



***Ergebnisse langjähriger  
Wasseruntersuchungen in der Schlei  
Eine Informations- und Planungsgrundlage***



Herausgeber:  
Landesamt für  
Natur und Umwelt  
des Landes  
Schleswig-Holstein  
Hamburger Chaussee 25  
24220 Flintbek

Titelfoto:  
Blick auf die Schlei  
bei Schleswig

Herstellung:  
hansadruk Kiel

ISBN 3-923339-70-4

Dezember 2001

Diese Broschüre wurde  
aus Recyclingpapier  
hergestellt.

Diese Druckschrift wird im  
Rahmen der Öffentlich-  
keitsarbeit der schleswig-  
holsteinischen Landes-  
regierung herausgegeben.  
Sie darf weder von Parteien  
noch von Personen, die Wahl-  
werbung oder Wahlhilfe  
betreiben, im Wahlkampf  
zum Zwecke der Wahlwer-  
bung verwendet werden.  
Auch ohne zeitlichen Bezug  
zu einer bevorstehenden  
Wahl darf die Druckschrift  
nicht in einer Weise verwen-  
det werden, die als Partei-  
nahme der Landesregierung  
zugunsten einzelner Gruppen  
verstanden werden könnte.  
Den Parteien ist es gestattet,  
die Druckschrift zur Unterrich-  
tung ihrer eigenen Mitglieder  
zu verwenden.

***Ergebnisse langjähriger Wasseruntersuchungen in der Schlei***  
***Eine Informations- und Planungsgrundlage***

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Zusammenfassung.....	5
2	Zustandsbeschreibung der Schlei.....	6
3	Untersuchungsprogramm "Schlei" .....	8
4	Nährstoffverhältnisse in der inneren Schlei.....	9
5	Ergebnisse der Wasseruntersuchungen seit 1980 .....	10
5.1	Wassertemperatur .....	10
5.2	Salzgehalt.....	11
5.3	Sauerstoffgehalt und Sauerstoff-Sättigung.....	11
5.4	Sichttiefe.....	12
5.5	pH-Wert .....	12
5.6	Ammonium .....	13
5.7	Nitrat.....	14
5.8	Gesamtstickstoff .....	14
5.9	Phosphor .....	15
5.10	Chlorophyll-a.....	17
6	Gewässergüte der Schlei-Zuflüsse und Stofffrachten.....	17
7	Die Belastung der Schlei durch Abwassereinleitungen.....	19
8	Algenuntersuchungen mittels Markerpigment-Analysen.....	21
9	Schlußfolgerungen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen und Gewässerschutzprogramme des Landes.....	22
10	Literaturverzeichnis .....	23
11	Abbildungsverzeichnis .....	24

## **Anhang**

Bericht über die Pilotphase des Projektes Untersuchung des Auftretens und der Verbreitung der Cyanobakterien in der Schlei sowie ihrer Rolle im Hinblick auf die zeitliche Sukzession der Phytoplankton-Gemeinschaften unter Anwendung des Konzeptes von Markerpigment - Analysen mittels HPLC



## 1 Zusammenfassung

Die Schlei wurde erstmals von 1974 bis 1977 detailliert vom damaligen Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten untersucht. Nach diesen Untersuchungen war die Schlei ein übermäßig mit Nährstoffen angereichertes Gewässer, mit regelmäßig in den Sommermonaten auftretenden Algenmassenentwicklungen, darunter auch Blaualgen. Die hier dargestellten Ergebnisse der Wasseruntersuchungen des 20-jährigen Zeitraums von 1980 bis 1999 zeigen, dass sich an diesem Zustand bis heute nur wenig geändert hat. Obwohl seit Ende der achtziger Jahre intensive Maßnahmen zur Minderung der landseitigen Nährstoffeinträge durchaus mit Erfolg durchgeführt wurden, z.B. bei den Abwassereinleitungen, ist die Schlei nach wie vor als ein „hypertrophes“ Gewässer einzustufen, wenn man die Bewertungskriterien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für stehende Gewässer anwendet.

Das zentrale Problem der Schlei ist die Überversorgung mit Phosphor. Ursache hierfür sind gewässerinterne Austauschprozesse: Rücklösungsvorgänge aus den großflächig vorhandenen Faulschlammablagerungen, die eine Schlei-interne, beständige Phosphorquelle darstellen. Die in diesem Bericht dargestellten Auswertungen lassen jedoch erkennen, dass die Phosphat-Sommerkonzentrationen einen leicht rückläufigen Trend aufweisen. Für die Stickstoff-Winter- bzw. -Frühjahrskonzentrationen ist dies jedoch bisher nicht erkennbar. Ursache hierfür sind die beständigen Einträge aus dem landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet, z.B. über die Füsinger Au. In einem hydrologisch „trockenen Jahr“, wie 1996, transportierte sie bei einem Jahresabfluß von 30 Mio. m<sup>3</sup> Wasser 218 Tonnen Stickstoff und 7,5 Tonnen Phosphor in die Schlei. In einem „nassen Jahr“ wie 1998 wurden mit 117 Mio. m<sup>3</sup> Wasser rund 1.000 Tonnen Stickstoff und 16 Tonnen Phosphor transportiert.

Zur Verminderung punktförmiger Stoffeinträge in die Gewässer wurden seit 1989 das „Phosphor-Sofortprogramm“ und das „Dringlichkeitsprogramm der Landesregierung zur Entlastung von Nord- und Ostsee von Nährstoffeinträgen“ durchgeführt. Aufgrund von Maßnahmen an den zentralen Abwasserbehandlungsanlagen im Einzugsgebiet der Schlei konnten im Zeitraum von 1989 bis 1998 die jährliche Phosphorfracht von 19 auf 9 t (53% Minderung) und die Stickstofffracht von 177 auf 79 t (55% Minderung) verringert werden. Die Abwasserbeseitigung hat in Schleswig-Holstein mittlerweile einen hohen technischen Stand erreicht und Abwassereinleitungen haben daher für die meisten Gewässer inzwischen einen geringeren Anteil an der Gesamtbelastung, die viel stärker durch die „diffusen Einträge“ geprägt ist.

Aufgrund der dargestellten besonderen Verhältnisse in der Schlei ist davon auszugehen, dass das Ziel der Gewässerschutzpolitik des Landes, die Reduktion der Nährstofffrachten, für die Schlei nicht zu einer schnellen und wirksamen Verbesserung hinsichtlich des Eutrophierungsgrades führen wird.

## **2 Zustandsbeschreibung der Schlei**

Die Schlei ist eine von vier Förden der Ostseeküste Schleswig-Holsteins mit rund 43 Kilometern Länge. Sie erstreckt sich von Schleimünde, wo sie mit der Ostsee in offener Verbindung steht, nach Südosten. Wegen des Wechsels von breiten Becken mit Engstellen ähnelt die Schlei eher einer Kette von Seen, die durch einen Flußlauf miteinander verbunden sind, statt einer Meeresbucht bzw. Förde. An ihrem landseitigen Ende bei Schleswig hat die Schlei zwei größere seenartige Erweiterungen, die als Große und die Kleine Breite bezeichnet werden.

Die Fläche der Schlei beträgt rund 54 km<sup>2</sup> und ihr topographisches Einzugsgebiet rund 667 km<sup>2</sup>. Zahlreiche kleinere Fließgewässer führen der Schlei jährlich rund 250 Mio. Kubikmeter Wasser zu. Dies ist etwa das Doppelte an Volumen, das die Schlei bei Mittelwasser selbst führt. Die mittlere Tiefe ist mit nur 2,5 bis 3 Metern gering. Nur in den Schleiengen, durch die zeitweise eine sehr starke Strömung geht, gibt es Wassertiefen über 10 Meter, z.B. in Kappeln mit 12 Meter und bei Rabelsund mit 16 Meter. Der bedeutendste Schlei-Zufluß ist die Füsinger Au mit einem Einzugsgebiet von rd. 240 km<sup>2</sup>, sie mündet in den nord-östlichen Teil der "Kleinen Breite" und fließt durch vorrangig landwirtschaftlich genutztes Gebiet. Die Hütener Au mit einem Einzugsgebiet von 62 km<sup>2</sup> entwässert das südlich der Schlei gelegene Gebiet und mündet in die "Große Breite".

Eine eingehende Beschreibung hinsichtlich der Hydrographie und Hydrochemie findet sich bei Nellen (1970); landschaftlich-ökologische Faktoren sind von König (1970) und Rippl (1986)<sup>1</sup> ausführlich beschrieben.

Die Fließbewegung der Schlei, die sich aus den Zuflüssen ergibt, ist so gering, dass sie jederzeit von den Wasserbewegungen überlagert wird, die sich aus den überwiegend windbedingten Schwankungen des Ostseewasserstandes ergeben. Entsprechend langsam erfolgt der ostseewärts gerichtete Stofftransport aus der inneren Schlei. Ein Maßstab hierfür ist der Salzgehalt, der bei Schleimünde zwischen 13 und 19, bei Kappeln zwischen 12 und 18 und in der Kleinen Breite nur noch zwischen 4 und 8 psu<sup>2</sup> schwanken kann.

Durch die Lage der Schlei im relativ nährstoffreichen ostschleswigschen Hügelland und ihre hydrographische Situation, speziell die niedrige mittlere Tiefe und die langen Küstenlinien im Vergleich zum geringen Wasservolumen, ist es naheliegend, dass dieses Gewässer bereits von Natur aus einen eutrophen Charakter besitzt. Hinzu kommen die anthropogen bedingten landseitigen Einflüsse besonders im 20. Jahrhundert. Diese Faktoren führen dazu, dass die Schlei eine sehr hohe Biomassenproduktion aufweist, erkennbar an der grünlichen Verfärbung des Wassers.

---

<sup>1</sup> siehe Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein (1986a)

<sup>2</sup> psu = practical salinity unit, zur Angabe des dimensionslosen Salzgehalts (entspricht Promille)

Der Zustand der Schlei gegen Ende des 19. Jahrhunderts kann aus einigen historischen Daten rekonstruiert werden. Es wurde noch von einer artenreichen und ausgedehnten Unterwasservegetation der inneren Schlei berichtet. Voraussetzung hierfür müßten ein sandiges Substrat und eine hohe Sichttiefe gewesen sein. Dieser Zustand wurde auch rund 50 Jahre später von Remane (1937) noch vorgefunden. Er wies aber bereits auf ausgedehnte Faulschlammgebiete hin, die in ihrer Flächenausdehnung seitdem noch erheblich zugenommen haben. Die Zunahme an Faulschlamm und das Verschwinden einer Unterwasservegetation ist sicherlich weitgehend eine Folge der menschlichen Eingriffe in die Schlei selbst und in ihrem Einzugsgebiet.

Legt man die Bewertungskriterien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für stehende Gewässer zu Grunde, so ist die innere Schlei hinsichtlich der Nährstoffsituation nach wie vor ein *hypertrophes* Gewässer, mit häufig gemessenen Gesamtphosphor-Sommerkonzentrationen über 0,5 mg/l P. Es treten alljährlich Algenmassenentwicklungen, hauptsächlich der Blaualge *Microcystis aeruginosa* auf und verbreitet Faulschlammablagerungen. Die Faulschlammneubildungsrate in der inneren Schlei wird nach auf ca. 60.000 Tonnen pro Jahr geschätzt<sup>3</sup>. Der einzige produktionssteuernde Faktor ist das Sonnenlichtangebot. Die Nährstoffsituation hat sich im Vergleich zu früheren Jahren nur geringfügig verbessert. Als Ursachen für die ungünstige Entwicklung der letzten rund 100 Jahre sind zu nennen:

- der Bau von Schmutzwasserkanalisationen, mit der häusliches Abwasser ungereinigt in die Schlei einleiteten,
- die Ansiedlung von Gewerbebetrieben, insbesondere Schlachtereien und Gerbereien, die ihr Abwasser ebenfalls ungereinigt in die Schlei eingeleitet haben,
- die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion mit entsprechend erhöhtem Austrag von organischem und Mineraldünger,
- die allgemeine Zunahme der Bevölkerungsdichte und stärkere Besiedlung des ländlichen Raumes ohne ausreichende Abwasserbeseitigung und -behandlung.

Obwohl heute kein unbehandeltes Abwasser mehr in die Schlei eingeleitet wird, hat sich an der Wasserbeschaffenheit bzw. am Trophiezustand bis in die Gegenwart nichts Grundlegendes verändert. In den Jahren 1975 bis 1977 hatte das ehemalige Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten eine besondere Untersuchung zur Ermittlung der Belastung der Schlei durchgeführt. Ein wesentliches Ergebnis dieser Untersuchungen war, dass die Belastung der Schlei aus Einleitungen und Zuflüssen zwar nicht überall zufriedenstellend gering war, dass jedoch der festgestellte hypertrophe Zustand der Schlei nicht allein durch die damaligen Belastungen aus Einleitungen zu erklären war. Vielmehr wurde auf die hohe Bedeutung des Faulschlammes hingewiesen, aus dem jährlich zusätzlich Phosphat rückgelöst wird, der dann als Nährstoff für die Algen zur Verfügung steht. Um hierüber näheren Aufschluß zu erhalten, wurde 1982 Prof. Rippl von der TU Berlin mit einem Forschungsvorhaben über Mög-

---

<sup>3</sup> siehe Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein (1986a)

lichkeiten der Steuerung der Trophieverhältnisse beauftragt. Wesentliches Ergebnis war, dass die Faulschlammablagerungen etwas weniger verbreitet sind, als angenommen, sie bedecken aber etwa 2/3 der Fläche der innersten Schlei (ca. 8 km<sup>2</sup> mit "Kleiner Breite"). Bei Berücksichtigung des Jahresganges war allerdings die konstante Phosphatzufuhr aus der Kläranlage Schleswig gegenüber der Zufuhr aus den Zuflüssen im Sommer von größerer Bedeutung. Ergänzend zu dem Forschungsvorhaben hatte das Landesamt für ein Teileinzugsgebiet der Füsinger Au Untersuchungen über Herkunft und Verbleib der Nährstoffe aufgestellt (siehe Abschnitt 7).

Der Forschungsbericht aus dem Jahr 1986 enthält zwei interessante Vorschläge zur Sanierung der inneren Schlei: zum einen durch eine sog. "Nitratinjektion" direkt in die Faulschlammablagerungen, um eine oxidativen Denitrifikation herbeizuführen und zum anderen durch Einleitung von nitrifizierten und entphosphorisierten Abwässern. Dazu wurden 1984 entsprechende Laborexperimente und in-situ-Versuche durchgeführt. Weitere Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben waren u.a., dass dem Phosphateintrag aus Ortslagen und Einzelgehöften eine erhebliche Bedeutung zukommt und dass der flächenhafte Austrag aus dem Weideland bei hohem Viehbesatz nicht eindeutig geringer ist als aus Ackerland. Es wurde gezeigt, dass auf der Gewässerfließstrecke eine deutliche Verminderung der Nährstofffrachten erfolgt.

### 3 Untersuchungsprogramm "Schlei"

Die Schlei wird seit 1980 regelmäßig mehrmals jährlich im Rahmen des „Ostseemonitoring“ untersucht. Die Probennahme erfolgt mit dem Gewässeraufsichtsschiff MS "Haithabu".

Es werden folgende Stationen beprobt:

EDV-Nr.	Station	Tiefe	Geogr. Breite	Geogr. Länge	Datenbestand
225020	Kleine Breite, Tn. <sup>4</sup> . Z2	3,0 m	54°31,30' N	9°36,90' E	1980 – 1997
225021	Große Breite, Tn. 108	3,3 m	54°31,10' N	9°40,30' E	Seit 1980
225022	Lindholm, Tn. 78	3,4 m	54°34,10' N	9°47,30' E	Seit 1980
225023	Bienebek, Tn. 79	4,2 m	54°36,50' N	9°52,80' E	1980 – 1997
225024	Kappeln	12,2 m	54°39,60' N	9°56,30' E	Seit 1980

Ab 1998 werden die Stationen „Kleine Breite“ und „Bienebek“ allerdings nicht mehr beprobt, dafür wurde die Probennahmehäufigkeit an den anderen drei Stationen von bisher fünfmal auf zehnmal jährlich verdoppelt. Die Lage der Stationen ist in Abb. 1 dargestellt.

An jeder Station werden die folgenden stationsbezogenen Daten erhoben: Datum, Uhrzeit, Lottiefe, Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur, Wetter und Seegang.

Die chemische Analytik erfolgt mit Ausnahme der Bestimmungen von Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor jeweils unmittelbar nach der Probennahme im Schiffslabor. Es wird eine

Wasserprobe aus 1 Meter Tiefe, an der Station Kappeln zusätzlich auch aus 9 Metern, mit einem Kranzwasserschöpfer entnommen. Folgende hydrographische und hydrochemische Parameter bzw. Meßgrößen werden bestimmt:

Wassertemperatur (Sonde)  
Salzgehalt (Sonde)  
Sauerstoff (Sonde)  
Sauerstoff-Sättigungsindex (berechnet)  
Sichttiefe  
Lichtabschwächung (Sonde)  
pH-Wert  
Ammonium  
Nitrit  
Nitrat  
Gesamtstickstoff, unfiltr.  
ortho-Phosphat  
Gesamtphosphor, unfiltr.  
Silikat

#### **4 Nährstoffverhältnisse in der inneren Schlei**

Das zentrale Problem der Schlei ist die permanente Überversorgung mit dem Nährstoff Phosphor durch die "interne Düngung" aus den Faulschlammablagerungen. Im Winterhalbjahr eingetragener Phosphor wird unmittelbar im Sediment festgelegt, als Folge davon werden im Frühjahr die niedrigsten Phosphorgehalte gemessen. Ab Mai tritt dann die "Düngerphase" ein, die mehrere Monate andauert. Nach Rippl<sup>5</sup> werden aus dem Sediment in einer Zeitspanne von drei bis vier Monaten jährlich über 1 g P/m<sup>2</sup> netto freigesetzt. Während des Sommers sind die Austräge aus der inneren Schlei dann höher als die Einträge (negative externe Bilanz) so dass die innere Schlei für die äußeren Schlei-Bereiche zu einer "Eutrophierungsquelle" wird.

Der Stickstoffgehalt erreicht im Winter sein Maximum, während der Vegetationsperiode ist der anorganische Stickstoff praktisch aufgebraucht.

Die in der Schlei ermittelten Nährstoffkonzentrationen nehmen zur Ostsee hin deutlich ab. Innerhalb des Jahresganges werden die Phosphormaxima jeweils im Spätsommer gemessen. In der inneren Schlei (Kleine Breite) beträgt die **mittlere Gesamtphosphor-Konzentration** im Zeitraum von 1980 bis 1997 0,22 mg/l P. Die **mittlere Sommer-Gesamtphosphor-Konzentration** liegt dagegen mit 0,46 mg/l P deutlich höher. Zum Vergleich: an der Station "Kappeln" sind die vergleichbaren Konzentrationen mit 0,08 mg/l P und 0,15 mg/l P dagegen deutlich geringer; der betrachtete Zeitraum erstreckt sich dabei von 1980 bis 1999.

---

<sup>4</sup> Tn. = Tonne

<sup>5</sup> siehe Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein (1986a)

Ein Vergleich der mittleren Nitrat-Winterkonzentrationen und der mittleren Phosphat-Sommerkonzentrationen der inneren Schlei mit der Ostsee vor Schleimünde ist den Abb. 2 und 3 graphisch dargestellt. Danach beträgt das Konzentrationsverhältnis für Nitrat etwa 50 : 1 und für Phosphat etwa 30 : 1. In Abb. 4 ist der typische Jahresgang der Nitrat- und Phosphatkonzentrationen in der inneren Schlei (Große Breite) für die Jahre 1998 und 1999 dargestellt.

Die Gewässergüte der wichtigsten Schlei-Zuflüsse und die Stickstoff- und Phosphoreinträge der Füsinger Au und der Koseler Au werden in Abschnitt 6 betrachtet und die Belastung durch Abwassereinleitungen in Abschnitt 7.

## 5 Ergebnisse der Wasseruntersuchungen seit 1980

Im folgenden werden die Ergebnisse des 20-jährigen Untersuchungszeitraums von 1980 bis 1999 für die **hydrographischen** Parameter Wassertemperatur, Salzgehalt, Sauerstoffgehalt und Sichttiefe sowie für die hydrochemischen Meßgrößen, wie pH-Wert, Ammonium-, Nitrat- und Gesamtstickstoff, ortho-Phosphat und Gesamtphosphor dargestellt. Hierzu werden für die hydrographischen Meßgrößen jeweils die mittleren Werte<sup>6</sup> und die Spannweiten der Einzelwerte des gesamten 20-jährigen Untersuchungszeitraums tabellarisch dargestellt. Für die **hydrochemischen** Parameter werden für jede Station Ganglinien des 20-jährigen Untersuchungszeitraums dargestellt, sowie gesondert die jährlichen saisonalen Konzentrationen, d.h. die Winterwerte für die Monate Januar bis März (Zeitraum 1989 bis 1999) und die Sommerwerte für die Monate Juli bis September in Form von Balkendiagrammen, versehen mit einer Trendlinie. Zusätzlich werden pro Station die mittleren Konzentrationen aus allen Messungen sowie die mittleren Winter- und Sommerwerte tabellarisch und graphisch dargestellt.

Leider konnten nicht in allen Jahren zur jeweils gleichen Jahreszeit Beprobungen durchgeführt werden, so dass für einige Jahre keine Frühjahrs- oder Sommerdaten vorhanden sind. Dadurch sind die Ganglinien bzw. Balken in den graphischen Darstellungen nicht lückenlos sondern gelegentlich unterbrochen (z.B. für Frühjahr und Sommer 1991 und 1992).

### 5.1 Wassertemperatur

Die mittleren Wassertemperaturen für die fünf Schlei-Stationen zeigen im Zeitraum von 1980 bis 1999 ebenso wie ihre Spannweiten keine auffälligen Unterschiede:

EDV-Nr.	Station	Mittlere Wassertemperatur (°C)	Spannweite (°C)	Anzahl der Messungen (N)
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	11,7	0,0 – 23,6	79
225021	Große Breite, Tn. 108	11,5	-0,3 – 23,1	96

---

<sup>6</sup> Der mittlere Wert bzw. die mittlere Konzentration wurde hier statistisch durch den Median (50. Perzentil) repräsentiert

225022	Lindholm, Tn. 78	11,5	-0,4 – 23,9	97
225023	Bienebek, Tn. 79	11,8	0,2 – 23,9	80
225024	Kappeln	11,5	0,9 – 23,4	97

## 5.2 Salzgehalt

Der Salzgehalt der Schlei zeigt naturgemäß eine recht große Variationsbreite mit einem Gradienten mit deutlich abnehmendem Salzgehalt von der Schleimündung zur inneren Schlei hin. Der Salzgehalt läßt die schleieinwärts gerichteten Transportvorgänge von Ostseewasser erkennen. Die stationsbezogenen mittleren Salzgehalte, Spannweiten und Anzahl der Messungen für den Zeitraum 1980 bis 1999 sind in folgender Tabelle dargestellt:

EDV-Nr.	Station	Mittl. Salzgehalt (psu)	Spannweite (psu)	Anz. Messungen (N)
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	6,1	1,4 – 10,0	79
225021	Große Breite, Tn. 108	6,9	1,6 – 11,0	96
225022	Lindholm, Tn. 78	9,4	2,4 – 13,4	97
225023	Bienebek, Tn. 79	11,5	7,0 – 16,0	80
225024	Kappeln	12,7	8,7 – 19,5	97

In Abb. 5 sind die **mittleren** Salzgehalte sowie die **saisonalen** mittleren Winter- und Sommerwerte graphisch dargestellt. Die saisonalen Unterschiede sind in der inneren Schlei nur gering. An den Stationen Kappeln, Bienebek und Lindholm liegen die mittleren Salzgehalte im Winter dagegen signifikant über den Sommerwerten, hier zeigt sich ein stärkerer Einfluß durch den Einstrom von Ostseewasser in dieser Jahreszeit. Abb. 5a zeigt die **Ganglinien** des Salzgehalts der fünf Schlei-Stationen im Zeitraum von 1989 bis 1999.

## 5.3 Sauerstoffgehalt und Sauerstoff-Sättigung

Aufgrund der geringen Wassertiefe der Schlei kommt es hier nicht zur Ausbildung einer Sprungschicht, die Sauerstoffgehalte der Schlei sind daher auch im Sommer stets unkritisch. Die mittleren Gehalte der einzelnen Stationen liegen zwischen 10 und 11 mg/l. Die Minima werden erwartungsgemäß in den Sommermonaten (Juli-Beprobungen) festgestellt.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Sauerstoff-Gehalt (mg/l)	Spannweite	Anz. Messungen (N)
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	11,6	6,4 – 17,4	79
225021	Große Breite, Tn. 108	11,4	7,4 – 22,8	96
225022	Lindholm, Tn. 78	11,0	6,5 – 16,8	97
225023	Bienebek, Tn. 79	10,9	7,7 – 15,9	80
225024	Kappeln	10,4	6,3 – 14,0	97

Nachfolgende Tabelle zeigt die Sauerstoffsättigungswerte (%) der einzelnen Stationen an, die im Mittel bei rund 100% liegt. Eine Übersättigung mit Werten über z.T. deutlich 150% tritt als Folge der Algenmassenentwicklung (Sauerstoffproduktion) häufig im Frühjahr (Mai-Beprobungen) auf.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Sauerstoff-Sättigung (%)	Spannweite (%)	Anz. Messungen (N)
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	103	70 – 182	79
225021	Große Breite, Tn. 108	99	86 – 242	96
225022	Lindholm, Tn. 78	99	69 – 186	97
225023	Bienebek, Tn. 79	98	81 – 173	80
225024	Kappeln	98	76 - 143	97

#### 5.4 Sichttiefe

Die mit der Secchi-Scheibe gemessene Sichttiefe ist ein Maß für die Trübung des Wassers, hervorgerufen durch den Partikelgehalt (Seston), der überwiegend durch das Plankton bestimmt sind. Nachfolgende Tabelle zeigt, dass die mittlere Sichttiefe in der Schlei von innen nach außen zunimmt und dass sie erwartungsgemäß im Sommer signifikant geringer ist als im Jahresmittel, im Winter werden stets größere Sichttiefen beobachtet.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Sichttiefe, Gesamt (m)	Mittl. Sichttiefe, Winter (m)	Mittl. Sichttiefe, Sommer (m)
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	0,6	0,95	0,5
225021	Große Breite, Tn. 108	0,7	1,0	0,5
225022	Lindholm, Tn. 78	0,9	1,2	0,7
225023	Bienebek, Tn. 79	1,2	1,5	1,0
225024	Kappeln	1,5	1,3	1,2

In Abb. 6 sind die *mittleren* und die *saisonalen* Sichttiefen des Zeitraums von 1980 bis 1999 graphisch dargestellt.

#### 5.5 pH-Wert

Aufgrund der "Alkalinität" des Meerwassers liegt der natürliche pH-Wert etwa bei 8,2. Er ist ein Indikator für die Gewässerbelastung durch Eutrophierungsprozesse. So zeigen pH-Werte über 8 eine Eutrophierung an, z.B. durch erhöhte Phytoplanktonalgenkonzentrationen. In der inneren Schlei werden in den Sommermonaten im Zusammenhang mit Algenblüten häufig deutlich erhöhte pH-Werte bis über 9,5 gemessen.

EDV-Nr.	Station	Mittl. pH-Wert, Gesamt	Mittl. pH-Wert, Januar	Mittl. pH-Wert, Sommer
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	8,60	8,14	9,10
225021	Große Breite, Tn. 108	8,61	8,14	9,00
225022	Lindholm, Tn. 78	8,50	8,11	8,90
225023	Bienebek, Tn. 79	8,39	7,96	8,83
225024	Kappeln	8,29	8,00	8,50

Deutlich erkennbar ist die Abnahme des pH-Wertes von der inneren Schlei bis zur Mündung sowie der signifikante Unterschied zwischen den mittleren Winter- und Sommer-pH-Werten. Während die mittleren Winter-pH-Werte eine geringere Varianz aufweisen, zeigen die Sommer-pH-Werte einen deutlich abnehmenden Gradienten von der inneren zur äußeren Schlei. Zum Vergleich: der mittlere pH-Wert aller Stationen des Ostsee-Monitorings (mit den Schlei-Daten) liegt im Zeitraum von 1994 bis 1996 bei 8,29.

In Abb. 7 sind die **mittleren** und die **saisonalen** pH-Werte des Zeitraums 1980 bis 1999 graphisch dargestellt. In Abb. 8 sind die **Ganglinien** von pH-Wert und Sichttiefe für die Station „Kleine Breite“ von 1980 bis 1997 gemeinsam dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass die maximalen pH-Werte, die eine Eutrophierung des Gewässers anzeigen, jeweils mit den Minima der Sichttiefen einhergehen.

## 5.6 Ammonium

Die **mittleren** Ammoniumgehalte zeigen hinsichtlich der räumlichen Verteilung einen abnehmenden Gradienten von der inneren zur äußeren Schlei von 0,11 bis 0,07 mg/l N. Saisonal zeigen sich große Unterschiede: maximale Gehalte werden im Winter (Januarbeprobung) festgestellt, wobei sich auch hier ein abnehmenden Gradient von der inneren zur äußeren Schlei zeigt, von 0,48 bis 0,16 mg/l N. Die mittleren Sommerwerte (Beprobungszeitraum zwischen Juli und September) liegen dagegen enger beieinander, zwischen 0,03 und 0,04 mg/l N.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Ammonium- konz. (mg/l N), Gesamt	Mittl. Ammonium- konz. (mg/l N), Winter	Mittl. Ammonium- konz. (mg/l N), Sommer
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	0,11	0,65	0,038
225021	Große Breite, Tn. 108	0,07	0,47	0,035
225022	Lindholm, Tn. 78	0,06	0,38	0,029
225023	Bienebek, Tn. 79	0,09	0,49	0,032
225024	Kappeln	0,08	0,21	0,031

In Abb. 9 sind die **mittleren** Ammoniumkonzentrationen aller Schlei-Stationen für den Zeitraum von 1980 bis 1999 sowie auch die mittleren **saisonalen** Konzentrationen dargestellt.

Die **Ganglinien** der Ammoniumgehalte zeigen über den 20-Jahreszeitraum einen periodischen Verlauf mit Wintermaxima und Sommerminima. In den Abb. 9a bis 9e sind für jede

einzelne Schlei-Station die Ammonium-Ganglinien gemeinsam mit den Nitrat-Ganglinien für den Zeitraum von 1980 bis 1999 dargestellt.

### 5.7 Nitrat

Die **mittleren** Nitratgehalte zeigen hinsichtlich der räumlichen Verteilung einen abnehmenden Gradienten von der inneren zur äußeren Schlei von 1,1 bis 0,25 mg/l N. Saisonal zeigen sich große Unterschiede: maximale Gehalte werden in den Wintermonaten festgestellt, wobei sich auch hier ein abnehmenden Gradient von der inneren zur äußeren Schlei zeigt, von 3,7 bis 1,5 mg/l N. Die mittleren Sommerwerte liegen zwischen 0,003 und 0,009 mg/l N und nur an der Kleinen Breite mit 0,03 mg/l N deutlich darüber.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Nitratkonz. (mg/l N), Gesamt	Mittl. Nitratkonz. (mg/l N), Winter	Mittl. Nitratkonz. (mg/l N), Sommer
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	1,1	3,7	0,03
225021	Große Breite, Tn. 108	0,90	2,8	0,005
225022	Lindholm, Tn. 78	0,84	2,5	0,003
225023	Bienebek, Tn. 79	0,61	3,0	0,006
225024	Kappeln	0,25	1,5	0,009

In Abb. 10 sind die **mittleren** Nitratkonzentrationen aller Schlei-Stationen für den Zeitraum von 1980 bis 1999 sowie auch die mittleren **saisonalen** Konzentrationen dargestellt.

Abb. 10a zeigt die mittleren Nitrat-**Sommerkonzentrationen** in einer höher aufgelösten Skalierung gesondert dargestellt.

Die **Ganglinien** der Nitratgehalte zeigen über den 20-Jahreszeitraum einen periodischen Verlauf mit Wintermaxima und Sommerminima. In den Abb. 10b bis 10f sind für jede einzelne Schlei-Station die Nitrat-Ganglinien gemeinsam mit den ortho-Phosphat-Ganglinien für den Zeitraum von 1980 bis 1999 dargestellt. Deutlich erkennbar ist hier das zeitliche Zusammentreffen der Nitratmaxima mit den Phosphatminima und umgekehrt.

### 5.8 Gesamtstickstoff

Die **mittleren** Gesamtstickstoffgehalte zeigen hinsichtlich der räumlichen Verteilung einen abnehmenden Gradienten von der inneren zur äußeren Schlei von 3,0 bis 1,1 mg/l N. Saisonal zeigen sich große Unterschiede: maximale Gehalte werden in den Wintermonaten, minimale Gehalte in den Sommermonaten festgestellt, wobei sich auch hier jeweils ein abnehmender Gradient von der inneren zur äußeren Schlei zeigt, von 5,1 bis 2,5 mg/l N im Winter und von 2,3 und 0,87 mg/l N im Sommer.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Stickstoffkonz. (mg/l), Gesamt	Mittl. Stickstoffkonz. (mg/l), Winter	Mittl. Stickstoffkonz. (mg/l), Sommer
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	3,0	5,1	2,3
225021	Große Breite, Tn. 108	2,6	4,5	2,2

EDV-Nr.	Station	Mittl. Stickstoffkonz. (mg/l), Gesamt	Mittl. Stickstoffkonz. (mg/l), Winter	Mittl. Stickstoffkonz. (mg/l), Sommer
225022	Lindholm, Tn. 78	2,0	3,7	1,6
225023	Bienebek, Tn. 79	1,5	3,3	1,2
225024	Kappeln	1,1	2,5	0,87

In Abb. 11 sind die **mittleren** Gesamtstickstoff-Konzentrationen aller Schlei-Stationen für den Zeitraum von 1980 bis 1999 sowie auch die mittleren **saisonalen** Konzentrationen dargestellt.

Die **Ganglinien** der Gesamtstickstoffgehalte zeigen über den 20-Jahreszeitraum einen periodischen Verlauf mit ausgeprägten Wintermaxima und Sommerminima. Abb. 11a zeigt einen Vergleich der Ganglinien aller fünf Schlei-Stationen im Zeitraum von 1989 bis 1999. In den Abb. 11b bis 11f sind für jede einzelne Schlei-Station die Gesamtstickstoff-Ganglinien gemeinsam mit den Gesamtphosphor-Ganglinien für den Zeitraum von 1980 bis 1999 dargestellt.

In den Abb. 12a bis 12e sind für jede einzelne Schlei-Station die **Winterwerte** der Gesamtstickstoff-Konzentrationen für den Zeitraum 1987 bis 1999 mit einer **Trendlinie** (linear) dargestellt. An allen fünf Stationen ist ein leicht ansteigender Trend zu erkennen, am schwächsten an der Station „Kleine Breite“ und stärker an der Station „Kappeln“. Der Anstieg im beobachteten Zeitraum ist durch die auffällig höheren Winter-/Frühjahrkonzentrationen der Jahre 1991 und 1994, bei „Kappeln“ zusätzlich auch der Jahre 1993, 1995 und 1998 zu erklären.

## 5.9 Phosphor

In der Schlei tritt stets die maximale ortho-Phosphat- und Gesamtphosphorkonzentration im **Spätsommer** auf, dies zeigte sich auch bei früheren Messungen, z.B für 1960 (Nellen, 1970), und für 1967 (Rheinheimer, 1970) und für den Zeitraum von 1981 bis 1983 (Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein, 1986a). Dieses Phänomen ist dadurch zu erklären, dass im Sommer auch die oberste Schicht des Sedimentes anoxisch wird. Diese Schicht ist während des übrigen Jahres oxisch, da zumindest im Wasser der Schlei, begünstigt durch die geringe Tiefe des Gewässers, bis in die unmittelbare Kontaktzone genügend Sauerstoff vorhanden ist. Erst bei den relativ hohen Temperaturen im Spätsommer sind die Zehrungsvorgänge im Sediment der Schlei so intensiv, dass die Sauerstoffnachlieferung nicht mehr ausreicht, um den oxidativen Status der Oberflächenschicht aufrecht zu erhalten. Damit erlischt die Sperrwirkung dieser Schicht gegenüber dem Phosphat, so dass eine Rückführung in die Wasserphase erfolgen kann. Die Schlei verhält sich also ähnlich wie ein eutropher See zur Zeit der Sommerstagnation, allerdings mit dem Unterschied, dass in geschichteten Seen das Phosphat im Hypolimnion „gefangen“ bleibt.

Die **mittleren ortho-Phosphatgehalte** zeigen hinsichtlich der räumlichen Verteilung einen abnehmenden Gradienten von der inneren zur äußeren Schlei von 0,09 bis 0,05 mg/l P und

die **mittleren Gesamtphosphorgehalte** von 0,22 bis 0,08 mg/l P. Saisonal zeigen sich große Unterschiede: minimale mittlere ortho-Phosphatgehalte werden in den Wintermonaten an allen Stationen mit rund 0,03 mg/l P festgestellt und maximale Gehalte in den späten Sommermonaten, wobei sich auch hier jeweils ein abnehmender Gradient von der inneren zur äußeren Schlei zeigt, für ortho-Phosphat von 0,26 bis 0,08 mg/l P und für Gesamtphosphor von 0,46 bis 0,15 mg/ P.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Phosphat-konz. (mg/l P), Gesamt	Mittl. Phosphat-konz. (mg/l P), Winter	Mittl. Phosphat-konz. (mg/l P), Sommer
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	0,09	0,04	0,26
225021	Große Breite, Tn. 108	0,07	0,03	0,23
225022	Lindholm, Tn. 78	0,06	0,03	0,15
225023	Bienebek, Tn. 79	0,07	0,04	0,14
225024	Kappeln	0,05	0,03	0,08

In Abb. 13 sind die **mittleren** ortho-Phosphatkonzentrationen aller Schlei-Stationen für den Zeitraum von 1980 bis 1999 sowie auch die mittleren **saisonalen** Konzentrationen dargestellt. Die ortho-Phosphat-**Ganglinien** sind für jede einzelne Schlei-Station in den Abb. 10b bis 10f für den Zeitraum von 1980 bis 1999 dargestellt (gemeinsam mit den Nitrat-Ganglinien). Deutlich erkennbar ist hier das zeitliche Zusammentreffen der Nitratmaxima mit den Phosphatminima und umgekehrt.

Die Konzentrationen für Gesamtphosphor sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

EDV-Nr.	Station	Mittl. Phosphor-Konz. (mg/l P), Gesamt	Mittl. Phosphor-Konz. (mg/l P), Winter	Mittl. Phosphor-Konz. (mg/l P), Sommer
225020	Kleine Breite, Tn. Z2	0,22	0,09	0,46
225021	Große Breite, Tn. 108	0,18	0,08	0,43
225022	Lindholm, Tn. 78	0,14	0,07	0,31
225023	Bienebek, Tn. 79	0,12	0,07	0,23
225024	Kappeln	0,08	0,05	0,15

In Abb. 14 sind die **mittleren** Gesamtphosphor-Konzentrationen aller Schlei-Stationen für den Zeitraum von 1980 bis 1999 sowie auch die mittleren **saisonalen** Konzentrationen dargestellt.

Die **Ganglinien der Gesamtphosphorgehalte** zeigen über den 20-Jahreszeitraum deutlich den periodischen Verlauf mit ausgeprägten Sommermaxima und Winterminima. Abb. 14a zeigt einen Vergleich der Ganglinien aller fünf Schlei-Stationen im Zeitraum von 1989 bis 1999. Die Gesamtphosphor-Ganglinien sind für jede einzelne Schlei-Station in Abb. 11b bis 11f für den Zeitraum von 1980 bis 1999 dargestellt (gemeinsam mit den Gesamtstickstoff-Ganglinien).

In Abb. 15a bis 15e sind für jede einzelne Schlei-Station die **Winterwerte** und der **Trend** (als Polynom 2. Ordnung) der Gesamtphosphor-Konzentrationen für den Zeitraum 1987 bis 1997

bzw. 1999 dargestellt. Danach zeigt sich an allen Stationen ein Anstieg für den Zeitraum 1987 bis 1991, gefolgt von einer deutlichen Abnahme in den folgenden Jahren. Dadurch resultieren nahezu gleichbleibende Gesamtposphor-Winterkonzentrationen zwischen Anfang und Ende des 12-jährigen Beobachtungszeitraums mit Maxima in den Jahren 1990 und 1991, an der Station „Kappeln“ auch im Jahr 1993.

In Abb. 16a bis 16e sind für jede Schlei-Station die **Sommerwerte** und der **Trend** (als Polynom 2. Ordnung) der Gesamtposphor-Konzentrationen für den Zeitraum 1980 bis 1997 bzw. 1999 dargestellt. Danach ist an allen Stationen mit Ausnahme von "Bienebek" ein abnehmender Trend zu erkennen, schwächer ausgeprägt an der Station „Kleine Breite“ und stärker an den Stationen „Lindholm“ und „Kappeln“. An der Station „Bienebek“, die nur bis Ende 1997 beprobt wurde, ist aufgrund der an allen Stationen in den Jahren 1995 und 1997 beobachteten höheren Gesamtposphorkonzentration dagegen ein leichter Anstieg im Trend zu erkennen.

