

Satelliter vakar över Östersjön

Denna artikel visar hur man kan använda satelliter för att övervaka Östersjöns vattenkvalitet. Vattnets spektrala egenskaper, alltså dess färg, förändras av olika lösta och suspenderade ämnen. Dessa ämnen påverkar också vattenkvaliteten och därmed ekosystemet. Satelliter som mäter ljus kan därför användas för att avläsa tillståndet i havet.

För att förbättra övervakningen av Östersjöns vattenkvalitet kan fjärranalys och optisk övervakning vara ett bra komplement till den traditionella miljöövervakningen.

TEXT: SUSANNE KRATZER, STOCKHOLMS UNIVERSITET

Östersjön är ett av världens största brackvattenområden och därtill en av de mest förorenade havsmiljöerna. Detta beror framför allt på det begränsade utbytet av saltvatten med Nordsjön och det stora tillflödet av sötvatten från land, hårt belastat med bl.a. näringsämnen från jordbruk och hushåll.

Optiska komponenter i vatten

Optiska metoder för att övervaka vattenkvaliteten kan användas eftersom det finns olika lösta och suspenderade ämnen i vattnet som absorberar och/eller sprider det inkommande solljuset. Dessa ändrar vattnets spektrala egenskaper, det vill säga vattnets färg. Dessa ämnen är också uttryck för en rad tillståndvariabler för ekosystemet och optiska metoder kan därför användas som diagnostiska verktyg för både naturliga och mänskligt orsakade stressfaktorer.

Utöver vattnet självt, som absorberar det röda ljuset och därför ser blått ut, finns främst tre ämnen som påverkar vattnets färg (se figur 19):

Humusämnen tillförs med sötvatten från land och är gula eftersom de absorberar det mesta av den blå delen av ljuset. De absorberar men sprider inte ljuset. Halten av humusämnen är omvänt korrelerat till salthalten.

Suspenderat material kan vara både organiskt, som växtplankton, och oorganiskt, som lerpartiklar. Med undantag av



©SeaWiFS Project / NASA-GSFC / ORBIMAGE.

▲ Juli 2003: Den giftiga cyanobakterien *Nodularia spumigena* blommar och täcker stora delar av Östersjön.

växtplankton finns inte mycket suspenderat material i öppet hav, men andelen ökar när man närmar sig kusten. Suspenderat material härstammar mest från floder och markavrinning och ökar generellt med höjd nederbörd. Vind och vågrörelser i grunda vatten orsakar också återsuspension av havets botten sediment. Suspenderat material reflekterar mycket ljus men absorberar också en del i den blå delen av spektret.

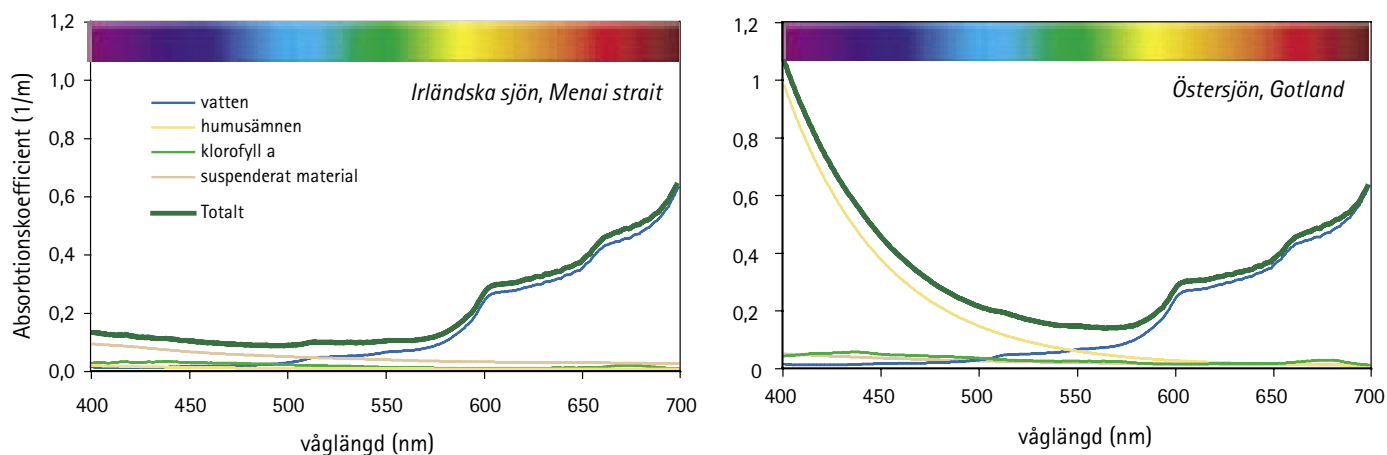
Klorofyll a finns i växtplankton. Koncentrationen av klorofyll *a* används ofta som mått på växtplanktonbiomassa i vattnet och som indikator på eutrofiering. Växtplankton absorberar mest i den blå och den röda delen av spektrat, det är därför de ser gröna ut.

