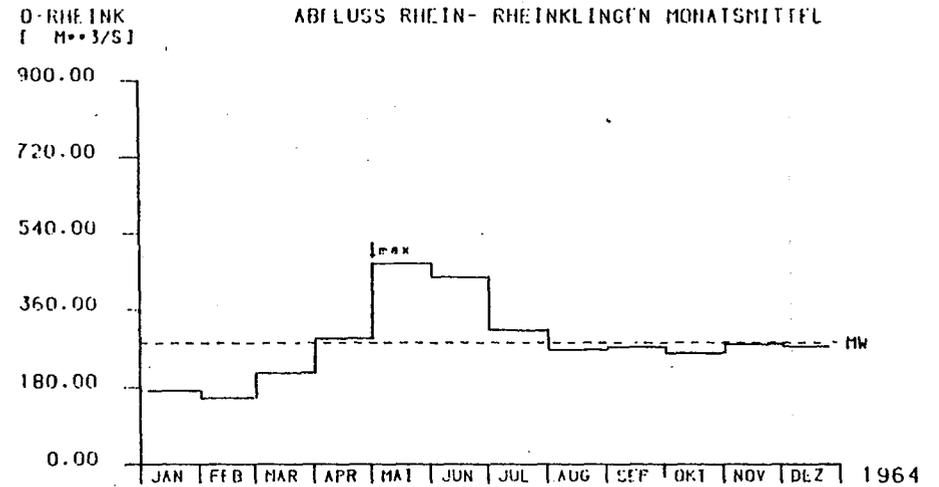
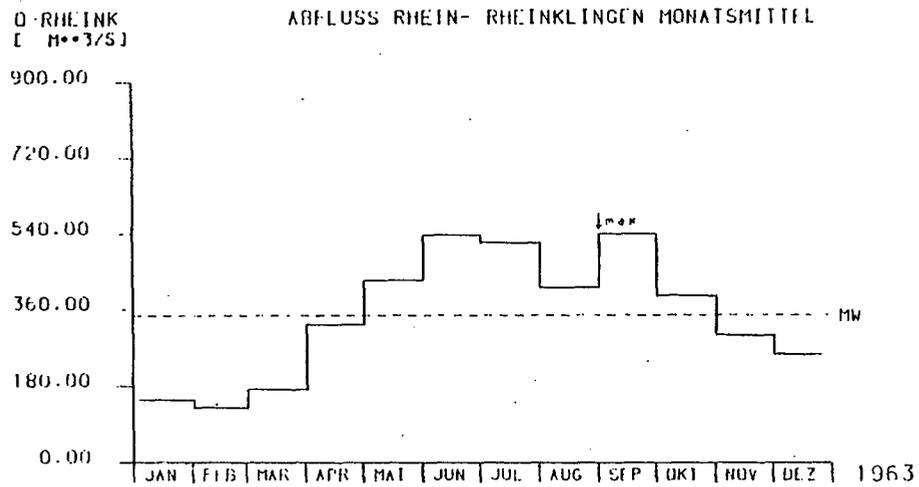
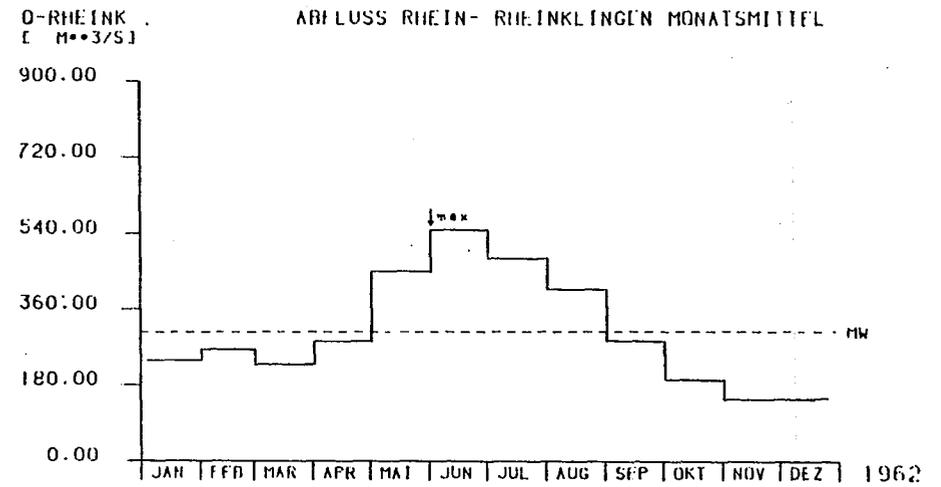
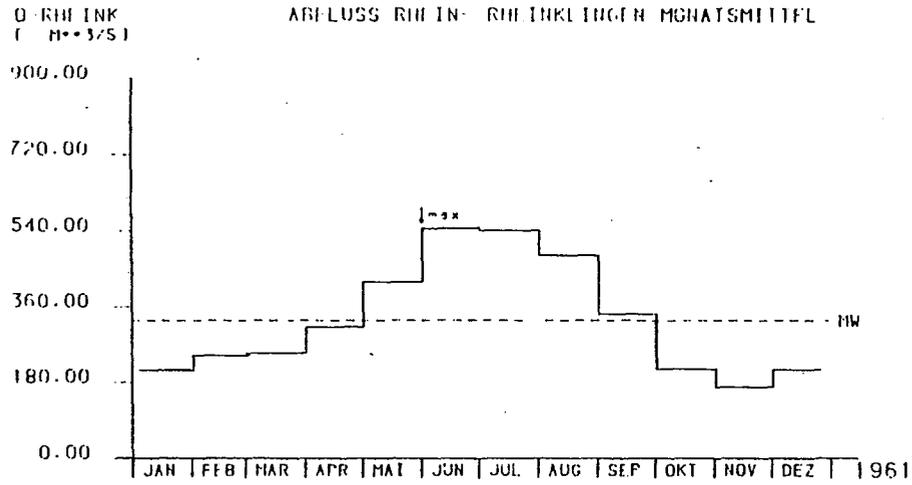


ABB.3 ABFLUSS DES BODENSEES: RHEIN BEI RHEINKLINGEN

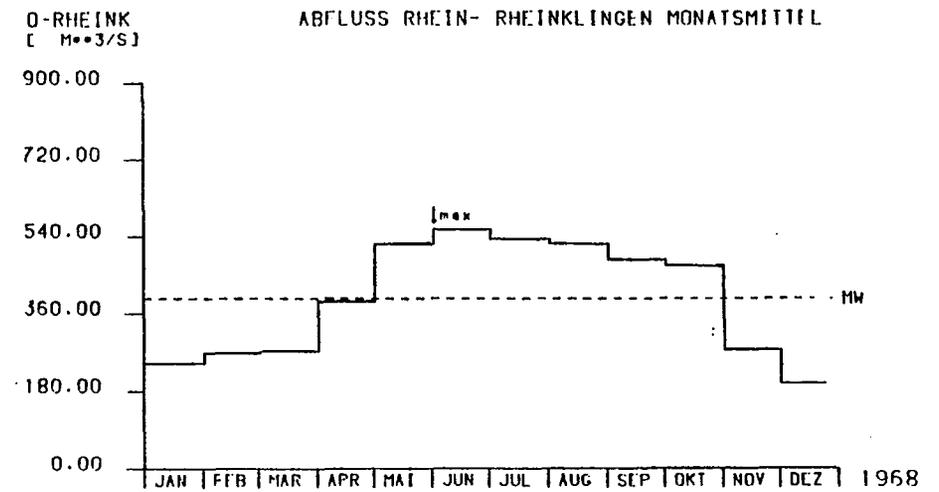
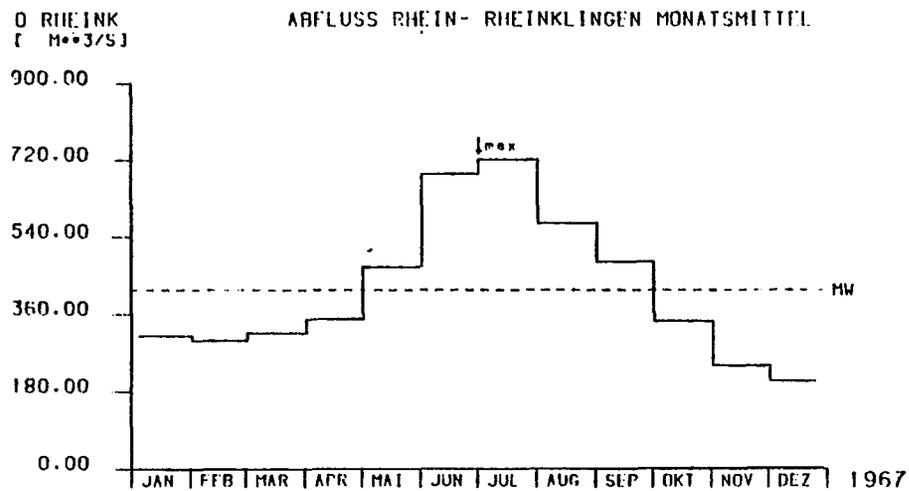
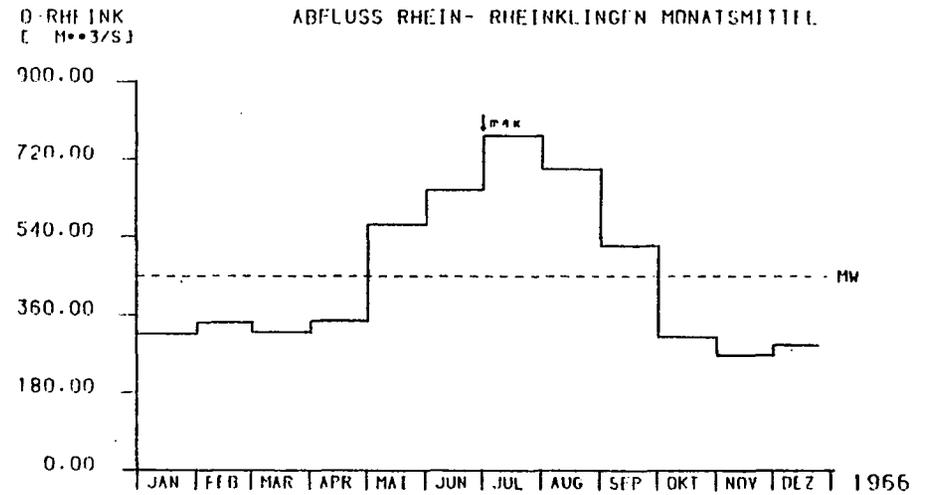
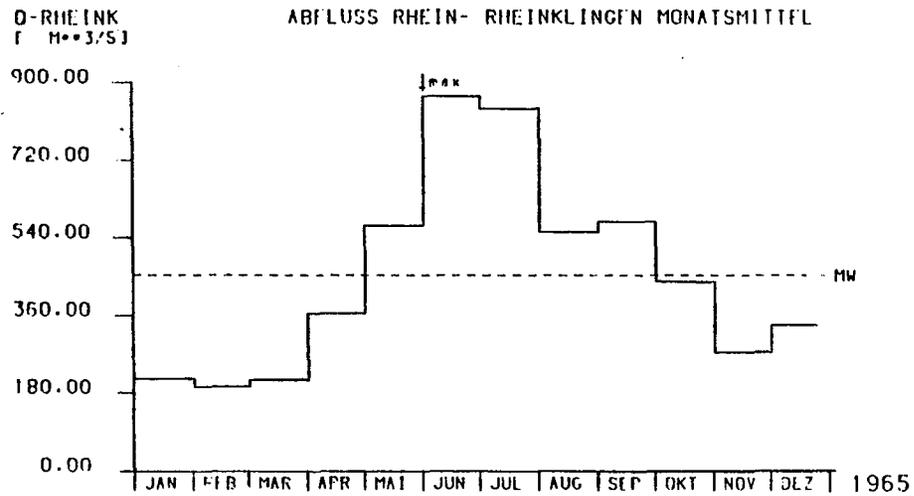


ABB.3 ABFLUSS DES BODENSEES: RHEIN BEI RHEINKLINGEN

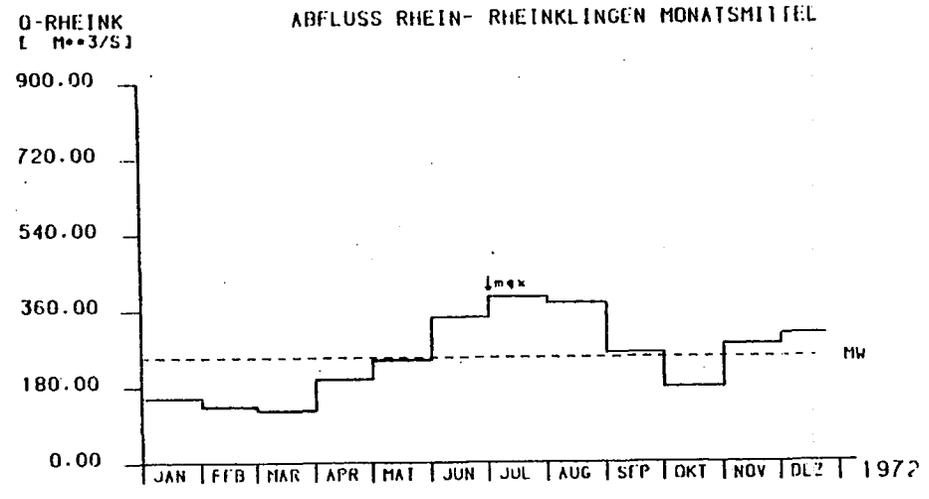
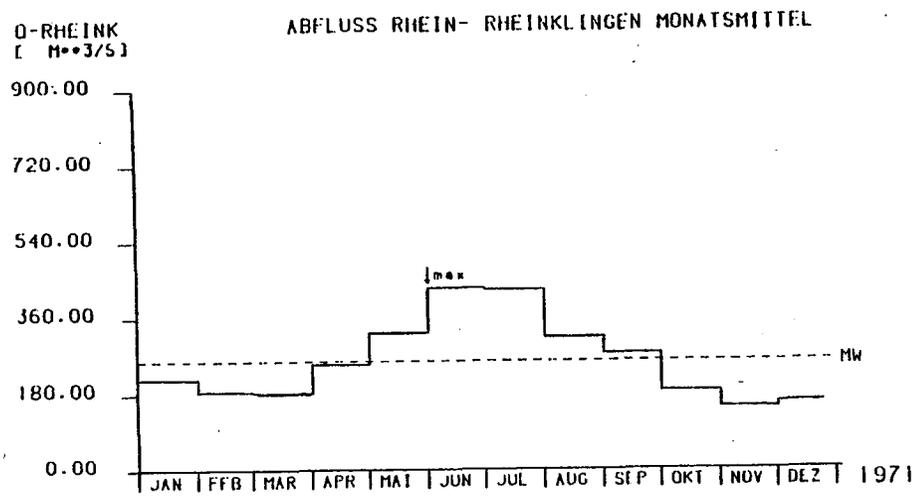
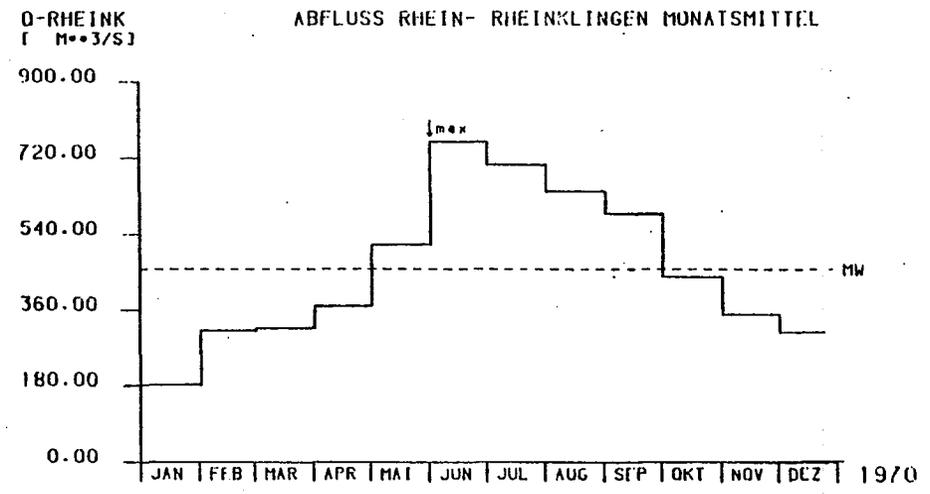
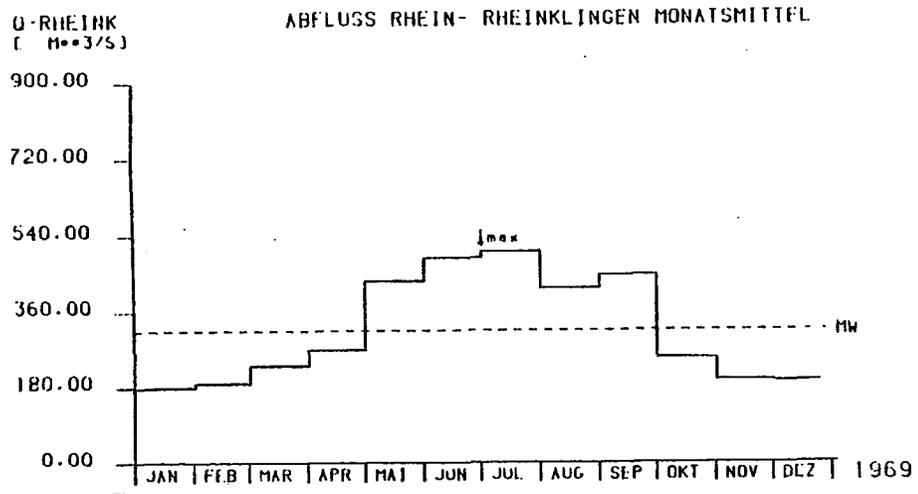


ABB.3 ABFLUSS DES BODENSEES: RHEIN BEI RHEINKLINGEN

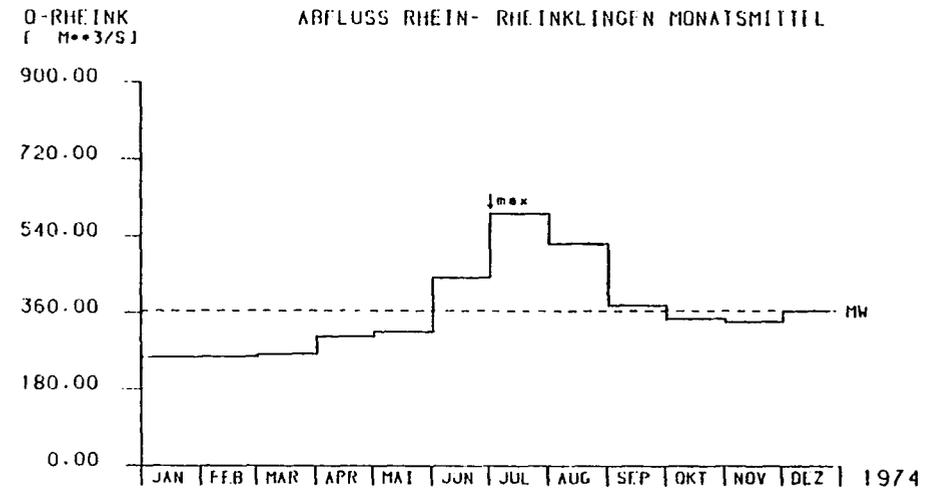
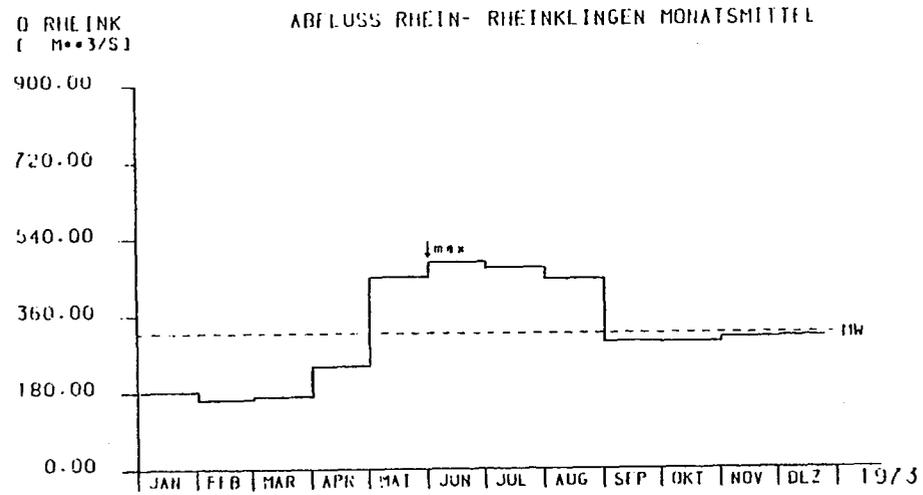


ABB.3 ABFLUSS DES BODENSEES: RHEIN BEI RHEINKLINGEN

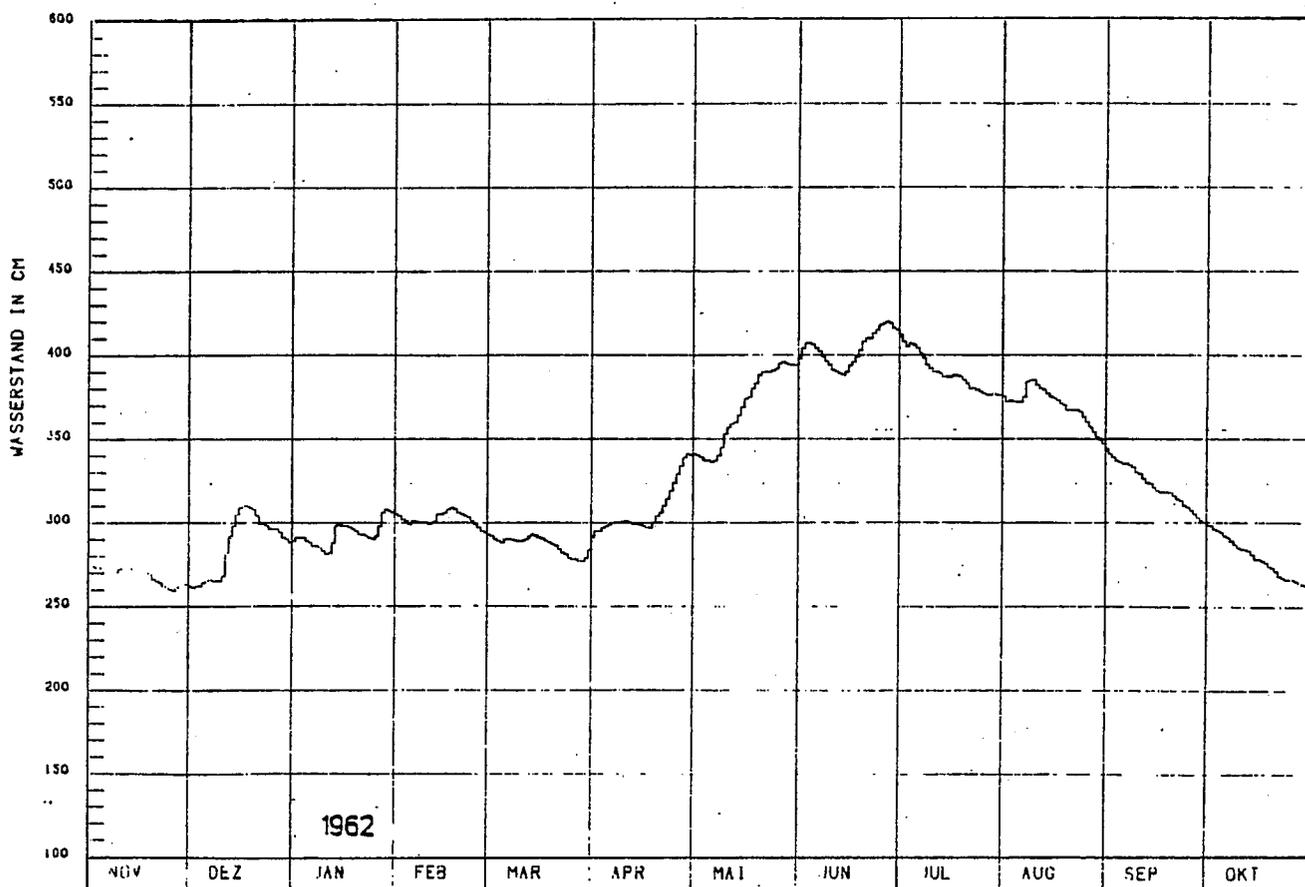
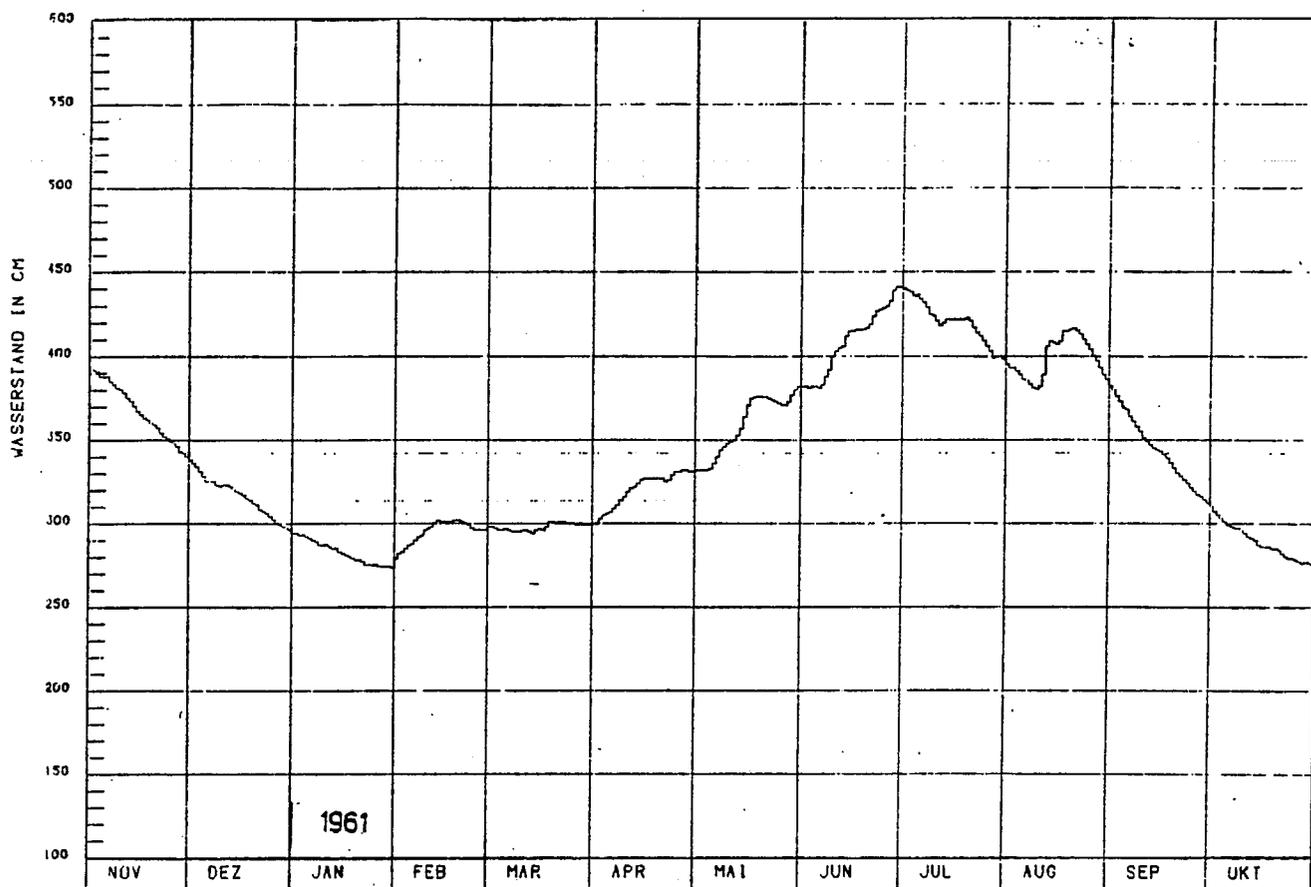


ABB.4 WASSERSTAND DES BODENSEES PEGEL KONSTANZ

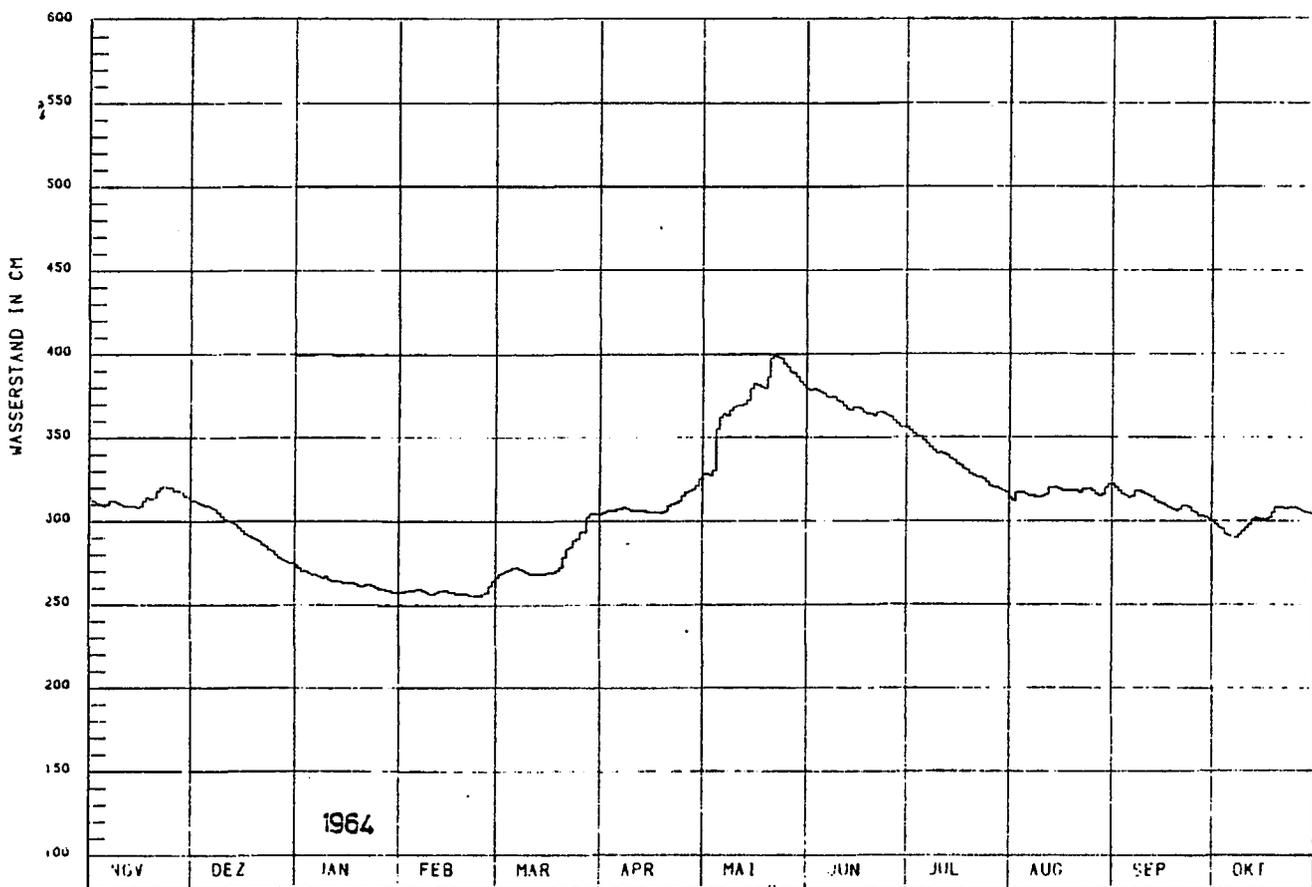
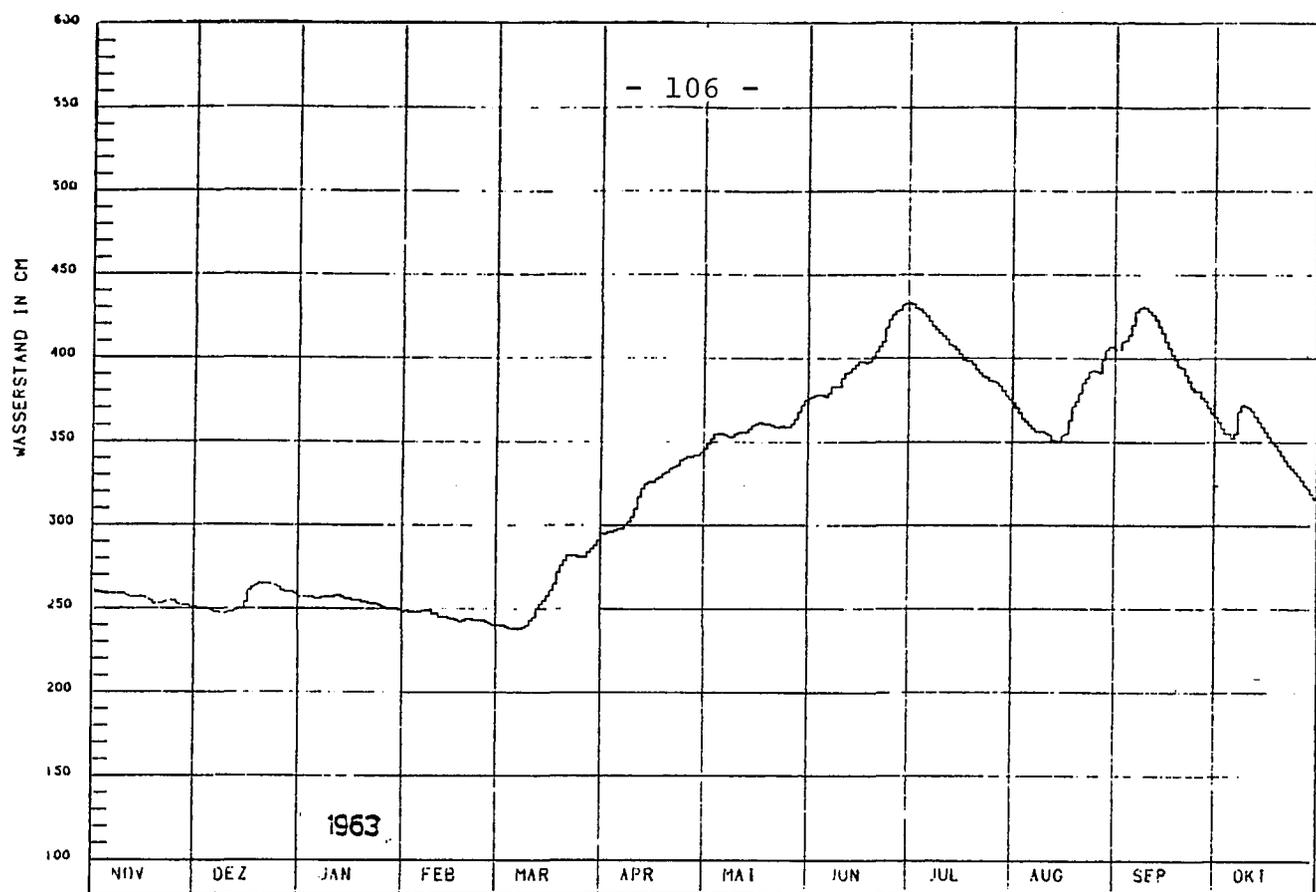


ABB.4 WASSERSTAND DES BODENSEES PEGEL KONSTANZ

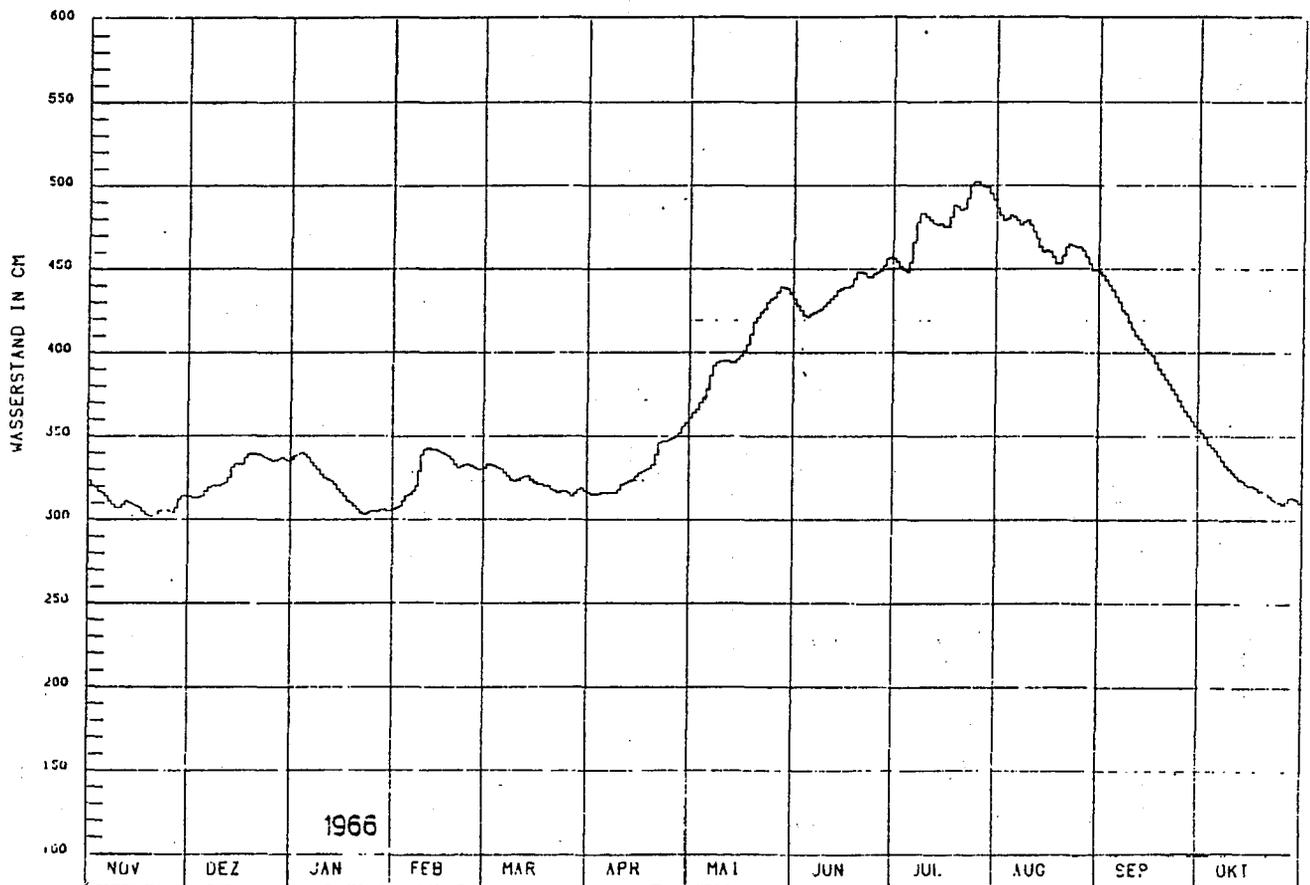
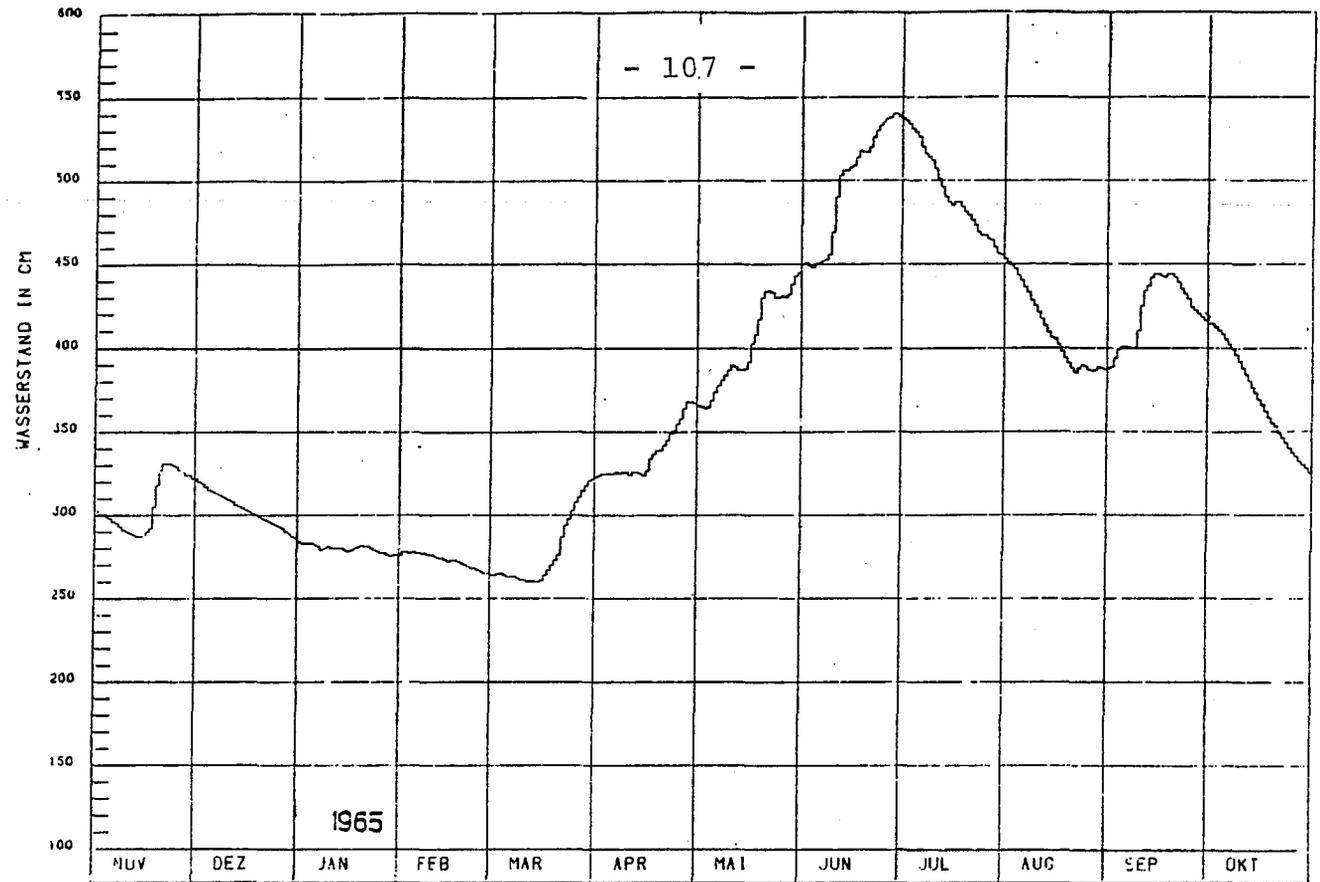


ABB. 4 WASSERSTAND DES BODENSEES PEGEL KONSTANZ

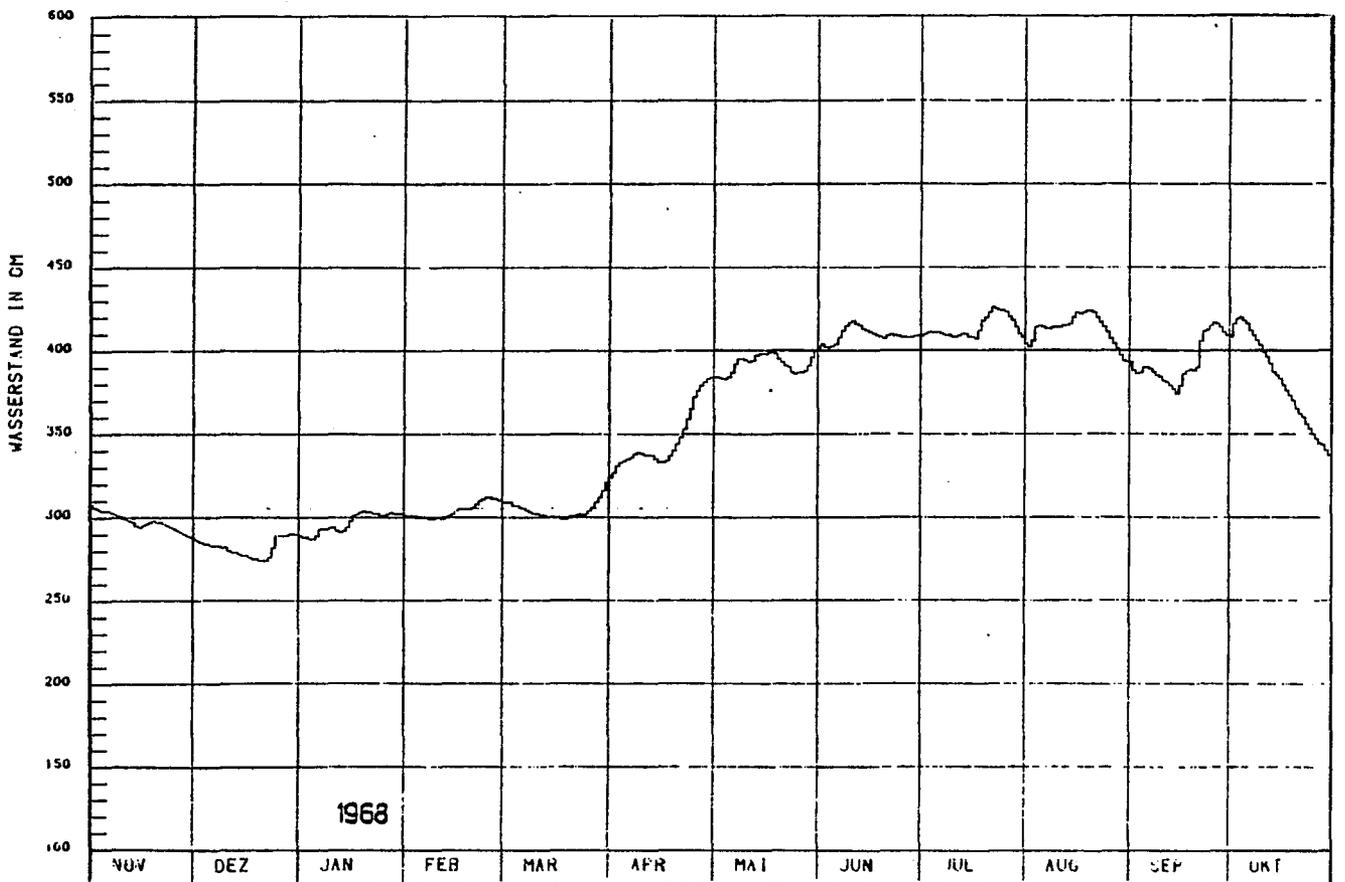
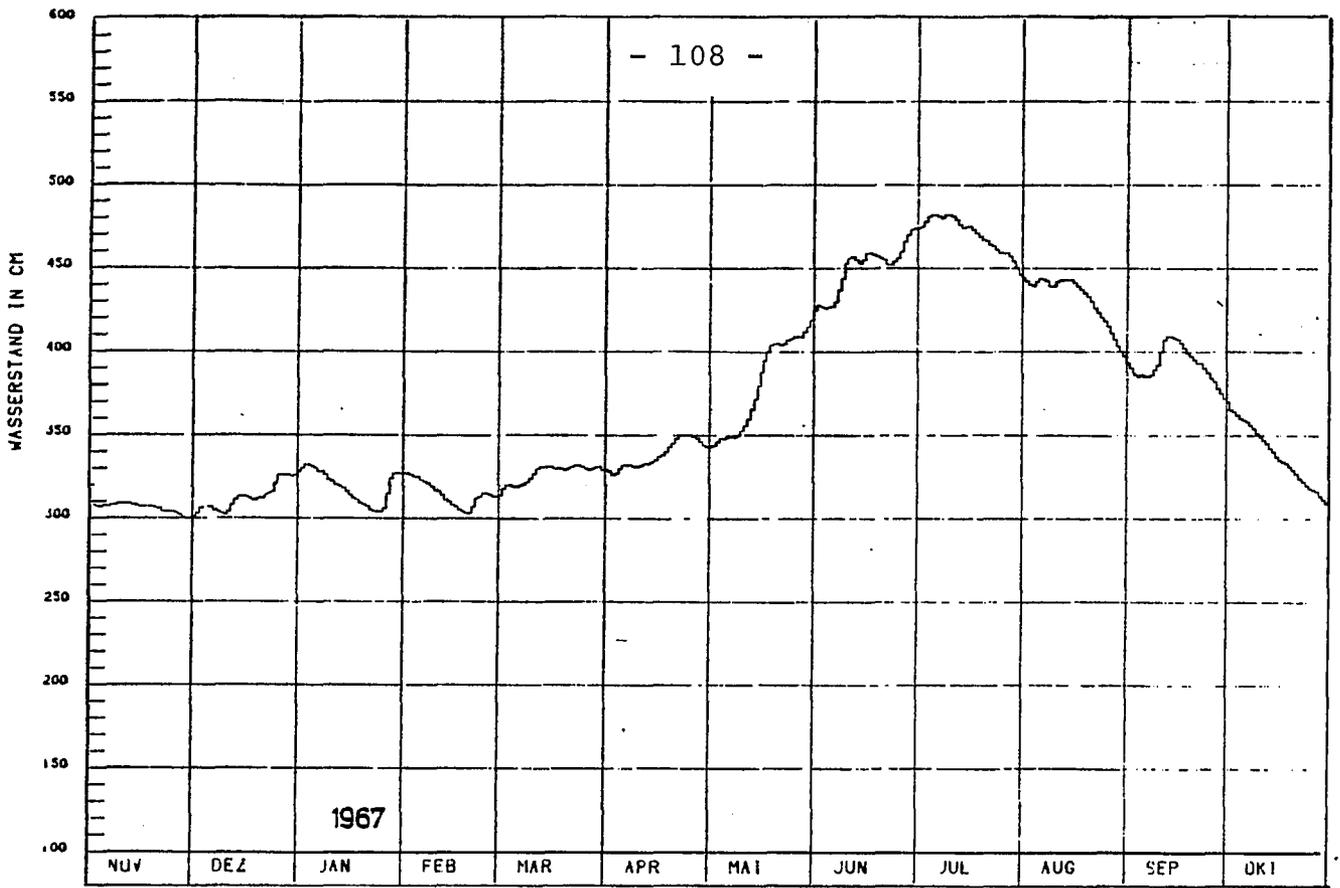


ABB.4 WASSERSTAND DES BODENSEES PEGEL KONSTANZ

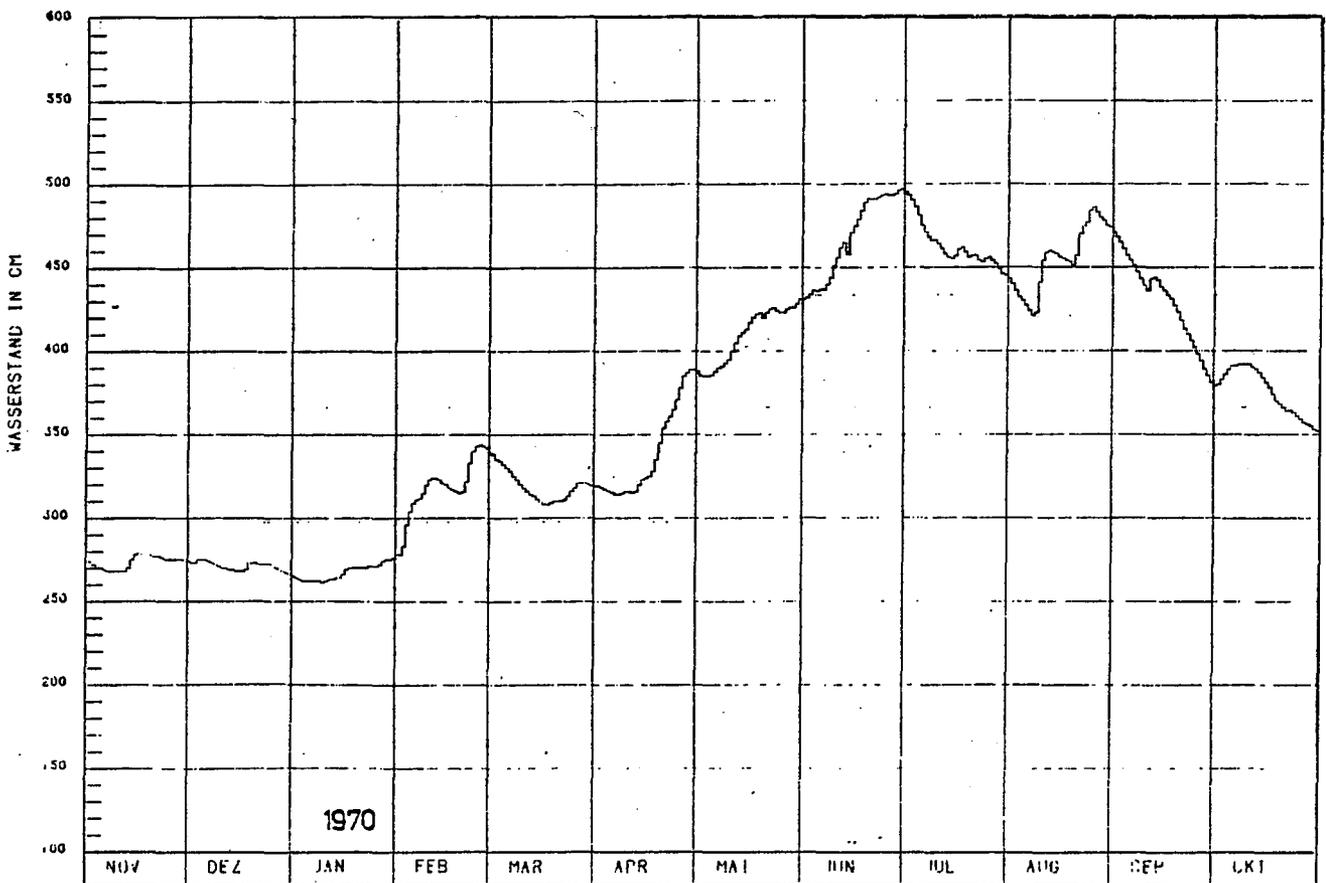
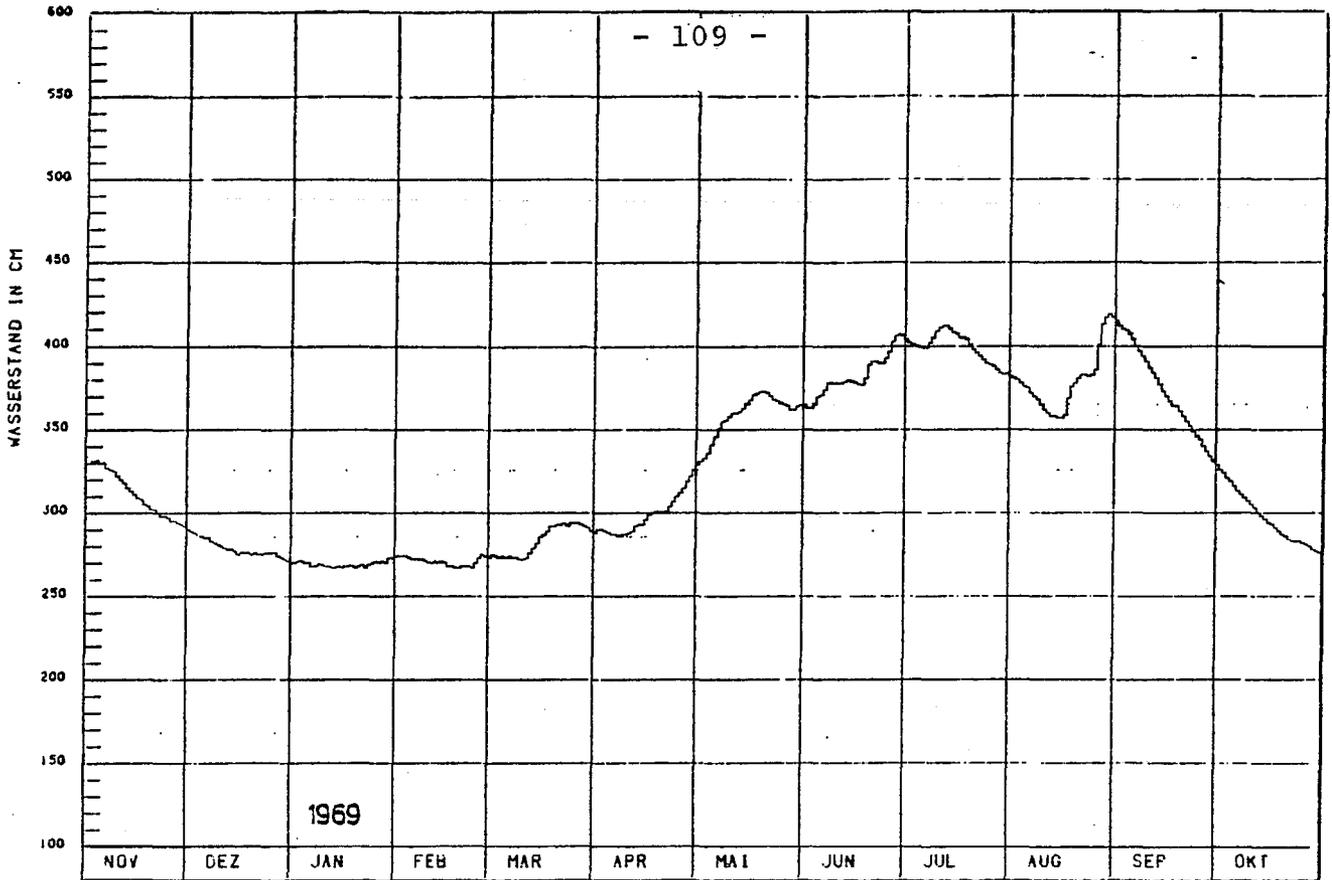


ABB.4 WASSERSTAND DES BODENSEES PEGEL KONSTANZ

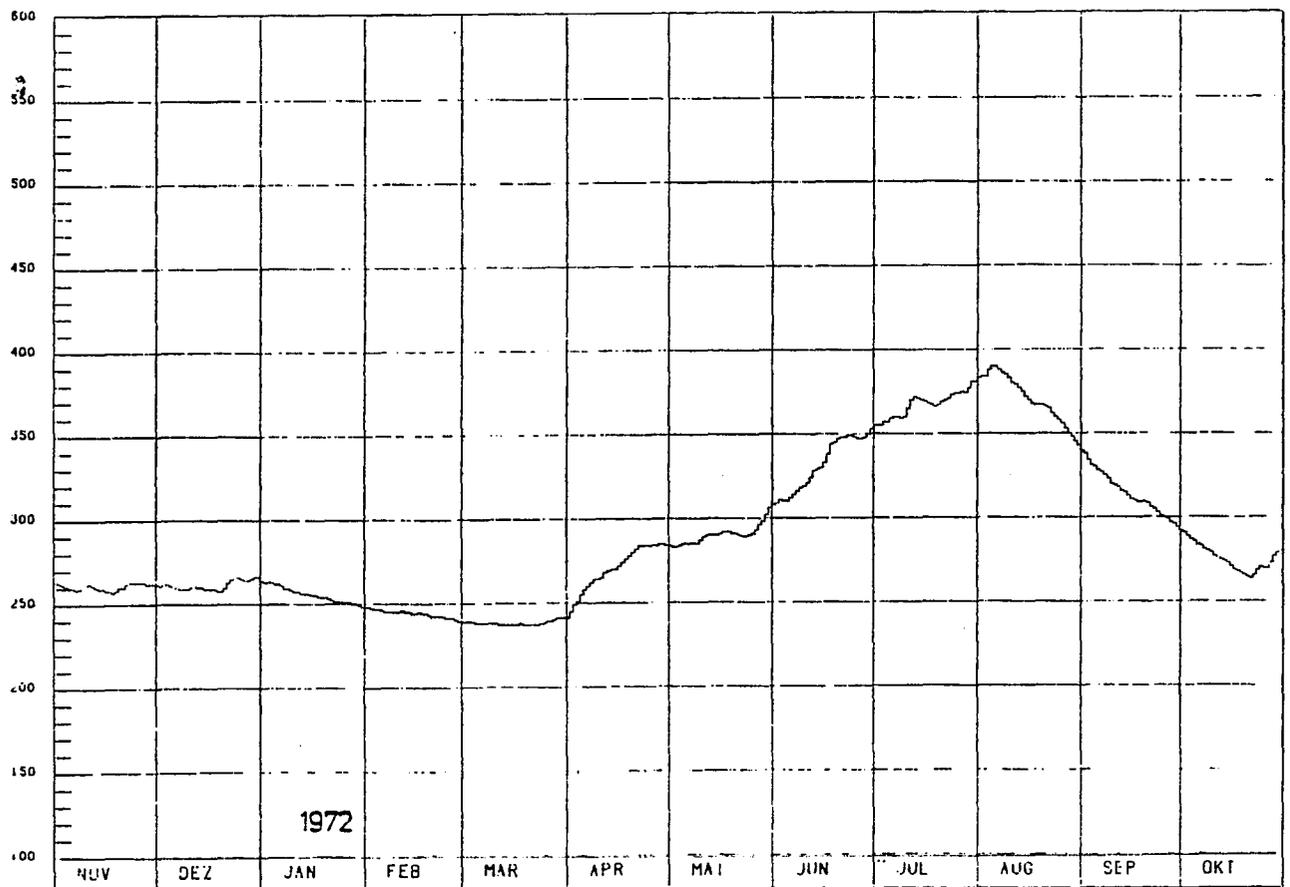
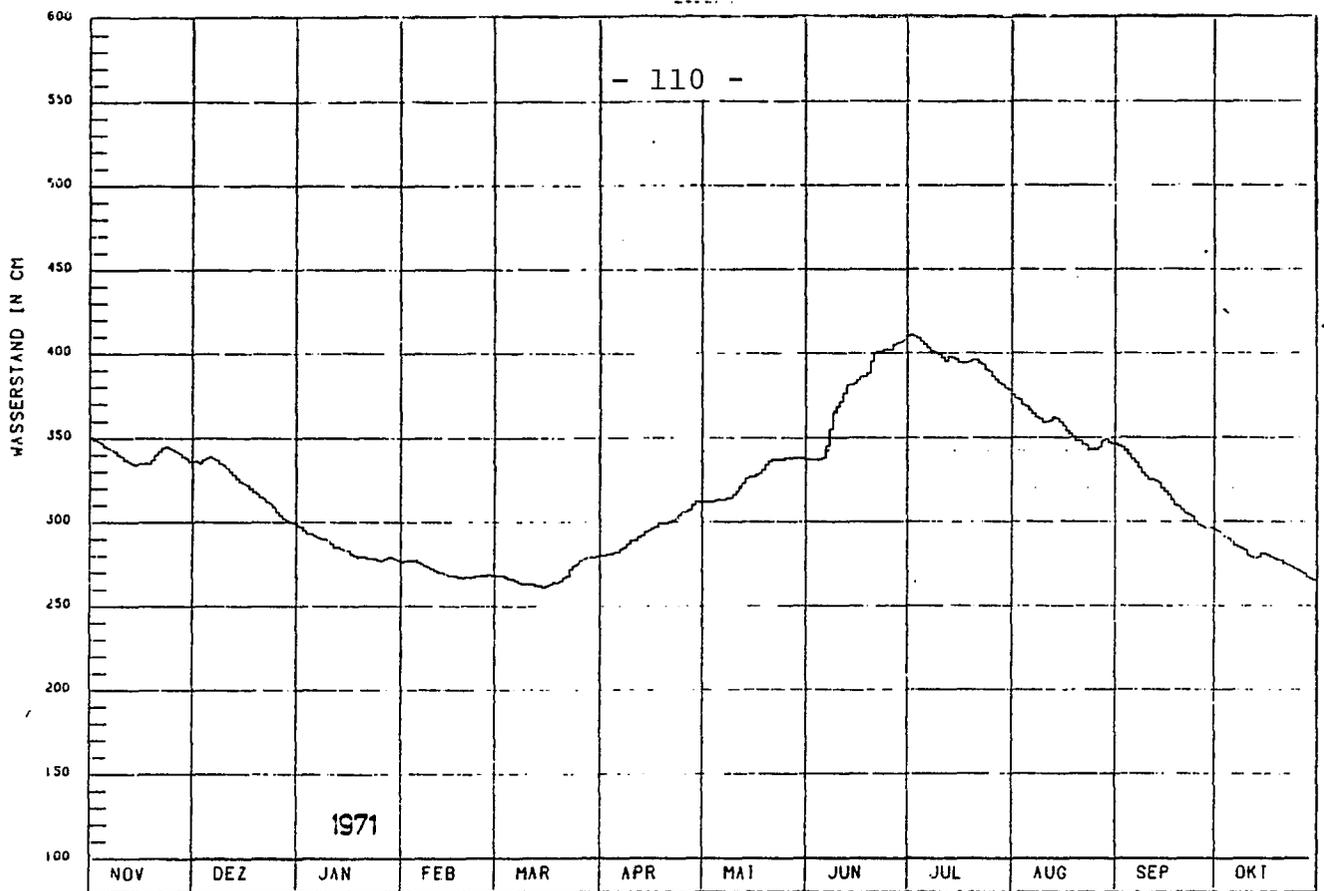


ABB.4 WASSERSTAND DES BODENSEES PEGEL KONSTANZ

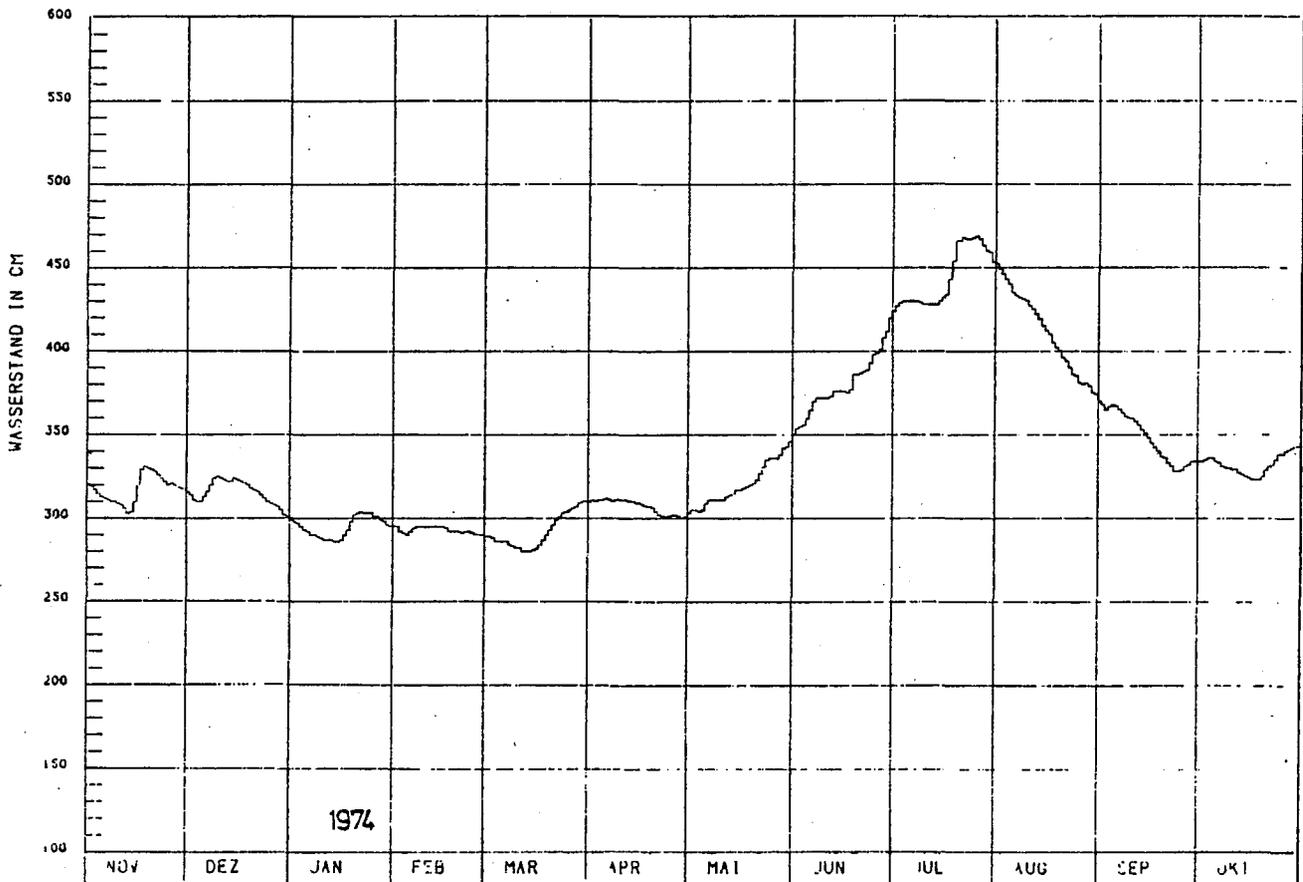
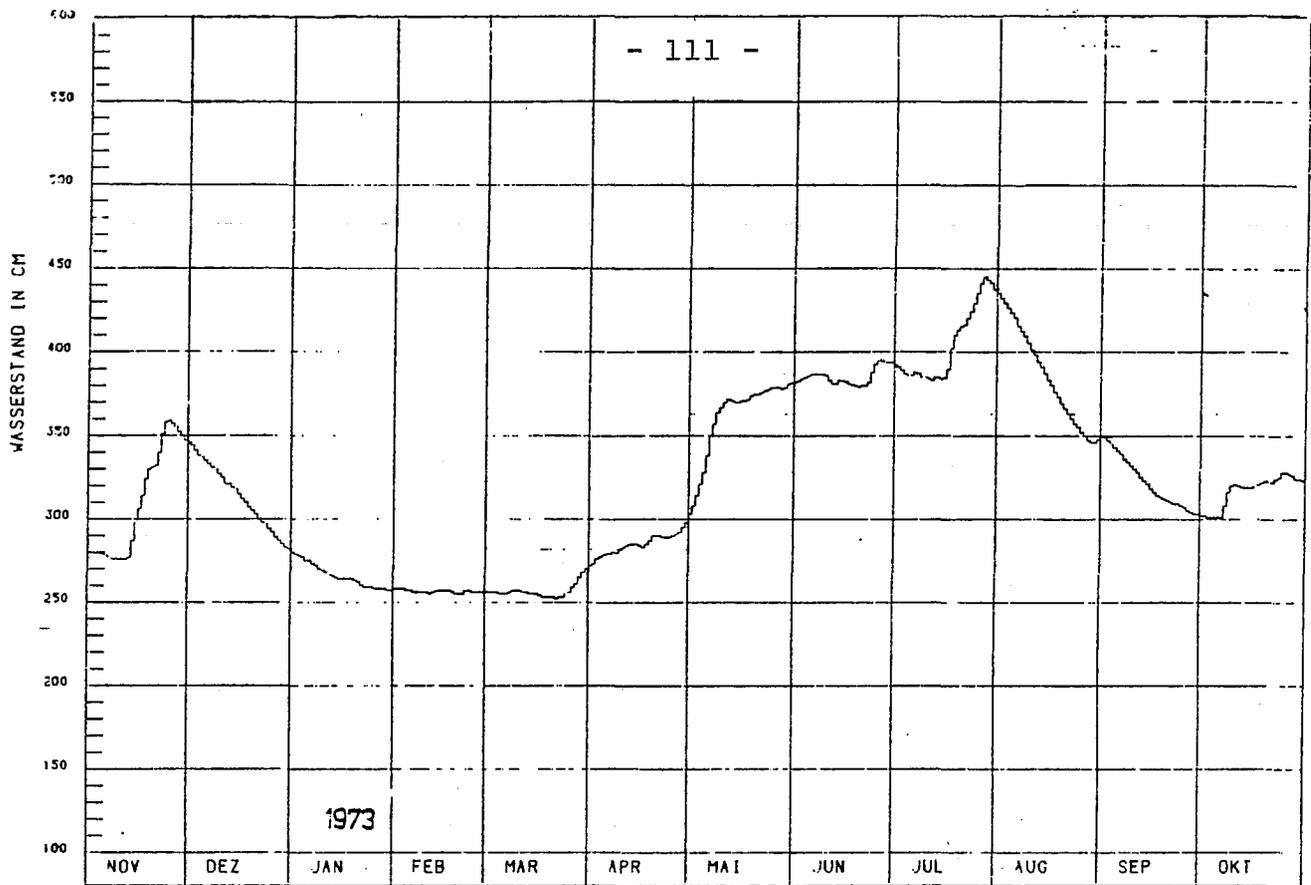


