

**Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 32, 1985**

**Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee**

**Bericht Nr. 32**

**Quantitative Mikroanalyse flüchtiger, organischer**

**Verbindungen im Bodenseewasser**



## INHALT

	<b>Seite</b>
1. Vorwort	4
2. Einleitung	6
3. Methodik	7
3.1 Probenahme	7
3.2 Analytik	7
4. Ergebnisse	8
4.1 Horizontalprofile	9
4.2 Vertikalprofile	10
5. Diskussion	10
6. Zusammenfassung und Wertung	16
7. Literaturverzeichnis	18
8. Abbildungen und Tabellen	20-35

## 1. VORWORT

In der Diskussion um den limnologischen Zustand des Bodensees standen in den vergangenen 30 Jahren Probleme der Eutrophierung des Sees im Mittelpunkt des Interesses. Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen und Publikationen, auch der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), befaßten sich deshalb mit diesem Thema. Letztlich führten die Erkenntnisse aus diesen Arbeiten zu außerordentlichen Anstrengungen der Staaten im Einzugsgebiet des Bodensees bei der Abwasserreinigung. Als erster Erfolg dieser Bemühungen konnte der Anstieg von Phosphorverbindungen im See nicht nur gestoppt, sondern der Phosphor-Gehalt sogar wieder leicht vermindert werden.

Neben diesen unverändert relevanten Nährstofffragen traten in den letzten Jahren zunehmend auch andere Probleme in den Vordergrund. Insbesondere die weite Verbreitung zahlloser Schadstoffe in der Atmosphäre, im Boden und in den Gewässern erforderte auch am Bodensee eine Bestandaufnahme der aktuellen Situation. Wegen der Bedeutung der Sedimente als Schadstoffspeicher und wegen ihres Anreicherungsvermögens für die meisten dieser Stoffe konzentrierte sich eine erste von der IGKB angeregte Untersuchung auf den Seeboden. Zu den untersuchten Stoffgruppen zählten u.a. Kohlenwasserstoffe, organische Halogenverbindungen, speziell Pestizide, und Schwermetalle (IGKB-Bericht Nr. 31).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung, die für die Sedimente insgesamt einen mittleren bis mäßigen Belastungsgrad anzeigen, lassen jedoch kaum Angaben über das Vorkommen und die Verteilung von Schadstoffen im Freiwasserraum des Bodensees zu. Dies gilt besonders für diejenigen Substanzen, die vor allem in oberflächennahe Wasserschichten eingetragen werden und sich dort anreichern können.

Wichtige Vertreter dieser Klasse sind beispielsweise Kohlenwasserstoffe, wie sie in Kraftstoffen verwendet werden und halogenierte Kohlenwasserstoffe, die in Lösemitteln weit verbreitet sind. Um erste Informationen über diese relativ flüchtigen Stoffe zu erhalten, beschloß die IGKB auf ihrer 29. Kommissionstagung im Mai 1983 eine von allen Anliegerstaaten getragene Untersuchung dieser Substanzen im Freiwasser des Bodensees.

Obwohl die Untersuchung, bedingt durch den vorgegebenen zeitlichen und finanziellen Rahmen, in erster Linie orientierenden Charakter hatte, vermittelt sie doch erstmals detailliertere Kenntnisse über zahlreiche flüchtige Stoffe im Wasser des Bodensees. Angegeben werden u.a. absolute Konzentrationswerte, sowohl im Tiefenprofil wie auch an ausgewählten Stellen im Oberflächenwasser. Weiterhin werden erste Hinweise auf typische Quellen für einzelne Verbindungen gegeben. Diese Daten sind hilfreich für die Beurteilung der aktuellen Schadstoff-situation und können als Ausgangsbasis für weitere Untersuchungen zu diesem Thema dienen. In diesem Sinne stellt die vorliegende Arbeit eine notwendige Ergänzung zum Bericht über die Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten dar.

## 2. EINLEITUNG

Von den niedermolekularen organischen Verbindungen gehören heutzutage aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe zusammen mit chlorierten Verbindungen zu den bedeutendsten Substanzklassen auch wenig bis mäßig belasteter Oberflächenwässer. Die Herkunft dieser Stoffe im Wasserkörper ist sehr verschieden. Ein Teil wird durch Abwässer eingebracht, ein weiterer Teil durch atmosphärische Niederschläge. Nicht unerheblich sind für das Auftreten dieser Verbindungen Stoffabgaben von Land- und Wasserfahrzeugen, die von Verbrennungsmotoren getrieben werden. Hingegen ist der Anteil der durch Gesteinsauslaugung freigesetzten flüchtigen Kohlenwasserstoffe gering anzusetzen und für chlorierte Kohlenwasserstoffe völlig auszuschließen.

Um Hinweise auf die Bedeutung einzelner Quellen für die Belastung des Bodensees zu erlangen, sind Untersuchungen von Horizontal- und Vertikalprofilen ein geeignetes Mittel. Obwohl die gleiche Problematik für viele Seen zutrifft, sind bisher nur wenige Untersuchungen durchgeführt worden /1-4/. Der Grund liegt in den analytischen Schwierigkeiten, sehr kleine Konzentrationen flüchtiger Stoffe nachzuweisen. Die Relevanz des Nachweises auch niedriger Konzentrationen ergibt sich jedoch aus der toxikologischen und ökologischen Bewertung der Stoffe. Diese werden z.T. als cancerogen für den Menschen (Benzol und verschiedene chlorierte Kohlenwasserstoffe) angesehen, oder es wurden für sie chronisch-toxische Eigenschaften nachgewiesen. Kohlenwasserstoffgemische enthalten auch vielfach Substanzen, die natürlichen Signalstoffen gleichen und damit bereits im Spurenbereich unerwünschte biologische Wirkungen haben können /5/.

Da die vorliegenden Untersuchungen in einem finanziell limitierten Rahmen erfolgten, wurde exemplarisch die Bearbeitung einiger durch Voruntersuchungen bereits als bedeutsam erkannter Stoffe festgelegt. Eine vollständigere Untersuchung, die das nicht unerhebliche, vorerst unbekannt verbleibende Spektrum von Verbindungen erfassen würde, wäre zwar technisch möglich, aber in den Aufwendungen wesentlich umfangreicher.

Die Untersuchung wurde durchgeführt von Priv.Doiz. Dr.F. Jüttner, Tübingen.

### 3. METHODIK

#### 3.1 Probenahme

Die Probenahmen von Bodenseewasser erfolgten im westlich der Argenmündung gelegenen Sporthafen Langenargen (Baggerloch), in Seemitte (zwischen Langenargen und Arbon), zwischen Seemitte und der Einfahrt des Baggerlochs Langenargen und in Lindau nördlich und südlich des Strandbades Eichwald in Ufernähe. Wenn nicht anders angegeben, wurden die Wasserproben mit einem Eimer von der Oberfläche geschöpft. Sie wurden am 14. Juli, 19. September, 4. Oktober, 18. Oktober und 17. November 1983 jeweils zwischen 9.00 - 11.00 Uhr genommen.

Bei Tiefenproben erfolgte die Probenahme zusammen mit dem Institut für Seenforschung und Fischereiwesen (Abteilung 5 der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg). Es wurde ein 10-Liter-Schöpfer aus PVC verwendet. Bei dem Schöpfer handelte es sich um ein kontaminationsfreies, gealtertes Gerät. Die Proben, die für die Erstellung von Tiefenprofilen verwendet wurden, sind zeitlich und örtlich weitgehend identisch mit solchen, die zur Bestimmung von See-Parametern genommen wurden und sind daher direkt damit vergleichbar.

Die Proben, jeweils 10 Liter in Glasflaschen mit Glasschliffstopfen, wurden unmittelbar nach Probenahme in das Labor nach Tübingen transportiert und dort innerhalb von 12 Stunden aufgearbeitet.

#### 3.2 Analytik

Die Abtrennung der flüchtigen Stoffe vom Wasser erfolgte mit der Ausblastechnik; dabei wurden sowohl geschlossene Anordnungen mit einer Luft-Umwälzung durch eine Pumpe wie auch offene Systeme, in denen hochreines Gas zum Ausblasen benutzt wurde, angewendet. Die ausgeblasenen Substanzen wurden auf ein mit Tenax TA gefülltes Geruchssammelröhrchen adsorbiert. Von diesem Röhrchen wurden die flüchtigen Substanzen thermisch desorbiert und mit einem Wasserstoffgasstrom in einen Gaschromatographen überführt /6/. Ein Chromatogramm enthält also die Gesamtmenge der flüchtigen Substanzen von 10 Liter Bodenseewasser. Beim Überführen der Substanzen auf eine Glaskapillarsäule

wurde die Säule auf 0° C abgekühlt, um eine sehr kleine Auftragszone zu erzielen. Es schloß sich eine Chromatographie mit einem Temperaturprogramm an. Ein Split am Ausgang der Säule ermöglichte eine Multidetektion der getrennten Substanzen. Ein Ast des Splits führte zu einem FID (Flammenionisationsdetektor), der andere zu einem ECD (Elektroneneinfang-Detektor), dem ein SSD (Schwefelselektiver Detektor) nachgeschaltet war. Die Signalaufzeichnung erfolgte über 6 Schreiber mit jeweils zwei unterschiedlichen Abschwächungen der Empfindlichkeit. Für die quantitative Auswertung wurde die Signalhöhe herangezogen. Die Eichung erfolgte mit authentischen Substanzen, die in etwa in den tatsächlich auftretenden Mengen vorher ausgeblasenem Bodenseewasser zugesetzt worden waren und entsprechend den unbehandelten natürlichen Proben aufgearbeitet wurden. Eine genauere Beschreibung der Methode wurde an anderer Stelle publiziert /7/.

#### 4. ERGEBNISSE

Die angewandten Methoden der Stoffabtrennung erzielen Wiederfindungsraten für die untersuchten Verbindungen zwischen 9 und 60 %. Damit werden Mengen im Nanogrammbereich (ng-Mengen) flüchtiger organischer Stoffe, die sich in fast beliebig großen Wassermengen befinden, der Analytik zugänglich gemacht. Eine praktische Grenze für die Bestimmung der meisten Substanzen liegt im ng-Bereich pro Liter. Chlorierte und andere ECD-sensitive Substanzen sind jedoch bis weit in den pg-Bereich pro Liter Probenwasser quantifizierbar. So konnten mit dem FID-Signal ca. 70 flüchtige organische Substanzen im Bodenseewasser festgestellt werden. Weitere 80 Komponenten, die meist kein FID-Signal hervorriefen, konnten auf Grund der ECD-Signale nachgewiesen werden. Da das Untersuchungsprogramm jedoch limitiert war, wurden mit dem FID-Signal nur Benzol, Toluol, o-Xylol, m-Xylol, p-Xylol, Hemellitol, Mesitylen, Pseudocumol, Ethylbenzol, Propylbenzol, 3-Ethyltoluol, 4-Ethyltoluol, Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Pentadecan, Hexadecan und Heptadecan detektiert. Von den zahlreichen ECD-Signalen wurden nur die von Trichlorethylen, Chloroform, Tetrachlorethylen und p-Dichlorbenzol ausgewertet. Einen Überblick über die Nomenklatur der untersuchten Verbindungen im Bodenseewasser geben die Abbildungen 1, 2 und 3.