Lång tradition...

Optiska mätningar för att bestämma vattenkvaliteten har en lång tradition. Fader Pietro Angelo Secchi, en av påvens vetenskapliga rådgivare, uppfann en metod att mäta siktdjupet redan år 1865. Secchi hade i uppdrag att mäta Medelhavets genomskinlighet, dvs. ljusets förmåga att tränga genom vattenpelaren.

Mätning av siktdjupet med en s.k. secchiskiva (se bild nästa sida) är en fortfarande ofta använd metod för att få en grov uppfattning om vattnets kvalitet. Mycket suspenderat material, växtplankton eller humusämnen i vattnet minskar siktdjupet, som i Östersjön normalt varierar från

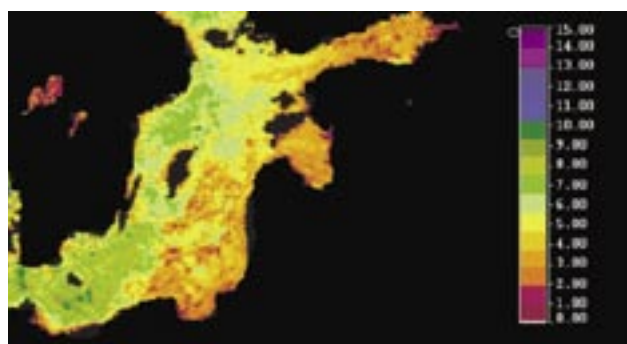
Skillnader i färg



▲ Figur 19. Absorptionspektra med alla optiska komponenter från Irländska sjön och Östersjön. Skillnaden är stor, framförallt i mängden humusämnen.



▲ Bilden visar en siktdjupsmätning med secchiskiva i Irländska Sjön i april 1997



▲ Figur 20. Siktdjupskarta över Östersjön sammanställd av SeaWiFS bilder från slutet av juli/ början av augusti 1999.

mindre än 2 meter vid algbloomning upp till 20 meter på vintern.

Det dubbla siktdjupet motsvarar ungefär ljuskompensationspunkten, där fotosyntesen och respirationen är lika stora. Under detta djup kan växter inte leva någon längre tid. I Östersjöområdet används siktdjupet som indikator för eutrofiering. Långtidsstudier visar att det har minskat ca fem centimeter per år sedan 1920-talet.

...och moderna metoder

Satelliter täcker stora områden och kan kostnadseffektivt ge överskådlig information om hela Östersjön. De lämpar sig därför bra för övervakning av storskaliga förändringar av vattnets kvalitet. Satelliter brukar också ha en bra tidsupplösning och återkommer vanligen till samma ställe en gång per dygn. Det finns flera satelliter med sensorer speciellt anpassade till akvatisk fjärranalys (se faktaruta).

Östersjön är mycket ovanlig och komplex ur ett optiskt perspektiv. Inflödet av sötvatten är ovanligt högt, vilket

leder till att salthalten är låg och halten av humusämnen är hög i jämförelse med andra hav (figur 19). De globala algoritmerna för att bestämma klorofyllhalten som används för världshaven fungerar inte bra för Östersjöns vatten. Man behöver därför fortfarande fältdata för att kontrollera och verifiera satellitdata. Samtidig mätning med en radiometer i vattnet gör detta möjligt. Man använder ofta forskningsfartyg eller speciella optiska förtöjningar för dessa kontroller.

En siktdjupskarta över Östersjön

Vi har gjort mätningar längs två transekter. En sträckte sig genom Himmerfjärden, en djupt inskuren vik där bl.a. ett stort reningsverk mynnar. Den andra sträckte sig genom ganska ostörda vatten söder om Askö ut till Landsortsdjupet, Östersjöns djupaste plats.