ABB. 4 WASSERSTAND DES BODENSEES PEGEL KONSTANZ

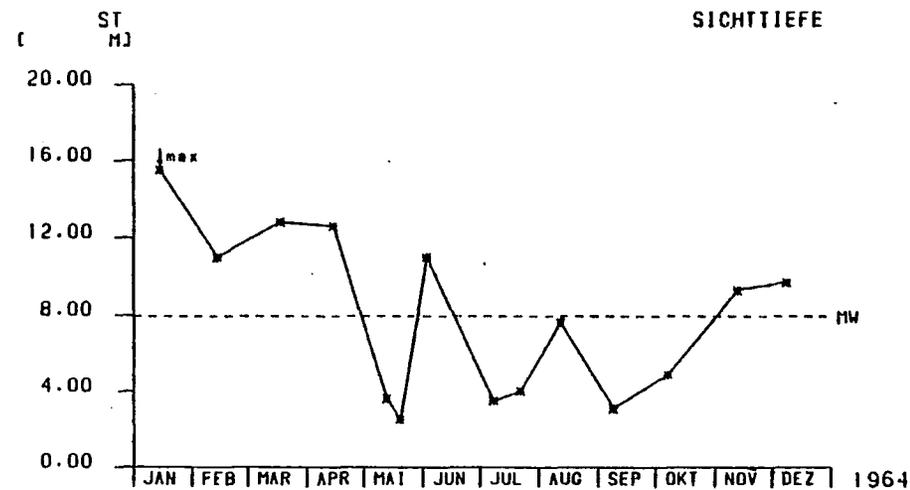
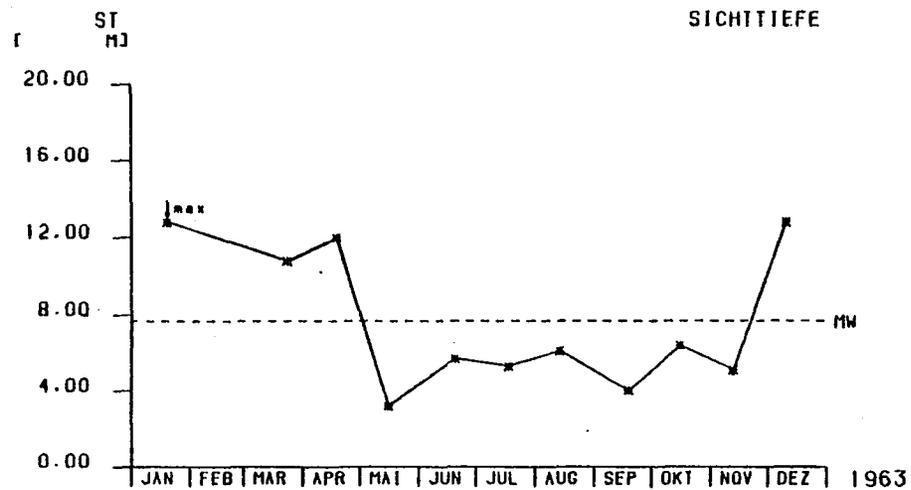
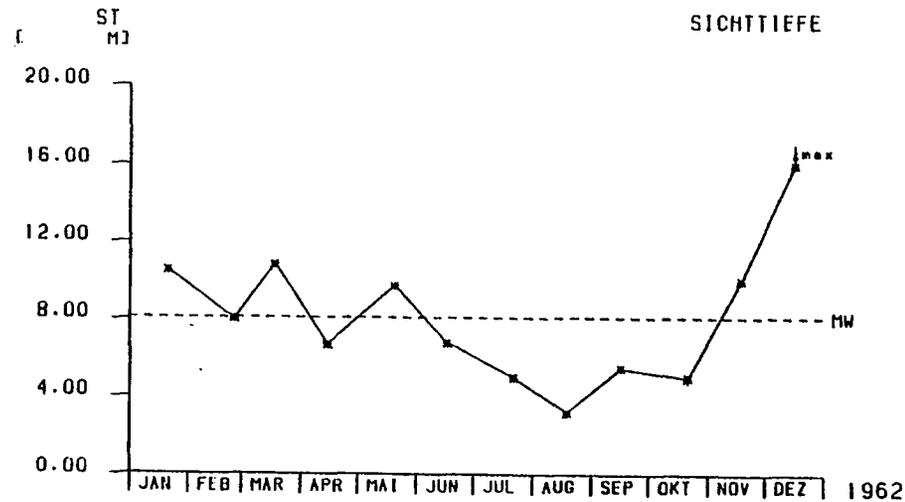
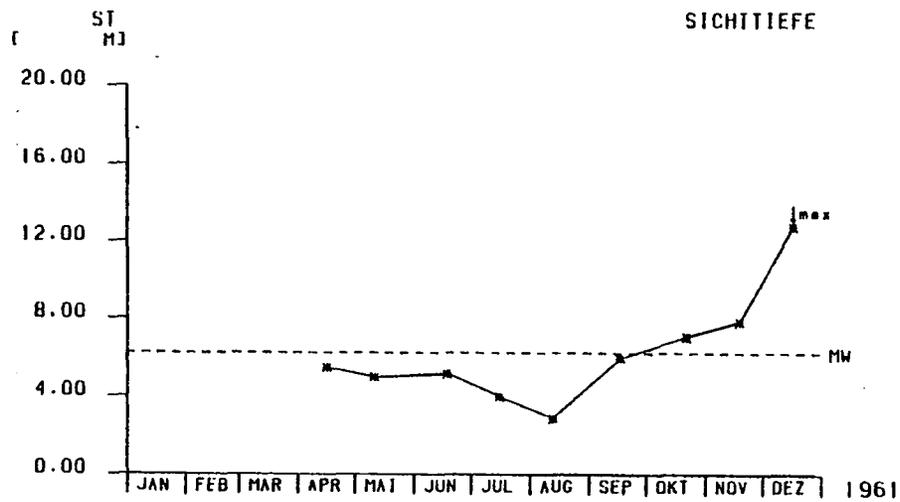


ABB.5 SICHTTIEFE (M)

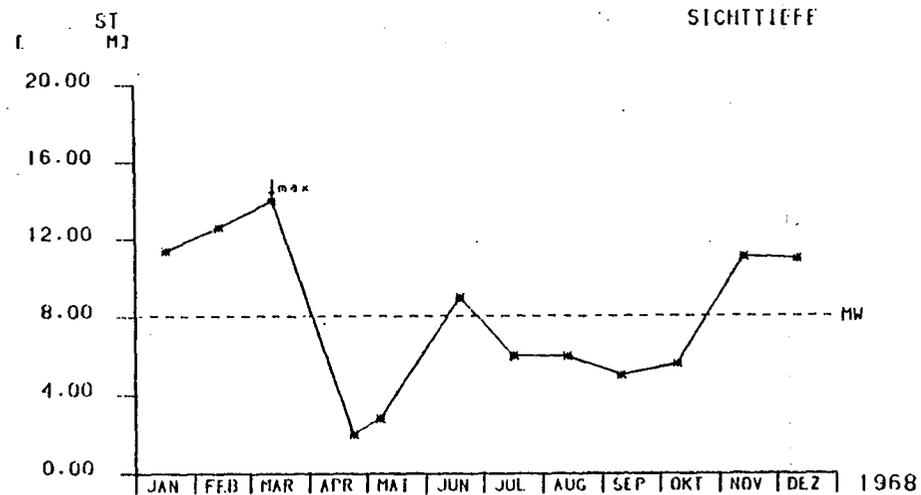
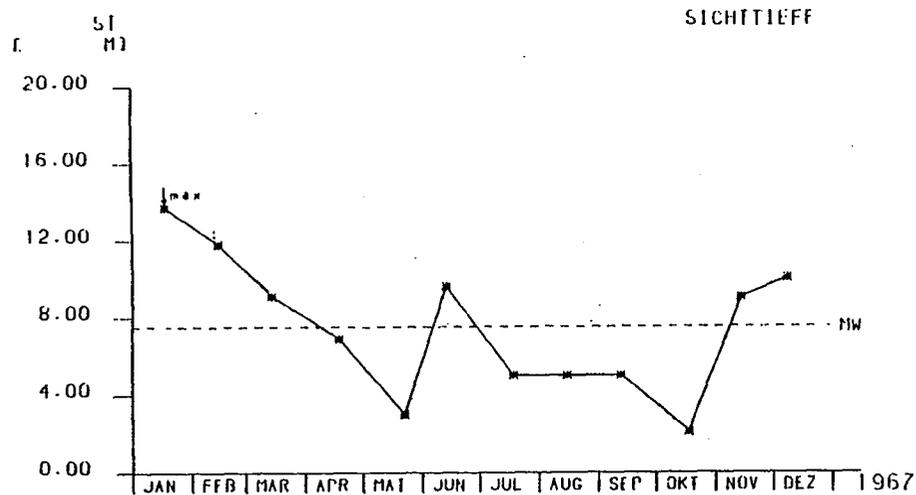
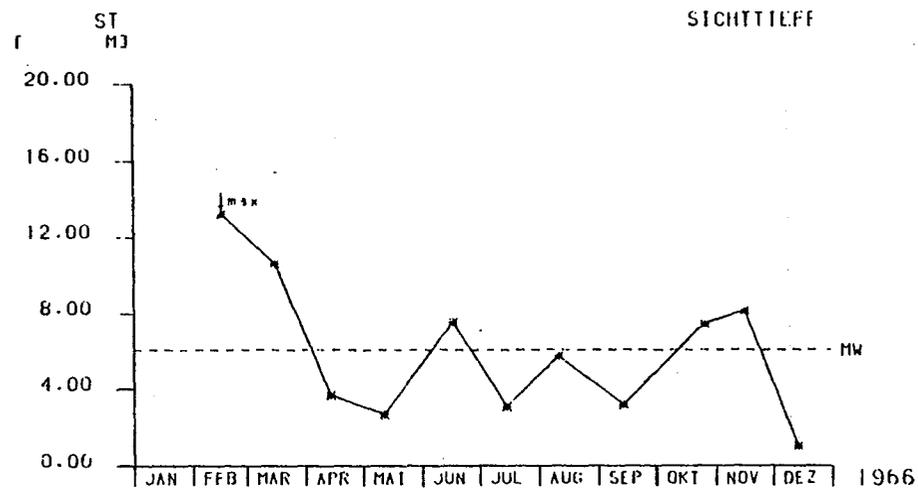
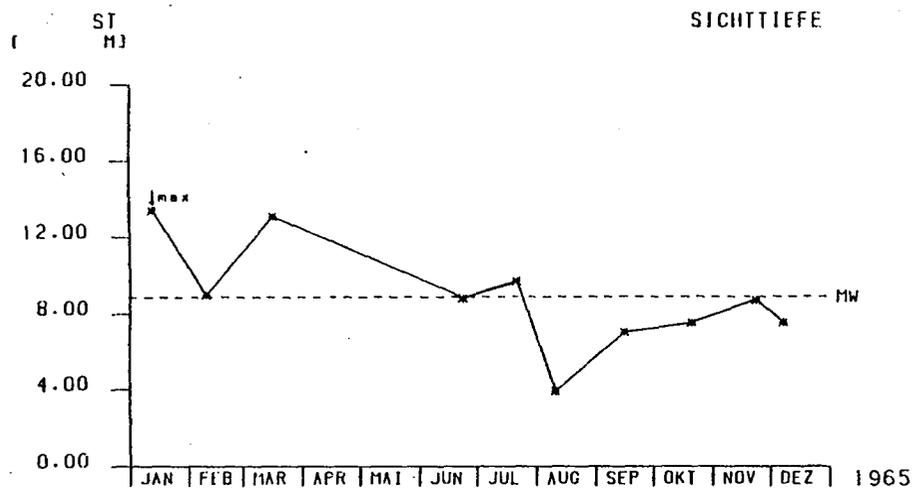


ABB.5 SICHTTIEFE (M)

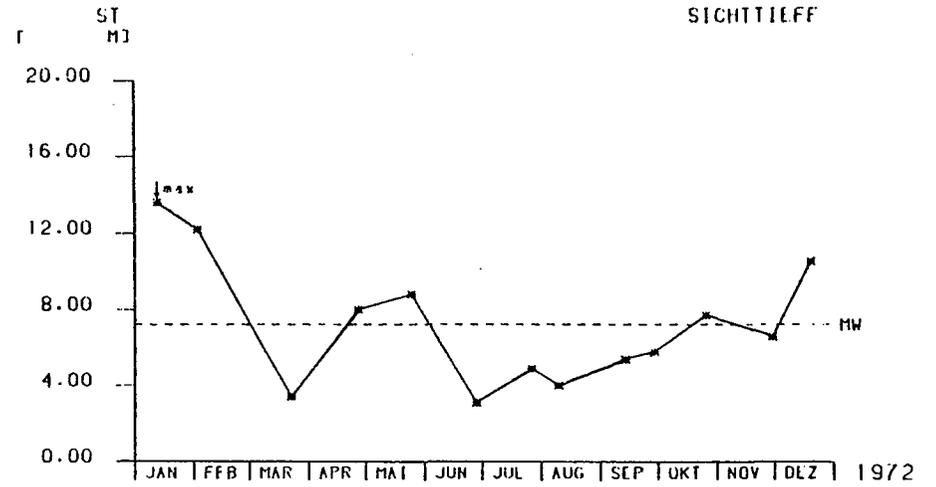
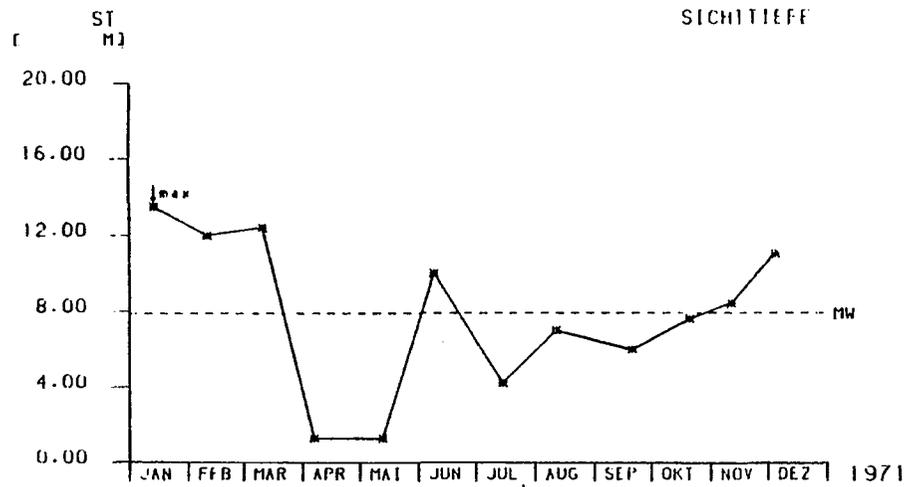
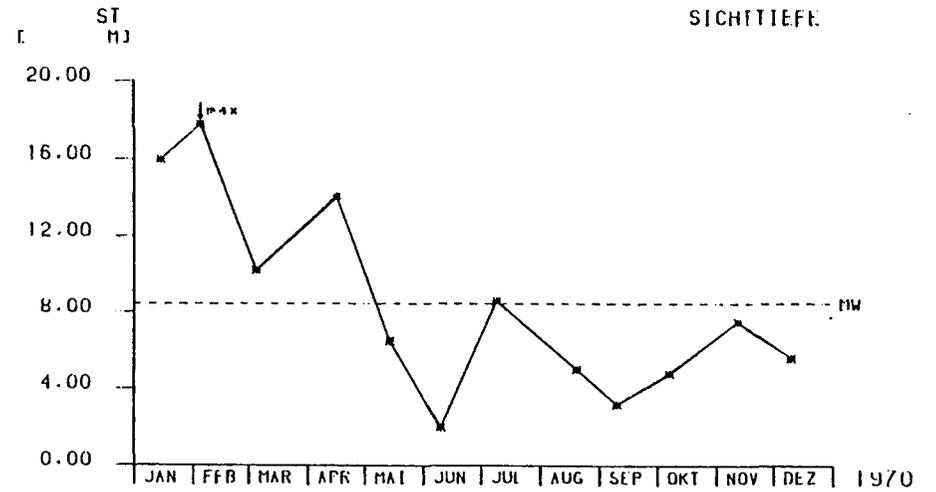
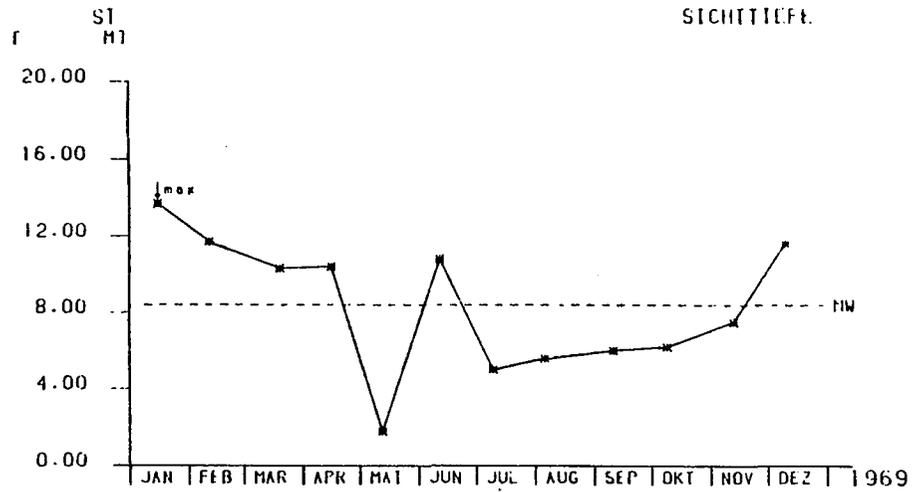


ABB.5 SICHTTIEFE (M)

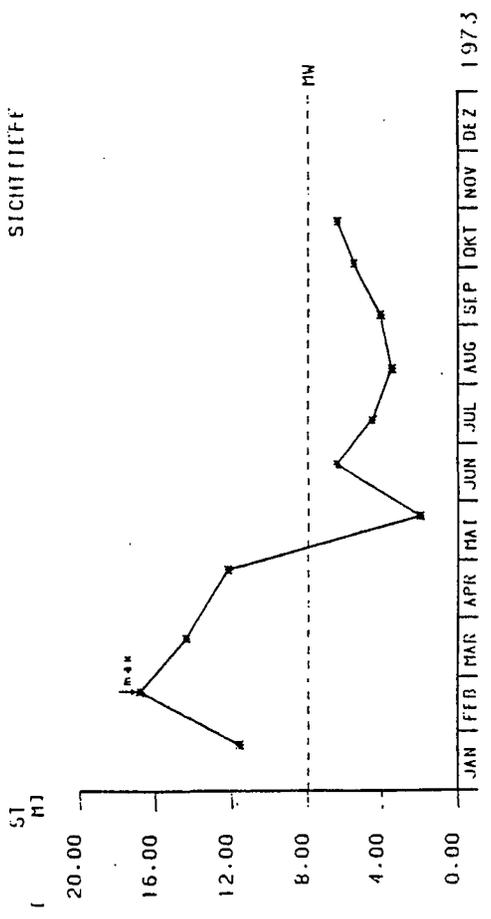
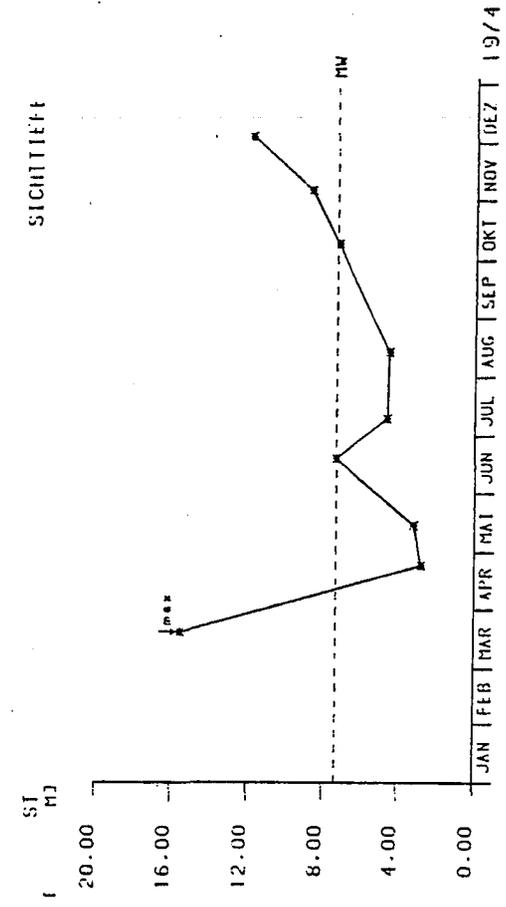


ABB.5 SICHTTIEFE (M)

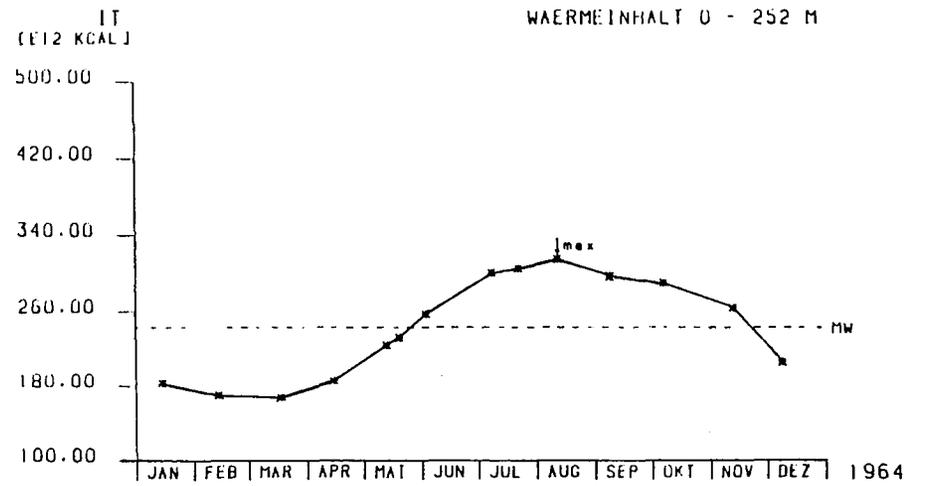
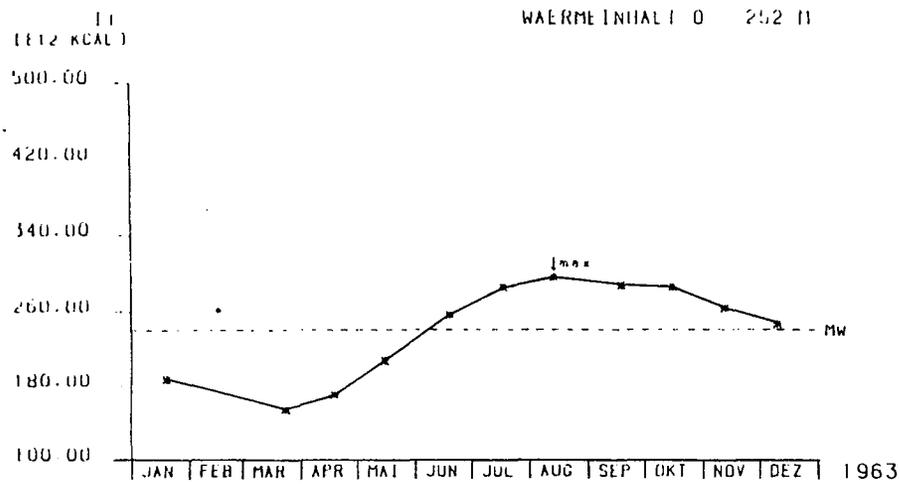
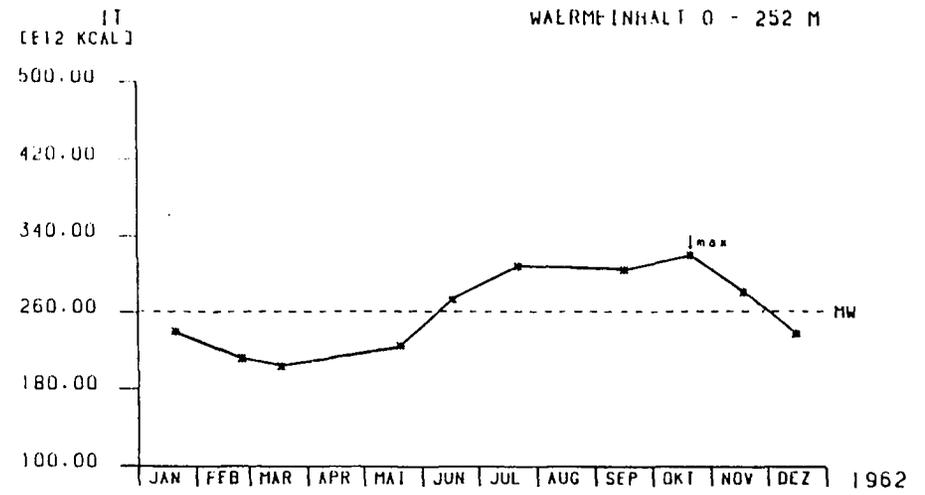
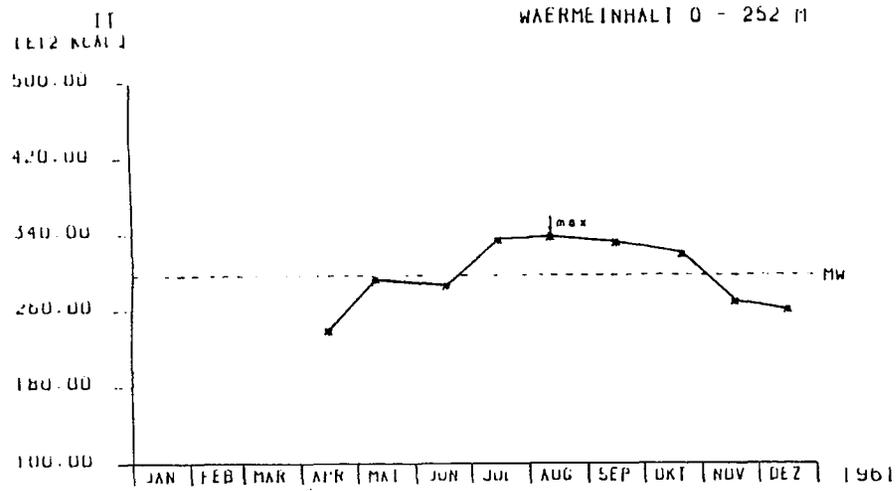


ABB.6 BODENSEE-OBERSEE WÄRMEINHALT (10^{12} KCAL)

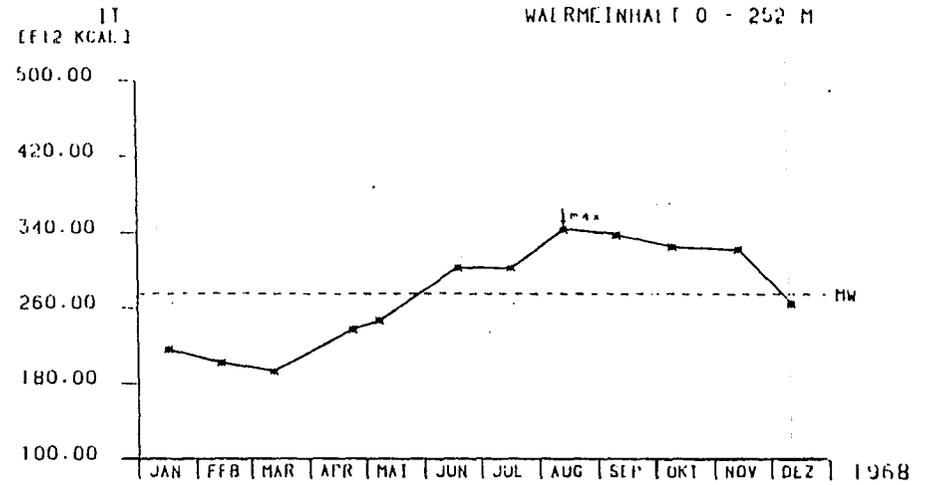
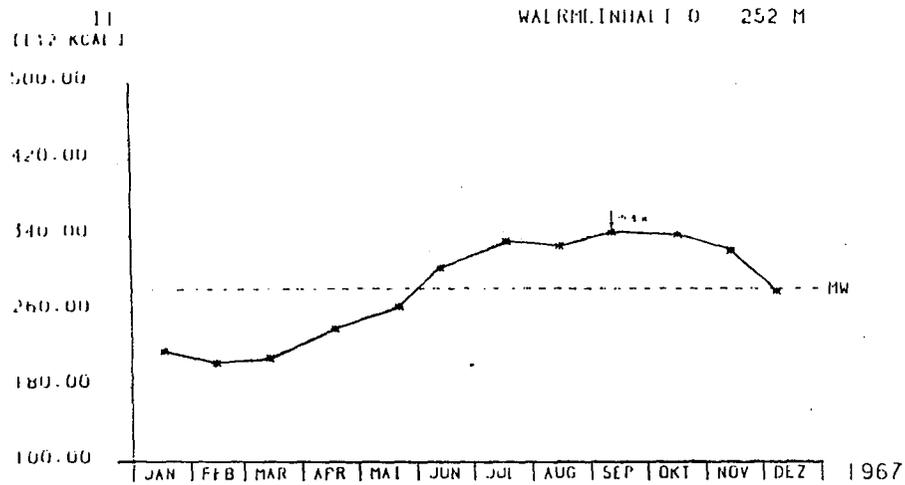
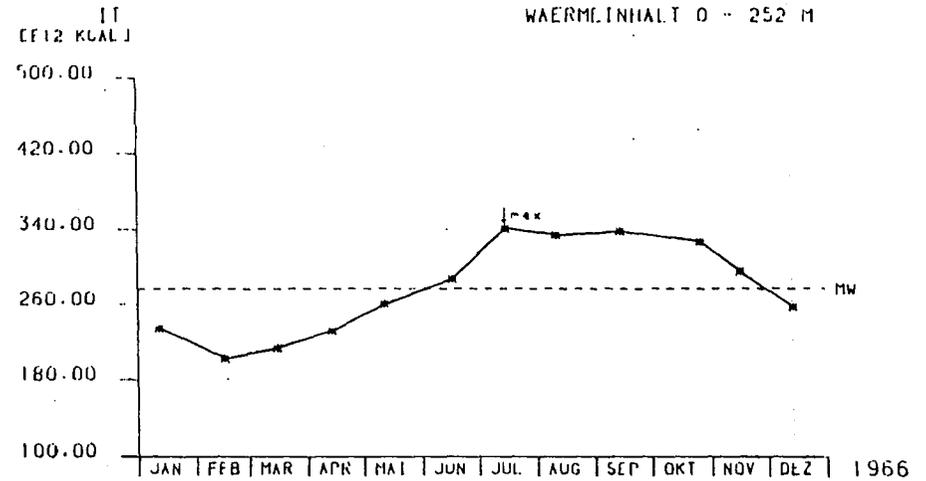
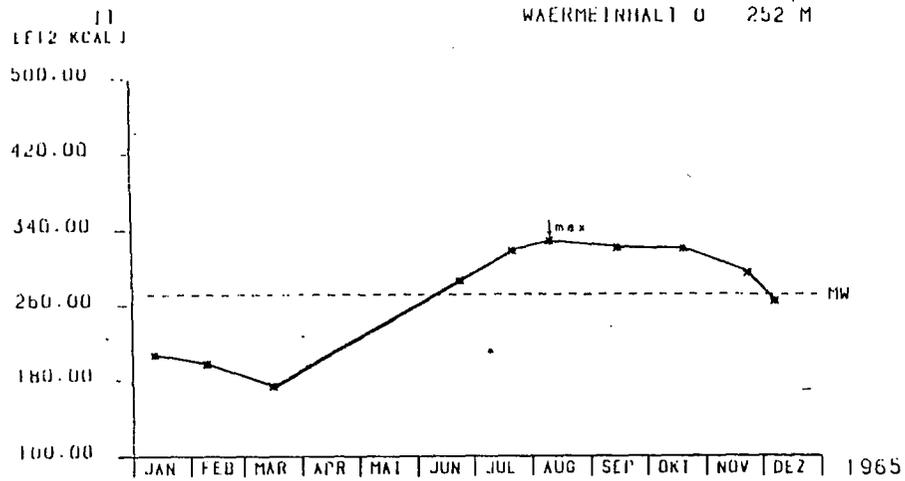


ABB.6 BODENSEE-OBERSEE WÄRMEINHALT (10¹² KCAL)

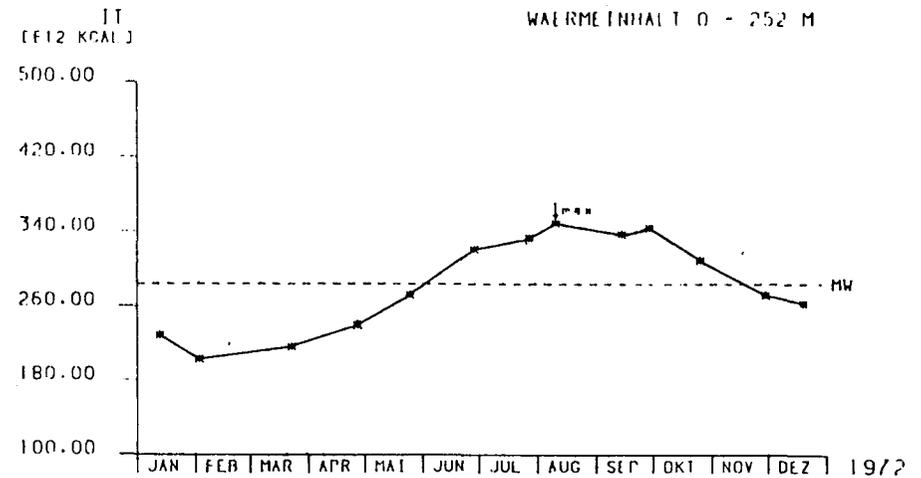
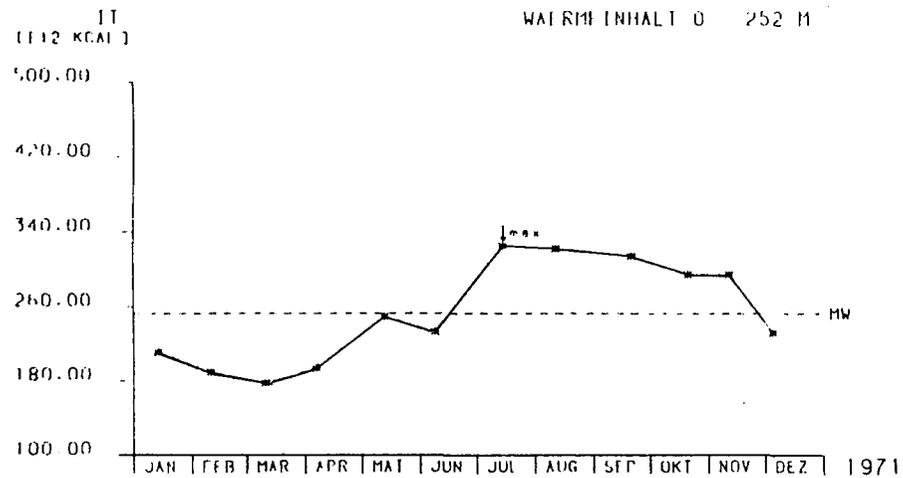
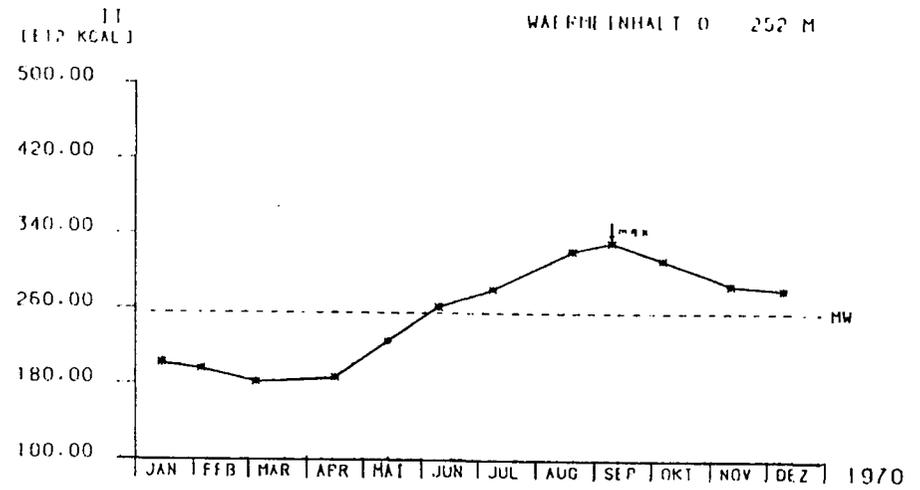
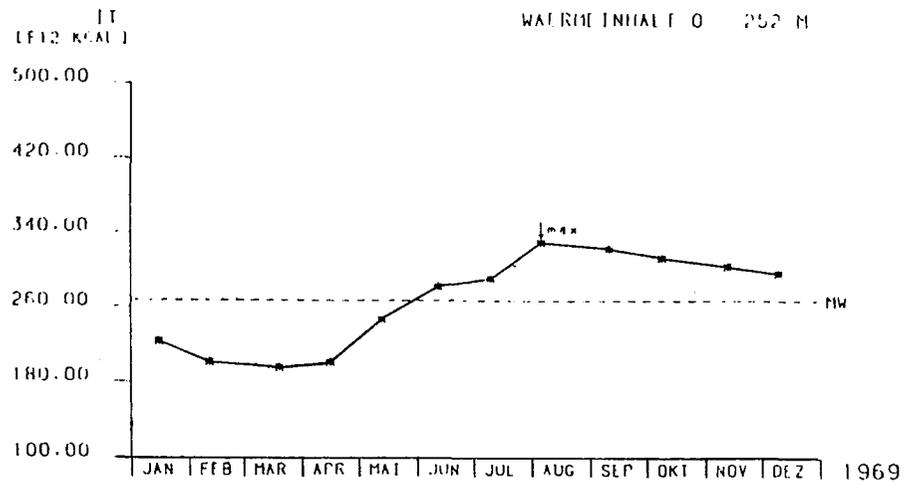


ABB.6 BODENSEE-OBERSEE WÄRMEINHALT (10¹² KCAL)

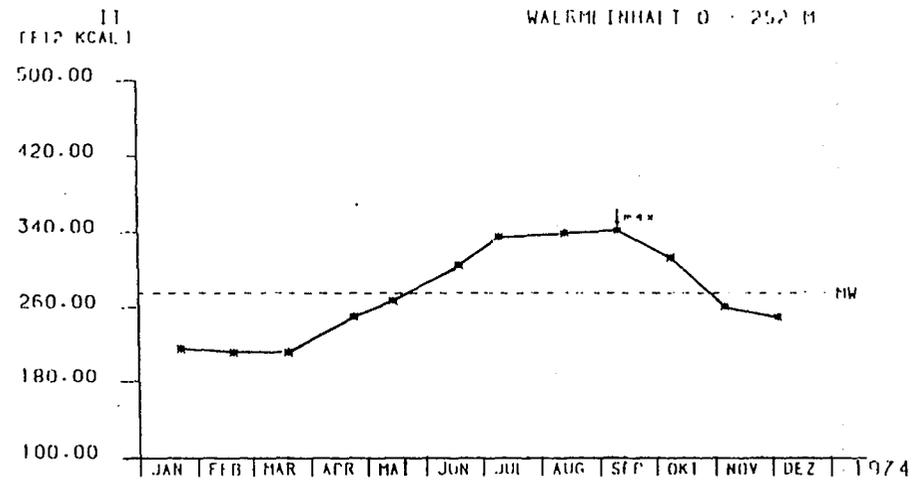
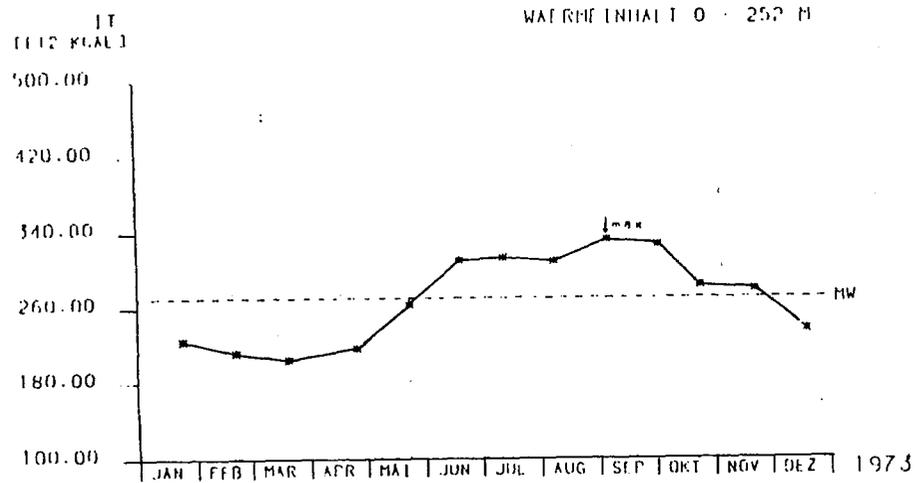


ABB.6 BODENSEE-OBERSEE WÄRMEINHALT (10¹² KCAL)

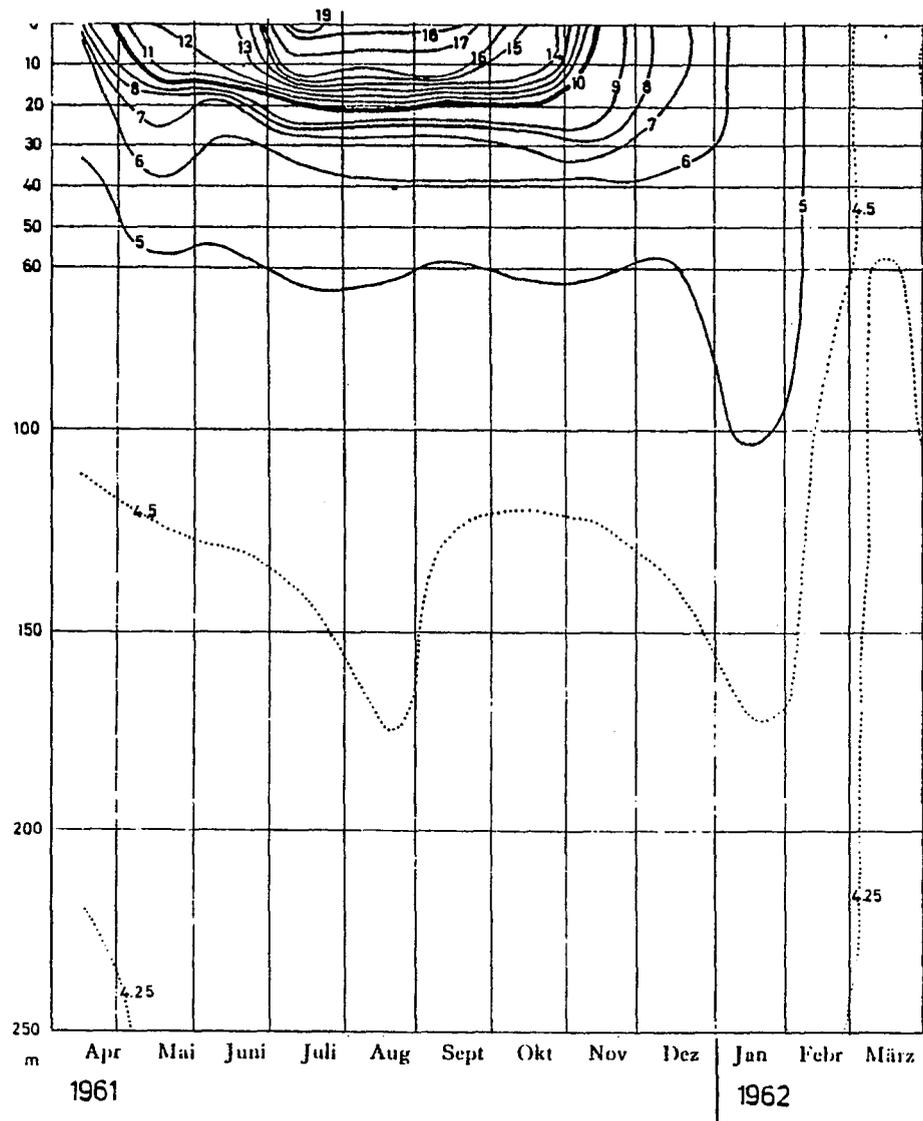


ABB.7: BODENSEE-OBERSEE (FISCHACH-UTTWIL) WASSERTEMPERATUR (GRAD C)

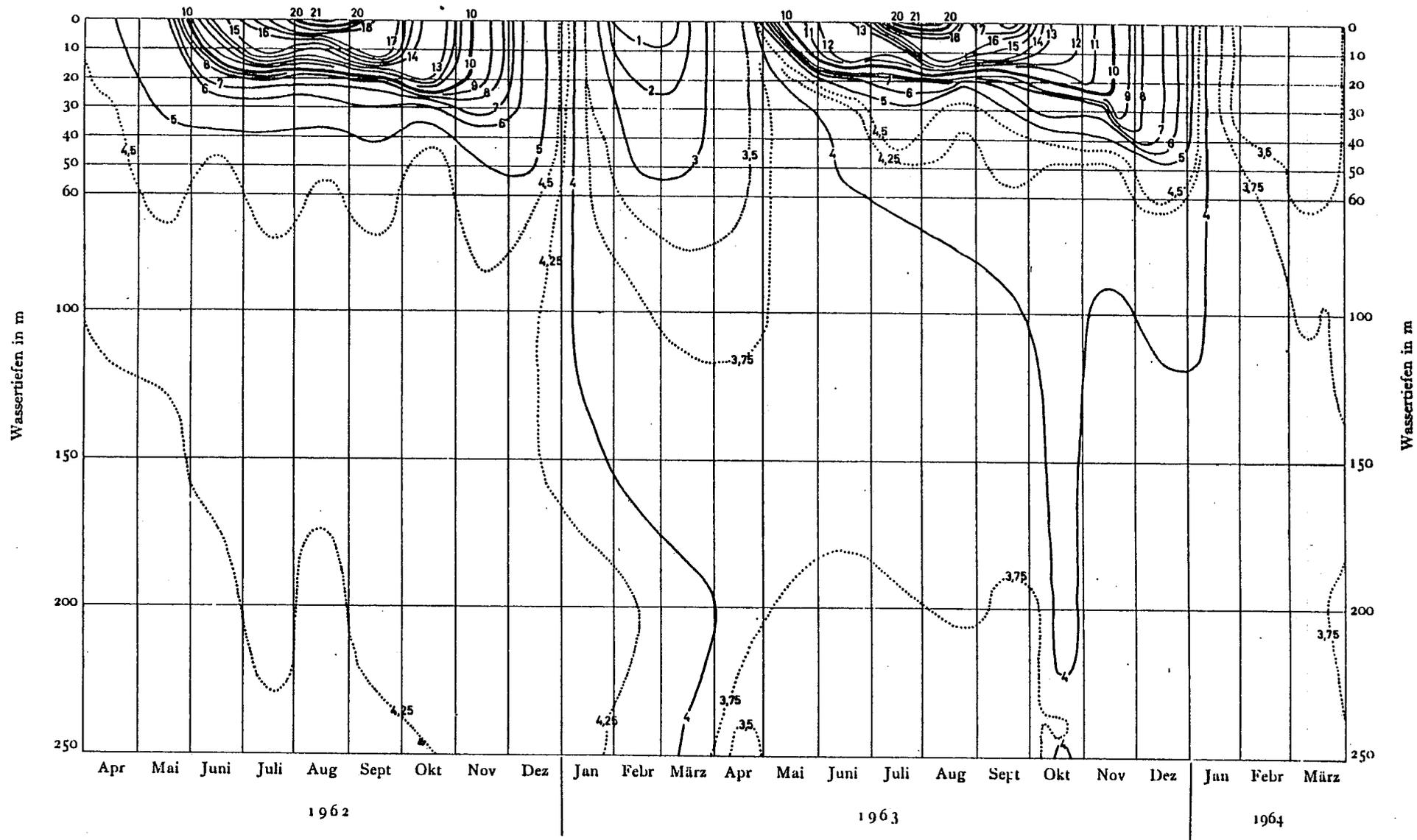


ABB.7 BODENSEE-OBERSEE (FISCHACH-UTTIL) WASSERTEMPERATUR (GRAD C)

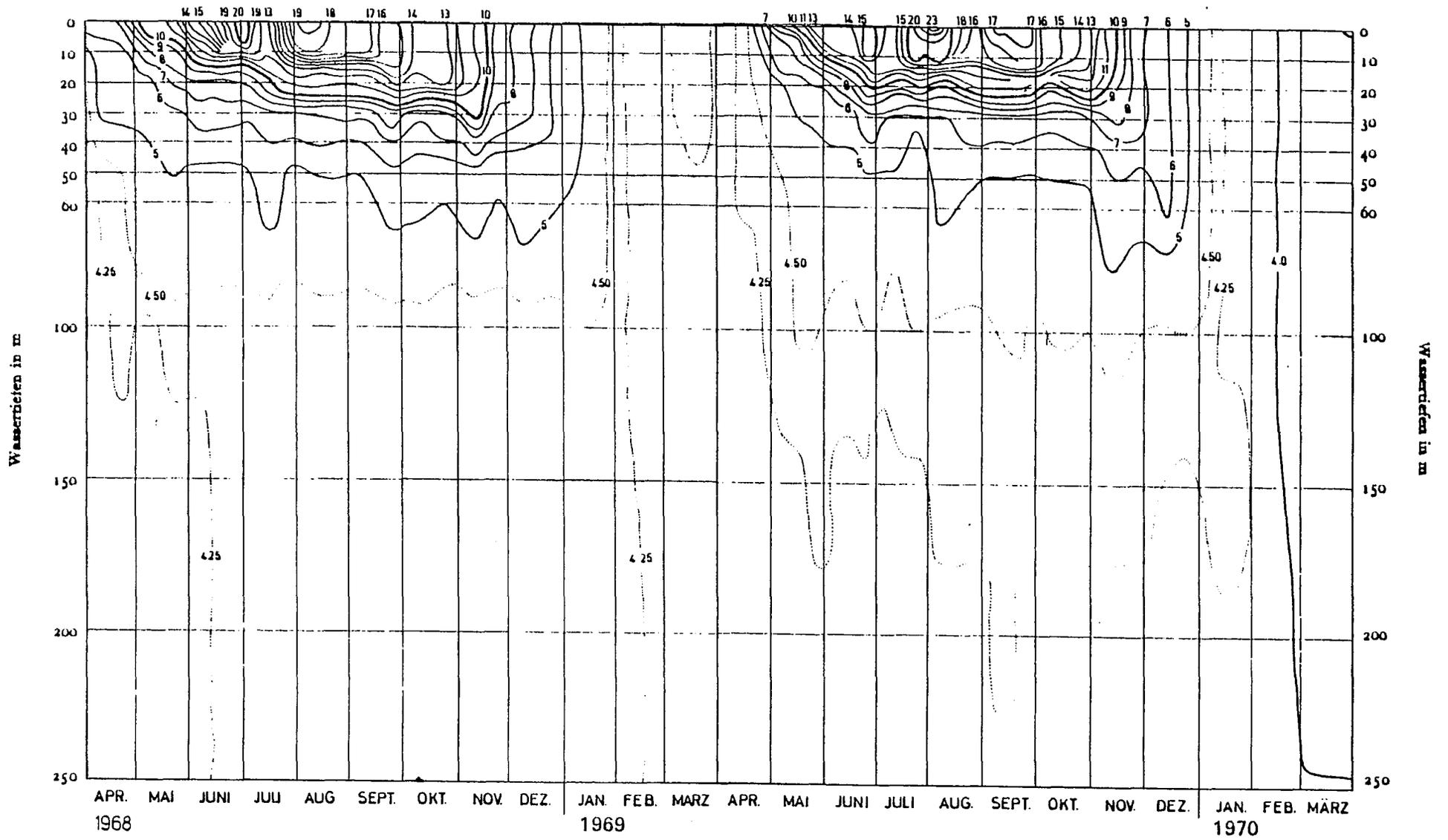
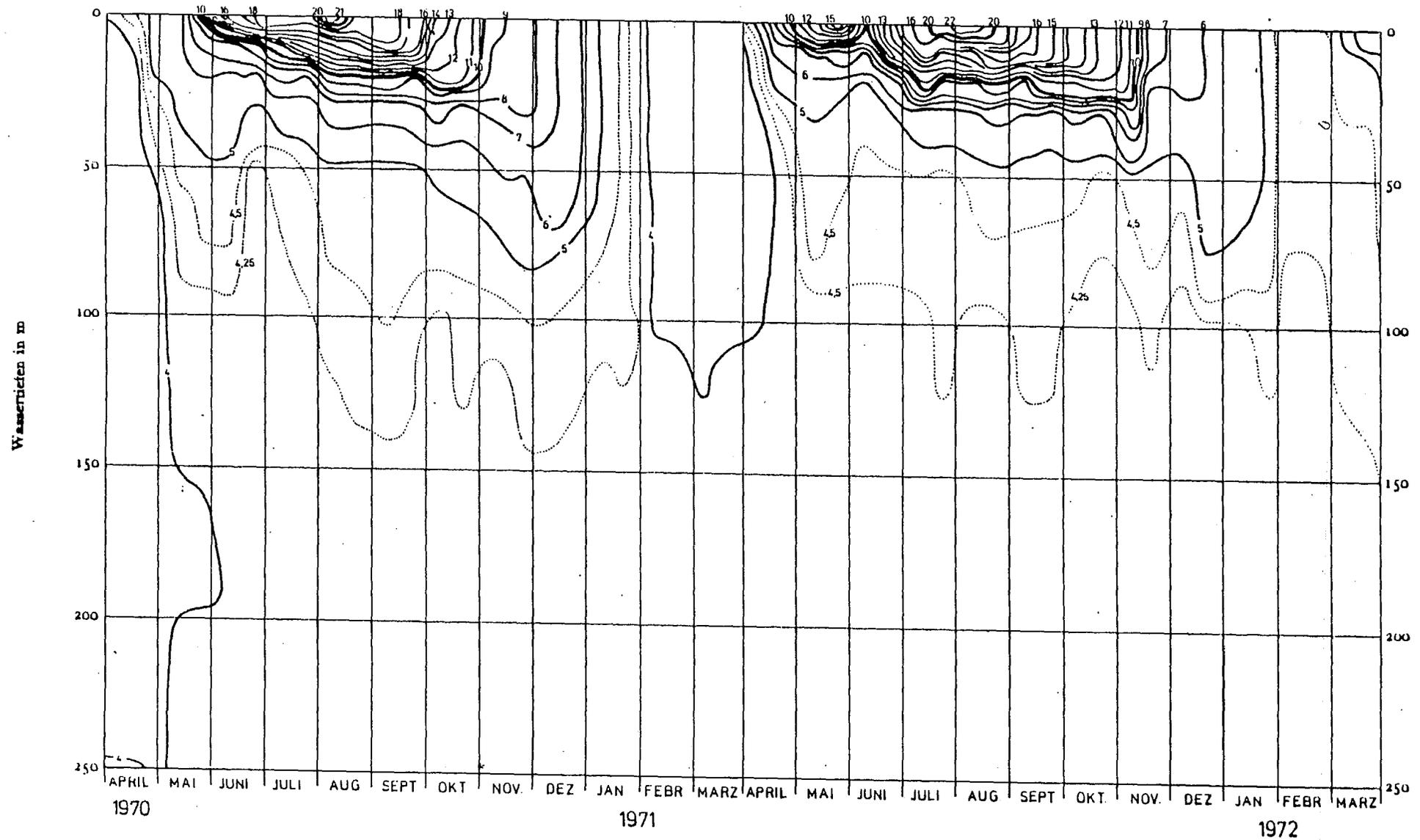


ABB.7 BODENSEE-OBERSEE (FISCHACH-UTTIL) WASSERTEMPERATUR (GRAD C)



- 125 -
Wassertiefen in m

ABB.7 BODENSEE-OBERSEE (FISCHACH-UTTWIL) WASSERTEMPERATUR (GRAD C)

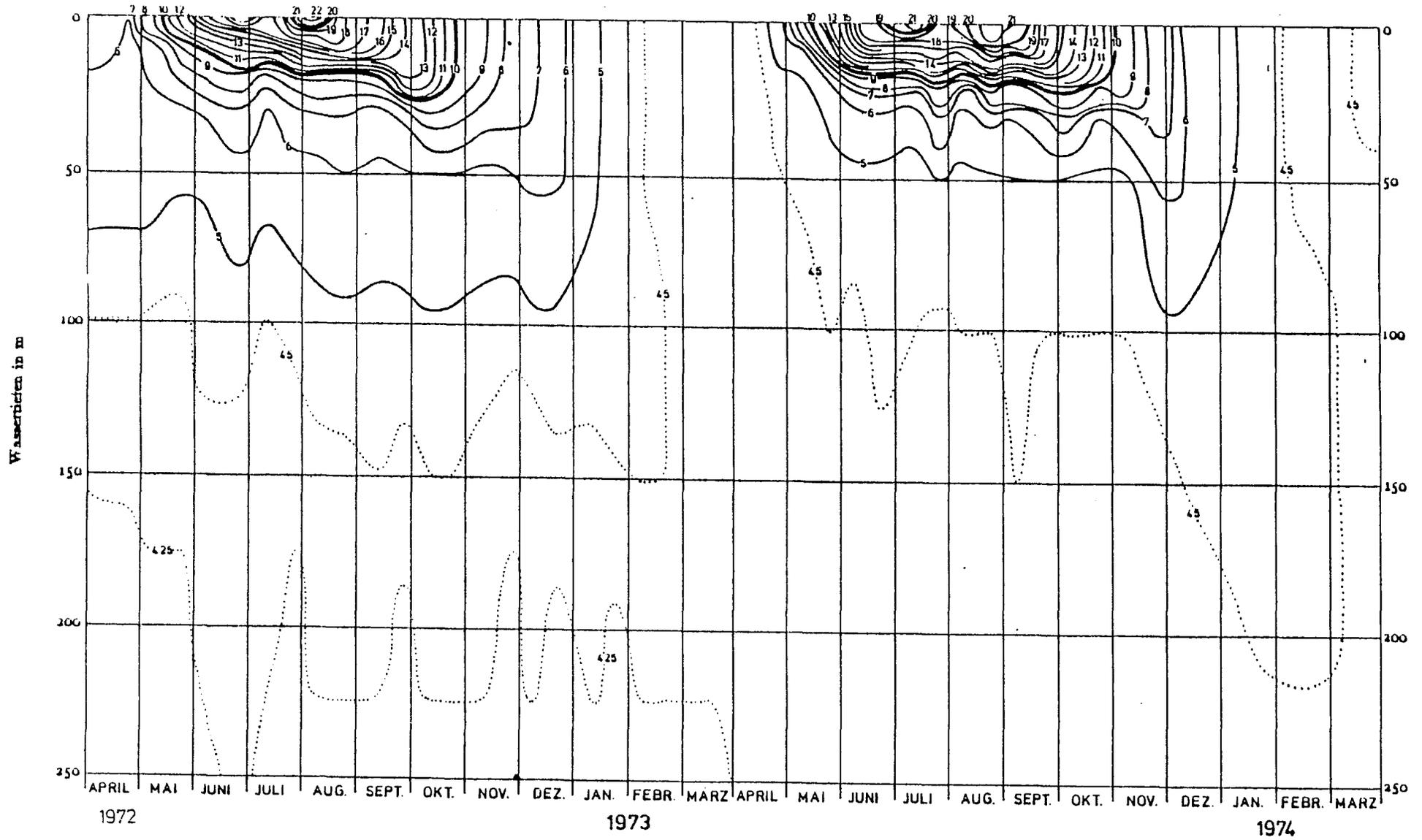


ABB.7 BODENSEE-OBERSEE (FISCHACH-UTTIL) WASSERTEMPERATUR (GRAD C)

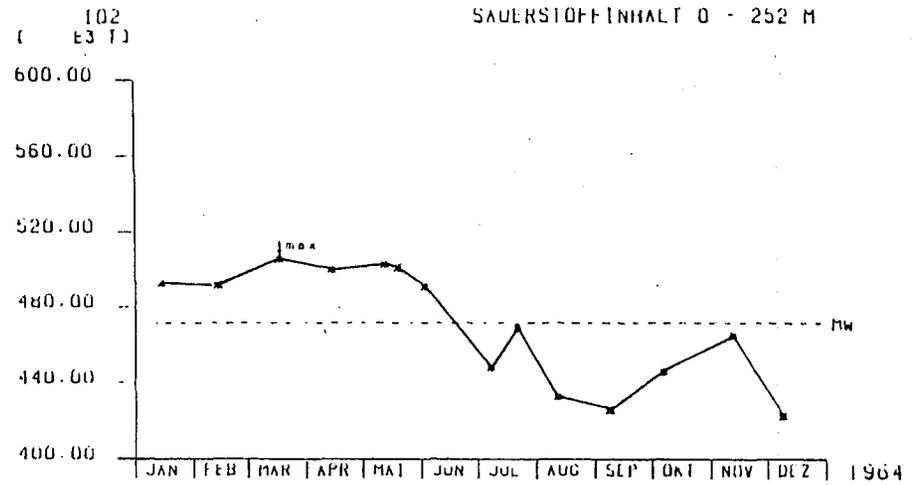
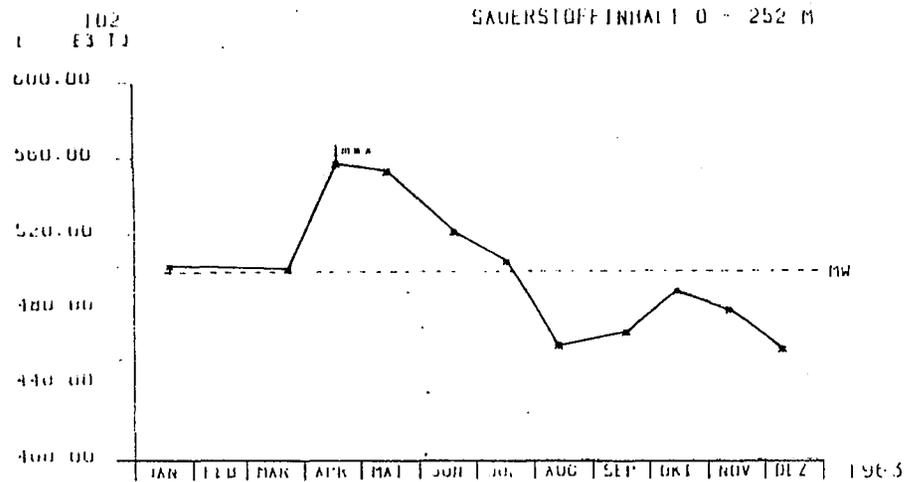
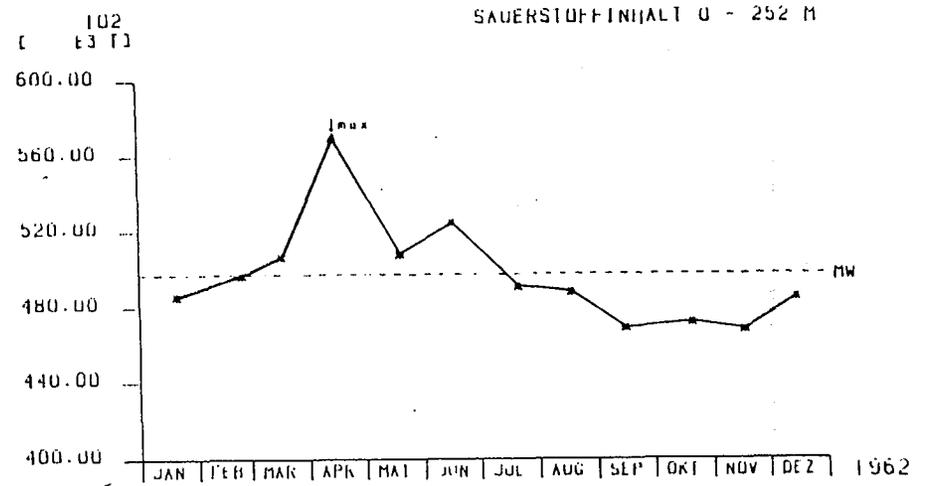
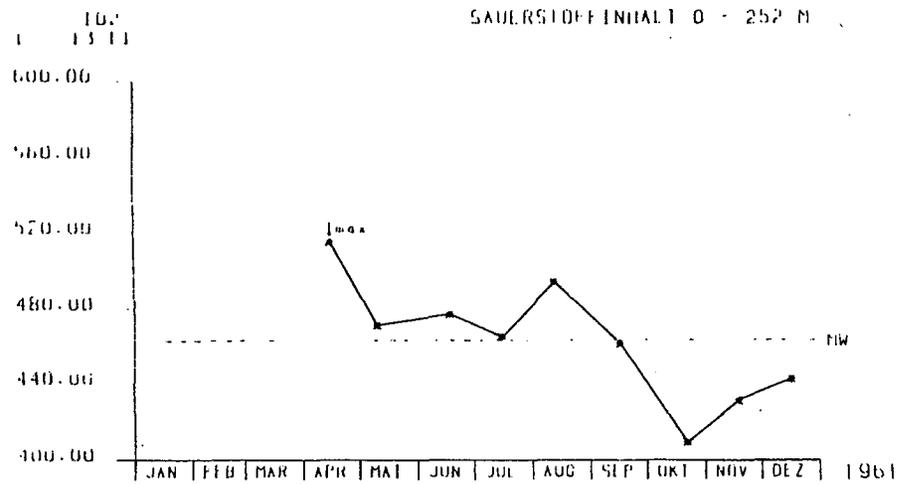


ABB.8 BODENSEE-ÜBERSEE SAUERSTOFFINHALT (10³ T)