Auffällig sind überdurchschnittlich hohe Gesamtposphor-Konzentrationen in der „Kleinen Breite“ in den Jahren 1980, 1982, 1986, 1989, 1995 und 1997 mit Werten zwischen 0,6 und 0,8 mg/l P. Konzentrationen zwischen 0,5 und 0,6 mg/l P werden in der „Großen Breite“ und bei „Lindholm“ in den Sommermonaten der Jahre 1980 bis 1983, 1986, 1989, 1995 und 1997 beobachtet. Bei „Bienebek“ und „Kappeln“ in den Jahren 1980 bis 1983, 1986, 1995 und 1997 Konzentrationen um 0,4 mg/l P und bei „Kappeln“ zwischen 0,3 und 0,4 mg/l P beobachtet.

## 5.10 Chlorophyll-a

Die hohen Nährstoffkonzentrationen in der Schlei führen zu einer hohen Primärproduktivität, erkennbar an einer hohen Konzentration des Pigments Chlorophyll-a. Eine detaillierte Untersuchung des Chlorophyll-a-Jahresgangs im Zeitraum von 1991 bis 1993 durch Gocke zeigte, dass die Gehalte in der Vegetationsperiode in der inneren Schlei zwischen 170 und 180 µg/l liegen. Der höchste Chlorophyll-a-Wert lag im Juni 1991 an der Station Schleswig bei 176 µg/l, während bei Schleimünde 25 µg/l und in der Eckernförder Bucht bei Bookniseck unter 10 µg/l Chlorophyll a gemessen wurden.

In einer früheren Untersuchung durch Lenz (1970) für den Zeitraum März 1966 bis März 1967 wurden an der Station Schleswig Gehalte zwischen 170 und 200 µg/l Chlorophyll a festgestellt, mit Einzelwerten bis zu 300 µg/l. Ripl (1986) gibt als mittleren Chlorophyll-a-Gehalt der inneren Schlei für das Sommerhalbjahr 117 µg/l an, mit maximalen Werten über 270 µg/l.

## 6 Gewässergüte der Schlei-Zuflüsse und Stofffrachten

Anhand der Gewässergütekarte Schleswig-Holstein von 1997 ist festzustellen, dass die Zuflüsse der Schlei, wie Füsinger Au, Loiter Au, Koseler Au, Hüttener Au und Kriesebyau überwiegend der Wassergüteklasse II (mäßig belastet) bzw. II - III (kritisch belastet) zuzuordnen

sind. Der in die Kleine Breite einmündende Altstedter Mühlenbach ist im Oberlauf sehr stark verschmutzt und in die Wassergüteklasse III – IV (sehr stark verschmutzt) eingestuft. Der Anteil verrohrter Gewässer ist im Einzugsgebiet der Schlei mit rund 70% recht hoch.

Die Jahresabflußsummen der **Füsinger Au** variieren im 10-Jahreszeitraum von 1990 bis 1999 zwischen 30 Mio. m<sup>3</sup> (1996) und 117 Mio. m<sup>3</sup> (1998), der Median liegt bei 74 Mio m<sup>3</sup>. Die Stickstoffeinträge variieren zwischen 218 t (1996) und 1.006 t (1998), der Median liegt bei 621 t. Die Phosphoreinträge variieren zwischen 5,9 t (1997) und 16 t (1998, 1999).

Die Jahresabflußsummen der **Koseler Au** variieren im 10-Jahreszeitraum von 1990 bis 1999 zwischen 7 Mio. m<sup>3</sup> (1996) und 27 Mio. m<sup>3</sup> (1998), der Median liegt bei 17 Mio m<sup>3</sup>. Die Stickstoffeinträge variieren zwischen 66 t (1996) und 250 t (1998), der Median liegt bei 149 t. Die Phosphoreinträge variieren zwischen 1,8 t (1992, 1997) und 3,9 t (1998, 1999).

In Abb. 17a/b und 18a/b sind für beide Gewässer die jährlichen Abflußsummen zusammen mit den Stickstoff- und Phosphorfrachten dargestellt. Deutlich erkennbar ist, dass sowohl die Stickstoff- als auch die Phosphoreinträge mit dem Abfluß korreliert sind.

Eine detaillierte Untersuchung des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten in den Jahren 1987/1988 hatte ergeben, dass der inneren Schlei (Große und Kleine Breite) jährlich rund 47 Tonnen Phosphor zugeführt werden. Auf die Füsinger Au entfallen dabei rund 25 Tonnen des Phosphortransports. Der Stickstofftransport der Füsinger Au wird mit rund 980 Tonnen angegeben. Einer Minderung der Phosphorfracht um 75% entsprechen rd. 18,75 t P und einer Minderung der Stickstofffracht um 50% (HELCOM-Forderung) entsprechen rund 490 t N. Diese Reduktionsleistungen sind nur zu erreichen, wenn die sog. "diffusen" Einträge über die Erosion und das Drän- und Grundwasser erheblich verringert werden können.

In Abb. 19a/b sind die Stickstoff- und Phosphoreinträge nach ihrer Herkunft graphisch dargestellt. Der aus Einleitungen stammende Anteil ist jeweils noch gesondert herausgestellt.

## **7 Die Belastung der Schlei durch Abwassereinleitungen**

Im Einzugsgebiet der Schlei leben ca. 88.000 Menschen, davon in der Stadt **Schleswig** rund 26.300 (Stand: Juni 1999). Die kommunale Kläranlage der Stadt Schleswig reinigt das Abwasser von über 100.000 Einwohnern und leitet dieses nach mechanisch-biologischer Reinigung, Phosphatfällung (seit 1980) und Stickstoffeliminierung (Denitrifikation seit Anfang 1998) in die "Kleine Breite" ein, d.h. in ein quasi stehendes Gewässer von nur geringer Wassertiefe. Eine weitere direkte Einleitung erfolgt hier durch die Kläranlage der Zuckerfabrik Schleswig, jeweils befristet auf den Zeitraum von September bis Dezember. In **Kappeln** gibt es eine Schmutzwassereinleitung der kommunalen Kläranlage der Stadt und eine Kühlwassereinleitung der Fa. Gremilk GmbH (ehem. Fa. Nestlé).

Abb. 20 zeigt eine Karte mit den kommunalen und gewerblichen Kläranlagen im Einzugsgebiet der Schlei.

Der Anschlußgrad an öffentliche Kläranlagen lag Ende der achtziger Jahre mit rd. 65 % noch deutlich unter dem schleswig-holsteinischen Landesdurchschnitt (damals ca. 81%). Es erfolgte aber für mehr als 50 % der im Einzugsgebiet lebenden Einwohner zusätzlich zur mechanisch-biologischen Grundreinigung eine weitergehende Abwasserreinigung durch Phosphatfällung, was bereits zu einer deutlichen Phosphor-Entlastung der Schlei geführt hat.

Im Einzugsgebiet der **Schlei** wurde mit den schon durchgeführten Maßnahmen innerhalb des 10-Jahreszeitraums von 1988 bis 1998 die jährlich auf Abwasserbehandlungsanlagen entfallende Phosphorfracht von 19 auf 9 t (53% Minderung) und die Stickstofffracht von 177 auf 79 t (55% Minderung) verringert. Im Einzugsbereich der **Füsinger Au** im o.g. Zeitraum die jährliche Phosphorfracht von rd. 11,7 auf rd. 5,8 t P (50% Minderung) und die Stickstofffracht von rd. 69 auf rd. 39 t N ( 44% Minderung) verringert.

Mit dem im Jahr 2000 geplanten Anschluß der im Bereich des Amtes **Tolk** liegenden Gemeinden Nübel, Taarstedt und Twedt an die Kläranlage Schleswig wird die jährlich in die Füsinger Au eingeleitete Phosphorfracht um weitere rd. 1,5 t auf dann rd. 4,3 t P und die Stickstofffracht um weitere rd. 8 t auf dann rd. 31 t N vermindert. Die Phosphorfracht wird gegenüber dem Bezugsjahr 1988 dann um rd. 63% und die Stickstofffracht um rd. 55% vermindert sein.

Durch die vollständige Nachrüstung der Kleinkläranlagen im Bereich des Amtes Tolk - dies sind rd. 520 Anlagen - wird das Einzugsgebiet der Füsinger Au jährlich bei gleichem o.g. Berechnungsansatz um weitere 0,2 t Phosphor entlastet, so dass dann noch rd. 1,75 t Phosphor zu verringern wären, um das für die Füsinger Au formulierte Ziel der Verminderung der Phosphorfracht um insgesamt 9,75 t (75% Minderung) zu erreichen.

Inwieweit es sinnvoll ist, das Ziel der Stofffrachtreduzierung bei den noch verbleibenden Gemeinden, die ihre zentralen Abwasserbehandlungsanlagen noch nicht auf gezielte Nährstoffelimination ausgebaut haben, weiter zu verfolgen, sollte einer detaillierten Einzelfallprüfung vorbehalten bleiben.

Nachfolgend sind weitere im Einzugsgebiet der Schlei durchgeführte Maßnahmen beschrieben, die zur Entlastung mit Nährstoffen beitragen.

Die im Zuständigkeitsbereich des Kreises Rendsburg-Eckernförde vorhandenen Abwasserbehandlungsanlagen sind im Betrachtungszeitraum z.T. nur im Rahmen des Phosphor-Sofortprogramms ausgebaut worden. Dazu gehören die Anlagen der Gemeinden Fleckeby, Kosel, Rieseby und Winnemark. Hinsichtlich Stickstoff bestehen bei allen Anlagen keine Anforderungen.

Die Kläranlagen der Gemeinden Kosel und Rieseby stehen zur Erweiterung an. Es ist daran gedacht, die Außenbereiche Langsee, Missunde, Weseby und Bohnert mit an die Kläranlage Kosel anzuschließen. Vom Abwasserverein Thumbby Dorf und vom Prinz zu Schleswig-Holstein in Sieseby wurden 1998 kleine Anlagen in Form von Pflanzenbeeten für 96 und 106 EW in Betrieb genommen.

Folgende kleine Kläranlagen wurden 1998 in den verschiedenen Gemeinden des Kreises Rendsburg-Eckernförde in Betrieb genommen:

Gemeinde	Anzahl Hauskläranlagen	Rel. Anteil
Winnemark	23	99,8 %
Thumbby	160	80,0 %
Holzdorf	120	99,0 %
Rieseby	100	10,0 %
Fleckeby	20	100,0 %
Kosel	180	15,0 %

Die Kläranlage der „**Zuckerverbund Nord AG**“ in Schleswig wurde 1990 um Anlagen zur anaeroben (Vorversäuerung und Methan-Reaktor) und aeroben (Nitrifikation und Denitrifikation) Abwasserbehandlung erweitert. Die Kühlwasserkreisläufe wurden zu einem Kreislauf verschaltet. Eine Einleitung von Kühlwasser in die Schlei erfolgt nicht mehr. Ebenfalls geschlossen wurde der Fallwasserkreislauf. Vor dem Ausbau der Anlage wurden jährlich rd. 1,65 t Phosphor und rd. 30 t Ammoniumstickstoff in die Schlei eingeleitet. Die in dem Planfeststellungsbeschuß für den Ausbau der Anlage ebenfalls enthaltene Erlaubnis vom 26.10.1990 sah für die Einleitung des behandelten Schmutzwassers folgende Anforderungen vor:

Abwassermenge:	900.000 m <sup>3</sup> /a
P <sub>ges</sub> :	< 2 mg/l
N <sub>ges</sub> :	< 60 mg/l

Die mehrmals angepaßte Erlaubnis begrenzt jetzt die Abwassermenge auf 460.000 m<sup>3</sup>/a.

Die übrigen Anforderungen wurden nicht verändert. Die tatsächlich eingeleitete jährliche Abwassermenge lag in den Jahren 1990 bis 1997 zwischen 300.000 und 480.000 m<sup>3</sup>, im Mittel bei 418.000 m<sup>3</sup>. Nach den Ergebnissen der behördlichen Überwachung lag die mittlere Phosphor-Konzentration des Abwassers bei rd. 0,3 mg/l P, die mittlere Stickstoff-Konzentration bei rd. 11,5 mg/l N. Mit der 1997 eingeleiteten Abwassermenge von rd. 346.000 m<sup>3</sup> multipliziert, ergibt sich damit für die Schlei eine **Jahresfracht** von rd. 104 kg P und rd. 4 t N. Im Vergleich zu den Frachten vor dem Ausbau der Anlage entspricht dies beim Phosphor eine Verringerung um 94% und beim Stickstoff um 87%. Für den Ausbau der Anlagen wurden in den Jahren 1989 bis 1991 rd. 12,5 Mio. DM aufgewendet.

Für die Schlei ist neben der oben aufgeführten Einleitung der „Zuckerverbund Nord AG“ auch die Einleitung des behandelten Abwassers der **Kläranlage der Stadt Kappeln** von Bedeutung. Aus dieser Anlage wurde bei einer Abwassermenge von rd. 800.000 m<sup>3</sup>/a nach der Erweiterung im Rahmen des Phosphor-Sofortprogramms eine Phosphorfracht von rd. 0,4 t P und eine Stickstofffracht von rd. 36 t N in die Schlei eingeleitet. Noch 1998 wurde damit begonnen, die Anlage auf die Anforderungen des Dringlichkeitsprogramms auszubauen. Diese Maßnahme ist inzwischen abgeschlossen. Die eingeleitete Stickstofffracht wird bei voraussichtlich zu erzielenden mittleren Betriebswerten von 8 mg/l N im Ablauf um rd. 30 t auf rd. 6

t N verringert werden können (83% Minderung). Mit einer Filtration wird es möglich sein, die jährlich eingeleitete Phosphorfracht auf ca. 0,2 t P zu senken (50% Minderung).

Im Zuständigkeitsbereich des StUA Kiel ist in der **Gemeinde Kosel** mit der Kläranlage für den Zeltplatz „Nissen“ (210 EW) nur eine relativ kleine Anlage vorhanden, über die behandeltes Abwasser direkt in die Schlei eingeleitet wird. Die Anforderungen für den Ablauf dieser Anlage lauten:

Jahresschmutzwassermenge	3.000 m <sup>3</sup> /a
CSB	< 140 mg/l
P <sub>ges</sub>	< 10 mg/l
N <sub>ges</sub>	< 50 mg/l

Die übrigen Kläranlagen mit Direkteinleitung in die Schlei liegen in einer Größenordnung von insges. rd. 170 EW, sie stammen aus zum Teil nachgerüsteten Kleinkläranlagen. Für die Gemeinde Kosel liegt ein Sanierungskonzept mit umfangreichem Gutachten vor. Die Umsetzung des Konzepts erfolgt evtl. im Jahr 2000.

## 8 Algenuntersuchungen mittels Markerpigment-Analysen

Im Rahmen eines Werkvertrages wurde im Herbst 1996 am Kieler Institut für Meereskunde ein Pilotprojekt durchgeführt zur „Untersuchung des Auftretens und der Verbreitung der Cyanobakterien in der Schlei sowie ihrer Rolle im Hinblick auf die zeitliche Sukzession der Phytoplankton-Gemeinschaften unter Anwendung des Konzeptes von Markerpigment-Analysen mittels HPLC“.

Ziel des Pilotprojektes war es, eine Darstellung der Zusammensetzung und der jahreszeitlichen Sukzession der Phytoplanktongemeinschaften in der Schlei zu erhalten. Dabei sollte insbesondere der Anteil an Cyanobakterien (Blaualgen) analysiert und mit dem Licht- und Nährstoffangebot sowie den hydrographischen Verhältnissen in Zusammenhang gebracht werden. Zur Analyse der für bestimmte Phytoplanktonarten charakteristischen photosynthetischen Pigmente (sog. „Biomarker“) war es nötig, ein HPLC-Verfahren (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie) entsprechend zu modifizieren.

Der Bericht über Algenuntersuchungen mittels Marker-Pigmentanalysen ist als **Anhang** beigefügt. Als Ergebnis dieser Untersuchungen wird empfohlen, das bisher auf hydrographische und hydrochemische Parameter ausgerichtete Schlei-Monitoring zukünftig unter Anwendung der beschriebenen Methodik auf die Erfassung des biologischen Zustands auszudehnen, um hier mögliche Veränderungen erkennen zu können.

## **9 *Schlußfolgerungen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen und Gewässerschutzprogramme des Landes***

Die gesetzlichen Anforderungen zur Abwasserreinigung sind in den 20 Jahren des Berichtszeitraums erheblich verschärft worden, insbesondere hinsichtlich der Verringerung der Stickstoff und Phosphoreinleitungen. Die Umsetzung dieser Anforderungen wurde durch zwei Förderprogramme der Landesregierung unterstützt: das "Phosphor-Sofortprogramm" und das "Dringlichkeitsprogramm zur Entlastung der Nord- und Ostsee von Nährstoffen". Dies hat zur Verbesserung der meisten Gewässer beigetragen. Eine besondere Situation besteht allerdings bei der nach wie vor hypertrophen Schlei. Hier ist bisher trotz der durchgeführten Maßnahmen zur Verringerung der Belastung aus dem Einzugsgebiet keine nennenswerte Verbesserung des Eutrophierungsgrades festzustellen. Der Schlei-interne Prozess der Phosphor-Rücklösung aus den Faulschlammablagerungen dominiert nach wie vor deutlich gegenüber den erfolgten Maßnahmen im Einzugsgebiet.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden im Zeitraum von 1981 bis 1984 detailliert Maßnahmen zur Restaurierung der Schlei untersucht, hierunter auch, wie die Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment verringert werden kann. Als eine Sanierungsmöglichkeit wurde vorgeschlagen und durch in-situ-Versuche praktisch erprobt, entphosphorisiertes und nitrifiziertes Abwasser der Kläranlage Schleswig zu nutzen, um die abbaubare, überschüssige organische Substanz in den Sedimenten durch Denitrifikation zu oxidieren (d.h. Abbau des Faulschlammes) und nach Oxidation der Eisenverbindungen das im Porenwasser gelöste Phosphat an die Sedimentpartikel zu binden. Dieser Modellversuch verlief dabei durchaus erfolgreich: die Gesamt-Phosphorkonzentration verringerte sich, während eine Stimulierung des Algenwachstums nicht festgestellt wurde.

Durch den mittlerweile erfolgten Ausbau der Kläranlage Schleswig erfolgt dort seit 1998 eine Stickstoffelimination, so dass seitdem praktisch kein nitrifiziertes Abwasser mehr in die innere Schlei eingeleitet wird. Auch durch die in Abschnitt 6 und 7 dargestellte Verminderung der Nährstofffrachten aus dem Einzugsgebiet gelangt weniger Nitrat in die Schlei, wodurch das Phosphor-Rücklösungspotential nicht verringert wird. Auf lange Sicht ist aber davon auszugehen, dass aufgrund der festgestellten negativen Phosphorbilanz, d.h. während des Sommers überwiegen die Austräge aus dem Sediment gegenüber den Einträgen, eine allmähliche Verbesserung der Nährstoffsituation in der inneren Schlei zu erwarten. Die in diesem Bericht dargestellten Auswertungen über einen Zeitraum von 20 Jahren lassen für die Phosphat-Sommerkonzentrationen einen leicht rückläufigen Trend erkennen.

Zur Abschätzung der Phosphorfreisetzung aus dem Sediment sollten im Rahmen des Schlei-Monitoringprogramms regelmäßig entsprechende Messungen erfolgen.

Aufgrund der dargestellten besonderen Verhältnisse in der Schlei ist davon auszugehen, dass das Ziel der Gewässerschutzpolitik des Landes, die Reduktion der Nährstofffrachten, für die Schlei nicht zu einer schnellen und wirksamen Verbesserung hinsichtlich des Eutrophierungsgrades führen wird.

## 10 Literaturverzeichnis

GOCKE, Klaus, RHEINHEIMER, Gerhard (1994): Eutrophierung der Schlei - Vergangenheit und Gegenwart. Bodden 1, 31-49.

GOCKE, Klaus, RHEINHEIMER, Gerhard (1991): Gerhard: Influence of Eutrophication on Bacteria in two Fjords of the Western Baltic, Int. Revue ges. Hydrobiol. 76, 371-385.

KÖNIG, Dietrich (1970): Landschaftlich-ökologische Fakten und Abwasserbelastung. In: „Chemische, mikrobiologische und planktologische Untersuchungen in der Schlei im Hinblick auf deren Abwasserbelastung“. Kieler Meeresforsch. 26, 111-119.

LANDESAMT FÜR WASSERHAUSHALT UND KÜSTEN SCHLESWIG-HOLSTEIN (1978): Die Schlei. Bericht über die Untersuchung des Zustands und der Benutzung von August 1974 bis Dezember 1977. - Bericht D 3. - Kiel.

LANDESAMT FÜR WASSERHAUSHALT UND KÜSTEN SCHLESWIG-HOLSTEIN (1986a): Restaurierung der Schlei - Bericht über ein Forschungsvorhaben, durchgeführt von Prof. Dr. Wilhelm Rippl, Fachgebiet Limnologie der Technischen Universität Berlin: *Entwicklung von Verfahren zur Steuerung von Trophieverhältnissen und Nahrungsketten in einem Gewässer unter besonderer Berücksichtigung der Einträge aus dem Einzugsgebiet*. - Bericht D 5. - Kiel.

LANDESAMT FÜR WASSERHAUSHALT UND KÜSTEN SCHLESWIG-HOLSTEIN (1986b): Untersuchungen zum Nährstoffeintrag in die Schlei. - Bericht D 6. - Kiel.

LENZ, Jürgen (1970): Planktologie. In: „Chemische, mikrobiologische und planktologische Untersuchungen in der Schlei im Hinblick auf deren Abwasserbelastung“. Kieler Meeresforsch. 26 180-213.

NELLEN, Walter (1970): Hydrographie und Chemie. In: „Chemische, mikrobiologische und planktologische Untersuchungen in der Schlei im Hinblick auf deren Abwasserbelastung“. Kieler Meeresforsch. 26, 110-114.

REMANE, A. (1937): Die übrige Tierwelt. In: *Neubaur, R. und Jaeckel, S. „Die Schlei und ihre Fischereiwirtschaft“, Teil III*. Schr. Nat. Ver. f. Schlesw.-Holst. 22, 209-224.

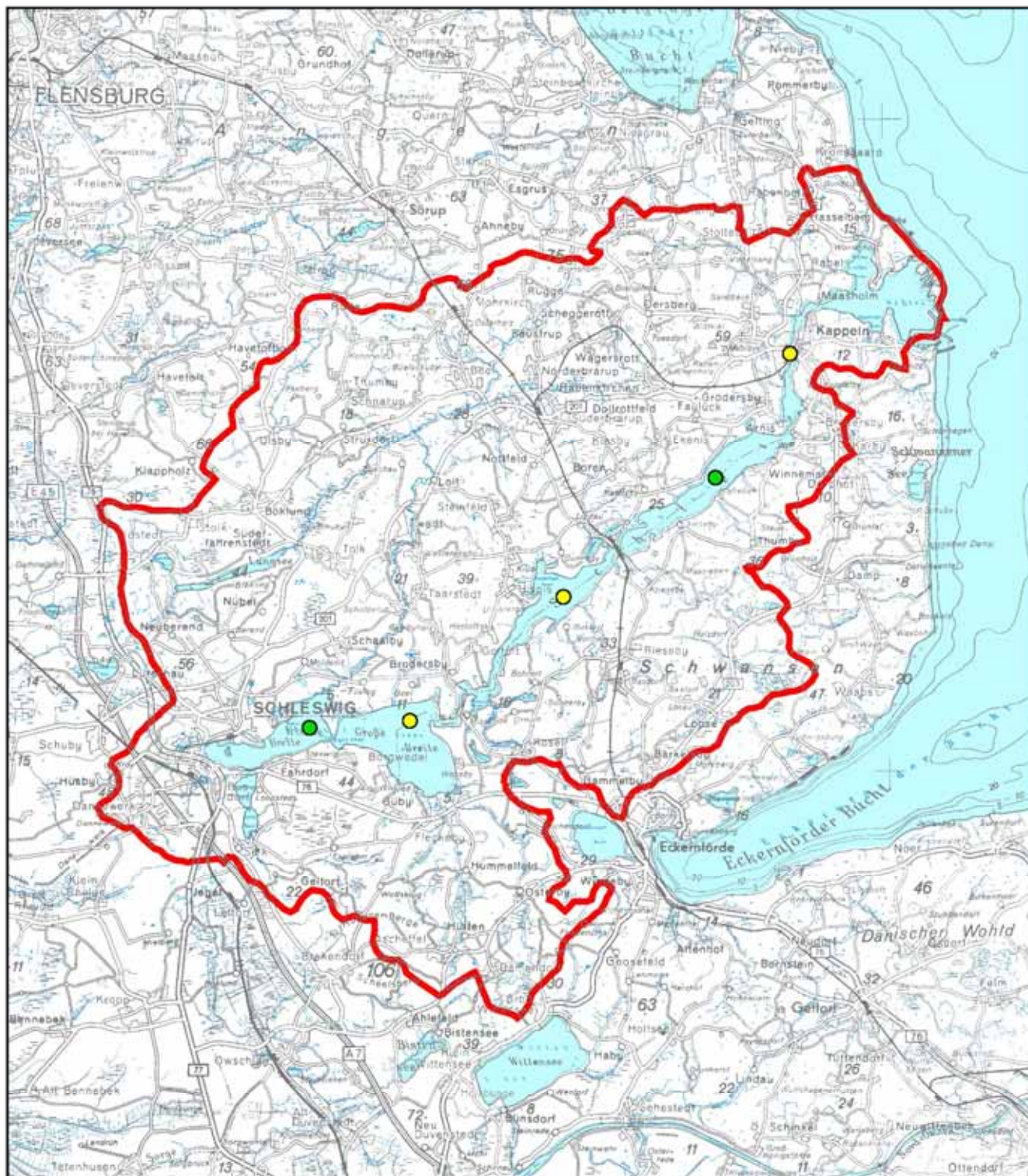
## **11 *Abbildungsverzeichnis***

- Abb. 1 Messstationen in der Schlei
- Abb. 2 Vergleich der mittleren Nitrat-Winterkonzentrationen in der inneren Schlei und in der Ostsee (Zeitraum 1993 – 1999)
- Abb. 3 Vergleich der mittleren Phosphat-Sommerkonzentrationen in der inneren Schlei und in der Ostsee (Zeitraum 1993 – 1999)
- Abb. 4 Ganglinien der Nitrat- und Phosphatkonzentrationen in der inneren Schlei 1998 und 1999
- Abb. 5 Mediane der Salzgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 5a Vergleich der Ganglinien des Salzgehaltes an 5 Schlei-Stationen von 1989 – 1999
- Abb. 6 Mediane der Sichttiefen an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 7 Mediane der pH-Werte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 8 Schlei, Kleine Breite: Ganglinien des pH-Wertes und der Sichttiefe von 1980 - 1997
- Abb. 9 Mediane der Ammoniumgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 9a Schlei, Kleine Breite: Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1997
- Abb. 9b Schlei, Große Breite: Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1999
- Abb. 9c Schlei, Lindholm: Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1999
- Abb. 9d Schlei, Bienebek: Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1997
- Abb. 9e Schlei, Kappeln (1 m): Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1999
- Abb. 10 Mediane der Nitratgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 10a Mediane der Nitratgehalte im Sommer (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 10b Schlei, Kleine Breite: Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1997
- Abb. 10c Schlei, Große Breite: Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1999
- Abb. 10d Schlei, Lindholm: Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1999
- Abb. 10e Schlei, Bienebek: Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1997
- Abb. 10f Schlei, Kappeln: Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1999
- Abb. 11 Mediane der Gesamtstickstoffgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 11a Vergleich der Ganglinien für Gesamtstickstoff an 5 Schlei-Stationen von 1989 –1999

- Abb. 11b Schlei, Kleine Breite: Ganglinien für Gesamtstickstoff und –phosphor von 1980 bis 1997
- Abb. 11c Schlei, Große Breite: Ganglinien für Gesamtstickstoff und –phosphor von 1980 bis 1999
- Abb. 11d Schlei, Lindholm: Ganglinien für Gesamtstickstoff und –phosphor von 1980 bis 1999
- Abb. 11e Schlei, Bienebek: Ganglinien für Gesamtstickstoff und –phosphor von 1980 bis 1997
- Abb. 11f Schlei, Kappeln (1 m): Ganglinien für Gesamtstickstoff und –phosphor von 1980 bis 1999
- Abb. 12a Schlei, Kleine Breite: Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1997
- Abb. 12b Schlei, Große Breite: Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1999
- Abb. 12c Schlei, Lindholm: Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1999
- Abb. 12d Schlei, Bienebek: Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1997
- Abb. 12e Schlei, Kappeln (1 m): Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1999
- Abb. 13 Mediane der ortho-Phosphatgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 14 Mediane der Gesamtphosphorgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 –1999)
- Abb. 14a Vergleich der Ganglinien für Gesamtphosphor an 5 Schlei-Stationen von 1989 –1999
- Abb. 15a Schlei, Kleine Breite: Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1997
- Abb. 15b Schlei, Große Breite: Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999
- Abb. 15c Schlei, Lindholm: Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999
- Abb. 15d Schlei, Bienebek: Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1997
- Abb. 15e Schlei, Kappeln (1 m): Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999
- Abb. 16a Schlei, Kleine Breite: Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1997
- Abb. 16b Schlei, Große Breite: Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999

- Abb. 16c Schlei, Lindholm: Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999
- Abb. 16d Schlei, Bienebek: Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1997
- Abb. 16e Schlei, Kappeln (1 m): Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999
- Abb. 17a Füsinger Au: Jährliche Abflußsummen und Stickstoffeinträge von 1990 bis 1999
- Abb. 17b Füsinger Au: Jährliche Abflußsummen und Phosphoreinträge von 1990 bis 1999
- Abb. 18a Koseler Au: Jährliche Abflußsummen und Stickstoffeinträge von 1990 bis 1999
- Abb. 18b Koseler Au: Jährliche Abflußsummen und Phosphoreinträge von 1990 bis 1999
- Abb. 19a Stickstofffracht der Füsinger Au in die innere Schlei 1987/1988
- Abb. 19b Phosphorfracht der Füsinger Au in die innere Schlei 1987/1988
- Abb. 20 Kläranlagen im Einzugsgebiet der Schlei

Abb. 1 Messstationen in der Schlei



Einzugsgebiet der Schlei
 
● Messstation seit 1980
 

● Messstation 1980 - 1997

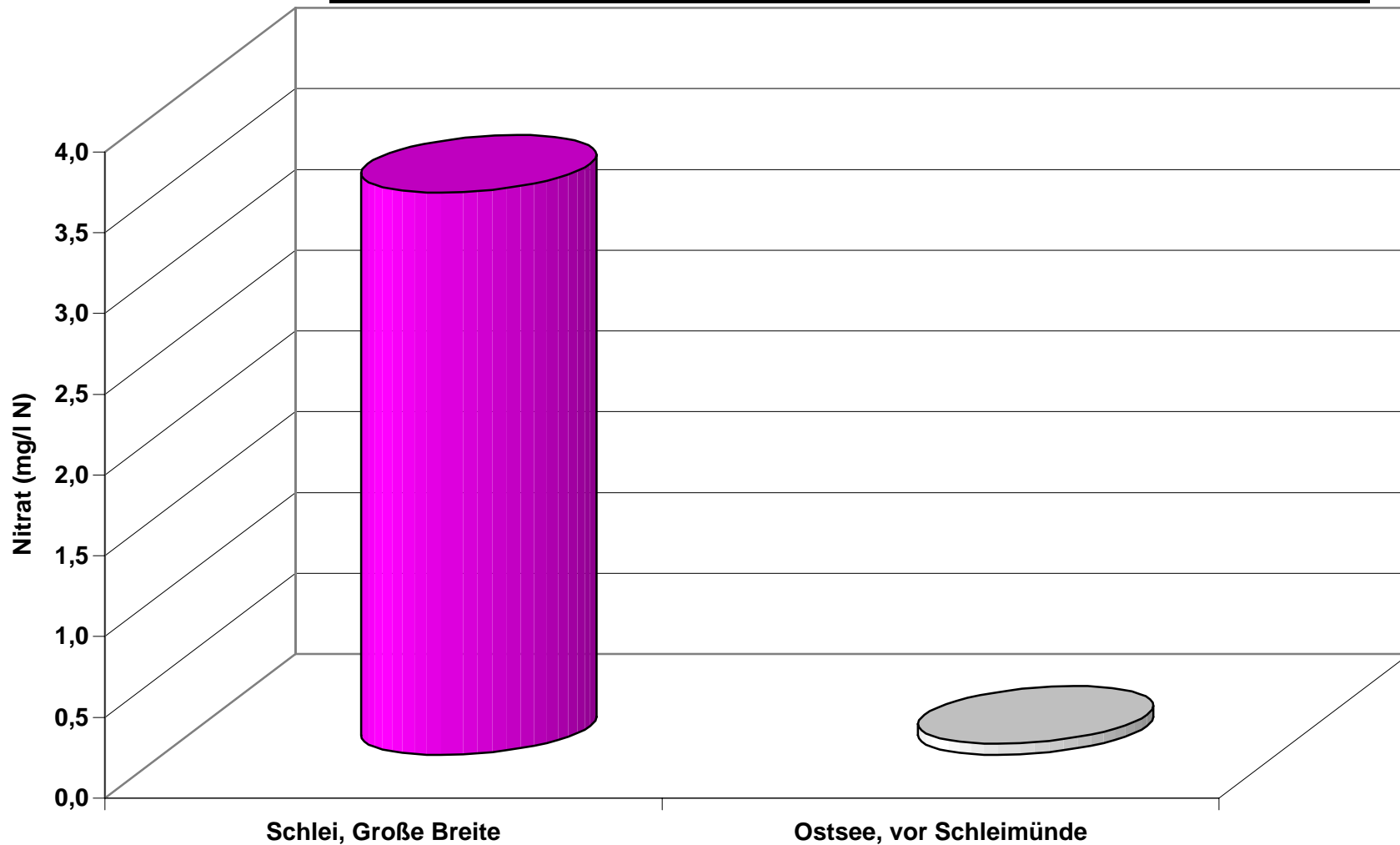


Maßstab: 1 : 250.000



Landesamt für  
 Natur und Umwelt  
 des Landes  
 Schleswig-Holstein

**Abb. 2: Vergleich der mittleren Nitrat-Winterkonzentrationen in der inneren Schlei und in der Ostsee (Zeitraum: 1993 - 1999)**



**Abb. 3: Vergleich der mittleren Phosphat-Sommerkonzentrationen in der inneren Schlei und in der Ostsee (Zeitraum: 1993 - 1999)**

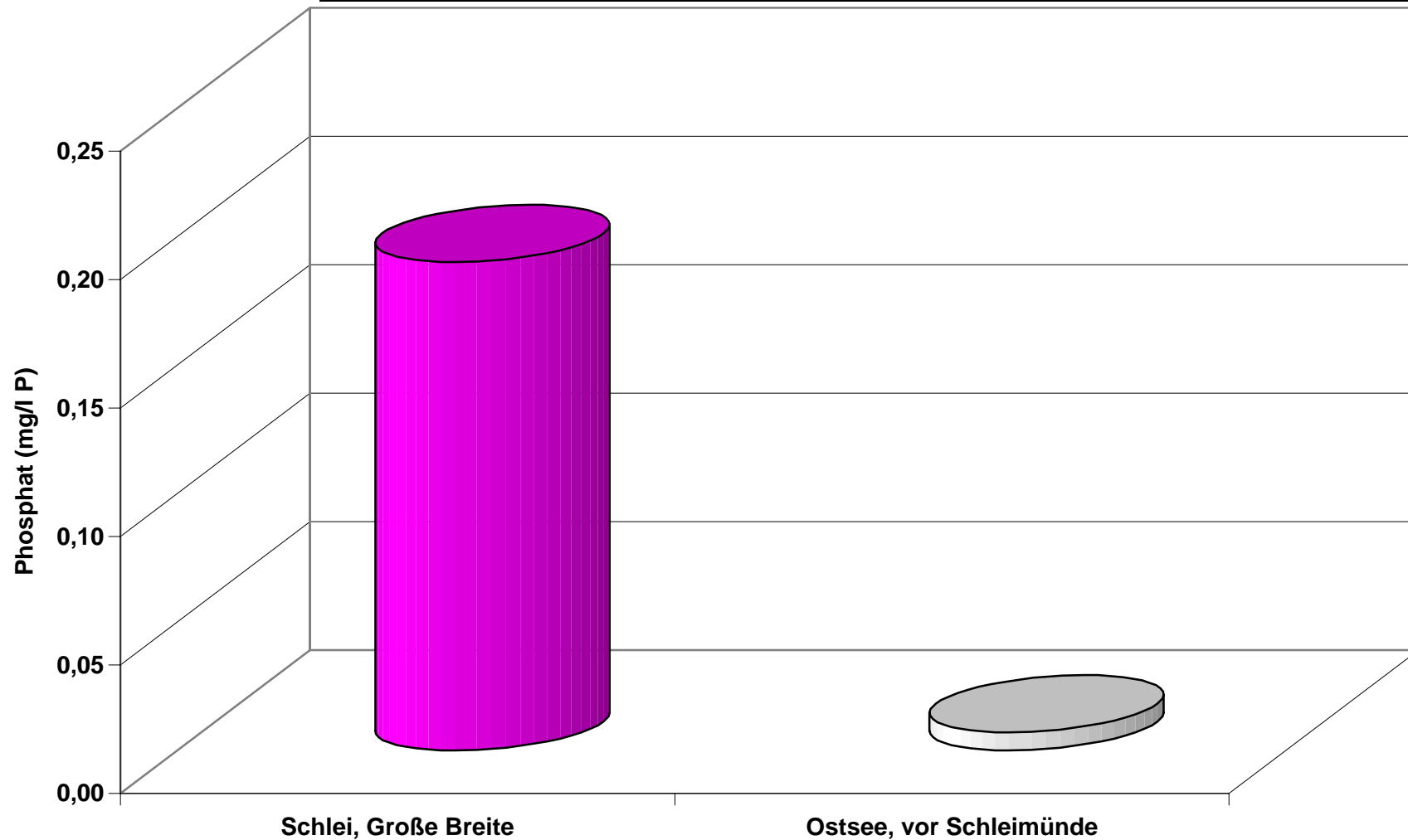
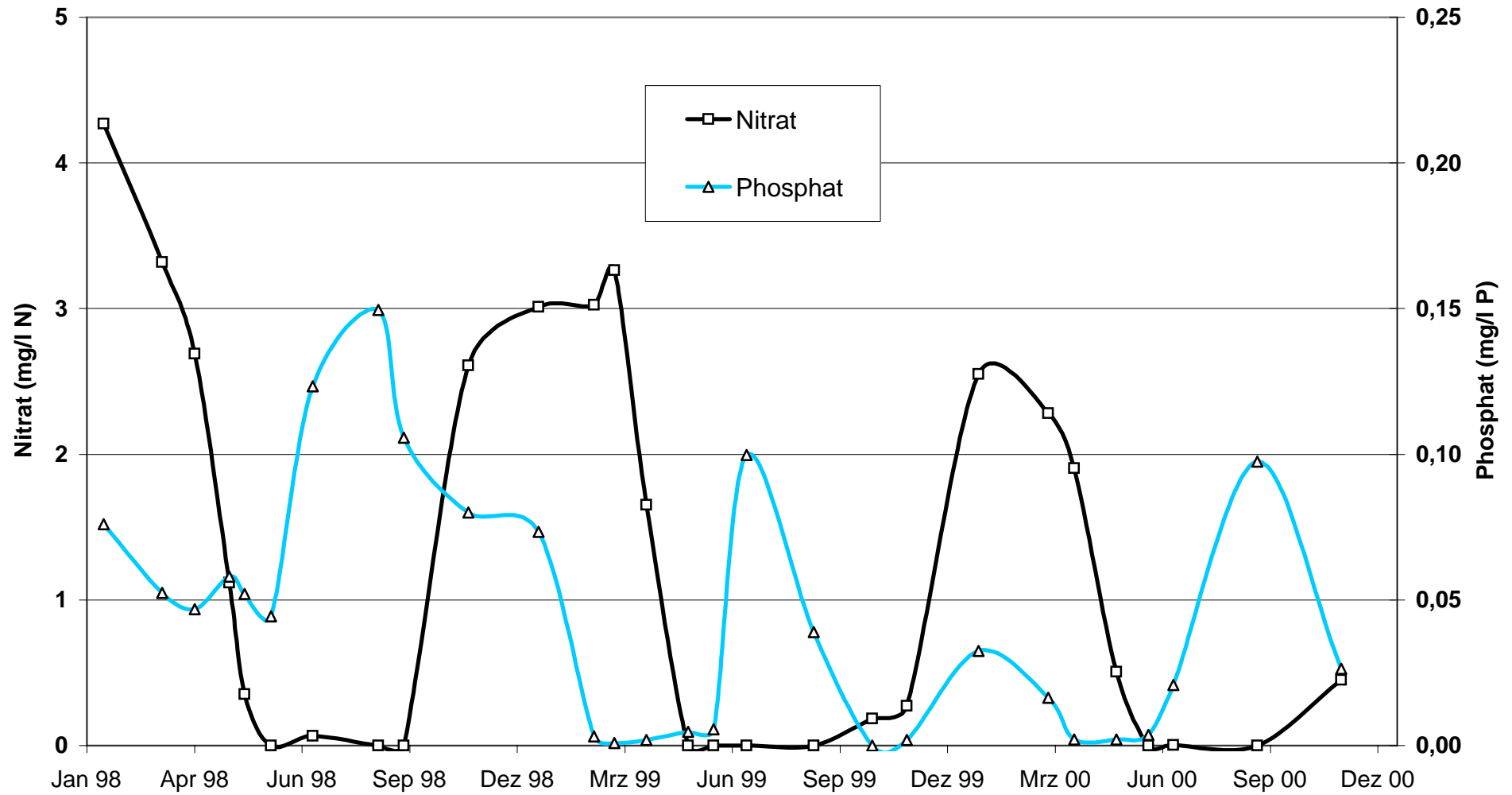