Data från dessa transekter användes tillsammans med satellitdata för två olika ändamål. Första målet var att framställa en siktdjupskarta över Östersjön (figur 20). En sådan

SATELLITER FÖR OPTISK ÖVERVAKNING

Satelliten AVHRR, Advanced Very High Resolution Radiometer, är en vädersatellit som använts mycket i Sverige för övervakning av cyanobakterieblomningar Östersjön. Det finns en serie med sådana bilder sedan 1982. Ett våglängdsband i den röda delen av ljuset (580–680 nm) nyttjas.

1997 lanserades sensorn SeaWiFS, Sea-viewing-Wide-Field-of-View-Sensor. Den har sex spektralband i den synliga delen av spektrat, från 412–670 nm. Två spektralband i infrarött används för atmosfärisk korrektion av data. Sensorn är särskilt anpassad till övervakning av oceaner och kusthav och har en upplösning på drygt 1 km.

MERIS lanserades 2002, och är i första hand anpassad för övervakning av kustvatten. Dess sensor har femton spektralband mellan 390–1040 nm, varav sju ligger i synliga delen av spektrat. Den är programmerbar och har en upplösning på 300 m.

För att kalibrera satelliternas sensorer används en radiometer som mäter ljuset direkt i vattnet. Ett exempel är TACCS (se bild). Den kan användas från fartyg eller förtöjas vid en boj för längre tids mätningar. Den använder samma våglängder som SeaWiFS. TACCS har dessutom en kedja av sensorer på 2, 4, 6 och 8 meters djup som mäter den minskande ljusintensiteten vid 490 nm. Därmed erhålls ett kvantitativt mått på vattnets genomskinlighet som är av större vetenskapligt värde än metoden med siktdjup.

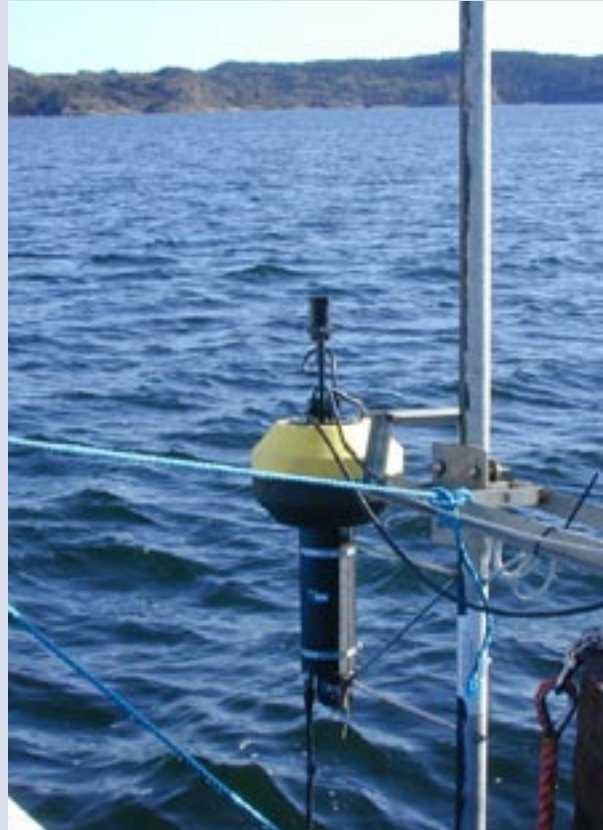


Foto: Susanne Kratzer

kan t.ex. användas för att förklara zoner av makroalger eller begränsning av växtplanktons primärproduktion i olika områden på grund av ljusbrist. Metoden är särskilt användbar eftersom den ger information om stora arealer.

Det andra målet var att framställa en enkel optisk modell som kan användas för att skilja kustvatten från öppet hav, genom att utnyttja skillnader i andelen suspenderat organiskt material. En sådan metod kan vara till nytta för övervakningsprogram av vattenkvalitet, exempelvis för att veta varifrån det är lämpligt att ta representativa prover för dessa vattentyper.

Övervakning av blomningar

Ytansamlingar av cyanobakterier (blågröna alger), framförallt av *Nodularia spumigena*, är ett ganska vanligt fenomen i Östersjön (se bilder). Blomningar finns rapporterade redan från 1800-talet, men de tycks ha blivit allt vanligare under de sista årtiondena.

För att bättre förstå hur dessa blomningar fungerar och

kunna sätta in rätt åtgärder krävs en storskalig bild av förekomsten. Det är svårt, eftersom blomningarna varierar både i tid och rum. Här kan utvecklingen av satellitbaserade övervaknings- och fjärranalysmetoder bidra genom att studera vattenmassans ljus kvalitet och koppla dessa till förändringar i algförekomst; en metod som ännu inte fått ett fullskaligt utnyttjande i miljöövervakningen.

