

**Biogeochemie der Schwebstofffracht der Donau
und deren Einfluß auf das
Sedimentationsgeschehen im nordwestlichen
Schwarzen Meer**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften
im Fachbereich Geowissenschaften
der Universität Hamburg

vorgelegt von
Stephan Reschke
aus Lahr/Schwarzwald

Hamburg
im April 1999

Als Dissertation angenommen vom Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg auf Grund der Gutachten von Prof. Dr. V. Ittekkot
und Dr. B. Gaye

Hamburg, 30. Juni 1999

Prof. Dr. U. Bismayer
Dekan
des Fachbereichs Geowissenschaften

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Das Untersuchungsgebiet	7
2.1	Donau.....	7
2.2	Schwarzes Meer.....	10
3	Zielsetzung	17
4	Methoden	18
4.1	Beprobung.....	18
4.1.1	Donau.....	18
4.1.1.1	Schwebstoffe	18
4.1.1.2	Sedimente.....	20
4.1.2	Schwarzes Meer.....	21
4.1.2.1	Sedimente.....	21
4.1.2.2	Das Sedimentfallenexperiment	23
4.2	Analytik.....	25
4.2.1	Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff.....	25
4.2.2	Karbonat und organischer Kohlenstoff.....	25
4.2.3	Biogenes Opal.....	26
4.2.4	Lithogenes Material	26
4.2.5	Aminosäuren und Aminosäure Zucker	27
4.2.6	Zucker	28
4.2.7	Stickstoffisotope	29
4.2.8	Blei- und Cäsiumisotope	30
5	Ergebnisse und Diskussion	31
5.1	Der Schwebstofftransport in der Donau.....	31
5.1.1	Schwebstoffkonzentrationen.....	31
5.1.2	Partikulärer organischer Kohlenstoff.....	32
5.1.3	Lokale und saisonale Variabilität	32
5.1.4	Beziehung zwischen Schwebstoffkonzentration und partikulärem organischen Kohlenstoff.....	34
5.1.5	Zusammensetzung der organischen Substanzen	35
5.1.5.1	Aminosäuren- und Aminosäurekonzentrationen.....	35
5.1.5.2	Zuckerkonzentrationen.....	36
5.1.5.3	Anteile der Aminosäuren, Aminosäure Zucker und Zucker am partikulären organischen Kohlenstoff.....	36
5.1.5.4	Anteile der Aminosäuren und Aminosäure Zucker am partikulären Stickstoff	38
5.1.5.5	Zusammensetzung der Aminosäuren	41
5.1.5.6	Zusammensetzung der Zucker	46

5.1.6	Prozesse im Iron Gate I-Reservoir	48
5.1.7	Sedimentakkumulation im Iron Gate I-Reservoir.....	51
5.1.7.1	Sedimentationsrate.....	51
5.1.7.2	Akkumulationsrate.....	56
5.1.8	Die Schwebstofffracht der Donau	57
5.2	Das Sedimentationsgeschehen im NW des Schwarzen Meeres	60
5.2.1	Sinkstoffe	60
5.2.2	Zusammensetzung der Oberflächensedimente.....	63
5.2.2.1	Hauptkomponenten.....	63
5.2.2.2	Zustand des organischen Materials	64
5.2.2.3	Stickstoffisotope: Implikationen zur Nährstoffsituation	68
5.3	Donaufracht und Sedimentation im NW des Schwarzen Meeres: Folgen des Staudammbaus	71
5.3.1	Veränderungen im Schwebstoffeintrag der Donau.....	71
5.3.2	Veränderungen in der Verbreitung der Donauschwebstoffe	72
5.3.3	Veränderungen im Silikateintrag der Donau.....	74
5.3.4	Veränderungen in der Zusammensetzung der Sedimente im NW des Schwarzen Meeres.....	76
6	Zusammenfassung	80
7	Danksagung	82
8	Literaturverzeichnis	83
9	Verzeichnis der Abbildungen	92
10	Verzeichnis der Tabellen	96
11	Verzeichnis der Abkürzungen	98
12	Anhang	99

1 Einleitung

Flüsse sind die Hauptquellen gelöster und partikulärer Stoffe im Ozean (z. B. SCHLESINGER & MELLACK, 1981; MILLIMAN & MEADE, 1983). Der jährliche Eintrag von suspendiertem Material aus Flüssen in die Ozeane beträgt etwa $20 \cdot 10^9$ t. Davon sind zu 70 % Flüsse in Ozeanien und Südostasien beteiligt (MILLIMAN & SYVITSKI, 1992; Abb. 1), da die Erosion in deren Einzugsgebieten aufgrund der klimatischen und morphologischen Verhältnisse größer ist als in anderen Regionen (MEYBECK, 1988). Aus den gleichen Gründen sind Flüsse, deren Einzugsgebiete in den feuchten Tropen liegen, zu über 50 % am fluviatilen Frischwassereintrag in die Ozeane von $37 \cdot 10^3$ km³ pro Jahr beteiligt (MEYBECK, 1988). Der Sedimenteintrag der Flüsse stabilisiert die Küstenzonen (z. B. GOUDI, 1986; WELLS & COLEMAN, 1987) und der Nährstoffeintrag beeinflusst die biologische Produktivität in den Ästuarien und Küstenmeeren und spielt somit eine Rolle im marinen Stoffkreislauf (z. B. SCHLESINGER, 1991; SMITH & HOLLIBAUGH, 1993).



Abb. 1: Jährlicher Flußeintrag von suspendiertem Material in die Ozeane (aus: MILLIMAN, 1990; die Zahlen an den Pfeilen geben den Gesamteintrag in 10^6 t a⁻¹ an)

Heute unterliegen die Flüsse zahlreichen menschlichen Einflüssen in ihren Einzugsgebieten (z. B. Landwirtschaft, Bergbau, Industrie, Städtebau) und deren Verlauf (z. B. Staudämme, Rückhaltebecken, Flußbegradigungen). Sie beeinflussen entscheidend die Art und Menge des

fluviatilen Eintrags in die Ozeane (z. B. GOUDI, 1986; HALIM, 1991; MILLIMAN, 1992; MEYBECK, 1993).

Die Verringerung der Vegetationsfläche in den Einzugsgebieten von Flüssen kann die Bodenerosion erhöhen, was zur Versandung der Flußläufe führen kann. Im Zusammenspiel mit der Begradigung der Flußläufe können erhöhte Niederschlagsmengen vom Fluß möglicherweise nicht mehr aufgenommen werden. Dadurch erhöht sich z. B. entlang des Yangtse in China die Gefahr von Deichbrüchen und Überschwemmungen (ZHENGYING, 1983). Auch die Einträge gelöster Substanzen können sich durch die Verringerung der Vegetationsfläche verändern. So erhöhte sich z. B. die Nährstoffkonzentration im Hubbard Brook in den USA in den ersten zwei Jahren nach der Entwaldung des Einzugsgebietes. Danach sanken die Konzentrationen drastisch, da die im Boden gespeicherten Nährstoffe ausgewaschen waren und nicht mehr nachgeführt wurden (BORMANN *et al.*, 1974).

Veränderungen im Flußverlauf durch den Bau von Staudämmen können sich im Sedimentationsgeschehen der Küstenregionen widerspiegeln. So wird z. B. die fortschreitende Küstenerosion meist auf die Verringerung des Sedimenteintrags durch die Rückhaltung der partikulären Flußfracht hinter Staumauern zurückgeführt (z. B. WELLS & COLEMAN, 1987; PANIN, 1996). Flußabwärts der Reservoirs lassen sich drastische Auswirkungen der veränderten Stoffflüsse beobachten. Z. B. führt die Rückhaltung der Schwebstoffe im Aswan Staudamm in Ägypten zur sogenannten "Clear Water Erosion", da nicht mehr genug Schwebstoffe für die Sedimentation im Flußbett zur Verfügung stehen, womit die Uferstabilität entlang des Nils gefährdet wird (KEMPE, 1983). Darüber hinaus können durch die Verringerung des Frischwasserdurchflusses anthropogen eingetragene Schadstoffe nicht mehr weggespült werden und Flußläufe kontaminieren (HALIM, 1991).

Weitreichendere chemische und biologische Folgen wurden bislang weitgehend mit der Verringerung des Frischwassereintrags und der damit verbundenen limitierten Nährstoffversorgung in Küstenzonen in Zusammenhang gebracht oder ganz außer acht gelassen (MILLIMAN, 1997). In Stauseen selbst finden jedoch eine Reihe von biogeochemischen Veränderungen statt, die auch Prozesse flußaufwärts der Staumauer beeinflussen. Z. B. war im Kainji-Staudamm in Nigeria bereits ein Jahr nach der Inbetriebnahme 1968 der Sauerstoff im Bodenwasser verbraucht (ADENIJI, 1975). Zehn Jahre später wurden sauerstofffreie Zonen im Oberflächenwasser nachgewiesen (MARTINS *et al.*, 1988). Im Gegensatz dazu wurde z. B. die Eutrophierung des Volta Sees in Ghana durch die Zersetzung der Vegetation des durch die Stauung überschwemmten Flußtales initiiert. Mittlerweile ist das Oberflächenwasser aufgrund

der photosynthetischen Aktivität von Phytoplankton wieder gut durchlüftet (BISWAN, 1966). Wird die biologische Produktion jedoch durch die Diffusion von Stickstoff- und Phosphor-Verbindungen aus dem Sediment unterstützt, kann der pH-Wert im Oberflächenwasser soweit erhöht werden, daß das Wasser unbrauchbar wird, wie z. B. im Talovaya Balka Reservoir in der Voronesh Region in Rußland (SAMARKIN *et al.*, 1992). Auch thermale Verschmutzung kann zu anaeroben Verhältnissen führen, wie z. B. im Drukshiai Reservoir in Litauen, das zur Kühlung eines Atomkraftwerkes genutzt wird (KUCHINSKENE, 1992).

Diese Veränderungen beeinflussen besonders die Delta- und Schelfregionen aufgrund der hohen Umsetzungsraten organischer und anorganischer Substanzen, die dort erzielt werden (z. B. SMITH & MACKENZIE, 1987, SMITH & MACKENZIE, 1991; HOLLIGAN & REINERS, 1992; SMITH & HOLLIBAUGH, 1993). Obwohl die Küstenzonen nur ca. 10 % der gesamten Fläche der Weltmeere einnehmen, leisten sie einen überproportionalen Beitrag zur globalen marinen Primärproduktion (Abb. 2; DEUSER, 1979; MANTOURA *et al.*, 1991; IGBP, 1993). An der Einbettung organischen Kohlenstoffs in die marinen Sedimente haben die küstennahen Regionen einen Anteil von 83 %. (zusammengefaßt von: SMITH & HOLLIBAUGH, 1993).

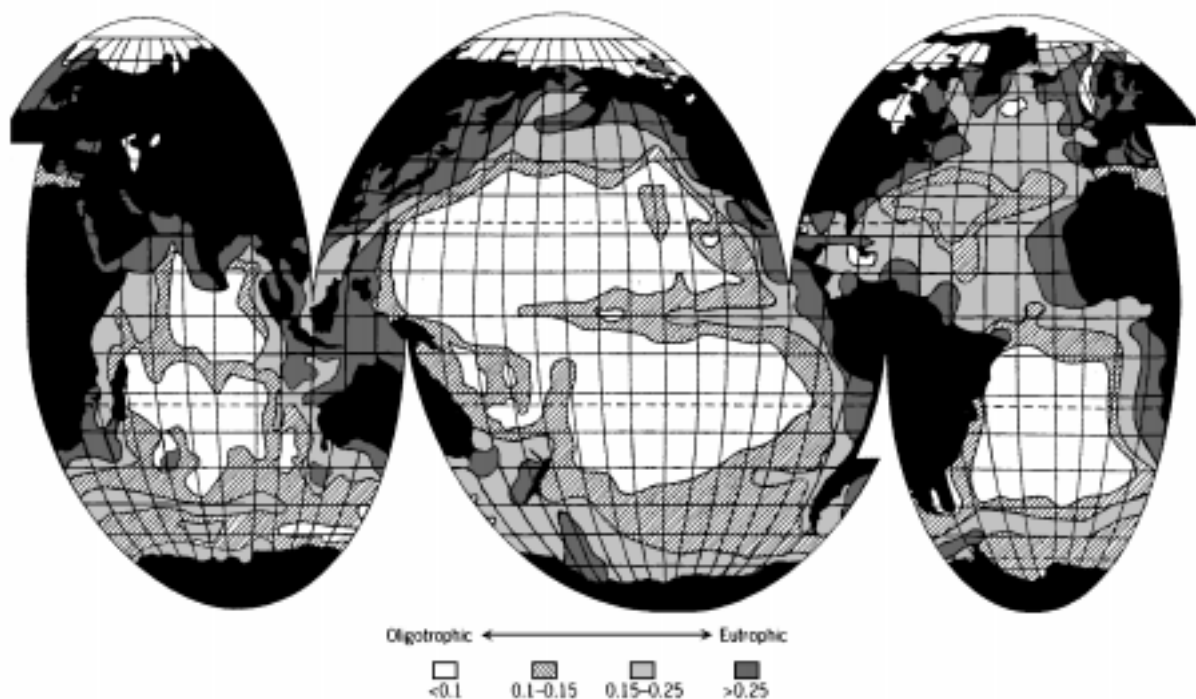


Abb. 2: Verteilung der durchschnittlichen Primärproduktion der Weltmeere (aus: LIBES, 1992, nach: THURMAN, 1988; die Zahlen an den Schraffierungen geben die tägliche Primärproduktion in $\text{g C m}^{-2} \text{ an}$)

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Auswirkungen anthropogener Eingriffe in den Einzugsgebieten von Flüssen auf angrenzende Meeresgebiete am Beispiel der Donau und des Schwarzen Meeres. Der Einfluß des Staudamms Iron Gate I, der die Donau 944 km flußaufwärts der Mündung seit 1972 eindämmt, ist hierbei einer der Schwerpunkte.

Die Charakterisierung der biogenen Komponenten der Schwebstoffe und Sedimente sowie die Quantifizierung ihrer Transport- und Akkumulationsraten soll Erkenntnisse über den Einfluß des Staudamms auf den Stofftransport der Donau und das Sedimentationsgeschehen im Schwarzen Meer liefern. Das biogene Material in Flüssen hat allochthone Quellen, wie Landpflanzen und Böden, oder wird in situ durch die Primärproduktion des Planktons oder benthischer Organismen gebildet. Es besteht aus labilen (metabolisierbar) und residualen (nicht metabolisierbar) Komponenten (DEGENS, 1982). Aminosäuren und Zucker gehören zur labilen Fraktion der biogenen Komponenten. Sie sind mit 40-80 % am Aufbau der organischen Substanz von Pflanzen und Tieren beteiligt und bilden daher einen großen Anteil am organischen Material in aquatischen Systemen (z. B. DEGENS & MOPPER, 1976; COWIE & HEDGES, 1984; HEDGES *et al.*, 1994). Beide Stoffklassen unterliegen aufgrund ihres labilen Charakters eher Prozessen der Biodegradation (GAGOSIAN & LEE, 1981). Daher spiegeln ihre relativen Anteile am partikulären organischen Kohlenstoff den Abbaugrad des organischen Materials wider (z. B. ITTEKKOT & ARAIN, 1986; LAANE *et al.*, 1987; DEPETRIS & KEMPE, 1993; COWIE & HEDGES, 1994). Desweiteren liefert die spektrale Verteilung der partikulären Aminosäuren, Aminozucker und Zucker Informationen über die Quellen des organischen Materials und über die Degradationsprozesse, denen es während des Transportes unterliegt (z. B. LEE & CRONIN, 1982; ITTEKKOT *et al.*, 1984a, b; SIGLEO & SHULTZ, 1993).

2 Das Untersuchungsgebiet

2.1 Donau

Die Donau ist mit 60 % am gesamten fluviatilen Eintrag ins Schwarze Meer beteiligt und somit der größte Süßwasser-, Nährstoff- und Sedimentlieferant (POPA, 1993; Abb. 3). Sie entsteht aus dem Zusammenfluß der Flüsse Brigach und Breg bei Donaueschingen in Süddeutschland und mündet in Rumänien ins Schwarze Meer. Sie erstreckt sich über 2 857 km und entwässert ein Einzugsgebiet von 817 000 km² (Abb. 3). Sie fließt durch sieben europäische Länder mit einer Einwohnerzahl von 81 Millionen Menschen.

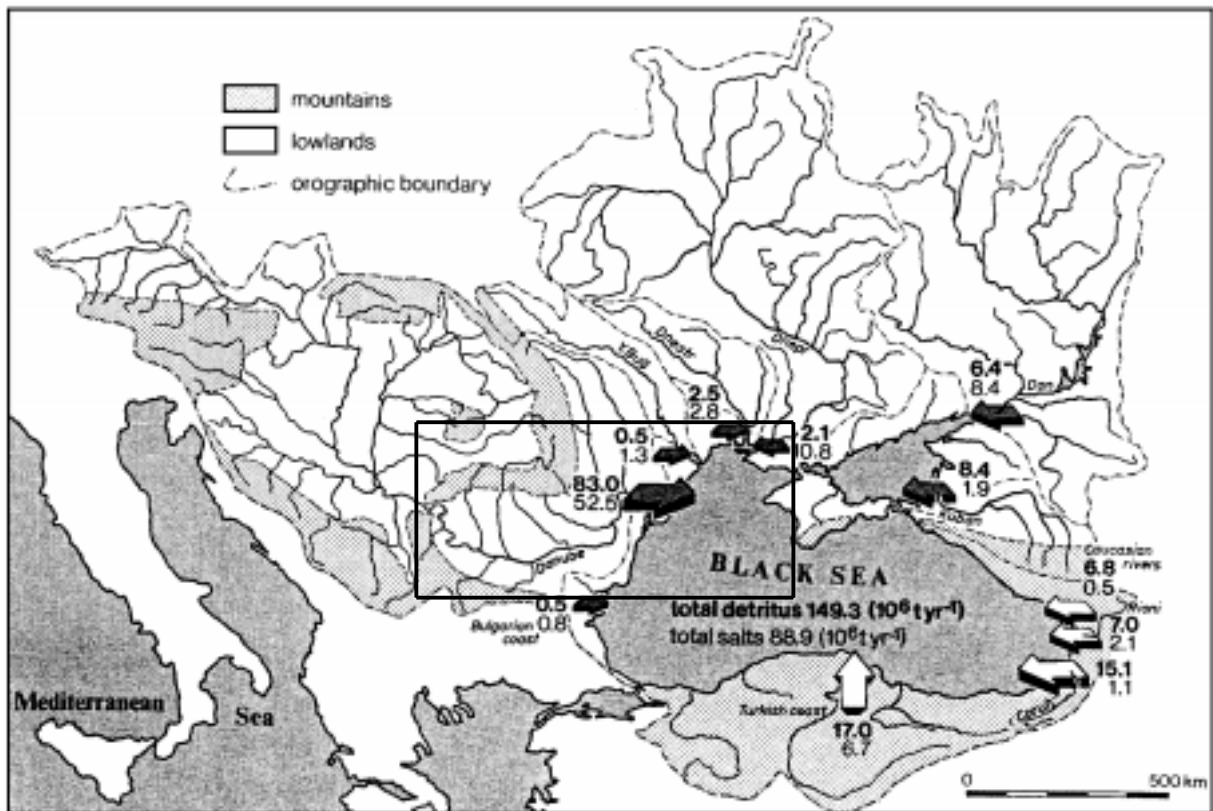


Abb. 3: Flußeinträge ins Schwarze Meer (Pfeile). Fett gedruckte Zahlen zeigen den Sedimenteintrag, normal gedruckte Zahlen den Salzeintrag an. Die gestrichelten Linien kennzeichnen die Einzugsgebiete der Flüsse (aus: DEGENS, 1989). Das innere Rechteck kennzeichnet das in dieser Arbeit behandelte Untersuchungsgebiet

Die Donau mündet mit einem Delta in das Schwarze Meer, das im wesentlichen von drei Hauptkanälen, Chilia, St. Gheorghe und Sulina, durchzogen ist. Die Donau trägt pro Jahr etwa 68×10^6 t Sedimente (1931-1970) ins Schwarze Meer ein (POPA, 1993). Die Schwebstoffe setzen sich im wesentlichen aus SiO₂ und Al₂O₃ zusammen. Der Frischwassereintrag beträgt

durchschnittlich $207 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$ (1931-1970) und verteilt sich auf die Deltaarme Chilia, St. Gheorghe und Sulina zu 65, 21, bzw. 14 %. Der quantitative saisonale Unterschied zwischen höchster und niedrigster Wasserführung im Mai bzw. im Oktober kann in etwa mit dem Faktor 2,1 beschrieben werden (Abb. 4). Die Donau transportiert pro Jahr durchschnittlich etwa $60 \times 10^6 \text{ t}$ gelöste Substanzen (1931-1970), die hauptsächlich aus Ca^{2+} und HCO_3^- bestehen (POPA, 1993).

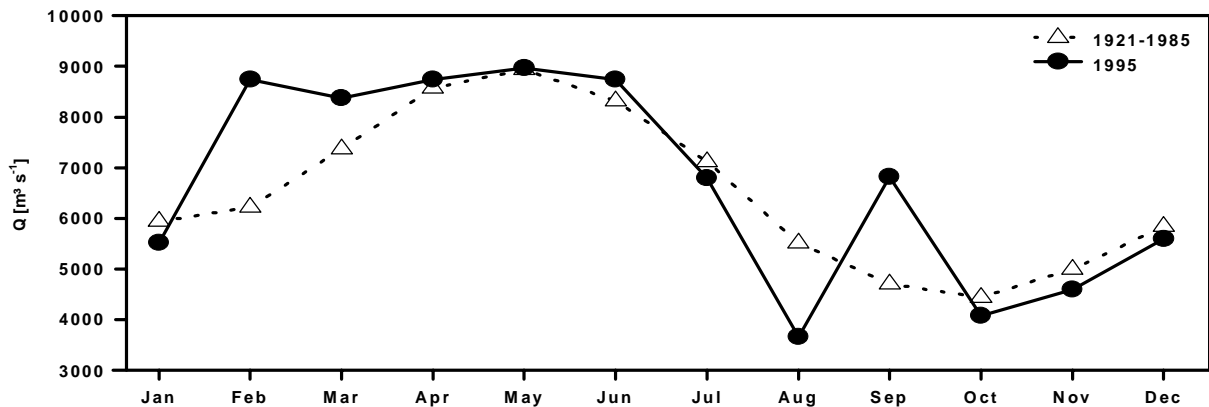


Abb. 4: Durchschnittliche monatliche transportierte Wassermenge (Q) der Donau (1921-1985 und 1995) an der permanenten Meßstation Ceatal Ismail vor dem Donau-Delta, 80,5 km flußaufwärts der Donaumündung (Datenquelle: GLOBAL RUN OFF DATA CENTER; R.C.M.G.G., 1995)

Langzeitmessungen des Wasserdurchflusses der Donau zwischen den Jahren 1858 und 1988 zeigen einen leichten Anstieg (BONDAR *et al.*, 1991; Abb. 5). Im Gegensatz dazu ist die Schwebstofffracht rückläufig, besonders in den 80er Jahren dieses Jahrhunderts (BONDAR *et al.*, 1991; Abb. 6). Dieser Rückgang wird mit dem Bau des Staudamms Iron Gate I und der Kanalisierung der Donau und ihrer Deltaarme in Verbindung gebracht (POPA, 1993).

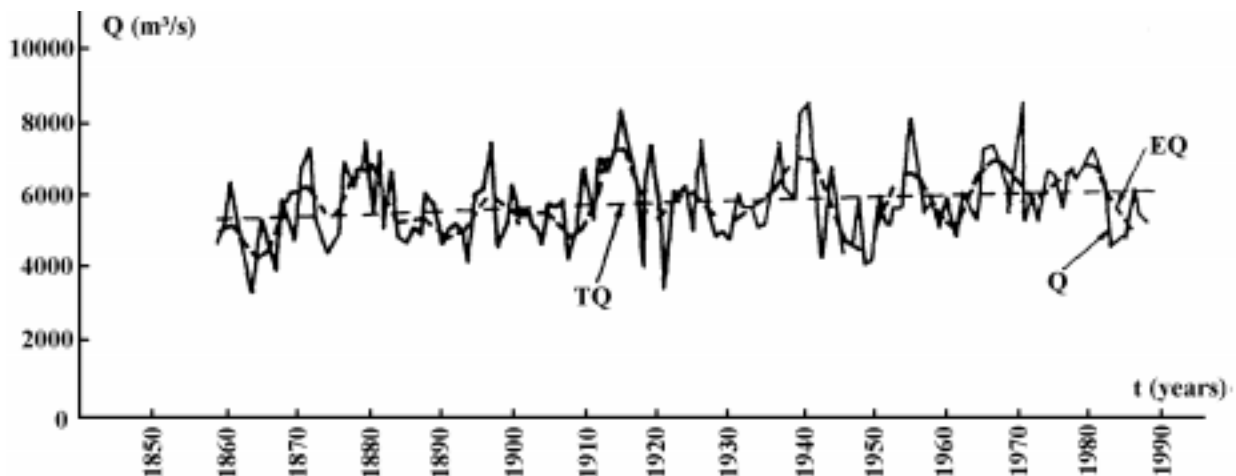


Abb. 5: Langzeitmessungen der durchschnittlich transportierten Wassermenge im Mündungsbereich der Donau. Q = jährlicher Durchschnitt, TQ = linearer Trend, EQ = Entwicklung (aus: BONDAR *et al.*, 1991)

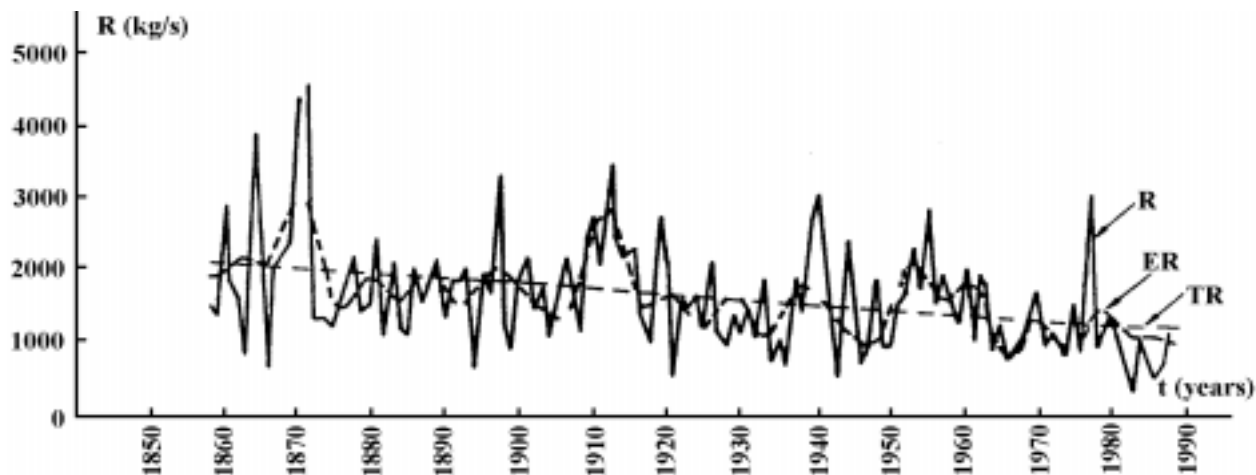


Abb. 6: Langzeitmessungen der durchschnittlich transportierten Schwebstofffracht im Mündungsbereich der Donau. R = jährlicher Durchschnitt, TR = linearer Trend, ER = Entwicklung (aus: BONDAR *et al.*, 1991)

In dieser Arbeit wurde der Teilbereich der Donau zwischen km 1 072,4 und der Flußmündung untersucht. Innerhalb dieses Abschnitts befinden sich zwei Staumauern, bei km 944 (Iron Gate I) und km 863 (Iron Gate II). Iron Gate I (IGI) wurde zur Lösung der Schifffahrtsprobleme und zur Nutzung des großen Wasserkraftpotentials errichtet und nach achtjähriger Bauzeit im Jahre 1972 fertiggestellt. Die Staustufe erreicht bei Niederwasser eine Höhe von 32 m und erreicht einen Rückstau von bis zu 270 km flußaufwärts. Die frühere Breite der Donau an der Staumauer betrug 150-300 m und wurde durch die Aufstauung auf 2 300 m vergrößert (SIKORA *et al.*, 1988).

Trotzdem darf der Bereich flußaufwärts der Staumauer nicht als klassischer Stausee betrachtet werden, da das Flußbett große morphologische Unregelmäßigkeiten aufweist. Von km 1 048 bis an die Staumauer erstreckt sich, zwischen den Karpaten und dem Balkengebirge, die sogenannte "Kataraktenstrecke". Vor der Stauung wurde der Strom dort stellenweise auf bis zu 150 m zusammengedrängt. Das mittlere Gefälle schwankt bei Niedrigwasser zwischen 0,1 und 4,0 ‰. Zwischen Engstellen mit großem Gefälle und hohen Fließgeschwindigkeiten liegen kleine Talbecken. In den von hartem Fels gebildeten Katarakten wurde der Fluß bei Niederwasser in schmale, tiefe Rinnen eingeeengt, deren Sohle an einer Stelle sogar 10 m unter das Spiegelniveau des Schwarzen Meeres reicht (SIKORA *et al.*, 1988). Flußabwärts der Staumauer zeigt das Flußbett eine wesentlich ruhigere Morphologie. Aus diesem Grund wird die Donau in einen Abschnitt oberhalb und unterhalb der Staumauer unterteilt, wobei die Kataraktenstrecke oft als Iron Gate bezeichnet wird, obwohl dies der Name der Staumauer ist (SIKORA *et al.*, 1988).

1984 wurde die Staustufe Iron Gate II (IGII) in Betrieb genommen. Der Stauraum dieser Anlage schließt unmittelbar an die Stufe IGI an und dient lediglich als Kompensationsreservoir während Produktionsspitzen bei der Energiegewinnung des IGI (SIKORA, *et al.*, 1988).

2.2 Schwarzes Meer

Das Schwarze Meer ist ein fast geschlossenes Meeresbecken mit einer Fläche von 508 000 km², das lediglich im Norden durch die Straße von Kertsch mit der Azov-See und im Süden durch die Meerenge des Bosphorus mit dem Marmarameer in Verbindung steht. Der Wasserkörper hat ein Volumen von 534 000 km³, von denen 517 000 km³ anoxisch sind (MURRAY, 1991). Damit ist das Schwarze Meer das größte anaerobe Becken des heutigen Weltozeans. Das 2 243 m tiefe Meeresgebiet erstreckt sich über 1 150 km in Ost-West-Richtung (Abb: 7) und wird im Norden durch die Gebirgsketten des Kaukasus und der Krim und im Süden von den Balkaniden und den Pontiden begrenzt. Die Ausdehnung der Schelfbereiche reicht von weniger als 20 km Breite im Süden bis zu mehr als 190 km Breite im Nordwesten mit maximalen Wassertiefen von 130 m (Abb: 7). Daran schließt sich ein steiler Abhang an, dem am Übergang zur Tiefsee-Ebene ein morphologisch nur schwach ausgeprägtes Abhang-Vorfeld vorgelagert ist (ROSS *et al.*, 1974).

Der ursprüngliche Süßwasserkörper des Schwarzen Meeres wurde während des globalen Meeresanstiegs im Früh-Holozän mit salzigem Mittelmeerwasser höherer Dichte, das durch den Bosphorus eindrang, unterschichtet. Die Ausbildung einer sich langsam ausdehnenden Pyknokline vor ca. 9 000 Jahren (DEUSER, 1974) führte zur permanenten Stratifizierung des Wasserkörpers. Die mangelnde Durchmischung der Wasserschichten hatte die Stagnation des Bodenwassers zu Folge, das Aufenthaltszeiten von 350-370 Jahren aufweist (MURRAY *et al.*, 1991). Die Oxidation von organischem Material, bei der der Sauerstoff unterhalb der Halokline vollständig verbraucht wurde, führte zur Entwicklung der rezenten Chemokline (SAYDAM *et al.*, 1993).

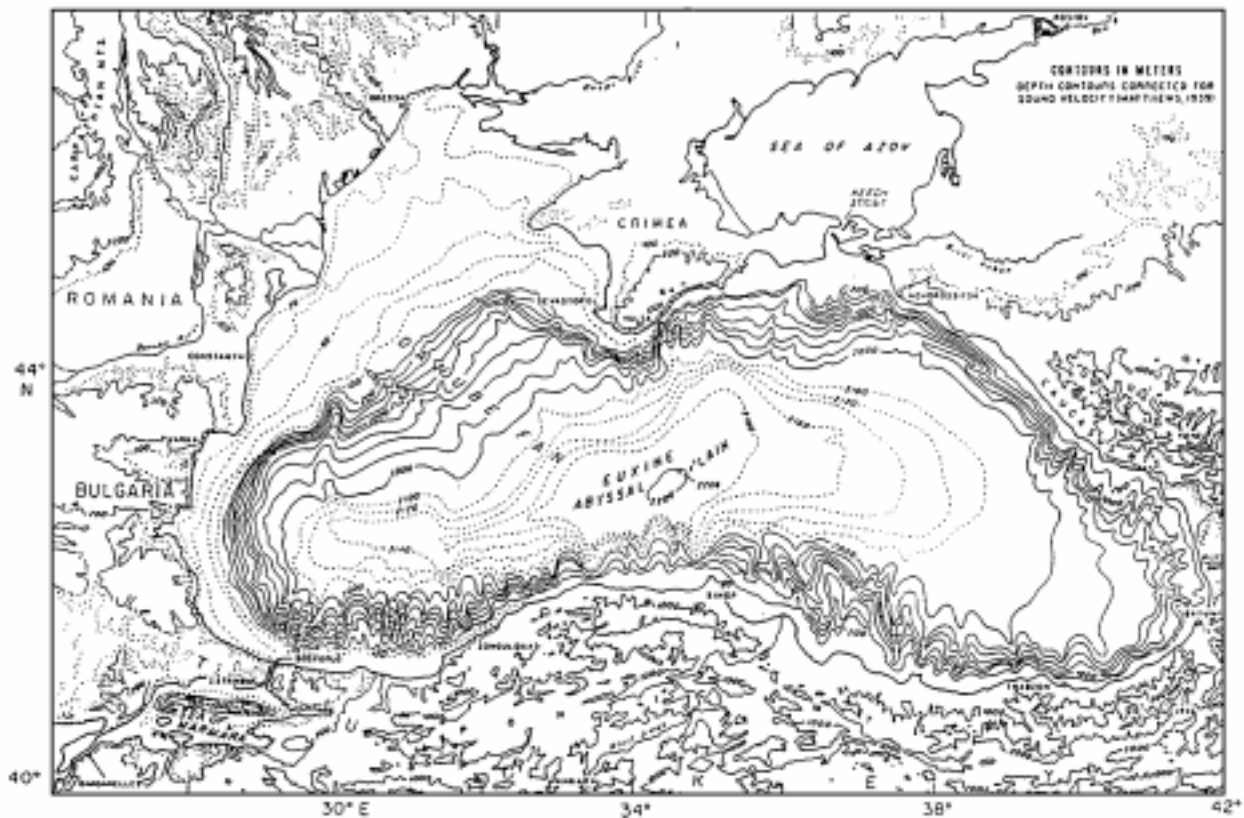


Abb: 7: Bathymetrische Karte des Schwarzen Meeres (aus: ROSS *et al.*, 1974)

Die aerobe Oberflächenschicht hat ein Volumen von $17\,000\text{ km}^3$ und einen Salzgehalt von ca. 18 ‰, während der sauerstofffreie Tiefenwasserkörper ein Volumen von $517\,000\text{ km}^3$ und eine Salinität von ca. 22,3 ‰ aufweist. Die Temperatur des Tiefenwassers ist mit mittleren $8,9^\circ\text{C}$ ungewöhnlich hoch (MURRAY, 1991). Die Grenzlinie der Wasserkörper liegt an den Rändern des zentralen Beckens zwischen 120 und 170 m Tiefe, während sie in den zentralen Bereichen nur bis in eine Tiefe von 70-120 m reicht (SAYDAM *et al.*, 1993). Dies wird mit der Strömungsstruktur des Schwarzen Meeres erklärt. Die vorherrschenden Westwinde drücken die Oberflächenschicht entlang der Südküste zusammen, wodurch zwei zentrale zyklonische Wirbel im Westen und Osten des Beckens entstehen. In Küstennähe treffen sie auf mindestens acht kleinere antizyklonische Wirbel (OGUZ *et al.*, 1993; Abb. 8). Die Aufwölbungen der Tiefenwasserschicht (Doming) bewirken somit eine Verringerung der Mächtigkeit der Oberflächenschichten in der Mitte der Zentralwirbel um 40-60 m (KEMPE, 1993).

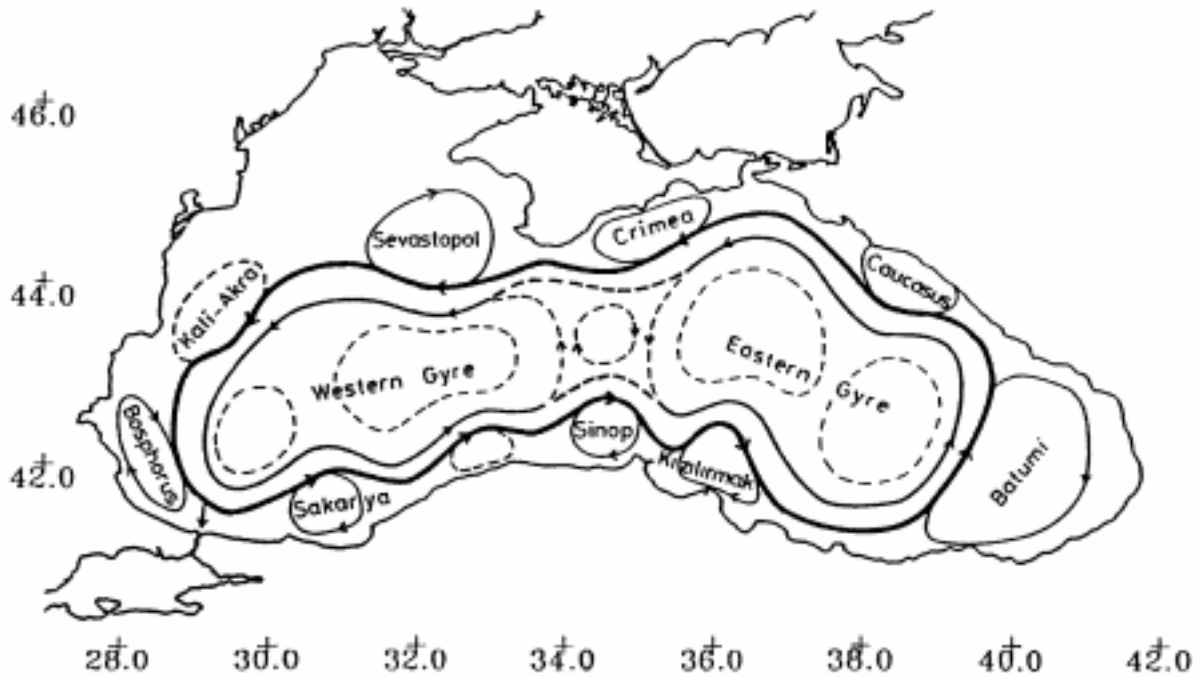


Abb. 8: Zirkulationsmuster der Oberflächenschicht im Schwarzen Meer (aus: OGUZ *et al.*, 1993). Durchgezogene Linien zeigen quasipermanente, gestrichelte Linien wiederkehrende Wirbel an

Das Schwarze Meer hat eine positive Wasserbilanz ($E < D + P = \text{ca. } 600 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$). Der Frischwassereintrag durch die Flüsse (D) und den Niederschlag (P) übersteigt die Evaporation, womit die Stratifizierung des Schwarzen Meeres aufrecht erhalten wird (KEMPE, 1993; Abb. 9).

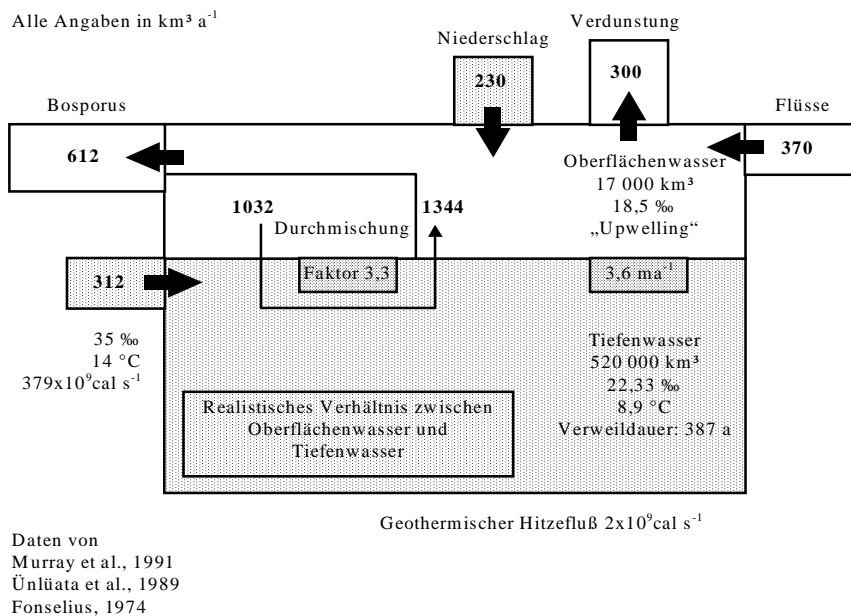


Abb. 9: Wasserbilanz des Schwarzen Meeres auf der Basis von Daten und Schätzungen verschiedener Autoren (aus: KEMPE, 1993)

Der Partikelfluß im Schwarzen Meer wird im wesentlichen durch den Eintrag europäischer und asiatischer Flüsse (Abb. 3) sowie der Primärproduktion dominiert. Die durchschnittliche Abtragungsrate des gesamten Einzugsgebietes beträgt $0,074 \text{ mm a}^{-1}$ oder $118 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Würde diese Sedimentmenge gleichmäßig über den gesamten Meeresboden des Schwarzen Meeres verteilt werden, ergäbe dies eine Sedimentationsrate von $0,4 \text{ mm a}^{-1}$ (zusammengefaßt von: IZDAR *et al.*, 1987; Tab. 1).

Tab. 1: Eintrag von Wasser und Sediment der Flüsse, die in das Schwarze Meer münden (zusammengefaßt von: IZDAR *et al.*, 1987)

Fluß	Wasser [$\text{km}^3 \text{ a}^{-1}$]	Sediment [10^6 t a^{-1}]
Donau	198	83,0
Dniestr	10	2,5
Bug	3	0,5
Dniepr	52	2,1
Don	28	6,4
Kuban	13	8,4
Kaukasische Flüsse	---	6,8
Rioni	41	7,1
Coruh	---	15,1
Türkische Küste	25	17,0
Bulgarische Küste	3	0,5
Total	373	149,5

Das Verteilungsmuster der fluviatil eingetragenen Stoffe wird durch die lokale Physiogeographie und die vorherrschenden Strömungsmuster kontrolliert (DEGENS, 1989). Eine erhebliche Menge des von den nördlichen Flüssen eingetragenen Sediments (Abb. 3; Tab. 1) wird im Donaufächer und in der Azov-See zurückgehalten, was zu geringen Sedimentationsraten von 10-50 cm pro 1 000 Jahren im zentralen Becken führt (ROSS & DEGENS, 1974). Turbidite in Verbindung mit glazialen Ereignissen oder tektonischen Aktivitäten transportieren episodisch ebenfalls Sedimente von den Schelfrändern in die Tiefsee-Ebene, wobei Sedimentationsraten von 10 m pro 1 000 Jahren erreicht werden (IZDAR *et al.*, 1987). Durch die anoxischen Verhältnisse und der damit verbundenen Abwesenheit benthischer Organismen ist die Variabilität in der Sedimentation der letzten 2 000 Jahre in den Sedimenten des Schwarzen Meeres gut erhalten (DEGENS *et al.*, 1976). Die Zunahme der Sedimentationsrate in den letzten 2 000 Jahren (Abb. 10) läßt sich auf menschliche Aktivitäten, wie die Abholzung der Wälder und die Zunahme der Landwirtschaft in den Einzugsgebieten der Hauptflüsse, zurückführen. Diese anthropogenen Veränderungen haben die Bodenerosion und den fluviatilen Transport von partikulärem Material in das Schwarze Meer erhöht (DEGENS *et al.*, 1976).