Abb. 4: Ganglinien der Nitrat- und Phosphatkonzentrationen in der inneren Schlei 1998 und 1999



**Abb. 5: Mediane der Salzgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)**

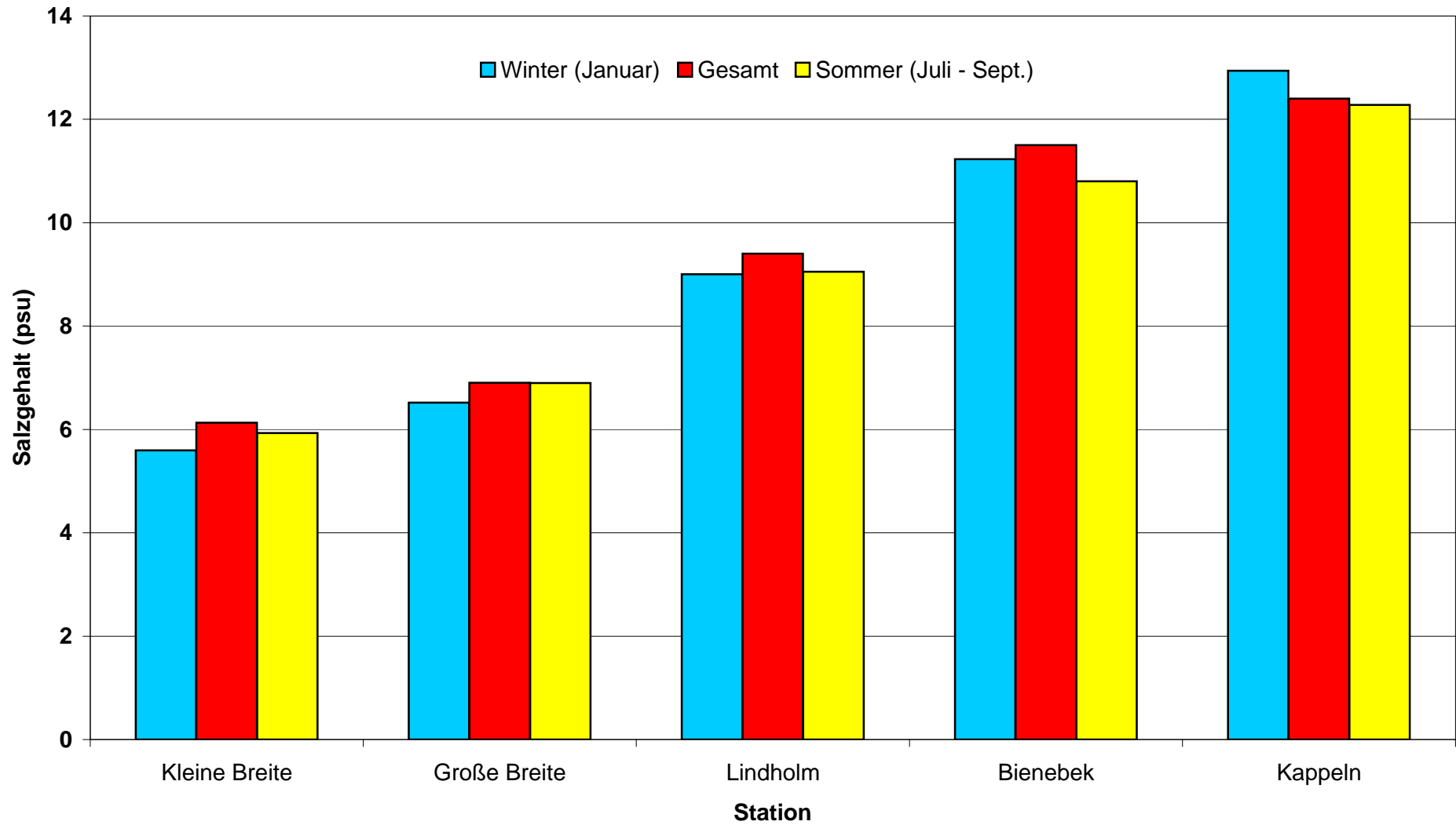
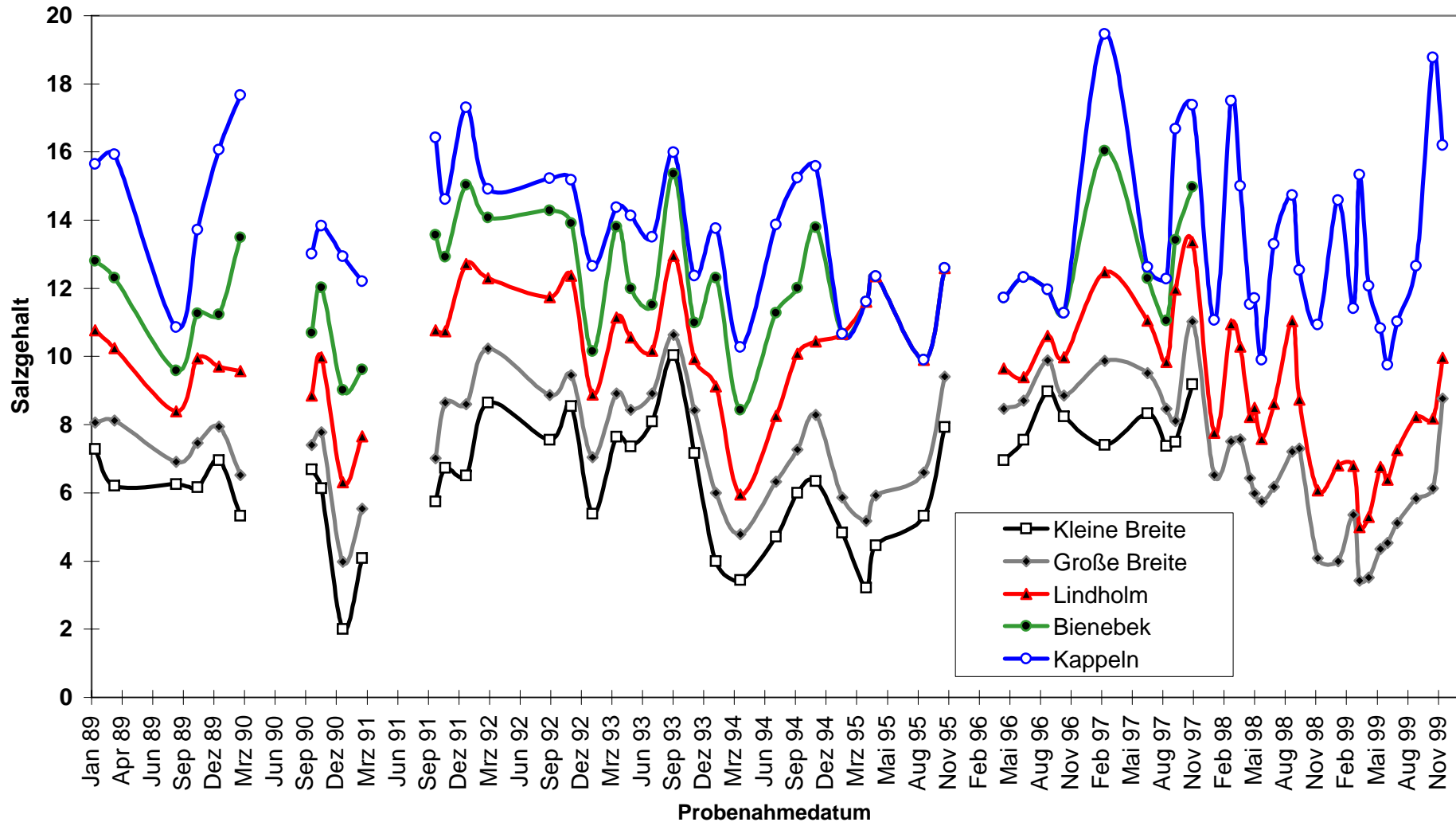
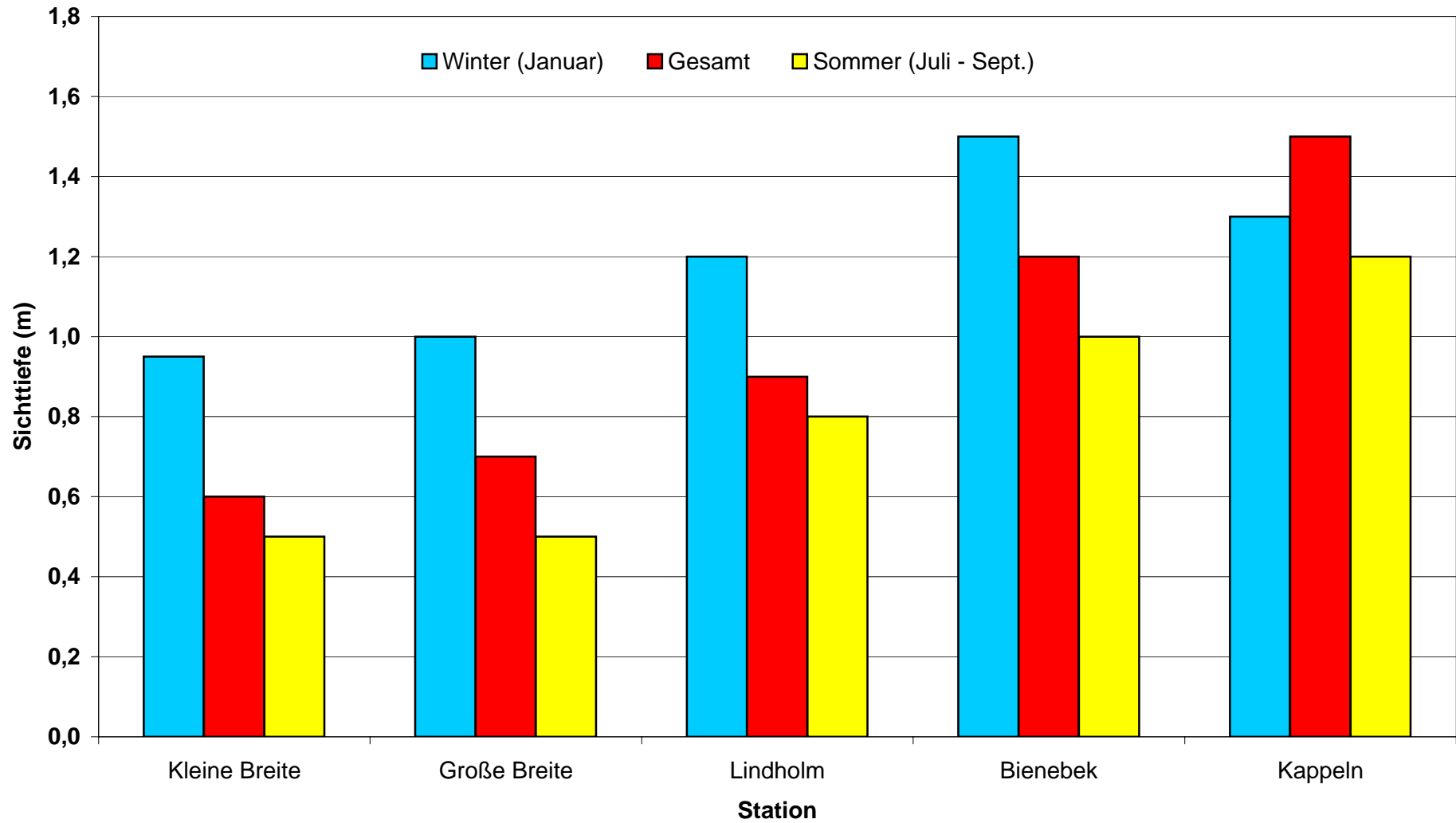


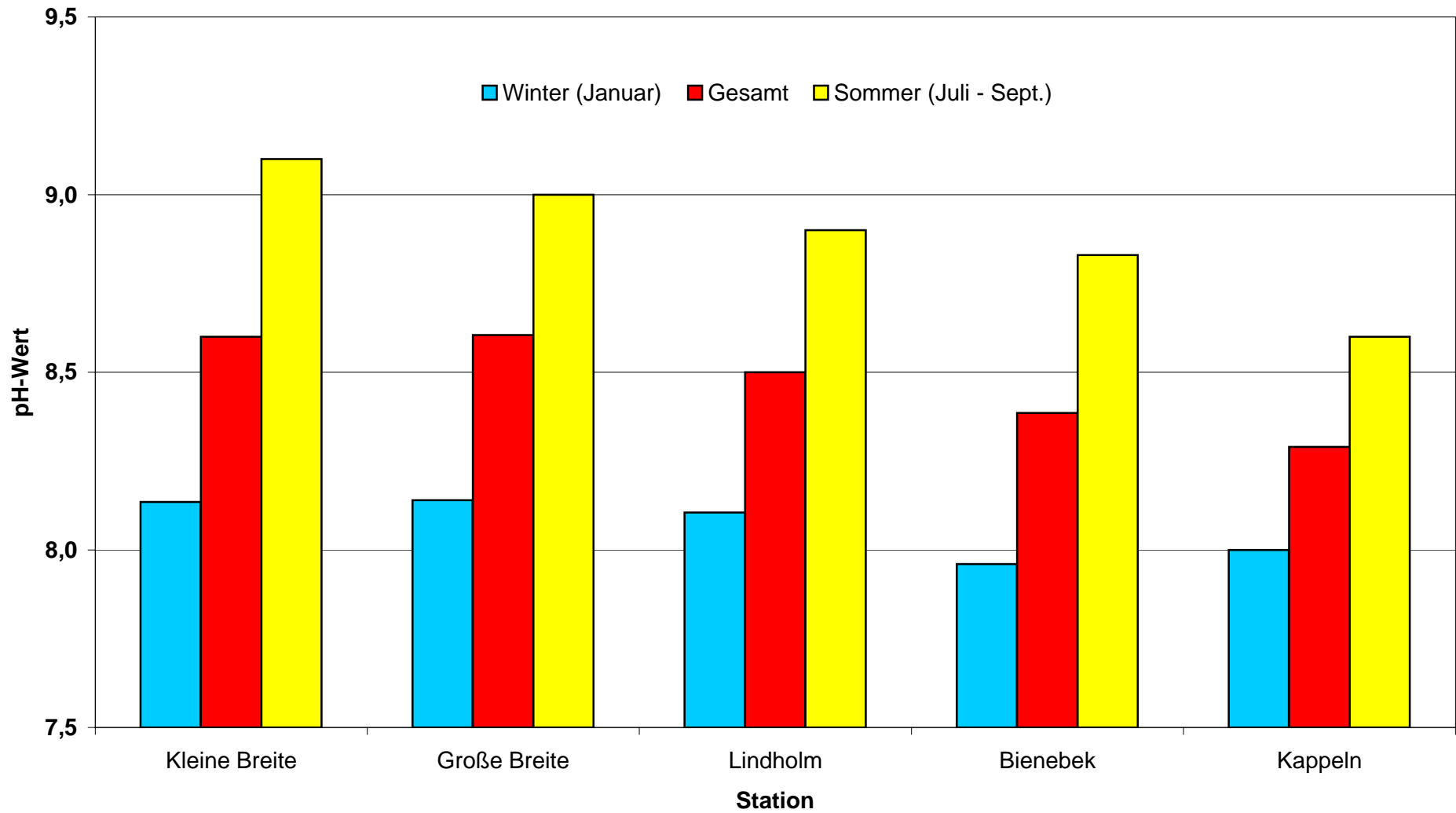
Abb. 5a: Vergleich der Ganglinien des Salzgehalts an fünf Schlei-Stationen von 1989 bis 1999



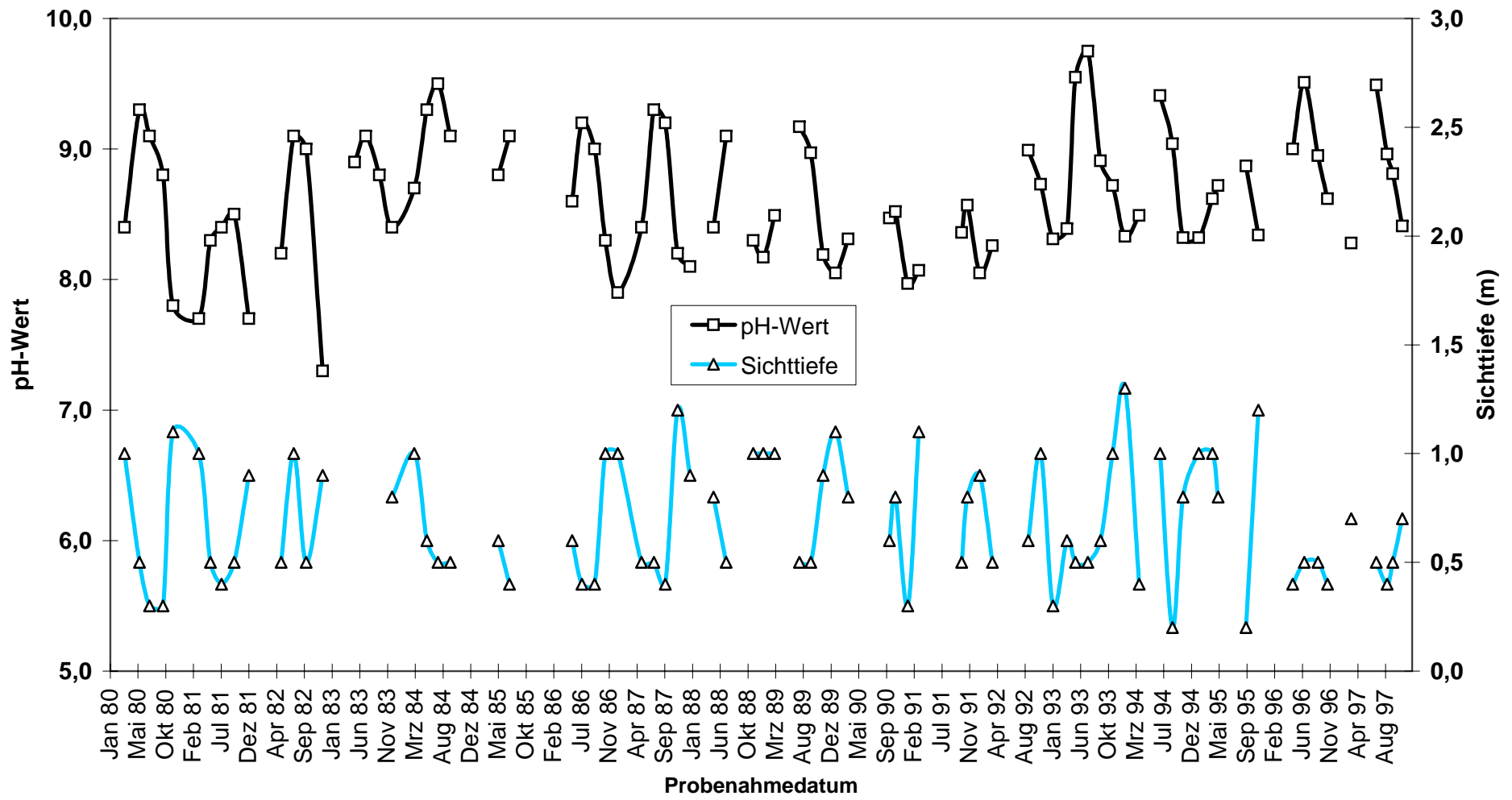
**Abb. 6: Mediane der Sichttiefen an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)**



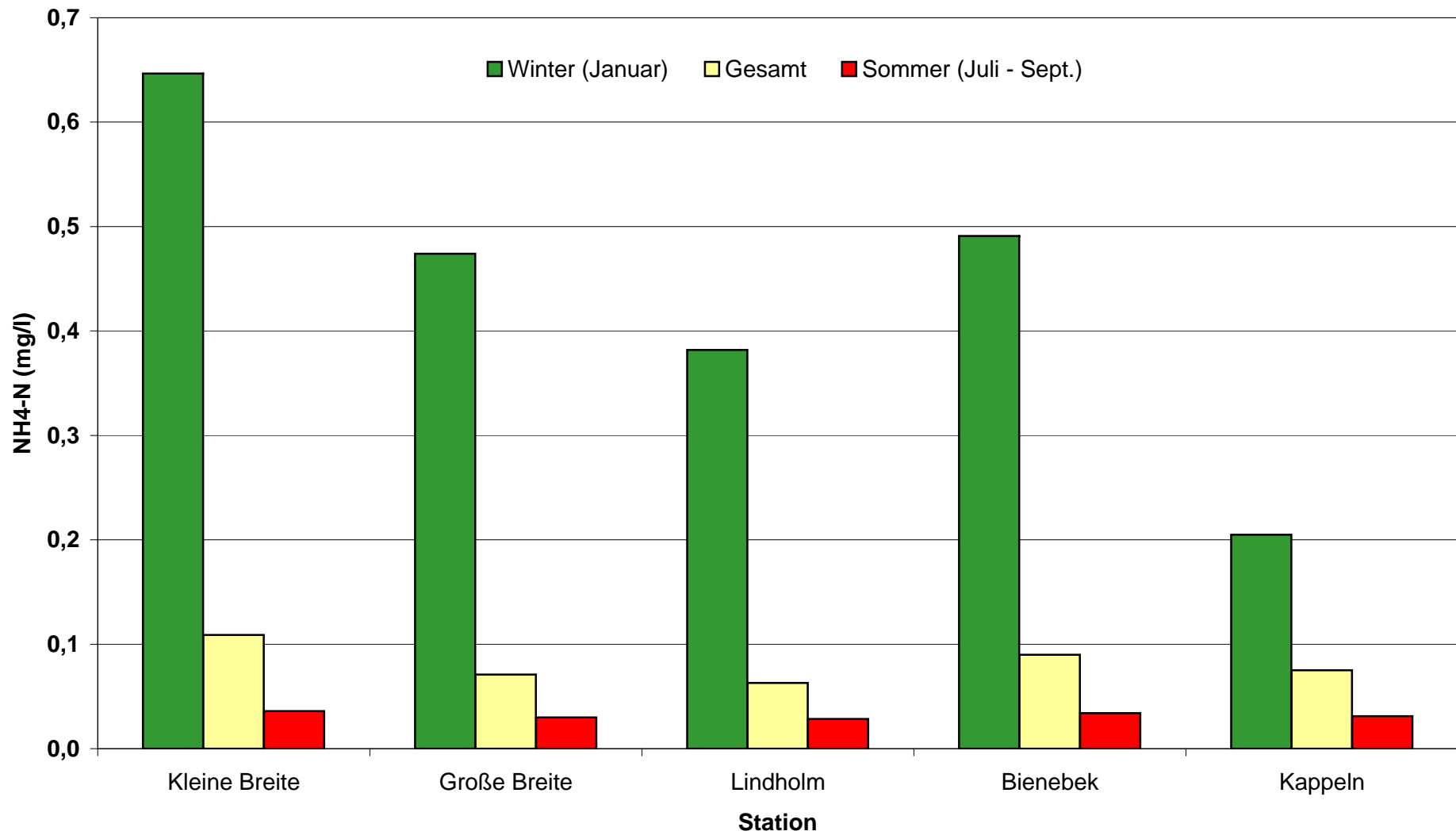
**Abb. 7: Mediane der pH-Werte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)**



**Abb. 8: Schlei, Kleine Breite: Ganglinien des pH-Wertes und der Sichttiefe von 1980 bis 1997**



**Abb. 9: Mediane der Ammoniumgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)**



**Abb. 9a: Schlei - Kleine Breite, Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1997**

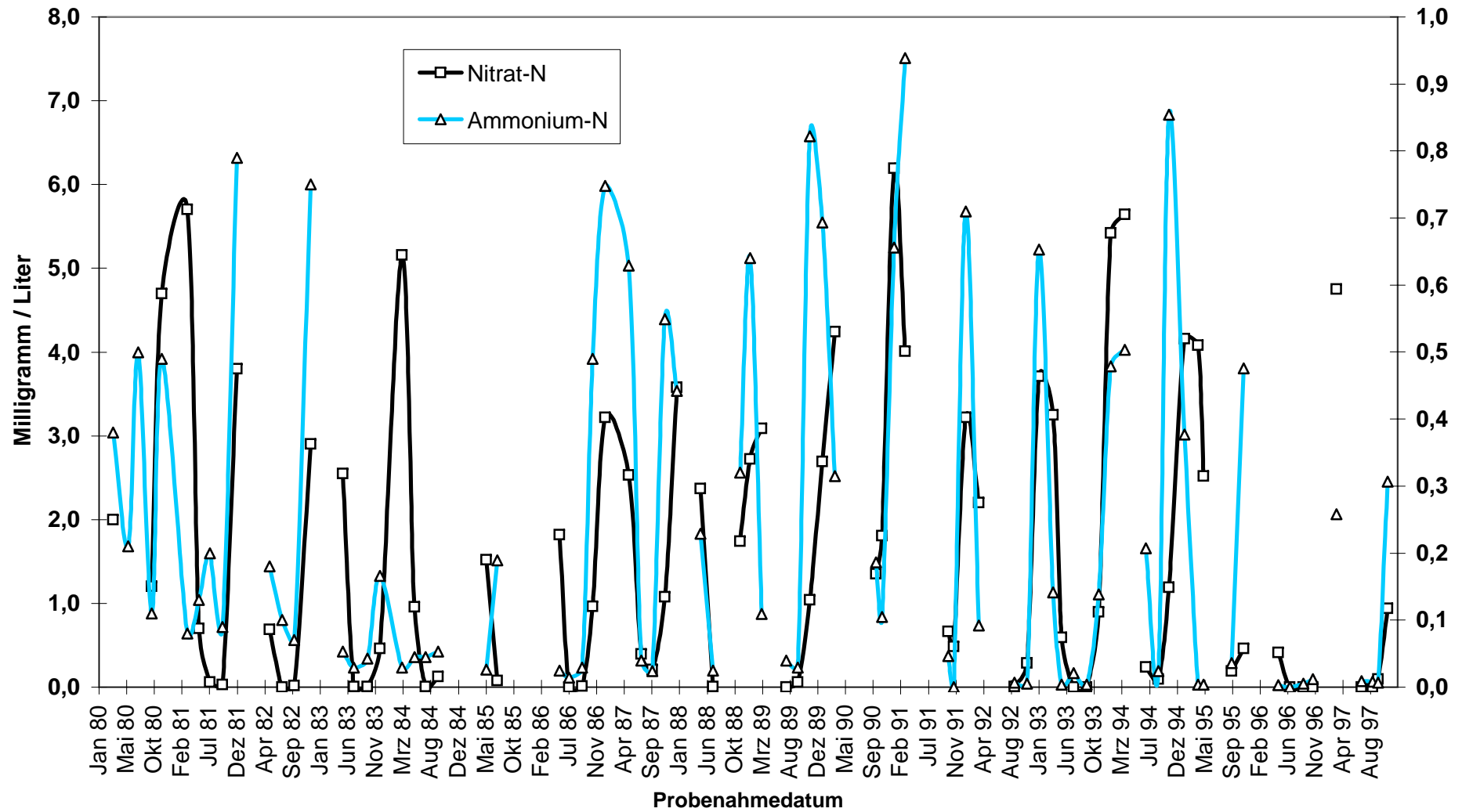


Abb. 9b: Schlei - Große Breite, Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1999

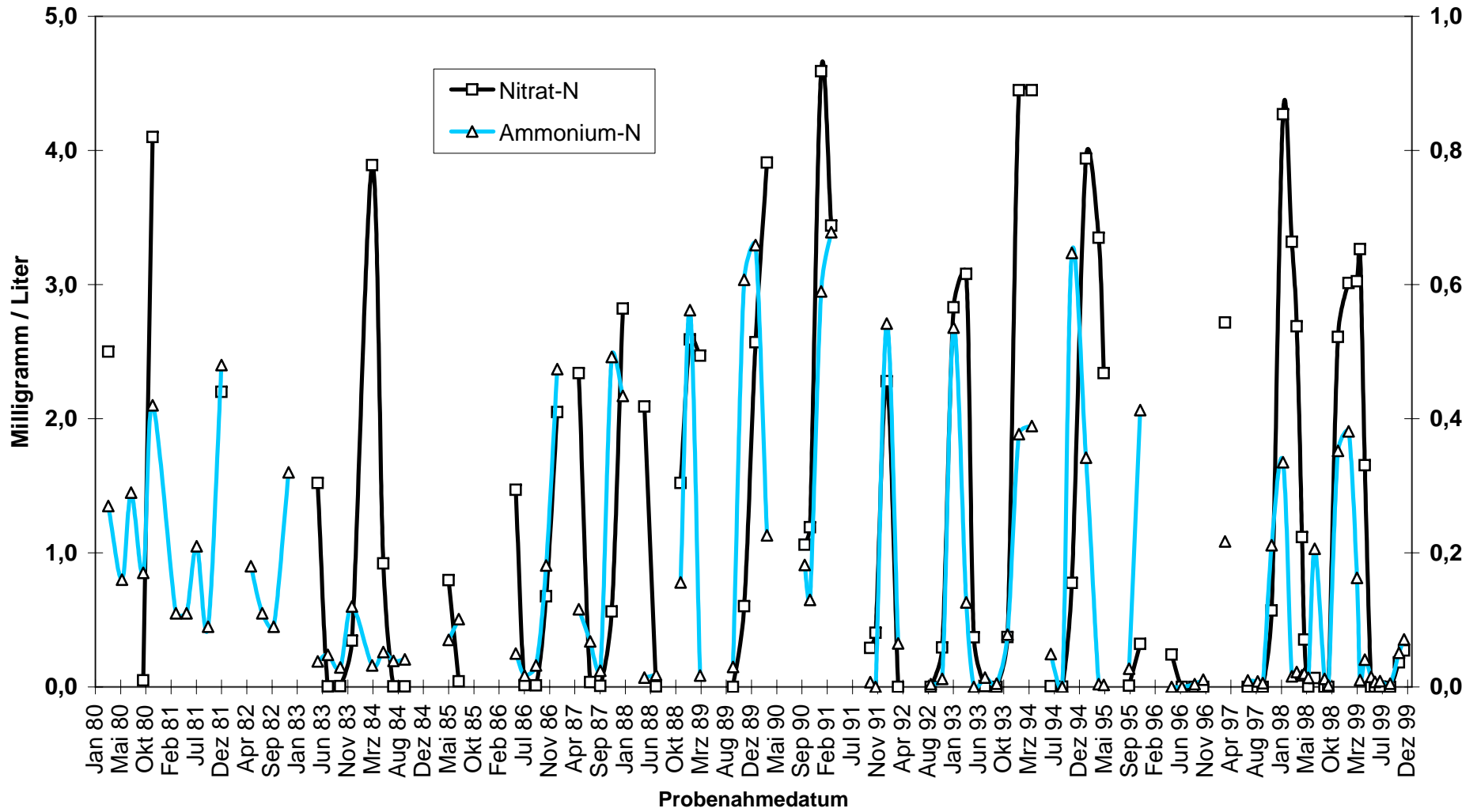
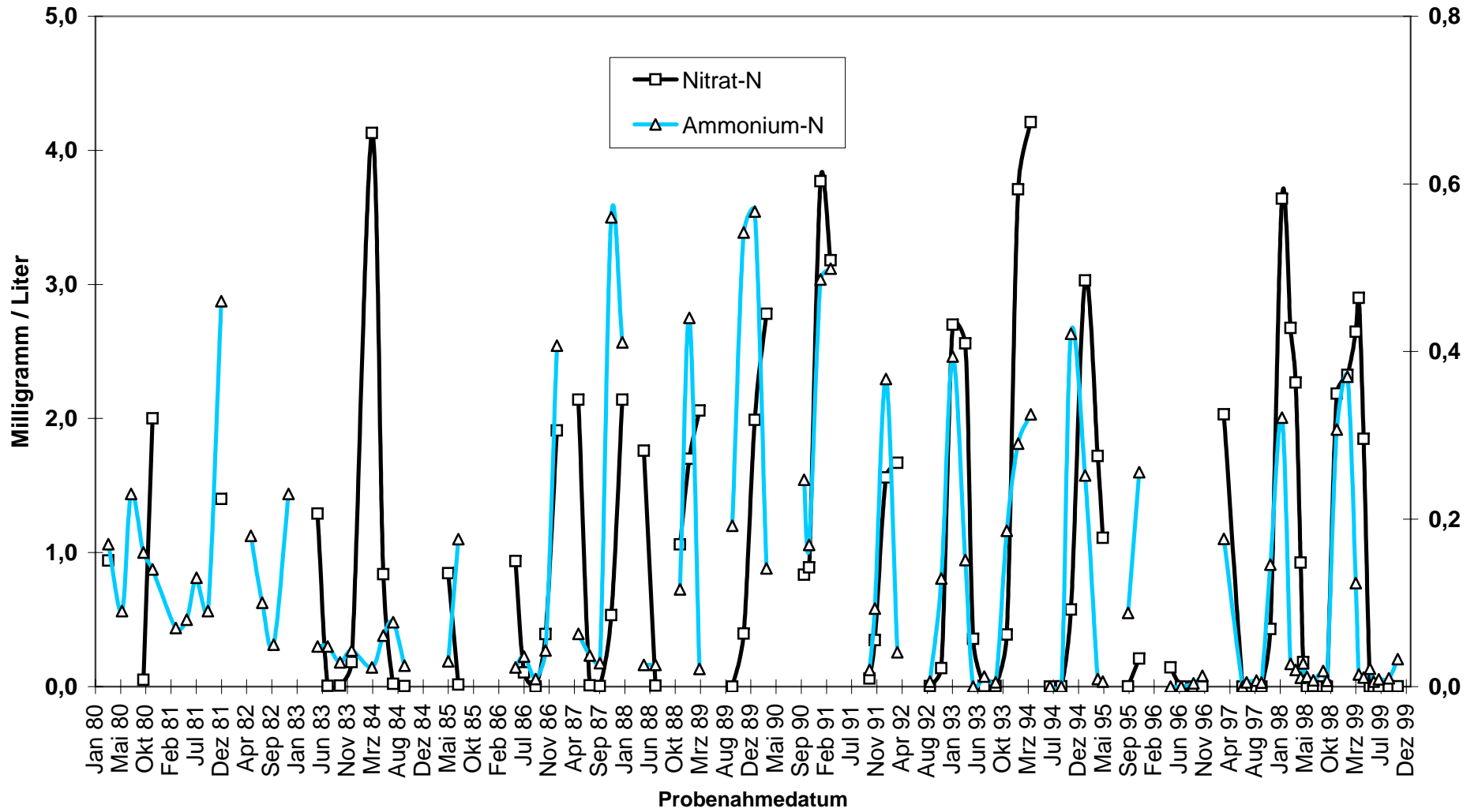
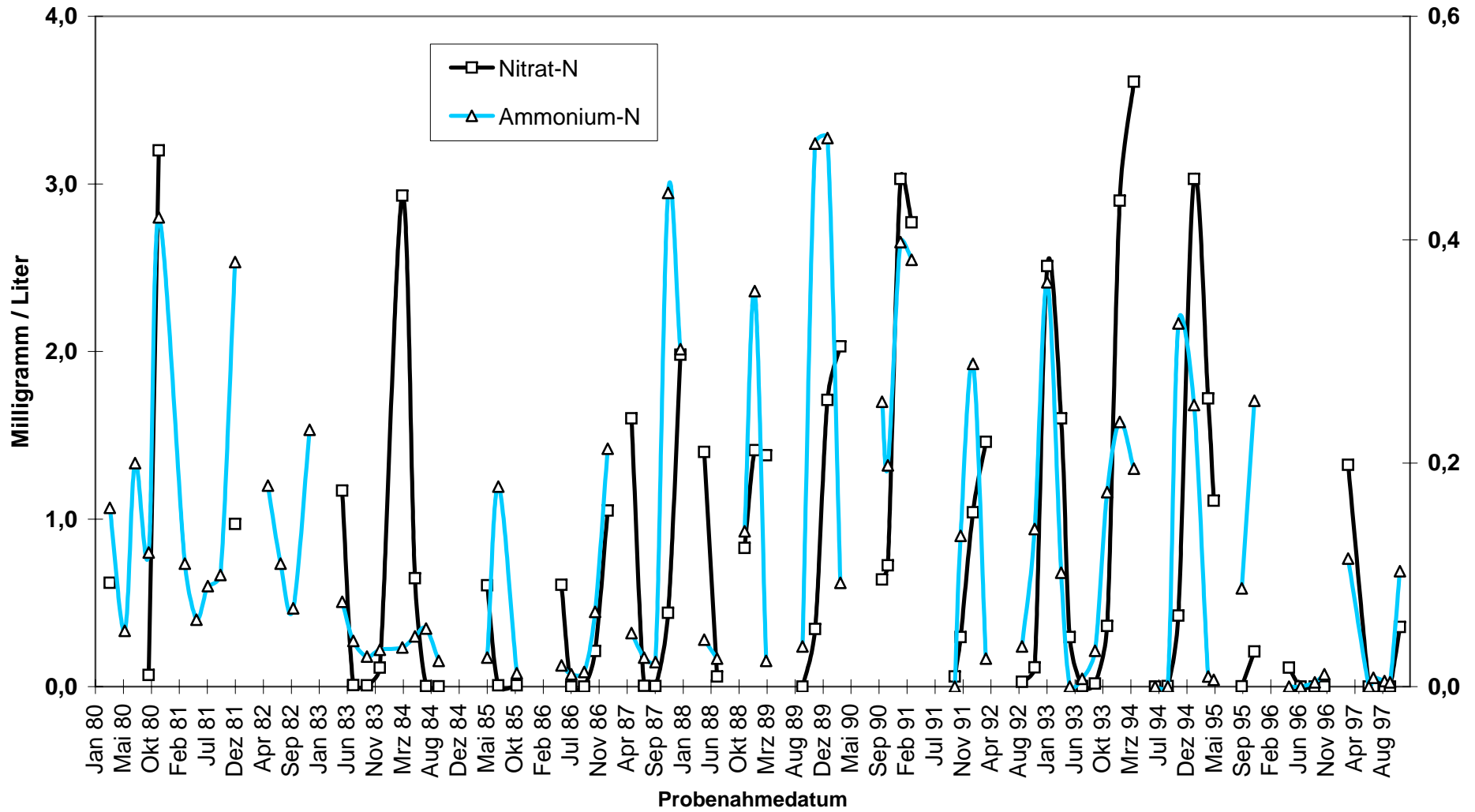


Abb. 9c: Schlei - Lindholm, Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1999



**Abb. 9d: Schlei - Bienebek, Ganglinien für Ammonium- und Nitratstickstoff von 1980 bis 1997**



**Abb. 9e: Schlei - Kappeln, Ganglinien für Nitrat- und Ammoniumstickstoff von 1980 bis 1999**

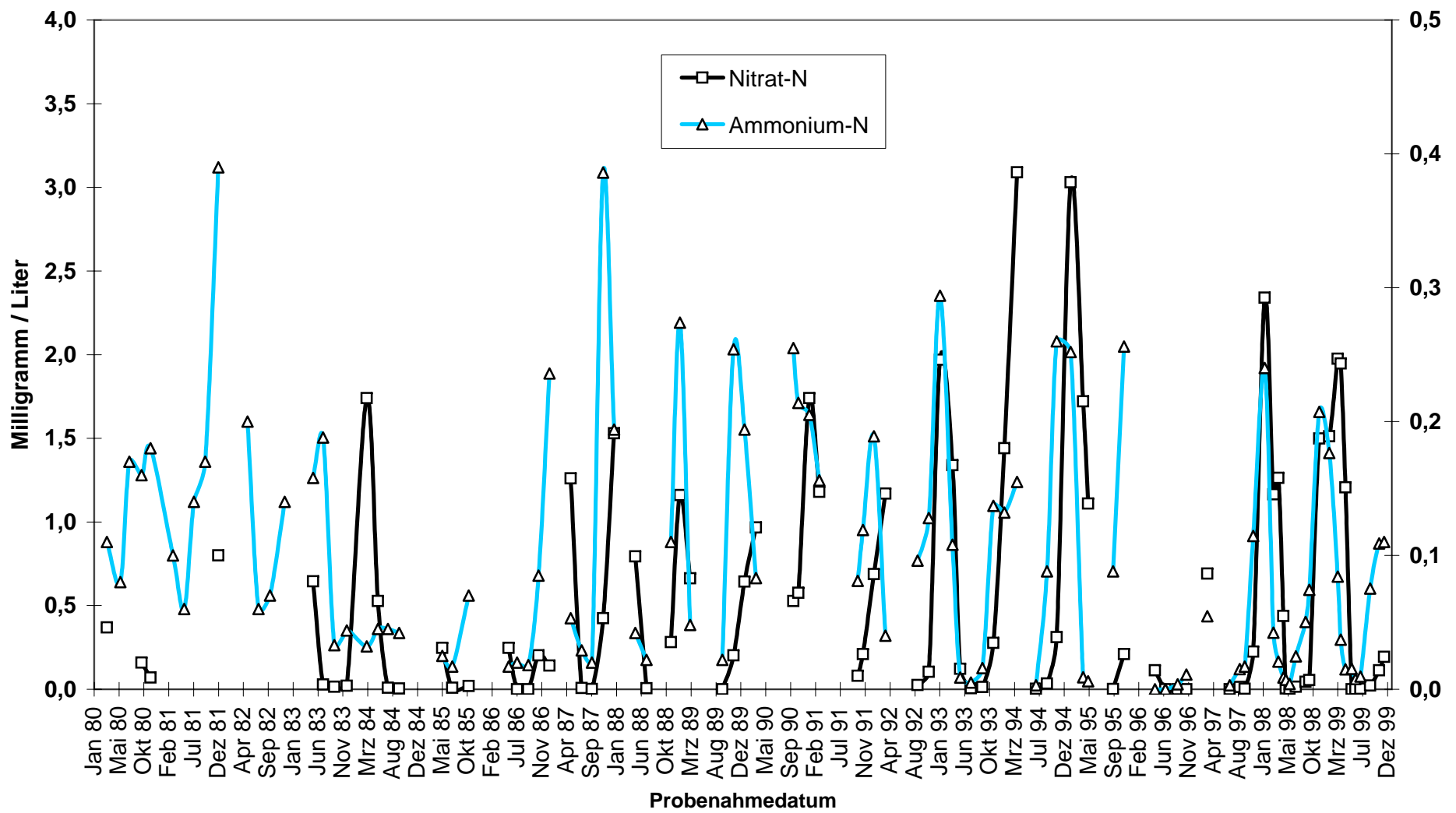


Abb. 10: Mediane der Nitratgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)

