

Programområde: **Kust och hav**

Undersökningstyp: **Syrehalt i bottenvatten,  
kartering**

**Författare:** Se avsnittet ”Författare och övriga kontaktpersoner”.

## **Bakgrund och syfte med undersökningstypen**

Undersökningstypen ger underlag för bedömning av miljötillståndet i kust- eller havsområden, speciellt i förhållande till miljömålet *Ingen övergödning*. Den kan bidra till att beskriva sådana hotbilder som bottenöd, minskad fiskproduktion och minskad biologisk mångfald

Målet med undersökningstypen är att kartera eller identifiera gradvisa förändringar (gradienter) i bottenvattnets syrgashalt, samt att uppskatta geografiska och tidsmässiga förändringar i bottenvattnets syrehalt inom ett kust- eller havsområde i syfte att följa effekterna av belastning av organiskt material.

Ökad tillförsel av organiskt material (sedimentation av organiskt material av döda växter och djur i den fria vattenmassan eller utsläpp av organiskt material från industrier och reningsverk) ökar syreförbrukningen i bottenarna. I kombination med begränsat vattenutbyte resulterar detta i syrebrist i bottenvattnet, vilket kan leda till att de bottenlevande djuren slås ut över större eller mindre områden.

De djurarter som förekommer runt den svenska kusten har högst varierande krav på sin omgivning vad gäller t.ex. syrehalt, salthalt och temperatur. För att tolka resultaten av undersökningar av bottenlevande djur (bottenfauna) är det därför viktigt att känna till de fysikalisk-kemiska förhållandena i bottenvattnet. Undersökningen bör därför även bedrivas som komplement till kartering av förekomsten av större bottenlevande djur (mjukbottenlevande makrofauna).

## **Samordning**

Undersökningen kan med fördel samordnas med andra karteringar, t.ex. kartering av närsalter, plankton eller bottenbeskaffenhet (sediment). Undersökningstypen utgör stöd vid kartering av mjukbottenfauna och bör komplettera denna.

Önskvärda stödvariabler från andra undersökningar är:

- sedimentation mätt under en längre tid innan provtagningen görs,
- väderförhållanden under en längre tid före provtagningen),
- strömförhållanden och omfattning av vattenutbyte.

## Strategi

Syrebrist i bottenvattnet är starkt kopplad till om området har hög belastning av organiskt material, endera direkt genom utsläpp av organiskt material (t.ex. från massaindustrier) eller genom att det förekommer stora mängder plankton som resultat av övergödning. För att syrebristen skall kunna uppstå krävs att vattenmassan är stagnant, d.v.s. att det är dåligt vattenutbyte i området. Följaktligen är denna typ av undersökningar endast relevant på större djup (strax ovanför, i och nedanför salthaltssprångskiktet) eller inomskärs i ackumulationsområden under temperatursprångskiktet.

Genom att samla in och analysera bottenvattenprover från flera provpunkter i området kan man åskådliggöra utbredningen av syrefria bottenar eller bottenar med låga syrehalter.

Det krävs normalt ett färre antal provpunkter för att i en gradient räknad från en utsläppspunkt fastställa utbredningen av olika påverkanszoner (klassning i enlighet med i EG:s Ramdirektiv för vatten) i en recipient än för att göra miljöbeskrivningar (se: Plats-/stationsval). I samband med undersökning av påverkanszoner behövs data från referensområden. Om det finns historiska data från det undersökta området kan man i stället använda dessa. För detta ändamål kan miljöövervakningsdata från undersökningar av kust- och skärgårdsområden användas, förutsatt att karteringen genomförs vid samma årstid. Om det finns andra data (t.ex. förundersökningar gjorda vid samma årstid inför en industrietablering) kan dessa i stället användas som referens (egenreferens).

Belastningen av organiskt material är ofta hög i fjordar (s.k. ”tröskelfjordar”, som det finns flera av längs den svenska kusten). I dessa är emellertid vattenutbytet nedanför tröskeldjupet litet under stora delar av året. Kombinationen av hög belastning och dåligt vattenutbyte leder ofta till syrebrist. Det kan därför ge en snedvriden bild av miljösituationen längs kusten om man enbart väljer sådana stationer för sina undersökningar.

Undersökningar av syrehalt i bottenvatten ingår som delen "Eutrofiering – syre i bottenvatten" i Naturvårdsverkets *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet: Kust och hav (8)*. Detta omfattar även en tillståndsklassning baserad på årsminimum för syrehalt i bottenvatten. Likaså ingår mätning av syrehalt i bottenvatten som en del av Helsingforskommissionens (HELCOM) miljöövervakningsprogram COMBINE (9).