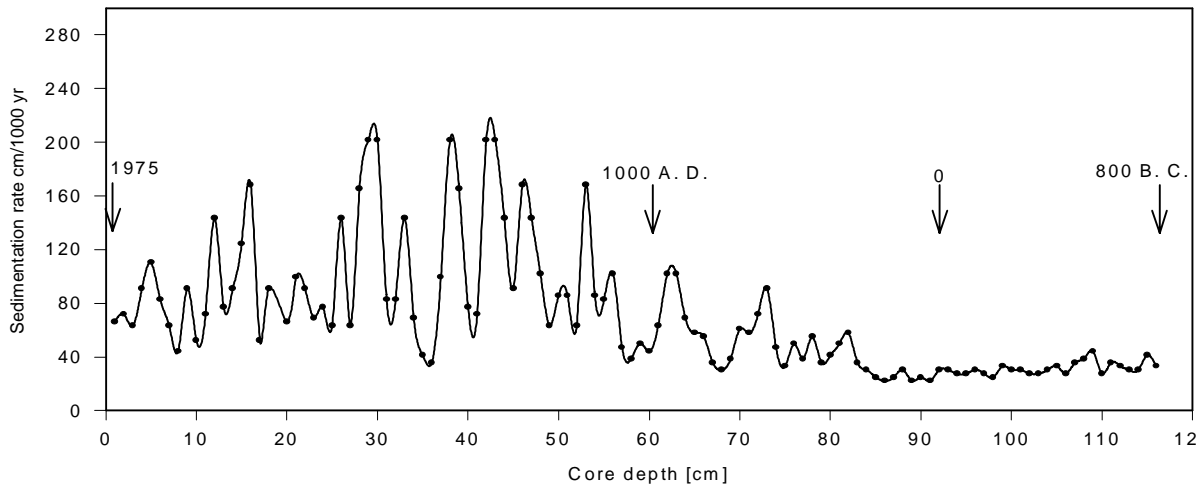


Abb. 10: Sedimentationsraten im Schwarzen Meer, ermittelt anhand der Warvenmächtigkeit in einem Sedimentkern des Kontinentalhangs vor Bulgarien (aus: DEGENS *et al.*, 1976)

Die wesentlichen Organismengruppen, die im Schwarzen Meer an der Primärproduktion beteiligt sind, sind Diatomeen, Dinoflagellaten, Coccolithophoriden, Silicoflagellaten und anderes Nannoplankton. Die Primärproduktion zeigt eine saisonale Variabilität (IZDAR *et al.*, 1987; Tab. 2), wobei die durchschnittliche tägliche Primärproduktion in den Schelfgebieten mit $1-2 \text{ g C m}^{-2}$ am größten ist und sich auf $0,2-0,5 \text{ g C m}^{-2}$ im zentralen Becken verringert (Abb. 11).

Tab. 2: Saisonale Variabilität in der Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen im offenen Schwarzen Meer in mg m^{-3} (SOROKIN, 1982)

Gruppe	Februar	April	August	November
Diatomeen	13	76	67	19
Dinoflagellaten	16	19	56	3
Coccolithophoriden	47	11	2	1
Silikoflagellaten	2	---	4	2
Anderes Nannoplankton	9	4	3	2
Total	87	110	134	27

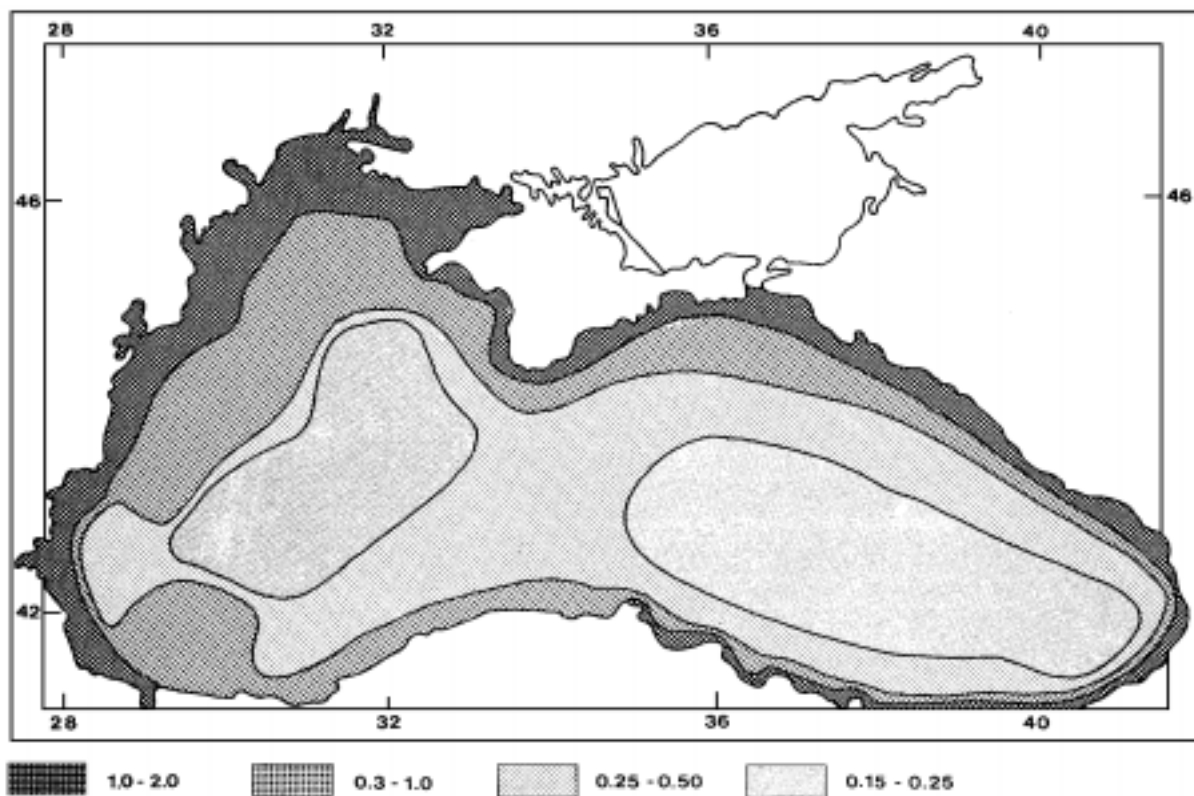


Abb. 11: Durchschnittliche tägliche Primärproduktion im Schwarzen Meer in g C m^{-2} (aus: IZDAR *et al.*, 1987; nach: SOROKIN, 1982)

In den letzten Dekaden konnten zunehmend Eutrophizierungserscheinungen beobachtet werden (MEE, 1992). Industrialisierung, Urbanisierung und der verstärkte Einsatz von Düngemittel in der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Donau werden dafür verantwortlich gemacht. Die daraus resultierende Überschreitung der natürlichen Assimilationskapazität der rumänischen Küstengewässer führt zur Bildung anoxischer Verhältnisse (COCIASU *et al.*, 1996) und dadurch zum Massensterben benthischer Organismen und zur quantitativen und qualitativen Verarmung der Populationen (GOMOIU, 1996).

Seit dem Bau des Staudamms IGI, konnten signifikante Veränderungen in den Flußraten partikulärer und gelöster Substanzen beobachtet werden (POPA, 1993). Die Rückhaltung von Schwebstoffen hinter der IGI-Staumauer hat eine Abnahme des Sedimenteintrags in das Schwarze Meer von bis zu 30 % zur Folge (POPA, 1993), wodurch Teile der rumänischen und bulgarischen Küstenlinie ins Landesinnere zurückweichen (PANIN, 1996). Der daraus resultierende Rückgang der partikulären Flußfracht führt in der Donau flußabwärts des Reservoirs zur Stimulierung der Flußbetterosion. Aufgrund der "Clear Water Erosion" setzen sich die Sedimente dort hauptsächlich aus Kies und Sand zusammen, da feinkörnigere Partikel bereits abgetragen wurden und nicht mehr nachgeliefert werden (PANIN, 1996). Dieses

Phänomen wird bei gestauten Flüssen häufig beobachtet (GOUDI, 1986). Außerdem wurde eine Abnahme des Eintrags von gelöstem Silikat um mehr als zwei Drittel beobachtet. Dies hat Veränderungen in der Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaften zur Folge (HUMBORG *et al.*, 1997). Auch Veränderungen in der Wasserchemie des Schwarzen Meeres (TUGRUL *et al.*, 1992) sowie die Verschiebung der Chemokline (MURRAY *et al.*, 1989) können auf den Staudammbau zurückgeführt werden (HUMBORG *et al.*, 1997). Die Staumauer des IGI-Reservoirs hat jedoch keinen Einfluß auf den Frischwassereintrag ins Schwarze Meer (POPA, 1993).

3 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit wurde als Beitrag zum "European River-Ocean Systems (EROS) 2 000" Projekts Phase III erstellt. Das "EROS 2 000"-Projekt ist ein Teil des von der Europäischen Union beschlossenen Umwelt-Programmes auf dem Gebiet der Forschung und technologischen Entwicklung. Das Ziel ist die Erforschung der Wechselbeziehungen zwischen Flüssen und küstennahen Ozeangebieten. Phase III des "EROS 2 000"-Projekts beschäftigt sich im speziellen mit den Interaktionen zwischen der Donau und dem NW des Schwarzen Meeres sowie der Untersuchung des Zustandes beider Ökosysteme.

Ziel dieser Arbeit war die Erforschung der Auswirkungen anthropogener Veränderungen in den Einzugsgebieten von Flüssen auf angrenzende Meeresgebiete am Beispiel der Donau und des Schwarzen Meeres. Die biogeochemische Variabilität der Schwebstofffracht der Donau und ihre Bedeutung für das Sedimentationsgeschehen im NW des Schwarzen Meeres sollte ermittelt werden. Besondere Beachtung fand hierbei die Rolle des Staudamms Iron Gate I.

Die Untersuchungen waren im Einzelnen:

- Geochemische Charakterisierung der partikulären Substanz durch die Bestimmung der relativen Anteile von Kohlenstoff, Stickstoff, Karbonat und biogenem Opal;
- Identifizierung der Quellen der organischen Substanzen sowie deren Veränderung während des Transportes bis zur Einbettung ins Sediment, unter Anwendung von labilen Komponenten wie Aminosäuren, Aminoazuckern und Zuckern als biogeochemische Indikatoren;
- Ermittlung von Sedimentakkumulationsraten mit den radioaktiven Isotopen Blei-210 und Cäsium-137;
- Erfassung des rezenten vertikalen Partikelflusses am Donautiefseefächer durch ein Sedimentfallenexperiment;
- Ermittlung der Nährstoffsituation unter Anwendung von stabilen Stickstoffisotopenverhältnissen.

4 Methoden

4.1 Beprobung

4.1.1 Donau

Die Schwebstoff- und Sedimentproben aus der Donau wurden während einer Expedition mit dem rumänischen Forschungsschiff SEMNAL 2 auf der Donau im Juni 1995 gewonnen (Abb. 12). Die Details der Beprobung sind in Tab. 3 dargestellt.

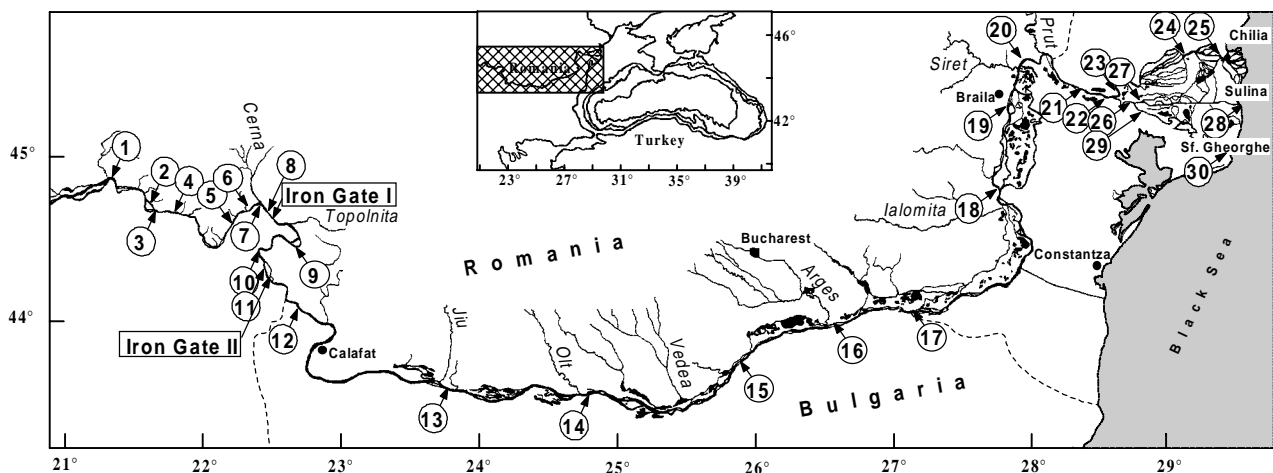


Abb. 12: Stationen während der Forschungsfahrt auf der Donau im Juni 1995, nummerierte Kreise bezeichnen die Stationen

4.1.1.1 Schwebstoffe

Für die Gewinnung der Schwebstoffproben wurden Wasserproben mit Niskinflaschen aus verschiedenen Wassertiefen und von der Wasseroberfläche der Donau entnommen. Bis zu drei Liter wurden davon durch vorgewogene und bei 450°C ausgeglühte 47 mm Glasfaserfilter mit 200 mbar Unterdruck filtriert. Die Filter wurden bei 40°C getrocknet. Die Schwebstoffkonzentration wurde aus dem Nettogewicht des getrockneten Filtrerrückstandes und der Menge an filtriertem Wasser für die jeweilige Probe ermittelt.

An einigen Stationen wurden Quer- und Tiefenprofile beprobt (Tab. 3). Die Schwebstoffproben der Zuflüsse der Donau wurden immer in deren Mündung zur Donau gewonnen, aus dem Oberflächenwasser in der Mitte der Mündung.

Tab. 3: Die Stationen der Donaufahrt im Juni 1995 und die Art und die Anzahl der dort gewonnenen Proben. Ist in der Spalte "Entfernung linkes Ufer" und "Wassertiefe" mehr als ein Wert aufgeführt, so handelt es sich um ein Quer- und/oder Tiefenprofil, wobei die fett gedruckten Zahlen die Positionen des Tiefenprofils der jeweiligen Station wiedergeben

Station Nr.	Entf. zur Mündung [km]	Region	Fluß-Breite [m]	Sedimentproben					Schwebstoffproben		
				Schwerelot			Backengreifer		Entf. zum linken Ufer [m]	Proben-tiefe [m]	Fluß-tiefe [m]
			Entf. zum linken Ufer [m]	Fluß-tiefe [m]	Kern-länge [cm]	Entf. zum linken Ufer [m]	Fluß-tiefe [m]				
1	1072,4	Iron Gate I	900	-----	-----	-----	440	11	430	0	11
2	1044,5	Iron Gate I	950	-----	-----	-----	530	12	420	0	9
3	1040,0	Iron Gate I	970	-----	-----	-----	-----	-----	70; 530 ;700	0; 0 ;6; 9 ;0	6; 12 ;12
4	999,0	Iron Gate I	640	-----	-----	-----	360	22	40; 360 ;520	0; 0 ;8; 16 ;0	17; 22 ;17
5	969,5	Iron Gate I	1560	-----	-----	-----	-----	-----	790	0	11
6	959,5	Iron Gate I	1520	-----	-----	-----	780	17	770	0	17
7	952,0	Iron Gate I	1010	-----	-----	-----	500	25	500	0	25
8	947,2	Iron Gate I	1190	620	27	215	620	27	620	0	27
Topolnita	927,8	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	1
9	911,0	Iron Gate II	740	-----	-----	-----	360	15	360	0 ;6; 9	15
10	879,0	Iron Gate II	1220	-----	-----	-----	-----	-----	640	0	17
11	866,0	Iron Gate II	670	-----	-----	-----	330	20	120; 330 ;570	0; 0 ;8; 16 ;0	9; 20 ;17
12	845,0	-----	480	-----	-----	-----	-----	-----	70; 280 ;440	0; 0 ;8; 16 ;0	10; 21 ;7
Jiu	691,5	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	2
13	684,1	-----	1190	-----	-----	-----	-----	-----	670	0	8
Olt	604,7	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	3
14	596,0	-----	800	-----	-----	-----	-----	-----	370	0	12
Vedea	526,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	3
15	481,0	-----	690	-----	-----	-----	30	6	30; 290 ;560	0; 0 ;6; 12 ;0	6; 14 ;11
Arges	432,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	3
16	426,0	-----	720	-----	-----	-----	-----	-----	420	0	8
17	375,0	-----	710	-----	-----	-----	-----	-----	40; 270 ;490	0; 0 ;6; 12 ;0	6; 14 ;14
18	247,0	-----	330	-----	-----	-----	-----	-----	40; 170 ;280	0; 0 ;4; 8 ;0	19; 12 ;7
Ialomita	244,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	4
19	171,0	-----	360	-----	-----	-----	-----	-----	70; 190 ;270	0; 0 ;6; 12 ;0	24; 27 ;6
Siret	155,0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	6
20	141,3	-----	490	-----	-----	-----	430	8	60; 230 ;430	0; 0 ;0	24; 19 ;8
Prut	125,8	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Mitte	0	5
21	101,0	-----	770	-----	-----	-----	-----	-----	430	0	7
22	81,4	-----	390	-----	-----	-----	-----	-----	40; 200 ;370	0; 0 ;6; 12 ;0	8; 32 ;9
23	115,3	Chilia	420	-----	-----	-----	-----	-----	210	0	10
24	39,7	Chilia	320	-----	-----	-----	-----	-----	30; 150 ;220	0; 0 ;0	10; 16 ;23
25	20,0	Chilia	580	-----	-----	-----	-----	-----	270	0	12
26	63,0	Tulchea	370	-----	-----	-----	-----	-----	200	0	13
27	61,2	Sulina	120	-----	-----	-----	-----	-----	60	0	18
28	-0,7	Sulina	160	-----	-----	-----	-----	-----	30; 80 ;130	0; 0 ;4; 8 ;0	9; 12 ;9
29	108,4	St. Gheorge	320	-----	-----	-----	-----	-----	40; 160 ;240	0; 0 ;4; 8 ;0	12; 13 ;4
30	1,3	St. Gheorge	500	-----	-----	-----	-----	-----	250	0	6

4.1.1.2 Sedimente

Die Sedimentproben wurden mit einem Backengreifer und einem Schwerelot (Abb. 13) entnommen. Das Gefüge der mit dem Backengreifer gewonnenen Oberflächenproben war gestört. Die Proben wurden mit einem Spatel entnommen und bei 40°C getrocknet.

Mit dem Schwerelot wurde ein über zwei Meter langer Sedimentkern geborgen. Die oberen ein bis zwei Zentimeter des Kerns gingen bei der Bergung verloren. Der Sedimentkern wurde mit 10 ml Laborspritzen, deren Spitzen entfernt wurden, nach lithologischen Veränderungen oder in regelmäßigen Abständen beprobt. Die so gewonnenen Proben wurden bei 40°C getrocknet. Alle Sedimentproben wurden vor der Analyse mit einem Achatmörser zerkleinert und homogenisiert



Abb. 13: Links: Backengreifer auf der Donaufahrt. Rechts: Schwerelot auf der Donaufahrt

4.1.2 Schwarzes Meer

Die Proben aus dem Schwarzen Meer wurden während der Forschungsfahrten Nr. 48 und 49 der R/V PROFESSOR VODYANITSKY im August 1995 und Mai 1997 gewonnen (Abb. 14). Die Details der Beprobung sind in Tab. 4 dargestellt.

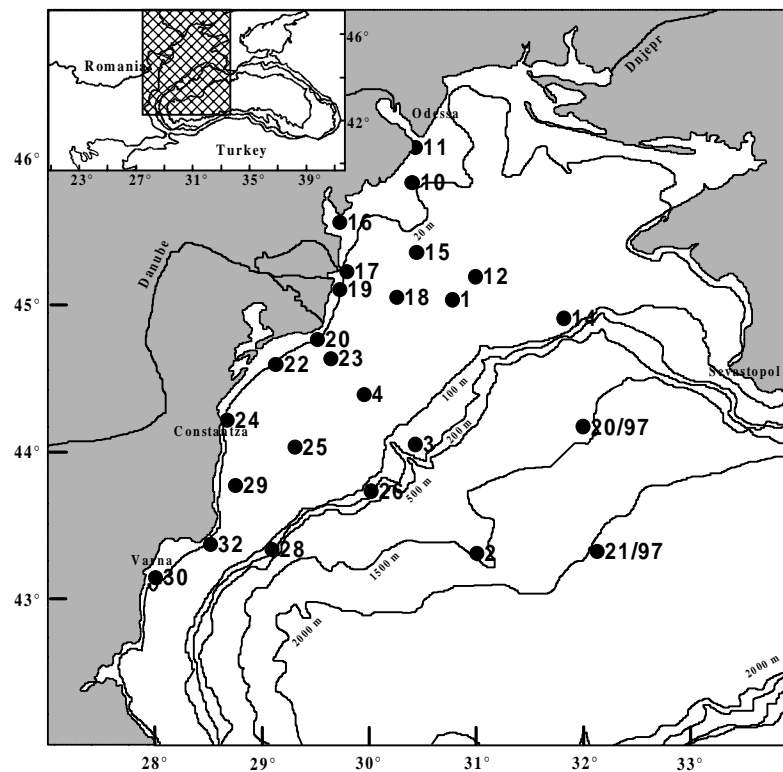


Abb. 14: Stationen während der Forschungsfahrten auf dem Schwarzen Meer im August 1995 und im Mai 1997, die Stationsnummern mit der Endung 97 wurden im Mai 1997 beprobt

4.1.2.1 Sedimente

Für die Probenentnahme der Sedimente im Schwarzen Meer wurde ein Kastengreifer (30*30*50 cm) eingesetzt (Abb. 15). Das Gefüge der mit dem Kastengreifer gewonnenen Sedimente war ungestört.

Das Sediment wurde mit 10 ml Laborspritzen, deren Spitzen entfernt wurden, vertikal beprobt. Die Beprobungsdichte lag in der Regel in den oberen 10 cm bei 1 cm und verringerte sich danach auf 2 cm. Die Probe wurde bei 40°C getrocknet. Für die Analyse wurden alle getrockneten Sedimentproben mit einem Achatmörser zerkleinert und homogenisiert.

Tab. 4: Die Stationen der Forschungsfahrten im Schwarzen Meer im August 1995 und im Mai 1997 sowie deren Zuordnung zu den verschiedenen Sedimentationszonen

Hauptsedimentationszonen	St. Nr.	Koordinaten	Wassertiefe[m]
Donau-Deltafront	16	45°32.306 N; 29°46.570 E	16
	17	45°12.234 N; 29°50.825 E	26
	19	45°04.882 N; 29°46.888 E	20
	20	44°44.952 N; 29°34.932 E	26
Donau Prodelta	18	45°02.310 N; 30°18.932 E	46
	22	44°34.935 N; 29°11.379 E	27
	23	44°37.327 N; 29°42.047 E	50
Dniestrmündung	10	45°48.585 N; 30°27.407 E	25
	11	46°02.970 N; 30°29.180 E	11
Kontinentaler Schelf	1	45°00.382 N; 30°49.918 E	55
	4	44°21.908 N; 30°00.536 E	68
	12	45°10.019 N; 31°02.999 E	53
	14	44°52.970 N; 31°52.590 E	63
	15	45°19.954 N; 30°29.990 E	37
	24	44°10.986 N; 28°43.897 E	25
	25	43°59.947 N; 29°21.903 E	55
	29	43°44.819 N; 28°47.848 E	50
	30	43°07.990 N; 28°02.647 E	21
	32	43°21.262 N; 28°33.970 E	50
Kontinentalrand	3	44°00.386 N; 30°29.092 E	134
	26	43°41.839 N; 30°03.496 E	145
	28	43°20.468 N; 29°10.287 E	148
Tiefseefächer der Donau	2	43°17.215 N; 31°02.318 E	1526
Tiefseefächer der Ukrainischen Flüsse	20/97	44°08.136 N; 31°59.502 E	1220
Tiefsee	21/97	43°19.695 N; 32°09.523 E	1998



Abb. 15: Kastengreifer auf den Forschungsfahrten im Schwarzen Meer

4.1.2.2 Das Sedimentfallenenexperiment

Das Sedimentfallensystem im Schwarzen Meer bestand aus einer Sedimentfalle in einer Tiefe von 959 m (Abb. 16). Es wurde eine Sedimentfalle vom Typ „MARK VI“ (MCLANE RESEARCH) eingesetzt (Abb. 16; Die abgebildete „Mark V“-Sedimentfalle ist im Prinzip baugleich mit der „Mark VI“), die eine kontinuierliche Beprobung des Partikelflusses ermöglicht.

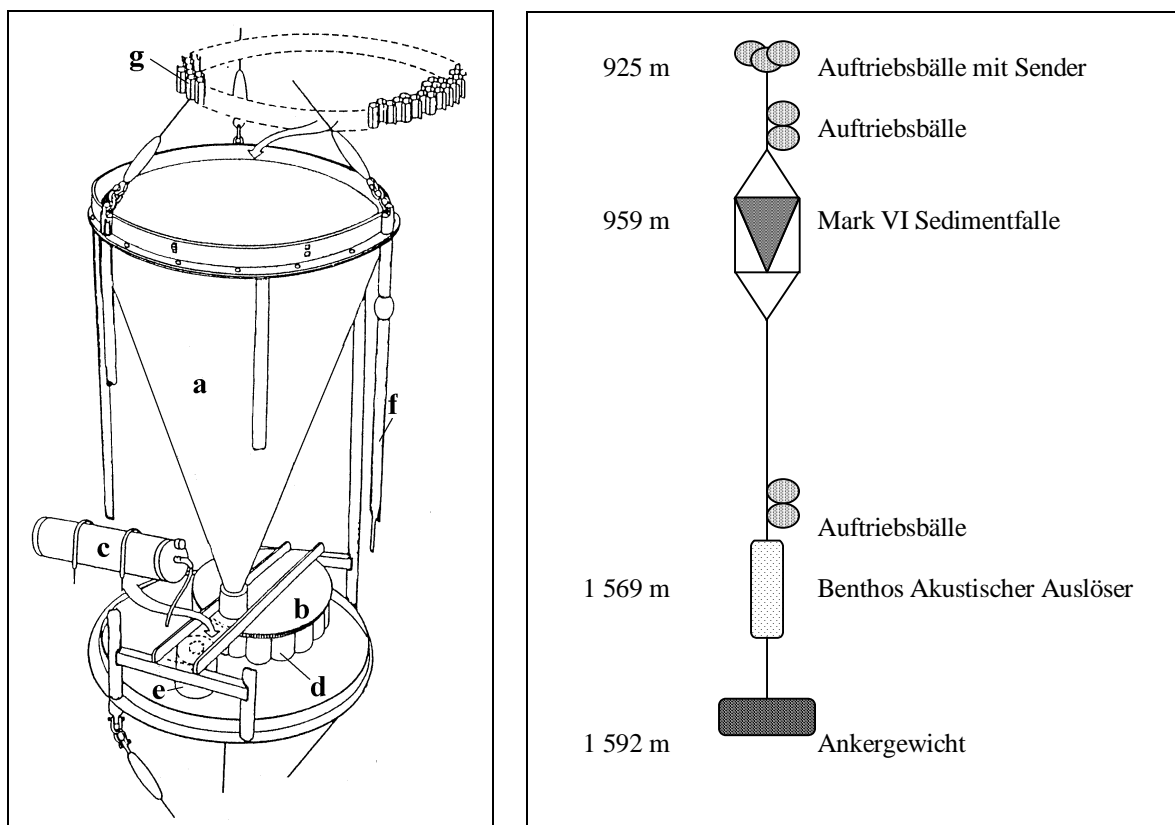


Abb. 16: Links: Sedimentfalle vom Typ „Mark V“ (MCLANE Research). a) Sammeltrichter, b) Rotor, c) Kleinrechner, d) Probenbehälter, e) Schrittmotor, f) Metallrahmen g) Wabengitter. Rechts: Schematischer Aufbau des Sedimentfallensystems im nordwestlichen Schwarzen Meer

Die „Mark VI“ besteht aus einem Kunststofftrichter mit einer Öffnung von 0,5 m² Fläche am oberen Ende, der, wie auch alle anderen Elemente der Sedimentfalle, an einem Metallrahmen fixiert ist. Unterhalb des Trichters befindet sich eine Rotorplatte, die mit 13 Probenbehältern bestückt ist und von einem batteriebetriebenen Schrittmotor angetrieben wird, wodurch die Probenbehälter unter den Trichter gedreht werden. Ein Computer steuert den Schrittmotor und speichert gleichzeitig alle Daten über die Aktivitäten des Motors während des Beprobungszeitraums ab. Diese Daten können nach der Bergung der Falle abgerufen werden und ermöglichen somit die Überprüfung der Beprobung. Am unteren Ende des Systems

befindet sich ein Ankergewicht. Nach der Betätigung eines akustischen Auslösers wird die Sedimentfalle vom Ankergewicht abgetrennt und von Auftriebsbällen an die Meeresoberfläche befördert. Das System kann nun geborgen werden.

Das Aussetzen erfolgte am 08.08.1995 mit der R/V PROF. VODYANITSKY. Die Position der Sedimentfalle liegt unter dem Einfluß des Donautiefseefächers (Tab. 4; Abb. 14, St. Nr. 2). Geborgen wurde das System bei einer kommerziellen Fahrt mit dem gleichen Schiff am 21.11.1996. Die Beprobungszeiträume sind Tab. 5 zu entnehmen.

Tab. 5: Beprobungszeiten der Sedimentfalle im Schwarzen Meer

Probe	Beprobungsbeginn	Beprobungsende	Beprobungsintervall [Tage]
BS1	15.08.95	12.09.95	28
BS2	12.09.95	10.10.95	28
BS3	10.10.95	07.11.95	28
BS4	07.11.95	05.12.95	28
BS5	05.12.95	02.01.96	28
BS6	02.01.96	30.01.96	28
BS7	30.01.96	27.02.96	28
BS8	27.02.96	27.03.96	28
BS9	27.03.96	24.04.96	28
BS10	24.04.96	22.05.96	28
BS11	22.05.96	19.06.96	28
BS12	19.06.96	17.07.96	28
BS13	17.07.96	14.08.96	28

4.2 Analytik

4.2.1 Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff

Der partikuläre Gesamtkohlenstoff (PC) und Gesamtstickstoff (PN) wurden mit einem CARLO-ERBA-CNS-Analysator Modell NA-1 500 gemessen. Von den Sedimentproben wurden 1-6 mg in eine Zinnkartusche eingewogen. Von den Schwebstoffproben (Total suspended solids = TSS) wurden 0,6 mm² große Filterfraktionen mit einem Netto Gehalt von mindestens 1 mg analysiert.

Die durchschnittliche Standardabweichung beträgt beim PN der Sedimentproben, nach Doppelbestimmungen, 0,006 Gew.-%, und 0,04 Gew.-% beim PC. Die Reproduzierbarkeit der Methode ist bei den TSS-Proben etwas schlechter, da die Einwaage nur indirekt mit Hilfe der Flächengröße der Filterfraktionen berechnet werden konnte. Hier beträgt die Standardabweichungen im Durchschnitt beim PN und PC 0,02 Gew.-% bzw. 0,11 Gew.-%. Die PC- und PN-Gehalte der TSS-Proben sind in den gleichen Größenordnungen wie bei den Sedimentproben. Daraus resultiert eine Meßgenauigkeit zwischen 3,4 und 6,9 % beim PN beziehungsweise 1,2 und 5,1 % beim PC.

4.2.2 Karbonat und organischer Kohlenstoff

Der Karbonatgehalt der Sedimente wurde mit einem CARMHOGRAPH 6 der Firma WÖSTHOFF GmbH ermittelt, wobei die Einwaage 5-10 mg betrug.

Die Proben werden während des Erhitzens mit 2n H₃PO₄ versetzt, worauf das entstehende CO₂-Gas kontinuierlich durch eine 0,1n NaOH-Lösung geleitet wird. Die Veränderung in der elektrischen Leitfähigkeit der Natronlauge ist proportional zur CO₂-Entwicklung. Die Kalibrierung des CARMHOGRAPH C12S erfolgt über 100%iges CaCO₃. Der partikuläre organische Kohlenstoff (POC) wird durch Abzug des Karbonatkohlenstoffs (PIC) vom Gesamtkohlenstoff ermittelt. Die mittlere Standardabweichung des PIC liegt nach Doppelbestimmung bei 0,5 Gew.-%. Die Gehalte variieren zwischen 0,1- und 9,1 Gew.-%, womit die Meßgenauigkeit bei 2,9 % liegt.

Der POC-Gehalt der Schwebstoffproben wurde mit dem CARLO-ERBA-CNS-Analysator Modell NA-1 500 bestimmt, da nicht genug Materialmengen für die Karbonatanalyse mit dem CARMHOGRAPH C12S der Firma WÖSTHOFF GmbH zur Verfügung standen.

Hierzu wird die Proben in einer Silberkartusche mit 60 µl 30 %iger H_3PO_4 behandelt, um den PIC aus der Probe zu entfernen. Danach wird die Proben getrocknet und erneut analysiert (siehe unter: 4.2.1). Die Standardabweichung liegt durchschnittlich bei 0,09 Gew.-%, womit sich bei POC-Gehalten zwischen 0,7 und 48,2 % ein relativer Fehler von 7,7 % ergibt. Zur Berechnung der organischen Substanz wird der POC-Gehalt mit einem Faktor von 1,8 multipliziert (z. B. MÜLLER *et al.*, 1986).

4.2.3 *Biogenes Opal*

Für die Bestimmung des Gehaltes an biogenem Opal wurde eine modifizierte Methode nach MORTLOCK & FROELICH (1989) benutzt. Die Einwaage betrug bei den Sedimentproben 2-5 mg. Wegen der geringen Probenmengen konnte bei den Schwebstoffproben kein biogenes Opal bestimmt werden.

Die Probe wird mit 1 ml 1n HCl entkarbonatisiert, bei 40°C getrocknet und mit 1 ml 2 %igem H_2O_2 versetzt, um die organische Substanz zu oxidieren und wieder bei 40° getrocknet. Das biogene Opal wird durch fünfstündiges Kochen mit 10 ml 7 %iger Na_2CO_3 -Lösung bei 85°C gelöst. Vom Überstand wird 0,2 ml partikelfrei entnommen und mit 9,8 ml Reinstwasser (Nanopur) verdünnt, mit Oxalsäure versetzt und mit Ascorbinsäure angesäuert. Das biogene Opal wird nun über einen Ammoniumheptamolybdat-Farbkomplex photometrisch gemessen. Zur Umrechnung des Siliziumgehalts in biogenes Opal wird der Faktor 2,4 eingesetzt, der den mittleren Wassergehalt von Diatomeenschalen mit einbezieht (MORTLOCK & FROELICH, 1989). Die mittlere Standardabweichung liegt nach Doppelbestimmungen bei 0,1 Gew.-%, womit sich bei Gehalten von 1,1-6,0 % Opal ein durchschnittlicher relativer Fehler von 3,7 % ergibt. Die Reproduzierbarkeit der Methode ist bei Proben mit Gehalten von über 6 % Opal etwas besser und liegt im Durchschnitt bei 2,9 %.

4.2.4 *Lithogenes Material*

Die Anteile des lithogenen Materials bei den Sediment- und Sinkstoffproben wird aus der Differenz zwischen Gesamtmaterial und der Summe aller biogenen Komponenten errechnet. Bei den TSS-Proben war dies nicht möglich, da biogenes Opal nicht gemessen werden konnte (siehe unter: 4.2.3).

4.2.5 Aminosäuren und Aminosäure

Die Analyse der partikulären Aminosäuren (PAA) und Aminosäure (PAS) erfolgte mit dem Aminosäure-Analysator LKB 4151 ALPHA PLUS (Flüssigkeitschromatograph) der Firma PHARMACIA. Von den Sedimentproben wurden, dem POC-Gehalt entsprechend, jeweils 10-80 mg in eine ausgeglühte Glasampulle (550°C, 5 h) eingewogen.

Die Proben werden mit 6n HCl unter Argon in der Glasampulle verschweißt und für 22 Stunden bei 110°C hydrolysiert. Zur Entfernung der Säure wird ein Aliquot des Hydrolysats partikelfrei entnommen und mit einem Rotationsverdampfer unter Vakuum bei 40°C eingengt. Die Probe wird mehrmals mit Reinstwasser (Nanopur) gewaschen und wieder eingengt. Der Rückstand wird mit einer definierten Menge Verdünnungspuffer (pH 2,2) aufgenommen und zur Analyse injiziert. Bei den TSS-Proben wurden dem POC-Gehalt entsprechend Hälften bzw. Viertel aus den Filtern direkt hydrolysiert und wie bei den Sedimenten bearbeitet.

Die Probe kommt auf ein Kationenaustauscherharz, durch das schrittweise fünf Natriumcitratpuffer mit unterschiedlichen pH-Werten bei vier Temperaturen geleitet werden, um die 18 PAA- und 2 PAS-Monomere zu trennen. Bei der Reaktion der PAA und PAS mit O-Phthaldialdehyd und 2-Mercaptoethanol bilden sich fluoreszierende Verbindungen, deren Konzentrationen durch ein Fluorimeter quantifiziert werden können. In Tab. 6 sind die Analyseparameter und in Tab. 7 das Analyseprogramm aufgeführt. Die Grundlagen des Verfahrens und der Reaktionen sind bei ROTH & HAMPAL (1973) beschrieben. Bei der Ermittlung der Meßgenauigkeit durch Doppelbestimmungen ergibt sich eine Standardabweichung, die bei den PAA und PAS zwischen 37 und 948 $\mu\text{g g}^{-1}$ bzw. 13 und 94 $\mu\text{g g}^{-1}$ Sediment variiert. Die Reproduzierbarkeit der Analytik liegt durchschnittlich bei 9,5 bzw. 8,1 %.

Tab. 6: Analyseparameter der Aminosäureanalytik

Harz:	DC 4-75,7 μm
Säule:	Rostfreie Hochdruckstahlsäule (150*4.6 mm)
Puffer:	Puffer 1: pH 2,85 (14,79 g $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, + 1,10 g NaCl + 84,91 ml $\text{H}_3\text{C}(\text{OH})\text{CH}_3$) auf 1 l Puffer 2: pH 3,40 (9,80 g $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) auf 1 l Puffer 3: pH 4,65 (9,80 g $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) auf 1 l Puffer 4: pH 6,15 (9,80 g $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) auf 1 l Puffer 5: pH 10,20 (10,45 g $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 8,48 g LiCl + 110 mg H_3BO_3) auf 1 l Puffer 6: pH 6,20 (0.4N NaOH) auf 1 l
Reagenz:	1g O-Phthalaldehyd in 10 ml $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ + 5 ml ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$) + 63.0g KOH +74.2g H_3BO_3 + 6 ml 30% Polyoxethylenäurylether auf 2 l
Flußraten:	Puffer: 24 ml hr^{-1} ; Reagenz: 26 ml hr^{-1}
Detektor:	FLD-6A Fluoreszenzdetektor (Shimadzu)

Tab. 7: Analyseprogramm der Aminosäureanalytik

Schritt	Puffer	Temperatur [°C]	Zeit [min]
1	2	58	18
2	4	62	4
3	2	64	6
4	3	64	8
5	4	66	10
6	5	75	15
7	5	92	40
8	6	85	12
9	1	85	5
10	1	80	13
11	1	66	8
12	1	60	2

4.2.6 Zucker

Die Analyse der partikulären Zucker (PCHO) erfolgte mit einem für die Analyse von Monosacchariden umgerüsteten LKB 4151 ALPHA PLUS Aminosäure-Analysator der Firma PHARMACIA. Es wurden dafür von den TSS-Proben dem POC-Gehalt entsprechend Hälften bzw. Viertel aus den Filtern (60-200 mg Trockensubstanz) in ausgeglühten Glasampullen (550°C, 5 h) direkt hydrolisiert.

Die Proben werden mit 2n HCl versetzt und 3,5 h bei 105°C hydrolysiert. Ein Aliquot des partikelfreien Hydrolysates wird zur Entfernung der Säure in einem Spitzkolben in einem Rotationsverdampfer unter Vakuum eingengt. Um den Verlust von Monosacchariden durch Kondensationsreaktionen an den Wänden der Spitzkolben zu vermeiden, wird der Probe vor der Einengung 40 µl eines Glycerin/Äthanol-Gemisches (1:1) zugegeben. Die Probe wird mehrmals mit Reinstwasser (Nanopur) gewaschen und wieder eingengt. Der Rückstand wird mit einer definierten Menge Reinstwasser (Nanopur) aufgenommen und zur Analyse injiziert.

Die PCHO werden über ein Anionenaustauscherharz geleitet und flüssigkeitschromatographisch getrennt. Die Trennung der neun PCHO-Monomere als Boratkomplex erfolgt schrittweise mit zwei Boratpuffern. Die PCHO reagieren mit einer Bicinchoninat-Cu²⁺-Asparaginsäure-Lösung, wodurch sich ein blauer Farbkomplex bildet, der photometrisch quantifiziert werden kann. Die Analyseparameter und das Analyseprogramm sind in Tab. 8 und Tab. 9 aufgeführt. Es konnten neun Monosaccharide erfaßt werden, wobei die Auftrennung von Arabinose und Fucose nicht gelang. Die Methode ist ausführlich bei MOPPER (1978) beschrieben. Nach Doppelbestimmungen liegt die mittlere Standardabweichung bei 622 µg g⁻¹ Sediment. Der relative Fehler liegt bei 8,9 %.

Tab. 8: Analyseparameter der Zuckeranalytik

Harz:	DA-X4 20µm (Durrum Chemical Co.), Boratform
Säule:	Rostfreie Hochdruckstahlsäule 270x4,6 mm
Puffer:	0,5M H ₃ BO ₃ , 0,6M H ₃ BO ₃ , pH 8,60
Reagenz:	gepufferte Bicinchoninat-Cu ²⁺ -Asparaginsäurelösung
Flußraten:	Puffer: 17 ml h ⁻¹ , Reagenz: 11,5 ml h ⁻¹
Reaktionsbad:	127°C, Silikonöl, 10 m x 0,3 mm Teflonschlauch
Detektor:	Photometer mit Durchflußzelle

Tab. 9: Analyseprogramm der Zuckeranalytik

Schritt	Puffer	Temperatur [°C]	Zeit [min]
1	1	72	15
2	2	72	90
3	2	72	60
4	1	72	30
5	1	72	1

4.2.7 Stickstoffisotope

Die Untersuchung der N-Isotope wurde im Isotopenlaboratorium für biologische und medizinische Forschung der Universität Göttingen durchgeführt. Zur Bestimmung von $\delta^{15}\text{N}$ an Oberflächensedimenten des Schwarzen Meeres wurde ein Gasisotopenverhältnismassenspektrometer FINNIGAN MAT 251 mit einer Einfangbox (CT-Box) und einem CARLO-ERBA-CNS-Analysator (Modell NA-1 500) gekoppelt (REINEKING *et al.*, 1993).

Da die Abweichungen von der mittleren natürlichen Häufigkeit des ¹⁵N-Isotops (0,3663 %) sehr klein sind, wird das ¹⁵N/¹⁴N-Verhältnis einer Probe in Relation zu dem eines Standards gesetzt und als δ -Wert in ‰ angegeben (SCHMIDT, 1974).

$$\delta = [(R_{\text{Probe}} - R_{\text{Standard}})/R_{\text{Standard}}] * 1000 (\text{‰})$$

Hierbei ist R das Isotopenverhältnis ($R = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$). Als internationaler Standard für Stickstoff wird Luftstickstoff verwendet, dessen $\delta^{15}\text{N}$ -Wert gleich 0 ‰ gesetzt wird (MARIOTTI, 1984). Aus Mehrfachbestimmungen resultiert daraus eine Standardabweichung von 0,2 ‰. Bei $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der Proben zwischen 1,9 und 8,7 ‰ liegt damit der relative Fehler zwischen 2,2 und 10,3 %.

4.2.8 Blei- und Cäsiumisotope

Zur Ermittlung von Sedimentakkumulationsraten wurden an zwei Sedimentkernen Blei- und Cäsiumisotope (^{210}Pb bzw. ^{137}Cs) im Isotopenlaboratorium für biologische und medizinische Forschung der Universität Göttingen gemessen. In den vorliegenden Sedimentproben wurden die Aktivitäten der radioaktiven Nuklide ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,3$ a, $E_{\gamma} = 46,5$ keV), ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1\,600$ a, über ^{214}Pb mit $E_{\gamma} = 351,9$ keV) und ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,2$ a, $E_{\gamma} = 661,7$ keV) mit verschiedenen Reinst- Germaniumdetektoren bestimmt.

Je nach Probenmenge (1–6 g) werden zwei unterschiedliche Meßgeometrien gewählt: ein 5-ml-Gefäß für einen Bohrlochdetektor und ein 25-ml-Gefäß für einen planaren Germaniumdetektor. Die Meßzeit liegt bei 250 000 Sekunden pro Probe. Die Grundlagen des Verfahrens sind bei ROBBINS & EDINGTON (1975) beschrieben. Nach Doppelbestimmungen liegt die Standardabweichung der ^{137}Cs -Aktivität zwischen 2,2 und 15,8 Bq kg⁻¹. Die Aktivität im Sediment variiert zwischen 39,6 und 914,8 Bq kg⁻¹, womit der relative Fehler zwischen 1,7 und 13,2 % liegt. Die ^{210}Pb -Analytik weist eine Reproduzierbarkeit von durchschnittlich 14,1 % auf. Die mittlere Aktivität im Sediment liegt bei 80,0 Bq kg⁻¹ mit einer mittleren Standardabweichung von 11,3 Bq kg⁻¹.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Der Schwebstofftransport in der Donau

5.1.1 Schwebstoffkonzentrationen

Die TSS-Konzentrationen der Donau liegen im Untersuchungszeitraum zwischen 5,0 und 116,6 mg l⁻¹ (Tab. 16, Anhang) mit einem Mittelwert von 45,2 mg l⁻¹. Der Durchschnitt der Proben in den Deltaarmen der Donau liegt bei 64,9 mg l⁻¹. Bei den Zuflüssen der Donau wurden nur die Mündungsbereiche der größten rumänischen Zuflüsse beprobt, die für das Abflußregime der Donau von Bedeutung sind (SIKORA, *et al.* 1988). Die Zuflüsse Siret, Topolnita und Jiu weisen die höchsten TSS-Konzentrationen auf (374,0 mg l⁻¹, 293,4 mg l⁻¹ bzw. 262,7 mg l⁻¹). Im Einzugsgebiet dieser Zuflüsse ist eine weitaus höhere Anzahl von Bergwerken angesiedelt als bei den anderen (R.C.M.G.G., 1995). Die Entsorgung des Abraums könnte für die hohen TSS-Konzentrationen verantwortlich sein. Die TSS-Konzentrationen der restlichen untersuchten Donauzuflüsse liegen im Bereich der in der Donau gemessenen Werte.