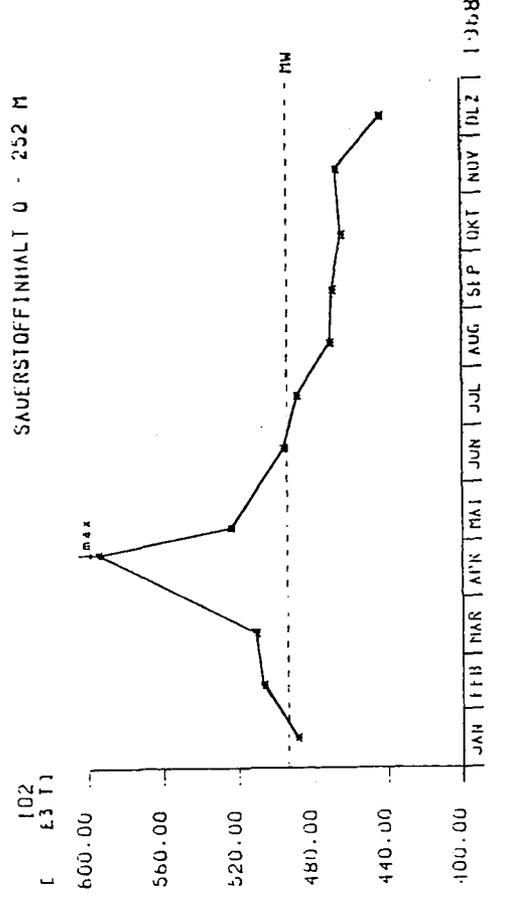
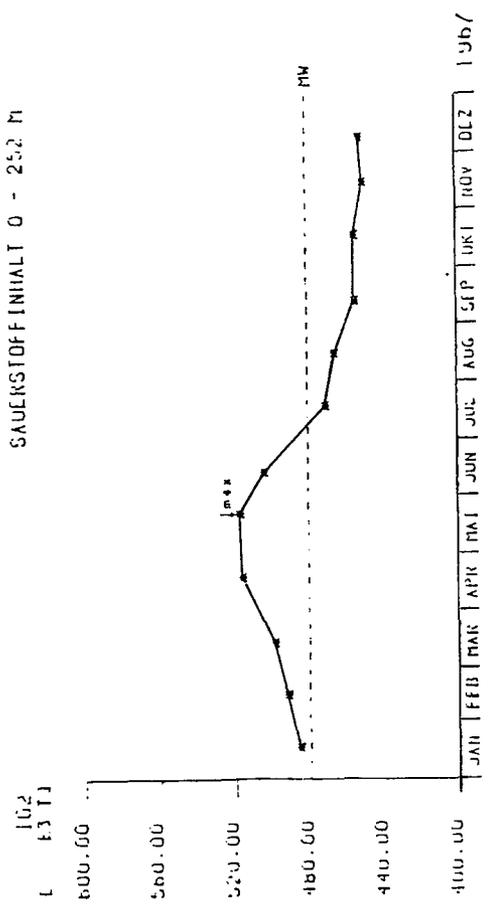
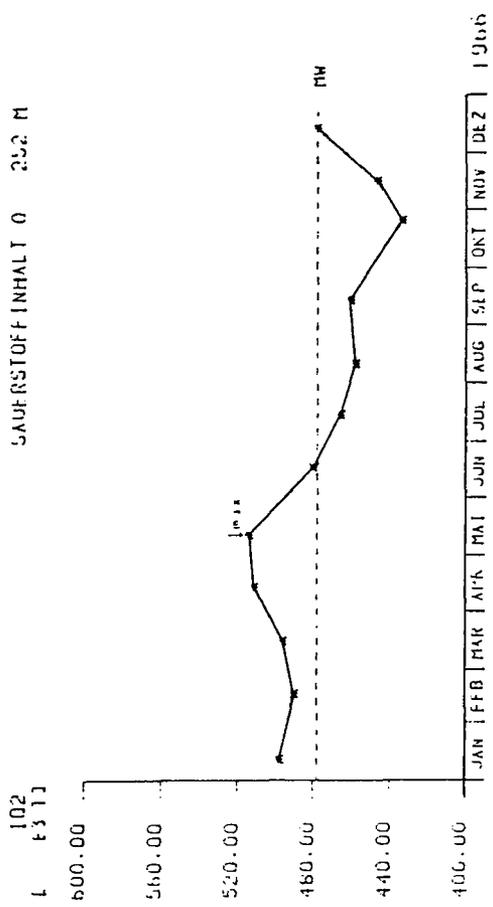
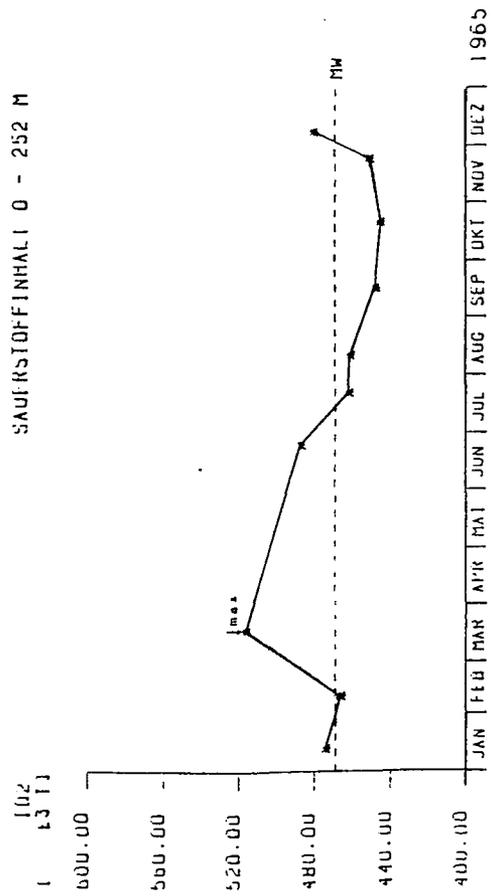


ABB.8 BODENSEE-OBERSEE SAUERSTOFFINHALT (10³ T)

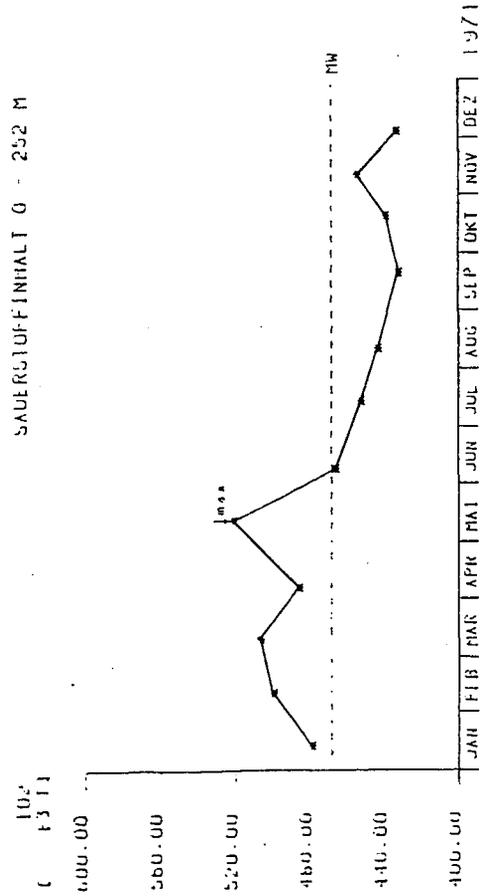
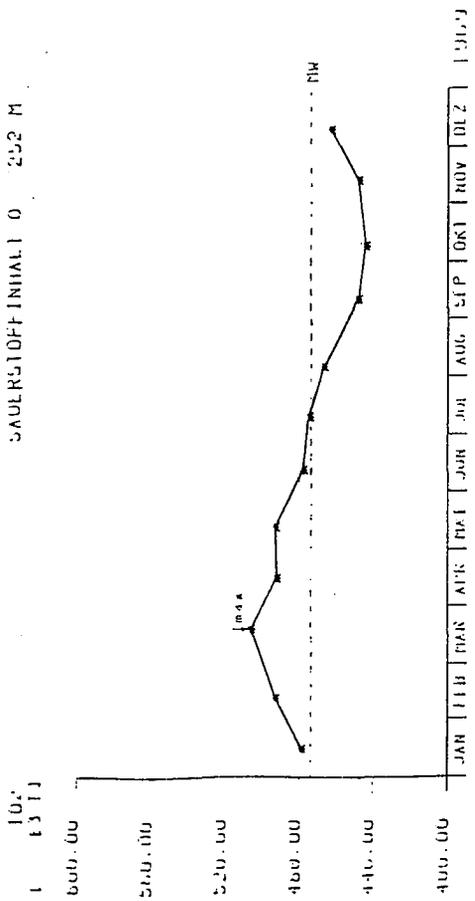
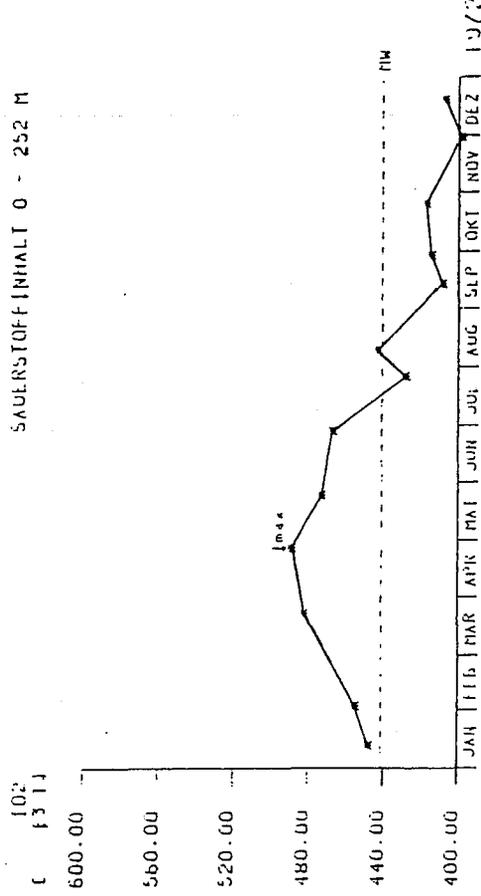
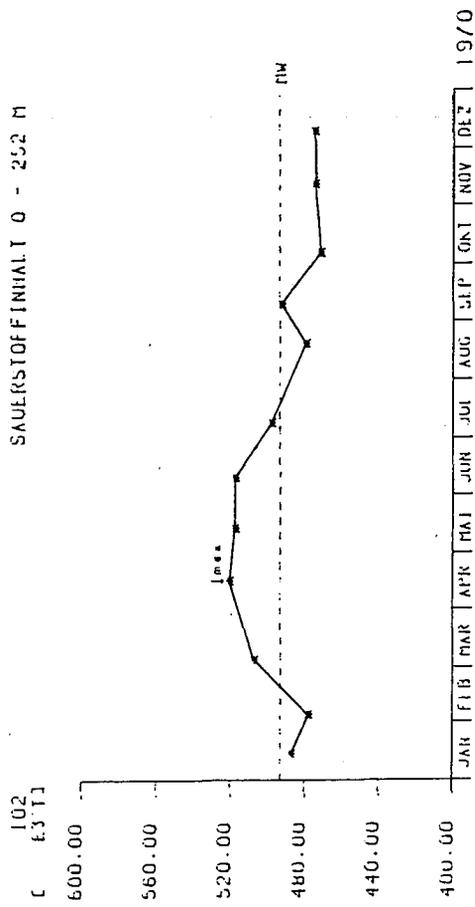


ABB. 8 BODENSEE-OBERSEE SAUERSTOFFINHALT (10³ T)

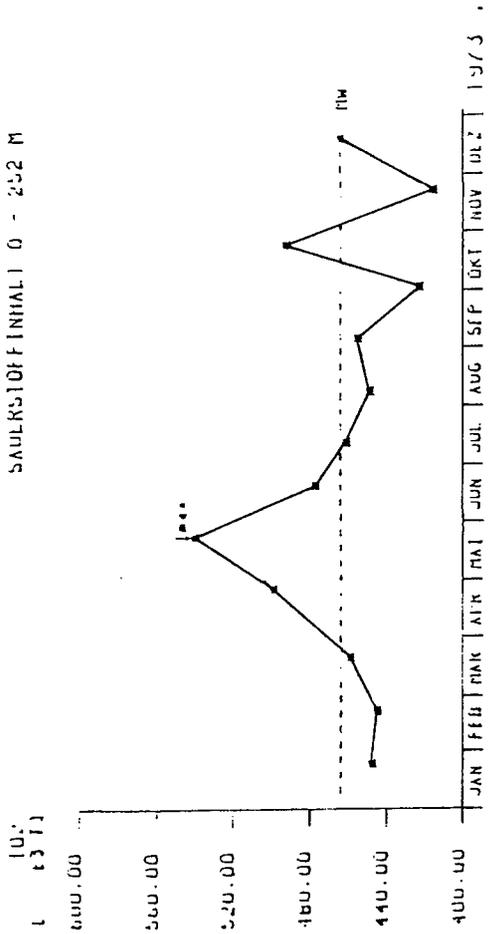
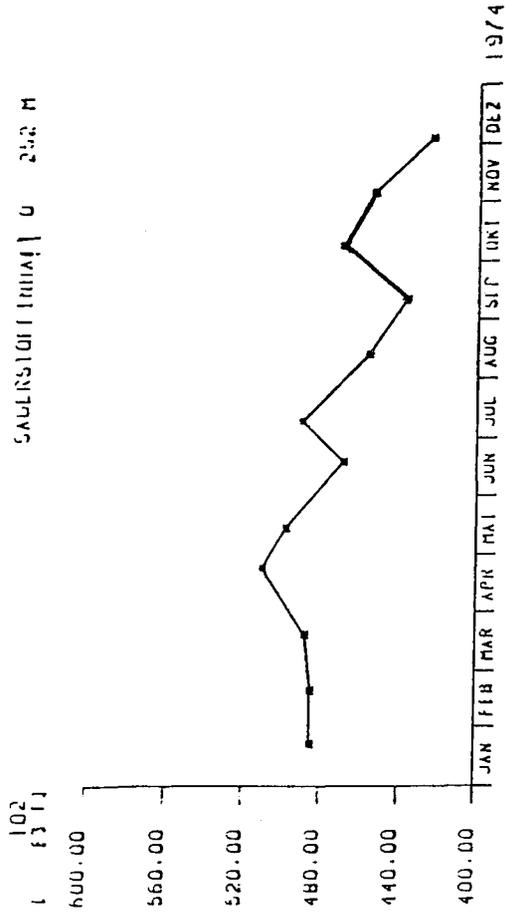


ABB. 8 BODENSEE-OBERSEE SAUERSTOFFINHALT (l O₂ / m³)

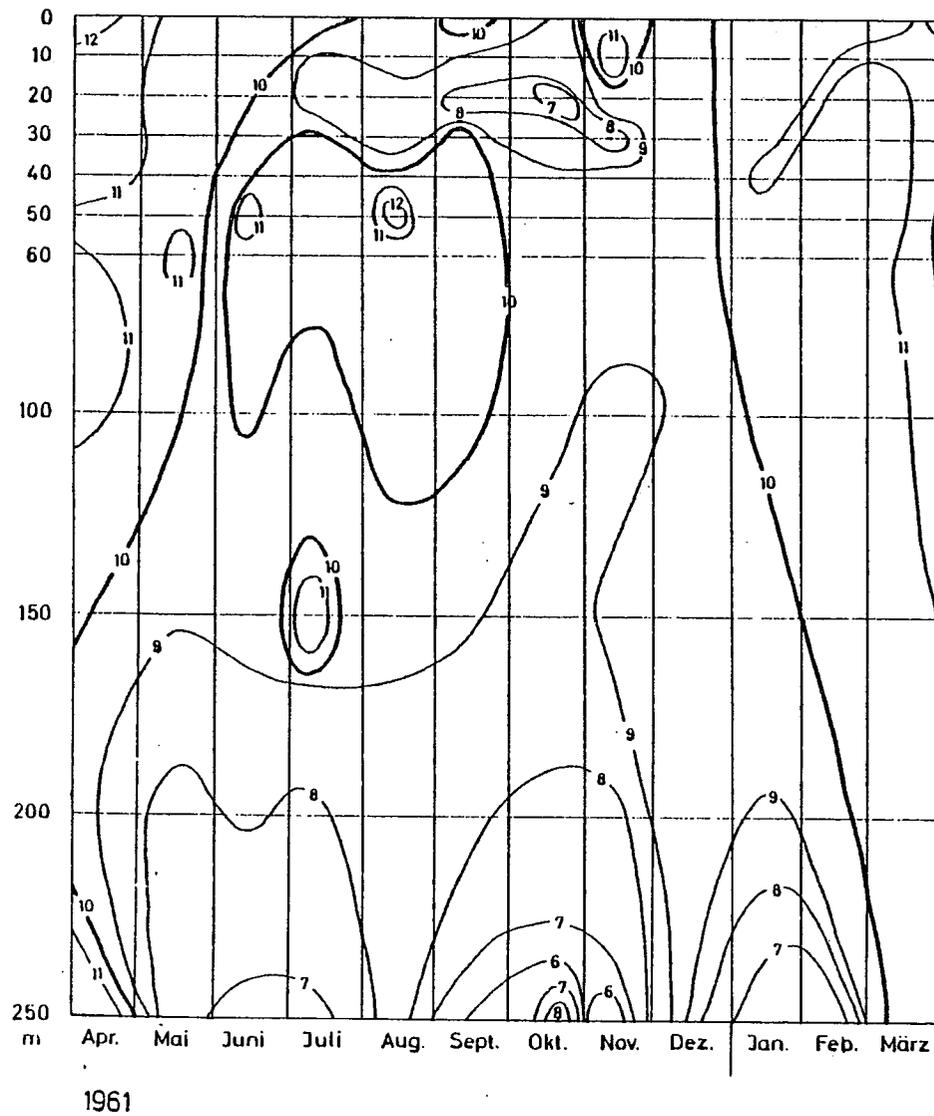


ABB.9 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) SAUERSTOFF (MG O₂/L)

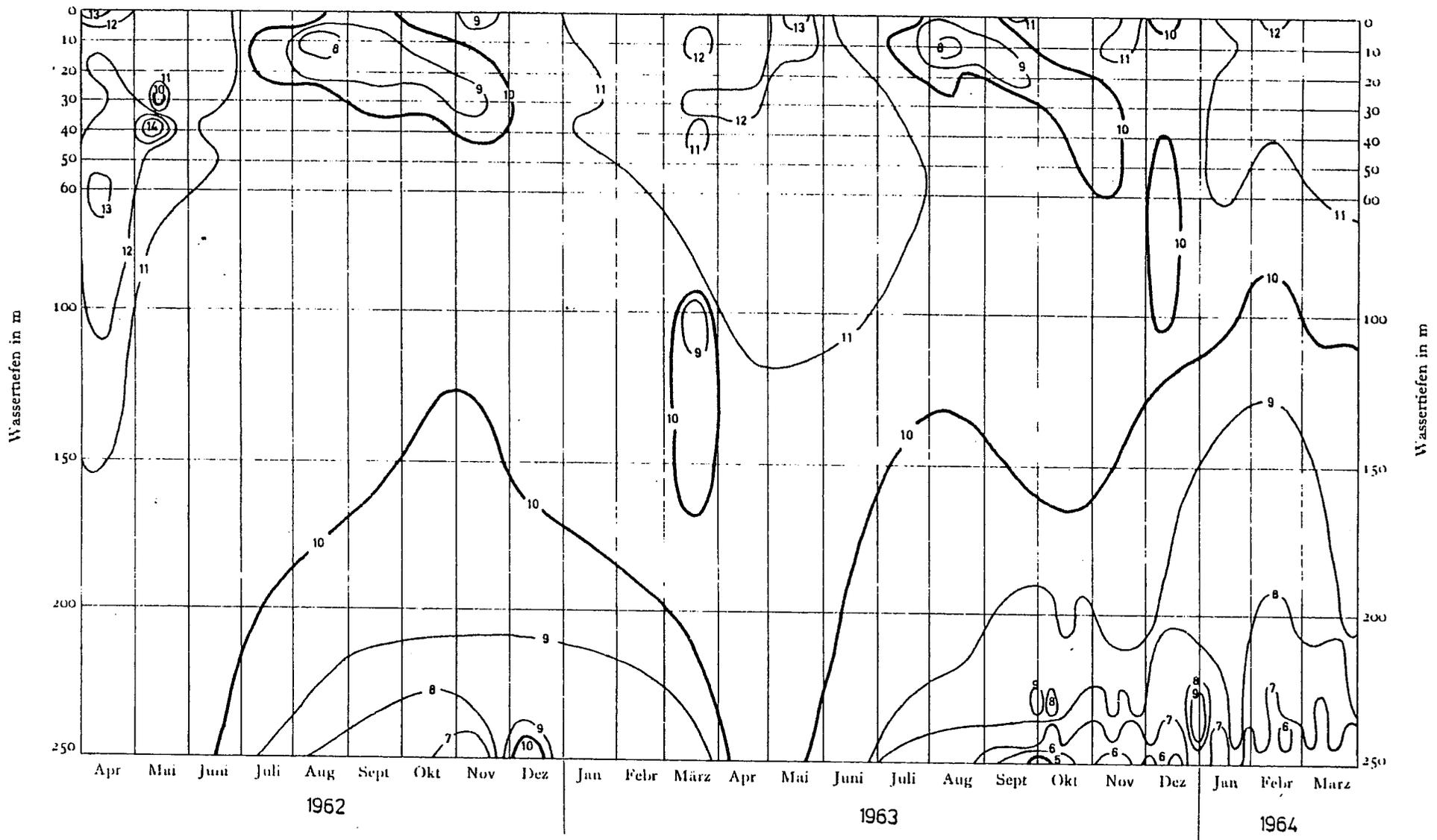


ABB.9 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) SAUERSTOFF (MG O₂/L)

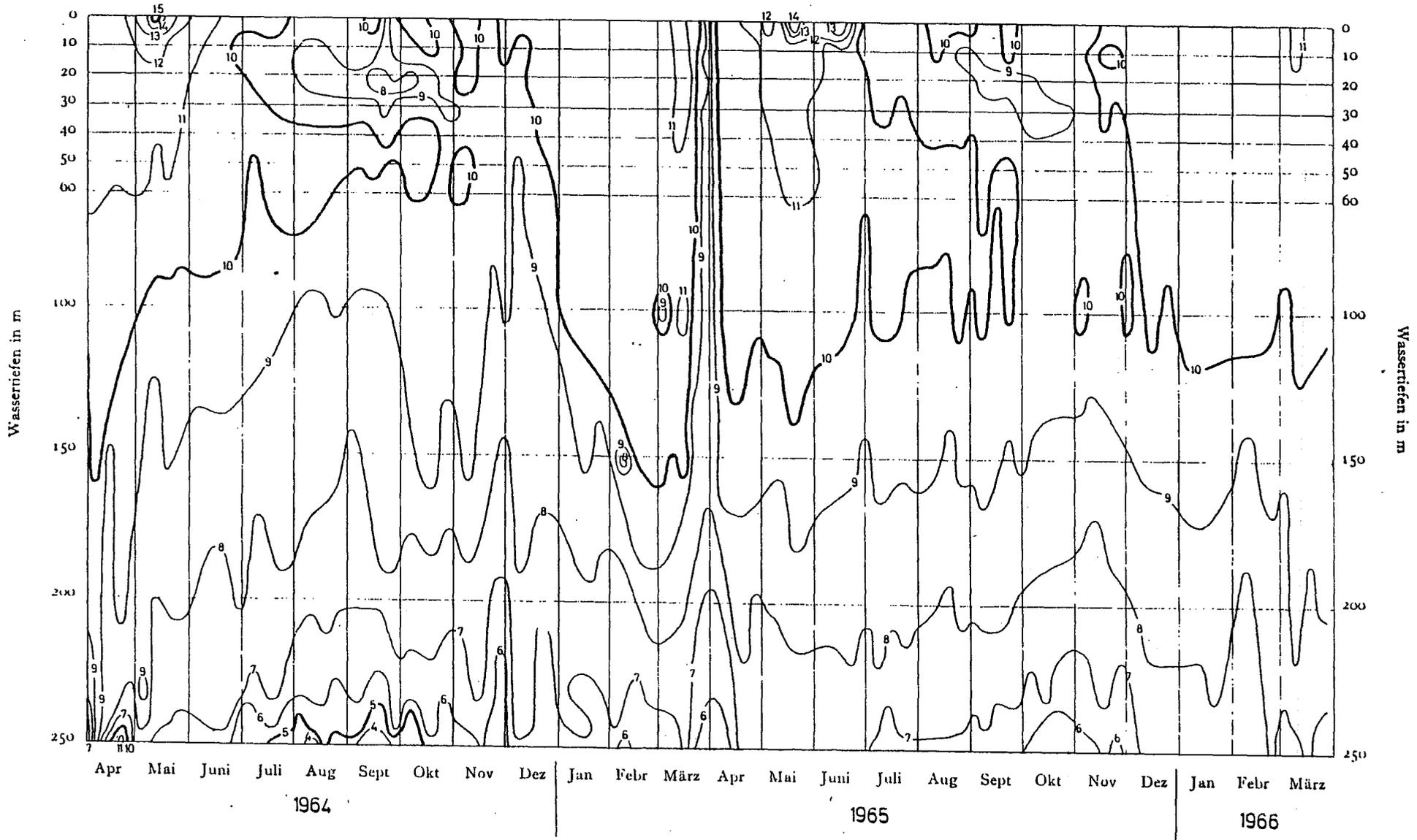


ABB.9 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) SAUERSTOFF (MG O₂/L)

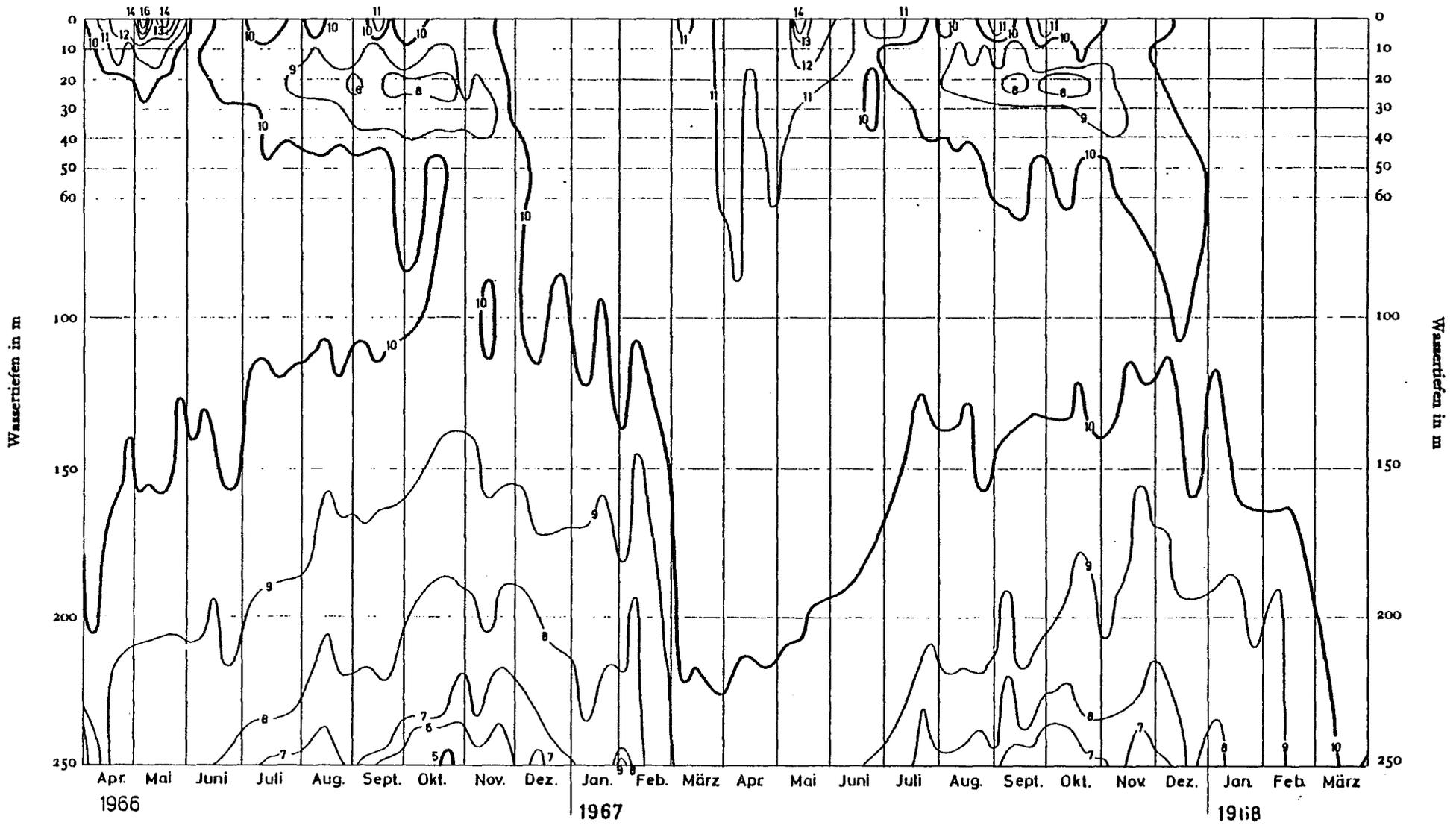


ABB.9 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) SAUERSTOFF (MG O₂/L)

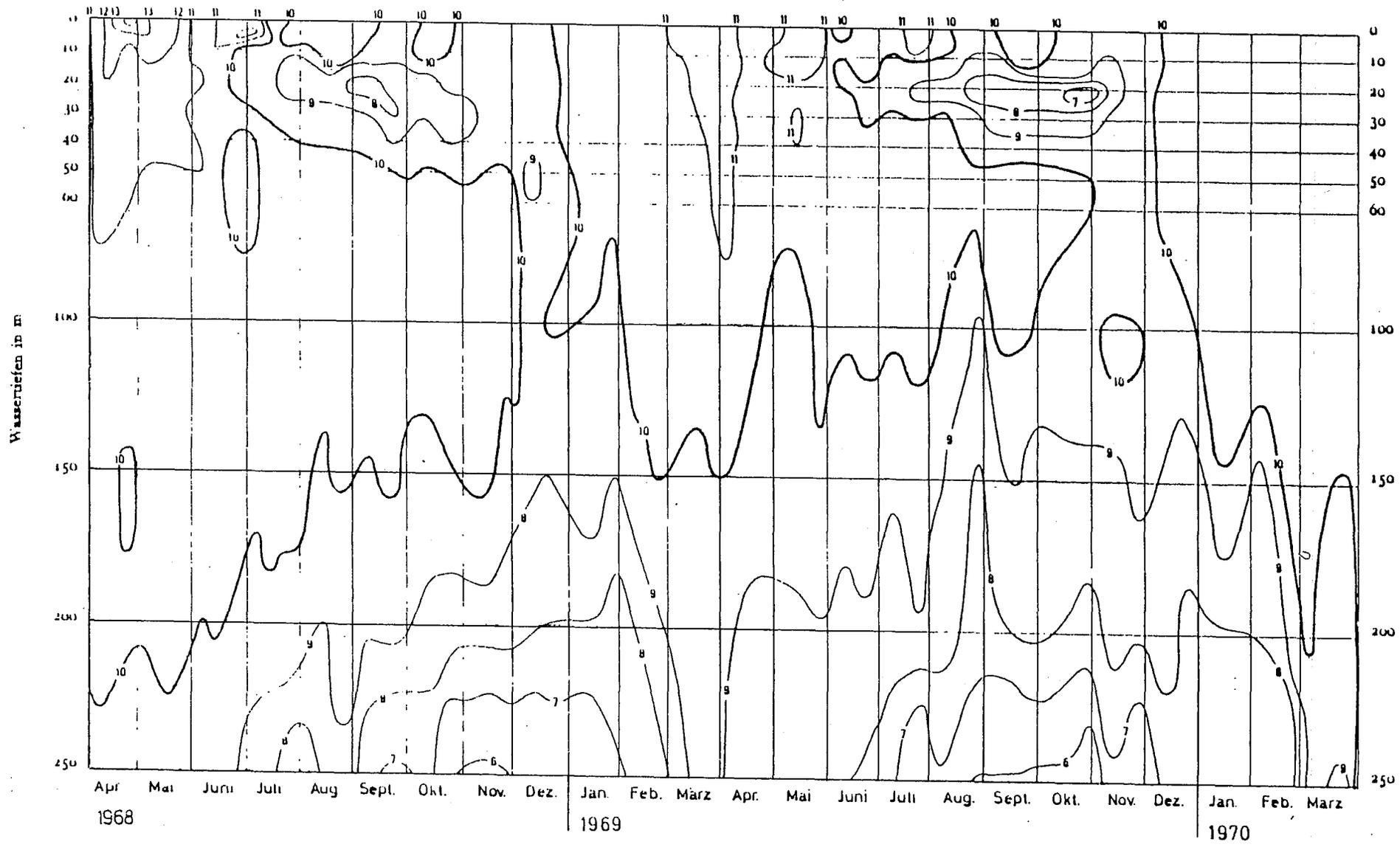


ABB.9 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTUIL) SAUERSTOFF (MG O₂/L)

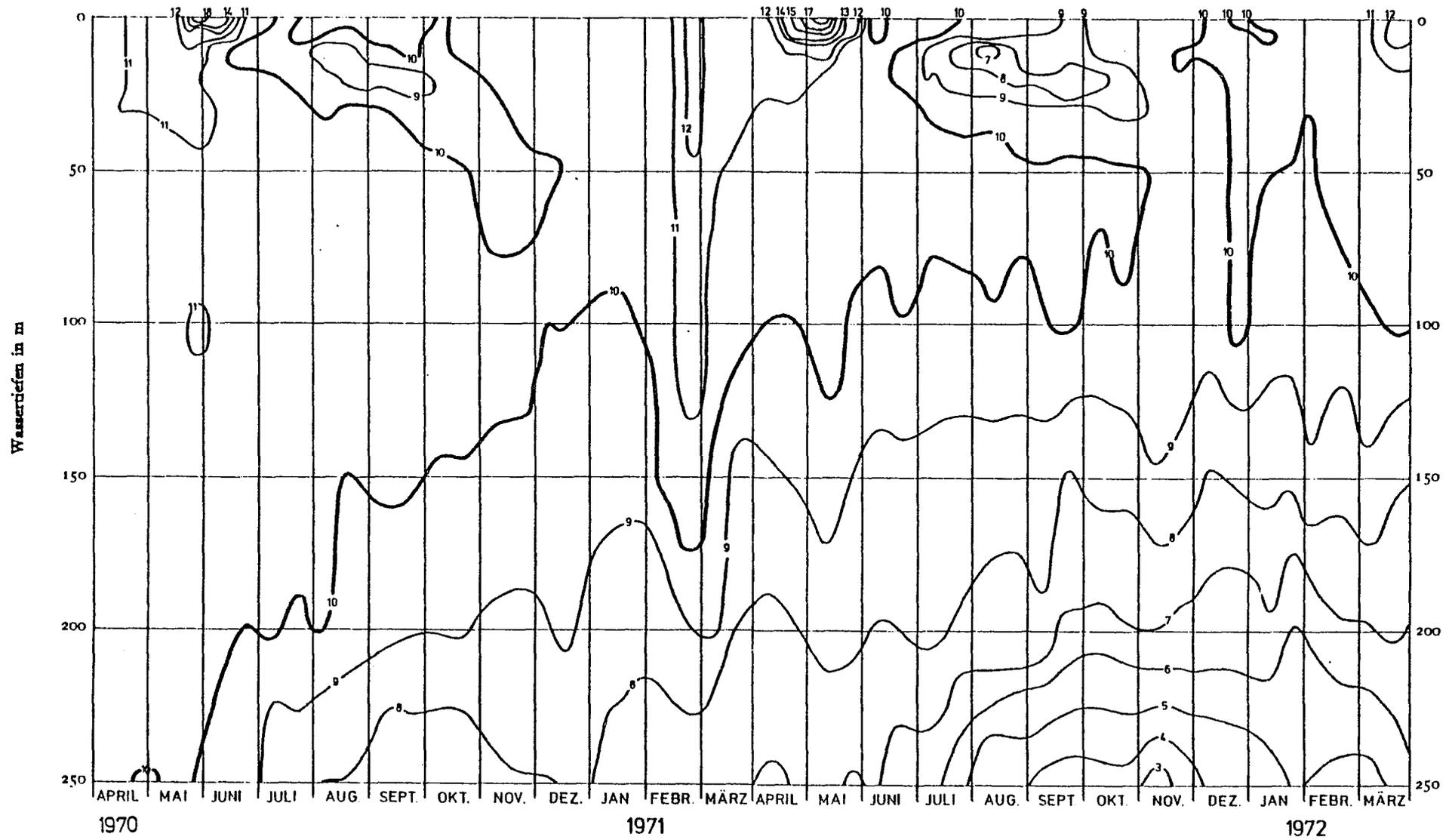


ABB.9 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜFTWIL) SAUERSTOFF (MG O₂/L)

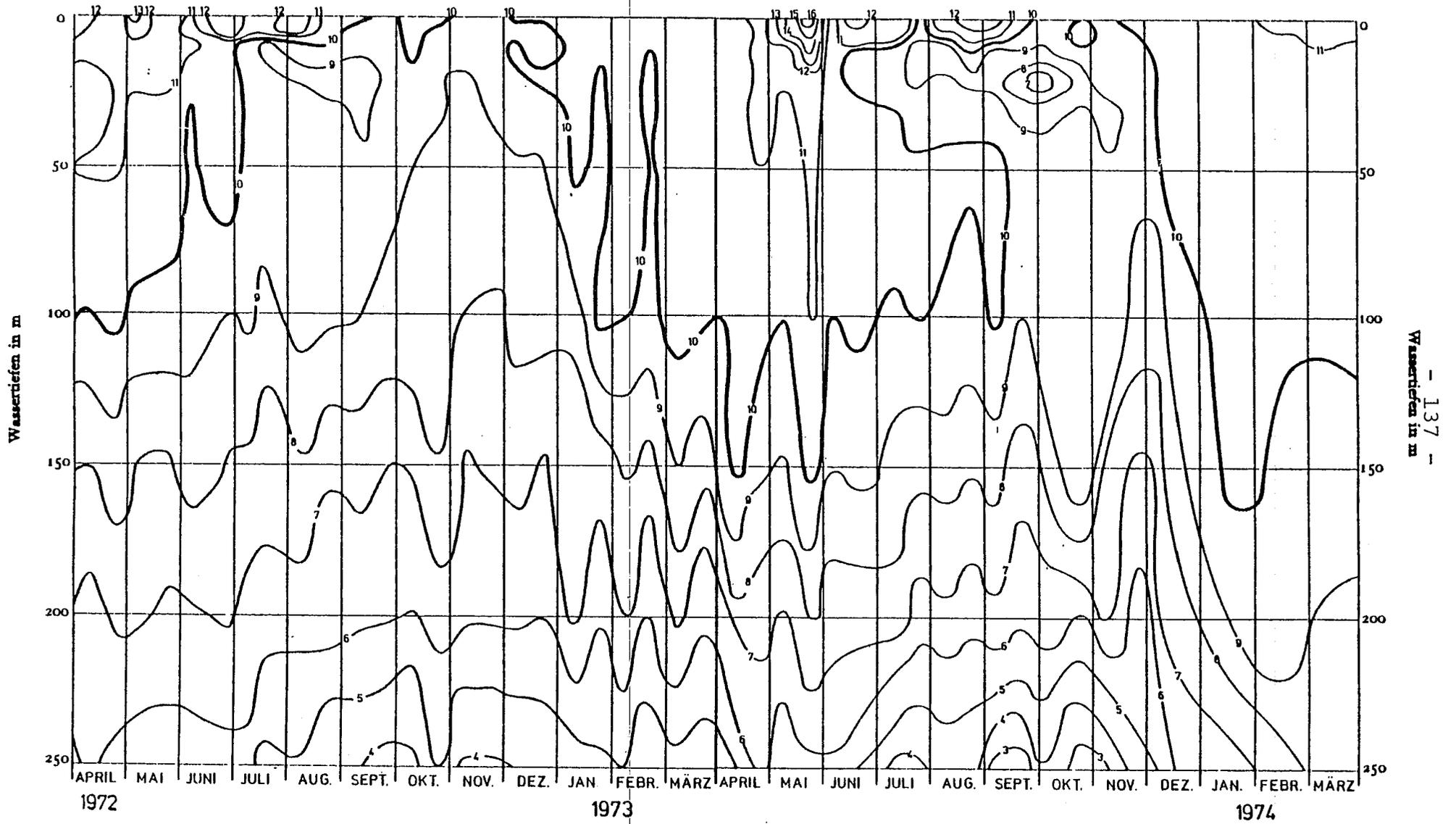


ABB.9 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) SAUERSTOFF (MG O₂/L)

- 137 -
Wassertiefen in m

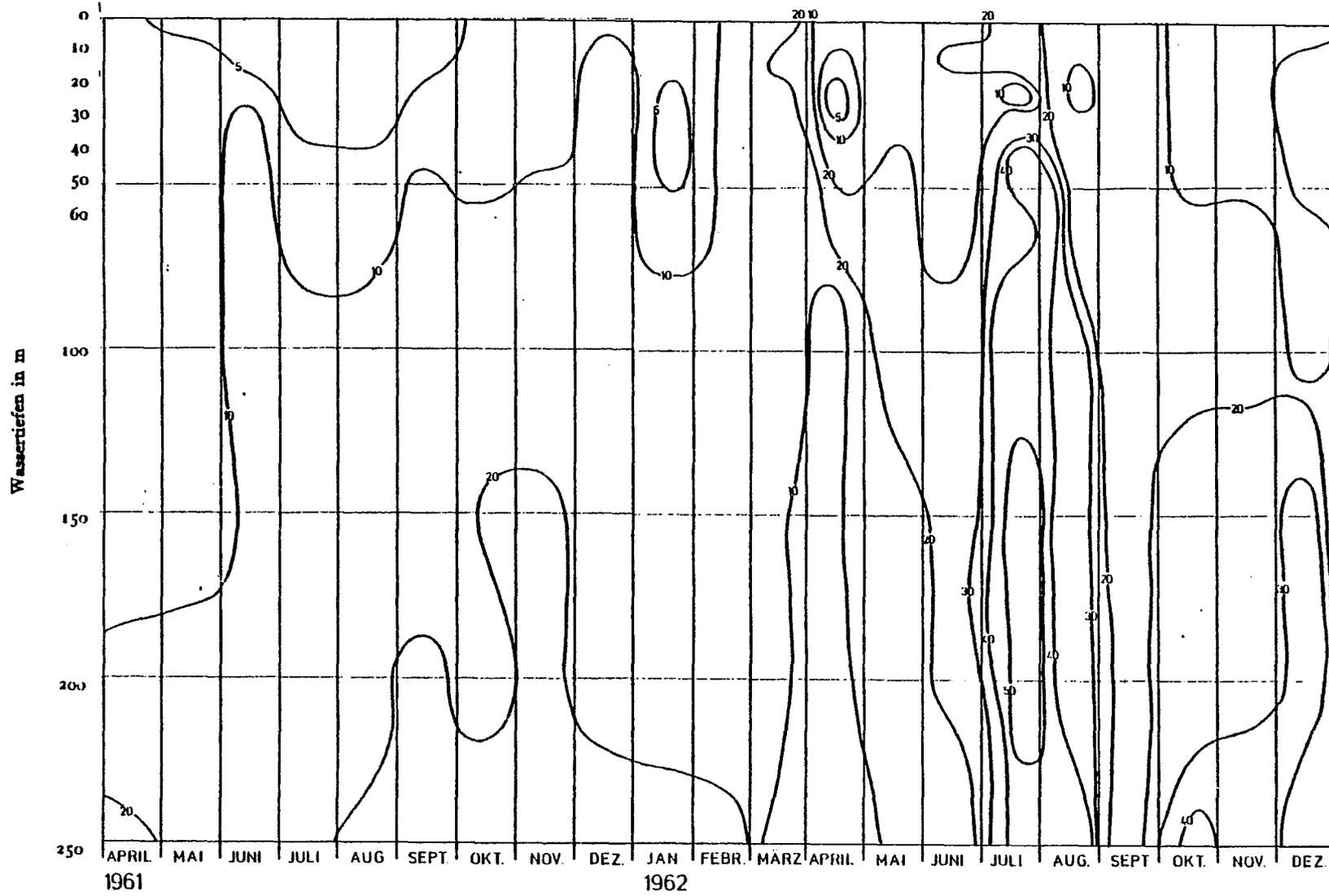


ABB.10 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT (MG P/M³)

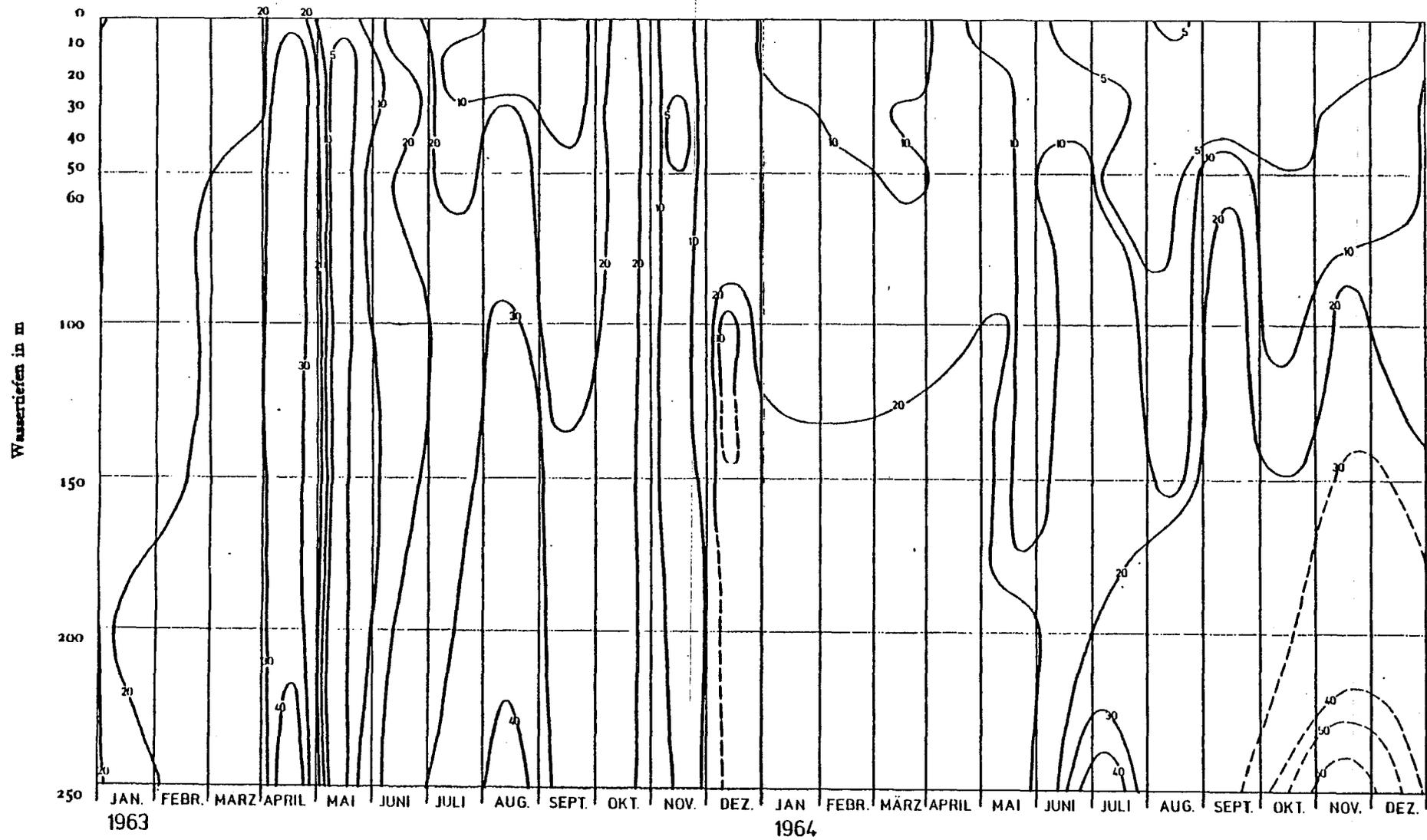


ABB.10 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT (MG P/M³)

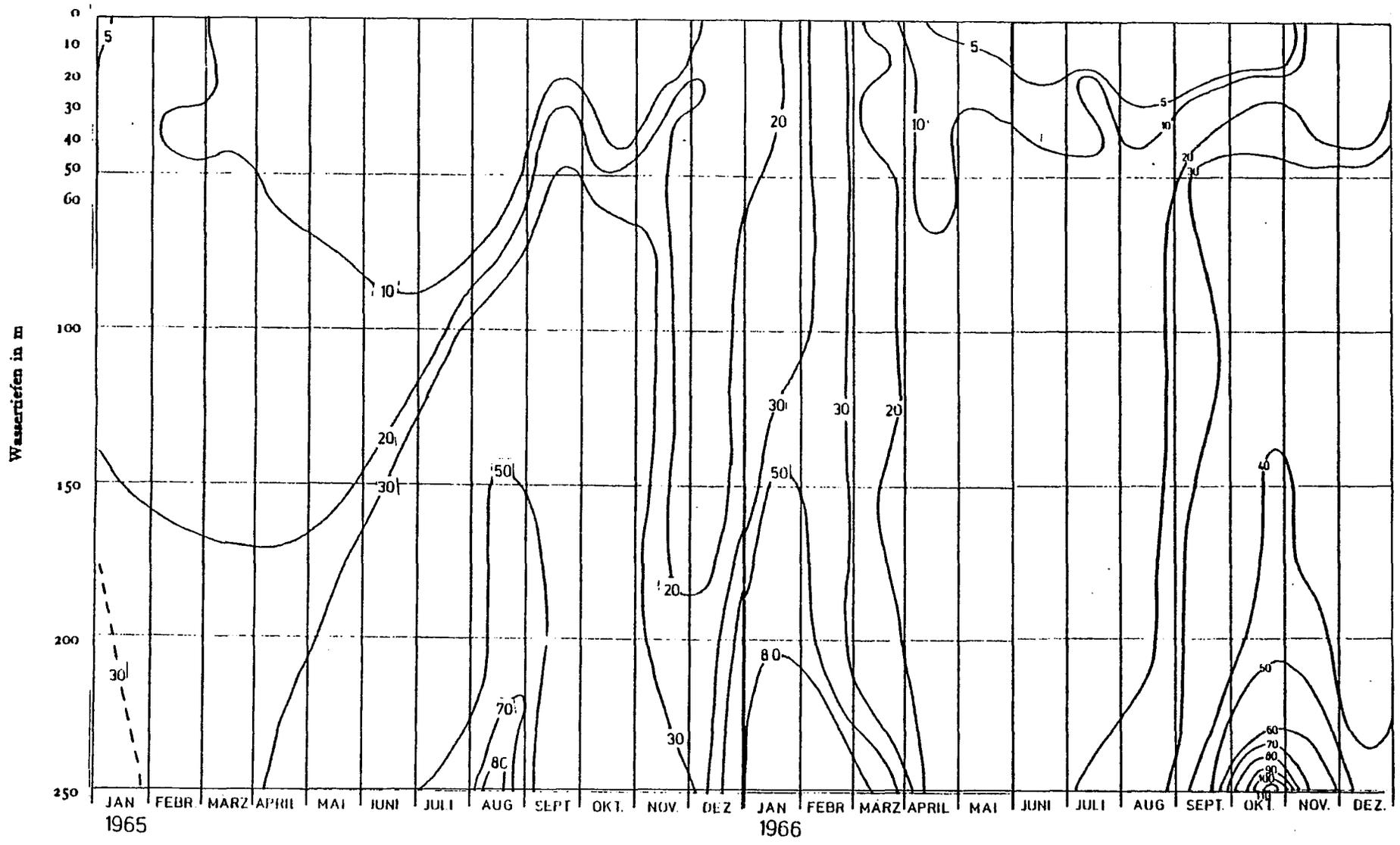


Abb.10 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT (MG P/M³)

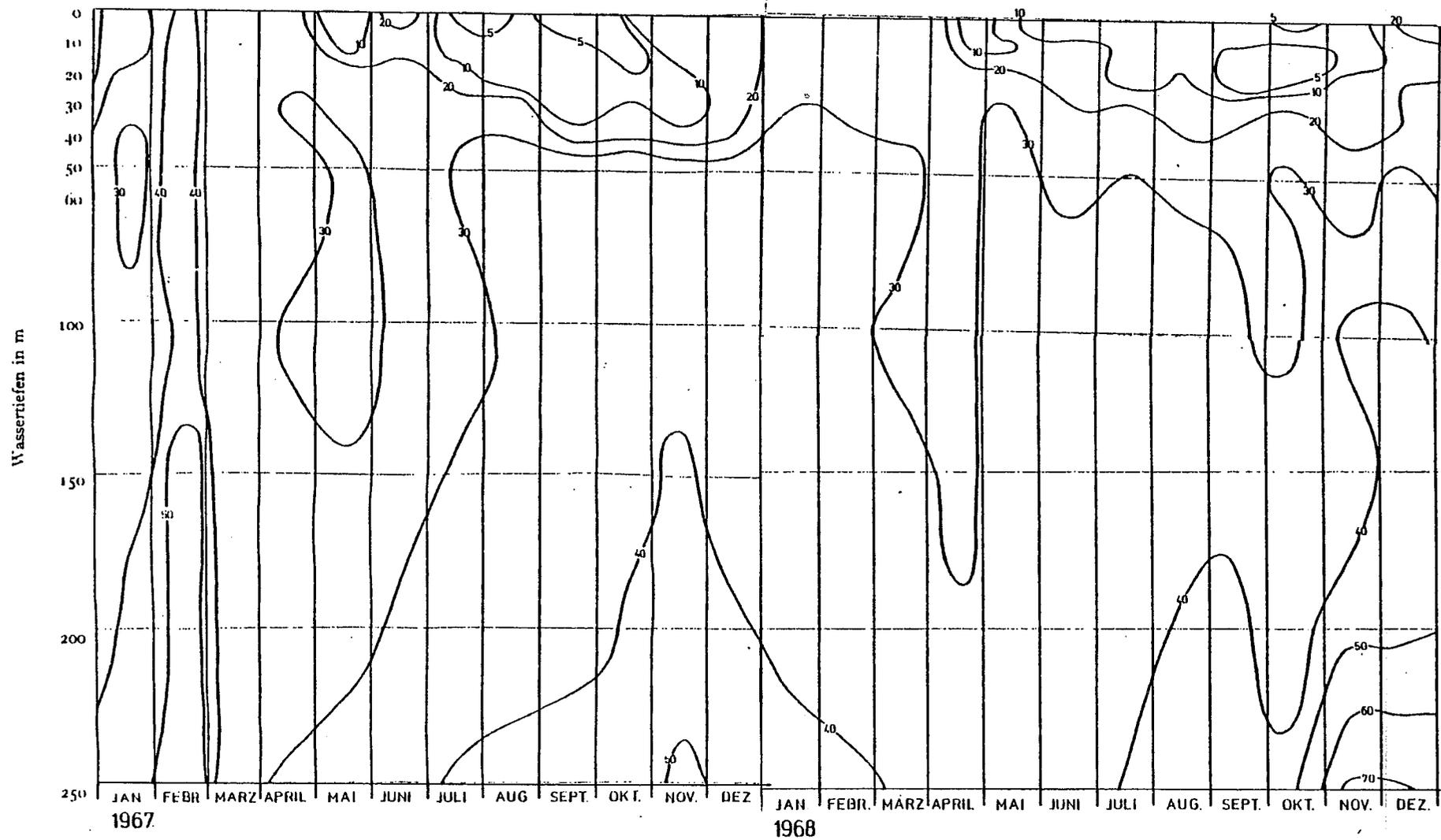


ABB.10 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT (MG P/M³)

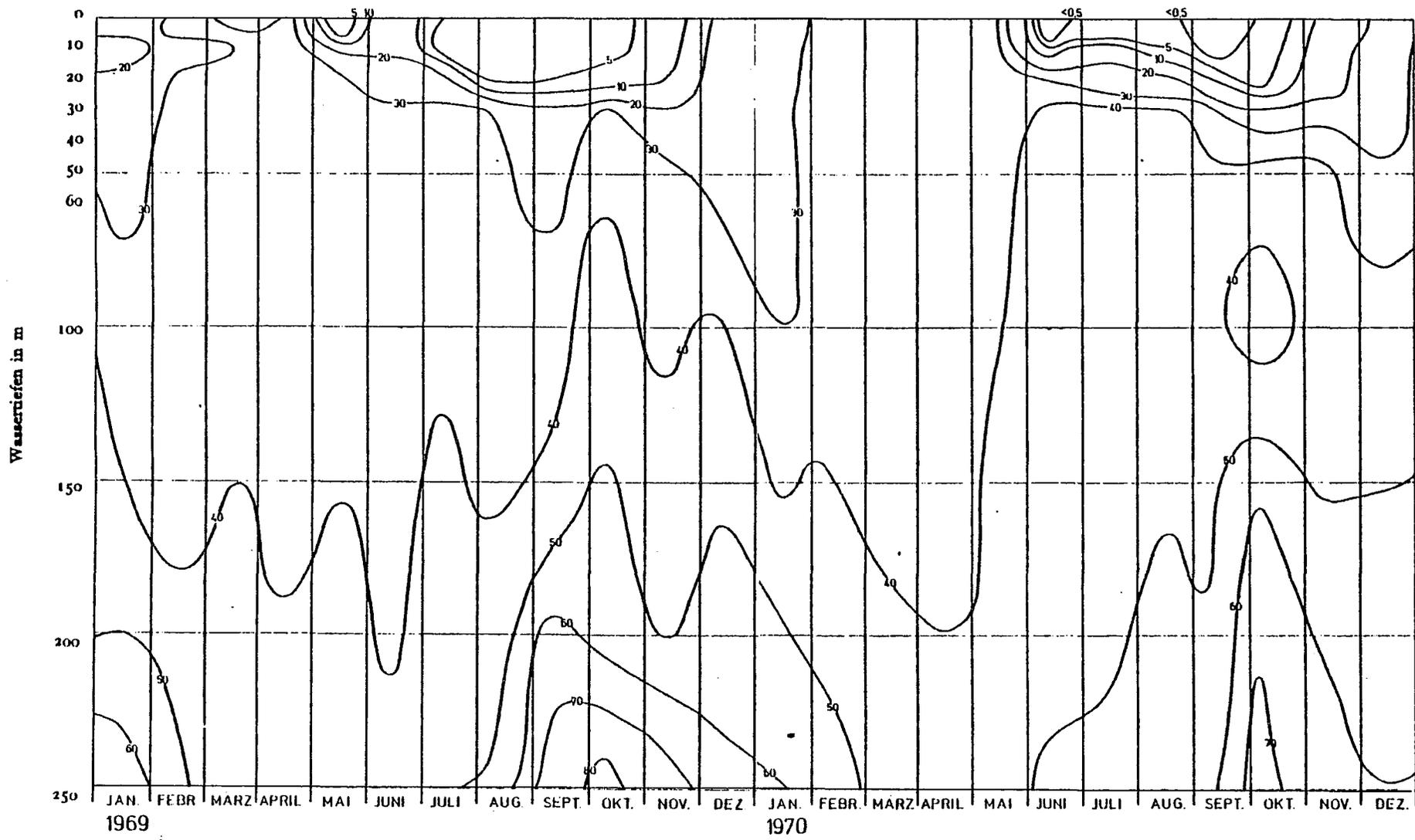


ABB.10 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT (MG P/M³)

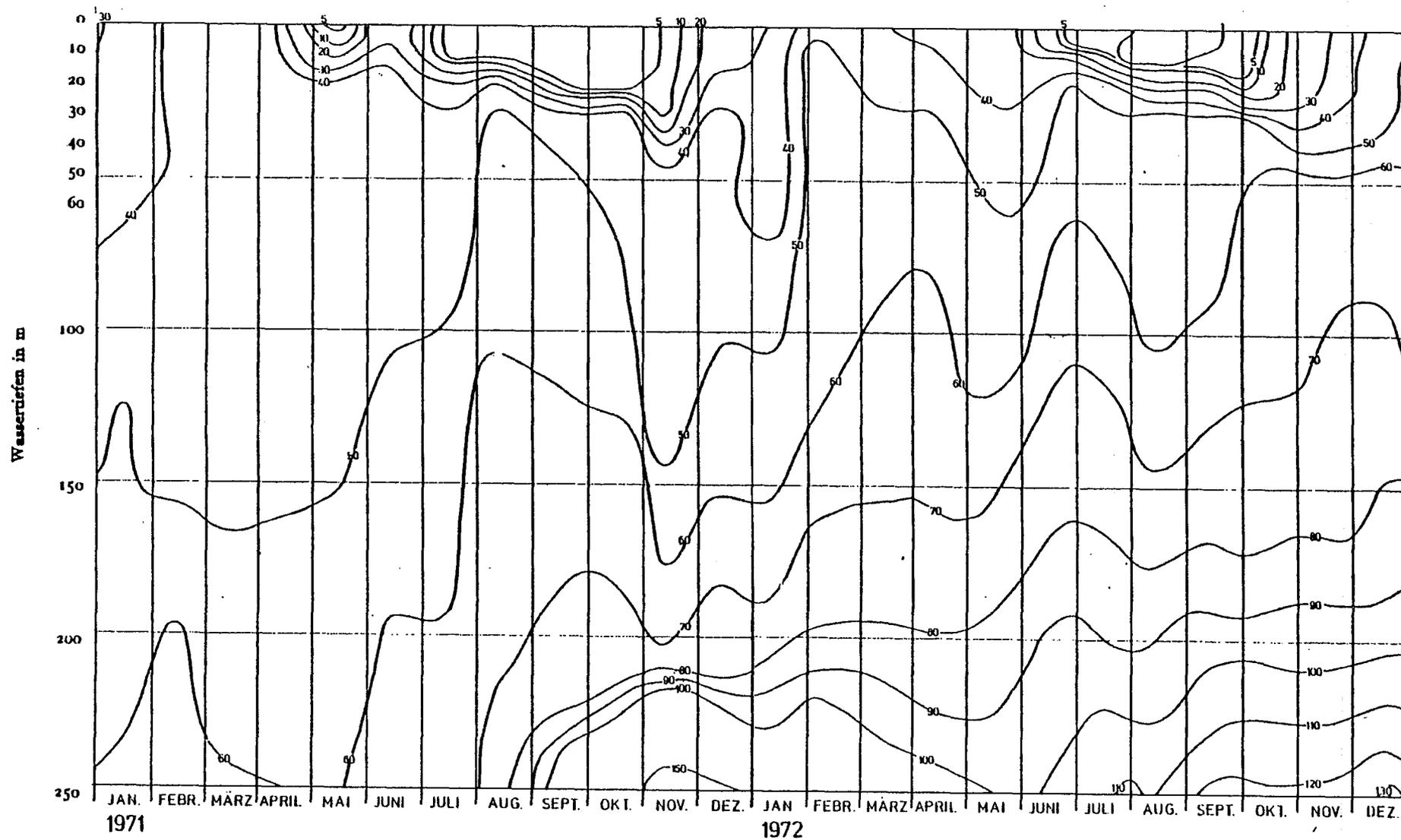


ABB.10 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT (MG P/M³)

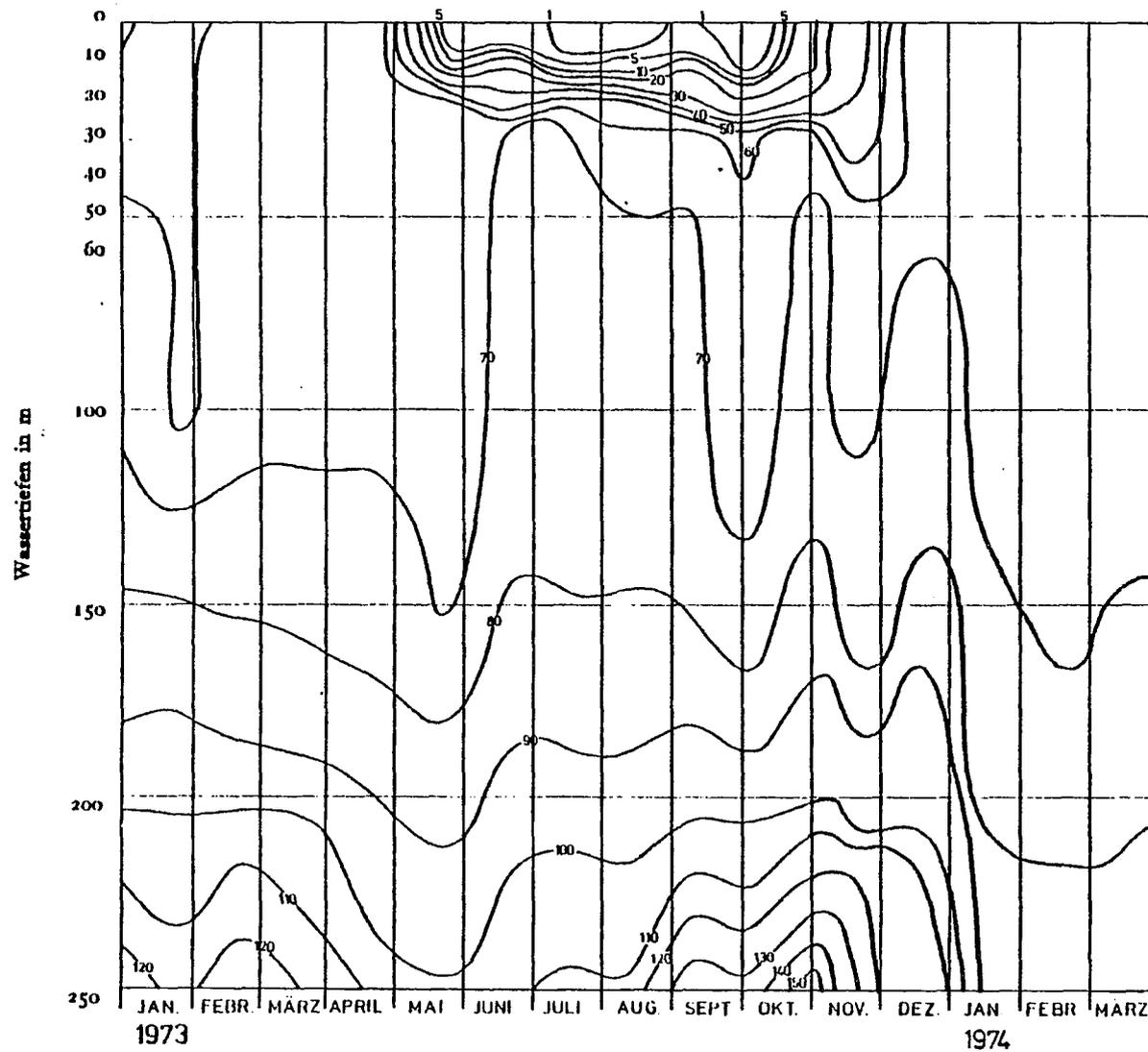


ABB.10 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT (MG P/M³)