## Statistiska aspekter

Det behövs uppgifter om både geografiska och tidsmässiga variationer i bottenvattnets syrehalt för att det ska vara möjligt att koppla eventuella förändringar i ett specifikt havsområde till mänsklig (antropogen) påverkan i området. Storleken på den naturliga variationen är avgörande för möjligheterna att kunna påvisa förändringar, liksom för att kunna fastställa den nivå där de faktiska förändringarna sker. Om variationerna är små ökar detta möjligheterna att dra korrekta slutsatser. Eftersom en viss del av variationen orsakas av antalet provpunkter (replikater) i kombination med antalet referensområden, är det viktigt att man vid val av provtagningsstrategi inte bygger in större variation än nödvändigt.

Antal provpunkter som erfordras är beroende av områdets storlek och heterogenitet **(10)** och önskad upplösning. För analys av påverkansgränser och hur dessa flyttas med tiden kan stationerna endera placeras ut i regelbundet rutnät på sjökort eller slumpas ut. En pilotstudie kan behöva göras för att det behövliga antalet provpunkter ska kunna beräknas **(10)**.

Avståndet i djupled mellan provpunkterna inom en delbassäng (t.ex. en fjärd) bör inte vara större än 10 m.

Konturplottar för området ger en första bild av eventuella påverkansgränser. Den statistiska analys som är relevant i dessa sammanhang rör spatiella aspekter, partiellt Mantel-test **(11, 12)**. För denna analys behövs, förutom syrehalt, koordinaterna för respektive station samt avstånd till utsläppskällan, djup, etc.

Normalt tas ett bottenvattenprov per provpunkt.

### ***Plats-/stationsval***

Syftet med provtagningen är avgörande för vilken provtagningsstrategi man skall använda sig av. Vid karteringar undersöker man normalt hela det område som skall karteras, oavsett djup, sedimentbeskaffenhet, avstånd till utsläppskälla etc. I speciella fall undersöks kanske endast vissa djupområden eller vissa botten typer. Om syftet med undersökningen är att jämföra resultaten från det aktuella undersökningsområdet med resultat från andra områden krävs dels tillgång till data från fler än ett referensområde, dels att det finns resultat från flera tillfällen (år).

Syftet med undersökningen avgör hur utplaceringen av provpunkterna bör göras. Om målsättningen är att undersöka eventuell påverkan från mänsklig verksamhet kan området stratifieras (indelas) efter avstånd från utsläppspunkten (förväntad påverkan) och djup. Om det finns andra ändamål med karteringen, t.ex. att göra områdesskattningar, behöver man inte väga in avståndsaspekten. Provpunkterna slumpas ut i geografiska koordinater (latitud/longitud) inom respektive stratum, alternativt placeras stationerna ut i ett regelbundet rutnät. Om det finns stationer sedan tidigare undersökningar i området så bör dessa helst inkluderas.

## Mätprogram

### Variabler

Tabell 1. Översiktstabell med variabler och tidsperioder m.m.

Företeelse	Determinand (Mätvariabel)	Metod- moment	Enhet / klassade värden	Prio- ritet	Frekvens och tid- punkter	Referens till provtagnings- eller observa- tionsmetodik.	Referens till analysmetod
Vatten	Vattendjup		m				
	Provtagnings- djup från botten		m				
	O2-halt, Syrehalt		mg/l	1	1 gång/år, sensommar	Grasshoff et al. 1983 (1), Knudsen 1923 (5)	SS-EN 25813 (2), Grasshoff et. al. 1983(1)
	Syremättnad	Beräknat värde	%	2	1 gång/år, sensommar		
	Temperatur		°C (Cel)	1	1 gång/år, sensommar	Grasshoff et al. 1983 (1), Knudsen 1923 (5)	
	Salinitet		PSU	2	1 gång/år, sensommar	Grasshoff et al. 1983 (1) , Knudsen 1923 (5)	SS-EN 27888 (3), Grasshoff et al. 1983 (1), UNESCO 1981 (4)
	Våghöjd		m				
Luft	Vindhastighet		m/s				
	Vindriktning (16-gradig skala)		N, NNE, NE, ENE, E ...				

### Frekvens och tidpunkter

Syrehalten i bottenvattnet varierar under året. Minimivärden uppmäts vanligen under perioden augusti–september. I områden med liten vattenvolym och lång period av istäckning kan låga syrehalter även uppkomma under senvinter. För att fastställa den största utbredningen av låga syrehalter/syrebrist bör man göra årliga mätningar under de för området aktuella perioderna. Vill man vara helt säker på att hitta den tidpunkt när syrebristen är som störst måste karteringarna utföras vid flera tillfällen under den aktuella perioden.

