Rapporter och meddelanden 122

Miljökvalitet och trender i sediment och biota utmed Bohuskusten 2000/2001 – en rapport från sju kontrollprogram

Environmental quality and trends in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001 – a report from seven trend-monitoring programmes

Ingemar Cato

Sveriges geologiska undersökning
2006

ISBN 91-7158-702-0
ISSN 0349-2176

Uppdragsgivare:
Bohuskustens vattenvårdsförbund, Bvvf
Box 305
S-451 18 UDDEVALLA
Sverige
Tel.: +46 522 15980
Tel. sekr. Pege Schelander: +46 (0)705 159822
Hemsida: www.bvvf.se
E-post: Info@bvvf.se alternativt pege.schelander@bvvf.se

Perspektivbilder: Program Klotet, Envirograf AB
Omslagsbild: Ängsull på norra Kalvö, Bohuslän. Foto I. Cato 2003

© Sveriges geologiska undersökning

Redigering och layout: Ingemar Cato, SGU
Tryck: Elanders Tofters AB, Östervåla 2006

INNEHÅLLSFÖRTECKNING RAPPORTER

Abstract 4
Förord 4

Del 1. Inledning och summering av 2000/2001 års miljögiftsundersökningar av sediment och biota utmed Bohuskusten. *Introduction and summing-up of the investigations of toxic substances in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/*2001…….. 6

Del 2. Föroreningar och miljökvalitet i sediment längs Bohuskusten 2000, samt förändringar efter 1990 – Västra Götalands läns kustvattenkontroll. *Contaminants and environmental quality of sediments along the Bohu Coast in 2000 and changes after 1990 – the Coast Water Monitoring Program of Västra Götaland County*... 15

Del 3. Föroreningar och miljökvalitet i Göta Älvs sediment 2000, samt förändringar efter 1990 - Göta Älvs kontrollprogram. *Contaminants and environmental quality of the Göta Älv river sediment in 2000 and changes after 1990 – the Water Monitoring Program of Göta Älv* ……..... 187

Del 4. Föroreningar och miljökvalitet i Stenungsundsområdets sediment 2000, samt förändringar under de senaste 25 åren. *Contaminants and environmental quality of sediments in the Stenungsund area in 2000 and changes during the last 25 years* 234

Del 5. Föroreningar och miljökvalitet i Brofjordens sediment 2000, samt förändringar under de senaste 25 åren. *Contaminants and environmental quality of sediments in the Brofjorden in 2000 and changes during the last 25 years*..... 343

Del 6. Föroreningar och miljökvalitet i Gullmarens sediment 2000 samt förändringar under de senaste 20 åren - Gullmarens kontrollprogram. *Contaminants and environmental quality in the Gullmaren sediments in 2000 and changes during the last 20 years – the Water Monitoring Programme of Gullmaren*..... 448

Del 7. Föroreningar och miljökvalitet i biota längs Bohuskusten 1992-*2001* – förändringar, belastning och samband. *Contaminants and environmental quality in biota along the Bohus Coast 1992-2001 - trends, load and relationship.* …….……... 479

Del 8. Föroreningar och miljökvalitet hos blåmussla i Göteborgs skärgård 2001 samt förändringar under de senaste 10 åren. *Contaminants and environmental quality in blue mussel in the Göteborg archipelago in 2001, and changes during the last 10 years*…… 602

Preface

Cato, I., 2006: Environmental quality and trends in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001 - a report from seven trend-monitoring programmes. *Geological Survey of Sweden, SGU Rapporter och Meddelanden no. 122,* 1-620. Uppsala ISBN 91-7158-702-0.

The Swedish coastal area of Skagerrak and northern Kattegat have for several decades been receiving contaminants, toxic heavy metals and organic micropollutants, from mainly the urbanized and industralized areas of the Swedish Bohus Coast, but also from inland regions. Contaminants are also transported from Europe to this area by winds and sea currents. The growing concern about this potential environmental threat has led to the demand that several large industries and water concervation associations have to follow the environmental quality by repeated monitoring, among others sediment studies.
The present volume of the SGU report series comprises a collection of seven papers dealing with trend monitoring programmes carried out along the Swedish Bohus Coast of Skagerrak and Kattegat. This holds for the monitoring programmes of the Brofjorden, the Gullmarsfjorden, the Halsefjorden, the Askeröfjorden, the Göta Älv river, the Gothenburg archipelago and the entire coast of the Bohus County. Some programmes started as early as in 1972 and have served as patterns to similar programmes built up along other parts of the Swedish coast. The latter is in particular valid to the monitoring programme of the Göteborg and Bohus County Water Conservation Association.

Dr Ingemar Cato, Geological Survey of Sweden, Box 670, S-751 28 Uppsala, Sweden.

FÖRORD

Under en lång rad av år har den svenska Bohuskusten, i likhet med många andra kustavsnitt, fått ta emot föroreningar från främst industrier, jordbruk och samhällen belägna utmed kusten, men också andra urbaniserade områden inom hela dräneringsområdet har bidragit. Föroreningar från övriga Europa transporteras också i viss mån till kustregionen med hjälp av vindar och havsströmmar. Denna transport är emellertid vanligen underordnad de egna utsläppen. Europas kustområden är belastat av gödande ämnen ett ohållbart uttag av fisk, föroreningar och utsläpp från sjöfarten. Den växande oron över de toxiska och svårnedbrytbara ämnenas hot mot miljön har under senare delen av 1900-talet nationellt resulterat i krav på att ett antal större industrier, länsstyrelser och vattenvårdsförbund skall följa miljöutvecklingen genom upprepad omgivningskontroll av bl a miljögifter i sediment och biota.

Implementeringen av EU:s vattendirektiv från 2000 med tillhörande dotterdirektiv förstärker ytterligare behovet av sådan omgivningskontroll i syfte att upprätthålla en god vattenkvalité inom unionen. Vattendirektiven (*Dir 2000/60EG om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område*) omfattar förutom grundvatten, sjöar och vattendrag också kustvatten. EU-kommissionen har dessutom framlagt ett förslag till en marin strategi (*Thematic Strategy on the Protection and Conservation of the Marine Environment*) med ett marint direktiv (*Proposal for a Directive Establishing a Framework for Community Action in the Field of Marine Environmental Policy*). Strategin stöder en ekosystembaserad och regional ansats för ett effektivare skydd av den marina miljön i europeiska havsområden. Inom OSPAR (*Oslo-Paris-kommissionen; Konventionen för skydd av den marina miljön i Nordostatlanten*) och HELCOM (*Helsingforskommissionen; Konventionen om skydd*

av Östersjöområdets marina miljö) pågår sedan länge arbeten med bl a utformande av riktlinjer och uppföljning av miljöutvecklingen i havet samt numera också anpassning av mätprogram och analysverksamhet till vattendirektivet och EU-förslaget till marint direktiv. Vetenskaplig rådgivning sker främst genom ICES (*International Council for the Exploration of the Sea*).

I Sverige är miljöarbetet för havsmiljön kopplat till miljökvalitetsmålen; *Giftfri miljö*, *Ingen övergödning* och *Hav i balans samt levande kust och skärgård*. I syfte att bättre främja detta arbete har regeringen nyligen presenterat en nationell strategi för havsmiljön. I strategin tar regeringen utgångspunkt i att en ny förvaltning av havet bör införas som baseras på ekosystemansatsen. Den nya havsmiljöförvaltningen ska enligt regeringen bygga på en ökad samordning mellan myndigheter med havsmiljörelaterad verksamhet, ökad lokal delaktighet, bred samverkan mellan aktörer samt regional samordning. I sak lyfter regeringen fram behovet av ett förbättrat skydd för arter, miljöer och ekosystem, ett hållbart nyttjande av havet i havsanknutna näringar, ett förstärkt arbete med planering, miljöövervakning, information och forskning.

Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf) är sedan 15 år tillbaka en viktig aktör inom den marina miljöövervakningen av Västra Götalands läns kustavsnitt.

Föreliggande volym omfattar en redovisning och utvärdering av 2000/2001 års miljögiftundersökningar av sediment och biota inom olika miljöövervakningsprogram som numera med fem års intervall genomförs utmed hela eller delar av Bohuskusten. Den biologiska matrisen omfattar blåstång, blåmussla, tånglake, torsk och krabbtaska utmed hela Bohuskusten samt ett separat program för blåmussla i Göteborgs skärgård. Utvärderingarna har genomförts i ljuset av tidigare undersökningar. Därmed har både samband, belastning och trender varit möjliga att bedöma.

Resultaten av utvärderingarna redovisas i sju separata och från varandra fristående rapporter omfattande respektive miljöövervakningsprogram. Dessa avser Preemraff Lysekils omgivningskontroll av Brofjorden, länsstyrelsens kontrollprogram för Gullmarens naturreservat, Stenungsundsindustriernas kontrollprogram för Askerö- och Halsefjord, Göta älvs vattenvårdsförbunds kontrollprogram för Göta älv, samt Bohuskustens vattenvårdsförbunds kontrollprogram för hela Bohuskusten avseende både sediment och biota. Vissa av dessa kontrollprogram startade redan i början på 1970-talet och tjänar i viss mån som mönster för liknande kontroller utmed andra svenska kustavsnitt. Det senare gäller i synnerhet Bohuskustens kontrollprogram.

Inledningsvis presenteras en kort sammanvägd sammanfattning av samtliga resultat (avsnitt 1). En mer fyllig sammanfattning på både svenska och engelska ges under respektive fristående rapport (avsnitt 2-8).

Utvärderingen har utförts på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf). Jag riktar ett varmt tack till alla inblandade och särskilt till ledningen och styrelsen för Bohuskustens vattenvårdsförbund.
Ingemar Cato

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Rapporter och meddelanden nr 122

Del 1

Ingemar Cato

Inledning och summering av 2000/2001 års miljögiftsunder-sökningar av sediment och biota utmed Bohuskusten

Introduction and summing-up of the investigations of toxic substances in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001

Uppsala 2006

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Abstract……. 8
1.1 Marin miljögiftsövervakning i Sverige……...……... 8
1.2 Svenska bedömningsgrunder…….. 9
1.3 Summering av resultaten från Bohuskustens olika kontrollprogram..... 10
1.4 Referenser…… 15

Abstract

Cato, I., 2006: *Introduction and summing-up of the investigations of toxic substances in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/*2001. *In* Cato, I. (ed.) Environmental quality and trends in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001 - a report from seven trend-monitoring programmes. *Geological Survey of Sweden, SGU Rapporter och Meddelanden no. 122,* pp. 6-14. Uppsala ISBN 91-7158-702-0.

This paper gives a short presentation of Swedish marine trend monitoring programmes for contaminants in general and in particular the programmes run along the Bohus Coast. In addition some aspects of the Swedish environmental criteria of marine sediment and biota are given, and in a short summary the results from the different trend monitoring programmes presented in this volume are outlined.

Dr Ingemar Cato, Geological Survey of Sweden, Box 670, S-751 28 Uppsala, Sweden.

1.1 Marin miljögiftsövervakning i Sverige

Tungmetaller och persistenta organiska föreningar härrörande från olika former av utsläpp till sjöar, floder och havet lagras förr eller senare in i bottensedimenten. Sediment har därför kommit att bli ett viktigt verktyg i miljöövervakningen. I synnerhet sediment från lugna sedimentationsmiljöer utmed kusterna och i estuarier (flodmynningsområden), som geologiskt sett har en hög sedimentationshastighet, har befunnits användbara.

Ett vanligt förekommande tillvägagångssätt med syfte att följa utvecklingen och tillförseln av miljögifter har varit att upprätta ett antal fasta sedimentstationer i den havsmiljö som skall övervakas. Beroende på sedimentationshastigheten tas sedan för analys ytsedimentprov från dessa stationer med jämna intervall, vanligen fem år. Intervallet mellan provtagningarna bör vara tillräckligt långt så att vid varje ny provtagning den tidigare provtagna sedimentytan hunnit bli begravd med minst ca 10 mm färskt sediment. Om enbart det nysedimenterade materialet tas ut vid varje provtagningsomgång blir det härigenom möjligt att följa utvecklingen och ändringarna i belastningen av miljögifter på stationen ifråga. Med ett större antal stationer inom ett begränsat område, t ex en fjord, blir bedömningarna av miljöutvecklingen säkrare.

Marin miljöövervakning baserad på sediment genomförs i Sverige inom i huvudsak tre olika typer av program: (1) Nationell miljöövervakning av öppet hav, (2) Regional miljöövervakning av kustavsnitt och (3) Recipientkontroll av begränsade områden, t ex en fjord eller havsvik. Motsvarande program finns också för bl a hydrografi och biologi.

Den *nationella miljöövervakningen* av marina sediment startade 2003 och omfattar 16 utsjöstationer utspridda inom svenskt territorialhav och svensk ekonomisk zon (EEZ) från Skagerrak i väster till Bottenviken i norr (Cato 2005). Den nationella miljöövervakningen ligger under Naturvårdsverket men genomförandet har placerats vid Sveriges geologiska undersökning (SGU).

Den *regionala miljöövervakningen* omfattar olika kustavsnitt, vanligen inom ett eller flera län. Länsstyrelser, kustvattenvårdsförbund och/eller älvvattenvårdsförbund samordnar och beställer vanligen denna typ av övervakning. I föreliggande rapport ingår två sådana program, dels Bohuskustens vattenvårdsförbunds miljögiftsövervakning, dels Göta älvs vattenvårdsförbunds miljökontroll.

Recipientkontrollen, är av lokal karaktär och utgör vanligen en del i omgivningskontrollen av tyngre industrier. Denna typ av övervakning hänger normalt samman med de krav som miljömyndigheterna ställer på utövare av miljöfarlig eller miljöpåverkande verksamhet. I föreliggande rapport ingår två sådana kontrollprogram, dels i Brofjorden (Preem Raff Lysekil), dels i Askerö- och Halsefjord (petrokemisk industri i Stenungsund). Recipentkontroll kan också ingå i övervakningen av särskilt värdefulla naturområden, t ex Gullmarens kontrollprogram.

På motsvarande sätt bedrivs övervakning av miljögifter i biologiskt material. Vilka djur och växter som nyttjas i denna typ av övervakning varierar från kustavsnitt till kustavsnitt, beroende på artfördelningen i de svenska havsområdena.

Föreliggande volym omfattar 7 olika separata och fristående rapporter från lika många miljöövervakningsprogram där fem av programmen omfattar redovisning från miljöövervakning baserad på miljögifter/föroreningar i sediment, och två av programmen omfattar redovisning av miljögifter/föroreningar i biologiskt material (blåstång, tånglake, blåmussla, torsk och krabba).

Vilka ämnen och föreningar som ingått i undersökningarna presenteras i inledningskapitlen till varje rapport. För mer information om de olika undersökta ämnena/föreningarna hänvisas till kapitel 1 i en tidigare rapport presenterad från dessa miljökontrollprogram (Cato 1997) samt till en sammanställning av information om i denna volym behandlade ämnen/föreningar som analyseras på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Söderlund 2004). Information om tolkningsmetodik (gradientmetoden, kvoter, sedimentationshastighet, mm) återfinns också i bl a först nämnda rapport (Cato 1997 samt i Cato 1977, 1983, 1989).

1.2 Svenska bedömningsgrunder

Grundämnen och många kemiska föreningar förekommer naturligt runt om i miljön, men förhöjda halter kan ha uppkommit till följd av naturliga anrikningsprocesser eller genom antropogen tillförsel. Det senare förknippas ofta och också helt riktigt med vårt moderna industrisamhälle, men har även före-

kommit långt före industrialismen. Ett av de äldsta kända exemplen är Romarnas utvinning av bly för mer än 2 000 år sedan. Deras primitiva smältverk gav upphov till en omfattande atmosfärisk spridning av bly, bl a upp till våra breddgrader, vilket dokumenterats i svenska sjösediment (Renberg *et al.* 1994).

Många metaller är livsnödvändiga för organismer, t ex Fe, Cu, Co, Cr, Mn och Zn. Vid förhöjda halter kan dock giftverkan uppstå. Tolerensen mot skadliga effekter av förhöjda halter varierar mellan olika metaller men också mellan olika arter och organismgrupper. Kadmium, kvicksilver och bly är exempel på metaller där marginalen mellan naturlig halt och förhöjd, skadlig halt är liten hos människa och däggdjur. Inom ramen för Oslo-Paris-kommissionen (OSPAR) har man enats om s k EAC-värden (Ecotoxicological assessment criteria) vilka är uttryckta som det ämnesspecifika koncentrationsintervall under vilket skadliga effekter ej kan förväntas på den känsligaste arten i ekosystemet. Varje EAC-värde är baserat på 1/10 av det lägsta uppmätta NOEC-värde (no effect concentration) som rapporterats i litteraturen för ämnet ifråga. Detta innebär att inga biologiska effekter kan förväntas när koncentrationen ligger under detta värde. EAC-värdena grundar sig således dels på experiment dels på ett teoretiskt resonemang.

Eftersom koncentrationerna varierar i olika miljöer kan man utgå ifrån att organismerna anpassats till den miljö de levat i under generationer. Detta innebär att vid val av bedömningsgrunder för naturliga ämnen måste man utgå från de naturliga bakgrundsvärden som fanns i miljön innan människan störde den. Dessa värden kan vara olika för olika regioner beroende på bergrund, sedimenttyper etc. Mot bakgrund av denna kunskap har man i flera länder utarbetat bedömningsgrunder, dvs riktvärden för tillståndsklassificering av vatten, sediment och organismer. Information om de svenska bedömningsgrunderna för kust och hav återfinns dels i tryckt form (Naturvårdsverket 1999), dels på Naturvårdsverkets hemsida (www.naturvardsverket.se). Dessa bedömningsgrunder har i huvudsak nyttjats i föreliggande arbete kompletterat med norska kriterier där svenska sådana saknas (SFT 1993).

1.3 Summering av resultaten från Bohuskustens olika kontrollprogram

Sedimenten utmed Bohuskusten, från Strömstad i norr till Göteborgs södra skärgård i söder, har på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf) undersökts år 2000 med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar. Drygt ett 100-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på 14 stationer utmed hela Bohuskusten, samt inom ramen för respektive lokalt miljöövervakningsprogram på 14 stationer i Stenungsundsområdet, 8 stationer i Brofjorden, 1 station i yttre Gullmaren och 2 stationer i Göta älv.

Ytsedimentproverna (0-1 cm) har i allmänhet analyserats (avvikelser förekommer) med avseende på totalkol (TC), oorganiskt kol (IOC), totalt organiskt kol (TOC), totalkväve (tot-N), totalfosfor (tot-P), metaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), totalkolväten (THC), polycykliska aromatiska kolväten (16 PAH), metylnaftalener, polyklorerade bifenyler (7 PCB), plana PCB (no-

norto-PCB), klorbensener (pe-CB, HCB), oktaklorstyren (OCS), lindan (γ-HCH), polyklorerade dibensodioxiner (PCDD), dibensofuraner (PCDF), halogenerade alifater, monoaromater (BTEX), polybromerade difenyletrar (PBDE, dekaBDE), ftalater, klorfenoler, klorgujakoler, fetsyror, organiska tennföreningar (TBT) parallellt med bestämning av sedimentationshastighet, kornstorleksfördelning, vattenhalt och struktur med hjälp av radiografi.

Det biologiska materialet (blåstång, tånglake, blåmussla, torsklever, torskfilé) undersöktes på 5-8 stationer och krabbtaska på 2 stationer. Proverna har i allmänhet analyserats på motsvarande parametrar, dock ej näringsämnen och sedimentspecifika parametrar.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av denna fas, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. Studien ingår som ett led i vattenvårdsförbundets kustvattenkontroll, omfattande bl. a. kontroll och bedömning av sedimentkvaliteten och biota vart femte år.

Resultaten från de olika undersökningarna visar att berörda kemikalier återfinns i varierande mängder inom hela undersökningsområdet både i sedimenten och den biologiska matris som undersökts.

I figur 1:1 sammanfattas miljökvalitet i både biota och sediment utmed Bohuskusten vad avser de ämnen/föreningar där svenska alternativt norska gränsvärden finns att tillgå. Siffrorna visar hur antalet miljöövervakningsstationer för respektive media fördelar sig för varje ämne och tillståndsklass. Resultaten visar att ytsedimenten (0-1 cm) på de flesta stationerna vad avser metaller faller i klasserna 1-3, dvs halterna är mycket låga till medelhöga enligt svenska bedömningsgrunder. Låga halter motsvarar den naturliga bakgrunden i sediment, medan låga till medelhöga halter visar på en successivt ökad diffus påverkan som i allmänhet förekommer i urbaniserade/industrialiserade områden utan direkt inverkan från punktkällor. Klasserna 4 och 5 däremot visar på varierande grad av inverkan från punktkällor. Resultaten visar att endast på tre stationer (bl a Göta älv) är halterna av kvicksilver (Hg) och arsenik (As) höga respektive mycket höga i sedimenten.