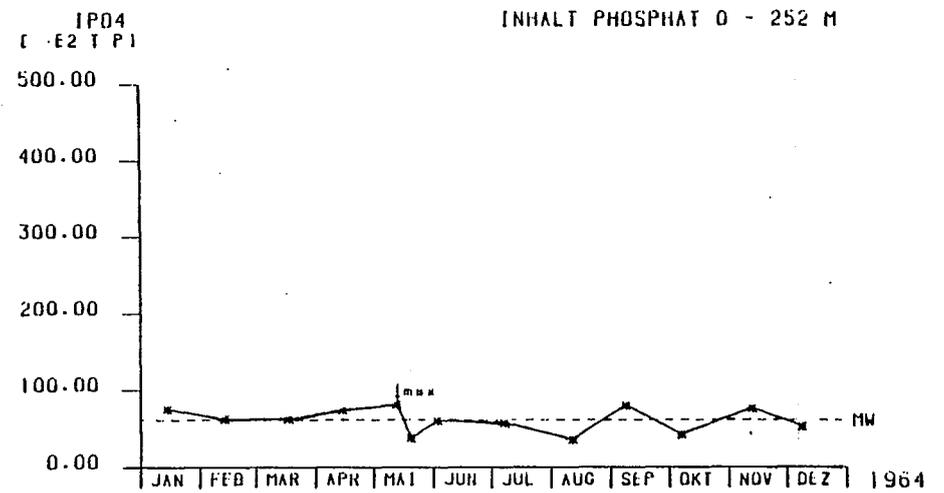
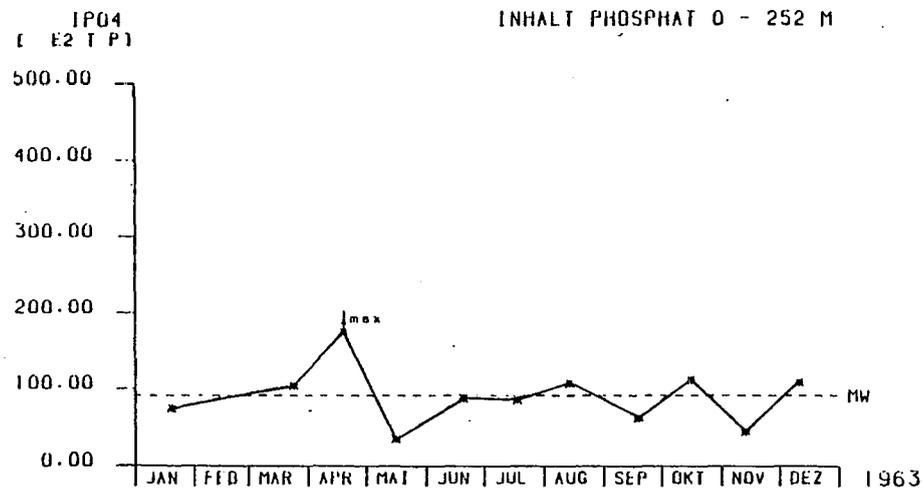
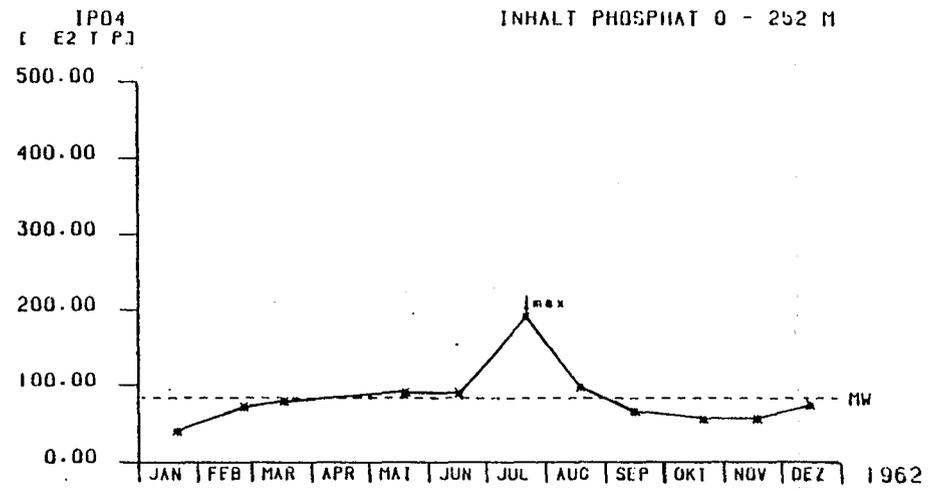
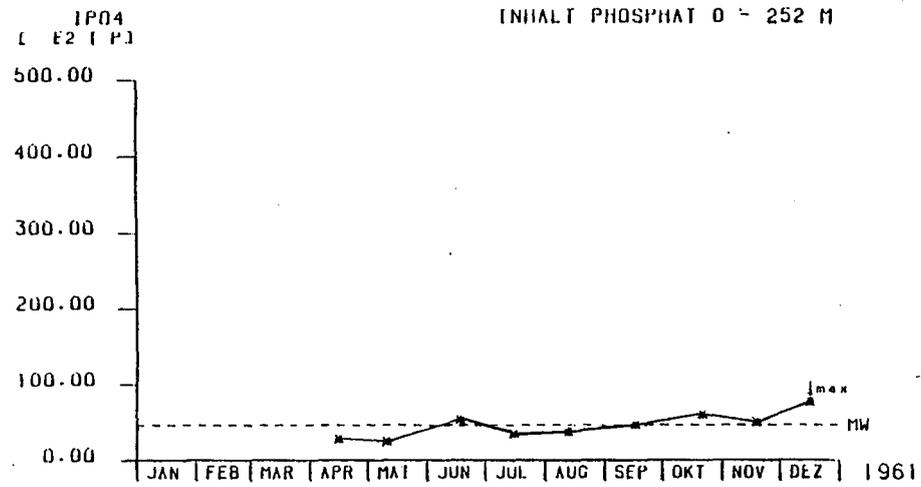


Abb.11 BODENSEE-OBERSEE ORTHOPHOSPHAT-INHALT (0-250 M) (10² T)

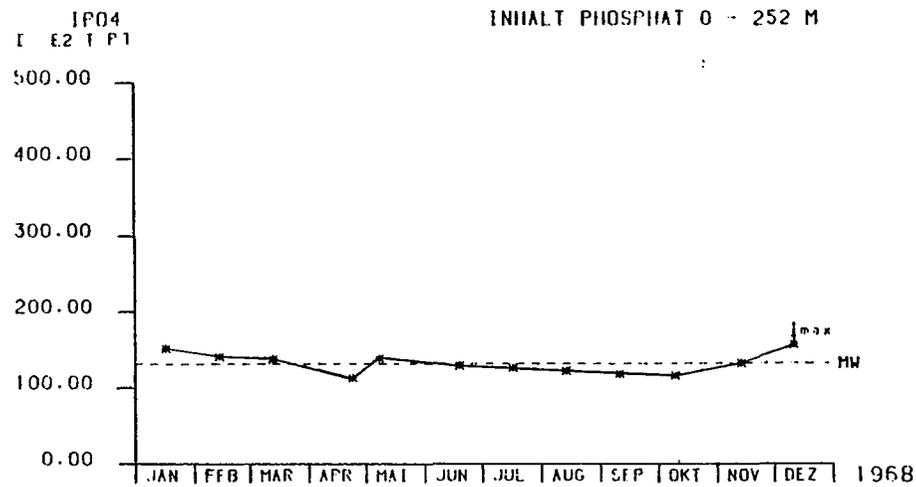
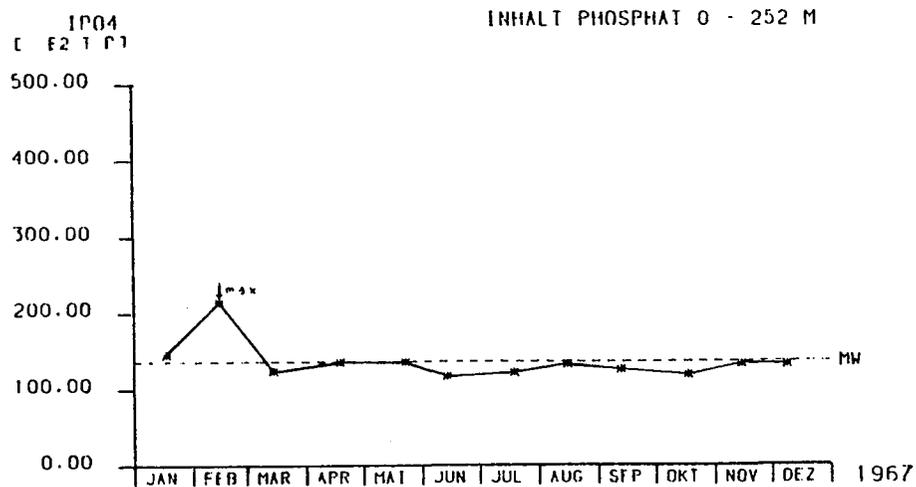
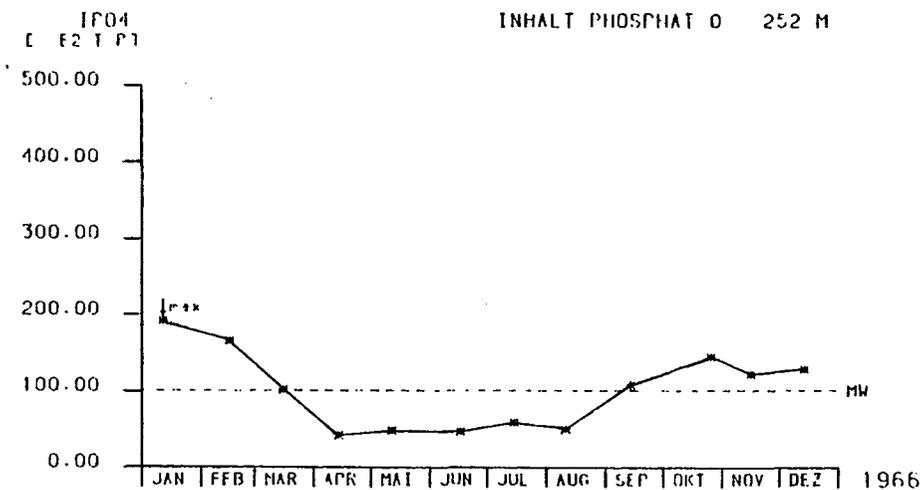
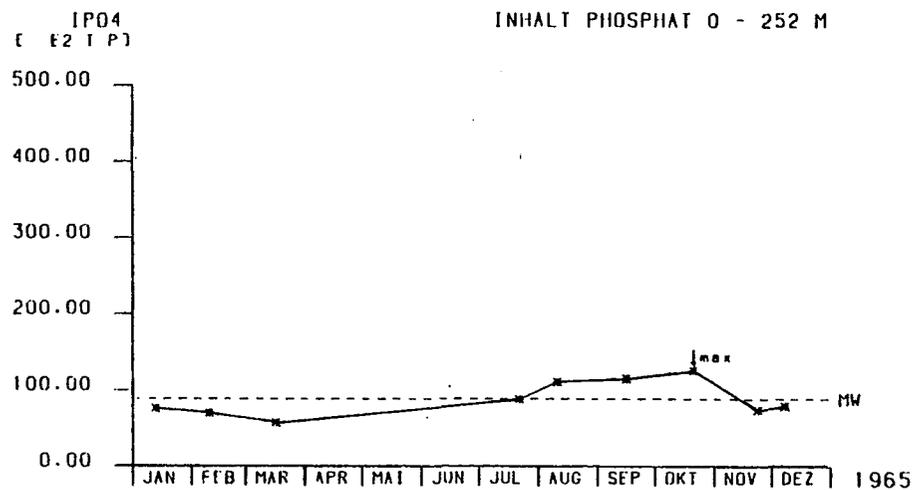


ABB.11 BODENSEE-OBERSEE ORTHOPHOSPHAT-INHALT (0-250 M) (10² T)

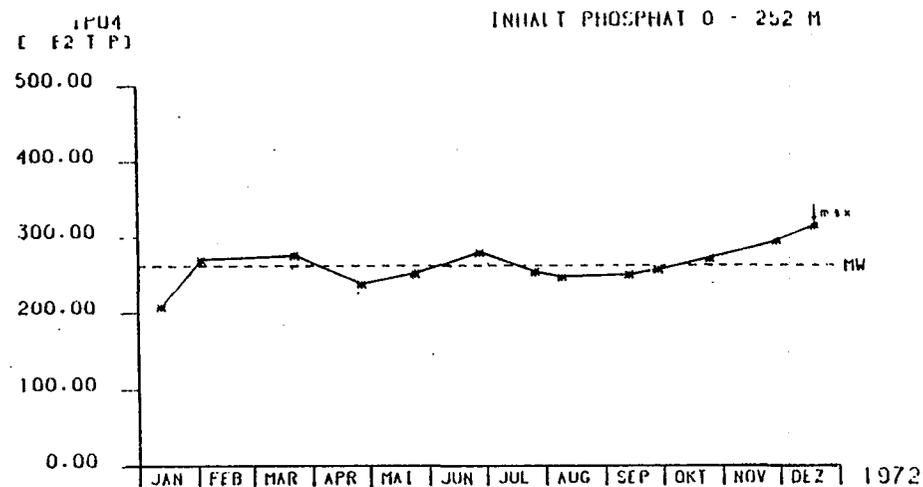
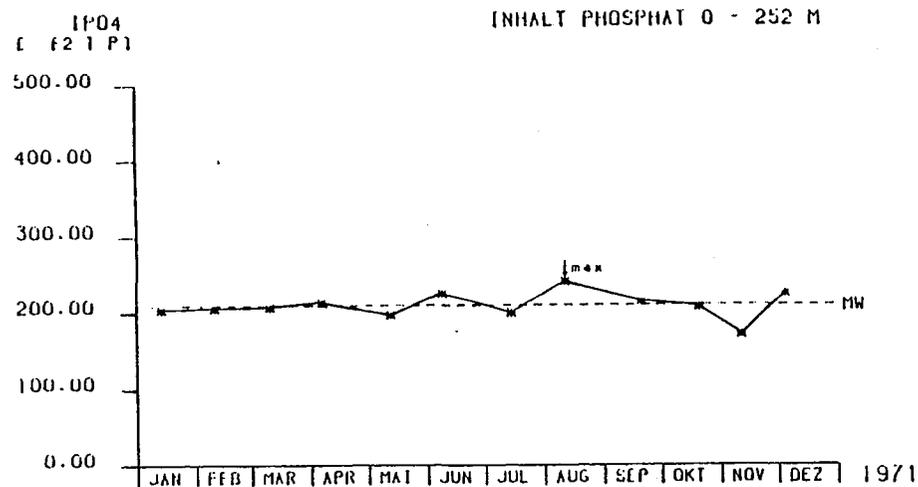
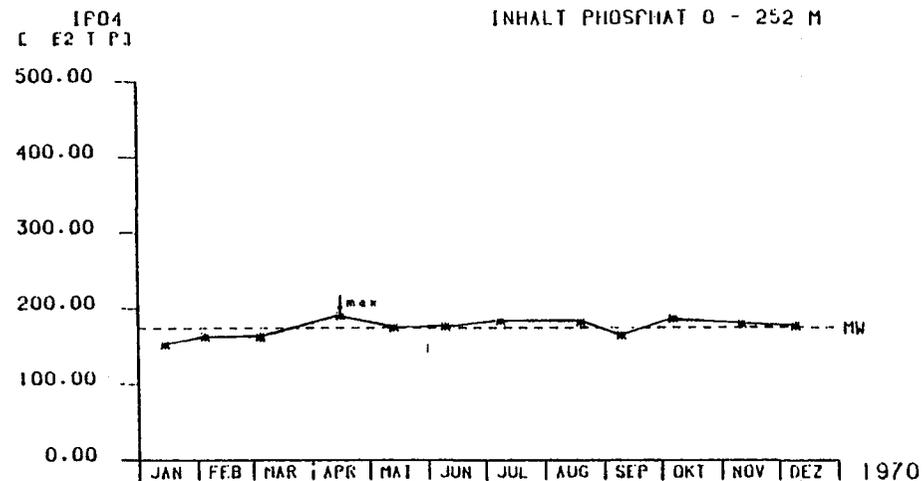
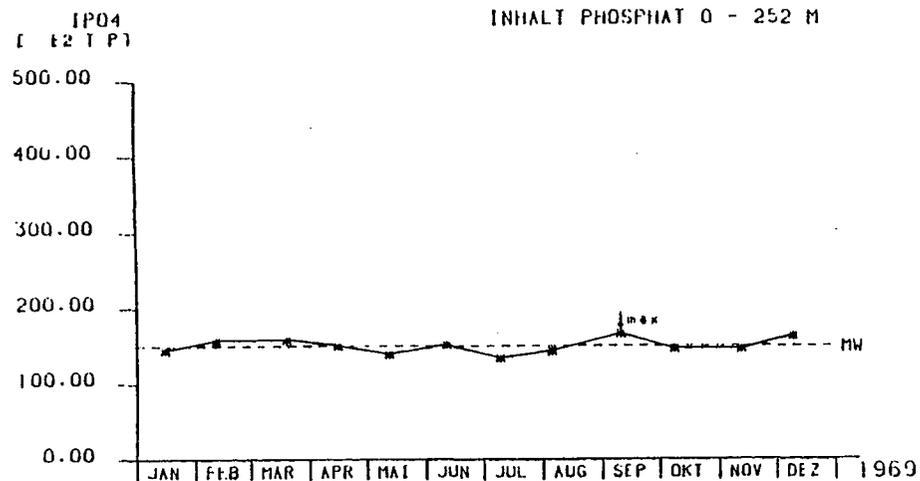


Abb. 11 BODENSEE-OBERSEE ORTHOPHOSPHAT-INHALT (0-250 m) (10² T)

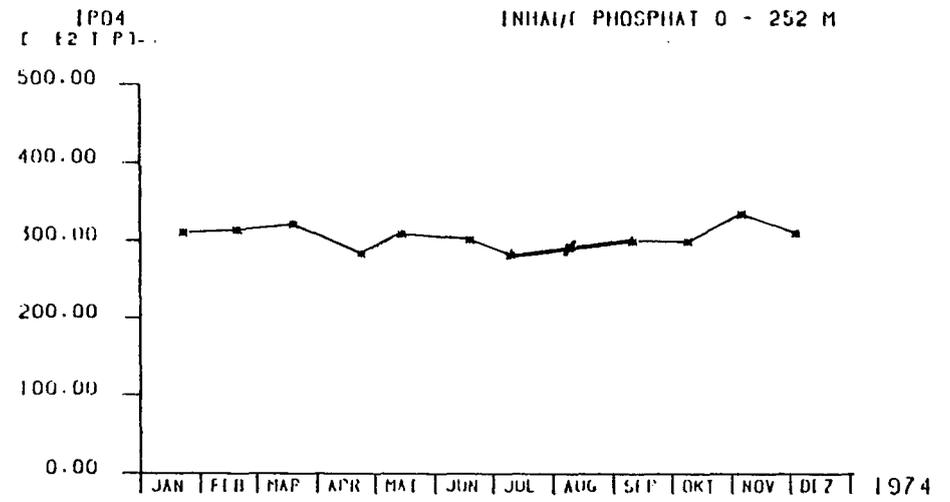
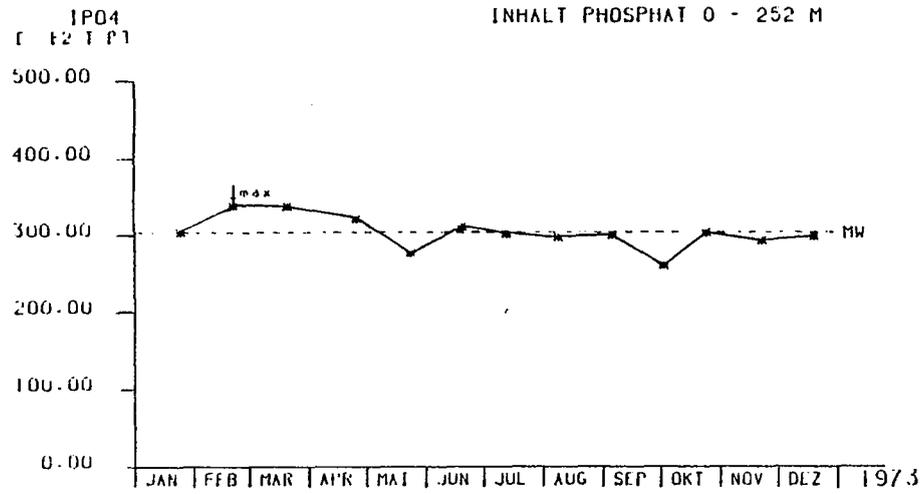


Abb. 11 BODENSEE-OBERSEE ORTHOPHOSPHAT-INHALT (0-250 M) (10² T)

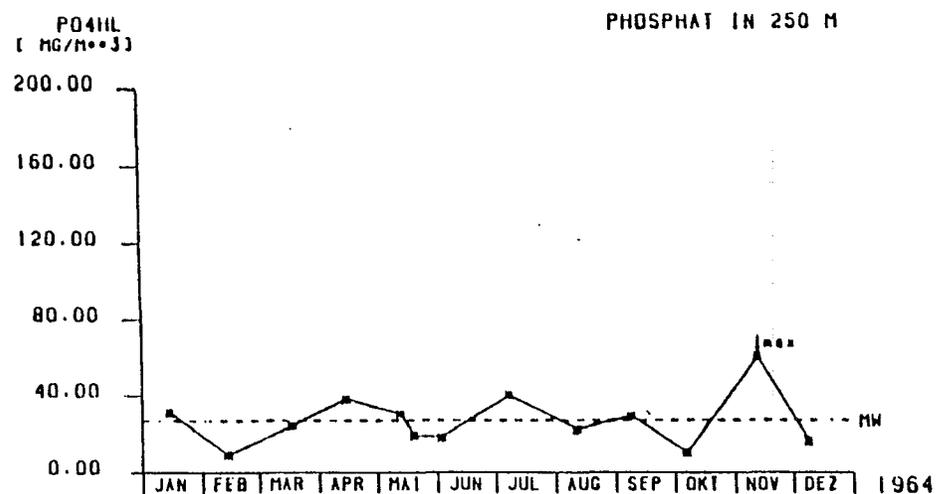
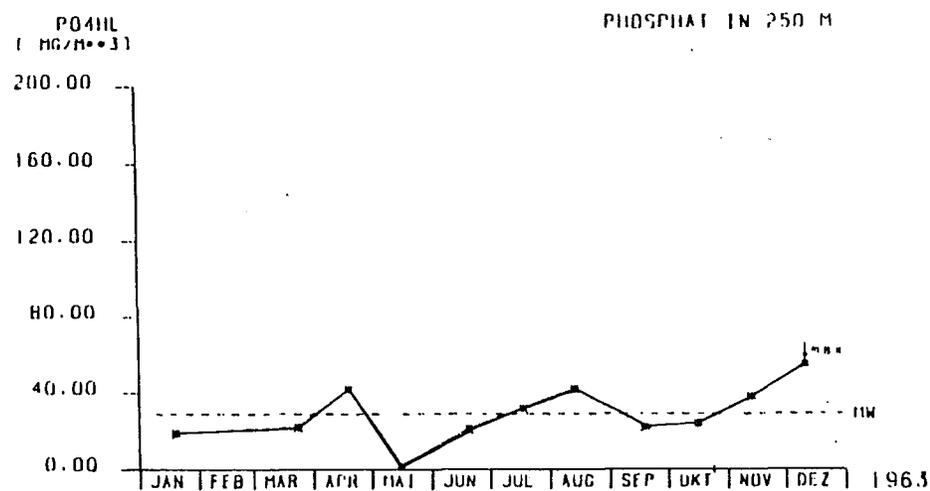
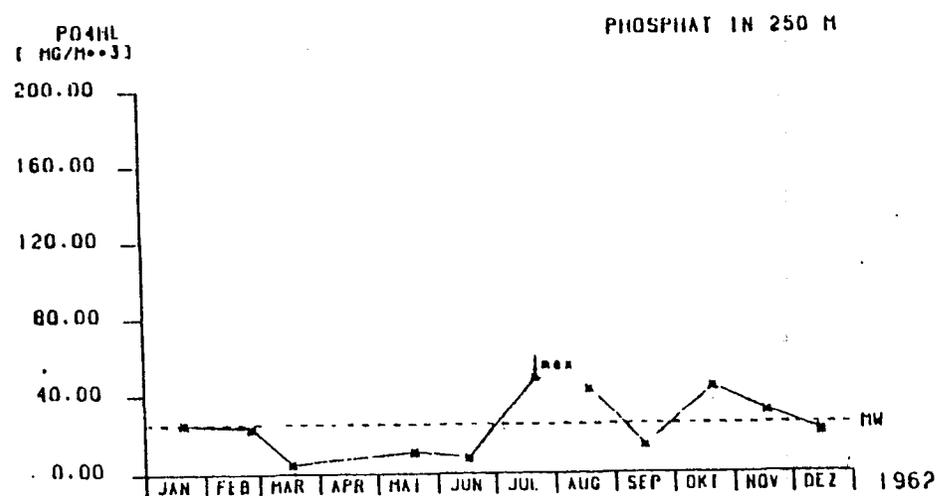
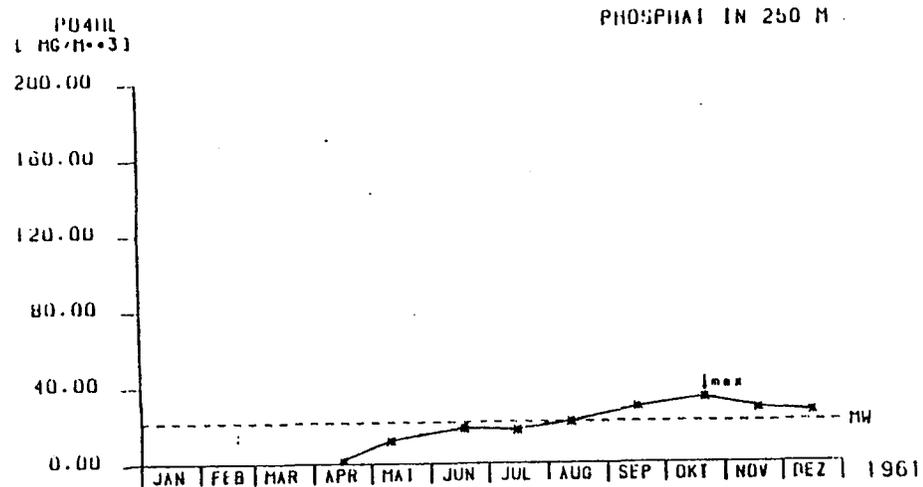


Abb.12 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) ORTHOPHOSPHAT IN 250 M (MG P/M³)

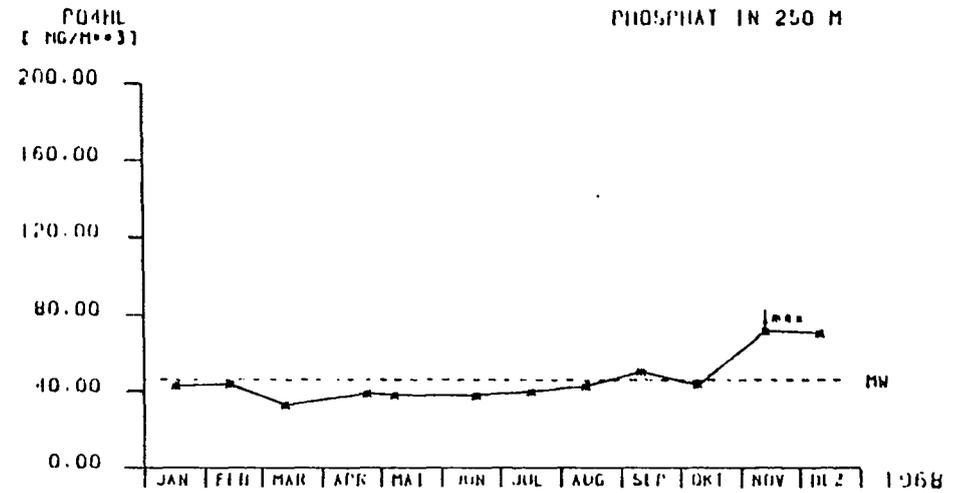
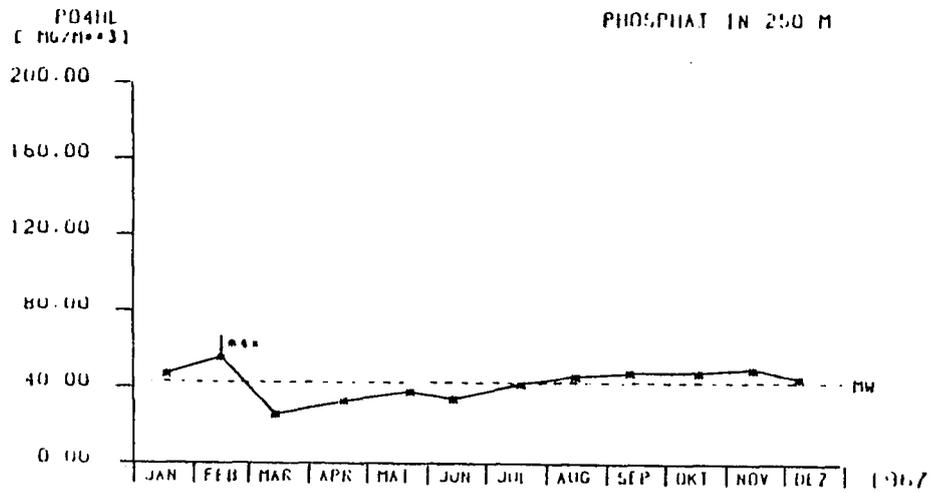
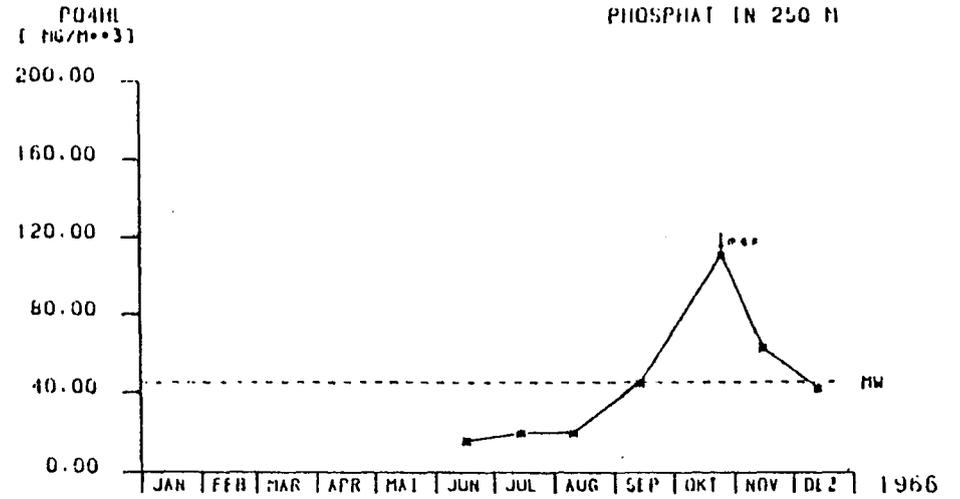
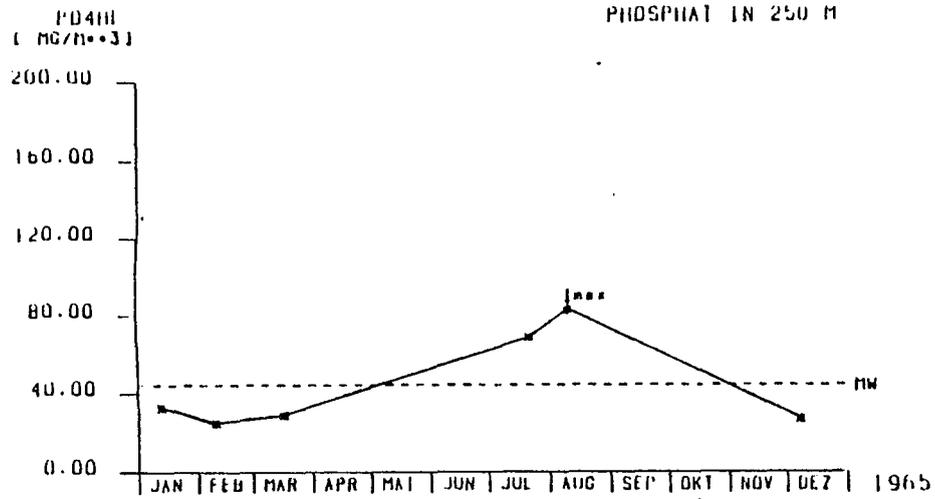


Abb.12 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT IN 250 M (MG P/M³)

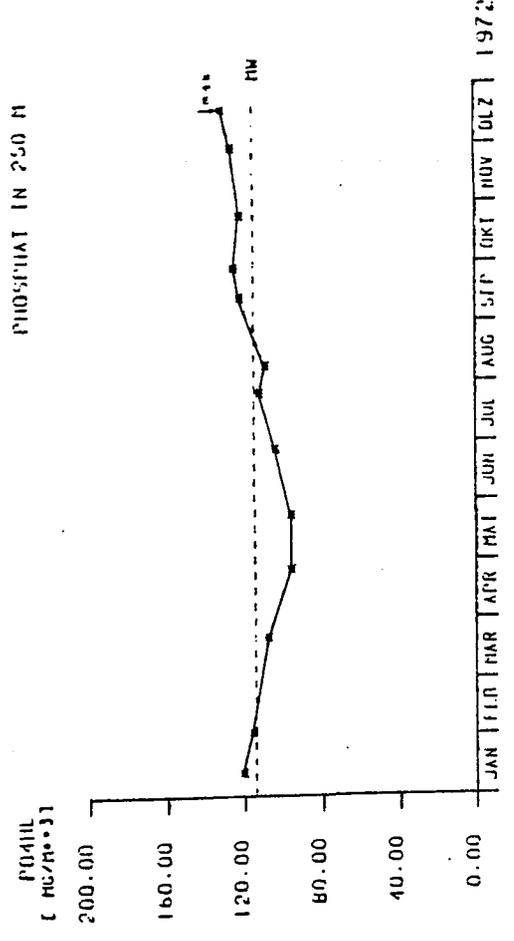
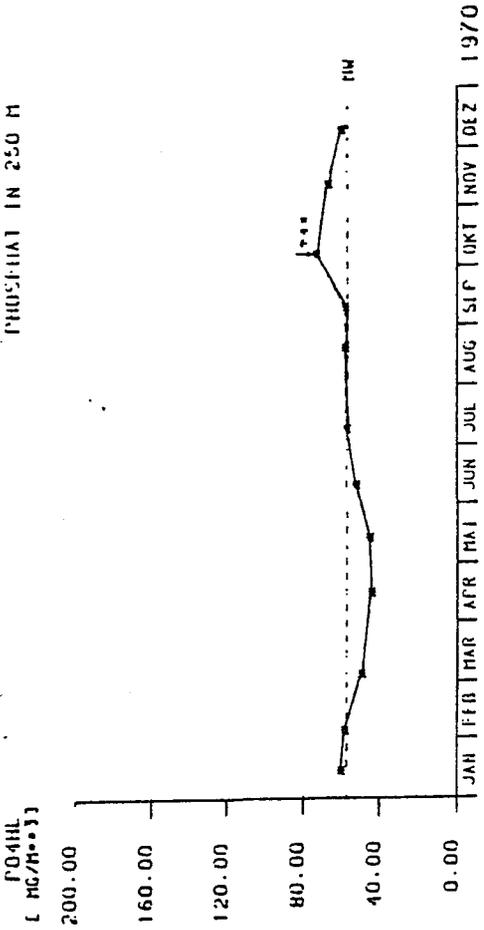
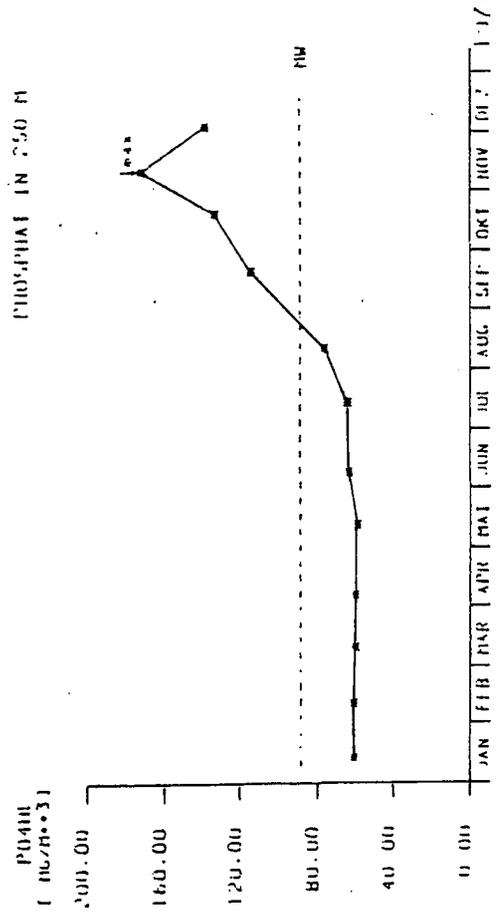
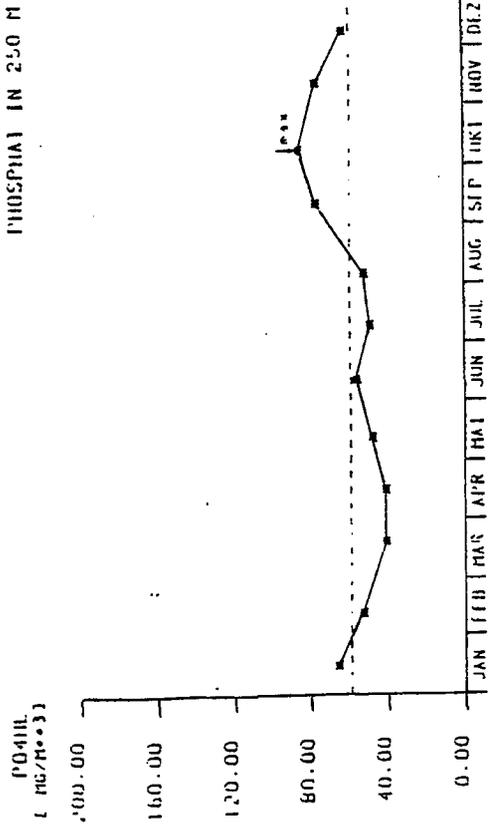


ABB.12 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) ORTHOPHOSPHAT IN 250 M (MG P/M³)

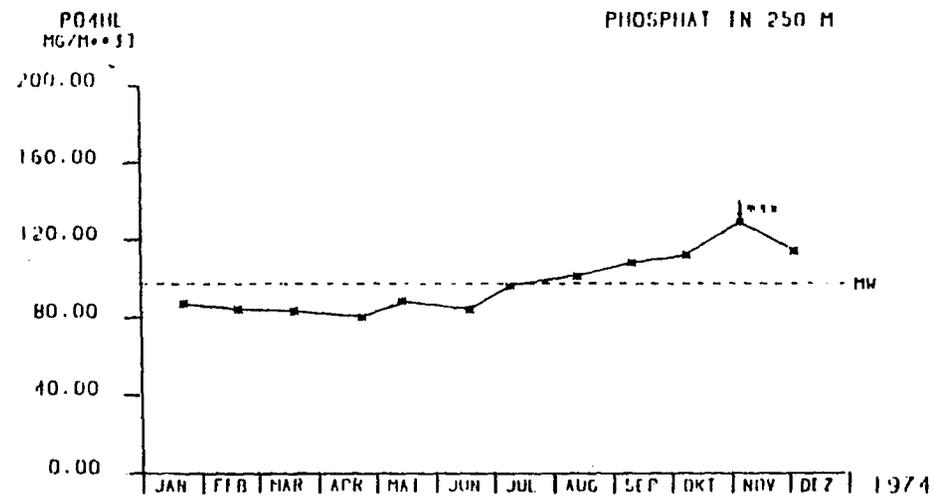
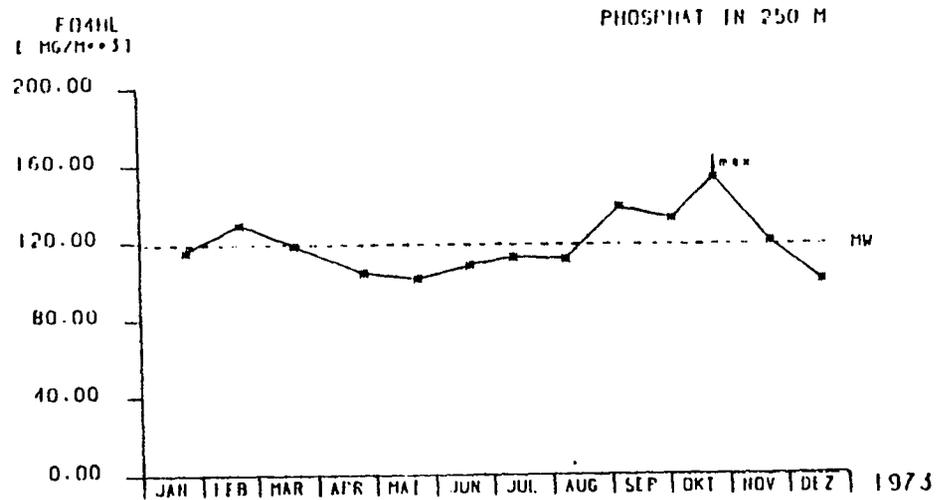


Abb.12 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ORTHOPHOSPHAT IN 250 M (MG P/M³)

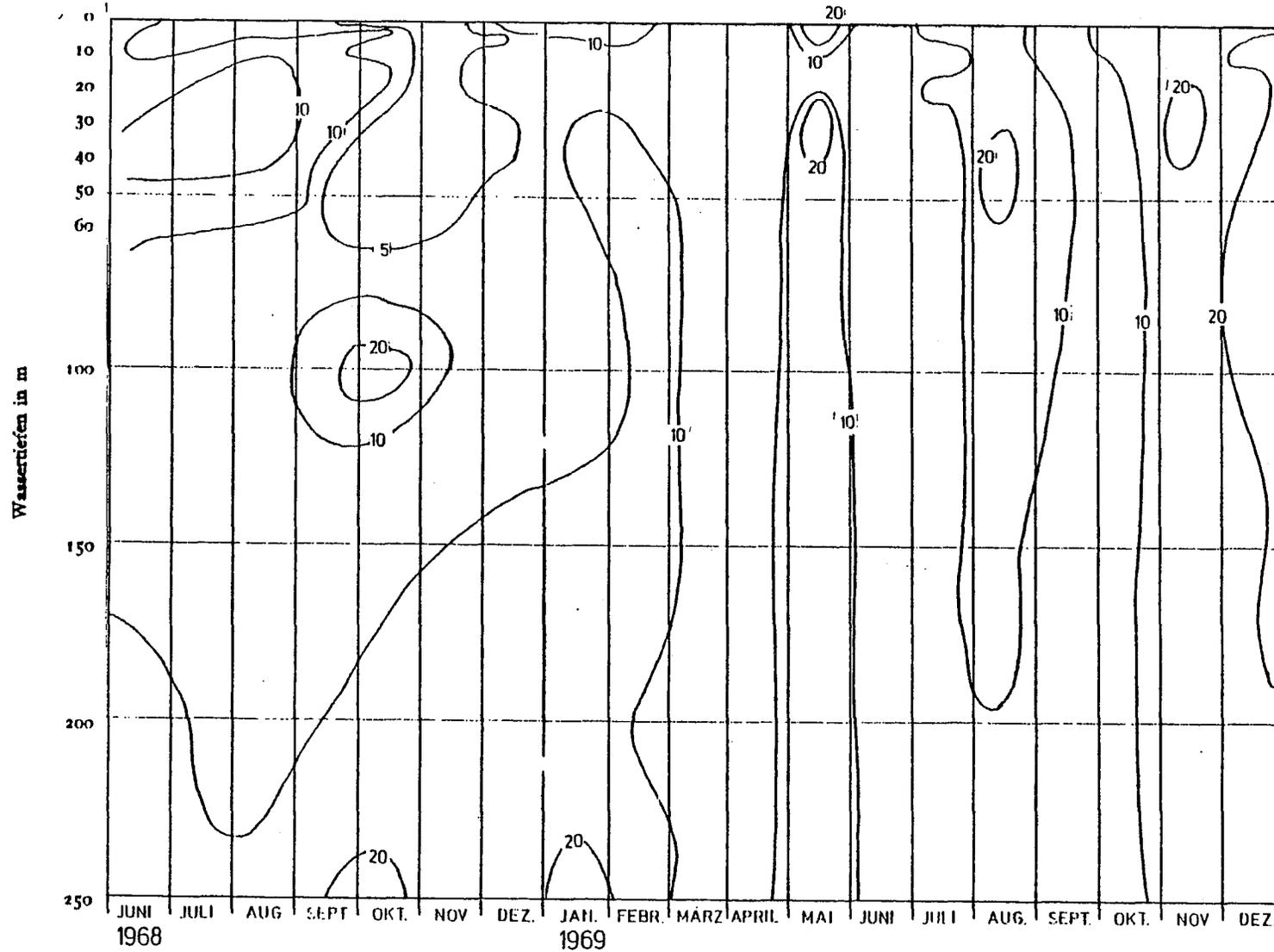


ABB. 13 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) HYDROLYSIERBARER PHOSPHOR (MG P/M³)

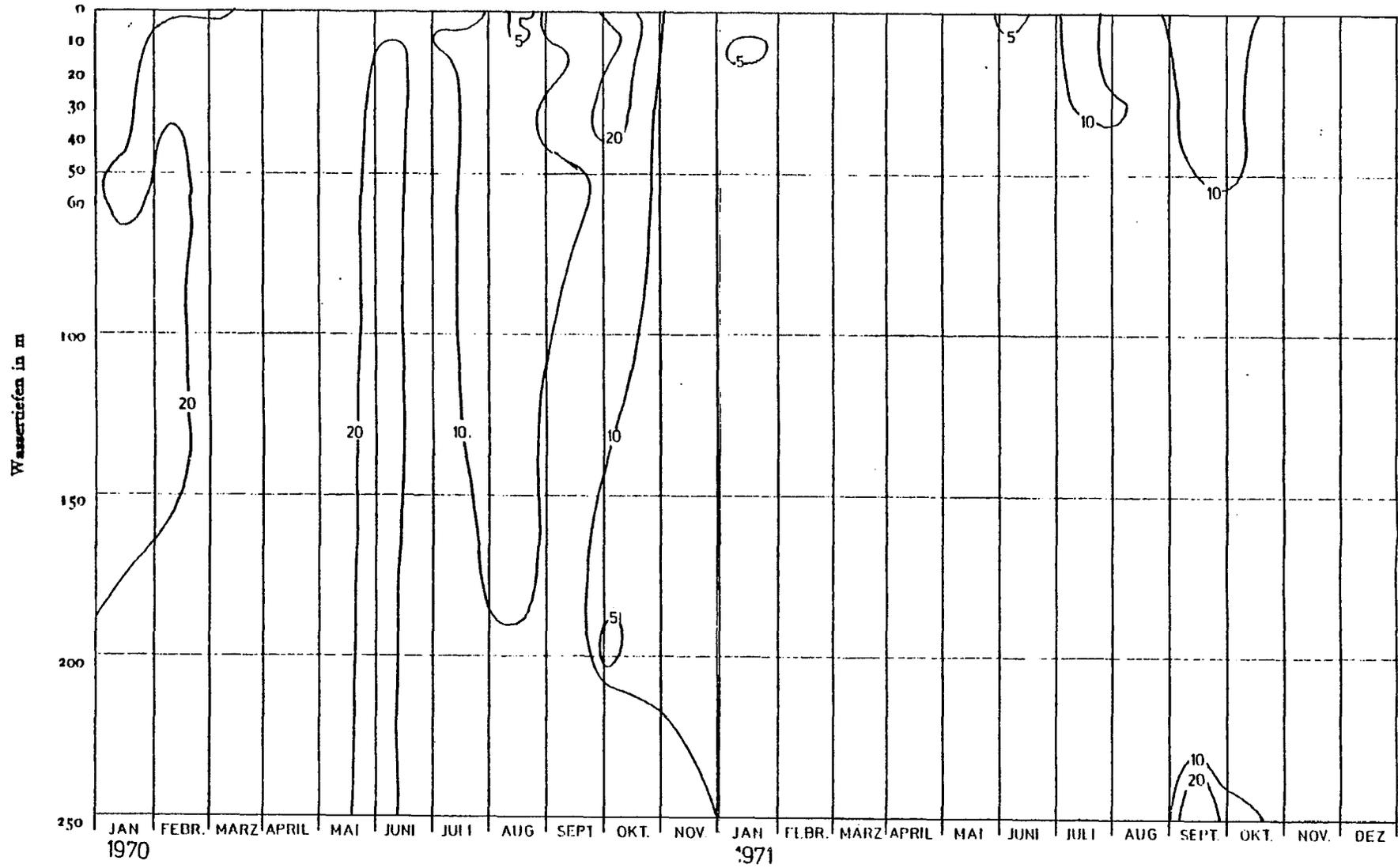


ABB.13 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) HYDROLYSIERBARER PHOSPHOR (MG P/M³)

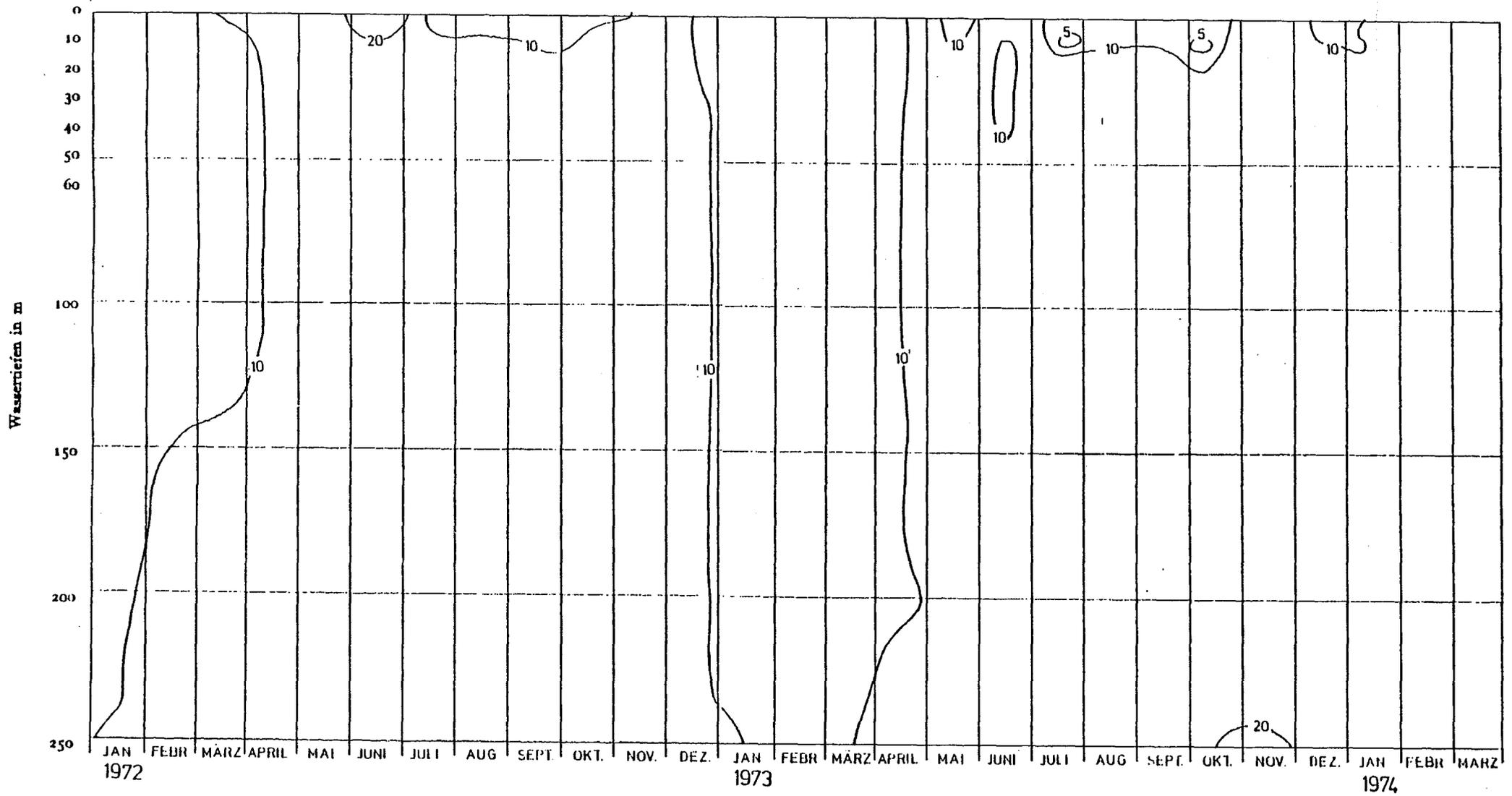


ABB.13 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) HYDROLYSIERBARER PHOSPHOR (MG P/M³)

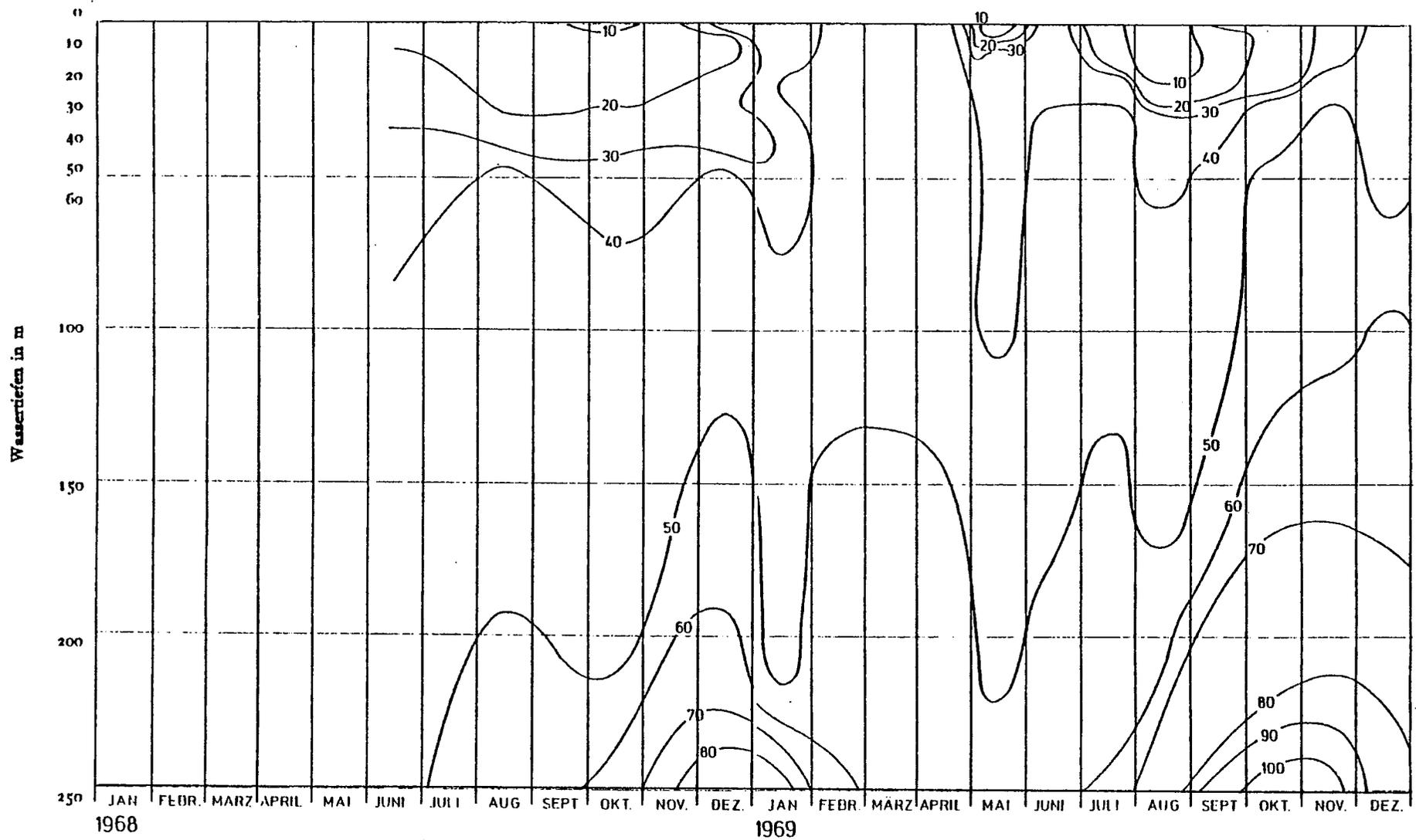


ABB.13A BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) GELÖSTE PHOSPHORVERBINDUNGEN (MG P/M³)

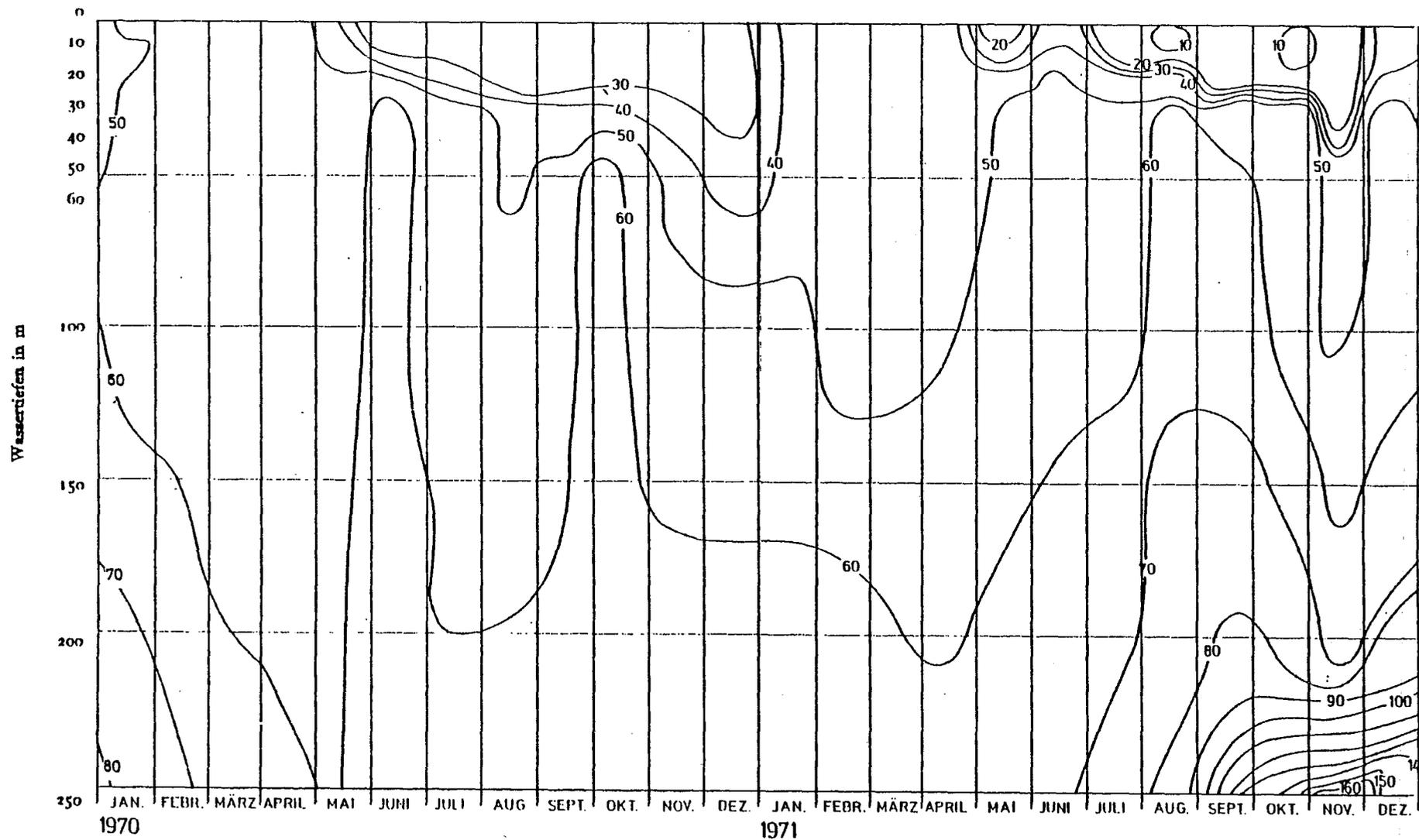


ABB.13A BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) GELÖSTE PHOSPHORVERBINDUNGEN (MG P/M³)

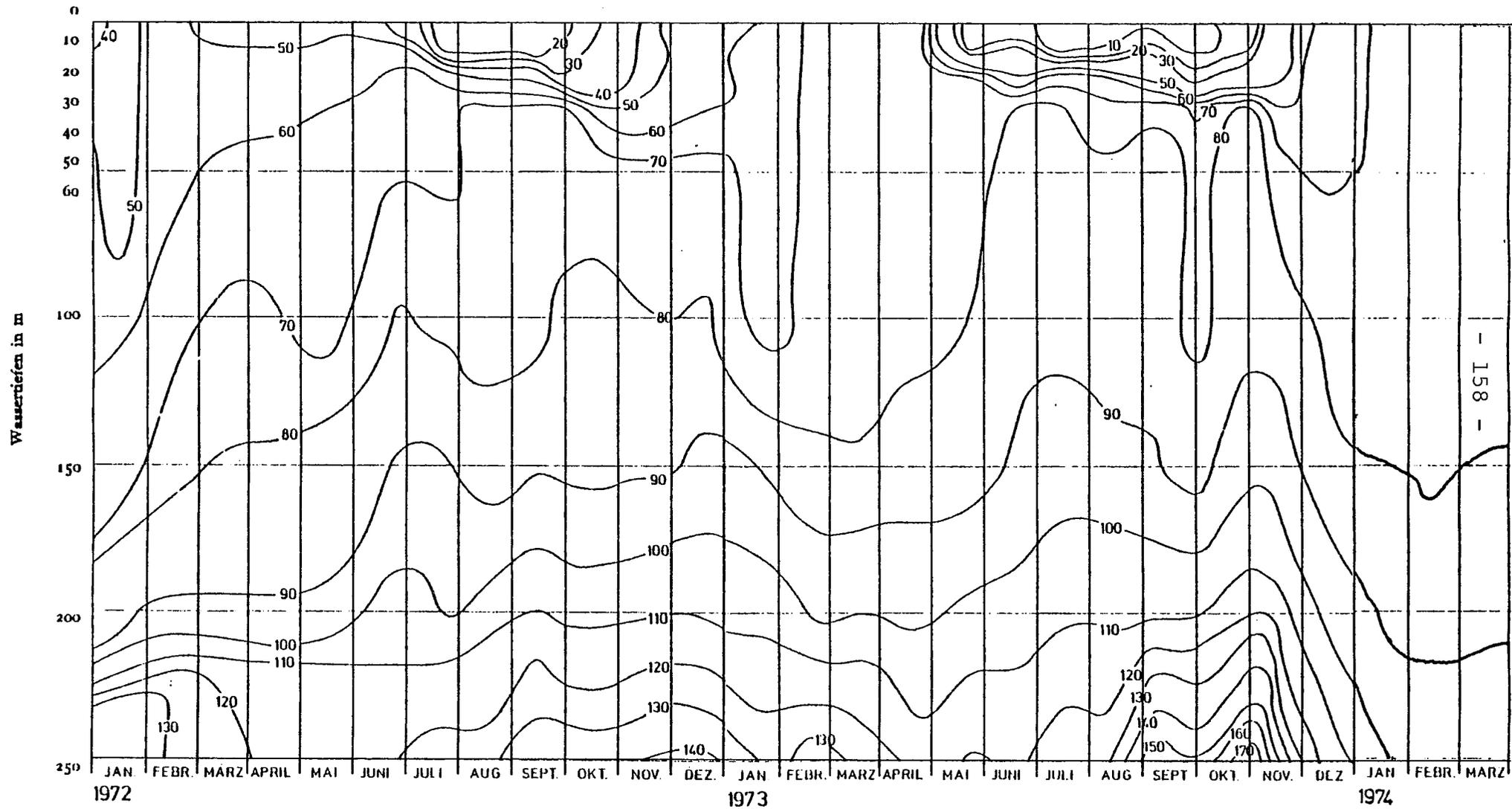
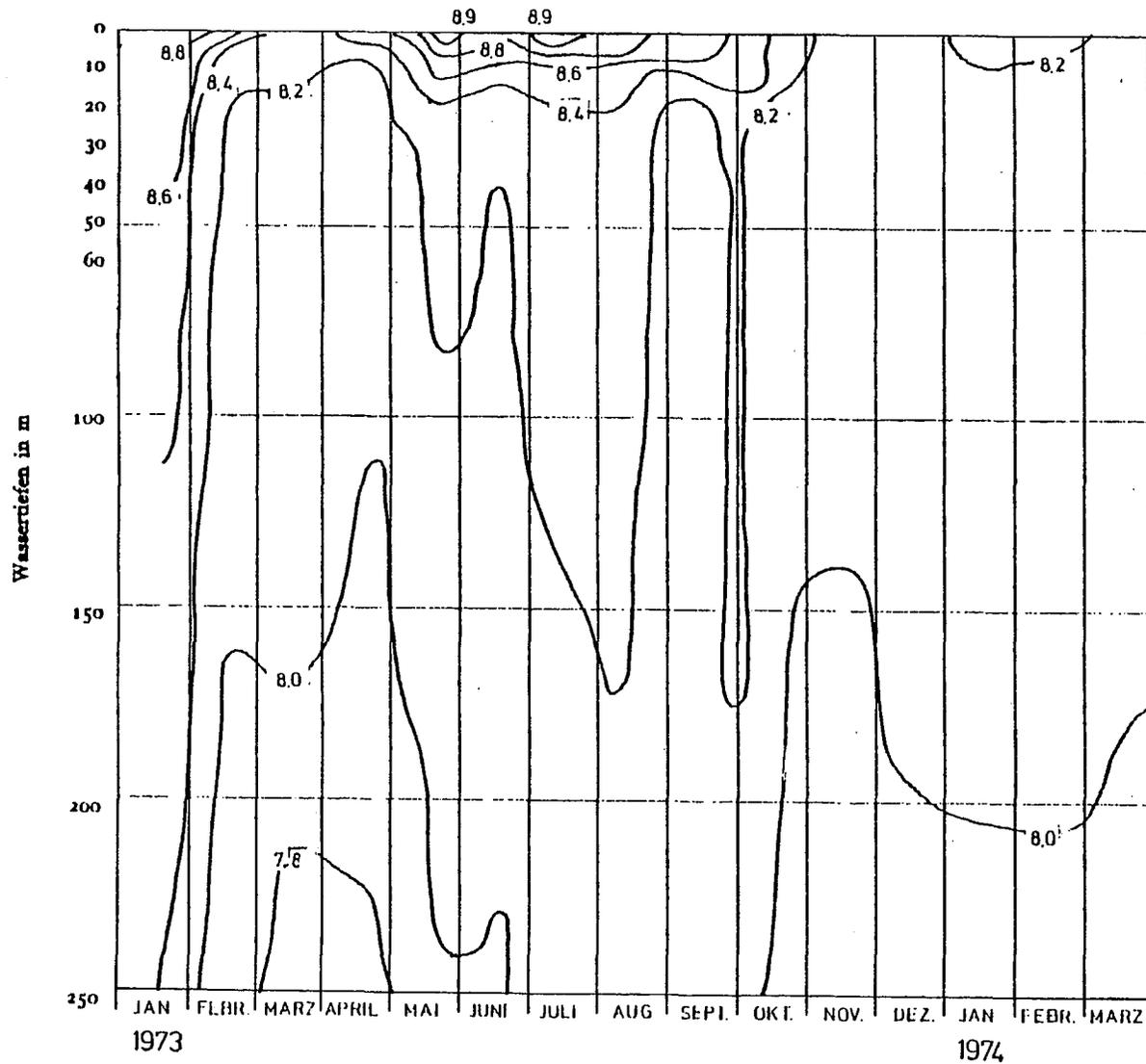


ABB.13A BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) GELÖSTE PHOSPHORVERBINDUNGEN (MG P/M³)



Pil
7.0

ABB.13A BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) GELÖSTE PHOSPHORVERBINDUNGEN (MG P/M³)

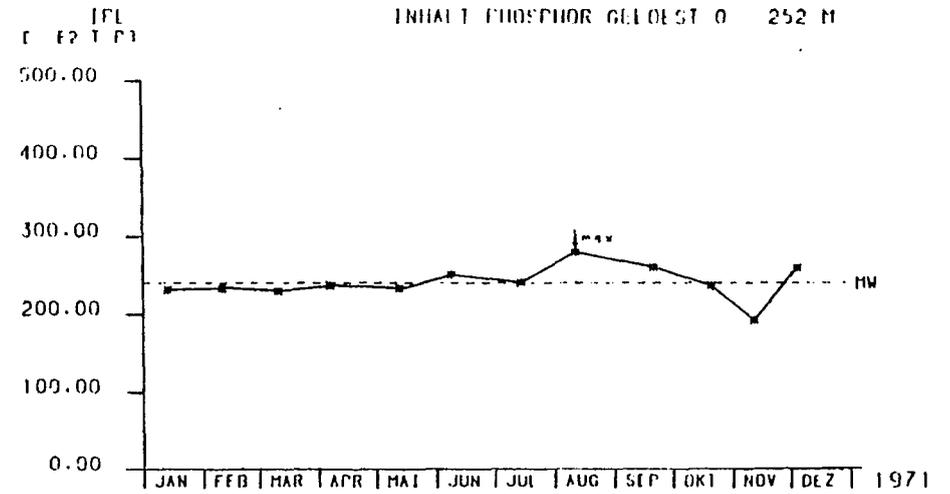
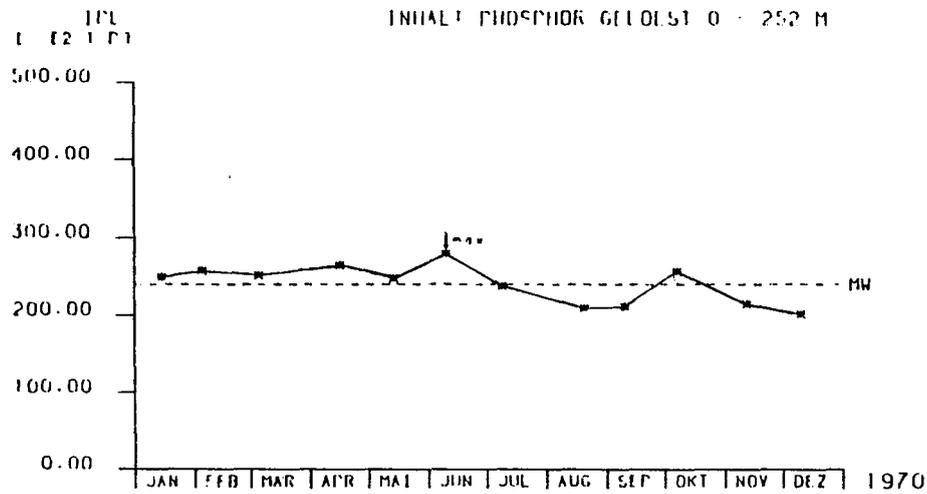
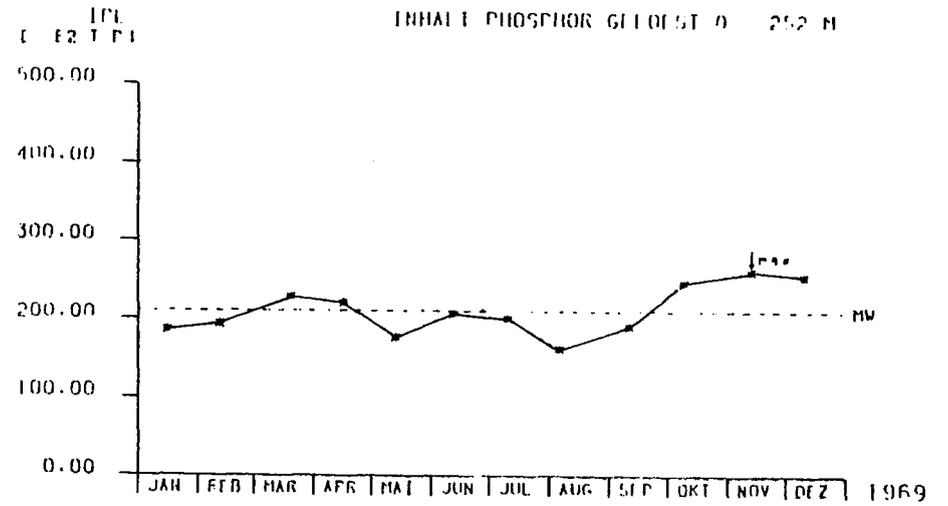
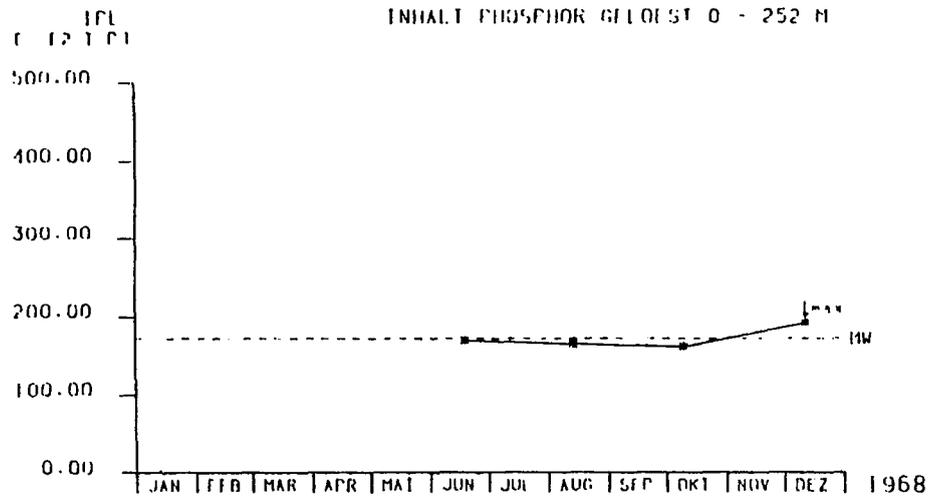