### Observations-/provtagningsmetodik

Då syreförbrukningen i bottenarna är hög utbildas en kraftig gradient i syrehalterna i det bottennära vattnet. Resultaten från mätningar några meter ovanför botten kan visa avsevärt högre värden och kan därmed inte användas som mått på om det eventuellt råder syrebrist för bottenlevande fisk och bottenfauna. Bottenvatten bör därför företrädesvis hämtas med en speciell bottenvattenhämtare som utlöses vid bottenkontakt eller, om sådan hämtare inte finns

tillgänglig, med ruttnerhämtare eller motsvarande. Inom bottenfaunaprogrammen inom Sveriges nationella miljöövervakningsprogram används en isolerande vattenhämtare som modifierats för bottenutlösning enligt Knudsen (5). En annan typ av bottenvattenhämtare har konstruerats av Grasshoff (1). Som bottenvatten räknas vattnet från en halv meter ovanför ned till bottenytan.

Normalt tar man ut ett prov för salthaltsanalys och två prover för syrgasanalys (dubbelprover). Temperaturen avläses på termometer direkt efter att hämtaren har tagits upp.

#### Utrustningslista

- Bottenvattenhämtare med termometer.
- Glasflaskor med inslipad propp, ca 110 ml (för syrgasprov).
- Glasflaskor 100-200 ml, med skruvkork (för salthaltsprov).
- Mangansulfatlösning.
- Alkalisk jodidazidlösning.
- Kylskåp.
- Doseringstratt 102 ml.
- Automatbyrett.
- Natriumtiosulfatlösning.
- Titrekolvar.
- 50-procentig svavelsyra.
- Doseringspipett.
- Stärkelselösning.
- Magnetomrörare.

#### **Tillvaratagande av prov, analysmetodik**

Syrgashalten bestäms enligt Winklermetoden, SS-EN 25813 (2). Saliniteten bestäms enligt SS-EN 27888 (3), Grasshoff et al. (1) och UNESCO:s tabeller (4). Analysdata skall åtföljas av en tydlig hänvisning till metoden (t.ex. till en SIS-standard).

#### **Fältprotokoll**

Exempel på fältprotokoll återfinns i bilaga 1.

#### **Bakgrundsinformation**

För att tolka resultaten är det utomordentligt värdefullt att ha tillgång till följande data:

- Månadsmedelvärden av temperatur, nederbörd och vindar
- Hydrografiska data såsom temperatur, salthalt och syrgashalt på olika djupnivåer under året. Helst data från stationer belägna i närheten av bottenfaunastationerna.
- Data rörande variationer i föroreningsbelastning (utsläppsinformation från industrier, reningsverk m.m.).
- Uppgifter om vattenutbyte och strömförhållanden.
- Vid karteringar som syftar till att fastställa vilka områden som påverkas av mänsklig verksamhet måste referensdata finnas tillgängliga vid analysen. Data från regionala referensområden är lämpliga för sådana ändamål, förutsatt att de är insamlade under samma årstid som den aktuella bottenvattenundersökningen.

## Kvalitetssäkring

Eftersom dubbelprover tas för syreanalysen, kan man med stor noggrannhet avgöra om analysresultaten är korrekta. Vid tveksamheter, d.v.s. om man får vitt skilda replikatvärden, bör man jämföra med syrehalterna på kringliggande stationer samt med syremättnaden för att avgöra vilket syrevärde som är mest troligt. Resultat från uppenbara felanalyser läggs inte in i databasen och tas inte med i de statistiska analyserna.

Beträffande salthaltsanalysen analyserar man inte hela provet, utan sparar åtminstone hälften så att man vid tveksamma resultat kan upprepa analysen.

Man kvalitetssäkrar sitt undersökningsarbete genom att

- strikt följa standardiserad metodik,
- göra internkontroller på laboratoriet,
- i utvärderingsarbetet identifiera värden som starkt avviker från de förväntade (se ovan), samt delta i nationella och internationella interkalibreringar.

Vid handhavande vid provtagning och analys, val av kriterier för godkänt prov, kvalitetskontroll etc. är det av stort värde att fortlöpande kunna använda samma personal och att dennas bedömningar överensstämmer. Vid personalbyte är det viktigt att kunskapsöverföringen från den tidigare befattningshavaren till den nya görs noggrant och att man kontrollerar jämförbarheten i bedömningarna.