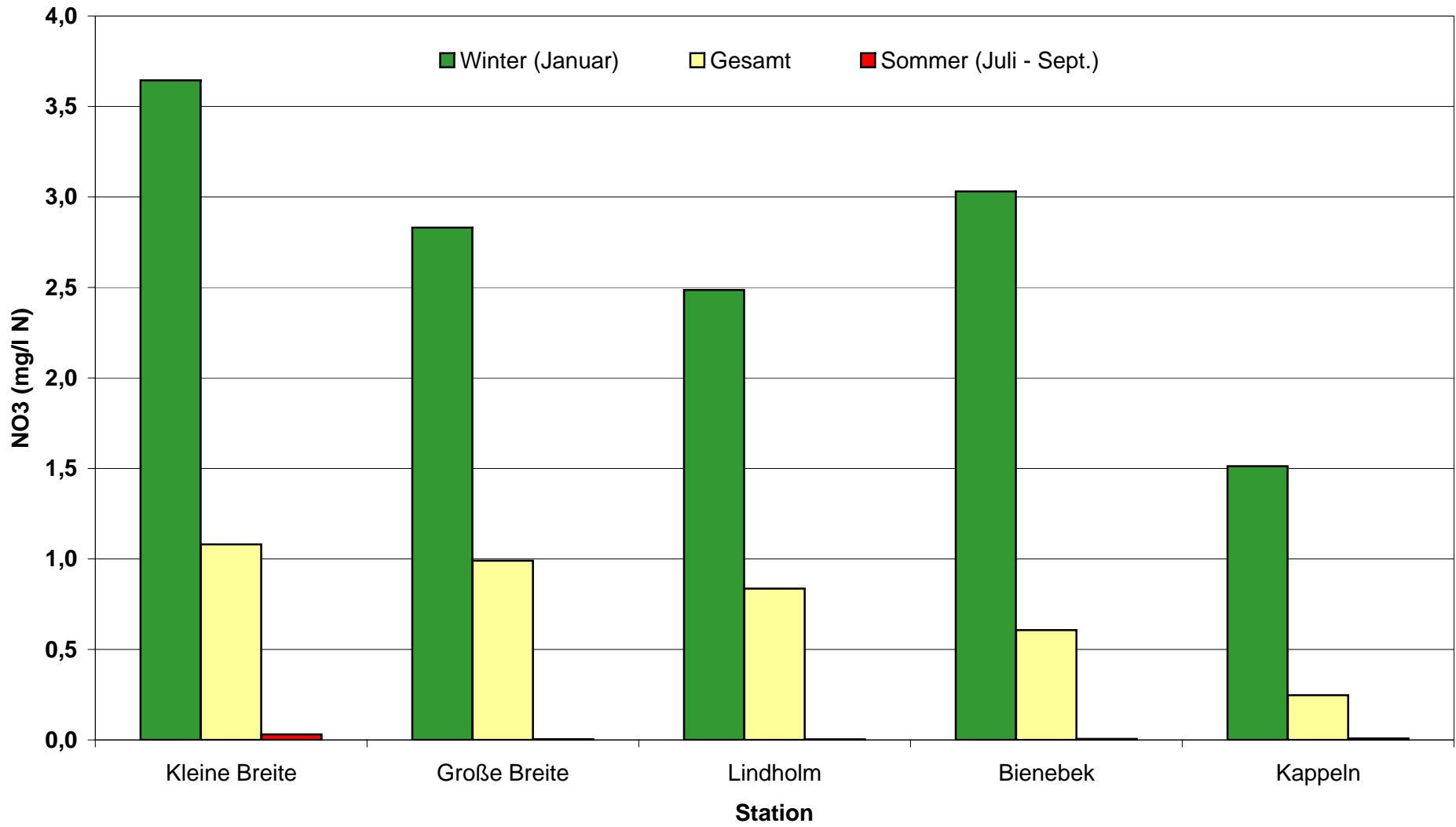
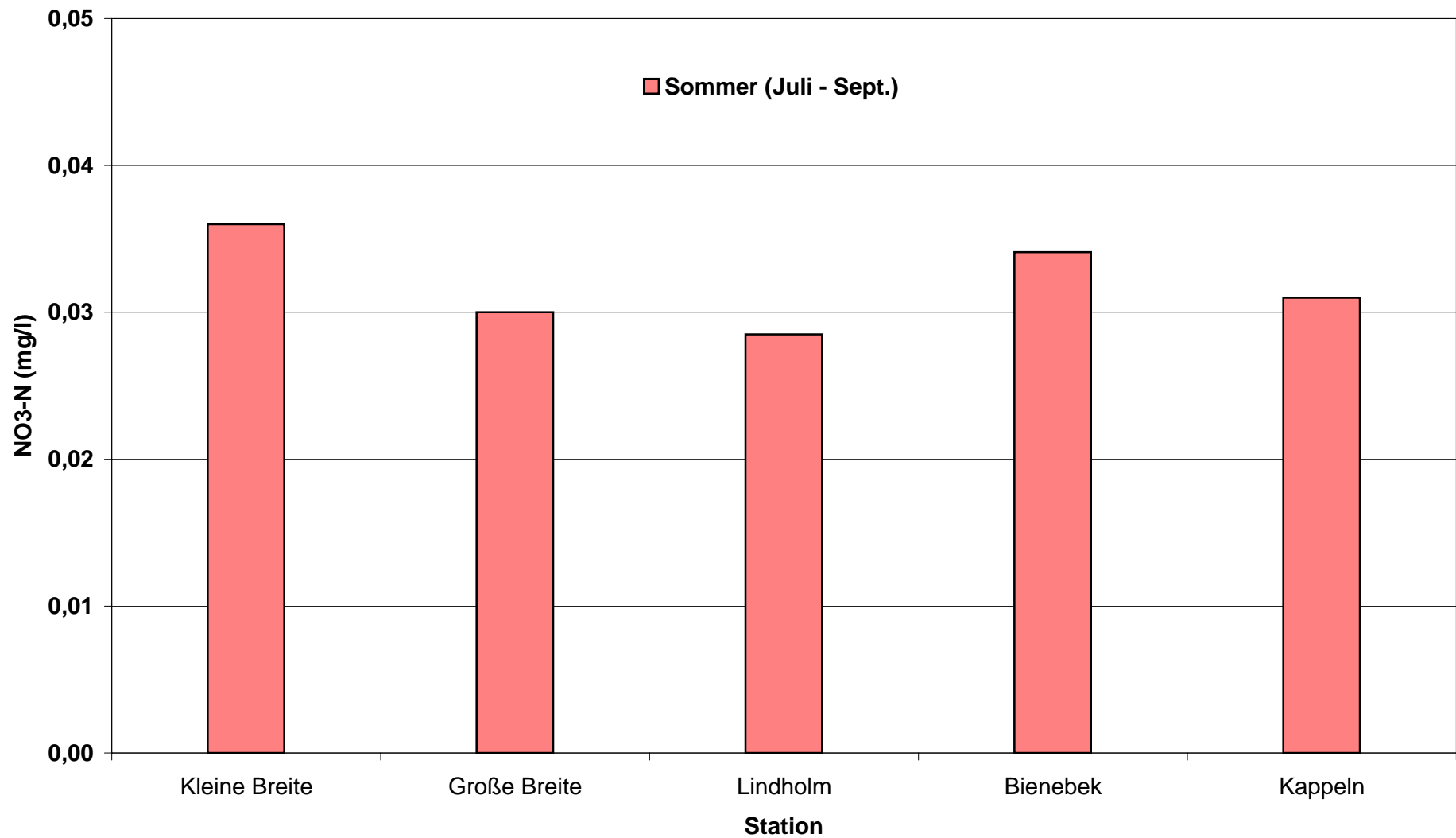


Abb. 10a: Mediane Nitratgehalte im Sommer (Zeitraum 1980 - 1999)



**Abb.10b: Schlei - Kleine Breite, Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1997**

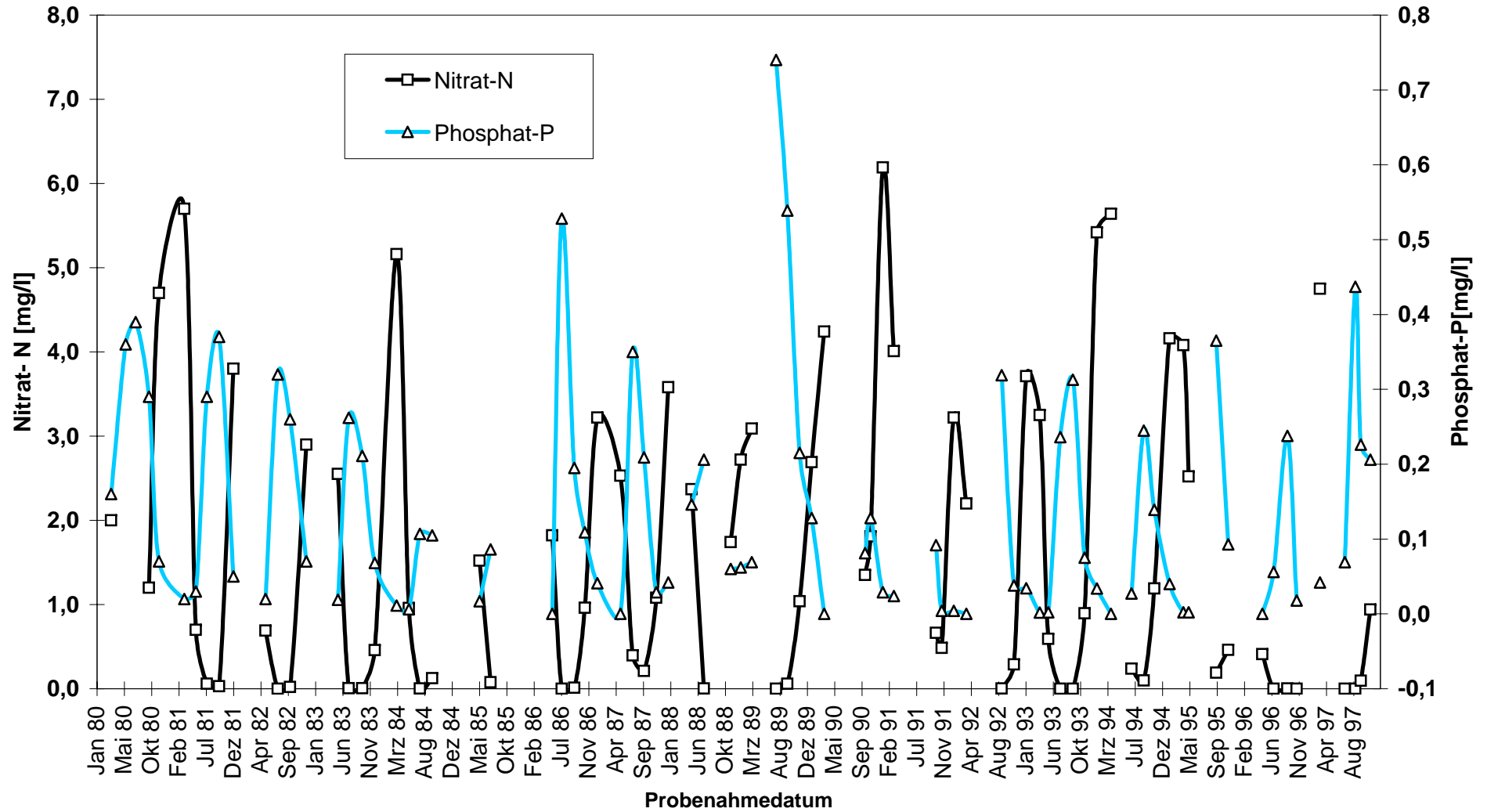


Abb. 10c: Schlei - Große Breite, Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1999

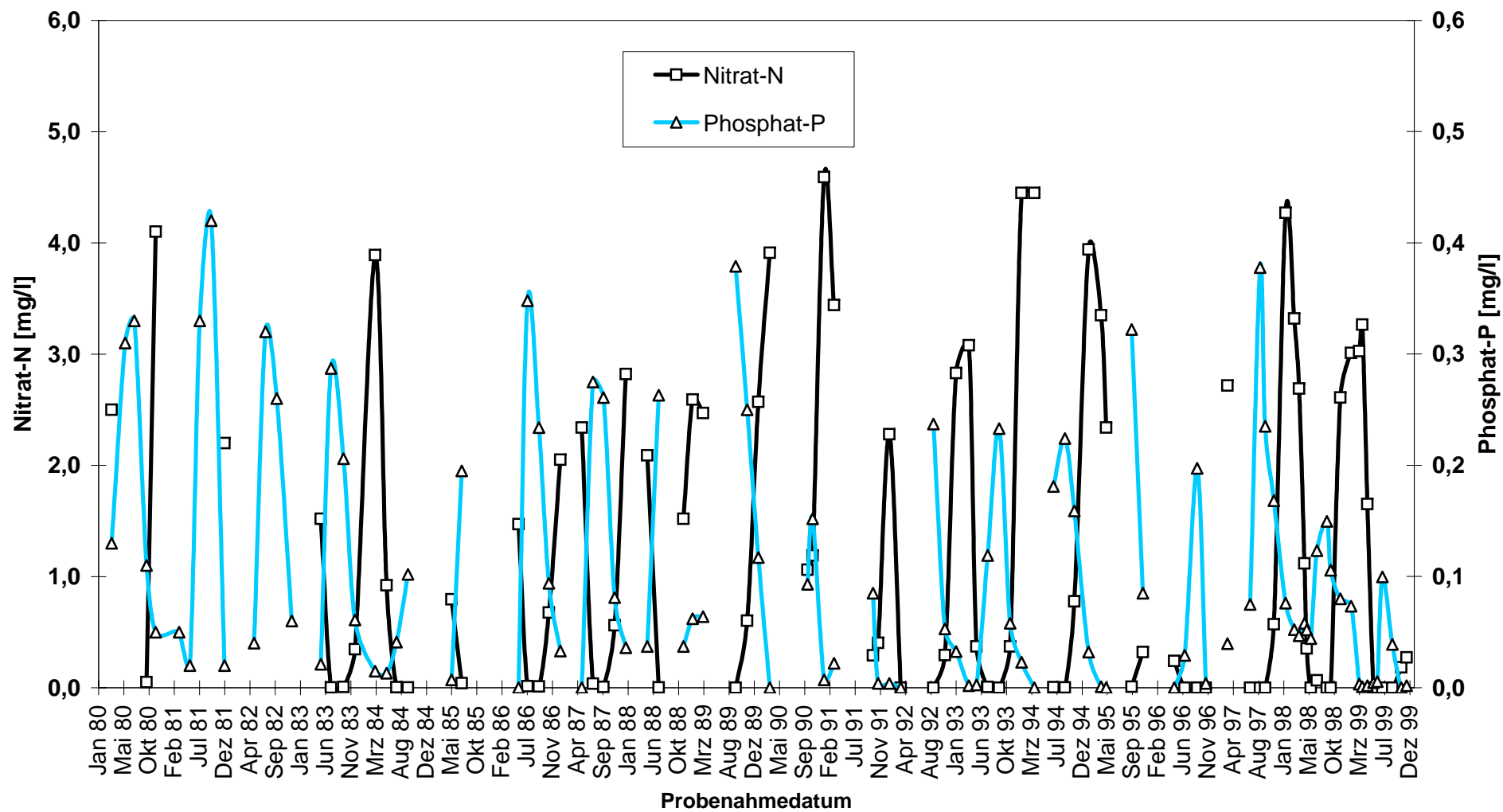


Abb. 10d: Schlei - Lindholm, Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1999

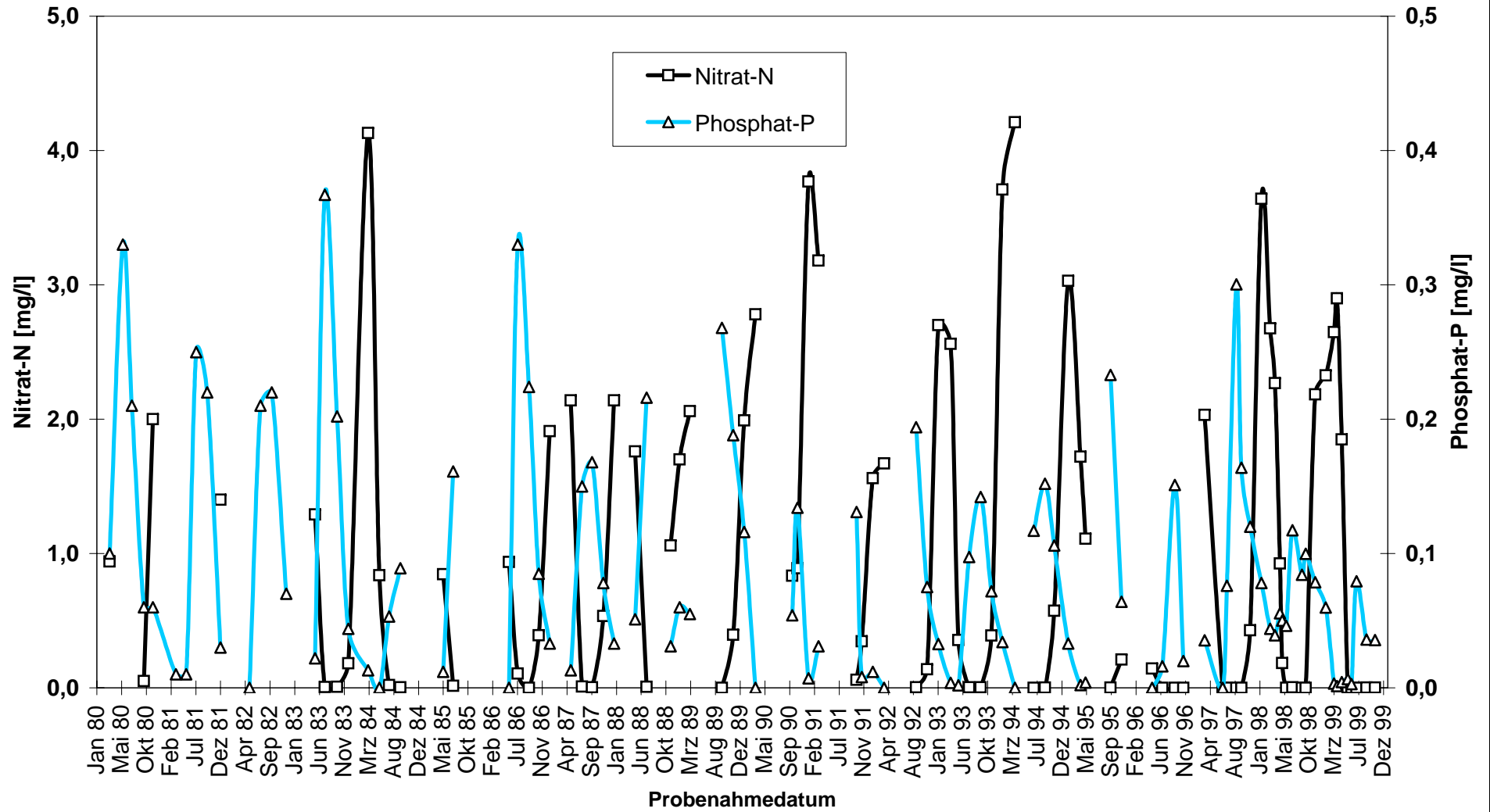


Abb. 10e: Schlei - Bienebek, Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1997

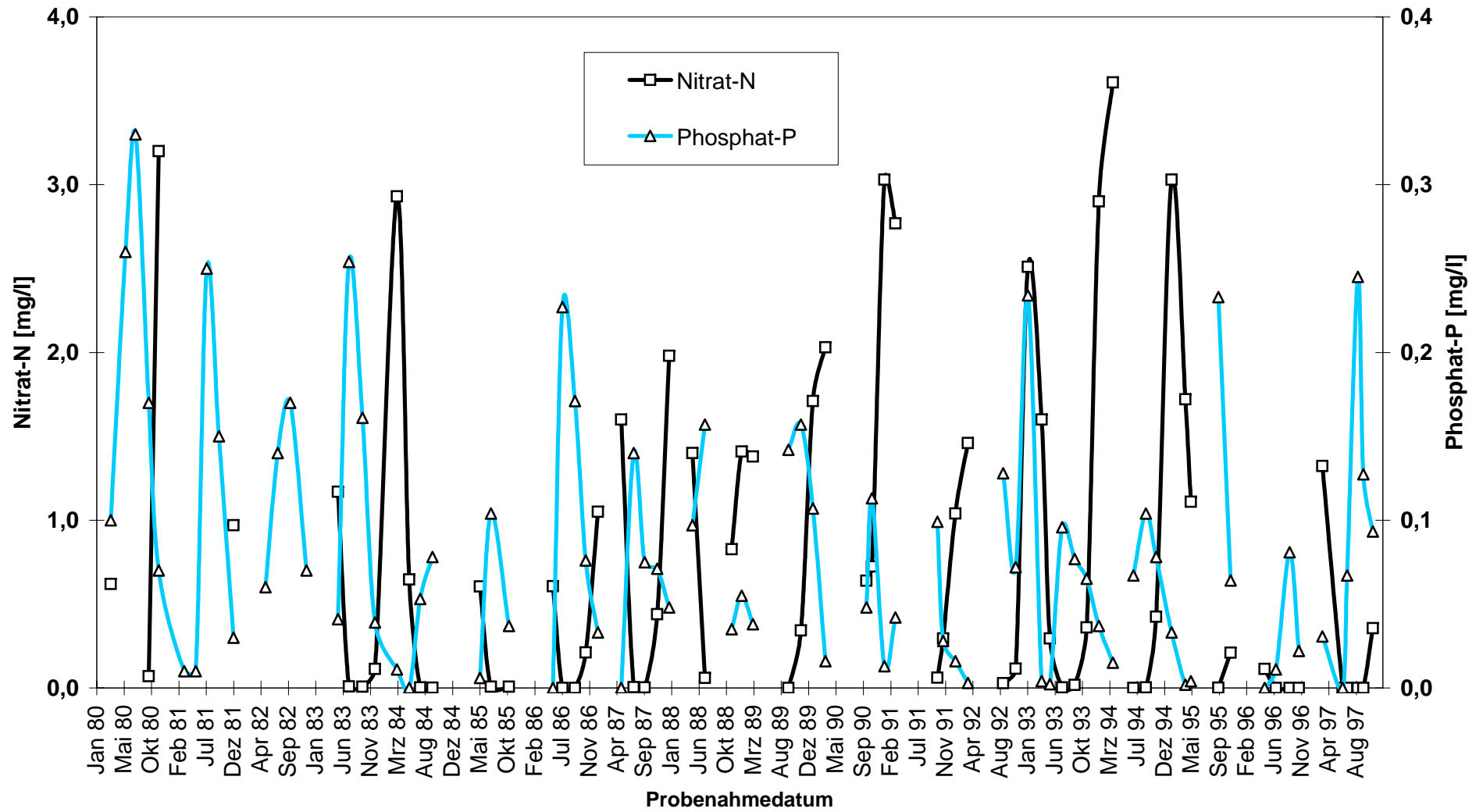
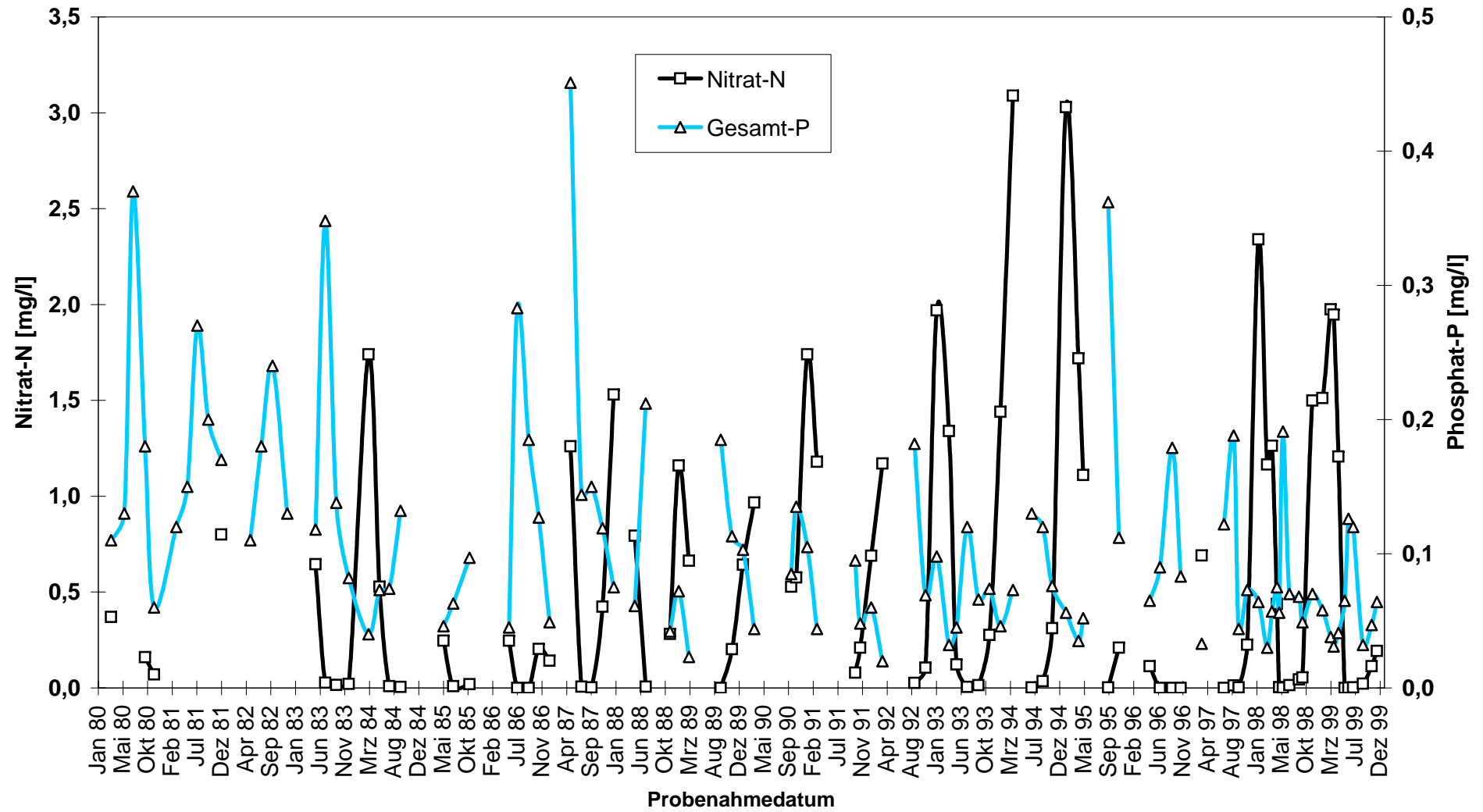


Abb. 10f: Schlei - Kappeln, Ganglinien für Nitrat-N und Phosphat-P von 1980 bis 1999



**Abb. 11: Mediane der Gesamtstickstoffgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)**

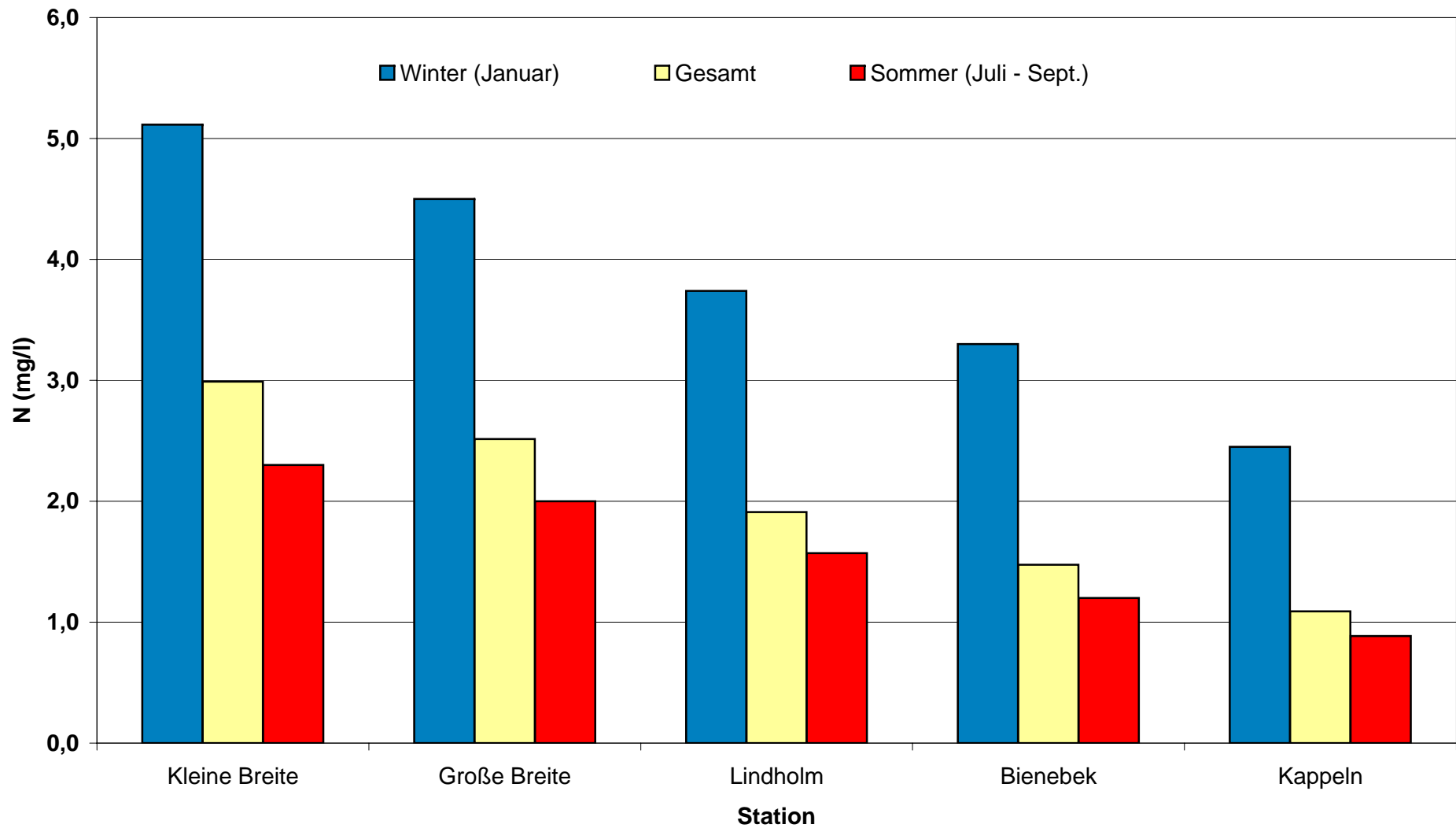
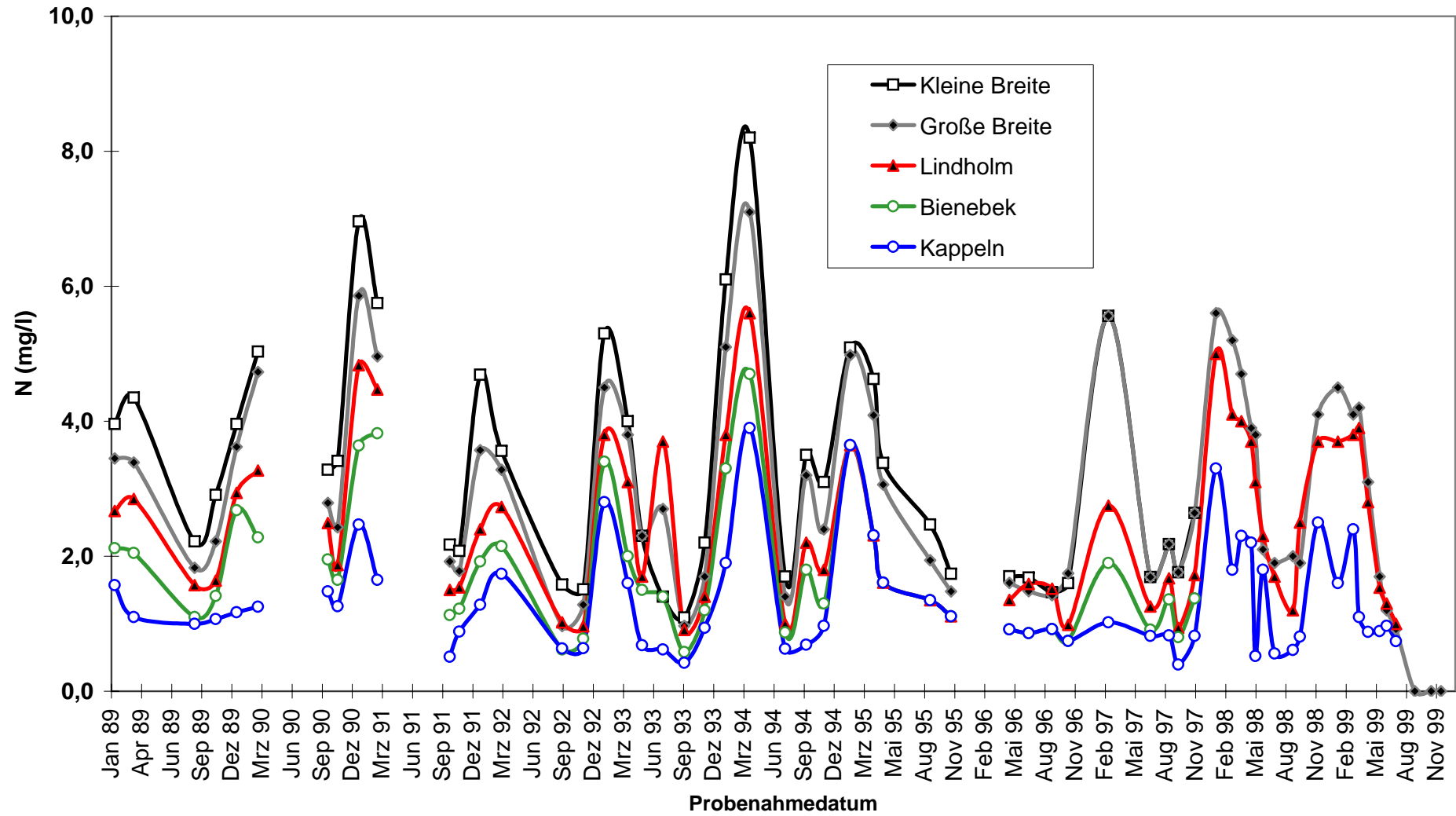


Abb. 11a: Vergleich der Ganglinien für Gesamtstickstoff an fünf Schlei-Stationen von 1989 bis 1999



**Abb. 11b: Schlei - Kleine Breite, Ganglinien für Gesamtstickstoff und -phosphor von 1980 bis 1997**

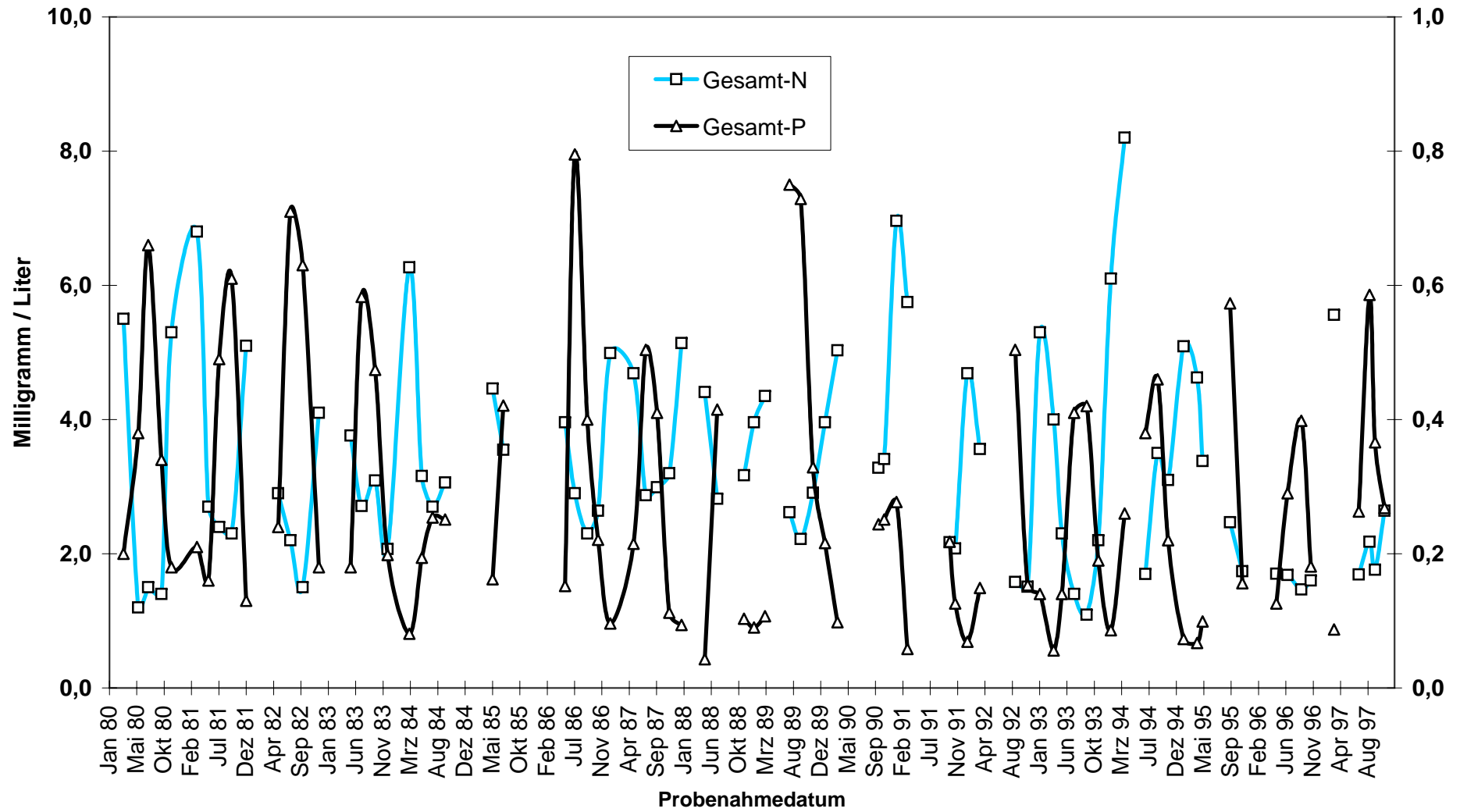


Abb. 11c: Schlei - Große Breite, Ganglinien für Gesamtstickstoff und -phosphor von 1980 bis 1999

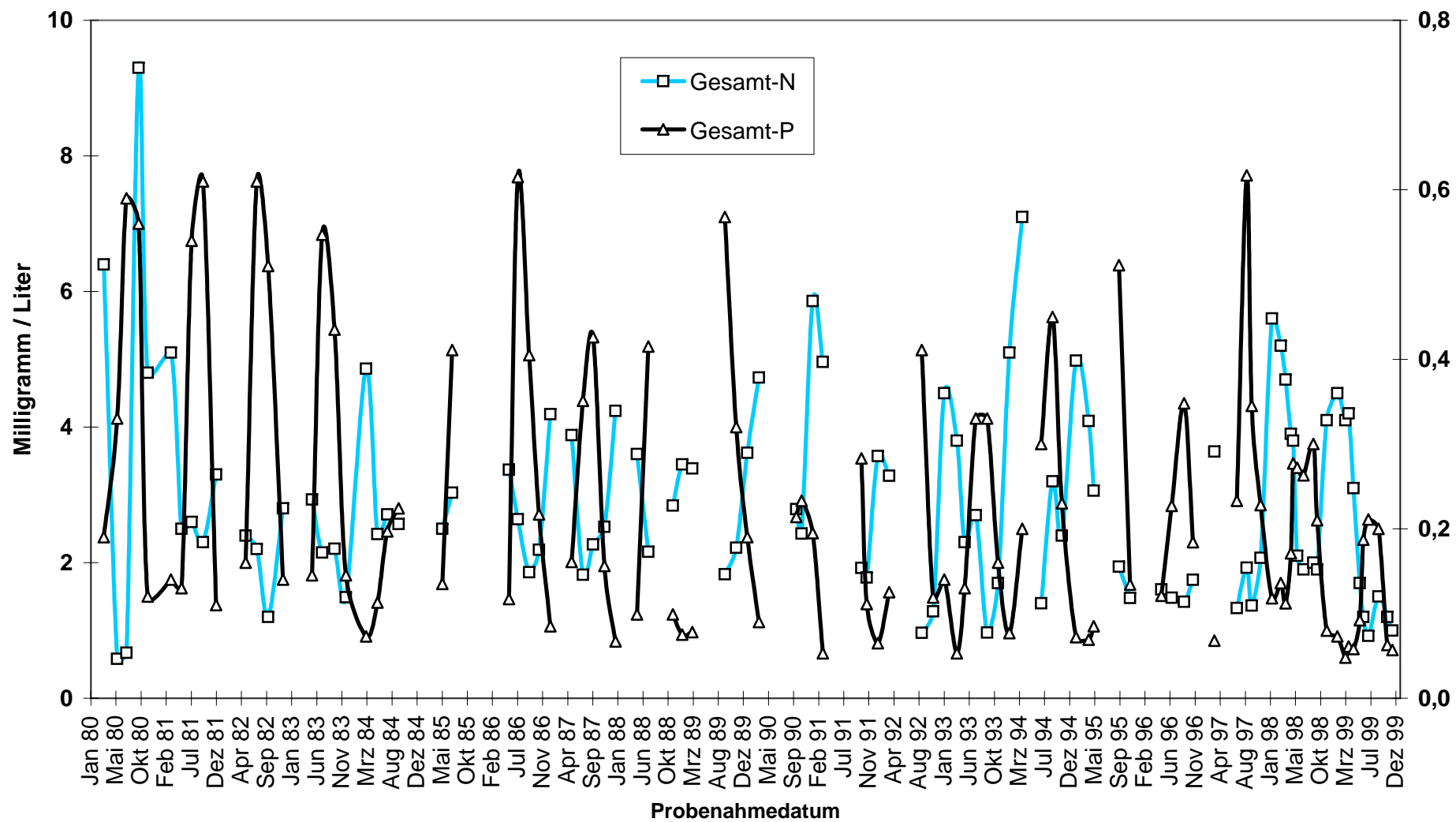


Abb. 11d: Schlei - Lindholm, Ganglinien für Gesamtstickstoff und -phosphor von 1980 bis 1999