ABB.14 BODENSEE-OBERSEE INHALT AN GELÖSTEN PHOSPHORVERBINDUNGEN (0-250M) (10² T)

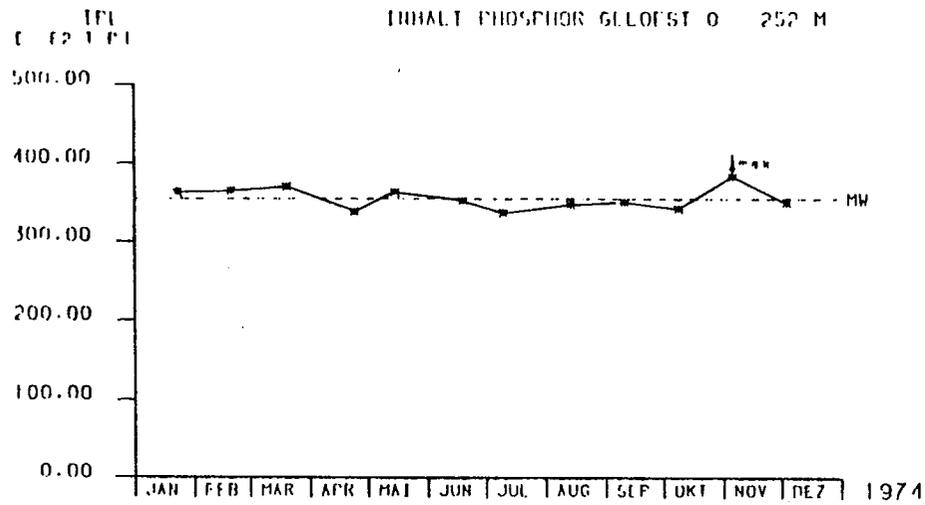
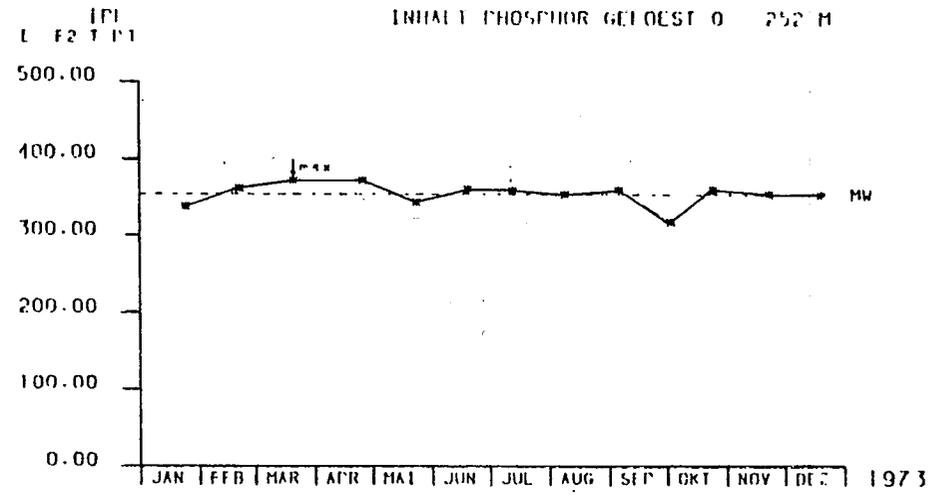
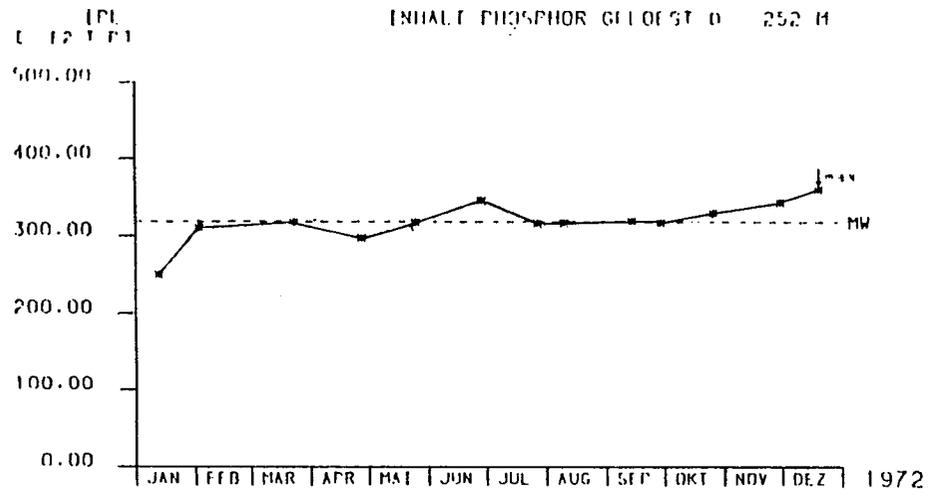


ABB.14 BODENSEE-OBERSEE INHALT AN GELÖSTEN PHOSPHORVERBINDUNGEN (0-250M) (10² T)

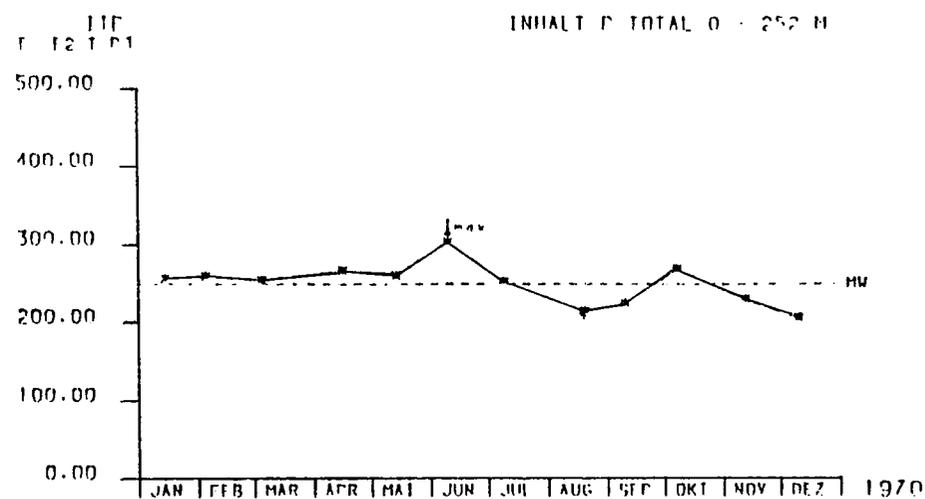
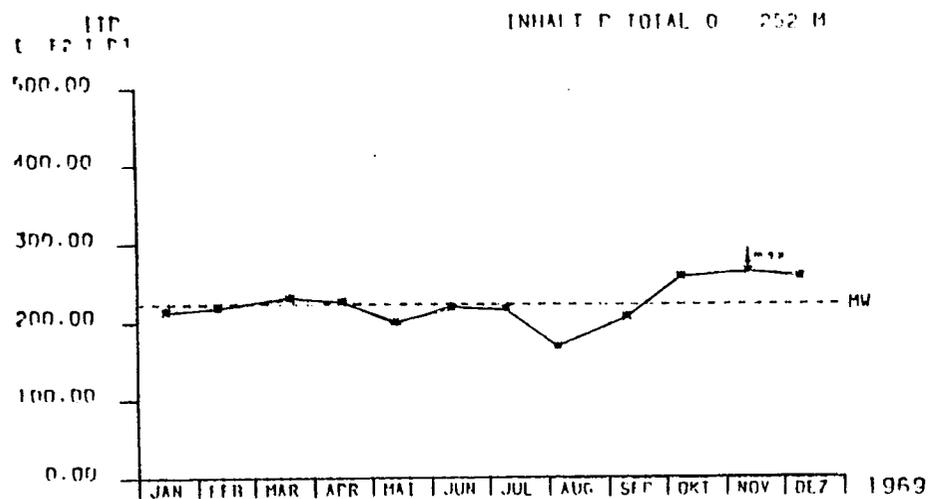
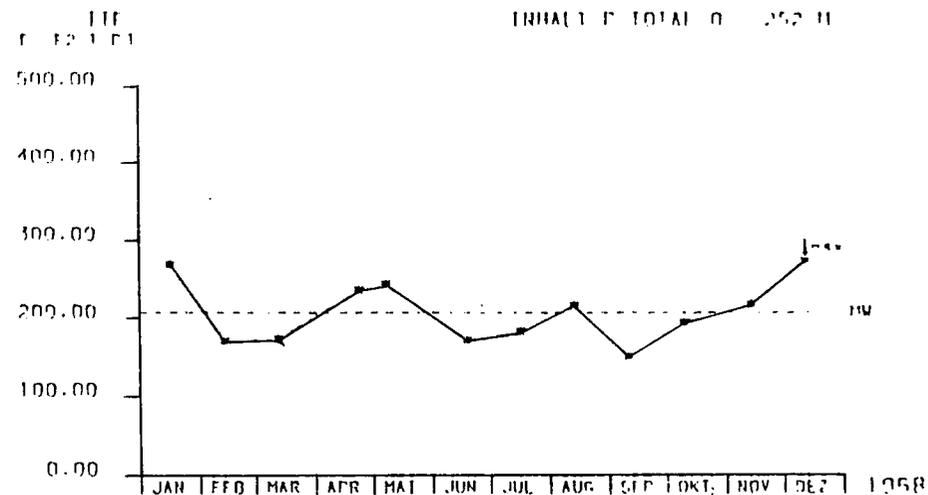
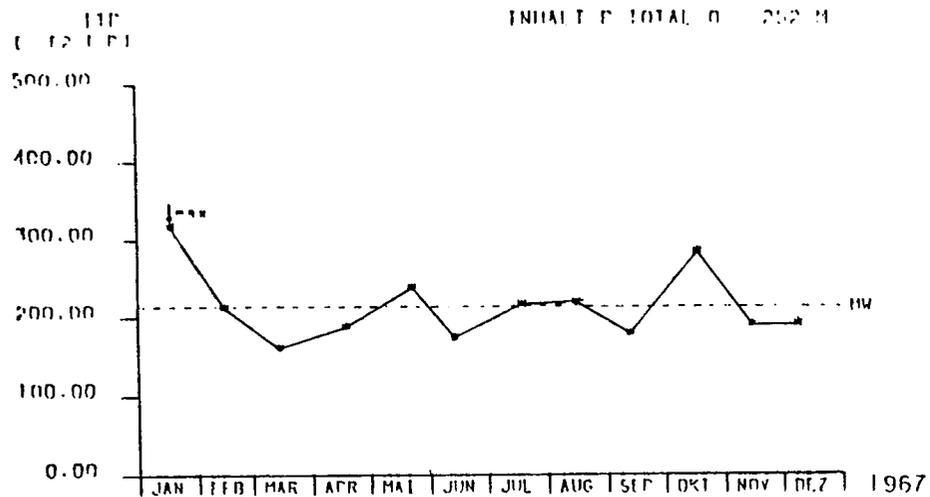


ABB.14 A BODENSEE-OBERSEE INHALT PHOSPHOR-TOTAL (GELÖST U.PARTIK.) (10² T)

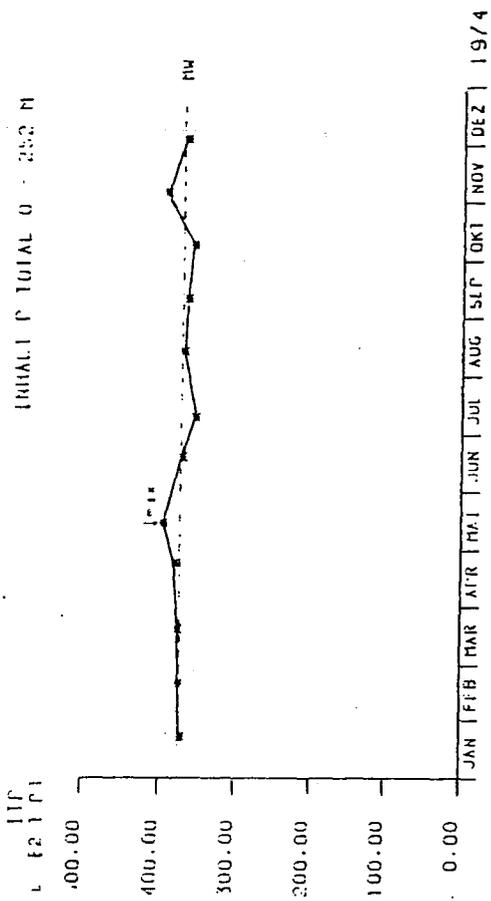
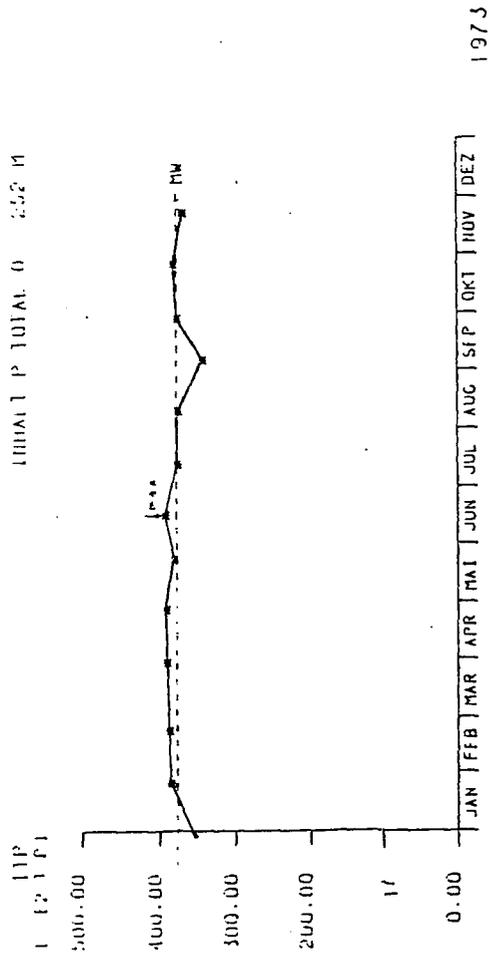
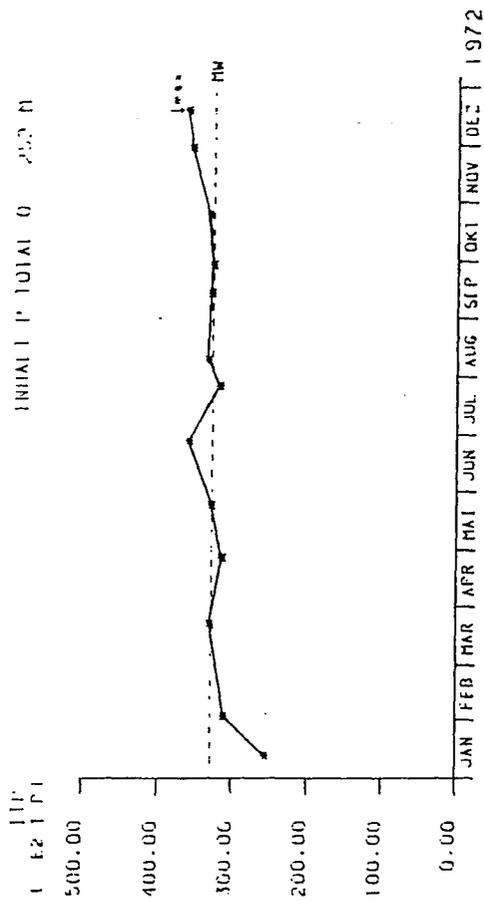
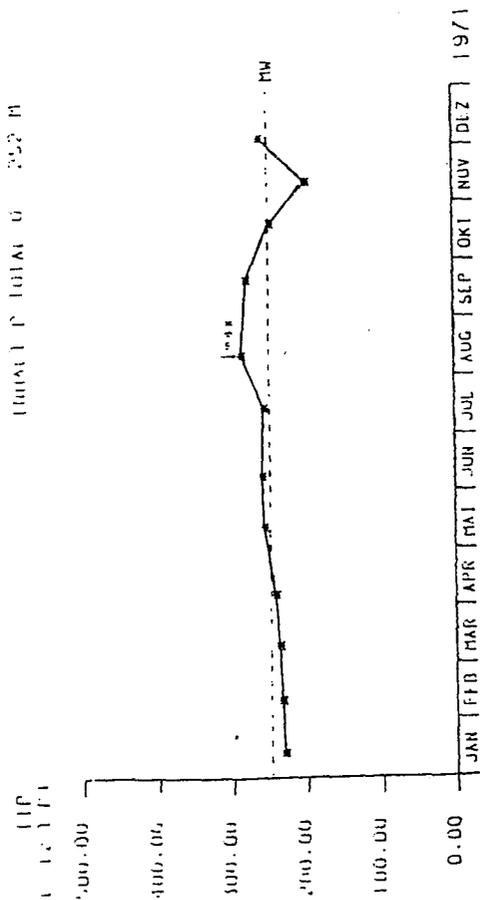


ABB. 14 A BODENSEE-OBERSEE INHALT PHOSPHOR-TOTAL (GELÖST U. PARTIK.) (10² T)

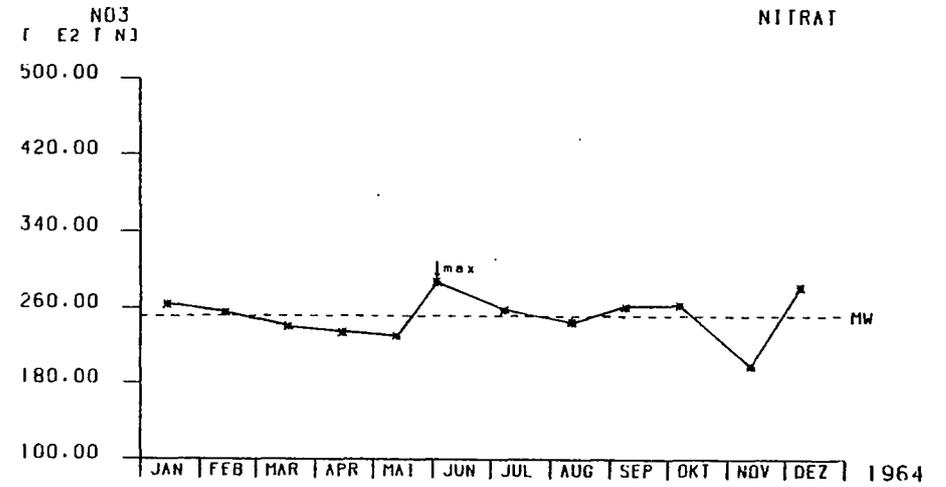
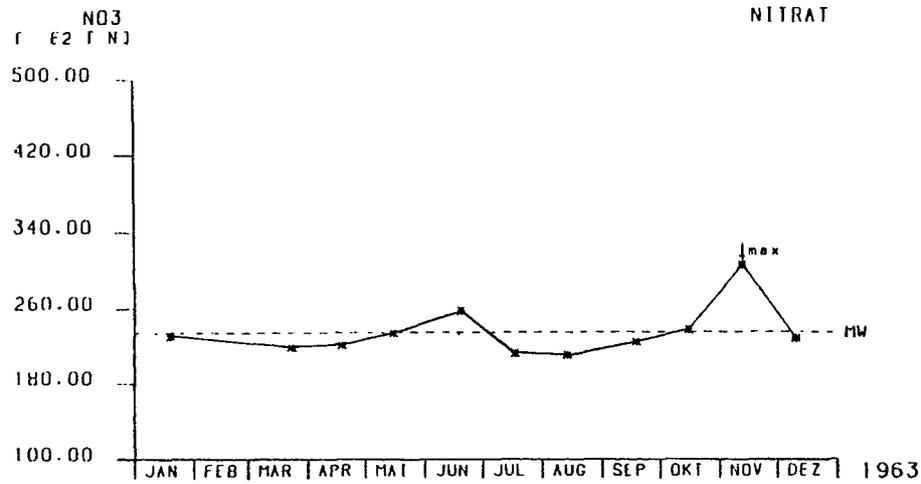
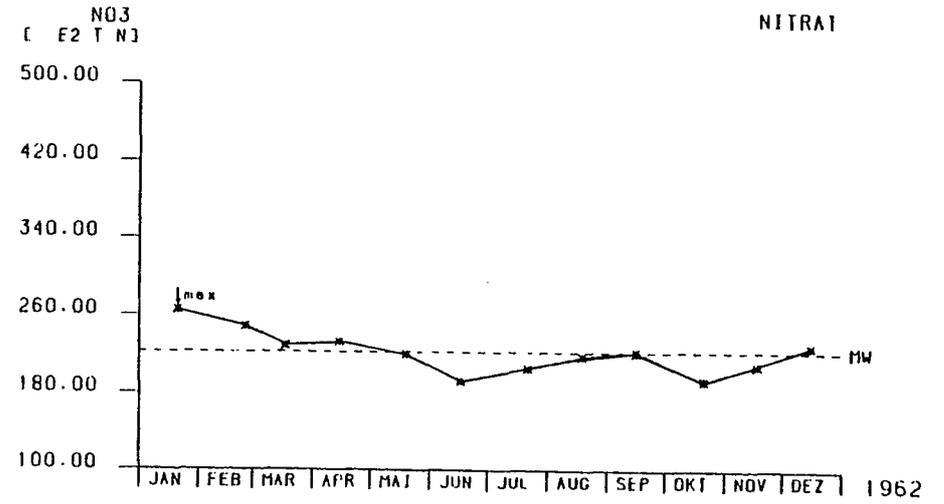
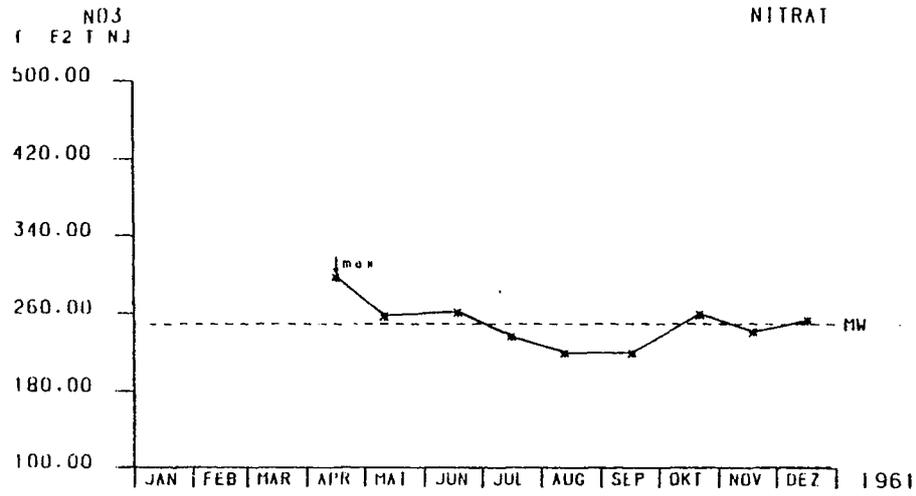


ABB.15 BODENSEE-OBERSEE NITRAT-INHALT (10² T N)

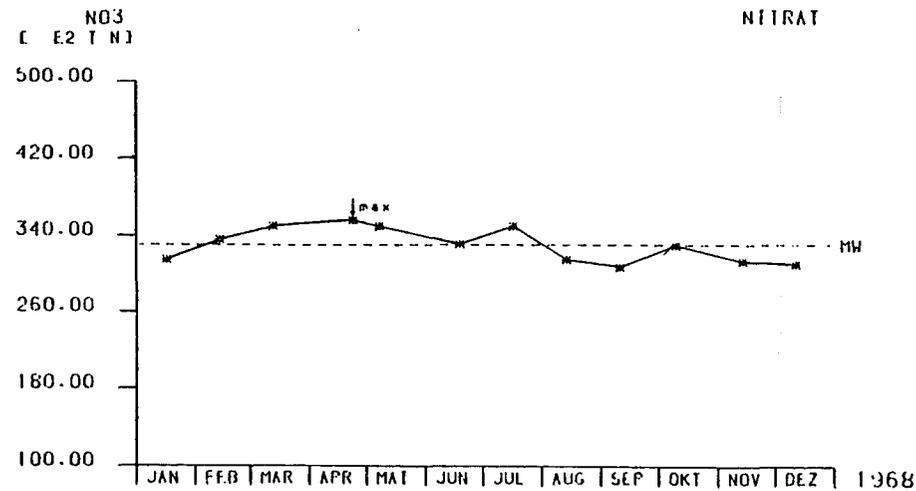
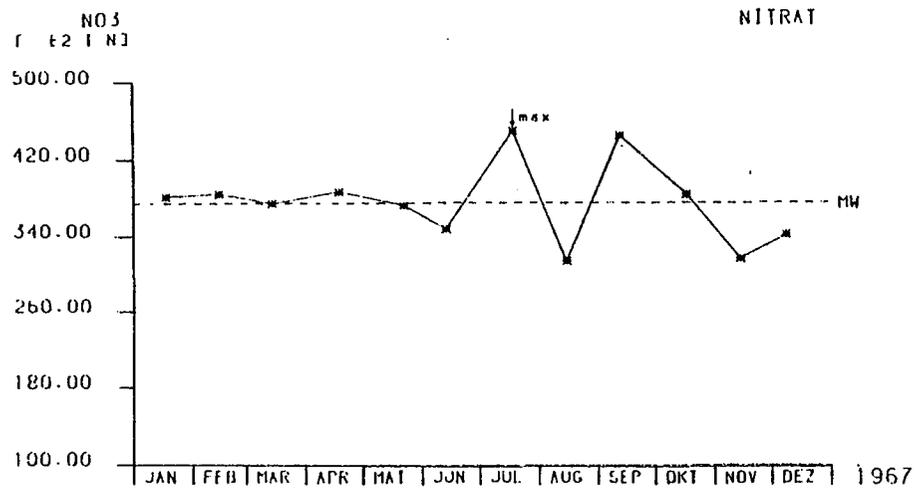
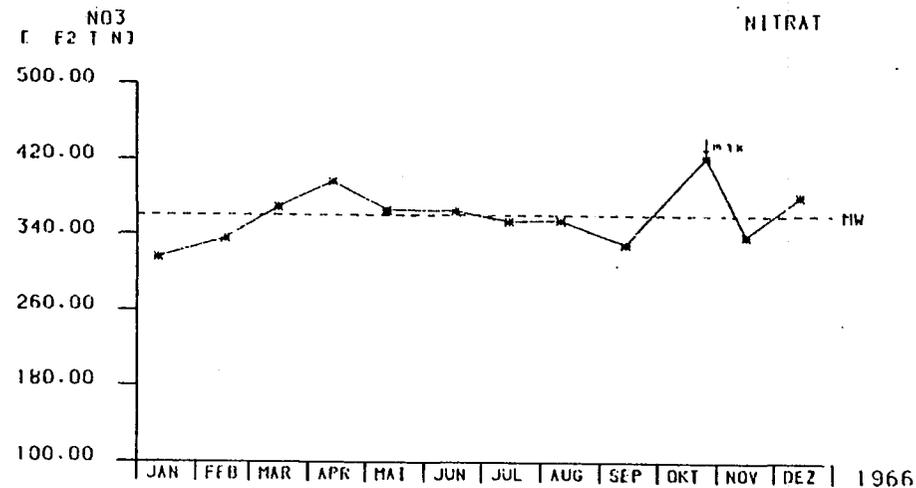
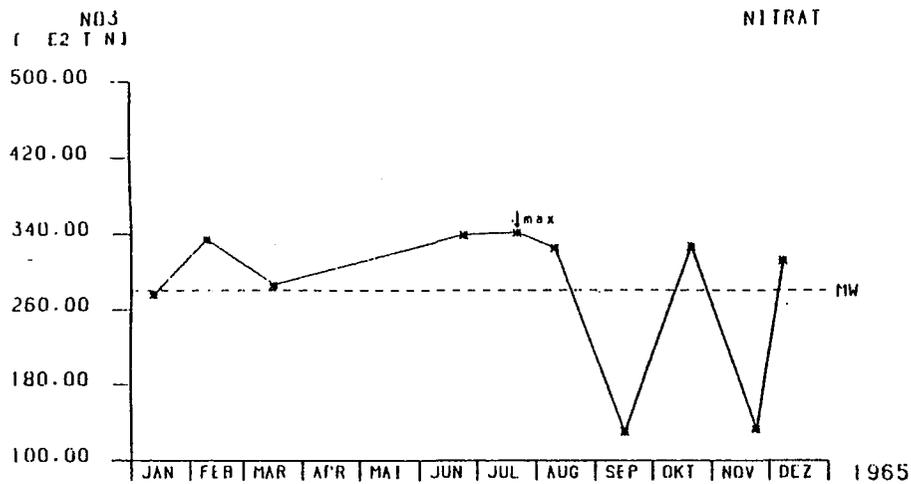


ABB.15 BODENSEE-OBERSEE NITRAT-INHALT (10² T N)

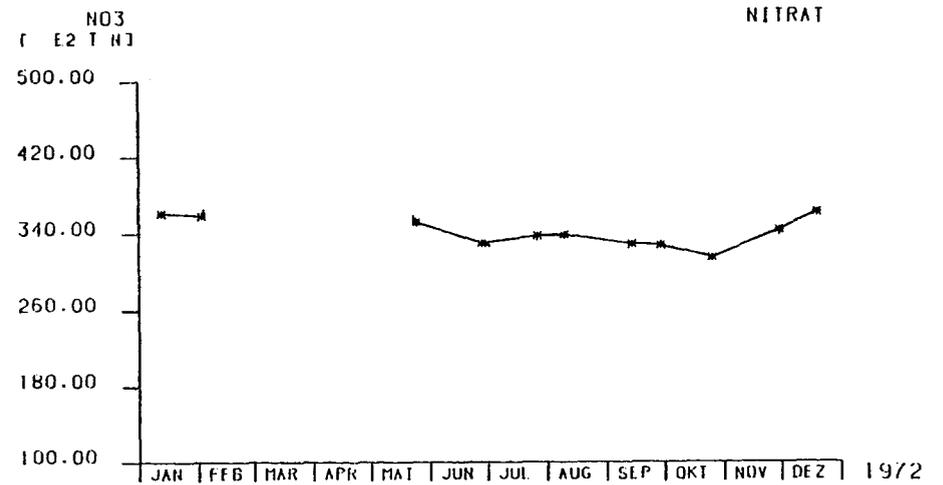
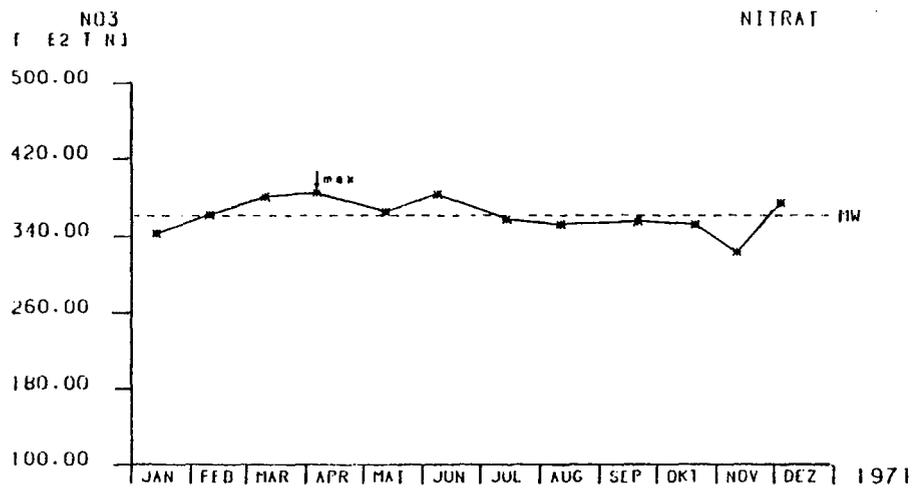
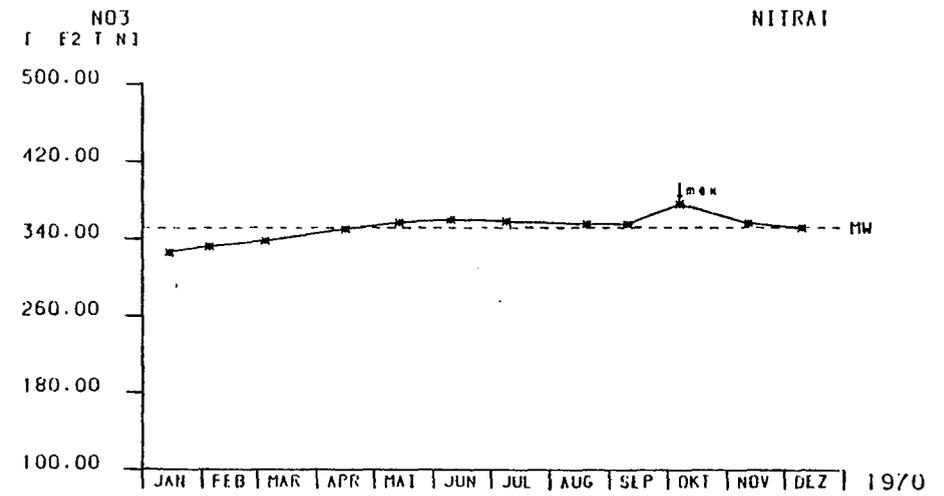
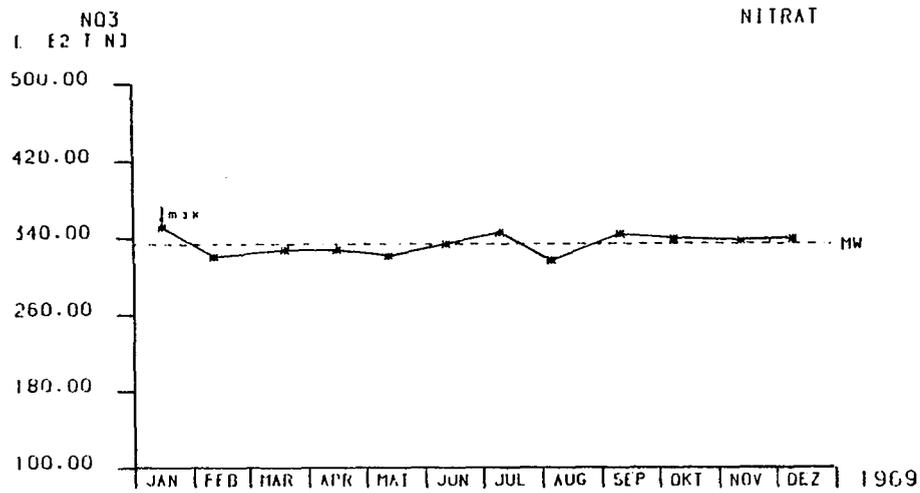


ABB.15 BODENSEE-OBERSEE NITRAT-INHALT (10² T N)

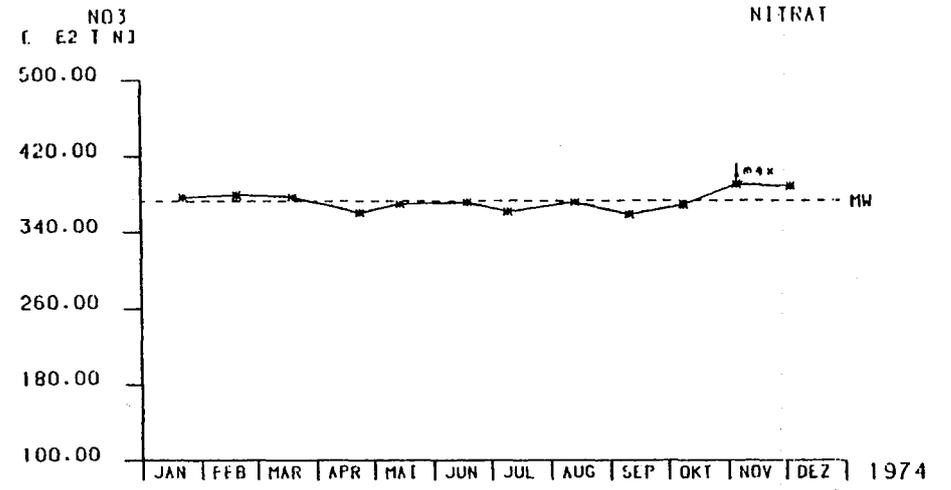
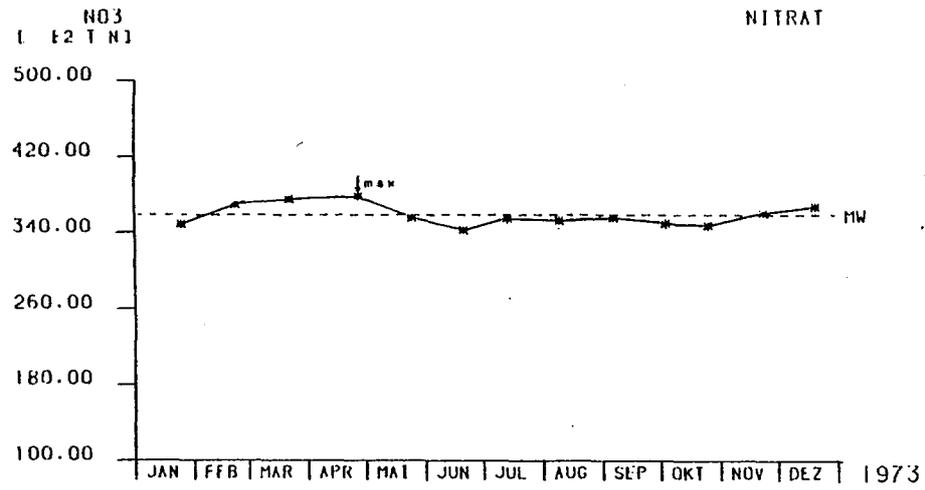


ABB.15 BODENSEE-OBERSEE NITRAT-INHALT (10² T N)

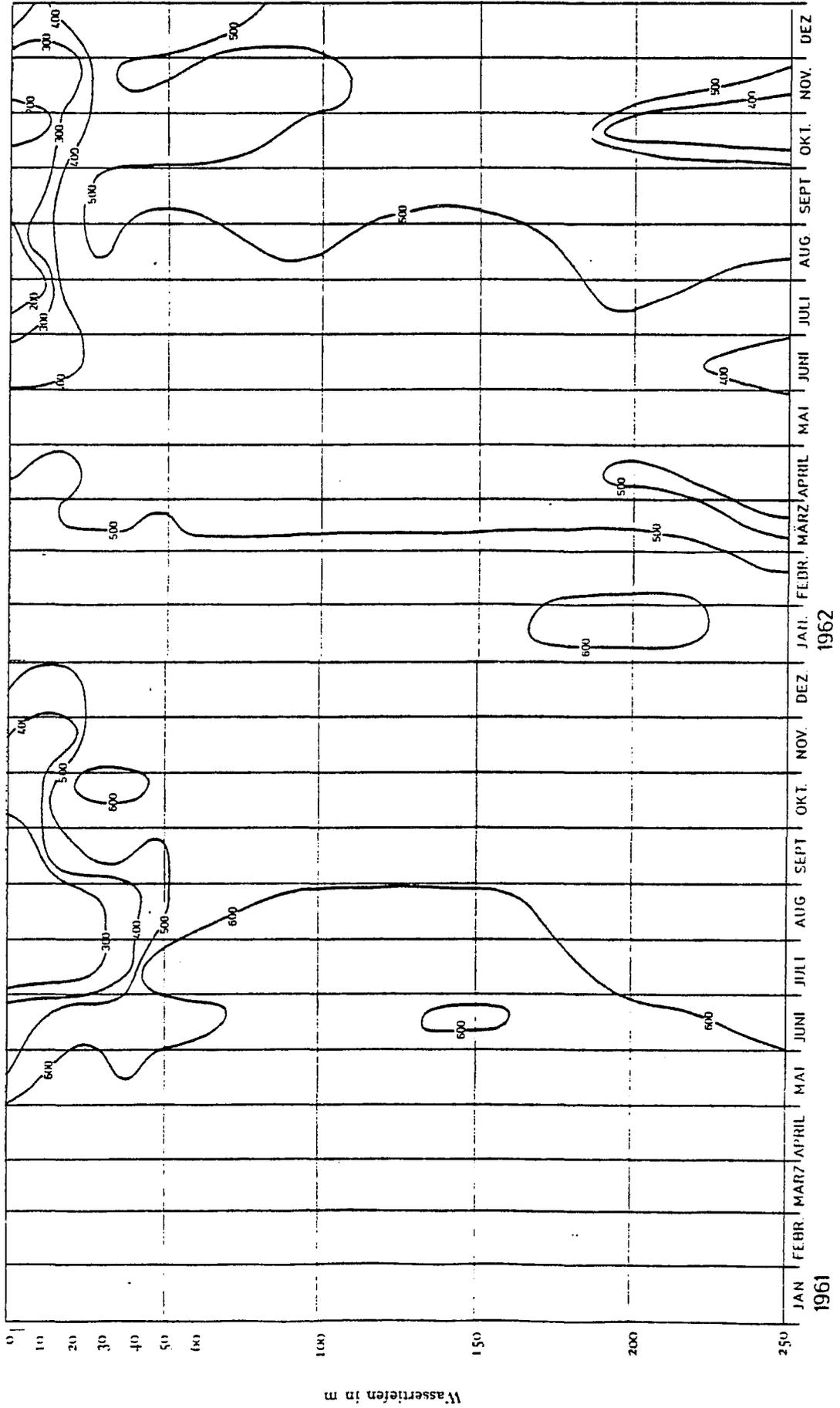


ABB. 16 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-JTTWIL) NITRAT (MG N/M³)

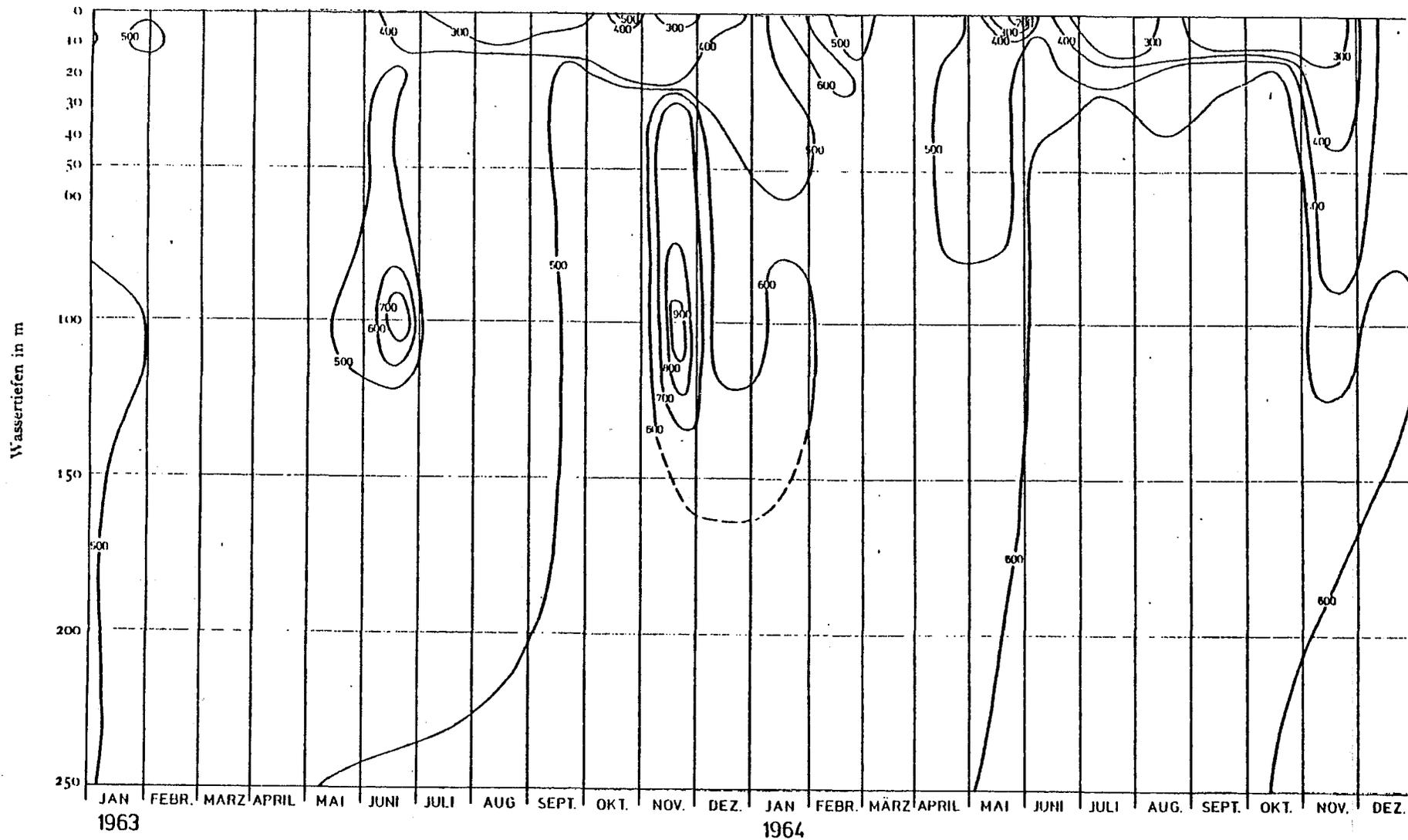


ABB.16 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRAT (MG N/M³)

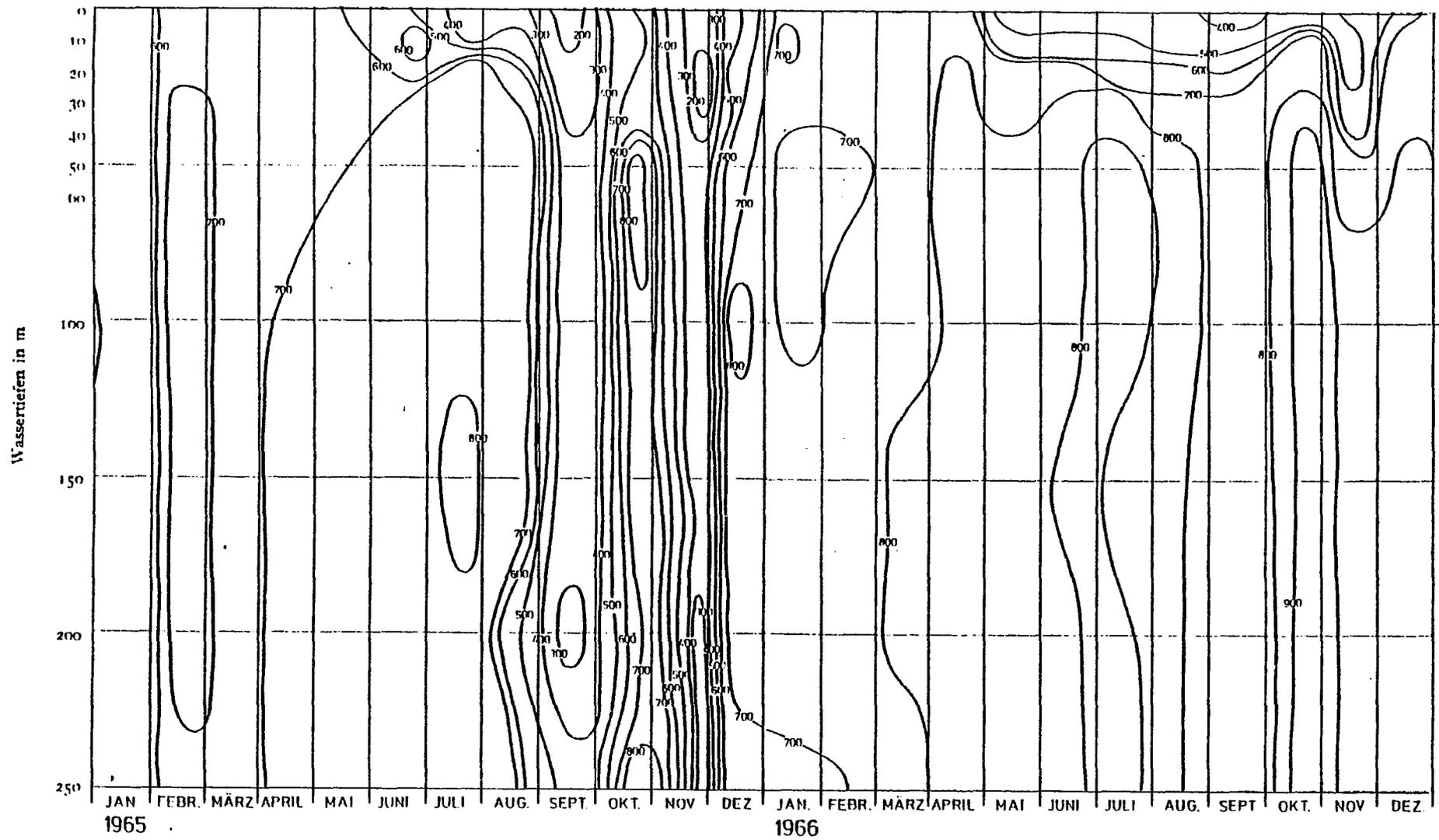


ABB.16 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRAT (MG N/M³)

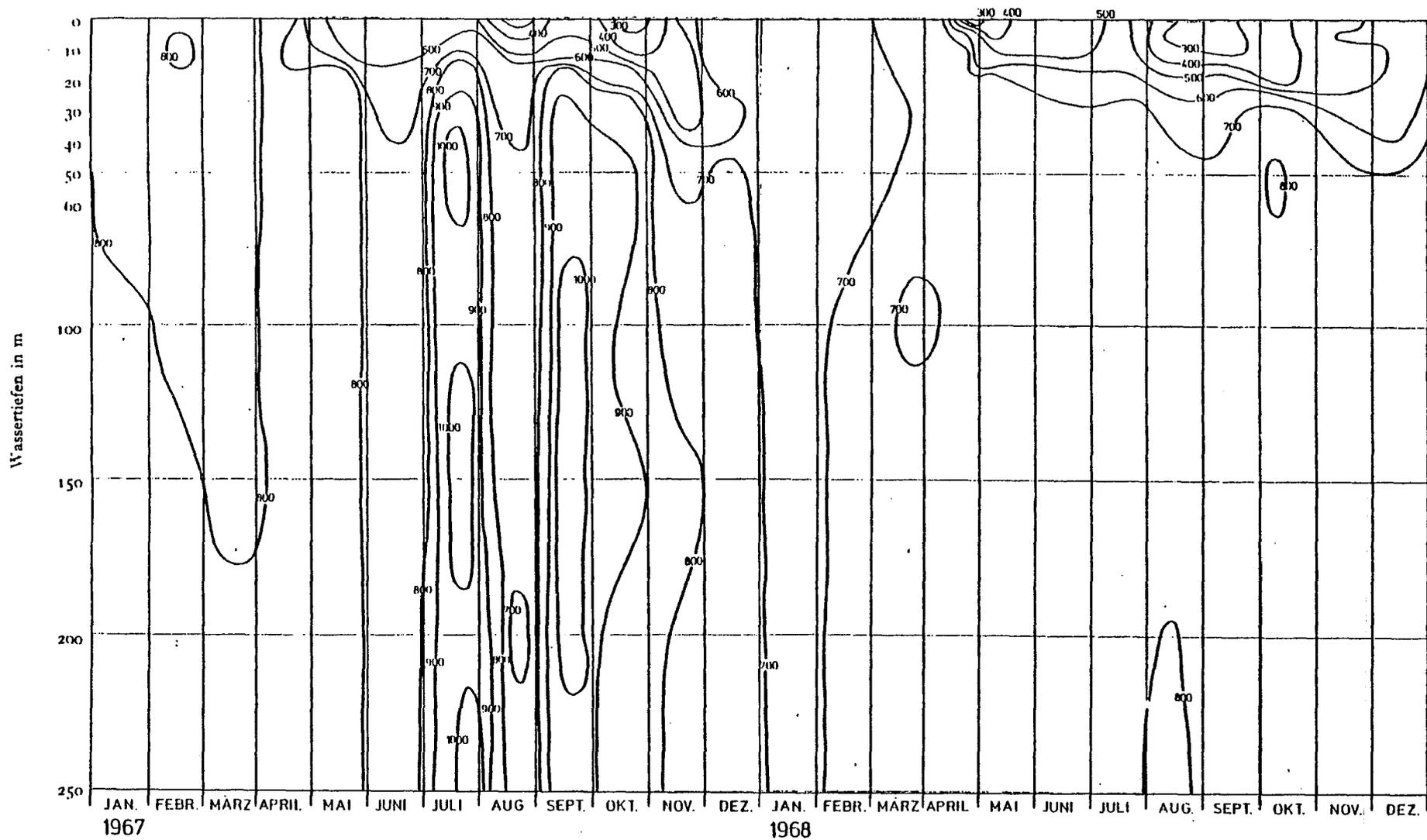


ABB.16 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRAT (MG N/M³)

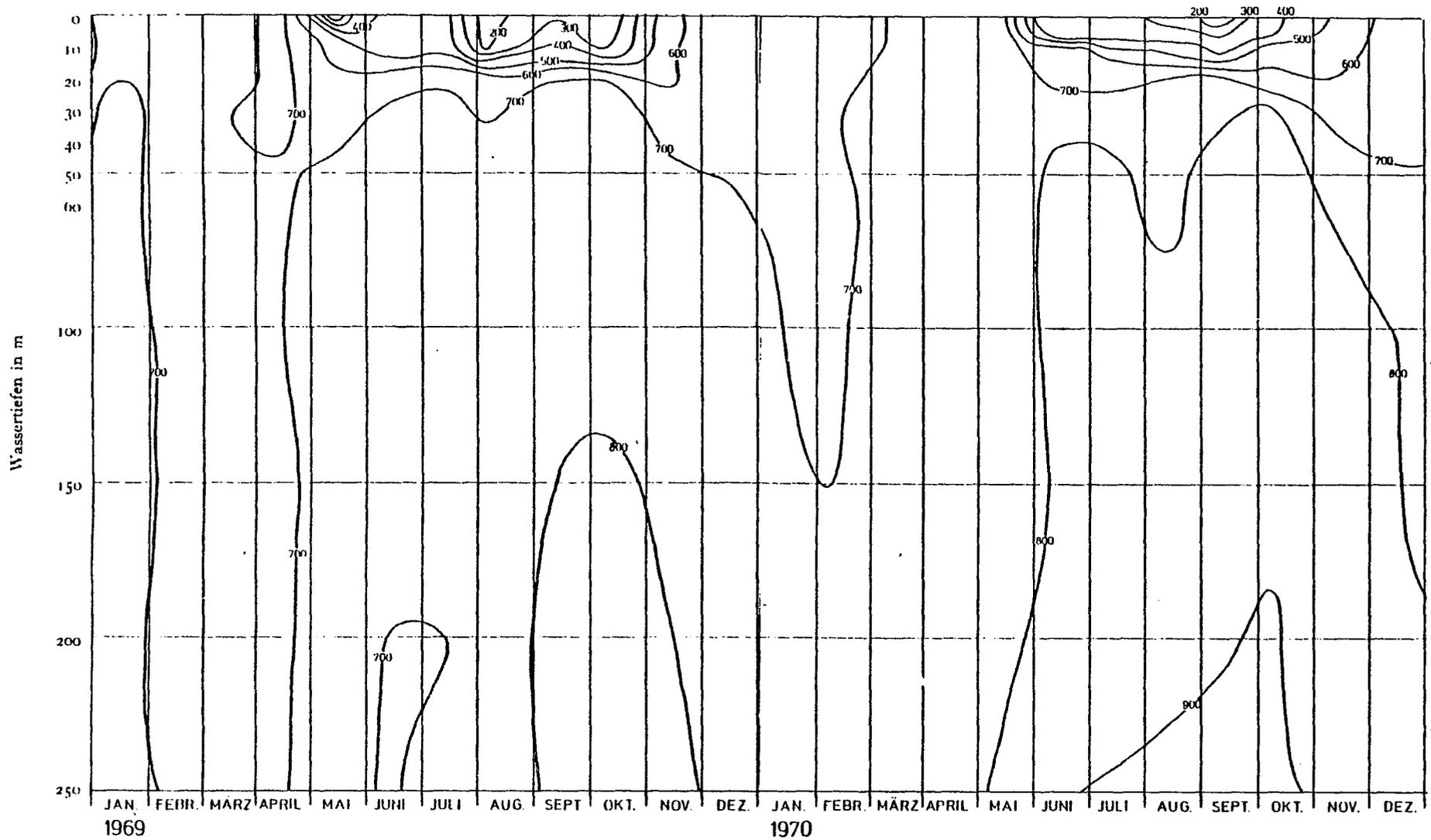


ABB.16 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRAT (MG N/M³)

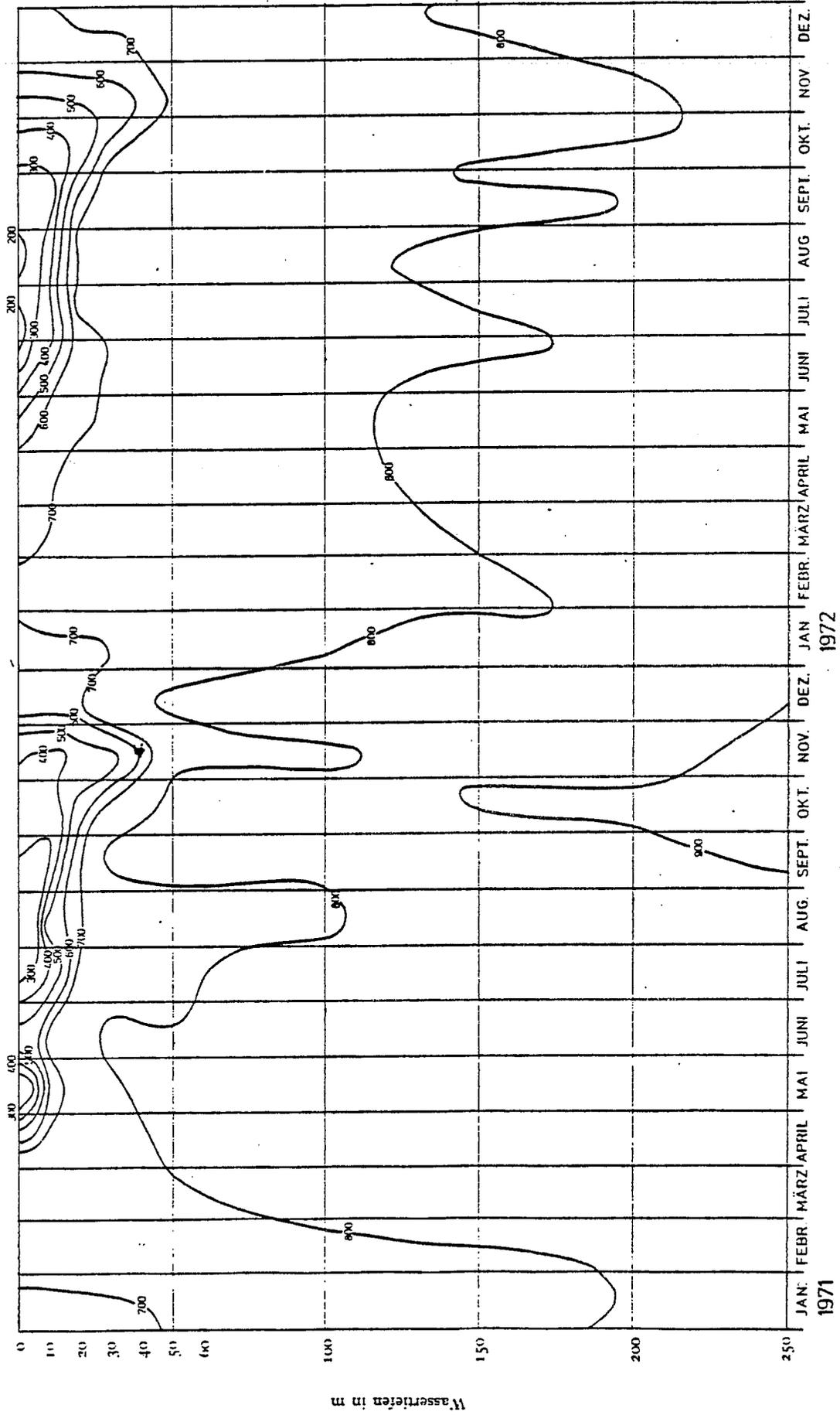


ABB. 16 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-JÜTTWIL) NITRAT (MG N/M³)

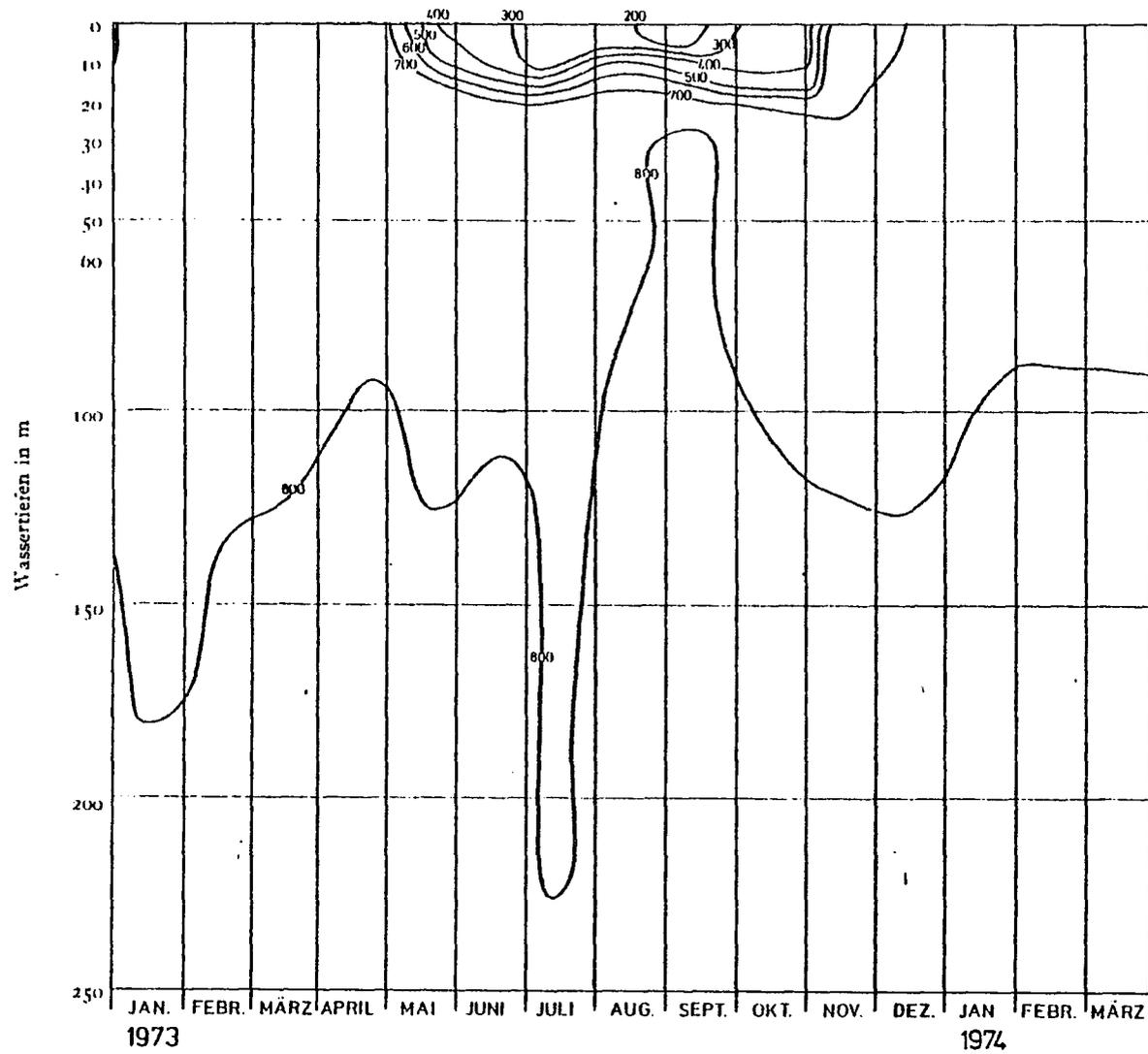


ABB.16 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRAT (MG N/M³)

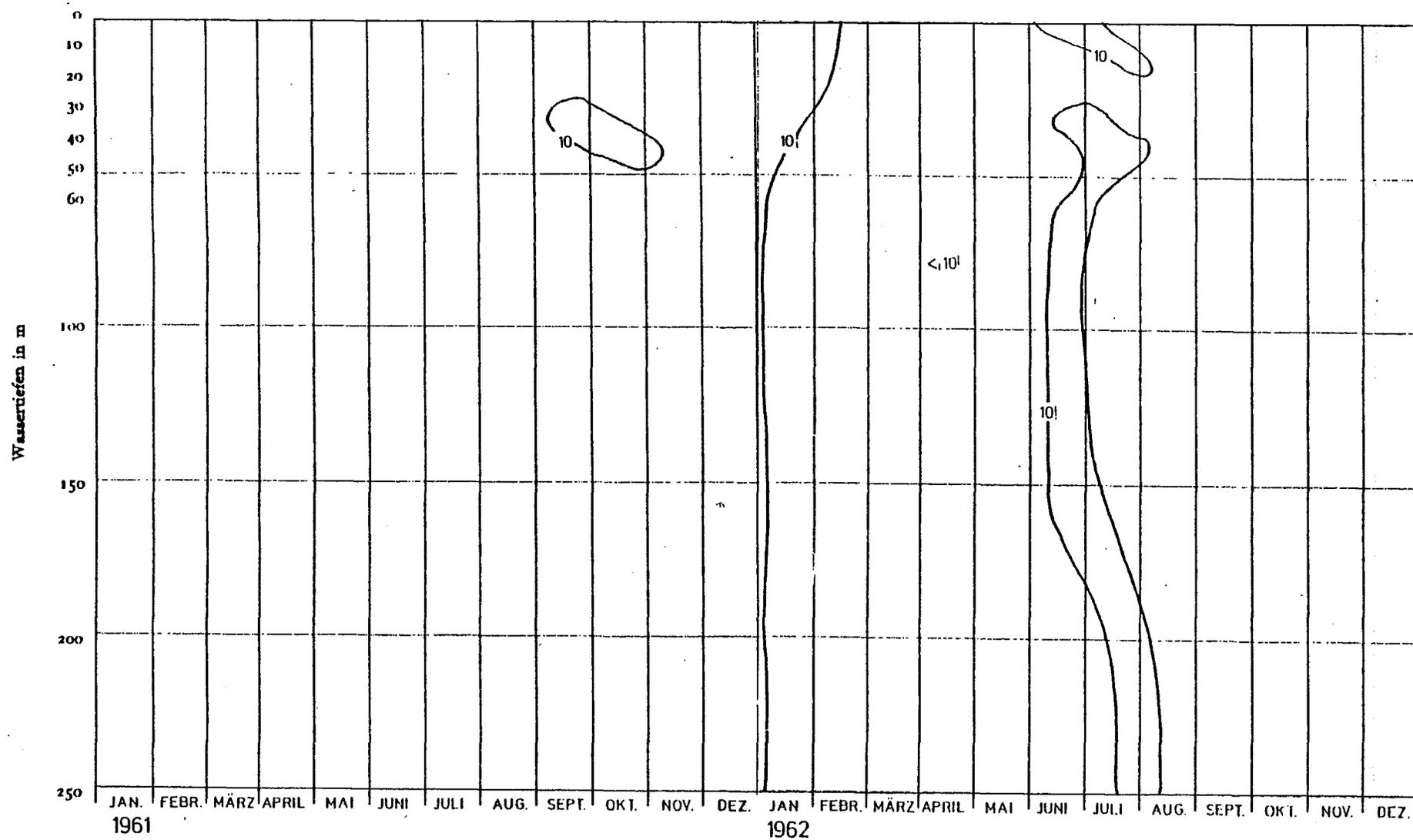


ABB.17 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) AMMONIUM (MG N/M^3)