Halterna av Hg och As i tånglake är också höga till mycket höga på i stort sett samtliga stationer där tånglake infångats. Detsamma gäller för tenn (Sn) i blåmussla. I blåstång förekommer höga halter av bly (Pb) och krom (Cr) på hälften eller mer än hälften av övervakningsstationerna. Svenska bedömningsgrunder finns inte för alla metaller och alla biologiska media. Dessa fält är därför tomma i diagrammen. Detta gäller också organiska miljögifter med undantag för blåmussla och torsk där norska bedömningsgrunder finns att tillgå för några ämnen. Klassificeringen enligt dessa visar med något undantag på mycket låga till låga halter (klasserna 1-2) i blåmussla och torsk utmed Bohuskusten.

Blåstång Bvvf 2001 — Ämne/förening	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)	4	3	1		
Bly (Pb)	1	1	1	5	
Kadmium (Cd)	6		1	1	
Koppar (Cu)	4	1	3		
Krom (Cr)		1	3	4	
Kvicksilver (Hg)					
Nickel (Ni)	8				
Tenn (Sn)					
Zink (Zn)	2	6			
*Sum 11 PAH **					
*Sum 7 PCB **					
*HCB **					
*TE nordisk **					

** enligt SFT*

Tånglake Bvvf 2001 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)					5
Bly (Pb)	5				
Kadmium (Cd)	5				
Koppar (Cu)	3	2			
Krom (Cr)					
Kvicksilver (Hg)			1	3	1
Nickel (Ni)	5				
Tenn (Sn)					
Zink (Zn)					
*Sum 11 PAH **					
*Sum 7 PCB **					
*HCB **					
*TE nordisk **					

Blåmussla Bvvf 2001 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)					
Bly (Pb)	3	4		1	
Kadmium (Cd)	6	2			
Koppar (Cu)	8				
Krom (Cr)					
Kvicksilver (Hg)	8				
Nickel (Ni)	3	4			1
Tenn (Sn)		1		1	6
Zink (Zn)					
*Sum 11 PAH **	8				
*Sum 7 PCB **	5	2	1		
*HCB **		3			
*TE nordisk **	7	1			

Bedömningsgrunder	
Klass 1	*Bakgrund / Mycket låg halt*
Klass 2	*Låg halt*
Klass 3	*Medelhög halt*
Klass 4	*Hög halt*
Klass 5	*Mycket hög halt*

Torsklever Bvvf 2001 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)	4	1			
Bly (Pb)					
Kadmium (Cd)					
Koppar (Cu)					
Krom (Cr)					
Kvicksilver (Hg)					
Nickel (Ni)					
Tenn (Sn)					
Zink (Zn)	5				
*Sum 11 PAH **					
*Sum 7 PCB **					
*HCB **					
*TE nordisk **					

Torskfilé Bvvf 2001 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)		2			
Bly (Pb)					
Kadmium (Cd)					
Koppar (Cu)					
Krom (Cr)					
Kvicksilver (Hg)					
Nickel (Ni)					
Tenn (Sn)					
Zink (Zn)	2				
*Sum 11 PAH **					
*Sum 7 PCB **					
*HCB **					
*TE nordisk **					

Sediment Bvvf 2000 — Ämne/förening	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)	3	9	1		1
Bly (Pb)		11	3		
Kadmium (Cd)	10	1	3		
Koppar (Cu)		11	3		
Krom (Cr)	11	3			
Kvicksilver (Hg)		7	6	1	
Nickel (Ni)	14				
Zink (Zn)	5	8	1		
Sum 11 PAH		3	2	8	1
Sum 7 PCB		3	9	2	
Tot PCB		3	10	1	
HCB		1	9	4	
Lindan (γ-HCH)			2		
*TOC**	7	6	1		
*TN**	3	9	2		
*THC**		14			
TE nordisk	2	2	1		
*pe-CB**	14				
*OCS**	14				

** enligt SFT*

Sediment Stenungsund 2000 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)	5	9			
Bly (Pb)	7	7			
Kadmium (Cd)	12	2			
Koppar (Cu)	1	12	1		
Krom (Cr)	12	2			
Kvicksilver (Hg)	1	13			
Nickel (Ni)	14				
Zink (Zn)	10	4			
Sum 11 PAH		6	6	2	
Sum 7 PCB		8	6		
Tot PCB		11	3		
HCB			2	7	5
Lindan (γ-HCH)					
*TOC**	14				
*TN**	2	12			
*THC**	6	8			
TE nordisk					
*pe-CB**	12	2			
*OCS**	14				

Sediment Göta älv 2000 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)	2				
Bly (Pb)	1		1		
Kadmium (Cd)		1	1		
Koppar (Cu)			2		
Krom (Cr)			2		
Kvicksilver (Hg)		1		1	
Nickel (Ni)	2				
Zink (Zn)		1	1		
Sum 11 PAH			1	1	
Sum 7 PCB				1	1
Tot PCB			1		1
HCB			1		1
Lindan (γ-HCH)					
*TOC**	2				
*TN**	2				
*THC**		2			
TE nordisk					
*pe-CB**	2				
*OCS**	2				

Sediment Brofjorden 2000 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)	1	6			
Bly (Pb)	1	4	2		
Kadmium (Cd)	2	2	3		
Koppar (Cu)		7			
Krom (Cr)	7				
Kvicksilver (Hg)		7			
Nickel (Ni)	7				
Zink (Zn)	4	3			
Sum 11 PAH			1	6	
Sum 7 PCB		2	5		
Tot PCB		4	3		
HCB					
Lindan (γ-HCH)					
*TOC**	1	3	3		
*TN**		3	4		
*THC**	3	3	1		
TE nordisk					
*pe-CB**					
*OCS**					

Sediment Gullmaren 2000 GK 2 — Antal stationer	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Arsenik (As)			1		
Bly (Pb)		1			
Kadmium (Cd)	1				
Koppar (Cu)		1			
Krom (Cr)	1				
Kvicksilver (Hg)		1			
Nickel (Ni)	1				
Zink (Zn)	1				
Sum 11 PAH				1	
Sum 7 PCB			1		
Tot PCB			1		
HCB					
Lindan (γ-HCH)					
*TOC**	1				
*TN**		1			
*THC**		1			
TE nordisk					
*pe-CB**					
*OCS**					

Figur 1:1. Sammanfattning av miljökvaliteten i biota (överst) och sediment (nedan) inom olika områden utmed Bohuskusten år 2000/2001. Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999, 2005) utom i fem fall (markerade med *) där norskt klassificeringschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts. *Summary of the environmental quality of biota (the upper)* and *sediment (the lowest) in different areas of the Bohus Coast in 2000/2001. The figures refer to the number of stations within each class. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in five cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*

De svenska bedömningsgrunderna för organiska miljögifter i ytsedimenten visar att merparten av övervakningsstationerna håller halter som är mycket låga till medelhöga (klasserna 1-3). Dock kan konstateras att höga halter av polycykliska aromatiska kolväten (PAH) förekommer på ett stort antal stationer utmed hela kusten, men att Brofjorden främst i sticker ut i detta sammanhang. Ett litet antal stationer visar på höga halter av polyklorerade bifenyler (PCB), medan halterna av hexaklorbensen (HCB) är höga till mycket höga (klasserna 4-5) i främst Stenungsundsområdet. Halterna av pentaklorbensen (peCB) och oktaklorstyren (OCS) är mycket låga utmed kusten. Även toxitetsekvivalenten (TE Nordisk) för dioxiner/furaner är låg på de platser där den undersökts. För

variationer och fördelning av övriga kemikalier i sediment och biota hänvisas till respektive rapport 2-8 (denna volym).

Den sammantagna utvecklingstrenden utmed hela Bohuskusten med avseende på medelvärdeskoncentrationen av metaller och organiska miljögifter i undersökt biota mellan 1992/93 och 2001 illustreras tillsammans med sedimentdata från samma stationer i figur 1:2. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. I syfte att erhålla en mer allmängiltig bild av koncentrationsförändringen i respektive biologiskt media har respektive medelvärde över stationernas data testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n-1) frihetsgrader för matchade datapar. Härigenom har den statistiska sannolikheten (*p*) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. I vissa fall saknas data från 1992/93 alternativt var detektionsgränserna för höga 2001 för att en trend skall kunna bedömas. Motsvarande trender mellan de olika undersökningsomgångarna 1992/93, 1997/98 och 2001 redovisas i rapport 7 (denna volym).

Bvvf Ämne/förening	Sediment Förändring Trend 1990-2000			Blåmussla Förändring Trend 1992-2001			Blåstång Förändring Trend 1992-2001			Tånglake Förändring Trend 1993-2001			Torsklever Förändring Trend 1993-2001		
	Klass		%	Klass		%	Klass		%	Klass		%			%
Arsenik (As)	2	↗	17				2	↘	-34	5		?			
Bly (Pb)	2	↗	7	2	↘	-27	4	↗	-9	1	↘	-86			
Kadmium (Cd)	1	↗	49	1	↘	-41	1	↘	-31	1	↘	-88		↘	-57
Koppar (Cu)	2	↗	5	1	↘	-41	3	↘	-33	1	↘	-70			
Krom (Cr)	1	↗	6				4	↘	-22		↘	206			
Kvicksilver (Hg)	2	↘	-46	1	↘	-94		↘	-91	4	↘	-74		↘	-74
Nickel (Ni)	1	↗	15	2	→	-6	1	↘	-63	1	↘	-84			
Tenn (Sn)		↗	215	5	↗	190		↗	67		↘	81			
Vanadin (V)		↗	18					↘	-80		↘	-85			
Zink (Zn)	1	↘	-17				2	↘	-55		↘	-15			
Sum 16 PAH	3	↗	16												
1-metylnaftalen															
2-metylnaftalen															
Tot PCB	2	↘	-66		↗	79								↘	-33
Sum 7 PCB	3	↘	-81		↗	95					↗	68		↘	-23
HCB	4	↘	-92		→	-4									
TBT					↗	17									
DBT					↘	-17									
Sum PCDD-PCDF		↘	-64												

Sannolikhet/*Probability*
p>99 %
p>95 %
p>90 %
p>75 %
p<75 %

Miljökvalitet/*Environmental quality*	
1	Klass 1
2	Klass 2
3	Klass 3
4	Klass 4
5	Klass 5

Tabell 1:2. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i sediment, blåmussla, blåstång, tånglake och torsklever utmed Bohuskustens mellan 1990 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10 % som baserat på reproducerbarheten vid den kemiska analysen krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna bedömas. Grönmarkerade fält i sedimentkolumnen markerar förändringar som är större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn, krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. *Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1990 and 2001 in sediment, blue mussel, bladder wrack, eel-pout and cod liver from the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas in biota matrix mark changes bigger than the minimum of 10 % due to the precision of chemical analyses . Green areas in the column of sediment mark changes bigger than the minimum of 20 and 35 % needed to detect changes with a high significance in a five-years sampling interval.*

Sediment Ämne/förening	Bvvf Förändring Trend 1995-2000 n = 14	%	Stenungsund Förändring Trend 1995-2000 n = 14	%	GÄV 1 Förändring Trend 1995-2000 n = 1	%	Brofjorden Förändring Trend 1995-2000 n = 8	%	Gullmaren GK2 Förändring Trend 1995-2000 n = 1	%
Tot kol (TC)	↗	6,5	↘	-13	↘	-9	↗	4	↘	-8
Oorg kol (OOC)	↘	-35	↘	-45	↘	-54	↘	-31	↘	-28
Tot org kol (TOC)	↗	20	↘	-6	↘	-5	↗	13	→	1
Tot kväve (TN)	↗	2,6	↘	-13	↘	-18	↘	-2	↘	-10
C/N	↗	20	↗	9	↗	16	↗	13	↗	12
Total fosfor (TP)	↗	27	↗	40	↗	55			→	0
Arsenik (As)	↘	-25	↘	-23	↘	-14			↗	116
Bly (Pb)	↗	14	→	-4	↗	3	↗	22	↘	-12
Kadmium (Cd)	↗	69	↗	16	↘	-15	↗	49	↘	-19
Koppar (Cu)	↗	18	↘	-15	↘	-8	↗	20	↘	-58
Krom (Cr)	↘	7	↘	-11	↘	-3			↘	-18
Kvicksilver (Hg) *	↘	-17	↘	-43	↗	29	↗	40	↘	-57
Mangan (Mn)	↘	-3,1								
Nickel (Ni)	↘	19	→	0	↗	4	↘	-17	→	-3
Tenn (Sn)	↗	15	↘	-7	↗	13			↗	20
Vanadin (V)	↗	5,4	↘	-13	↘	-13	↘	-5	↘	-70
Zink (Zn)	↘	-21	↘	-39	↘	-36	↘	-25	↘	-43
Totalkolväte (THC)	↗	56	↘	-90	↘	-70	↘	-50	↘	-53
Sum 16 PAH	↗	48	↘	-30	↘	-18	↗	10	↗	22
Sum 7PCB	↗	-59	↘	-78	↘	-59	↘	-143	↘	-55
Tot PCB	↘	-29	↘	-62			↘	-23	↘	-55
Sum nonorto-PCB	↘	-60			↘	-74				
pentaCB	↘	-45	↘	-25	↘	-27				
HCB	↘	-19	↘	-25	↘	-39				
OCS	↘	-86	↘	-73	→	0				
Bensen	↘	-100	↘	-99	→	0				
Toluen	↘	-97	↘	-99	↗	28				
Sum Etylbensen/xylener	↘	-95	↘	-95						
Sum PCDD-PCDF	↘	-81								
Lindan	↘	-63								
Dibutylftalat	↘	-99								
Butylbensylftalat	↘	-90								
Di-(2-etylhexyl)ftalat	↘	-85								

Sannolikhet/*Probability*
p>99 %
p>95 %
p>90 %
p>75 %
p<75 %
1 station/1 site

Figur 1:3. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i ytsediment (0-1 cm) i olika områden utmed Bohuskusten mellan 1995 och 2000. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn, krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. *Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds in the superficial sediments (0-1 cm) in different areas of the Bohus Coast between 1995 and 2000. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 35 % needed to detect changes with a high significance in a five-years sampling interval.*

Till övervägande del är trenderna samstämmiga mellan de olika medierna i den studerade biologiska matrisen och i allmänhet visar dessa, med mer än 90 % sannolikhet, på sjunkande medelvärden för metaller mellan 1992/93 och 2001. Enda undantag utgör tenn (Sn) som ökat under perioden, vilket också tributyltenn (TBT) och PCB gjort i blåmussla samt i det senare fallet även i tånglake. I torsklever däremot har PCB-halterna minskat.

Resultaten av trendanalysen står i god samklang med ovan presenterade miljökvalitetsförändringar baserade på förskjutningarna av stationer mellan tillståndsklasserna mellan de tre undersökningsomgångarna. Sammantaget kan

konstateras att förhållandena med avseende på miljögifter i biologiskt material, med några undantag, förbättrats utmed Bohuskusten under 1990-talet.

Anmärkningsvärt är att trenderna för sediment mellan 1990 och 2000 på dessa stationer i allmänhet är de omvända. Metallhalterna och PAH ökar medan koncentrationen av PCB, HCB och dioxiner/furaner sjunker. Detta indikerar att sedimenten utgör en sänka för metaller och PAH, medan biota sannolikt ackumulerar organiska miljögifter. Minskningen av organiska miljögifter i sedimenten speglar sannolikt en minskad emission från samhället.

Utvecklingstrenden för samtliga sedimentstationer inom respektive miljöövervakningsprogram under den senaste perioden 1995-2000 redovisas på samma sätt i figur 1:3 (ovan). Även i dessa fall är samstämmigheten stor med sjunkande halter av organiska miljögifter i sedimenten, medan metallerna visar på varierande trender dock med en viss övervikt för sjunkande eller oförändrade halter As, Hg, Ni, V och Zn. Halterna av Pb, Cd och framförallt Sn ökade på flertalet platser under motsvarande period.

Sammantaget kan konstateras att förhållandena med avseende på miljögifter i sediment och biologiskt material, med några undantag, successivt förbättrats utmed Bohuskusten under 1990-talet. Ett resultat som visar att vidtagna reningsåtgärder inte varit förgäves för miljön. På den negativa sidan är ökande PAH-halter och en omfattande spridning av flamskyddsmedel (PBDE) och den påväxthämmande kemikalien TBT som ingår i numera förbjudna båtbottenfärger.

1.4 Referenser

Cato, I., 1977: recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1989: Normalization of heavy metal data by the gradient method. ICES, C.M. 1989/E:2, Annex 6, pp 88-108. Copenhagen.

Cato, I., 1997: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges Geol. Unders. Rapp & Medd, 95*, 193-266. Uppsala.

Cato, I., 2005: The national Swedish status and trend monitoring programme based on chemical contaminaton in offshore sediment – An overview of the results from 2003. *SGU-rapport2005:25*, 20 s. Uppsala.

Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.

Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.

Renberg, I., Wik Persson, M. & Emteryd, O., 1994: Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments. *Nature 368*, 323-326.

SFT 1993: Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miiljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.

Söderlund, H., 2004: Miljöföroreningar I havet. En kort presentation av ämnen som analyseras i Bohuskustens vattenvårdsförbund undersökningsprogram. Rapport Bohuskustens vattenvårdsförbund 2004-11-01, 47 s. (www.bvvf.se).

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Rapporter och meddelanden nr 122

Del 3

Ingemar Cato

Föroreningar och miljökvalitet i Göta Älvs sediment 2000 samt förändringar efter 1990 - Göta Älvs kontrollprogram

Contaminants and environmental quality of the Göta Älv river sediment in 2000 and changes after 1990 - the Water Monitoring Program of Göta Älv

Uppsala 2006

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Abstract 189
3.1. Inledning 189
3.2 Undersökningsområde 191
3.3 Metoder 194
3.4 Analyser 195
3.5 Resultat 197
3.5.1 Kornstorleksfördelning och sedimenttyper 197
3.5.2 Sedimentens färg och grad av bioturbering..... 198
3.5.3 Vattenhalt samt förändringar efter 1990 198
3.5.4 Totalkol och oorganiskt kol samt förändringar efter 1990 198
3.5.5 Organiskt kol samt förändringar efter 1990 200
3.5.6 Totalkväve samt förändringar efter 1990 201
3.5.7 Kol-kvävekvoten (C/N) samt förändringar efter 1990 202
3.5.8 Totalfosfor samt förändringar efter 1990 203
3.5.9 Tungmetaller samt förändringar efter 1990 204
3.5.10 Totalanalys av tungmetaller 208
3.5.11 Totalkolväten samt förändringar efter 1990……..... 208
3.5.12 Polycykliska aromatiska kolväten samt förändringar efter 1990. 210
3.5.13 Metylnaftalener……..... 212
3.5.14 Polyklorerade bifenyler samt förändringar efter 1990..... 213
3.5.15 Plana PCB samt förändringar efter 1995…….…..…… 215
3.5.16 Klorbensener och klorstyren samt förändringar efter 1990..... 216
3.5.17 Halogenerade alifater (haloformer) samt förändringar efter 1995 219
3.5.18 Monoaromater samt förändringar efter 1995..... 220
3.5.19 Polybromerade difenyletrar 222
3.5.20 Klorfenoler…… 223
3.6 Sammanfattning 225
3.7 Summary 229
3.8 Referenser 231

Abstract

Cato, I., 2006: Contaminants and environmental quality of the Göta Älv river sediment in 2000 and changes after 1990 - the Water Monitoring Program of Göta Älv. Geological Survey of Sweden, SGU Rapporter och Meddelanden no. 122, 187-233. Uppsala ISBN 91-7158-702-0.

Surface sediment samples collected from 2 sites along the Göta Älv river between Nödinge and Göteborg city, in south-western Sweden, were analysed for total organic carbon, inorganic carbon, total nitrogen, total phosphorus, heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), total hydrocarbons (THC), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), methylnaphtalenes, polychlorinated biphenyls (PCB), nonortho-PCBs, chlorobenzenes (pe-CB, HCB), octachlorostyrene (OCS), some aliphatic halogen compounds, some mono-aromatic compounds (BTEX), some polybrominated diphenylethers (PBDE) and some chlorophenols with simultaneously determinations of grain-size distribution and water content. The main purposes were: 1) to describe the present status of the sampling sites, 2) to identify the changes that have taken place between 1990, 1995 and 2000, and 3) to try to clarify whether any unknown or unwanted loads of contaminants exist along the river. A comparison with corresponding studies carried out in the Skagerrak and Kattegat has been made. The results show that the most urbanized area, i.e. Göta Älv estuary, in general was moderately to obviously contaminated with respect to most of the elements and compounds studied, and severely contaminated with respect to Hg, PCB, HCB and PAHs. With the exception of Cu, Cr, PCB, HCB and PAHs, the river was not or slightly contaminated upstreams Göteborg. With respect to the bioturbation factor the trend of the changes in sediment quality between 1990 and 1995 demonstrated a moderate to strongly significant increase of tot-P, and a corresponding decrease of the concentrations of Zn, THC, PCB, nonortho-PCB and HCB. In a ten-year perspective (1990-2000) the concentrations of TN, tot-P, Ni, Sn och V have increased, while all other elements and substances (Pb, Cd, Hg, Zn, THC, PAH, PCB, pe-CB och HCB) have decreased with 20 to 90 %.

Dr Ingemar Cato, Geological Survey of Sweden, Box 670, S-751 28 Uppsala, Sweden.

3.1 Inledning

Göta Älvs Vattenvårdsförbund bildades 1957 med syfte att verka för god vattenvård. Förbundet är en frivillig sammanslutning av intressenter som påverkar och/eller påverkas av Göta älv och dess biflöden från utloppet ur Vänern till Göta respektive Nordre älvs mynningsområden vid kusten. Arbetet sker i nära samråd med miljöövervakande organ såsom länsstyrelsernas miljövårdsenheter och kommunernas miljö- och hälsoskyddsnämnder liksom med företrädare för näringsliv, forskning och naturvård i vidaste bemärkelse.

Primärt sker arbetet genom att samordna och genomföra erforderlig vattendragskontroll inom området med bl a målsättning att fastlägga miljöstatus och följa förändringar och utveckling i verksamhetsområdet. Detta sker bl a genom kontinuerliga mätningar i sju fasta mätstationer samt genom månadsvisa stickprovtagningar. Parametrar som bl a studeras är vattenföring, turbiditet, konduktivitet, redoxpotential, permanganattal, närsalter, metaller och organiska miljögifter. Därutöver har flera specialundersökningar genomförts, bl a med

avseende på bakteriologiska förhållanden, metallförekomst i vattenmossa samt miljögifter i sediment.

Den första sedimentundersökningen inom ramen för Göta Älvs Vattenvårdsförbund ägde rum 1982 och omfattade 32 stationer inom Göteborgs skärgårdsområde från Göta älvs och Nordre älvs mynningar och ut till några kilometer utanför de yttersta skären inom kommungränsen (Cato 1986a). Sexton av dessa stationer sammanföll mer eller mindre med Göteborgs Vattenvårdsanläggningars undersökning för havsutsläpp 1966-1967 (Arnborg *et al.* 1968). Utvecklingen av och skillnader i analysmetoder medförde dock att jämförbarheten mellan dessa undersökningar var begränsad. Resultaten visade dock att skärgårdsområdet var hårt belastat av framförallt kadmium (Cd) och kvicksilver (Hg), och att södra delen av skärgården uppvisade en efter år 1966 tydligt tillkommen eutrofiering samtidigt som fosforbelastningen sjunkit inom området. Vidare konstaterades en sedan 1966 avsevärd förändring av ytsedimentens kornstorlekssammansättning och innehåll av organiskt material inom farlederna; troligen en följd av att den genomsnittliga fartygsstorleken som anlöpte Göteborgs hamn ökade med 500 % mellan 1966 och 1982 (Cato 1986a). Fördjupningar och breddningar har sedan dess ägt rum i Böttöleden och Torhamnsleden.

Den andra sedimentundersökningen genomfördes i samverkan med Göteborgs och Bohus läns Vattenvårdsförbund 1990 (Cato 1992). Det senare förbundet hade då övertagit kustvattenkontrollen omfattande fyra stationer i berörda skärgårdsområde. Göta Älvs Vattenvårdsförbund upprättade två stationer vid respektive Bohus och Älvsborgsbron i Göta älv. Resultaten från undersökningen visade att stationen vid Älvsborgsbron var kraftigt kontaminerad med avseende på såväl tungmetaller som organiska miljögifter medan stationen vid Bohus uppvisade låga halter med avseende på de studerade ämnena. Den senare stationen utgjorde dock ingen lämplig sedimentationsbotten varför den vid 1995 års undersökningar (Cato 1997) flyttades till ett älvområde utanför Dösebacka. Förändringar i älvbotten medförde att en mindre förflyttning av stationen också blev nödvändig vid provtagningarna år 2000.

Resultaten från 1995 års undersökningar visade att halten av främst tenn men även av arsenik, krom, nickel, vanadin och dioxiner/furaner hade ökat signifikant sedan 1990 på stationen i inre delen av Göteborgs estuarium samtidigt som halten av kvicksilver, kadmium, totalkolväten, PAH, PCB, penta- och hexaklorbensener minskat. Bland näringsämnena kunde noteras en signifikant ökning av halten totalfosfor och totalkväve samtidigt som halten totalt organiskt kol var oförändrad. Under perioden sjönk C/N-kvoten med ca 27 %, vilket antogs bero på en allmänt observerad eutrofiering av kustområdet som gynnat produktionen av marint organiskt material relativt tillförseln av organiskt material från land. Sammantaget utvisade resultaten att inre delen av Göta älvs estuarium år 1995 hade en relativt dålig status vad avser ett flertal ämnen, bl a kvicksilver, totalkolväten vissa PAH (t ex det cancerogena benso(a)pyren) samt PCB och dioxiner/furaner.

Föreliggande rapport behandlar 2000 års sedimentundersökning omfattande ovan nämnda två stationer i Göta älv med dess estuarium. Sveriges geologiska

undersökning (SGU) genomförde provtagningen, medan analys och rapportering av analysdata har utförts av Alcontrol i Nyköping. Sveriges geologiska undersökning (SGU) svarar för sammanställning och utvärdering av resultaten.

3.2 Undersökningsområde

Göta älv (figurerna 3:1 och 3:2) är Sveriges vattenrikaste vattendrag med en medelvattenföring av 550 m³/sek. Vänern och en stor del av västra Mellansverige hör till dess nederbördsområde, som omfattar ca 50 000 km². Älvens längd mellan Vänern och havet är 93 km. Vid Kungälv delar den sig i två grenar, Nordre och Göta älv, vilka omsluter Hisingen. Göta älv har 25 % av den totala vattenföringen och rinner genom Göteborg medan Nordre älv för ut 75 % av vattnet i mynningsområdet norr om Björlanda.

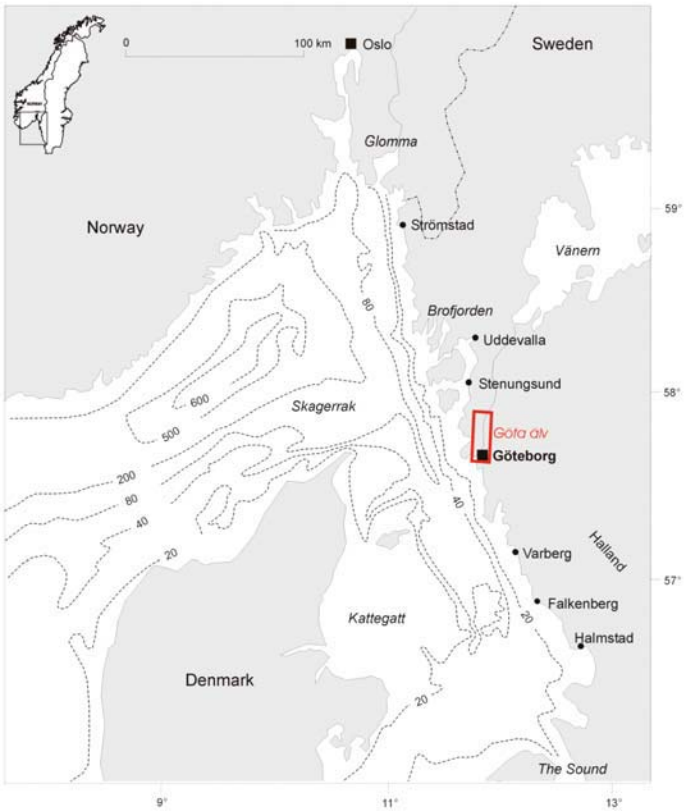


Fig. 3:1. Översiktskarta över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat.
Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area.

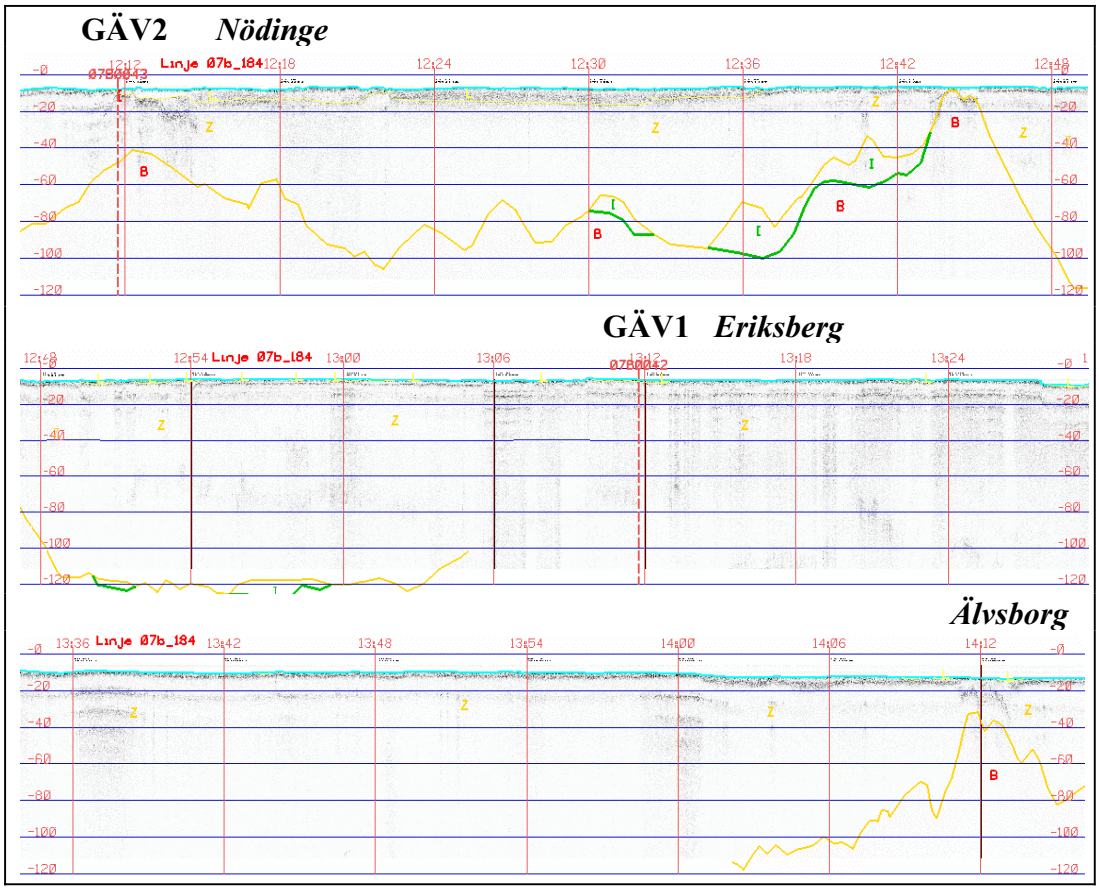
Götaälvdalen är en utpräglad sprickdal med både välutbildade och oregelbundna dalsidor. Från utloppet ur Vänern följer dalen i stort sett berggrundens allmänna NNO-SSV strykningsriktning. Berggrunden är ofta uppspjälkad i större och mindre enheter, vilka bitvis sticker upp som isolerade hällpartier i dalbottens sediment. Berggrunden domineras av ådergnejs, vilken genombryts av diabasgångar, yngre graniter och äldre ögongraniter, vanligen gnejsiga.

Fig. 3:2. Karta över Göta älv utvisande läget för stationerna GÄV1 och GÄV2. *Map of the river Göta Älv showing the position of the sites GÄV1 and GÄV2.*

Höjdskillnaden mellan dalbotten och de omgivande höjdområdena är genomgående omkring 100 meter. De lösa avlagringarna i dalgångens södra delar har uppmätts till mer än 100 meter vilket medför att nivåskillnaderna i berggrunden kan uppgå till mer än 200 meter. Norr om Lilla Edet har älven skurit ut höga brinkar i sedimenten medan vattenytan längre söderut ligger nästan i nivå med omgivande dalbotten. Det låga partiet mellan Lödöse och Älvängen har en relativt orörd natur och karakteriseras av den plana dalbotten, sankängar, Hajs sjö och uppstickande bergknallar.

Älvdalens mer eller mindre mäktiga sedimentavlagringar, dominerade av postglaciala och glaciala leror som ställvis underlagrar siltiga sediment, har avsatts efter landisens avsmältning från området för drygt 12 000 år sedan. Genom landhöjningen har sedimentlagrena kommit i dagen. Genom vattenerosion, ras och skred har älvdalens ravinlandskap bildats. Via Göta älv transporteras ca 130 000 ton oorganiskt sediment som till största delen avsätts i Göta och Nordre älvs estuarier (Sundborg & Norrman 1963).
En profil utvisande den geologiska uppbyggnaden av Göta älvs bottens visas i figur 3:3. Mäktiga glaciala leror täcks delvis av ett tunt lager postglacial lera i

övrigt anstår den glaciala leran öppet i bottenytan indikerande pågående erosion. Vid Dösebacka övertväras älven av en glacifluvial avlagring (randbildning) som underlagrar glacialleran.



• = bottenyta	• = *bottom surface*
• = postglacial lera (L, ljusgul)	• = *postglacial clay (L, light yellow)*
• = glaciallera (Z, mörkt gul)	• = *glacial clay (Z, dark yellow)*
• = isälvsmaterial (I)	• = *glacifluvial deposits* (I)
B = kristallint berg	B = *christalline bedrock*

Fig. 3:3. Sedimentekolodsprofil som visar ett vertikalt snitt genom sedimentlagren längs mätlinje 07b_184 i Göta älv mellan ett område strax norr om Nödinge (överst t.v.) och Älvsborg (nederst t.h.) i Göta älvs yttre estuarium. Tolkningarna baseras också på reflektionsseismisk information. Provtagningsstationerna GÄV1 och GÄV2 är markerade med röd streckad linje. För förklaringar, se legend. *Subbottom profile showing a vertical cut through the sediment layers along the run line 07b_184 in Göta Älv between an area north of Nödinge (upper left) and Älvsborg (lower right) in the lower Göta Älv estuary. The interpretations are also based on information recieved from shallow seismic measurements. The sampling sites GÄV1 and GÄV2 are marked with red hatched lines. For explanation, see legend.*

Göta älv fungerar som vattentäkt för inemot 700 000 människor och har stor betydelse för industrin som energikälla, transportled och vattentäkt. Älven är en viktig vandringsled för lax, havsöring och ål till reproduktionsområdena i älvens biflöden (Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1997).

3.3 Metoder

Göta Älvs geokemiska status i bottensedimenten undersöktes på två stationer 1990 (Cato 1992). Den ena stationen är belägen vid Bohus och den andra vid Älvsborgsbron. Vid utvärderingen av 1990 års undersökningar framkom det att stationen vid Bohus inte utgjorde någon lämplig plats för långsiktig övervakningsverksamhet, eftersom botten tidvis var utsatt för erosion. Depositionsbottnar är sällsynta i strömmande vattendrag. Vid 1995 års undersökningar gjordes ett nytt försök att finna en lämplig botten för provtagning. Den nya stationen fick beteckningen GÄV2 och ligger något sydost om Nödinge (Dösebacka). Stationen vid Älvsborgsbron flyttades något uppströms till i höjd med Eriksberg i Göteborg och fick beteckningen GÄV1. Dessa förändringar innebar att sedimentdata från stationerna 1990 respektive 1995 inte är helt jämförbara med varandra. Vid provtagningarna år 2000 visade det sig att botten vid station GÄV2 eroderats. En mindre förflyttning till en lämpligare plats med troligtvis stabilare depositionsförhållanden blev därför nödvändigt. Trots att stationerna mellan de olika undersökningsåren inte är helt jämförbara överensstämmer de så till motto att stationerna för respektive år representerar platser uppströms respektive i Göteborg, dvs uppströms respektive nedströms en starkt urbaniserad region.

Analysprogrammet för 2000 har utökats något i jämförelse med 1990 och 1995. Kartan i figur 3:2 utvisar läget för de två provtagningsstationerna. I figur 3:4 visas en side scan sonarbild över botten vid provtagningsstation GÄV1 utanför Eriksberg. Centralt i älven syn släpspår efter ankring och muddringar.

Vid 1995 och 2000 års sedimentundersökning positionsbestämdes stationerna med hjälp av DGPS (Differential Global Positioning System). Positionsuppgifter jämte vattendjupsdata baserade på ekolodsdata från respektive undersökningsår redovisas i tabell 3:1.

Tabell 3:1. Provtagningsstationer vid 2000 års sedimentundersökning och tidigare inom ramen för Göta älvs kontrollprogram. DGPS-positioner i WGS 84. *Sampling sites of the sedimentological investigations in 2000 and earlier within the framework of the Göta Älv Monitoring Program. DGPS-positions are given in WGS 84.*

Station	Stations-namn	Provnr. SGU	År	Latitud N	Longitud E	Vattendjup (m)
GÄV1	Älvsborgsbron		1990	57°41,830′	11°54,870′	13
	Eriksberg		1995	57°41,955′	11°55,045′	15
	Eriksberg	07b-0042 07b-0096	2000	57°41,932′	11°54,855′	12
GÄV2	Bohus		1990	57°52,550′	12°01,650′	5
	Nödinge		1995	57°54,577′	12°03,011′	5
	Nödinge	07b-0043	2000	57°54,518′	12°02,741′	5

2000 års sedimentprov från GÄV1 insamlades med hjälp av en box-corer (Olausson & Jonasson 1966) och sedimentkärna för röntgenanalys med hjälp av en Gemini corer (Niemistö 1974) från SGUs undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor. Station GÄV2 provtogs med en liten huggare av typ Ekman (Ekman 1911). Provtagningarna ägde rum under perioden 18-23 september 2000 och ombesörjdes av Sveriges geologiska undersökning.

På båda stationerna togs prov ut från sedimentytan (0-1 cm). Proverna överfördes till plastburkar för oorganiska respektive glasburkar för organiska analyser samt frystes i väntan på vidare analys. Sedimentkärnan röntgades i en ITRAX sediment scanner (Cato et al. 2000).

Fig. 3:4. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station GÄV1 (prov nr 07b0096) i Göta älvs estuarium. Grön linje markerar strandlinje/kajer, gul fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar läget för profilen som visas i figur 3:3. *Side scan-sonar image showing the bottom surface at site GÄV1 (sample no. 07b0096) in the Göta Älv estuary. Green line marks shoreline/quays, yellow square within red circle marks the sampling site and red linjemarks the position of the profile shown in Fig. 3:3.*

3.4 Analyser

Sedimentproverna analyserades med avseende på ett flertal parametrar, grundämnen och organiska substanser (se tabell 3:2). Av tabellen framgår också vilka ämnen och substanser som analyserats tidigare. Analysprogrammet har utökats under åren, men vissa ämnesgrupper har också utgått ur programmet till följd av att man inte kunnat detektera dem eller funnit dem vara av mindre värde.

En viktig komponent i analysprogrammet har varit att med hjälp av kornstorleksanalyser, sedimentens vattenhalt, innehåll av organiskt material, samt optisk besiktning av sedimentprovet (s k sedimentbeskrivning) och genom röntgning av en sedimentkärna söka klarlägga de bottendynamiska förhållandena på respektive plats. En övervakningsstation för sedimentkontroll skall för att vara effektiv vara förlagd till en depositionsbotten, dvs en botten med kontinuerlig deposition av finsediment (<0,006 mm). Ju högre sedimentationshastighet ju lämpligare botten för miljöövervakning.

Prover avsedda för fysikaliska analyser och analyser av metaller frystorkades innan vidare analys. Övriga prov gick direkt till analys. Alocontrol har samordnat analysarbetet. Följande laboratorier har medverkat: MikroKemi i Uppsala (kol och kväve), Alcontrol i Linköping (övriga kemiska analyser) och Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping (kornstorleksanalyser). Använd analysmetodik finns beskriven i Alcontrol (2004).

Tabell 3:2. Analyserade miljögifter och parametrar i sediment från Göta älv 1990-2000. Asterisk (*) markerar vad som analyserats respektive år. *Analysed pollutants and parameters in sediments from the Göta River in 1990-2000. Asterisk marks type of analyses carried out respective year.*

Ämnesgrupper analyserade i sediment	**1990**	**1995**	**2000**
Totalkolväten	*	*	*
Polycykl aromat kolväten (PAH)	*	*	*
Bicykl aromat. kolväten (NPD)		*	*
Extraherbart organiskt bundet klor (EOCl /EPOCl)	*	*	*
Extraherbart organiskt bundet brom (EOBr /EPOBr)	*	*	*
Pentaklorbensen (Pe-CB)	*	*	*
Hexaklorbensen (HCB)	*	*	*
Oktaklorstyren (Okt-CB)	*	*	*
Polyklorerade bifenyler (PCB)		*	*
Total PCB	*	*	*
Plana PCB		*	*
Lindan (gamma-HCH)		*	
Klordaner		*	*
Polyklorerade furaner/dioxiner (PCDF/PCDD)		*	*
Bromerade difenyletrar (BDE)		*	*
Monoaromater (BTEX)		*	*
Alifatiska halogenföreningar (haloformer)		*	*
Ftalater		*	
Gujakoler		*	
Nonyfenol		*	
Klorfenoler			*
Totalkol (TC)	*	*	*
Organiskt kol (TOC)	*	*	*
Totalväve (Tot-N)	*	*	*
Totalfosfor (Tot-P)	*	*	*
Svavel (S)		*	
Metaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn)	*	*	*
Kornstorlek	*	*	*
Vattenhalt	*	*	*
Sedimentationshastighet			

3.5 Resultat

I tabell 3:3 redovisas analysresultaten för 1995 års undersökningar vad avser ytsedimentens kornstorleksfördelning (fraktionen < 63 µm), vattenhalt, innehåll av totalkol, oorganiskt kol, totalt organiskt kol, totalkväve, kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor på de två stationerna GÄV1 och GÄV2. Motsvarande data för undersökningsåret 1990 (Cato 1992) och 1995 (Cato 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare. Eftersom stationernas lägen har ändrats något mellan åren (se tabell 3:1) kan ingen exakt jämförelse göras dem emellan. Den jämförelse som i det följande kommer att ske bör därför främst betraktas som skillnaden mellan stationer belägna uppströms respektive nedströms en starkt urbaniserad region som Göteborg.