Fler möjligheter

Östersjön är ett innanhav med hög koncentration av humusämnen och följaktligen unika optiska egenskaper. De höga koncentrationerna av humus bidrar till att Östersjön är relativt mörk jämfört med andra hav, och det är möjligt att ljus är en av de begränsande faktorerna för primärproduktionen. De flesta ekologiska studier tar mest hänsyn till tillförsel av näringsämnen och mindre till ljusförhållandena.

Cyanobakterier har en konkurrensfördel eftersom de utnyttjar just den delen av ljuset som det finns mest av i



Foto: Susanne Kratzer



Foto: Alve Henriksson

▲ Blomningar av blågrönalger har sedan länge följts med satelliter. Här visas ytansamlingar av katthårsalgen *Nodularia spumigena* sydöster om Gotland, tagna under en expedition med forskningsfartyget Searcher i augusti 1999. Dels från däck och dels genom fartygsventilen under ytan.

Östersjöns vatten. Dessutom gynnar den kraftiga absorptionen i den blå och röda delen av spektrat de växtplanktonarter som är optiskt anpassade till att utnyttja det s.k. gröna fönstret, exempelvis via olika karotenoider och phycobiliner. Cyanobakterier och rödalger är bra på det. (figur 21).

Det skulle kunna vara så att somliga kustområden är övergödda rent näringsmässigt, men ändå inte utvecklar algblomningar eftersom ljuset inte räcker till. I sådana områden bör man diskutera huruvida det är kostnadseffektivt att reducera näringshalten.

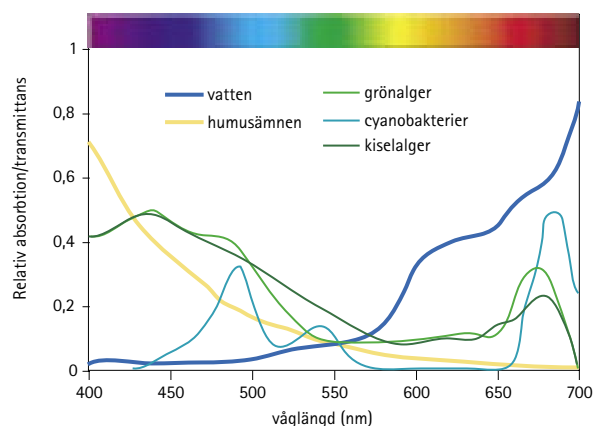
Det är fullt möjligt att framställa en karta över djupet av den eufotiska zonen för hela Östersjön av redan befintliga optiska data. Sådan information skulle vara särskilt intressant för produktivitetsmodeller av Östersjön eller andra kustzonsområden.

Ett bra komplement

De optiska metoderna som beskrivits här kan inte ersätta konventionella miljöövervakningsmetoder. Däremot är fjärranalys och optisk övervakning ett bra komplement. Sammanfattningsvis föreslår jag en ansats som integrerar konventionell övervakning och övervakning via optiska instrument och fjärranalysmetoder för att förbättra övervakningen av Östersjöns vattenkvalitet.

Givetvis är det viktigt att de nya metoderna och resultat från optisk- och fjärranalysforskning förmedlas till myndigheter som är ansvariga för vattenkvaliteten i Östersjön och att de integreras i utvecklingen av nationella och internationella åtgärder och direktiv, inklusive i EUs Ramdirektiv för vatten.

Ljusförhållanden och alger i Östersjön



▲ Figur 21. I den relativt mörka Östersjön har alger med pigment som bäst kan utnyttja det lilla ljus som finns en konkurrensfördel. Dit hör cyanobakterierna och andra alger som absorberar mest i den gröna och gula delen av spektrat.

Lästips:

- Arnone, RA, Wood, AM and Gould jr, RW, 2004, *The evolution of optical water mass classification*, Oceanography 17 (2), s. 14-15
- Capone, DG and Subramaniam, A., 2005, *Seeing Microbes from Space*, ASM News, Volume 71, Number 4, 179-186.
- Kratzer, S., Håkansson, B., and Sahlin, C., 2003, *Assessing Secchi and photic zone depth in the Baltic Sea from Space*, Ambio, 32:8, 577-585.
- Subramaniam, A., Kratzer, S., Carpenter J.C. and Söderbäck, E., 2000, *Remote sensing and optical in-water measurements of a cyanobacteria bloom in the Baltic Sea*. Sixth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Charleston, SC, Veridian ERIM International, I-57-64.