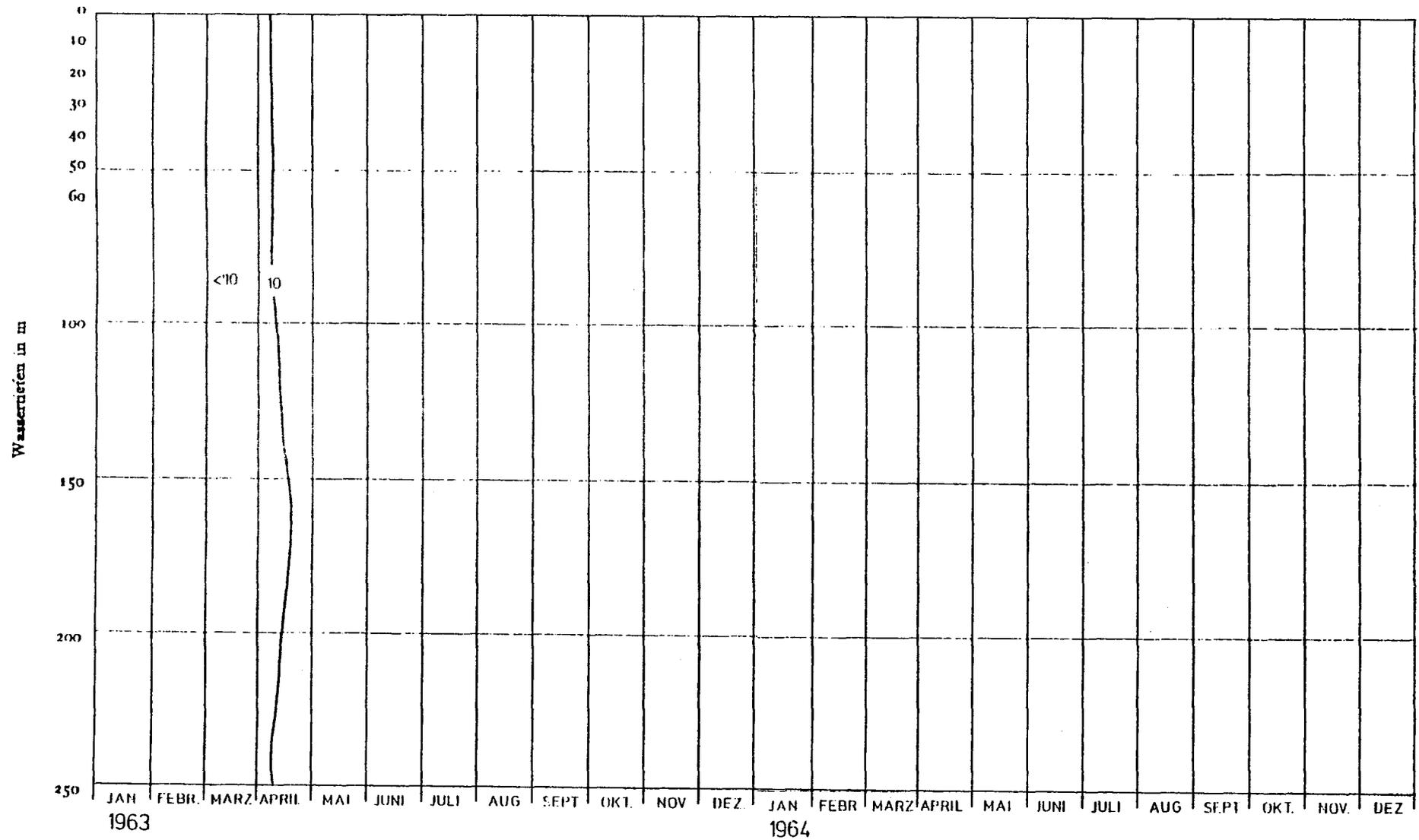


ABB.17 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) AMMONIUM (MG N/M³)

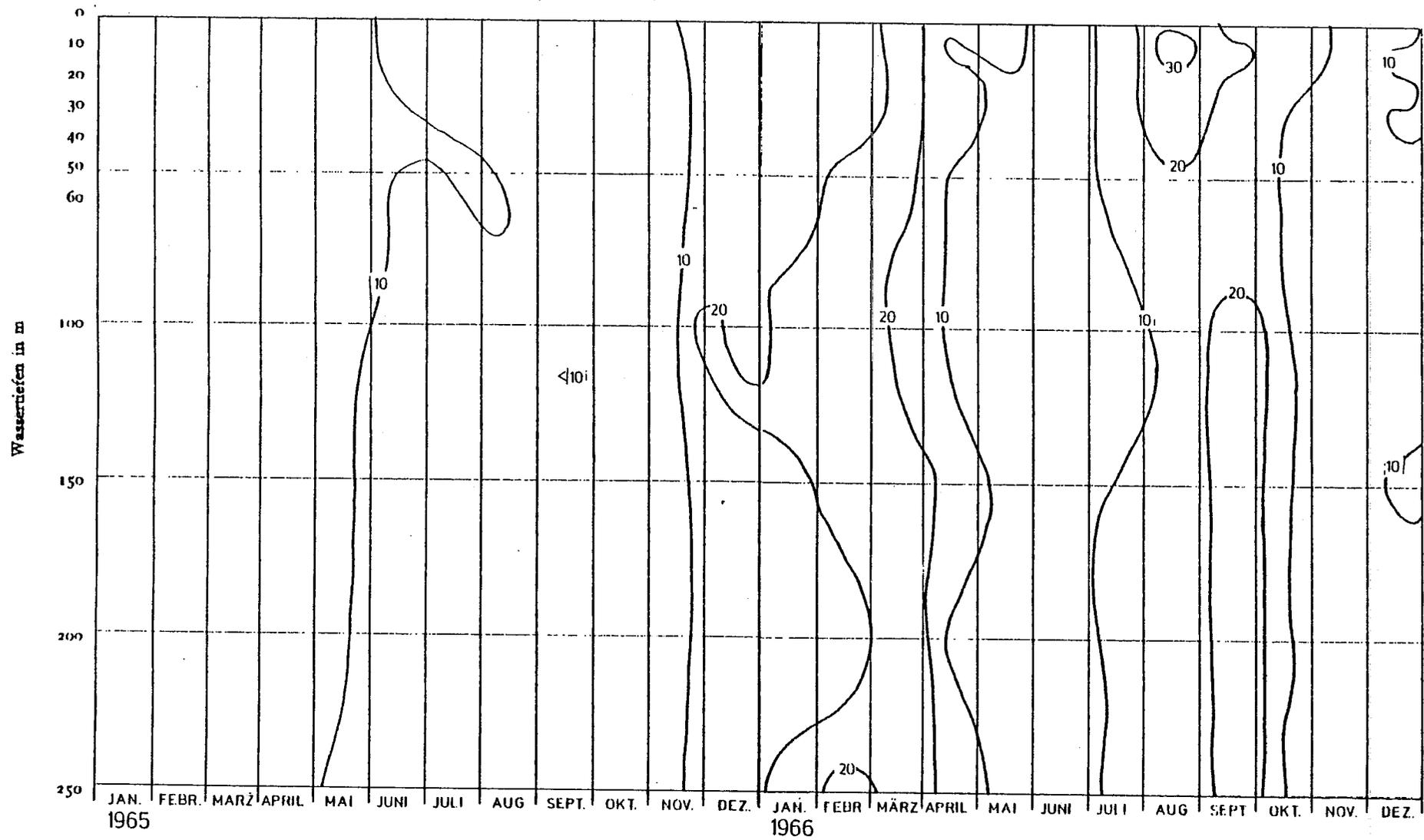


ABB.17 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) AMMONIUM (MG N/M³)

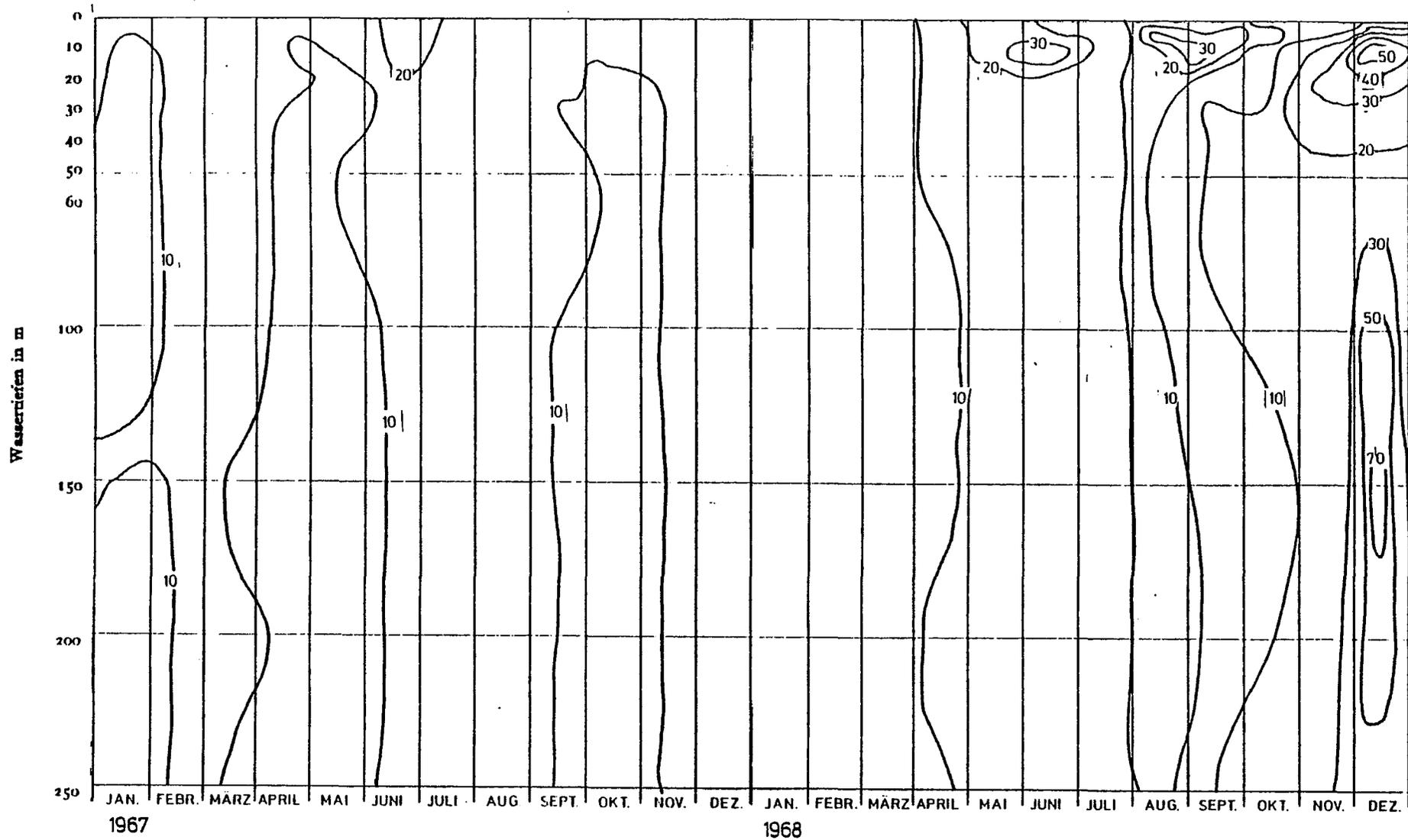


ABB.17 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) AMMONIUM (MG N/M³)

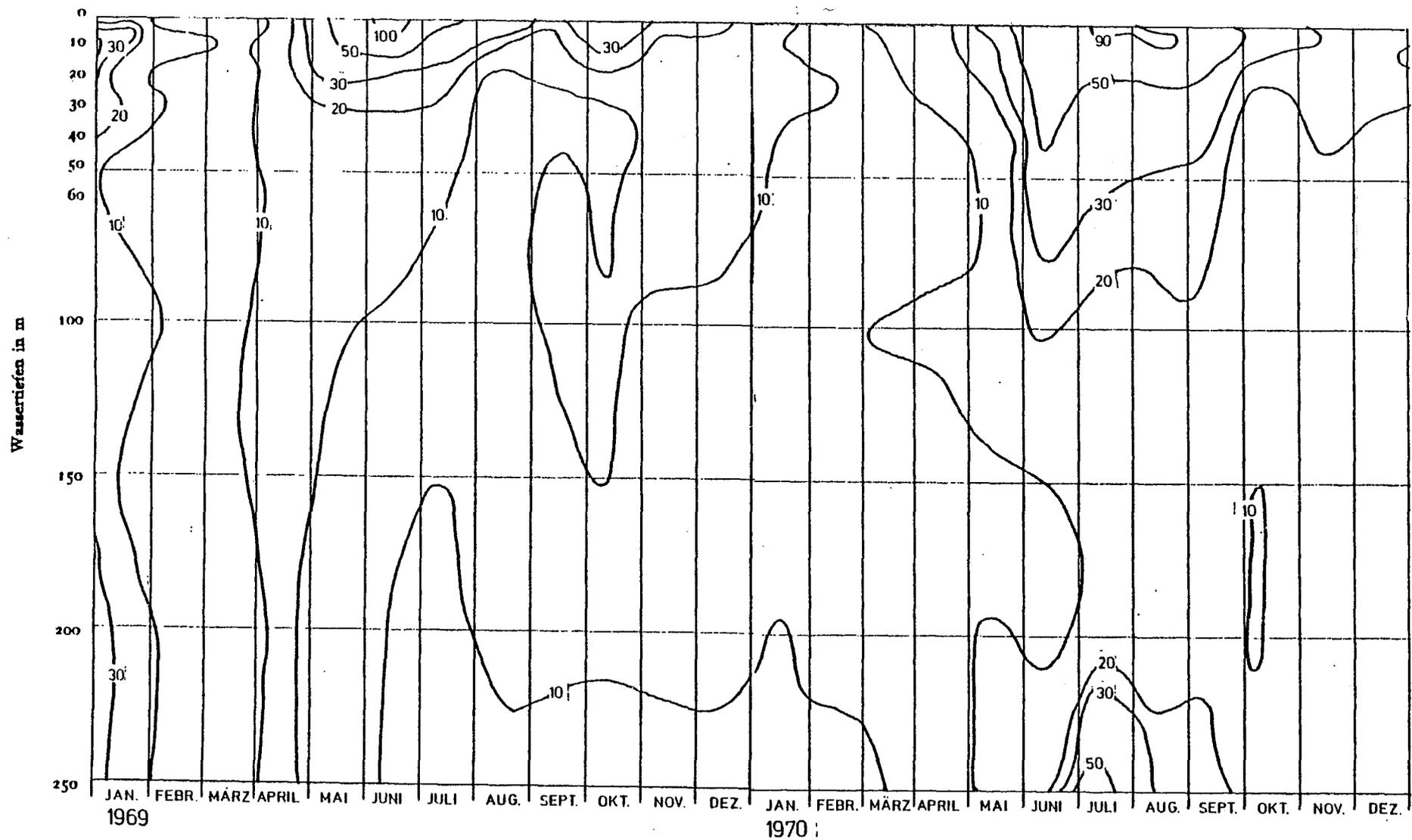


ABB.17 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) AMMONIUM (MG N/M^3)

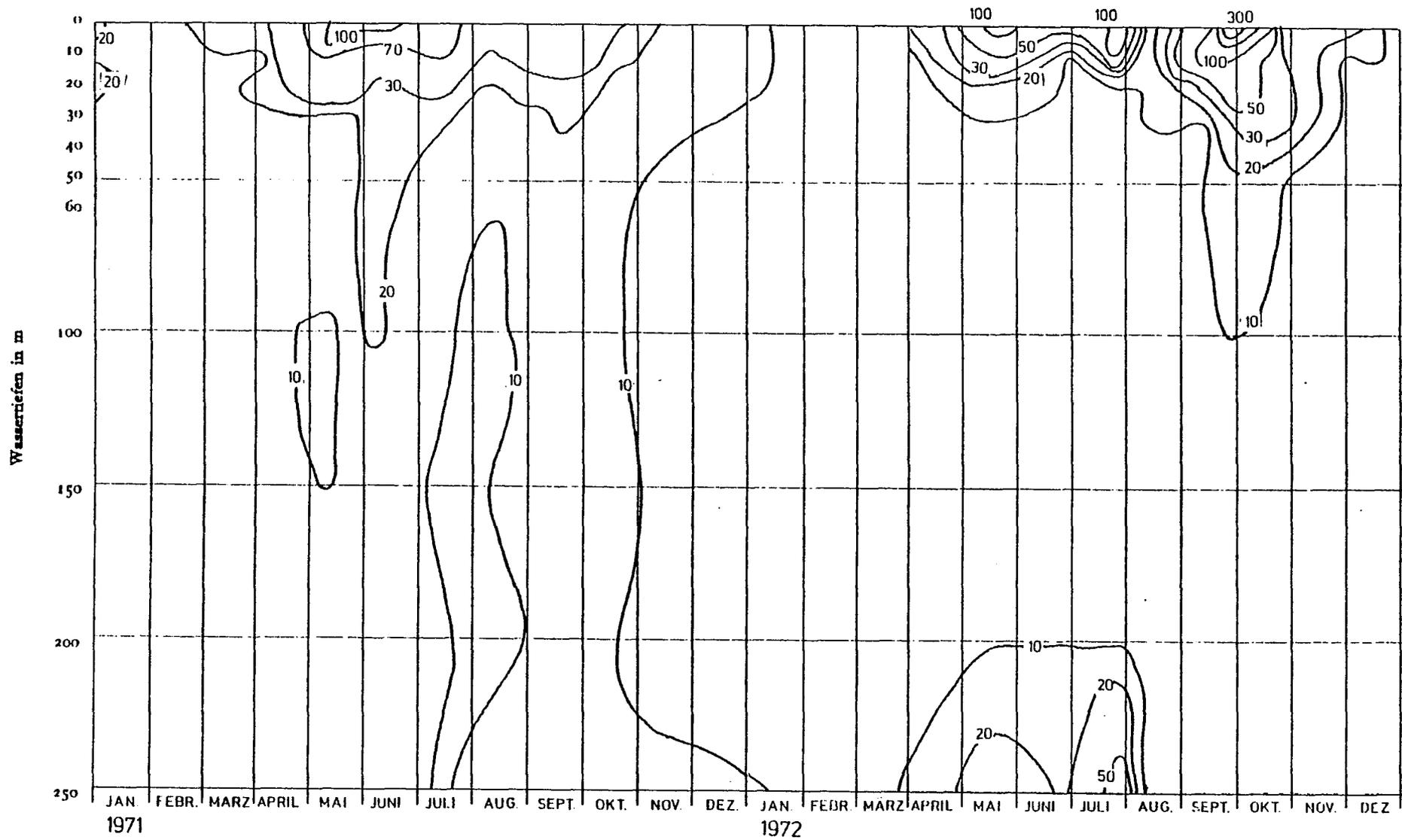


ABB.17 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) AMMONIUM (MG N/M^3)

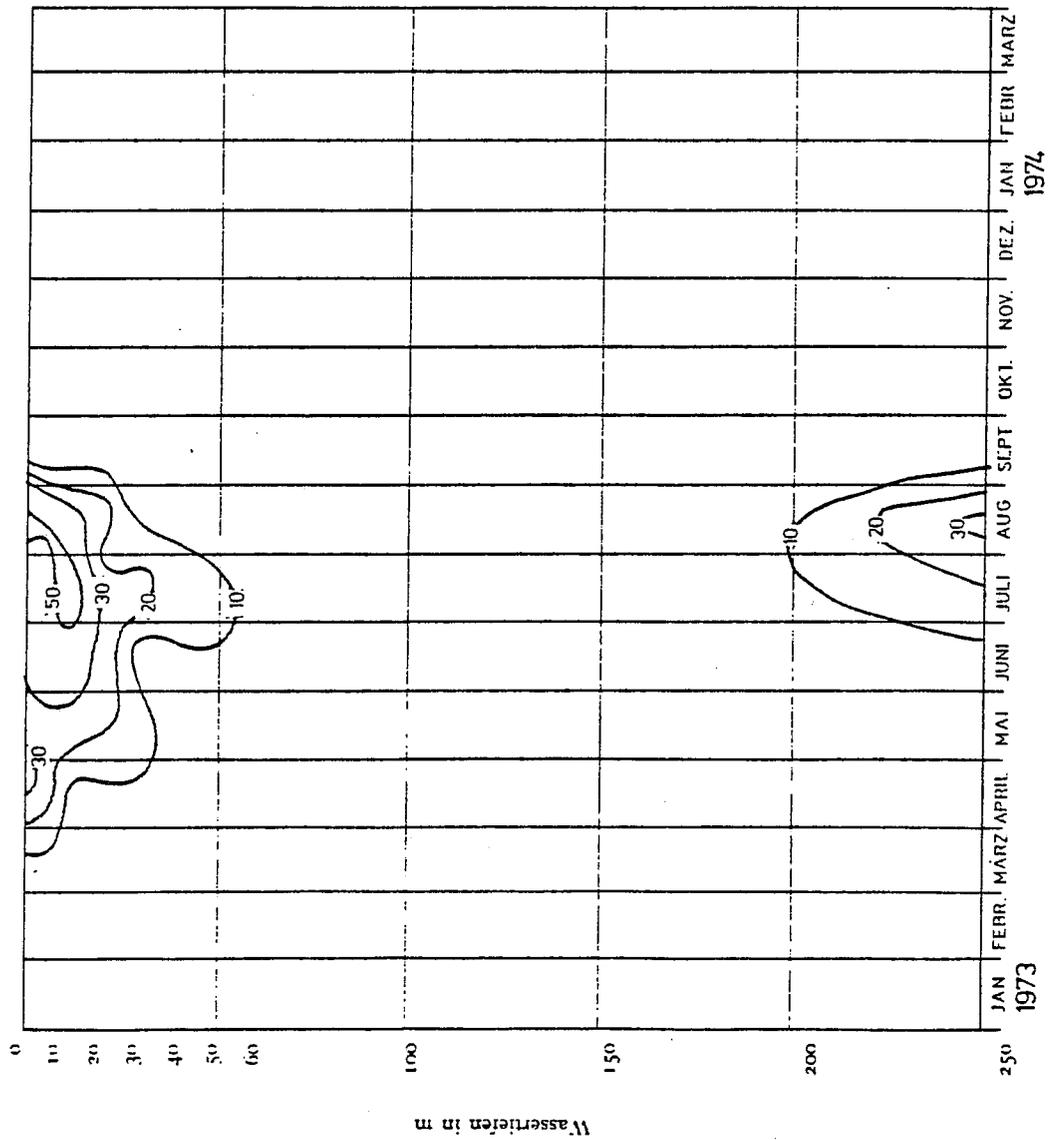


ABB. 17 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) AMMONIUM (MG N/M³)

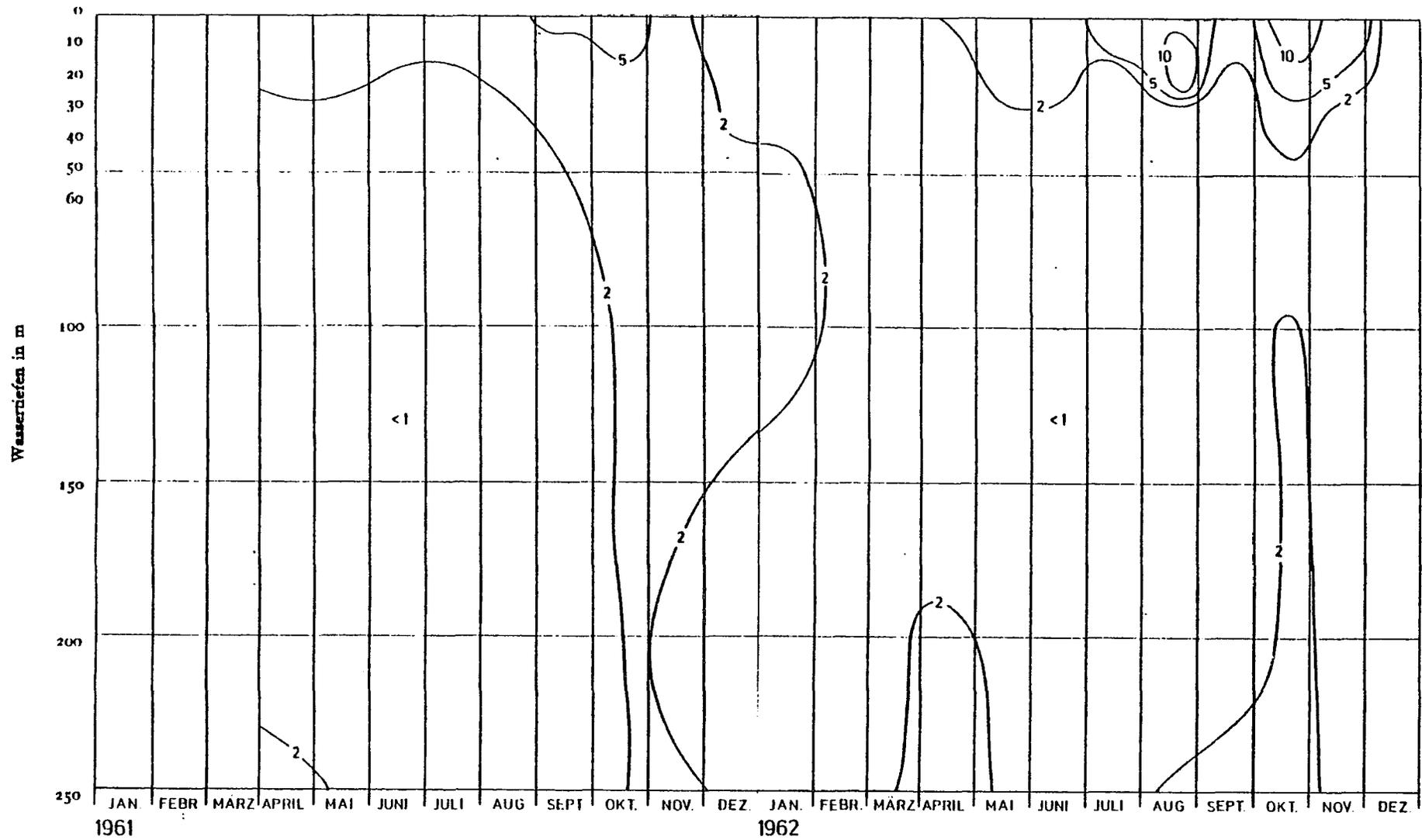


ABB.18 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRIT (MG N/M³)

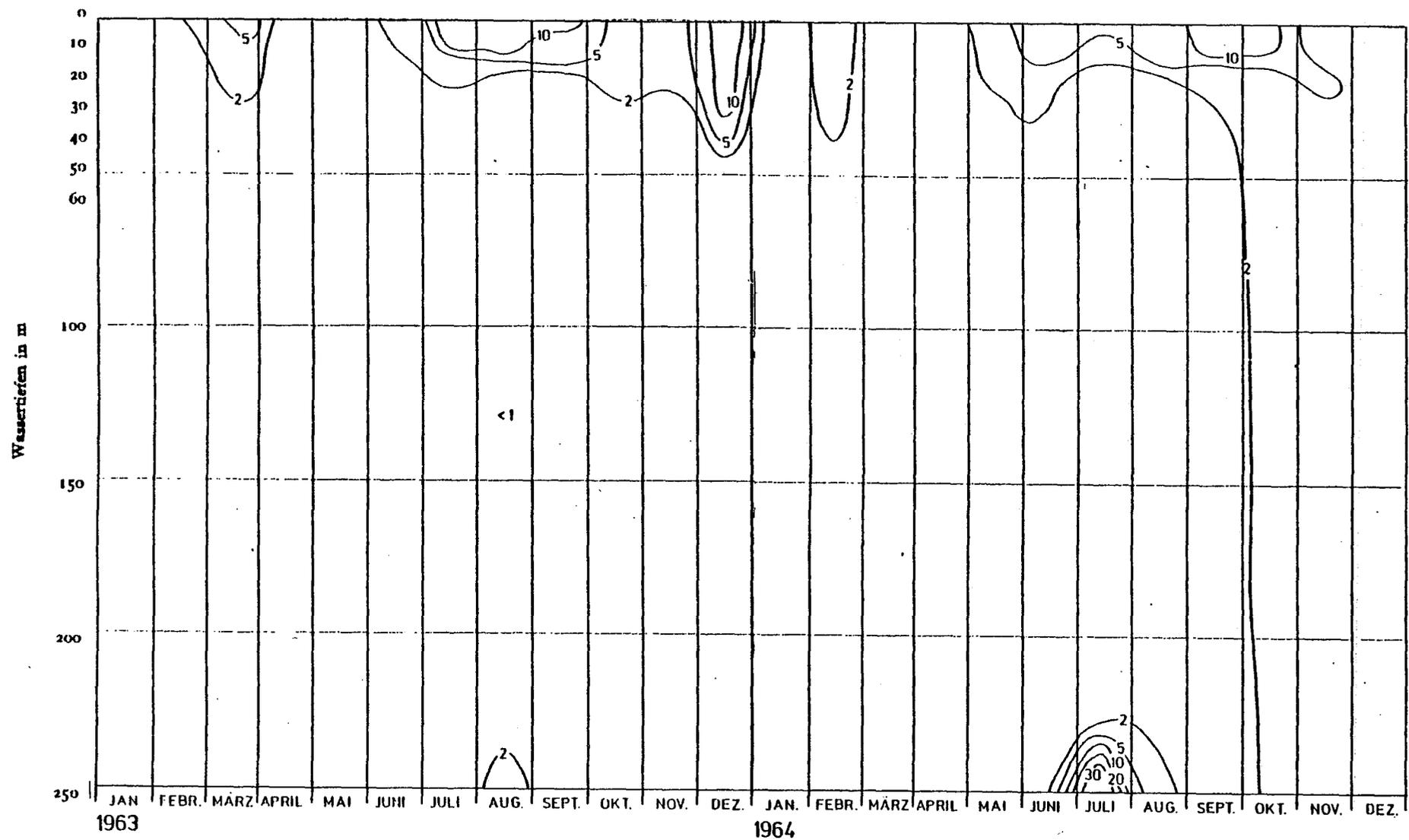


ABB.18 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRIT (MG N/M³)

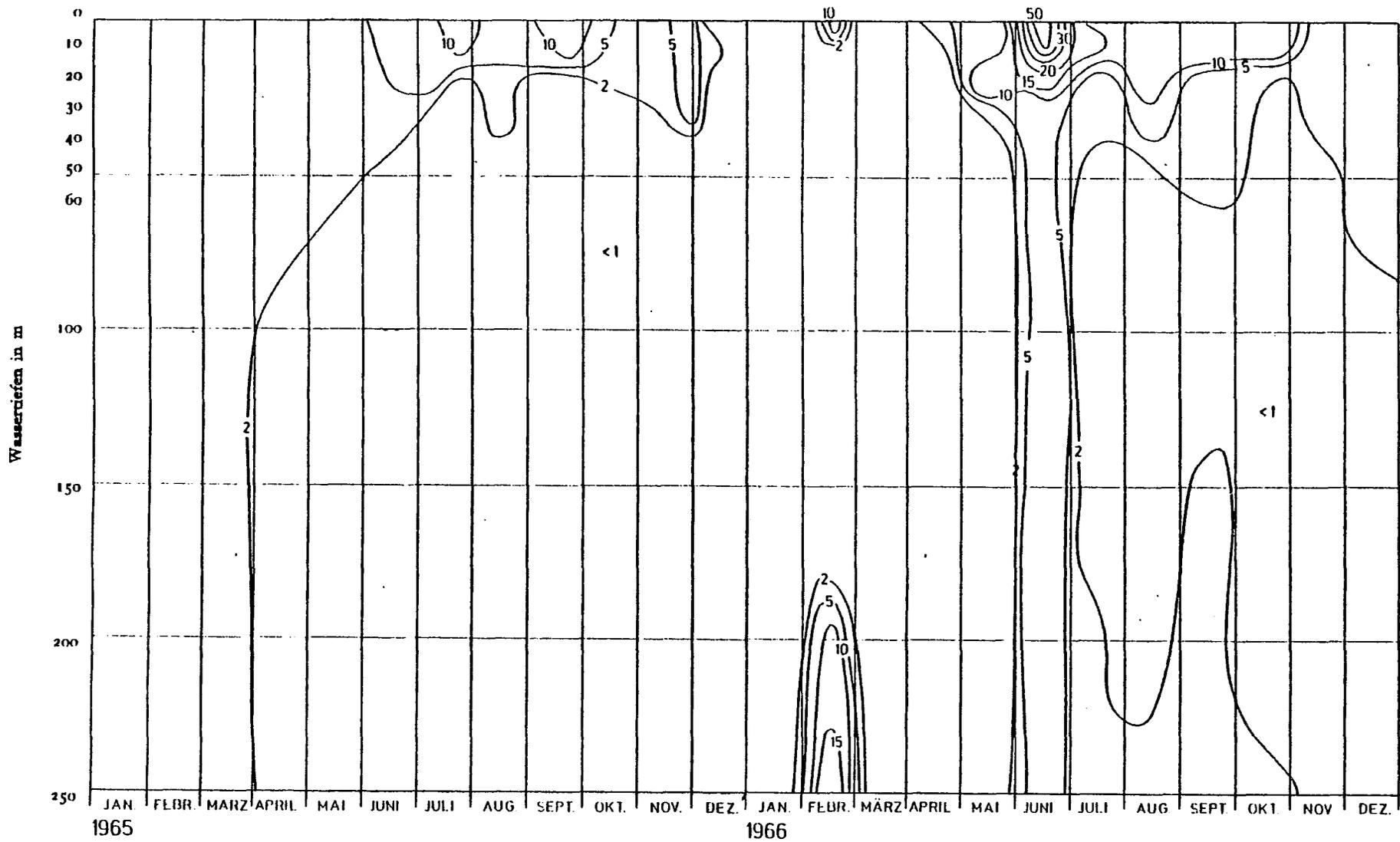


ABB.18 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRIT (MG N/M³)

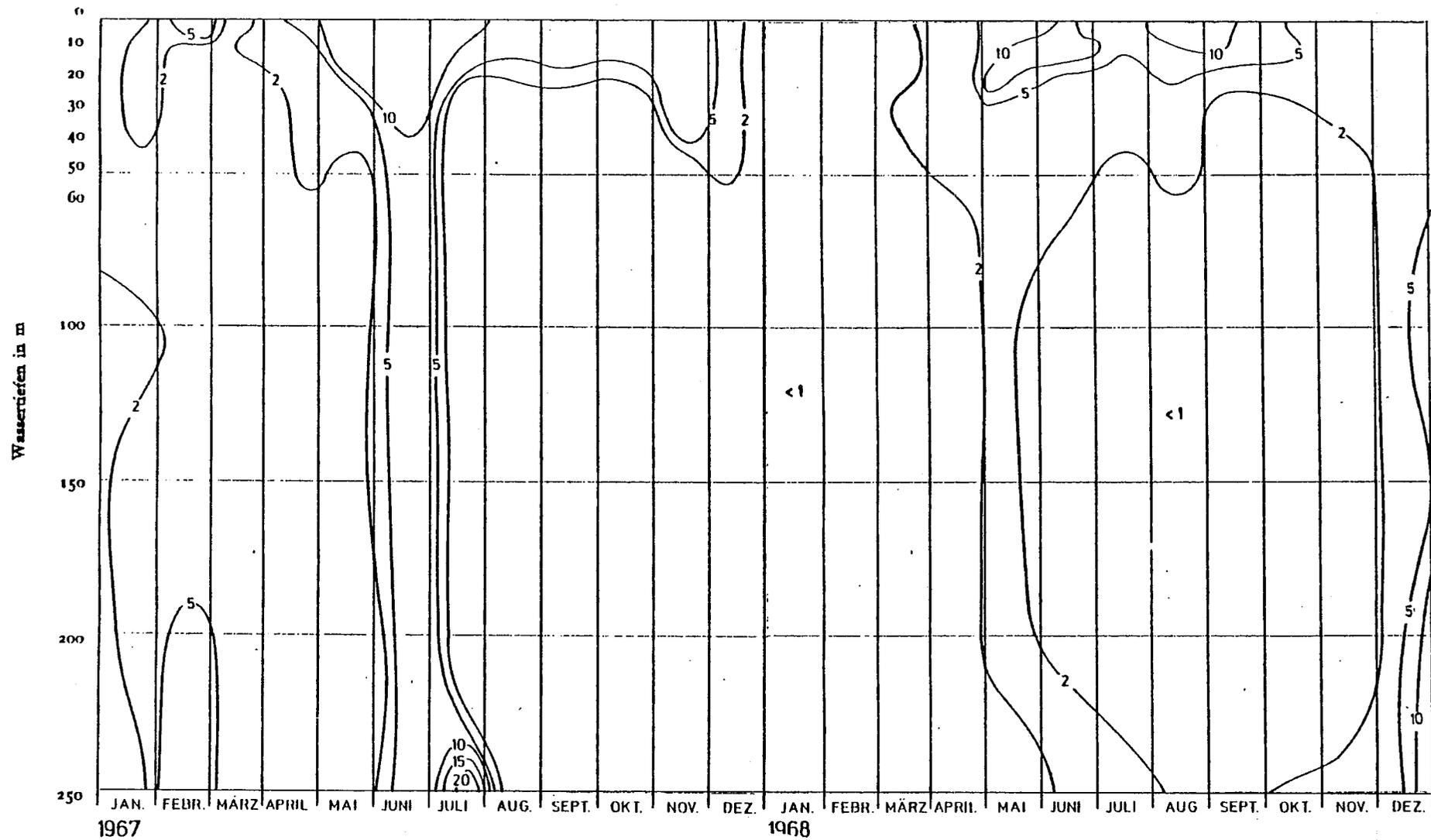


ABB.18 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRIT (MG N/M³)

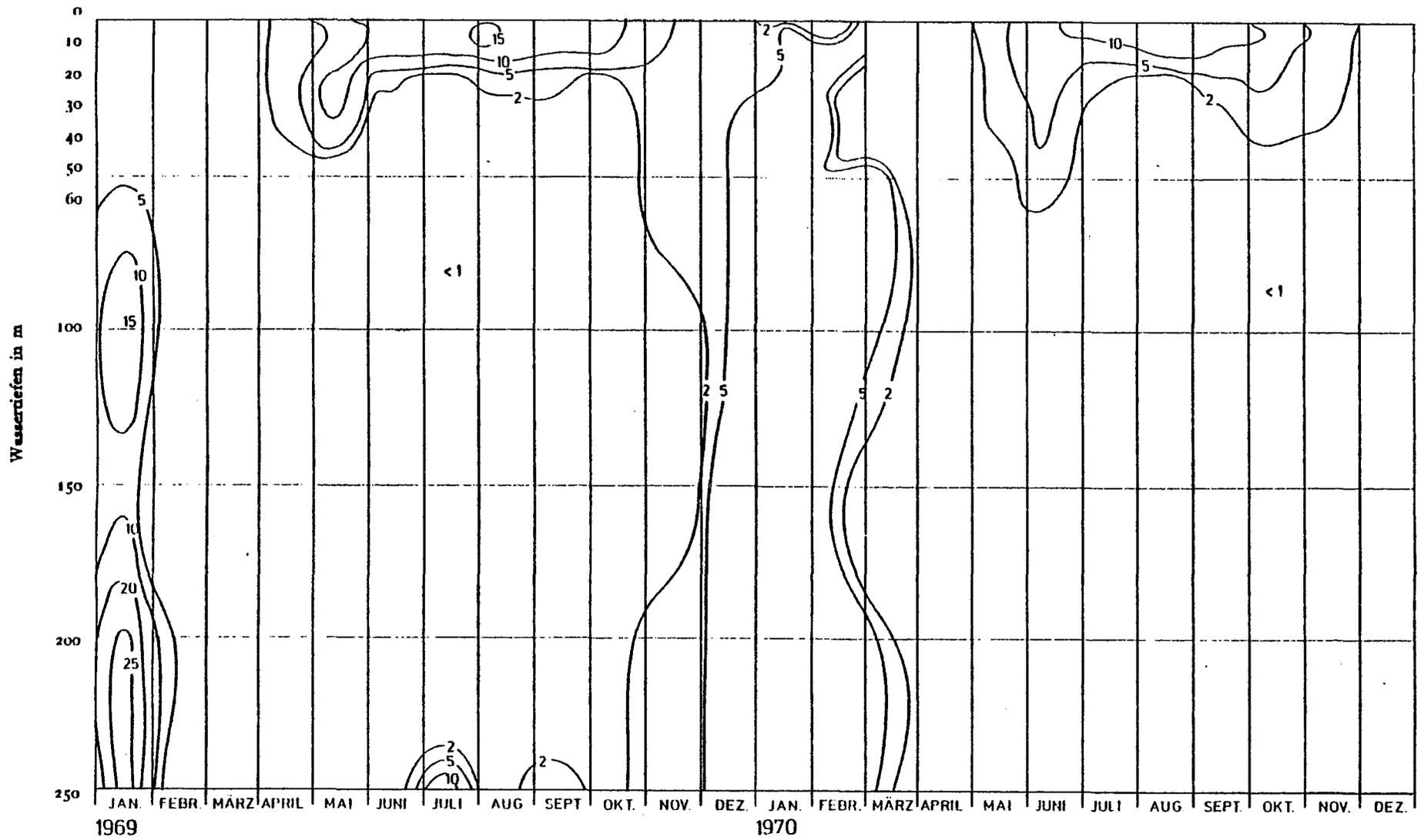


ABB.18 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) NITRIT (MG N/M³)

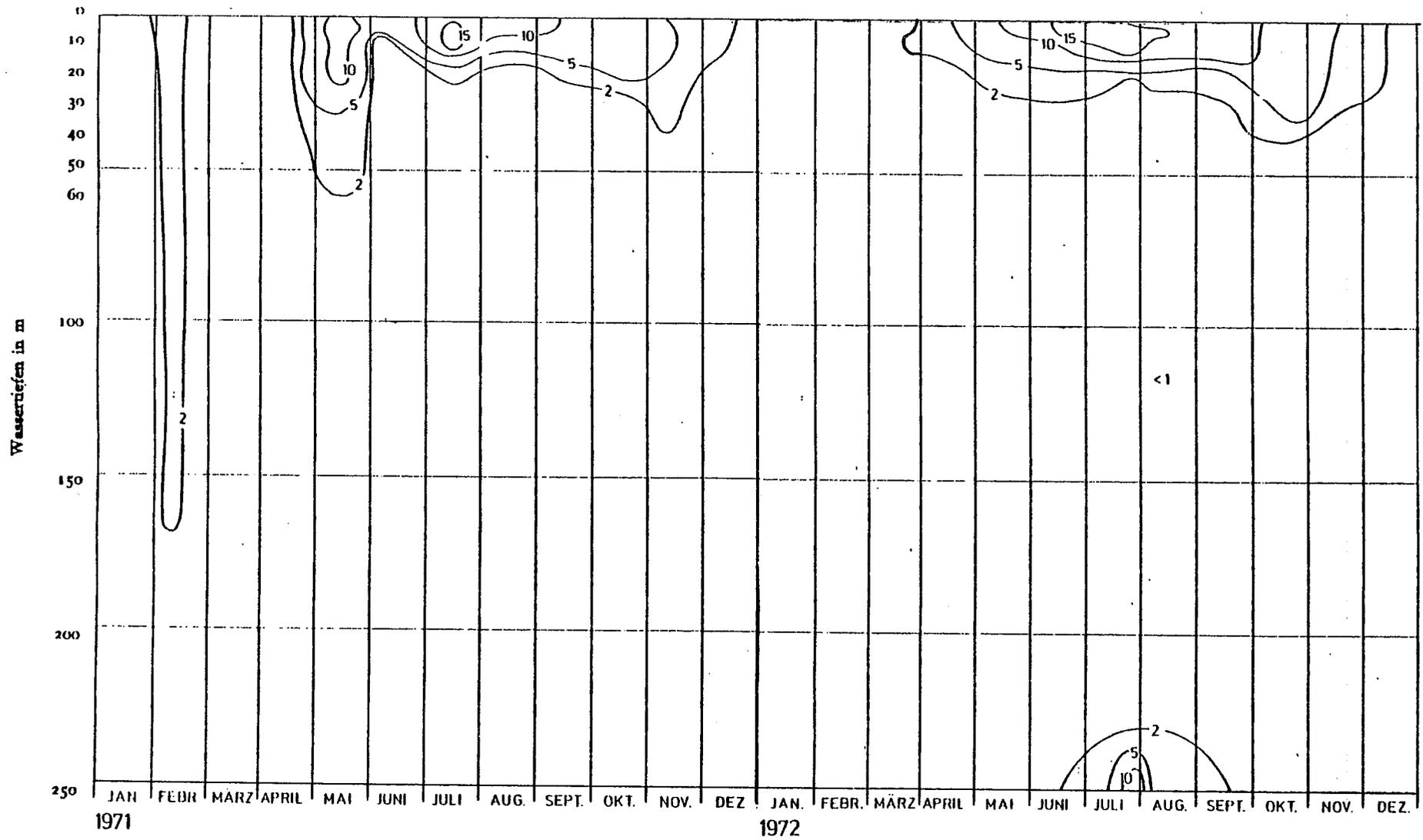


ABB.18 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRIT (MG N/M³)

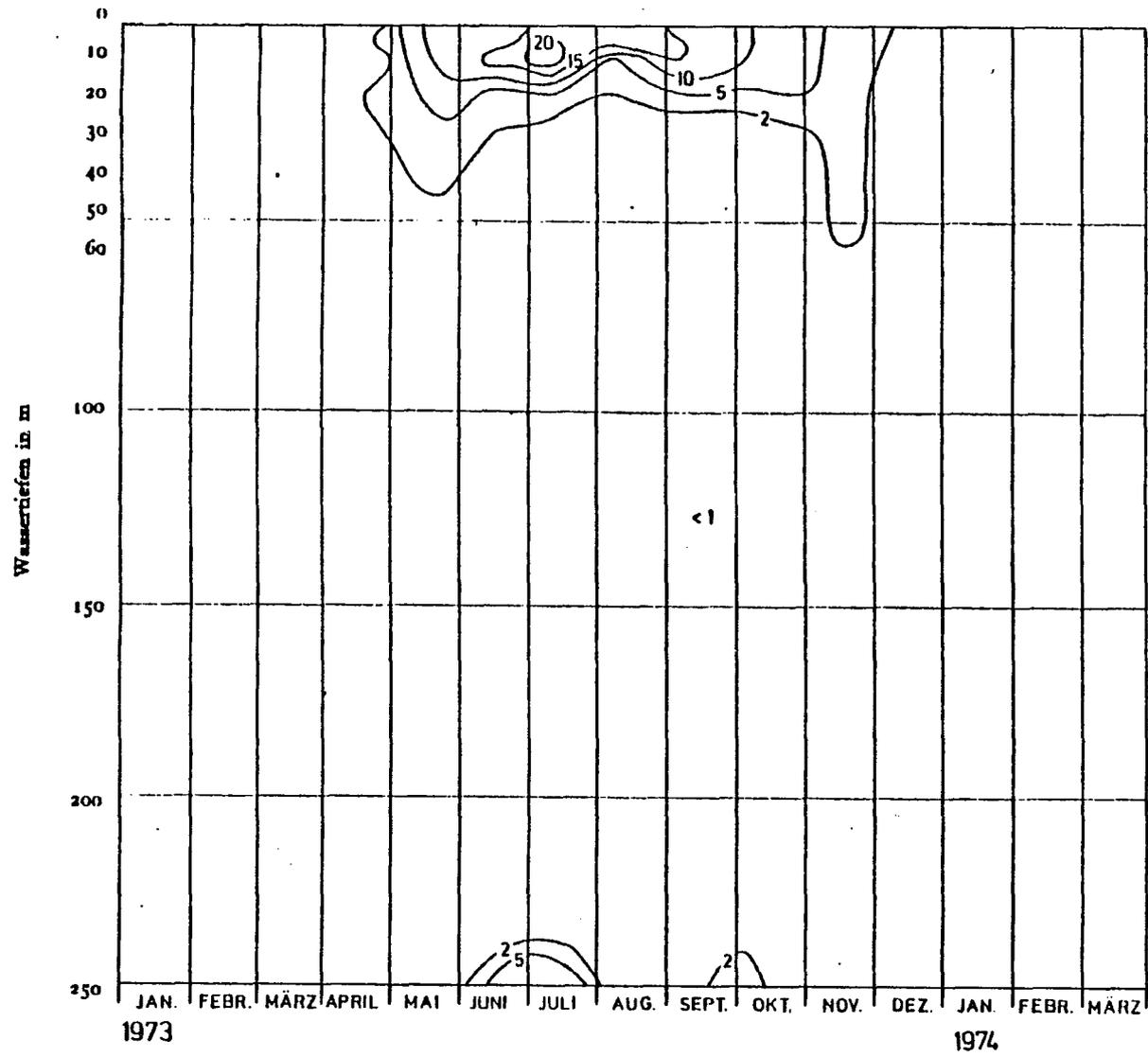


ABB.18 : BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) NITRIT (MG N/M^3)

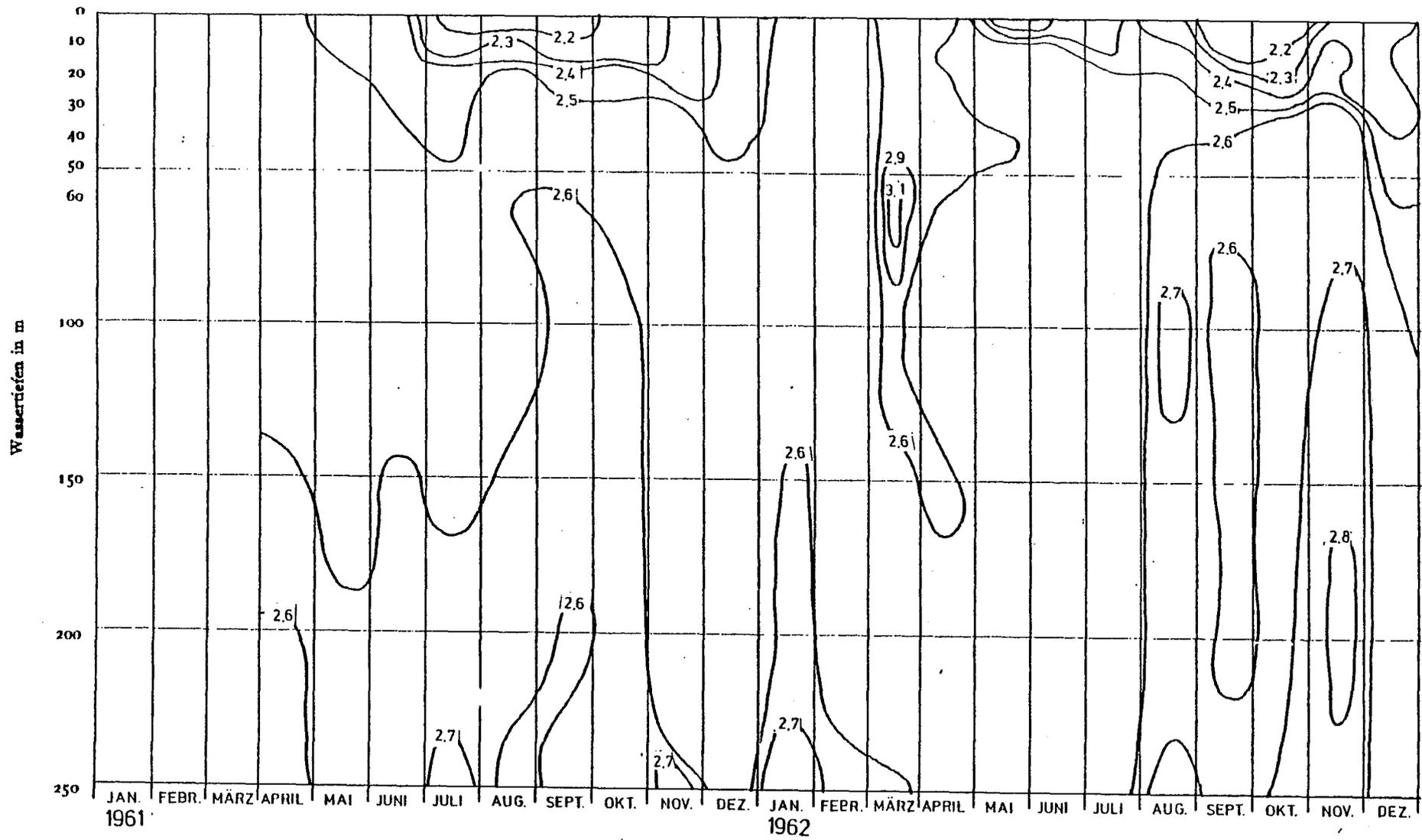


ABB.19 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) ALKALINITÄT (M-WERT) (MVAL/L)

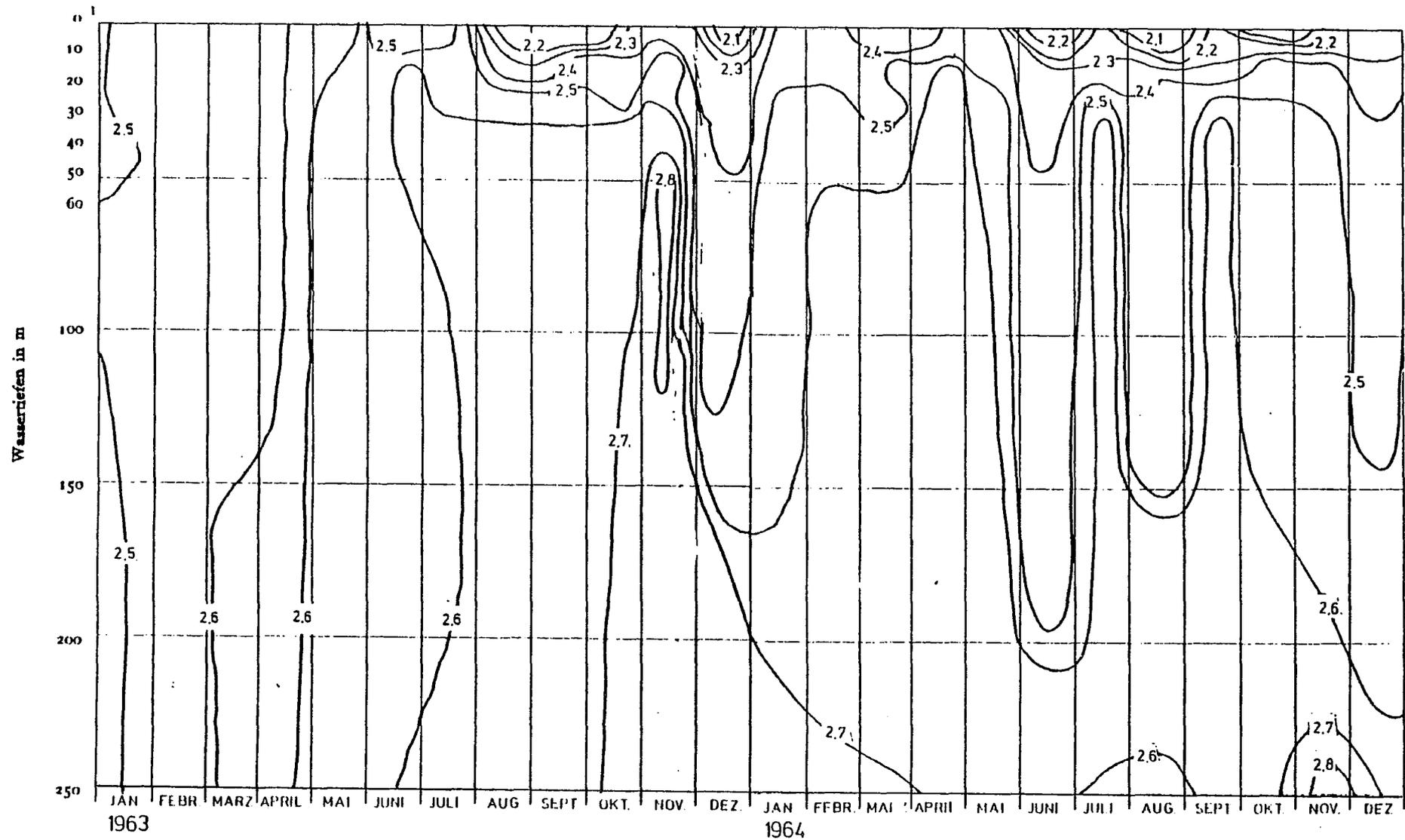


ABB.19 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ALKALINITÄT (M-WERT) (MVAL/L)

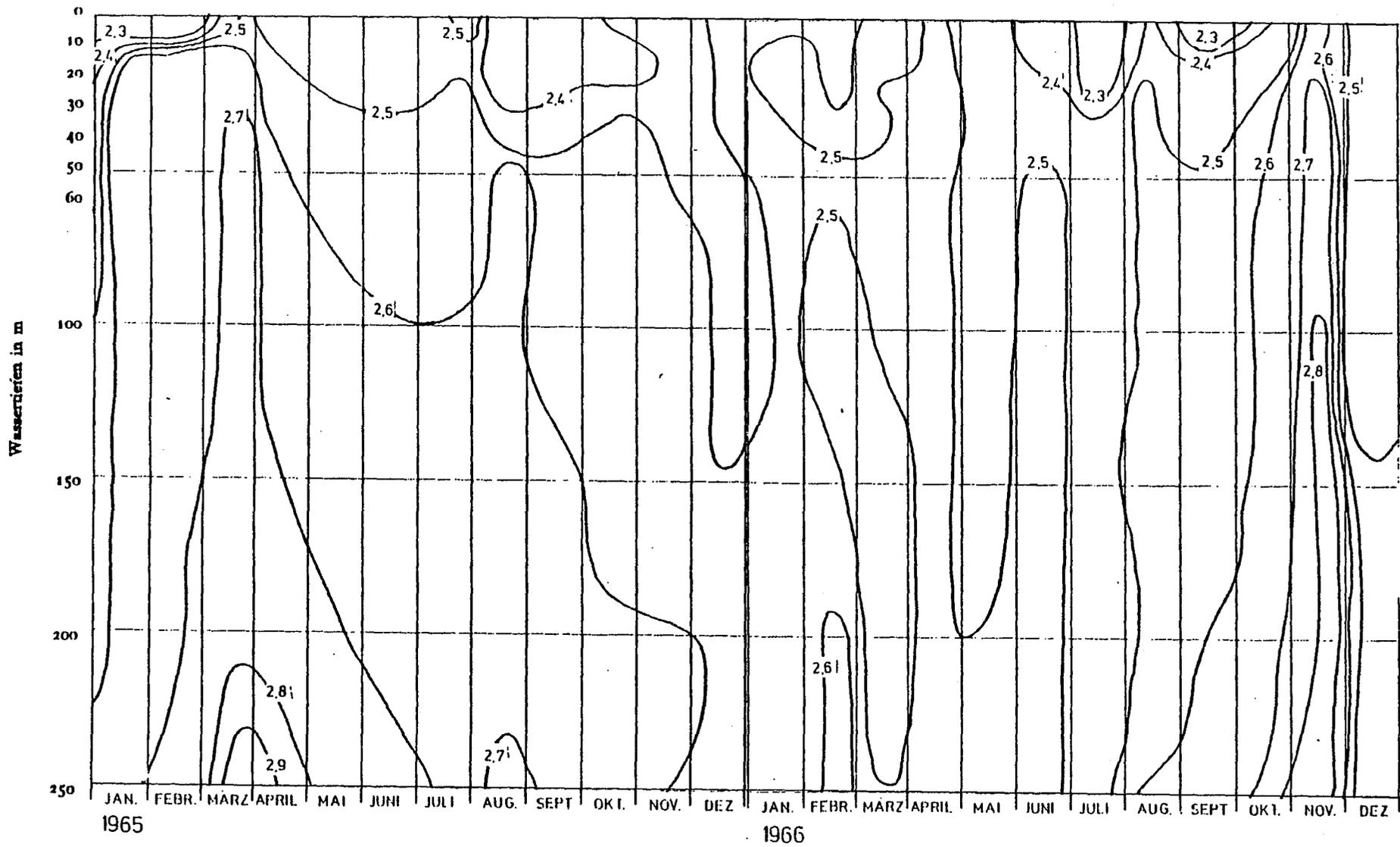


ABB.19 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) ALKALINITÄT (M-WERT) (MVAL/L)

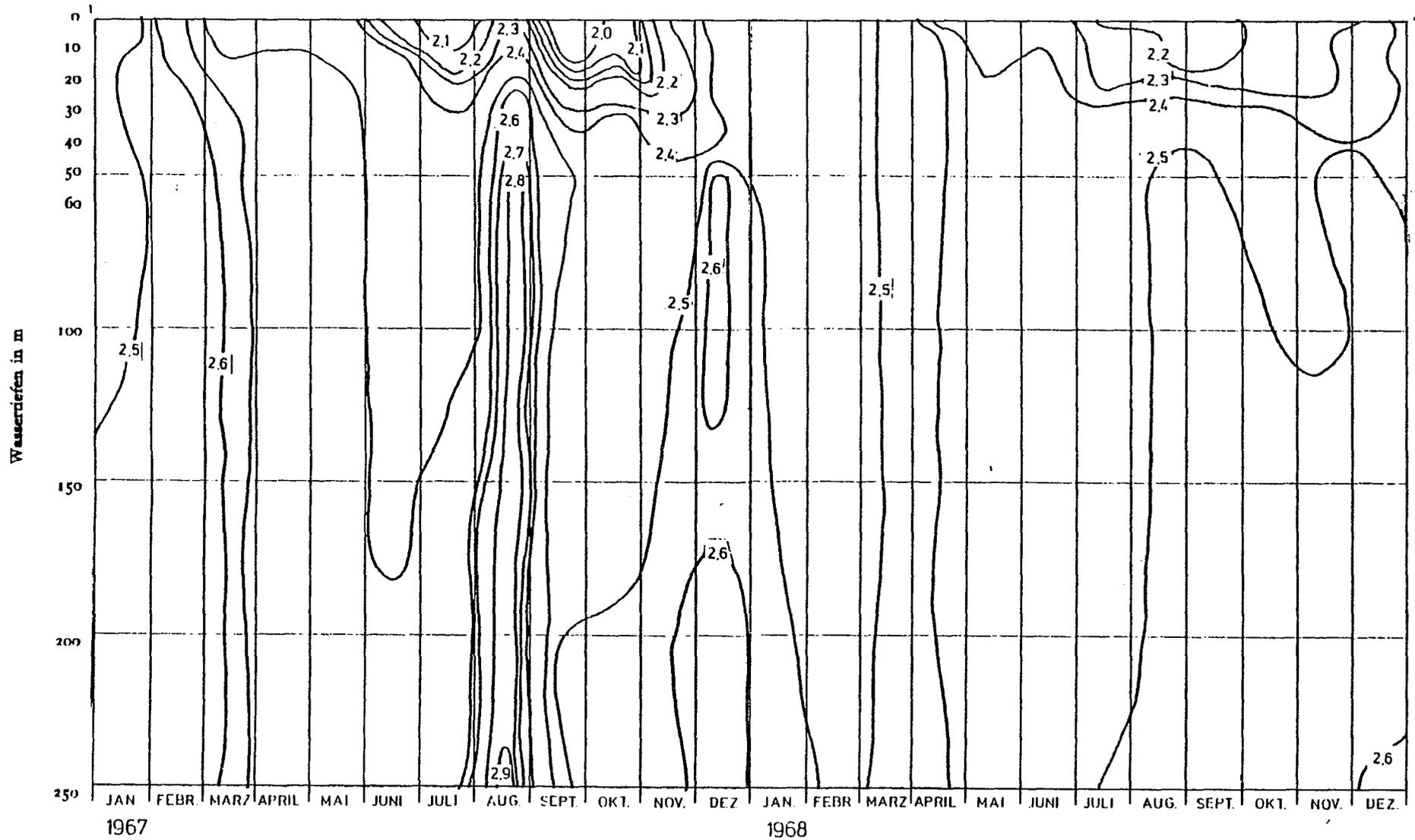


ABB.19 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ALKALINITÄT (M-WERT) (MVAL/L)



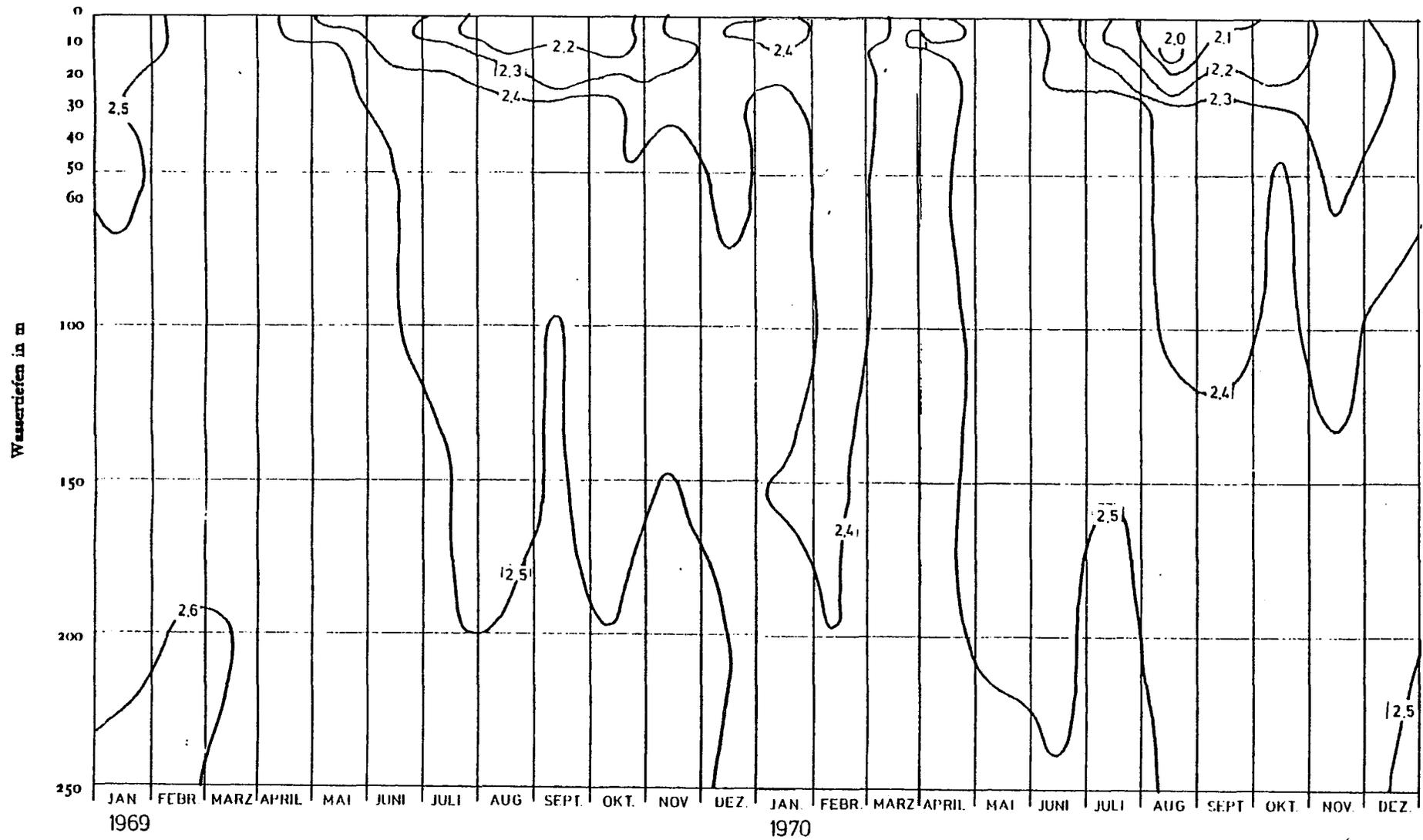


ABB.19 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) ALKALINITÄT (M-WERT) (MVAL/L)

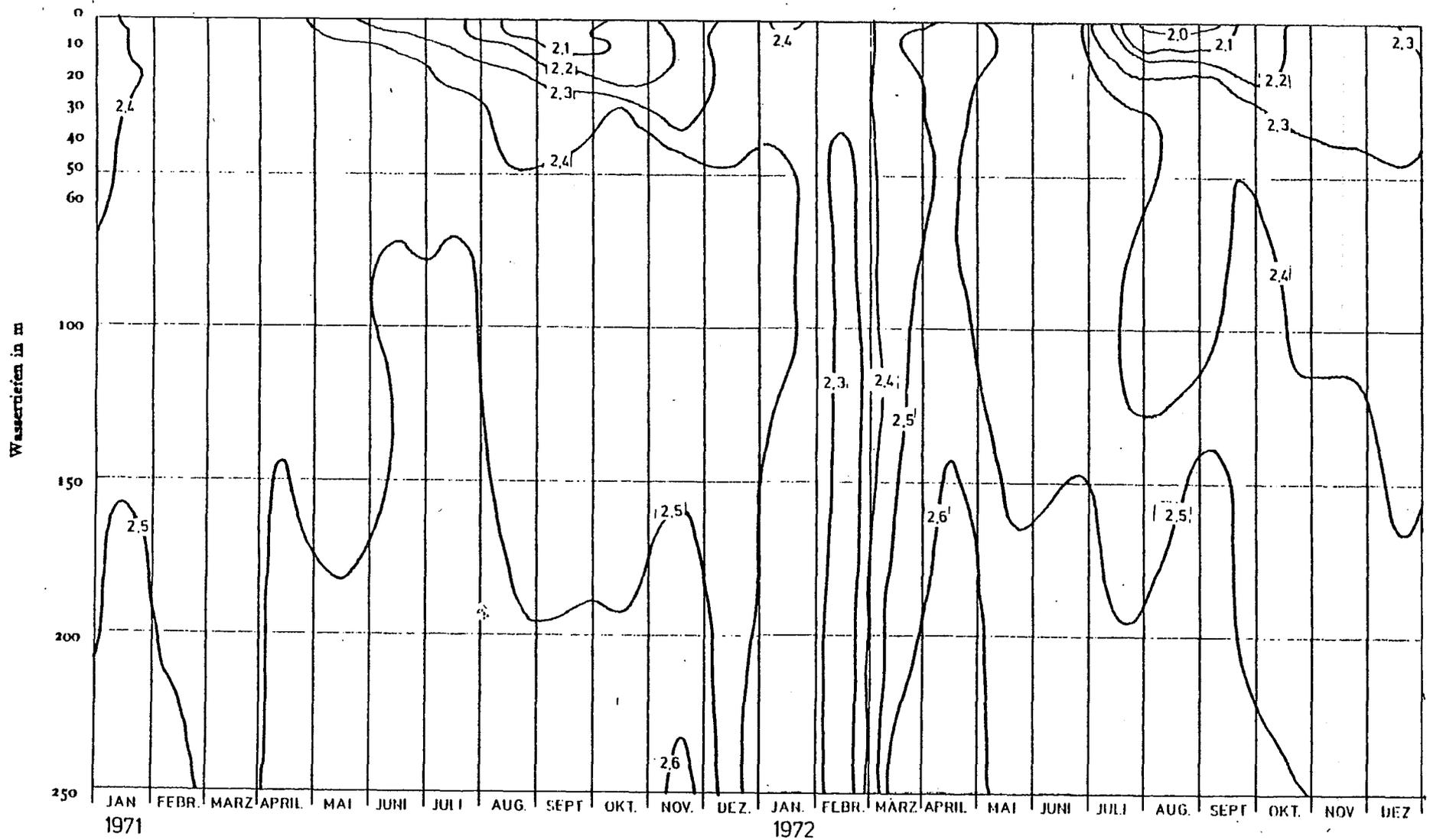


ABB.19 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ALKALINITÄT (M-WERT) (MVAL/L)

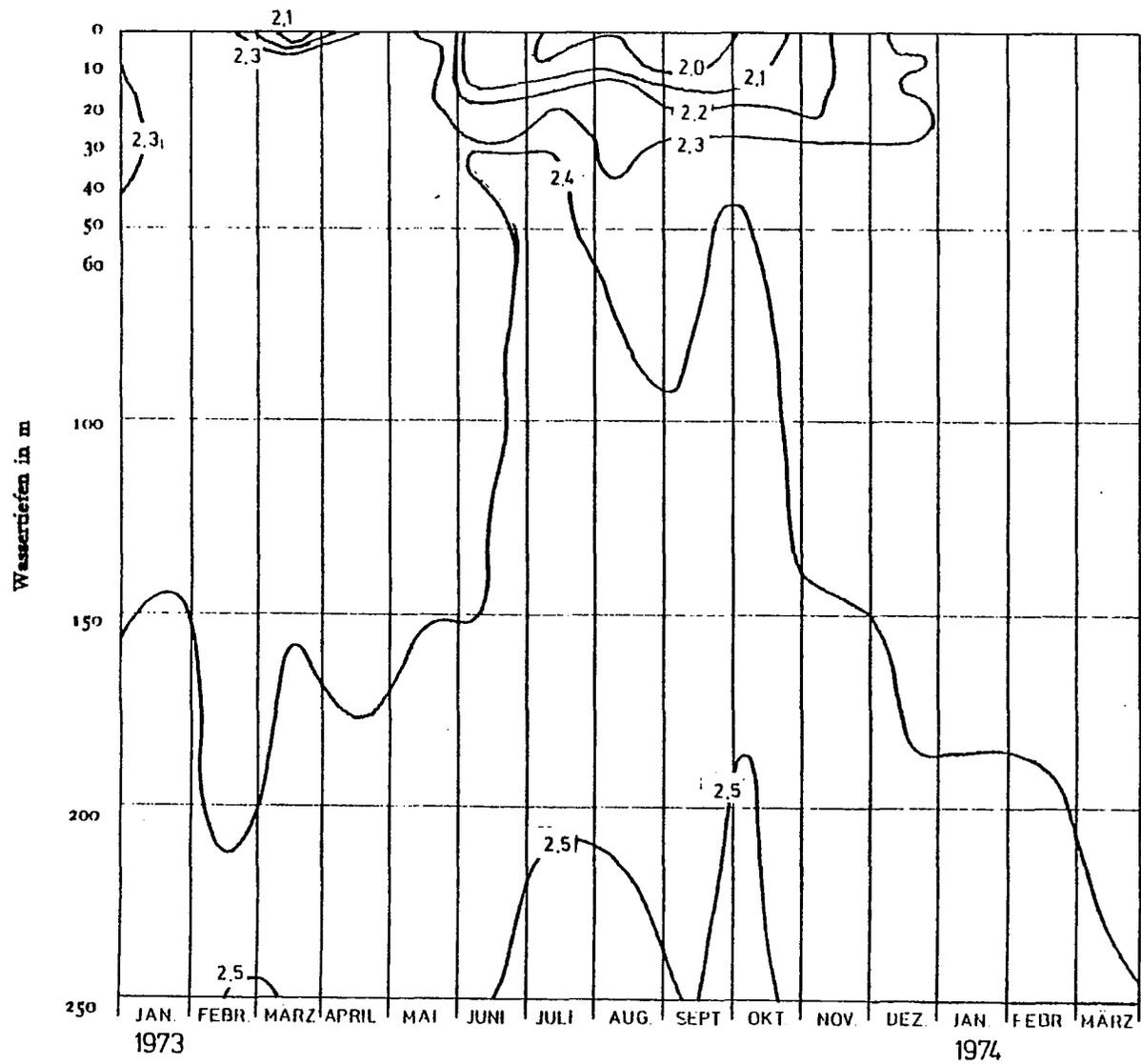


ABB.19 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ALKALINITÄT (M-WERT) (MVAL/L).