Die angewandte Gaschromatographie auf Kapillarsäulen ermöglichte gute Trennungen fast aller vorgenannten Verbindungen. Eine Ausnahme machten die Signale von 3-Ethyltoluol und 4-Ethyltoluol, die nicht immer voneinander trennbar waren und manchmal zusammen erfaßt wurden. Musterchromatogramme sind in Abbildungen 4 und 5 wiedergegeben und zeigen die Auftrennung der untersuchten aromatischen und chlorierten Verbindungen.

#### 4.1 Horizontal-Profile

Um einen ersten Überblick über die Verteilung der Aromaten und einiger chlorierter Verbindungen im Bodenseewasser zu bekommen, wurden zu zwei verschiedenen Zeiten des Jahres (Sommer und Herbst) jeweils Profile im Bodensee-Obersee auf der Strecke zwischen Langenargen (Baggerloch) und Arbon genommen. Außerdem wurden punktuell Proben aus dem östlichen Teil des Bodensee-Obersees bei Lindau untersucht.

Die mengenmäßig herausragenden Verbindungen für die Sommerproben am 14.07.1983 waren Toluol, die Xylol-Isomeren, Mesitylen, Pseudocumol und Hemellitol (Tab. 1). Die im Baggerloch genommenen Proben unterschieden sich sehr stark. Einerseits wurden in einer Probe sehr hohe Konzentrationen für Aromaten gefunden, die bis um den Faktor zehn gegenüber Seemitte erhöht waren. Andere Proben lagen jedoch meist deutlich unter den Werten von Seemitte. Dieser Befund konnte auch bei der zweiten Probenserie am 17.11.1983 festgestellt werden (Tab. 2). Auch hier lagen die Werte aller Stoffe im Baggerloch deutlich unter denen der freien Seefläche. Auffällig war weiter, daß im Wasser des Baggerlochs Substanzen auftraten, die im Wasser der freien Seefläche unter der Nachweisbarkeitsgrenze lagen. Bedeutende Komponenten der Herbstproben waren Benzol, Toluol, m-Xylol, Pseudocumol und Naphthalin. Generell waren die Konzentrationen der Aromaten bei dem Herbstprofil geringer gegenüber denen des Sommerprofils.

Die Proben vom ufernahen Bereich bei Lindau setzten sich deutlich von den Proben der freien Seefläche durch erhöhte Werte für manche Aromaten ab. Auffällig waren hier die besonders hohen Konzentrationen für Naphthalin und dessen methylsubstituierte Derivate. Eine starke Zunahme der Konzentrationen

war hier auch bei den chlorierten Verbindungen anzutreffen (Tab. 3). Die Konzentrationen von Tetrachlorethylen waren mehr als dreimal und die von Trichlorethylen um bis zum 6-fachen erhöht. Ähnliche Zunahmen ließen sich auch für andere chlorierte, hier nicht aufgeführte Verbindungen feststellen.

Im Baggerloch von Langenargen waren unter den chlorierten Verbindungen wohl für Trichlorethylen erhöhte Konzentrationen feststellbar, nicht jedoch für Tetrachlorethylen.

#### **4.2 Vertikal-Profile**

Vertikale Profile der Konzentrationen niedermolekularer organischer Verbindungen wurden am 19. September sowie am 4. und 18. Oktober 1983 aufgenommen (Tab. 4, 5 und 6). Wie bei den Horizontal-Profilen bereits festgestellt, waren auch hier wieder Benzol, Toluol, Xylole und Pseudocumol mengenmäßig die bedeutendsten Verbindungen. Ihre Konzentrationen änderten sich nicht unerheblich mit der Tiefe. In den oberen 20 Metern waren deutlich höhere Konzentrationen für die meisten Substanzen meßbar, als in den tieferen Schichten des Hypolimnions. Gegen den Grund hin nahmen die Konzentrationen für eine Reihe von Substanzen erneut zu (Abb. 6 - 9).

Die Schichtung der Substanzen war besonders bei der Untersuchung vom 19. September auffallend, aber auch noch am 4. Oktober feststellbar. Am 18. Oktober war die Schichtung der Substanzen jedoch weitgehend verwischt, und es waren nur noch geringfügige Unterschiede der Konzentrationen zwischen Tiefenproben und Oberflächenproben feststellbar.

### **5. DISKUSSION**

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, daß quantitative Bestimmungen flüchtiger, niedermolekularer, organischer Verbindungen in relativ sauberen Oberflächengewässern möglich sind. Es bleibt jedoch zu bemerken, daß die vorgefundenen Mengen bei manchen Substanzen, z.B. für methylysubstituierte Naphthaline, an die Grenze der angewandten Analytik stoßen. Für viele Substan-

zen liegt diese bei 0,5 - 1 ng/l, wobei die Sensitivität für sehr niederflüchtige Verbindungen (Benzol, Nonan) und höherflüchtige Substanzen (Methylnaphthaline, C<sub>5</sub>-Benzole) etwas geringer ist. Das Optimum der Empfindlichkeit liegt bei den C<sub>2</sub>- und C<sub>3</sub>-Benzolen und entsprechenden aliphatischen Verbindungen. Eine weitere Absenkung der Nachweisempfindlichkeit ist weniger durch die Detektorempfindlichkeit begrenzt, als durch unüberwindliche Schwierigkeiten, hervorgerufen durch Störfaktoren, wie Kontaminationen durch Luft, Sorptions- und Desorptionsvorgänge an Gefäßwänden, Verunreinigungen in Lösungsmitteln, Gasen etc.

Die angewandte Analytik erfaßt im Wasser gelöste, niedermolekulare, unpolare, flüchtige Verbindungen. Die meisten von diesen sind beträchtlich wasserlöslich, wie nachstehende Tabelle zeigt:

Wasserlöslichkeit von Aromaten und chlorierten Kohlenwasserstoffen bei 20° C in mg/l /8/.

Substanz	mg/l	Substanz	mg/l
Benzol	1780	1,4-Dichlorbenzol	87
Toluol	515	1-Methylnaphthalin	28
o-Xylol	175	2-Methylnaphthalin	25
m-Xylol	162	Chloroform	8200
p-Xylol	185	Trichlorethylen	1100
Ethylbenzol	152	Tetrachlorethylen	150
Naphthalin	32		

Die im Bodenseewasser auftretenden Mengen dieser Substanzen reichen nicht aus, um die Löslichkeitswerte zu überschreiten. Eine Ausnahme könnten hier lediglich die längerkettigen Alkane, Pentadecan, Hexadecan und Heptadecan darstellen.

Während die flüchtigen Verbindungen in künstlich hergestellten Referenzwasserproben bei Parallelmessungen nur geringe Schwankungen in den Signalen zeigen, schwanken natürliche Proben, die nacheinander an der selben Entnahmestelle genommen wurden. Diese Inhomogenität von Proben läßt sich nur erklären, wenn eine partikuläre Fraktion angenommen wird, in der die zu analysierenden Stoffe gelöst oder sorbiert sind. Tatsächlich kann davon ausgegangen werden, daß in einem Gewässer grobdisperses Material aus Algen und Pflanzenteilen, Partikel, Mizellen und Molekülaggregate vorhanden sind /9/, die mit jeder Probenahme in unterschiedlicher Menge erfaßt werden. Das Ausmaß, in dem die untersuchten Stoffe an diese partikuläre Fraktion gebunden oder adsorbiert sind, ist nicht bekannt. Untersuchungen an Wasser des Federsees in Baden-Württemberg, das jedoch einen weit höheren Anteil an partikulärem Material aufweist als Wasser des Bodensees, haben gezeigt, daß ein wesentlicher Teil der flüchtigen Stoffe daran gebunden ist. Liegen Gleichgewichte vor, die sich genügend schnell einstellen, so wird ein Teil auch dieser Stoffe durch den Ausblasvorgang wieder abgelöst und mit dem echt gelösten Anteil erfaßt. Die ermittelten Konzentrationsangaben für einzelne Stoffe des Bodenseewassers sind demnach als Minimalwerte anzusehen.

Die Horizontal-Profile der Kohlenwasserstoffkonzentrationen durch den Bodensee zeigen, daß lokal durchaus unterschiedliche Belastungen des Sees meßbar sind. Die Quellen der Belastung sind jedoch generell schwierig zu ermitteln. Lokale Inhomogenitäten können durch belastete Zuflüsse, Strömungen, Windverdriftungen von partikulärem Material (vornehmlich Algen), das Stoffe sorbiert hat und durch örtlich wirkende Effekte (Fahrrinnen von Wasserfahrzeugen, Auslaufen von Treibstoff u.a.) entstehen. Eine Berechnung der Gesamtbelastung des Bodensees dürfte deshalb während der Zeit der Schichtung besonders schwer durchzuführen sein.

Zeitliche Unterschiede der Kohlenwasserstoffkonzentrationen sind ebenfalls feststellbar. Sie sind wohl bedingt durch unterschiedlich starke Einträge ins

Wasser sowie Verdampfungs- und Durchmischungsvorgänge. Dieses trifft für Zuflüsse, den saison- und wochenendabhängigen, nicht unerheblichen Bootsverkehr, variierende Niederschläge und Wasserführungen und unterschiedlichen Massenfluß der einzelnen Stoffe zwischen der Wasser- und der Luftphase bei verschiedenen Temperaturen zu.

Während Schwankungen der Kohlenwasserstoffkonzentrationen im freien Seewasser auf diese Weise leicht zu erklären sind, muß eine weitere Möglichkeit für die Erklärung der meist viel niedriger vorgefundenen Stoffkonzentrationen im Baggerloch (Langenargen) herangezogen werden. Das Besondere am Spektrum und an den Konzentrationen der dort vorkommenden Verbindungen ist, daß zwar alle Substanzen, die im offenen Seewasser nachgewiesen werden konnten, auch hier aufzufinden waren, daß aber ihre meßbaren Konzentrationen häufig geringer waren als die im freien Seewasser. Da generell Belastungen in Hafenanlagen sicherlich höher sind, müssen hier Verhältnisse vorgelegen haben, die eine quantitative Analyse stark verfälschen. Einmal ist eine starke Durchströmung des Hafenbeckens als Folge zahlreicher Quellen und Grundwasseraustritte im nördlichen Hafenbereich zu nennen und zweitens eine erhöhte Schwebstoffkonzentration durch starke Algenentwicklung und eine Aufwirbelung von Feinsedimenten durch den Schiffsverkehr. Weiterhin wird man in diesem speziellen Wasserkörper eine bedeutsame Fraktion von Mizellen und molekularen Aggregationen annehmen müssen. Besonders die sogenannte subpartikuläre Fraktion von aggregierten, höhermolekularen Kohlenwasserstoffen (Ölen) dürfte hier eine große Rolle spielen. Um die tatsächlichen Konzentrationen der Stoffe in solchem Wasser bestimmen zu können, müßten wesentliche aufarbeitungstechnische Veränderungen vorgenommen werden. Bestehende Verfahren hierfür gibt es jedoch nicht.