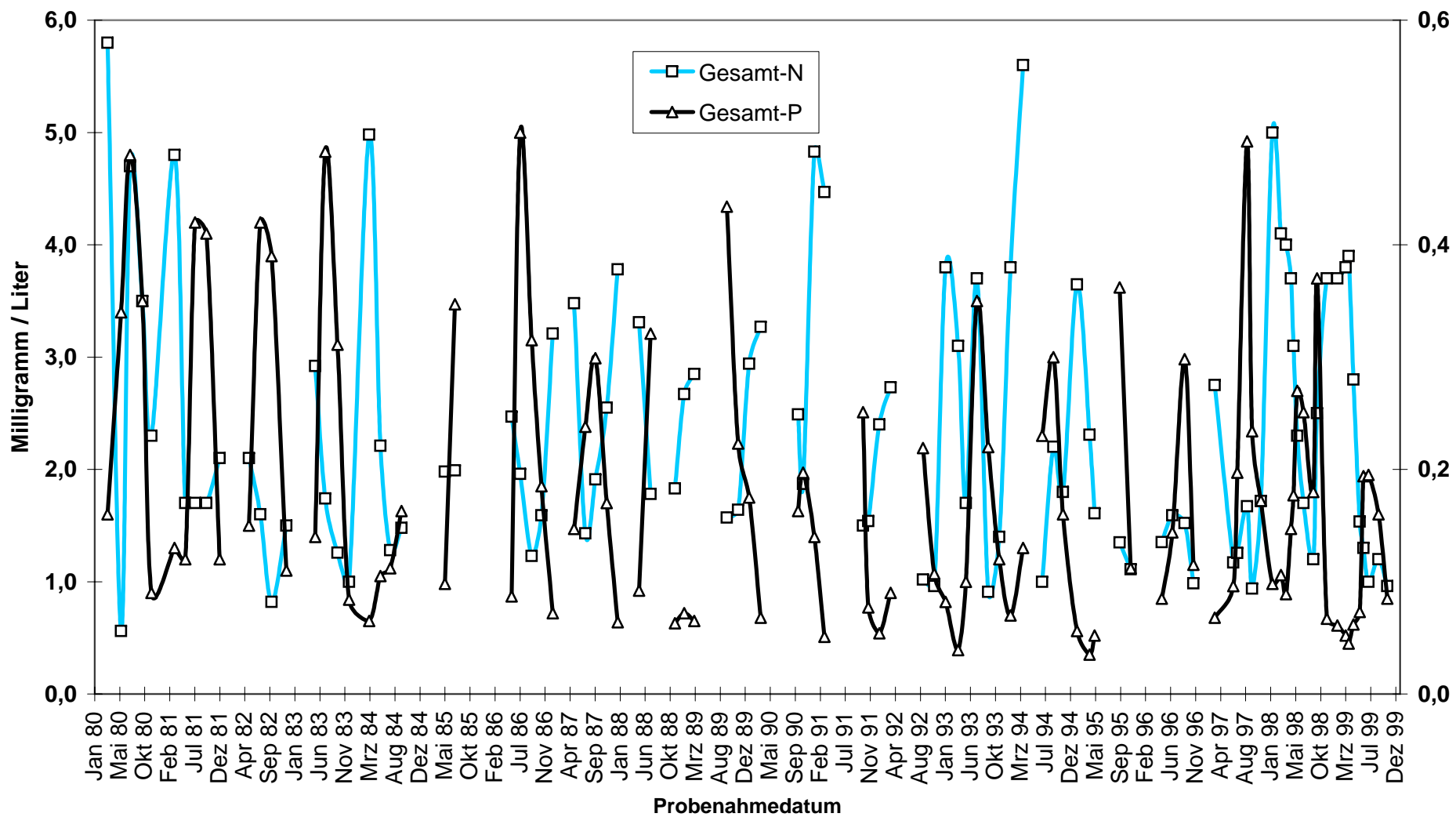


Abb. 11e: Schlei - Bienebek, Ganglinien für Gesamtstickstoff und -phosphor von 1980 bis 1997

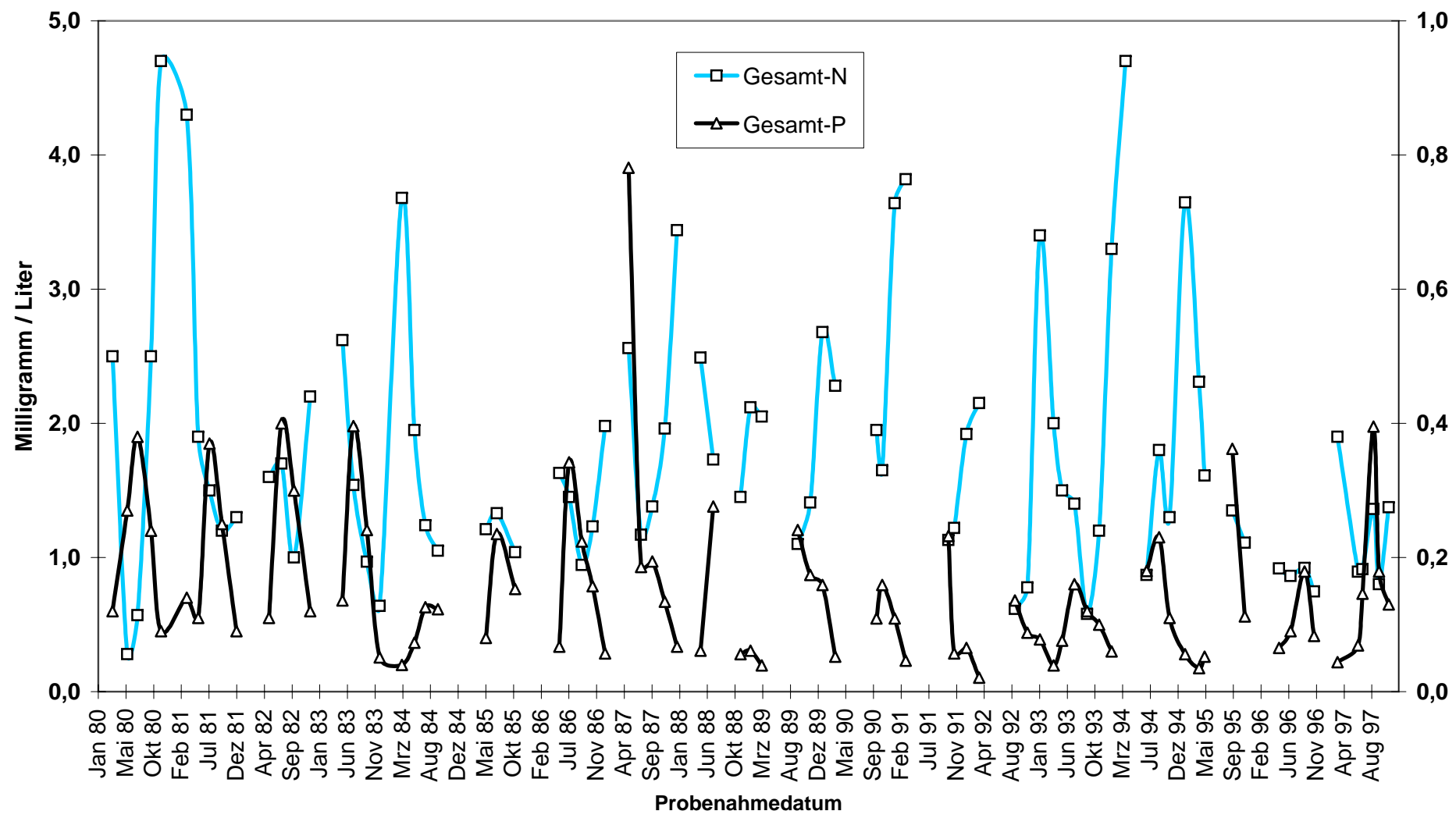


Abb. 11f: Schlei - Kappeln, Ganglinien für Gesamtstickstoff und -phosphor von 1980 bis 1999

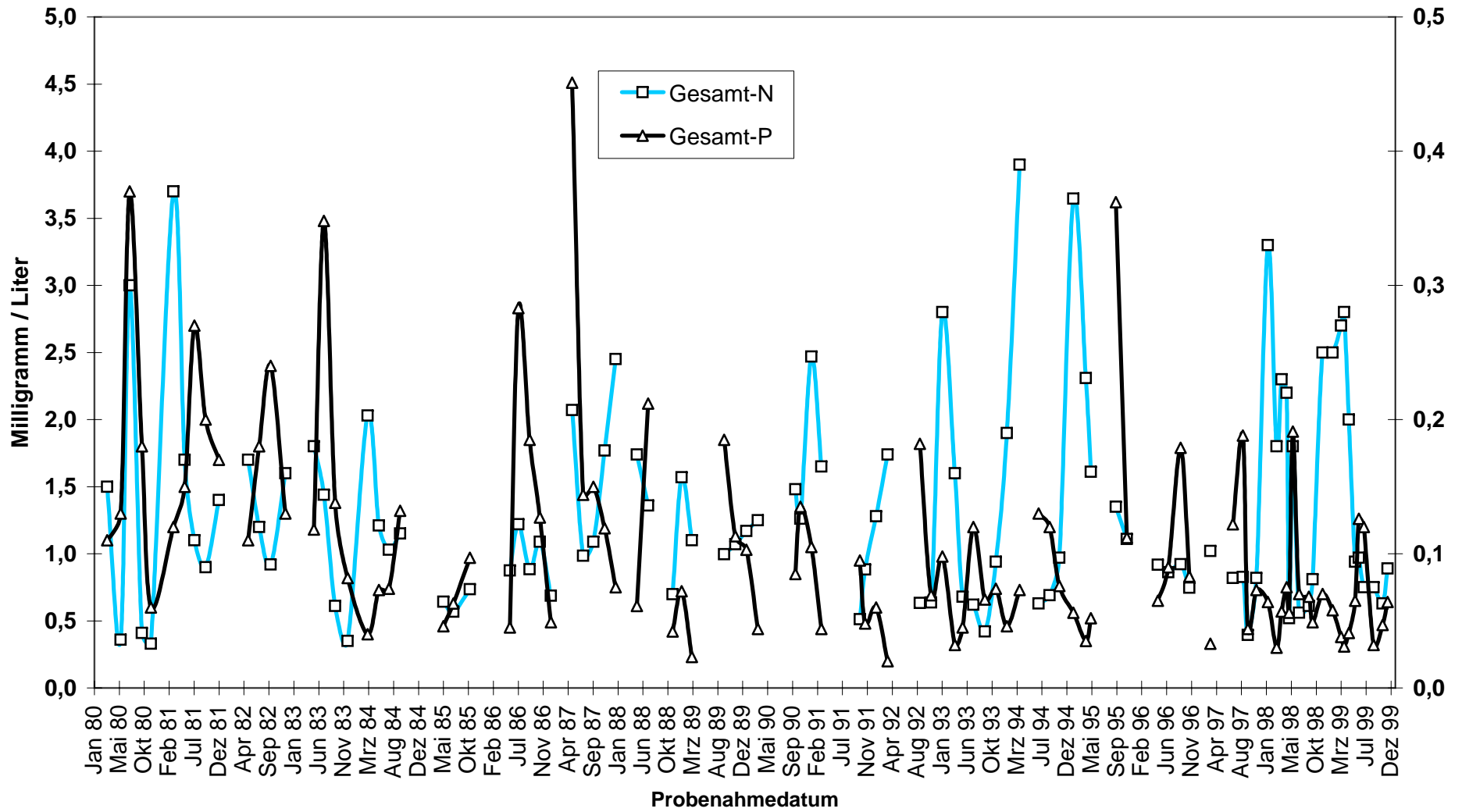


Abb. 12a: Schlei - Kleine Breite, Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1997

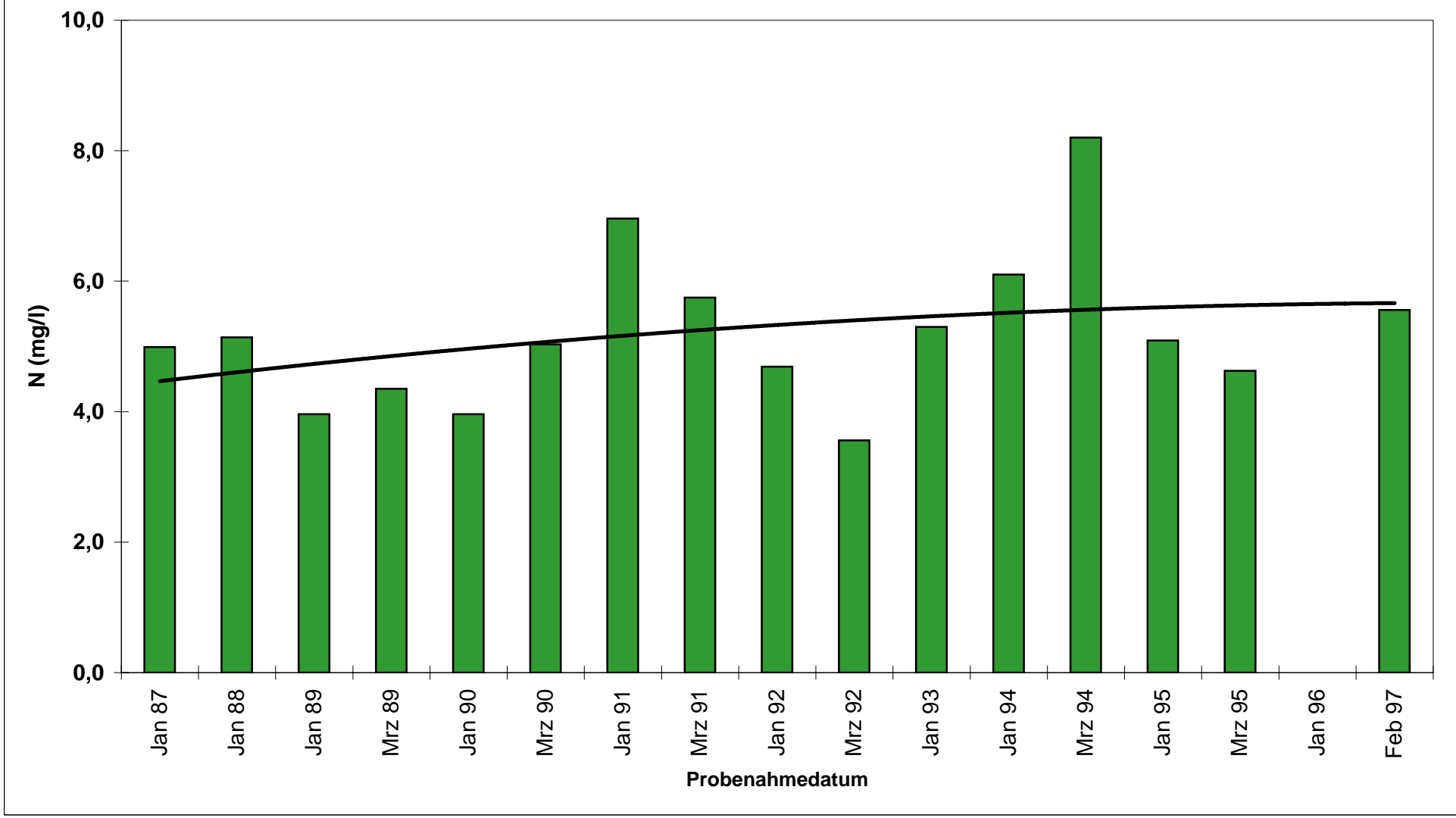


Abb. 12b: Schlei - Große Breite, Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1999

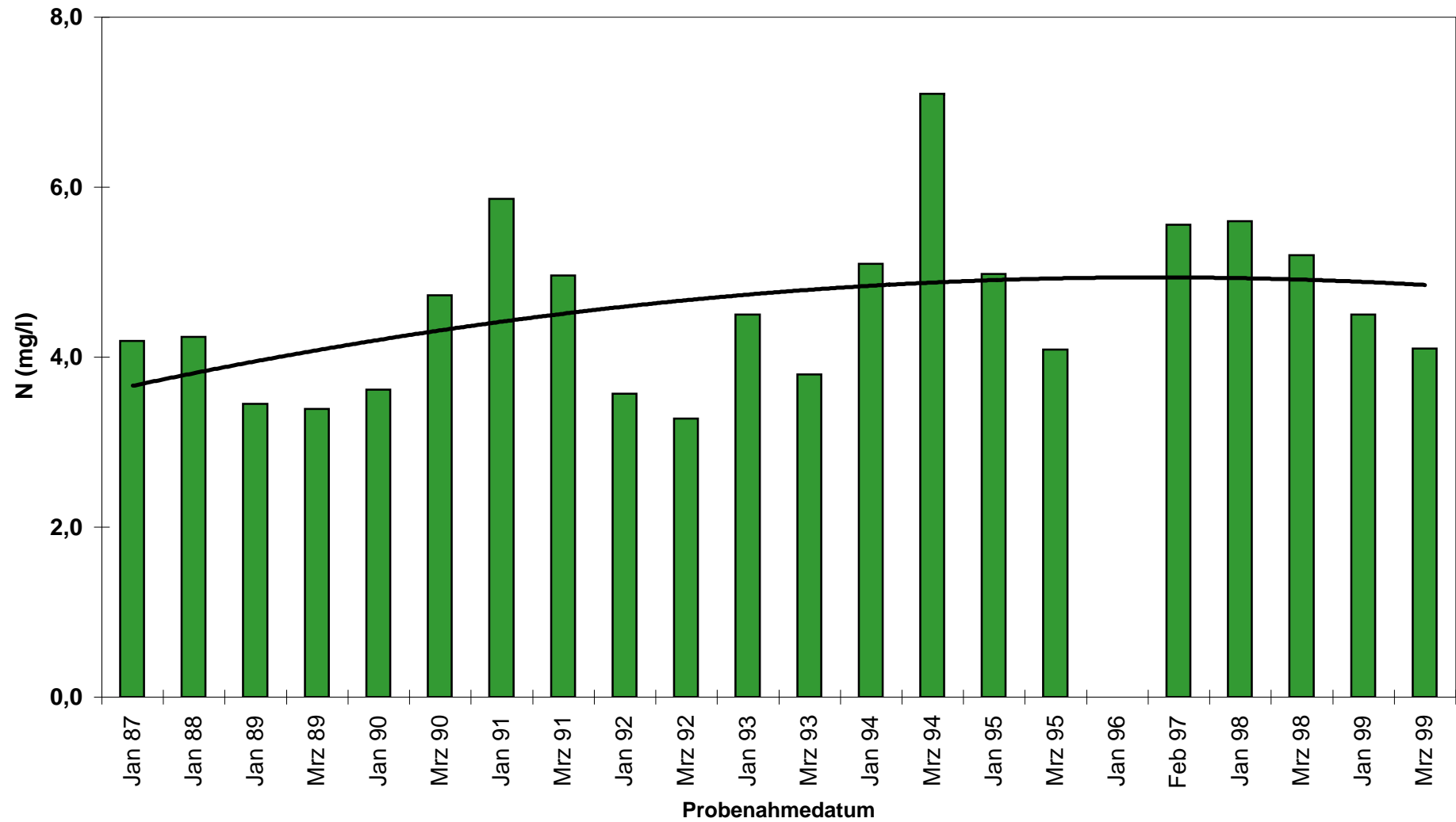


Abb. 12c: Schlei - Lindholm, Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1999

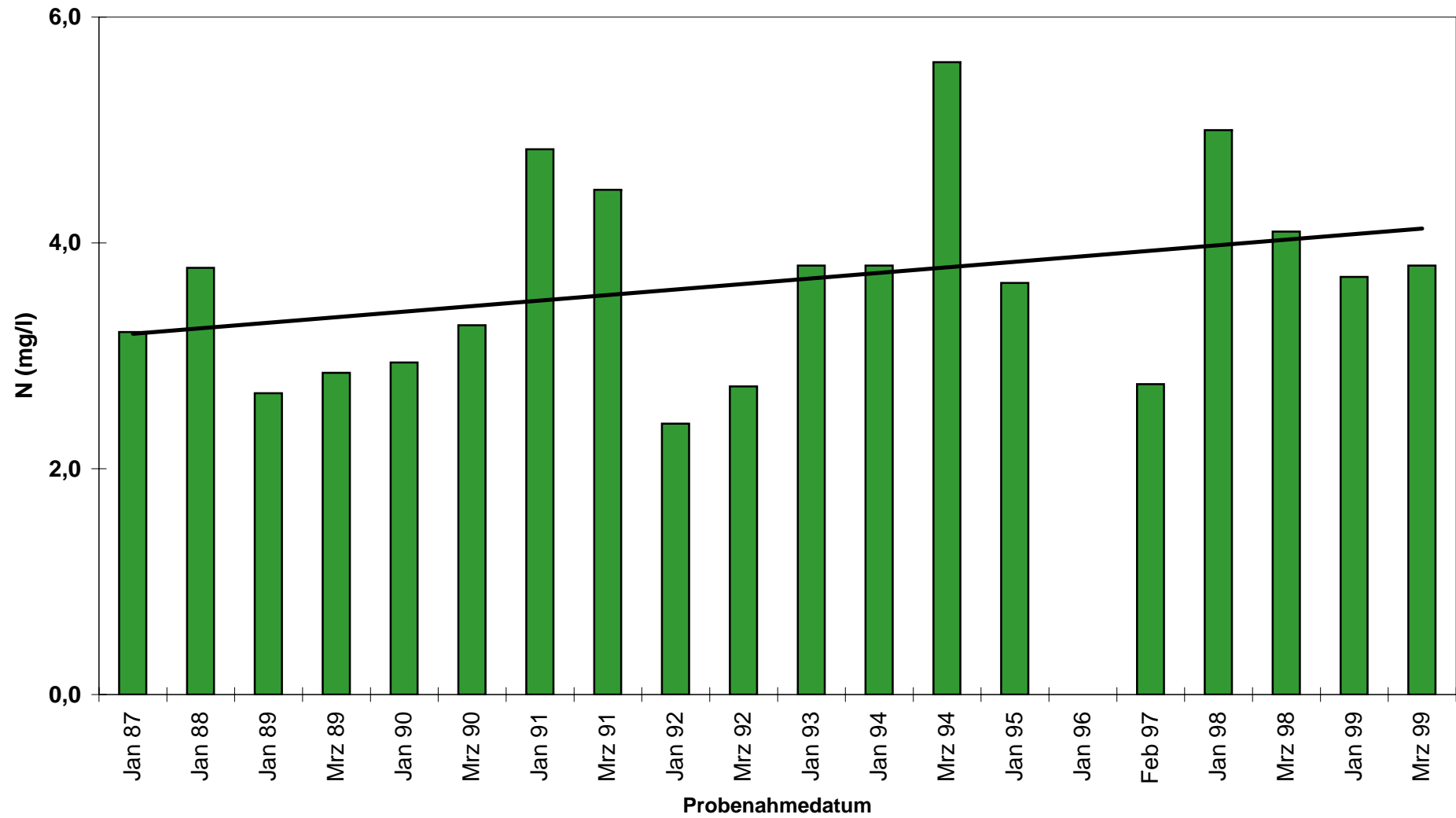


Abb. 12d: Schlei - Bienebek, Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1997

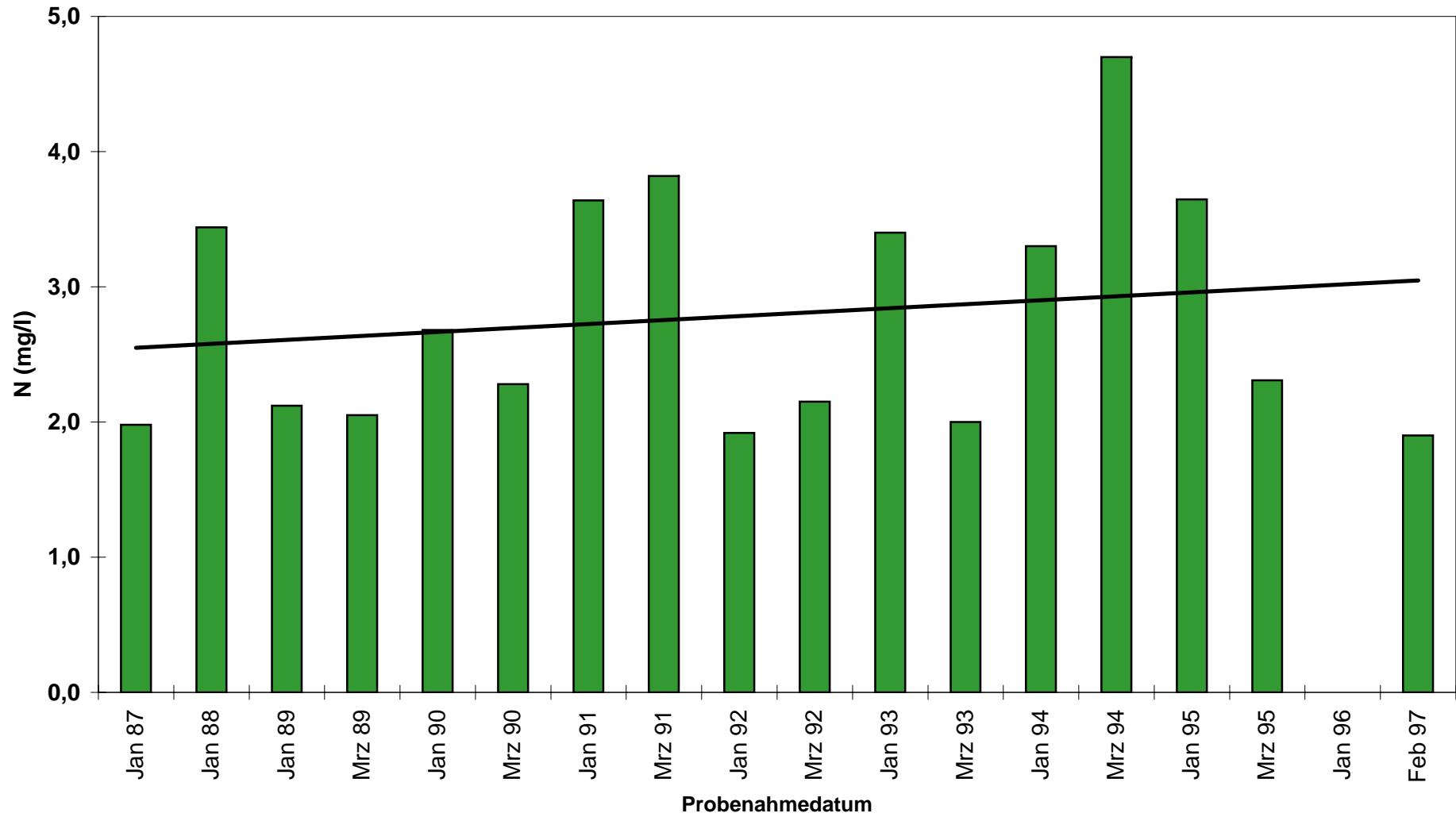
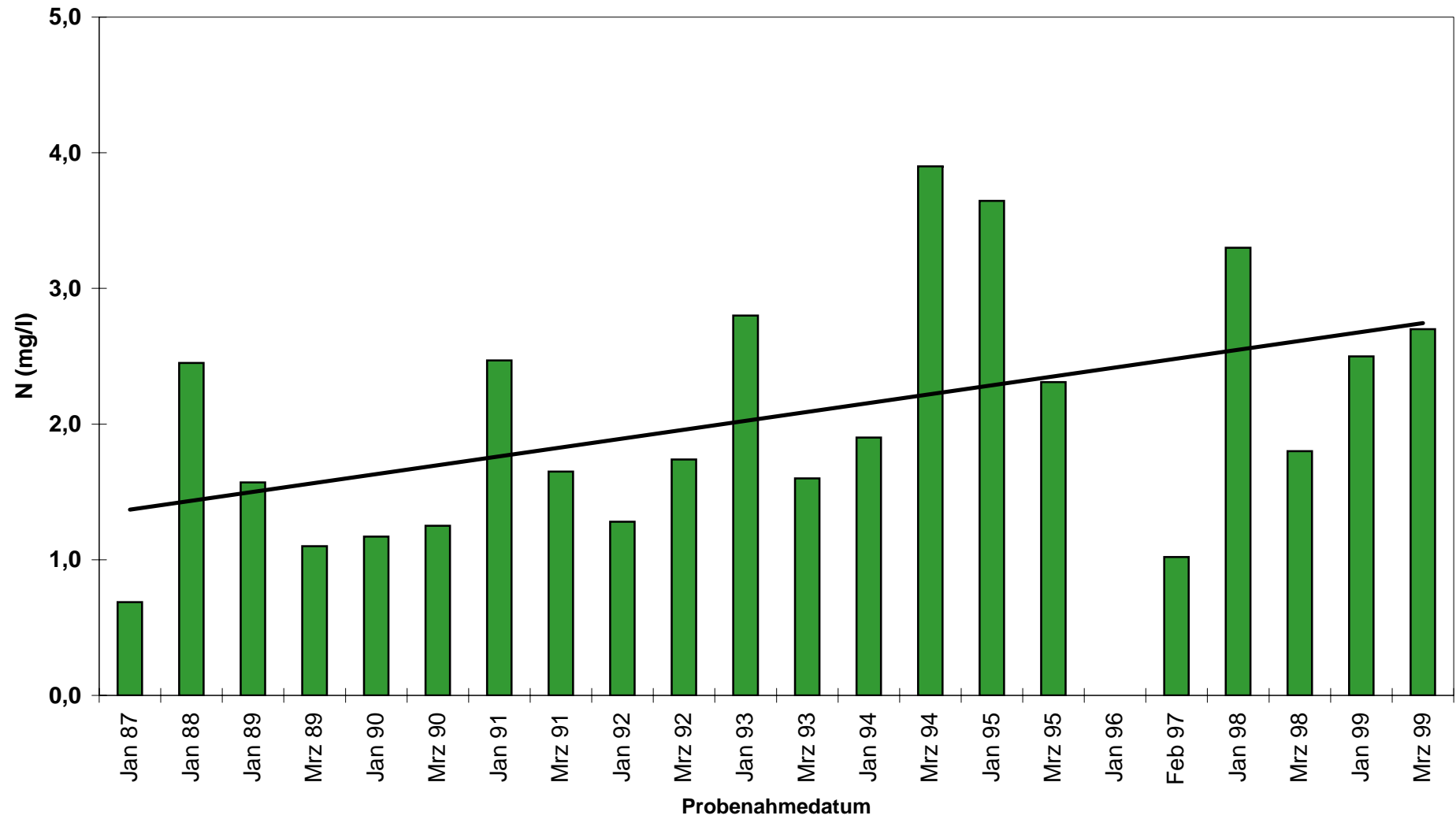
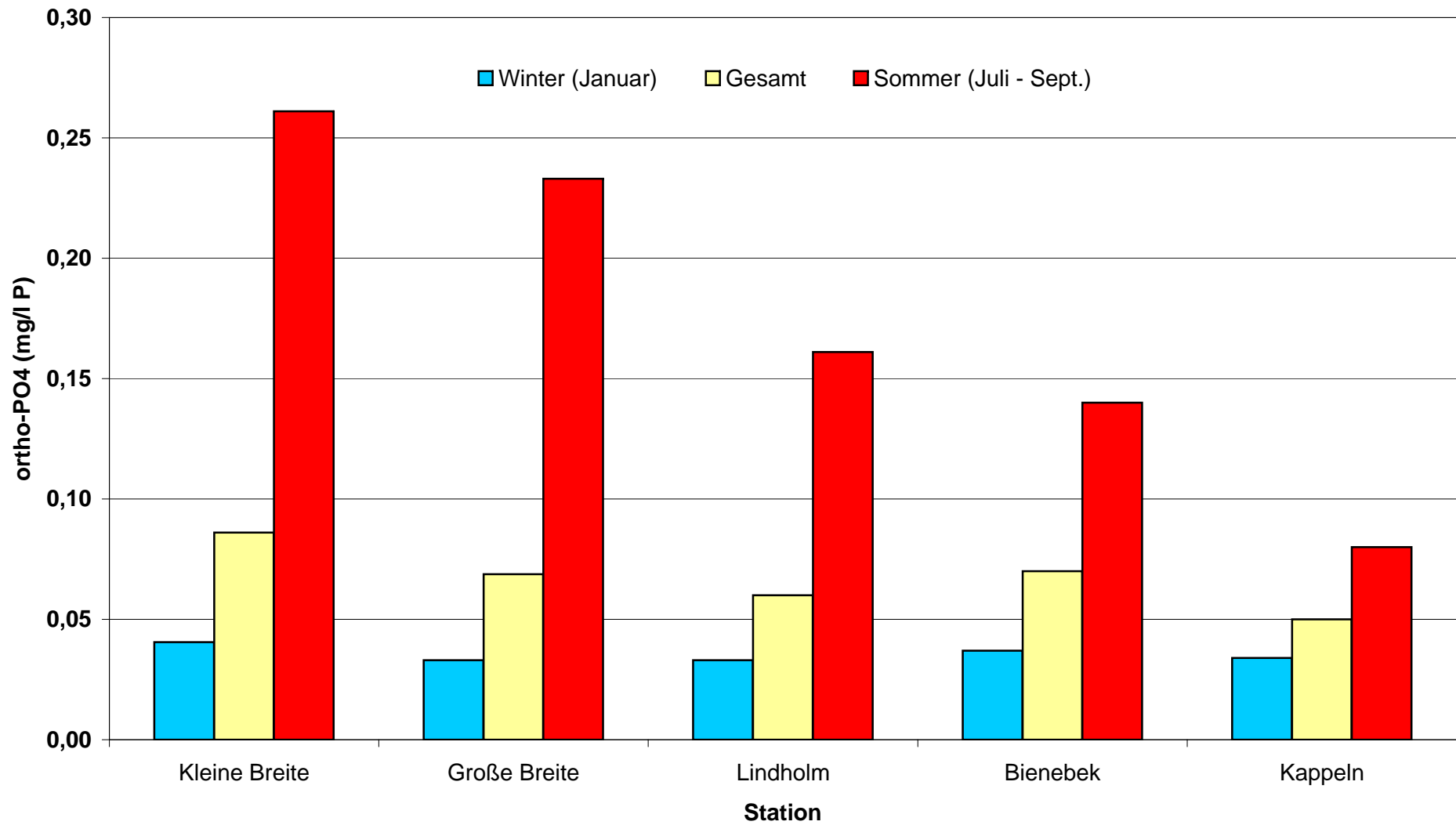


Abb. 12e: Schlei - Kappeln, Winterwerte und Trend für Gesamtstickstoff von 1987 bis 1999



**Abb. 13: Mediane der ortho-Phosphatgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)**



**Abb. 14: Mediane der Gesamtphosphorgehalte an den Schlei-Stationen (Zeitraum 1980 - 1999)**

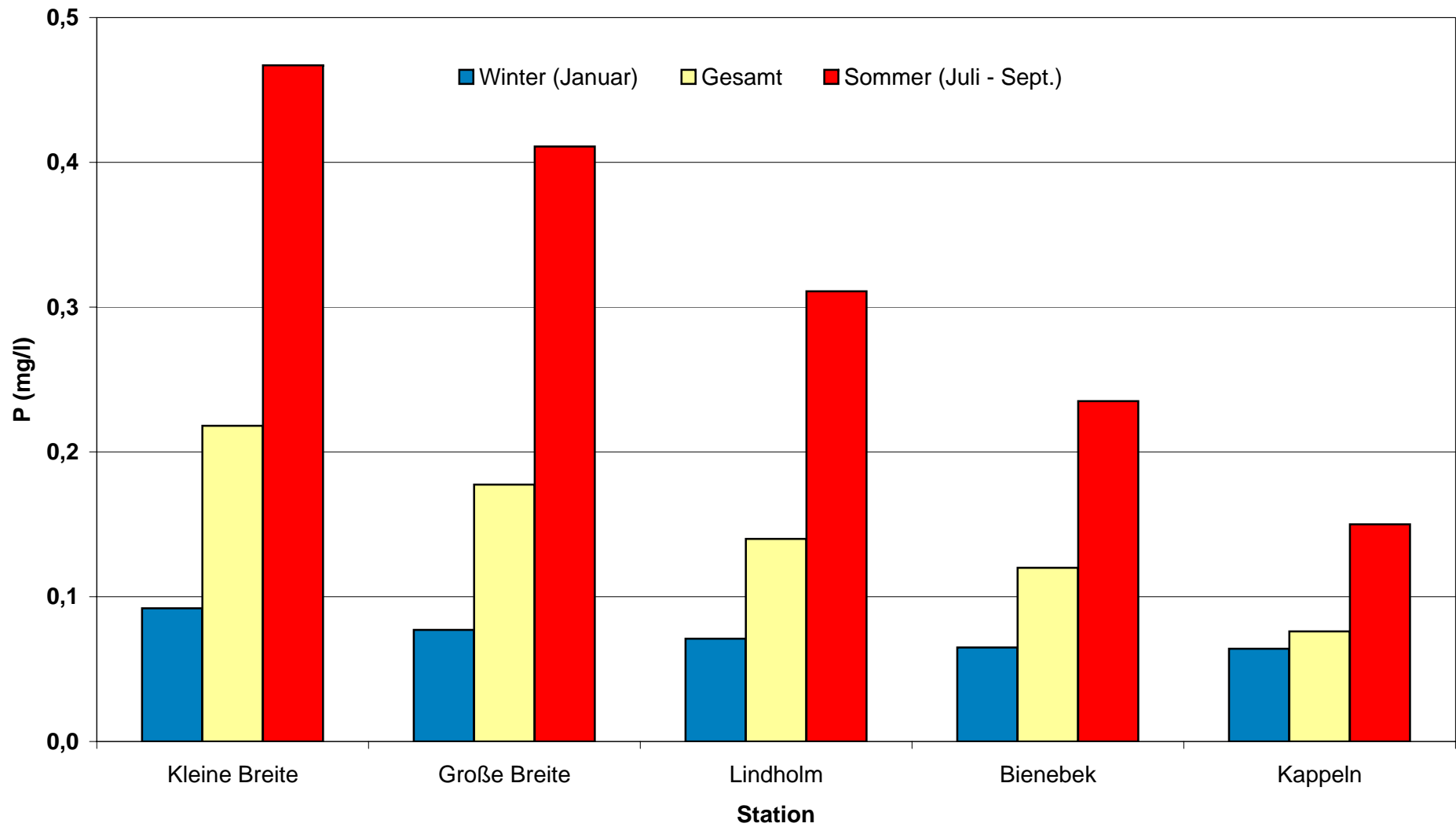


Abb. 14a: Vergleich der Ganglinien für Gesamtphosphor an fünf Schlei-Stationen von 1989 bis 1999