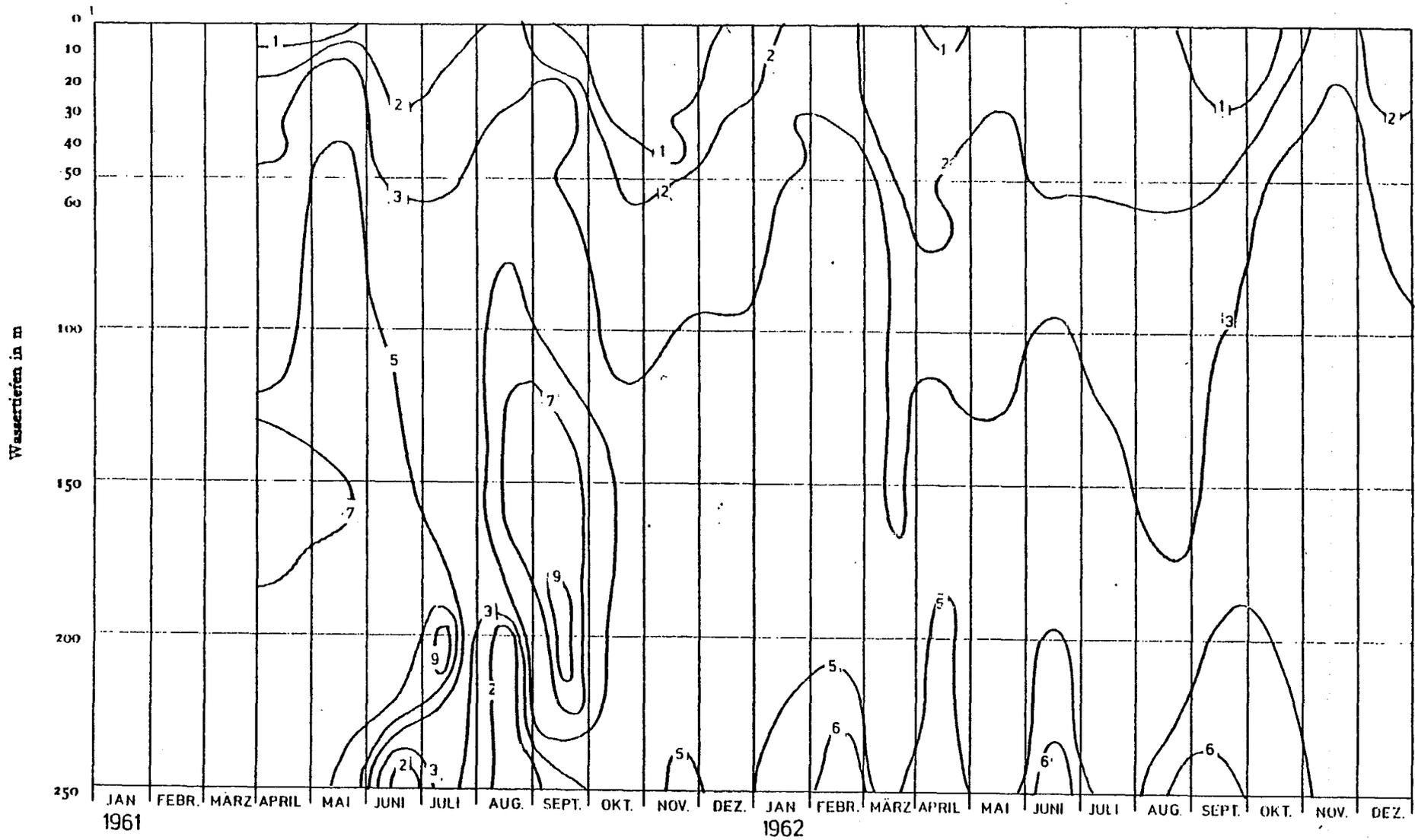


ABB. 20 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) FREIE KOHLENSÄURE (MG CO₂/L)

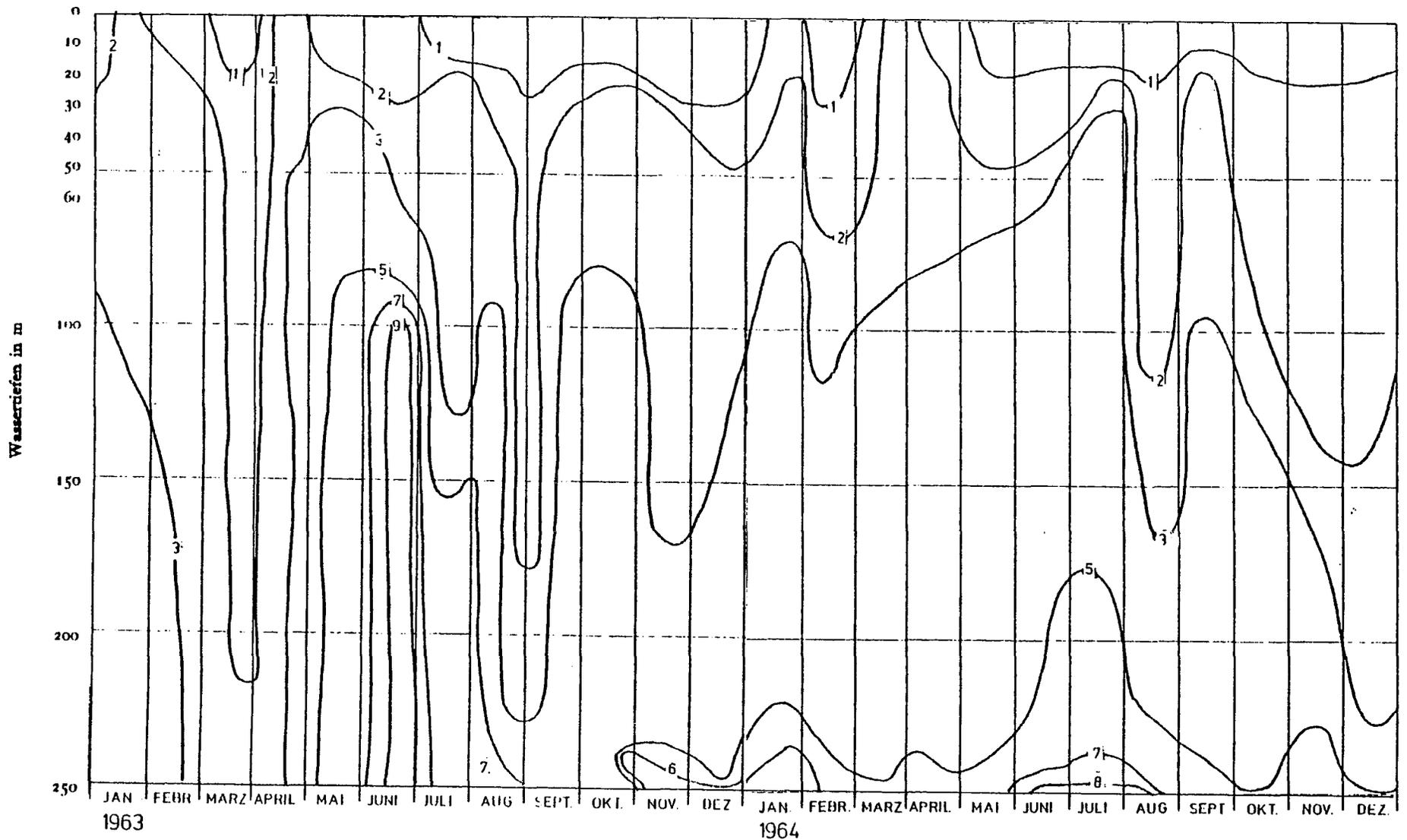


ABB.20 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) FREIE KOHLENÄURE (MG CO₂/L)

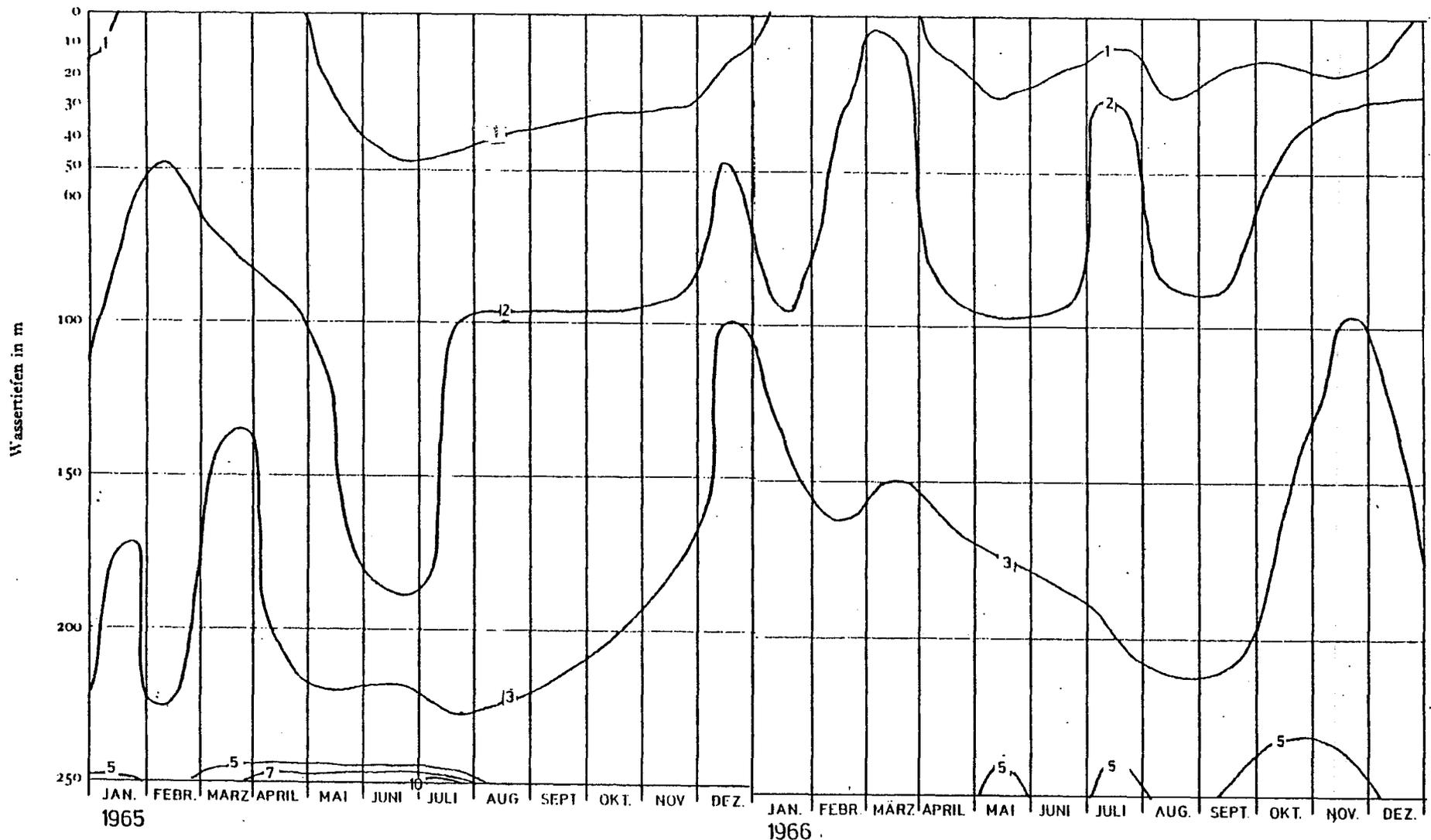


ABB.20 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) FREIE KOHLENSÄURE (MG CO₂/L)

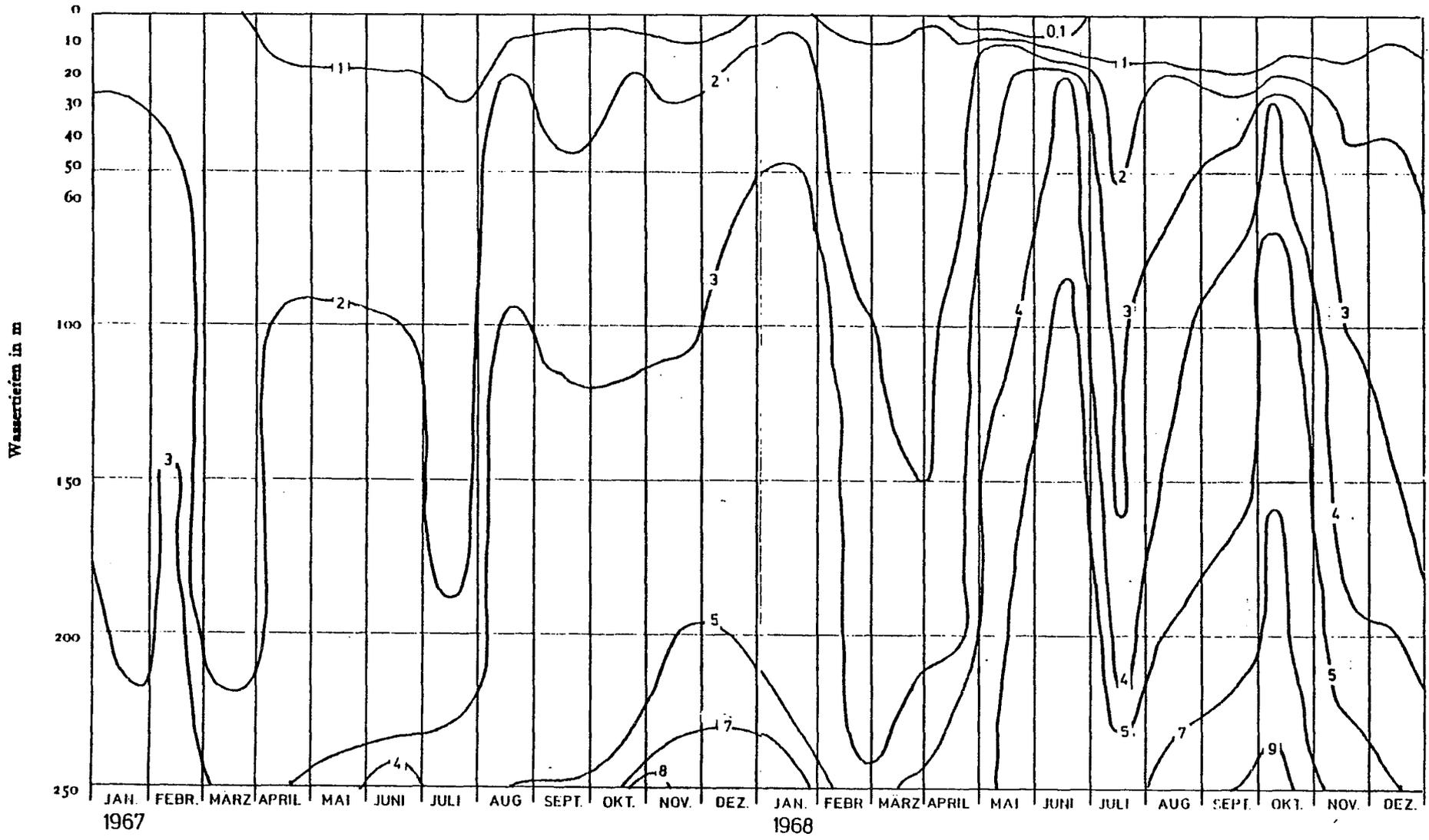


ABB.20 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) FREIE KOHLENSÄURE (MG CO₂/L)

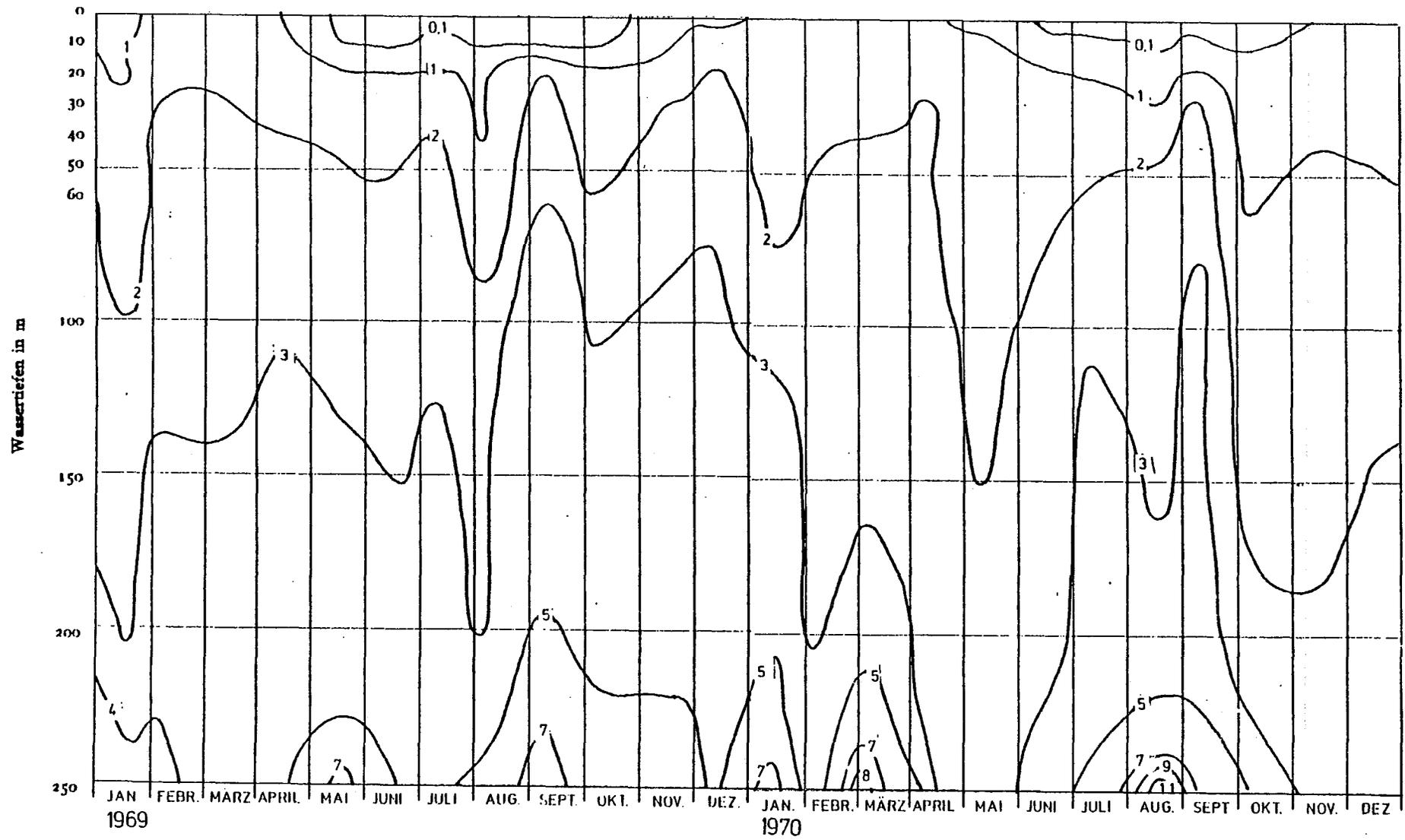


ABB.20 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) FREIE KOHLENSÄURE (MG CO₂/L)

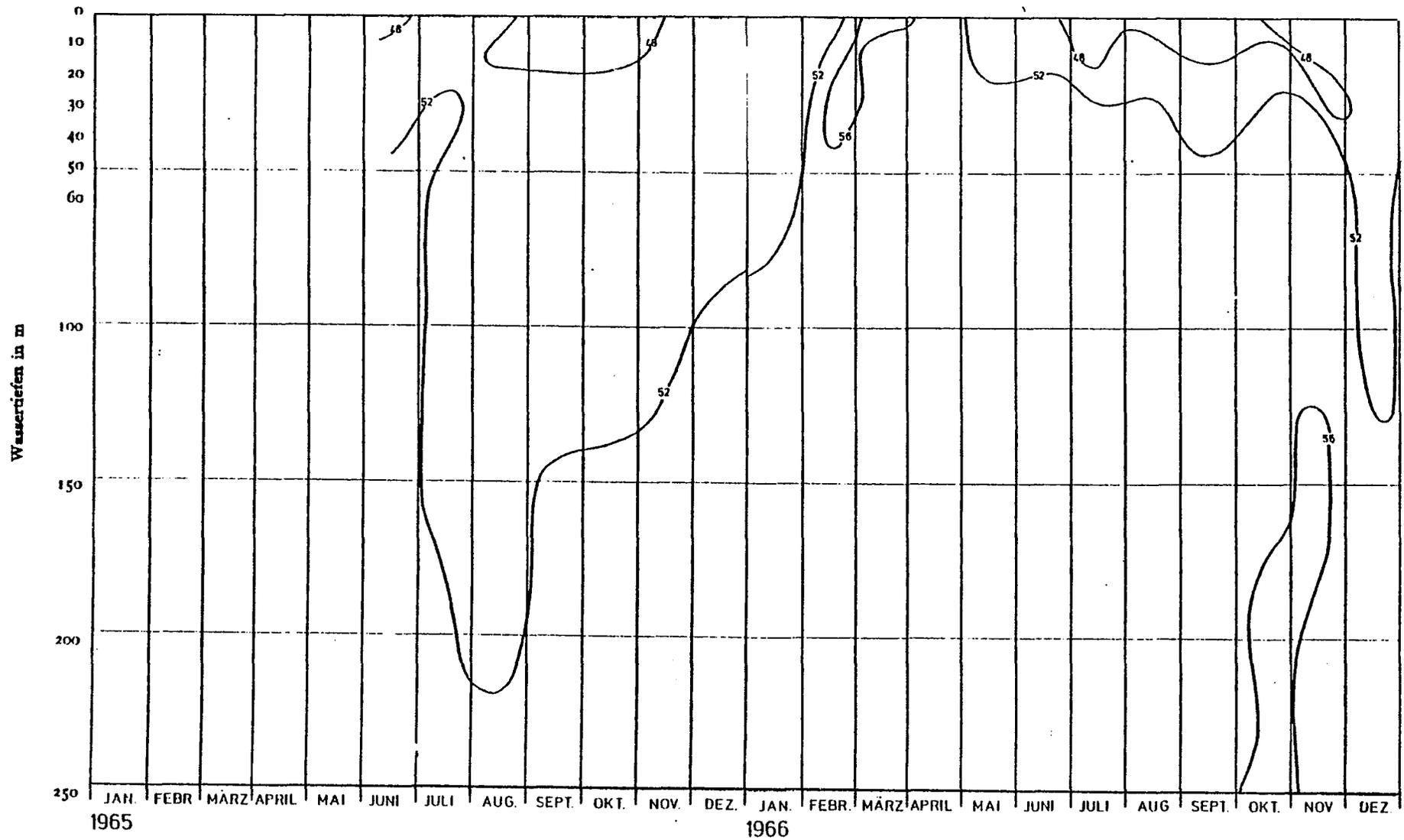


ABB.21 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) KALZIUM (MG CA/L)

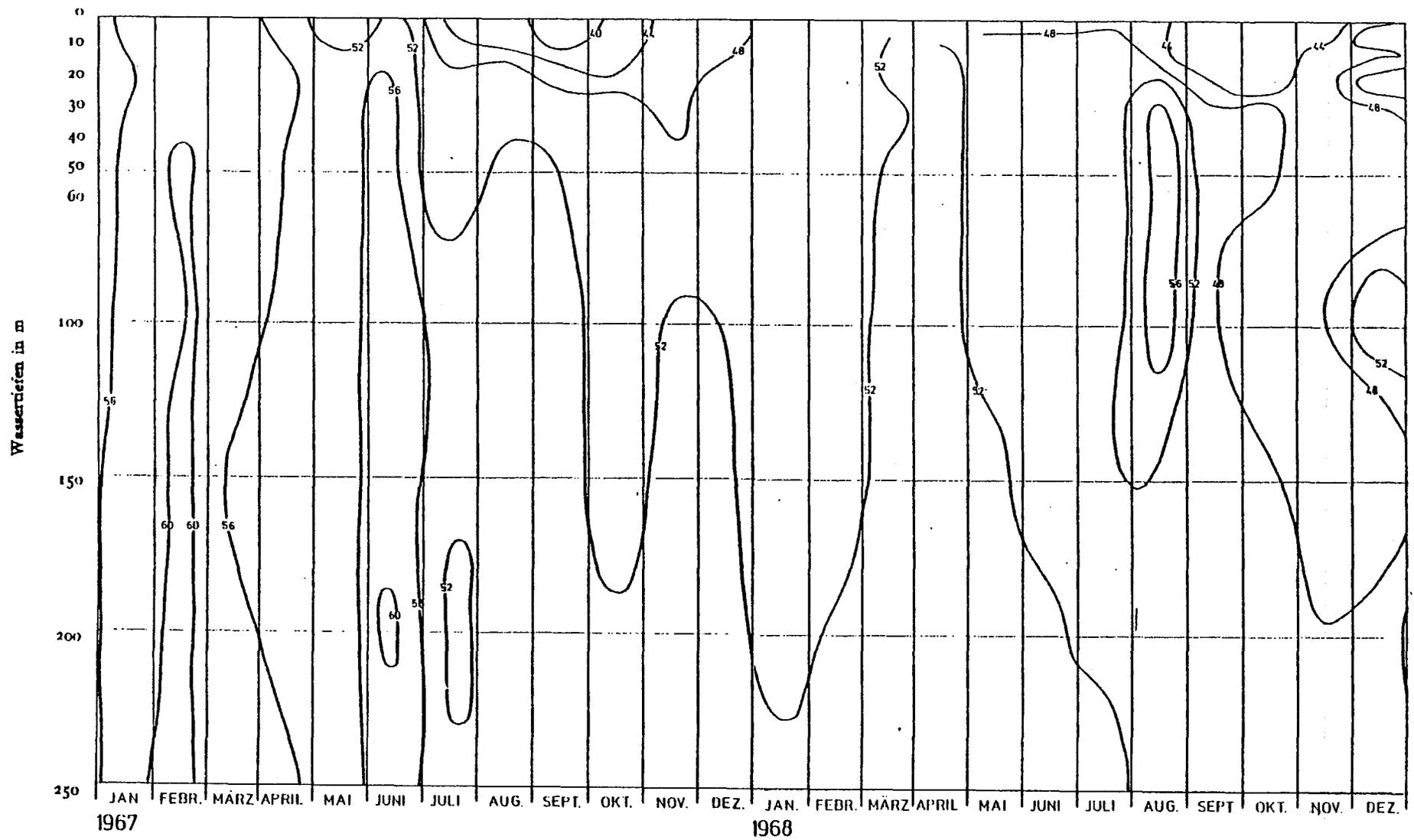


ABB.21 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) KALZIUM (MG CA/L)

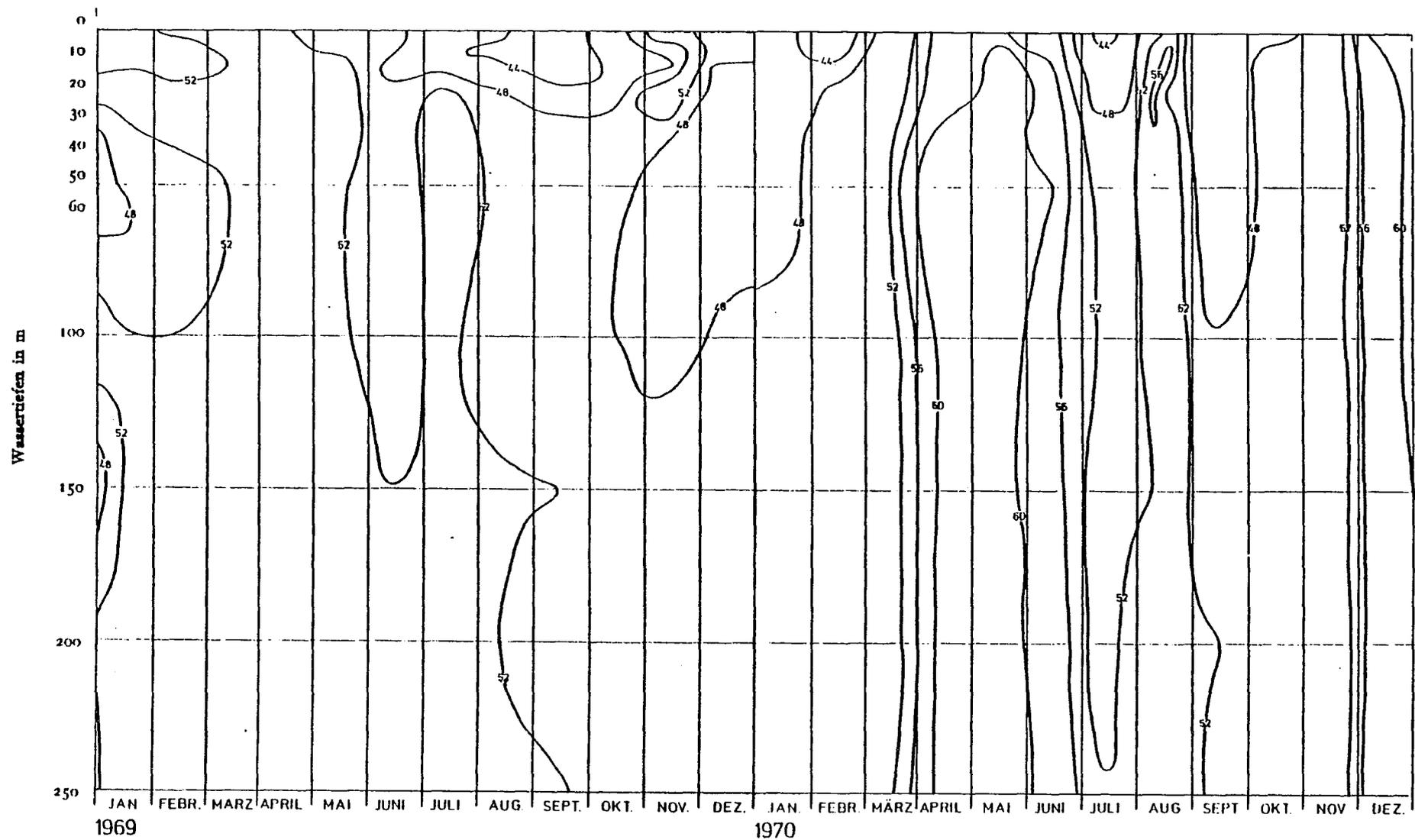


ABB.21 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) KALZIUM (MG CA/L)

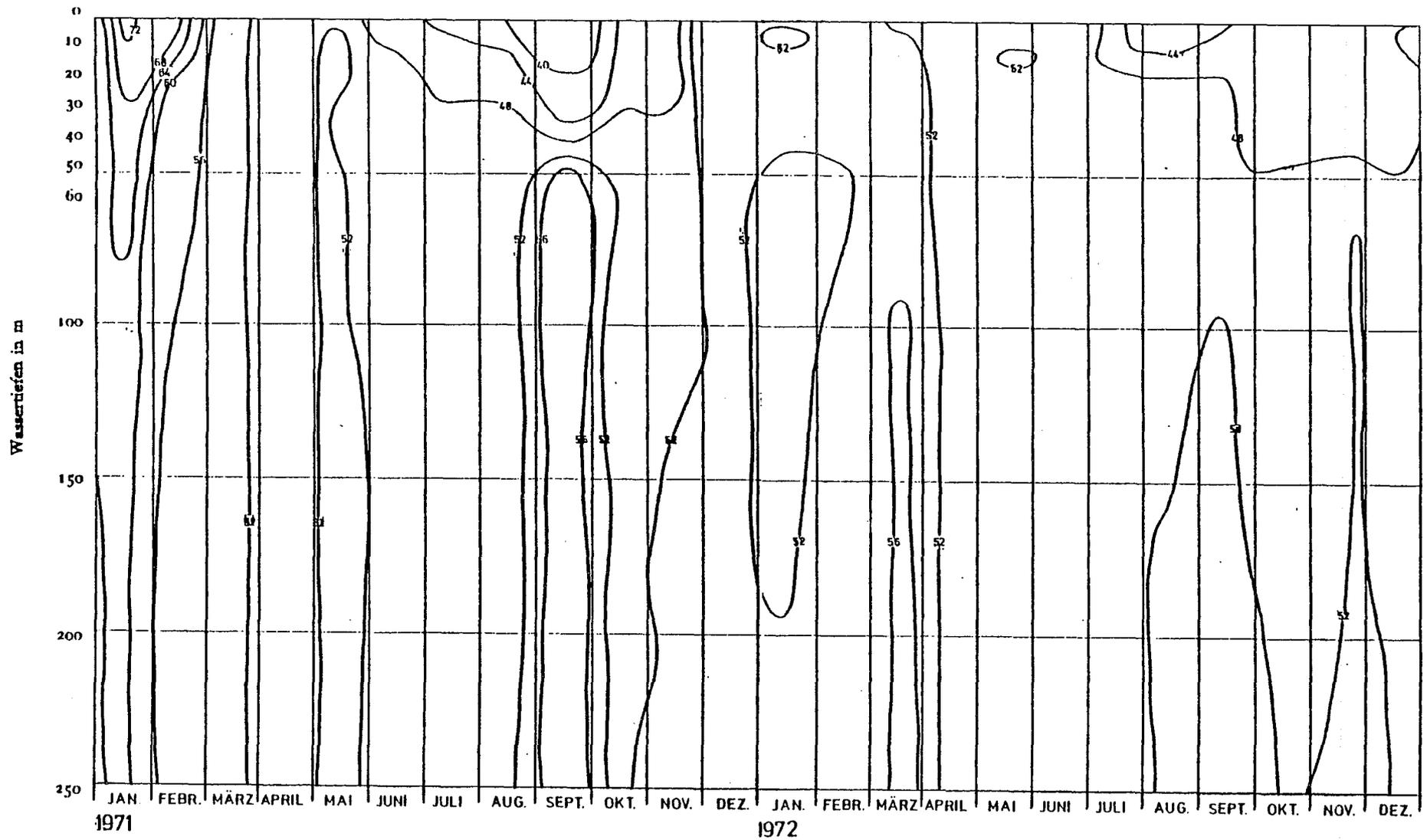


ABB.21 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) KALZIUM (MG CA/L)

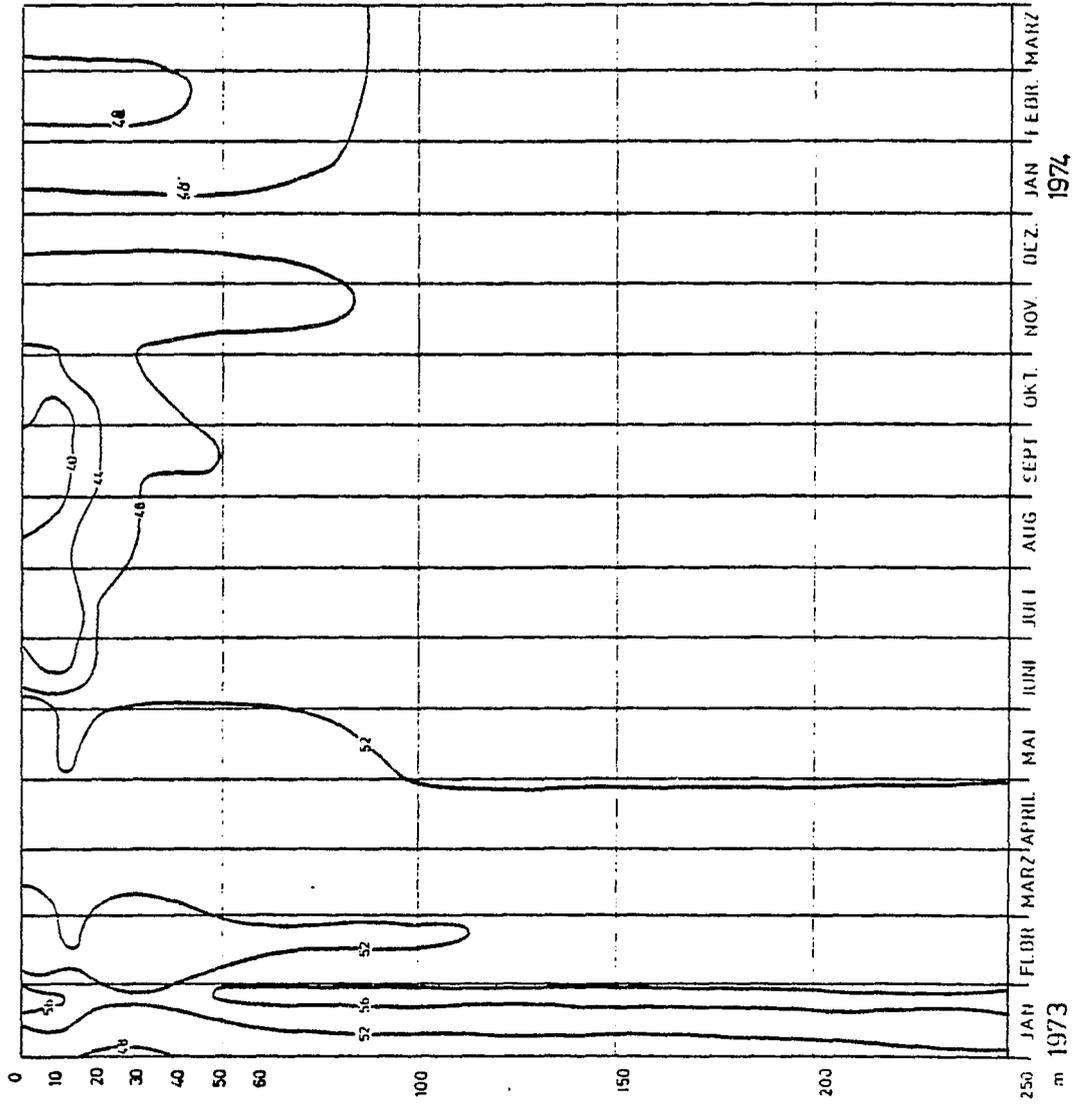


ABB. 21 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-ÜTTWIL) KALZIUM (MG CA/L)

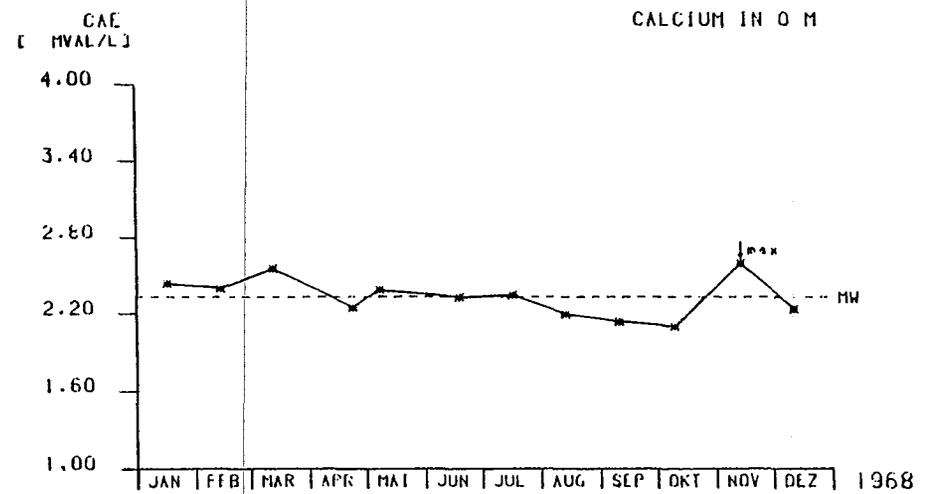
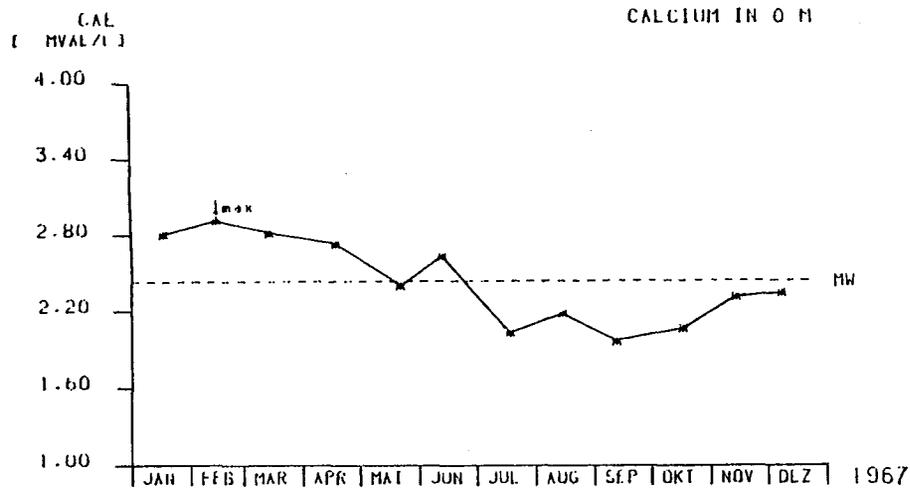
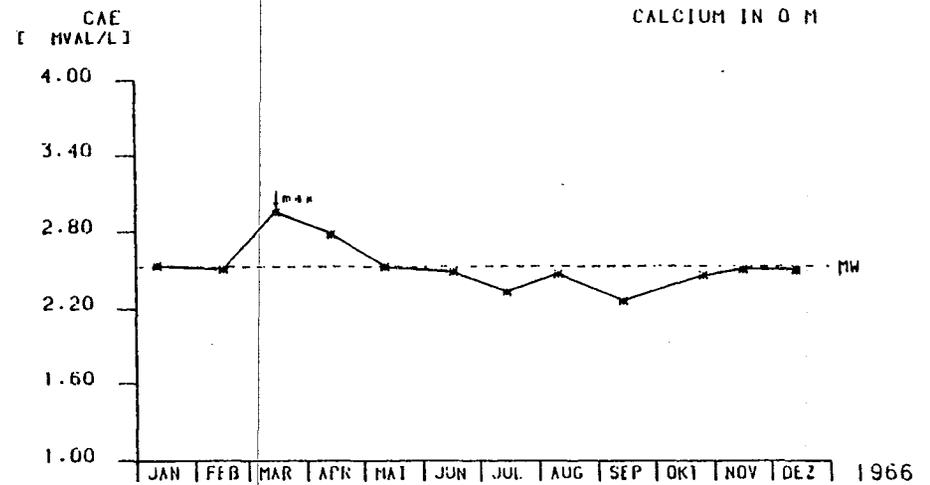
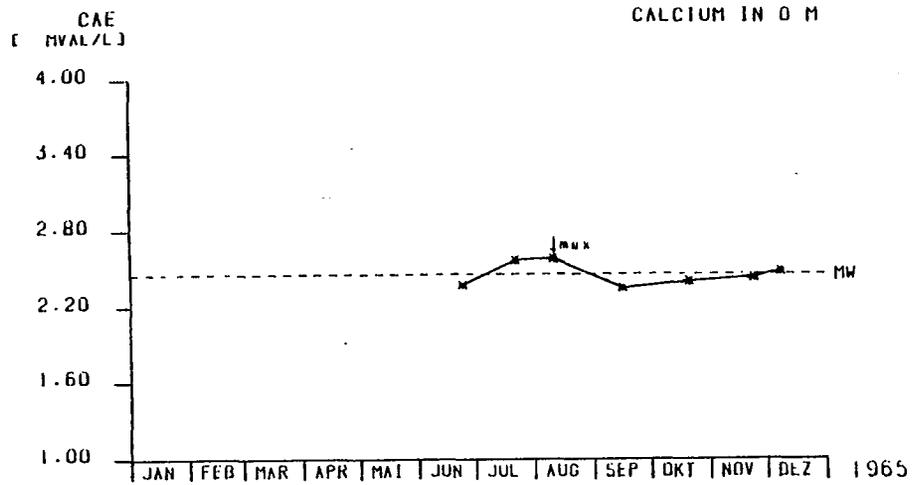


ABB.22 (1) BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) KALZIUM IN O M (MG CA/L)

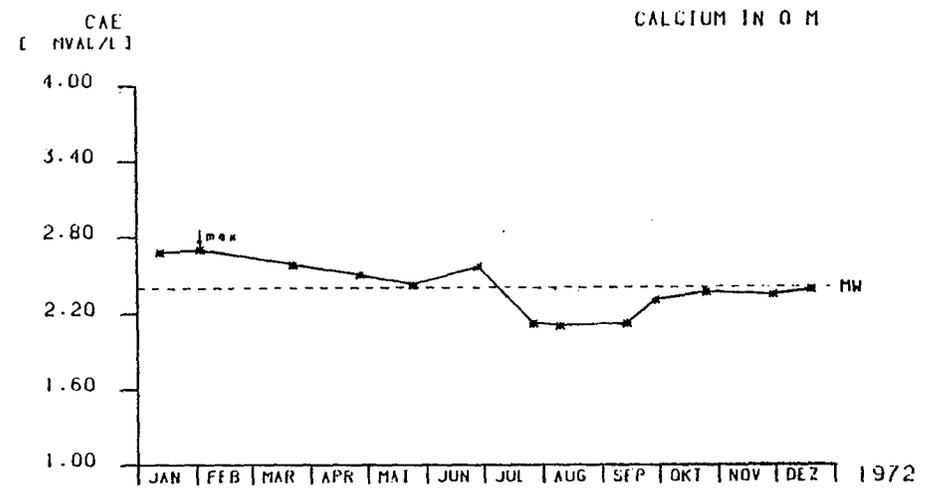
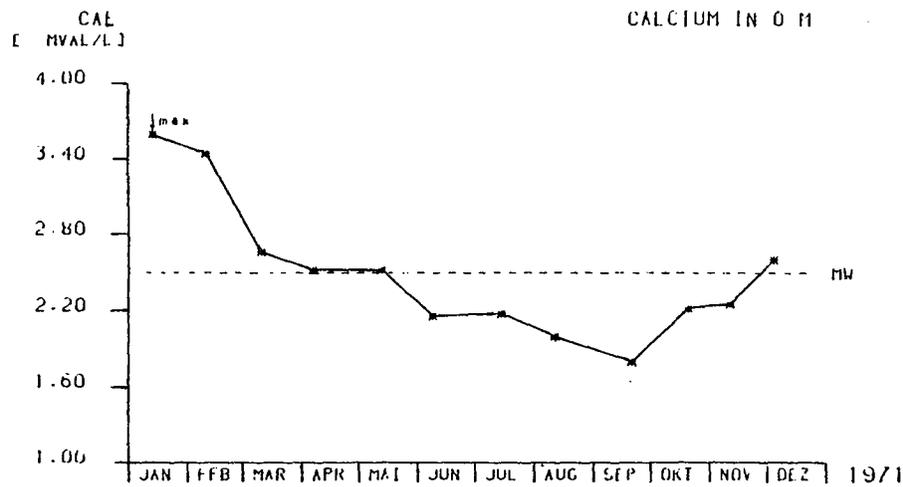
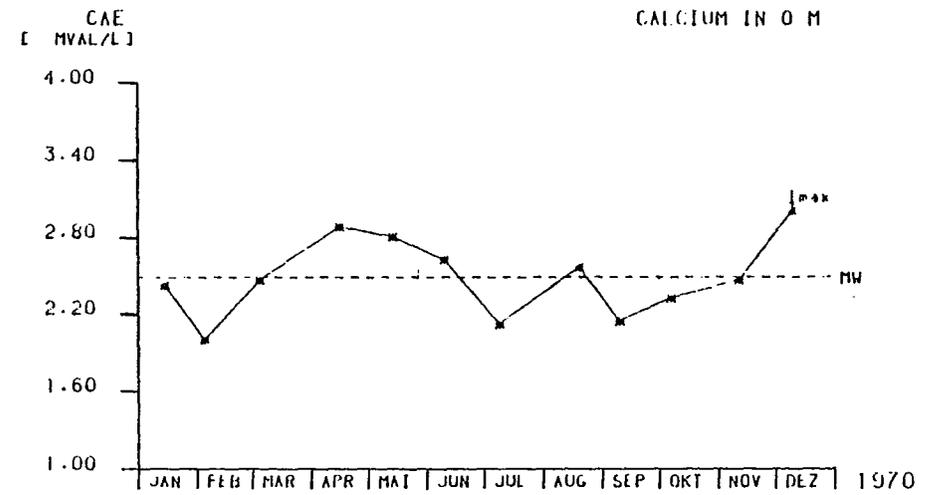
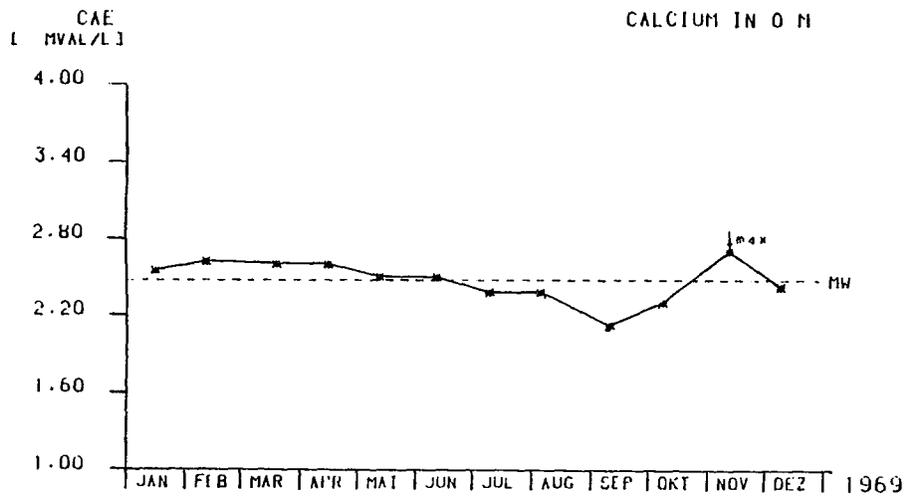


ABB.22 (1) BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) KALZIUM IN O M (MG CA/L)

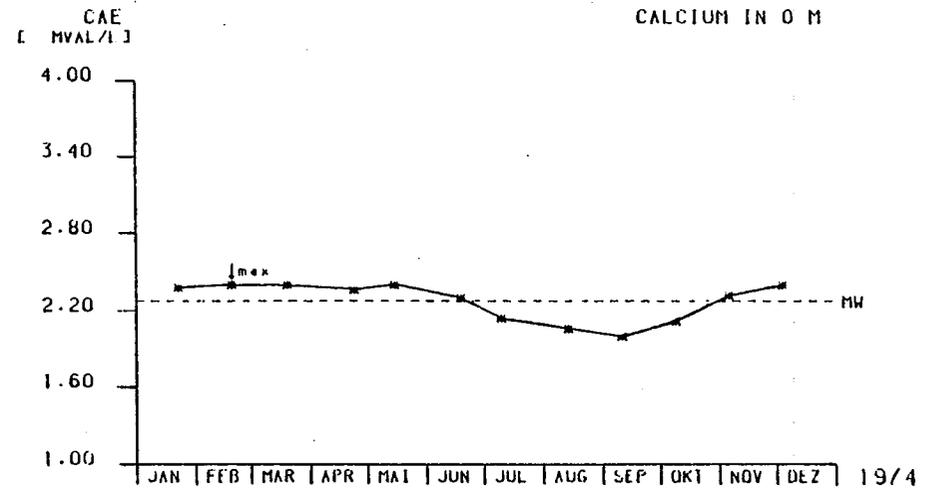
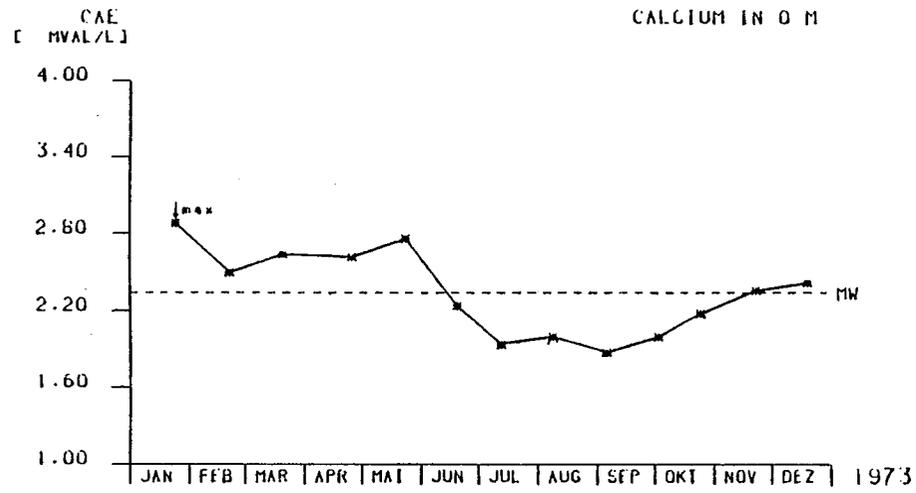


ABB.22 (1) BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) KALZIUM IN O M (MG CA/L)

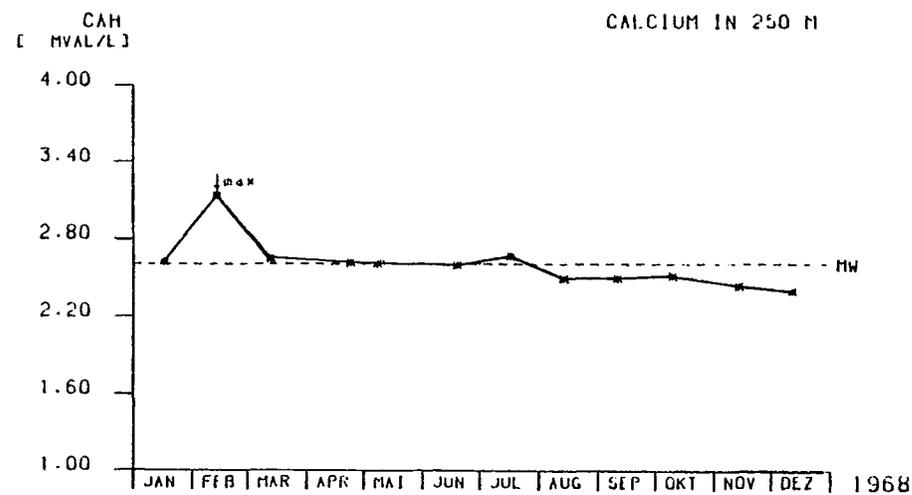
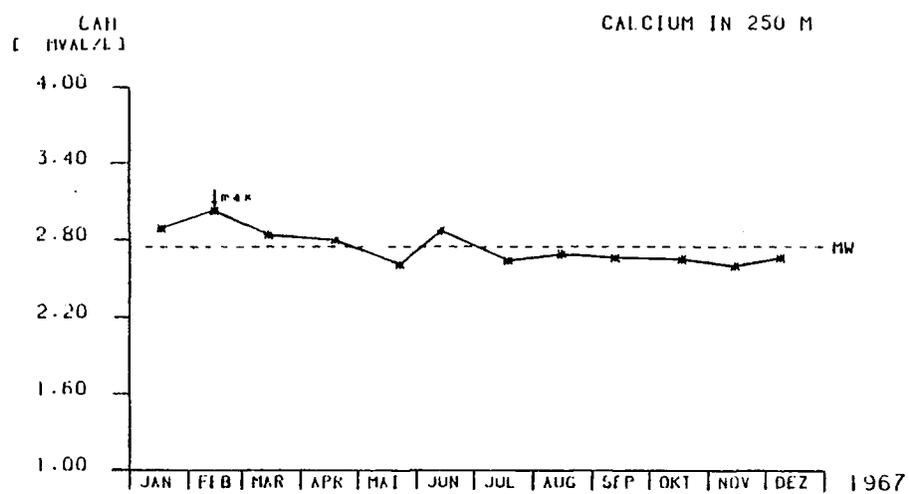
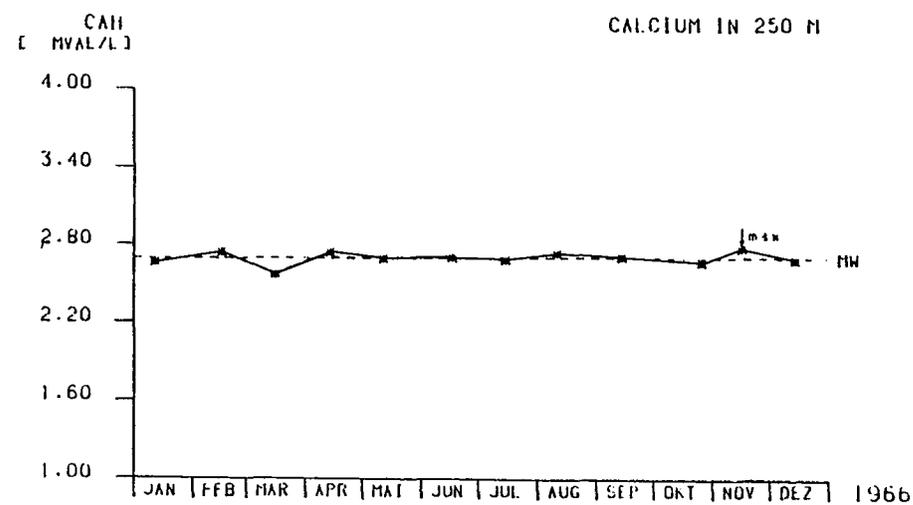
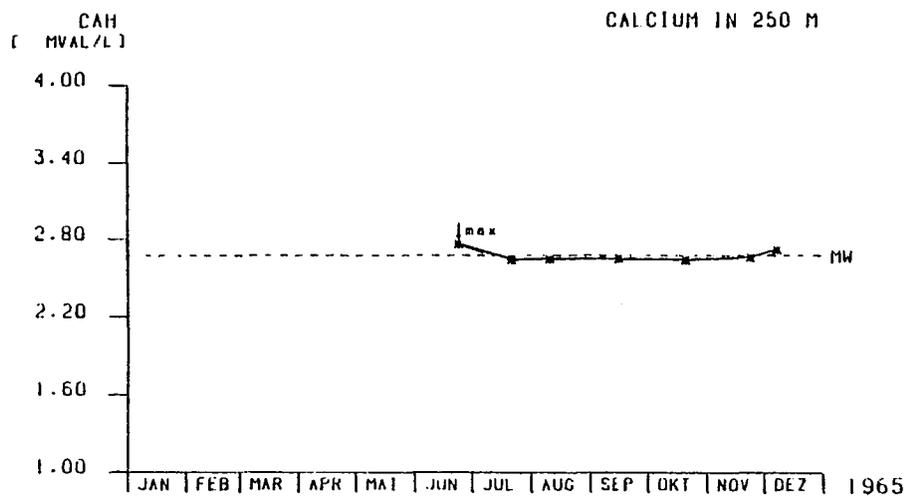


ABB.22 (2) BODENSEE-ÖBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) KALZIUM IN 250 M (MG CA/L)

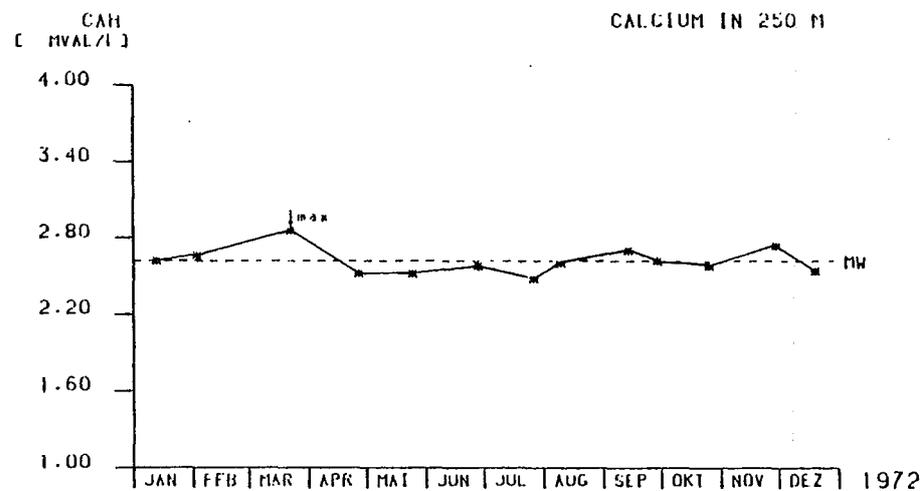
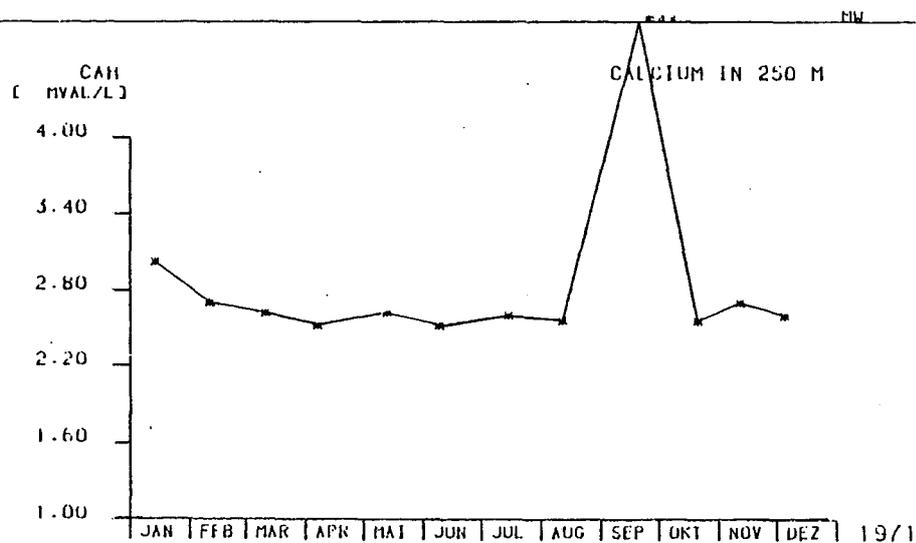
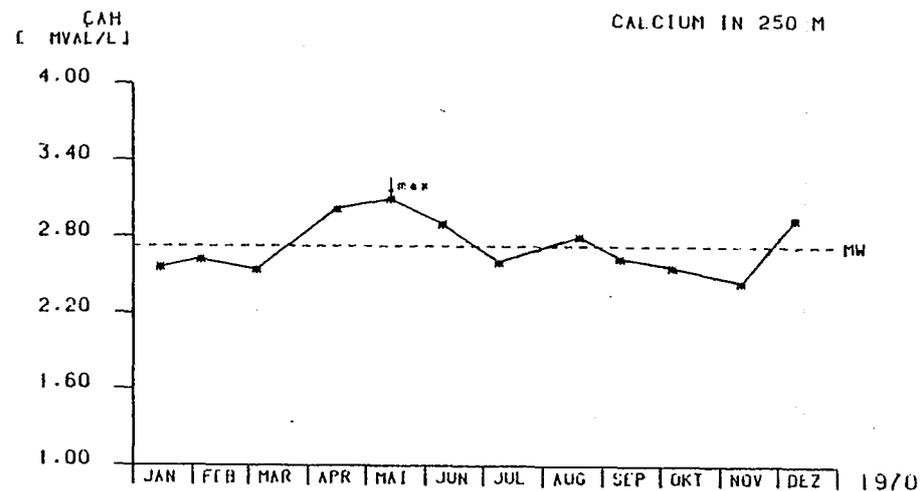
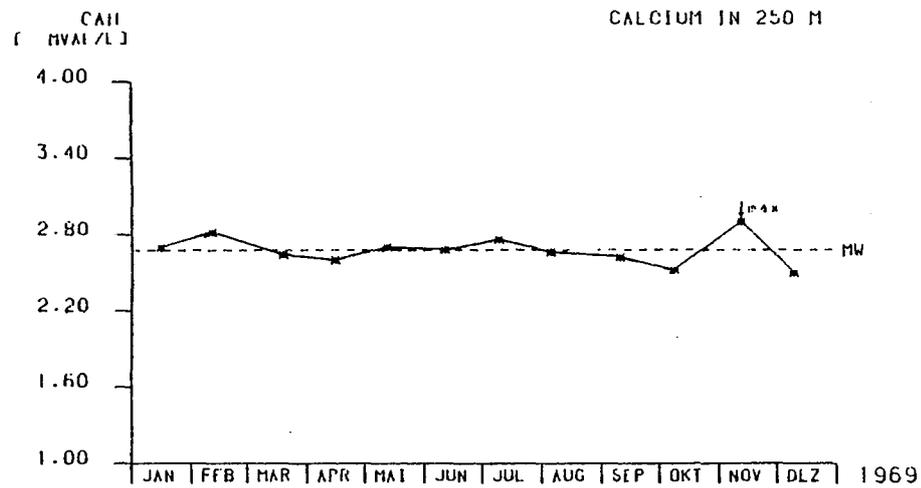