MEYBECK (1976) etablierte neun verschiedene TSS-Konzentrationsgruppen auf der Basis eines Datensatzes, der 44 % des globalen fluviatilen Eintrags in die Ozeane repräsentiert (Gruppe I: 5 mg l⁻¹-15 mg l⁻¹; Gruppe II: 15 mg l⁻¹-50 mg l⁻¹; Gruppe III: 50 mg l⁻¹-150 mg l⁻¹; Gruppe IV: 150 mg l⁻¹-500 mg l⁻¹; Gruppe V: 500 mg l⁻¹-1 500 mg l⁻¹ usw.). Er ordnete die Donau in eine Gruppe mit TSS-Konzentrationen von 50-500 mg l⁻¹ ein (MEYBECK, 1982). Zu dieser Gruppe gehören z. B. der Zambesi, der Amazonas und der Amur, die er als Flüsse charakterisiert, die zumeist durch Tiefebene fließen und deren Ursprungsgewässer Bergregionen durchlaufen. Am gesamten Frischwassereintrag in die Ozeane ist diese Gruppe mit bis zu 52 % beteiligt und mit etwa 20 % am Sedimenteintrag. Weitere 40 % des Sediment- und 2 % des Frischwassereintrags werden weltweit von Flüssen aus ariden und semiariden Regionen wie z. B. dem Indus, dem Rio Grande oder dem Colorado bestritten. Die TSS-Konzentrationen liegen dort bei über 1 500 mg l⁻¹. Der Rest wird von Bergflüssen in die Ozeane eingetragen mit TSS-Konzentrationen zwischen 500 mg l⁻¹ und 1 500 mg l⁻¹, wie z. B. dem Ganges, dem Brahmaputra und der Rhone (MEYBECK, 1982). Die TSS-Konzentrationen der Donau verteilen sich über die ersten drei der von MEYBECK (1976) eingeteilten Konzentrationsgruppen (Tab. 10).

Tab. 10: TSS-Konzentrationsgruppen in der Donau

Bezeichnung (MEYBECK, 1976)	TSS-Konzentration	Probenanzahl in der Donau	Durchschnittliche TSS-Konzentration In der Donau
Gruppe I	5 mg l ⁻¹ -15 mg l ⁻¹	15	8,82
Gruppe II	15 mg l ⁻¹ -50 mg l ⁻¹	24	38,17
Gruppe III	50 mg l ⁻¹ -150 mg l ⁻¹	25	73,77

5.1.2 Partikulärer organischer Kohlenstoff

Die POC-Anteile der Schwebstoffe in der Donau variieren zwischen 2,0 und 6,4 % (Tab. 16, Anhang) mit einem Durchschnittswert von 3,8 %. Hieraus resultiert eine mittlere POC-Konzentration von 1,4 mg l⁻¹. Im Mündungsbereich der Deltaarme liegen die durchschnittlichen POC-Konzentrationen bei 1,6 mg l⁻¹, womit sie in die Größenordnung des von MEYBECK (1982) für gemäßigte Breiten angegebenen Mittelwertes von 2,5 mg l⁻¹ fallen. Global liegt dieser Wert am unteren Ende der gemessenen POC-Konzentrationen von 1-30 mg l⁻¹ (MEYBECK, 1982). Die höchsten POC-Gehalte wurden mit 15 % bei Arges beobachtet, gefolgt von Ialomita mit 8,6 %, was im Zusammenhang mit der Einleitung von industriellen und städtischen Abwässern steht (R.C.M.G.G., 1995). Die POC-Anteile der restlichen untersuchten Donauzuflüsse liegen im Bereich der in der Donau gemessenen Werte.

Die POC-Gehalte im IGI-Reservoir sind generell höher als flußabwärts der Staumauer (4,0 bis 10,0 %). Dies steht im Zusammenhang mit der Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit im Reservoir und der damit einhergehenden Verringerung der TSS-Konzentration. Aus diesem Grund wird der untersuchte Donauabschnitt (Abb. 12) in zwei Segmente differenziert. Das erste Segment (km 1072,4 bis km 944) wird deshalb im folgenden als IGI, das zweite Segment flußabwärts dieser Trennlinie (km 944 bis zur Mündung) als Donau bezeichnet. Die Ergebnisse aus dem IGI unterstreichen die Notwendigkeit dieser Aufteilung (siehe unter: 5.1.6).

5.1.3 Lokale und saisonale Variabilität

In Abb. 17 werden die drei TSS-Konzentrationsgruppen der Donau in Relation zur durchschnittlichen Entfernung der zugehörigen Meßstationen von der Flußmündung gesetzt. Die höchsten TSS-Konzentrationen (Gruppe III) wurden im Durchschnitt näher an der Mündung gemessen. Die niedrigsten TSS-Konzentrationen (Gruppe I) liegen im Oberlauf am weitesten

von der Mündung entfernt. Dies steht in Zusammenhang mit der Sedimentation hinter der IGI-Staumauer, wodurch Partikel der Suspension entzogen werden (siehe unter: 5.1.6). Der Anstieg der TSS-Konzentrationen mit Annäherung an die Flußmündung läßt sich durch den Sedimenteintrag der Zuflüsse und die fortschreitende Erosion im Flußbett der Donau erklären.

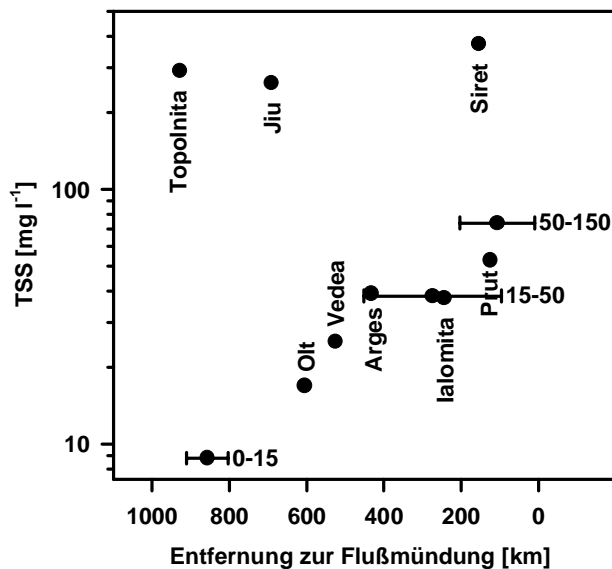


Abb. 17: Relation zwischen den drei TSS-Konzentrationsgruppen der Donau und der Entfernung der zugehörigen Stationen von der Flußmündung. Die Balken kennzeichnen die mittleren Abweichungen des durchschnittlichen Flußkilometers der entsprechenden TSS-Konzentrationsgruppe. Einzelne Punkte kennzeichnen die Lage der Zuflüsse und deren TSS-Konzentrationen

Die saisonale Variabilität in der TSS-Konzentration zeigen die von HUMBORG (1995) durchgeführten Messungen aus dem Jahr 1992. Er fand erhebliche Differenzen zwischen den Monaten mit höchster und niedrigster Wasserführung (Abb. 4). Im Mai und August ermittelte er TSS-Konzentrationen von 197,0 mg l⁻¹ bzw. 13,3 mg l⁻¹. Ebenso zeigten die POC-Anteile der Schwebstoffe saisonale Unterschiede. Im August 1992 stellte POC 11,4 % der Schwebstofffracht, wobei im Mai der Wert mit 0,9 % um eine Größenordnung niedriger war. Die POC-Konzentrationen (Mai: 1,7 mg l⁻¹; August: 1,5 mg l⁻¹) ähneln sich in den Monaten größter und niedrigster Durchflußraten. Bei hohen Schwebstoffkonzentrationen sind die POC-Gehalte niedrig und umgekehrt. Aufgrund dieser inversen Korrelation zwischen POC-Gehalten und TSS-Konzentrationen gleichen sich die POC-Konzentrationen im Mai und August an. Die durchschnittlichen POC-Konzentrationen vom Juni 1995 (1,4 mg l⁻¹) liegen in der gleichen Größenordnung der Werte von HUMBORG (1995) vom Mai 1992 (1,7 mg l⁻¹).

5.1.4 Beziehung zwischen Schwebstoffkonzentration und partikulärem organischen Kohlenstoff

Die POC-Gehalte sämtlicher Schwebstoffproben aus der Donau korrelieren invers mit den TSS-Konzentrationen (Abb. 18a, b). Diese Korrelation wurde in Flüssen weltweit beobachtet (z. B. MEYBECK, 1982; ITTEKOT, 1988, Abb. 18d).

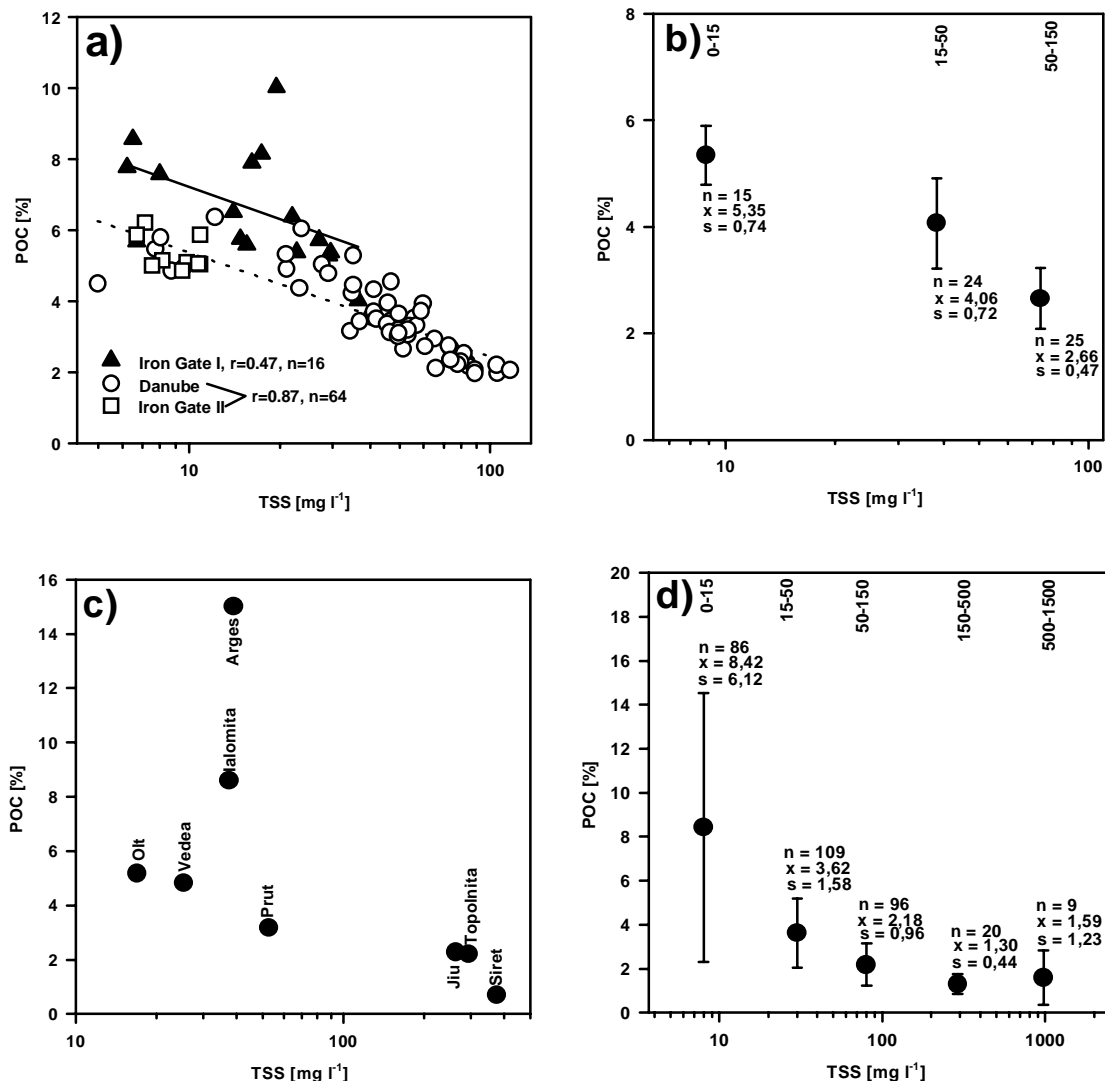


Abb. 18: Inverse Korrelation zwischen TSS-Konzentration und POC-Gehalten, (n) Anzahl der Proben, die Balken kennzeichnen die mittlere Abweichung (s) vom durchschnittlichen POC-Gehalt (x)

- Sämtliche Proben aus dem Untersuchungsgebiet (Proben, flussaufwärts der IGI und IGII Staustufen wurden entsprechend gekennzeichnet, Proben, die flussabwärts der IGII Staustufe gewonnen wurden, sind mit Donau betitelt (vergleiche: Abb. 12)
- Proben flussabwärts des IGI-Reservoirs
- Proben der Donauzuflüsse
- global (aus: Ittekkot, 1988)

In sehr trüben Strömen wie dem Huang He oder dem Missouri mit TSS-Konzentrationen > 1 000 mg l⁻¹ hat POC einen Anteil von weniger als 1 %. In Flüssen mit TSS-Konzentrationen < 10 mg l⁻¹ liegt dieser Anteil bei bis zu 30 %. Die Abnahme der POC-Gehalte mit zunehmenden

der TSS-Konzentration wird mit der Verdünnung von partikulärem organischen Material (POM) durch mineralische Partikel aus dem Oberlauf der Flüsse erklärt (MEYBECK, 1982). Außerdem ist die Primärproduktion aufgrund geringerer Lichtdurchflutung des Oberflächenwassers während Perioden hoher Schwebstoffkonzentrationen vermindert (THURMAN, 1985; CLOERN, 1987). Die inverse Korrelation von POC-Gehalten und TSS-Konzentrationen in der Donau liegen im globalen Trend (Abb. 18b, d).

5.1.5 Zusammensetzung der organischen Substanzen

5.1.5.1 Aminosäuren- und Aminosäurekonzentrationen

Die PAA- und PAS-Konzentrationen in der Donau liegen zwischen 82,3 und 603,0 $\mu\text{g l}^{-1}$ bzw. 5,3 und 28,1 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Tab. 17, Anhang) mit einem Mittelwert von 330,5 bzw. 14,1 $\mu\text{g l}^{-1}$. Bei den Zuflüssen liegen die PAA- und PAS-Konzentrationen zwischen 270,2 und 1 642,5 $\mu\text{g l}^{-1}$ bzw. 9,5 und 95,0 $\mu\text{g l}^{-1}$. Die Werte der Donau und ihrer Zuflüsse liegen damit in einem Bereich, der in vielen Flüssen mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen gemessen wurde (Abb. 19).

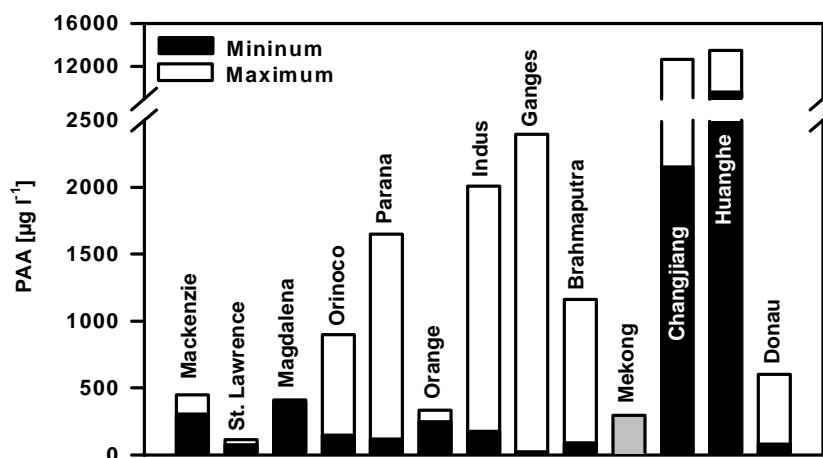


Abb. 19: Konzentrationen von PAA in den aufgeführten Flüssen. Bei Magdalena liegt eine einmalige Probenentnahme zugrunde. Bei Changjiang liegt eine einmalige Probenentnahme verschiedener Stationen entlang des Flusses zugrunde. Beim Huanghe wurden die Proben an verschiedenen Stationen entlang des Flusses zweimal im September gewonnen. Der Mekongwert stammt von einer Probe, die von Meybeck zur Verfügung gestellt wurde. Beim Rest der aufgeführten Flüsse, außer der Donau, repräsentieren die Proben mindestens einen saisonalen Zyklus. (Daten aus: ITTEKKOT & ZHANG, 1989)

5.1.5.2 Zuckerkonzentrationen

Die PCHO-Konzentrationen variieren von 134,6-416,9 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Tab. 19, Anhang) mit einem Durchschnitt von 314,5 $\mu\text{g l}^{-1}$. Damit entsprechen die Werte der Donau in etwa den PCHO-Konzentrationen, die auch in anderen europäischen- und außereuropäischen Flüssen, mit anderen klimatischen Verhältnissen, gemessen wurden (Abb. 20).

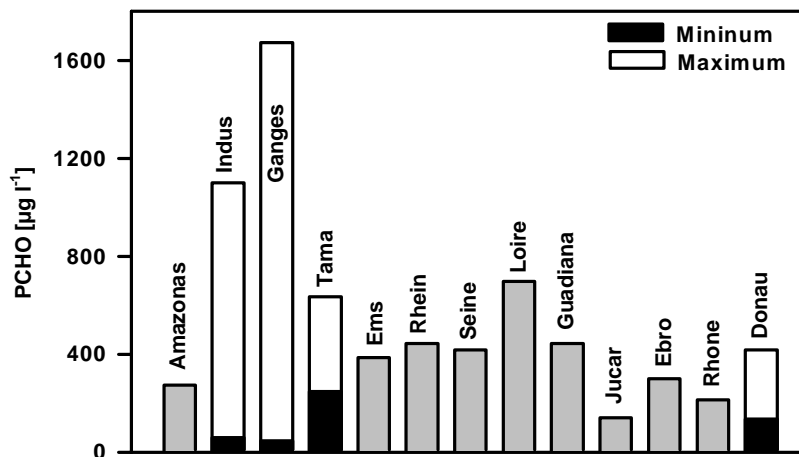


Abb. 20: PCHO-Konzentrationen in den aufgeführten Flüssen. Beim Amazonas handelt es sich um einen Durchschnittswert von Proben aus einer Hochwasserphase (HEDGES *et al.*, 1994). Beim Indus und Ganges wurde mindestens ein saisonaler Zyklus abgedeckt (ITTEKKOT *et al.*, 1985; ITTEKKOT & ARAIN, 1985). Die Proben aus dem japanischen Fluß Tama stammen nur aus einer Jahreszeit, jedoch wird dort kaum eine saisonale Variabilität beobachtet (OCHIAI *et al.*, 1988). Bei den europäischen Flüssen Ems, Rhein, Seine, Loire, Guadiana, Jucar, Ebro und Rhone handelt es sich um Schwebstoffe aus dem Mündungsbereich der Flüsse, die im Herbst beprobt wurden (SEIFERT, 1985).

5.1.5.3 Anteile der Aminosäuren, Aminosucker und Zucker am partikulären organischen Kohlenstoff

Die PAA und PAS tragen zu 5,3-14,6 % bzw. 0,2-0,7 % und die PCHO zu 8,0-14,4 % zum POC bei (Tab. 17, Anhang; Tab. 19, Anhang). Die Anteile von PAA, PAS und PCHO am POC werden als labiler partikulärer organischer Kohlenstoff (LPOC) bezeichnet. Der vollständige Anteil des LPOC wurde für fünf Proben bestimmt. Er zeigt keine große Variabilität und liegt zwischen 17,1 und 26,0 % mit einem Durchschnittswert von 22,2 %.

Die Donau fällt damit in einen Bereich, der in Flüssen mit maximalen TSS-Konzentrationen $> 500 \text{ mg l}^{-1}$ gemessen wurde, wie z. B. Indus, Ganges, Brahmaputra und Yangtze (ITTEKKOT, 1988; Abb. 21). Bei Flüssen mit TSS-Konzentrationen $< 150 \text{ mg l}^{-1}$ liegen die LPOC-Anteile zwischen 22 und 46 %. Die Proben aus der Donau decken jedoch keinen saisonalen Zyklus ab.

Während einer Periode mit niedriger TSS-Konzentration könnte, aufgrund der höheren Lichtdurchflutung und der damit verbundenen Stimulierung der biologischen Produktion, der LPOC-Gehalt in den Schwebstoffen höher sein. Außerdem könnte die Sedimentation und Degradation von LPOC im IGI-Reservoir für die niedrigen Werte in der Donau verantwortlich sein. Niedrige LPOC-Werte werden auch am Indus, Nil, Niger und Orange mit Dämmen und Rückhaltebecken in Verbindung gebracht (ITTEKKOT, 1988). Welche Prozesse im IGI wirksam sind, wird in Kapitel 5.1.6 behandelt.

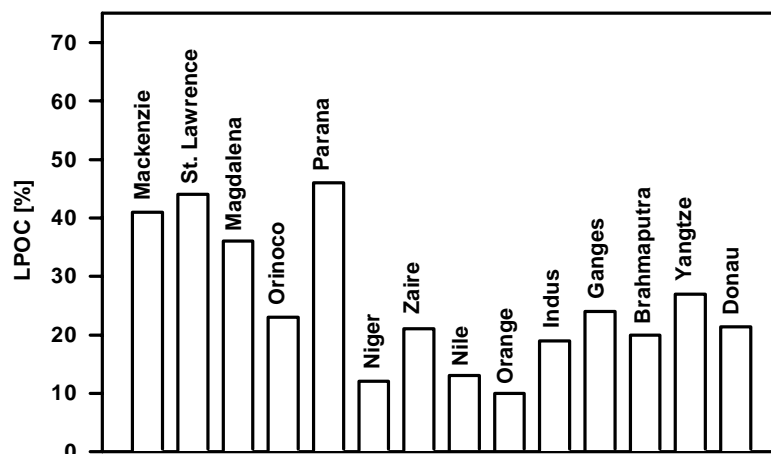


Abb. 21: Verteilung von LPOC in der Schwebstofffracht der aufgeführten Flüsse. Für Magdalena, Yangtze und Zaire stellen die Zahlen Durchschnittswerte aus mindestens zwei Proben eines Beprobungszeitraums dar. Für die restlichen Flüsse außer der Donau sind dies Durchschnittswerte von mindestens vier Proben, die mindestens einen saisonalen Zyklus repräsentieren (aus: ITTEKKOT, 1988). Bei der Donau handelt es sich um einen Durchschnittswert aus fünf Proben einer Beprobungsperiode

Im Gegensatz zur inversen Korrelation zwischen TSS-Konzentrationen und POC-Gehalten (Abb. 18a, b) läßt sich zwischen LPOC-Gehalten und den TSS-Konzentrationsgruppen in der Donau kein vergleichbarer Zusammenhang beobachten (Abb. 22b). Die relativ gleichmäßige Verteilung der LPOC-Gehalte über die TSS-Konzentrationsgruppen unterscheidet sich von dem Trend, der weltweit in Flüssen beobachtet wird. Dort sinken die LPOC-Anteile mit steigender TSS-Konzentration aufgrund des Eintrags von organischem Material, das an labilen Komponenten verarmt ist (ITTEKKOT, 1988). In der Donau scheint die Abnahme der LPOC-Anteile aufgrund der Verdünnung mit abgebauten organischen Substanzen durch den Eintrag von frischen organischen Komponenten aus den Zuflüssen wieder ausgeglichen zu werden. Darüber hinaus bedeutet das, daß der Rückgang der POC-Gehalte bei steigenden TSS-Konzentrationen (siehe unter: 5.1.4) eher auf die Verdünnung des organischen Materials mit lithogenen Partikeln zurückzuführen ist, als auf den Rückgang des Eintrags von autochthonem POC.

Die an PAA und PAS gebundenen Anteile des POC (PAA-C bzw. PAS-C) der Donauzuflüsse reichen von 5,5-32,4 % bzw. 0,3-0,6 %. Insgesamt deutet sich zwischen den Zuflüssen eine inverse Kopplung zwischen TSS-Konzentrationen und PAA-C- und PAS-C-Anteile an. Dies zeigt, daß bei Zuflüssen mit vergleichsweise niedrigen TSS-Konzentrationen der Eintrag von in situ produziertem POC begünstigt wird. Aufgrund der Stimulierung der Primärproduktion bei geringer Trübung wird bei niedrigen TSS-Konzentrationen ein höherer Anteil an labilen Komponenten beobachtet. Vedeia zeigt einen überdurchschnittlich hohen LPOC-Anteil (Abb. 22a). Vedeia ist der einzige der untersuchten Zuflüsse, der nicht in den Karpaten entspringt, sondern in den Ausläufern des Gebirges. Somit könnte die geringere Reliefenergie für ruhigere Strömungsverhältnisse sorgen, was möglicherweise die biologische Produktion erhöht.

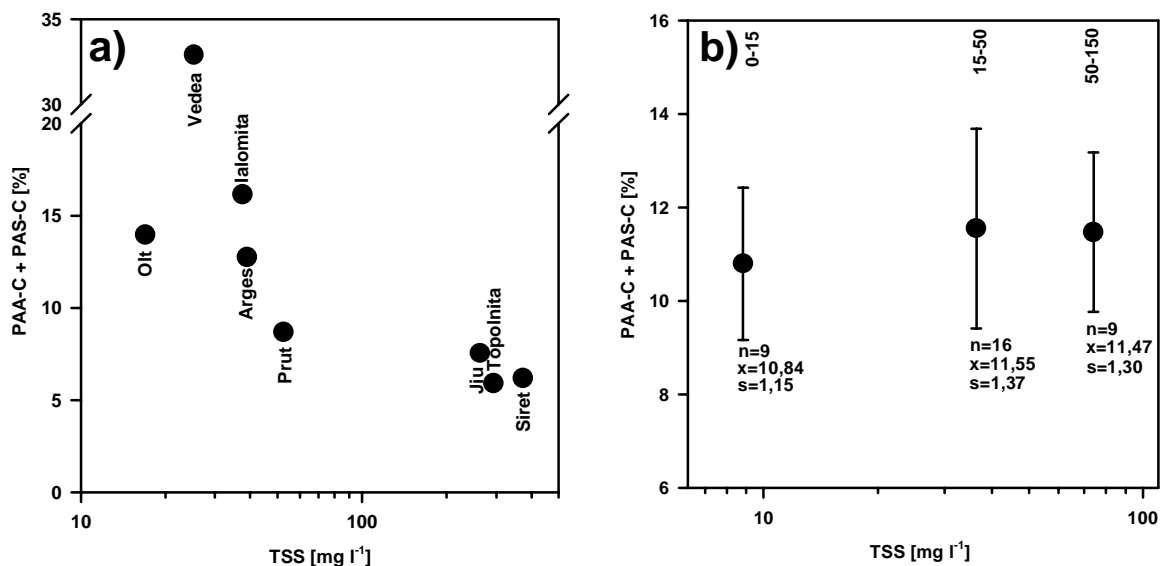


Abb. 22: Relation zwischen TSS- Konzentration und PAA-C + PAS-C Anteilen a) der Donauzuflüsse und b) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen PAA-C + PAS-C- Anteil (x). Der PCHO-C geht in diese Abbildungen aufgrund zu geringer Datenmengen nicht mit ein

5.1.5.4 Anteile der Aminosäuren und Aminosücker am partikulären Stickstoff

Global werden jährlich $0,03 \cdot 10^9$ t PN transportiert und zwar zu 80 % von Flüssen mit hohen Schwebstoffkonzentrationen wie dem Ganges, Brahmaputra, Mekong und Huanghe (ITTEKOT & ZHANG, 1989). Es wird angenommen, daß partikulärer organischer Stickstoff die dominante Form des Stickstoffs in der Suspension von Flüssen ist (MEYBECK, 1982). Aminosäuren haben einen großen Anteil am organischen Material in aquatischen Systemen. Daher sollte über den

Anteil des partikulären Aminosäurestickstoffs am PN (PAA-N) eine Abschätzung der fluviatilen Transportraten von organischem und anorganischem Stickstoff erfolgen können. Die Ergebnisse von ITTEKKOT & ZHANG (1989) zeigen jedoch, daß global nur etwa 20 % des PN in Flüssen von Aminosäuren beigetragen wird. Die biogeochemische Zusammensetzung der restlichen 80 % ist wenig bekannt.

Die Anteile des PAA-N in den Schwebstoffen der Donau liegen zwischen 9,3 und 27,2 % (Tab. 17, Anhang). Wie auch beim LPOC liegen die PAA-N-Beträge der Donau im Vergleich mit anderen Flüssen im unteren Bereich (Abb. 23). Ähnliche Werte wurden in Flüssen, wie z. B. dem Orange, Mekong, Huanghe und Mackenzie, gemessen. Mit einem Mittelwert von 19,4 % entspricht die Donau jedoch dem globalen Mittelwert von etwa 22 % (ITTEKKOT & ZHANG, 1989).

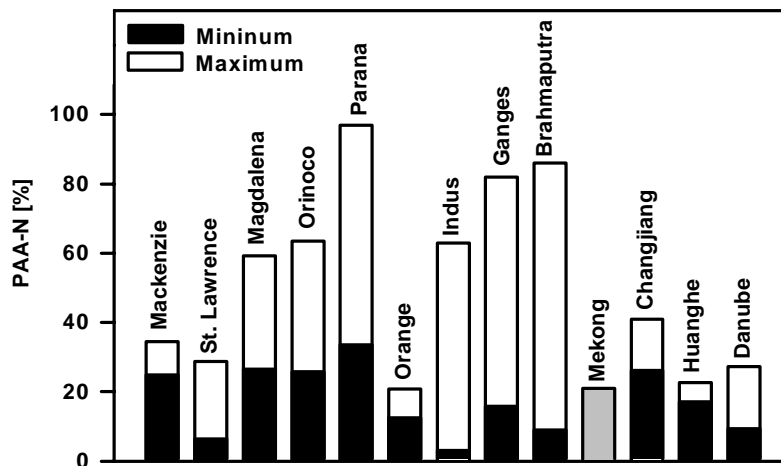


Abb. 23: Verteilung von PAA-N in der Schwebstofffracht der aufgeführten Flüsse. Bei Magdalena liegt eine einmalige Probenentnahme zugrunde. Bei Changjiang liegt eine einmalige Probenentnahme verschiedener Stationen entlang des Flusses zugrunde. Beim Huanghe wurden die Proben an verschiedenen Stationen entlang des Flusses zweimal im September gewonnen. Der Mekongwert stammt von einer Probe, die von Meybeck zur Verfügung gestellt wurde. Beim Rest der aufgeführten Flüsse, außer der Donau, repräsentieren die Proben mindestens einen saisonalen Zyklus. (Daten aus: ITTEKKOT & ZHANG, 1988)

Die Variabilität der PAA-N-Anteile zwischen den TSS-Konzentrationsgruppen der Donau sind, wie auch beim LPOC, relativ gering (Abb. 24b). Hier wird wieder deutlich, daß die Abnahme labiler organischer Komponenten aufgrund der Verdünnung mit abgebautem POM durch den Eintrag von frischem POM aus den Zuflüssen wieder ausgeglichen wird (vergleiche mit: 5.1.5.3). Die PAA-N Anteile in den Schwebstoffen der Donauzuflüsse haben die gleiche Größenordnung wie in der Schwebstofffracht der Donau, wobei der Betrag von Vedeo mit 94,8 % weit über allen gemessenen Werten des Untersuchungsgebiets liegt (Abb. 24a). Bei den

PAA-N-Gehalten der Zuflüsse deutet sich, wie bei den PAA-C-Gehalten, eine inverse Korrelation mit den TSS-Konzentrationen zwischen den einzelnen Zuflüssen an. Dies harmoniert mit dem weltweit beobachteten Trend von hohen PAA-N-Anteilen bei niedrigen TSS-Konzentrationen (ITTEKKOT & ZHANG, 1989).

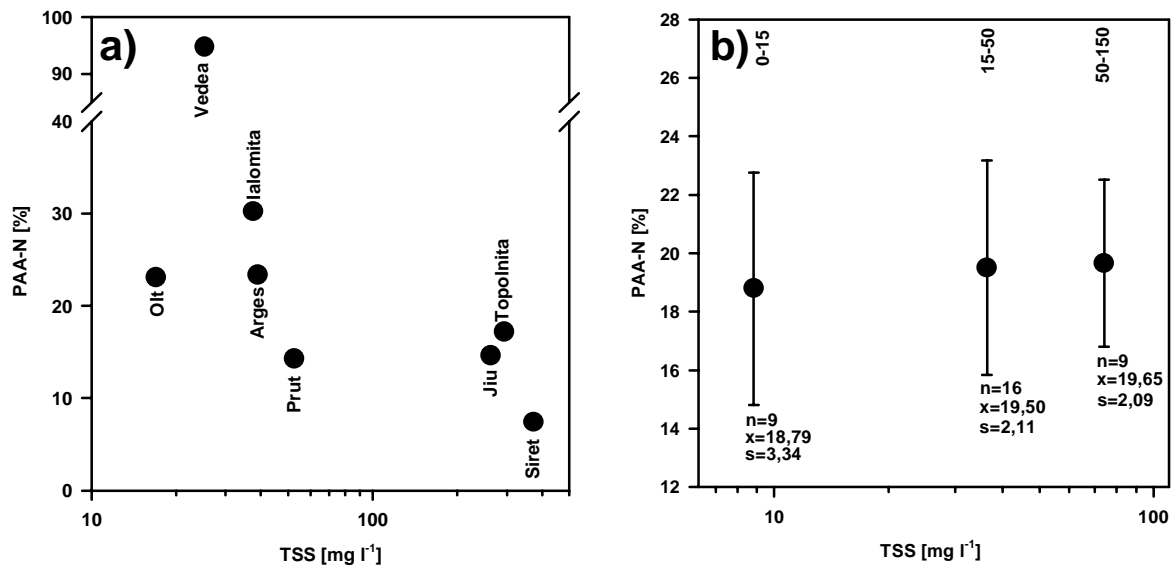


Abb. 24: Relation zwischen TSS- Konzentration und PAA-N Anteilen a) der Donauzuflüsse und b) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen PAA-N Anteil (x)

Die Verhältnisse von POC und PN (C/N) in den Schwebstoffen der Donau liegen zwischen 3,9 und 7,4 (Tab. 16, Anhang) mit einem Mittelwert von 5,4 und zeigen keine Variabilität zwischen den TSS-Konzentrationsgruppen. Sie liegen unter den in vielen Flüssen ermittelten C/N-Werten (8,1 bis 12,9; ITTEKKOT & ZHANG, 1989). Die Relation zwischen POC- und PN-Gehalten in den Schwebstoffen der Donau deuten an, daß der PN im wesentlichen organischen Charakter hat (Abb. 25). Jedoch signalisieren die insgesamt geringen PAA-N-Anteile, daß das organische Material überwiegend nicht in Form von Proteinen vorliegt und aus anderen Komponenten als Aminosäuren bestehen muß. Der PAS-N-Anteil am PN liegt in den Schwebstoffen der Donau unter einem Prozent. Somit dürften andere Stickstoffkomponenten, die mit dem organischen Material assoziiert sind, für die niedrigen C/N-Werte verantwortlich sein.

Bei der verwendeten PN-Meßmethode wird der Gesamtstickstoff detektiert. Dies können auch Amine und Amonium sein (MÜLLER, 1977), die bei der Zersetzung organischen Materials entstehen und leicht an Tonmineralien adsorbiert werden können (THENG, 1979). Somit würden die C/N-Werte trotz der geringen PAA-N-Anteile sinken. Kurzzeitige anoxische Verhältnisse, wie sie in Stauseen häufig beobachtet werden (z. B. MARTINS *et al.*, 1988; SAMARKIN *et al.*, 1992), könnten zur Akkumulation von Ammonium führen. Das freigesetzte Ammonium könnte

an Tonmineralien adsorbiert werden. Bei der Öffnung der entsprechenden Staustufen könnte es in die Donau gelangen und für die niedrigen C/N-Werte in den Schwebstoffen sorgen.

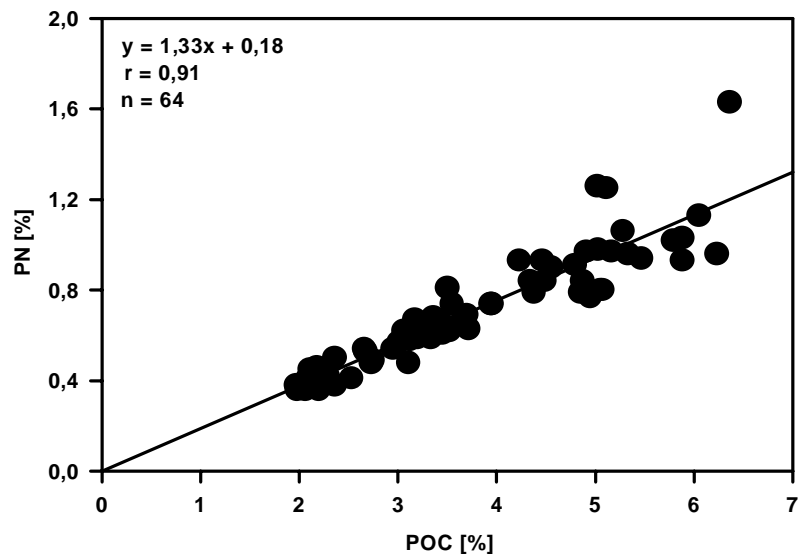


Abb. 25: Relation zwischen partikulärem organischen Kohlenstoff und partikulärem Stickstoff in der Schwebstofffracht der Donau

5.1.5.5 Zusammensetzung der Aminosäuren

Das PAA-Spektrum in den Schwebstoffen der Donau (Abb. 26) wird dominiert von Glycin (Gly; 11,5-15,5 mol-%), gefolgt von Asparaginsäure (Asp; 9,7-13,7 mol-%), Glutaminsäure (9,5-15,5 mol-%) und Alanin (Ala; 9,5-12,6). Threonin (Thr), Serin (Ser), Valin (Val), Leucin (Leu), Lysin (Lys) und Arginin (Arg) liegen zwischen 4 und 9 mol-%. Unter 5 mol-% sind Methionin (Met), Isoleucin (Ile), Tyrosin (Tyr), Phenylalanin (Phe), Histidin (His), Ornithin (Orn) und die nicht proteinogenen PAA, β -Alanin (β -Ala) und γ -Aminobuttersäure (γ -Aba) am PAA-Spektrum beteiligt.

Das PAA-Spektrum in den Schwebstoffen von Flüssen zeigt global keine ausgeprägte Variabilität zwischen Regionen unterschiedlicher klimatischer Bedingungen. Dominiert wird das Spektrum in der Regel von neutralen PAA (Thr, Ser, Gly, Ala, Val, Leu, Ile), gefolgt von basischen (Arg, His), sauren (Glu, Asp), aromatischen (Tyr, Phe), schwefeligen (Met) und nicht proteinogenen (β -Ala, γ -Aba) Monomeren (ITTEKOT & ZHANG, 1989). Diese Zusammensetzung wurde in Böden verschiedener klimatischer Regionen beobachtet (SOWDEN *et al.*, 1977). Das PAA-Spektrum in der Schwebstofffracht der Donau folgt generell diesem Trend, wobei saure PAA über die basischen dominieren.

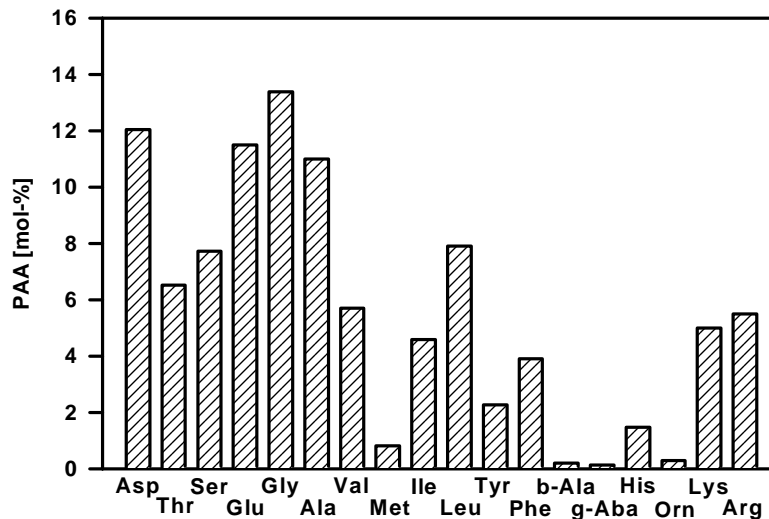


Abb. 26: Durchschnittliche spektrale Verteilung der PAA in der Schwebstofffracht der Donau

Es zeichnet sich eine relative Anreicherung basischer PAA im Vergleich zu allen anderen PAA bei steigender TSS-Konzentration ab (Abb. 27). Dies scheint mit der Adsorption von PAA an Tonmineralen in Zusammenhang zu stehen. Dieser Prozeß basiert auf elektrostatischen Interaktionen zwischen der negativ geladenen Tonmineraloberfläche und den funktionellen Gruppen der PAA (WANG & LEE, 1993). Da bei Aminosäuren Karboxyl- und Aminogruppen auftreten, können sie je nach pH-Wert der umgebenden Lösung und isoelektrischem Punkt des jeweiligen Monomers in saurer und basischer Form vorkommen (THENG, 1974). Das bedeutet, daß bei sauren Monomeren im neutralen bis basischen Bereich nicht mehr genug H^+ -Ionen für die Neutralisierung der negativen Karboxylgruppen zur Verfügung stehen. Dadurch wird die Polarität der Aminosäuren in den negativen Bereich verschoben. Somit geht die Fähigkeit zur Protonenabgabe verloren. Für saure Aminosäuren, wie z. B. Glutaminsäure, findet im neutralen bis basischen Bereich überhaupt keine Adsorption an den negativ geladenen Tonmineraloberflächen mehr statt (WANG & LEE, 1993). Im pH-Bereich natürlicher Gewässer ist die Adsorption basischer PAA an Schwebstoffen ein oft beobachtetes Phänomen (z. B. WANG & LEE, 1993; HEDGES, *et al.*, 1994). Da entlang des Flußverlaufs der Donau keine ausgeprägte Variabilität der pH-Werte zu beobachten ist (R.C.M.G.G., 1995), dürfte die Anreicherung basischer Monomere bei höheren TSS-Konzentrationen mit dem höheren Angebot an Tonmineralen in Zusammenhang stehen.

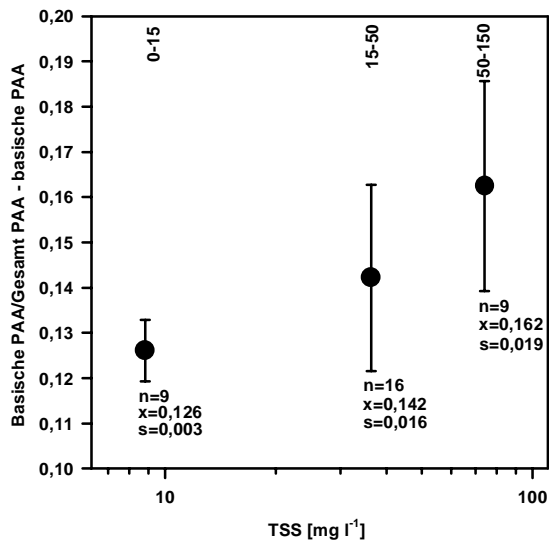


Abb. 27: Verhältnis von basischen PAA zu allen anderen in der Schwebstofffracht der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom Mittelwert (x)

Die PAA β -Ala und γ -Aba gelten als Degradationsprodukte von Asp und Glu. Die Verhältnisse von Asp/ β -Ala und Glu/ γ -Aba können daher generell als Indikator für den Erhaltungsgrad des POM herangezogen werden, wobei niedrigere Verhältnisse einen höheren Abbaugrad kennzeichnen (z. B. DEGENS *et al.*, 1964; ITTEKKOT *et al.*, 1984a, b; COWIE & HEDGES, 1994; DAUWE & MIDDELBERG, 1998). Es gibt jedoch bestimmte Probleme, die mit der Nutzung dieser Parameter zusammenhängen. Z. B. wurde im marinen Bereich γ -Aba auch in bestimmten Phytoplanktonarten gefunden (LEE & CRONIN, 1982) und es wurde angenommen, daß β -Ala möglicherweise von Mikroorganismen wieder aufgenommen wird (LEE *et al.*, 1983). Da bei der Degradation des organischen Materials proteinogene PAA als Edukt für nichtproteinogene PAA fungieren, sind dabei die Verhältnisse von Asp/ β -Ala und Glu/ γ -Aba jedoch niedriger als bei der einfachen Anreicherung nicht proteinogener PAA. Auch die relative Abnahme der Verhältnisse proteinogener zu nicht proteinogener PAA wird nicht nur auf die bakterielle Umwandlung zurückgeführt, sondern auch auf die bevorzugte Aufnahme proteinogener PAA durch Mikroorganismen, die diese leichter verdauen können (WAKEHAM *et al.*, 1984). Deutlich wird jedoch, daß niedrige Verhältnisse der genannten Monomere in jedem Fall den residualen Charakter des POC kennzeichnen (ITTEKKOT & ARAIN, 1986). Aufgrund der Adsorptionskapazität von biogenem Karbonat für saure Aminosäuren können hohe Karbonatgehalte das PAA-Spektrum verändern (z. B. ITTEKKOT *et al.*, 1984a, b; MÜLLER, *et al.*, 1986). Da der Karbonatgehalt in den Schwebstoffen der Donau jedoch ausschließlich auf den Eintrag durch die terrestrische Verwitterung zurückgeführt wird, kann die Adsorption von sauren PAA nicht erfolgen.

Die Mittelwerte der Verhältnisse von Asp/ β -Ala und Glu/ γ -Aba liegen in den drei TSS-Konzentrationsgruppen zwischen 56,8 und 70,8 bzw. zwischen 65,6 und 117,4 (Abb. 28b). Der

Anteil nichtproteinogener PAA im Verhältnis zu den proteinogenen PAA ist insgesamt äußerst gering. Die Verhältnisse von proteinogenen zu nichtproteinogenen PAA der einzelnen Proben sind in Tab. 18 im Anhang aufgeführt.

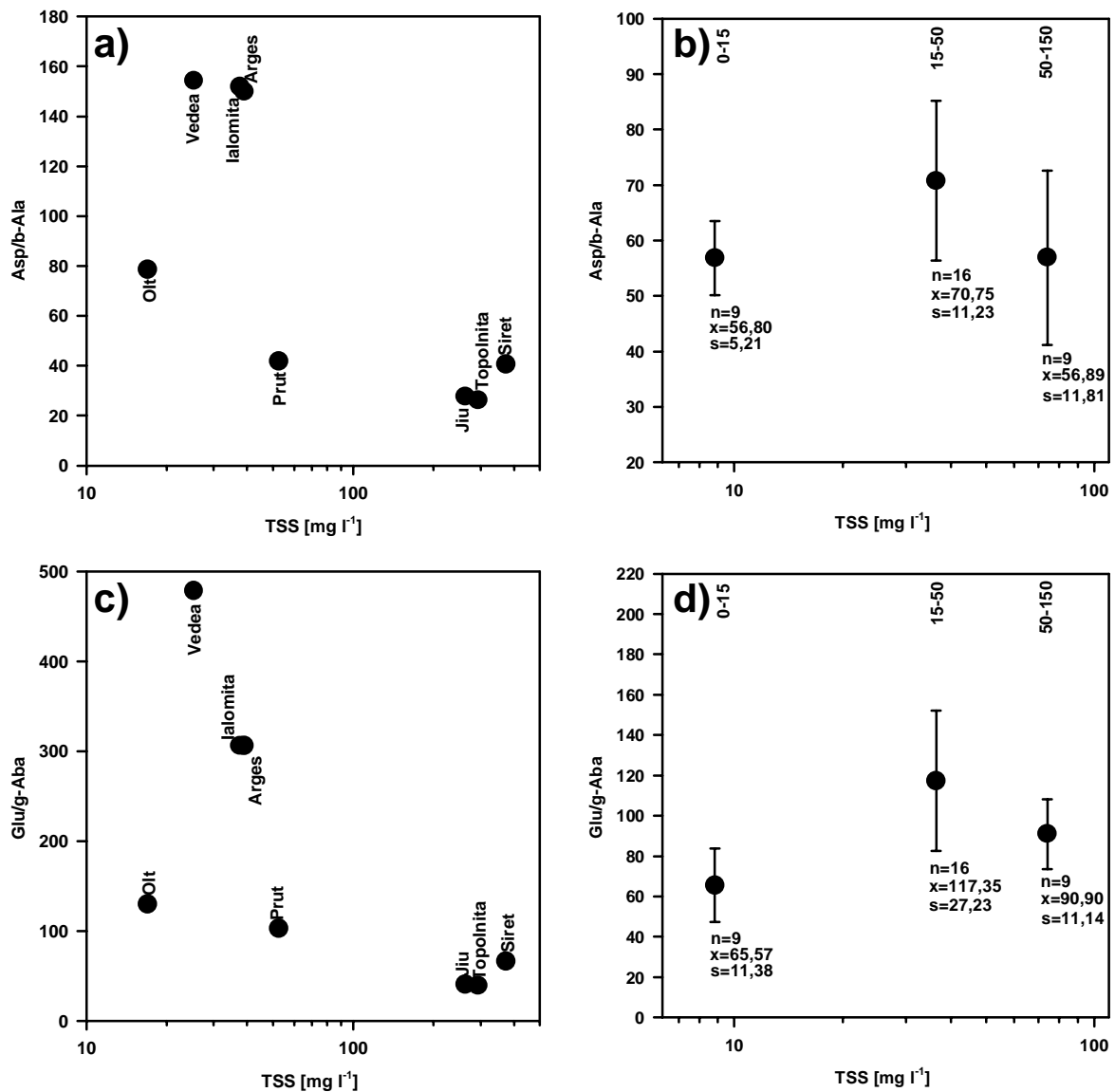


Abb. 28: Relation zwischen TSS-Konzentration und dem Asp/β-Ala bzw. Glu/γ-Aba-Verhältnis a) und c) der Donauzuflüsse. b) und d) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen Verhältnis der entsprechenden PAA (x)

Um den Ursprung der organischen Substanz und deren Abbaugrad zu bestimmen, kann das Verhältnis von PAA zu PAS herangezogen werden (z. B. ITTEKKOT *et al.*, 1984b; LIEBEZEIT, 1993; DAUWE & MIDDELBERG, 1998). Das PAS-Monomer Glukoseamin ist ein Hauptbestandteil des Chitins, das von Zooplankton produziert wird (DEGENS & MOPPER, 1976; MÜLLER *et al.*, 1986). PAS sind jedoch auch Bestandteile von Bakterienzellwänden (TERNAY, 1976).

Niedrige PAA/PAS-Verhältnisse lassen also auch auf die Anreicherung bakterieller Biomasse schließen, was sich in niedrigen Verhältnissen von Glukoseamin zu Galaktoseamin (Gluam/Galam) niederschlagen müßte (SEIFERT *et al.*, 1990). PAS sind gegenüber Degradationsprozessen resistenter als PAA, wodurch deren Anreicherung den relativen Abbaugrad des organischen Materials kennzeichnen kann (z. B. IZDAR *et al.*, 1987; HAAKE *et al.*, 1992). Außerdem sind PAS bedeutende Bestandteile organischen Materials in Böden (STEVENSON, 1982), wodurch man bei Proben, bei denen der Einfluß von Zooplankton ausgeschlossen werden kann, dieses Verhältnis auch als Indikator für organisches Material aus Böden heranziehen kann (ITTEKOT & ARRAN, 1986).

Die durchschnittlichen PAA/PAS-Verhältnisse im POM der drei TSS-Konzentrationsgruppen liegen zwischen 46,5 und 19,9. Der Anteil der PAS ist im Verhältnis zu den PAA-Anteilen insgesamt extrem gering, womit die Unterschiede zwischen den einzelnen Konzentrationsgruppen (Abb. 29b) ausschließlich auf die Variabilität im PAA-Gehalt der Schwebstoffe zurückzuführen sind. Es zeigt auch, daß die organische Substanz innerhalb der drei TSS-Konzentrationsgruppen keine unterschiedlichen Quellen hat. Die Verhältnisse von PAA zu PAS der einzelnen Proben sind in Tab. 18 im Anhang aufgeführt.

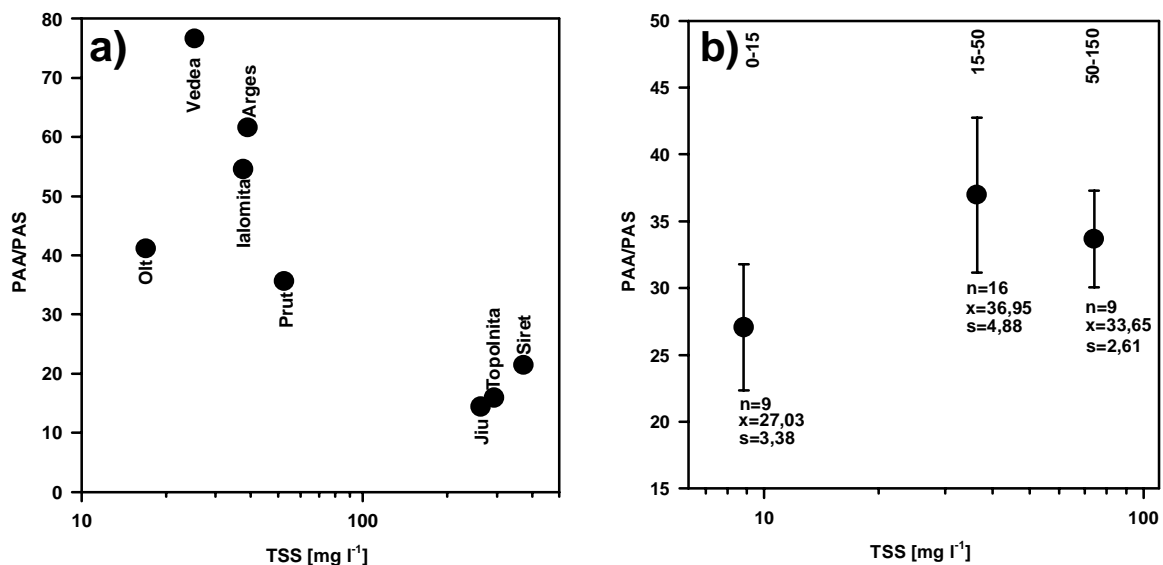


Abb. 29: Relation zwischen TSS-Konzentration und dem PAA/PAS-Verhältnis a) der Donauzuflüsse und b) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen PAA/PAS-Verhältnis (x)

In den Schwebstoffen der Donauzuflüsse variieren die Verhältnisse von Asp/ β -Ala und Glu/ γ -Aba zwischen 26,2 und 154,2 bzw. 38,9 und 478,9. Die PAA/PAS Verhältnisse liegen zwischen 14,4 und 76,6. Sie sind generell niedriger bei hohen TSS-Konzentrationen und umgekehrt (Abb. 28a, c). Das POM der Zuflüsse mit hohen TSS-Konzentrationen ist somit etwas höher

degradiert als das POM der Zuflüsse mit niedrigen TSS-Konzentrationen. Dennoch zeigt der insgesamt geringe Anteil nichtproteinogener PAA im Verhältnis zu den proteinogenen PAA den allgemein niedrigen Abbaugrad der organischen Substanz aller Zuflüsse. Auch die PAA/PAS-Verhältnisse sind in den Zuflüssen mit hohen TSS-Konzentrationen niedriger (Abb. 29a). Ein Teil des POM könnte aus Böden stammen. Jedoch dürften diese Anteile sehr gering sein, da die relative Beteiligung der PAS im Verhältnis zu den PAA sehr niedrig ist.

5.1.5.6 Zusammensetzung der Zucker

In der Schwebstofffracht der Donau und des IGI ist die spektrale Verteilung der PCHO (Abb. 30) geprägt von Glukose (Glc) mit durchschnittlich 63,3 mol-%, gefolgt von Galaktose (Gal; 9,7 mol-%), Ribose (Rib; 6,4 mol-%), Rhamnose (Rha; 5,6 mol-%), Manose (Man; 5,3 mol-%), Xylose (Xyl; 4,5 mol-%) und Arabinose und Fukose (Ara + Fuc; 2,8 mol-%). Der hohe Glukose-Anteil repräsentiert die Dominanz dieses Monomers im POM terrestrischen und aquatischen Ursprungs (DEGENS & MOPPER, 1975) und wurde in diesen Anteilen auch in anderen Flüssen und Ästuarien gefunden (z. B. SEIFERT, 1985; ITTEKKOT & ARAIN, 1986; HEDGES *et al.*, 1994; SIGLEO, 1996).

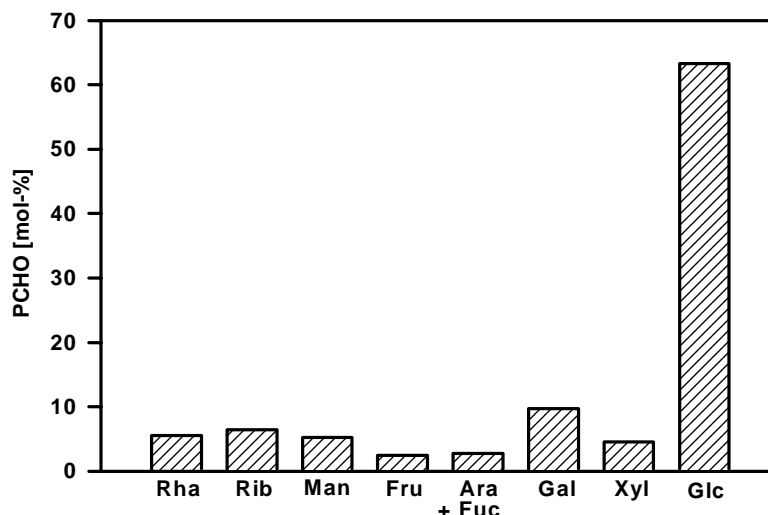


Abb. 30: Durchschnittliche spektrale Verteilung der PCHO in der Schwebstofffracht der Donau

Der relative Anteil von Xyl am PCHO-Spektrum ermöglicht die Unterscheidung zwischen angiospermen (blühenden) und gymnospermen (nicht blühenden) Landpflanzen (COWIE & HEDGES, 1984; Abb. 31a). Die molaren Anteile von Xyl in den Schwebstoffen der Donau und

des IGI weisen auf den dominierenden Einfluß von holzigem und nichtholzigem Gymnospermengewebe sowie von Phytoplankton auf das POM hin.

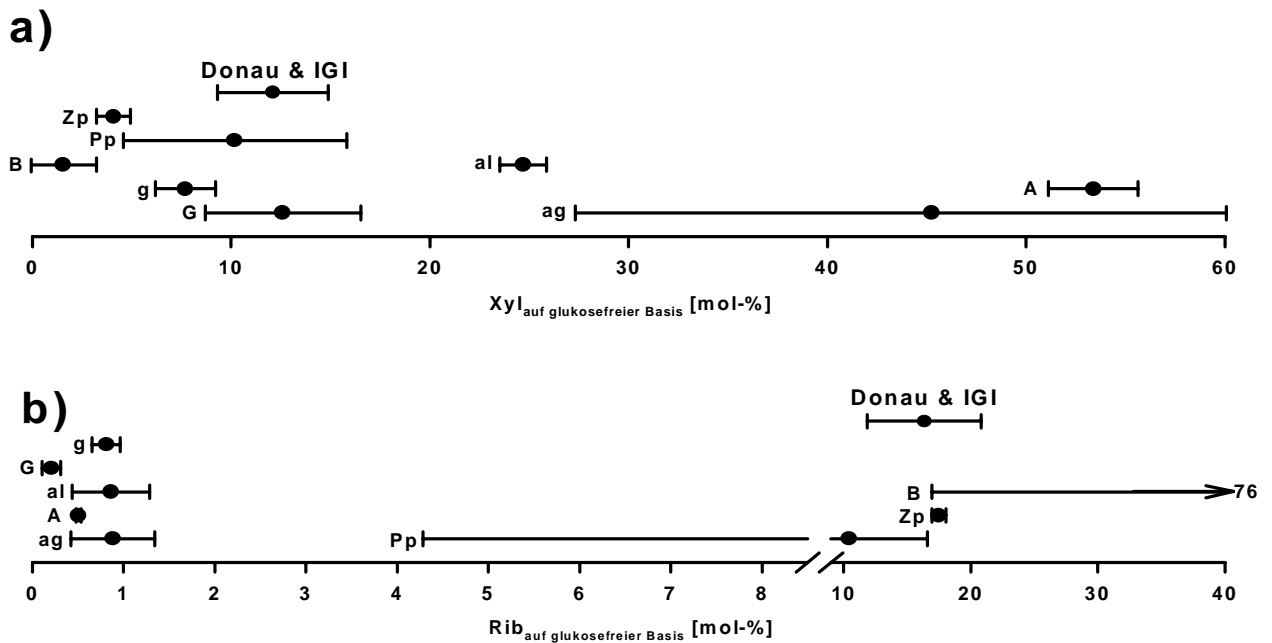


Abb. 31: a) Mol-% Xyl (auf glukosefreier Basis) und b) mol-% Rib (auf glukosefreier Basis) von verschiedenen Pflanzen, aquatischen Organismen und den Schwebstoffproben aus der Donau und dem IGI. Die Punkte kennzeichnen die Durchschnittswerte, die Balken die Abweichung vom Mittelwert (Werte von Pflanzen und aquatischen Organismen aus: COWIE & HEDGES, 1984). G = Holz von Gymnospermengewebe; g = nichtholziges Gymnospermengewebe; A = holziges Angiospermengewebe; al = Angiospermenblätter; ag = Angiospermengräser; Pp = Phytoplankton; Zp = Zooplankton; B = Bakterien

Die molaren Anteile von Rib zeigen den hohen Anteil aquatischer Organismen am POM an. Rib ist ein Bestandteil der RNA und vieler anderer Nukleotide, die zu höheren Anteilen in kleinen Organismen mit hohem Stoffwechsel vorkommen als in höheren Landpflanzen (COWIE & HEDGES, 1984). Somit kann mit dem relativen Anteil von Rib am PCHO-Spektrum zwischen aquatischen Organismen und Landpflanzen unterschieden werden (Abb. 31b). Es ist jedoch schwierig, die Quellen von POM in aquatischen Systemen mit Einträgen organischer Substanzen mit unterschiedlichem Ursprung und Abbaugrad zweifelsfrei zu bestimmen (ITTEKKOT & ARAIN, 1986). Die PCHO-Daten der Donau und des IGI weisen auf eine Mischung von organischem Material aus verschiedenen Quellen hin.

5.1.6 Prozesse im Iron Gate I-Reservoir

Die TSS-Konzentrationen im IGI (6,2 bis 36,4 mg l⁻¹) sind mit einem Durchschnitt von 17,7 mg l⁻¹ niedriger als der Mittelwert aus der Donau. Der Durchschnitt der POC-Gehalte der Schwebstoffe von 6,5 % (4,0 bis 10,0 %) ist höher als in der Donau, ebenso wie die PAA-Konzentrationen (96,0 bis 773,3 µg l⁻¹) mit einem Mittelwert von 464,8 µg l⁻¹. Die PAA-C- und PAA-N-Gehalte zu Beginn des Reservoirs (km 1072,4 bis km 1044,5) und an dessen Ende (km 969,5 bis km 947,2) sind mit einem Mittelwert von 10,7 % bzw. 16,7 % ähnlich denen aus der Donau. Die höchsten PAA-C- und PAA-N-Gehalte (17,6 bis 25,5 % bzw. 32,1 bis 45,9 %) im gesamten Untersuchungsgebiet wurden in der Strecke dazwischen gemessen. Das PAA-Spektrum in den Schwebstoffen des IGI-Reservoir gleicht im wesentlichen den Ergebnissen aus der Donau (siehe unter: 5.1.5.5).

Um die Prozesse, die sich im IGI-Reservoir abspielen, zu verdeutlichen, werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die Daten des untersuchten IGI-Abschnitts in drei Teilstrecken zusammengefaßt. Die Aufteilung basiert auf der unterschiedlichen Zusammensetzung der Schwebstoffe. Teil 1 umfaßt die Strecke zwischen km 1072,4 und km 1044,5; Teil 2 die Strecke zwischen km 1040 und km 999; Teil 3 die Strecke zwischen km 969,5 und km 947,2.

Die Strömungsgeschwindigkeiten im IGI-Reservoir nehmen zwischen Teil 1 und 3 von 0,8 auf 0,3 m s⁻¹ ab (R.C.M.G.G., 1995; Tab. 11), was allgemein zur Sedimentation von Schwebstoffen und dadurch zur Abnahme der TSS-Konzentrationen führt (MAGNEIN *et al.*, 1992). Die TSS-Konzentrationen fallen in Richtung der Staumauer von 20,8 auf 6,9 mg l⁻¹ (Tab. 11; Abb. 32). Es kommt auch zu Veränderungen in der Korngröße der Flußbettsedimente. In Teil 1 bestehen die Sedimente im wesentlichen aus Kies und Sand und werden in Richtung der Staumauer immer mehr von Silt und Ton abgelöst (R.C.M.G.G., 1995). Es kommt zur Akkumulation von tonigen Sedimenten mit mehreren Metern Mächtigkeit (siehe auch unter: 5.1.7).

Auch die Zusammensetzung der Sedimente zeigt Veränderungen, wobei die Gehalte von biogenem Opal von 2,5 % auf 6,4 % steigen (Tab. 12; Abb. 32). Die POC-Gehalte folgen diesem Trend und steigen von 1,0 auf 2,3 % an. Dies ist auf Blüten von opalbildenden Organismen zurückzuführen, die durch die Abnahme der TSS-Konzentration und der damit verbundenen höheren Lichteinwirkung oder einem erhöhten Eintrag von Nährstoffen angeregt werden. In den Oberflächensedimenten dominieren die planktonischen Diatomeen *Melosira grannulata*, *Cyclotella kuetringiana*, *Cymatopleura solea*, *Asterionella formosa* und die

benthischen Diatomeen *Cocconcis placentula*, *Achmantes microcephala*, *Diatoma vulgare*, *Rhoicosphenia curvata* (R.C.M.G.G., 1995).

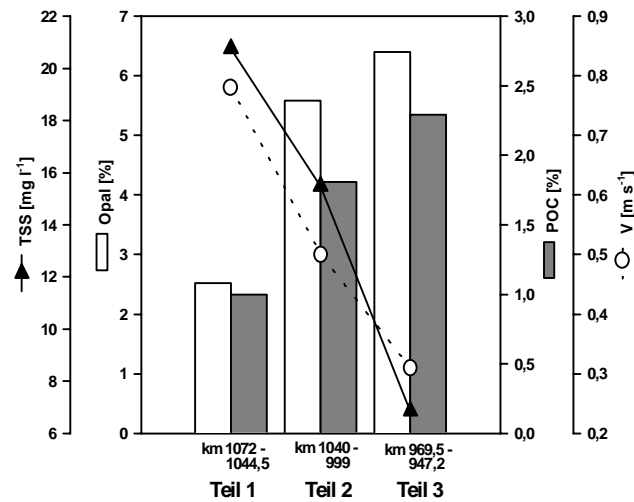


Abb. 32: Durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten und Schwebstoffkonzentrationen sowie POC- und Opal-Gehalte der Oberflächensedimente in den einzelnen Teilabschnitten des IGI

Tab. 11: Durchschnittliche Konzentrationen, Gehalte und Verhältnisse verschiedener Komponenten in den einzelnen Teilbereichen des IGI aus dem Oberflächenwasser in der Mitte des Flusses (Der PCHO-Anteil am LPOC konnte nur bei den Proben von km 1044,5 und km 952 ermittelt werden. Bei den restlichen Proben wurde ein Mittelwert dieser beiden PCHO-Anteile am LPOC angenommen)

Teil	V [m s ⁻¹]	TSS [mg l ⁻¹]	POC [%]	LPOC [%]	PAA-N [%]	ASP/ β-ALA	GLU/ γ-ABA	AA/ AS
1	0,78	20,75	8,2	19,1	19,3	91,0	109,3	36,8
2	0,52	15,48	6,8	32,4	44,9	65,7	85,3	28,8
3	0,31	6,85	7,4	20,1	20,5	88,8	94,3	44,1

Tab. 12: Durchschnittliche Gehalte von POC und Opal in den Oberflächensedimenten des IGI aus der Mitte des Flusses

Teil	POC [%]	Opal [%]
1	1,0	2,5
2	1,8	5,6
3	2,3	6,4

Die POC-Anteile der Schwebstoffe sinken von 8,2 % in Teil 1 auf 6,8 % in Teil 2. Die LPOC- und PAA-N-Gehalte nehmen von 19,1 auf 32,4 % bzw. von 19,3 auf 44,9 % zu (Tab. 11; Abb. 33a). Die Sedimentation der Schwebstoffe ist mit einer physikalischen Fraktionierung von labilen und refraktären organischen Komponenten verbunden, wobei die labilen Komponenten in der Suspension bleiben. Die refraktären Anteile dagegen werden der Wassersäule entzogen.

Durch den Rückgang der TSS-Konzentration verbessert sich die Lichtdurchflutung, was die biologische Produktion unterstützt. Die autochthonen Anteile an der partikulären organischen Substanz steigen ebenfalls in Teil 2. Zwischen Teil 2 und 3 nimmt der POC-Gehalt von 6,8 auf 7,4 % zu, was auf einen zusätzlichen Eintrag organischen Materials vom Zufluß Cerna hindeutet. Die Abnahme vom LPOC und PAA-N (32,4 auf 20,1 % bzw. 44,9 auf 20,5 %) in diesem Abschnitt (Abb. 33a) zeigt, daß das Material höher degradiert ist.

Die Verhältnisse von Asp/β-Ala und Glu/γ-Aba variieren zwischen 65,7 und 91,0 bzw. 85,3 und 109,3 und liegen im Wertebereich der Donau. Der Anteil nichtproteinogener PAA im Verhältnis zu den proteinogenen ist insgesamt äußerst gering (Tab. 11; Abb. 33b). Die Verhältnisse von PAA/PAS mit Werten zwischen 26,8 und 44,1 bekunden den insgesamt extrem niedrigen Anteil von PAS im Verhältnis zu den PAA im IGI. Die Unterschiede zwischen den drei Teilbereichen sind daher mit der Variabilität im PAA-Gehalt der Schwebstoffe zu erklären. Die PAA/PAS-Verhältnisse sind im gleichen Wertebereich wie in der Donau und belegen, daß die organische Substanz in den drei Teilbereichen des IGI keine unterschiedlichen Quellen hat.

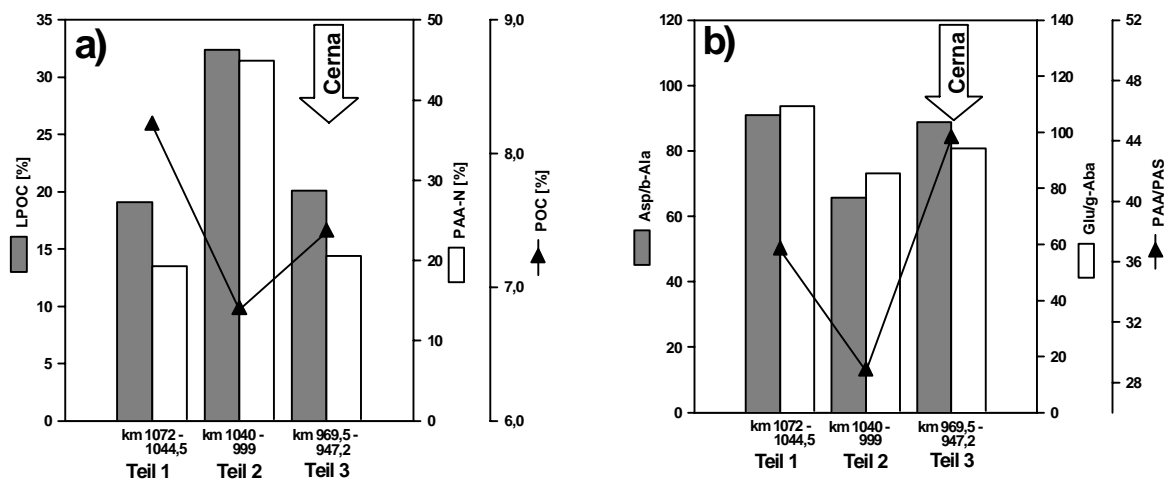


Abb. 33: a) Durchschnittliche Gehalte von POC, LPOC, PAA-N in den einzelnen Teilabschnitten des IGI. b) Asp/β-Ala- und Glu/γ-Aba- und PAA/PAS-Verhältnisse in den einzelnen Teilabschnitten des IGI

5.1.7 Sedimentakkumulation im Iron Gate I-Reservoir

5.1.7.1 Sedimentationsrate

Der Kern bei km 947,2, (Tab. 3; Abb. 34) setzt sich homogen aus feinem Silt zusammen und ist bis in eine Tiefe von 1 m bioturbiert. Während der Bergung gingen die oberen 1-2 cm verloren, da der Kern nicht aufrecht aus dem Kolbenlot entfernt werden konnte.

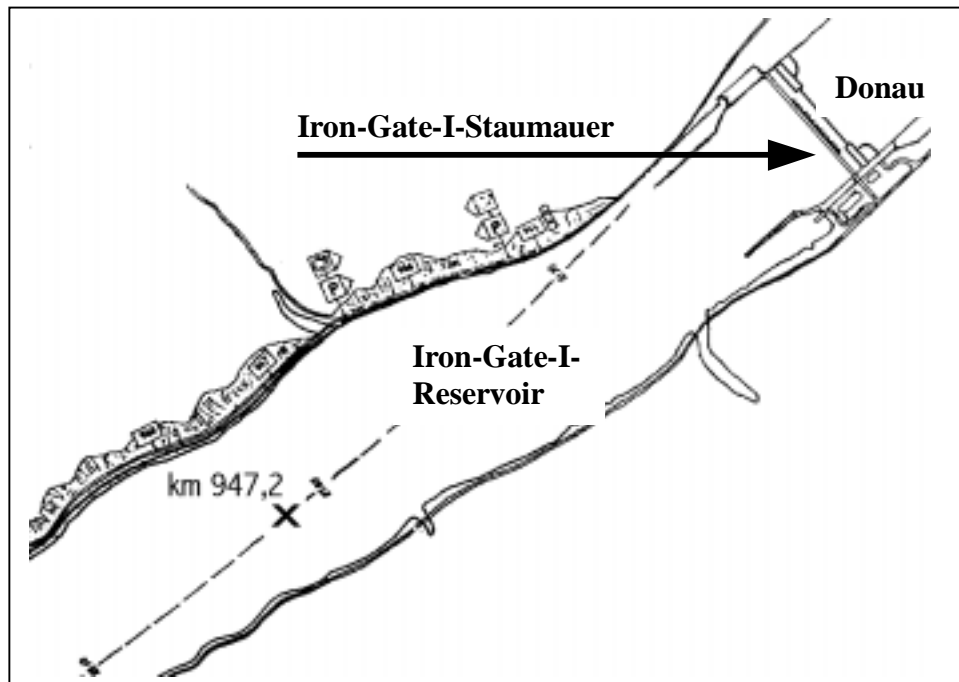


Abb. 34: Position des Kerns bei km 947,2

Die Bestimmung der Sedimentationsrate erfolgte mit den radioaktiven Isotopen Cäsium-137 (^{137}Cs) und Blei-210 (^{210}Pb). Sie weisen eine Halbwertszeit von 30,2 bzw. 22,3 Jahren auf. Beide Elemente werden aus der Atmosphäre durch Niederschlag ausgewaschen und gelangen somit in Gewässer oder an die Landoberfläche (z. B. MISHRA & SADASIVAN, 1972; NEVISSI, 1985; RITCHIE & MC HENRY, 1990). Dort werden sie an suspendierte Partikel bzw. an den Oberflächenhorizonten von Böden adsorbiert (z. B. SAWHNEY, 1972; LIVENS & RIMMER 1988; RITCHIE & MCHENRY, 1990).

^{137}Cs ist ein künstliches Radionuklid, das seit den frühen 50er Jahren freigesetzt wird. Daher hat die Höhe der anthropogenen Freisetzung Einfluß auf die Akkumulation von ^{137}Cs in natürlichen Gewässern. Ausfallmaxima von ^{137}Cs wurden 1963 aufgrund intensiver Kernwaffentests und 1986 aufgrund des Unfalls im Kernkraftwerk Chernobyl registriert (z. B. PENNINGTON *et al.*, 1973; MCCALL *et al.*, 1984; HE & WALLING, 1997). Finden sich entsprechende ^{137}Cs

Konzentrationsmaxima in einer Sedimentsäule, so läßt sich durch die zeitliche Zuordnung zu den jeweiligen Ereignissen der Zeitraum der Sedimentation ermitteln.

Im Gegensatz dazu ist ^{210}Pb ein natürlich vorkommendes Isotop, dessen Eintrag relativ konstant erfolgt. ^{210}Pb ist ein Produkt der Uran-238 (^{238}U)-Zerfallsreihe und entsteht aus dem Zerfall von Radon-222 (^{222}Rn), dem Tochterisotop von Radium-226 (^{226}Ra), welches in Böden und Gesteinen natürlich vorkommt. Durch die Diffusion eines Teils des ^{222}Rn entsteht ^{210}Pb in der Atmosphäre (z. B. TUREKIAN *et al.*, 1977; APPLEBY & OLDFIELD, 1978; CRICKMORE *et al.*, 1990). Aus der Atmosphäre eingetragenes ^{210}Pb wird, wenn es in Böden oder Sedimente gelangt, als Überschuß- ^{210}Pb bezeichnet, um es vom ^{210}Pb zu unterscheiden, das in situ aus dem im Sediment verbliebenen ^{226}Ra entsteht (Überschuß- $^{210}\text{Pb} = \text{Total } ^{210}\text{Pb} - ^{226}\text{Ra}$). Die quantitative Anhäufung dieses Radionuklids in natürlichen Gewässern hängt von der Höhe des Niederschlags und der Intensität der Erosion des jeweiligen Einzugsgebietes ab (z. B. CARLSSON, 1978; BENNINGER & KRISHNASWAMI, 1981 HE & WALLING, 1997). Unter der Annahme eines kontinuierlichen Eintrags von Überschuß- ^{210}Pb läßt sich anhand des radioaktiven Zerfalls das Alter von Sedimenten ermitteln (z. B. KRISHNASWAMI *et al.*, 1971; ROBBINS & EDGINGTON, 1975; BENNINGER & KRISHNASWAMI, 1981).

Die ^{137}Cs -Aktivität im Kern liegt zwischen 23,2 und 914,8 Bq kg⁻¹ (Tab. 22, Anhang), wobei der niedrigste Wert an der Basis des Kerns liegt. Der höchste Wert folgt direkt danach und signalisiert die anthropogene Freisetzung des Isotops (Abb. 35a). Im Verlauf zum Hangenden sinken die Werte wieder um eine Größenordnung. Da vor der Fertigstellung des Staudamms 1972 tonige Sedimente in dieser Mächtigkeit nicht abgelagert wurden (R.C.M.G.G., 1995), steht diese ausgeprägte ^{137}Cs -Spitze mit der Freisetzung dieses Isotops durch den Atomunfall in Chernobyl in Verbindung.

Um die Sedimentationsrate zu ermitteln, ist es von Bedeutung, wie lange es von der Freisetzung der Isotope im April/Mai 1986 bis zu deren Ablagerung dauerte. Vergleichende Messungen der ^{137}Cs -Aktivität in Sedimenten von Reservoirs und Seen mit anderen Datierungsmethoden, wie z. B. Warvenzählungen in Verbindung mit ^{210}Pb Aktivität (MCCALL *et al.*, 1984), Wasserdurchflußdaten in Verbindung mit ^{210}Pb Aktivität (SMITH & ELLIS, 1982) und Pollen Markern in Verbindung mit ^{210}Pb Aktivität (DAVIS *et al.*, 1984), können Auskunft geben über unterschiedlich schnelle Einträge von ^{137}Cs , das durch die Kernwaffentests in den 60er Jahren freigesetzt wurde. Bei einem hauptsächlich atmosphärischen Eintrag ist nur eine minimale Verzögerung zwischen der Freisetzung des ^{137}Cs -Isotops in die Atmosphäre und dessen Einbettung in das Sediment zu beobachten (SMITH & ELLIS, 1982).

Erfolgt der Eintrag jedoch hauptsächlich durch die Erosion von Böden im Einzugsgebiet der in ein Reservoir oder einen See einmündenden Flüsse, so kann sich das Signal um ein halbes bis zu einem ganzen Jahr verzögern (SMITH & ELLIS, 1982; RICHIE *et al.*, 1973). Aufgrund der hohen ^{137}Cs -Aktivität von $914,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ in 2,0 m Tiefe des Kerns und der vergleichsweise geringen Fläche der Donau und des IGI im Vergleich zur Fläche des Einzugsgebietes ist anzunehmen, daß der Eintrag des Isotops hauptsächlich auf die Erosion im Einzugsgebiet zurückgeht und nicht auf den direkten Eintrag aus der Atmosphäre in das Gewässer. Diese Überlegung wird gestützt durch Beobachtungen aus dem Schwarzen Meer. Bei Station 17 im Schwarzen Meer (Abb. 14), die unter dem Einfluß des Donau-Deltaarms Chilia steht, wurden lediglich Konzentrationen von bis zu 250 Bq kg^{-1} in den oberen 5 cm der Sedimente gemessen (Tab. 26). Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Sedimentationsraten im NW des Schwarzen Meeres von etwa $11,5 \text{ mm a}^{-1}$ nahe der Donaumündung, $2,2 \text{ mm a}^{-1}$ am Schelfabhang und $0,4 \text{ mm a}^{-1}$ im offenen Ozean, spiegeln die ^{137}Cs -Gehalte bereits in dieser Sedimenttiefe den Eintrag durch den Chernobyl-Unfall wider (GULIN *et al.*, 1997).

In Bereichen des offenen Ozeans oder den Schelfregionen von Bulgarien und der Türkei sind die ^{137}Cs -Werte nochmals um nahezu eine Größenordnung niedriger als im Mündungsbereich der Donau. Selbst im Vergleich zur Mündungszone des Dniepr sind die Werte bei Chilia etwa 12 mal höher. Dies wird damit in Zusammenhang gebracht, daß der atmosphärische Niederschlag des Isotops im wesentlichen über dem nordwestlichen Einzugsgebiet des Schwarzen Meeres vonstatten ging und nur zu einem Teil direkt über dem offenen Ozean. Durch die Entwässerung der Einzugsgebiete des Dniepr und vor allem der Donau lassen sich erhöhte ^{137}Cs -Gehalte in deren Mündungsbereichen beobachten (GULIN *et al.*, 1997). Die vergleichsweise hohen Werte vor der IGI-Staumauer zeigen, daß der Eintrag des Isotops hauptsächlich durch die Erosion von Böden im Einzugsgebiet der Donau und des IGI vonstatten ging. Dadurch ist mit einem Versatz des ^{137}Cs -Signals zwischen Freisetzung und Einbettung von einem halben bis zu einem ganzen Jahr zu rechnen. Bei der Annahme einer konstanten Sedimentationsrate ergibt sich hieraus eine Sedimentationsrate von ca. $23,3 \text{ cm a}^{-1}$. Daraufhin wurde die ^{137}Cs -Aktivität im Kern entsprechend der Zerfallskonstante des Isotops ($^{137}\text{Cs} = 0,69315/30,2 \text{ a}$) für den 1. Mai 1986 korrigiert.

Die Überschuß- ^{210}Pb -Gehalte im Kern zeigen eine diffuse Verteilung (Abb. 35b) und liegen zwischen $17,5$ und $93,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ (Tab. 22, Anhang). Eine exponentielle Abnahme der Überschuß- ^{210}Pb -Aktivität, wie sie aufgrund der radioaktiven Zerfallskonstante in einer kontinuierlich akkumulierenden Sedimentsäule zu erwarten wäre (z. B. ROBBINS & EDINGTON, 1975; DAVIS *et al.*, 1984; ROBBINS, 1978), liegt nicht vor. Dies könnte auf Unterschiede in der

Qualität des gelieferten Sediments beruhen. Partikel in Tonmineralgröße und organisches Material gelten als Transportphase für das reaktive ^{210}Pb , wobei grobkörnigere Partikel wie Sand als Verdüner gelten (BENNINGER & KRISHNASWAMI, 1981). Die saisonale Variabilität in der Sedimentschüttung von Flüssen kann einhergehen mit qualitativen Veränderungen in der Zusammensetzung der Schwebstoffe, was sich wiederum auf die Verteilung von Überschuß- ^{210}Pb im abgelagerten Sediment auswirkt (SMITH & ELLIS, 1982). Jedoch setzt sich der Kern homogen aus feinem Silt zusammen (Abb. 36). Hier ist davon auszugehen, daß die saisonale und/oder interannuelle Variabilität im Niederschlag und damit auch in der Wasserführung und Schwebstoffkonzentration unterschiedliche Mengen an Überschuß- ^{210}Pb liefert, die immer an qualitativ gleichwertige Partikel adsorbiert werden. Unter der Annahme eines kontinuierlichen Eintrages von Überschuß- ^{210}Pb ließe sich aus der exponentiellen Abnahme der ^{210}Pb -Aktivität die Aktivität zu einer bestimmten Zeit mit folgender Gleichung ausdrücken:

$$A(t) = F(t) \exp (-\lambda t)/r(t)$$

Hierbei ist F der Eintrag von Überschuß- ^{210}Pb ins Sediment (in $\text{Bq kg}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$), A die Aktivität von Überschuß- ^{210}Pb (in Bq kg^{-1}), r die Sedimentakkumulationsrate (in $\text{g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$) und λ die Zerfallskonstante des Isotops ($^{210}\text{Pb} = 0,6932/22,26 \text{ a}$). Wie bereits aus dem Eintrag der ^{137}Cs -Isotope gefolgert werden konnte, beziehen die Sedimente im IGI im wesentlichen Partikel, die durch die Erosion des Einzugsgebietes geliefert werden. Somit ist anzunehmen, daß der Eintrag von ^{210}Pb ebenfalls mit dem Sedimenteintrag variiert, was jedoch der Annahme eines kontinuierlichen Eintrags von Überschuß- ^{210}Pb widerspricht. Vereinfacht wird deshalb davon ausgegangen, daß das Verhältnis von $F(t)/R(t)$ während der Sedimentation konstant und gleich der Aktivität von Überschuß- ^{210}Pb im Oberflächensediment $A(0)$ ist (APPLEBY & OLDFIELD, 1978; MCCALL *et al.*, 1984). Dadurch reduziert sich Gleichung auf:

$$A(t) = A(0) \exp (-\lambda t)$$

Für die $A(0)$ wird der ^{210}Pb -Wert der Probe genommen, die der Oberfläche am nächsten kommt und für t werden die Zeiten der jeweiligen Horizonte herangezogen, die sich aus der ^{137}Cs Datierung ergeben. Damit läßt sich der zu erwartende ^{210}Pb Zerfall in Unabhängigkeit vom Sedimenteintrag errechnen (Abb. 35b). Da der quantitative Eintrag von Überschuß- ^{210}Pb aus der Atmosphäre an den Niederschlag gebunden ist, läßt sich möglicherweise aus der Abweichung der gemessenen Überschuß- ^{210}Pb -Gehalte zur berechneten Zerfallskurve die saisonale und/oder interannuelle Variabilität in der Wasserführung bzw. Schwebstoffkonzentration des IGI ablesen. Da der obere Meter des Kerns Bioturbationsspuren aufweist und durch die geringe Beprobungsdichte die saisonale Variabilität nicht von der interannuellen differenziert werden

kann, kann für diesen Fall keine Beweisführung erfolgen. Jedoch wird die Hypothese gestützt durch die gute Übereinstimmung der Überschuß- ^{210}Pb -Aktivität in einem Sedimentkern aus dem Schwarzen Meer im Mündungsbereich der Donau mit der interannuellen Variabilität des Frischwassereintrags (siehe unter: 5.3.4).