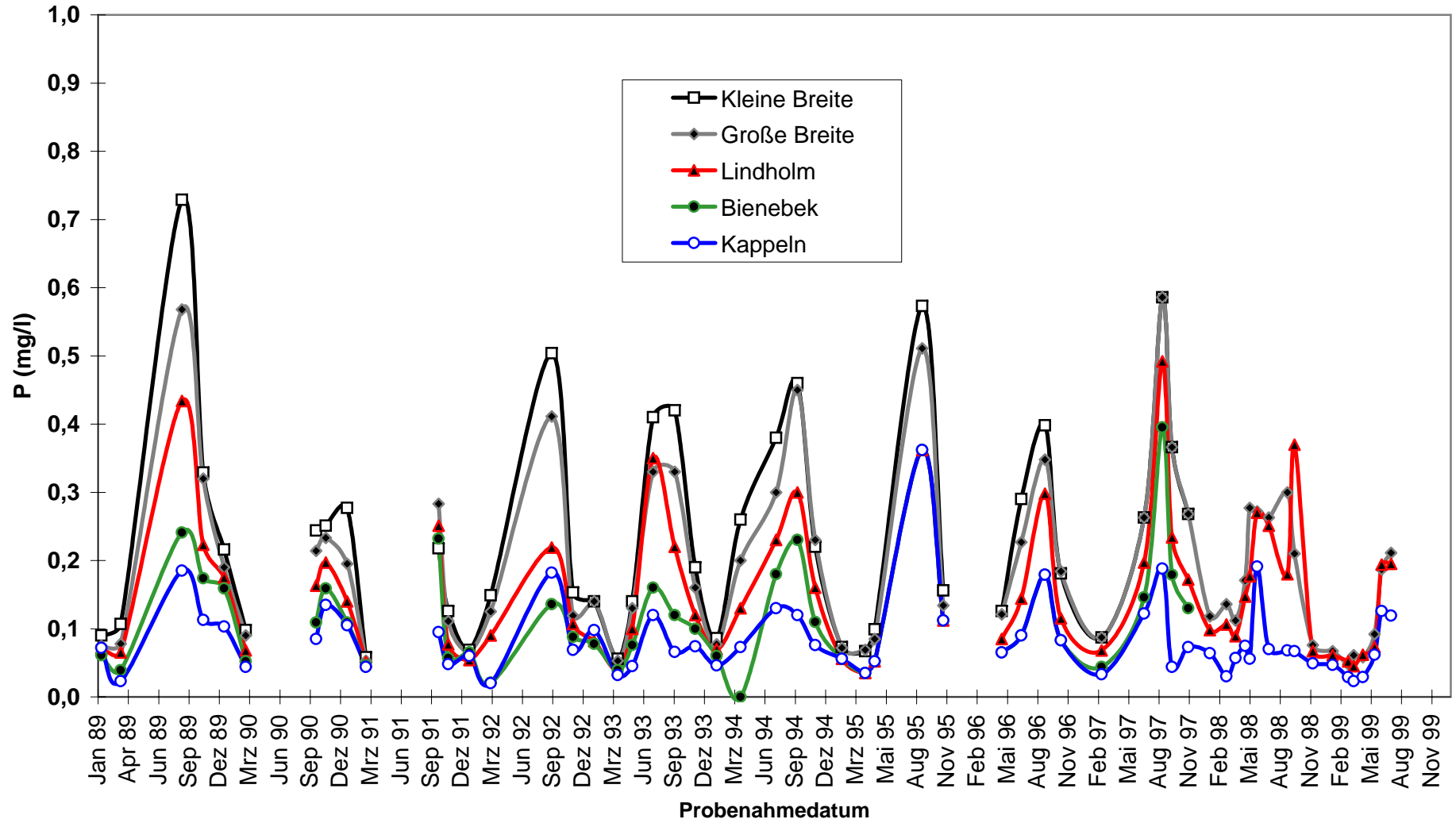


Abb. 15a: Schlei - Kleine Breite, Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1997

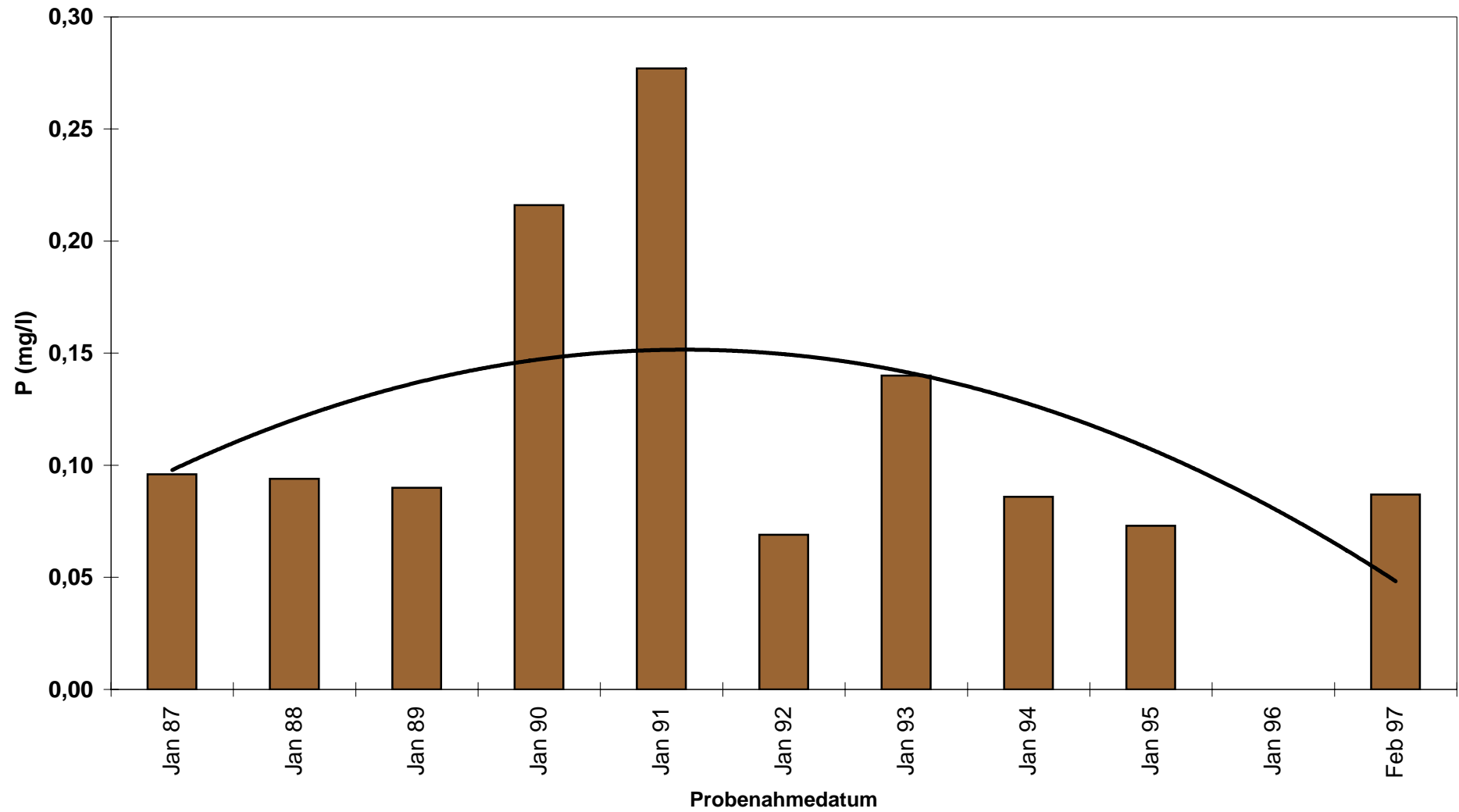


Abb. 15b: Schlei - Große Breite, Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999

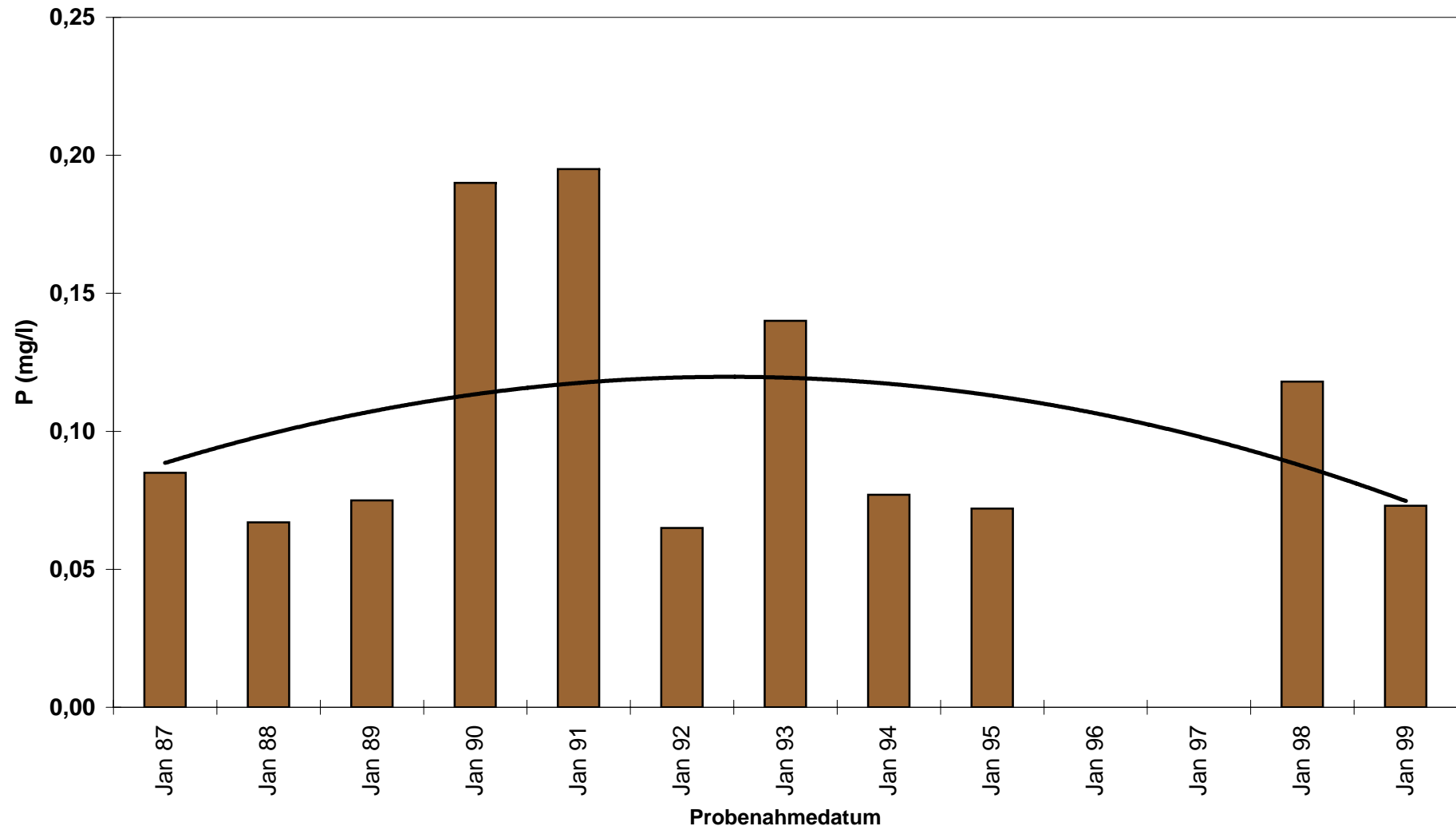


Abb. 15c: Schlei - Lindholm, Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999

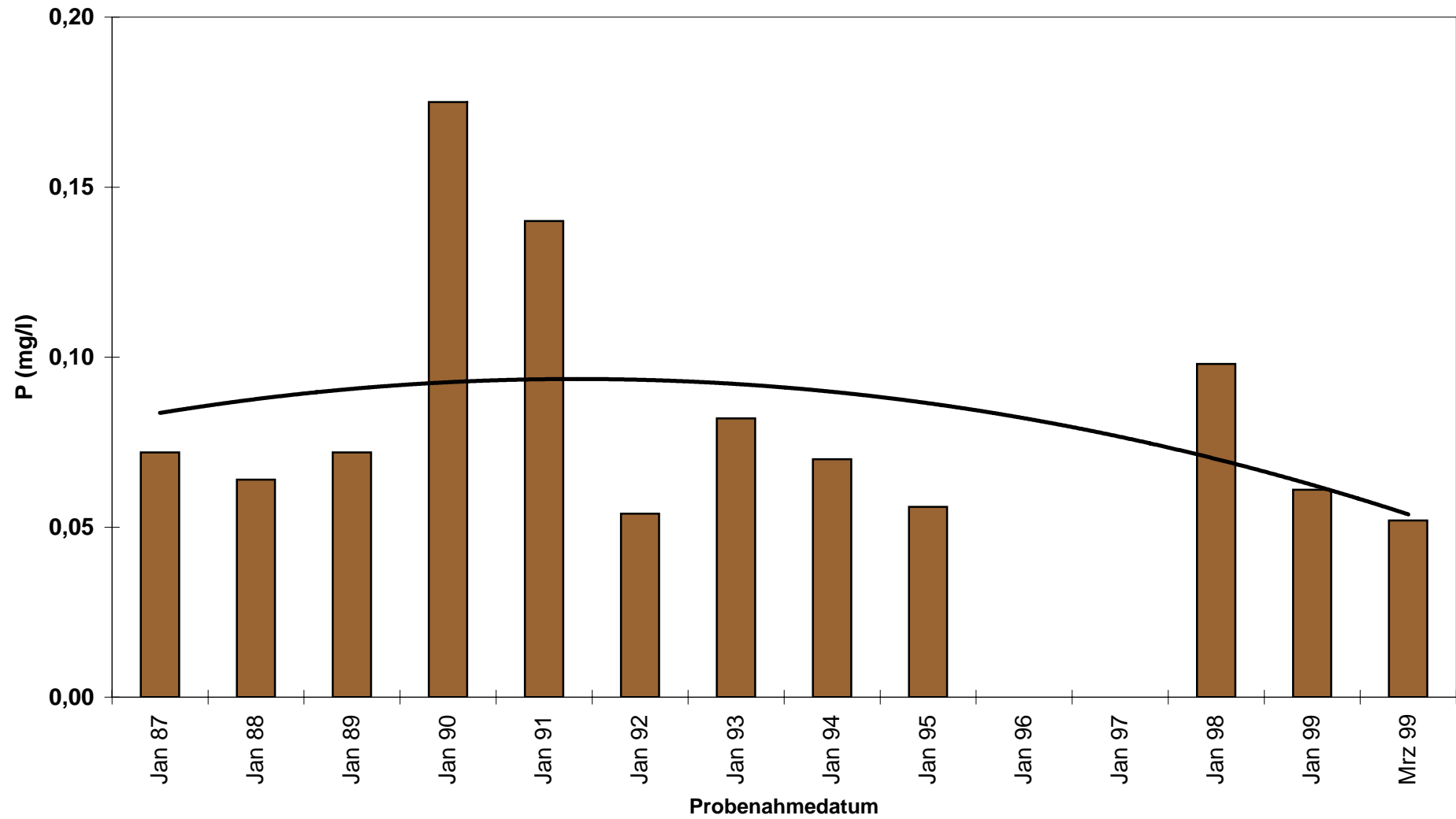


Abb. 15d: Schlei - Bienebek, Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1997

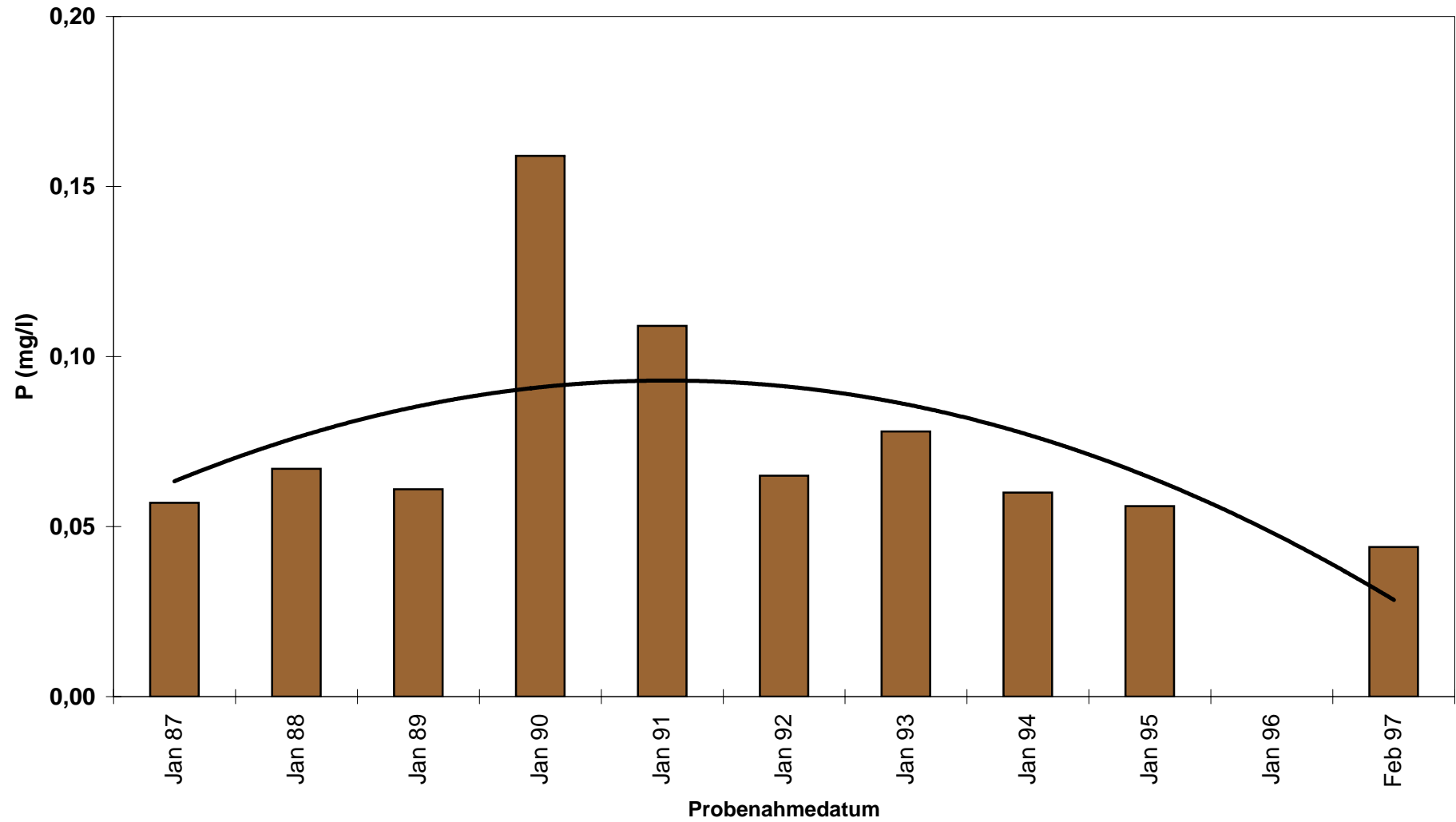


Abb. 15e: Schlei - Kappeln, Winterwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1987 bis 1999

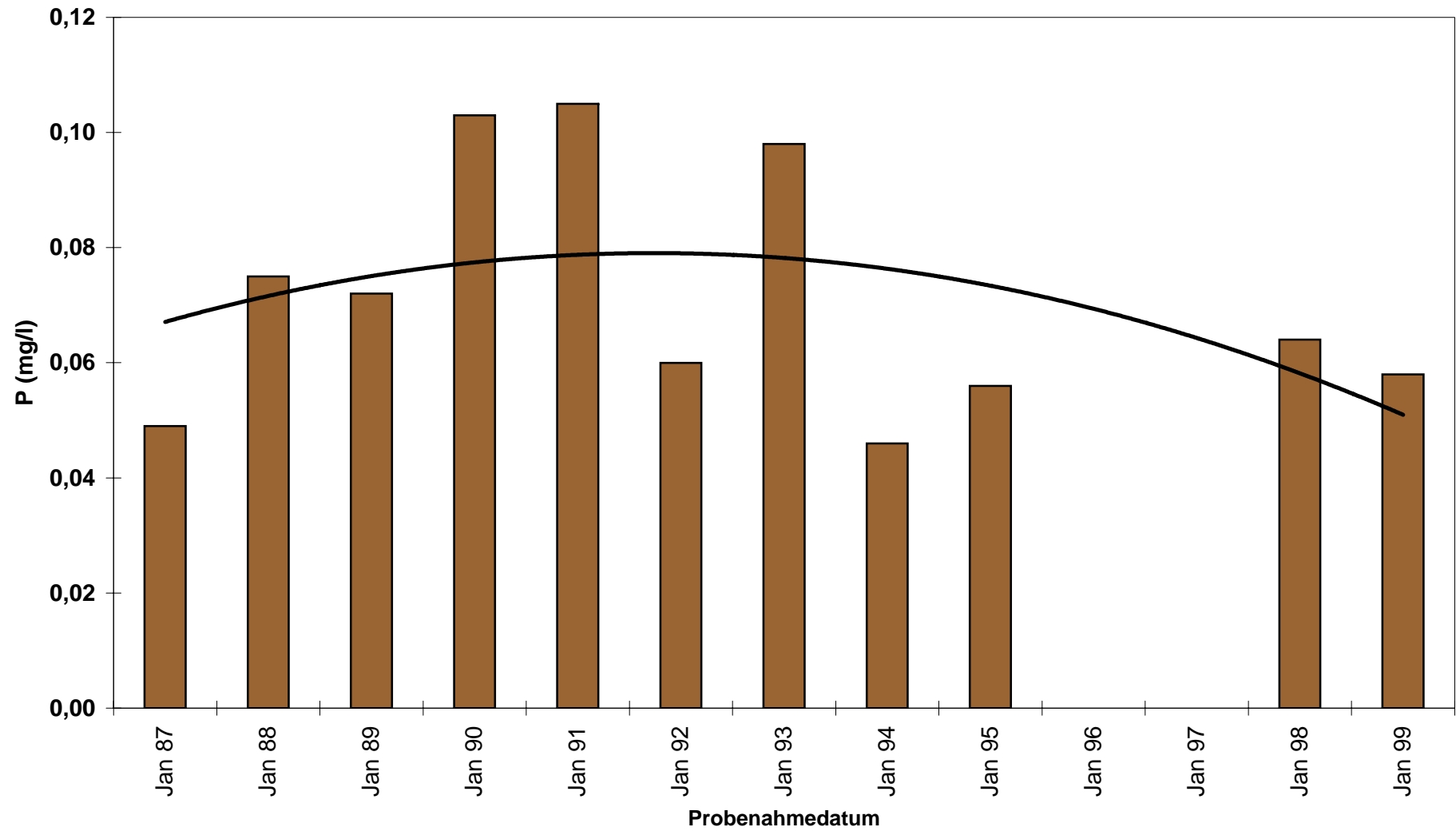


Abb. 16a: Schlei - Kleine Breite, Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1980 bis 1997

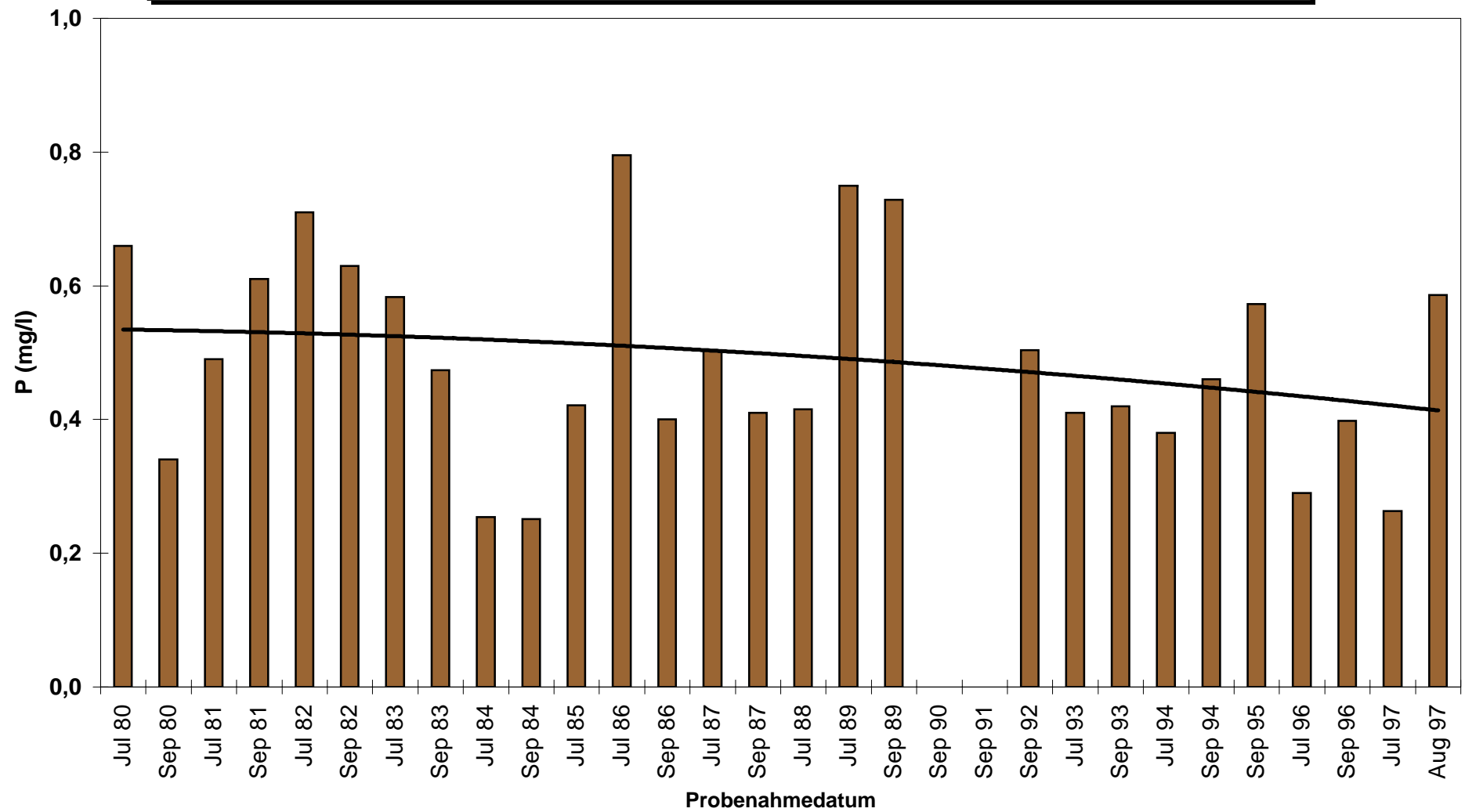


Abb. 16b: Schlei - Große Breite, Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1980 bis 1999

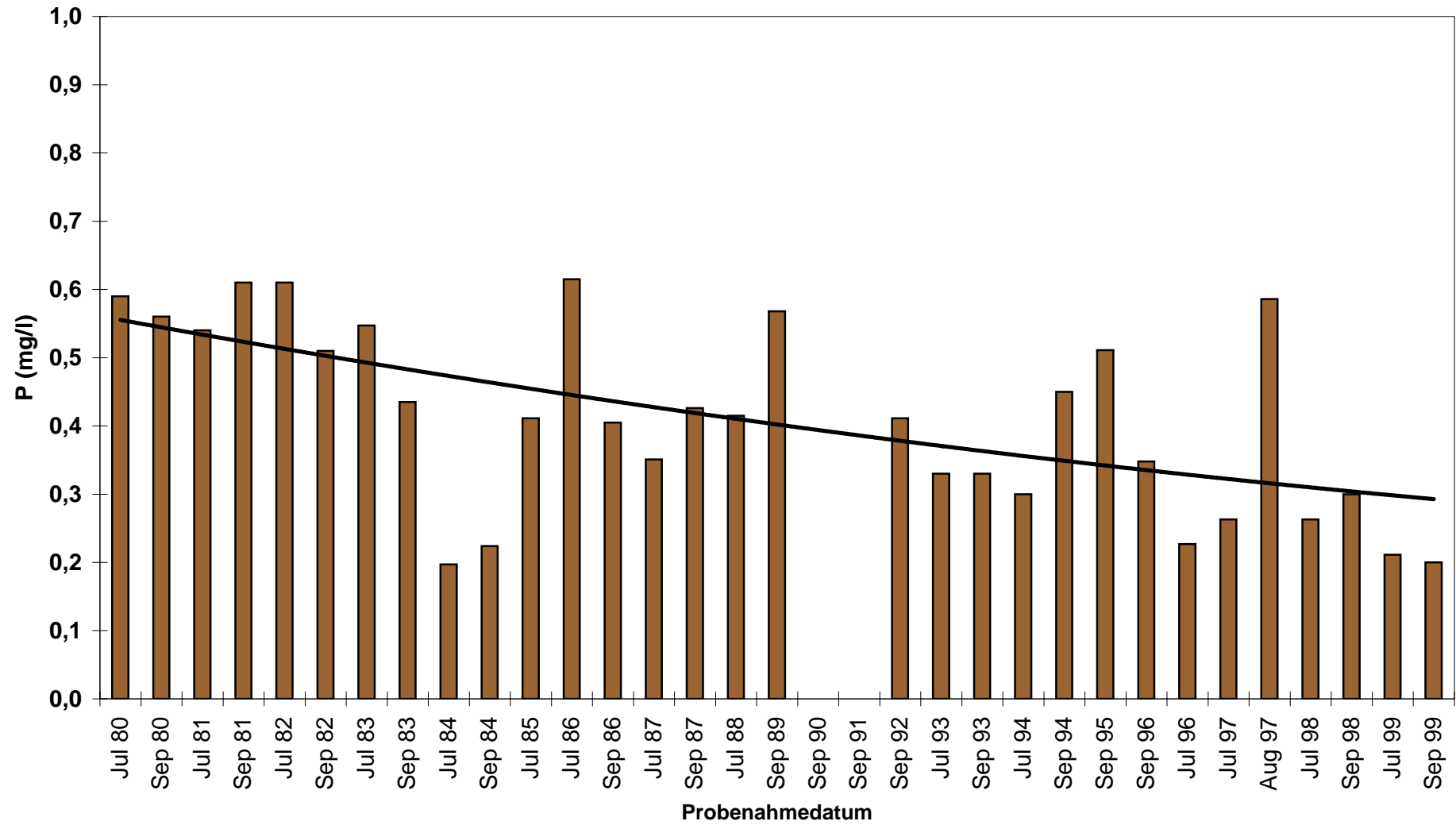


Abb. 16c: Schlei - Lindholm, Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1980 bis 1999

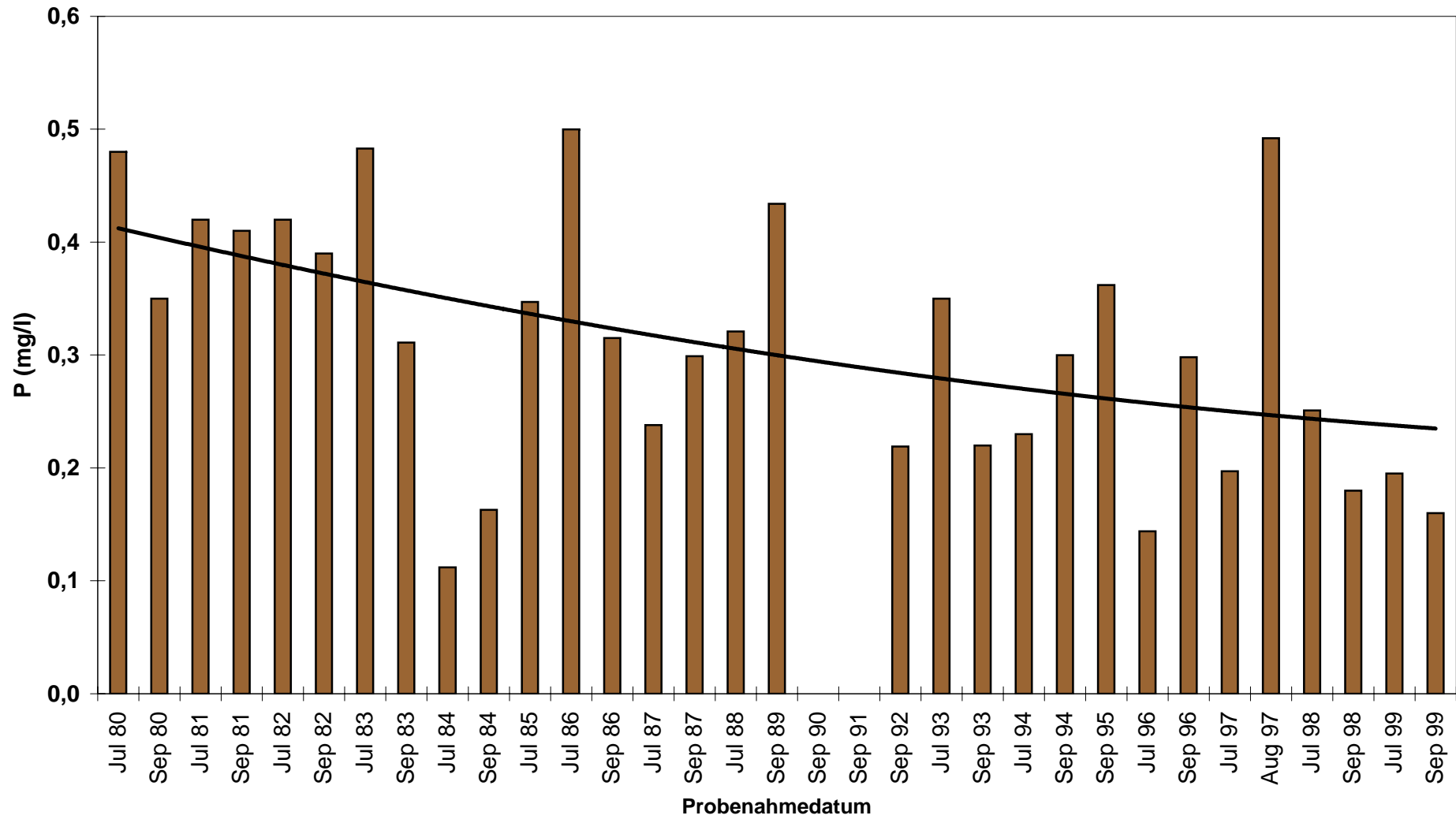


Abb. 16d: Schlei - Bienebek, Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1980 bis 1997

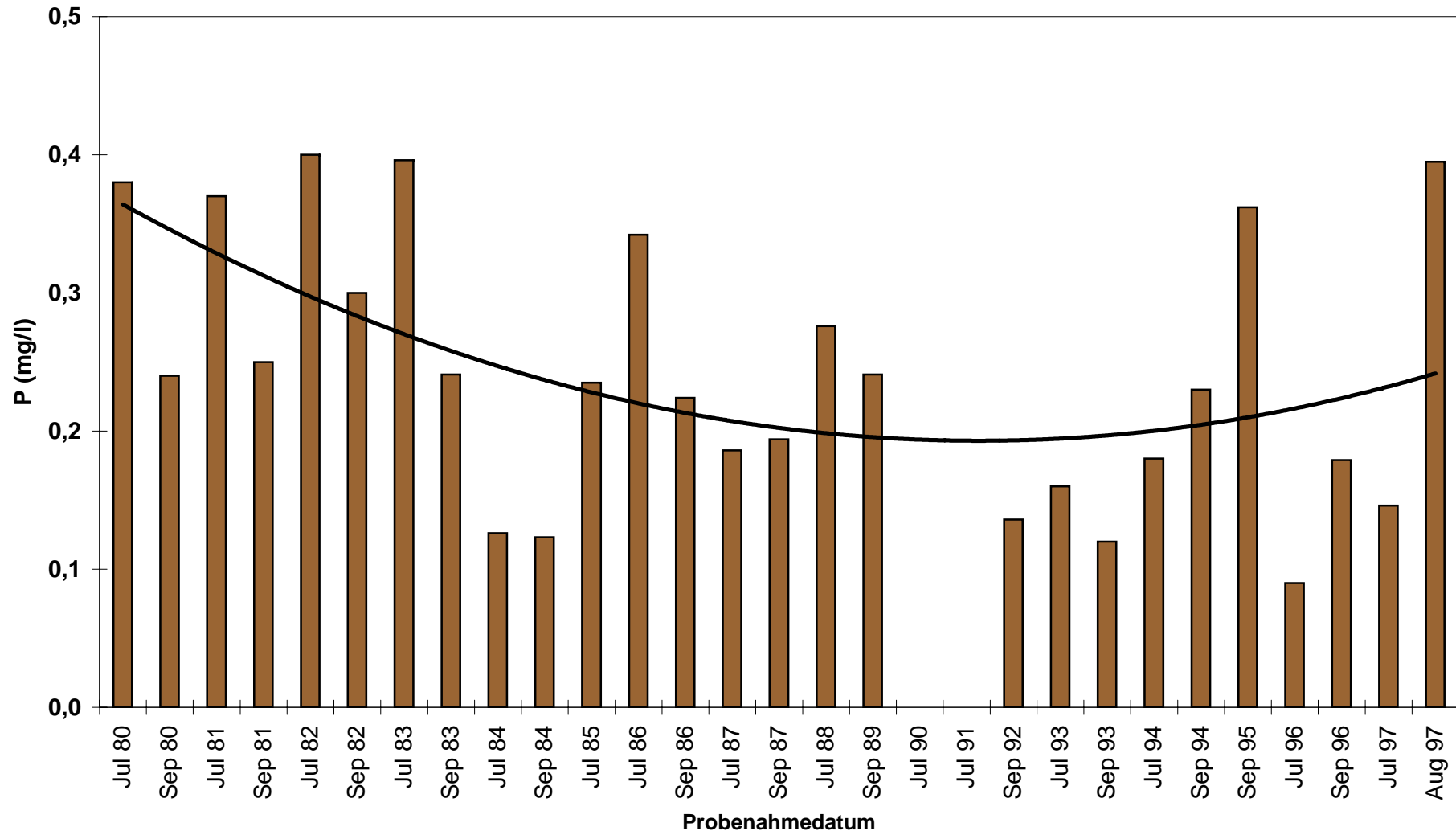


Abb. 16e: Schlei - Kappeln, Sommerwerte und Trend für Gesamtphosphor von 1980 bis 1999

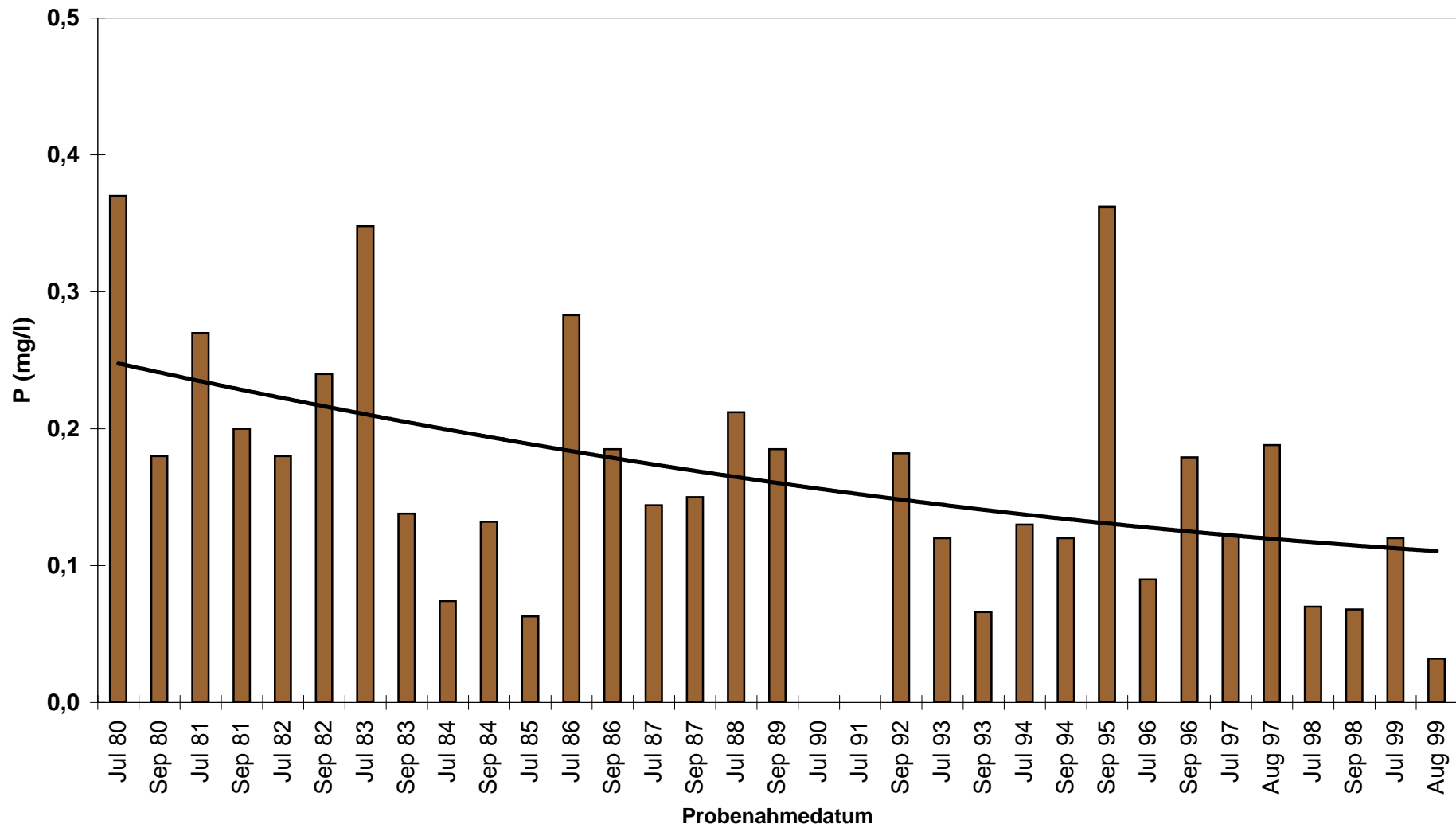


Abb. 17a: Füsinger Au: Jährliche Abflußsummen und Stickstoffeinträge von 1990 bis 2000