ABB.22 (2) BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) KALZIUM IN 250 M (MG CA/L)

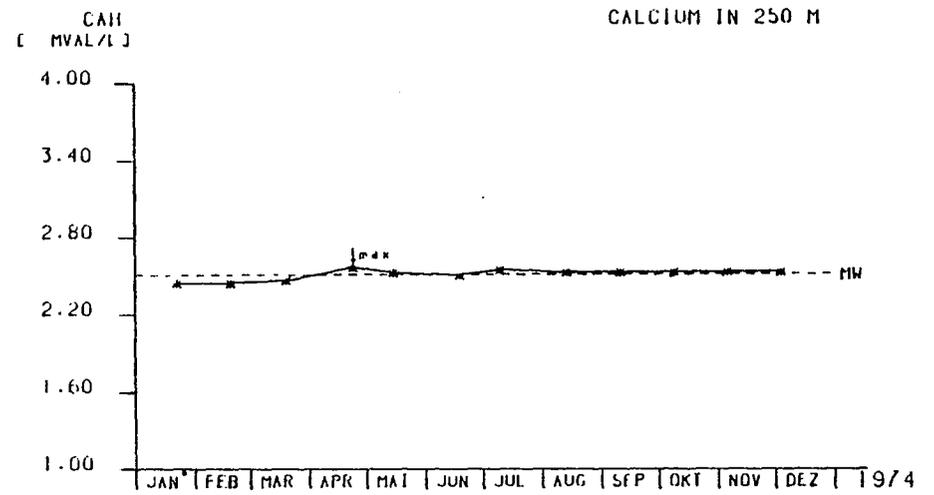
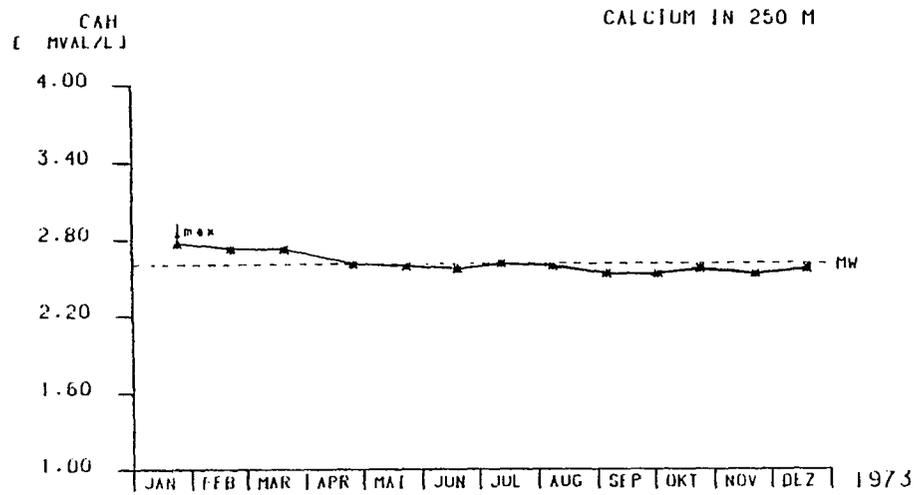


ABB.22 (2) BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) KALZIUM IN 250 M (MG CA/L)

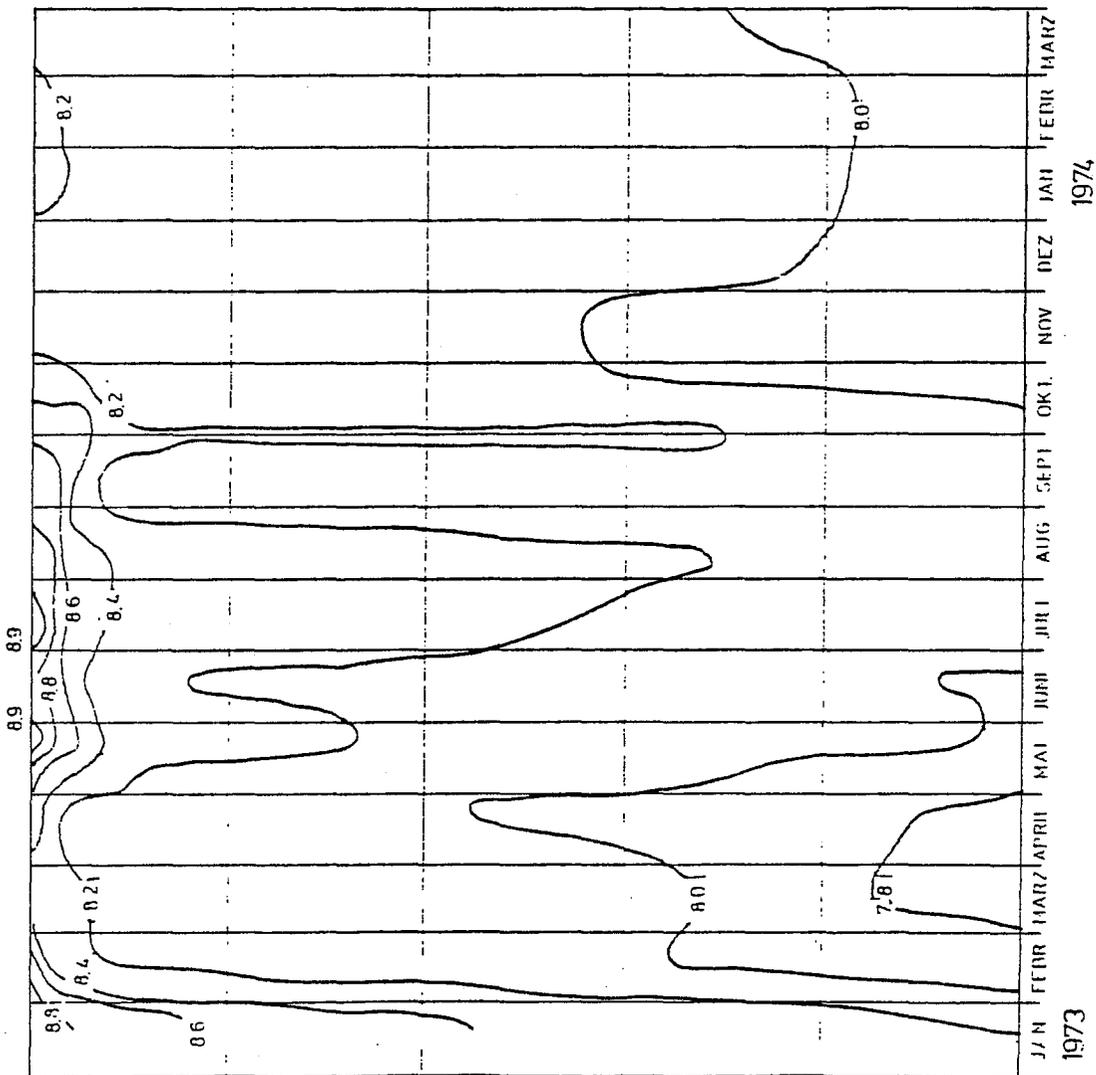


ABB. 23 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) pH-WERT

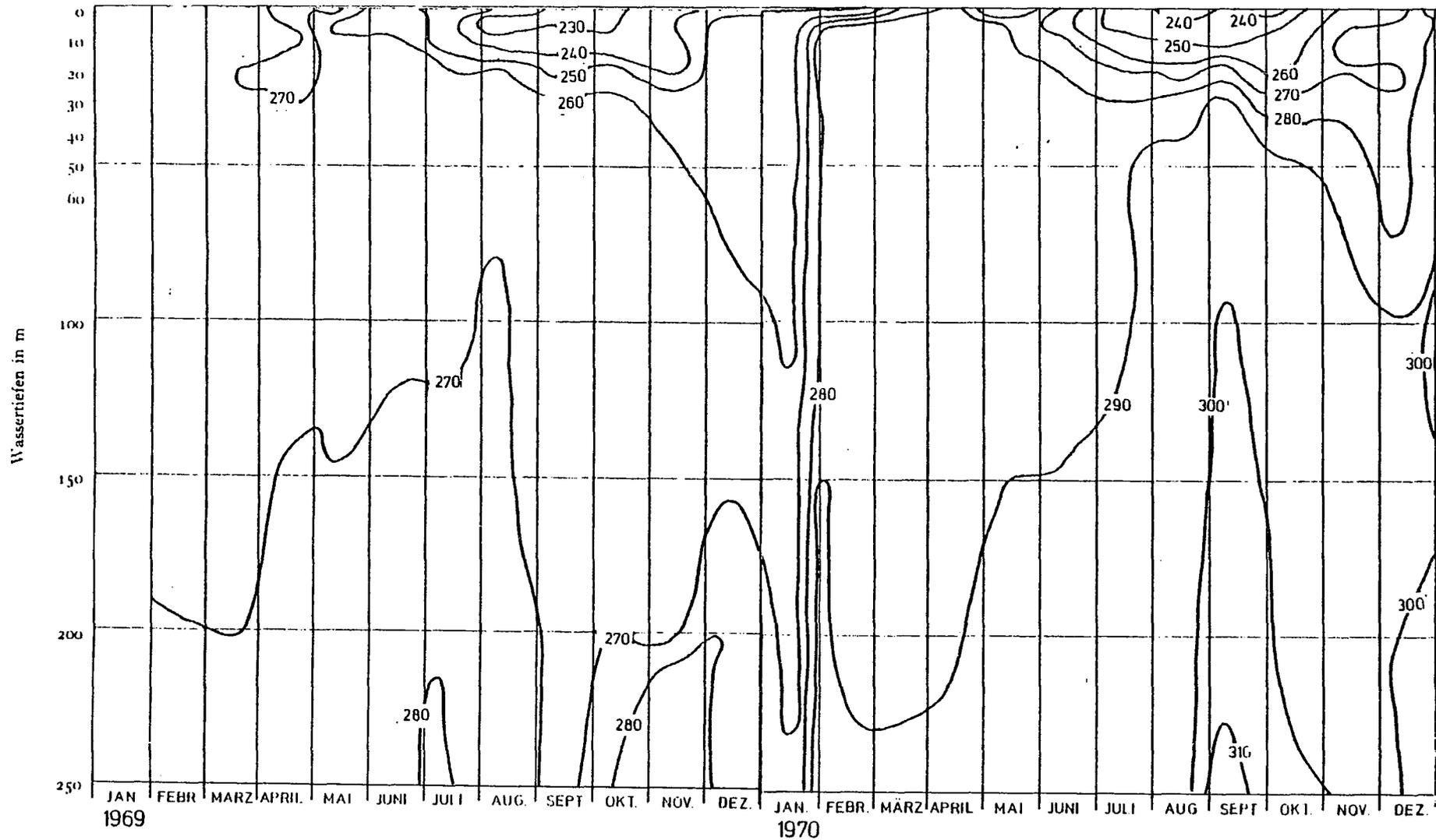


ABB.24 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ELEKTR.LEITFÄHIGKEIT (MIKROSIEMENS cm^{-1}) BEI 20 GRAD C

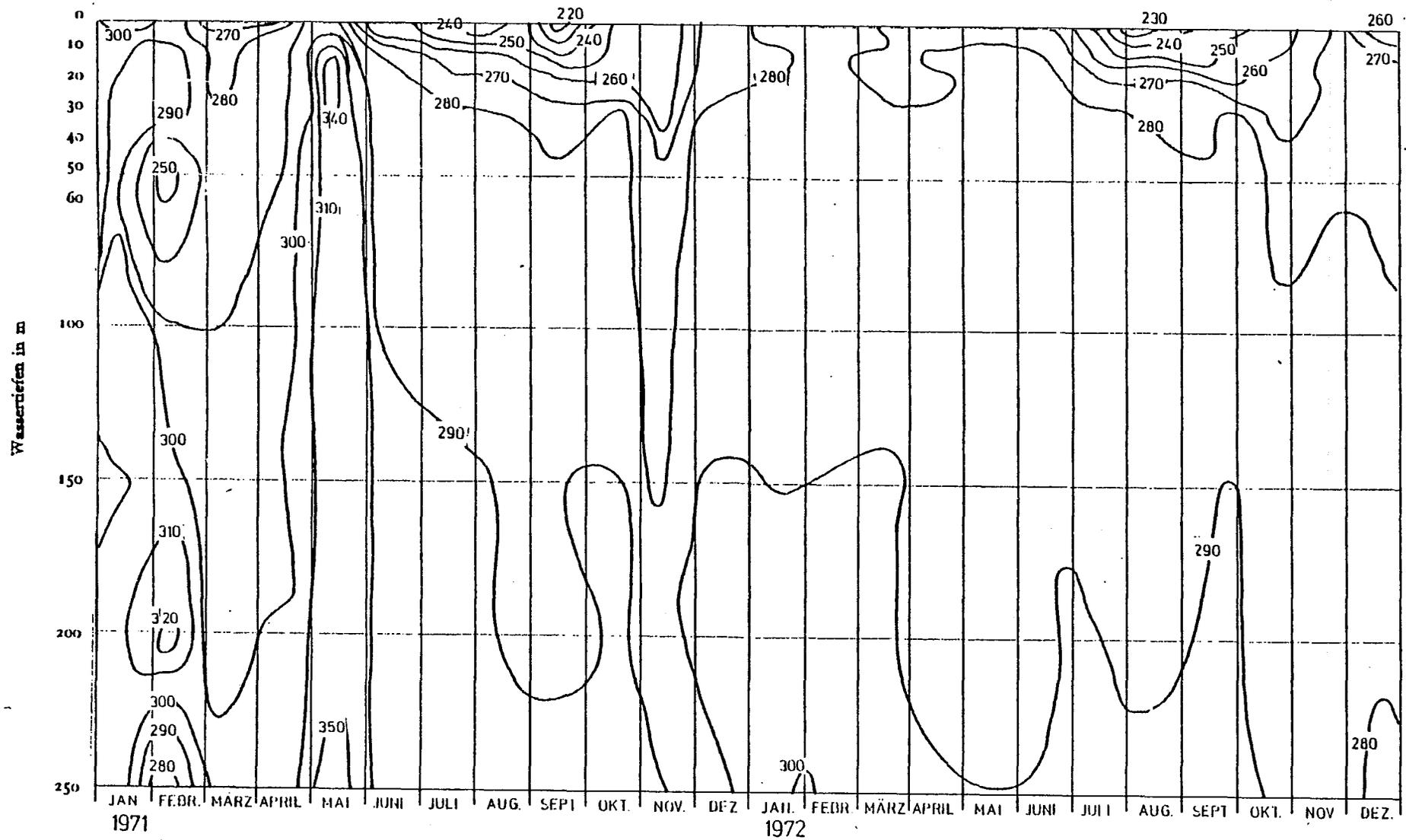


ABB.24 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ELEKTR.LEITFÄHIGKEIT (MIKROSIEMENS cm^{-1}) BEI 20 GRAD C

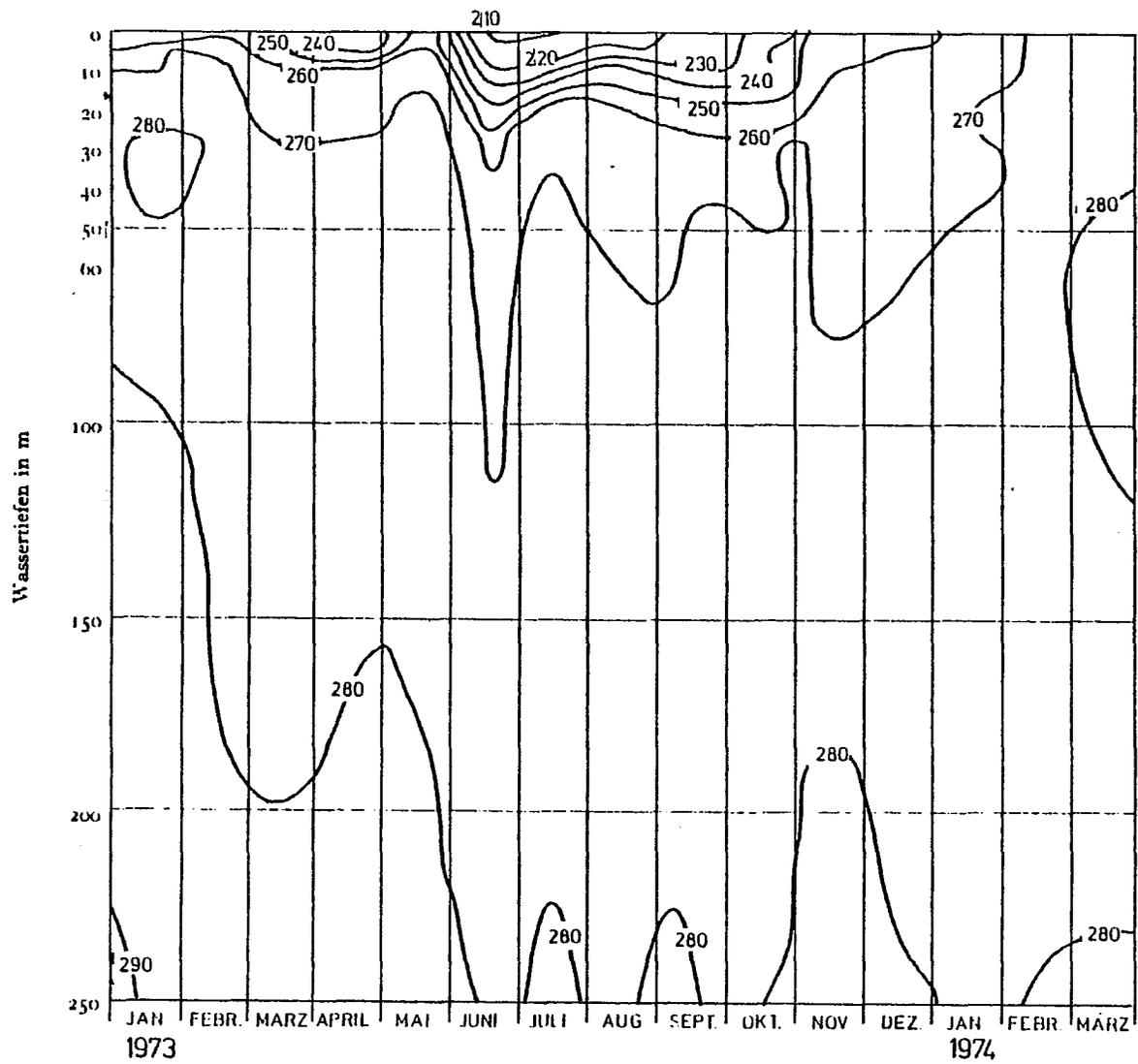


ABB.24 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) ELEKTR.LEITFÄHIGKEIT (MIKROSIEMENS cm^{-1})
 BEI 20 GRAD C

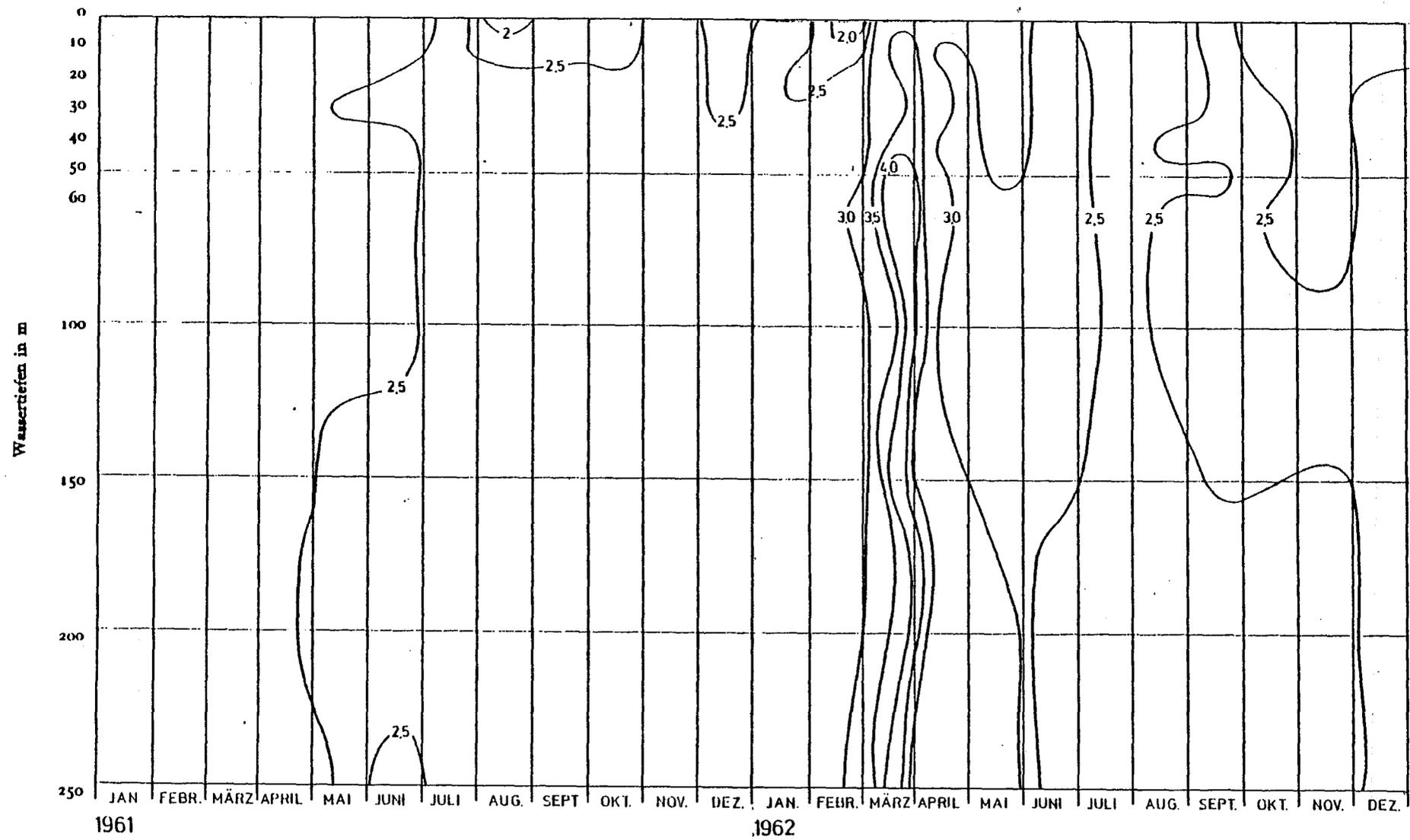


ABB. 25 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHLORID (MG CL/L)

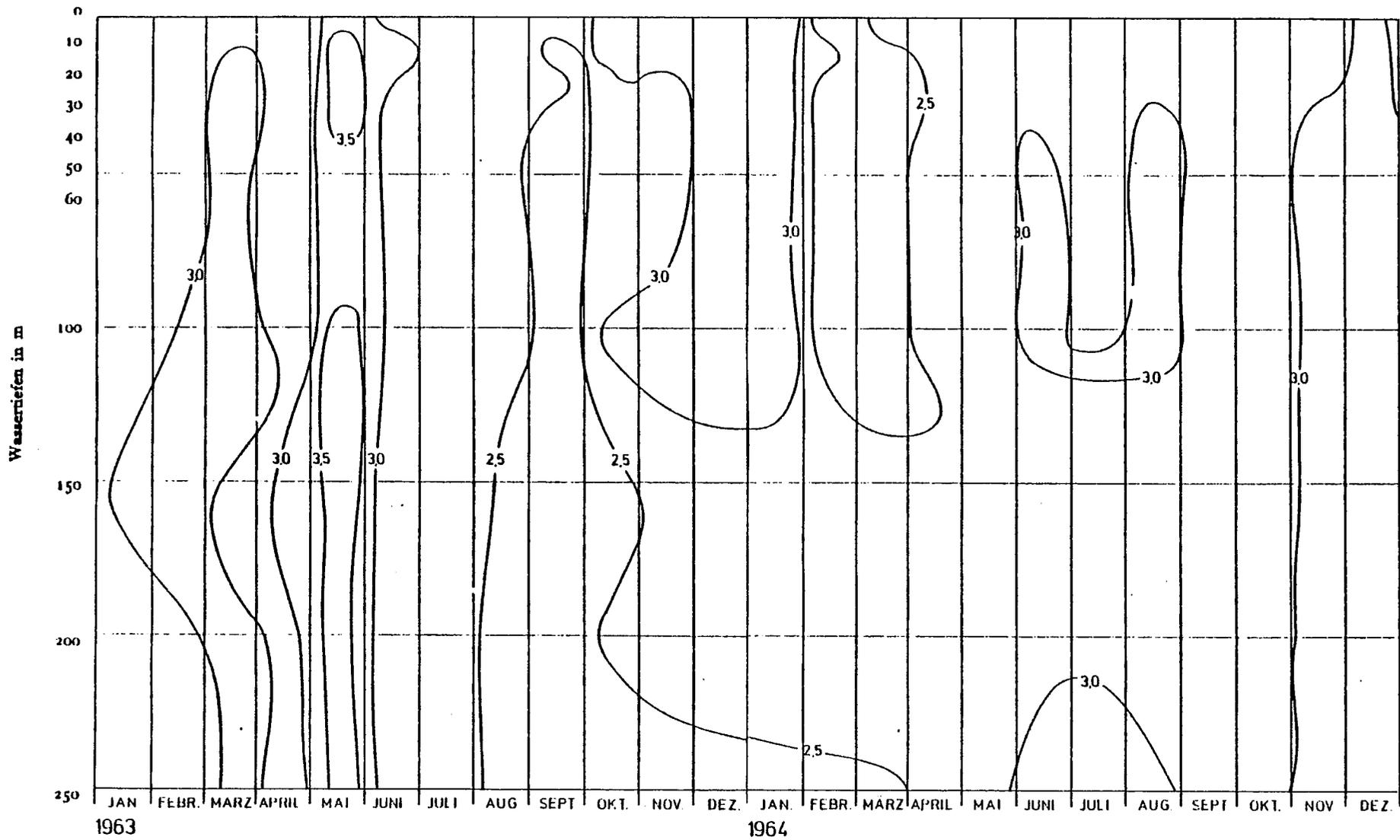


ABB.25 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHLORID (MG CL/L)

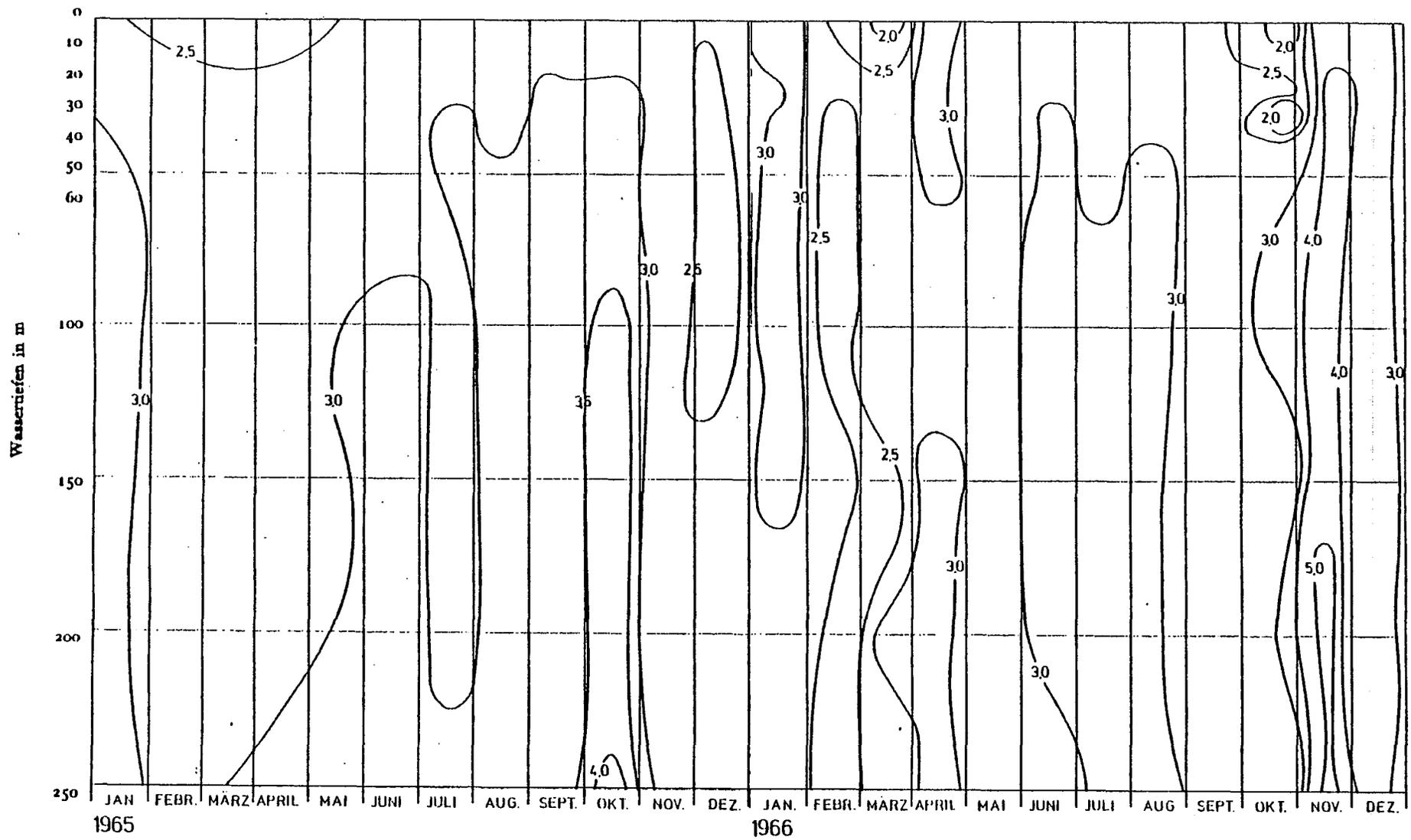


ABB.25 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHLORID (MG CL/L)

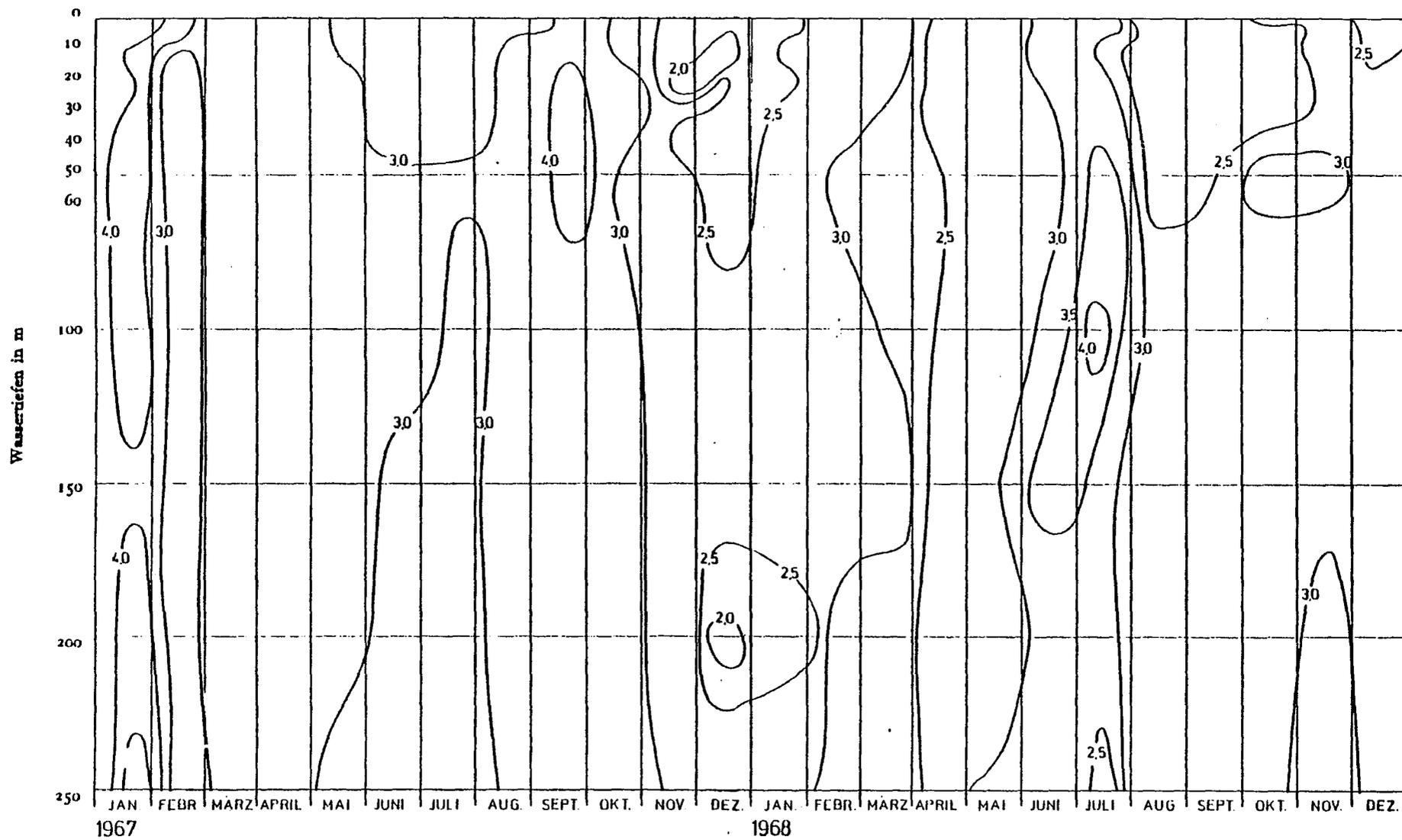


ABB. 25 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHLORID (MG CL/L)

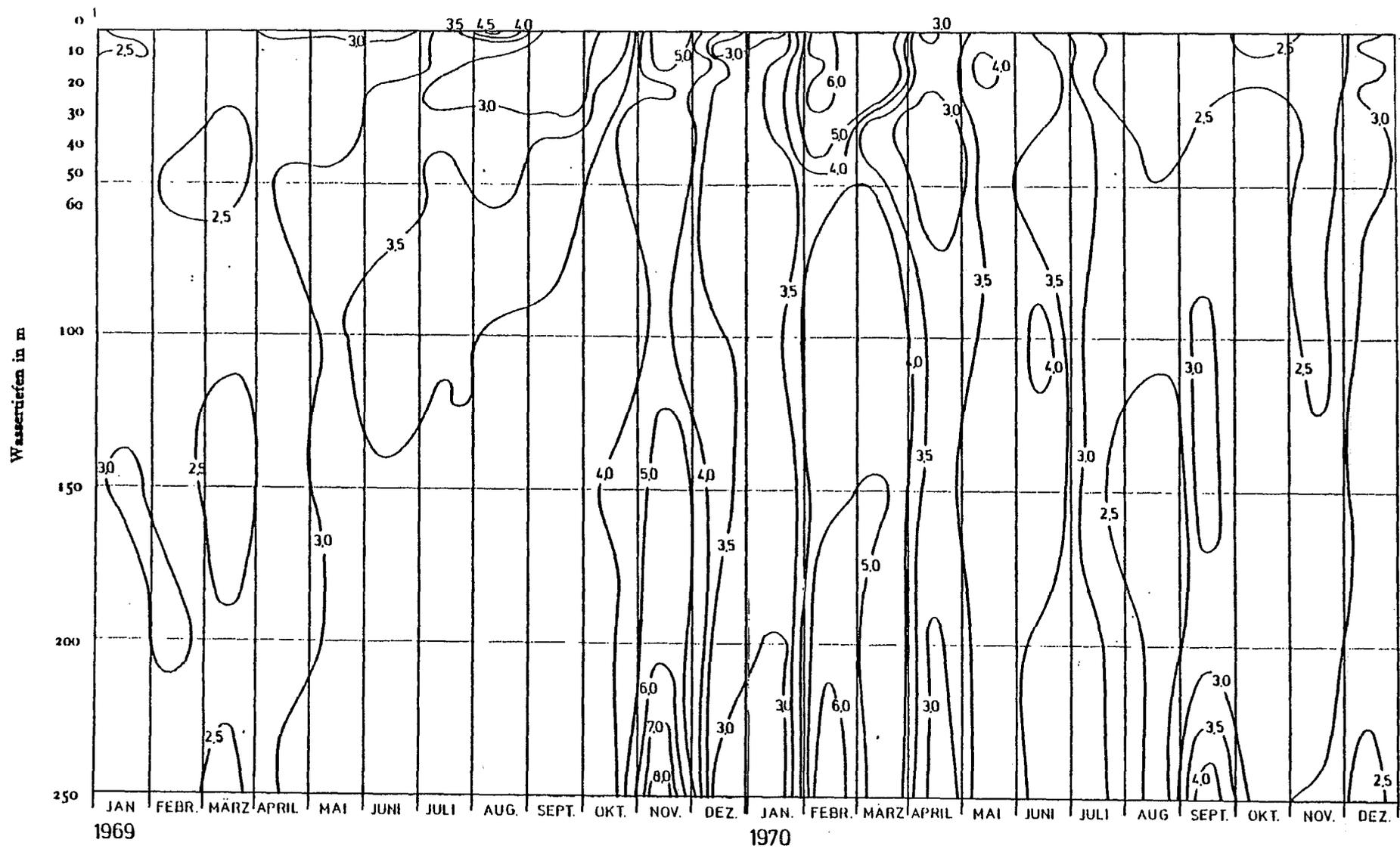


ABB.25 BODENSEE-ÜBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) CHLORID (MG CL/L)

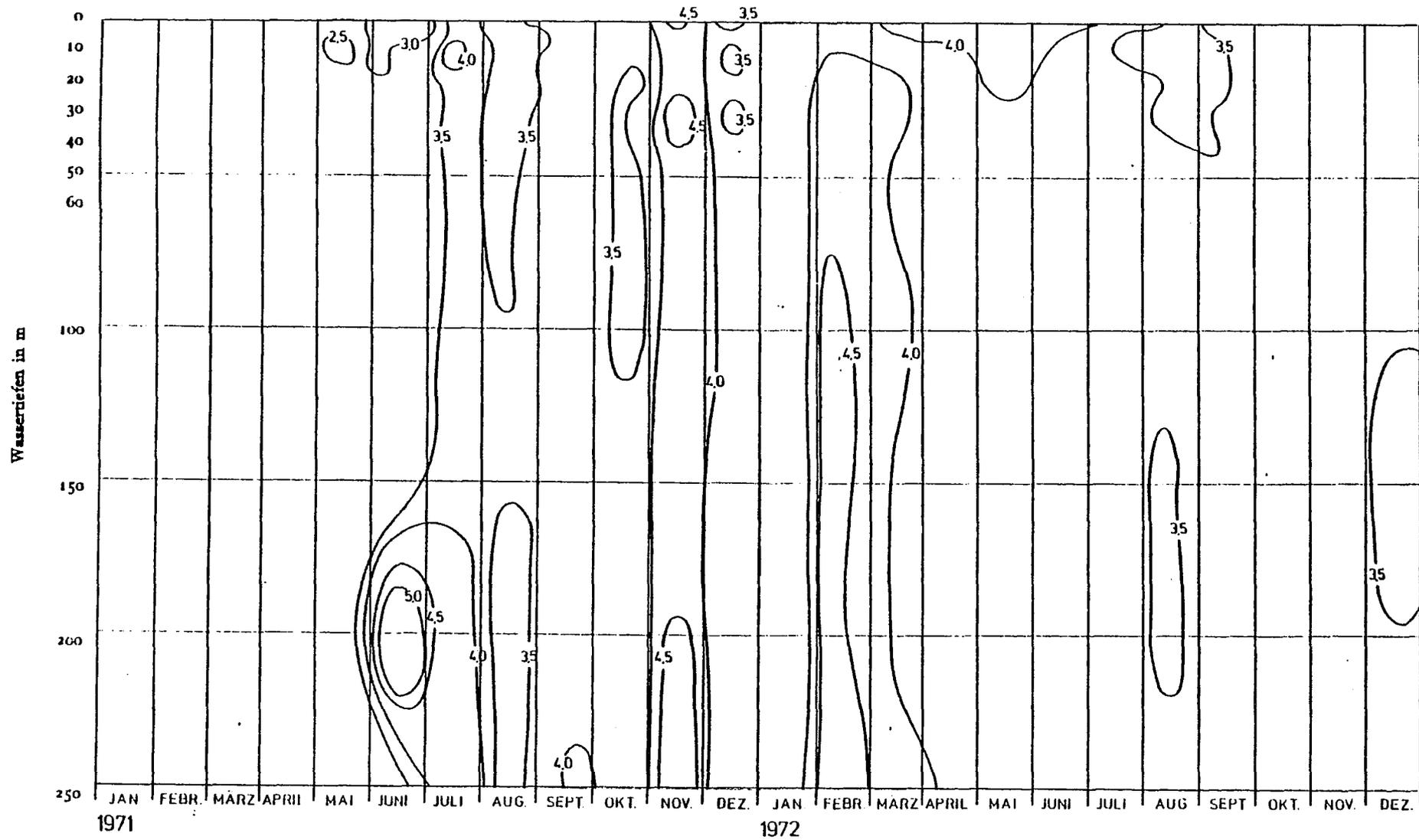


ABB.25 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHLORID (MG CL/L)

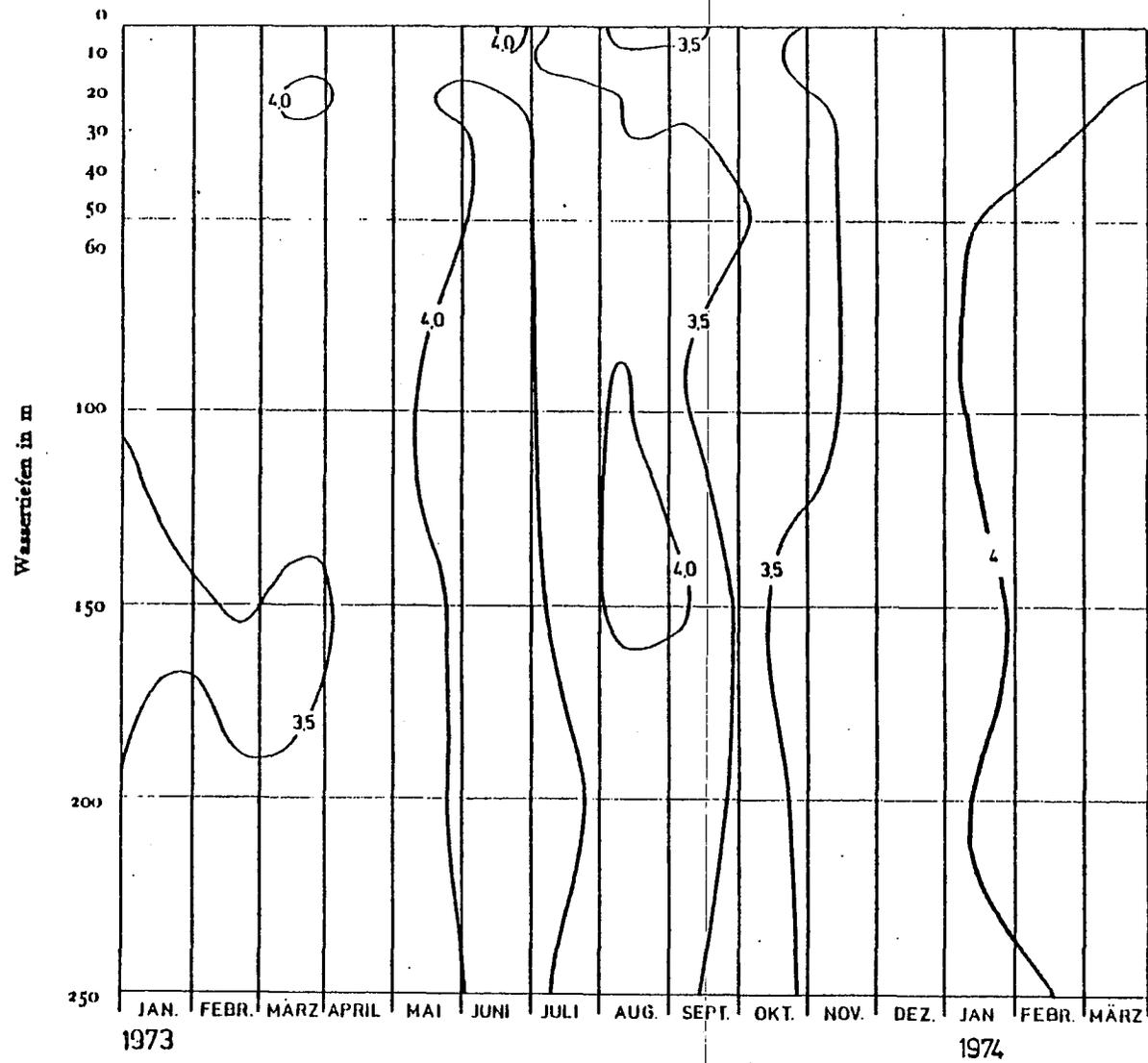


ABB.25 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHLORID (MG CL/L)

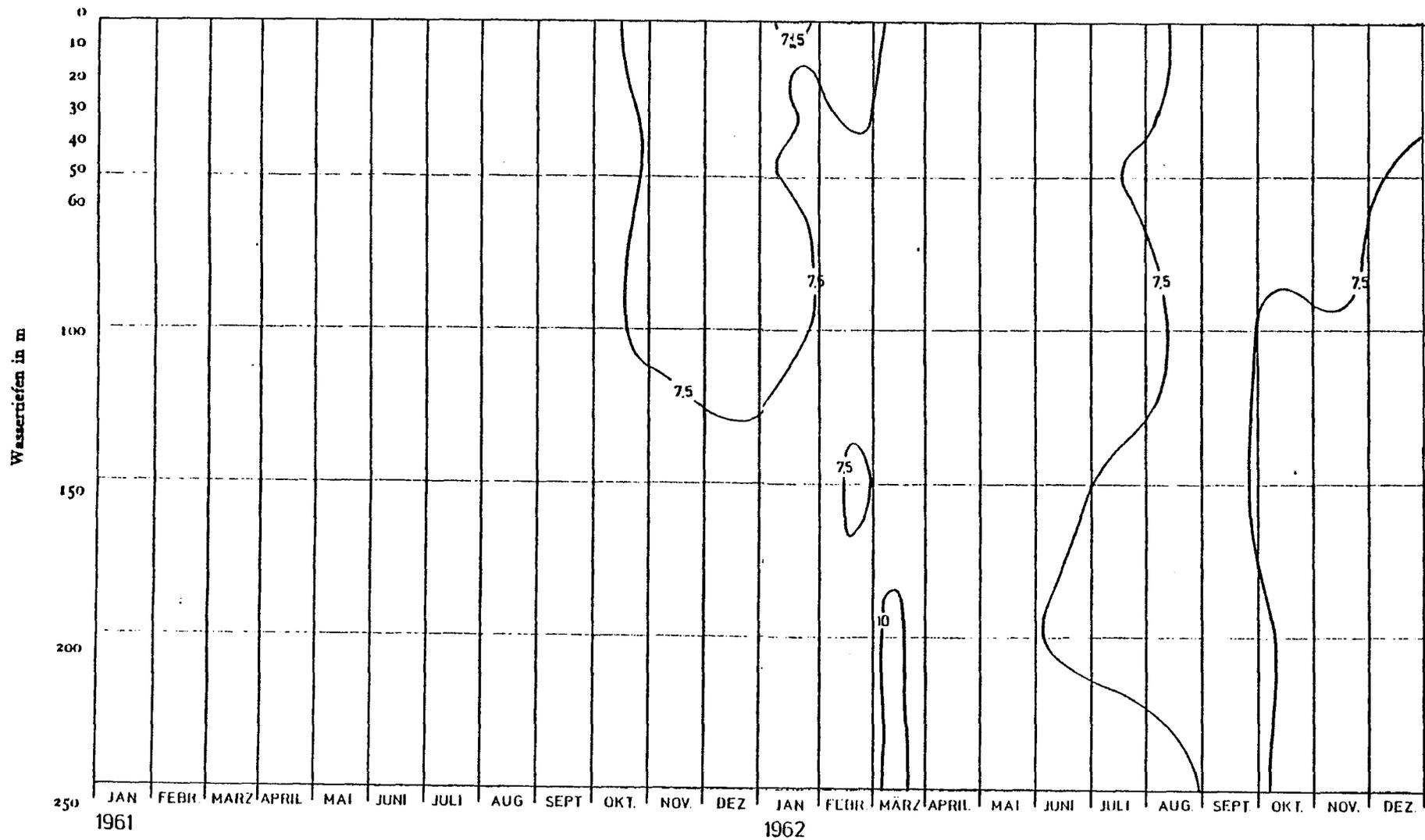


ABB.26 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF KMnO_4 (MG O_2/L)

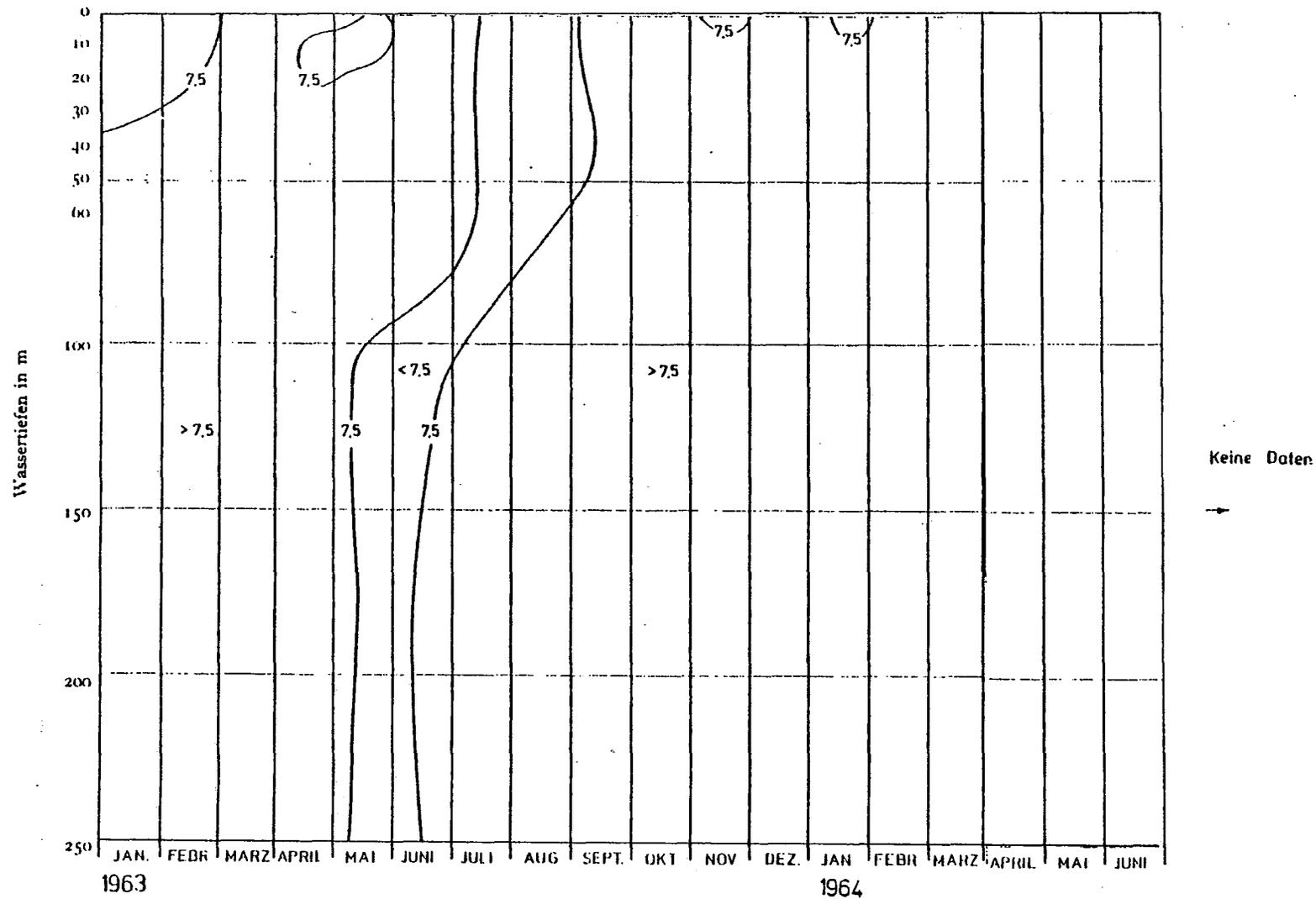


ABB.26 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL) CHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF KMNO₄ (MG O₂/L)

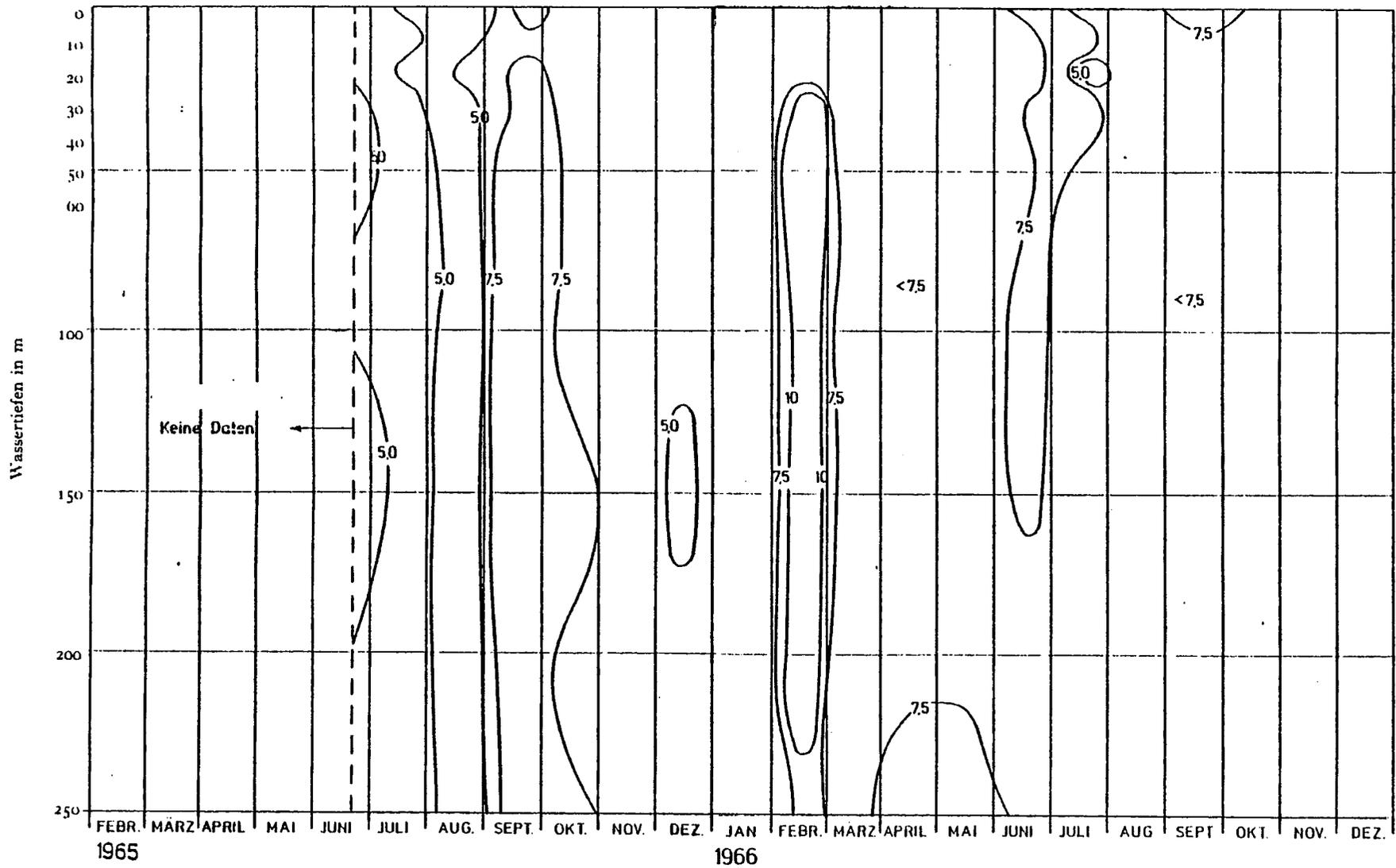


ABB.26 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF KMNO₄ (MG O₂/L)

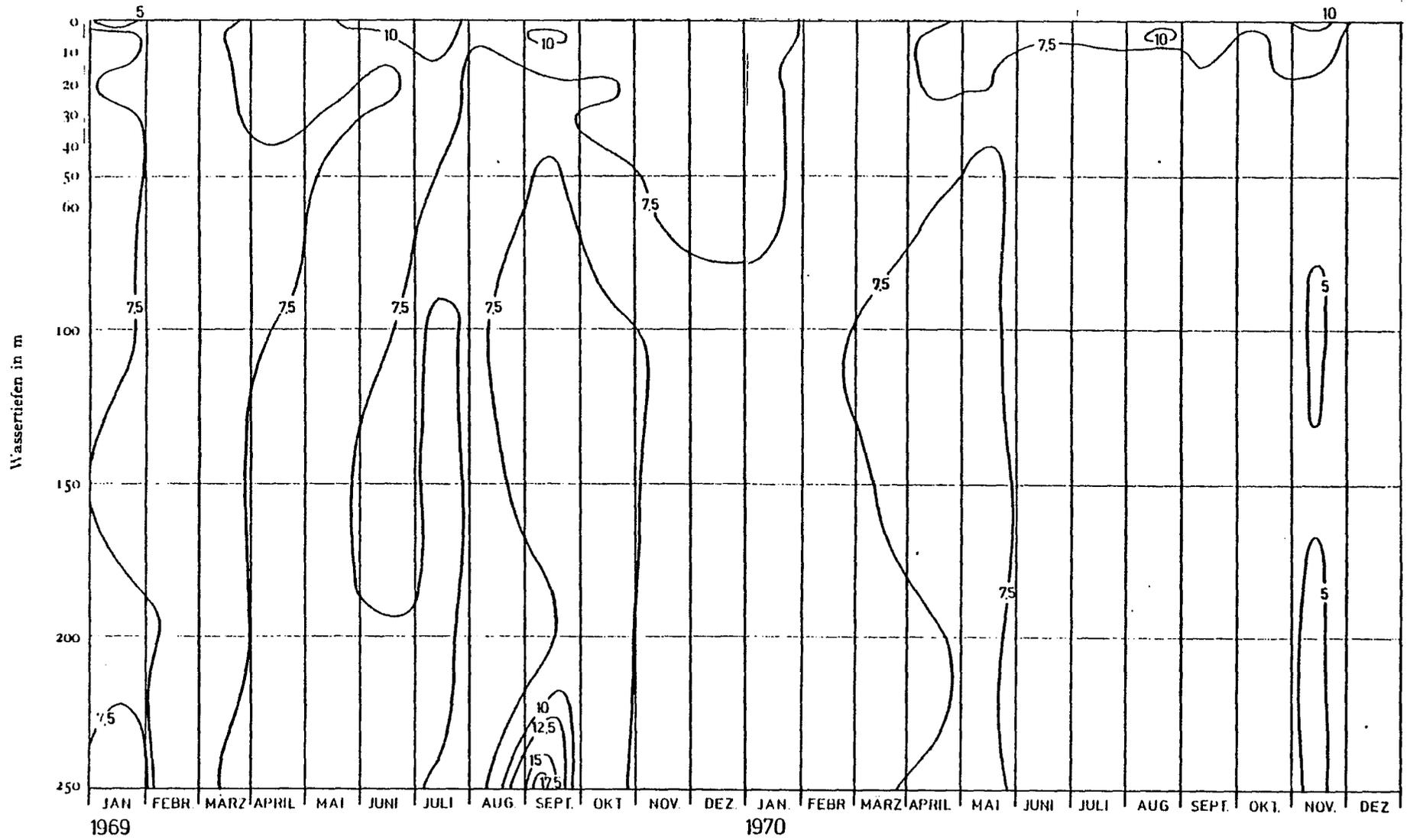


ABB.26 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF KMnO_4 (MG O_2/L)

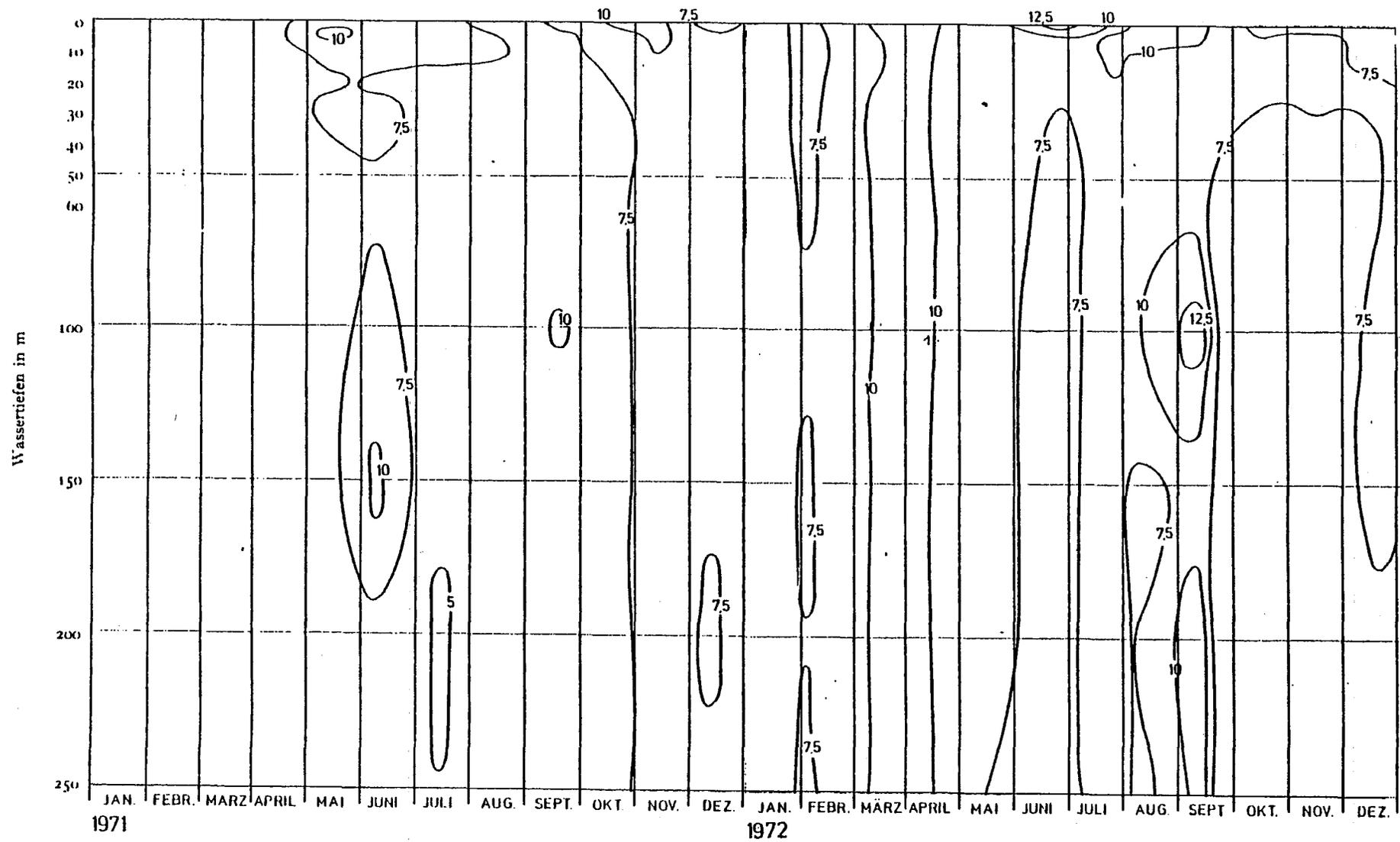


ABB. 26 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF KMNO₄ (MG O₂/L)

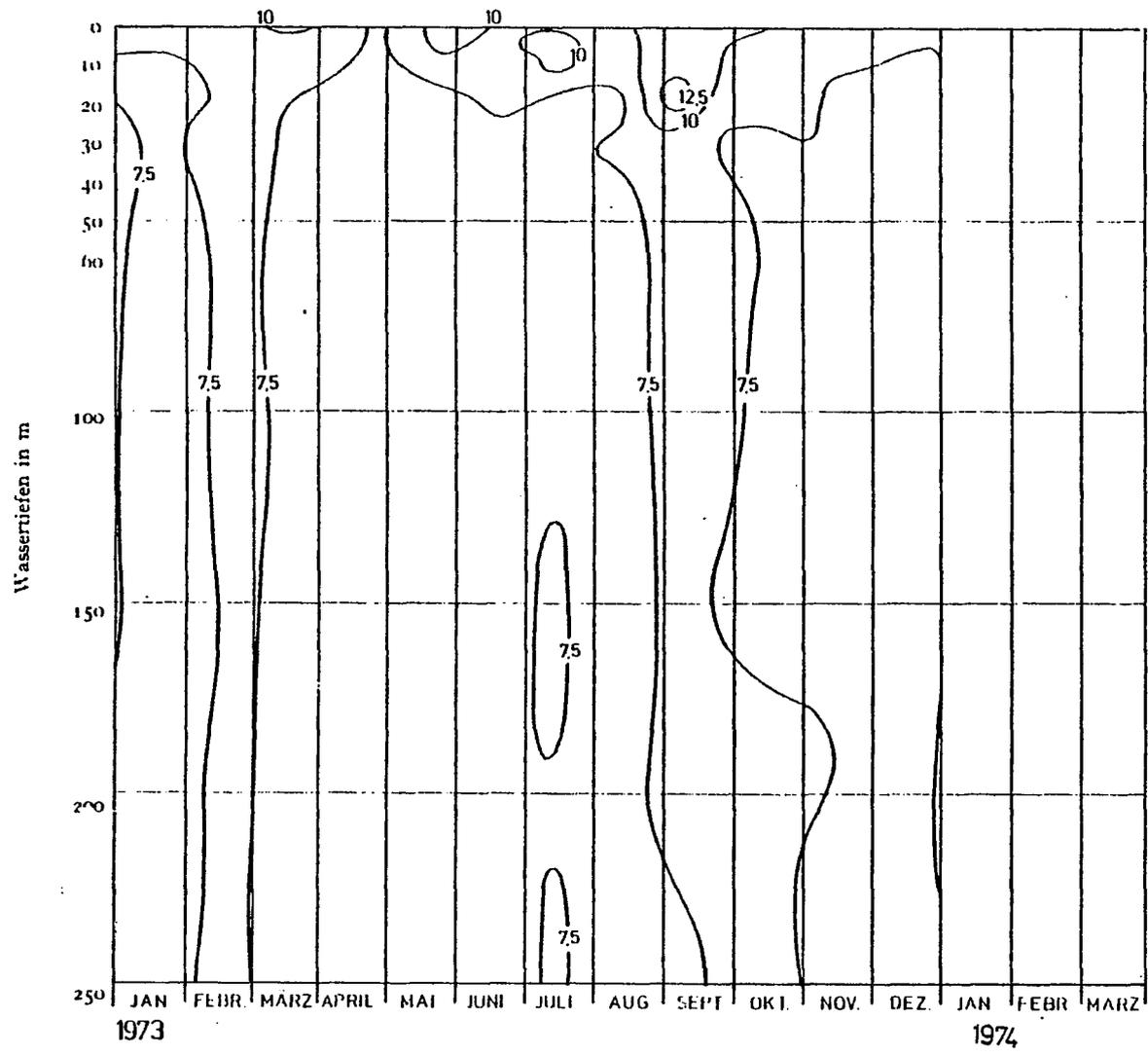


ABB.26 BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTIL) CHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF KMnO_4 (MG O_2/L)