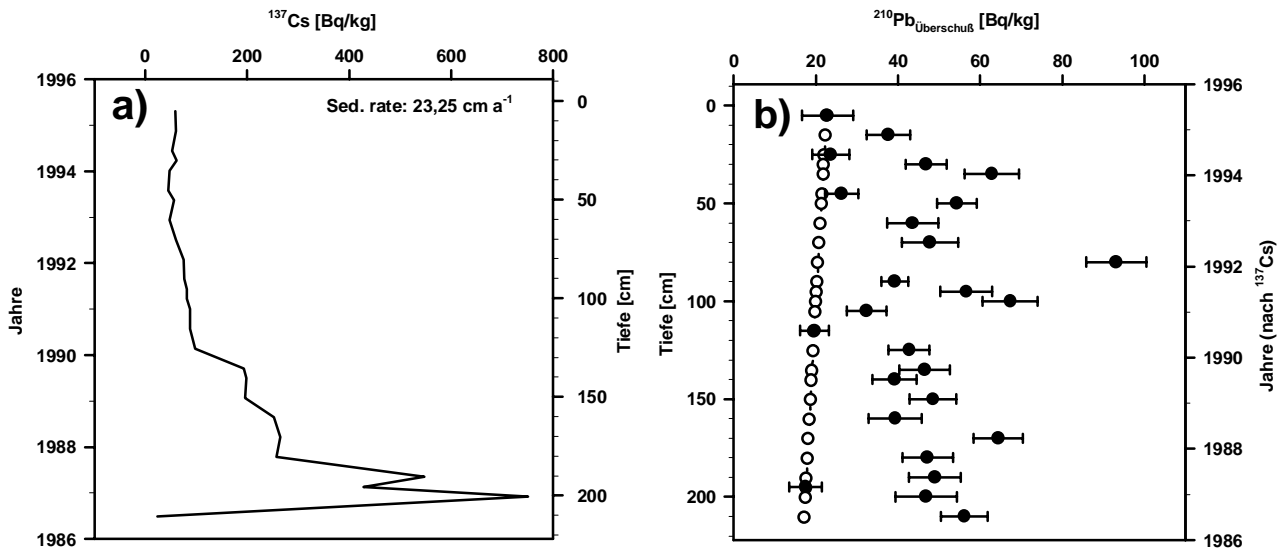


Abb. 35: Aktivität von a) ^{137}Cs (entsprechend der Zerfallskonstante für den 1. Mai 1986 korrigiert) und b) Überschuß- ^{210}Pb im Sedimentkern von km 947,2. Gefüllte Kreise zeigen die gemessenen Werte mit der Standardabweichung, leere Kreise zeigen den berechneten Zerfall ohne den Einfluß der Sedimentschüttung der Donau

Die Variabilität in der Sedimentschüttung der Donau hat auf die Verteilung von ^{137}Cs im Kern nur geringe Auswirkungen, da dieses Isotop nicht kontinuierlich aus der Atmosphäre ausfällt, wie dies bei ^{210}Pb der Fall ist. Nicht der radioaktive Zerfall ist bei der Datierung mit ^{137}Cs ausschlaggebend, sondern der Einsatz eines gesteigerten Signals im Sediment, der zeitlich mit der erhöhten anthropogenen Freisetzung des Isotops in die Atmosphäre korreliert. Dennoch kann die ermittelte Sedimentationsrate nicht für jedes spezifische Jahr angewandt werden, sondern darf nur als durchschnittliche Sedimentationsrate betrachtet werden. Da außerdem die Porosität des Sediments in den unterschiedlichen Kerntiefen nicht ermittelt werden konnte, wurde die Kompaktion des Sediments nicht berücksichtigt. Generell hat die Kompaktion einen Einfluß von 10-15 % auf die Sedimentationsrate (MCCALL *et al.*, 1984). Die über die ^{137}Cs -Aktivität ermittelte Sedimentationsrate von 23,3 cm a⁻¹ stellt also einen Minimalwert dar. Sedimentationsraten in dieser Größenordnung wurden auch in anderen Reservoiren ermittelt (RITCHEY *et al.*, 1973, MCCALL *et al.*, 1984). Die Sedimentationsrate direkt vor der Staumauer des IGII wird auf ca. 2 cm a⁻¹ geschätzt (R.C.M.G.G., 1995) und ist damit um eine Größenordnung niedriger als die Sedimentationsrate vor der Staumauer des IGI.

5.1.7.2 *Akkumulationsrate*

Für die Berechnung der Akkumulationsraten der Hauptkomponenten wird eine mittlere Porosität von 0,85 für unkompaktiertes Sediment benutzt. Die Trockendichte der Hauptkomponenten errechnet sich nach den relativen Anteilen von Karbonat ($2,7 \text{ g cm}^{-3}$, organischem Material ($1,0 \text{ g cm}^{-3}$; POC x 1,8), Opal ($2,1 \text{ g cm}^{-3}$) und lithogenen Komponenten ($2,5 \text{ g cm}^{-3}$). Es wurde folgende Gleichung angewendet:

$$\omega = \mathbf{R}(1-\phi)\mathbf{p}_s$$

R ist die Sedimentationsrate in cm a^{-1} , ω die Akkumulationsrate in $\text{g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, ϕ die Porosität und \mathbf{p}_s die Dichte der Feststoffe in g cm^{-3} .

Insgesamt zeigt die vertikale Verteilung der Hauptkomponenten relativ geringe Unterschiede (Abb. 36; Tab. 21, Anhang). Die Karbonat- und Opalanteile liegen zwischen 9,8 und 16,3 % bzw. 3,9 und 6,0 %. Sie zeigen tendenziell eine Zunahme vom Liegenden zum Hangenden. Die lithogenen Anteile sind zwischen 81,6 und 74,6 % und sinken dementsprechend. Möglicherweise zeichnet sich hier die saisonale und interannuale Variabilität in der Sedimentschüttung der Donau ab. Karbonat aus der terrestrischen Verwitterung und biogenes Opal gelangt je nach Wasserführung in unterschiedlichen Mengen aus Bereichen flußaufwärts des Reservoirs an dieser Lokalität zur Ablagerung. Jedoch könnten auch qualitative und quantitative Unterschiede in der Nährstoffzufuhr Einfluß auf die biologische Produktion in diesem Bereich ausgeübt haben, was sich in den Unterschieden der Opalgehalte im Kern widerspiegelt. Die Gehalte an POM schwanken zwischen 2,3 und 4,5 %. Der abnehmende Trend vom Hangenden zum Liegenden dürfte mit dem mikrobiellen Abbau des POM im Sediment in Zusammenhang stehen. Die durchschnittliche Gesamtsedimentakkumulationsrate beträgt ca. $85,5 \text{ kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Die mittlere Akkumulationsrate von biogenem Opal beträgt ca. $3,7 \text{ kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Unter Einbeziehung des mikrobiellen Abbaus ergibt sich eine POC- und PN-Akkumulationsrate von ungefähr 0,7 bzw. $0,1 \text{ kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ im Durchschnitt.

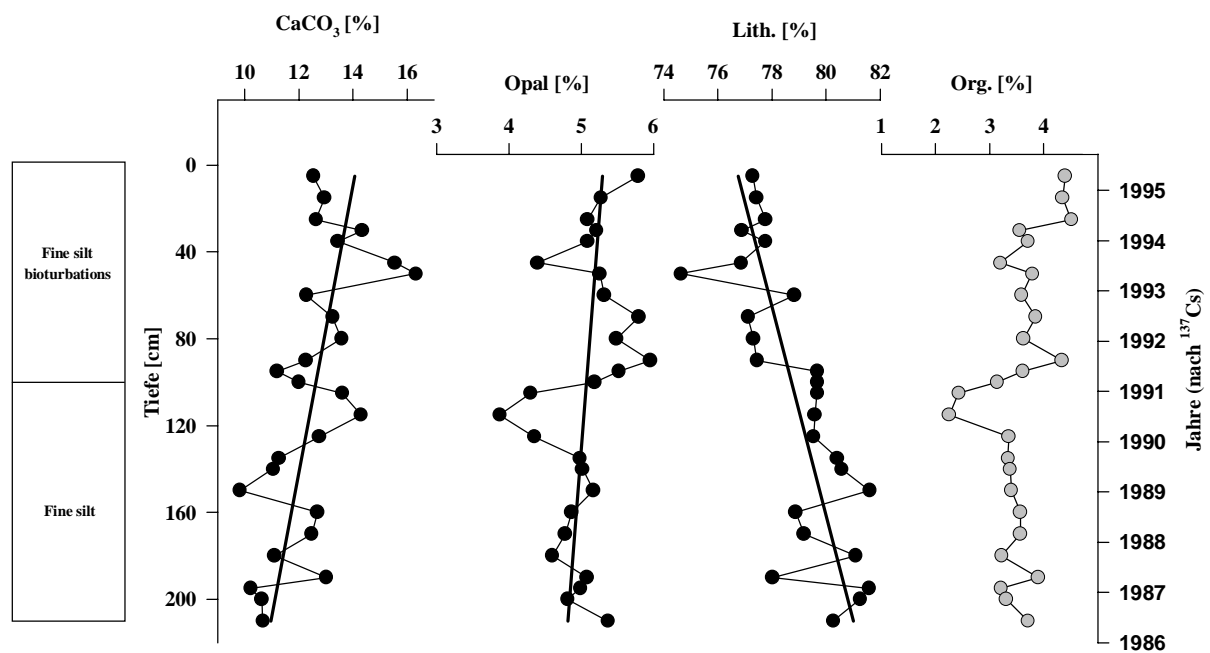


Abb. 36: Lithologie und Verteilung der Hauptkomponenten im Sedimentkern von km 947,2 (Beschreibung der Lithologie, R.C.M.G.G., 1995)

5.1.8 Die Schwebstofffracht der Donau

Die Transportraten partikulärer Substanzen wurden berechnet mit Hilfe der Wasserdurchflußraten, die vom Forschungsschiff LIPOVA des National Institute of Meteorology and Hydrology an den gleichen Stationen gemessen wurden (R.C.M.G.G., 1995), an denen auch die Schwebstoffproben gewonnen wurden. Dieses Institut betreibt auch drei permanente Meßstationen bei Bazias (km 1072,4), IGI (km 947) und IGII (km 865). Die saisonale Variabilität wurde anhand der monatlichen Durchflußraten dieser Stationen (BONDAR, schriftliche Mitteilung) für das Jahr 1995 an den entsprechenden Beprobungspunkten hochgerechnet.

Die Wasserdurchflußraten des Forschungsschiffs LIPOVA an den individuellen Stationen im Mai 1995 stellen integrierte Werte für die gesamte Flußbreite, nicht jedoch für die Flußtiefe, dar (R.C.M.G.G., 1995). Aus diesem Grund wurden für die Quantifizierung des Schwebstofftransports keine Schwebstoffproben aus größeren Wassertiefen als dem Oberflächenwasser der Donau herangezogen. Da nicht an allen Stationen Querprofile beprobt werden konnten, wurden nur Schwebstoffproben aus der Mitte des Flusses verwendet. Die durchschnittliche Abweichung der Schwebstoffkonzentration einer Probe aus der Mitte des Flusses vom Mittelwert eines Querprofils liegt im Durchschnitt bei etwa 20 %. Die TSS-Konzentrationen wurden während

einer Periode hoher Sedimentschüttung gemessen, wodurch die berechneten jährlichen Schwebstofftransportraten Höchstwerte darstellen. Da POC-Gehalte invers mit TSS-Konzentrationen korrelieren (siehe unter: 5.1.4), ist die POC-Fracht bei hohen und niedrigen Schwebstoffkonzentrationen in der gleichen Größenordnung (siehe unter: 5.1.3). Lediglich die quantitative Variabilität in der Sedimentschüttung hat Einfluß auf den annuellen Transport und Eintrag von POC.

Der Wasserdurchfluß entlang des untersuchten Donauabschnitts zeigt keine ausgeprägten Unterschiede, wobei der höchste Wert von $212 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$ bei Ceatal Ismail (km 81,4) am Beginn des Donau-Deltas (Abb. 12) auftritt. Der Frischwassereintrag ins Schwarze Meer ist 1995 mit $167 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$ niedriger als das langjährige Mittel von $207 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$ (1931-1970; POPA, 1993), liegt aber innerhalb der interannuellen Variabilität (BONDAR *et al.*, 1991). Der TSS-Eintrag liegt jedoch mit $9,7 \pm 1,9 \cdot 10^6 \text{ t a}^{-1}$ deutlich unter dem Durchschnittswert von $68 \cdot 10^6 \text{ t a}^{-1}$ (1931-1970; POPA, 1993). Dieser Wert gehört zu den niedrigsten, die jemals gemessen wurden und liegt im Bereich von Werten aus den 80er Jahren dieses Jahrhunderts (BONDAR *et al.*, 1991).

Entlang des untersuchten Donauabschnitts zeigt der Schwebstofftransport Veränderungen, die sich generell auch in den Flußraten der organischen Komponenten widerspiegeln (Tab. 13; Abb. 37).

Tab. 13: Abnahme bzw. Zunahme der Flußraten von Q, TSS, POC, PN, LPOC und PAA-N zwischen ausgesuchten Stationen

	ΔQ [km ³ /a]	ΔTSS $\pm 20 \%$ [*10 ³ t/a]	ΔPOC $\pm 23 \%$ [*10 ³ t/a]	ΔPN $\pm 27 \%$ [*10 ³ t/a]	$\Delta LPOC$ $\pm 30 \%$ [*10 ³ t/a]	$\Delta PAA-N$ $\pm 30 \%$ [*10 ³ t/a]
Bazias (km 1072,4) - IGI (km 947,2)	-0,3	-2 308	-249	-45	-44	-9
IGI (km 947,2) - IGII (km 866)	0	178	-32	-1	-2	0
IGII (km 866) - Ceatal Ismail (km 81,4)	34,5	16 602	322	66	68	15
Ceatal Ismail (km 81,4) - Schwarzes Meer	-45,2	-8 187	-137	-37	-35	-10

Zwischen Bazias (km 1072,4) und Iron Gate I (km 947,2) nimmt die Schwebstofffracht ab. Vergleichsweise geringe Unterschiede in den Flußraten zeigen sich zwischen IGI und IGII (km 866), wobei nach der Staumauer des IGII bis Ceatal Ismail ein deutlicher Anstieg in der Menge der transportierten Schwebstoffe zu beobachten ist. Vom Beginn des Deltas bei Ceatal Ismail bis zur Mündung ins Schwarze Meer sinkt die Schwebstofffracht wieder.

Die niedrigeren Flußraten an der Staumauer des IGI im Vergleich zu Bazias stehen mit der Sedimentation von suspendiertem Material im IGI-Reservoir in Verbindung (siehe unter: 5.1.6). Die Abnahme der Flußraten verschiedener Komponenten zwischen Bazias und IGI dürfte der

Menge entsprechen, die jährlich flußaufwärts der Staumauer zurückgehalten wird. Die Zunahme zwischen IGII und Ceatal Ismail wird hingegen mit dem Eintrag von Schwebstoffen durch die Zuflüsse und die fortschreitende Erosion des Flußbettes der Donau begründet. Zwischen Ceatal Ismail und der Mündung der Donau ins Schwarze Meer verringern sich die Flußraten wieder, so daß heute jährlich $253 \pm 58 \cdot 10^3 \text{ t POC}$, $45 \pm 12 \cdot 10^3 \text{ t PN}$, $50 \pm 15 \cdot 10^3 \text{ t LPOC}$ und $8 \pm 2 \cdot 10^3 \text{ t PAA-N}$ ins Schwarze Meer eingetragen werden. Diese Beobachtung zeigt, daß der größte Teil des heutigen Schwebstoffeintrags ins Schwarze Meer aus Bereichen flußabwärts der Iron Gate-Staudämme stammt und zwar aus der Erosion des Flußbettes und dem Eintrag der Zuflüsse. Von der gesamten Schwebstofffracht der Donau erreichen jedoch nur 54 % das Schwarze Meer. Der Rest der Schwebstoffe geht im Donau-Delta verloren.

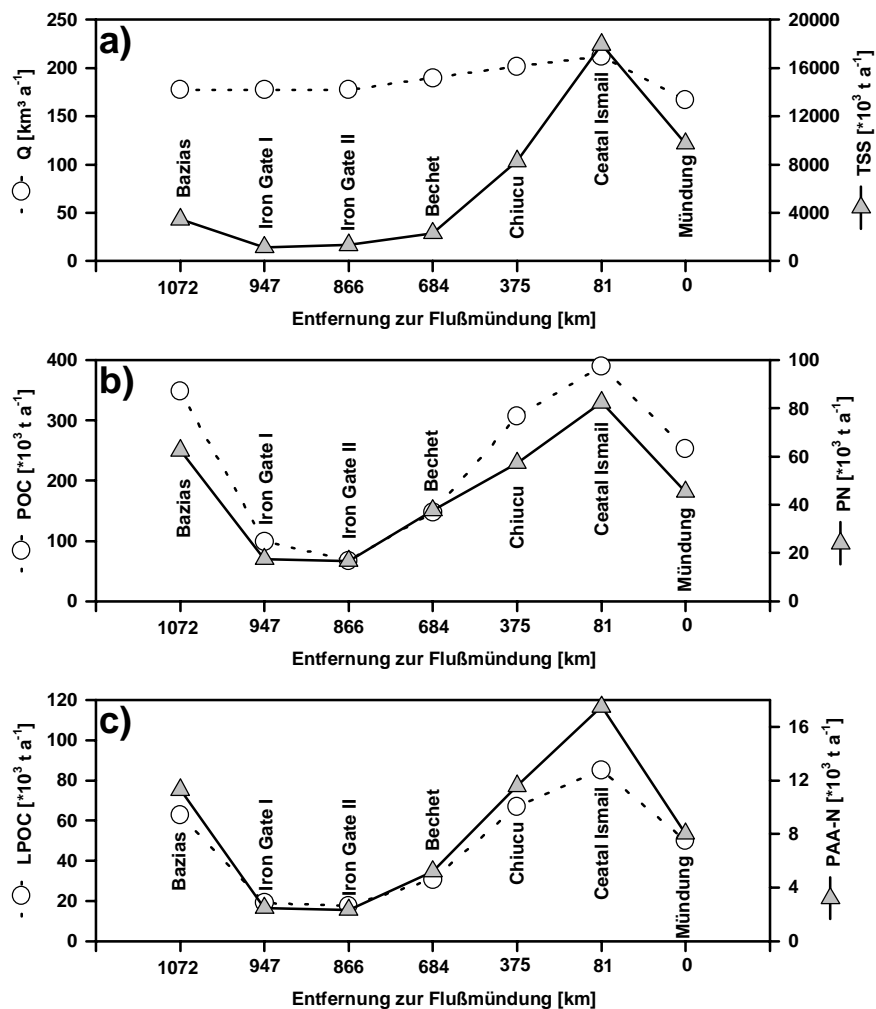


Abb. 37: Flußraten von a) Wasser (Q; R.C.M.G.G., 1995) und Schwebstoffen (TSS); b) POC und PN; c) LPOC und PAA-N

5.2 Das Sedimentationsgeschehen im NW des Schwarzen Meeres

5.2.1 Sinkstoffe

Im SW des Schwarzen Meeres wurden z. B. während eines zweieinhalbjährigen Beprobungszeitraums nördlich von Amasra an der türkischen Küste Flußraten mit Werten bis zu $485 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 250 m bzw. $336 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 1 200 m Wassertiefe gemessen (IZDAR *et al.*, 1987). Die höchsten Gesamtflußraten wurden in den Monaten November bis Januar (Phase II) beobachtet, gefolgt von den Monaten Juni bis Oktober (Phase I) und die niedrigsten in den Monaten Februar bis Mai (Phase III). Die Sinkstoffe aus Phase I und II setzen sich im wesentlichen aus Karbonat und organischer Substanz bzw. Karbonat und lithogenen Komponenten zusammen, während biogenes Opal und lithogene Komponenten die Phase III dominieren. Die Hauptquellen der Sinkstoffe sind in Phase I Coccolithophoridenblüten. In Phase II sind die Hauptquellen sowohl fluviatile Einträge als auch die Resuspension von Coccolithophoriden, wie auch in Phase III, bei der Einträge aus Diatomeenblüten hinzukommen (HONJO *et al.*, 1987).

Im zentralen Teil des Schwarzen Meeres wurden zwischen 1989 und 1992 Partikelflußraten von bis zu $243 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 477 m bzw. $182 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 1 036 m Wassertiefe gemessen. Auch dort konnten drei verschiedene Partikelflußphasen charakterisiert werden. Die höchsten Gesamtflußraten wurden von September bis Dezember gemessen, gefolgt vom Zeitraum Januar bis April. Zwischen Mai bis August ist der Partikelfluß sehr gering. Die Zusammensetzung der Sinkstoffe zeigt einen höheren Anteil an Karbonat und organischer Substanz von September bis Dezember. Die Anteile von biogenem Opal und lithogenen Komponenten überwiegen in den Sinkstoffen von Januar bis April (LIPP, 1996).

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde der vertikale Partikelfluß mit einer Sedimentfalle am Donautiefseefächer beprobt (Abb. 14, Station 2). Die Flußraten, die dort gemessen wurden, sind mit Werten zwischen $0,01$ und $18,0 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Abb. 38) und einem Durchschnitt von $1,7 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ im Vergleich zu anderen Regionen des Schwarzen Meeres sehr niedrig. Eine Fehlfunktion der Sedimentfalle kann ausgeschlossen werden, da sowohl der technische Zustand der Falle als auch die Aufzeichnungen des angeschlossenen Computers die fehlerfreie Funktion belegen. Für den insgesamt niedrigen Partikelfluß am Donautiefseefächer dürfte die Verdriftung der fluviatil eingetragenen Partikel verantwortlich sein. Neuere Untersuchungen zeigen, daß die von der Donau eingetragenen Partikel von der Strömung nach Süden entlang des rumänischen und bulgarischen Schelfs abgelenkt werden. Die Donauschwebstoffe werden im wesentlichen erst in der Nähe des Bosphorus in die Tiefsee eingetragen (PANIN, 1996).

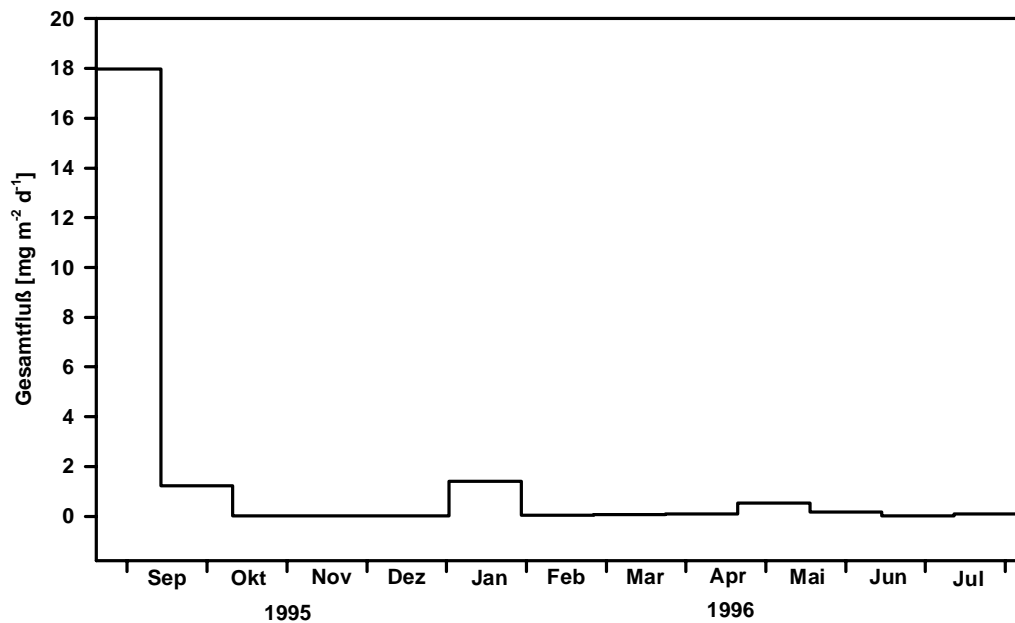


Abb. 38: Vertikaler Partikelfluß im NW des Schwarzen Meeres am Donautiefseefächer

Aus der Partikelflußrate errechnet sich eine rezente Sedimentakkumulationsrate von $0,6 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Diese ist um zwei Größenordnungen niedriger als die von GULIN *et al.* (1997) mit $70 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ aus der gleichen Region, die anhand der ^{137}Cs - und ^{210}Pb -Aktivität des Sediments ermittelt wurde. Dieser Unterschied könnte einerseits darauf beruhen, daß Partikel, die bodennah in die Tiefsee-Ebene transportiert werden, von der Sedimentfalle nicht erfaßt wurden. Andererseits gestaltet es sich bei einer maximalen Sedimentationsrate von nur $0,4 \text{ mm a}^{-1}$ in der Tiefsee-Ebene (GULIN *et al.*, 1997) sehr schwierig, eine Veränderung in der Sedimentakkumulationsrate in jüngster Zeit über das Sediment zu differenzieren, wenn die Sedimentproben in Schichten von 2 bis 10 mm analysiert werden, wie es bei GULIN *et al.* (1997) der Fall war. Aufgrund der unterschiedlichen Meßmethoden können die vorliegenden Sedimentakkumulationsraten nicht unbedingt miteinander verglichen werden. Möglicherweise belegt die Differenz jedoch den Rückgang des Sedimenteintrags der Donau in die abyssalen Bereiche des Schwarzen Meeres vor dem Bau des IGI-Reservoirs und danach. In Tab. 14 sind Sedimentakkumulationsraten aus verschiedenen Gebieten des Schwarzen Meeres und die Methoden, mit denen sie ermittelt wurden, zusammengefaßt.

Durchschnittliche vertikale Partikelflußraten in der gleichen Größenordnung wurden z. B. bei Sedimentfallenexperimenten im Westkarolinen-Becken (unter dem Einfluß der äquatorialen Gegenströmung) und dem Philippinen-Becken (unter dem Einfluß der nordäquatorialen Strömung) gemessen (KEMPE & KNAAK, 1996). Die durchschnittlichen Gesamtflußraten liegen dort in 1 130 m bzw. 1 200 m Wassertiefe bei $18,0 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bzw. $4,8 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Die saisonale

Variabilität im Westkarolinen-Becken ist mit Veränderungen in der Wind- und Strömungsrichtung verbunden, die während des NW-Monsuns Nährstoffe von der Küste Neuguineas liefern. Im Philippinen-Becken dagegen variiert der Gesamtfluß zwischen 0,7 und 11,9 mg m⁻² d⁻¹ und zeigt keine saisonale Variabilität, da die nordäquatoriale Strömung mit ihrem nährstoffarmen Wasser über das ganze Jahr stabil ist. Die Sinkstoffe an beiden Stationen setzen sich in der Regel zu mehr als 90 % aus biogenen Komponenten (50-70 % Karbonat, 9-14 % biogenes Opal, 7-33 % organisches Material) zusammen. Lithogene Komponenten haben einen Anteil von weniger als 10 %.

Tab. 14: Sedimentakkumulationsraten für die abyssalen Bereiche des Schwarzen Meeres

Station	Wassertiefe	Sedimentakkumulationsrate	Basis der Ermittlung	Referenz
NW 43°17'N; 31°02'E	1526	0,6 g m ⁻² a ⁻¹	Sedimentfalle (959 m Tiefe)	Diese Arbeit
SW 42°10'N; 32°35'E	2100	36 g m ⁻² a ⁻¹	Sedimentfalle (1200 m Tiefe)	HAY <i>et al.</i> , 1990
SW 41°51'N; 30°21'E	2100	12 g m ⁻² a ⁻¹	Sedimentfalle (1200 m Tiefe)	HAY <i>et al.</i> , 1990
NW 43°25'N; 32°08'E	1983	70 g m ⁻² a ⁻¹	¹³⁷ Cs	GULIN <i>et al.</i> , 1997
Zentral Ca. 43°00'N; 33°00'E	2092	89 g m ⁻² a ⁻¹	Varvenzählung	ARTHUR <i>et al.</i> , 1994
Zentral ca. 43°00'N; 34°00'E	2164	76 g m ⁻² a ⁻¹	Varvenzählung	ARTHUR <i>et al.</i> , 1994
SW 42°55'N; 31°22'E	2094	55 g m ⁻² a ⁻¹	²¹⁰ Pb	CRUSIUS & ANDERSON, 1992
SE 42°28'N; 37°36'E	2050	50 g m ⁻² a ⁻¹	²¹⁰ Pb	CRUSIUS & ANDERSON, 1992
Zentral ca. 43°00'N; 33°00'E	2087	38,7 g m ⁻² a ⁻¹	AMS 14C	CALVERT <i>et al.</i> , 1991
Zentral ca. 43°00'N; 34°00'E	2218	35,7 g m ⁻² a ⁻¹	AMS 14C	CALVERT <i>et al.</i> , 1991
Zentral ca. 43°00'N; 33°00'E	ca. 2100	150 g m ⁻² a ⁻¹	Varvenzählung	HAY, 1988
Zentral ca. 43°00'N; 34°00'E	ca. 2200	171 g m ⁻² a ⁻¹	Varvenzählung	HAY, 1988

Aufgrund der geringen Probenmengen konnte beim vorliegenden Sedimentfallenexperiment nur an den Sinkstoffen der Periode August/September die Hauptkomponenten bestimmt werden. Die Sinkstoffe werden mit 50,4 % dominiert von lithogenen Komponenten, gefolgt von Karbonat mit 26,9 %. Organisches Material hat einen Anteil von 19,2 und biogenes Opal von 3,5 %. Aus den Ergebnissen des Sedimentfallenexperiments am Donautiefseefächer kann gefolgert werden, daß der Transport von Donaeschwebstoffen in die abyssalen Bereiche des Schwarzen Meeres dort heute nicht mehr stattfindet.

5.2.2 Zusammensetzung der Oberflächensedimente

5.2.2.1 Hauptkomponenten

Die POC-Gehalte in den Oberflächensedimenten variieren zwischen 0,3 und 4,8 % (Tab. 23, Anhang) und lassen drei unterschiedliche Zonen erkennen (Abb. 39a).

Die erste Zone beschränkt sich auf ein schmales Band entlang der Küstenlinie mit niedrigen POC-Gehalten und bis zu 86 % Lithogenanteil (Abb. 39c). Die niedrigen POC-Anteile stehen dort mit dem Eintrag mineralischer Komponenten der Donau und des Dniestr in Verbindung. Diese lithogenen Partikel werden durch die vorherrschende Strömung nach Süden abgelenkt und verdünnen das organische Material in den Sedimenten. Auch das Verteilungsmuster von biogenem Opal scheint mit dem südlichen Drift der Donauschwebstoffe zusammenzuhängen (Abb. 39d). Höchste Opalgehalte werden südlich von St. Gheorge und nördlich von Chilia mit Werten von 5,0 bzw. 4,5 % beobachtet.

Die zweite Zone repräsentiert die Sedimente des Schelfbereichs mit niedrigen POC-Anteilen und hohen Karbonatgehalten (Abb. 39b). Die POC-Gehalte, die zwischen 0,3 und 2,9 % liegen, resultieren dort aus der Verdünnung des organischen Materials mit dem Schalenmaterial benthischer Organismen (vorwiegend *Mytilus* und *Modiolus phaseolinus*; Fahrtbericht PROF. VODYANITSKY, LEG 2, 1995). Karbonatgehalte bis zu 80 % werden dort beobachtet.

Die dritte Zone umfaßt die Tiefsee-Ebene mit den höchsten POC-Anteilen im Untersuchungsgebiet. Die relative Anreicherung von POC in den Oberflächensedimenten des abyssalen Bereichs läßt sich mit den anoxischen Verhältnissen im Bodenwasser der Tiefsee-Ebene erklären. Aufgrund des fehlenden Sauerstoffs sind keine benthischen Organismen vorhanden, die das organische Material als Nahrungssubstrat verbrauchen könnten (DEGENS & MOPPER, 1976). Der Karbonatgehalt der Sedimente liegt dort zwischen 39,2 und 42,5 % und besteht im wesentlichen aus den Skeletten planktonischer Organismen.

Den höchsten relativen Anteil opalbildender Organismen an der Zusammensetzung der Oberflächensedimente im NW des Schwarzen Meeres zeigt sich südlich von St. Gheorge mit einem Opalgehalt von 5,0 %.

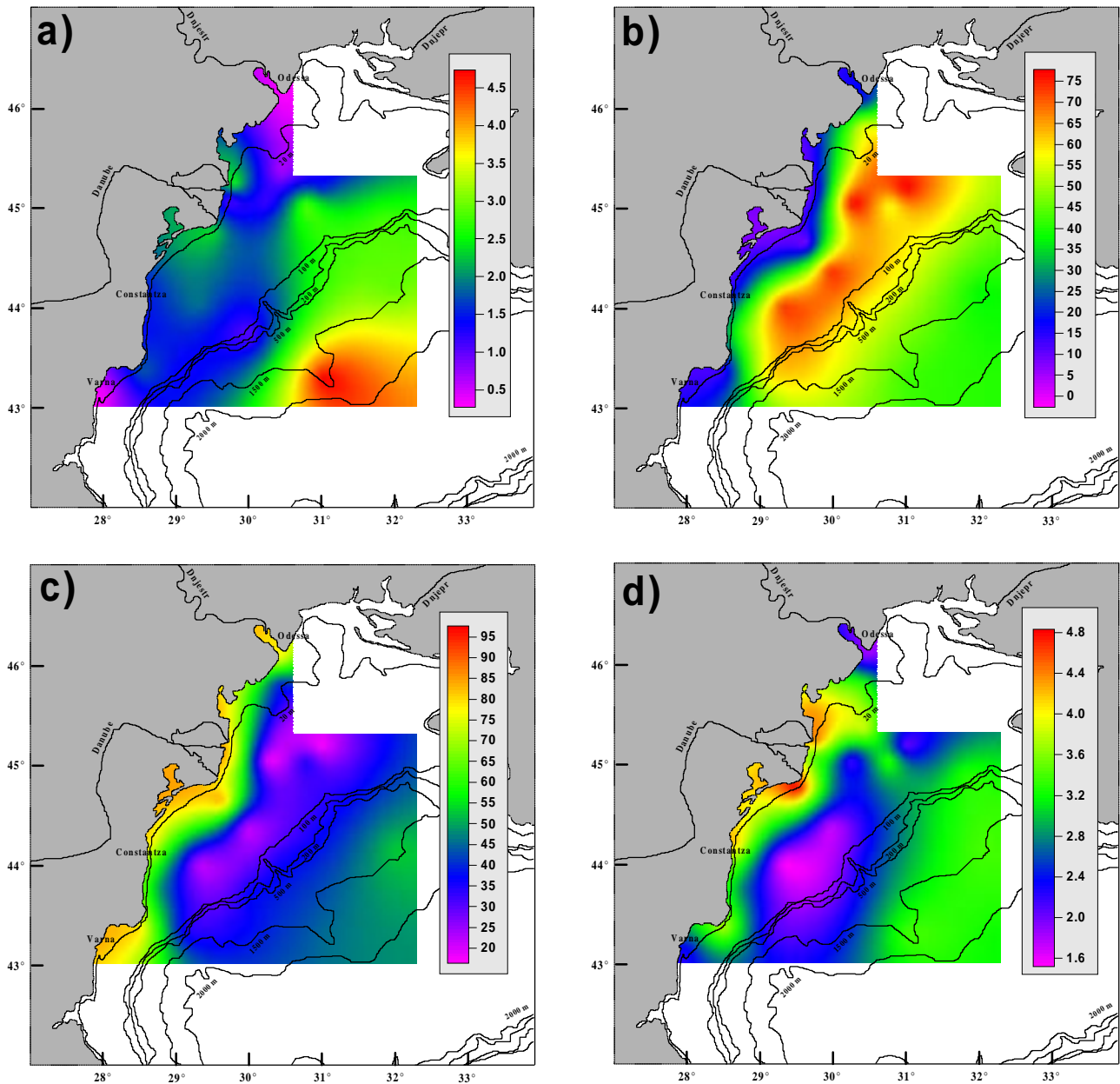


Abb. 39: Verteilungsmuster von: a) POC [%], b) CaCO₃ [%], c) Lithogenes Material [%], d) Opal [%] in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres

5.2.2.2 Zustand des organischen Materials

Die Gehalte an PAA und PAS variieren in den Oberflächensedimenten zwischen 0,2 und 1,9 % bzw. 0,2 und 0,02 % (Tab. 24, Anhang). Neutrale PAA dominieren mit einem durchschnittlichen Anteil von 57 mol-% über die sauren und basischen PAA mit Mittelwerten von 23,8 bzw. 11,5 mol-%. Aromatische-, nichtproteinogene- und schwefelhaltige PAA haben durchschnittlich einen Anteil von 5,5 bzw. 1,4 und 1,0 mol-% am PAA-Spektrum. Die PAA werden an allen Stationen von Gly dominiert mit Anteilen von bis zu 23 mol-%, gefolgt von Asp (11,0-

17,5 mol-%), Glu (8,1-12,2 mol-%) und Ala (8,7-11,2 mol-%). Die Monomere Thr, Ser, Val, Leu, Lys, Arg, liegen zwischen 2,9 und 10,4 mol-%. Unter 4,4 mol-% sind Met, Ile, Tyr, Phe, His, Orn, β -Ala und γ -Aba am PAA-Spektrum beteiligt (Abb. 40). Ähnliche PAA-Spektren wurden auch in anderen marinen Sedimenten gemessen (z. B. DAUWE & MIDDELBERG, 1998; COWIE & HEDGES, 1992; COWIE *et al.*, 1992).

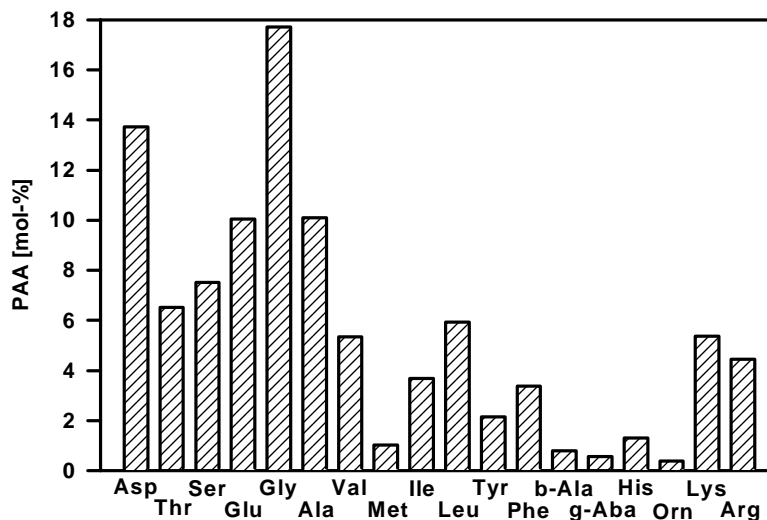


Abb. 40: Durchschnittliche spektrale Verteilung der PAA in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres

Die Anteile der PAA am POC liegen in den Oberflächensedimenten der Tiefsee-Ebene zwischen 4,3 und 11,9 % (Tab. 24, Anhang). Auf dem kontinentalen Schelf sind die PAA-C-Gehalte generell höher und variieren zwischen 11,6 und 42,7 % (Abb. 41a). Die räumliche Verteilung der PAA-C-Gehalte auf dem kontinentalen Schelf deutet auf den unterschiedlichen Abbaugrad der organischen Substanz in den Oberflächensedimenten hin.

Die organische Substanz in den Schelfsedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres besteht aus organischen Komponenten aus der Donau und dem Dniestr sowie autochthonem Material aus der biologischen Produktion der Oberflächenwasserschicht des Schwarzen Meeres. Die PAA-C-Gehalte der Schwebstoffe aus der Donau liegen an deren Mündung bei etwa 10 %. Die relativ niedrigen Werte in den Oberflächensedimenten südlich von St. Gheorge entlang der Küste lassen daher auf die Sedimentation von organischem Material schließen, das im wesentlichen von der Donau geliefert wird. Die höheren PAA-C-Gehalte von bis zu 40 % südlich des Donau-Deltas deuten auf die Sedimentation von autochthonem POM aus der photischen Zone hin. Das PAA-C-Verteilungsmuster in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres spiegelt die Ausbreitung der Flußfahne der Donau bzw. deren Einfluß auf die biologische Produktion wieder.

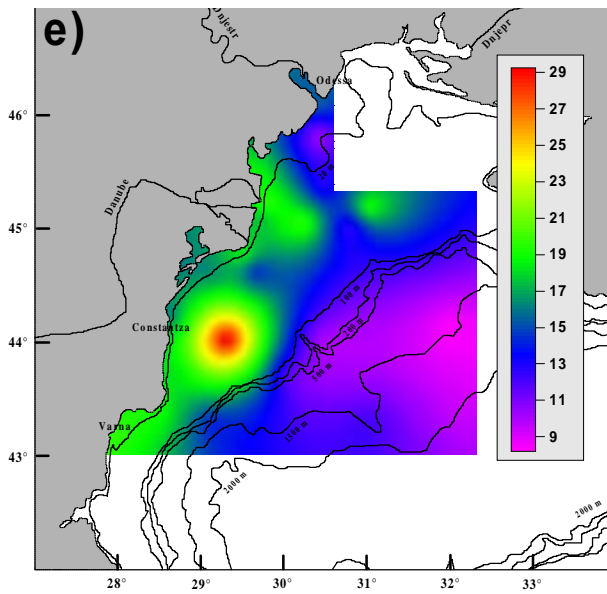
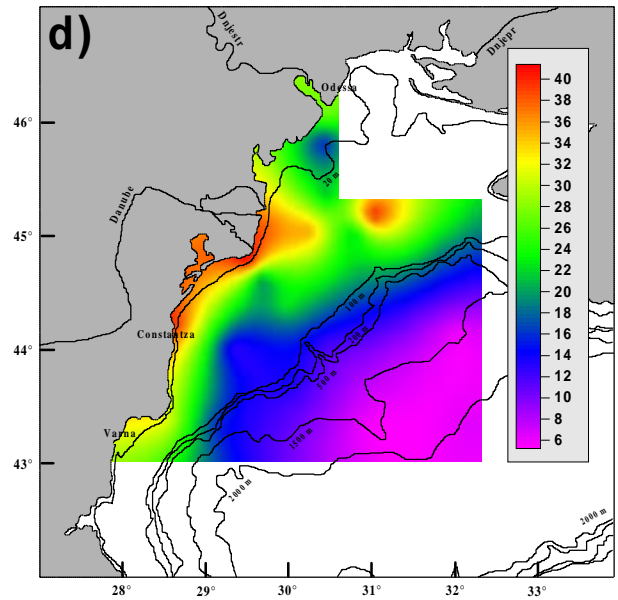
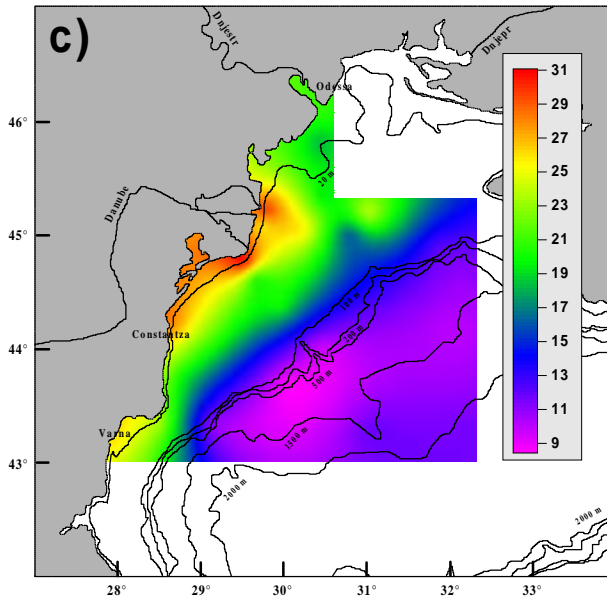
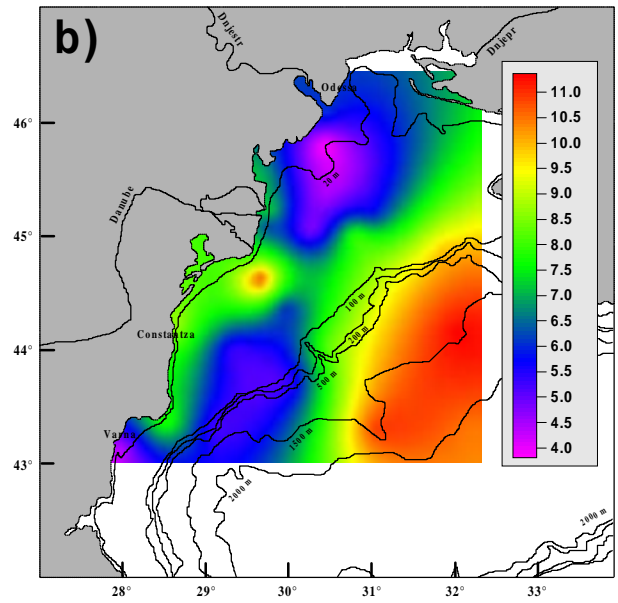
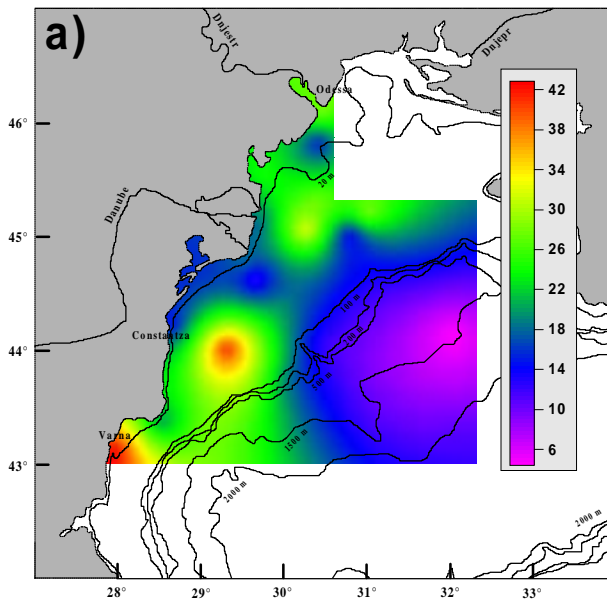


Abb. 41: Verteilungsmuster von a) PAA-C [%] b) C/N, c) Asp/ β -Ala, d) Glu/ γ -Aba, e) PAA/PAS in den Oberflächensedimenten im nordwestlichen Schwarzen Meer

Die niedrigen PAA-C-Gehalte in den Oberflächensedimenten der Tiefsee-Ebene deuten auf den höheren Abbaugrad der organischen Substanz im Vergleich zu den Schelfsedimenten. Auch die Verhältnisse von Asp/ β -Ala und Glu/ γ -Aba, die zwischen 8,5 und 31,8 bzw. 5,3 und 41,8 liegen (Tab. 24, Anhang), sind im abyssalen Bereich niedriger als auf dem Schelf, was ebenfalls die fortgeschrittene Degradation der organischen Substanz kennzeichnet (Abb. 41c, d). Im abyssalen Bereich sind auch die C/N-Verhältnisse generell höher als im Schelfbereich (zwischen 3,7 und 11,4; Abb. 41b), was an der bevorzugten Verwertung stickstoffreicher Substanzen bei der bakteriellen Umsetzung oder beim Zooplanktonfraß liegt. Die PAA/PAS-Verhältnisse (zwischen 8,2 und 30,5) sind auf dem kontinentalen Schelf generell höher als im abyssalen Bereich (Abb. 41e). Niedrige PAA/PAS-Verhältnisse in den Oberflächensedimenten mit höherem Abbaugrad weisen einerseits auf die höhere Stabilität von PAS im Vergleich zu PAA gegenüber Degradationsprozessen hin. Andererseits könnte dies auf die relative Anreicherung bakterieller Biomasse in den Oberflächensedimenten des abyssalen Bereichs hindeuten.