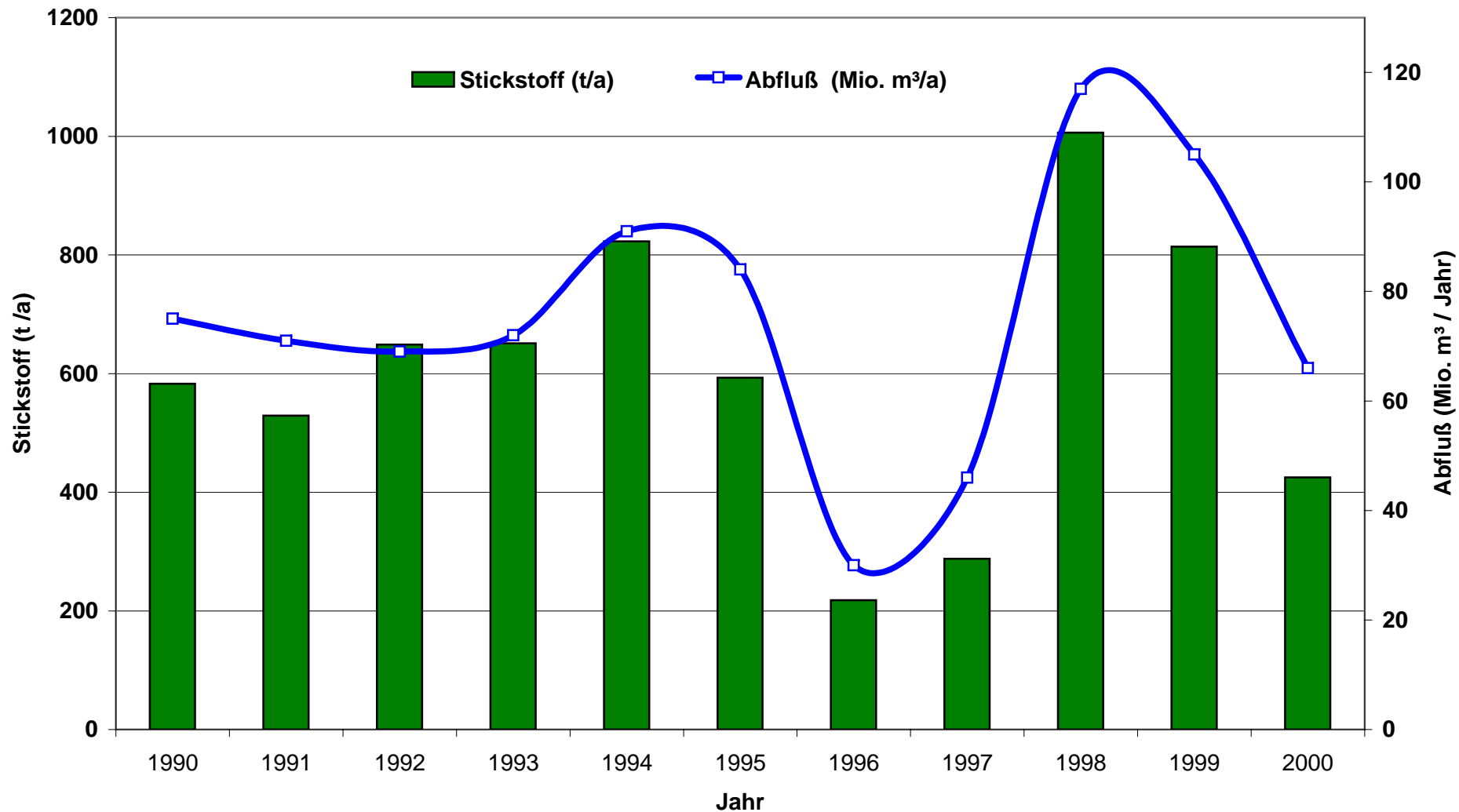


Abb. 17b: Füsinger Au: Jährliche Abflußsummen und Phosphoreinträge von 1990 bis 2000

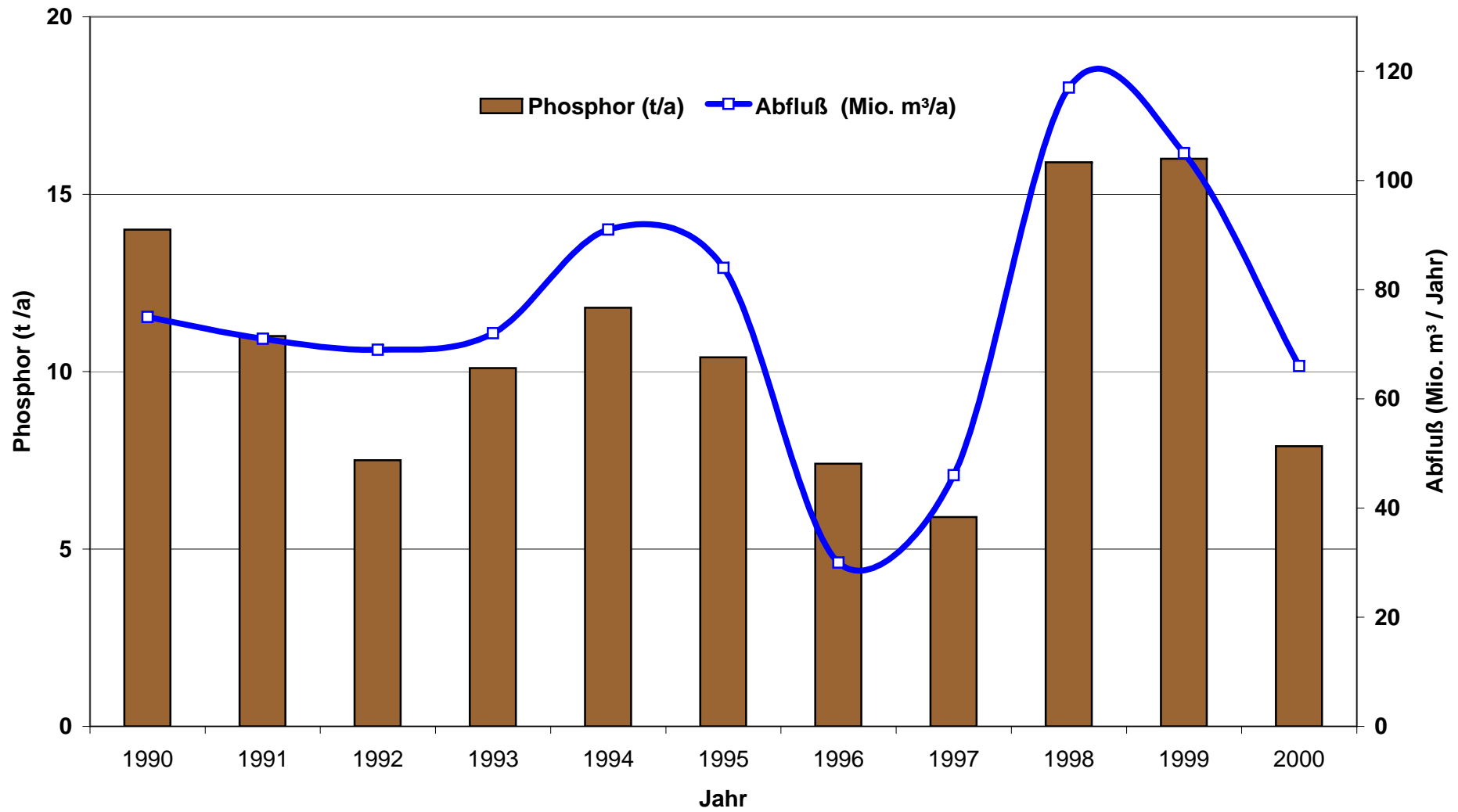


Abb. 18a: Koseler Au: Jährliche Abflußsummen und Stickstoffeinträge von 1990 bis 2000

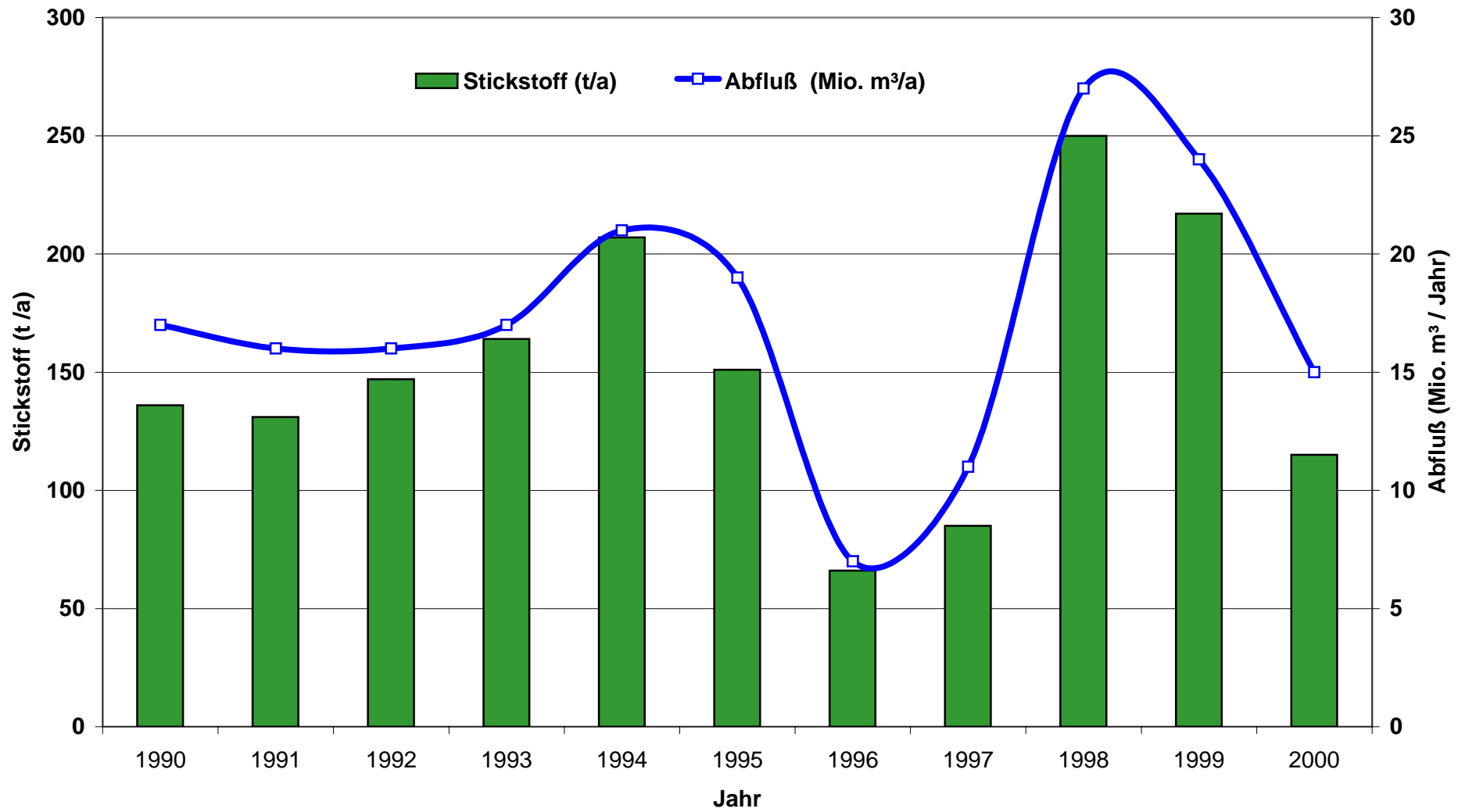


Abb. 18b: Koseler Au: Jährliche Abflußsummen und Phosphoreinträge von 1990 bis 2000

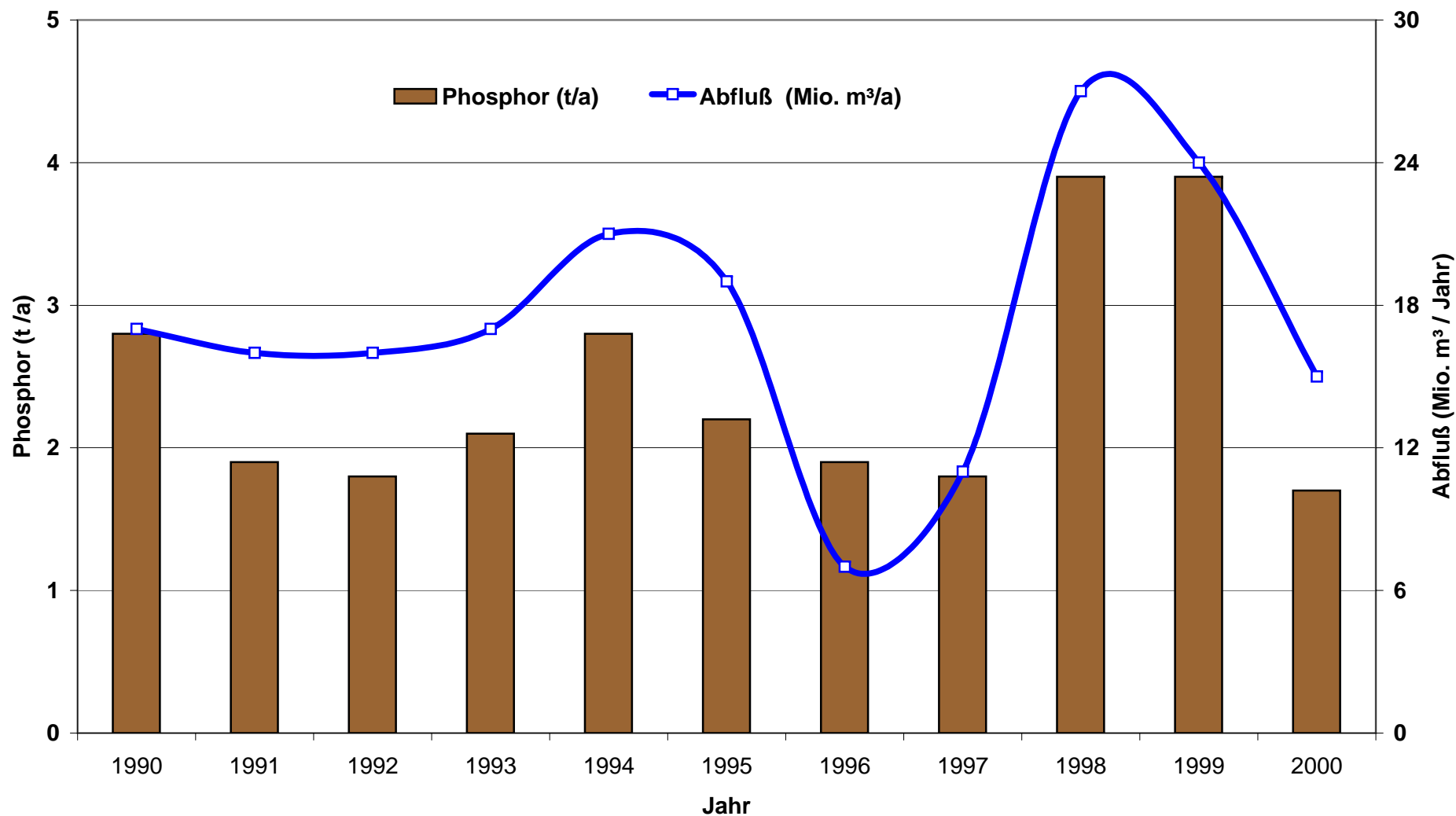


Abb. 19a: Stickstofffracht der Füsinger Au in die innere Schlei 1987 / 1988

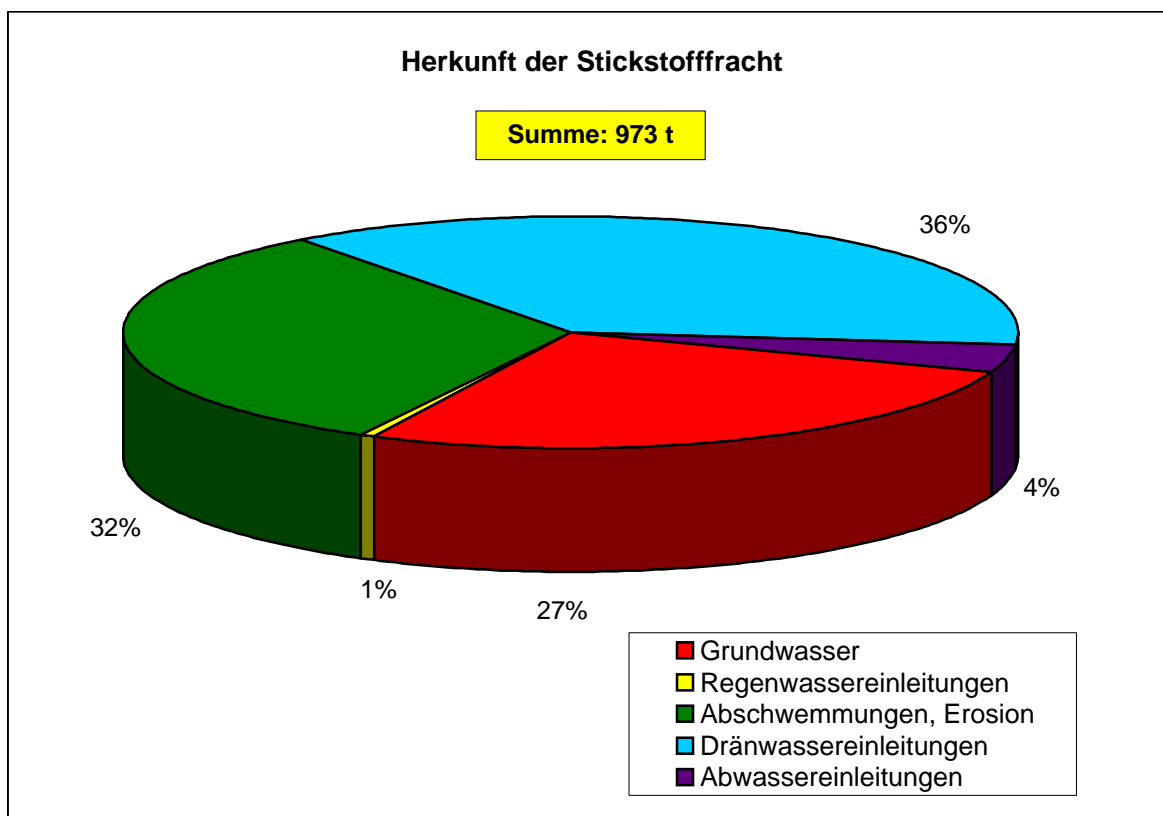


Abb. 19b: Phosphorfracht der Füsinger Au in die innere Schlei 1987 / 1988

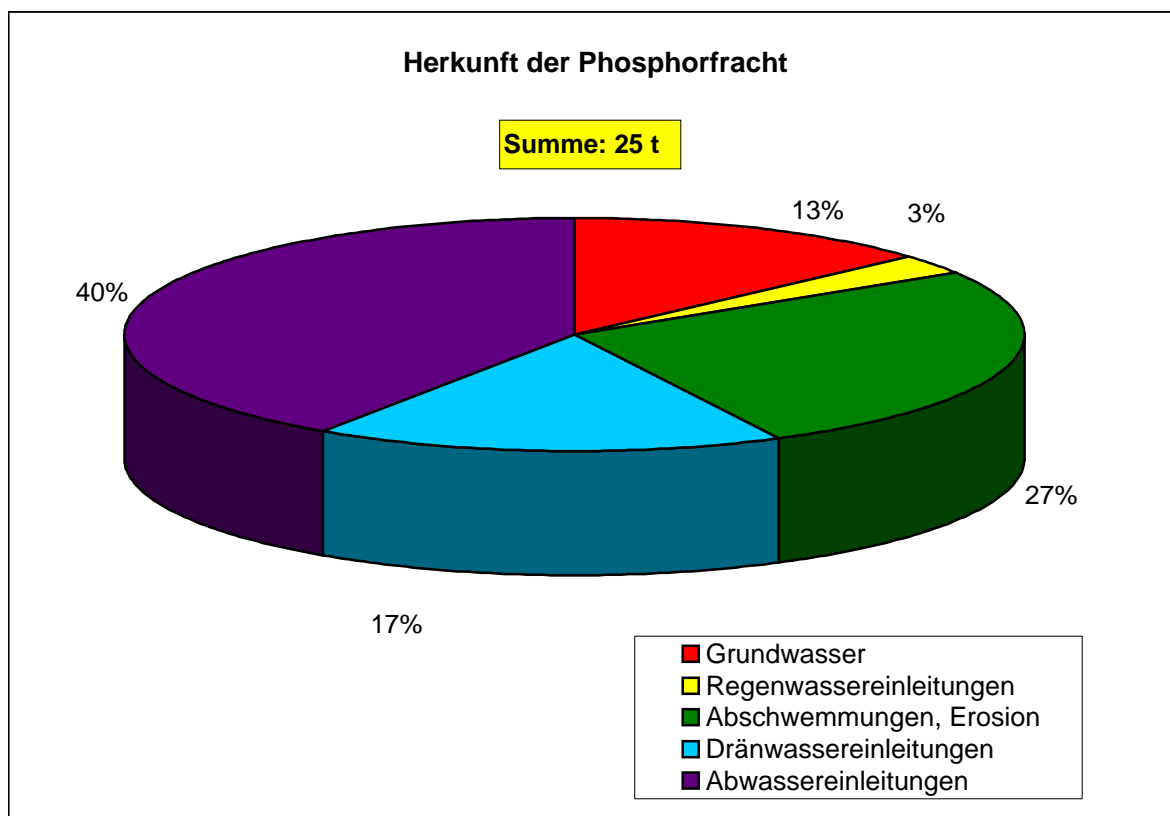
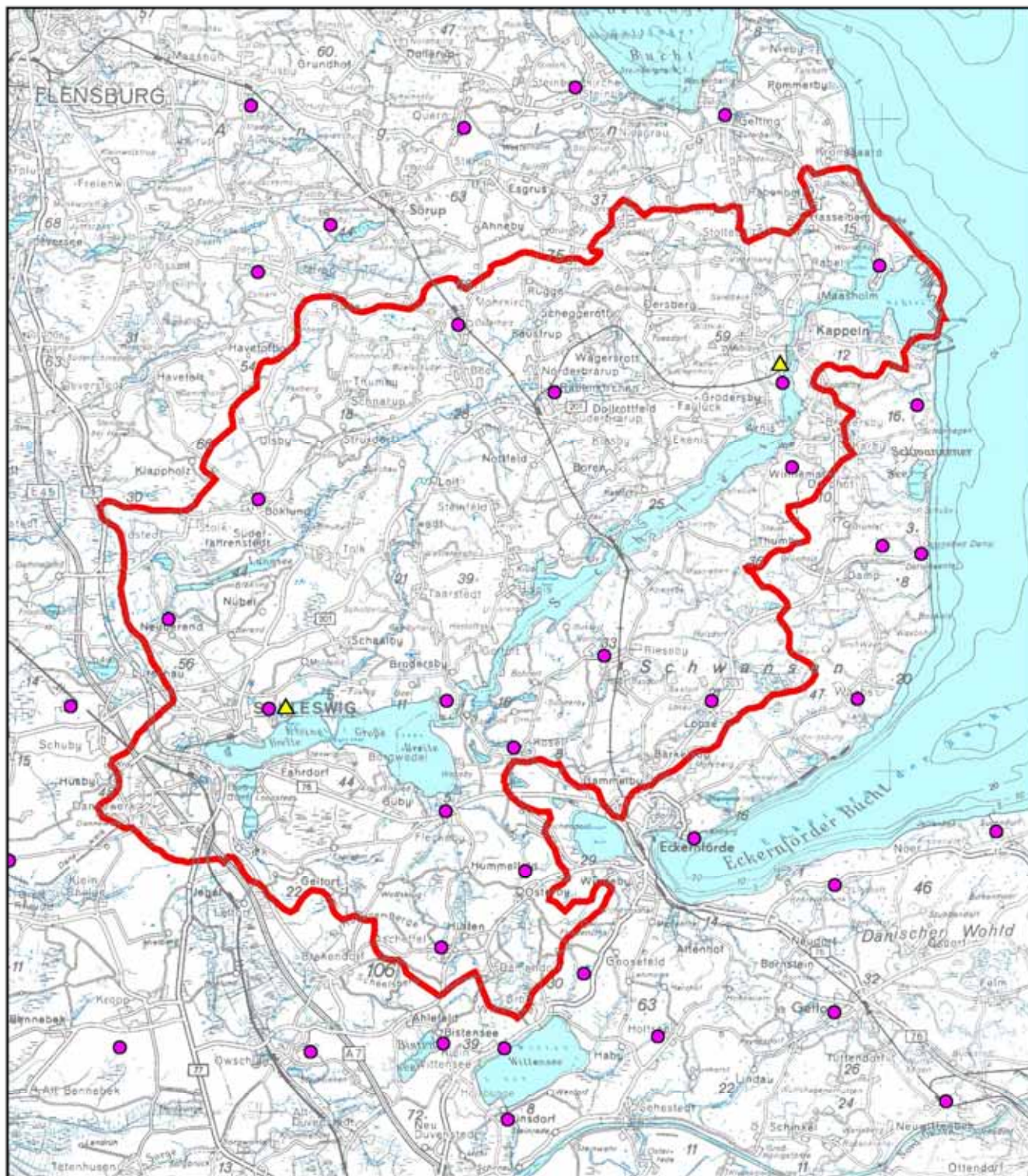


Abb. 20 Kläranlagen im Einzugsgebiet der Schlei



Einzugsgebiet der Schlei     
 ● kommunale Kläranlagen     
 ▲ gewerbliche Kläranlagen



Maßstab: 1 : 250.000



Landesamt für  
 Natur und Umwelt  
 des Landes  
 Schleswig-Holstein

# ***A n h a n g***

Dr. Michael Meyerhöfer  
- Dipl. Biologe -

Frühjahr 1997

## ***BERICHT ÜBER DIE PILOTPHASE DES PROJEKTES***

***Untersuchung des Auftretens und der Verbreitung der Cyanobakterien in der Schlei sowie ihrer Rolle im Hinblick auf die zeitliche Sukzession der Phytoplankton-Gemeinschaften unter Anwendung des Konzeptes von Markerpigment - Analysen mittels HPLC***

In Zusammenarbeit mit

Landesamt für Natur und Umwelt des Landes  
Schleswig-Holstein, Abt. Gewässer, Flintbek

Institut für Meereskunde an der CAU  
Abt. Planktologie, Kiel

Max-Planck-Institut für Limnologie, Plön

Institut für Meereskunde  
- Abteilung Planktologie -

## ***Inhaltsverzeichnis***

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden	1
2.1	Ausfahrten und Untersuchungsgebiet	1
2.2	Filtration und Probenaufbereitung	2
2.3	Kulturen	2
2.4	Pigmentanalysen	2
2.5	Berechnung der Zusammensetzung der Phytoplankton-Gemeinschaften mit Hilfe der Markerpigmente	5
3	Ergebnisse	6
3.1	Kulturen	6
3.2	Schnittfahrt von Schleimünde bis Schleswig-Hafen mit FS „LITTORINA“ vom 4. - 6. Juni 1996	7
3.3	Schnittfahrt von Schleimünde bis Schleswig-Hafen mit MS „HAITHABU“ am 5., 11. und 12. September 1996	9
3.4	Zeitserien	11
4	Bewertung und weitere Planung	13
5	Literaturverzeichnis	15

## 1 Einleitung

Hauptziel der Pilotphase war es, das Konzept der Markerpigmente zur Bestimmung der Zusammensetzung des Phytoplanktons der Schlei zu testen. Ausführliche Hintergrund-Informationen zu diesem Konzept und der Meßtechnik finden sich im Projektantrag, der im Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein vorliegt.

Folgende Aktivitäten wurden für die Pilotphase des Projektes vereinbart:

- Auswertung und Darstellung der während der Schlei-Ausfahrt mit FS LITTORINA im Juni 1996 durchgeführten Messungen sowie der Proben und Messungen von MS HAITHABU im September, November und Dezember 1996
- Analysen der Pigmentzusammensetzung von Monokulturen der in der Schlei dominanten Cyanophycee *Microcystis* sp. Diese Kulturen werden im MPI Plön gehalten. Die Analysen sollten die spezifischen Pigmente von *Microcystis* sp. sowie deren rechnerische Verhältnisse zu Chlorophyll-a ermitteln
- Kalibrierung einer an die in der Schlei vorkommenden Markerpigmente angepaßten HPLC-Routine-Methode
- Verfassung eines Berichtes mit Darstellung aller Ergebnisse

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Ausfahrten und Untersuchungsgebiet

Folgende Daten, die auf Fahrten mit FS LITTORINA und MS HAITHABU in die Schlei im Jahr 1996 erhoben wurden, sind für den vorliegenden Bericht ausgewertet worden (Tab. 1; zur Orientierung siehe Abb. 1):

Tab. 1: Daten und Ausfahrten 1996 (HPLC: Pigmentanalysen, incl. Chlorophyll-a; T: Temperatur; S: Salzgehalt; Se: Secchi-Tiefe; N: Summe Nitrat + Nitrit; P: Phosphat)

SCHIFF	DATUM	STATIONEN	HPLC	T	S	Se	N	P
FS LITTORINA	4. - 6. Juni	Schnittfahrt von Schlei- münde bis zum Hafen von Schleswig	X	X	X	X	X	X
MS HAITHABU	11. September	Schnittfahrt von Schlei- münde bis zum Hafen von Schleswig	X	X	X	X	X	X
MS HAITHABU	18. November	Missunde	X					
MS HAITHABU	9. Dezember	Missunde	X					
MS HAITHABU	14-tägig, ganzes Jahr 1996	Missunde		X			X	X

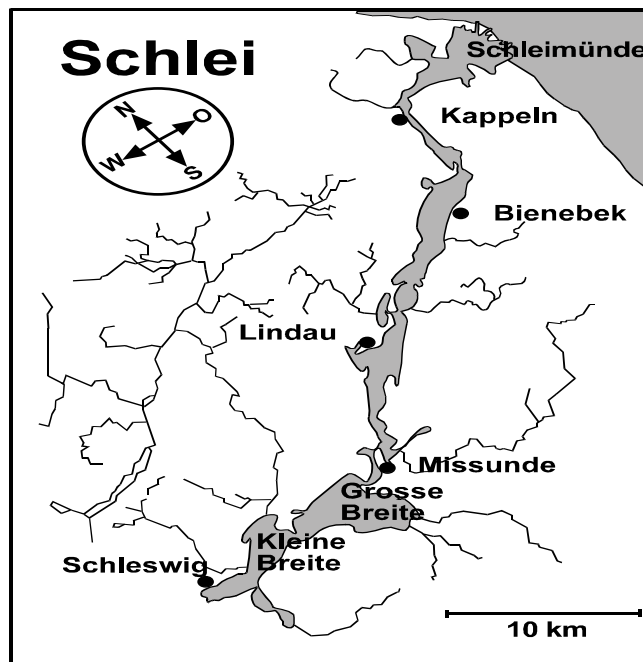


Abb. 1: Karte der Schlei mit den im Text erwähnten Untersuchungsstationen

## 2.2 Filtration und Probenaufbereitung

Die für die Pigmentanalysen bestimmten Wasserproben wurden durch Glasfaser-Filter (WHATMAN GF/F, 25 und 47 mm) filtriert und sofort bei - 20°C tiefgefroren.

## 2.3 Kulturen

Von fünf Kulturen der Cyanophyceae *Microcystis* sp. aus verschiedenen Seen Schleswig-Holsteins wurden die Pigmente mittels HPLC analysiert. Proben dieser Kulturen wurden freundlicherweise von Frau Dr. Barbara Meyer vom Max Planck Institut für Limnologie in Plön zur Verfügung gestellt. Die Filtration erfolgte wie oben beschrieben.

## 2.4 Pigmentanalysen

Zur Extraktion der Pigmente wurden die Probenfilter in Kunststoffröhrchen zusammen mit 3 bis 6 ml Aceton (90%) und Glasperlen (Durchmesser 2 und 4 mm) für 5 Min. geschüttelt (Zellmühle der Fa. Buehler). Sofort danach wurden die Extrakte 15 Min. lang bei 5000 Upm und -10°C zentrifugiert. Diese Vorgehensweise entspricht mit geringen Veränderungen derjenigen von DEHRENBACH (1969).

Chlorophylle, Carotene und Xanthophylle wurden mit der Technik der rp-HPLC (reverse-phase High Performance Liquid Chromatography) analysiert.

Die verwendete HPLC-Anlage besteht aus folgenden Elementen:

- Programmierbare HPLC Pumpe (KONTRON)
- Programmierbarer Autosampler (automatisches Proben-Einspritz-System von WATERS)
- Photo-Dioden-Array Detektor (WATERS); dieser wurde so programmiert, dass während der Aufnahme der Chromatogramme pro Sekunde zweimal ein Spektrum von 380 bis 700 nm Wellenlänge mit einer Auflösung von 1,2 nm aufgenommen wird
- Spektro-Fluorometer (WATERS, Ex.: 440 nm, Em.:  $650 \pm 10$  nm)
- Verschiedenen analytischen RP-HPLC-Trennsäulen, 250 mm Länge, 4,6 mm Durchmesser; für die Methode nach MANTOURA und LLEWELLYN (1983) wurde eine Säule von MACHEREY und NAGEL verwendet, gefüllt mit 5  $\mu$ m Silikatpartikeln (C<sub>18</sub> NUCLEOSIL, end-capped); die Säule für die Vorgehensweise nach VAN HEUKELEM et al. (1994) stammte von VYDAC und war mit polymerisierten C<sub>18</sub> Partikeln gefüllt
- Vorsäule (30 mm Länge) zum Schutz der analytischen Säule
- Heiz- bzw. Kühlsystem für die Konstanthaltung der Säulentemperatur (WATERS; MANTOURA und LLEWELLYN (1983): 30°C; VAN HEUKELEM et al. (1994): 60°C)
- Computer zur Datenaufnahme und Integration der Chromatogramme (hier bei 440 nm)

Die Proben der LITTORINA-Fahrt im Juni wurden noch nach der Methode von MANTOURA und LLEWELLYN (1983) gemessen. Diese Methode hat den Nachteil, die Pigmente Lutein (Marker für Chlorophyceae) und Zeaxanthin (Marker für Cyanophyceae) nicht zu trennen, sie eluieren als ein gemeinsamer Peak. Um den Beitrag von Zeaxanthin zu diesem gemeinsamen Peak zu ermitteln, wurde der Anteil des Luteins über das rechnerische Verhältnis von Chlorophyll-b zu Lutein errechnet und vom Gesamtpeak subtrahiert.

Da gerade die Cyano- und Chlorophyceae die wichtigsten Phytoplankter in der Schlei sind, wurden alle weiteren Proben (HAITHABU) nach einer Methode analysiert, welche die beiden genannten Pigmente trennen kann (VAN HEUKELEM et al. 1994; siehe Abb. 2).

Kalibriert wurden beide Methoden mit reinen Standards. Chlorophyll-a und -b wurden bei SIGMA gekauft, die anderen Pigmente bei der "International Agency for <sup>14</sup>C-Determination" in Dänemark (siehe Tab.2). Weiterhin wurden mit diesen Standards Bibliotheken der spezifischen Absorptions-Spektren (Wellenlängenbereich 380 - 700 nm) erstellt, so dass die Identifizierung der verschiedenen Pigmente mittels ihrer Retentionszeiten und ihrer Absorptions-Spektren durchgeführt werden kann.

Tab. 2: Codierung der verschiedenen Pigmente in den Beispiel-Chromatogrammen sowie Eichwerte für die verwendeten HPLC-Methoden (photometrische Messungen bei 440 nm; Einheit: Pikogramm pro  $1 \mu\text{V} \cdot \text{sec}$  Peakfläche; Faktor A: Methode nach MANTOURA und LLEWELLYN 1983; Faktor B: Methode nach VAN HEUKELEM et al. 1994)

NUMMER	PIGMENT	FAKTOR A	FAKTOR B
1	CHLOROPHYLLIDE-a	-	-
2	CHLOROPHYLL-c3	-	-
3	CHLOROPHYLL-c1+2	0,091	0,112
4	19-BUTANOYL-OXY-FUCOXANTHIN	0,203	0,178
5	FUCOXANTHIN	0,139	0,115
6	19-HEXANOYL-OXY-FUCOXANTHIN	0,191	0,251
7	NEOXANTHIN	0,129	0,140
8	APHANIZOPHYLL	0,377	0,344
9	PRASINOXANTHIN	0,194	0,141
10	VIOLAXANTHIN	0,126	0,099
11	DIADINOXANTHIN	0,123	0,102
12	ALLOXANTHIN	0,107	0,115
13	LUTEIN	0,126	0,109
14	ZEAXANTHIN	0,120	0,115
15	CANTHAXANTHIN	0,193	0,228
16	CHLOROPHYLL-b	0,536	0,578
17	CHLOROPHYLL-a-ALLOMER	0,412	0,297
18	CHLOROPHYLL-a	0,412	0,297
19	CHLOROPHYLL-a-EPIMER	0,412	0,297
20	ECHINENON	0,163	0,178
21	b-CAROTEN	-	-
n.d.	MYXOXANTHOPHYLL	0,378	0,375
n.d.	DIATOXANTHIN	0,124	0,133
n.d.	PERIDININ	0,269	0,211

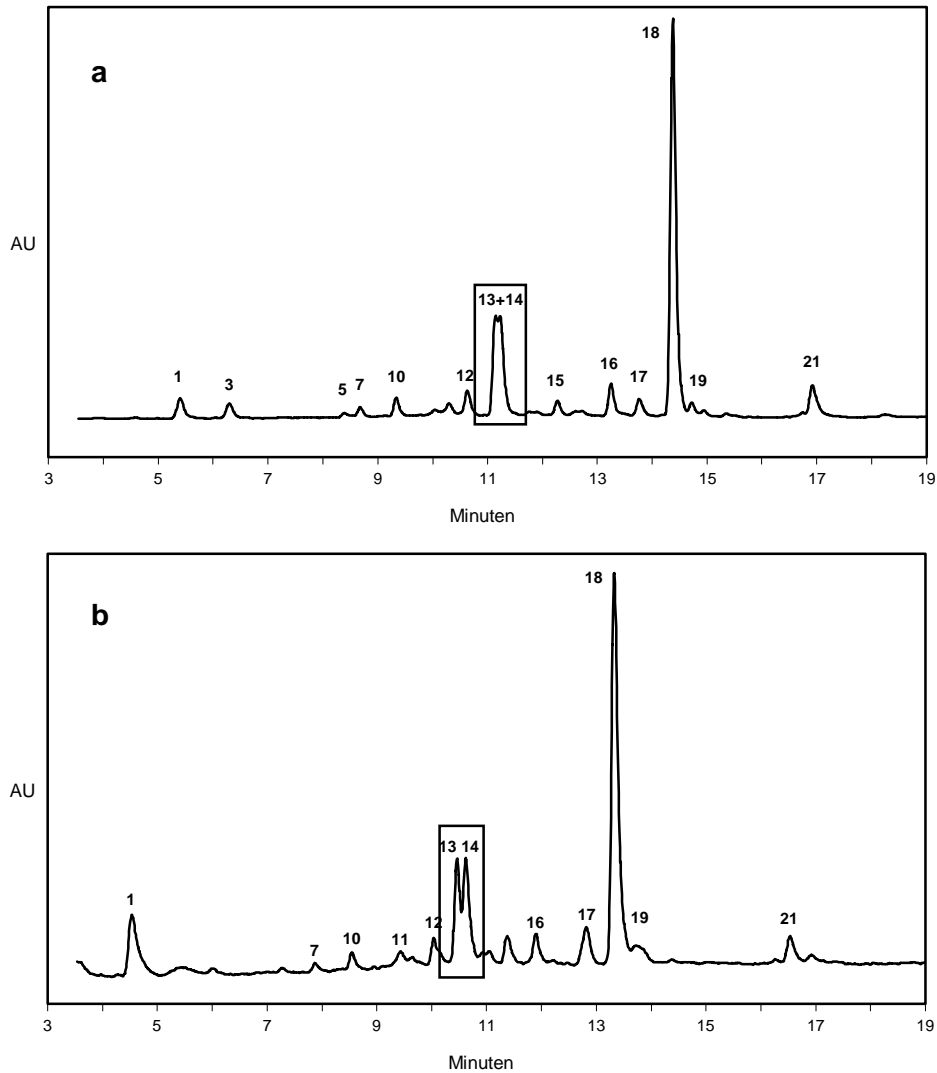


Abb. 2: Vergleich der Trennung der Pigmente Lutein (Peak 13) und Zeaxanthin (Peak 14) am Beispiel zweier Parallelproben aus dem Schleswiger Hafen vom 6. Juni 1996. Abbildung a zeigt ein Chromatogramm nach der Methode von MANTOURA und LLEWELLYN 1983, Abbildung b die Analyse nach VAN HEUKELEM et al. 1994. Zur Identifizierung der anderen Pigmente siehe Tab. 2

## 2.5 Berechnung der Zusammensetzung der Phytoplankton-Gemeinschaften mit Hilfe der Markerpigmente

Die mit HPLC gemessenen absoluten Konzentrationen der Markerpigmente (siehe Tab. 3) wurden mit den entsprechenden Verhältnissen von Chlorophyll-a zu diesen Pigmenten multipliziert (also in Chlorophyll-a-Äquivalente umgerechnet) und addiert. Sodann wurde der prozentuale Anteil einer jeden Klasse am Gesamt-Chlorophyll-a errechnet. Die in Tab.3 aufgeführten Verhältnisse stammen aus Experimenten mit Monokulturen und aus Messungen an Zell- bzw. Kolonie-Isolaten.