In der vorliegenden Untersuchung wurden zum erstenmal Profile der Konzentrationen flüchtiger, organischer Stoffe im mäßig belasteten Bodensee gemessen. Ein Vergleich zu anderen Untersuchungen kann deshalb nicht vorgenommen werden. Das Fehlen entsprechender Untersuchungen ist in den Nachweisgrenzen der herkömmlich angewandten Analysemethoden zu suchen. Diese liegen für die meisten Verbindungen um den Faktor 100 - 1000 höher ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ -Bereich), während hier  $\text{ng}/\text{kg}$ -Mengen ( $10^{-12}$ ) erfaßt wurden. Auffallendstes Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen ist, daß im Epilimnion wesentlich höhere Kohlenwasser-

stoffkonzentrationen gefunden wurden als im Hypolimnion, mit Ausnahme der grundnahen Schichten. Daneben waren auch noch Unterschiede der Konzentrationen innerhalb des Epilimnions feststellbar, mit einem Maximum in den tieferen Schichten dieser Zone. Die geringeren Werte der oberflächennahen Schichten mögen einmal durch den Massenfluß der Substanzen von der Seeoberfläche in den Luftraum erklärbar sein. Daneben dürften jedoch auch organismische Beeinflussungen bedeutsam sein. Die kontinuierliche Zunahme vieler Verbindungen von der Seeoberfläche bis zu einem Maximum in 10 - 20 m Tiefe kann durch zwei gegensätzliche Vorgänge beim Phytoplankton hervorgerufen werden. Der eine wäre die mit zunehmender Phytoplanktonmenge auch zunehmende Sorption der Verbindungen, was - da diese nur z.T. miterfaßt werden können - zu einer fiktiven Abnahme der Substanzkonzentrationen führen würde; der zweite wäre die Freisetzung von sorbierten oder inkorporierten Anteilen in tieferen Schichten durch Abbauprozesse, bzw. die bessere analytische Erfassung der Kohlenwasserstoffe in abgestorbenen, teilabgebauten Organismen, deren Anteil in diesen Zonen besonders hoch sein kann. Die Akkumulationsfähigkeit von Algen für solche Schadstoffe würde dabei vollständig ausreichen, dieses Phänomen zu erklären /10/. Weiterhin muß der Einfluß von Zuflußwasser und von Kläranlagenausläufen in Betracht gezogen werden. Zuflüsse schichten sich bevorzugt in die Grenzzone zwischen Epi- und Hypolimnion, in der Nähe des höchsten Temperaturgradienten (Metalimnion) und in der Grundnähe, ein. Im mittleren Hypolimnion wurden allgemein deutlich niedrigere Werte für fast alle untersuchten Substanzen gefunden. Die Grenze zwischen Hypolimnion und Epilimnion läßt sich anhand der Lage der Thermokline angeben. Hinweise auf diese Grenze gibt aber auch die Verteilung von Heptadecan als Hauptkohlenwasserstoff fast aller Cyanobakterien /11/. Wie Abbildung 9 zeigt, ist dieser Stoff zusammen mit Pentadecan, das eine Nebenkomponente der Cyanobakterien darstellt, auf die oberen 20 m beschränkt. Tiefere Schichten weisen nur sehr kleine Werte dafür auf.

Erhöhte Werte der Konzentrationen für sehr viele Kohlenwasserstoffe konnten auch über dem Seesediment (1 m) festgestellt werden. Auch hier dürfte die Freisetzung der Stoffe aus abgesunkenem partikulärem Material durch Abbauprozesse und die Einschichtung von Zuflußwasser bedeutsam sein.

Die stoffliche Zusammensetzung der flüchtigen Molekül-Fractionen im Bodenseewasser läßt folgende Schlüsse zu: Die chlorierten aliphatischen Kohlenwasser-

stoffe, die fast ausschließlich als Lösemittel verwendet werden, dürften über die Atmosphäre und über die Zuflüsse in den See gelangen. Besonders auffällig sind die für Trichlorethylen 3-fach höheren Konzentrationen im Baggerloch und die bis 6-fach höheren östlich von Lindau im Vergleich zu denen in Seemitte. Im Bereich östlich von Lindau sind ebenfalls andere chlorierte und bromierte Verbindungen in wesentlich höheren Konzentrationen anzutreffen. Als Beispiel sei Tetrachlorethylen aufgeführt, das hier Werte von 100 ng/l erreicht, während sonst im See ein weitgehend konstanter Wert von 35 ng/l vorliegt. Mögliche Erklärungen für diesen Befund könnten in der speziellen Situation dieser Entnahmestellen beim Strandbad Eichwald zu suchen sein. Sowohl die Mündung eines kleinen Zulaufs (Rickenbach) als auch der Auslauf der Kläranlage Lindau liegen nur einige hundert Meter entfernt und könnten die beiden Entnahmestellen beeinflussen. Ebenfalls dürften die im Baggerloch auftretenden zahlreichen Methylketone und anderen Verbindungen, die sonst im Seewasser nicht in nachweisbaren Mengen auftreten, auf lokale Quellen hinweisen.

Auf einen landseitigen Eintrag von Kohlenwasserstoffen im Bereich Lindau deuten auch die stark erhöhten Konzentrationen für Naphthalin und die Methyl-naphthaline hin. Untersuchungen haben gezeigt, daß besonders hohe Konzentrationen von diesen Stoffen neben Pseudocumol und Xylolen im Wasser nachweisbar waren, wenn man Heizöl mit Wasser äquilibrierte /12/. Das Auftreten so hoher Konzentrationen von Naphthalin und dessen Methyl-derivate durch Eintrag von Rückständen aus Verbrennungsmotoren ist wenig wahrscheinlich. Auch die sonst gelegentlich im See meßbar gewesenen erhöhten Konzentrationen für Naphthalinderivate dürften auf allochthone Öleinträge zurückzuführen sein.

Ein weiterer Faktor für die Anreicherung von Aromaten im Epilimnion sind die Emissionen von Wasserfahrzeugen, die mit Verbrennungsmotoren getrieben werden. Untersuchungen haben gezeigt, daß bis zu 20 % des verbrauchten Treibstoffs unverbrannt an das Wasser abgegeben werden /13/. Neben Stoffen, die den Geschmack des Wassers stark beeinflussen /14, 15/ und bisher unbekanntem polarerer Stoffen zuzuordnen sind, werden in großer Menge Aromaten freigesetzt /16/. Besonders hohe Werte werden für Pseudocumol, 3- und 4-Ethyltoluol und m- und p-Xylol (wohl fälschlich als Diethylbenzole bezeichnet) angegeben. Gerade diese Substanzen liegen auch im Bodenseewasser in den höchsten Konzentrationen vor.

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, daß ein breites Spektrum verschiedener Aromaten und chlorierter Kohlenwasserstoffe zur Belastung des Bodensees beiträgt und daß mehrere Quellen hierfür verantwortlich gemacht werden können. Das aufgeführte Spektrum von Substanzen erfaßt jedoch keineswegs vollständig die Schadstoffe des Bodensees, sondern ist in der Zahl durch die Limitierung der Untersuchung bedingt. Eine Totalanalyse der bedeutsamen flüchtigen organischen Stoffe würde einen wesentlich höheren Aufwand erfordern.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND WERTUNG

Die in der zweiten Jahreshälfte 1983 durchgeführte Untersuchung des Bodenseewassers auf eine Auswahl flüchtige Einzelsubstanzen, aus den Verbindungsklassen Kohlenwasserstoffe und chlorierte Kohlenwasserstoffe, brachte erstmals qualitative und quantitative Angaben über die horizontale und vertikale Verteilung dieser umweltrelevanten Stoffe im Bodensee.

Die absoluten Konzentrationen dieser Stoffe liegen vorwiegend in der Größenordnung von einigen ng ( $10^{-9}$  g) pro Liter Seewasser, sind aber mit speziellen Analysenmethoden gut, wenn auch nicht vollständig erfaßbar. Bei den im freien See mengenmäßig herausragenden Verbindungen Benzol, Toluol, Pseudocumol und den verschiedenen Xylolisomeren handelt es sich zugleich um Substanzen, die als wesentliche Komponenten im Abgas von Verbrennungsmotoren vorkommen /16, 17/.

Allgemein zeigt das horizontale Verteilungsbild im Oberflächenwasser einen eher unheitlichen Charakter. Bedingt durch unterschiedliche örtliche Quellen und rasch wirksame Verteilungsmechanismen, wie Strömungen und Windverdriftungen, sind regional wechselnde Konzentrationen in kurzer Zeitfolge möglich. Dagegen ist die vertikale Schichtungsstabilität des Sees wesentlich größer, weshalb die gemessenen Substanzen eine meist vergleichbare Tiefenverteilung aufweisen. Charakteristisch sind Konzentrationsmaxima in den oberflächennahen Schichten im Bereich des größten Temperaturgradienten (Metalimnion) und teilweise auch in Grundnähe. Als Ursachen für diesen Befund können direkte Einflüsse, wie beispielsweise Einschichtungen von Zuflüssen und Abwassereinlei-



tungen, genauso eine Rolle spielen, wie biologisch bedingte Kumulationseffekte über eine Anreicherung der Substanzen in Organismen und anschließender Freisetzung in jenen Bereichen (Metalimnion und Seebodennähe), in denen die Abbauvorgänge dominieren.

Bei dem niederen Konzentrationsniveau scheinen akute toxische Effekte bei Wasserorganismen derzeit zwar ausgeschlossen, doch sind durch örtliche Belastungsspitzen und die Fähigkeit der Organismen diese Stoffe anzureichern, die gefundenen Durchschnittswerte nicht alleine ausschlaggebend für die tatsächlich auftretenden Belastungen. Außerdem ist für die ökologische Bewertung der Untersuchungsergebnisse die Tatsache von Bedeutung, daß gerade unter den Kohlenwasserstoffen verschiedene Komponenten große chemische Ähnlichkeit mit natürlichen Signalstoffen besitzen und mithin bereits im extremen Spurenbereich unerwünschte biologische Wirkungen hervorrufen können /5/. Deshalb ist die Belastung der Gewässer mit den untersuchten und ähnlichen Substanzen soweit als möglich zu reduzieren.