3.5.1 Kornstorleksfördelning och sedimenttyper

Ytsedimentens kornstorleksfördelning undersöktes inte i sin helhet vid 1995 års undersökningar, utan endast fraktionen <63 µm, dvs viktsandelen ler och silt bestämdes i proven. Vid undersökningarna 2000 undersöktes kornstorleksfördelningen i sin helhet. Resultaten redovisas i tabell 3:3. Motsvarande analyser från 1990 års undersökningar saknas.

På station GÄV1 utanför Eriksberg är andelen ler och silt, dvs fraktionen < 63 µm, 100 viktsprocent, dvs ingen förändring har skett sedan 1995. På den nya stationen GÄV2 vid Nödinge är den 82 viktsprocent. Detta indikerar att båda stationerna representerar en god depositionsmiljö. Detta var inte fallet för GÄV2 1995.

Sedimenten på de två stationerna klassificeras enligt svensk standard (SGU 1974) som gyttjefinlera.

Tabell 3:3. Kornstorleksfraktionen < 63 µm, vattenhalt, totalkol (TC), oorganiskt kol (OOC), totalt organiskt kol (TOC), glödrest, totalkväve (TN), kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor (Tot-P) i Göta Älvs ytsediment 1990 - 2000. Data finns inte från alla år. *The grain-size fraction < 63 µm, water content, total carbon (TC), inorganic carbon (OOC), total organic carbon (TOC), loss of ignition, total nitrogen (TN), carbon-nitrogen ratio (C/N) and total phosphorous (Tot-P) in the surficial sediments of the Göta Älv in 1990 - 2000. Data are lacking for some years.*

Station	Nr.	År	Silt +ler vikts-%	Vat-ten-halt %	TC g/kg	OOC g/kg	TOC g/kg	Glöd-rest g/kg	TN g/kg	C/N	Tot-P g/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	-	66	27.3	1.3	26	-	2.2	11.7	0.61
		1995	99,0	79	32,8	4,4	28,4	890	3,3	8.6	1,1
		2000	100	73	30	3,0	27	900	2,7	10	1,7
Nödinge	GÄV 2	1990	-	48	4.02	0.02	4	-	0.39	10.3	0.48
		1995	41,1	51,9	9.8	0	9,8	978	<1,0	<9.8	0,51
		2000	82	68,1	27	3,0	24	940	2,3	10,4	0,93

3.5.2 Sedimentens färg och grad av bioturbering

Färgen på det klastiska sedimentet på station GÄV2 är ljust grått under ett ca 15 cm mörkgrått till gråsvart skikt. På station GÄV1 övergick det mörkgrå ytsedimentet från ca 10 cm djup och djupare ned gradvis till svart färg, dvs till kraftigt reducerande förhållanden en bit ned i sedimentet. Provet doftade olja och svavelväte. Inga organismer observerades i bottensedimenten på de två stationerna, inte heller några strukturer som tyder på bioturbation.

3.5.3 Vattenhalt samt förändringar efter 1990

Mätresultaten vad avser ytsedimentens vattenhalt för undersökningsåret 2000 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Vattenhalten på de två stationerna skiljer sig inte mycket åt år 2000; 73 och 68 % för respektive stationerna GÄV1 och GÄV2. Resultaten befäster på motsvarande sätt som kornstorleksfördelningen (se ovan) att stationerna är belägna på depositionsbottnar, vilket inte var fallet för GÄV2 1990 och 1995.

Differensen i vattenhalt mellan åren 1995 och 2000 är 6 % för station GÄV1 och 16 % för station GÄV2 (fig. 3:5). Det senare beror på att stationen flyttats till en mer lämplig botten med depositionsförhållanden vid provtagningarna 2000.

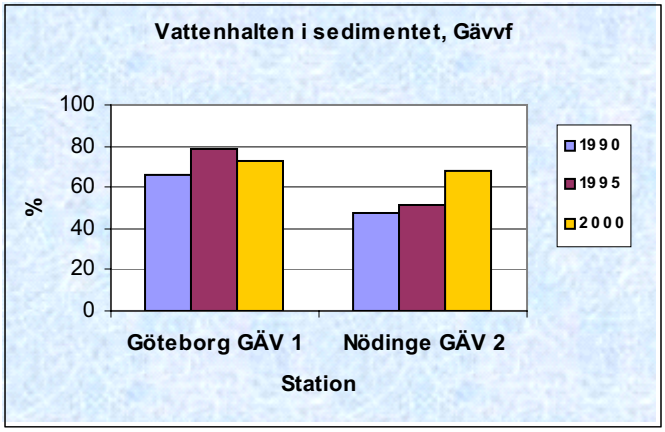


Fig 3:5. Variationen i ytsedimentens (0-1 cm) vattenhalt mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The variation of the water content in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.*

3.5.4 Totalkol och oorganiskt kol samt förändringar efter 1990

Analysresultaten vad avser halten av totalkol (TC) och oorganiskt kol (OOC) i ytsedimenten (0-1 cm) för 2000 redovisas i tabell 3:3 samt i figurerna 3:6 och

3:7 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Halten totalkol i ytsedimenten 2000 skiljer sig inte nämnvärt åt mellan de båda stationerna. 1995 var skillnaden däremot stor då totalkolhalten på station GÄV1 var nästan 4 gånger högre än på station GÄV2. Halten oorganiskt kol var då obefintlig på station GÄV2. År 2000 uppgår halten oorganiskt kol till 3 g/kg ts. Haltskillnaderna mellan de olika undersökningsåren på station GÄV2 hänför sig främst till att stationen flyttats från områden med transportbotten till ett område med depositionsbotten (se ovan).

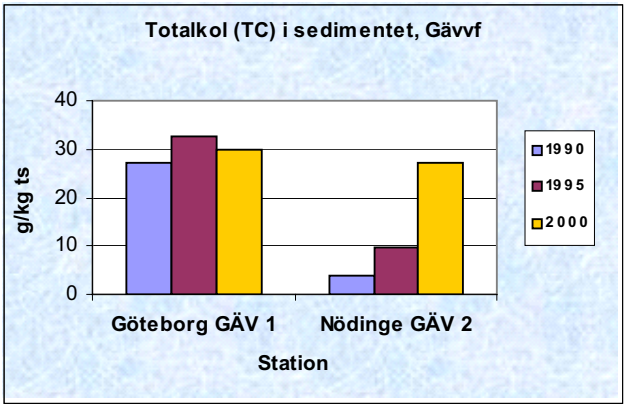


Fig 3:6. Variationen i ytsedimentens (0-1 cm) totalkolhalt (TC) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The variation of the content of total carbon (TC) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.*

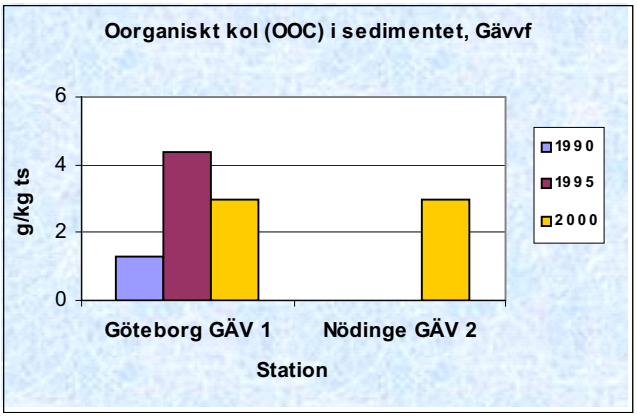


Fig 3:7. Variationen i ytsedimentens (0-1 cm) halt av oorganiskt kol (OOC) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The variation of the content of iorganic carbon (OOC) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.*

Som jämförelse till ovan uppmätta halter kan nämnas att medelvärdet för oorganiskt kol i Brofjorden 1989 och 1995 var respektive 2.5 g/kg ts (Cato 1990) och 8.1 g/kg (Cato 1997). Motsvarande data från Stenungsundsområdet 1985 och 1995 var 1.7 g/kg ts (Cato 1986b) respektive 5.5 g/kg (Cato 1997). Halten oorganiskt kol är således i samma storleksordning på stationerna GÄV1 och GÄV2, dvs i Göta älvs estuarium respektive på depositionsbotten i själva älven. Oorganiskt kol i västkustsedimenten utgörs till största delen av karbonat-

kol och till en mycket liten del av grafitkol. Förekomsten av skalfragment blir därför ofta avgörande för resultatet. Totalkolhalten domineras på båda stationerna av halten organiskt kol (se nedan).

3.5.5 Organiskt kol samt förändringar efter 1990

Analysresultaten för 2000 års undersökningar avseende totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Skillnaden i halt mellan de två stationerna är endast 3 g/kg ts, vilket innebär att sedimentens bindningskapacitet för miljögifter i detta avseende är i det närmaste likvärdig mellan de två stationerna. Vid 1990 och 1995 års undersökningstillfällen var halten organiskt kol ca tre gånger lägre på station GÄV2 jämfört med station GÄV1.

Koncentrationen på den senare stationen ligger inom ett för västkusten normalt intervall om de på organiskt material belastade recipienterna undantas (se tabell 2:8, del 2 i denna samlingsvolym). Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller båda stationerna i klass I (”god”) enär halten är < 30 g/kg ts. Svenska bedömningsgrunder för TOC saknas.

Skillnaderna mellan åren, vad avser ytsedimentens innehåll av organiskt kol på respektive station, illustreras i figur 3:8. På station GÄV1 ligger halten 3,7 % högre respektive 5,1 % lägre än motsvarande värden för 1990 och 1995. Skillnaden mellan 1995 och 2000 är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för organiskt kol till följd av ytsediments (0-2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,8 ± 2,8 % (Cato 1977). Förändringen på station GÄV1 är dock betydligt mindre än de minst 35 %, som

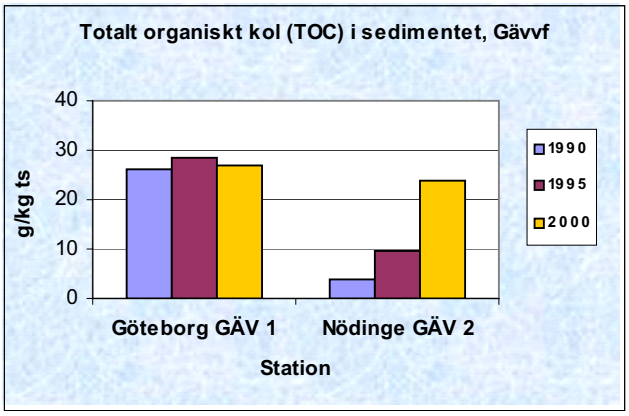


Fig 3:8. Förändringen i ytsedimentens (0-1 cm) organiska kolhalt (TOC) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of total organic carbon (TOC) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Haltförändringarna på station GÄV2 kan inte jämföras på samma sätt eftersom stationen flyttats mellan åren från ett område med transportbotten till ett område med utpräglad depositionsbotten.

3.5.6 Totalkväve samt förändringar efter 1990

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkväve (N) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Vid de två tidigare undersökningstillfällena var halten mycket låg (<1 g/kg ts) på station GÄV2 medan den var ca tre gånger så hög på station GÄV1. Skillnaderna mellan stationerna år 2000 är betydligt mindre (0,4 g/kg ts) till följd av att station GÄV2 flyttats från ett område med transportbotten till ett område med depositionsbotten där halten organiskt material är högre. Koncentrationen på stationerna överensstämmer med andra på organiskt material icke belastade recipienter längs västkusten (se tabell 2:9 i del 2, denna samlingsvolym). Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller stationerna i klass II (”mindre god”). Svenska bedömningsgrunder för kväve i sediment saknas.

Förändringen mellan 1990 och 2000 vad avser ytsedimentens innehåll av totalkväve på respektive station illustreras i figur 3:9. På station GÄV1 har halten ökat mellan 1990 och 1995 med ca 50 % för att därefter sjunka med ca 18 % fram till 2000. Dock ligger halten 23 % högre än halten 1990. Skillnaderna mellan åren på station GÄV2 kan i huvudsak hänföras till den ovan omnämnda förflyttningen av stationen från en transportbotten till en depositionsbotten. Förändringen på station GÄV1 är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för totalkväve till följd av ytsediments

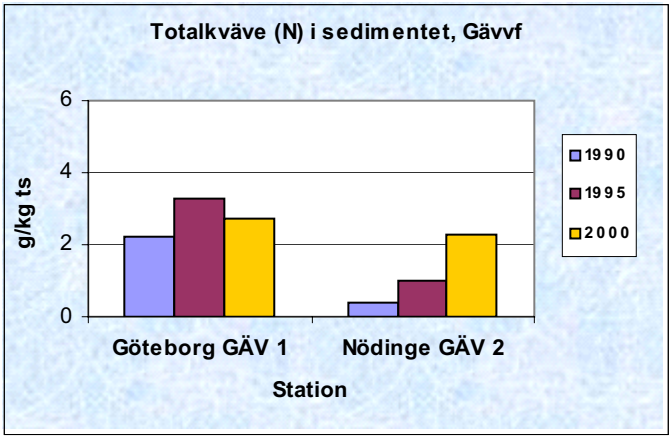


Fig. 3:9. Förändringen i ytsedimentens (0-1 cm) totalkvävehalt (TN) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of total nitrogen (TN) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.*

(0-2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,2 ± 2,9 % (Cato 1977). Koncentrationsminskningen på station GÄV1 är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

3.5.7 Kol-kvävekvoten (C/N) samt förändringar efter 1990

De beräknade C/N-kvoterna i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 för undersökningsåret 2000 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. C/N-kvoten för 2000 varierar mellan 10 och 10,4. Det högre värdet är relaterat till station GÄV2, dvs uppe i älven. Den senare kvoten är lika med den som erhölls 1990 medan kvoten på GÄV1 är 26 % lägre (26 %). I båda fallen är de något högre än 1995 års kvoter. På station GÄV1 har den ökat med hela 16 % och på station GÄV2 med 6 % (fig 3:10). I det senare fallet är skillnaden inte statistiskt signifikant.

Kvoterna för 2000 ligger i övre delen av det intervall som är känt från västkustens, på organiskt material från land, icke belastade recipienter (se tabell 2:8 i del 2, denna volym). Till skillnad från 1995 uppvisar båda stationerna 2000 en C/N-kvot över 10. Detta är normalt för sediment dominerat av organiskt material rikt på cellulosa. Anmärkningsvärt är dock att kvoten inte är högre i älven uppströms Göteborg.

Förändringen på station GÄV1 kan tyda på att den ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus som noterades mellan 1990 och 1995 ersatts av en situation som mer domineras av terrestriskt organiskt material. Detta kan tyda på att den tidigare observerade allmänna eutrofieringen av kustområdet (som gynnat produktionen av marint organiskt material) inklusive Göta älvs estuarieområde kan ha minskat.

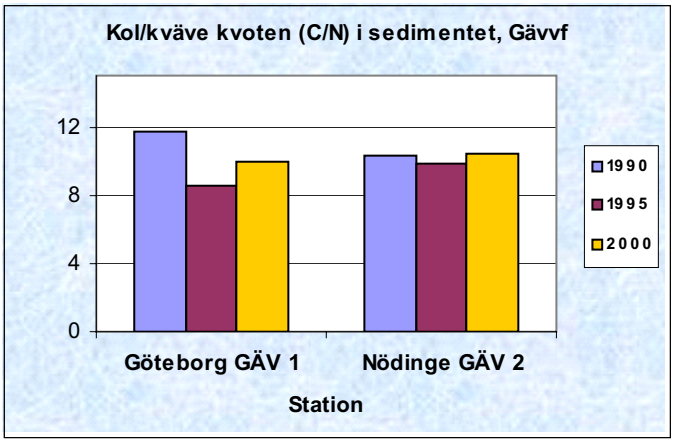


Fig 3:10. Förändringen i ytsedimentens (0-1 cm) kol-kväve kvot (C/N) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of carbon to nitrogen ratio (C/N) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta älv.*

Motsvarande förändringar konstaterades i Göteborgs skärgård mellan 1966 och 1982 (Cato 1986 a), i Brofjorden mellan 1972 och 1989 (Cato 1990) och fram till 1995 (del 5, denna samlingsvolym), i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 1995 (del 4, denna samlingsvolym), i Gullmarsfjorden mellan 1980 och 1995, samt på kustvattenkontrollens stationer mellan 1990-1995 (del 2 och 6, denna samlingsvolym). Den ökning av kvoten som noterats i 2000 års undersöknin har även noterats i övriga undersökningar utmed Bohuskusten år 2000 (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym).

3.5.8 Totalfosfor samt förändringar efter 1990

Analysresultaten från 1995 års sedimentundersökningar avseende totalfosfor (Tot-P) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Totalfosforhalten 2000 varierar mellan 0,9 och 1,7 g/kg ts. Precis som 1995 ligger koncentrationen på station GÄV1 dubbelt så högt som på station GÄV2. Vid en jämförelse med vad som tidigare konstaterats för andra recipienter utmed västkusten (se tabell 2:11 i del 2, denna samlingsvolym) kan konstateras att koncentrationen på station GÄV1 ligger högt.

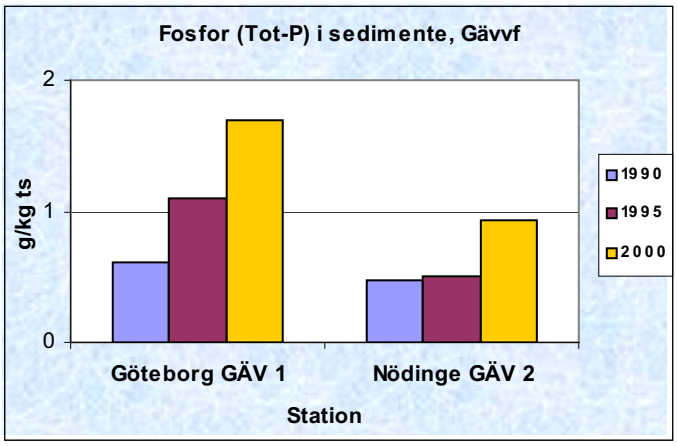


Fig 3:11. Förändringen i ytsedimentens (0-1 cm) totalfosforhalt (tot-P) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of total phosphorous (tot-P) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

Utvecklingen mellan 1990 och 2000 vad avser ytsedimentens innehåll av totalfosfor på respektive station illustreras i figur 3:11. På station GÄV1 har halten ökat med 55 % sedan 1995 och med 180 % sedan 1990. På station GÄV2 är ökningen mellan 1995 och 2000 hela 82 % - en ökning som endast delvis kan förklaras med stationens nya läge som resulterat i en högre halt av organiskt material (se avsnitt 3.5.5 ovan).

Förändringarna är statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för totalfosfor till följd av ytsediments (0-2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 1.8 ± 0.6 % (Cato 1977). Ökningen på båda

stationerna är också betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Koncentrationsökningen speglar sannolikt den ökade tillförseln av fosfor som skett till älven under perioden 1993 – 1995 och senare (tabell 3:4).

Tabell 3:4. Beräknade totalfosforflöden till Göta älv under perioden 1993-1995 (Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1996). *Estimated flow of total phosphorous to the river Göta älv in the period 1993-1995 (Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1996)*

1993 Totalfosfor ton/år	1994 Totalfosfor ton/år	1995 Totalfosfor ton/år
292	367	586

3.5.9 Tungmetaller samt förändringar efter 1990

I tabell 3:5 redovisas analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens innehåll av tungmetallerna arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Motsvarande data för år 1990 och 1995 (Cato 1992, 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare.