Aufgrund des anoxischen Bodenwassers in der Tiefsee-Ebene wäre dort ein besserer Erhaltungsgrad der frischen organischen Substanz zu erwarten als auf dem Schelf. Obwohl nach neueren Untersuchungen die Abwesenheit von Sauerstoff nicht zwangsläufig bedeutet, daß die organische Substanz weniger effektiv abgebaut wird (z. B. CALVERT & PETERSEN, 1992; CANFIELD, 1993), dürften im vorliegenden Fall andere Faktoren ausschlaggebend sein. Der höhere Abbaugrad des organischen Materials in den Tiefseesedimenten scheint mit der Verdünnung der in situ produzierten organischen Substanz aus der photischen Zone des offenen Schwarzen Meeres mit degradiertem POM aus der Donau und dem kontinentalen Schelf in Zusammenhang zu stehen. Durch die vorherrschenden Strömungsverhältnisse werden Donaupartikel nach Süden abgelenkt und erst im Bosphorus in die Tiefsee eingetragen (siehe unter: 5.2.1). Dabei werden die Donaupartikel mit frischer organischer Substanz, die auf dem Schelf produziert wurde, vermischt. Während des Transports zum Bosphorus ist das vermischte POM länger der oxischen Degradation ausgesetzt als bei der Ablagerung auf dem Schelf. Dadurch wird die in situ produzierte organische Substanz in der Tiefsee-Ebene des nordwestlichen Schwarzen Meeres mit degradiertem terrestrischen und aquatischen POM verdünnt.

5.2.2.3 Stickstoffisotope: Implikationen zur Nährstoffsituation

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres sind auf dem kontinentalen Schelf (3,4-8,3 ‰) in der Regel höher als in der Tiefsee-Ebene (1,9-3,9 ‰; Abb. 42b; Tab. 24, Anhang). Einerseits können verschiedene Nitratquellen der Primärproduzenten für die Unterschiede verantwortlich sein. Der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von Nitrat in sauerstoffreichen Gewässern liegt zwischen 3 und 7 ‰ mit einem Mittelwert von ca. 6 ‰ (LIU & KAPLAN, 1989), wogegen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Nitrats in Bereichen mit Sauerstoffminimum höher sind (10 bis 18 ‰; LIU & KAPLAN, 1989). Andererseits können die unterschiedlichen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte unterschiedliche Quellen der organischen Substanz belegen, da Schwebstoffe terrestrischer Herkunft in Flüssen niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen (0 bis 2 ‰; MARIOTTI *et al.*, 1984) als partikulärer Stickstoff aus der Primärproduktion (6 bis 10 ‰; MARIOTTI *et al.*, 1984). Die Verteilung stabiler Stickstoffisotope im Sediment kann sowohl über die unterschiedlichen Quellen der organischen Substanz als auch über die Nährstoffsituation für Primärproduzenten Aufschluß geben (MONTOYA, 1994).

Der Mittelwert der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Sedimenten des Schelfs von 5,6 ‰ entspricht in etwa dem Wert für gelöstes Nitrat in sauerstoffreichen Gewässern. Wenn genügend Nährstoffe in der photischen Zone vorhanden sind, bevorzugen Primärproduzenten die Aufnahme des leichteren Isotops ^{14}N , was mit der Verarmung von ^{15}N in der planktonischen Biomasse relativ zum nutzbar gemachten Substrat einhergeht (WADA & HATTORI, 1978). Dies müßte sich in niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ -Werten in den Sedimenten widerspiegeln. Degradationsprozesse während des Absinkens können wiederum zur Anreicherung von ^{15}N in der partikulären Restsubstanz führen (SAINO & HATTORI, 1980). Die hohen PAA-N-Werte belegen jedoch die relative Frische des organischen Materials in den Sedimenten des Schelfs (Abb. 42a).

Eine Veränderung in der Stickstoffisotopenzusammensetzung des Nitrats kann auch durch die Denitrifizierung verursacht werden. Die Denitrifikation ist ein Prozeß, bei dem durch mikrobielle Aktivität in sauerstoffarmen Wassermassen gasförmige N-Verbindungen (N_2 und N_2O) aus Nitrat gebildet werden. Das leichtere ^{14}N Isotop reagiert dabei schneller, wodurch das zurückbleibende Nitrat an ^{15}N angereichert wird. Die Aufnahme dieses Nitrats führt zur Erhöhung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in der planktonischen Biomasse. Da jedoch keine $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des gelösten Nitrats aus der Donau vorliegen, ist ungewiß, ob Nitrat mit hohen ^{15}N -Anteilen von der Donau eingetragen wird oder aus den Sedimenten des Schelfs freigesetzt wird. Nach HUMBORG (1995) wird ein Teil der Stickstofffrachten der Donau durch Denitrifikationsprozesse im Donau-

Delta eliminiert, wodurch das zurückbleibende Nitrat, das ins Schwarze Meer eingetragen wird, mit ^{15}N angereichert sein müßte. Ebenso könnten auch Denitrifikationsprozesse in den Schelfsedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Nitrats erhöhen.

Die generell niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Sedimenten der Tiefsee-Ebene liegen im Durchschnitt bei 2,8 ‰. Dies könnte einerseits den Eintrag von terrestrischem POM aus der Donau belegen. Andererseits deutet es darauf hin, daß dem Phytoplankton im offenen Schwarzen Meer Stickstoffverbindungen aus anderen Quellen zur Verfügung stehen als im küstennahen Bereich. Bei der Fixierung molekularen Luftstickstoffs ist die Isotopenfraktionierung sehr gering ($\delta^{15}\text{N}$ -Werte nahe 0 ‰). Daher belegen niedrige $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Planktons in oligotrophen Bereichen des Ozeans hohe Anteile von Nitrat, das durch N_2 -Fixierung entsteht (MINAGAWA & WADA, 1986). Auch Ammonium, das oberhalb der Chemokline von Zooplankton ausgeschieden wird, könnte ein wichtiges Substrat für das Wachstum des Phytoplanktons darstellen. Wird Phytoplankton gefressen, so hat das Ammonium, das vom Zooplankton wieder ausgeschieden wird, einen nur leicht höheren $\delta^{15}\text{N}$ -Wert (+ 0,8 ‰) wie die organische Substanz des Phytoplanktons (CHECKLEY & MILLER, 1989). Somit hat dieses Ammonium niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als das gelöste Nitrat, das vom Phytoplankton aufgenommen wird. Relativ zum Körpergewebe des Zooplanktons ist dieses Ammonium um ca. 3 ‰ an ^{15}N verarmt (CHECKLEY & MILLER, 1989). Besonders in Wasserkörpern mit einer stabilen Stratifizierung, in denen das Oberflächenwasser an Nitrat verarmt ist, könnte von Zooplankton remineralisiertes Ammonium zum Stickstoffangebot für autotrophe Organismen beitragen (MONTROYA, 1994), wodurch ebenfalls $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der abyssalen Oberflächensedimente so niedrig ausfallen könnten. FRY *et al.*, (1991) haben ähnliche $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Schwebstoffen der photischen Zone und den Oberflächensedimenten im offenen Schwarzen Meer vor der türkischen Küste gemessen. Dort werden die niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte mit der Aufnahme von Ammonium durch Bakterien in Verbindung gebracht.

Möglicherweise werden die Nährstoffe, die im Schelfbereich die Primärproduktion steuern, weitestgehend dort verbraucht oder erreichen nur zu einem geringen Teil die photische Zone des offenen Ozeans. Satellitenbilder belegen die Trennung zwischen Schelfbereich und offenem Meer bezüglich der Höhe der Produktivität, was auf den bevorzugten Verbrauch der fluvialitil eingetragenen Nährstoffe in der photischen Zone der Küstenregion hinweist (Abb. 43). Dadurch scheinen andere Nährstoffquellen als auf dem Schelf für die Primärproduktion im offenen nordwestlichen Schwarzen Meer von Bedeutung zu sein, was durch die unterschiedlichen Signale der Stickstoffisotopenverteilung in den Oberflächensedimenten zum Ausdruck kommt.

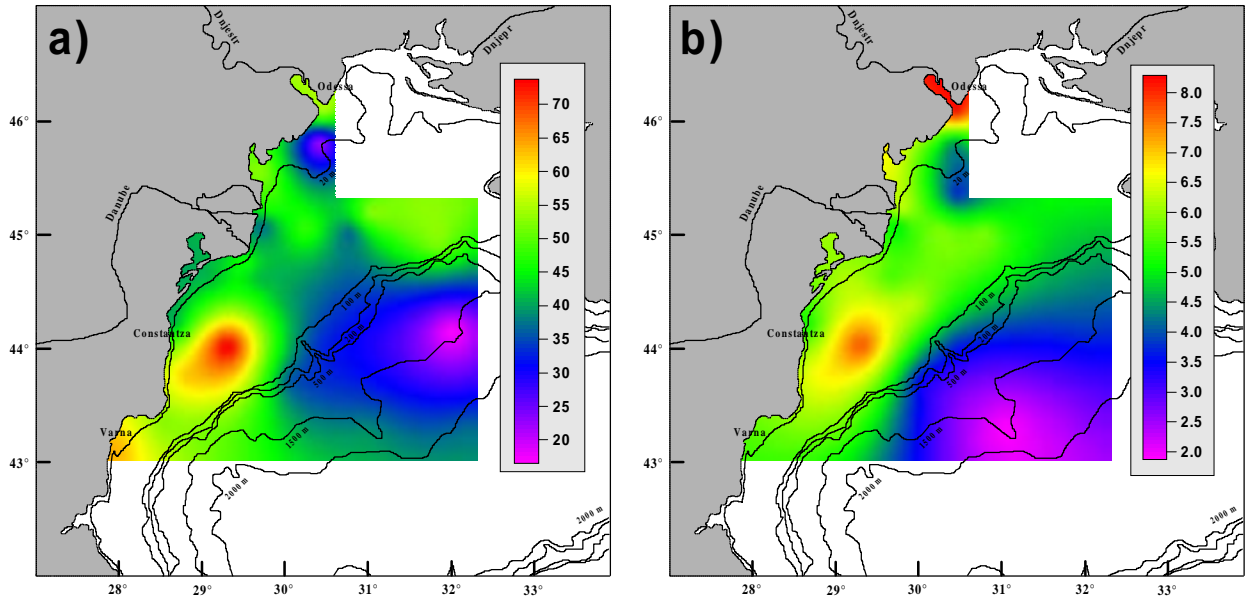


Abb. 42: Verteilungsmuster von a) PAA-N [%] und b) $\delta^{15}\text{N}$ [‰] in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres

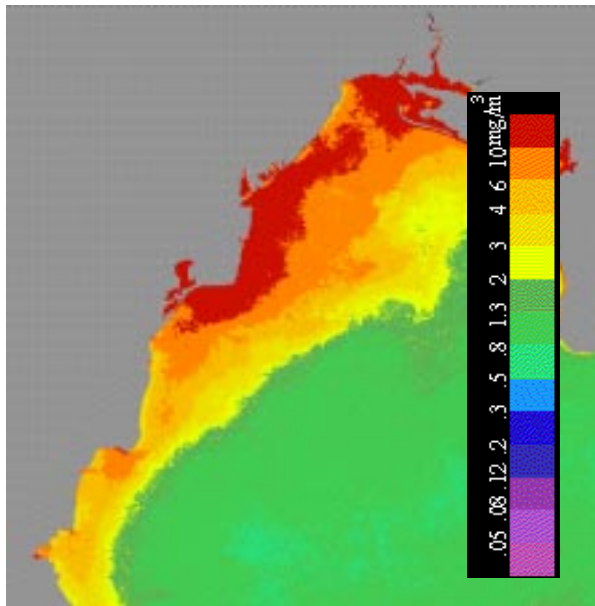


Abb. 43: Durchschnittswerte der Chlorophyll-ähnlichen Pigmentkonzentrationen im Oberflächenwasser im NW des Schwarzen Meeres 1975-1989 (Coastal Zone Color Scanner, SPACE APPLICATIONS INSTITUTE)

5.3 Donaufracht und Sedimentation im NW des Schwarzen Meeres: Folgen des Staudammbaus

5.3.1 Veränderungen im Schwebstoffeintrag der Donau

In diesem Kapitel wird auf die heutigen Folgen der Rückhaltung partikulärer Stoffe im IGI-Reservoir auf das Sedimentationsgeschehen im NW des Scharzen Meeres eingegangen. Die Berechnung der Sedimentmenge, die jährlich im IGI zurückgehalten wird, geschieht unter Einbeziehung der berechneten Gesamtsedimentakkumulationsrate im IGI (siehe unter: 5.1.7.2).

Aufgrund der physiogeographischen Gegebenheiten (siehe unter: 2.1) ist die eindeutige Abgrenzung der Fläche des IGI-Reservoirs von der Fläche der Donau flußaufwärts über morphologische Gesichtspunkte nicht möglich. Da sich jedoch die Strömungsgeschwindigkeiten zwischen km 1040 und km 999 drastisch verringern und in den dortigen Bettsedimenten siltige und tonige Ablagerungen allmählich über Kies und Geröll dominieren (siehe unter: 5.1.6), dürfte ungefähr die Mitte dieser Teilstrecke mit dem Beginn des Reservoirs einhergehen. Damit hat das IGI-Reservoir eine Längserstreckung von ca. 80 km. Die durchschnittliche Breite (Messung alle 500 m) beträgt in diesem Bereich ca. 1 km, woraus sich eine Fläche von ca. 80 km² ergibt.

Bei einer Gesamtsedimentakkumulationsrate von ungefähr 85,5 kg m⁻² a⁻¹ (siehe unter: 5.1.7.2) und einer Fläche von 80 km² errechnet sich daraus eine durchschnittliche Sedimentrückhaltung von ca. 6,8*10⁶ t a⁻¹ im IGI-Reservoir. Die Rückhaltung von Sediment, die mit der Verringerung der TSS-Konzentration im IGI für das Jahr 1995 berechnet wurde (siehe unter: 5.1.8), ist mit 2,3 ± 0,5*10⁶ t a⁻¹ in der gleichen Größenordnung. Ohne den Staudamm würden also durchschnittlich ca. 6,8*10⁶ t a⁻¹ mehr Sediment ins Schwarze Meer eingetragen werden, wobei jedoch nur etwa 54 % (3,7 ± 0,6*10⁶ t a⁻¹) davon das Schwarze Meer erreichen würden (siehe unter: 5.1.8). Somit würde zum heutigen TSS-Eintrag von 9,7 ± 1,9*10⁶ t a⁻¹ die Menge von ca. 3,7*10⁶ t a⁻¹ hinzukommen. Das bedeutet, daß der heutige Schwebstoffeintrag der Donau ins Schwarze Meer durch die IGI Staumauer um etwa 38 % verringert wird.

Neben den rückschreitenden Strandlinien an der rumänischen und bulgarischen Küste (PANIN, 1996) unterstützt der niedrigere Schwebstoffeintrag aufgrund der damit verbundenen höheren Lichteinwirkung die Wachstumsbedingungen für Algen und damit auch die Eutrophizierung der rumänischen Küstengewässer.

5.3.2 *Veränderungen in der Verbreitung der Donauschwebstoffe*

Um die Verteilung der durch die Donau eingetragenen Partikel im Schwarzen Meer abschätzen zu können, wurden die Hauptkomponenten der Oberflächensedimente der Donau mit denen des Schwarzen Meeres verglichen (Abb. 44). Allgemein bestehen wesentliche Unterschiede in den Karbonat-, Lithogen- und Opalgehalten. Die Karbonatgehalte in den Flußsedimenten sind mit durchschnittlich 12,9 % wesentlich niedriger als in den Schwarzmeersedimenten, die fast ausnahmslos Werte über 40 % haben. Die Opalgehalte sind in der Donau in der Regel über 3 % und im Schwarzen Meer darunter, was den größeren Einfluß von opalschaligen Organismen auf die Flußsedimente anzeigt. Die hohen Lithogenanteile der Flußsedimente von durchschnittlich 79,4 % belegen den Einfluß der Flußbettersion, die im wesentlichen mineralische Partikel liefert. Im Schwarzen Meer ist der Lithogenanteil in der Regel unter 50 %. Hinsichtlich der POC-Gehalte liegen die Sedimente der Donau mit durchschnittlich 1,6 % im mittleren Bereich der Gehalte im Schwarzen Meer.

Die heutige Verteilung der Schwebstofffracht der Donau im Schwarzen Meer wird deutlich bei der Betrachtung der Übereinstimmungen in der Zusammensetzung der Bettsedimente der Donau mit den Oberflächensedimenten an den jeweiligen Stationen im Schwarzen Meer (Abb. 45; vergleiche mit: Abb. 44). Die Zusammensetzung der Sedimente der meisten küstennahen Stationen im Schwarzen Meer stimmt mit der Zusammensetzung der Flußsedimente überein. An der Mündung des Dniestr, an der Küstenzone südlich von Constantza und in der Bucht von Varna gibt es jedoch lediglich Übereinstimmungen bei zwei Hauptkomponenten. In küstenfernen Gebieten überschneidet sich die Zusammensetzung nur bei einer Hauptkomponente.

Der Ablagerungsraum der Donauschwebstoffe im Schelfbereich scheint somit heute im wesentlichen auf eine Fläche von ca. 7 000 km² entlang der Küste Rumäniens nördlich von Constantza beschränkt zu sein. Da Teile der rumänischen und bulgarischen Küstenlinie seit dem Staudammbau ins Landesinnere zurückeichen (PANIN, 1996), dürfte der Hauptablagerungsraum der partikulären Fracht der Donau vor der Inbetriebnahme des IGI die gesamte rumänische und bulgarische Küste umfaßt haben.

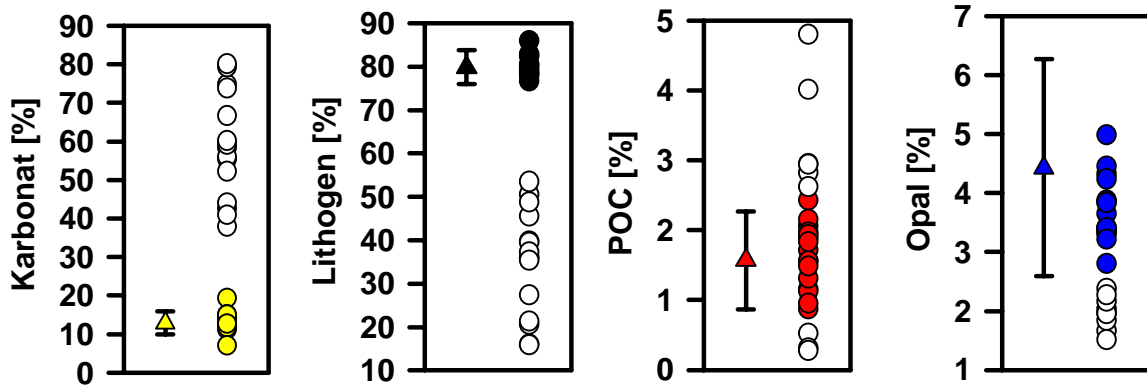


Abb. 44: Übereinstimmung von Karbonat-, Lithogen-, POC- und Opalgehalt der Oberflächensedimente aus der Donau mit denen im Schwarzen Meer. Kreise kennzeichnen die Gehalte der jeweiligen Komponenten der Oberflächensedimente des Schwarzen Meeres. Dreiecke markieren den durchschnittlichen Gehalt der jeweiligen Komponenten in den Oberflächensedimenten aus der Donau, wobei die Fehlerbalken die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert darstellen. Farbige Kreise markieren die Oberflächensedimente aus dem Schwarzen Meer, die im Wertebereich der jeweiligen Komponente aus den Oberflächensedimenten der Donau liegen

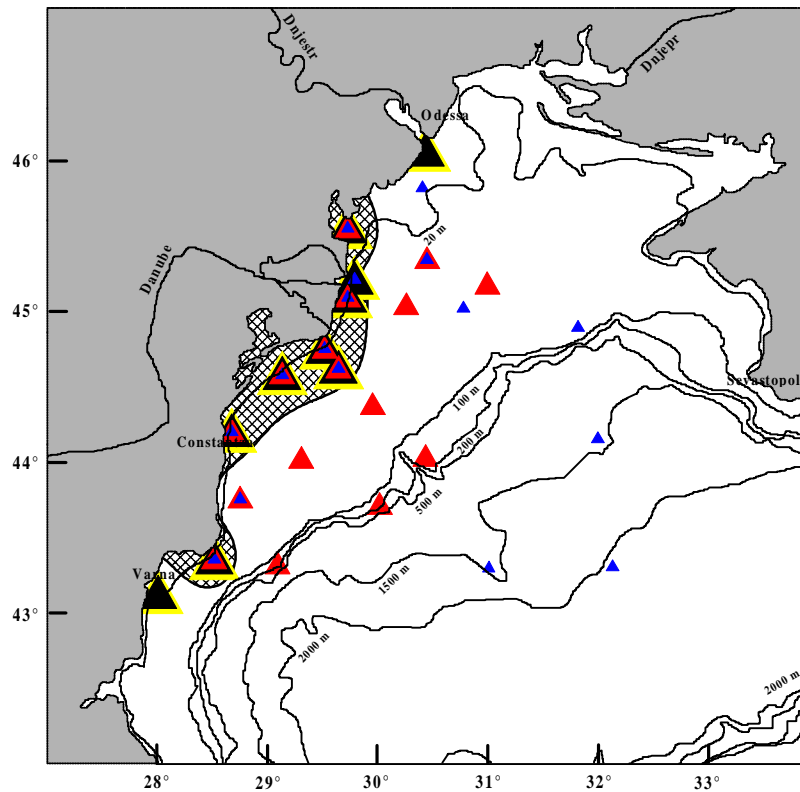


Abb. 45: Verteilung des partikulären Eintrags der Donau anhand der Übereinstimmung der Hauptkomponenten in den Oberflächensedimenten der Donau mit denen des Schwarzen Meeres (vergleiche mit: Abb. 44). Die Farben kennzeichnen den gleichen Wertebereich der jeweiligen Komponente: Gelb = Karbonat; Schwarz = Lithogen; Rot = POC; Blau = Opal (die Größe der Dreiecke hat keine inhaltliche Bedeutung). Die schraffierte Fläche kennzeichnet den wahrscheinlichen Hauptablagerungsraum der Donauschwabstoffe heute

5.3.3 Veränderungen im Silikateintrag der Donau

Da die Abnahme des Eintrags von gelöstem Silikat um zwei Drittel durch den Staudambau ein vermehrtes Wachstum von Flagellaten zur Folge hat (HUMBORG *et al.*, 1997), ist es von besonderer Bedeutung, welche Rolle partikuläres Silizium in Form von Tonmineralien oder biogenem Opal für die Silikatkonzentrationen im Küstenbereich des nordwestlichen Schwarzen Meeres spielt. Die Hauptmenge an Silikat wird in gelöster Form durch Flüsse in die Ozeane eingetragen und entstammt der terrestrischen Verwitterung (TRÉGUER *et al.*, 1995). Der partikuläre Eintrag von Silikat in Form von Tonmineralen oder Gesteinsbruchstücken anderer Art ist aufgrund der langsamen Löslichkeit von ungefähr $6 \cdot 10^{-14} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ für biologische Prozesse nicht relevant (LERMAN, 1988). Jedoch ist die Löslichkeit von amorphem Opal z. B. von Frischwasserdiatomeen im marinen Milieu mit ca. $2 \cdot 10^{-9} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ um fünf Größenordnungen höher (HURD, 1983) und kann daher in biogeochemische Prozesse einbezogen werden. Insgesamt werden etwa 16 % der gesamten partikulären und gelösten Siliziumfracht der Flüsse in Form von biogenem Opal in die Weltmeere eingetragen (CONLEY, 1997). Da ansteigende Salinität und pH-Werte die Lösungsrate von Diatomeen erhöhen (BARKER, *et al.*, 1994), geht der Großteil der Frischwasserdiatomeen im marinen Milieu in Lösung (ANDERSON 1986). Im Gegensatz dazu ist die Lösungsrate von biogenem Opal im Frischwasser viermal niedriger (HURD, 1983), was zur Akkumulation dieser Komponente in den Sedimenten des IGI-Reservoirs beiträgt.

Bei einer durchschnittlichen Akkumulationsrate von biogenem Opal von ungefähr $3,7 \text{ kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (siehe unter: 5.1.7.2) werden im IGI-Reservoir jährlich ca. $296 \cdot 10^3 \text{ t}$ dieser Komponente zurückgehalten. Dies entspricht einer Menge von $123 \cdot 10^3 \text{ t}$ Silizium (Si) pro Jahr (siehe unter: 4.2.3). HUMBORG *et al.* (1997) ermittelten einen Rückgang des Eintrags von gelöstem Silikat (H_4SiO_4) zwischen den 60er und 90er Jahren durch den Staudambau von mehr als 60 % (ca. $141 \cdot 10^3 \text{ t Si a}^{-1}$). Dies entspricht in etwa der Menge an Si, die als biogenes Opal jährlich in den Sedimenten des IGI akkumuliert. Durch die speziellen Verhältnisse im IGI (siehe unter: 5.1.6) wird das gelöste Silikat von Primärproduzenten zu biogenem Opal umgewandelt, das im Reservoir zurückgehalten wird. Ohne den Staudamm würde das gelöste Silikat ins Schwarze Meer weiter transportiert werden. Das bedeutet, daß der Rückgang in der Silikatkonzentration im Küstenbereich des Schwarzen Meeres zwischen den 60er und 90er Jahren auf die Rückhaltung von biogenem Opal im IGI-Reservoir zurückzuführen ist.

Durch die zusätzliche Zunahme des Stickstoffeintrags durch Industrialisierung, Urbanisierung und extensive Landwirtschaft um das Fünffache (HUMBORG 1995) kommt es zwischen den 60er und 90er Jahren zur Verschiebung des Si:N-Verhältnisses von 42,2 zu 2,8 (HUMBORG *et al.*, 1997). Es ist nicht mehr genügend Silikat vorhanden, als daß der gesteigerte Stickstoffeintrag von opalbildenden Organismen verbraucht werden könnte. Durch diese Veränderung der Nährstoffverhältnisse ändert sich die Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft. Die Steigerung in der Anzahl und Häufigkeit von Planktonblüten im NW des Schwarzen Meeres ist bei Nicht-Diatomeen wesentlich größer als bei Diatomeen. Im besonderen erreichen Dinoflagellaten und Prymnesiophyten wie die Coccolithophoride *Emiliana huxleyi* und die toxische Species *Chromulina sp.* eine außergewöhnlich hohe Anzahl von Blüten (HUMBORG *et al.*, 1997; Tab. 15). Diese Veränderungen spiegeln sich in der Zusammensetzung der Sedimente im Küstenbereich des nordwestlichen Schwarzen Meeres wider (siehe unter: 5.3.4).

Tab. 15: Anzahl der Phytoplanktonblüten und Zelldichte während unterschiedlicher Zeiträume in den rumänischen Küstengewässern. Blüten sind hier mit einer Zelldichte von $> 5 \cdot 10^6$ Zellen l^{-1} definiert (1993; aus: HUMBORG *et al.*, 1997, nach: BODEANU, 1987-1988)

Spezies	1960 - 1970		1980 - 1990	
	Zelldichte [mill. Zellen l^{-1}]	Anzahl der Blüten	Zelldichte [mill. Zellen l^{-1}]	Anzahl der Blüten
<i>Skeletonema costatum</i>	10 - 18	3	10 - 90	8
<i>Skeletonema subsalum</i>	-----	-----	10 - 19	2
<i>Cyclotella caspia</i>	-----	-----	23 - 300	2
<i>Chaetoceros similis</i>	-----	-----	22	1
<i>Cerataulina pelagica</i>	-----	-----	5 - 6	3
<i>Nitzschia delicatissima</i>	6 - 21	4	17	1
<i>Nitzschia closterium</i>	-----	-----	13	1
<i>Nitzschia tenuirostris</i>	-----	-----	75	1
<i>Leptocylindrus danicus</i>	7	1	-----	-----
Diatomeen total	7 - 21	8	5-300	19
<i>Prorocentrum cordatum</i>	17 - 51	4	10 - 810	9
<i>Prorocentrum scutellum</i>	-----	-----	7	1
<i>Scrippsiella trochoides</i>	-----	-----	26	1
<i>Heterocapsa triquetra</i>	-----	-----	5 - 12	3
Dinoflagellaten total	17 - 51	4	5 - 810	14
<i>Eutreptia lanowii</i>	-----	-----	5 - 108	6
Euglenophyten total	-----	-----	5 - 108	6
<i>Emiliana huxleyi</i>	-----	-----	220 - 300	2
<i>Chromulina sp.</i>	-----	-----	1000	1
Prymnesiophyten total	-----	-----	220 - 1000	3
Gesamtzahl an Blüten		12		42

5.3.4 Veränderungen in der Zusammensetzung der Sedimente im NW des Schwarzen Meeres

An einem 30 cm langen Sedimentkern von Station Nr. 17 (Abb. 14), die unter dem direkten Einfluß des Donau-Deltaarms Chilia liegt, wurden unter Zuhilfenahme der radioaktiven Isotope ^{210}Pb und ^{137}Cs die Sedimentationsrate und die Akkumulationsraten der Hauptkomponenten ermittelt (siehe unter: 5.1.7). Die ^{137}Cs -Werte liegen zwischen 39,6 und 249,8 Bq kg⁻¹ (Tab. 26, Anhang) und zeigen eine Zunahme in den oberen 10 cm, die mit der Freisetzung dieses Isotops durch den Chernobylunfall in Zusammenhang steht (Abb. 46a). Eine zweite, jedoch wesentlich kleiner ausfallende Spitze, ist an der Basis des Kerns zu beobachten und wird mit den Kernwaffentests erklärt, die 1963 ein Niederschlagsmaximum von ^{137}Cs verursachten. Diese um eine Größenordnung niedrigeren ^{137}Cs -Aktivitäten im Sediment decken sich mit den Ergebnissen von GULIN *et al.* (1997). Aufgrund der Ergebnisse in Kapitel 5.1.7.1 wird auch hier von einem zeitlichen Versatz zwischen der Freisetzung von ^{137}Cs bis zur Einbettung ins Sediment von etwa einem halben Jahr ausgegangen. Da Bioturbation nur in den oberen 5 cm beobachtet wird, dürften bohrende Organismen keinen Einfluß auf das ^{137}Cs -Signal der Chernobylkatastrophe im Sediment haben. Es ergibt sich eine Sedimentationsrate von ca. 1,0 cm a⁻¹. Daraufhin wurden die ^{137}Cs -Werte entsprechend der Zerfallskonstante für den Mai 1986 korrigiert. Bei der vorliegenden Untersuchung konnte die Kompaktion des Sediments nicht berücksichtigt werden, da keine Daten über die Porosität der einzelnen Sedimentlagen vorliegen. Der Einfluß der Kompaktion auf die Sedimentationsrate wird in der Literatur mit 10 bis 15 % beschrieben (MCCALL *et al.*, 1984), womit die Sedimentationsrate bei ca. 1,15 cm a⁻¹ liegt.

Bei der Verteilung der Überschuß- ^{210}Pb -Aktivität im Kern der Station 17 deutet sich eine exponentielle Abnahme mit der Tiefe an, wobei die Werte zwischen 15,8 und 81,7 Bq kg⁻¹ liegen und sehr stark streuen (Tab. 26, Anhang). Wie in Kapitel 5.1.7.1 wurde auch hier die Aktivität von Überschuß- ^{210}Pb für die jeweiligen Horizonte errechnet (Abb. 46b). Die Abweichungen der gemessenen von den errechneten Werten werden hier ebenfalls mit dem Sedimenteintrag der Donau in Verbindung gebracht. Da der Ausfall von Überschuß- ^{210}Pb hauptsächlich an den Niederschlag gebunden ist (siehe unter: 5.1.7.1), zeigen die Unterschiede der jährlichen Wasserdurchflußraten der Donau bei Ceatal Ismail, 81 km flußaufwärts der Mündung von Chilia, gegenüber dem jeweiligen Vorjahr ein ähnliches Muster wie die Abweichung der gemessenen von den errechneten Überschuß- ^{210}Pb -Werten (Abb. 47). Hieraus ergibt sich ebenfalls eine Sedimentationsrate von ca. 1,0 cm a⁻¹.

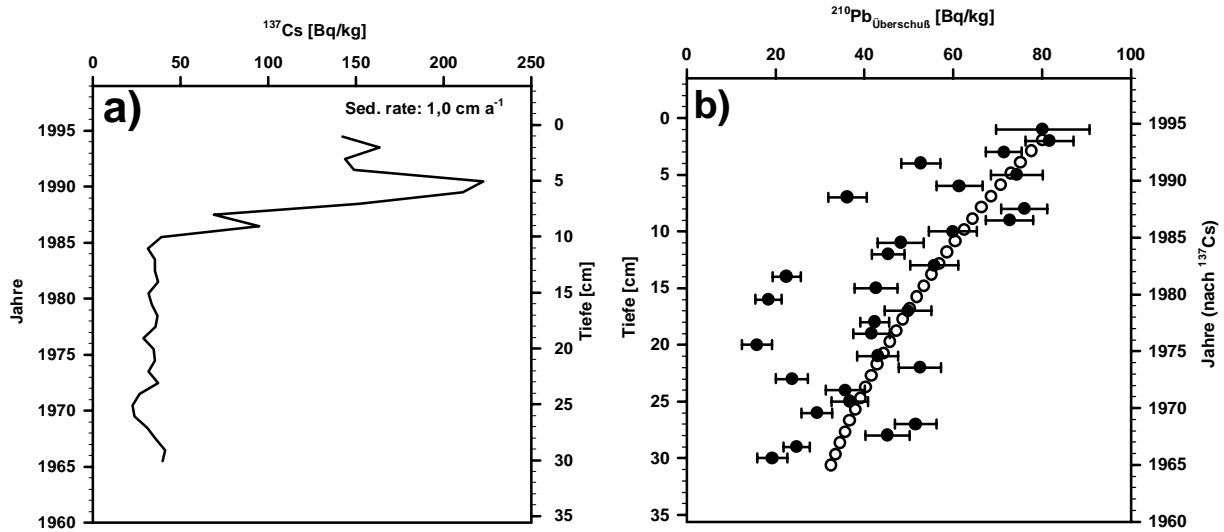


Abb. 46: Aktivität von a) ^{137}Cs (entsprechend der Zerfallskonstante für den 1. Mai 1986 korrigiert) und b) Überschuß- ^{210}Pb im Sedimentkern von Station 17. Gefüllte Kreise zeigen die gemessenen Werte mit der Standardabweichung, leere Kreise zeigen den berechneten Zerfall ohne den Einfluß der Sedimentschüttung der Donau

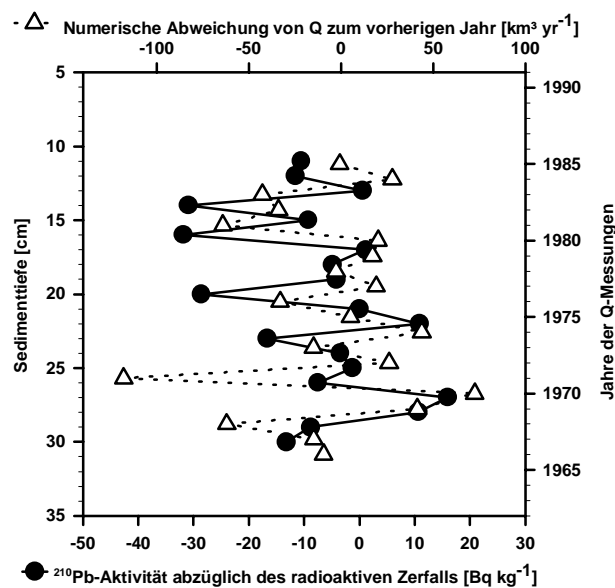


Abb. 47: Aktivität von Überschuß- ^{210}Pb im Sedimentkern von Station 17 abzüglich des berechneten radioaktiven Zerfalls im Vergleich zur numerischen Differenz der Donauschüttung des jeweiligen Vorjahres (Datenquelle: GLOBAL RUN OFF DATA CENTER)

Die Ermittlung der Sedimentationsrate geschah unter der Annahme gleichbleibender Sedimentationsverhältnisse. Jedoch ist dies bei einem beobachteten Rückgang der Sedimentfracht der Donau von bis zu 30 % nach dem Bau von IGI (POPA, 1993) nicht unbedingt zu erwarten. Andererseits zeigt das ähnliche Verteilungsmuster von Wasserdurchfluß der Donau

und Überschuß- ^{210}Pb -Aktivität im Sediment keine Unterschiede im Sedimenteintrag zwischen den Jahren 1965 und 1985 (Abb. 47). Die Auswirkungen des reduzierten Sedimenteintrags scheinen sich nicht im Mündungsbereich der Deltaarme zu manifestieren. Aufgrund der vorherrschenden Strömung im NW des Scharzen Meeres zeigen sich erst südlich des Donaudeltas Veränderungen wie die Zurückweichung von Teilen der rumänischen und bulgarischen Küstenlinie.

Bei der Berechnung der Akkumulationsraten wird wie in Kapitel 5.1.7.2 vorgegangen. Die Anteile von Karbonat zeigen die höchsten Werte an der Oberfläche und an der Basis des Kerns und liegen zwischen 6,2 und 16,8 % (Tab. 25, Anahng). Die Gehalte der lithogenen Komponenten liegen zwischen 75,6 und 85,3 % und die Opal-Gehalte schwanken zwischen 5,6 und 3,7 % (Abb. 48). Die Gehalte von organischem Material variieren zwischen 2,1 und 5,1 % im Sedimentkern und nehmen mit der Sedimenttiefe aufgrund der mikrobiellen Oxidation des organischen Materials ab.

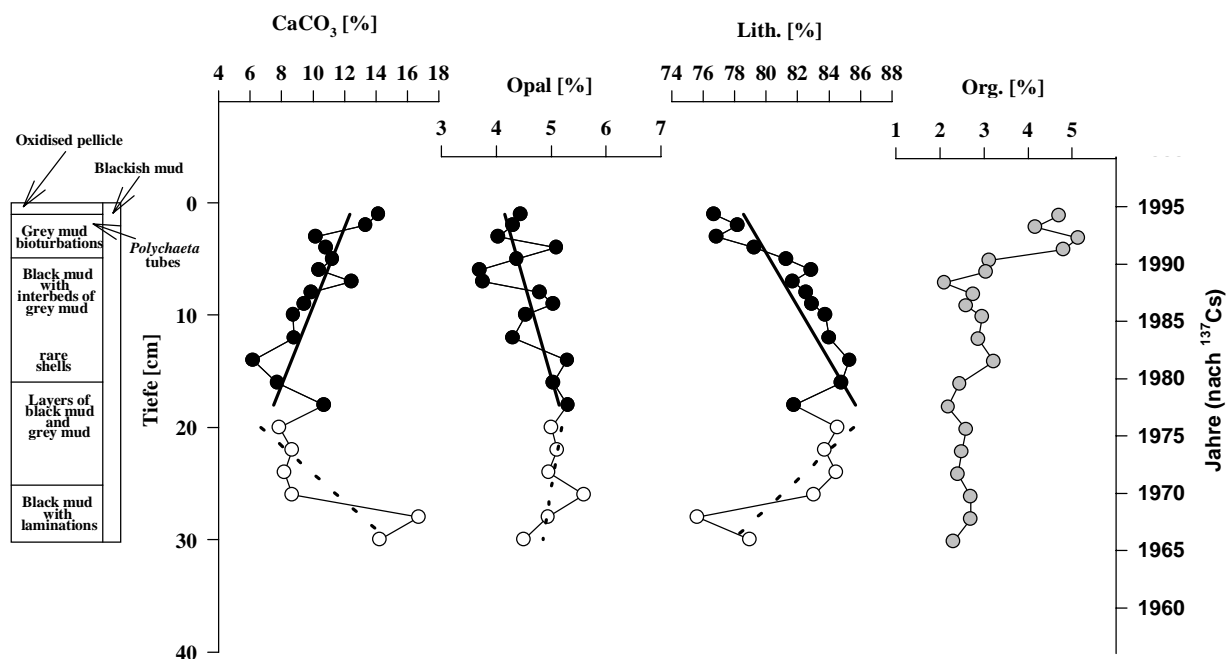


Abb. 48: Lithologie und Verteilung der Hauptkomponenten im Sedimentkern von Station 17 (Beschreibung der Lithologie aus dem Fahrtbericht PROF. VODYANITSKY, LEG 2, 1995)

Besonders auffällig ist bei diesem Kern die Umkehr der Tendenzen in der vertikalen Verteilung von Karbonat-, Opal- und Lithogenanteilen in 18 cm Tiefe. Die Umkehrung dieser Trends fällt auf die Mitte der 70er Jahre, in denen der Staudamm IGI in Betrieb genommen wurde. Bis zum Jahr 1975 zeigt sich generell eine Zunahme von biogenem Opal und lithogenen Anteilen,

wonach sie kontinuierlich abnehmen. Im Gegensatz dazu verringern sich die Anteile von Karbonat in den Sedimenten bis zum Jahr 1975 und steigen danach wieder an (Abb. 48). Da die Kompaktion des Sediments nicht miteinberechnet wurde, können sich die Jahreszahlen, speziell an der Basis des Kerns, bis zu 4,5 Jahre nach unten verschieben. Dennoch wird deutlich, daß der Staudammbau in den 70er Jahren für die beobachteten Veränderungen in der Zusammensetzung der Sedimente bis heute verantwortlich ist.

Es ergibt sich eine Gesamtsedimentakkumulationsrate von ca. $3,7 \cdot 10^3 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ für die Sedimentoberfläche. GULIN *et al.*, (1997) ermittelten an der gleichen Station eine Sedimentakkumulationsrate von $3,9 \cdot 10^3 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Die durchschnittliche Akkumulationsrate für Karbonat und Opal beläuft sich in der ersten Hälfte der 70er Jahre auf ca. 338 bzw. 163 $\text{g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ und liegt heute bei etwa 573 bzw. 140 $\text{g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Die Akkumulationsrate von POC erreicht an der Sedimentoberfläche einen Wert von ungefähr $40 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ und ist damit um eine Größenordnung höher als im offenen Ozean (z. B. HAY, 1988; CALVERT *et al.*, 1991; ARTHUR *et al.*, 1994).

6 Zusammenfassung

Flüsse liefern die größte Menge an partikulären und gelösten Stoffen in die Ozeane. Sie beeinflussen die biologische Produktivität in den Ästuarien und Küstenmeeren und damit auch den marinen Stoffkreislauf. Heute unterliegen Flüsse einer Vielzahl von anthropogenen Eingriffen, wodurch sich ihre Einträge in die Ozeane verändern. Durch die Industrialisierung, Urbanisierung und den verstärkte Einsatz von Düngemittel werden die Nährstofffrachten der Flüsse entscheidend erhöht. Im Gegensatz dazu verringern sich die Schwebstoffeinträge durch bauliche Veränderungen an den Flußläufen.

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen des "European River Ocean Systems 2 000" Projekts erstellt. Es wurden die Folgen anthropogener Veränderungen in den Einzugsgebieten von Flüssen für angrenzende Meeresgebiete am Beispiel der Donau und des Schwarzen Meeres unter besonderer Berücksichtigung der Rolle des Staudamms Iron Gate I erforscht. Das Probenmaterial, auf dem diese Arbeit basiert, wurde während drei Expeditionen auf der Donau und dem Schwarzen Meer mit den Forschungsschiffen SEMNAL 2 und PROF. VODYANITSKY gewonnen. Es wurden Sinkstoffe und Sedimente des Schwarzen Meeres und erstmalig Schwebstoffe und Sedimente im Unterlauf der Donau beprobt. Die biogeochemische Charakterisierung der Proben lieferte Erkenntnisse über den Stofftransport in der Donau und die Verbreitung und Ablagerung der Donauschwebstoffe im Schwarzen Meer. Darüber hinaus konnte der Einfluß des Iron Gate I-Reservoirs auf die Biogeochemie der Küstenzone des Schwarzen Meeres dargestellt werden.

In der Donau nimmt der Gehalt an partikulärem organischem Kohlenstoff mit zunehmender Schwebstoffkonzentration ab. Dieser Trend wird auch in anderen großen Flüssen der Erde beobachtet und steht mit der Verdünnung der organischen Substanz mit mineralischen Partikeln aus der Flußbettersion und den Zuflüssen in Zusammenhang. Im Gegensatz zu anderen Flüssen scheint in der Donau die Abnahme des metabolisierbaren Anteils der organischen Substanz, bei steigender Schwebstoffkonzentration, durch den Eintrag von frischen organischen Komponenten aus den Zuflüssen wieder ausgeglichen zu werden.

Die Verteilung der biogenen Komponenten in den Sedimenten spiegelt generell den Einfluß der Flußfahne der Donau auf die Primärproduktion wider. Das organische Material in der Tiefsee ist stärker degradiert als auf dem Schelf. Aufgrund der vorherrschenden Strömungsverhältnisse werden Schwebstoffe erst nach längerem Transport in der Nähe des Bosphorus in die Tiefsee-

Ebene eingetragen. Somit ist das sedimentgebundene organische Material länger der oxidischen Degradation ausgesetzt als im Delta- und Schelfbereich. Durch den extrem niedrigen vertikalen Partikelfluß im Bereich des Donautiefseefächers wird der Einfluß der degradierten Donau- und Schelfpartikel auf die organische Zusammensetzung der abyssalen Sedimente noch verstärkt.