## 7. LITERATUR

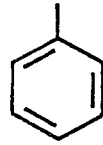
1. **W. Giger, E. Molnar-Kubica and S. Wakeham:** Volatile Chlorinated Hydrocarbons in Ground and Lake Waters In: O. Hutzinger, I.H. van Leyveld and B.C.J. Zoeteman (Hrsg.): Aquatic Pollutants Pergamon Press Oxford and New York 1978
2. **W. Giger, E. Molnar et R.P. Schwarzenbach:** Etude des micropolluants organiques. Campagne 1981. Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution, rapport sur les études et recherches entreprises sur le bassin lémanique, année 1981
3. **W. Giger, E. Molnar et R.P. Schwarzenbach:** Etude des micropolluants organiques. Campagne 1982. Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution, rapport sur les études et recherches entreprises sur le bassin lémanique, année 1982
4. **R.P. Schwarzenbach, E. Molnar-Kubica, W. Giger and S.G. Wakeham:** Distribution, residence time, and fluxes of tetrachloroethylene and 1,4-dichlorobenzene in Lake Zurich, Switzerland  
Environm. Science and Technol. **13**, 1367-1373 (1979)
5. **L. Jaenicke und W. Boland:** Signalstoffe und ihre Reception im Sexualcyclus mariner Braunalgen  
Angew. Chem. **94**, 655-724 (1982)
6. **F. Jüttner und K. Wurster:** Einfache Anordnung zur Adsorption von Geruchsstoffen aus Algen an Tenac GC und deren Überführung in Gaschromatographie-Systeme  
J. Chromatogr. **175**, 178-182 (1979)
7. **F. Jüttner:** Dynamics of the volatile organic substances associated with cyanobacteria and algae in a eutrophic lake  
Appl. Environm. Microbiol. **47**, 814-820 (1984)
8. **O. Hutzinger (Hrsg.):** Handbook of Environmental Chemistry. Bd. 3 B,  
Springer Verl.,  
Heidelberg 1982
9. **D.G. Shaw:** Hydrocarbons in the water column. In: D.A. Wolfe (Hrsg.): Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Ecosystems and Organisms. S. 8 - 18  
Pergamon Press 1977

10. **D.M. Casserly, E.M. Davis, T.D. Downs und R.K. Guthrie:** Sorption of organics by *Selenastrum capricornutum*  
Water Res. **17**, 1591-1594 (1983)
11. **K. Winters, P.L. Parker and C. van Baalen:** Hydrocarbons of blue-green algae: geochemical significance  
Science **163**, 467-468 (1969)
12. **W. Popp:** Zur Frage der Bakterientoxizität von Mineralölfractionen und Kohlenwasserstoffen  
Münch. Beitr. Abwasser, -Fischerei- u. Flußbiol. **30**, 301-312 (1978)
13. **T.P. Jackivicz, Jr. und L.N. Kuzminski:** A review of outboard motor effects on the aquatic environment  
J. Wat. Poll. Con. Fed. **45**, 1759-1770 (1973)
14. **J.N. English, E.W. Surber and G.B. McDermott:** Pollutional effects of outboard motor exhaust-field studies  
J. Water Poll. Con. Fed. **35**, 1121-1132 (1963)
15. **T. Kempf, D. Lüdemann und W. Pflaum:** Verschmutzung der Gewässer durch motorischen Betrieb, insbesondere durch Außenbordmotoren  
Schr. Ver. Wasser-, Boden-, u. Lufthyg. Bnd. 26 (1967)
16. **W.E. Montz, Jr., R.L. Puyear und J.D. Brammer:** Identification and quantification of water-soluble hydrocarbons generated by two-cycle outboard motors  
Arch. Environm. Contam. Toxicol. **11**, 561-565 (1982)
17. **J. Zajontz und H. Siegert:** Erfassung von Kohlenwasserstoffen aus Kraftfahrzeugbetrieben. In: K. Aurand, H. Hässelbarth, E. Lahmann, G. Müller und W. Niemitz (Hrsg.): Organische Verunreinigungen in der Umwelt. S. 585 - 599.  
Erich Schmidt Verlag, Berlin 1978.

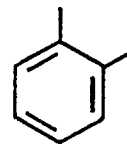
## 8. ABBILDUNGEN UND TABELLEN



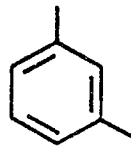
Benzol



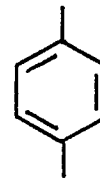
Toluol



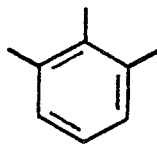
o-Xylol  
(1,2-Dimethylbenzol)



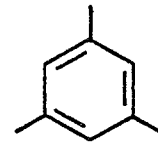
m-Xylol  
(1,3-Dimethylbenzol)



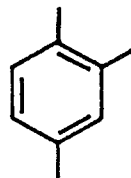
p-Xylol  
(1,4-Dimethylbenzol)



Hemellitol  
(1,2,3-Trimethylbenzol)

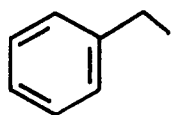


Mesitylen  
(1,3,5-Trimethylbenzol)

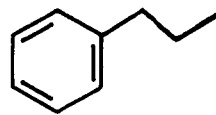


Pseudocumol  
(1,2,4-Trimethylbenzol)

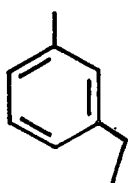
**Abbildung 1:** Nomenklatur der untersuchten Verbindungen



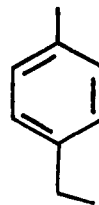
Ethylbenzol



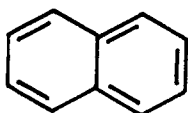
Propylbenzol



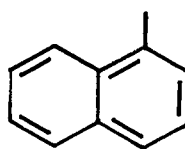
3-Ethyltoluol  
(1-Ethyl-3-methylbenzol)



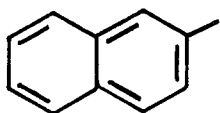
4-Ethyltoluol  
(1-Ethyl-4-methylbenzol)



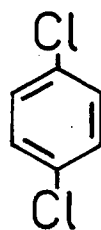
Naphthalin



1-Methylnaphthalin

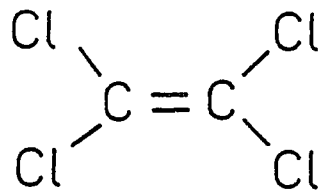


2-Methylnaphthalin

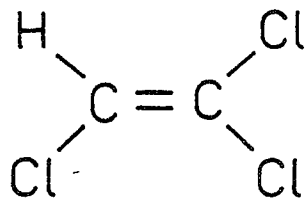


p-Dichlorbenzol  
(1,4-Dichlorbenzol)

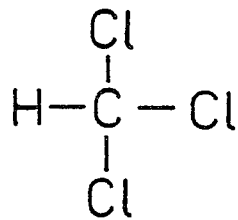
**Abbildung 2:** Nomenklatur der untersuchten Verbindungen



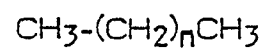
Tetrachlorethylen



Trichlorethylen



Chloroform



$n = 13$  Pentadecan

$n = 14$  Hexadecan

$n = 15$  Heptadecan

**Abbildung 3:** Nomenklatur der untersuchten Verbindungen

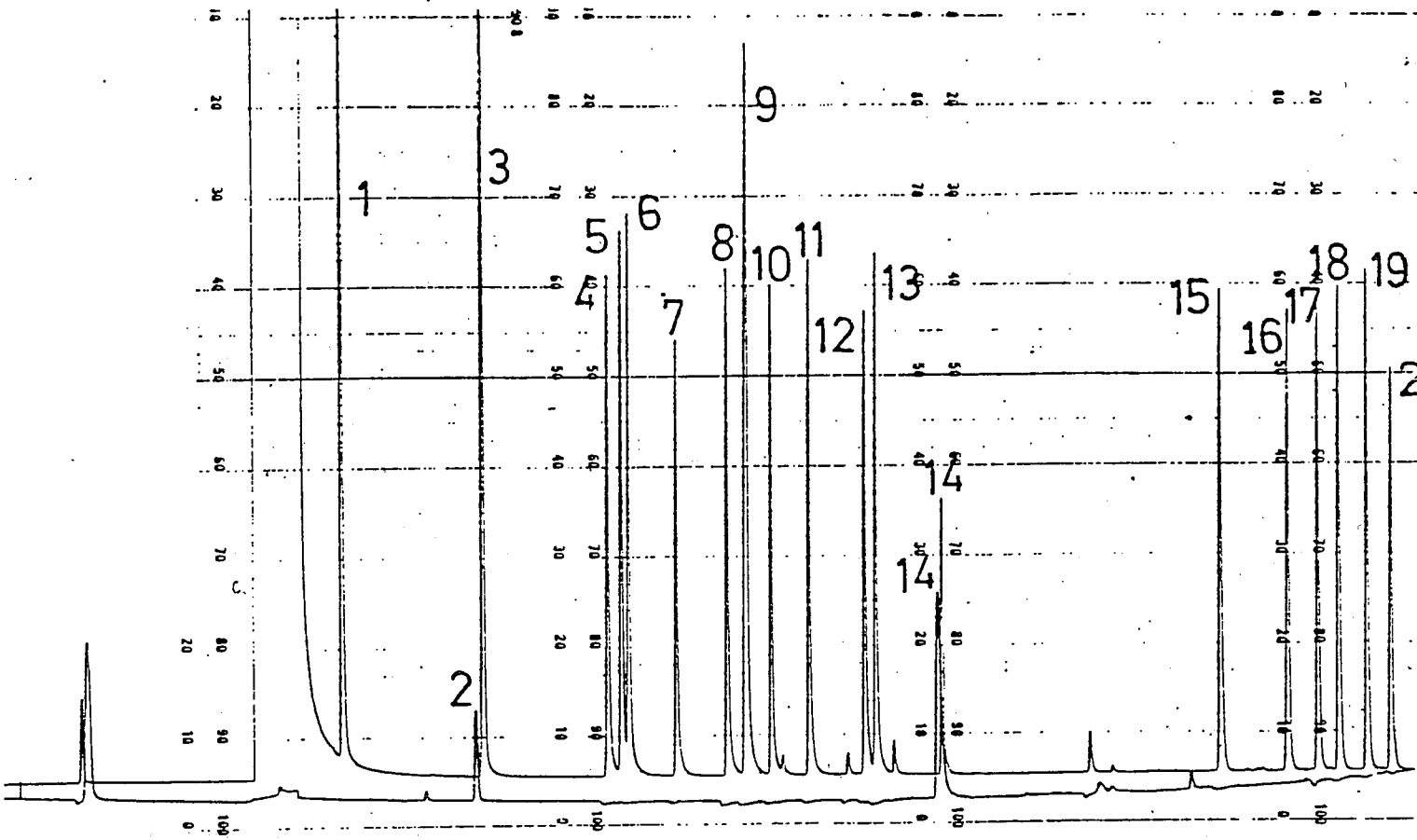


Abbildung 4:

Musterchromatogramm der untersuchten Aromaten. Obere Spur: Signale des FID; untere Spur: Signale des ECD.

- |     |                                |     |  |
|-----|--------------------------------|-----|--|
| 1.  | Benzol;                        | 11. | Pseudocumol;   |
| 2.  | Tetrachlorethylen;             | 12. | Hemellitol;  |
| 3.  | Toluol;                        | 13. | 1,2-Diethylbenzol bzw.<br>Ethyl-dime <sub>2</sub> thylbenzol |
| 4.  | Ethylbenzol;                   | 14. | p-Dichlorbenzol;   |
| 5.  | p-Xylol;                       | 15. | Naphthalin;  |
| 6.  | m-Xylol;                       | 16. | n-Hexadecan;   |
| 7.  | o-Xylol;                       | 17. | Hexadec-1-en;  |
| 8.  | Propylbenzol;                  | 18. | 2-Methylnaphthalin;  |
| 9.  | 3-Ethyltoluol + 4-Ethyltoluol; | 19. | 1-Methylnaphthalin;  |
| 10. | Mesitylen;                     | 20. | n-Heptadecan.  |

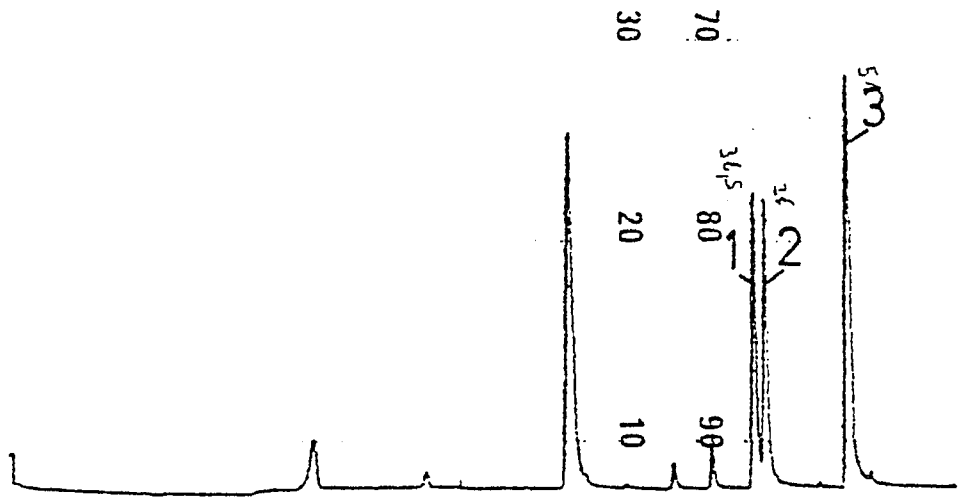


Abbildung 5:

Musterchromatogramm der untersuchten Chlorkohlenwasserstoffe, gemessen mit dem ECD-Signal.

1. Trichlorethylen,
2. Chloroform,
3. Tetrachlorethylen.



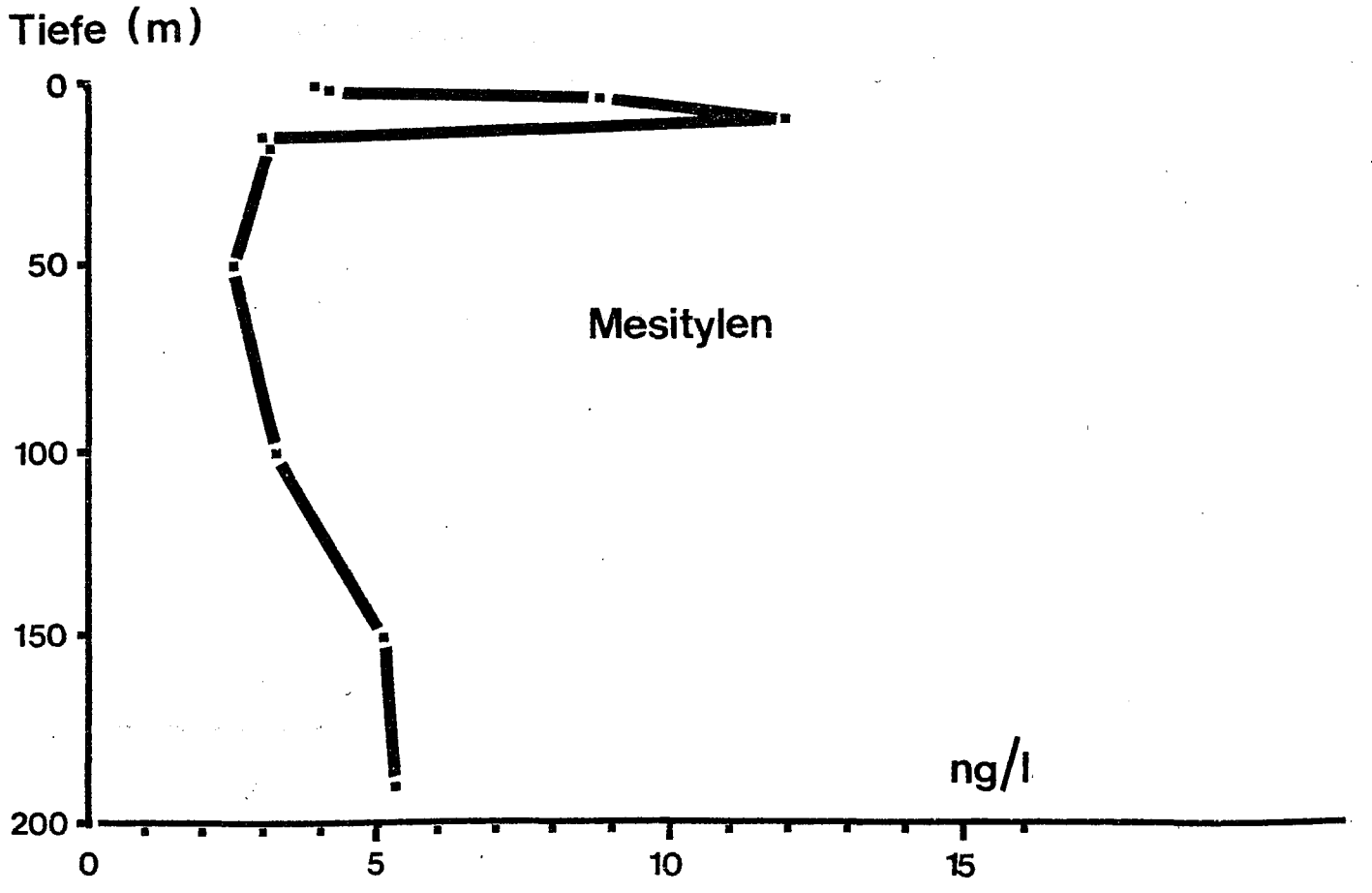
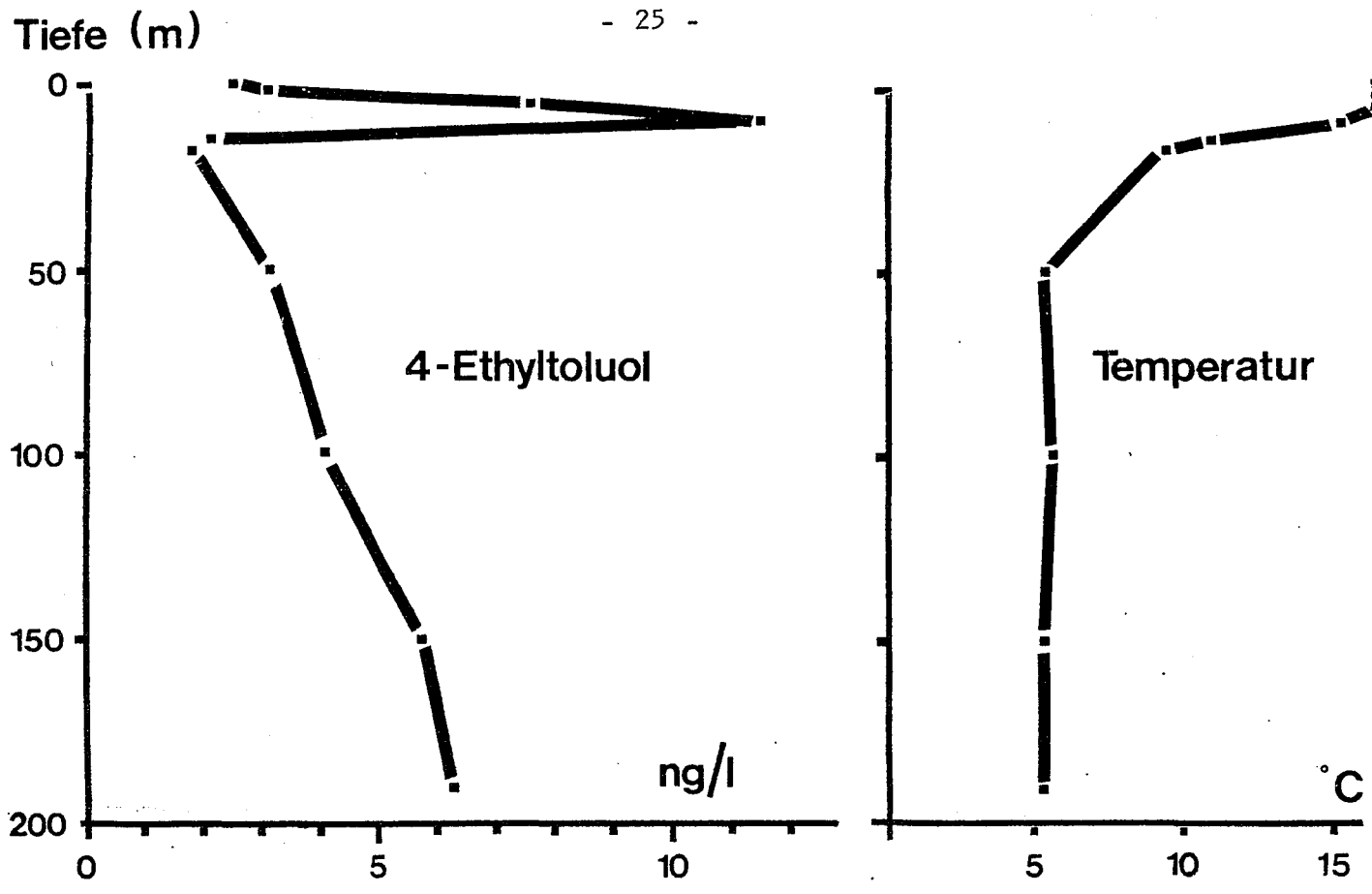


Abbildung 6: Vertikales Profil von 4-Ethyltoluol und Mesitylen sowie der Temperatur in Seemitte am 19.09.1983.

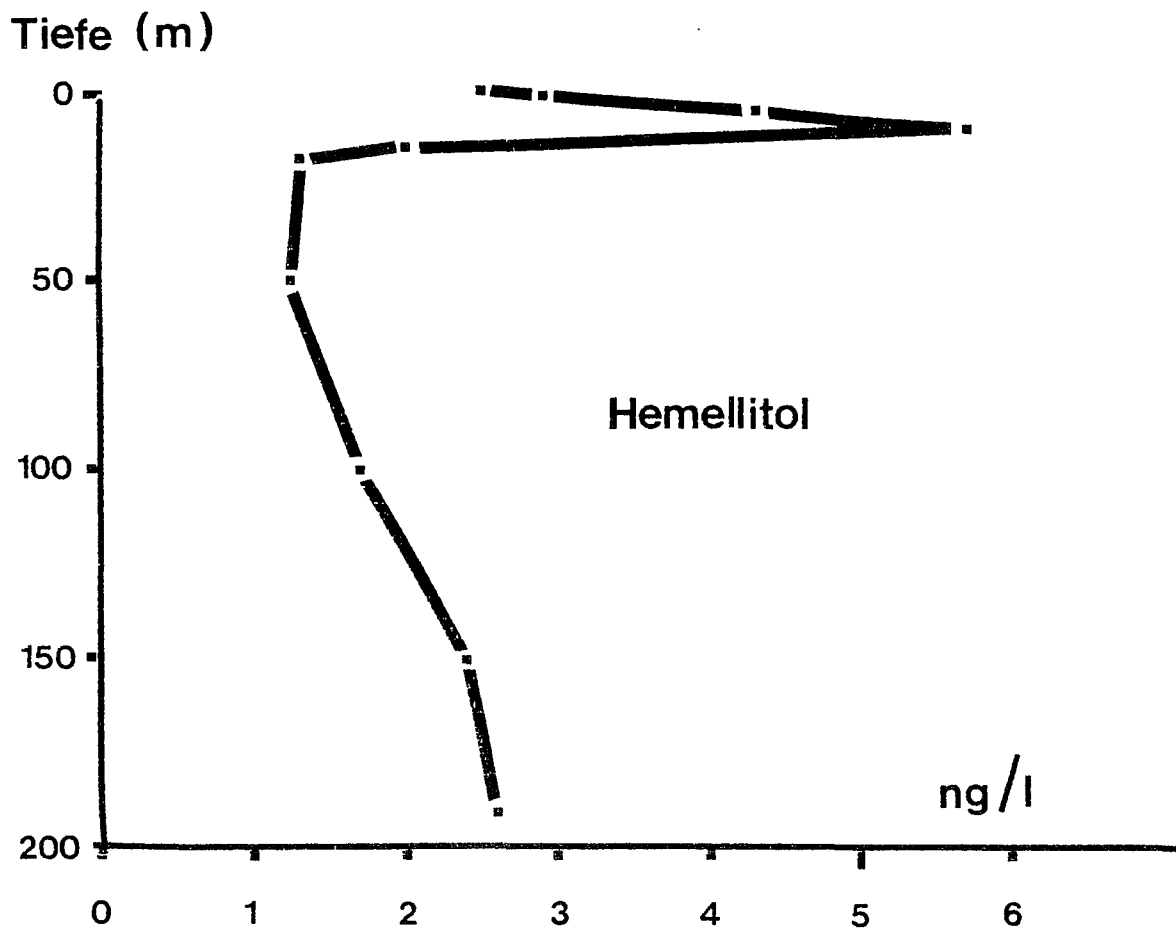
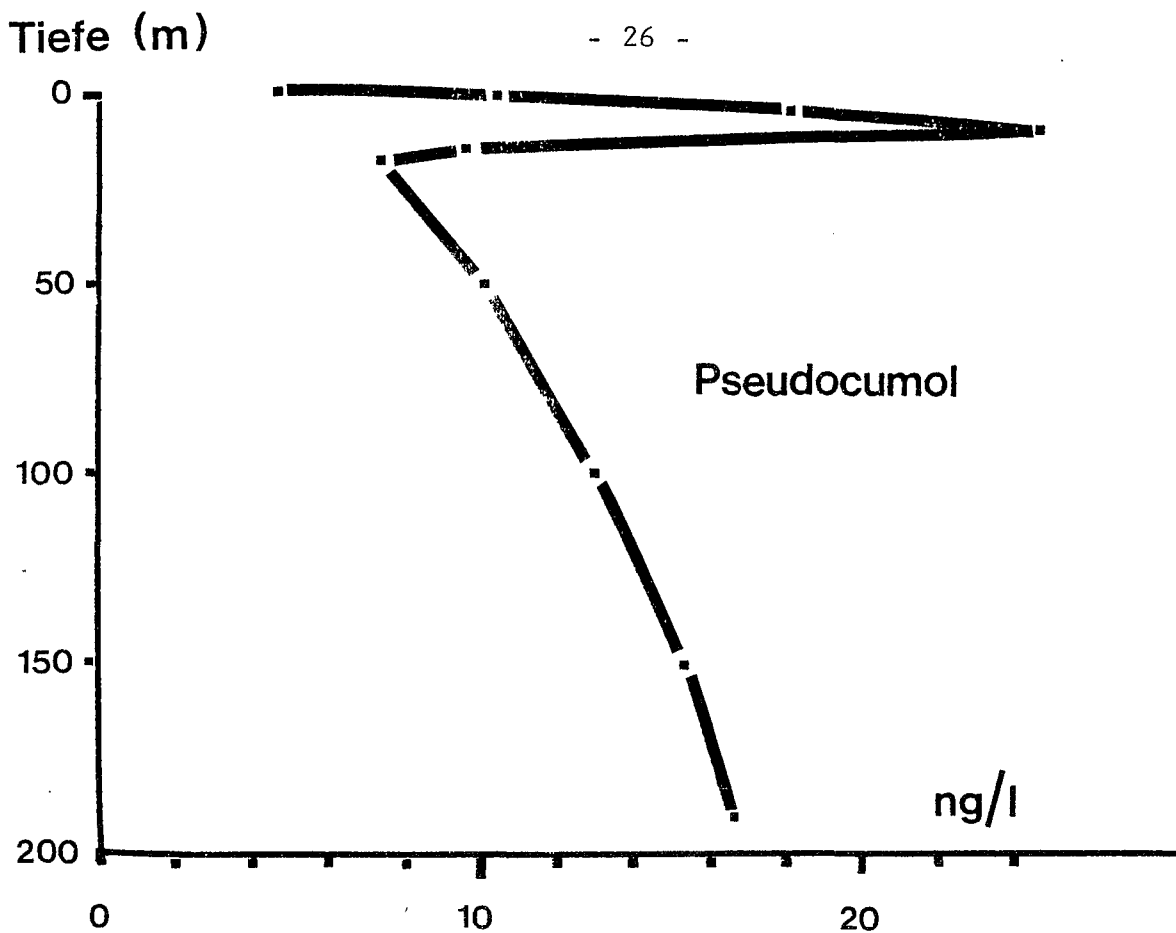
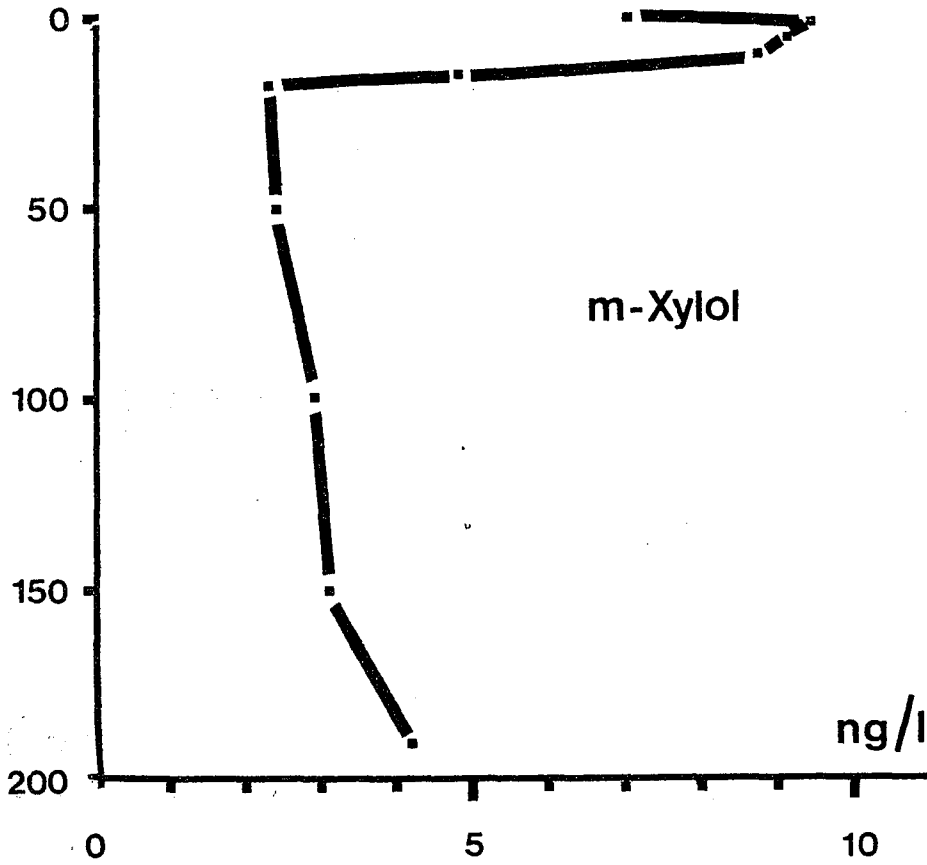


Abbildung 7: Vertikales Profil von Pseudocumol und Hemellitol in Seemitte am 19.09.1983.

Tiefe (m)

- 27 -



Tiefe (m)

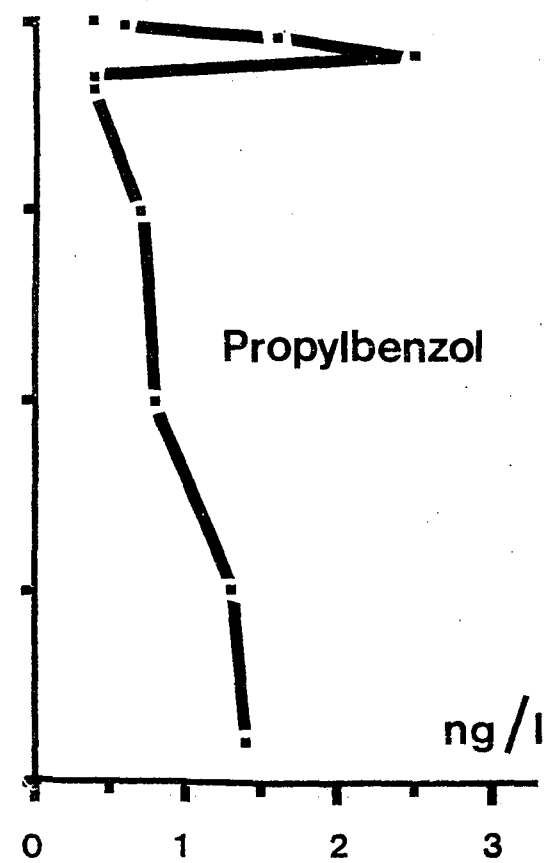
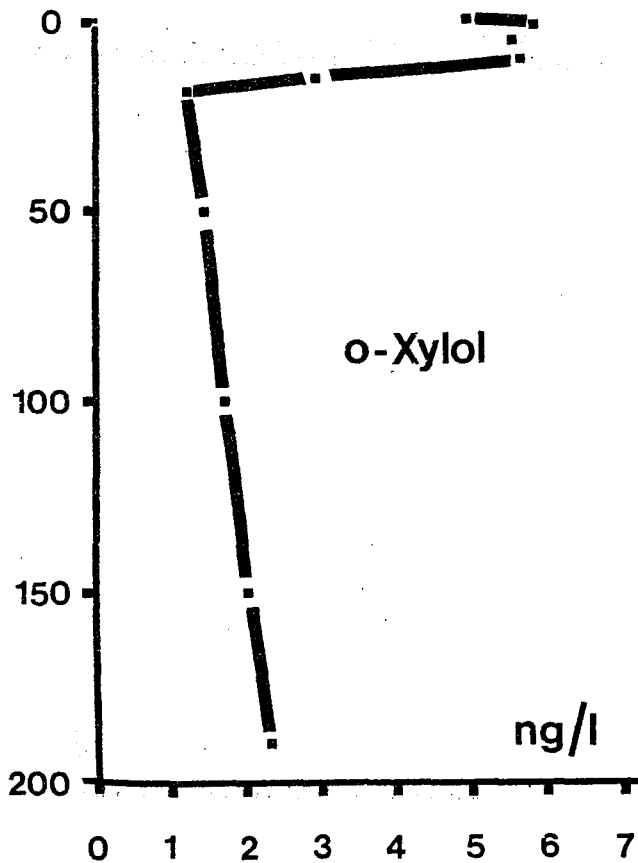


Abbildung 8: Vertikales Profil von m-Xylol, o-Xylol und Propylbenzol in Seemitte am 19.9.1983.

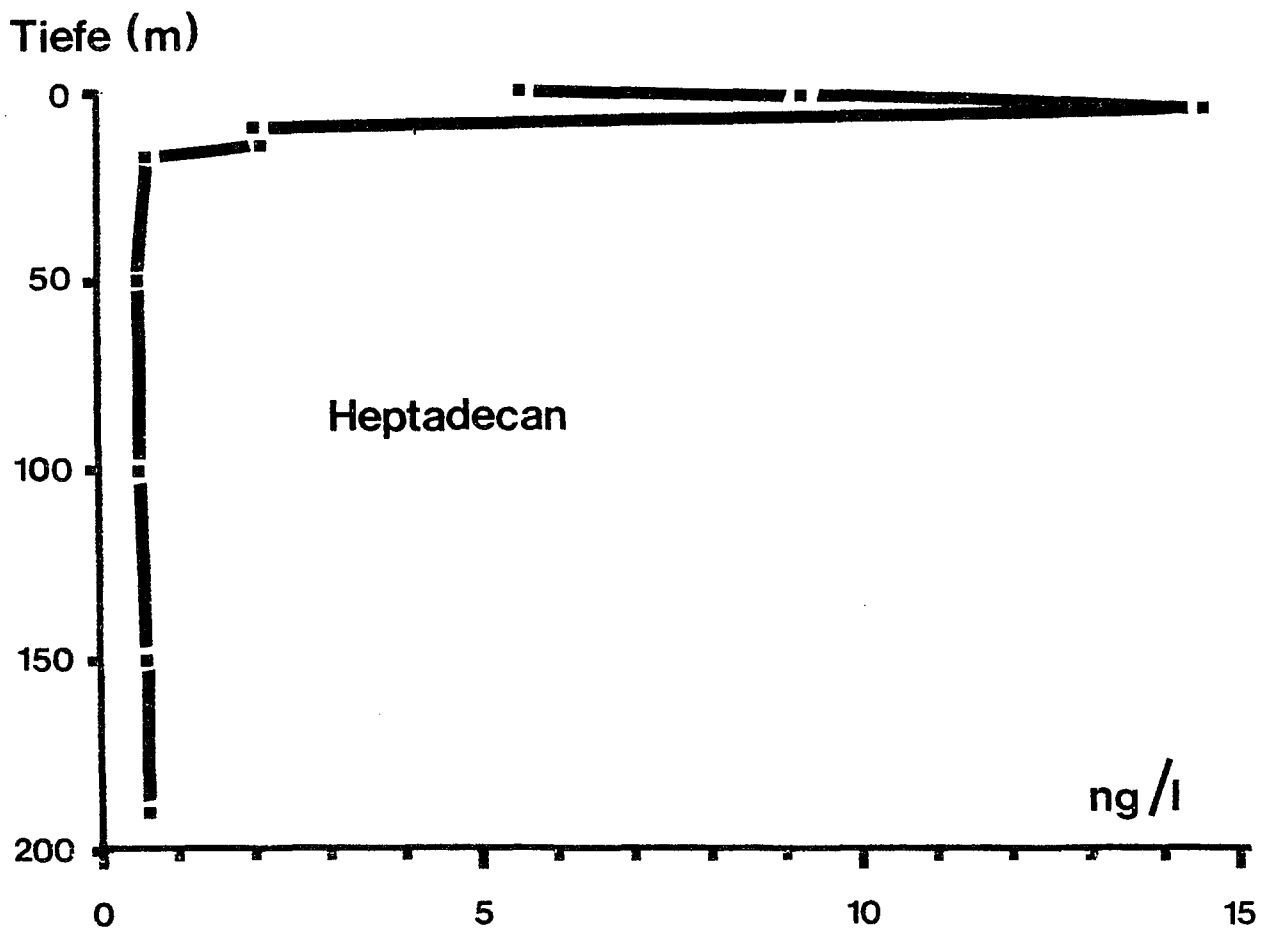
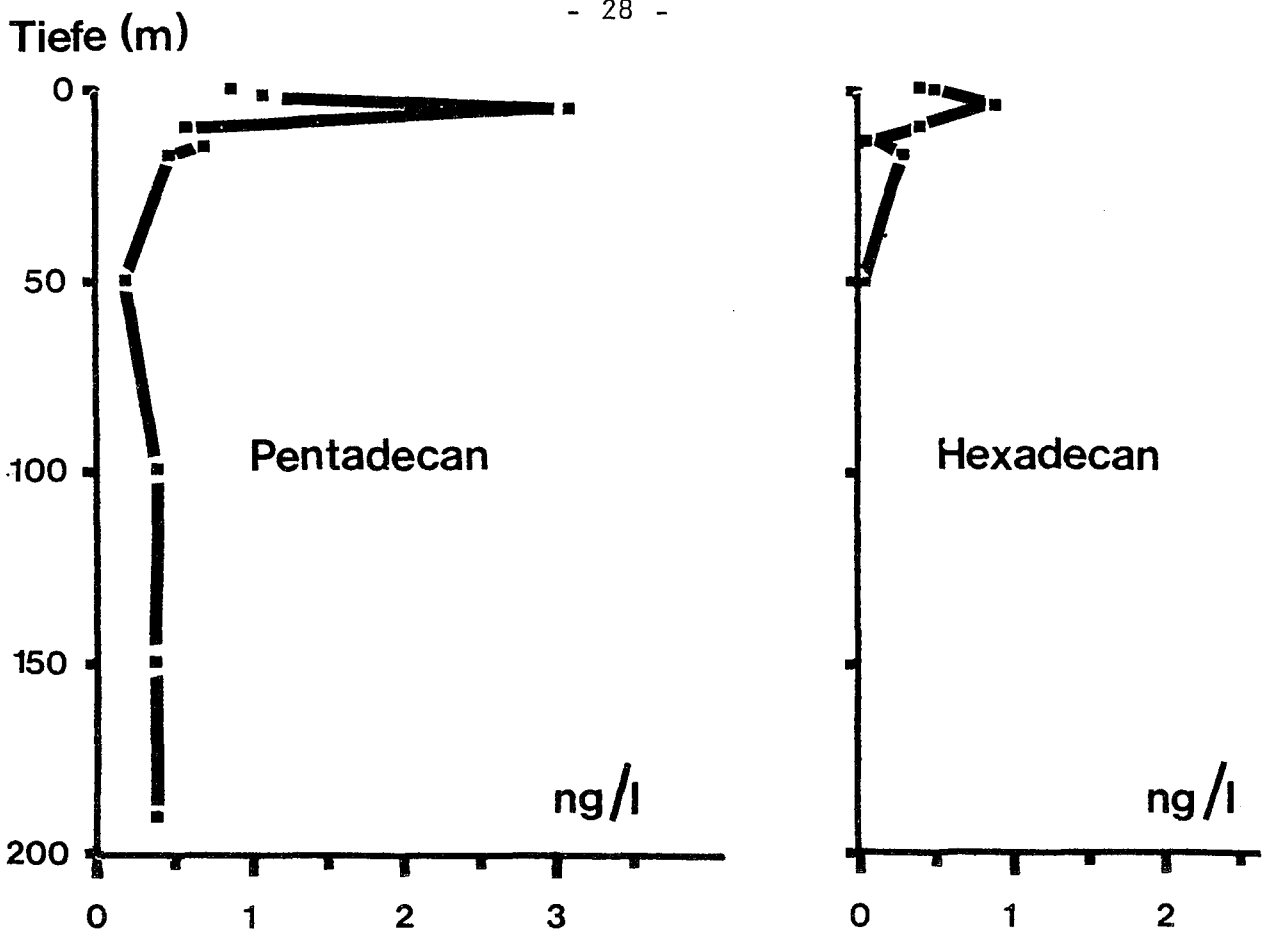


Abbildung 9: Vertikales Profil von Pentadecan, Hexadecan und Heptadecan in Seemitte am 19.09.1983.

	SM	4 km	2 km	100 m	Ha	Ha
Toluol	27,9	23,6	a)	42,9	13,1	3,9
Ethylbenzol	6,3	10,1	5,2	6,4	2,4	1,2
p-Xylol	9,6	11,9	8,4	11,6	70,5	5,4
m-Xylol	14,7	22,6	13,4	15,8	27,1	4,2
o-Xylol	10,9	13,6	9,2	13,8	26,2	2,8
Propylbenzol	1,0	0,9	1,5	2,5	6,3	0,5
4-Ethyltoluol	3,9	2,5	3,6	6,2	29,2	4,7
3-Ethyltoluol	5,3	3,9	4,7	6,7	65,7	3,1
Mesitylen	7,6	7,1	6,2	7,6	27,8	2,1
Pseudocumol	6,8	5,0	6,4	8,5	6,8	2,5
Hemellitol	5,4	5,1	4,6	5,4	15,8	1,2
Naphthalin	4,9	4,3	4,9	4,9	11,7	8,6
Hexadecan	2,3	1,8	1,5	0,8	2,8	1,5
2-Methylnaphthalin	1,5	1,0	2,0	1,0	1,5	1,0
1-Methylnaphthalin	1,0	b)	b)	b)	b)	b)
Heptadecan	16,4	13,2	16,4	11,5	16,8	11,5

**Tabelle 1:**

Konzentrationen (ng/l) der gelösten und desorbierbaren flüchtigen, organischen Verbindungen im Bodenseewasser. Das Horizontalprofil wurde auf der Strecke zwischen Einfahrt Baggerloch (Langenargen) und Arbon aufgenommen. Die Proben wurden am 14.7.83 von der Oberfläche in Seemitte (SM), 4 km, 2 km und 100 m vor Einfahrt Baggerloch und an zwei Stellen im Baggerloch (Hafen = Ha) genommen. Die Aufarbeitung erfolgte im geschlossenen System.

- a) keine Messung
- b) Konzentration liegt unter der Nachweisgrenze

	Seemitte (Probe 1)	Seemitte (Probe 2)	3 km	1 km	Hafen	Hafen	Lindau N	Lindau S
Benzol	11.4	13.8	8.1	9.7	3.2	3.2	14.6	21.9
Toluol	19.1	17.9	14.9	16.8	6.2	6.4	18.1	39.5
Ethylbenzol	3.6	10.4	a)	5.5	1.6	1.3	4.0	12.0
p-Xylol	3.7	6.1	a)	5.0	2.2	1.3	4.8	16.5
m-Xylol	9.8	14.8	a)	13.0	4.7	3.5	9.8	34.7
o-Xylol	5.3	7.3	a)	7.2	2.2	1.5	6.3	19.8
Propylbenzol	1.7	0.8	1.2	2.3	1.5	0.8	1.8	3.5
3-Ethyltoluol	10.0	4.6	6.4	14.2	7.2	4.2	7.0	20.0
4-Ethyltoluol								
Mesitylen	5.7	2.2	2.8	8.5	4.3	2.0	3.0	7.3
Pseudocumol	16.0	6.8	9.7	22.2	10.8	5.8	10.0	26.5
Hemellitol	4.6	2.2	3.0	6.2	3.4	1.2	3.4	9.6
Naphthalin	8.4	5.4	a)	4.6	0.0	0.0	13.0	50.0
2-Methylnaphthalin	1.2	1.2	1.8	1.2	0.6	3.6	2.4	10.2
1-Methylnaphthalin	a)	a)	0.7	2.1	1.4	1.4	1.4	6.4
Hexadecan	6.4	0.6	2.3	1.7	2.0	1.7	0.6	1.7
Heptadecan	11.4	3.0	10.6	8.0	6.3	6.3	3.0	2.1

**Tabelle 2:**

Konzentrationen (ng/l) der gelösten und desordierbaren Kohlenwasserstoffe im Bodensee-wasser.

Die Proben wurden am 17.11.1983 von der Oberfläche in Seemitte zwischen Langenargen und Arbon (Seemitte), 3 Kilometer vor Einfahrt Baggerloch Langenargen (3 km), 1 Kilometer vor Einfahrt Baggerloch Langenargen (1 km), im Baggerloch Langenargen (Hafen), in Lindau ufernah südlich des Strandbades Eichwald (Lindau S.) und in Lindau nördlich des Strandbades Eichwald (Lindau N.) genommen.

a) keine Messung

	SM	SM	SM	3 km	1 km
Tetrachlorethylen	31	36	36	31	41
Trichlorethylen	5	6	5	5	8
Chloroform	7	15	16	a)	a)
p-Dichlorbenzol	2,3	2,3	a)	3,0	3,3

	Ha	Li N	Li S
Tetrachlorethylen	31	99	102
Trichlorethylen	15	13	31
Chloroform	29	18	19
p-Dichlorbenzol	3,6	6,8	6,8

**Tabelle 3:**

Quantitative Bestimmung (ng/l) gelöster und desorbierbarer Chlorkohlenwasserstoffe in Bodenseewasser aus 1 m Tiefe. Probenahmedatum und -orte sind identisch mit Tabelle 2.

	0 m	1 m	5 m	10 m	15 m	17.5 m	50 m	100 m	150 m	191 m
Benzol	13	7	11	8	6	5	3	1	0	6
Ethylbenzol	1.6	2.7	2.5	2.3	2.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.8
p-Xylol	1.9	2.7	2.4	2.0	1.4	0.8	0.9	1.0	0.9	1.4
m-Xylol	7.0	9.4	9.1	8.7	4.8	2.3	2.4	2.9	3.1	4.2
o-Xylol	4.9	5.8	5.5	5.6	2.9	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3
Propylbenzol	0.4	0.6	1.6	2.5	0.4	0.4	0.7	0.8	1.3	1.4
4-Ethyltoluol	2.4	3.1	7.5	11.4	2.1	1.8	3.1	4.0	5.8	6.3
Mesitylen	3.9	4.1	8.8	11.9	3.0	3.1	2.6	3.2	5.1	5.3
Pseudocumol	4.7	10.4	18.1	24.7	9.6	7.4	10.1	13.0	15.3	16.6
Hemellitol	2.5	2.9	4.3	5.7	2.0	1.3	1.2	1.7	2.4	2.6
Pentadecan	0.9	1.1	3.1	0.6	0.7	0.5	0.2	0.4	0.4	0.4
Hexadecan	0.4	0.5	0.9	0.4	b)	0.3	b)	b)	b)	b)
Heptadecan	5.5	9.2	14.5	2.0	2.1	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6
2-Methylnaphthalin	0.7	0.9	0.9	0.4	0.3	0.5	b)	b)	b)	b)
1-Methylnaphthalin	1.8	1.1	1.2	0.5	b)	b)	b)	b)	b)	b)

**Tabelle 4:** Vertikales Profil flüchtiger Verbindungen (ng/l) in Seemitte mit Meßwerten aus 0, 1, 5, 10, 15, 17.5, 50, 100, 150 und 191 m (= 1 m über Grund) Tiefe.  
 Probenahmedatum: 19.9.1983. Aufarbeitung: Stripping im geschlossenen System.

b) Konzentration liegt unter der Nachweisgrenze



	0 m	5 m	7.5 m	10 m	15 m	20 m	50 m	100 m	150 m	192 m
Benzol	17.9	16.6	25.0	9.1	1.9	a)	a)	a)	4.2	4.2
Toluol	74	78	72	74	30	28	74	72	84	124
Ethylbenzol	9.7	5.4	4.2	6.8	14.7	11.4	3.3	5.1	4.2	3.3
p-Xylol	5.7	4.2	3.6	4.9	8.2	5.4	2.7	2.1	2.4	2.1
m-Xylol	15.2	12.5	8.9	15.2	36.0	21.3	7.8	5.1	7.8	5.7
o-Xylol	17.5	10.1	7.1	7.1	17.3	10.5	5.1	5.7	4.5	3.3
Propylbenzol	1.0	0.6	0.3	1.6	3.0	1.8	1.2	0.7	1.5	1.2
Mesitylen	9.4	5.9	3.0	3.6	9.6	3.9	2.1	0.9	1.5	1.5
Pseudocumol	10.1	11.3	7.1	12.7	31.8	13.8	7.5	4.2	6.9	48.0
Hemellitol	6.8	5.4	3.6	5.5	17.4	5.7	2.7	1.2	2.4	3.9
Pentadecan	2.4	3.9	1.7	0.9	0.8	0.6	1.3	0.7	0.6	a)
Hexadecan	1.0	1.3	0.7	0.4	0.3	0.2	b)	b)	b)	b)
Heptadecan	4.4	8.2	4.1	1.2	1.3	0.9	0.9	0.5	0.6	a)
Naphthalin	5.1	6.3	4.4	3.5	3.5	2.4	1.7	1.4	2.4	a)
2-Methylnaphthalin	1.4	a)	1.4	a)	a)	b)	b)	b)	b)	b)
1-Methylnaphthalin	3.8	a)	1.9	a)	a)	b)	b)	b)	b)	b)

**Tabelle 5:** Vertikales Profil flüchtiger Verbindungen (ng/l) in Seemitte vom 4.10.1983. Die Anreicherung der Substanzen erfolgte im offenen System.

a) keine Messung

b) Konzentration liegt unter der Nachweisgrenze

	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	50 m	100 m
Benzol	13,7	12,4	6,2	a)	11,9	4,6	3,1
Toluol	39	38	30	45	33	52	33
Ethylbenzol	3,1	2,6	2,4	3,6	3,1	3,9	2,6
p-Xylol	2,9	2,4	2,4	3,4	3,1	3,1	2,0
m-Xylol	8,3	6,7	7,6	10,4	8,3	9,9	6,0
o-Xylol	4,7	4,2	4,4	5,5	5,0	4,1	3,1
Propylbenzol	3,2	1,5	2,3	3,0	2,6	3,6	1,9
3-Ethylbenzol							
4-Ethylbenzol	17,6	10,8	13,7	16,9	16,0	19,6	11,7
Mesitylen	12,2	9,8	10,3	12,8	11,8	12,4	8,4
Pseudocumol	28,1	18,4	22,7	27,4	25,9	30,8	19,3
Hemellitol	8,1	7,2	7,7	8,8	8,6	8,1	5,6
p-Dichlorbenzol	1,4	2,7	2,1	2,3	2,0	2,6	2,8

**Tabelle 6:** Vertikales Profil flüchtiger Verbindungen (ng/l) in Seemitte mit Meßwerten aus 0 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 50 m und 100 m Tiefe. Probenahmedatum: 18.10.83. Anreicherung der Substanzen im geschlossenen System.

a) keine Messung

	1 m	5 m	10 m	15 m	50 m	100 m	150 m
Benzol	12,9	9,0	8,2	7,6	7,5	4,8	4,3
Toluol	26,7	16,9	15,2	15,2	24,2	17,6	20,8
Ethylbenzol	2,4	2,7	2,6	2,1	2,9	3,0	2,2
p-Xylol	1,9	1,7	1,9	1,6	2,1	2,1	1,4
m-Xylol	6,1	5,8	5,0	5,3	6,6	6,7	5,1
o-Xylol	2,6	3,0	2,4	2,4	2,5	2,7	1,8
Propylbenzol	1,4	0,6	1,0	0,6	1,1	1,3	0,4
3-Ethylbenzol } 4-Ethylbenzol }	5,0	3,3	4,3	2,9	4,6	a)	2,8
Mesitylen	11,3	14,9	15,4	14,2	18,2	a)	12,7

**Tabelle 7:** Vertikales Profil flüchtiger Verbindungen (ng/l) in Seemitte mit Meßwerten aus 1, 5, 10, 15, 50, 100 und 150 m Tiefe. Probenahmedatum: 18.10.83. Stripping der Substanzen im geschlossenen System.

a) keine Messung