Tabell 3:5. Arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990, 1995 och 2000. Data finns inte från alla år. Metallanalyser efter uppslutning med salpetersyra respektive fluorvätesyra (HF). *Arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), ten (Sn) vanadium (V) and zinc (Zn) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990, 1995 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Data are lacking for some years. Metal analyses after extraction with nitric and fluss acid (HF) respectively.*

Station	Nr.	År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	8,6	0,78	37	61	1,21	-	18	56	2,6	39	203
		1995	10,3	0,6	41,2	55,6	0,75	367	21,1	41,8	5,2	62,3	203
		2000	8,9	0,51	40	51	0,97	400	22	43	5,9	54	130
Nödinge	GÄV 2	1990	3,0	0,08	21	9,4	0.05	-	11	11	<0,2	36	64
		1995	1,3	0,1	11,4	6,6	0,02	199	5,7	9,68	1	23,7	63,6
		2000	2	0,35	24	16	0,058	240	9,6	19	<1	28	90
(HF)	GÄV 2	1995	-	0,17	37	10,8	-	335	11,7	23	-	45,7	84
		2000	2,3	0,5	46	44	0,067	420	13	34	7,4	70	130

I jämförelse med övriga icke belastade områden utmed Bohuskusten kan konstateras att tungmetallhalterna 2000 ligger inom för kusten normala intervall (se tabellerna 2:16-2:26 i del 2, denna samlingsvolym).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 1999) faller station GÄV2 vid Nödinge i klasserna 1 och 2, dvs *ingen/obetydlig* till *liten* avvikelse från jämförvärdet (bakgrundsvärdet) vid samtliga tre undersökningstillfällen 1990-2000 (tabell 3:6).

Motsvarande förhållanden för station GÄV1 vid Eriksberg gäller endast As och Ni. Cd, Cr, Cu och Zn uppvisar en *tydlig avvikelse* (klass 3) från jämförvärdet medan Hg uppvisar en *stor avvikelse* (klass 4) från jämförvärdet. Avvikelsen för både Cu och Hg var större i början av 1990-talet.

Svenska bedömningsgrunder finns inte för alla metaller.

Tabell 3:6. Klassning av ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 med avseende på metallinnehåll 1990-2000. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). *Classification of the surface sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 with respect to metal content 1990-2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).*

Station	Nr.	År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	8,6	0,78	37	61	1,21	-	18	56	2,6	39	203
		1995	10,3	0,6	41,2	55,6	0,75	367	21,1	41,8	5,2	62,3	203
		2000	8,9	0,51	51	40	0,97	400	22	43	5,9	54	130
Nödinge	GÄV 2	1990	3	0,08	21	9,4	0,05	-	11	11	<0.2	36	64
		1995	1,3	0,1	11,4	6,6	0,02	199	5,7	9,68	1	23,7	63,6
		2000	2	0,35	16	24	0,058	240	9,6	19	<1	28	90
(HF)	GÄV2	1995	-	0,17	37	10,8	-	335	11,7	23	-	45,7	84
		2000	2,3	0,5	46	44	0,067	420	13	34	7,4	70	130

	Metaller Avvikelse från jämförvärde
Klass 1	Ingen/obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

Skillnaden mellan stationerna GÄV1 och GÄV2 samt förändringen av sedimentens metallhalter mellan 1990 och 2000 illustreras i figurerna 3:12a – 3:12b. För mangan saknas uppgifter från tiden före 1995.

I jämförelse med 1990 och 1995 visar resultaten från station GÄV2 att samtliga metallhalter utom As och V är betydligt högre år 2000. Denna utveckling har inget med förändrad emission att göra utan beror på att station GÄV2 år 2000 flyttats från en transportbotten till en depositionsbotten med högre halt av organiskt material och därmed större bindningskapacitet för bl a tungmetaller.
På station GÄV1 har halten av kadmium och koppar successivt minskat mellan undersökningsåren 1990, 1995 och 2000. Koncentrationsminskningen är 35 respektive 16 % sedan 1990. Vanadin och zink har minskat med 13 respektive 36 % efter 1995. Halten av tenn däremot har successivt ökat under tioårsperioden

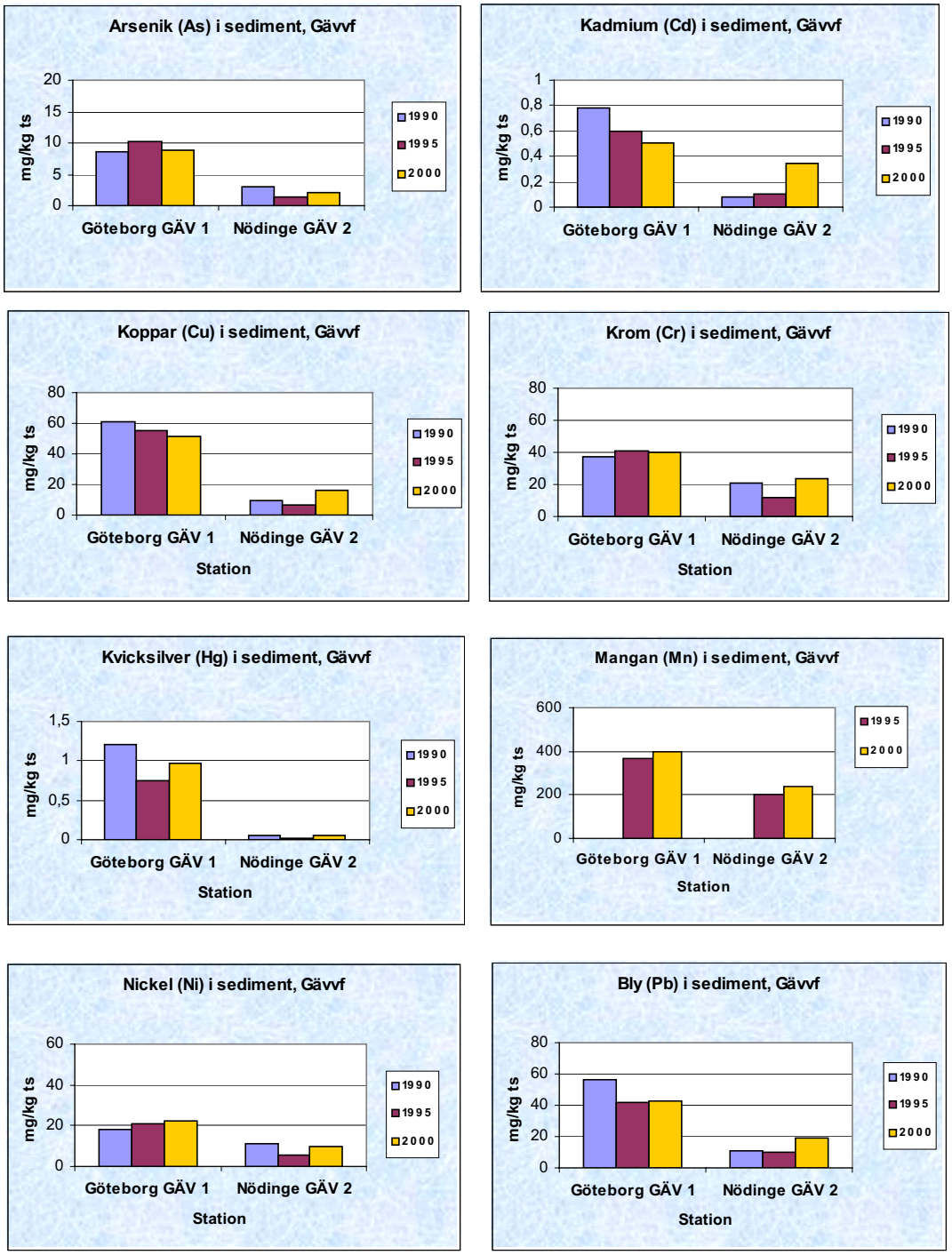


Fig. 3:12 a. Förändringen mellan 1990 och 2000 av arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni) och bly (Pb), i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Streckade linjer motsvarar den undre gränsen för respektive klass enligt Naturvårdsverket bedömningsgrunder (1999), se tabell 3:6.*The change of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni) and lead (Pb), in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Hatched lines correspond to the lower limit of of respective class in the Environmental Quality Criteria according to Naturvårdsverket (1999).*

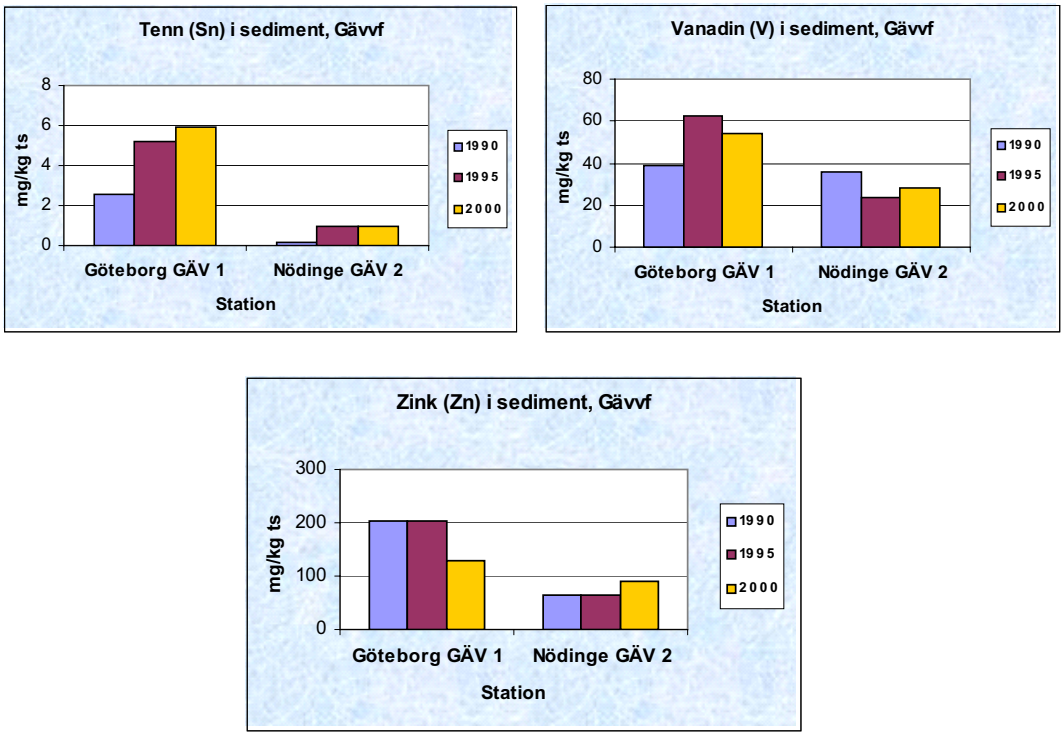


Fig. 3:12 b. Förändringen mellan 1990 och 2000 av tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. För förklaring till streckade linjer se fig. 3:12a. *The change of tin (Sn), vanadium (V) and zinc (Zn) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. For explanation of hatched lines, see Fig. 3:12a.*

(1990-2000) med totalt 127 %, medan kvicksilver först minskade mellan 1990 och 1995 för att sedan öka något fram till 2000. Sedan 1995 har kvicksilver ökat med 29 %. För övriga metaller är halterna relativt oförändrade mellan åren. Ni uppvisar dock en successiv ökning med 22 % och Pb en minskning med 23 % sedan 1990.

Samtliga konstaterade förändringar är större än de variationskoefficienter för respektive element som till följd av ytsedimentens (0-2 cm) inhomogenitet analyserats och beräknats för Bohuskusten (Cato 1977). Förändringarna kan därför betraktas som reella. Dock kan i flera fall konstateras att förändringarna är mindre än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Därmed kan endast med säkerhet fastläggas att den koncentrationsförändring som skett för zink mellan 1995 och 2000 är faktisk och sannolikt beror på minskad emission. För flera andra metaller (Cu, Cd, Hg, Pb och Zn) är minskningen under tioårsperioden 1990-2000 mycket signifikant och visar än tydligare att emissionen minskat. En omvänd utveckling med mycket sannolik koncentrationsökning kan noteras för Ni, Sn och V, medan statistisk osäkerhet råder om förändringarna av As- och Cr-halterna.

3.5.10 Totalanalys av tungmetaller

De i föregående avsnitt beskrivna metalldata är analyserade enligt svensk standard (SIS), dvs genom ett laknings- eller extraktionsförfarande. Metoden är selektiv, vilket innebär att till mineralen hårt bundna metaller inte omfattas av analysen. Internationella havsforskningsrådet (the International Council for the Exploration of the Sea, ICES) rekommenderar numera att metallanalyser på sediment utförs på totalprovet, dvs att hela provet upplöses genom t ex fluorvätesyra (HF) inför analysen. Därigenom skapar man en bättre jämförbarhet mellan prover från olika områden som innehåller sediment med varierande mineralsammansättning. Sedimentprovet från station GÄV2 har analyserats enligt båda metoderna såväl 1995 som 2000.

Resultatet presenteras i tabell 3:5 och är markerat med HF (fluorvätesya). Arsenik, kvicksilver och tenn är inte analyserat enligt totalupplösningsmetoden 1995. I tabell 3:8 redovisas hur stor procentuell andel av sedimentets totala metallhalt som det lakningsbara (SIS) metallinnehållet utgör. Utbytet 1995 var betydligt lägre än vad som erhölls i en motsvarande studie på kustvattenkontrollens stationer 1995 (Cato 1997a). Med undantag för Cu, Mn och Sn är förhållandena de omvända 2000. Detta tyder på att en större andel av metallkoncentrationen har antropogent ursprung i Göta älvs sediment jämfört med kustområdets sediment.

Tabell 3:8. Utbytet i procent för SIS metoden relaterat till totalhalten på station GÄV2. *The exchange in percentages of the SIS method related to the total content at site GÄV2 .*

SIS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	V	Zn
Utbyte 1995	-	59 %	31 %	61 %	-	59 %	49 %	42 %	-	52 %	76 %
Utbyte 2000	87 %	70 %	55 %	36 %	87 %	57 %	74 %	56 %	<14 %	40 %	69 %

3.5.11 Totalkolväten samt förändringar efter 1990

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkolväten (THC) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas i tabell 3:9 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens (0-1 cm) koncentration av totalkolväte 2000 varierade från 28 till ca 58 mg/kg ts. Den högsta halten påträffas på station GÄV1 (Eriksberg) i Göteborg.

I tabell 2:37 i del 2, denna samlingsvolym, redovisas THC-halter i ytsedimenten från några områden utmed Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. En jämförelse med föreliggande undersökning visar att THC-halterna på båda stationerna i Göta älv ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. Enligt miljöklassificeringskriterier för THC föreslaget från Norge (jfr. Konieczny & Juli-

Tabell 3:9. Koncentrationen av totalkolväte (THC), summa polyaromatiska föreningar ((Σ11 PAH och Σ16 PAH) och naftalen i ytsedimentet (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990-2000. *Total hydrocarbon (THC), the sum of polyaromatic hydrocarbons (Σ11 PAH and Σ 16 PAH) and naphtalene in surfical sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995 - 2000.*

Station	Nr.	År	THC mg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	650
		1995	191,9
		2000	58
Nödinge	GÄV 2	1990	14
		1995	4,5
		2000	28

ussen 1995) faller båda stationerna i tillståndsklass II (”mindre god”). I jämförelse med 1995 är detta en förbättring av förhållandena på station GÄV1. Svenska bedömningsgrunder för THC i sediment saknas.

Förändringen av sedimetens THC innehåll mellan 1990 och 2000 illustreras i figur 3:13. På station GÄV1 har totalkolvätehalten sjunkit med ca 70 % sedan 1995 och med ca 91 % sedan 1990. En förändring som är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Halten på station GÄV2 var såväl 1995 som 2000 betydligt lägre än den halt som påträffades uppströms Göteborg 1990. Detta till trots att stationen flyttats från en transportbotten till en depositionsbotten. Den senare förändringen förklarar koncentrationsökningen på station GÄV2 mellan 1995 och 2000.

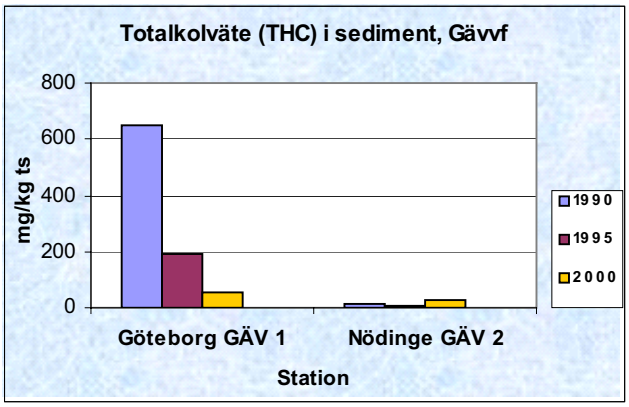


Fig. 3:13. Förändringen mellan 1990 och 2000 av totalkolväte (THC) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of total hydrocarbon (THC) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

GC/FID-kromatogrammen (redovisade i Alcontrol 2004) från båda stationerna uppvisar en typisk sedimentprofil skild ifrån den typiska mineraloljeprofilen. Identifierade kolväten ligger i stort sett inom kokpunktsintervallet n-C_{15} till n-

C_{40} alkaner (270°-520°C). Sedimentprofilerna på de båda stationerna skiljer sig emellertid något åt genom förekomsten av en s k ”bulle” i kromatogrammet från station GÄV1 bestående av en ”unresolved complex mixture” (UCM), som utgörs av en mängd grenade, omättade, cykliska och aromatiska kolväten. Denna bulle bildas då det förekommer ett stort antal isomerer och molekyler med likartad strukturformel inom samma kokpunktsintervall (Rudling 1976, Clark & Brown 1977, Farrington 1980, Sletter *et al.* 1980) och indikerar petroleumursprung. Motsvarande UCM, men då betydligt större konstaterades även 1990 och 1995 (redovisade i Cato 1992 respektive i Helland *et al.* 1996). På station GÄV2 finns ingen tendens till UCM, varken 2000 eller tidigare.

Resultaten tyder på att ett spill av petroleumprodukter till Göta älv framförallt sker inom Göteborg och dess hamnområde men att spillet minskat avsevärt under berörda tioårsperiod.

3.5.12 Polycykliska aromatiska kolväten samt förändringar efter 1990

Analysresultaten från stationerna GÄV1 och GÄV2 avseende identifierade polycykliska aromatiska kolväten (NPD + PAH) samt Σ16 och Σ11 från den s k EPA-listan redovisas i tabell 3:10. Vilka dessa kolväten är framgår av tabellen. Halterna från 2000 års undersökningar varierar mellan 980 och 1100 µg/kg ts. Det lägsta värdet hänför sig till station GÄV2, dvs uppströms Göteborg. Motsvarande värden för de enskilda PAH-föreningarna framgår av tabell 3:10. Den mest frekventa föreningen 2000 är benso(b+k)fluoranten som i medeltal utgör 20 % av Σ16 PAH. 1995 var förhållandet detsamma men då utgjorde föreningen 11 % av Σ16 PAH.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller stationerna GÄV1 i klass 4 och GÄV 2 år 2000 i klass 3, dvs *hög respektive medelhög halt* (fig. 3:14). Trenden 1990-2000 visar att utvecklingen på GÄV1 går mot klass 3, dvs en förbättrad miljökvalitet med avseende på PAH.

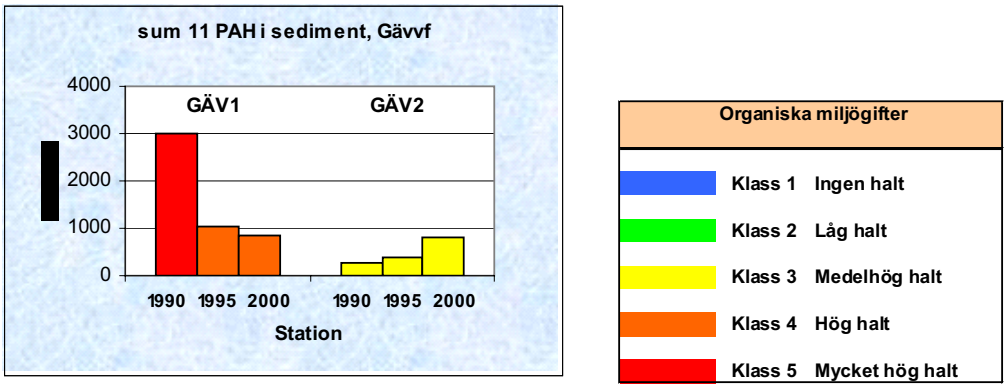


Fig. 3:14. Miljökvaliteten med avseende på polyaromatiska kolväten (Σ11 PAH) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005). *Environmental Quality Criteria with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (Σ 11 PAH) in the surficial sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).*

Tabell 3:10. Enskilda polyaromatiska kolväten i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990, 1995 och 2000. *Individual polyaromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1990, 1995 and 2000.*

Summaparameter/ /förening µg/kg	År	Station GÄV1	Station GÄV2	Median-värde Väster-havet n = 92	Bakgrund Östersjön 200 cm (Cato 1997)	Bakgrund Färöarna Ref. 1 (Cato 1992)
Σ 16 (NPD + PAH)	1995	1312	471	-	-	-
	2000	1100	980			
Σ11 PAH	1990	3 000	280	-	-	-
	1995	1 039	395	-	-	-
	2000	853	799			
Naftalen	1995	26	6.1	-	-	-
	2000	22	<10			
Acenaftylen	1995	12	2.1	-	-	-
	2000	<10	<10			
Acenaften	1995	12	3.3	-	-	-
	2000	<10	11			
Fluoren	1990	10	0			
	1995	20	5.6	-	-	-
	2000	16	13			
Fenantren	1990	260	30	-	-	-
	1995	78	33	37	3	8
	2000	65	74			
Antracen	1990	100	0	-	-	-
	1995	38	8.7	7	<1	3
	2000	25	71			
Fluoranten	1990	800	80	-	-	-
	1995	146	89	84	2	21
	2000	130	150			
Pyren	1990	500	70	-	-	-
	1995	117	67	53	3	39
	2000	120	120			
Benzo(a)antracen	1990	300	20	-	-	-
	1995	103	33	36	<4	11
	2000	88	71			
Krysen/Trifenylen	1990	300	20			
	1995	133	50	49	<5	13
	2000	100	91			
Benso(b+k)fluoranten	1995	224	64	230	<2	55
	2000	225	170			
Benso(a)pyren	1990	300	20	-	-	-
	1995	104	24	64	<2	22
	2000	98	65			
Benso(ghi)perylen	1990	190	10			
”	1995	122	32	120	<2	80
	2000	88	55			
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1990	220	10	-	-	-
	1995	107	32	170	<2	55
	2000	120	80			
Dibenso(a,h)antracen	1990	20	20			
	1995	71	21	-	-	-
	2000	21	12			

Utvecklingen baserad på Σ16 PAH illustreras i figur 3:15. Eftersom vissa PAH-föreningar som identifierades 1995 och 2000 inte studerades vid 1990 års undersökningar, baseras den tidigare jämförelsen i figur 3:14 på summan av de 11 PAH-föreningar som analyserats vid de tre undersökningsomgångarna. Vilka dessa är framgår av tabell 3:10.

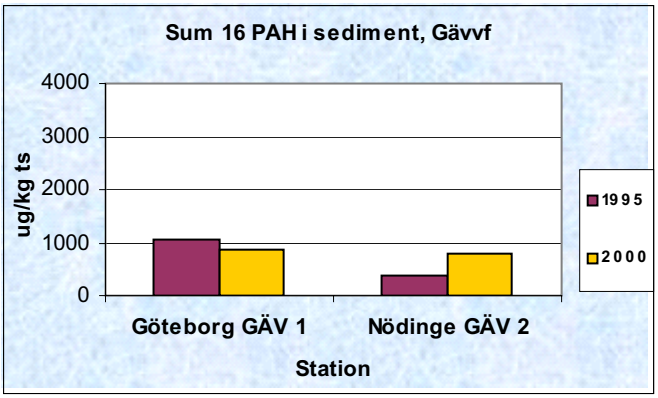


Fig. 3:15. Förändringen mellan 1995 och 2000 av polyaromatiska kolväten (Σ16 PAH) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of polycyclic aromatic hydrocarbons (Σ 16 PAH) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1995 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

Resultaten för år 2000 visar på en dramatisk sänkning med 72 % sedan 1990 och med 18 % sedan 1995 av halten Σ11 PAH på station GÄV1. Den ökning som kan noteras på station GÄV2 hänger samman med att denna station förflyttats från en transportbotten 1995 till en depositionsbotten 2000, dvs till en botten med en högre halt av organiskt material och därmed större bindningskapacitet för föroreningar. Om hänsyn tas till detta genom en normalisering mot TOC visar station GÄV 2 en motsvarande utveckling som station GÄV1, dvs en 72 %-ig minskning av halten sedan 1990.

Förändringen på stationerna är betydligt större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive ett femårigt provtagningsintervall. Resultaten tyder på att förhållandena i Göta älvs estuarium förbättrats från en tydligt förorenad situation 1990 till en moderat förorenad situation 2000.

3.5.13 Metylnaftalener

Analysresultaten vad avser 1-metylnaftalen och 2-metylnaftalen i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:11. Endast små mängder av 2-metylnaftalen kunde detekteras på station GÄV1. Svenska bedömningsgrunder för dessa föreningar saknas. I jämförelse med övriga Bohuskusten är halterna mycket låga (se avsnitt 2.6.15 i denna volym).

Tabell 3:11. Metylnaftalener i ytsediment (0-1 cm) från stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 2000. *Methyl-naphtalenes in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 2000.*

Station	Nr	År	1-metylnaftalen µg/kg	2_metylnaftalen µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	2000	<10	11
Nödinge	GÄV 2	2000	<10	<10

.3.5.14 Polyklorerade bifenyler samt förändringar efter 1990

Analysresultaten vad avser icke plana polyklorerade bifenyler (PCB) redovisas i tabell 3:12. Värdena avser dels summan av sju identifierade PCB:er (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 153, PCB 138 och PCB 180), vilka sammanförts under begreppet Σ7-PCB, dels övriga identifierade PCB:er (dvs förutom nämnda PCB:er också PCB 105, PCB 156, PCB157, PCB 167 och PCB 209).

Koncentrationen av Σ7-PCB i ytsedimenten år 2000 varierar mellan 4.1 och 26 µg/kg ts. Den lägsta halten återfinns på station GÄV2. Halten på den senare stationen ligger något under medelvärdet, medan halten på station GÄV1 är ca 5 gånger högre än medelvärdet för öppna Kattegat och Skagerrak (tabell 2:49 i del 2, denna samlingsvolym).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller stationerna GÄV1 i klass 4 (*hög halt*) och station GÄV2 i klass 3 (*medelhög halt*). I förhållande till 1990 och 1995 har miljökvaliteten med avseende på PCB förbättrats (fig. 3:16, tabell 3:12).

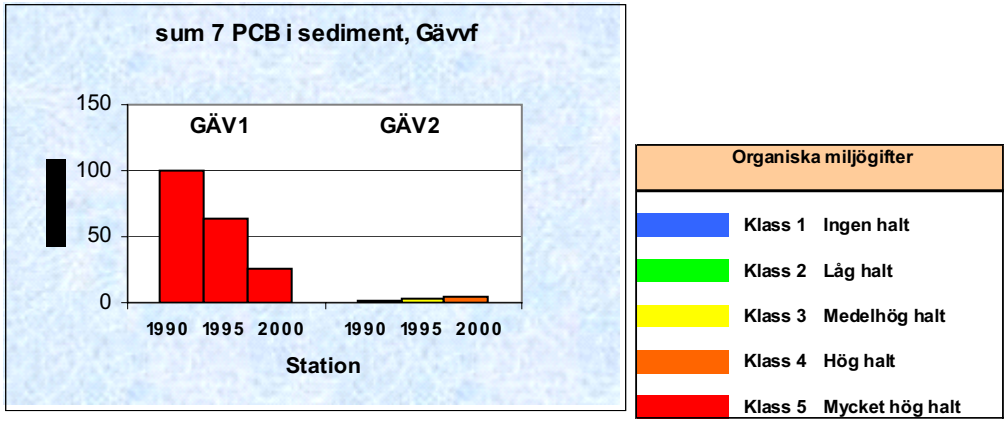


Fig. 3:16. Förändringar i halt och miljökvaliteten med avseende på polyklorerade bifenyler (Σ 7 PCB) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005). The changes in concentration and E*nvironmental Quality Criteria with respect to polychlorinated biphenyls (Σ 7 PCB) in the surficial sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).*

Utvecklingstrenden mellan de tre undersökningsåren 1990 till 2000 har inte varit möjlig att studera direkt eftersom data från 1990 endast omfattar totalhalter. Eftersom Σ7 PCB utgör ca 50 % av totalhalten PCB har den senare dividerats med 2 (De Voogt & Brinkman 1989). På station GÄV1 har halten minskat med 59 % sedan 1995 och med 74 % sedan 1990. Under samma period har halten ökat något på station GÄV2 (fig. 3:16). Det senare hänger samman med den flytt av stationen som skett från en transportbotten till en depositionsbotten med bättre depositionsförhållanden. Det senare speglar således inte en förändring relaterad till emissionen av PCB.

Tabell 3:12. Enskilda polyklorerade bifenyler (PCB), Σ7 PCB och total PCB i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990, 1995 och 2000. *Individual polychloronated biphenyls, Σ7 PCB and total PCB in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1990, 1995 and 2000.*

Summaparameter/ /förening µg/kg	**År**	**Station GÄV1**	**Station GÄV2**	**Medianvärde Västerhavet n = 92**	**Bakgrund Färöarna Ref. 1 (Cato 1992)**
Σ 7 PCB	1990	100*	2*		
	1995	63,4	3,1	5,3	1,2
	2000	26	4,1		
Tot-PCB (Aroclor 1254)	1990	200	4		
	1995	-	-		
	2000	91	14		
PCB 28	1995	0,7	0,2		
	2000	1,3	0,52		
PCB 52	1995	2,7	0,2		
	2000	2,0	0,48		
PCB 101	1995	10,4	0,5		
	2000	4,7	0,56		
PCB 118	1995	7,9	0,4		
	2000	3,5	0,43		
PCB 138	1995	15,7	0,7		
	2000	5,1	0,72		
PCB 153	1995	15,1	0,7		
	2000	5,8	0,81		
PCB 180	1995	10,9	0,4		
	2000	3,6	0,54		
PCB 105	1995	2,8	0,1		
	2000	1,3	0,17		
PCB 156	1995	2,5	0,1		
	2000	0,680	0,098		
PCB 157	1995	-	-		
	2000	0,120	0,017		
PCB 167	1995	-	-		
	2000	0,290	0,045		
PCB 209	1995	0,6	0,2		
	2000	-	-		

- = Ej analyserat. *Not analysed.*
* = Tot-PCB x ½

Förändringen på station GÄV1 är betydligt större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Motsvarande utvecklingstrend jämte miljökvaliteten för total PCB mellan de två undersökningsåren 1990 och 2000 illustreras i figur 3:17. Data saknas från 1995. Totalhalten PCB (mätt som Aroclor) har minskat med 55 % sedan 1990. Även i detta fall är förändringen på station GÄV1 betydligt större än de minst 20 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall.

Under samma period har halten ökat med 250 % på station GÄV2. Det senare hänger samman med den ovannämnda flytt av stationen som skett från en transportbotten till en depositionsbotten med bättre depositionsförhållanden. Det senare speglar således inte en förändring relaterad till emissionen av PCB.

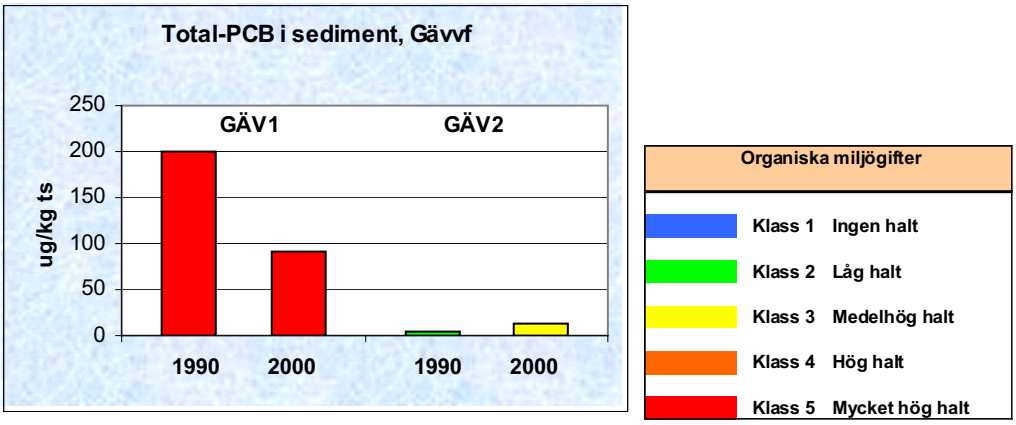


Fig. 3:17. Förändringar i halt och miljökvalitet med avseende på polyklorerade bifenyler (tot-PCB) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005). The changes in concentration and E*nvironmental Quality Criteria with respect to polychlorinated biphenyls (tot-PCB) in the surficial sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).*

Resultaten visar att förhållandena med avseende på PCB i Göta älvs estuarium förbättrats från en mycket starkt kontaminerad situation 1990 till en mindre förorenad situation 2000.

3.5.15 Plana PCB samt förändringar efter 1995

En speciell och mycket toxisk grupp av PCB utgör de s k plana PCB-erna, dvs PCB-kongener med kloratomer i molekylens para- och meta-positioner. Dessa s k nonorto PCBer, omfattar i föreliggande studie kongenerna PCB-77, PCB-81, PCB-126 och PCB-169. Resultaten redovisas i tabell 3:13. I tabellen återges också Σ plana PCB, toxisitetsekvivalenterna TE(WHO) enligt Ahlborg *et al.* (1994) samt i-TE(Safe) enligt Safe (1994).

Resultaten från undersökningsomgång 2000 visar att koncentrationen av plana PCB i ytsedimentet (0-1 cm) på station GÄV1 (96 ng/kg ts) är 1,5 gånger högre än på station GÄV2 uppströms Göteborg. Mellan 1995 och 2000 har halten på station GÄV1 sjunkit med 74 % (fig. 3:18). Förändringen är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Resultaten visar i likhet med övriga PCB (se ovan) att emissionen minskat under 5-årsperioden.

I tabell 2:59 (denna samlingsvolym) redovisas de fåtal data som finns över plana PCB från Bohuskusten. Halterna på stationerna GÄV1 och GÄV2 ligger högre än för övriga Bohuskusten. Detsamma gäller toxisitetsekvivalenterna. Även dessa resultat står i överensstämmelse med Dave & Nilssons (1994) observationer i Göteborgs skärgårdsområde vad avser testad sedimenttoxicitet.

Tabell 3:13. Förekomsten av plana PCB jämte beräknade toxisitetsekvivalenter i ytsedimenten (0-1 cm) på station GÄV1 i Göta älv 1995 och 2000. *The concentration of nonortho PCB and the accounted toxic equivalents in the surficial sediments (0-1 cm) at site GÄV1in the Göta Älv river in 1995 and 2000.*

Station	År	Eriksberg GÄV1 ng/kg	Nödinge GÄV2 ng/kg
33´44´-TeCB (PCB-77)	1995	340	-
	2000	71	61
344´5-TeCB (PCB-81)	1995	6.2	-
	2000	-	-
33´44´5 PeCB (PCB-126)	1995	25	-
	2000	15	<10
33´44´55´-HxCB (PCB-169)	1995	3,7	-
	2000	<10	<10
Summa nonorto PCB	1995	375	-
	2000	96	61
TE (WHO)	1995	2,72	-
	2000	1,54	0,03
i-TE (Safe)	1995	6,09	-
	2000	2,21	0,61

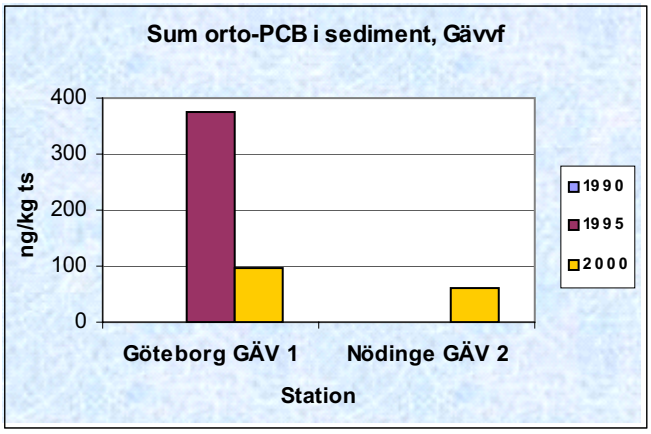


Fig. 3:18. Förändringen mellan 1995 och 2000 av plana polyklorerade bifenyler (Σ4 nonorto-PCB) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of polychlorinated nonorto biphenyls (Σ4 nonorto-PCB) in the surficial sediments (0-1 cm) between 1995 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

3.5.16 Klorbensener och klorstyren samt förändringar efter 1990

Analysresultaten från 2000 års undersökning avseende pentaklorbensen (pe-CB), hexaklorbensen (HCB) och oktaklorstyren (OCS) redovisas i tabell 3:14.

Pentaklorbensen

Koncentrationen av pentaklorbensen (pe-CB) varierade mellan 0,024 och 0,22 µg/kg ts. Det lägre värdet hänför sig till station GÄV2 uppströms Göteborg. Halterna motsvarar de som uppmätts inom andra områden av Bohuskusten (se tabell 2:50 i del 2, denna samlingsvolym). Norska klassificeringskriterier (Rygg & Thèlin 1993) saknas för pentaklorbensen, men i Konieczny & Julius-

sen (1995) föreslås gränsen <0,5 µg/kg för tillståndsklass I (”god”). Detta innebär att pentaklorbensenhalterna i Göta älv kan betraktas som låga. Svenska bedömningsgrunder för pe-CB saknas.

Tabell 3:14. Pentaklorbensen (pe-CB), hexsa-klorbensen (HCB) och oktaklorstyren (OCS), i ytsedimentet (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990 till 2000. *Pentachlorobenzene (pe-CB), hexsachlorobenzene (HCB) and octachlorostyrene (OCS) between 1990 and 2000 in the surficial sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv river.*

Station	Nr.	År	5CB µg/kg	HCB µg/kg	OCS µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	1,5	2,8	n.d.
		1995	0,3	1,8	<0,1
		2000	0,22	1,1	<0,01
Nödinge	GÄV 2	1990	0,4	0,1	n.d.
		1995	0,1	<0,1	<0,1
		2000	0,024	0,08	<0,01

n.d.. = Ej påvisat. *Not detected.*

.

Motsvarande data vad avser pe-CB från ytsediment mellan Hvaler i Norge och Kosteröarna på svenska västkusten varierade mellan 0.1 och 0.5 µg/kg ts (Helland et al. 1990). Från övre delen av Löperen i Norge konstaterades pe-CB-halter i sedimenten på mellan 2 och 10 µg/kg ts (Naes 1983). Värden som får anses höga.

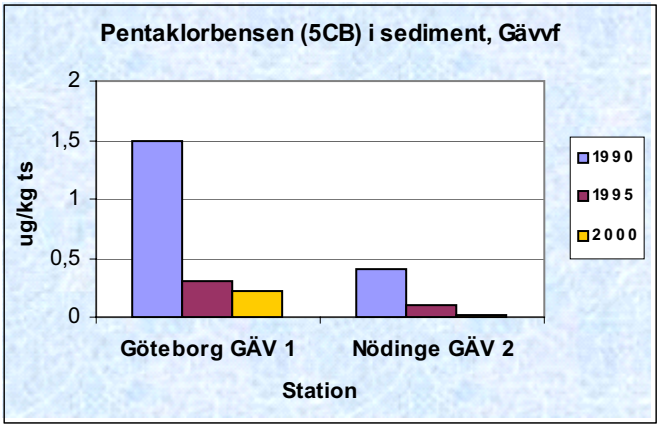


Fig. 3:19. Förändringen mellan 1990 och 2000 av pentaklorbensen (5-CB) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. *The change of pentachlorobenzene (5-CB) in the surficial sediments between (0-1 cm) 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river*

I jämförelse med 1990 års pentaklorbensenhalter är halterna betydligt lägre på båda stationerna 1995 och 2000. Halterna på station GÄV1 har sjunkit med 85 % sedan 1990 och med 27 % sedan 1995(fig. 3:19). En förändring som är större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se av-

snitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

I förhållande till den bakgrunden (0.02 µg/kg ts), hämtad från Färöarna, är halten på station GÄV1 hög, medan den är låg på station GÄV2 uppströms Göteborg.

Hexaklorbensen

Koncentrationen av hexaklorbensen (HCB) varierade i ytsedimentet mellan 0,033 och 0,41 µg/kg ts (tabell 3:14). Det lägre värdet hänför sig till station GÄV2 uppströms Göteborg. Det senare värdet är i nivå med medelvärdet för Skagerrak och Kattegatt (tabell 2:51 i del 2, denna samlingsvolym).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller stationerna GÄV1 i klass 5 (*mycket hög halt*) och station GÄV2 i klass 3 (*medelhög halt*). I förhållande till 1990 och 1995 har miljökvaliteten med avseende på HCB förbättrats (Fig. 3:20).

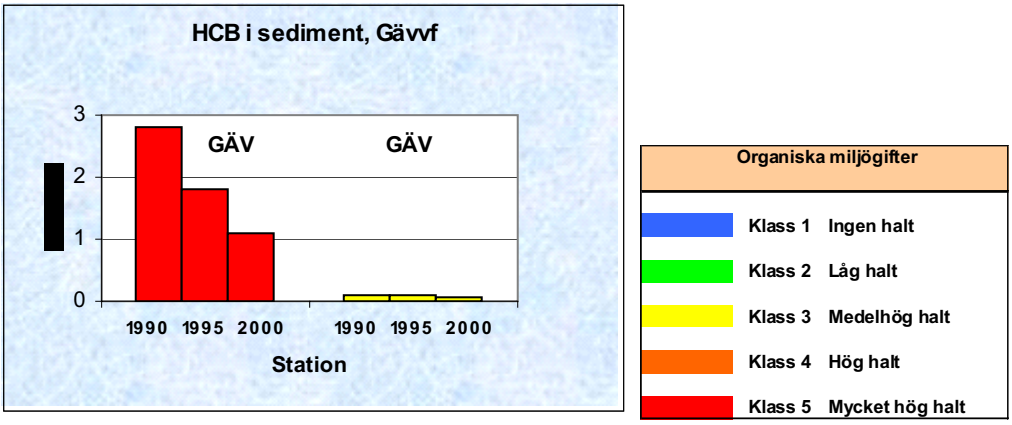


Fig. 3:20. Förändringar i halt och Miljökvaliteten med avseende på hexaklorbensen (HCB) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005). Changes in concentration and *Environmental Quality Criteria with respect to hexachlorobenzene (HCB) in the surficial sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).*

Från övre delen av Löperen i Norge konstaterades HCB-halter i sedimenten på mellan 2 och 10 µg/kg ts respektive 20 och 100 µg/kg ts (Naes 1983). Nordsjösedimenten innehåller mellan 0,001 och 0,26 µg/kg ts (Knickmeyer & Steinhart 1988). Något högre värden på mellan 0,002 och 3 µg/kg ts har dock rapporterats från södra Nordsjön (Lohse 1988). Koncentrationen av HCB i Elbeestuariet varierade 1985 mellan 10 och 200 µg/kg ts (Sturm *et al*. 1986), medan t ex variationer på mellan 320 och 530 µg/kg ts redovisats från den kraftigt kontaminerade Frierfjorden i Norge (Bjerk & Brevik 1980). Från undersökningar i Stenungsundsområdet 1990 rapporterades halter på upp till 12 µg/kg ts (Cato 1992).