Die Stickstoffisotopenverhältnisse in den Oberflächensedimenten des Schwarzen Meeres deuten auf unterschiedliche Stickstoffquellen für die Primärproduktion hin. Die höheren $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf dem Schelf zeigen den Einfluß der Denitrifikationsprozesse im Donau-Delta oder dem Schelfbereich auf das Nährstoffangebot. Diese Nährstoffe scheinen auf dem Schelf weitgehend verbraucht zu werden und stehen der biologischen Produktion im offenen Ozean möglicherweise nur in unerheblichen Mengen zur Verfügung. Die vergleichsweise niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im abyssalen Bereich deuten an, daß entweder Ammonium, das von Zooplankton remineralisiert wurde, als zusätzliches Nahrungssubstrat vom Phytoplankton genutzt wird oder Nitrat, das durch N_2 -Fixierung entstanden ist.

Die vorliegende Arbeit charakterisiert am Beispiel der Donau und des nordwestlichen Schwarzen Meeres die Einflüsse anthropogen veränderter fluviatiler Einträge auf das Sedimentationsgeschehen küstennaher Meeresgebiete. Es konnte gezeigt werden, daß die Auswirkungen des Staudammbaus sich nicht nur, wie bisher angenommen, auf physikalische Veränderungen wie z. B. die fortschreitende Küstenerosion beschränken. Durch die Sedimentrückhaltung in Stauseen kommt es zu biogeochemischen Veränderungen in der Schwebstofffracht von Flüssen, die die Biologie der Küstenmeere und damit auch den marinen Stoffkreislauf beeinflussen. Mehr als 60 % des Siliziumeintrags der Donau in das Schwarze Meer wird in den Sedimenten des IGI-Reservoirs als biogenes Opal zurückgehalten. Durch die damit verbundene Veränderung der Nährstoffverhältnisse (Si:N) in den rumänischen Küstengewässern verändert sich die Zusammensetzung der Planktongemeinschaften, was sich wiederum in der Zusammensetzung der Schelfsedimente widerspiegelt.

7 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. V. Ittekkot für die Ermöglichung dieser Arbeit sowie seinem anhaltenden Interesse, seinen wissenschaftlichen Anregungen und Diskussionen während der Durchführung.

Für die gute Zusammenarbeit im Institut und auf den Forschungsschiffen und für die hilfreichen Erörterungen analytischer und inhaltlicher Problemstellungen möchte ich mich bei meinen Hamburger Kollegen S. Brasse, L. Dsikowitsky, C. Gerbich, A. Hupe, Dr. T. C. Jennerjahn, P. Jöhrendt, R. Lendt, Dr. P. Schäfer, A. Sellhorn, Dr. A. Suthhof, J. Tiemann und D. Unger bedanken.

Ich möchte mich auch bei den vielen an den Forschungsfahrten beteiligten europäischen Wissenschaftlern für die Kollegialität an Bord bedanken und ganz besonders bei meinen rumänischen Kollegen Dr. S. Radan und Dr. D. Secieru, die mir auch bei logistischen Fragen in Rumänien stets hilfreich zur Seite standen.

Dank gebührt auch den Kapitänen und Mannschaften der Forschungsschiffe SEMNAL 2 und PROF. VODJANITSKIY, deren erfolgreiche Arbeit auf der Donau bzw. dem Schwarzen Meer die Gewinnung der Proben, die die Grundlage dieser Arbeit darstellen, ermöglichten.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des "European River-Ocean Systems (EROS) 2 000"-Projekts durchgeführt. Gedankt sei der Kommission der Europäischen Gemeinschaft, ohne deren finanzielle Unterstützung diese Arbeit nicht durchzuführen gewesen wäre.

Außerdem danke ich F. Meyer und C. Sievers für die Durchsicht dieser Arbeit.

Schließlich danke ich meinen Freunden für ihre Ermutigung und Geduld während der Arbeit an dieser Untersuchung.

8 Literaturverzeichnis

- ADENIJI, H.A., 1975: Some aspects on the limnology and the fishery development of Kainji Lake, Nigeria. *Arch. Hydrobiol.* **75/2**, 253-619.
- ANDERSON, G.F., 1986: Silica, diatoms and a freshwater productivity maximum in Atlantic coastal plain estuaries. Chesapeake Bay. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **22**, 183-190.
- APPLEBY, P.G. & OLDFIELD, F., 1978: The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena* **5**, 1-8.
- ARTHUR, M.A., DEAN, E.W., NEFF, E.D., HAY, B.J., KING, J. & JONES, G., 1994: Varve calibrated records of carbonate and organic carbon accumulation over the last 2 000 years in the Black Sea. *Glob. Biogeochem. Cycles*, **Vol. 8, No. 2**, 195-217.
- BARKER, P., FONTES, J.-C., GASSE, F. & DRUART, J.-C., 1994: Experimental dissolution of diatom silica in concentrated salt solutions and implications for paleoenvironmental reconstruction. *Limnol. Oceanogr.* **39**, 99-110.
- BENNINGER, L.K. & KRISHNASWAMI, S., 1981: Sedimentary processes in the inner New York Bight: evidence from excess ^{210}Pb and $^{239,240}\text{Pu}$. *Earth Planet. Sci. Lett.* **53**, 158-174.
- BISWAN, S., 1966: Oxygen and phytoplankton changes in the newly forming Volta Lake in Ghana. *Nature* **209**, 218-219.
- BODEANU, N., 1987-88: Structure et dynamique de l'algoflore unicellulaire dans les eaux du littoral roumaine de la Mer Noire. *Cercetari Marine* **20/21**, 19-250.
- BONDAR, C., STATE, I., CERNA, D. & HARABAGIU, E., 1991: Water flow and sediment transport of the Danube at its outlet into the Black Sea. *Meteorology and Hydrology* **21/1**, 21-25.
- BORMANN, F.H., LIKENS, G.E., SICCAMI, T.G., PIERCE, R.S. & EATON, J.S., 1974: The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. *Ecol. Monographs* **44**, 225-277.
- CALVERT, S.E. & PEDERSEN, T.F., 1992: Organic carbon accumulation and preservation in marine sediments: how important is anoxia. *Productivity, Accumulation and Preservation of Organic Matter in Recent and Ancient Sediments* (WHELAN, J.K. & FARRINGTON, J.W., Hrsg.), Columbia University Press, New York, 231-263.
- CALVERT, S.E., KARLIN, R.E., TOOLIN, L.J., DONAHUE, D.J., SOUTON, J.R. & VOGEL, J.S., 1991: Low organic carbon accumulation rates in Black Sea sediments. *Nature*, **Vol. 350**, 692-695.
- CANFIELD, D.E., 1993: Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. *Chem. Geol.* **114**, 315-329.
- CARLSSON, S., 1978: A model for the movement and loss of ^{137}Cs in a small watershed. *Health Phys.* **34**, 33-37.
- CHECKLEY, D.M. & MILLER, C.A., 1989: Nitrogen isotope fractionation by oceanic zooplankton. *Deep-Sea Res.*, **36**, 1 449-1 456.
- CLOERN, J.E., 1987: Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Res.* **7**, 1367-1381.
- COCIASU, A., DOROGAN, L., HUMBORG, C. & POPA, L., 1996: Long-term ecological changes in the Romanian coastal waters of the Black Sea. *Mar. Pollut. Bull.* **32**, 32-38.

- CONLEY, D.J., 1997: Riverine contribution of biogenic silica to the oceanic silica budget. *Limnol. Oceanogr.* **42(4)**, 774-777.
- COWIE, G.L. & HEDGES, J.I., 1984: Carbohydrate sources in a coastal marine environment. *Geochim. et Cosmochim. Acta* **48**, 2 075-2 087.
- COWIE, G.L. & HEDGES, J.I., 1992: Sources and reactivities of amino acids in a coastal marine environment. *Limnol. Oceanogr.*, **37(4)**, 703-724.
- COWIE, G.L. & HEDGES, J.I., 1994: Biogeochemical indicators of diagenetic alteration in natural organic matter mixtures. *Nature* **369**, 304-307.
- COWIE, G.L., HEDGES, J.I. & Calvert, E.T., 1992: Sources and relative reactivities of amino acids, neutral sugars, and lignin in an intermittently anoxic marine environment. *Geochim. et Cosmochim. Acta* **56**, 1 963-1 978.
- CRICKMORE, M.J., TAZIOLI, G.S., APPLEBY, P.G. & OLDFIELD, F., 1990: The use of nuclear techniques in sediment transport and sedimentation problems. *Technical Documents in Hydrology*. Unesco, Paris.
- CRUSIUS, J. & ANDERSON, R.F., 1992: Inconsistence in accumulation rates of Black Sea sediments inferred from records of laminae and ²¹⁰Pb. *Paleoceanography*, **Vol. 7(2)**, 215-227.
- DAUWE, B. & MIDDELBERG, J.J., 1998: Amino acids and hexosamines as indicators of organic matter degradation state in North Sea sediments. *Limnol. Oceanogr.*, **43(5)**, 782-798.
- DAVIS, R.B., HESS, C.T., NORTON, S.A., HANSON, D.W., HOAGLAND, K.D. & ANDERSON, D.S., 1984: ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb dating of sediments from soft-water lakes in New England (U.S.A.) and Scaninavia: a failure of ¹³⁷Cs dating. *Chem. Geol.* **44**, 151-181.
- DEGENS, E.T. & MOPPER, K., 1975: Early diagenesis of organic matter in marine soils. *Soil Sciences* **119**, 65-72.
- DEGENS, E.T. & MOPPER, K., 1976: Factor controlling the distribution and early diagenesis of organic material in marine sediments. *Chem. Oceanogr.* **Vol. 6**, 59-113.
- DEGENS, E.T., 1982: Riverine carbon - An overview. *Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Part 1* (DEGENS, E.T., Hrsg.), *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband* **52**, 1-12.
- DEGENS, E.T., 1989: *Perspectives on Biogeochemistry*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 423.
- DEGENS, E.T., PALUSKA, A. & ERIKSON, E., 1976: Rates of soil erosion. *Nitrogen, phosphorus and sulfur global cycles* (SVENSSON, B.G. & SÖDERLUND, R., Hrsg.), *SCOPE Report* **7**, *Ecol. Bull.* **22**, Stockholm, 185-191.
- DEGENS, E.T., REUTER, J.H. & SHAW, K.N.F., 1964: Biochemical compounds in offshore California sediments and sea waters. *Geochim. Cosmochim. Acte* **28**, 45-66.
- DEPETRIS, J.P. & KEMPE, S., 1993: Carbon dynamics and sources in the Parana River. *Limnol. Oceanogr.*, **38(2)**, 382-395.
- DEUSER, W.G., 1974: Evolution of anoxic conditions in the Black Sea during holocene. *The Black Sea - Geology, Chemistry and Biology* (DEGENS, E.T. & ROSS, D.A., Hrsg.), Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. **20**, 133-136.
- DEUSER, W.G., 1979: Marine biota, nearshore sediments, and the global carbon balance, *Org. Geochem.* **1**, 243-247.

- FRY, B., JANNASCH, H.W., MOLYNEAUX, S.J., WIRSEN, C.O., MURAMOTO, J.A. & KING, S., 1991: Stable isotope studies of the carbon, nitrogen and sulfur cycles in the Black Sea and the Cariaco Trench. *Deep Sea Res.*, **38**, 1 003-1 019.
- GAGOSIAN, R.B. & LEE, C., 1981: Processes controlling the distribution of biogenic organic compounds in seawater. *Marine Organic Chemistry* (DUURSMA, E.K. & DAWSON, R., Hrsg.), Elsevier, 91-123.
- GLOBAL RUN OFF DATA CENTRE: <http://www.bafg.de/grdc.htm>
- GOMOIU, M.T., 1996: Some remarks concerning actual state of the Danube River - Black Sea ecological system. *Danube Delta - Black Sea Sytem under Global Change Impact, Geo-Eco-Marina*, **1**, 31-34.
- GOUDI, A., 1986: *The Human Impact on the Natural Environment*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 325 S.
- GULIN, S.B., AARKROG, A., POLKARPOV, G.G., NIELSEN, S.P. & EGOROV, V.N., 1997: Chronological study of ¹³⁷Cs input to the Black Sea deep and shelf sediments. *Radioprotection - Colloques* **Vol. 32(C2)**, 257-262.
- HAAKE, B., ITTEKOT, V., RAMASWAMY, V., NAIR, R.R. & HONJO, S., 1992: Fluxes of amino acids and hexosamines to the deep Arabian Sea. *Mar. Chem.* **40**, 291-314.
- HALIM, Y., 1991: The impact of human alterations on the hydrological cycle on ocean margins, *Ocean Margin Processes in Global Change* (MANOTOURA, R.F.C., MARTIN, J.-M. & WOLLAST, R., Hrsg.), Wiley Interscience, New York, 301-327.
- HAY, B.J., 1988: Sediment accumulation in the central western Black Sea over the past 5100 years. *Paleoceanography* **Vol. 3(4)**, 491-508.
- HAY, B.J., HONJO, S., KEMPE, S., ITTEKOT, V., DEGENS, E.T., KONUK, T. & IZDAR, E., 1990: Interannual variability in particle flux in the southwestern Black Sea. *Deep-Sea Res.* **Vol. 37**, no. 6, 911-928.
- HE, Q. & WALLING, D.E., 1997: The distribution of fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb in undisturbed and cultivated soils. *Appl. Radiat. Isot.* **Vol. 48(5)**, 677-690.
- HEDGES, J.I., COWIE, G.L., RICHEY, J.E., QUAY, P.D., BENNER, R., STROM, M. & FORSBERG, B.R., 1994: Origins and processing of organic matter in the Amazon River as indicated by carbohydrates and amino acids. *Limnol. Oceanogr.*, **39(4)**, 743-761.
- HOLLIGAN, P.M. & REINERS, W.A., 1992: Predicting the response of the coastal zone to global change, *Adv. Ecol. Res.* **22**, 211-255.
- HONJO, S., HAY, B.J., MANGANINI, S.J., ASPER, V.L., DEGENS, E.T., KEMPE, S., ITTEKOT, V., IZDAR, E., KONUK, Y.T. & BENLI, H.A., 1987: Seasonal cyclicity of lithogenic particle fluxes at the southern Black Sea sediment trap station. *Particle Flux in the ocean* (DEGENS, E.T., HONJO, S. & IZDAR, E., Hrsg.), *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, SCOPE/UNEP Sonderband **62**, 19-40.
- HUMBORG, C., 1995: Untersuchungen zum Verbleib der Nährstoff-Frachten der Donau. *Diss. Inst. f. Meeresk. Univ. Kiel*, 125 S.
- HUMBORG, C., ITTEKOT, V., COCIASU, A. & BODUNGEN, v.B., 1997: Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature* **386**, 385-388.
- HURD, D.C., 1983: Physical and chemical properties of siliceous skeletons. *Silikon Geochemistry and Biogeochemistry* (ASTON, S.R., Hrsg), Academic Press, 187-244.

- IGBP, 1993: Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Science Plan. IGBP Report No. **25** (HOLLIGAN, P.M. & DE BOOIS, H., Hrsg.), 50 S.
- ITTEKKOT, V. & ARAIN R., 1986: Nature of particulate organic matter in the river Indus, Pakistan. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **50**, 1 643-1 653.
- ITTEKKOT, V. & ZHANG, S., 1989: Pattern of particulate nitrogen transport in world rivers, *Glob. Biogeochem. Cycles* **3**, No. **4**, 383-391.
- ITTEKKOT, V., 1988: Global trends in the nature of organic matter in river suspension. *Nature* **332**, 436-438.
- ITTEKKOT, V., SAFIULLAH, S., MYCKE, B. & SEIFERT, R., 1985: Seasonal variability and geochemical significance of organic matter in the River Ganges, Bangladesh. *Nature*, **317**, 800-802.
- ITTEKKOT, V.A., DEGENS, E.T. & HONJO, S., 1984b: Seasonality of the fluxes of sugars, amino acids, and amino sugars to the deep ocean: Panama Basin. *Deep-Sea Res.* **31**, 1 071-1 083.
- ITTEKKOT, V.A., DEUSER, W.G. & DEGENS, E.T., 1984a: Seasonality in the fluxes of sugars, amino acids and amino sugars to the deep ocean: Saragossa Sea. *Deep-Sea Res.* **31**, 1 057-1 069.
- IZDAR, E., KONUK, T., ITTEKKOT, V., KEMPE, S. & DEGENS, E.T., 1987: Particle flux in the Black Sea: Nature of the organic matter. *Particle Flux in the ocean* (DEGENS, E.T., HONJO, S. & IZDAR, E., Hrsg.), *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, SCOPE/UNEP Sonderband **62**, 1-18.
- KEMPE, S. & KNAAK, H., 1996: Vertical particle flux in the Western Pacific below the North Equatorial Current and the Equatorial Counter Current. *Particle Flux in the ocean* (ITTEKKOT, V., SCHÄFER, P., HONJO, S. & DEPETRIS, P.J., Hrsg.), SCOPE Sonderband **57**, John Wiley & Sons, Chichester, 313-323.
- KEMPE, S., 1983: Impact of Aswan High Dam on water chemistry of the Nile. *Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Part 2* (DEGENS, E.T., KEMPE, S. & SOLIMAN, H., Hrsg.), *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, SCOPE/UNEP Sonderband **55**, 401-423.
- KEMPE, S., 1993: Abschlußbericht, DFG Projekt Ke287/6-1,2. *Inst. F. Biogeochem. und Meereschem., Univ. Hamburg*, 33 S.
- KRISHNASWAMI, S.D., MARTIN, J.M. & MEYBECK, M., 1971: Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* **11**, 407-414.
- KUCHINSKENE, A.A., 1992: Peculiarities of bacterial hydrogen sulfide formation in the Curonian Bay and Drukshiai Lake (Lithuania). *Interactions of Biogeochemical Cycles in Aqueous Systems, Part 7. Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, SCOPE/UNEP Sonderband **72**, 59-67.
- LAANE, R.W.P.M., ECHEBER, H. & RELEXANS, J.C., 1987: Particulate organic matter in estuaries and its ecological implication for macrobenthos. *Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Part 4* (DEGENS, E.T., KEMPE, S. & GAN WEIBIN Hrsg.), *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, SCOPE/UNEP Sonderband **64**, 71-91.
- LEE, C. & CRONIN, C., 1982: The vertical flux of particulate organic nitrogen in the sea: decomposition of amino acids in the Peru upwelling area and the equatorial Atlantic. *J. Mar. Res.* **40**, 227-251.

- LEE, C., WAKEHAM, S.G. & FARRINGTON, J.W., 1983: Variations in the composition of particulate organic matter in a time series sediment trap. *Mar. Chem.* **13**, 181-194.
- LERMAN, A., 1988: Weathering rates and major transport processes: an introduction. *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles* (LERMAN, A. & MEYBECK, M., Hrsg.), Kluwer Academic Publishers, 1-10.
- LIBES, S., 1992: *Marine Biogeochemistry*. John Wiley & Sons, Chichester, 715 S.
- LIEBEZEIT, G., 1993: Amino sugars in Bransfield Strait and Weddel Sea sediments. *Senckenbergiana marit* **25**, 29-35.
- LIPP, A., 1996: Saisonale Variabilitäten des vertikalen Partikelflusses im Schwarzen Meer - Ein regionaler und interannueller Vergleich. *Diss., Inst. f. Biogeochem. u. Meereschem. Univ. Hamburg*, 115 S.
- LIU, K.-K. & KAPLAN, I.R., 1989: The eastern tropical Pacific as a source of ^{15}N enriched nitrate in seawater off southern California. *Limnol. Oceanogr.*, **34**, 820-830.
- LIVENS, F.R. & RIMMER, D.L., 1988: Physico-chemical controls on artificial radionuclides in soils. *Soil Use Manage.* **4**, 63-69.
- MAGNEIN, R.E., SUMMERS, R.M. & SELLNER, K.G., 1992: External nutrient sources, internal nutrient pools, and phytoplankton production in Chesapeake Bay. *Estuaries*, **15**, 449-461.
- MANOTOURA, R.F.C., MARTIN, J.-M. & WOLLAST, R., 1991: Introduction, *Ocean Margin Processes in Global Change* (MANOTOURA, R.F.C., MARTIN, J.-M. & WOLLAST, R., Hrsg.), Wiley Interscience, New York, 1-3.
- MARIOTTI, A., 1984: Natural ^{15}N abundance measurements and atmospheric standard calibration. *Nature* **311**, 251-252.
- MARTINS, O., NURUDEEN, S.I. & AGO-IWOYE, 1988: Hydrology and geochemistry of Kainji Lake - A reappraisal. *Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Lakes and Estuaries Part 5* (DEGENS, E.T., KEMPE, S. & SATHY NAIDU, A., Hrsg.), *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband*, Heft **66**, 159-164.
- MCCALL, P.L., ROBBINS, J.A. & MATISOFF, G., 1984: ^{137}Cs and ^{210}Pb transport and geochronologies in urbanized reservoirs with rapidly increasing sedimentation rates. *Chem. Geol.* **44**, 33-65.
- MEE, L.D., 1992: The Black Sea in a crisis: a need for concerted international action, *Ambio* **21**, 278-285.
- MEYBECK, M., 1976: Total dissolved transport by world major rivers. *Hydrological Sci. Bull.* **21**, No. **2**, 265-284.
- MEYBECK, M., 1982: Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers, *Am. J. Sci.* **282**, 401-450.
- MEYBECK, M., 1988: How to establish and use world budgets of riverine materials. *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles* (LERMAN, A. & MEYBECK, M., Hrsg.), Kluwer, 247-272.
- MEYBECK, M., 1993: C, N, P and S in rivers: From sources to global inputs, *Interactions of C, N, P and S Biogeochemical Cycles and Global Change* (WOLLAST, R., MACKENZIE, F.T. & CHOU, L., Hrsg), *NATO ASI Series* **14**, 163-193.
- MILLIMAN, J.D. & MEADE, R.H., 1983: World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.* **91**, 1-22.

- MILLIMAN, J.D. & SYVITSKI, P.M., 1992: Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *J. Geol.* **100**, 525-544.
- MILLIMAN, J.D., 1990: River discharge of water and sediment to the oceans: variations in space and time. *Facets of Modern Biogeochemistry* (ITTEKKOT, V., KEMPE, S., MICHAELIS, W. & SPITZY, A., Hrsg.), Springer Verlag, Heidelberg, 83-90.
- MILLIMAN, J.D., 1992: River sediment discharge to the sea: new analyses of old data, *UNESCO technical papers in Marine Science* **64**, 56-66.
- MILLIMAN, J.D., 1997: Blessed dams or damned dams? *Nature* **386**, 325-327.
- MINAGAWA, M. & WADA, E., 1986: Nitrogen isotope ratios of red tide organisms in the East China Sea: a characterization of biological nitrogen fixation. *Mar. Chem.* **19**, 245-259.
- MISHRA, U.C. & SADASIVAN, S., 1972: Fallout radioactivity in Indian soils. *Health Phys.* **23**, 55-62.
- MONTOYA, J.P., 1994: Nitrogen isotope fractionation in the modern ocean: Implications for the sedimentary record. *Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constrains on the Ocean's Role in Global Change* (ZAHN, R., PEDESEN, T.F., KAMINSKI, M.A. & LABEY, L. Hrsg.), NATO ASI Series, Vol. **J 17**, Springer Verlag, 259-279.
- MOPPER, K., 1978: Improved chromatographic separation on ion exchange resins. III sugars in borate medium. *Anal. Biochem.* **87**, 162-168.
- MORTLOCK, R.A. & FROELICH, P.N., 1989: A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic sediments. *Deep-Sea Res.* **36 (9)**, 1 415-1 426.
- MÜLLER, P.J., 1977: C/N ratios in Pacific deep-sea sediments: Effect of inorganic ammonium and nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochim. Cosmochim. Acta* **41**, 765-776.
- MÜLLER, P.J., SUESS, E. & UNGERER, C.A., 1986: Amino acids and amino sugars of surface particulate and sediment trap material from waters of the Scotia Sea. *Deep-Sea Res.* **33**, 819-839.
- MURRAY, J.W., 1991: Hydrographic variability in the Black Sea. *Black Sea Oceanography* (Izdar, E. & Murray, J.W., Hrsg.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1-16.
- MURRAY, J.W., JANNASCH, H.W., HONJO, S., ANDERSON, R.F., REEBURGH, W.S., TOP, Z., FRIEDREICH, G.E., CODISPOTI, L.A. & IZDAR, E., 1989: Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea. *Nature* **338**, 663-689.
- MURRAY, J.W., TOP, Z. & ÖZSOY, E., 1991: Hydrographic properties and ventilation of the Black Sea. *Deep-Sea Res.* **38 2A**, 655-661.
- NEVISSI, A.E., 1985: Measurement of ²¹⁰Pb atmospheric flux in the Pacific Northwest. *Health Phys.* **48**, 169-174.
- OCHIAI, M., OGINO, M., SASAKI, K. & OKAZAWA, T., 1988: Behavior of particulate carbohydrates and amino acids in the estuary of the Tama River. *Mar. Chem.*, **25**, 265-278.
- OGUZ, T., LATUN, V.S., LATIF, M.A., VLADIMIROV, V.V., SUR, H.I., MARKOV, A.A., ÖZSOY, E., KOTOVSHCHIKOV, B.B., EREMEEV, V.V. & ÜNLÜATA, Ü., 1993: Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea. *Deep-Sea Res.* **40 8**, 1 597-1 613.
- PANIN, N., 1996: Impact of global changes on geo-environmental and coastal zone of the Black Sea, *Danube Delta-Black Sea System under Global Change Impact* (MALIT, A., GOMOIU, M.-T. & PANIN, N., Hrsg.), *Geo-Eco-Marina* **1**, 1-7.

- PENNINGTON, W., CAMBRAY, R.S. & FISCHER; E.M., 1973: Observations on lake sediments using fallout ^{137}Cs as a tracer. *Nature* **242**, 324-326.
- POPA, A., 1993: Liquid and Sediment Inputs of the Danube River into the North-Western Black Sea. *Transport of Carbon and Nutrients in Lakes and Estuaries, Part 6* (KEMPE, S., EISMA, D. & DEGENS, E.T., Hrsg.), *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, Heft **74**, 137-149.
- R.C.M.G.G., 1995: *Preliminary results of laboratory investigations of the EROS 2000 Project, Danube, Phase 3*. Romanian Center of Marine Geology and Geoecology, Bucharest, Romania, unveröffentlicht.
- REINEKING, A., LANGEL, R. & SCHIKOWSKI, J., 1993: ^{15}N , ^{13}C - online measurements with an elemental analyzer (Carlo Erba 1500), a modified trapping box and a gas isotope ratio mass spectrometer (Finnigan MAT 251). *Isotopenpraxis Environ. Health Stud.*, **29**, 169-174.
- RITCHIE, J.C. & MCHENRY, J.R. & GILL, A.C., 1973: Dating recent reservoir sediments. *Limnol. Oceanogr.* **18**, 254-263
- RITCHIE, J.C. & MCHENRY, J.R., 1990: Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *J. Environ. Qual.* **19**, 215-233.
- ROBBINS, J.A. & EDINGTON, D.N., 1975: Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using lead-210 and cesium-137. *Geochim. Cosmochim. Acta* **39**, 285-304.
- ROBBINS, J.A., 1978: Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. *The Biogeochemistry of Lead in the Environment* (NRIAGU, J.O., Hrsg), Elsevier, Amsterdam, 285-393.
- ROSS, A.D. & DEGENS, E.T., 1974: Recent sediments of the Black Sea. *The Black Sea - Geology, Chemistry and Biology* (DEGENS, E.T. & ROSS, D.A., Hrsg.), Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. **20**, 183-199.
- ROSS, D.A., UCHUPI, E., PRADA, K.E. & MACILVAINE, J.C., 1974: Bathymetry and microtopography of the Black Sea. *The Black Sea - Geology, Chemistry and Biology* (DEGENS, E.T. & ROSS, D.A., Hrsg.), Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. **20**, 1-10.
- ROTH, M. & HAMPAL, 1973: Column chromatography of amino acids with fluorescence detection. *J. Chromatogr.* **83**, 353-356.
- SAINO, T. & HATTORI, A., 1980: ^{15}N natural abundance in oceanic suspended particulate matter. *Nature*, **283**, 752-754.
- SAMARKIN, V.A., RIVKINA, E.M. & PACHEPSKY, YA.A., 1992: Biogeochemical processes in impoundments and their impact on water quality. *Interactions of Biogeochemical Cycles in Aqueous Systems, Part 7* (DEGENS, E.T., KEMPE, S., LEIN, A. & SOROKIN, Y., Hrsg.), *Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, SCOPE/UNEP Sonderband **72**, 85-93.
- SAWHNEY, B.L., 1972: Selective sorption and fixation of cations by clay minerals: a review. *Clays and Clay Minerals* **20**, 93-100.
- SAYDAM, C., TUGRUL, S., BLASTURK, O. & OGUZ, T., 1993: Identification of the oxic/anoxic interface by isopycnal surfaces in the Black Sea. *Deep Sea Res.* **40I**, 1 405-1 412.
- SCHLESINGER, W.H. & MELLACK, J.M., 1981: Transport of organic carbon in the world rivers, *Tellus* **33**, 172-187.

- SCHLESINGER, W.H., 1991: *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. (SCHLESINGER, W.H., Hrsg.), Academic Press, Inc. San Diego, California, 425 S.
- SCHMIDT, H.-L., 1974: Analyse von stabil-isotop markierten Verbindungen. *Messung von radioaktiven und stabilen Isotopen* (SIMON, H., Hrsg.). Springer Verlag, Berlin, 291-400.
- SEIFERT, R., 1985: Organische Substanzen in europäischen Flüssen und Ästuarien. *Dipl. Inst. f. Biogeochem u. Meereschem., Univ. Hamburg*, 143 S.
- SEIFERT, R., EMEIS, K.-C., MICHALIS, W. & DEGENS, E.T., 1990: Amino acids and carbohydrates in sediments and interstitial waters from site 681, leg 112 Peru continental margin. *Proc. Ocean Drilling Prog.* (Suess, E. & v. HUENE, R. et al., Hrsg.), *Sci. Res.* **112**, 555-556.
- SIGLEO, A.C. & SHULTZ, D.J., 1993: Amino acid composition of suspended particles, sediment-trap material, and benthic sediment in the Potomac Estuary. *Estuaries*, **16(3A)**, 405-415.
- SIGLEO, A.C., 1996: Biochemical components in suspended particles and colloids: carbohydrates in the Potomac and Patuxent Estuaries. *Org. Geochem.*, **24 (1)**, 83-93.
- SIKORA, S., ÜRGE, L. & MIKLÓS, D., 1988: *Hydrologie der Donau*. (STANCÍK, A. & JOVANOVIĆ, S., Hrsg.), Príroda Publishing House, Bratislava, 269 S.
- SMITH, J.N. & ELLIS, K.M., 1982: Transport mechanism for Pb-210, Cs-137 and Pu fallout radionuclides through fluvial marine systems. *Geochim. Cosmochim. Acta* **46**, 941-945.
- SMITH, S.V. & HOLLIBAUGH, J.T., 1993: Coastal metabolism and the organic carbon balance, *Rev. Geophys.* **31, 1**, 75-89.
- SMITH, S.V. & MACKENZIE, F.T., 1987: The ocean as a net heterotrophic system: implications from the carbon biogeochemical cycle, *Glob. Biogeochem. Cycles* **1, No. 3**, 187-198.
- SMITH, S.V. & MACKENZIE, F.T., 1991: Comments on the role of oceanic biota as a sink for anthropogenic CO₂ emissions, *Glob. Biogeochem. Cycles* **5, No. 3**, 189-190.
- SOROKIN, YU.I., 1982: *Black Sea*. Nauka, Moskau, 216 S.
- SOWDEN, F.J., CHEN, Y. & SCHNITZER, M., 1977: The nitrogen distribution of soils formed under widely different climatic conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta* **41**, 1524-1526.
- SPACE APPLICATIONS INSTITUTE: <http://www.sai.jrc.it>
- STEVENSON, F.J., 1982: *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. J. Wiley & Sons, 433 S.
- TERNAY, A.L., 1976: *Contemporary Organic Chemistry*, (SAUNDERS, W.B., Hrsg.), W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- THENG, B.K.G., 1974: *The Chemistry of Clay-Organic Reactions* (HILGER, A. Hrsg.), London, 343 S.
- THENG, B.K.G., 1979: *Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes*. Elsevier, New York, 394 S.
- THURMAN, E.M., 1985: *Organic Geochemistry of Natural Waters* (NIJHOFF, M. & JUNK, W., Hrsg.), Dordrecht, Netherlands, 497 S.
- THURMAN, H.V., 1988: *Introductory Oceanography*. Merrill Publishing Company, Columbus, 365 S.

- TRÉGUER, P., NELSON, D.M., VAN BENNEKOM, A.J., DEMASTER, D.J., LEYNAERT, A. & QUÉGUINER, B., 1995: The silica balance in the world ocean: a reestimate. *Science* **268**: 375-379.
- TUGRUL, S., BASTURK, O., SAYDAM, C. & YILMAZ, A., 1992: Changes in the hydrochemistry of the Black Sea inferred from density profiles. *Nature* **359**, 137-139.
- TUREKIAN, K.K., NOZAKI, Y. & BENNINGER, L.K., 1977: Geochemistry of atmospheric radon and radon products. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* **5**, 227-255.
- WADA, E. & HATTORI, A., 1978: Nitrogen isotope effects in the assimilation of inorganic nitrogenous compounds. *Geomicrobiol. J.*, **1**, 85-101.
- WAKEHAM, S.G., LEE, C., FARRINGTON, J.W. & GAGOSIAN, R.B., 1984: Biogeochemistry of particulate organic matter in the oceans: results from a sediment trap experiment. *Deep-Sea Res.* **31**, 509-520.
- WANG, X.-C. & LEE, C., 1993: Adsorption and desorption of aliphatic amines, amino acids and acetate by clay minerals and marine sediments. *Mar. Chem.* **44**, 1-23.
- WELLS, J.T. & COLEMAN, J.M., 1987: Wetland loss and the subdelta life cycle. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **25**, 111-125.
- ZHENGYING, Q., 1983: The problems of river control in China. *Proc. Second Int. Symp. on River Sedimentation. Nanjing, China, 11-16 Oct. 1983*, Chinese Soc. Hydraulic Eng. Beijing: Water Resources and Electric Power Press. 8-19.

9 Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Jährlicher Flußeintrag von suspendiertem Material in die Ozeane (aus: MILLIMAN, 1990; die Zahlen an den Pfeilen geben den Gesamteintrag in 10^6 t a^{-1} an)3
- Abb. 2: Verteilung der durchschnittlichen Primärproduktion der Weltmeere (aus: LIBES, 1992, nach: THURMAN, 1988; die Zahlen an den Schraffierungen geben die tägliche Primärproduktion in g C m^{-2} an).....5
- Abb. 3: Flußeinträge ins Schwarze Meer (Pfeile). Fett gedruckte Zahlen zeigen den Sedimenteintrag, normal gedruckte Zahlen den Salzeintrag an. Die gestrichelten Linien kennzeichnen die Einzugsgebiete der Flüsse (aus: DEGENS, 1989). Das innere Rechteck kennzeichnet das in dieser Arbeit behandelte Untersuchungsgebiet7
- Abb. 4: Durchschnittliche monatliche transportierte Wassermenge (Q) der Donau (1921-1985 und 1995) an der permanenten Meßstation Ceatal Ismail vor dem Donau-Delta, 80,5 km flußaufwärts der Donaumündung (Datenquelle: GLOBAL RUN OFF DATA CENTER; R.C.M.G.G., 1995)8
- Abb. 5: Langzeitmessungen der durchschnittlich transportierten Wassermenge im Mündungsbereich der Donau. Q = jährlicher Durchschnitt, TQ = linearer Trend, EQ = Entwicklung (aus: BONDAR *et al.*, 1991)8
- Abb. 6: Langzeitmessungen der durchschnittlich transportierten Schwebstofffracht im Mündungsbereich der Donau. R = jährlicher Durchschnitt, TR = linearer Trend, ER = Entwicklung (aus: BONDAR *et al.*, 1991).....9
- Abb. 7: Bathymetrische Karte des Schwarzen Meeres (aus: ROSS *et al.*, 1974).....11
- Abb. 8: Zirkulationsmuster der Oberflächenschicht im Schwarzen Meer (aus: OGUZ *et al.*, 1993). Durchgezogene Linien zeigen quasipermanente, gestrichelte Linien wiederkehrende Wirbel an.....12
- Abb. 9: Wasserbilanz des Schwarzen Meeres auf der Basis von Daten und Schätzungen verschiedener Autoren (aus: KEMPE, 1993).....12
- Abb. 10: Sedimentationsraten im Schwarzen Meer, ermittelt anhand der Warvenmächtigkeit in einem Sedimentkern des Kontinentalhangs vor Bulgarien (aus: DEGENS *et al.*, 1976) ..14
- Abb. 11: Durchschnittliche tägliche Primärproduktion im Schwarzen Meer in g C m^{-2} (aus: IZDAR *et al.*, 1987; nach: SOROKIN, 1982).....15
- Abb. 12: Stationen während der Forschungsfahrt auf der Donau im Juni 1995, nummerierte Kreise bezeichnen die Stationen18
- Abb. 13: Links: Backengreifer auf der Donaufahrt. Rechts: Schwerelot auf der Donaufahrt.....20
- Abb. 14: Stationen während der Forschungsfahrten auf dem Schwarzen Meer im August 1995 und im Mai 1997, die Stationsnummern mit der Endung 97 wurden im Mai 1997 beprobt21
- Abb. 15: Kastengreifer auf den Forschungsfahrten im Schwarzen Meer22
- Abb. 16: Links: Sedimentfalle vom Typ „Mark V“ (MCLANE Research). a) Sammeltrichter, b) Rotor, c) Kleinrechner, d) Probenbehälter, e) Schrittmotor, f) Metallrahmen g) Wabengitter. Rechts: Schematischer Aufbau des Sedimentfallensystems im nord-westlichen Schwarzen Meer23

- Abb. 17: Relation zwischen den drei TSS-Konzentrationsgruppen der Donau und der Entfernung der zugehörigen Stationen von der Flußmündung. Die Balken kennzeichnen die mittleren Abweichungen des durchschnittlichen Flußkilometers der entsprechenden TSS-Konzentrationsgruppe. Einzelne Punkte kennzeichnen die Lage der Zuflüsse und deren TSS-Konzentrationen.....33
- Abb. 18: Inverse Korrelation zwischen TSS-Konzentration und POC-Gehalten, (n) Anzahl der Proben, die Balken kennzeichnen die mittlere Abweichung (s) vom durchschnittlichen POC-Gehalt (x).....34
- Abb. 19: Konzentrationen von PAA in den aufgeführten Flüssen. Bei Magdalena liegt eine einmalige Probenentnahme zugrunde. Bei Changjiang liegt eine einmalige Probenentnahme verschiedener Stationen entlang des Flusses zugrunde. Beim Huanghe wurden die Proben an verschiedenen Stationen entlang des Flusses zweimal im September gewonnen. Der Mekongwert stammt von einer Probe, die von Meybeck zur Verfügung gestellt wurde. Beim Rest der aufgeführten Flüsse, außer der Donau, repräsentieren die Proben mindestens einen saisonalen Zyklus. (Daten aus: ITTEKKOT & ZHANG, 1989).....35
- Abb. 20: PCHO-Konzentrationen in den aufgeführten Flüssen. Beim Amazonas handelt es sich um einen Durchschnittswert von Proben aus einer Hochwasserphase (HEDGES *et al.*, 1994). Beim Indus und Ganges wurde mindestens ein saisonaler Zyklus abgedeckt (ITTEKKOT *et al.*, 1985; ITTEKKOT & ARAIN, 1985). Die Proben aus dem japanischen Fluß Tama stammen nur aus einer Jahreszeit, jedoch wird dort kaum eine saisonale Variabilität beobachtet (OCHIAI *et al.*, 1988). Bei den europäischen Flüssen Ems, Rhein, Seine, Loire, Guadiana, Jucar, Ebro und Rhone handelt es sich um Schwebstoffe aus dem Mündungsbereich der Flüsse, die im Herbst beprobt wurden (SEIFERT, 1985).36
- Abb. 21: Verteilung von LPOC in der Schwebstofffracht der aufgeführten Flüsse. Für Magdalena, Yangtze und Zaire stellen die Zahlen Durchschnittswerte aus mindestens zwei Proben eines Beprobungszeitraums dar. Für die restlichen Flüsse außer der Donau sind dies Durchschnittswerte von mindestens vier Proben, die mindestens einen saisonalen Zyklus repräsentieren (aus: ITTEKKOT, 1988). Bei der Donau handelt es sich um einen Durchschnittswert aus fünf Proben einer Beprobungsperiode37
- Abb. 22: Relation zwischen TSS- Konzentration und PAA-C + PAS-C Anteilen a) der Donauzuflüsse und b) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen PAA-C + PAS-C- Anteil (x). Der PCHO-C geht in diese Abbildungen aufgrund zu geringer Datenmengen nicht mit ein38
- Abb. 23: Verteilung von PAA-N in der Schwebstofffracht der aufgeführten Flüsse. Bei Magdalena liegt eine einmalige Probenentnahme zugrunde. Bei Changjiang liegt eine einmalige Probenentnahme verschiedener Stationen entlang des Flusses zugrunde. Beim Huanghe wurden die Proben an verschiedenen Stationen entlang des Flusses zweimal im September gewonnen. Der Mekongwert stammt von einer Probe, die von Meybeck zur Verfügung gestellt wurde. Beim Rest der aufgeführten Flüsse, außer der Donau, repräsentieren die Proben mindestens einen saisonalen Zyklus. (Daten aus: ITTEKKOT & ZHANG, 1988).....39
- Abb. 24: Relation zwischen TSS- Konzentration und PAA-N Anteilen a) der Donauzuflüsse und b) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen PAA-N Anteil (x)40
- Abb. 25: Relation zwischen partikulärem organischen Kohlenstoff und partikulärem Stickstoff in der Schwebstofffracht der Donau.....41

Abb. 26: Durchschnittliche spektrale Verteilung der PAA in der Schwebstofffracht der Donau	42
Abb. 27: Verhältnis von basischen PAA zu allen anderen in der Schwebstofffracht der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom Mittelwert (x).....	43
Abb. 28: Relation zwischen TSS-Konzentration und dem Asp/ β -Ala bzw. Glu/ γ -Aba-Verhältnis a) und c) der Donauzuflüsse. b) und d) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen Verhältnis der entsprechenden PAA (x).....	44
Abb. 29: Relation zwischen TSS-Konzentration und dem PAA/PAS-Verhältnis a) der Donauzuflüsse und b) der Donau. (n) Anzahl der Proben (s) Abweichung vom durchschnittlichen PAA/PAS-Verhältnis (x).....	45
Abb. 30: Durchschnittliche spektrale Verteilung der PCHO in der Schwebstofffracht der Donau	46
Abb. 31: a) Mol-% Xyl (auf glukosefreier Basis) und b) mol-% Rib (auf glukosefreier Basis) von verschiedenen Pflanzen, aquatischen Organismen und den Schwebstoffproben aus der Donau und dem IGI. Die Punkte kennzeichnen die Durchschnittswerte, die Balken die Abweichung vom Mittelwert (Werte von Pflanzen und aquatischen Organismen aus: COWIE & HEDGES, 1984). G = Holz von Gymnospermenengewebe; g = nichtholziges Gymnospermenengewebe; A = holziges Angiospermenengewebe; al = Angiospermenblätter; ag = Angiospermengräser; Pp = Phytoplankton; Zp = Zooplankton; B = Bakterien.....	47
Abb. 32: Durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten und Schwebstoffkonzentrationen sowie POC- und Opal-Gehalte der Oberflächensedimente in den einzelnen Teilabschnitten des IGI.....	49
Abb. 33: a) Durchschnittliche Gehalte von POC, LPOC, PAA-N in den einzelnen Teilabschnitten des IGI. b) Asp/ β -Ala- und Glu/ γ -Aba- und PAA/PAS-Verhältnisse in den einzelnen Teilabschnitten des IGI.....	50
Abb. 34: Position des Kerns bei km 947,2.....	51
Abb. 35: Aktivität von a) ^{137}Cs (entsprechend der Zerfallskonstante für den 1. Mai 1986 korrigiert) und b) Überschuß- ^{210}Pb im Sedimentkern von km 947,2. Gefüllte Kreise zeigen die gemessenen Werte mit der Standardabweichung, leere Kreise zeigen den berechneten Zerfall ohne den Einfluß der Sedimentschüttung der Donau.....	55
Abb. 36: Lithologie und Verteilung der Hauptkomponenten im Sedimentkern von km 947,2 (Beschreibung der Lithologie, R.C.M.G.G., 1995).....	57
Abb. 37: Flußraten von a) Wasser (Q; R.C.M.G.G., 1995) und Schwebstoffen (TSS); b) POC und PN; c) LPOC und PAA-N.....	59
Abb. 38: Vertikaler Partikelfluß im NW des Schwarzen Meeres am Donautiefseefächer.....	61
Abb. 39: Verteilungsmuster von: a) POC [%], b) CaCO_3 [%], c) Lithogenes Material [%], d) Opal [%] in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres.....	64
Abb. 40: Durchschnittliche spektrale Verteilung der PAA in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres.....	65
Abb. 41: Verteilungsmuster von a) PAA-C [%] b) C/N, c) Asp/ β -Ala, d) Glu/ γ -Aba, e) PAA/PAS in den Oberflächensedimenten im nordwestlichen Schwarzen Meer.....	66
Abb. 42: Verteilungsmuster von a) PAA-N [%] und b) $\delta^{15}\text{N}$ [‰] in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres.....	70