Tab. 3: Verhältnisse von Chlorophyll-a zu den Marker-Pigmenten der verschiedenen Phytoplankton-Klassen auf Gewichts-Basis; n = Anzahl der untersuchten Monokulturen und Zell- bzw. Kolonie-Isolate

KLASSE	MARKER PIGMENT	n	VERHÄLTNIS	QUELLEN
BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYLL c1+2	81	5,0 ± 1,8	3, 4, 5, 10, 12, 13
	FUCOXANTHIN	14	1,8 ± 0,5	1b, 4, 5, 10, 12, 13
DINOPHYCEAE	CHLOROPHYLL c2	25	3,9 ± 1,8	2, 4, 13
	PERIDININ	7	2,3 ± 0,5	4, 9, 13
PRYMNESIOPHYCEAE (COCCOLITHOPH.)	CHLOROPHYLL c2+3	2	3,6 ± 0,2	8, 12
	19`- HEXANOYLOXY FUCOXANTHIN	-2	1,1 ± 0,1	8, 12
CRYPTOPHYCEAE	CHLOROPHYLL c1+2	2	4,9	4, 13
	ALLOXANTHIN	4	3,0 ± 1,2	1b, 9, 13
CHRY SOPHYCEAE	CHLOROPHYLL c2+3	7	3,7 ± 0,7	6, 7, 8, 12
	FUCOXANTHIN	9	3,0 ± 1,7	1b, 6, 7, 8, 12
	19`- BUTANOYLOXY FUCOXANTHIN	-10	2,4 ± 1,5	6, 7, 8, 11, 12
CHLOROPHYCEAE	CHLOROPHYLL b	21	2,0 ± 0,5	1a, 11, 13
	LUTEIN	17	5,0 ± 1,8	1a, 13
PRASINOPHYCEAE	CHLOROPHYLL b	3	1,1 ± 0,2	11
	PRASINOXANTHIN	3	3,5 ± 0,6	11
<b>CYANOPHYCEAE</b>				
SYNECHOCOCCUS sp. (Ostsee)	ZEAXANTHIN	1	3,5	13
DIAZOTROPHE (Nodularia sp. Aphanizomenon sp. Anabaena sp. Osts.)	APHANIZOPHYLL	15	6,8 ± 5,3	13
	CANTHAXANTHIN	15	39,3 ± 3,5	13
	ECHINENON	15	9,9 ± 0,6	13
MICROCYSTIS sp. (limnisch, Seen in Schl.-Holst.)	APHANIZOPHYLL	5	23,0 ± 6,9	13
	ECHINENON	5	17,8 ± 2,5	13
	ZEAXANTHIN	5	25,0 ± 8,2	13

**QUELLEN:** 1a: Hager & Stransky 1970a; 1b: Hager & Stransky 1970b; 2: Jeffrey et al. 1975; 3: Carreto & Cartoggio 1976; 4: Vesik & Jeffrey 1977; 5: Owens & Wold 1986; 6: Bjornland et al. 1987; 7: Vesik & Jeffrey 1987; 8: Wright & Jeffrey 1987; 9: Burkill et al. 1987; 10: Stauber & Jeffrey 1988; 11: Hooks et al. 1988; 12: Bidigare 1989; 13: eigene Messungen

Für die Berechnung des Anteils der Cyanophyceae in den Schleioproben wurde auf Zeaxanthin als **Markerpigment** zurückgegriffen, da weder Aphanizophyll noch Canthaxanthin nachgewiesen werden konnten. Bei Anwendung des aus den Plöner Monokulturen von Mic-

rocystis sp. ermittelten Verhältnisses für Zeaxanthin zeigte sich eine starke Überschätzung des tatsächlich gemessenen Chlorophyll-a. Diese Kulturen wurden bei Schwachlicht gehalten, was das hohe Verhältnis von 25,0 erklären könnte. Deshalb wurde für die Berechnungen im vorliegenden Bericht das Verhältnis von Chlorophyll-a zu Zeaxanthin einer unter hoher Lichtintensität gehaltenen Kultur von *Synechococcus* sp. (3,5) verwendet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Kulturen

In den *Microcystis* sp.-Kulturen des MPI Plön wurden von den für Cyanophyceae typischen Pigmenten Aphanizophyll (Apha), Myxoxanthophyll (Myxo), Zeaxanthin (Zeax), Canthaxanthin (Canth) und Echinenon (Echi) nur Apha, Zeax und Echi in ausreichenden Zellkonzentrationen gefunden (siehe Abb. 3 und Tab. 4). Canth konnte nur in einer der Subspecies nachgewiesen werden, Myxo gar nicht. Die relativ geringsten Schwankungen der Verhältnisse von Chlorophyll-a zu den verschiedenen Markerpigmenten zeigte Echi, gefolgt von Apha und Zeax.

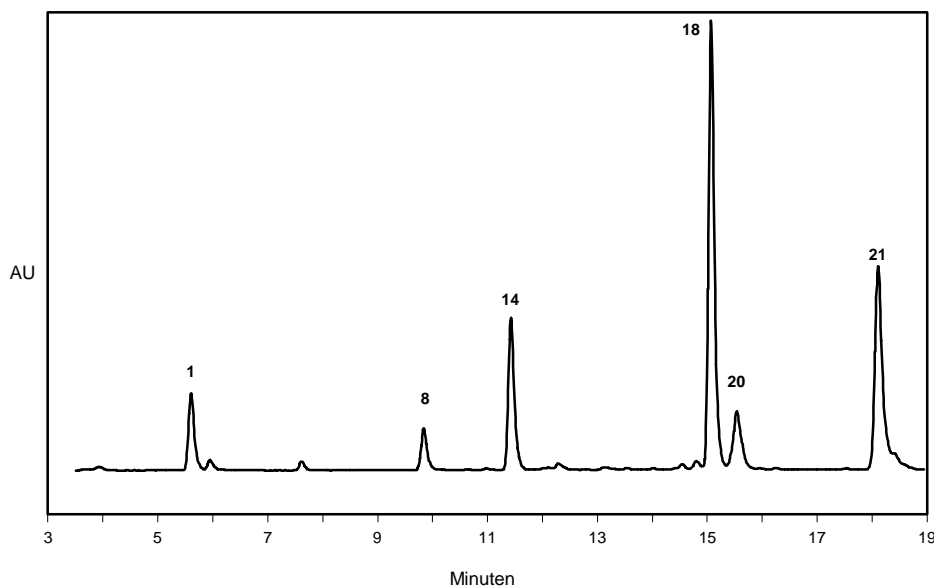


Abb. 3: Beispiel-Chromatogramm für *Microcystis* sp.; zur Identifizierung der Pigmente siehe Tab. 2

Tab. 4: Verhältnisse von Chlorophyll-a zu den spezifischen Pigmenten von *Microcystis* sp. (APHA: Aphanizophyll, MYXO: Myxoxanthophyll, ZEAX: Zeaxanthin, CANTH: Canthaxanthin, ECHI: Echinenon)

APHA	MYXO	ZEAX	CANTH	ECHI
11,4	n.d.	10,0	291,0	13,7
31,9	n.d.	30,1	n.d.	21,2
23,4	n.d.	24,4	n.d.	16,8
27,5	n.d.	26,5	n.d.	19,2
20,8	n.d.	33,9	n.d.	18,0

### 3.2 Schnittfahrt von Schleimünde bis Schleswig-Hafen mit FS „LITTORINA“ vom 4. - 6. Juni 1996

Die Oberflächenwerte von Temperatur und Salzgehalt zeigten einen gegensätzlichen Trend (Abb. 4): Von Schleimünde bis zum Hafen von Schleswig nahm der Salzgehalt um mehr als 6 psu ab (von über 13 auf unter 7 psu), während die Temperatur um mehr als 6°C von unter 12°C auf über 18°C zunahm. Phosphat und die Summe von Nitrat und Nitrit nahmen auf diesem Schnitt zu, wobei sich besonders die Konzentrationen von Phosphat erheblich erhöhten (von 0,04 auf 2,6 µmol, Abb. 4). Sichttiefe und Phytoplankton-Biomasse (ausgedrückt als Chlorophyll-a) zeigten einen inversen Trend (Abb. 4): Während die Sichttiefe von 7 auf 0,75 m abnahm, erhöhten sich die Chlorophyll-a Konzentrationen drastisch von 1,7 auf 80,2 µg·l<sup>-1</sup>.

Die über die Markerpigmente berechneten Zusammensetzungen der verschiedenen Phytoplankton-Gemeinschaften zeigten große Unterschiede zwischen Schleimünde und innerer Schlei (Abb. 5, unten): Bei Schleimünde setzte sich die Gemeinschaft aus Diatomeen (34% vom Gesamt-Chlorophyll-a), Chlorophyceae (27%), Prymnesiophyceae (18%), Chrysophyceae (15%) und Cryptophyceae (6%) zusammen. Cyanophyceae und pigmentierte Dinoflagellaten konnten nicht nachgewiesen werden. Schon bei Kappeln fehlten Prymnesio- und Chrysophyceae und die Diatomeen hatten ihren Anteil halbiert. Als dominante Klasse waren hier mit 42% die Cyanophyceae vertreten. Bis vor den Hafen von Schleswig erhöhte diese Klasse ihren Anteil auf über 60%, während die Diatomeen auf unter 2 % abnahmen. Zweitwichtigste Gruppe in der Schlei waren die Chlorophyceae (zwischen 23 und 40%), gefolgt von Cryptophyceae (5 bis 9%).

Zur Veranschaulichung sind in Abb. 5 die HPLC-Chromatogramme von Schleimünde und Schleswig-Hafen gegenübergestellt. Bei Schleimünde dominieren die Pigmente Fucoxanthin (Peak Nr. 5, Diatomeen), 19-Butanoyl-oxy-Fucoxanthin (Peak Nr. 4, Chrysophyceae), 19-Hexanoyl-oxy-Fucoxanthin (Peak Nr. 6) sowie die diesen Gruppen gemeinsamen Pigmente Chlorophyll-c1+2 und Diadinoxanthin (Peaks Nr. 3 und 11). In der Probe aus dem Hafen bei Schleswig sind diese Pigmente entweder nur noch in geringsten Mengen oder gar nicht mehr enthalten. Dominant sind dagegen Zeaxanthin und Lutein (Mischpeak 13+14, Cyano- und Chlorophyceae).

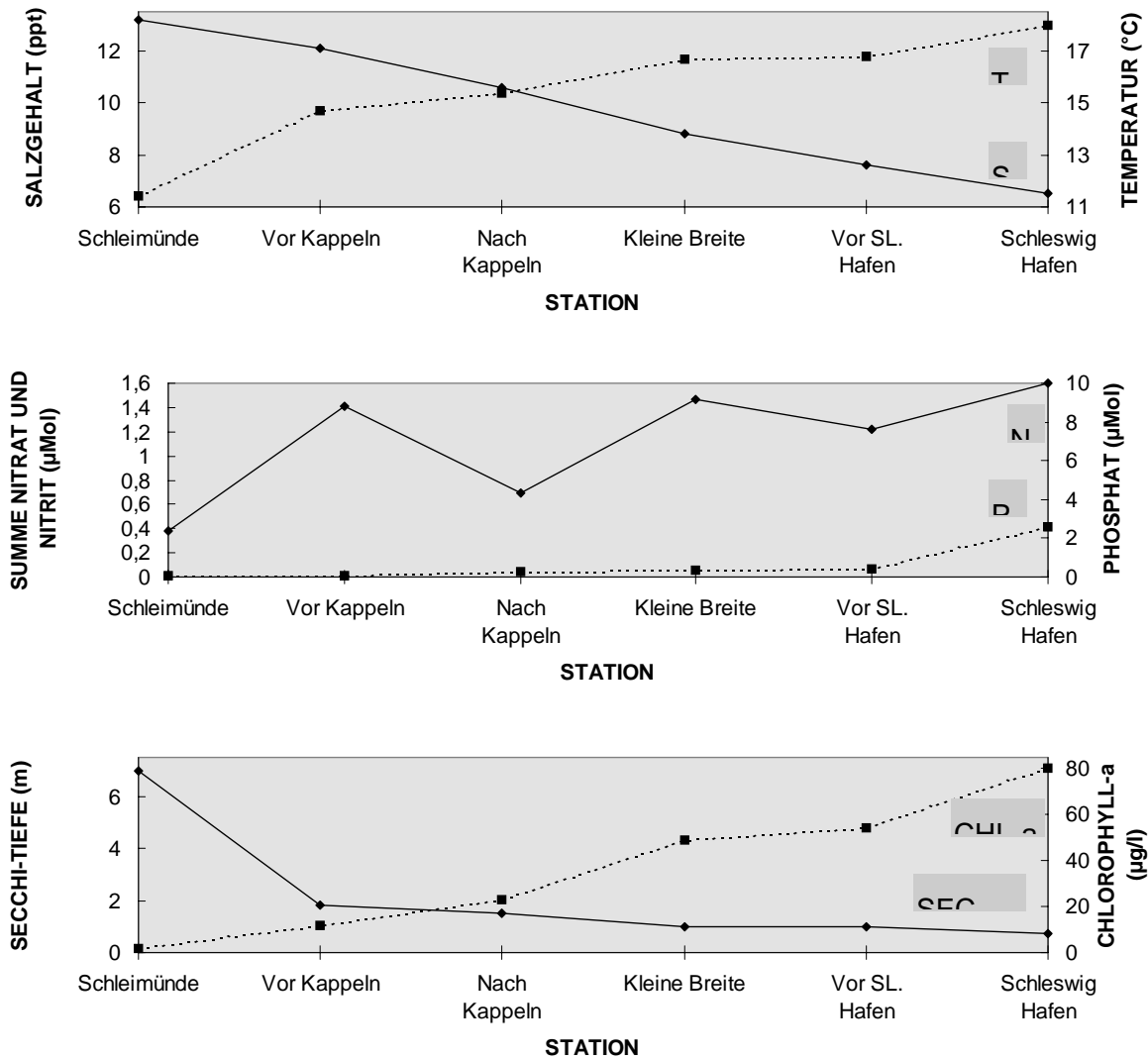


Abb. 4: Trends von Temperatur und Salzgehalt (oben), Phosphat und Summe von Nitrat und Nitrit (Mitte) und Chlorophyll-a und Sichttiefe auf einem Schnitt von Schleimünde bis zum Hafen von Schleswig im Juni 1996

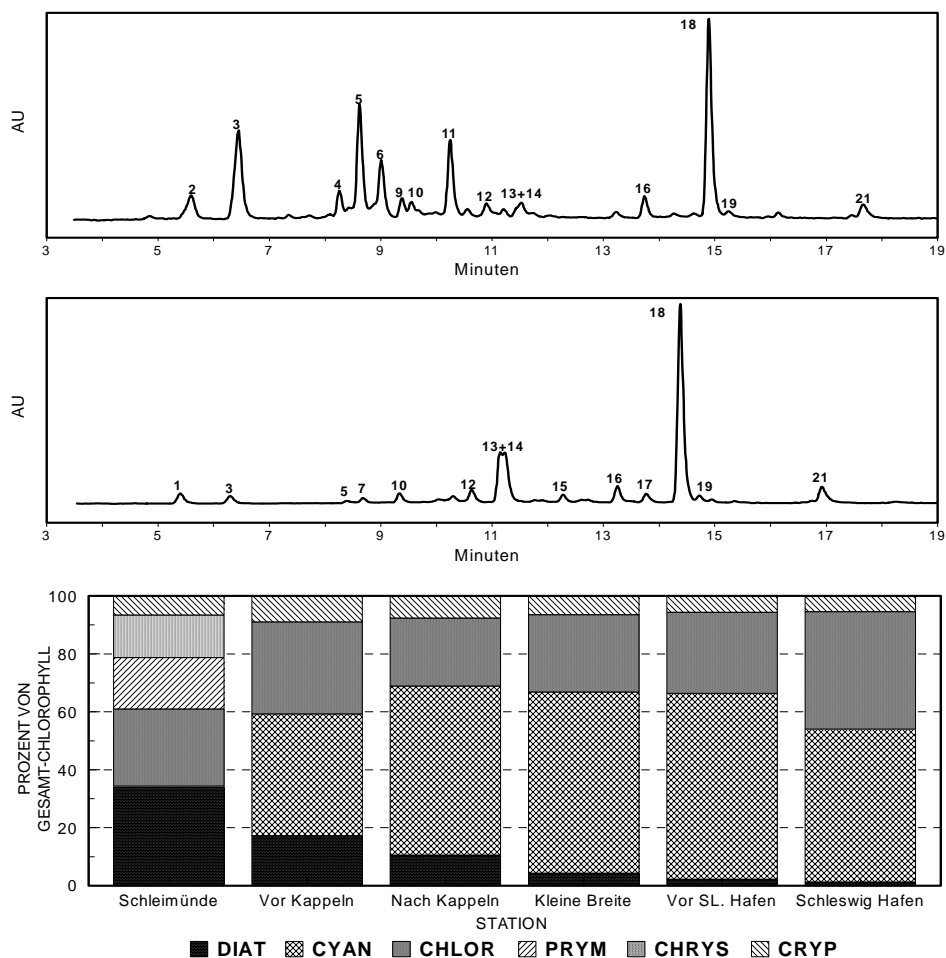


Abb. 5: Vergleich der Chromatogramme von Schleimünde (oben) und Schleswig-Hafen (Mitte) vom Juni 1996 sowie die über die Markerpigmente ermittelten Populationszusammensetzungen des Phytoplanktons auf einem Schnitt von Schleimünde bis zum Hafen von Schleswig im Juni 1996; zur Identifizierung der Pigmente siehe Tab. 2; DIAT: Diatomeen, CYAN: Cyanophyceae, CHLOR: Chlorophyceae, PRYM: Prymnesiophyceae, CHRYS: Chrysophyceae, CRYP: Cryptophyceae

### 3.2 Schnitffahrten von Schleimünde bis Schleswig-Hafen mit MS „HAITHABU“ am 5., 11. und 12. September 1996

Während weder Temperatur noch Salzgehalt so ausgeprägte Trends wie im Juni zeigten, verhielten sich Phosphor und Sichttiefe fast gleich (vergl. Abb. 6 und Abb. 4). Die Summe aus Nitrat und Nitrit dagegen zeigte, dass diese beiden Nährsalze im Vergleich zum Juni fast „aufgebraucht“ waren.

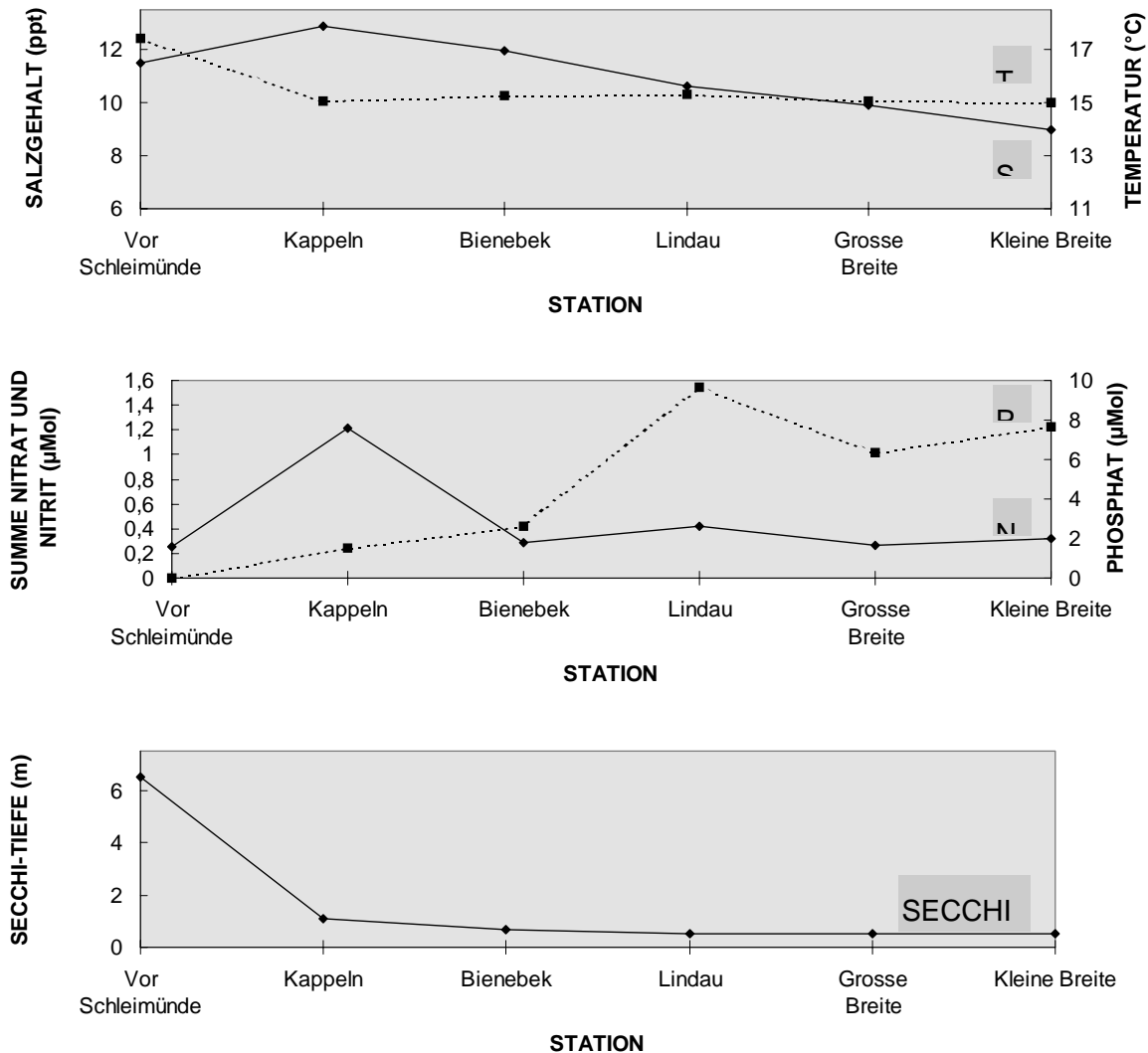


Abb. 6: Trends von Temperatur und Salzgehalt (oben), Phosphat und Summe von Nitrat und Nitrit (Mitte) und Sichttiefe (unten) auf einem Schnitt von Schleimünde bis zum Hafen von Schleswig im September 1996

Chlorophyll-a zeigte einen ähnlichen Verlauf wie im Juni (Abb. 7): Eine relativ geringe Konzentration von  $1,4 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  wurde an der Station vor Schleimünde gemessen. Mit fast  $50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  konnten allerdings vor dem Schleswiger Hafen ähnliche Werte wie im Juni gemessen werden.

Große Unterschiede zur Situation im Juni zeigte dagegen die Zusammensetzung des Phytoplanktons an der Station vor Schleimünde (Abb. 7): Diatomeen spielten mit 7% vom Gesamt-Chlorophyll-a nur noch eine untergeordnete Rolle. Zu dieser Jahreszeit waren die Cyanophyceae mit 51% die dominante Klasse, gefolgt von Chlorophyceae (20%) und Dinoflagellaten (17%). Prymnesio- und Cryptophyceae trugen nur insgesamt 5% bei. Innerhalb der Schlei fehlten pigmentierte Dinoflagellaten und Prymnesiophyceae, die Diatomeen behielten ihre geringe Bedeutung. Die Cyanophyceae dagegen erhöhten ihren Anteil auf bis zu 70%, waren also noch stärker vertreten als im Juni. Die zweitwichtigste Gruppe war -wie schon im Juni- die der Chlorophyceae mit Beiträgen zwischen 15 und 21%.

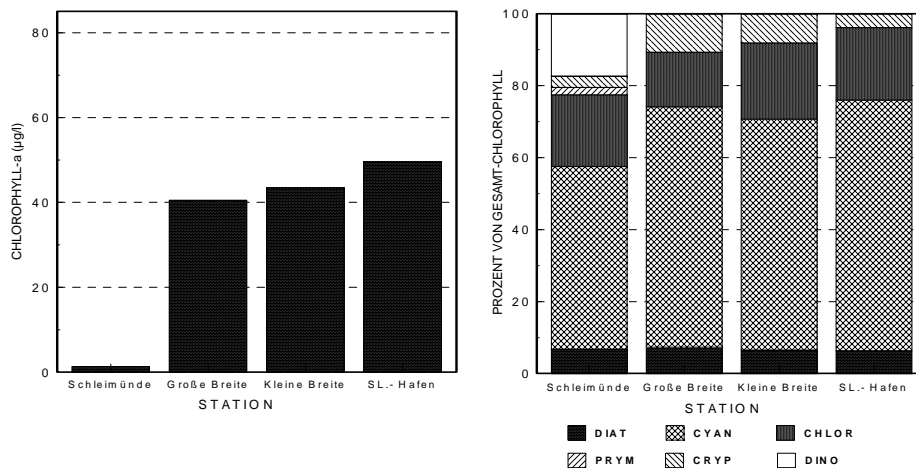


Abb. 7: Trend der Konzentrationen von Chlorophyll-a (links) sowie die über die Markerpigmente ermittelten Populationszusammensetzungen (rechts) des Phytoplanktons auf einem Schnitt von Schleimünde bis zum Hafen von Schleswig im September 1996

### 3.3 Zeitserien

In Abb. 8 sind Biomasse (Chlorophyll-a) und Zusammensetzung der Gemeinschaften des Phytoplanktons in der inneren Schlei als Zeitserie in der Nähe von Missunde dargestellt. Die höchste Konzentration von Chlorophyll-a wurde im September gemessen, die niedrigste im November. Der Vergleich der Zusammensetzung der Gemeinschaften des Phytoplanktons zeigt ausgeprägte Trends: Die Cyanophyceae nahmen in ihrem Beitrag zum Gesamt-Chlorophyll-a von 58% im Juni und 66% im September auf 25% im November ab und waren im Dezember nicht mehr nachzuweisen. Demgegenüber erhöhte sich gleichzeitig der Anteil der Chlorophyceae von Werten um 20% auf über 60%. Die Cryptophyceae vervierfachten ihren Beitrag von 7 auf 28%. Diatomeen zeigten keinen eindeutigen Trend, blieben aber auf relativ niedrigem Niveau. Ab November traten auch Dinophyceae auf.

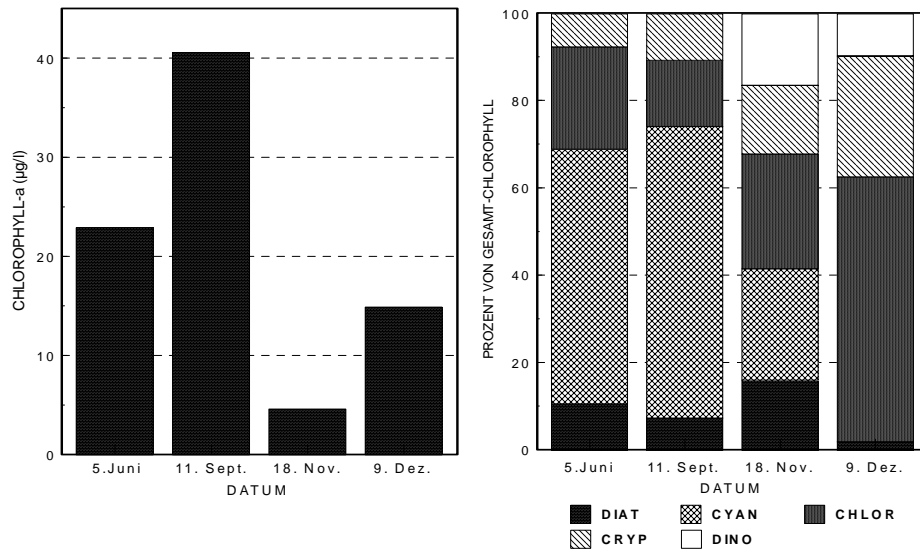


Abb. 8: Chlorophyll-a (links) und Zusammensetzung der Gemeinschaften des Phytoplanktons (rechts) in der Schlei zu verschiedenen Jahreszeiten.

In Abb. 9 sind die Entwicklungen von Temperatur (T), Phosphat (PO<sub>4</sub>) und der Summe von Nitrat und Nitrit (NO<sub>2</sub>/NO<sub>3</sub>) über das ganze Jahr 1996 bei Missunde dargestellt. Der Beginn der Vegetationsperiode ist an der starken Abnahme von NO<sub>2</sub>/NO<sub>3</sub> und PO<sub>4</sub> und der Zunahme der Temperatur ab Anfang März zu erkennen. Schon Mitte März war PO<sub>4</sub> an der Nachweisgrenze, während NO<sub>2</sub>/NO<sub>3</sub> erst Ende Mai „verbraucht“ war. Ab diesem Zeitpunkt wurde allerdings PO<sub>4</sub> wieder in die Wassersäule eingetragen, aufgrund von Remobilisierung aus dem Sediment bei anoxischen Verhältnissen zwischen Juni und September / Oktober. Nach dem Verbrauch dieses Phosphor-Reservoirs und mit absinkender Temperatur und damit verbundener Durchmischung wurden wieder remineralisierte Nährsalze in die Wassersäule gebracht.

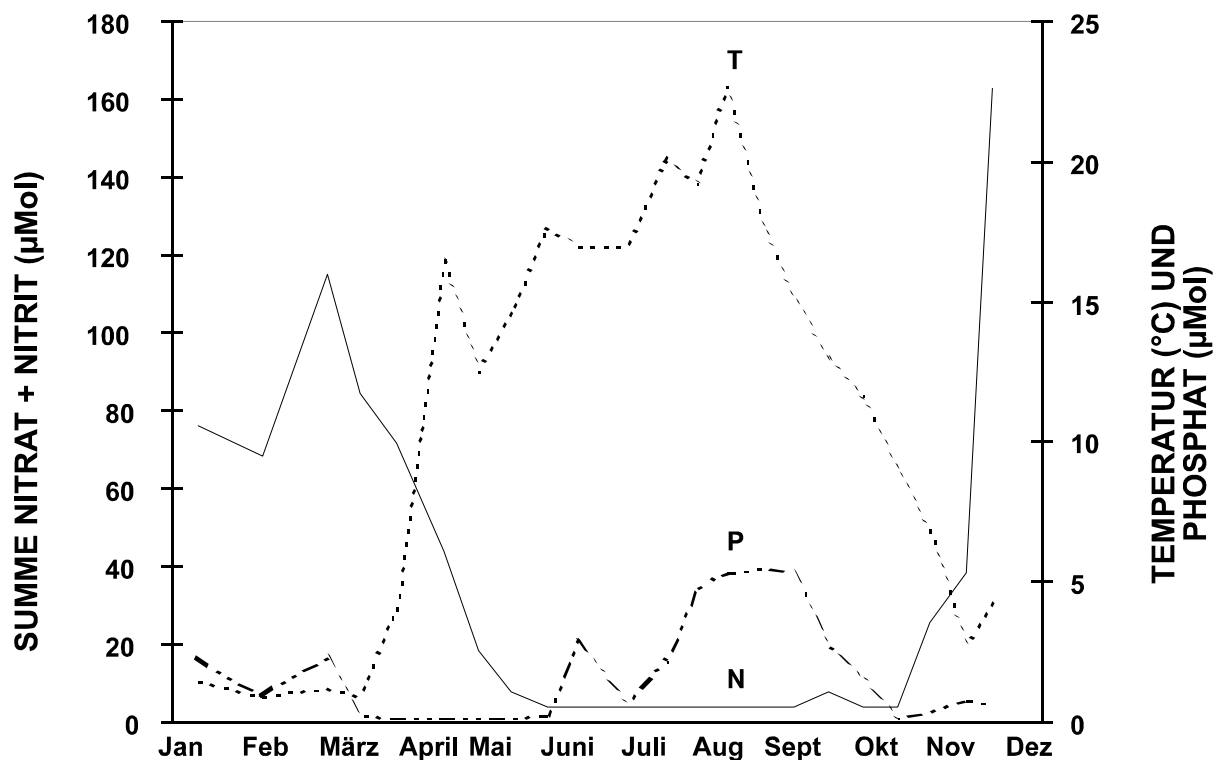


Abb. 9: Jahresgänge von Temperatur (T), Phosphat (PO<sub>4</sub>) und der Summe aus Nitrat und Nitrit (NO<sub>2</sub>/NO<sub>3</sub>) bei Missunde im Jahr 1996. Diese Daten stammen von der durchschnittlich 14-tägigen Probennahme auf MS „HAITHABU“

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die ermittelten Zusammensetzungen der Gemeinschaften des Phytoplanktons (Abb. 8), schienen hauptsächlich die Cyanophyceae von den für andere Phytoplankter ungünstigen sommerlichen Nährsalzverhältnissen zu profitieren. Möglicherweise können diese Organismen andere Stickstoffquellen (Ammonium, Harnstoff und Aminverbindungen) besser verwerten als die übrigen Phytoplankter. Erst nach September und nach der Zumischung von neuem N verloren die Cyanophyceae ihre Dominanz und eukaryontische Phytoplankter wie Chloro-, Crypto- und Dinophyceae gewannen an Bedeutung.

Sehr ähnliche Verhältnisse fand FEIBICKE (1994) mit mikroskopischen Zählungen und Feuchtgewicht-Bestimmungen während seiner Untersuchungen im Jahr 1983 am Schleswiger Hafen: Im Juni dominierten Cyano- und Chlorophyceae die Phytoplanktongemeinschaft, gefolgt von Diatomeen und Cryptophyceae, im September fanden sich fast ausschließlich Cyanophyceae mit geringem Anteil von Diatomeen.

## **4 Bewertung und weitere Planung**

Die Verwendung von HPLC-Analysen der spezifischen Pigmente (Markerpigmente) der einzelnen Phytoplanktonklassen zur Ermittlung der quantitativen Zusammensetzung von Algen-gemeinschaften ist heutzutage ein weitverbreitetes Werkzeug in der aquatischen Ökologie (siehe z.B. den Übersichts-Artikel von MILLIE et al. 1993).

In der Pilotphase sollte dieser Ansatz auf seine Anwendbarkeit auf die speziellen Gegebenheiten in der Schlei getestet werden. Die erzielten Ergebnisse weisen eine gute Vergleichbarkeit mit den umfassenden ökologischen Schlei-Untersuchungen von FEIBICKE (1994) auf, der mit mikroskopischen Methoden arbeitete.

Die Bestimmung der Zusammensetzung der Gemeinschaften des Phytoplanktons mit mikroskopischen Methoden stellt in der Schlei ein besonderes Problem dar: Die über den größten Teil des Jahres dominante Cyanophycee *Microcystis* sp. bildet in Schleim gehüllte Kolonien, deren Einzelzellen optisch nur unter großem Zeitaufwand ausgezählt werden können. Hier zeigt sich einer der Vorteile der Pigment-gestützten Bestimmung der Biomasse. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, auch kleinste Phytoplankter mit erfassen zu können. Außerdem werden die Wasserproben nur filtriert und tiefgefroren, unbeschulte Phytoplankter bleiben also - im Gegensatz zur Konservierung von Wasserproben für die mikroskopische Zählung - weitgehend intakt.

An dieser Stelle sollen einige Vorschläge zur Erweiterung bzw. Änderung des im Projektantrag geplanten Programmes für die Hauptphase gemacht werden:

1. Wasserproben für die HPLC-Analyse sollten auch bei der 14-tägigen Probennahme von MS „HAITHABU“ bei Missunde genommen werden. Dies ergäbe einen äußerst aussagekräftigen Datensatz über die jahreszeitliche Sukzession der Gemeinschaften des Phytoplanktons. Besonders, da zur gleichen Zeit auch alle anderen wichtigen Parameter wie Nährsalze, Sichttiefe, Temperatur etc. gemessen werden.
2. Auf den routinemäßigen Schnittfahrten werden die fünf Stationen Schleimünde, Bienebek, Lindholm, Große Breite und Kleine Breite an. Es wäre interessant, auch Proben dieser Stationen zu untersuchen.
3. Die zur Bestimmung der Markerpigmente und deren Verhältnisse zu Chlorophyll-a analysierten Kulturen von *Microcystis* sp. vom MPI in Plön haben zwei Nachteile: Erstens stammen sie nicht aus der Schlei, sondern aus Seen, sind also Süßwasser-Subspecies und zweitens wurden sie bei niedriger Lichtintensität gehalten. Deshalb sollten während der Hauptphase Kulturen von *Microcystis* sp. aus der Schlei unter verschiedenen Licht- und Nährsalz-Bedingungen gehalten werden um spezifischere Chlorophyll-a zu Markerpigment-Verhältnisse zu erhalten.

In diesem Zusammenhang bieten sich zwei weitere Lösungsmöglichkeiten an: Da *Microcystis* sp. Gasvakuolen besitzt, ist ihre Trennung von den anderen Phytoplanktern in natürlichen Wasserproben durch Auftreiben möglich. Messungen an diesem - aufgetriebenen - Material liefern sehr verlässliche Chlorophyll-a zu Pigment-Verhältnisse. Die zweite Möglichkeit ist die Größen-fraktionierende Filtration. Dieser Ansatz wurde während der Pilotphase getestet, stellte sich aber wegen der Schleimbildung von *Microcystis* sp. als unbrauchbar heraus (Daten nicht gezeigt).

Die neueste Entwicklung auf dem Gebiet der chemischen Taxonomie ist das auf Pigmentmessungen begründete Berechnungs-Modell "CHEMTAX", das von MACKEY et al. (1996) und WRIGHT et al. (1996) entwickelt wurde. Der große Fortschritt, den dieses Modell bietet, ist erstens, dass in die Berechnung der Populations-Zusammensetzungen auch die Bandbreite der möglichen Schwankungen der Pigmentverhältnisse eingehen. Zweitens können auch Pigmente herangezogen werden, die in mehr als nur einer Klasse von Phytoplanktern vorkommen. Das Computerprogramm für die Anwendung dieses Modells ist bestellt und soll bei den Schleiuntersuchungen angewendet werden.

## 5 *Literaturverzeichnis*

BIDIGARE R.R. (1989) Photosynthetic pigment composition of the brown tide alga: unique chlorophyll and carotenoid derivatives. *Coastal and Estuarine Studies* **35**: 57-75

BJORNLAND T., C. PEREIRA, S. LIAAEN-JENSEN, R.R.L. GUILLARD und R.R. BIDIGARE (1987) Pigment distribution patterns in oceanography: Carotenoids of the microflagellate MC-1. Abstr. 8th Int. IUPAC Symposium on Carotenoids, Boston: 39

BURKILL P.H., R.F.C. MANTOURA, C.A. LLEWELLYN und N.J.P. OWENS (1987) Microzooplankton grazing and selectivity of phytoplankton in coastal waters. *Marine Biology* **93**: 581-590

CARRETO J.I. und J.A. CARTOGGIO (1976) Variations in pigment content of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* during growth. *Marine Biology* **36**: 105-112

DERENBACH J. (1969) Zur Homogenisation des Phytoplanktons fuer die Chlorophyllbestimmung. *Kieler Meeresforschungen* **XXV (1)**: 166-171

FEIBICKE M. (1994) Strukturelle und funktionelle Studien zum Phytoplankton und Zooplankton in einer hypertrophen Brackwasserförde (Innere Schlei, Westliche Ostsee) *Dissertationes Botanicae*, J. CRAMER, Berlin, Stuttgart: 56

HAGER A. und H. STRANSKY (1970a) Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen - III. Grünalgen. *Arch. Mikrobiol.* **72**: 68-83

HAGER A. und H. STRANSKY (1970b) Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen - V. Einzelne Vertreter der Cryptophyceae, Euglenophyceae, Bacillariophyceae, Chrysophyceae und Phaeophyceae. *Arch. Mikrobiol.* **73**: 77-89

HOOKS C.E., R.R. BIDIGARE, M.D. KELLER und R.R.L. GUILLARD (1988) Coccoid eukaryotic marine ultraplankters with four different HPLC pigment signatures. *J. Phycol.* **24**: 571-580

JEFFREY S.W., M. SIELICKI und F.T. HAXO (1975) Chloroplast pigment patterns in dinoflagellates. *J. Phycol.* **11**: 374-384

MACKEY M.D., D.J. MACKEY, H.W. HIGGINS and S.W. WRIGHT (1996) CHEMTAX - a program for estimating class abundances from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **144**: 265-283

MANTOURA R.F.C. und C.A. LLEWELLYN (1983) The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography. *Analyt. Chim. Acta* **151**: 297-314

MILLIE D.F., H.W. PAERL and J.P. HURLEY (1993) Microalgal Pigment Assessments Using High-Performance Liquid Chromatography: A Synopsis of Organismal and Ecological Applications. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **50**: 2513-2527

OWENS T.G. und E.R. WOLD (1986) Light-harvesting function in the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. I. Isolation and characterization of pigment-protein complexes. *Plant. Physiol.* **80**: 732-738

STAUBER J.L. und S.W. JEFFREY (1988) Photosynthetic pigments in fifty-one species of marine diatoms. *J. Phycol.* **24**: 158-172

VAN HEUKELEM L., A.J. LEWITUS, T.M. KANA und N.E. CRAFT (1994) Improved separations of phytoplankton pigments using temperature-controlled high performance liquid chromatography. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **114**: 303-313

VESK M. und S.W. JEFFREY (1977) Effect of blue-green light on photosynthetic pigments and chloroplast structure in unicellular marine algae from six classes. *J. Phycol.* **13**: 280-288

VESK M. und S.W. JEFFREY (1987) Ultrastructure and Pigments of two strains of the picoplanktonic alga *Pelagococcus subviridis* (Chrysophyceae). *J. Phycol.* **23**: 322-336

WRIGHT S.W., D.P. THOMAS, H.J. MARCHANT, H.W. HIGGINS, M.D. MACKEY and D.J. MACKEY (1996) Analysis of phytoplankton of the Australian sector of the Southern Ocean: comparisons of microscopy and size frequency data with interpretations of pigment HPLC data using the "CHEMTAX" matrix factorisation program. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **144**: 285-298

WRIGHT S.W. und S.W. JEFFREY (1987) Fucoxanthin pigment markers of marine phytoplankton analyzed by HPLC and HPTLC. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **38**: 259-266