I jämförelse med 1990 och 1995 års hexaklorbensenhalter är halterna betydligt lägre på station GÄV1 år 2000. Halten har sjunkit med 39 % sedan 1995 och med 41 % sedan 1990 (fig. 3:20). En förändring som är betydligt större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Halten på station GÄV2 har minskat med 20 % sedan 1995.

Resultaten visar att en tydlig förbättring av sedimentstatusen skett i Göta älv. I förhållande till bakgrunden (0.02 µg/kg ts), hämtad från Färöarna, är dock halterna vid GÄV1 fortfarande fem gånger högre, medan ingen anrikning kan konstateras på station GÄV2 uppströms Göteborg.

Oktaklorstyren

Koncentrationen av oktaklorstyren (OCS) låg såväl 1995 som 2000 under detektionsgränsen (<0,01 µg/kg ts) på båda stationerna i Göta älv (tabell 3:14). Förhållandena är de samma utmed hela Bohuskusten såväl 1995 som 2000 (se tabell 2:65 i del 2 denna samlingsvolym). Bakgrunden uppmätt på Färöarna är 0,02 µg/kg.

3.5.17 Halogenerade alifater (haloformer) samt förändringar efter 1995

Analysresultaten vad avser kloroform, tetraklormetan (koltetraklorid), trikloreten (trikloretylen) och tetrakloreten (tetrakloretylen) i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas tillsammans med motsvarande data från 1995 i tabell 3:15.

Såväl kloroform som tetraklormetan påvisades på båda stationerna 1995 (fig. 3:23-3:24). Trikloreten däremot påvisades endast på station GÄV2 medan tetrakloreten inte kunde detekteras på någon av stationerna. Detektionsgränsen var då 0,05 µg/kg ts, dvs 10 gånger lägre än vid undersökningarna 2000. Inga haloformer kunde därför påvisas vid undersökningarna 2000. Utvecklingstrenden är därför osäker (markerad med ”?” i figurerna) eftersom det inte kan uteslutas att ämnena förekommer år 2000 i halter under 50 µg/kg ts.

Tabell 3:15. Alifatiska halogenföreningar i ytsediment (0-1 cm) från stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995 och 2000. *Aliphatic halogen compounds in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995 and 2000.*

Station	Nr	År	Kloroform µg/kg	Tetraklor-metan µg/kg	Trikloreten µg/kg	Tetraklor-eten µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1995	0,1	1,3	-	-
		2000	<50	<50	<50	<50
Nödinge	GÄV 2	1995	0,3	0,3	0,02	-
		2000	<50	<50	<50	<50

- = Ej påvisat. *Not detected.*

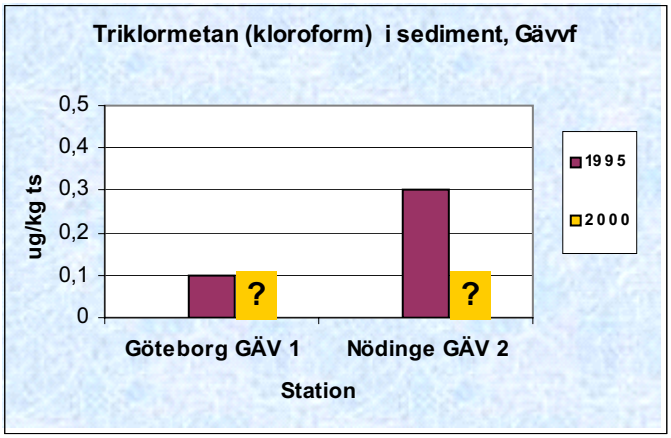


Fig. 3:21. Koncentrationen av kloroform i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995-2000. För förklaring se texten. *The concentrations of chloroforme in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995-2000. For explanation, see the text.*

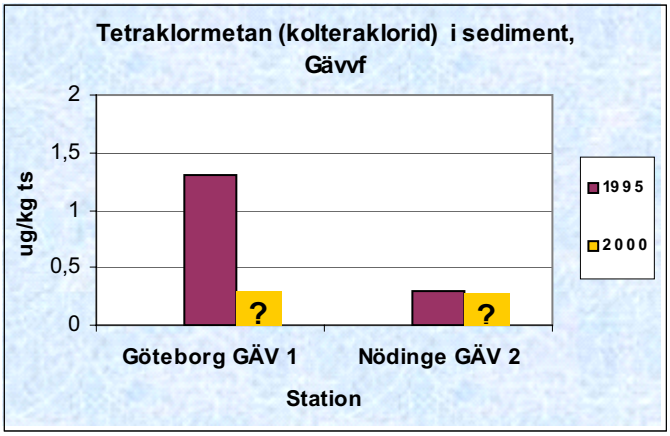


Fig. 3:22. Koncentrationen av tetraklormetan i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995-2000. För förklaring se texten. *The concentrations of tethrachloromethane in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995-2000. For explanation, see the text.*

Koncentrationen av tetraklormetan på station GÄV1 var 1995 den högsta som konstaterats utmed Bohuskusten (Cato 1997a).

3.5.18 Monoaromater samt förändringar efter 1995

Analysresultaten år 2000 vad avser BTEX, dvs bensen (B), toluen (T) och summan av etylbensen och xylener (EX) samt styren i ytsedimenten (0-1 cm) på de två stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas tillsammans med motsvarande data för 1995 i tabell 3:16 och figurerna 3:23-3:25. Endast toluen kunde detekteras år 2000 på station GÄV2 och Σetylbenzen och xylener på station GÄV1. Styren kunde inte påvisas på någon station.

1995 kunde samtliga ämnen (utom styren) detekteras på station GÄV2.

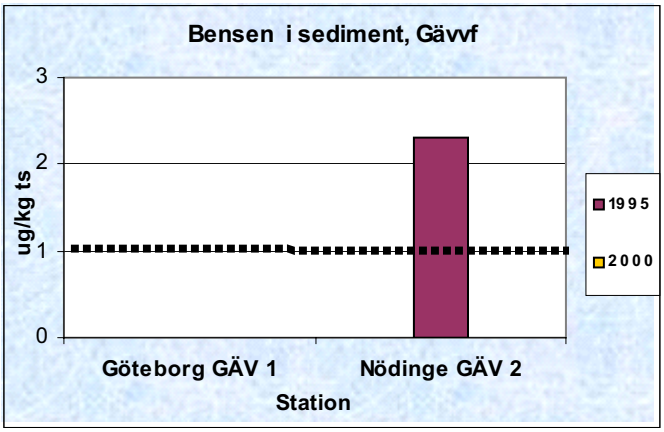


Fig. 3:23. Koncentrationen av bensen i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995-2000. Streckad linje = detektionsgräns. *The concentrations of benzene in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995-2000. Hatched line = detection limit.*

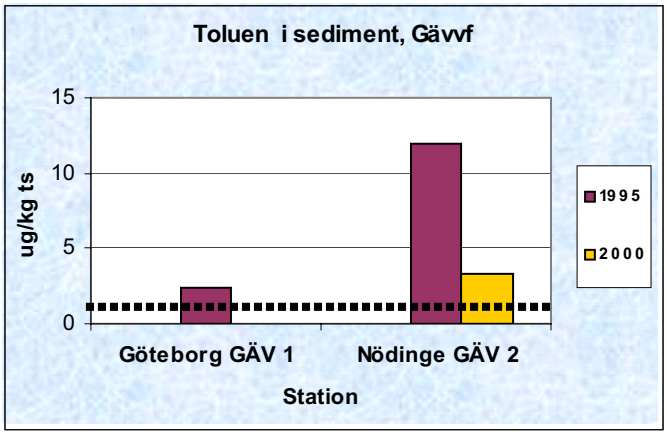


Fig. 3:24. Koncentrationen av toluen i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995-2000. Streckad linje = detektionsgräns. *The concentrations of toluene in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995-2000. Hatched line = detection limit.*

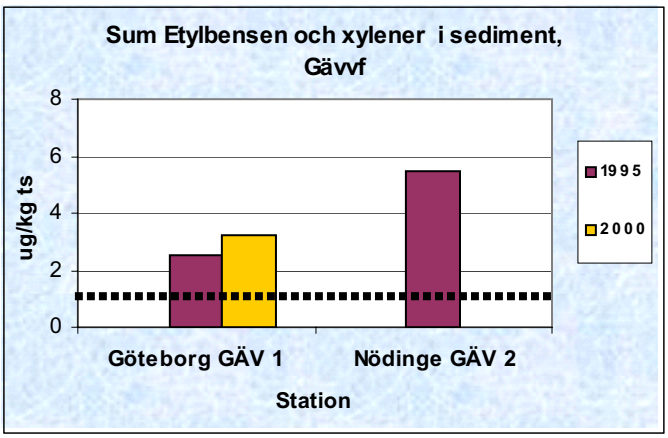


Fig. 3:25. Koncentrationen av Σetylbenzen och xylener i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995-2000. *The concentrations of Σetylbenzen och xylener in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995-2000.*

I motsatts till alla andra ämnen som undersökts inom ramen för kontrollprogrammet 1995 uppvisade station GÄV2 de högsta halterna av BTEX. År 2000 var förhållandet detsamma för toluen, medan summan av etylbensen och xylener var högst på station GÄV1.

Utvecklingen mellan 1995 och 2000 visar med ett undantag på en stark minskning av halterna på station GÄV2. Halterna har där sjunkit med mellan 56 och 82 %. På station GÄV1 däremot har summan av etylbensen och xylener ökat med 28 %. Med undantag för det senare är förändringarna betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

I tabellerna 2:71-2:74 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas halterna av respektive BTEX i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Vid en jämförelse framkommer att BTEX-halterna på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv ligger inom den undre delen av det intervall som konstaterades för Bohuskusten 2000. Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas för monoaromater.

Tabell 3:16. BTEX (bensen, toulen och summa etylbensen och xylener) i ytsediment (0-1 cm) från stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995. *BTEX (benzene, toulene and the sum of ethylbenzene and xylenes) in 1995 in the surficial sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

Station	nr	År	Bensen µg/kg	Toluen µg/kg	Σetylbensen och xylener µg/kg	Styren µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1995	-	<2,4	2,5	-
		2000	<1	<1	3,2	<1
Nödinge	GÄV 2	1995	2,3	12,0	5,5	-
		2000	<1	3,3	<1	<1

3.5.19 Polybromerade difenyletrar

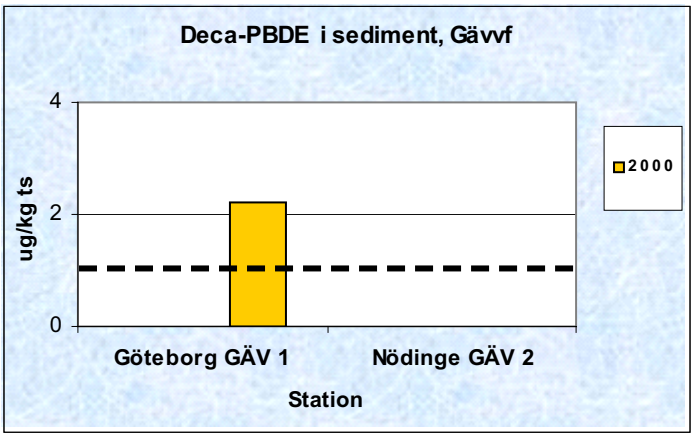
Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende polybromerade difenyletrar (PBDE) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas i tabell 3:17 samt vad avser Deca-PBDE i figur 3:26. Av totalt 209 kongener analyserades åtta stycken. Av dessa kunde endast PBDE-47, PBDE-99 och DekaBDE detekteras på station GÄV1. Inga PBDE kunde detekteras på station GÄV2.

Vid 1995 års undersökningar kunde två typer av kongener påvisas på station GÄV2, dels 4Br-PBDE, dels 5Br-PBDE, d v s molekyler med fyra respektive fem bromatomer. Analysmetodiken var inte kongenspecific 1995 varför en jämförelse mellan de två provtagningsomgångarna inte är möjlig. Svenska bedömningsgrunder för PBDE saknas.

I tabellerna 2:82 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas halterna av respektive PBDE i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Vid en jämförelse framkommer att PBDE-halterna på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv ligger inom det intervall som konstaterades för Bohuskusten 2000. Undantag utgör Deca-PBDE som ligger något högre. Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas polybromerade difenyletrar.

Tabell 3:17. Polybromerade difenyletrar (PBDE) i ytsediment (0-1 cm) på station GÄV1 och GÄV2 i Göta älv år 2000. *Polybromined diphenylethers (PBDE) in 2000 in the surficial sediments (0-1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

Ämne	**År**	**Eriksberg GÄV1 ug/kg**	**Nödinge GÄV2 ug/kg**
PBDE-47 (Tetra-)	2000	0,14	<0,1
PBDE-100 (Penta-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-99 (Penta-)	2000	0,16	<0,1
PBDE-85 (Penta-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-154 (Hexa-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-153 (Hexa-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-138 (Hexa-)	2000	<0,1	<0,1
DekaBDE-209	2000	2,2	<0,1



. Fig. 3:26. Koncentrationen av Deca-PBDE i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 2000. *The concentrations of Deca-PBDE in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 2000.*

3.5.20 Klorfenoler

Femton av nitton olika klorfenoler undersöktes år 2000 i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2. Resultaten presenteras i tabell 3:18. Endast bekämpningsmedlet pentaklorfenol kunde påvisas. På station GÄV1 var koncentrationen fem gånger högre än på station GÄV2 uppströms Göteborg (fig. 3:27). Resultaten tyder på att pentaklorfenol emitteras från Göteborg. Klorfenoler undersöktes inte vid 1995 års provtagningsomgång, varför inga utvecklingstrender kan anges.

Svenska bedömningsgrunder för klorfenoler i kust- och havssediment saknas. I tabellerna 2:88 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas halterna av Σ 15 klorfenoler i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Vid en jämförelse framkommer att halterna av Σ 15 klorfenoler på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv ligger inom det intervall som konstaterades för Bohuskusten 2000. Halterna är dock låga i jämförelse med t ex de värden som 1996/97 uppmättes i sedimentfällor utanför Mönsterås Bruk i Kalmarsund; pentaklorfenol: <0,01 – 688 µg/kg ts, Σ klorfenol: 6,3 – 709 µg/kg ts (Cato 1999).

Tabell 3:18. Klorfenoler i ytsediment (0-1 cm) på station GÄV1 och GÄV2 i Göta älv år 2000. *Chlorophenols in 2000 in the surficial sediments (0-1 cm) at the site GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.*

Ämne	**År**	**Eriksberg GÄV1 µg/kg**	**Nödinge GÄV2 µg/kg**
2,4/2,5-Diklorfenol	2000	<1	<1
2,3-Diklorfenol	2000	<1	<1
2,6-Diklorfenol	2000	<1	<1
3,5-Diklorfenol	2000	<1	<1
3,4-Diklorfenol	2000	<1	<1
2,3,5-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,4,6-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,4,5-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,3,4-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,3,6-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,4,5-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,3,5,6-Tetraklorfenol	2000	<1	<1
2,3,4,5-Tetraklorfenol	2000	<1	<1
2,3,4,6-Tetraklorfenol	2000	<1	<1
Pentaklorfenol	2000	7,8	1,7
Summa klorfenoler	2000	7,8	1,7

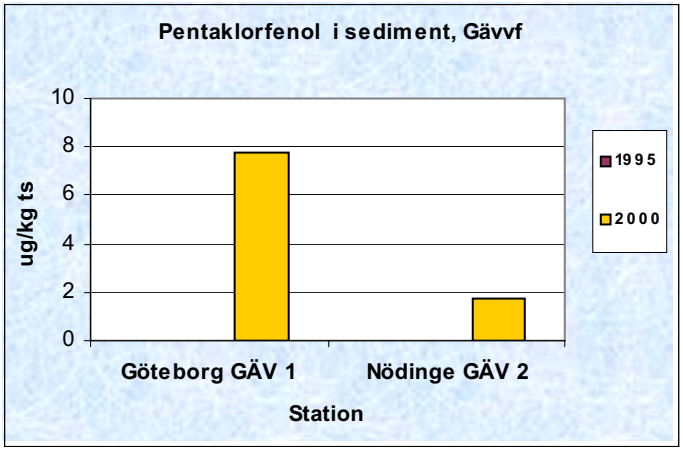


Fig. 3:27. Koncentrationen av pentaklorfenol i ytsedimenten (0-1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 2000. *The concentrations of penta-chlorophenol in the surficial sediments (0-1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 2000.*

3.6. Sammanfattning

Sedimenten i Göta älv har på uppdrag av Göta Älvs Vattenvårdsförbund undersökts med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar 2000. Ett 90-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på två stationer; den ena belägen i Göteborgs hamn och den andra uppströms Göteborg i höjd med Nödinge. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av denna fas, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. Studien ingår som ett led i Göta älvs vattendragskontroll, omfattande bl a kontroll och bedömning av sedimentkvalitet vart femte år. Den föregående studierna genomfördes 1990 (Cato 1992) och 1995 (Cato 1997a).

2000 års undersökning har omfattat provtagning av bl a det översta sedimentskiktet (0-1 cm) vid eller i närheten av 1995 års stationer. Att provtagningen inte kunde ske på exakt samma plats i Göta älv vid Nödinge (station GÄV2) som 1995 berodde på att bottenförhållandena ändrats. En ny depositionsbotten fick därför uppsökas i närheten. Detta innebär att jämförelser med data från 1990 och 1995 inte är möjliga för station GÄV2 om en koncentrationsökning skett 2000 eftersom denna ökning kan vara en effekt av att sedimentet på den nya platsen har en högre organisk halt och därmed större bindningskapacitet för kemiska ämnen. Om halten år 2000 däremot är lägre än tidigare år så är trenden reell.

Under förutsättning att det översta sedimentskiktet till största delen utgörs av nysedimenterat material kan utvecklingen av miljökvaliteten i form av antropogent tillförda ämnen till Göta älv avläsas genom s k trendanalys. I nedan redovisade och sammanfattande trendanalys återges trenden för varje enskild parameter, ämne eller förening på i första hand station GÄV1. Förhållandet mellan station GÄV1 och GÄV2 visar Göteborgs, dvs den starkt urbaniserade miljöns påverkan på sedimentkvaliteten.

För att kunna bestämma belastningen av ett kemiskt ämne eller förening inom ett kustavsnitt eller en recipient måste i vissa fall hänsyn tas till effekten av den naturliga variationen av ämnet/föreningen som beror på variationer i halten organiskt material. Detta kan man göra genom den s k Gradientmetoden, där gradienten i sig utgör ett mått på belastningen. Detta förutsätter dock att ämnet/föreningen uppvisar en godtagbar och sannolik positiv korrelation (association) till sedimentens innehåll av totalt organiskt kol. Detta har inte kunnat avgöras enär två stationer utgör ett alltför magert statistiskt underlag.

Halten av ler och silt, dvs kornstorleksfraktionerna <63 µm, har bestämts i syfte att bl a utreda sedimentationsmiljön på de undersökta stationerna. Tillsammans med vattenhaltsbestämningarna och radiografisk analys av sedimentet visar resultaten att station GÄV1 tillhör en potentiellt god sedimentationsmiljö medan station GÄV2 representerar sedimentationsförhållanden typiska för rinnande vattendrag. Ingen levande fauna observerades på någon av stationerna.

Den organiska kolhalten (TOC) i sedimenten ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. Halten av organiskt kol och totalkol (TC) har ökat något (ej signifikant) på station GÄV1 sedan 1990, medan halten av oorganiskt kol (OOC, huvudsakligen karbonatkol) ökat med hela 130 % under samma period. Den senare ökningen är främst en följd av mängden skalfragment i sedimenten och har således inget med miljökvaliteten att göra.

Kvävet (TN) i sedimenten är till största delen organiskt bundet och uppvisar därför ett fördelningsmönster snarlikt det för totalt organisk kol. Kvävehalten i sedimentet på station GÄV 1 har minskat med 18 % sedan 1995 medan C/N-kvoten ökat med 16 %. I jämförelse med 1990 ligger dock kvävehalten fortfarande högre (23 %) och C/N-kvoten lägre (15 %) år 2000. Förändringen på station GÄV1 kan tyda på att den ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus som noterades mellan 1990 och 1995 ersatts av en situation som mer domineras av terrestriskt organiskt material. Detta kan tyda på att den tidigare observerade allmänna eutrofieringen av kustområdet (som gynnat produktionen av marint organiskt material) inklusive Göta älvs estuarieområde kan ha minskat.

En motsvarande förändringar av C/N kvoten har även konstaterats utmed Bohuskusten mellan 1990 och 2000, i Brofjorden mellan 1972 och 2000, samt i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 2000 (se del 2, 4 och 5 i denna samlingsvolym).

Sedimentens totalfosforhalt (tot P) i älven ligger i överkant av det intervall som uppmätts i andra recipienter utmed Bohuskusten. Fosforhalten har mellan 1990 och 2000 successivt ökat med närmare 180 % på station GÄV1, dvs i Göta älvs estuarium. Koncentrationsökningen speglar sannolikt den ökade tillförseln av fosfor som skett till älven under perioden 1993/1995 och senare.

I figur 3:28 sammanfattas sedimentens miljökvalitet år 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 vad avser de ämnen/föreningar där svenska bedömningsgrunder finns att tillgå (Naturvårdsverket 1999, 2005). Stationerna har med avseende på varje ämne placerats in i tillämplig tillståndsklass. Resultatet visar att med avseende på flera tungmetaller (främst As, Cd, Pb, Hg, Ni och Zn), organiskt kol (TOC), totalkväve (TN), totalkolväten (THC), pentaklorbensen (pe-CB) och oktaklorstyren (OCS) har station GÄV2 en god status (klasserna 1-2). Med avseende på Cu, Cr, polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och hexaklorbensen (HCB) är statusen mindre god (klass 3) och vad avser polyklorerade bifenyler (PCB) dålig (klass 4).

Station GÄV1 i Göta älv estuarium uppvisar endast en god status vad gäller As, Ni, TOC, TN, THC, pe-CB och OCS. Med avseende på Cd, Cu, Cr och Zn är statusen mindre god (klass 3) och med avseende på Hg, PAH, t ex det cancerogena benso(a)pyren), PCB och HCB är statusen dålig (klass 4) och mycket dålig vad avser PCB och HCB.

Halten av nonorto-PCB, dvs plana PCB, är betydligt högre än vad som uppmätts utmed hela Bohuskusten, medan monoaromaterna, pentaklorfenol och polybromerade difenyletrar (PBDE) ligger i nivå med övriga kusten. Undantag

utgör Deca-PBDE som ligger något högre. Inga andra klorfenoler kunde påvisas. Situationen vad gäller halogenerade alifater har inte kunnat bedömas till följd av för hög detektionsgräns vid analysen.

På station GÄV2, belägen uppströms Göteborg, är halterna genomgående betydligt lägre än i estuariet, vilket visar påverkan från tätorten Göteborg.

Göta älv **År 2000** **Ämne/förening**	**Klass 1** ***Bakgrund*** *Background*	**Klass 2** ***Låg halt*** *Low cont.*	**Klass 3** ***Medelhög halt*** *Medium cont.*	**Klass 4** ***Hög halt*** *High cont.*	**Klass 5** ***Mycket hög halt*** *Very high cont.*
Arsenik (As)	**GÄV1 o. 2**				
Bly (Pb)	**GÄV2**		**GÄV1**		
Kadmium (Cd)		**GÄV2**	**GÄV1**		
Koppar (Cu)			**GÄV1 o. 2**		
Krom (Cr)			**GÄV1 o. 2**		
Kvicksilver (Hg)		**GÄV2**		**GÄV1**	
Nickel (Ni)	**GÄV1 o. 2**				
Zink (Zn)		**GÄV2**	**GÄV1**		
Sum 11 PAH			**GÄV2**	**GÄV1**	
Sum 7PCB				**GÄV2**	**GÄV1**
Tot PCB			**GÄV2**		**GÄV1**
HCB			**GÄV2**		**GÄV1**
TOC*	**GÄV1 o. 2**				
TN*	**GÄV1 o. 2**				
THC*		**GÄV1 o. 2**			
pe-CB*	**GÄV1 o. 2**				
OCS*	**GÄV1 o. 2**				

Fig. 3:28. Klassificering av miljökvaliteten i ytsedimenten (0-1 cm) år 2000 på sedimentstationerna GÄV1 och GÄV2 som ingår i Göta älvs kontrollprogram. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdverket 1999, 2005) utom I fem fall (markerade med *) där norskt klassificeringsschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts. *Classification of environmental sediment quality in the surficial sediment (0-1 cm) in 2000 at station GÄV1 and GÄV2 in the Göta älv. Monitoring Programme. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in three cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*

Utvecklingstrenden mellan 1990 och 2000, vad avser station GÄV1, illustreras översiktligt i figur 3:29. Pilarna visar om koncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrat under perioden. Förändringar under 10 % är inte statistiskt signifikanta. Hänsyn måste också tas till sedimentens omblandningsfaktor. Denna avgör hur stor procentuell förändring som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Förändringar över 20 respektive 35 % kan i detta fall anses säkra vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. I de fall dessa krav är uppfyllda har förändringarna markerats med grönt i figur 3:29.

Resultatet från trendanalysen visade, med hänsyn taget till vad som krävs enligt omblandningsfaktorn, en moderat till starkt signifikant ökning mellan 1995 och

GÄV 1 Ämne/förening	Förändring Trend 1990-1995	%	Förändring Trend 1995-2000	%	Förändring Trend 1990-2000	%
Tot kol (TC)	↗	20	↘	-9	↗	10
Oorg kol (OOC)	↗	238	↘	-54	↗	131
Tot org kol (TOC)	↗	9	↘	-5	↗	4
Tot kväve (TN)	↗	50	↘	-18	↗	23
C/N	↘	-26	↗	16	↘	-15
Total fosfor (TP)	↗	80	↗	55	↗	179
Arsenik (As)	↗	20	↘	-14	↘	7
Bly (Pb)	↘	-25	↗	3	↘	-23
Kadmium (Cd)	↘	-23	↘	-15	↘	-35
Koppar (Cu)	↘	-9	↘	-8	↘	-16
Krom (Cr)	↗	11	↘	-3	↗	8
Kvicksilver (Hg) *	↘	-38	↗	29	↘	-20
Nickel (Ni)	↗	17	↗	4	↗	22
Tenn (Sn)	↗	100	↗	13	↗	127
Vanadin (V)	↗	60	↘	-13	↗	38
Zink (Zn)	→	0	↘	-36	↘	-36
Totalkolväte (THC)	↘	-70	↘	-70	↘	-91
Sum 11 PAH	↘	-65	↘	-18	↘	-72
Sum 7PCB	↘	-37	↘	-59	↘	-74
Tot PCB					↘	-55
Sum Nonorto-PCB			↘	-74		
pentaCB	↘	-80	↘	-27	↘	-85
HCB	↘	-36	↘	-39	↘	-61
Bensen			→	0		
Toluen			→	0		
Sum Etylbensen/xylener			↗	28		

1 station/1 site

Fig. 3:29. Sammanställning över förändringen av koncentrationen för några ämnen och föreningar i ytsedimentet på station GÄV1 i Göta älvs estuarium mellan 1990 och 2000. Nedåtriktad pil betyde minskade halter och uppåtriktad pil ökande halter. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är store än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på sediments blandningsfaktor krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. *Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compound between 1990 and 1995 in the surficial sediments of the site GÄV1 in the Göta älv estuarium. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 20 and 35 % needed to detect changes with a high significance in a ten- and five years sampling interval respectively.*

2000 av tot-P, och motsvarande minskning av halterna av Zn, THC, PCB, plana
PCB och HCB. I ett tioårigt perspektiv (1990-2000) har halterna ökat vad gäller TN, tot-P, Ni, Sn och V, medan halterna för övriga ämnen (Pb, Cd, Hg, Zn, THC, PAH, PCB, pe-CB och HCB) sjunkit med mellan 20 och 90 % (fig. 3:29).

De flesta andra ämnen och föreningar uppvisade, med hänsyn taget till omblandningsfaktorn, ingen eller ingen statistiskt signifikant förändring under perioden. Någon trendanalys har inte varit möjlig att ge för station GÄV2 eftersom stationen flyttats till en ny plats 2000.

3.7. Summary

At the request of the Göta Älv Water Conservation Association, the bottom sediments of the Göta Älv river, were examined with regards to certain physical and chemical parameters in 2000. About 90 chemicals and compounds, heavy metals, organic micropollutants and nutritive substances were studied at two sites; one situated in the harbour of Göteborg and the other one upstream the Göteborg city in the vicinity of Nödinge. The Geological Survey of Sweden (SGU) was responsible for sampling procedures and Alcontrol for analyses of sediment samples and preliminar reporting, while SGU carried out the evaluation, trend analyses and final reporting. The study is part of the Water Monitoring Programme of the Göta Älv river, comprising *inter alias* control and evaluation of sediment quality every fifth year. The former study was carried out in 1990 (Cato 1992) and 1995 (Cato 1997a).

The investigations in 2000 comprised resampling of *i.a.* the superficial sediment layer (0-1 cm) at the sampling sites of 1990, 1995. That the sampling not could be carried out at the previously studied site at Nödinge in the Göta Älv river in 2000, was due to changed bottom conditions. Therefore, a new site with suitable conditions for sedimentation was found in the vicinity of the former site. This implies that comparison with data from 1990 and 1995 is not possible at site GÄV2 when an increase in the concentration is observed in 2000. This since the latter might be a consequence of the higher organic content and the higher capacity of the sediment at the new site to associate contaminants. On the other hand, if the concentration in 2000 is lower than previous years the decrease can be considered as real.

By assuming that the main part of the superficial layer consists of recently deposited sediments, the trend of the environmental quality expressed as the anthropogenic load of substances to the Göta Älv river, could be determined by trend analysis. In the trend analysis summarized below, only the trend of each parameter, element or compound at site GÄV1 is given. The conditions at the sites GÄV1 viz. GÄV2 show the influence from Göteborg on the sediment quality.

To be able to determine the load of a certain chemical or compound within a coastal area or recipient, consideration must, in some cases, be taken of the effect of the natuaral variation of the element/compound. This, in turn, depends on the variation of the concentration of organic matter. This can be done using the Gradient method, where the gradient itself expresses the degree of the anthropogenic load. However, this presupposes that the element/compound in question shows an acceptable and probable positive correlation (association) with the sedimentary organic carbon. In those cases where such a relationship exists within an area the load gradient can been determined. This has not been done in this study, since two sites do not give a sufficient statistical base.

The content of clay and silt, i.e. the fraction <63 µm was determined as *i.a.* the environment of sedimentation at each site has to be examined. Together with the water content determinations of the sediment and the radiographic analysis the results show that site GÄV1 was placed in a potentially good deposition

environment, while site GÄV2 was found to represent sedimentation conditions typical for rivers. No living fauna was observed at the two sites.

The total organic carbon (TOC) content of the sediments falls within an interval that can be considered as normal for the Bohus coast. The contents of organic carbon and total carbon (TC) have increased somewhat (not significant) after 1990 at site GÄV1, while the content of inorganic carbon (OOC, mainly carbonate coal) increased with more than 130 % during the same period. The latter increase is mainly a consequence of the amount of shell fragments in the sediment, and consequently has nothing to do with the sediment quality.

The majority of the nitrogen (TN) occuring in the sediments is organically bound and therefore displays a distribution pattern closely resembling that of total organic carbon. The nitrogen content in the sediment at site GÄV1 has decreased by 18 % after 1995 while the C/N ratio has increased by 16 %. In comparison with 1990 the nitrogen concentration still is higher (23 %) and the C/N-ratio lower (15 %). These changes at site GÄV1 may indicate that the increase in the amount of deposited marine detritrus (rich in nitrogen and poor in cellulose) observed between 1990 and 1995 within the area now has been replaced by a situation more dominated by terrestrial organic matter. This may imply that the previous generally observed eutrophication of the coast area (which favoured the production of marine organic matter) inclusive Göta älv estuary has decreased. Corresponding changes of the C/N ratio have been observed along the Bohus coast between 1990 and 2000, in the Brofjorden between 1972 and 2000, and in the Stenungsund area between 1975 and 2000 (Parts 2, 4 and 5, this volume).

The sediments´content of total phosphorus (tot-P) in the river lies in the upper part of that interval typical of other recipients along the Bohus Coast. The phosphorus content has successively increased by 180 % between 1990 and 2000 at site GÄV1, i.e. in the Göta Älv estuary. The increase probably mirrors the increased supply to the river in the period 1993/1995 and thereafter.

In Figure 3:28 the sediment quality at site GÄV1 is summarized with respect to each element/compound, when suitable Swedish limit values are available (Naturvårdsverket 1999, 2005). With respect to each element/compound the sites have been placed in the suitable class of anthropogenic impact. The results imply that, with respect to several heavy metals (mainly As, Cd, Pb, Hg, Ni and Zn), organic carbon (TOC), nitrogen (TN), total hydrocarbon (THC) pentachlorobenzene (pe-CB) and octachlorostyrene (OCS) site GÄV2 has a good status (classes 1-2). With respect to Cu, Cr, polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAH) and hexachlorobenzene (HCB) the status is less good (class 3) and regarding polychlorinated biphenyls (PCB) bad (class 4).

Site GÄV1 in the Göta älv estuary only show a good status with respect to As, Ni, TOC, TN, THC, pe-CB och OCS. With respect to Cd, Cu, Cr och Zn the status is less good (class 3) and for Hg, PAH (e.g. the cancerogenic benso(a)pyrene), PCB and HCB the status is bad (class 4) and very bad with respect to PCB and HCB.

The content of nonortho PCB is markedly higher than the concentrations observed along the Bohus coast, while the monoaromatics, pentaclorophenol and polybominated diphenylethers are within the range of the coast. The only exception is Deca-PBDE where the concentration is somewhat higher. No other chlorophenols were detected. The situation of halogenated aliphates has not been able to evaluate as a consequence of the high detection limit used in the analysis.

At site GÄV2, situated upstream Göteborg, the concentrations in genaral are markedly lower than in the estuary, which show the influence of the Göteborg city.

The trend of the sediment quality status at site GÄV1 between 1990 and 2000 is summarized in Figure 3:29. The arrows show whether the concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged during the period. Changes less than 10 % cannot be considered as statistical significant. However, consideration has also to be taken to the bioturbation factor. This determinates how strong change that is needed, with a high probability, to detect changes at a ten- and five-years interval of sampling respectively. In this case, changes of more than 20 and 35 % respectively have to be considered. In those cases where this is fulfilled the changes has been marked with green colour in figure 3:29.

With respect to the bioturbation factor the results from the trend analysis demonstrated a moderate to strongly significant increase between 1995 and 2000 of tot-P, and a corresponding decrease of the concentrations of Zn, THC, PCB, nonortho-PCB and HCB. In a ten-year perspective (1990-2000) the concentrations of TN, tot-P, Ni, Sn och V have increased, while all other elements and substances (Pb, Cd, Hg, Zn, THC, PAH, PCB, pe-CB och HCB) have decreased by 20 to 90 % (Fig. 3:29).

With respect to the bioturbation factor most other elements and compounds showed no, or not statistically significant, changes during the period. A trend analysis has not been possible to carry out at site GÄV2, since the site was moved to a new place in 2000.

3.8 Referenser

Alcontrol, 2004: Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001-2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material. Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Axe, P., Andersson, L., Håkansson, B., Sahlsten, E. & Ingemansson, A., 2004: Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. *SMHI Rapport 2004-57*, 144 s.

Ahlborg, U.G., Hanberg, A. & Kenne, K., 1992: Risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs).*NORD 1992:26*, Nordiska ministerrådet, 99 s.

Arnborg, L., Eriksson, E. & Kullenberg, B., 1968: Geologi. I Göteborgs Vattenvårdsanläggningar: Undersökningar för havsutsläpp år 1966-1967, 27-48.

Bjerk,J.E. & Brevik, E.M., 1980: Organochlorine compounds in aquatic environments. *Arch. Environ. Contam. Toxical. 9*, 743-750.

Cato, I., 1977: recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1986a: Sedimentens belastning av tungmetaller och närsalter i Göteborgs skärgård 1982, samt förändringar efter 1966. Göteborgs universitet, *Maringeologiska institutionen, Rapp. 2*. 95 s. Göteborg.

Cato, I., 1986b: Tungmetaller och petrogena (organiska) substanser i Stenungsundsområdets bottensediment 1985, samt förändringar efter 1975. *Naturvårdsverket Rapport 3152/Miljöutredningen för Stenungsund Rapport Nr 25*, 49 s.

Cato, I., 1990: Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. *Sver. geol. unders. Rapporter och meddelanden nr 64*, 75 s.

Cato, I., 1992: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 - Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. *Sver. geol. unders. Rapporter och meddelanden nr 74*, 97 s.

Cato, I., 1997a: Sedimentundersökningar i Göta Älv 1995 – Göta Älvs kontrollprogram, samt förändringar efter 1990. In Cato, I. (red.): Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sver. geol. unders. Rapporter och meddelanden nr 95*, 155-194.

Cato, I., 1997b: Contaminants in the Skagerrak and Kattegat sediments. I Cato, I. & Klingberg, F. (ed.): The proceedings of the fourth Marine Geological Conference - the Baltic. Uppsala 1995. *Sver. geol. unders. Ca 95,* 23-36.

Cato, I., Rindby, A. & Rudolfsson, J., 2000: Unik sedimentscanner utvecklad. *Geologiskt forum 25*, 13-15.

Clark, R.C. & Brown, D. W., 1977: Petroleum: Properties and Analyses in Biotic and Abiotic Systems. In: Effects of Petroleum on Arctic and Subartic Marine Environments and Organisms. Vol I. Ed: D C Malins, Academic Press, 1977.

Dave, G. & Nilsson, E., 1994: Sediment toxicity in the Kattegat and Skagerrak. *Journal Aquat. Ecosystem Health 3*, 193-206.

De Voogt, P. & Brinkman, U.A.Th., 1989: Production, properties and usage of polychlorinated biphenyls. I Kimbrough, R. &Jensen, S. (eds.): Halogenated biphenyls, terphenyls, naphtalenes, dibenzodioxines and related products. Elsivire Sci. Publ. B.V.

Ekman, S., 1911: Neue Apparate zur qualitativen und quantitativen Erforschung der Bodenfauna der Seen. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol. Hydrogr. 3,* 553-564.

Farrington, J.W., 1980: An Overview of the Biogeochemistry of Fossil Fuel Hydrocarbons in the Marine Environment. In: Petroleum in the Marine Environment. Ed: Petrakis & F T Weiss. American Chemical Society.

Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1996: Rapport avseende vattendragskontroll 1995, 1-114.

Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1997: Rapport avseende vattendragskontroll 1995, 1-117.

Helland, A., Brevik, E.M. & Godal, A., 1996: Sedimentudersøkelser i Göteborgs og Bohus läns kystvann 1995. *NIVA Rapport LNR 3499-96,* 66 s.

Håkanson,L., Jonsson,B., Jonsson,P. & Martinsen,K., 1988: Påverkansområden för klorerat organiskt material fråm massablekerier. *SNV Rapport 3522*, 165 s.

Jonasson, A. & Olausson, E., 1966: New devices for sedimentsampling. *Mar. Geol. 4*, 365-372. Amsterdam.

Knickmeyer,R. & Steinhart,H., 1988: The distribution of cyclic organochlorines in North Sea sediments. *Dt. Hydrogr. Z., 41*, 1-21.

Konieczny, R.M., 1994: Miljøgiftundersøkelser i Indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. *NIVA Rapport TA nr 1074/1994,* 124 s.

Konieczny, R.M. & Juliussen, A., 1995: Sonderende undersøkelser i Norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik Kragerø. *NIVA-Rapport 587/94.* 185 s.

Konitzer,K., (in prep): Benthic foraminifera and geochemistry reflecting environmental conditions of a cored late Holocene sequence from Gullmarsfjorden, Western Sweden. B.Sc Thesis Dep of Paleontology. Univ of Uppsala.

Lohse, J., 1988: Ocean incineration of toxic wastes: a footprint in North Sea Sediments. *Mar. Pollut. Bull. 19*, 366-371.

Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.

Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.

Niemistö, L., 1974: A gravity corer for studies of soft sediments. *Havsforskningsinst., Skr. Helsinki, 238*, 33-38.

Rudling, L., 1976: Oil Pollution in the Baltic Sea. Statens Naturvårdsverk. *SNV PM 783*, 1-80.

Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miiljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.

Sturm,R., Knauth,H.D., Reinhardt,K.H. & Grandrass,J., 1986: Chlorkohlen Wasserstoff-Verteilung in Sediment und Scwebstoffen der Elbe. *Wasser 67*, 23-38.

Sundborg, Å., & Norrman, J., 19963: Göta Älv. Hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna. *Sveriges geologiska undersökning Ca 43*, 88 s.