- Abb. 43: Durchschnittswerte der Chlorophyll- ähnlichen Pigmentkonzentrationen im Oberflächenwasser des NW Schwarzen Meeres 1975-1989 (Coastal Zone Color Scanner, SPACE APPLICATIONS INSTITUTE).....70
- Abb. 44: Übereinstimmung von Karbont-, Lithogen-, POC- und Opalgehalt der Oberflächensedimente aus der Donau mit denen im Schwarzen Meer. Kreise kennzeichnen die Gehalte der jeweiligen Komponenten der Oberflächensedimente des Schwarzen Meeres. Dreiecke markieren den durchschnittlichen Gehalt der jeweiligen Komponenten in den Oberflächensedimenten aus der Donau, wobei die Fehlerbalken die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert darstellen. Farbige Kreise markieren die Oberflächensedimente aus dem Schwarzen Meer, die im Wertebereich der jeweiligen Komponente aus den Oberflächensedimenten der Donau liegen73
- Abb. 45: Verteilung des partikulären Eintrags der Donau anhand der Übereinstimmung der Hauptkomponenten in den Oberflächensedimenten der Donau mit denen des Schwarzen Meeres (vergleiche mit: Abb. 44). Die Farben kennzeichnen den gleichen Wertebereich der jeweiligen Komponente: Gelb = Karbonat; Schwarz = Lithogen; Rot = POC; Blau = Opal (die Größe der Dreiecke hat keine inhaltliche Bedeutung). Die schraffierte Fläche kennzeichnet den wahrscheinlichen Hauptablagerungsraum der Donauschwebstoffe heute73
- Abb. 46: Aktivität von a) ^{137}Cs (entsprechend der Zerfallskonstante für den 1. Mai 1986 korrigiert) und b) Überschuß- ^{210}Pb im Sedimentkern von Station 17. Gefüllte Kreise zeigen die gemessenen Werte mit der Standardabweichung, leere Kreise zeigen den berechneten Zerfall ohne den Einfluß der Sedimentschüttung der Donau.....77
- Abb. 47: Aktivität von Überschuß- ^{210}Pb im Sedimentkern von Station 17 abzüglich des berechneten radioaktiven Zerfalls im Vergleich zur numerischen Differenz der Donauschüttung des jeweiligen Vorjahres (Datenquelle: GLOBAL RUN OFF DATA CENTER)77
- Abb. 48: Lithologie und Verteilung der Hauptkomponenten im Sedimentkern von Station 17 (Beschreibung der Lithologie aus dem Fahrtbericht PROF. VODYANITSKY, LEG 2, 1995)78

10 Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Eintrag von Wasser und Sediment der Flüsse, die in das Schwarze Meer münden (zusammengefaßt von: IZDAR <i>et al.</i> , 1987).....	13
Tab. 2: Saisonale Variabilität in der Biomasse der wichtigsten Phytoplanktongruppen im offenen Schwarzen Meer in mg m^{-3} (SOROKIN, 1982)	14
Tab. 3: Die Stationen der Donaufahrt im Juni 1995 und die Art und die Anzahl der dort gewonnenen Proben. Ist in der Spalte "Entfernung linkes Ufer" und "Wassertiefe" mehr als ein Wert aufgeführt, so handelt es sich um ein Quer- und/oder Tiefenprofil, wobei die fett gedruckten Zahlen die Positionen des Tiefenprofils der jeweiligen Station wiedergeben	19
Tab. 4: Die Stationen der Forschungsfahrten im Schwarzen Meer im August 1995 und im Mai 1997 sowie deren Zuordnung zu den verschiedenen Sedimentationszonen.....	22
Tab. 5: Beprobungszeiten der Sedimentfalle im Schwarzen Meer	24
Tab. 6: Analyseparameter der Aminosäureanalytik.....	27
Tab. 7: Analyseprogramm der Aminosäureanalytik	28
Tab. 8: Analyseparameter der Zuckeranalytik	29
Tab. 9: Analyseprogramm der Zuckeranalytik.....	29
Tab. 10: TSS-Konzentrationsgruppen in der Donau.....	32
Tab. 11: Durchschnittliche Konzentrationen, Gehalte und Verhältnisse verschiedener Komponenten in den einzelnen Teilbereichen des IGI aus dem Oberflächenwasser in der Mitte des Flusses (Der PCHO-Anteil am LPOC konnte nur bei den Proben von km 1044,5 und km 952 ermittelt werden. Bei den restlichen Proben wurde ein Mittelwert dieser beiden PCHO-Anteile am LPOC angenommen).....	49
Tab. 12: Durchschnittliche Gehalte von POC und Opal in den Oberflächensedimenten des IGI aus der Mitte des Flusses.....	49
Tab. 13: Abnahme bzw. Zunahme der Flußraten von Q, TSS, POC, PN, LPOC und PAA-N zwischen ausgesuchten Stationen	58
Tab. 14: Sedimentakkumulationsraten für die abyssalen Bereiche des Schwarzen Meeres	62
Tab. 15: Anzahl der Phytoplanktonblüten und Zelldichte während unterschiedlicher Zeiträume in den rumänischen Küstengewässern. Blüten sind hier mit einer Zelldichte von $> 5 \cdot 10^6$ Zellen l^{-1} definiert (1993; aus: HUMBORG <i>et al.</i> , 1997, nach: BODEANU, 1987-1988)	75
Tab. 16: Konzentrationen und Gehalte von TSS, POC, PIC und PN der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoirs	99
Tab. 17: Konzentrationen und Gehalte von PAA, PAS in der Schwebstofffracht der Donau und dem IGI-Reservoir und deren Anteile am POC und PN.....	101
Tab. 18: Verhältnisse von Asp/ β -Ala, Glu/ γ -Aba und PAA/PAS der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoir	102
Tab. 19: Konzentrationen und Gehalte der PCHO sowie deren Anteile am POC in der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoir.....	103

Tab. 20: Gehalte von POC, PIC, PN und Opal der Bettsedimente in der Donau und dem IGI-Reservoir	104
Tab. 21: Gehalte von Karbonat, Opal, Lithogen, organischem Material, POC, PN und C/N Verhältnisse im Sedimentkern des IGI-Reservoir	104
Tab. 22: Aktivitäten der radioaktiven Isotope ^{137}Cs und ^{210}Pb im Sedimentkern des IGI-Reservoir	105
Tab. 23: Gehalte von Karbonat, Opal, Lithogen, organischem Material, POC, PN und C/N Verhältnisse in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres ..	106
Tab. 24: Gehalte der PAA und PAS, deren Anteile am POC und PN, die Verhältnisse von Asp/ β -Ala, Glu/ γ -Aba und PAA/PAS sowie $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres	107
Tab. 25: Gehalte von Karbonat, Opal, Lithogen, organischem Material, POC, PN und C/N Verhältnisse im Sedimentkern des Schwarzen Meeres von Station 17	108
Tab. 26: Aktivitäten der radioaktiven Isotope ^{137}Cs und ^{210}Pb im Sedimentkern des Schwarzen Meeres von Station 17.....	109

11 Verzeichnis der Abkürzungen

γ-Aba	γ -Aminobuttersäure	N	Stickstoff
β-Ala	β -Alanin	Orn	Ornithin
¹³⁷Cs	Cäsium 137	PAA	Particulate amino acids = Partikuläre Aminosäuren
²¹⁰Pb	Blei 210	PAA-C	Anteile der partikulären Aminosäuren am partikulären organischen Kohlenstoff
Ala	Alanin	PAA-N	Anteile der partikulären Aminosäuren am partikulären Stickstoff
Ara	Arabinose	PAS	Particulate hexosamines = Partikuläre Aminozucker
Arg	Arginin	PAS-C	Anteile der partikulären Aminozucker am partikulären organischen Kohlenstoff
Asp	Asparaginsäure	PAS-N	Anteile der partikulären Aminozucker am partikulären Stickstoff
b-Ala	β -Alanin (in Abbildungen)	PC	Particulate carbon = Partikulärer Gesamtkohlenstoff
Bq	Becquerel	PCHO	Particulate carbohydrates = Partikuläre Zucker
Fru	Fruktose	PCHO-C	Anteile der partikulären Zucker am partikulären organischen Kohlenstoff
Fuc	Fukose	Phe	Phenylalanin
g-Aba	γ -Aminobuttersäure (in Abbildungen)	PIC	Particulate inorganic carbon = Partikulärer anorganischer Kohlenstoff
Gal	Galaktose	PN	Particulate nitrogen = Partikulärer Gesamtstickstoff
Galam	Galaktoseamin	POC	Particulate organic carbon = Partikulärer organischer Kohlenstoff
Glc	Glukose	POM	Particulate organic matter = Partikuläres organisches Material
Glu	Glutaminsäure	PON	Particulate organic nitrogen = Partikulärer organischer Stickstoff
Glucam	Glukoseamin	Rha	Rhamnose
Gly	Glycin	Rib	Ribose
His	Histidin	Ser	Serin
Ile	Isoleucin	Si	Silizium
Leu	Leucin	Thr	Threonin
LPOC	Labiler partikulärer organischer Kohlenstoff	TSS	Total suspended solids = gesamte suspendierte Feststoffe
Lys	Lysin	Tyr	Tyrosin
Man	Mannose	V	Velocity = Strömungsgeschwindigkeit
Met	Methionin	Val	Valin
		Xyl	Xylose

12 Anhang

Tab. 16: Konzentrationen und Gehalte von TSS, POC, PIC und PN der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoirs

Entf. Zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	TSS [mg l ⁻¹]	POC [%]	PIC [%]	PN [%]	C/N	POC [mg l ⁻¹]	PN [mg l ⁻¹]
1072,4	900	11	430	0	19,50	10,03	2,01	1,80	5,56	1,96	0,352
1044,5	950	9	420	0	21,99	6,39	1,90	1,18	5,42	1,40	0,259
1040,0	970	6	70	0	29,49	5,38	3,04	1,05	5,15	1,59	0,308
1040,0	970	12	530	0	16,15	7,90	2,48	1,21	6,50	1,28	0,196
1040,0	970	12	530	6	17,36	8,16	1,42	1,12	7,31	1,42	0,194
1040,0	970	12	530	9	29,04	5,30	2,68	0,90	5,91	1,54	0,260
1040,0	970	12	700	0	27,02	5,73	3,02	1,06	5,40	1,55	0,287
999,0	640	17	40	0	14,00	6,51	2,06	0,99	6,59	0,91	0,138
999,0	640	22	360	0	14,80	5,76	2,01	0,96	5,98	0,85	0,143
999,0	640	22	360	8	22,73	5,39	2,10	1,10	4,89	1,22	0,250
999,0	640	22	360	16	36,36	4,04	2,20	0,75	5,37	1,47	0,274
999,0	640	17	520	0	15,52	5,60	2,29	1,02	5,48	0,87	0,159
969,5	1560	11	790	0	6,70	5,69	1,85	0,95	6,01	0,38	0,063
959,5	1520	17	770	0	7,98	7,59	0,84	1,14	6,68	0,61	0,091
952,0	1010	25	500	0	6,21	7,78	1,75	1,24	6,30	0,48	0,077
947,2	1190	27	620	0	6,51	8,57	2,55	1,52	5,65	0,56	0,099
911,0	740	15	360	0	9,80	5,11	2,11	0,93	5,47	0,50	0,092
911,0	740	15	360	6	10,84	5,05	2,52	1,25	4,05	0,55	0,135
911,0	740	15	360	12	10,87	5,88	1,30	0,80	7,36	0,64	0,087
879,0	1220	17	640	0	7,13	6,23	1,89	0,96	6,50	0,44	0,068
866,0	670	9	120	0	8,13	5,16	2,12	0,97	5,32	0,42	0,079
866,0	670	20	330	0	7,51	5,02	2,99	1,26	4,00	0,38	0,094
866,0	670	20	330	8	9,47	4,87	2,08	0,84	5,82	0,46	0,079
866,0	670	20	330	16	10,68	5,07	1,98	0,80	6,36	0,54	0,085
866,0	670	17	570	0	6,68	5,88	1,74	1,03	5,72	0,39	0,069
845,0	480	10	70	0	4,97	4,49	2,32	0,84	5,37	0,22	0,042
845,0	480	21	280	0	7,74	5,47	2,18	0,94	5,82	0,42	0,073
845,0	480	21	280	8	9,58	4,95	2,23	0,77	6,43	0,47	0,074
845,0	480	21	280	16	8,73	4,85	1,71	0,79	6,17	0,42	0,069
845,0	480	7	440	0	8,05	5,79	2,51	1,02	5,66	0,47	0,082
684,1	1190	8	670	0	12,21	6,36	6,41	1,63	3,90	0,78	0,199
596,0	800	12	370	0	21,09	4,91	1,92	0,97	5,04	1,04	0,205
481,0	690	6	30	0	40,51	3,55	2,44	0,74	4,80	1,44	0,299
481,0	690	14	290	0	21,05	5,33	2,04	0,96	5,58	1,12	0,201
481,0	690	14	290	6	23,32	4,38	1,87	0,79	5,53	1,02	0,185
481,0	690	14	290	12	34,25	3,17	1,82	0,67	4,76	1,09	0,228
481,0	690	11	560	0	34,80	4,23	3,02	0,93	4,56	1,47	0,323
426,0	720	8	420	0	23,62	6,05	1,24	1,13	5,35	1,43	0,267
375,0	710	6	40	0	59,93	3,94	2,11	0,74	5,32	2,36	0,444
375,0	710	14	270	0	41,05	3,70	2,22	0,69	5,33	1,52	0,284
375,0	710	14	270	6	55,86	3,52	2,09	0,62	5,66	1,97	0,347
375,0	710	14	270	12	45,82	3,95	2,17	0,74	5,31	1,81	0,341
375,0	710	14	490	0	46,76	4,55	2,32	0,90	5,07	2,13	0,419
247,0	330	19	280	0	27,60	5,03	2,43	0,98	5,15	1,39	0,270
247,0	330	12	170	0	35,16	4,46	3,01	0,93	4,80	1,57	0,327
247,0	330	12	170	4	41,07	4,34	2,23	0,84	5,19	1,78	0,343
247,0	330	12	170	8	41,97	3,50	2,48	0,81	4,31	1,47	0,341
247,0	330	7	40	0	35,13	5,28	2,96	1,06	4,99	1,85	0,371

Tab. 16: (Fortsetzung): Konzentrationen und Gehalte von TSS, POC, PIC und PN der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoirs

Entf. zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	TSS [mg l ⁻¹]	POC [%]	PIC [%]	PN [%]	C/N	POC [mg l ⁻¹]	PN [mg l ⁻¹]
171,0	360	24	70	0	46,79	3,45	2,05	0,61	5,70	1,61	0,283
171,0	360	27	190	0	54,04	3,31	2,26	0,63	5,28	1,79	0,339
171,0	360	27	190	6	74,04	2,36	2,62	0,50	4,71	1,75	0,371
171,0	360	27	190	12	83,79	2,26	1,85	0,44	5,09	1,90	0,372
171,0	360	6	270	0	45,56	3,36	2,34	0,68	4,92	1,53	0,311
141,3	490	24	60	0	73,75	2,67	2,17	0,53	5,06	1,97	0,390
141,3	490	19	230	0	29,05	4,79	2,19	0,91	5,26	1,39	0,264
141,3	490	8	430	0	49,74	3,65	2,16	0,66	5,52	1,82	0,329
101,0	770	7	430	0	56,99	3,33	2,03	0,59	5,61	1,90	0,338
81,4	390	8	40	0	51,42	2,66	2,11	0,54	4,92	1,37	0,277
81,4	390	32	200	0	84,65	2,18	2,13	0,46	4,74	1,84	0,389
81,4	390	32	200	6	105,58	1,98	1,58	0,36	5,53	2,09	0,377
81,4	390	32	200	12	89,02	2,09	1,84	0,41	5,14	1,86	0,362
81,4	390	9	370	0	53,29	3,06	2,30	0,62	4,92	1,63	0,331
115,3	420	10	210	0	105,18	2,20	1,48	0,36	6,02	2,31	0,384
39,7	320	10	220	0	49,38	3,20	2,16	0,59	5,38	1,58	0,294
39,7	320	16	150	0	46,38	3,12	2,16	0,58	5,38	1,45	0,269
39,7	320	23	30	0	58,97	3,72	2,81	0,63	5,88	2,19	0,373
20,0	580	12	270	0	36,85	3,43	2,09	0,66	5,21	1,26	0,243
63,0	370	13	200	0	49,51	3,01	1,69	0,57	5,25	1,49	0,284
108,4	320	12	40	0	81,87	2,53	1,62	0,41	6,15	2,07	0,337
108,4	320	13	160	0	53,35	3,19	1,81	0,61	5,20	1,70	0,328
108,4	320	13	160	4	79,87	2,29	1,91	0,42	5,42	1,83	0,337
108,4	320	13	160	8	72,85	2,74	1,88	0,49	5,54	1,99	0,359
108,4	320	4	240	0	116,55	2,06	1,74	0,36	5,78	2,40	0,415
61,2	120	18	60	0	65,41	2,95	1,80	0,54	5,45	1,93	0,355
-0,7	160	9	30	0	66,18	2,11	2,30	0,45	4,69	1,40	0,298
-0,7	160	12	80	0	49,60	3,11	1,67	0,48	6,52	1,54	0,236
-0,7	160	12	80	4	77,93	2,23	1,68	0,41	5,40	1,74	0,322
-0,7	160	12	80	8	73,94	2,36	1,52	0,38	6,17	1,75	0,283
-0,7	160	9	130	0	60,75	2,73	1,69	0,48	5,65	1,66	0,293
1,3	500	6	250	0	89,01	1,97	1,59	0,38	5,19	1,76	0,338
927,8	Topo.	1	Mitte	0	293,39	2,20	3,90	0,22	10,09	6,45	0,639
691,5	Jiu	2	Mitte	0	262,70	2,28	1,70	0,36	6,33	5,99	0,947
604,7	Olt	3	Mitte	0	16,95	5,18	1,49	1,03	5,05	0,88	0,174
526,0	Vedea	3	Mitte	0	25,32	4,82	1,82	0,56	8,67	1,22	0,141
432,0	Arges	6	Mitte	0	38,99	15,00	1,74	2,67	5,63	5,85	1,039
244,0	Ialo.	4	Mitte	0	37,56	8,59	4,08	1,97	4,36	3,23	0,740
155,0	Siret	6	Mitte	0	374,01	0,69	1,41	0,19	3,59	2,60	0,723
125,8	Prut	5	Mitte	0	52,69	3,16	2,38	0,64	4,97	1,67	0,371

Tab. 17: Konzentrationen und Gehalte von PAA, PAS in der Schwebstofffracht der Donau und dem IGI-Reservoir und deren Anteile am POC und PN

Entf. Zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	PAA [%]	PAS [%]	PAA [$\mu\text{g l}^{-1}$]	PAS [$\mu\text{g l}^{-1}$]	PAA-C	PAA-N	PAS-C	PAS-N
1072,4	900	11	430	0	2,34	0,09	456,75	17,06	10,38	18,08	0,35	0,38
1044,5	950	9	420	0	1,73	0,07	380,91	15,87	11,98	20,41	0,45	0,48
1040,0	970	6	70	0	2,51	0,13	739,58	38,86	20,63	33,54	0,99	0,98
1040,0	970	12	530	0	3,77	0,18	608,96	28,54	21,12	44,33	0,90	1,14
1040,0	970	12	530	6	3,22	0,16	558,78	27,52	17,55	41,33	0,78	1,11
1040,0	970	12	530	9	2,66	0,15	773,26	43,48	22,22	41,89	1,14	1,30
1040,0	970	12	700	0	2,83	0,15	764,62	40,21	21,84	37,90	1,04	1,10
999,0	640	17	40	0	3,20	0,15	448,04	20,94	21,73	45,94	0,92	1,18
999,0	640	22	360	0	3,15	0,17	465,42	25,34	24,16	45,45	1,20	1,40
999,0	640	22	360	8	2,54	0,16	577,45	36,67	20,81	32,09	1,20	1,15
999,0	640	22	360	16	1,88	0,14	682,53	50,98	20,44	34,79	1,40	1,46
999,0	640	17	520	0	3,23	0,17	501,95	26,10	25,47	43,99	1,21	1,29
969,5	1560	11	790	0	1,43	0,06	95,97	4,20	11,13	20,76	0,44	0,52
959,5	1520	17	770	0	1,98	0,06	157,75	4,98	11,44	23,96	0,33	0,43
952,0	1010	25	500	0	2,02	0,06	125,37	3,74	11,42	23,35	0,31	0,38
947,2	1190	27	620	0	1,52	0,05	99,03	3,01	7,78	14,11	0,22	0,24
911,0	740	15	360	0	1,50	0,08	147,35	8,20	12,81	22,54	0,66	0,70
879,0	1220	17	640	0	1,46	0,09	103,88	6,12	10,18	21,34	0,55	0,70
866,0	670	9	120	0	1,15	0,06	93,87	5,28	9,77	16,53	0,51	0,52
866,0	670	20	330	0	1,27	0,07	95,43	4,95	11,07	14,05	0,53	0,41
866,0	670	20	330	8	1,13	0,06	106,73	6,12	10,08	18,88	0,53	0,60
866,0	670	20	330	16	1,23	0,08	130,83	8,29	10,53	21,31	0,62	0,76
866,0	670	17	570	0	1,80	0,08	120,46	5,50	13,43	24,91	0,56	0,63
845,0	480	21	280	0	1,06	0,08	82,30	6,10	8,48	15,78	0,58	0,66
684,1	1190	8	670	0	1,63	0,07	198,46	8,10	11,25	13,77	0,42	0,32
596,0	800	12	370	0	1,31	0,05	276,47	10,22	11,78	18,84	0,40	0,39
481,0	690	6	30	0	0,92	0,03	371,73	13,95	11,31	17,31	0,39	0,36
481,0	690	14	290	0	1,21	0,04	254,95	7,92	9,96	18,10	0,28	0,31
481,0	690	14	290	6	1,28	0,04	297,37	9,72	12,68	22,74	0,38	0,41
481,0	690	14	290	12	1,06	0,04	361,59	12,66	14,61	23,72	0,47	0,43
481,0	690	11	560	0	1,26	0,07	439,28	23,74	13,02	19,92	0,65	0,57
426,0	720	8	420	0	0,73	0,04	173,49	8,48	5,25	9,29	0,24	0,25
375,0	710	14	270	0	1,02	0,05	418,30	19,50	12,19	20,23	0,52	0,54
247,0	330	12	170	0	1,29	0,06	453,12	20,13	12,84	19,49	0,52	0,48
171,0	360	24	70	0	1,11	0,04	520,90	19,35	14,21	27,22	0,48	0,53
171,0	360	27	190	0	0,91	0,03	489,44	18,00	12,03	21,40	0,40	0,41
171,0	360	27	190	6	0,65	0,03	483,19	21,04	12,17	19,29	0,48	0,44
171,0	360	27	190	12	0,72	0,03	602,98	25,83	14,07	23,98	0,55	0,55
171,0	360	6	270	0	0,92	0,03	420,63	14,75	12,00	19,92	0,39	0,37
141,3	490	19	230	0	1,25	0,04	361,70	12,22	11,55	19,12	0,35	0,36
101,0	770	7	430	0	0,79	0,03	452,72	19,93	10,75	20,11	0,42	0,46
81,4	390	32	200	0	0,65	0,03	551,60	23,13	13,21	21,25	0,50	0,46
115,3	420	10	210	0	0,56	0,03	591,08	28,05	11,21	20,93	0,49	0,58
39,7	320	16	150	0	0,79	0,03	392,26	13,90	11,22	18,54	0,36	0,38
20,0	580	12	270	0	0,87	0,04	321,77	13,54	11,25	18,79	0,43	0,44
63,0	370	13	200	0	0,77	0,03	380,09	15,55	11,29	19,10	0,42	0,43
108,4	320	13	160	0	0,84	0,03	449,00	16,17	9,64	20,22	0,44	0,57
61,2	120	18	60	0	0,63	0,03	411,65	21,07	9,38	16,13	0,44	0,47
-0,7	160	12	80	0	0,68	0,03	337,95	16,86	9,61	19,65	0,44	0,55
1,3	500	6	250	0	0,39	0,02	344,35	15,31	8,69	14,51	0,35	0,36

Tab. 17: (Fortsetzung) Konzentrationen und Gehalte von PAA, PAS in der Schwebstofffracht der Donau und dem IGI-Reservoir und deren Anteile am POC und PN

Entf. zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	PAA [%]	PAS [%]	PAA [$\mu\text{g l}^{-1}$]	PAS [$\mu\text{g l}^{-1}$]	PAA-C	PAA-N	PAS-C	PAS-N
927,8	Topo.	1	Mitte	0	0,27	0,03	794,81	73,61	5,45	17,18	0,46	0,89
691,5	Jiu	2	Mitte	0	0,36	0,04	941,92	94,95	6,85	14,63	0,64	0,79
604,7	Olt	3	Mitte	0	1,59	0,06	270,22	9,52	13,50	23,10	0,44	0,43
526,0	Vedea	3	Mitte	0	3,53	0,07	893,19	16,67	32,36	94,78	0,55	0,93
432,0	Arges	6	Mitte	0	4,21	0,10	1642,48	37,56	12,50	23,38	0,26	0,28
244,0	Ialo.	4	Mitte	0	4,08	0,11	1532,39	40,20	21,14	30,21	0,50	0,42
155,0	Siret	6	Mitte	0	0,09	0,01	348,85	23,40	5,91	7,38	0,36	0,26
125,8	Prut	5	Mitte	0	0,61	0,02	322,43	13,06	8,39	14,27	0,32	0,30

Tab. 18: Verhältnisse von Asp/ β -Ala, Glu/ γ -Aba und PAA/PAS der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoir

Entf. zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	Asp/ β -Ala	Glu/ γ -Aba	PAA/ PAS
1072,4	900	11	430	0	94,27	115,35	38,65
1044,5	950	9	420	0	87,62	103,15	34,86
1040,0	970	6	70	0	49,60	71,87	27,45
1040,0	970	12	530	0	83,47	85,45	30,64
1040,0	970	12	530	6	75,55	81,58	29,16
1040,0	970	12	530	9	57,71	74,19	25,58
1040,0	970	12	700	0	44,13	76,40	27,44
999,0	640	17	40	0	73,03	78,75	30,94
999,0	640	22	360	0	47,82	85,10	26,87
999,0	640	22	360	8	43,57	63,44	23,05
999,0	640	22	360	16	37,13	61,46	19,64
999,0	640	17	520	0	46,92	72,43	28,14
969,5	1560	11	790	0	58,84	74,11	33,23
959,5	1520	17	770	0	91,64	106,73	46,49
952,0	1010	25	500	0	83,74	86,85	48,96
947,2	1190	27	620	0	120,90	109,58	47,86
911,0	740	15	360	0	52,75	63,39	26,63
879,0	1220	17	640	0	59,34	64,72	25,17
866,0	670	9	120	0	54,09	53,46	26,38
866,0	670	20	330	0	55,85	71,64	28,41
866,0	670	20	330	8	53,06	38,68	25,75
866,0	670	20	330	16	50,70	56,47	23,32
866,0	670	17	570	0	63,74	68,46	32,10
845,0	480	21	280	0	50,91	66,62	19,88
684,1	1190	8	670	0	70,76	106,69	35,88
596,0	800	12	370	0	74,96	132,90	39,39
481,0	690	6	30	0	81,24	106,03	38,95
481,0	690	14	290	0	81,12	132,18	46,46
481,0	690	14	290	6	90,64	124,01	44,36
481,0	690	14	290	12	72,22	145,16	40,52
481,0	690	11	560	0	44,21	83,28	26,64
426,0	720	8	420	0	70,30	207,06	29,71
375,0	710	14	270	0	47,54	88,76	31,13
247,0	330	12	170	0	60,65	108,89	32,70

Tab. 18: (Fortsetzung) Verhältnisse von Asp/ β -Ala, Glu/ γ -Aba und PAA/PAS der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoir

Entf. zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	Asp/ β -Ala	Glu/ γ -Aba	PAA/ PAS
171,0	360	24	70	0	84,87	118,44	38,34
171,0	360	27	190	0	81,02	112,83	38,65
171,0	360	27	190	6	70,69	106,66	32,57
171,0	360	27	190	12	61,69	95,23	33,44
171,0	360	6	270	0	93,53	145,85	40,33
141,3	490	19	230	0	77,24	151,05	42,35
101,0	770	7	430	0	37,61	99,00	32,25
81,4	390	32	200	0	49,92	88,32	34,09
115,3	420	10	210	0	53,51	83,72	35,67
39,7	320	16	150	0	59,41	88,64	39,96
20,0	580	12	270	0	62,28	88,75	28,30
63,0	370	13	200	0	59,43	87,37	30,98
108,4	320	13	160	0	66,79	82,07	29,14
61,2	120	18	60	0	70,46	91,79	40,94
-0,7	160	12	80	0	62,72	76,34	34,63
1,3	500	6	250	0	30,00	51,32	32,63
927,8	Topo	1	Mitte	0	26,20	38,79	15,91
691,5	Jiu	2	Mitte	0	27,55	40,37	14,37
604,7	Olt	3	Mitte	0	78,56	129,63	41,06
526,0	Ved	3	Mitte	0	154,20	478,90	76,56
432,0	Arges	6	Mitte	0	149,94	306,21	61,51
244,0	Ialo	4	Mitte	0	151,90	306,17	54,56
155,0	Siret	6	Mitte	0	40,63	66,19	21,36
125,8	Prut	5	Mitte	0	41,88	102,89	35,53

Tab. 19: Konzentrationen und Gehalte der PCHO sowie deren Anteile am POC in der Schwebstofffracht der Donau und des IGI-Reservoir

Entf. zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	PCHO [%]	PCHO [$\mu\text{g l}^{-1}$]	PCHO-C [%]
1072,4	900	11	430	0	1,57	306,52	6,33
947,2	1190	27	620	0	2,37	154,25	11,12
866,0	670	20	330	0	1,79	134,55	14,40
81,4	390	32	200	0	0,44	373,37	8,16
20,0	580	12	270	0	0,81	297,33	9,46
-0,7	160	12	80	0	0,84	416,88	10,88
1,3	500	6	250	0	0,39	350,46	8,03

Tab. 20: Gehalte von POC, PIC, PN und Opal der Bettsedimente in der Donau und dem IGI-Reservoir

Entf. zur Flußm. [km]	Fluß- breite [m]	Fluß- tiefe [m]	Entf. l. Ufer [m]	Stat.- tiefe [m]	POC [%]	PIC [%]	PN [%]	Opal [%]	C/N
1072,4	900	11	440	11	0,28	1,50	0,02	1,39	12,84
1044,5	950	12	530	12	1,72	1,74	0,18	3,65	9,84
999,0	640	22	360	22	1,81	1,69	0,21	5,58	8,74
959,5	1520	17	780	17	2,17	1,71	0,26	7,19	8,28
952,0	1010	25	500	25	2,09	1,59	0,24	5,55	8,57
947,2	1190	27	620	27	2,61	1,38	0,32	6,46	8,20
911,0	740	15	360	15	0,76	2,28	0,09	2,20	8,93
866,0	670	20	330	20	1,42	0,90	0,21	4,02	6,87
481,0	690	6	30	6	1,08	1,37	0,11	3,40	9,59
141,3	490	8	430	8	1,75	1,33	0,21	4,85	8,15

Tab. 21: Gehalte von Karbonat, Opal, Lithogen, organischem Material, POC, PN und C/N Verhältnisse im Sedimentkern des IGI-Reservoir

Sediment- tiefe [cm]	CaCO ₃ [%]	Opal [%]	Lithogen [%]	Org. Mat. [%]	POC [%]	PN [%]	C/N
5	12,53	5,79	77,28	4,40	2,44	0,31	7,88
15	12,95	5,27	77,43	4,35	2,42	0,29	8,28
25	12,63	5,09	77,76	4,51	2,51	0,30	8,34
30	14,35	5,21	76,89	3,55	1,97	0,25	7,95
35	13,45	5,09	77,75	3,71	2,06	0,25	8,26
45	15,55	4,40	76,85	3,20	1,78	0,24	7,34
50	16,32	5,26	74,63	3,79	2,10	0,27	7,74
60	12,27	5,32	78,83	3,59	1,99	0,26	7,75
70	13,24	5,80	77,11	3,85	2,14	0,27	7,99
80	13,57	5,49	77,31	3,63	2,01	0,26	7,80
90	12,26	5,96	77,44	4,34	2,41	0,29	8,31
95	11,20	5,52	79,67	3,61	2,01	0,26	7,78
100	12,00	5,19	79,67	3,14	1,74	0,24	7,34
105	13,60	4,30	79,66	2,43	1,35	0,17	8,14
115	14,29	3,87	79,58	2,26	1,26	0,15	8,31
125	12,76	4,35	79,53	3,36	1,87	0,23	8,23
135	11,27	4,98	80,41	3,34	1,86	0,22	8,53
140	11,04	5,02	80,56	3,38	1,88	0,22	8,35
150	9,82	5,17	81,60	3,40	1,89	0,25	7,46
160	12,69	4,87	78,87	3,57	1,98	0,25	7,98
170	12,47	4,78	79,18	3,57	1,98	0,26	7,49
180	11,10	4,60	81,09	3,22	1,79	0,23	7,91
190	13,01	5,08	78,02	3,90	2,16	0,27	8,04
195	10,22	4,99	81,58	3,21	1,78	0,24	7,56
200	10,63	4,81	81,25	3,31	1,84	0,23	8,03
210	10,66	5,37	80,26	3,71	2,06	0,28	7,38

Tab. 22: Aktivitäten der radioaktiven Isotope ^{137}Cs und ^{210}Pb im Sedimentkern des IGI-Reservoir

Sediment- tiefe [cm]	^{137}Cs [Bq kg ⁻¹]	Total ^{210}Pb [Bq kg ⁻¹]	^{226}Ra über ^{214}Pb [Bq kg ⁻¹]	Überschuß ^{210}Pb [Bq kg ⁻¹]	Jahre vor Heute nach ^{137}Cs	Jahreszahl nach ^{137}Cs
5	58,8	71,9	49,0	22,9	0,22	1995,30
15	60,5	88,5	50,8	37,7	0,65	1994,87
25	53,4	77,0	53,4	23,6	1,08	1994,44
30	63,0	90,5	43,6	46,9	1,30	1994,23
35	48,6	102,9	40,1	62,8	1,51	1994,01
45	46,6	63,4	37,1	26,3	1,94	1993,58
50	58,8	99,2	44,9	54,3	2,16	1993,37
60	49,8	81,0	37,4	43,6	2,59	1992,94
70	64,7	89,0	41,2	47,8	3,02	1992,51
80	81,1	129,1	36,0	93,1	3,45	1992,08
90	83,3	77,9	38,7	39,2	3,88	1991,65
95	89,1	103,2	46,6	56,6	4,09	1991,43
100	90,4	109,2	41,9	67,3	4,31	1991,22
105	97,5	71,8	39,4	32,4	4,52	1991,00
115	97,6	60,6	40,9	19,7	4,95	1990,57
125	110,1	81,6	38,9	42,7	5,38	1990,14
135	221,1	82,7	36,2	46,5	5,81	1989,71
140	227,4	79,9	40,7	39,2	6,03	1989,50
150	227,1	89,1	40,6	48,5	6,46	1989,07
160	294,6	76,9	37,6	39,3	6,89	1988,64
170	313,0	105,8	41,4	64,4	7,32	1988,21
180	306,8	86,7	39,5	47,2	7,75	1987,78
190	659,4	90,6	41,6	49,0	8,18	1987,35
195	519,3	61,3	43,8	17,5	8,40	1987,13
200	914,8	83,5	36,7	46,8	8,61	1986,92
210	23,2	96,1	40,0	56,1	9,04	1986,49

Tab. 23: Gehalte von Karbonat, Opal, Lithogen, organischem Material, POC, PN und C/N Verhältnisse in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres

Stations Nr.	CaCO ₃ [%]	Opal [%]	Lithogen [%]	Org. Mat. [%]	POC [%]	PN [%]	C/N
1	55,31	3,40	35,98	5,31	2,95	0,37	8,07
2	42,48	3,41	45,47	8,64	4,80	0,44	10,98
3	58,33	2,38	35,91	3,38	1,88	0,23	8,29
4	74,71	1,66	20,56	3,07	1,71	0,28	5,99
10	56,01	3,31	39,75	0,93	0,52	0,14	3,71
11	19,21	1,84	78,40	0,55	0,31	0,05	6,09
12	79,28	1,96	15,95	2,81	1,56	0,27	5,80
14	52,23	3,32	39,38	5,07	2,82	0,29	9,86
15	66,68	3,88	27,36	2,07	1,15	0,26	4,42
16	13,16	4,32	78,81	3,71	2,06	0,30	6,94
17	14,15	4,45	76,70	4,71	2,62	0,36	7,37
18	80,11	2,03	15,85	2,01	1,12	0,24	4,63
19	12,20	3,37	82,87	1,56	0,87	0,14	6,14
20	11,09	4,98	79,56	4,37	2,43	0,29	8,38
22	11,82	3,84	80,47	3,87	2,15	0,27	8,05
23	6,94	3,65	85,86	3,55	1,97	0,18	11,14
24	15,01	4,23	77,95	2,82	1,56	0,18	8,74
25	73,77	1,51	21,25	3,47	1,93	0,36	5,30
26	59,16	1,95	37,18	1,71	0,95	0,18	5,24
28	60,12	2,16	35,37	2,36	1,31	0,25	5,17
29	44,01	2,80	50,54	2,66	1,48	0,20	7,22
30	14,93	2,27	82,32	0,49	0,27	0,06	4,28
32	12,60	3,83	80,28	3,29	1,83	0,23	8,09
20 / 97	37,92	3,41	53,39	5,29	2,94	0,26	11,38
21 / 97	40,82	3,22	48,74	7,22	4,01	0,38	10,49

Tab. 24: Gehalte der PAA und PAS, deren Anteile am POC und PN, die Verhältnisse von Asp/ β -Ala, Glu/ γ -Aba und PAA/PAS sowie $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Oberflächensedimenten des nordwestlichen Schwarzen Meeres

Stations Nr.	PAA [%]	PAS [%]	PAA-C [%]	PAA-N [%]	PAS-C [%]	PAS-N [%]	Asp/ β -Ala	Glu/ γ -Aba	PAA/ PAS	$\delta^{15}\text{N}$ ‰
1	0,93	0,116	13,48	36,00	1,58	2,45	15,74	21,78	12,03	5,91
2	1,20	0,142	11,87	39,01	1,27	2,52	11,82	5,27	12,33	1,85
3	0,53	0,079	12,28	33,18	1,69	2,69	9,68	11,82	10,01	3,76
4	0,80	0,077	19,91	41,43	1,80	2,14	20,33	23,15	15,98	6,36
10	0,18	0,028	14,71	18,69	2,14	1,54	18,15	14,96	9,84	4,30
11	0,20	0,019	27,84	55,18	2,51	3,03	21,00	27,72	15,42	8,26
12	1,02	0,078	28,07	53,37	2,02	2,27	24,50	41,28	19,58	5,05
14	1,07	0,122	16,18	52,96	1,74	3,29	12,06	19,87	13,19	4,73
15	0,74	0,088	27,26	40,99	3,09	2,65	19,23	21,36	12,69	3,68
16	1,16	0,093	24,55	53,87	1,82	2,44	23,74	30,76	18,55	6,47
17	1,24	0,092	20,49	47,21	1,42	2,01	30,41	35,16	19,90	6,43
18	0,85	0,064	32,59	49,29	2,29	2,08	25,84	35,94	20,09	5,97
19	0,37	0,032	18,44	35,51	1,46	1,77	25,58	38,12	17,29	4,86
20	1,02	0,080	18,37	47,42	1,33	2,16	31,75	41,82	18,79	5,87
22	0,83	0,075	16,60	41,58	1,41	2,18	26,40	33,87	16,31	6,26
23	0,53	0,057	11,60	41,29	1,17	2,49	19,99	19,05	14,05	5,47
24	0,54	0,049	14,85	40,28	1,25	2,11	28,19	39,42	16,47	5,13
25	1,88	0,055	41,89	77,10	1,14	1,19	18,85	12,76	30,53	7,94
26	0,42	0,053	19,00	35,81	2,26	2,32	8,50	13,93	11,59	3,38
28	0,87	0,091	28,33	52,14	2,79	2,84	10,91	16,19	14,23	5,80
29	0,86	0,068	25,13	62,45	1,85	2,66	20,11	28,63	18,43	6,71
30	0,27	0,020	42,73	64,07	2,94	2,57	25,61	29,93	19,75	5,55
32	0,84	0,064	20,03	52,28	1,40	2,17	23,63	32,06	19,18	6,00
20 / 97	0,30	0,054	4,34	15,55	0,74	1,58	9,93	5,76	8,17	3,85
21 / 97	0,99	0,157	10,70	36,48	1,57	3,23	11,53	6,40	9,42	2,66

Tab. 25: Gehalte von Karbonat, Opal, Lithogen, organischem Material, POC, PN und C/N Verhältnisse im Sedimentkern des Schwarzen Meeres von Station 17

Sediment- tiefe [cm]	CaCO ₃ [%]	Opal [%]	Lithogen [%]	Org. Mat. [%]	POC [%]	PN [%]	C/N
1	14,15	4,45	76,70	4,71	2,62	0,36	7,37
2	13,34	4,31	78,18	4,17	2,32	0,30	7,78
3	10,18	4,04	80,64	5,14	2,86	0,47	6,02
4	10,84	5,09	79,26	4,81	2,67	0,32	8,26
5	11,22	4,37	81,29	3,12	1,73	0,22	7,78
6	10,37	3,70	82,89	3,04	1,69	0,21	8,17
7	12,45	3,76	81,70	2,09	1,16	0,16	7,06
8	9,89	4,79	82,55	2,76	1,54	0,21	7,17
9	9,45	5,04	82,92	2,59	1,44	0,20	7,19
10	8,73	4,54	83,77	2,96	1,65	0,23	7,12
12	8,78	4,31	84,03	2,87	1,59	0,21	7,45
14	6,19	5,29	85,30	3,22	1,79	0,24	7,42
16	7,72	5,04	84,80	2,44	1,36	0,17	8,13
18	10,72	5,30	81,79	2,18	1,21	0,22	5,41
20	7,86	5,00	84,55	2,60	1,44	0,21	7,00
22	8,67	5,11	83,73	2,49	1,38	0,21	6,71
24	8,19	4,95	84,47	2,40	1,33	0,20	6,60
26	8,68	5,60	83,03	2,70	1,50	0,22	6,85
28	16,75	4,94	75,61	2,70	1,50	0,19	8,09
30	14,24	4,50	78,96	2,30	1,28	0,16	7,85

Tab. 26: Aktivitäten der radioaktiven Isotope ^{137}Cs und ^{210}Pb im Sedimentkern des Schwarzen Meeres von Station 17

Sediment- tiefe [cm]	^{137}Cs [Bq kg ⁻¹]	Total ^{210}Pb [Bq kg ⁻¹]	^{226}Ra über ^{214}Pb [Bq kg ⁻¹]	Überschuß ^{210}Pb [Bq kg ⁻¹]	Jahre vor Heute nach ^{137}Cs	Jahreszahl nach ^{137}Cs
1	145,4	97,4	17,3	80,1	0	1994,5
2	171,2	108,0	26,3	81,7	1	1993,5
3	154,2	94,3	22,9	71,4	2	1992,5
4	163,3	74,9	22,2	52,7	3	1991,5
5	249,8	111,8	37,5	74,3	4	1990,5
6	242,0	93,7	32,3	61,4	5	1989,5
7	178,3	84,2	48,0	36,2	6	1988,5
8	82,8	100,0	24,0	76,0	7	1987,5
9	116,7	99,4	26,7	72,7	8	1986,5
10	48,8	88,8	28,9	59,9	9	1985,5
11	40,4	73,6	25,4	48,2	10	1984,5
12	46,4	66,7	21,4	45,3	11	1983,5
13	47,3	82,9	27,2	55,7	12	1982,5
14	51,3	53,8	31,3	22,5	13	1981,5
15	44,8	66,4	23,8	42,6	14	1980,5
16	48,4	48,7	30,3	18,4	15	1979,5
17	54,2	70,9	21,1	49,8	16	1978,5
18	54,0	71,7	29,4	42,3	17	1977,5
19	44,5	64,7	23,1	41,6	18	1976,5
20	54,4	44,4	28,6	15,8	19	1975,5
21	57,0	64,7	21,7	43,0	20	1974,5
22	52,2	75,1	22,6	52,5	21	1973,5
23	63,0	51,3	27,6	23,7	22	1972,5
24	46,1	59,7	24,0	35,7	23	1971,5
25	39,6	58,9	22,2	36,7	24	1970,5
26	42,7	51,6	22,3	29,3	25	1969,5
27	57,4	76,7	25,1	51,6	26	1968,5
28	68,0	71,6	26,4	45,2	27	1967,5
29	80,0	56,5	31,8	24,7	28	1966,5
30	78,7	45,1	25,8	19,3	29	1965,5