Den personal som samlar in proven i fält skall vara van vid navigation, van vid att hantera provtagningsutrustningen och van vid att utföra de mätningar och analyser som görs i fält. För analysarbetet på laboratoriet krävs att personalen har utbildning på och vana vid apparatur och metodik.

Internkontroller av utförande och apparaturens tillförlitlighet skall göras regelbundet.

Interkalibreringar måste göras nationellt och/eller internationellt mellan de laboratorier som arbetar med nationell eller regional (d.v.s. länsvis) miljöövervakning. De nationella interkalibreringarna sköts av Institutet för tillämpad miljöanalys (ITM) vid Stockholms universitet; de internationella interkalibreringarna sker inom ramen för QUASIMEME (6).

## Databehandling, datavärd

Innan rådata datorlagras skall man granska undersökningsprotokollen så att all information finns med och att siffrorna verkar rimliga. Efter det att rådata lagrats jämförs lagrade data med ursprungsprotokollen för kontroll av att allt har blivit korrekt lagrat. Man rapporterar obearbetade primärdata till datavärden, men innan detta görs skall man kontrollera data med avseende på eventuell förekomst av s.k. "outliers", alltså orimliga eller misstänkt avvikande värden. Sådana värden skall kontrolleras genom att man går tillbaka till provet och gör om analysen. Om resultatet fortfarande anses tveksamt, eller om analysen inte kan göras om (t.ex. kemiska analyser gjorda i fält), skall det förses med en s.k. flagga innan rapporteringen görs till datavärden.

Alla protokoll (t.ex. fältprotokoll och analysprotokoll) skall lagras på säkert sätt, förslagsvis i brandsäkert skåp. Data skall, i väntan på överföring till datavärd, lagras i en databas, företrädesvis i en relationsdatabas (t.ex. Access) och databasen skall regelbundet säkerhetskopieras. Data rapporteras till datavärden enligt specificerat rapporteringsformat.

En förteckning över datavärden finns att hitta på Naturvårdsverkets webbplats under adressen <http://www.naturvardsverket.se/tillstandet-i-miljon/miljoovervakning/miljoovervakningsdata/>

Datavärden kan också tillhandahålla referensdata från de nationella miljöövervakningsprogrammen samt, förutsatt att länsstyrelserna rapporterat in resultaten, data från den regionala övervakningen i kustområdena

## Rapportering, utvärdering

Till datavärden rapporterar man, som nämnts ovan, obearbetade primärdata. För rapporter till uppdragsgivare skall man bearbeta primärdata statistiskt. Man utvärderar resultaten från de statistiska analyserna och rimlighetsbedömer utfallet utifrån den kringinformation som finns tillgänglig. Argumentationen om resultatens tillförlitlighet skall inkludera kringinformation, om sådan finns, som kan styrka slutsatserna. För att kunna bedöma rimligheten i tolkningen krävs att bedömaren har goda oceanografiska kunskaper. En mer detaljerad presentation av resultaten skall ges utifrån den indelning i delområden (stratifiering) som gjorts. Om totalbilden av situationen i hela området är av intresse skall även de sammanlagda resultaten från samtliga strata (delområden) presenteras.

Syrgashalten presenteras lämpligen i form av konturplottar, som visande fördelningen över undersökningsområdet baserad på lämplig utjämningsfunktion. För att kunna skilja låga syrehalter orsakade av naturliga fysikaliska fenomen från låga syrehalter som beror på belastning från mänskliga verksamheter bör man göra motsvarande plottar även för syremättnaden.

Om data finns från tidigare provtagningar skall även tidsutvecklingen presenteras i form av serier av utbredningskartor eller i diagramform (stapel- eller kurvdiagram med spridningsmått inlagda) för relevanta strata och för hela området

För att redovisa resultaten i kartform, med färgläggning i enlighet med vad som anges i Vattendirektivet (2000/60/EG) om olika vattenstatus, kan man använda ett program som interpolerar och extrapolerar samt ritar kartor med konturplottar (konturplottar för enskilda arter, grupper av arter samt för beräknade index), t.ex. programmet SURFER.

Vid den statistiska bearbetningen används multivariat analysmetod "Mantel statistics" (**11,12**) baserad på matriser med euklidiska avståndsmatriser. För denna analys behövs, förutom syredata från flera tillfällen (år), koordinaterna för respektive stratum samt data om avstånd till utsläppskällan, djup, omvärld och förändringar i utsläppsförhållanden. Med hjälp av avancerad multivariatanalys kan detta användas till att avgöra utsläppens utbredning samt avgöra om ändrade utsläppsförhållanden återspeglas i syrehalten.

För att fastställa om det mellan karteringstillfällena har skett några förändringar skall man bearbeta data statistiskt. Precisionen i områdesmedelvärdet för olika strata erhålls genom beräkning av ett 95-procentigt konfidensintervall kring medelvärdet. Beräkningen av spridningsmått för hela området baserat på provtagning finns redovisad i (**7**). I det fall karteringen syftar till en områdesskattning används ANOVA eller motsvarande test.

Undersökta strata kan även testas statistiskt i en tvåfaktors ANOVA med område och stratum som faktorer. I de fall man inte kan få fram en homogen variation efter relevant transformering används icke-parametriska tester som t.ex. Mann-Whitney U-test eller Wilcoxon signed-rank test (**13**). Eftersom ett flertal tester kan behövas för den icke-

parametriska analysen, skall signifikansgränsen justeras för antalet test som görs genom att signifikansgränsen divideras med antalet test.

## Kostnadsuppskattning

### **Analyskostnader**

Kostnaderna (exklusive provtagnings- och databehandlingskostnader) beräknades i januari 2005 till 50 kronor per syreanalys och 25 kronor per salthaltsanalys.

### **Tidsåtgång**

Ca 1/2 mantimme per vattenprov.

## Övrigt

Om annan bottenprovtagning sker vid samma besök skall bottenvattnet tas som första prov för att undvika omrörning och grumling av bottenvattnet.

## Författare och kontaktpersoner

*Programområdesansvarig, Naturvårdsverket:*

Sverker Evans

Miljöövervakningsenheten

Naturvårdsverket

106 48 Stockholm

Tel: 08– 698 13 02

E-post: sverker.evans@naturvardsverket.se

*Expert och författare, Institutionen för systemekologi:*

Hans Cederwall

Institutionen för systemekologi

Stockholms universitet

106 91 STOCKHOLM

Tel: 08– 16 42 43

E-post: hlc@system.ecology.se

## Referenser

### **Metodreferenslista**

1. Grasshoff, K., K. Kremling, M. Ehrhardt (Red.), 1999. Methods of seawater analysis. – 3.ed. - Verlag Chemie, Weinheim, 600 s.
2. SIS 1993. Vattenundersökningar. Bestämning av halten löst syre – jodometrisk metod. SS-EN 25813.



3. SIS 1994. Vattenundersökningar. Bestämning av konduktivitet (ISO 7888, 1985). SS-EN 27888.
4. UNESCO 1981. International Oceanographic Tables, Vol. 3. UNESCO Technical Papers in Marine Science No. 39
5. Knudsen, M. 1923. Some new oceanographical instruments. Cons. Perm. Internat. l'exploration de la Mer. Publications de circonstance No. 77, Köpenhamn.
6. Quality Assurance Laboratory Performance Studies for Environmental Measurements in Marine Samples (QUASIMEME). Se webbplats: <http://www.marlab.ac.uk/>
7. Cochran, W.G. 1977. Sampling techniques. Wiley International Edition, 428 s..

### **Rekommenderad litteratur**

8. Naturvårdsverket 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet: Kust och hav. Rapport 4914
9. HELCOM, 2003. Manual for the Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM. Se webbplats: <http://sea.helcom.fi/Monas/CombineManual2/CombineHome.htm>
10. Postel, L. 1983. Problems in identifying distribution patterns of oceanological parameters . Meddelande från Havsfiskelaboratoriet, Lysekil Nr. 293, 17 s.
11. Legendre, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm. Ecology 74: 1659-1673.
12. Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. Cancer Research 27: 209-220.
13. Clarke, G. M. 1994. Statistics and Experimental Design. Edward Arnold, London, 188 s.

### **Uppdateringar, versionshantering**

Version 1:0. 2005-11-07.

Version 1:1. 2016-12-07. (HaV-mall samt uppdaterade kontaktpersoner)

**Bilaga 1: Fältprotokoll för miljöövervakning av bottenvatten**

Station nr:	Datum (Å-M-D):		KI (GMT):	
Fartyg:	Ankrat: Ja	Nej	Exp.led. (collector):	
Latitud N:	°	′	Enslinjer anv: Ja	Nej
Longitud O:	°	′	Gradnät:	Pos.system:
Vindriktning:	Vindhastighet:	m/s	Våghöjd:	m
Bottenvatten: Temp:	°C	Salthalt: flasknr:	mätvärde:	PSU
		Syrgashalt: flasknr:	mätvärde:	mg/l
		flasknr:	mätvärde:	mg/l

Övriga observationer: