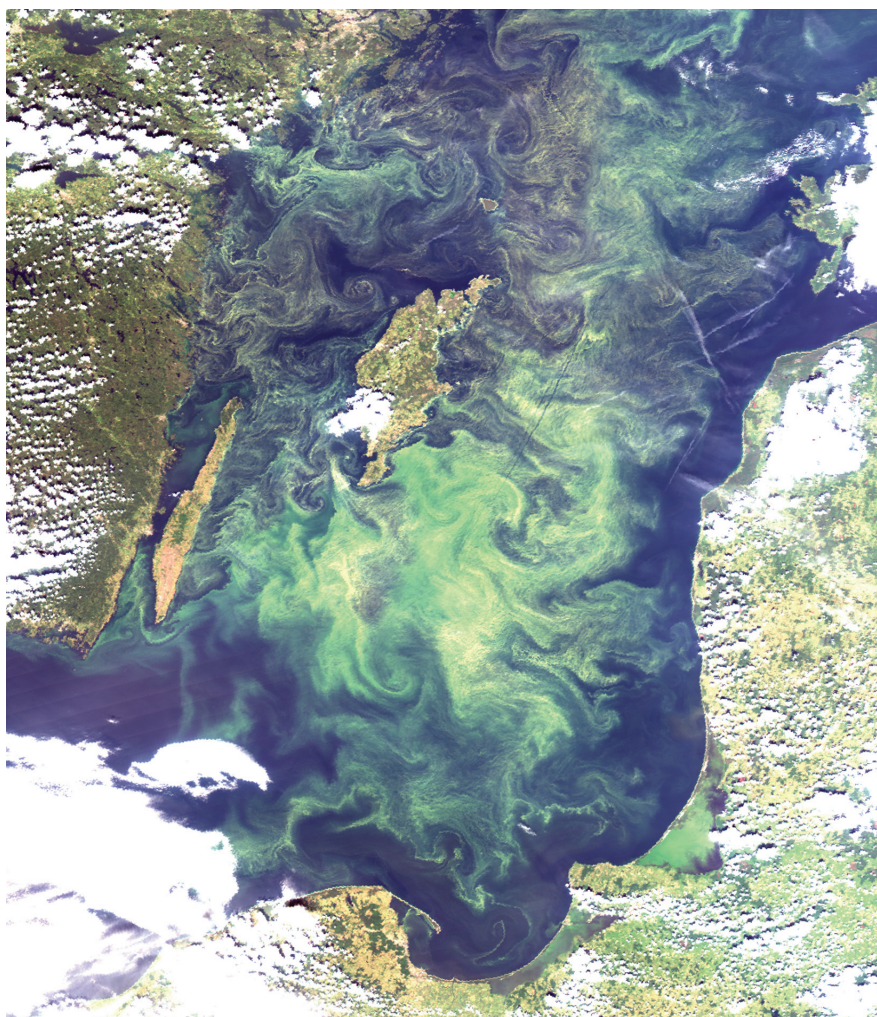




Cyanobakterieblomningar i Östersjön, resultat från satellitövervakning 1997-2005

Martin Hansson

**Cyanobakterieblomningar
i Östersjön, resultat från
satellitövervakning 1997-2005**

Martin Hansson

År: 2005

Titel: Cyanobakterieblomningar i Östersjön, resultat från satellitövervakning 1997-2005

Författare: Martin Hansson

Layout: Martin Hansson

Framsida: Satellitbild över cyanobakterieblomning i Östersjön 2005-07-08. Satellitdata (MODIS-AQUA) från NASA processerad av SMHI, RGB-bild skapad av band 1,4,3.

Antal sidor: 38

ISSN-nummer: 0283-7714

Produktion: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Oceanografiska enheten, Göteborg

Tryckning: Vasastadens Bokbinderi AB, Göteborg

© SMHI, Norrköping



Författare:

Martin Hansson, SMHI

Granskare:

Dr. Lars Andersson, SMHI

Dr. Bengt Karlson, SMHI

Uppdragsgivare:

SMHI

Granskningsdatum:

2006-02-14

Rapport

Rapportnr:

Nr. 82, 2006

Version:

1.1

Cyanobakterieblomningar i Östersjön, resultat från satellitövervakning 1997-2005

Martin Hansson

Uppdragstagare SMHI, Oceanografiska enheten Nya Varvet 31 SE-426 71 Västra Frölunda	Kontaktperson Martin Hansson Tel. 031-751 8957, Fax. 031-751 8980 Martin.Hansson@smhi.se
Uppdragsgivare SMHI, Oceanografiska enheten Nya Varvet 31 SE-426 71 Västra Frölunda	Kontaktperson Bengt Karlson Tel. 031-751 8958, Fax. 031-751 8980 Bengt.Karlson@smhi.se
Distribution SMHI, Norrköping	
Klassificering (x) Allmän	ISSN-nummer ISSN 0283-7714
Nyckelord Cyanobakterieblomning; Blågrönalger; Satellitövervakning; Östersjön; AVHRR	
Övrigt	

Innehållsförteckning

Sammanfattning	6
Förord	7
1 Introduktion	8
2 Metod och data	11
2.1 Satellitdata	11
2.2 Analysmetod	11
3 Resultat	13
3.1 Observationer av cyanobakterieblomningar	13
3.1.1 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 1997	13
3.1.2 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 1998	13
3.1.3 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 1999	14
3.1.4 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2000	14
3.1.5 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2001	14
3.1.6 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2002	14
3.1.7 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2003	14
3.1.8 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2004	15
3.1.9 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2005	15
4 Diskussion	20
4.1 Cyanobakterieblomningars dynamik	20
4.2 Jämförelse mellan åren 2004 och 2005	22
5 Slutsatser	24
6 Referenser	26
7 Appendix A	28

Sammanfattning

I haven omkring oss är algbloomingar ett vanligt och naturligt förekommande fenomen. Algbloomingar i Östersjön under sommaren domineras av cyanobakterier eller blågrönalger som de också kallas. De arter som är vanligt förekommande är *Nodularia spumigena* (katthårsalg), *Aphanizomenon baltica* (*flos-aquae*) och *Anabaena* spp. (Edler et al., 1995). Utbredning, varaktighet, intensitet och dynamik hos cyanobakterieblomningar undersöktes i Östersjön mellan åren 1997-2005 med hjälp av NOAA-satellitdata från AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)-sensorn. Blomningarna detekterades med hjälp av en semi-automatisk klassificeringsalgoritm.

Cyanobakterieblomningar i Östersjön uppvisar stora variationer mellan olika år både då det gäller utbredning, intensitet och varaktighet. Blomningen 2005 uppvisade den längsta varaktigheten, medan 1998 års blomning hade den största utbredningen. Cyanobakterieblomningen 1999 hade både lång varaktighet och stor utbredning vilket gav den högsta intensiteten under den analyserade perioden.

En blomning startar oftast sent i juni eller tidigt i juli. Initialt är blomningen fördelad i hela ytlagret, blomningen är alltså närvarande i ytlagret innan blomningen kan ses som ytansamlingar från satellit. Tiden från att blomningen startar till den första observationen av ytansamlingar är i medeltal 9 dagar. Vanligtvis pågår blomningen i 2-4 veckor, denna tidsperiod bestäms till stor del av väderförhållanden och tillgången på biologiskt tillgängligt fosfor. Högtrycksbetonat, varmt, lugnt och soligt väder tidigt i juli är troligen en avgörande faktor för att en blomning skall kunna uppstå och eventuellt bli kraftig.

Den ökning av både utbredning, varaktighet och intensitet som diskuteras bland forskare, media och allmänhet är svår att påvisa med det dataunderlag som presenteras i denna rapport. Ökningen av cyanobakterieblomningar skulle kunna vara ett resultat av Östersjöns naturliga variationer i kombination med kraftig mänskliga påverkan. Det är uppenbart att det finns ytterligare okända faktorer som påverkar uppkomsten av en cyanobakterieblomning. Mer forskning och samordnad marin miljöövervakning behövs för att förklara detta.

Kombinationen av ny teknik, satellitövervakning, *in situ* provtagning och modellresultat är ett mycket kraftfullt verktyg som kan erbjuda kunskap och realtidsinformation till forskare, myndigheter och allmänhet om den generella algsituationen och som i synnerhet kan varna vid giftiga algbloomingar.

Förord

Sommaren 2005 var ytvattnet i Östersjön ovanligt varmt och fosfatrikt, och den blågrönalgbloomning som inträffade i juli detta år blev mycket intensiv. Satellitbilder och flygbilder visade att stora delar av Egentliga Östersjön då var helt gröngråfärgade av alger. De som färdades i båt i dessa farvatten såg ut att plöja fram genom tjocka ansamlingar av illaluktande algbloomningar. Algbemängd vatten längs stränder och i badvikar förhindrade bad och skrämde bort turisterna från Östersjöns kuster. Efterfrågan på aktuell information om algsituationen i allmänhet och Östersjöns miljötillstånd i synnerhet var stor.

SMHI:s oceanografiska enhet bedriver miljöövervakning av haven omkring Sverige. Från fartyg och olika mätplattformar utförs fysiska, kemiska och vissa marinbiologiska mätningar som ligger till grund för analyser och rapporter om miljösituationen i Västerhavet och Östersjön. Övervakningen av haven sker idag inte bara från havsytan utan även från rymden.

Den första algövervakningsservicen baserad på satellitdata i Sverige utvecklades vid Stockholms Universitet, institutionen för fysisk geografi, av Mati Kahru och Ove Rud i början av 1990-talet. Övervakningen utvecklades ytterligare av Stockholm Universitet under MISTRA RESE Phase I projektet och i RESE Phase II projektet implementerades övervakningen av SMHI och kompletterades med ytterligare produkter. Sedan 2002 driver SMHI:s oceanografiska enhet en färdig algövervakningsservice (Baltic Algae Watch System) för de marina informationscentralerna, allmänheten och forskare.

Denna studie grundar sig på data och resultat från SMHI:s algövervakning från satellit, utsjöprovtagning och meteorologiska stationer samt resultat från EU-projektet HABES (Harmful Algal Bloom Expert System). Tack till Ove Rud för satellitdata och hjälp med olika satellitfrågor. Tack till Pia Andersson (SMHI) för hjälp med de dagliga analyserna av satellitbilder och resultat från HABES. Slutligen tack till Bengt Karlson, Lars Andersson och Bertil Håkansson (SMHI) för kommentarer, tips och givande diskussioner.

1 Introduktion

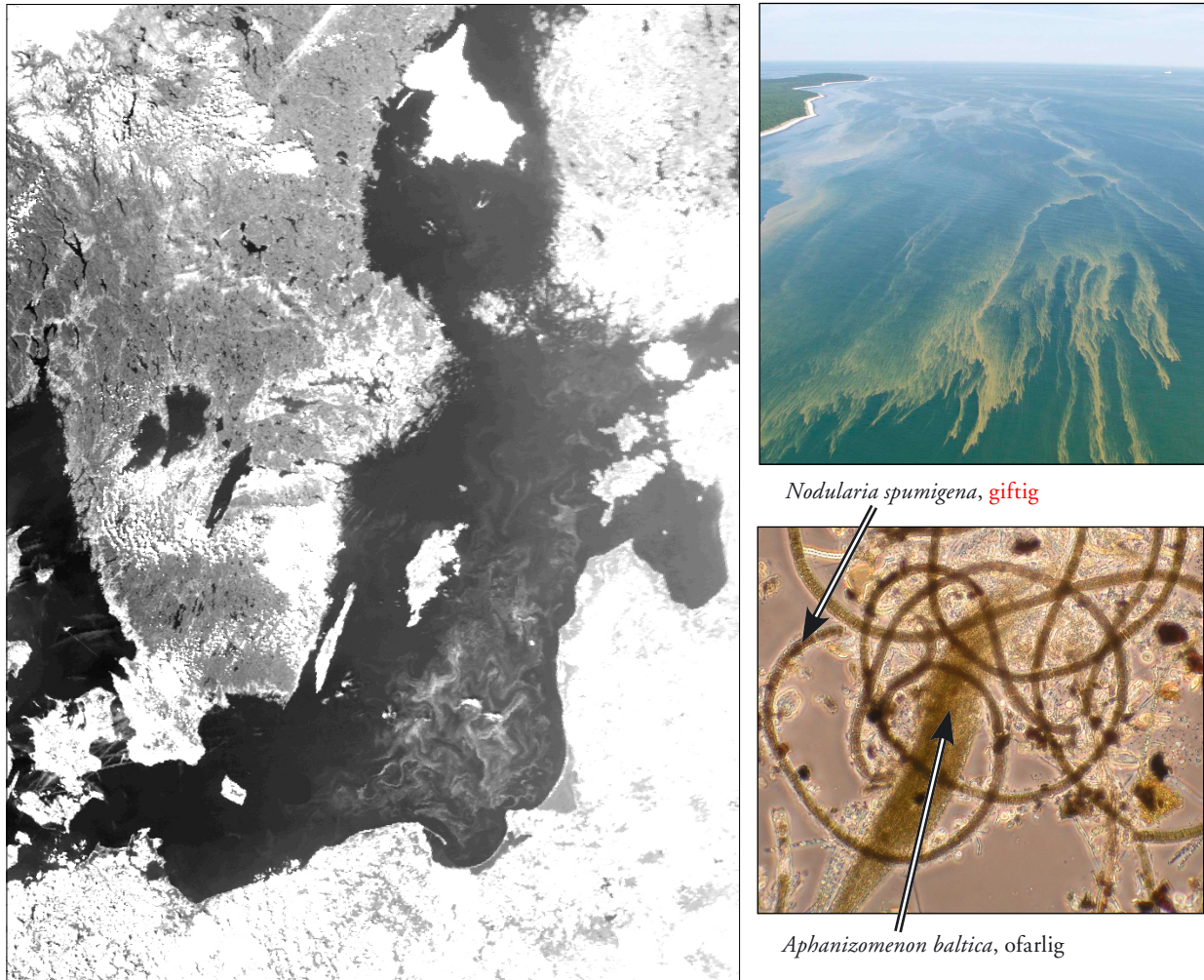
I Östersjön är algbloomingar under sommaren ett vanligt och naturligt förekommande fenomen. Redan för ungefär 7000 år sedan, då Östersjön just påbörjat den nuvarande brackvattenfasen förekom algbloomingar (Bianchi, 2000). Under sommaren dominerar algbloomingar i Östersjön av cyanobakterier eller blågrönalger¹ som de också kallas. Av de cirka 2000 arter av cyanobakterier som är kända berör denna rapport endast de som är vanligt förekommande i Östersjön och som bildar ytansamlingar; *Nodularia spumigena* (katthårsalg), *Aphanizomenon baltica* (*flos-aquae*) och *Anabaena* spp.

Beteckningen algblooming står för att växtplankton förökar sig kraftigt under en begränsad tidsperiod tack vare god tillgång på växtnäring och gynnsamma levnadsförhållanden. Varje år förekommer oftast en stor vårblooming och en lite mindre höstblooming. Bloomingar beror på att gynnsamma fysikaliska, kemiska och biologiska förhållanden ger algerna möjlighet att massföröka sig. Några av de faktorer som styr tillväxten för alger är bl.a. ljus, vattentemperatur, skiktning, vinddriven omblandning, näringsförhållanden, konkurrens och betning. Fosfor och kväve är bland de viktigaste näringsämnena för alger. Sommartid, när naturen går för högvär, är det normalt att det inte finns tillräckligt med biologiskt tillgängligt fosfor och kväve i vattenmassan. Det händer ibland att djupvatten, som kommer upp till ytan vid blåstigt väder, kan tillföra mycket fosfor. Saknas samtidigt kväve kan vanliga alger inte utnyttja den tillgängliga fosforn. Cyanobakterier har däremot, till skillnad från vanliga alger, förmågan att utnyttja luftkväve som löst sig i vattnet. Detta innebär en stor fördel för cyanobakterier som därför kan blomma under sommaren utan någon större konkurrens av andra planktonarter.

I slutfasen av en blooming förlorar cyanobakterier kontrollen över sin förmåga att vandra i vertikalled och flyter upp och ansamlas i ytan. Dessa ytansamlingar kan ses med blotta ögat som tydligt avgränsade grön-gulbruna stråk, formade i slingrande mönster av vindar och strömmar. I stråken förekommer ofta algerna i "flockar" eller klumpar (se figur 1). Under senare år har intresset ökat från allmänheten, massmedia och myndigheter eftersom cyanobakterieblomningar vanligen sammanfaller med vackert väder i semestertider (juli-augusti). Förekomsten av ytansamlingar längs kuster och i vikar är ett stort problem då algbemängd vattnet luktar illa och hindrar bad. I värsta fall kan vattnet innehålla giftiga ämnen, producerade av cyanobakterier (*Nodularia*), som kan vara dödligt för hundar och boskap som dricker vattnet. Människor som kommer i kontakt med algbemängd vatten vid bad eller får i sig ett par kallsupar kan råka ut för hudirritation, illamående eller symptom som påminner om influensa. (Degerholm, 2002; Edler et al., 1995)

Även om massförekomster av cyanobakterieblomningar har observerats sedan 1800-talet har det diskuterats om varaktighet, utbredning och intensitet (se definition av begreppen på nästa sida) har ökat på grund av människans övergödning av Östersjön (Karhu, 1997; Finni, 2001; Kononen, 2001). Studier av algpigment i sedimentkärnor visar att förekomst och intensitet har ökat i Östersjön sedan 1960 (Poutanen & Nikkilä, 2001). Ökningen nådde ett maximum under 1970-talet men minskade sedan för att under 1980-talet stabiliseras på en något förhöjd nivå. Denna form av pigmentanalys är svår att utföra i yngre sediment, men under perioden 1997-2005 observerades fyra år med relativt kraftiga cyanobakterieblomningar (se resultat i kapitel 3). Studier av långa tidsserier av satellitdata (1982-1997) har inte kunnat visa på någon klar trend då det gäller ökad förekomst eller utbredning av algbloomingar i Östersjön, däremot påvisades att nya områden påverkades av cyanobakterieblomningar och att variationerna i varaktighet och utbredning mellan olika år kan vara stor. (Karhu et al., 1994; Karhu, 1997). På grund av de stora variationerna både i tid och rum, samt den sparsamma tillgången till data från öppet hav, är det svårt att påvisa långtidsförändringar i utbredningen av cyanobakterieblomningar med hjälp av vattenprovtagning vid enstaka stationer. Det behövs andra former av data och datainsamlingsmetoder som ger möjlighet att regelbundet övervaka ett större havsområde.

1) Blågrönalger eller cyanobakterier, som de vetenskapligt kallas, är en grupp organismer som faktiskt inte är alger utan närmast en sorts bakterier. De blir emellertid så stora och har vissa likheter med grupper av växtplankton att de tidigare systematiskt sorterades in under växtgruppen alger.



Figur 1. Till vänster: Satellitbild över Östersjön (NOAA-AVHRR, visuell kanal) från den 31 augusti 1999. Kraftiga ytansamlingar av cyanobakterier kan ses som slingrande mönster på havsytan i de östra delarna av Östersjön. Överst till höger: Flygbild av cyanobakterieblomningar sommaren 2002 utanför Böda, Öland. (Bild från Kustbevakningsflyget). Underst till höger: Mikroskopbild av de två dominerande arterna (*Nodularia spumigena* och *Aphanizomenon baltica*) som ofta förekommer tillsammans i cyanobakterieblomningar (Bild från SMHI, Ann-Turi Skjevik).

Definition:

För att kunna jämföra olika år införs, i denna rapport, definitioner av begreppen rörande cyanobakterieblomningars **utbredning (A)**, **varaktighet (T)** och **intensitet (I)**. Baserat på de årliga sammanställningarna (figur 4) där area (a_i) motsvarar den yta som är täckt av ytansamlingar av cyanobakterier under (i) antal dagar anges normaliserad varaktighet och utbredning. Där (i) går från 1 till det maximala antalet dagar med blomningsobservationer under det aktuella året. Intensiteten anges i en tänkt enhet (ytdagar eller km^2 dagar).

$$\text{Varaktighet, } T = \frac{\sum a_i * i}{\sum a_i} \quad [\text{dagar}]$$

$$\text{Intensitet, } I = A * T \quad [\text{km}^2 \text{ dagar}]$$

$$\text{Utbredning, } A = \frac{\sum a_i * i}{\sum i} \quad [\text{km}^2]$$

Att använda satelliter för att insamla data medför en mängd fördelar. Sensorer monterade på satelliter ger regelbundet en ögonblicksbild av stora områden på jordytan. Vanligen passerar satelliten samma punkt på jordytan med en regelbundenhet av 0.5-6 dygn. Dessutom finns serier av satelliter med identiska sensorer och därför kan man få en ännu högre upplösning i tiden, med flera överflygningar per dygn. Dataleveransen är också mycket snabb, data kan vara tillgänglig inom en timme efter en överflygning.

Den största nackdelen med optisk satellitdata är att sensorerna inte kan "se" genom moln, vilket begränsar övervakningsförmågan på höga latituder, där moln är vanliga. Satellitdata är också begränsad till det översta lagret av havsytan, blomningar som förekommer vid större djup, exempelvis i språngskiktet är omöjliga att registrera. I vissa fall kan det också vara komplicerat att korrigera signalen som når satelliten från det brus som tillförs signalen då den passerar genom atmosfären. Mellan 80-100% av signalen som tas emot av en satellitsensor kan ha sitt ursprung i atmosfären. (Krik, 1994; Lindquist, 2003; Gordon et al., 1999)

I början av 1970-talet gjordes de första satellitobservationerna av ytansamlingar av cyanobakterieblomningar med satelliterna LANDSAT-1 och -2. Det dröjde dock ytterligare 15 år innan man upptäckte att NOAA:s (National Oceanic and Atmospheric Administration) vädersatelliter var lämpliga för att observera cyanobakterieblomningar (Håkansson, 2000). Sedan dessa har fler NOAA-satelliter tagits i bruk och idag erhålls flera satellitbilder per dag. Resultaten som presenteras i denna rapport baseras på data som levereras av en sensor som heter AVHRR (Advanced Very High Radiation Radiometer) som är monterad på samtliga satelliter i NOAA-serien.

Syftet med denna rapport är att:

- Informera allmänhet, media och myndigheter om möjligheter och begränsningar med satellitövervakning av cyanobakterieblomningar i Östersjön.
- Presentera en tidsserie över varaktighet, utbredning och intensitet av cyanobakterieblomningar i Östersjön mellan åren 1997-2005, baserad på resultatet från EU-projektet HABES (Harmful Algal Bloom Expert System) (Andersson & Karlson, 2004) samt resultat från SMHI:s operationella algövervakning från satellit, BAWS (Baltic Algal Watch System).
- Presentera en sammanfattning av varje års cyanobakterieblomningen, satellitobservationer och blomningens förlopp.
- Förklara skillnader och variationer i utbredning, varaktighet och intensitet mellan olika år.

Metod för att detektera cyanobakterieblomningar och använda data presenteras i kapitel 2. Resultat för varje år i tidsserien presenteras i kapitel 3. Diskussionen, i kapitel 4, ger en utförlig analys av varje år och behandlar speciellt åren 2004 och 2005. I kapitel 5 presenteras slutsatser.

2 Metod och data

2.1 Satellitdata

I denna studie har data används från AVHRR-sensorn som finns monterad på NOAA:s vädersatelliter. Under perioden 1997-2000 fanns tre NOAA-satelliter i omloppsbana runt jorden, vilka levererade mellan 3-8 satellitbilder per dygn över det aktuella området. Sedan börjat av 2000-talet har fler satelliter skjutits upp och idag (2005) finns sex satelliter med AVHRR-sensorn ombord som tillsammans kan leverera upp till 12 satellitbilder över Östersjöområdet per dygn. AVHRR sensorn mäter strålning i fem olika våglängdsintervall. Dessa intervall kallas ofta band. I tabell 1 presenteras detaljer om AVHRR-sensorn. (Landmark, 1995; Guymer et al., 2000)

Tabell 1. Presenterar AVHRR-sensorns olika band, våglängdsintervall och användningsområden, från Rees, 2001.

Band	Våglängd [μm]	Beskrivning	Oceanografiskt användningsområde
1	0.58-0.68	Synligt ljus (rött)	Vattenturbiditet, algblomningar
2	0.73 - 1.10	Nära infrarött (IR)	Kustlinje, moln, kraftiga blomningar
3	3.55-3.93	Termisk IR	Ytvattentemperatur
4	10.3-11.3	Termisk IR	Ytvattentemperatur
5	11.5-12.5	Termisk IR	Ytvattentemperatur

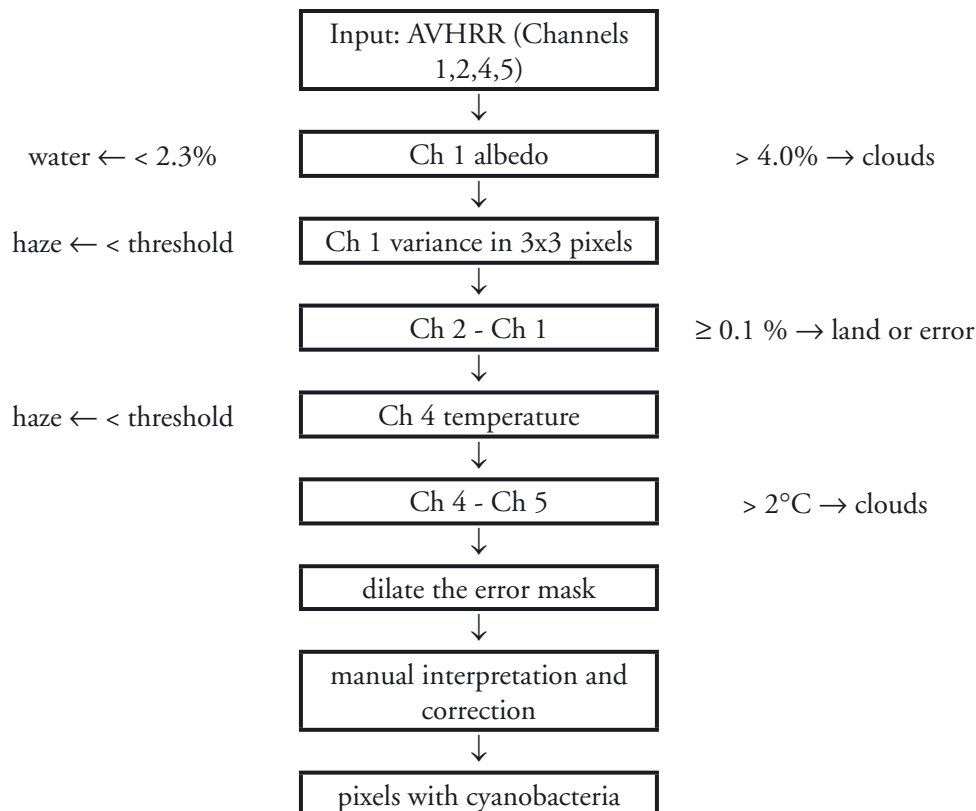
NOAA-AVHRR data från 1997-2000 (1 juni - 30 september) erhöles från Stockholms Universitet som också kalibrerade och registrerade data till en konisk Albers (equal area) projektion med en upplösning eller pixelstorlek¹ på $\sim 1 \text{ km}^2$. Band 1 och 2 konverterades till albedo (procent reflektans) och de termiska banden konverterades till radiance temperatur (Pers. komm., O. Rud, 2003). De satellitdata som använts inom SMHI:s algövervakning under åren 2002-2005 behandlar perioden från 1 juli - 30 september och har dessutom ett geografiskt utsnitt som skiljer sig något från det som använts vid Stockholms Universitet. För övrig är de båda dataseten identiska.

Det totala antalet satellitbilder som ingår i studien uppgår till ~ 7000 , och av dessa var ~ 1600 lämpliga för vidare analys. Grundtanken vid analysen av satellitbilderna var att endast använda satellitbilder med goda analysmöjligheter för att minska inverkan av reflektionseffekter vilket kan uppstå då det aktuella området hamnar i ytterkanten av satellitbilden (Karlsson, 2001; Karlsson, 2003).

2.2 Analysmetod

Metoden för att analysera satellitdata och detektera cyanobakterieblomningar i Östersjön utvecklades vid Stockholms Universitet (Karhu, 1997). Metoden som har används inom HABES och i SMHI:s algövervakning är något modifierad, men är i praktiken en övervakad klassificeringsalgoritm (se figur 2) som använder sig av tröskelvärden och skillnaden mellan de olika banden (synligt, nära infrarött och termiska band) för att skilja ut ytansamlingar av cyanobakterier från andra vanligt förekommande särdrag så som land, klart vatten, moln, dimma, dis, solblänk eller felaktiga pixlar. Varje satellitbild som analyseras med metoden kontrolleras manuellt och rättas om så behövs.

1) Storleken av det minsta element på jordytan som kan ses (upplösningen) bestäms bland annat av teleskopets (sensorns) mekaniska och optiska egenskaper samt banhöjden. Den minsta del av markytan som sensorn registrerar vid varje enskild tidpunkt och som resulterar i ett bildelement kallas pixel (picture element).



Figur 2. Flödesschema för den algoritm som används för att detektera cyanobakterieblomningar i NOAA-AVHRR satellitbilder, från Karhu, 1997.

På grund av de stora variationer som kan uppstå i satellitbildernas utseende händer det att algoritmen missar eller felaktigt klassar ett havsområde som utsatt för en algblomning. Därför är det nödvändigt att manuellt kontrollera varje satellitbild som analyserats, detta är dock relativt enkelt eftersom ytansamlingar kan ses med blotta ögat i det synliga band 1, dessutom förekommer ofta cyanobakterieblomningar i samma område under flera dagar, medan andra atmosfäriska fenomen som moln och dis är mer tillfälliga. Misstänkta fel kontrollerades manuellt genom att serier av flera bilder analyserades och uppenbara fel togs bort.

Ett vanligt problem då man använder NOAA-AVHRR data är att pixelstorleken eller upplösningen är relativt grov ($\sim 1 \text{ km}^2$) vilket gör det svårt att detektera blomningar nära kuster och i skärgårdar. Detta medför att metoden endast fungerar i större öppna havsområden.

Eftersom ett tätt molntäcke hindrar observationer av cyanobakterieblomningar från rymden är det viktigt att också övervaka hur stor del av alla observationer som är påverkade respektive opåverkade av moln. Metoden som beskrivs ovan för att observera cyanobakterieblomningar är lätt att justera så att endast molntäcket över Östersjön registrerades. Analys av molntäcket gjordes på alla satellitbilder som processerades.

3 Resultat

3.1 Observationer av cyanobakterieblomningar

Under perioden 1997-2005 analyserades satellitbilder för att undersöka utbredning, varaktighet och intensitet av cyanobakterieblomningar i Östersjön. Dagliga observationer av blomningar har sammanställts i "stackar" vilket är en form av överlagring där de dagliga observationerna i en och samma pixel summeras för att skapa årliga sammanställningar (se figur 10 i Appendix A). Kartorna i figur 5 visar de områden där cyanobakterieblomningar observerats och antalet dagar som blomningen observerats i varje pixel. På samma sätt har molnkartor (figur 6) skapats som presenterar antalet dagar med moln i varje pixel.

Diagrammen i figur 3 visar den dagliga area som är täckt av algblomningar (röd stapel), osäkra blomningar (gul stapel) samt procentuell del av havsytan som täcks av moln (blå linje). Resultaten som presenteras berör endast Egentliga Östersjön, Rigabukten, Finska viken och Bottenhavet, inga data från Kattegatt, Skagerrak eller Bottenviken ingår. I figur 4 och tabell 2 presenteras en sammanställning av cyanobakterieblomningarna mellan åren 1997-2005. Data bygger på de årliga sammanställningarna (figur 5) och visar utbredningen mot antal dagar med observerade blomningar. Figuren och tabellen ger en uppfattning om skillnader i varaktighet, utbredning och intensitet av cyanobakterieblomningar mellan olika år.

Nedan följer en sammanfattning av observationer och förlopp av cyanobakterieblomningar för varje år som ingår i studien.

3.1.1 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 1997

Den första observationen av ytansamlingar av cyanobakterier gjordes tidigt i juni runt Gotland. Vanligtvis observeras de första ytansamlingarna i början av juli men idealiska väderförhållanden omkring den 10 juni med svaga vindar och hög temperatur samverkade så att en blomning kunde uppstå. Den varma perioden följdes av kallt, molnigt och bläsigt väder vilket bröt upp och blandade ner ytansamlingarna i vattenmassan. Blomningen blev åter synlig omkring Gotland den 5 juli och spred sig över stora delar av Egentliga Östersjön. Den maximala utbredningen (~120 000 km²) observerades den 16 juli och blomningen var synlig i satellitbilderna till den 22 augusti. Molntäcket under juli och augusti indikerade att de bästa förhållandena för att observera blomningen återfanns i Östra Gotlandsbassängen, i Rigabukten och i Finska viken.

Både varaktighet och utbredning var detta år över medel (6 dagar respektive 8000 km²). Intensiteten var den tredje högsta som noterades under perioden 1997-2005.

3.1.2 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 1998

Sommaren 1998 dominerades av lågtrycksbetonat väder vilket gjorde detektion av cyanobakterieblomningar svår. De dagliga observationerna av andel molntäckt havsyta var sällan under 40% (se figur 3). Den första säkra observationen av ytansamlingar gjordes 9 juli nordöst om Gotland och den maximala utbredningen (~65 000 km²) registrerades den 23 juli. Blomningen detta år var koncentrerad till de centrala och norra delarna av Egentliga Östersjön.

Utbredningen var detta år den högsta (12 200 km²) som noterades under den analyserade perioden. Varaktigheten av blomningen var däremot mycket låg, endast 3 dagar, vilket gjorde att intensiteten hamnade under medel.

3.1.3 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 1999

I kontrast till den svaga blomningen 1998 var detta års blomning intensiv och spridda över stora delar av Östersjön. Många likheter finns med blomningen 1997. Den första säkra observationen gjordes den 8 juli i Finska Viken och under de följande dagarna uppstod blomningar i stora delar av Egentliga Östersjön. Den maximala utbredningen (~150 000 km²) observerades den 2 augusti. Tyvärr saknas satellitdata mellan den 13 och 23 augusti på grund av underhållsarbete med mottagningsstationen av satellitdata. Det är troligt att blomningen pågick även under denna period eftersom säkra observationer finns både före och efter uppehållet. Små och spridda cyanobakterieblomningar kunde observeras ända till den 12 september. Molnförhållandena var bäst i östra och norra delen av Egentliga Östersjön. Året dominerades av varmt och lugnt väder under juli och augusti och cyanobakterieblomningen var koncentrerad till den sydöstra delen av Egentliga Östersjön.

Blomningen 1999 uppvisar den högsta intensiteten under den analyserade perioden. Både varaktighet och utbredning var hög (7 dagar respektive 9 600 km²). Detta trots att 10 dagars data saknas från blomningsperioden.

3.1.4 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2000

Förhållandena detta år påminner om 1998, även om cyanobakterieblomningen detta år var mer koncentrerad till de västra och norra delarna av Egentliga Östersjön. De första ytansamlingarna observerades den 16 juli söder och öster om Gotland samt i de centrala delarna av Egentliga Östersjön. Den maximala utbredningen (~65 000 km²) registrerades den 30 juli. Blomningens utbredning minskade under de följande veckorna och den sista säkra observationen gjordes den 17 augusti. Stora delar av Egentliga Östersjön täcktes av moln denna sommar vilket kan ha påverkat den observerade utbredningen.

Under detta år var varaktigheten kort samtidigt som utbredningen var den lägsta som noterades. Intensiteten blev också den lägsta under den analyserade perioden.

3.1.5 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2001

På grund av tekniska problem med dataleveranserna från satellit till mottagningsstationen finns ingen satellitdata tillgänglig från sommarperioden 2001.

3.1.6 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2002

Den första observationen av ytansamlingar av cyanobakterier gjordes den 8 juli nordväst om Gotland. Blomningar förekom runt hela Gotland men var mest koncentrerad till den norra delen av Egentliga Östersjön och Finska Viken. Den maximala utbredningen (~110 000 km²) noterades den 13 juli men på grund av molnigt väder i slutet av juli var detektion av blomningar svår. Den sista säkra observationen av ytansamlingar gjordes den 16 augusti.

Blomningen detta år var begränsad både i utbredning och varaktighet (5 400 km² och 5 dagar). Därmed blev intensiteten också relativt låg.

3.1.7 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2003

Precis som under 2002 gjordes den första satellitobservationen av ytansamlingar av cyanobakterier den 8 juli nordväst om Gotland. Lugnt, soligt och varmt väder i kombination med onormalt höga fosfathalter (jan-maj) var perfekta förhållanden för en massiv tillväxt. Inom en vecka från den första observationen var stora delar av Egentliga Östersjön täckt av cyanobakterieblomningar. Den maximala utbredningen (~110 000 km²) observerades den 24 och 31 juli och blomningen var mest koncentrerad till havsområdet öster och sydöst om Gotland. Blomningar uppstod senare utmed den polska och svenska kusten mot Arkonabassängen och Bälthavet. Den sista säkra observationen observerades den 18 augusti.

Både 2002 och 2003 uppvisade liknande mönster då det gäller påverkade havsområden och tidsperiod av synliga ytansamlingar av cyanobakterier, även om blomningen var koncentrerad till olika havsområden.

Cyanobakterieblomningen detta år hade en lång varaktighet (7 dagar), medan utbredningen dock var under medel (6 400 km²). Den relativt långa varaktigheten medförde att intensiteten detta år hamnade strax över medel.

3.1.8 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2004

Blomningen under sommaren 2004 förutspåddes bli kraftig till följd av de rekordhöga fosfathalter som uppmättes i norra Egentliga Östersjön under vintern och våren. Den första observationen gjordes nordväst om Gotland i området kring Landsortsdjupet den 7 juli. Ytansamlingarna bestod till största delen av *Nodularia spumigena*. Vädret under juli var omväxlande med ett frekvent molntäcke, vilket gjorde övervakning av algblomningar svårt. Vattenprovtagning vid Landsortsdjupet visade att blomningen, med en massiv tillväxt, startade tre veckor senare än normalt. I slutet av juli observerades kraftiga blomningar vid Estlands kust och i Finska Viken, i dessa områden var molnförhållandena mer gynnsamma än i övriga Egentliga Östersjön.

Cyanobakterieblomningen kunde under sommaren 2004 observeras i stora delar av Egentliga Östersjön men den totala utbredningen var svår att registrera på grund av det frekventa molntäcket. Blomningen nådde sin maximala utbredning (~100 000 km²) den 6 augusti och observationer av allt mindre och spridda ytansamlingar gjordes fram till den 25 augusti.

Intensiteten hos blomningen 2004 var låg. Den näst lägsta som noterades under perioden. Detta beror på både kort varaktighet och liten utbredning (3 dagar respektive 5 400 km²).

3.1.9 Cyanobakterieblomning observerad från satellit, 2005

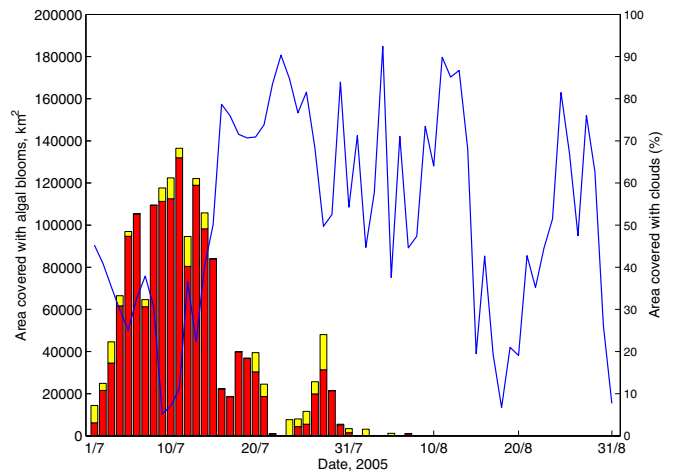
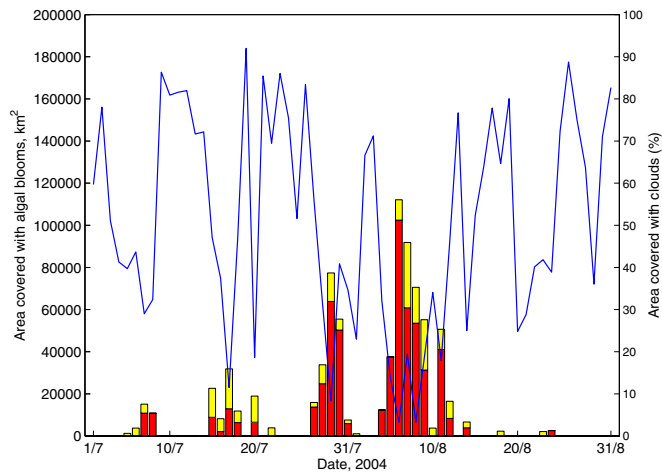
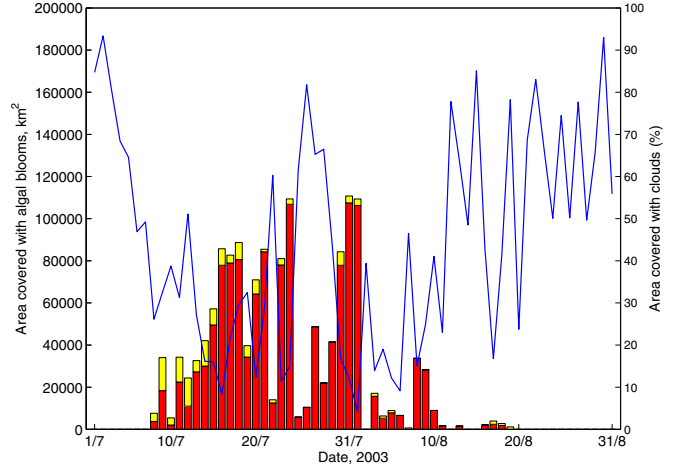
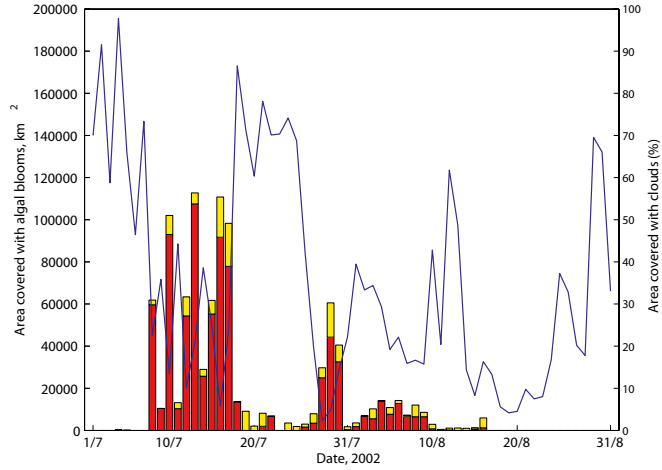
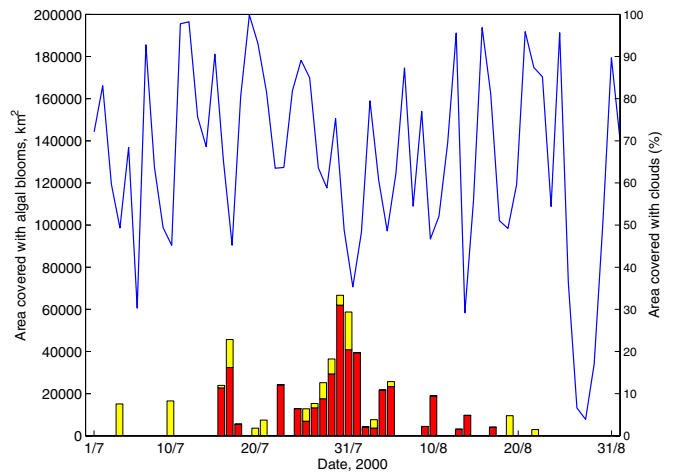
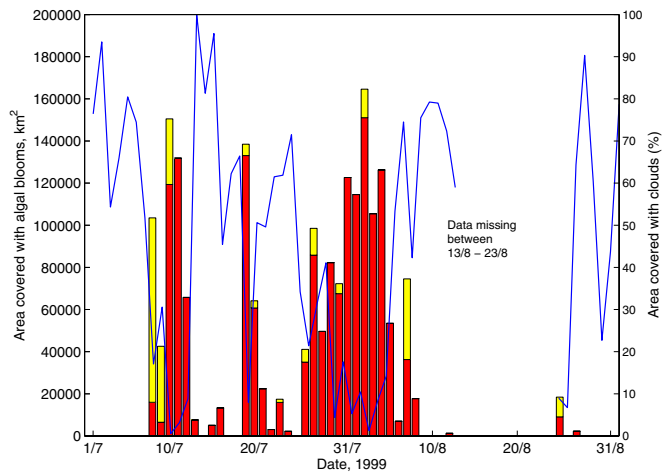
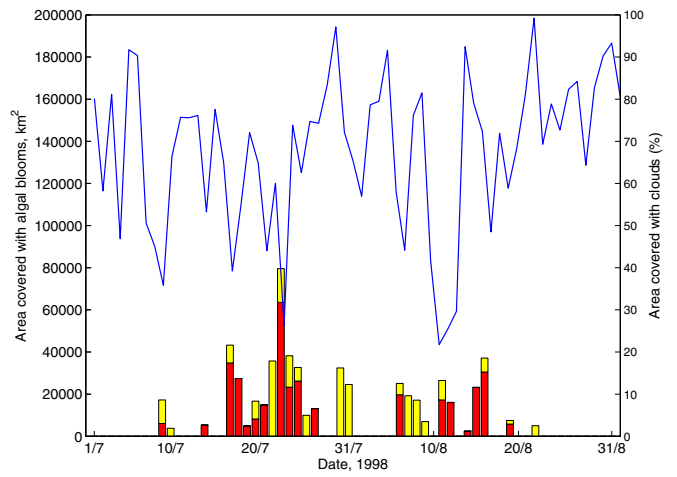
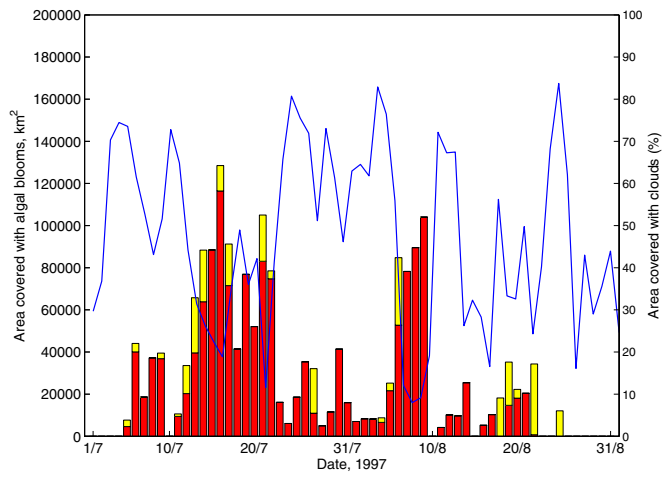
Vackert väder med svaga vindar och mycket sol i mitten av juni medförde att de första visuella observationerna av ytansamlingar gjordes redan omkring 17/6. Vattenprover tagna nordväst om Gotland visade att ansamlingarna innehöll både *Nodularia* och *Aphanizomenon* (SMHI, U/F Argos Expeditionsrapport 13/6-18/6, 2005). Slutet av juni var dock kall och blåsig vilket medförde att ytansamlingarna bröts upp.

Den 1 juli var ytansamlingar av cyanobakterier åter synliga nordväst om Gotland. Extremt höga fosfathalter under vintern och våren (> 1 µmol/l) i stora delar av Egentliga Östersjön i kombination med lugnt, soligt och varmt väder var gynnsamma förhållanden för en massiv och intensiv blomning. Inom några dagar var hela havsområdet från Åland och Finska viken till Gdanskbukten täckt av cyanobakterieblomningar. Den svenska kusten drabbades speciellt hårt och blomningen fick stor uppmärksamhet i media.

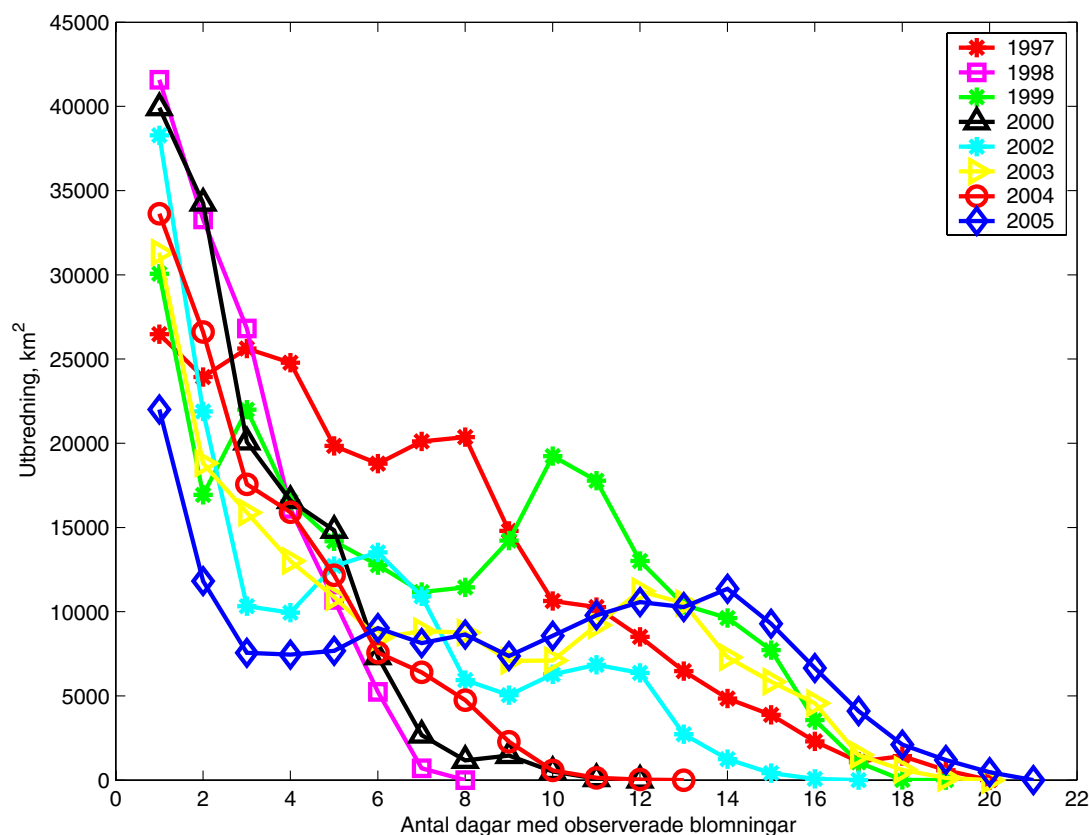
Den maximala utbredningen (~130 000 km²) observerades redan den 11 juli och blomningen var koncentrerad till norra Egentliga Östersjön och havsområdena runt Öland och Gotland. Blomningen i öppna Egentliga Östersjön var samlad i tiden till juli och endast små ytansamlingar observerades tidigt i augusti.

Molnförhållandena tidigt i juli lämpade sig bra för övervakning av algblomningar medan molnigheten från och med mitten av juli försvårade detektionen. Utbredningen av cyanobakterieblomningar under den senare perioden är med stor säkerhet underskattad. Den avslutande fasen i blomningen, tidigt i augusti, kunde observeras både från satellit och i vattenprover. Mätningar och observationer mellan den 9 och 12 augusti bekräftar att inga synliga ytansamlingar förekom och att endast döda eller döende cyanobakterier hittas vid analys av vattenproverna. (SMHI, U/F Argos Expeditionsrapport 8/8-13/8, 2005)

Cyanobakterieblomningen 2005 uppvisar den längsta varaktigheten (8 dagar) under den analyserade perioden. Blomningen var dock koncentrerad till de norra delarna av Egentliga Östersjön, vilket medför att utbredningen av blomningen var under medel (6 600 km²). Intensiteten detta år var den näst högsta som noterats under den analyserade perioden.



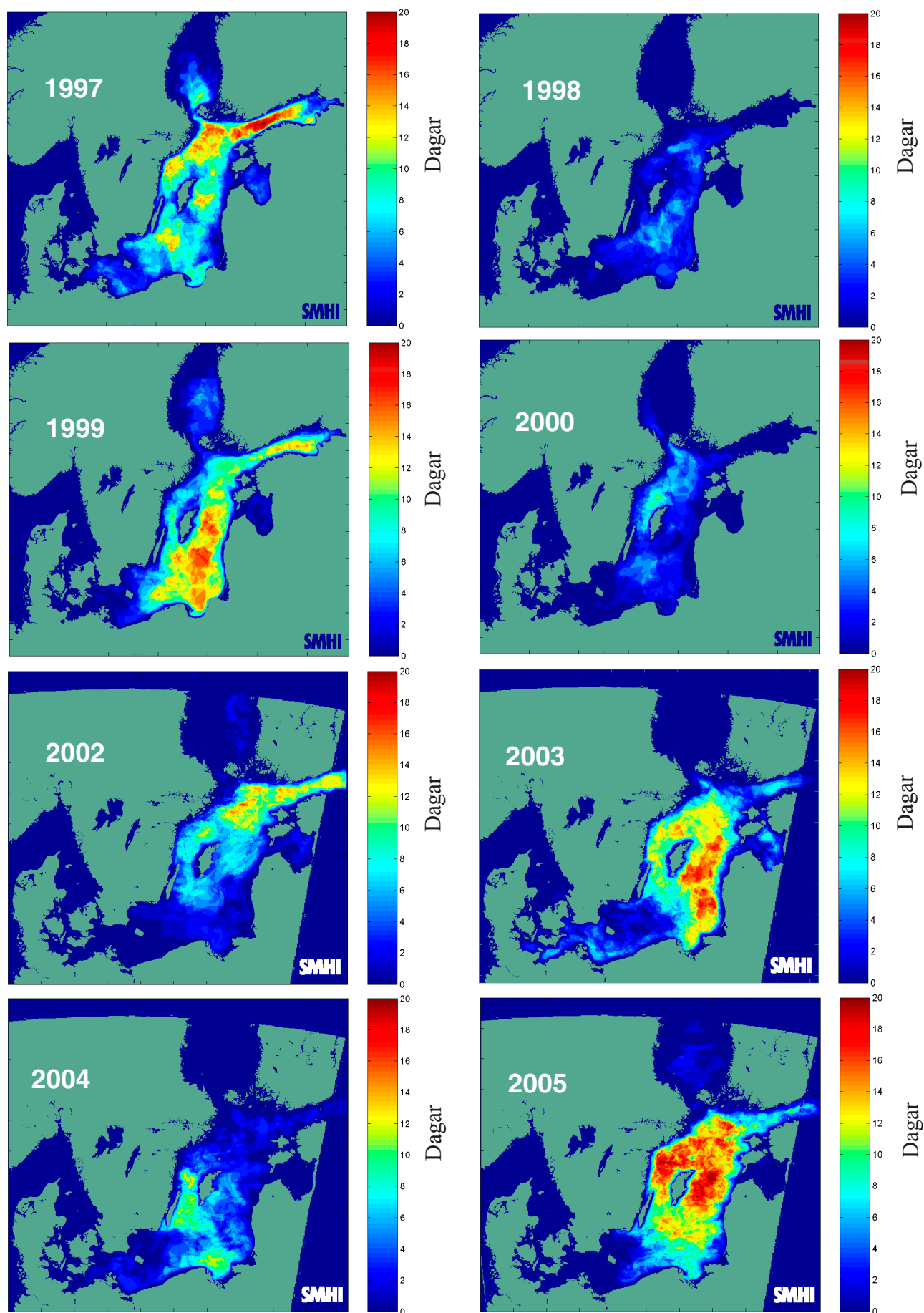
Figur 3. Föregående sida: Utbredning av cyanobakterieblomningar och den totala havsyta täckt av moln i Östersjön angivet för varje dag under perioden 1 juli till 31 augusti, exklusive Skagerrak, Kattegatt och Bottenviken. Röd stapel anger säker observation, gul stapel anger osäker observation och blå linje anger andel havsyta täckt av moln.



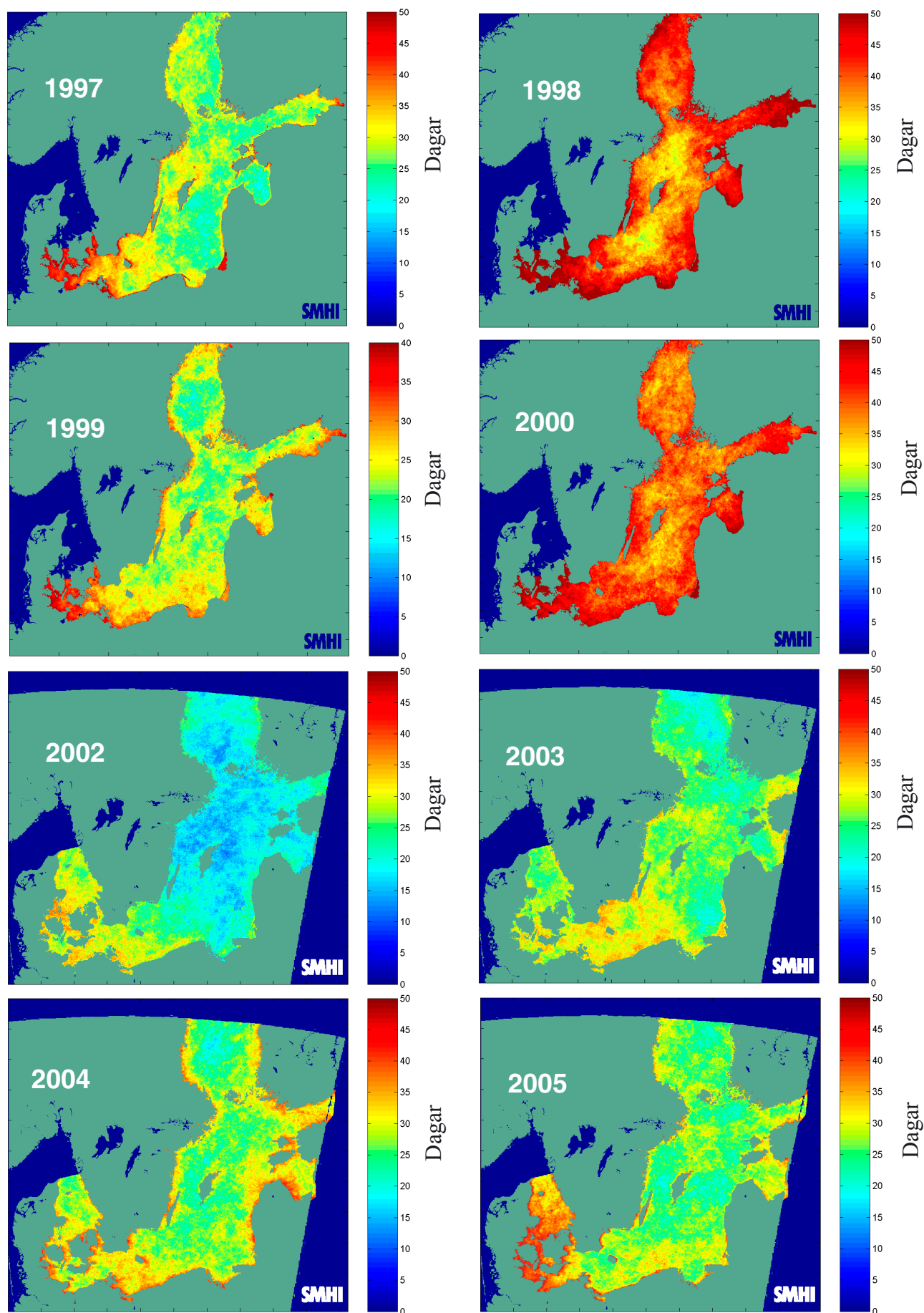
Figur 4. Bilden visar utbredning mot antalet dagar av observerade cyanobakterieblomningar detekterade från satellit i Östersjön mellan åren 1997 till 2005. Data är hämtat från de årliga sammanställningarna i figur 5 och visar exempelvis att under hela 1998 gjordes en observation i ett område >40 000 km², två observationer gjordes i ett område ~34000 km² osv. Det maximala antalet dagar med blomningsobservationer under 1998 var åtta, dessa observationer gjordes i ett mycket litet område. Notera att hela 2001 samt 10 dagar från undersökt period under 1999 saknas på grund av problem med dataleveranserna från satellit till mottagningsstationen.

Tabell 2. Presenterar en jämförelse av normaliserad varaktighet, utbredning och intensitet av cyanobakterieblomningar mellan de undersökta åren. Resultatet är baserat på data presenterad i figur 4. Värdena för varaktighet är avrundat till hela dagar, utbredning och intensitet är avrundade till närmaste helt hundratal. Se definition av begreppen på sida 9.

År	Varaktighet (T, [dagar])	Utbredning (A, [km ²])	Intensitet (I, [km ² dagar])
1997	6	8 000	49 800
1998	3	12 200	31 200
1999	7	9 600	68 300
2000	3	6 100	17 500
2001	Data saknas	Data saknas	Data saknas
2002	5	5 400	26 500
2003	7	6 400	42 800
2004	3	5 400	17 700
2005	8	6 600	55 300
Medel	5	7 500	38 700



Figur 5. Antal dagar med ytansamlingar av cyanobakterieblomningar observerat från satellit. Notera att hela 2001 samt 10 dagar från undersökt period under 1999 saknas på grund av problem med dataleveranserna från satellit till mottagningsstationen.

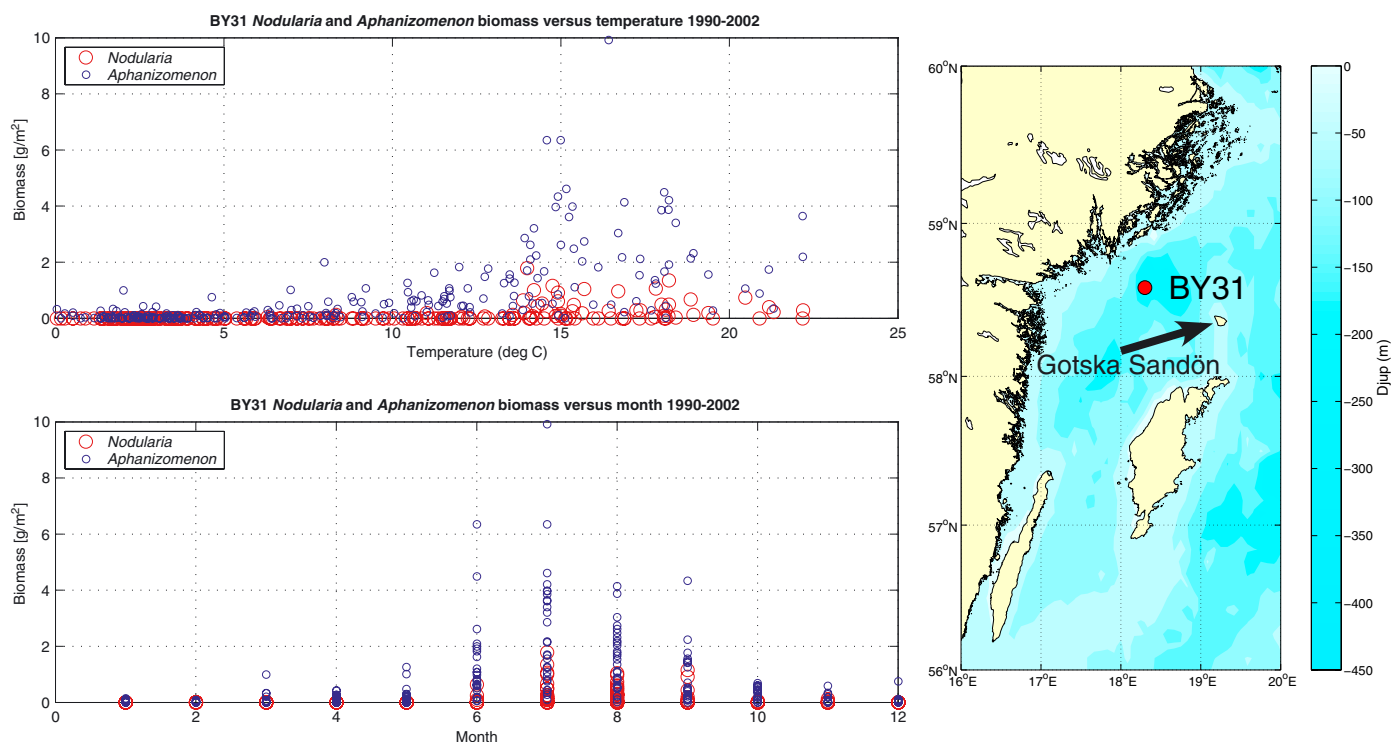


Figur 6. Antal dagar med moln observerat från satellit. Notera att hela 2001 samt 10 dagar från undersökt period under 1999 saknas på grund av problem med dataleveranserna från satellit till mottagningsstationen.

4 Diskussion

4.1 Cyanobakterieblomningars dynamik

Vilka miljövariabler som reglerar och styr utbredning, varaktighet och intensitet av cyanobakterieblomningar i Östersjön är idag endast delvis förklarade. Det är känt att ett flertal faktorer måste samspela för att en blomning skall starta. Det behövs kraftig solinstrålning, en tydlig skiktning i havets ytlager, lämplig vattentemperatur, svaga vindar (svag vinddriven omblandning) och tillräckliga mängder biologisk tillgängligt fosfor (fosfat). Om en eller flera av ovan nämnda faktorer saknas finns det en god chans att blomningen detta år blir svagare eller inte uppstår. Figur 7 presenterar alla *in situ* (på plats) mätningar av *Nodularia* och *Aphanizomenon* mot temperatur och månad vid Landsortsdjupet (Station BY31) under perioden 1990-2002. Figuren visar att ytttemperaturen skall överstiga 13.5-14.0°C. Denna temperatur gäller för både *Nodularia* och *Aphanizomenon* även om den senare verkar kapabel att blomma vid ännu lägre temperaturer, 12-13 °C. (Andersson & Karlson, 2004)



Figur 7. Till vänster: Biomassa av *Nodularia* och *Aphanizomenon* mot ytttemperatur och månad vid Landsortsdjupet (station BY31). Data från nationell miljöövervakning utförd av Stockholms Marina Forskningscentrum. Till höger: Karta som visar station BY31 samt Gotska Sandön.

Det är välkänt att blommande cyanobakterier ansamlas vid ytan vid lugnt och soligt väder. De trådformiga cyanobakterierna klumpar ihop sig till nystan och flyter upp till ytan och kan där bilda stora och täta ansamlingar. Typiskt sker detta när blomningen är i sin slutfas och cyanobakterierna är på väg att dö och inte kan reglera sin flytförmåga. Observationer av friska cyanobakterier i ytansamlingar tidigt i juni (11/6 1997 och 17/6 2005) antyder dock att det finns fler anledningar till att blomningen ansamlas vid ytan.

En teori är att under perioder med svaga vindar och hög solinstrålning är den vinddrivna omblandningen för svag för att blanda ner det uppvärmda ytvattnet till djupet av språngskiktet. Allt eftersom uppvärmningen fortsätter bildas en permanent eller halvdaglig sekundär skiktning nära ytan där värme samlas. Cyanobakterier kan i detta tunna och varma sekundära ytlager snabbt växa till och när koncentrationen av alger ökar i ytlagret ökar också uppvärmningen och skiktningen stärks genom att ljus absorberas i cyanobakteriernas pigment och därigenom skapas en positiv återkoppling vilket resulterar i ytterligare ytansamlingar. Stark solinstrålning och

den följande sekundära skiktningen kan vara en möjlig fysisk faktor som orsakar eller bidrar till att cyanobakterier fångas i ytlagret, där förhållandena är lämpliga för blomning och förmågan att reglera flytförmågan begränsas av skiktningen. Även om kraftiga vindar snabbt kan bryta upp ytansamlingar och återföra cyanobakterier till större djup visade Karhu et al. (1993) att kompakta ytansamlingar återfinns klart synliga även efter en dag med vindar över 8 ms^{-1} .

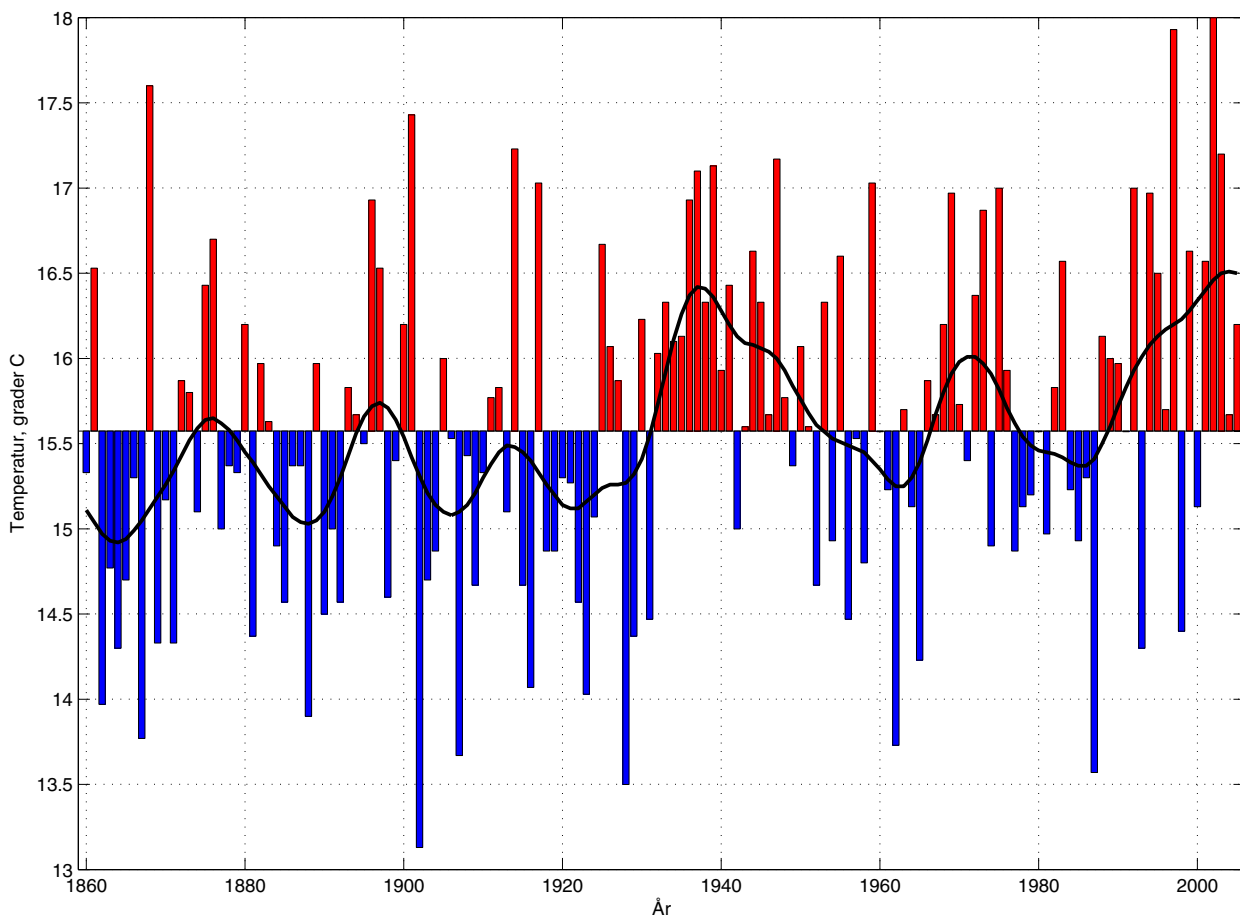
I startskedet av en blomning är cyanobakterierna spridda i ytlagret och kan inte ses från satellit. Tiden från att blomningen startar tills den första observationen av ytansamlingar görs beror till stor del på väderförhållanden och skiktning. Resultat från 1997-2000 (Hansson, 2004) visar att denna tidsperiod varierar mellan 2 och 18 dagar. I medeltal är denna period 9 dagar.

Under senare tid har olika studier indikerat att cyanobakterieblomningar i Östersjön har ökat i utbredning och blivit intensivare. Den exakta anledningen till denna ökning är idag inte helt känd men mänsklig övergödning och/eller naturlig variabilitet är troliga anledningar. Östersjöns form som innanhav med begränsat vattenutbyte med oceanerna kan vara en naturlig förklaring. Inflödet av salt- och syrerikt Atlantvatten är starkt begränsat genom Öresund och Bälten och i kombination med den stora tillförseln av sötvatten skapas unika förhållanden som är avgörande för cyanobakteriers tillväxt och blomning (Fonselius, 1995). I Kattegatt och Skagerrak är det den höga salthalten som omöjliggör tillväxten och i Bottenviken är det bristen på biologiskt tillgängligt fosfor (fosfat) som är begränsande. Men i Egentliga Östersjön, med sitt bräckta vatten, är förhållandena mer lämpade. Östersjöns pendling mellan syrerika bottenförhållanden (vid inflöden) och stagnationsperioder med syrebrist (då inget inflöde av syrerikt bottenvatten från Kattegatt sker), bidrar också till att gynna cyanobakterieblomningar. Vid syrefria förhållanden vid botten frigörs fosfat från sedimenten. När sedan ett inflöde av tungt bottenvatten från Kattegatt sker pressas det gamla fosfatrika bottenvattnet upp ovanför språngskiktet och kan på så sätt blandas till ytvattnet. Fosfat är livsnödvändigt för cyanobakterier och finns inget fosfat kvar i ytvattnet efter vårbloomingen är chansen stor att blomningen uteblir.

Förhållandet mellan halterna biologiskt tillgängligt kväve och fosfor (N:P-kvoten) uppvisade innan 2002 en ökande trend men har därefter minskat vilket kan vara en anledning till ökningen av cyanobakterieblomningar i Östersjön. Minskningen av kvoten kan härledas till inflödet 2002/2003 vilket medförde rekordhöga fosfathalter i stora delar av Egentliga Östersjön. Det har visat sig att en låg N:P-kvot, då kväve är begränsande leder till förekomst av cyanobakterieblomningar och att en hög N:P-kvot då tillgången på fosfat är begränsande, leder till minskad förekomst av cyanobakterieblomningar. (Boesch et al., 2005)

Storskaliga klimatförändringar, vilket kan resultera i ökad luft- och vattentemperatur i norra Europa och Östersjöområdet, kan också orsaka ökad förekomst av cyanobakterieblomningar. Lufttemperaturen under sommaren i området kring Egentliga Östersjön under perioden 1860-2005 (se figur 8) visar att varma och kalla perioder avlöser varandra (Alexandersson, 2002). Långa varma perioder, med lufttemperatur över medel (15.6°C), återfinns mellan åren 1930-1950 och 1966-1976. Sedan 1988 till idag (2005) befinner sig området kring Egentliga Östersjön i en varm period, vilket kan vara en anledning till den ökade förekomsten av cyanobakterieblomningar. Någon klar trend för ytvattentemperaturen har inte kunnat påvisas men under det senaste århundradet har vattentemperaturen i Egentliga Östersjöns djupvatten uppvisat en tydlig positiv trend. Ökad temperatur i djupvattnet kan påverka oxidationen av dött organiskt material och syrgasförhållandena i djupvattnet. Syrgashalten i Egentliga Östersjöns djupvatten uppvisar också, under samma period, en klart fallande trend. (Fonselius och Valderrama, 2002)

Östersjön är till följd av sina oceanografiska egenskaper ett ytterst känsligt havsområde. Mänsklig påverkan i form av övergödning, får störst effekt vid kusterna men även i utsjön kan tydligt negativa trender påvisas. Både syrgashalten i Egentliga Östersjöns djupvatten och siktdjupet har minskat vilka båda är kopplade till en ökad produktion av växtplankton i ytlagret. Minskningen i siktdjup motsvarar ungefär en fördubbling av primärproduktionen under det senaste århundradet. Under den senare delen av 1900-talet, då tillförlitliga analyser av närsalter och totalmängder av kväve och fosfor blev tillgängliga, har fosfathalten i ytvattnet uppvisat en ökande trend. Samtidigt har belastningen av kväve och fosfor ökat 4 respektive 8 gånger under den andra hälften av förra århundradet (Boesch et al., 2005). Den diskuterade ökningen av cyanobakterieblomningar skulle kunna vara ett resultat av Östersjöns naturliga variationer i kombination med kraftig mänskliga påverkan.



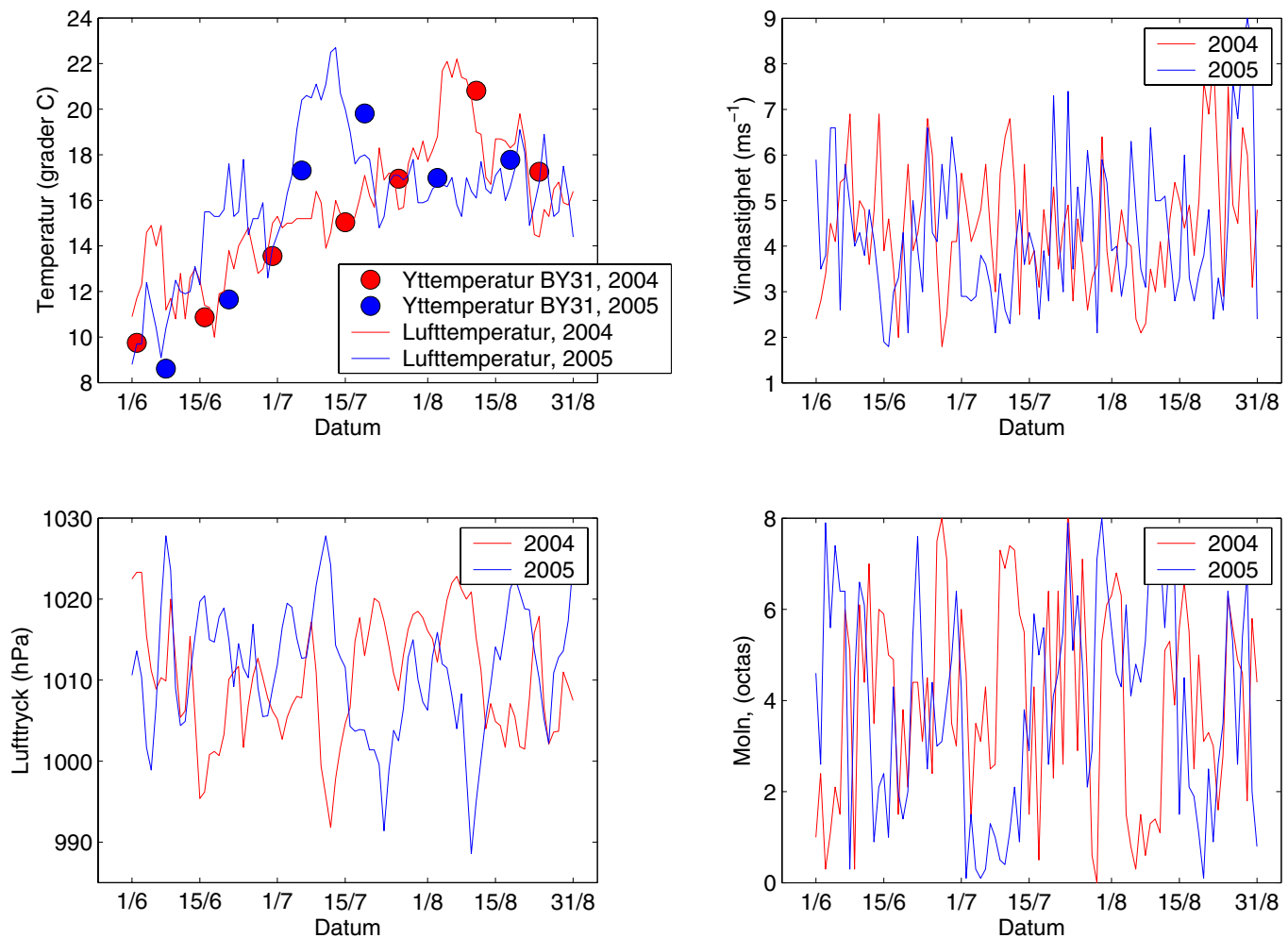
Figur 8. Sommarens lufttemperatur i området kring Egentliga Östersjön under perioden 1860-2005. Medeltemperaturen under perioden är 15,6°C. Svart linje anger ett utjämnat värde som skall framhålla mer varaktiga variationer på 10 årsskala. (Pers. komm. H. Alexandersson, 2006)

4.2 Jämförelse mellan åren 2004 och 2005

Efter det stora inflödet till Egentliga Östersjön 2002/2003 uppmättes rekordhöga fosfathalter i norra Egentliga Östersjön 2004 och i södra Egentliga Östersjön 2005. Den massiva blomningen som förutspåddes 2004 på grund av de höga fosfathalterna uteblev dock och sannolikt berodde detta på det blåsiga och lågtrycksbetonade vädret under sommaren (se figur 9). Den blomning av cyanobakterier som uppstod 2004 var 3 veckor senare än normalt och någon massiv tillväxt med följande kraftiga ytansamlingar uppstod inte. Under sommaren 2005 förutspåddes också kraftig cyanobakterieblomning på grund av de höga fosfathalterna och mycket riktigt blev intensiteten den näst högsta under den analyserade perioden.

Temperaturutvecklingen (se figur 9) i ytvattnet vid BY31 var i juni 2004 och 2005 likartad. I juli, däremot, var skillnaderna större (mellan 3-5°C) och den maximala temperaturen under 2005 noterades i slutet av juli. Uppvärmningen av ytlagret under 2004 gick långsamt och den maximala yttemperaturen uppmättes först i mitten av augusti.

Perioden juni-augusti 2004 och 2005 uppvisar stora meteorologiska skillnader. På Gotska Sandön (se karta figur 7) uppmättes under början av juli 2004 en dygnsmedeltemperatur under 16°C. Under samma tid 2005 var medeldygnstemperaturen över 20°C. Medeltemperaturer över 20°C uppmättes först efter 1 augusti 2004. Vindhastigheten uppvisar liknande mönster, med ogynnsamma förhållanden i början på juli 2004 och mer fördelaktiga förhållanden under samma period 2005 (se figur 9). Högtrycksbetonat, varmt, lugnt och soligt väder tidigt i juli är troligen en avgörande faktor för att en blomning skall kunna uppstå och eventuellt bli kraftig.



Figur 9. Jämförelse mellan åren 2004 och 2005. Överst till vänster: Dygnsmedel för lufttemperatur vid Gotska Sandön och ytvattentemperatur vid BY31 (se karta figur 7). Överst till höger: Dygnsmedel för vindhastighet. Underst till vänster: Dygnsmedel för lufttryck. Underst till höger: Dygnsmedel för molnmängd, presenteras i åttondelar täckta av himlen täckta av moln (octas).

Det är också uppenbart att det finns ytterligare okända faktorer som påverkar uppkomsten av en cyanobakterieblomning. Rekordhöga fosfathalter (normala vinterhalter) uppmättes i Bornholms- och Arkonabassängen under hela sommaren och hösten 2005, ändå uppstod aldrig någon blomning i dessa två havsområden. Yttemperatur och väderförhållanden var likvärdiga i andra delar av Östersjön där blomningar förekom. (SMHI, U/F Argos Expeditionsrapport och AlgAware, 8/8-13/8, 2005) Frågan är då: Varför uppstod inte någon blomning i sydvästra Östersjön?

Möjliga orsaker kan vara små förändringar i salthalt som observerades i ytlagret under samma period eller att något nödvändigt spårämne saknades. Det är också möjligt att blomning uteblev till följd av konkurrens med andra växtplankton. Men detta är osäkert och det behövs mer forskning och samordnad marin miljöövervakning för att förklara detta.

5 Slutsatser

Satellitövervakning av cyanobakterier erbjuder en unik möjlighet att studera utbredning av ytansamlingar dagligen. Vid molnfria förhållanden kan hela Östersjön övervakas och en ögonblicksbild över utvecklingen skapas som inte är möjlig med traditionella mätmetoder från fartyg. Satellitbilder finns tillgängliga i nära realtid och flera bilder kan analyseras under samma dag. På detta sätt minskas problemet med moln.

Nackdelar som inte får glömmas bort är, som nämnts ovan, molntäcket, vilket helt förhindrar observationer av vattenytan. Ett annat problem med NOAA-AVHRR data är den grova upplösningen som medför att ytansamlingar av cyanobakterier endast kan observeras i öppna havsområden. Blomningar i skärgårdar eller nära land kan vara svåra att detektera. Från satellit är det möjligt att bestämma om en blomning har ansamlats vid ytan men inte om det förekommer en blomning på större djup. Det är idag omöjligt att från satellit bestämma vilken art som dominerar en blomning, det krävs vattenprover och mikroskopanalys för att få artsammansättningen fastställd.

Resultatet av denna studie kan sammanfattas i följande punkter:

- Ytansamlingar av cyanobakterier är ett naturligt och frekvent förekommande fenomen i Östersjön.
- Variationen mellan olika år är stor. Blomningen 2005 uppvisade den längsta varaktigheten, medan 1998 års blomning hade den största utbredningen. Blomningen 1999 hade både lång varaktighet och stort utbredning vilket gav den högsta intensiteten under den analyserade perioden.
- Molntäcket varierar också kraftigt mellan olika år och detta kan i vissa fall försvåra tolkningen av satellitobservationerna, även om cyanobakterieblomningar oftast förekommer i samband med klart och molnfritt väder.
- De första ytansamlingarna blir vanligen synliga i början av juli och blomningen kan fortsätta till mitten eller slutet av augusti. Under vissa år förekommer små och spridda blomningar ända in i september. I startskedet av en blomning är cyanobakterierna spridda i ytlagret och kan inte ses från satellit. Tiden från att blomningen startar tills den första observationen av ytansamlingar görs beror till stor del på väderförhållanden och skiktning. Resultat från 1997-2000 visar att denna tidsperiod i medeltal är 9 dagar. De första satellitobservationerna av ytansamlingar görs vanligen nordväst om Gotland.
- Högttrycksbetonat, varmt, lugnt och soligt väder tidigt i juli är troligen en avgörande faktor för att en blomning skall kunna uppstå och eventuellt bli kraftig.
- Den ökning av både utbredning och intensitet som diskuteras är svår att bevisa. Satellitdata har varit tillgänglig i mer än 3 decennier och denna period är för kort för att visa vad som är trender och naturliga variationer. Det är därför viktigt att satellitdata även i fortsättning analyseras och lagras så att denna relativt långa tidsserie kan användas i framtiden.
- N:P-kvoten har efter 2002 minskat vilket kan vara en anledning till de senaste årens kraftiga cyanobakterieblomningar. Minskningen av kvoten kan härledas till inflödet 2002/2003 vilket medförde höga fosfathalter i stora delar av Östersjön.
- Ökningen av cyanobakterieblomningar skulle kunna vara ett resultat av Östersjöns naturliga variationer i kombination med mänsklig påverkan.
- Det är uppenbart att det finns ytterligare okända faktorer som påverkar uppkomsten av en cyanobakterieblomning. Mer forskning och samordnad marin miljöövervakning behövs för att förklara detta.
- Kombinationen av satellitdata, traditionell vattenprovtagning, modellresultat och visuella observationer är nödvändig för att helheten av en blomning skall bli tydlig. Tillsammans utgör dessa data ett kraftfullt verktyg för att övervaka, förutspå och förklara uppkomsten av cyanobakterieblomningar i Östersjön.

Framtida arbete bör fokusera på cyanobakterieblomningars dynamik. Hur påverkar temperatur, skiktning, näringsämnen, spårämnen och väderförhållanden blomningen? Vilka är de faktorer som reglerar blomningen? Har intensiteten och utbredningen ökat den senaste tiden? Vad är naturliga variationer och vad är mänsklig påverkan?

Andra satellitsensorer lämpliga för algövervakning finns tillgängliga så som MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) och MERIS (Medium Resolution Image Spectrometer Instrument). Dessa erbjuder högre upplösning och mäter i fler våglängdsintervall vilket kan öka förmågan och noggrannheten i övervakningen av cyanobakterieblomningar.

I en inte alltför avlägsen framtid kan också nya former av *in situ* data finnas tillgänglig. Bojar med profilerande CTD-sonder, optiska instrument och närsaltssensorer kan producera data med hög provtagningsfrekvens och upplösning i djupled. Denna form av data är också ovärderlig för att verifiera och utvärdera satellitdata.

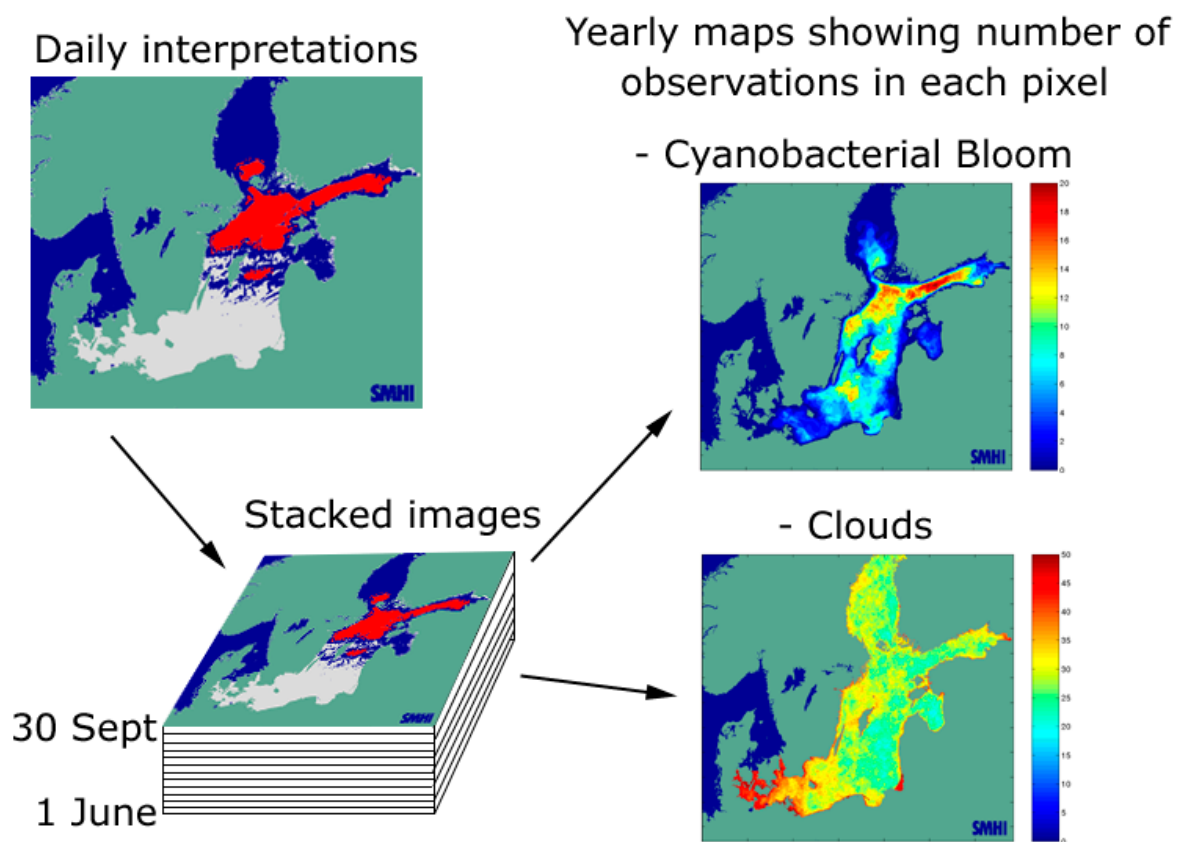
Kombinationen av ny teknik, satellitövervakning, *in situ* provtagning och modellresultat är ett mycket kraftfullt verktyg som kan erbjuda kunskap och realtidsinformation till forskare, myndigheter och allmänhet om den generella algsituationen och som i synnerhet kan varna vid giftiga algbloomningar.

6 Referenser

- Alexandersson, H., 2002, Temperature and precipitation in Sweden, 1860-2001, SMHI *Meteorology report no. 104*. ISSN 0283-7730.
- Anderson, P. and Karlson, B., 2004. Pilot study Baltic Sea. In: Blauw, A.N. (Eds.). Harmful Algal Blooms Expert System, final report. p. 8-1-8-66. *Delft Hydraulics, Delft*. URL: <http://www.habes.net>
- Bianchi, T. S., E. Engelhaupt, P. Westman, T. Andren, C. Rolff, R. Elmgren, 2000, Cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: Natural or human-induced?, *Limnol. Oceanogr.*, 45(3), 716–726.
- Boesch, D., R. Hecky, C. O. Chair, D. Schindler, S. Seitzinger, 2005, Expert Evaluation of the Eutrophication of the Seas Surrounding Sweden. *Swedish Environmental Protections Agency*.
- Degerholm, J., 2002, Ecophysiological characteristics of the Baltic Sea N₂-fixing cyanobacteria *Aphanizomenon* and *Nodularia*, Doctoral thesis, *Department of Botany, University of Stockholm*.
- Edler, L., E. Willén, T. Willén and G. Ahlgren, 1995, Skadliga alger i sjöar och hav, *Naturvårdsverkets rapport 4447*.
- Finni, T., K. Kononen, R. Olsonen and K. Wallström, 2001, The History of Cyanobacterial Blooms in the Baltic Sea. *Ambio* Vol. 30 No.4-5.
- Gordon, J., M. Antoine, C. Francois, M. Calatayud, V. Barale, H.M. Snaith, O. Rud, M. Ishii, M. Gade, J.M. Redondo and A. Platinov, 1999, The Clean Seas Project - Final report. Produced with the support of DG XII/D of the European Commission under contract number: ENV4-CT96-0334.
- Guymet, T.H., N.C. Flemming, Font, J. P. Gaspar, J. Johannessen, G.H. van der Kolff, C. le Provost, A. Ratier, D. Williams, 2000, Operational Ocean Observations from Space, Report of the EuroGOOS Conference on Operational Ocean Observations from Space, *EuroGOOS publication* No. 16, Southampton Oceanography Centre, Southampton, 133pp. ISBN 0-904175-44-8.
- Fonselius, S., 1995, Västerhavets och Östersjöns Oceanografi, SMHI *Oceanografi rapport*. ISBN 91-87996-07-3.
- Fonselius, S., and J. Valderrama, 2002, Hundred Years of Hydrographic Measurements in the Baltic Sea. SMHI *Oceanografi rapport (opubl)*.
- Håkansson, B., 2000, Satellite remote sensing of coastal oceans: water quality and algae blooms. Seas at the millenium: An Environmental evaluation (edited by C. Sheppard). *Elsevier Science Ltd*. Vol.3, 293-302.
- Hansson, M., 2004, Monitoring and Prediction of Algal Blooms in the Baltic Sea - Using Satellite Data and a Fuzzy Logic Model for Cyanobacterial Blooms. Honour Thesis. Göteborg University.

- Kahru, M., 1997, Using Satellites to Monitor Large-Scale Environmental Change: A case study of the Cyanobacteria Blooms in the Baltic Sea. Monitoring algal blooms: New techniques for detecting large-scale environmental change. *Landes Bioscience*.
- Kahru, M., U. Horstmann and O. Rud, 1994, Satellite Detection of Increased Cyanobacteria Blooms in the Baltic Sea: Natural Fluctuation or Ecosystem change?, *Ambio* Vol. 23 No. 8.
- Kahru, M., J-M. Leppänen, O. Rud, 1993, Cyanobacterial blooms casuse heating of the sea surface, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 101: 1-7.
- Karlsson, K-G., 2003, A 10 year climatology over scandinavia derived from NOAA AVHRR radiometer imagery, *International Journal of Climatology*, vol 23, pp. 1023-1044.
- Karlsson, K-G., 2001, A NOAA AVHRR cloud climatology over Scandinavia covering the period 1991-2000. *Reports Meteorology and Climatology*, no. 97. SMHI, Norrköping, Sweden.
- Kirk, J., 1994, Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. 2nd ed. *Cambridge University Press*.
- Kononen, K., 2001, Eutrophication, Harmful Algal Blooms and Species Diversity in Phytoplankton Communities Examples from the Baltic Sea. *Ambio*, vol. 30 No. 4-5.
- Landmark, B. and J. Moen, 1995, Earth Observations, Compendium prepared by: Björn Landmark, University of Oslo, Physical department, Blindern Östein B. Dick, Agricultural University of Norway, Department of Surveying, Ås Kjell Kloster, *Nansen Environmental and Remote sensing Center*, Bergen.
- Lindquist, K-K., 2003, Studies of temporal and spatial variability of an ice cover, the sea surface temperature, and the colour of coral using satellite-based remote sensing techniques. *Department of Oceanography, Earth Sciences Centre, Göteborgs University*. ISSN 1400-3813.
- Poutanen, E-L., and K. Nikkilä, 2001, Carotenoid pigments and tracers of cyanobacterial blooms in recent and postglacial sediments in the Baltic Sea. *Ambio*, vol 30, No. 4-5.
- Rees, W.G., 2001, Physical Principles of remote sensing, *Scott Polar Research Institute, University of Cambridge*.
- SMHI, AlgAware, Algal situation in Marine Waters Surrounding Sweden, SMHI - Oceanografiskt rapportarkiv 2005. URL: <http://www.smhi.se>
- SMHI, U/F Argos Expeditionsrapporter, Oceanografiskt rapportarkiv 2005. URL: <http://www.smhi.se>

7 Appendix A



Figur 10. Dagliga observationer av ytansamlingar av cyanobakterieblomningar och moln har sammanställts i "stackar" vilket är en form av överlagring där de dagliga observationerna i en och samma pixel summeras för att skapa årliga sammanställningar.

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien OCEANOGRAFI har tidigare utgivits:

- | | |
|--|--|
| 1 Lennart Funkquist (1985)
En hydrodynamisk modell för spridnings-
och cirkulationsberäkningar i Östersjön
Slutrapport. | 11 Cecilia Ambjörn (1987)
Spridning av kylvatten från Öresundsverket |
| 2 Barry Broman och Carsten Pettersson.
(1985)
Spridningsundersökningar i yttre fjärden
Piteå. | 12 Bo Juhlin (1987)
Oceanografiska observationer utmed sven-
ska kusten med kustbevakningens fartyg
1986. |
| 3 Cecilia Ambjörn (1986).
Utbyggnad vid Malmö hamn; effekter för
Lommabuktens vattenutbyte. | 13 Jan Andersson och Robert Hillgren (1987)
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen
1986. |
| 4 Jan Andersson och Robert Hillgren (1986).
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen
perioden 84/85. | 14 Jan-Erik Lundqvist (1987)
Impact of ice on Swedish offshore ligh-
touses. Ice drift conditions in the area at
Sydostbrotten - ice season 1986/87. |
| 5 Bo Juhlin (1986)
Oceanografiska observationer utmed sven-
ska kusten med kustbevakningens fartyg
1985. | 15 SMHI/SNV (1987)
Fasta förbindelser över Öresund - utredning
av effekter på vattenmiljön i Östersjön. |
| 6 Barry Broman (1986)
Uppföljning av sjövärmepump i Lilla Vär-
tan. | 16 Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström
(1987)
Undersökning av vattenmiljön vid utfyllna-
den av Kockums varvsbassäng.
Slutrapport för perioden
18 juni - 21 augusti 1987. |
| 7 Bo Juhlin (1986)
15 års mätningar längs svenska kusten med
kustbevakningen (1970 - 1985). | 17 Erland Bergstrand (1987)
Östergötlands skärgård - Vattenmiljön. |
| 8 Jonny Svensson (1986)
Vågdata från svenska kustvatten 1985. | 18 Stig H. Fonselius (1987)
Kattegatt - havet i väster. |
| 9 Barry Broman (1986)
Oceanografiska stationsnät - Svenskt Vat-
tenarkiv. | 19 Erland Bergstrand (1987)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling
1986. |

- 20 Kjell Wickström (1987)
Bedömning av kylvattenrecipienten för ett
kolkraftverk vid Oskarshamnsverket.
- 21 Cecilia Ambjörn (1987)
Förstudie av ett nordiskt modellsystem för
kemikaliespridning i vatten.
- 22 Kjell Wickström (1988)
Vågdata från svenska kustvatten 1986.
- 23 Jonny Svensson, SMHI/National Swedish
Environmental Protection Board (SNV)
(1988)
A permanent traffic link across the
Öresund channel - A study of the hydro-en-
vironmental effects in the Baltic Sea.
- 24 Jan Andersson och Robert Hillgren (1988)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1987.
- 25 Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund
(1988)
Kylvattnet från Ringhals 1974-86.
- 26 Bo Juhlin (1988)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1987.
- 27 Bo Juhlin och Stefan Tobiasson (1988)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling
1987.
- 28 Cecilia Ambjörn (1989)
Spridning och sedimentation av tippat ler-
material utanför Helsingborgs hamnområde.
- 29 Robert Hillgren (1989)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1988.
- 30 Bo Juhlin (1989)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1988.
- 31 Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson
(1989)
Samordnade kustvattenkontrollen i Öster-
götland 1988.
- 32 Cecilia Ambjörn (1989)
Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i
samband med kylvattenutsläpp i Tromme-
kilen.
- 33a Cecilia Ambjörn (1990)
Oceanografiska förhållanden utanför Ven-
delsöfjorden i samband med kylvatten-ut-
släpp.
- 33b Eleonor Marmefelt och Jonny Svensson
(1990)
Numerical circulation models for the
Skagerrak - Kattegat. Preparatory study.
- 34 Kjell Wickström (1990)
Oskarshamnsverket - kylvattenutsläpp i
havet - slutrapport.
- 35 Bo Juhlin (1990)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1989.
- 36 Bertil Håkansson och Mats Moberg (1990)
Glommaälvens spridningsområde i nord-
östra Skagerrak
- 37 Robert Hillgren (1990)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1989.
- 38 Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - the gateway to the North Sea.
- 39 Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - porten mot Nordsjön.
- 40 Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström
(1990)
Spridningsundersökningar i norra Kalmar-
sund för Mönsterås bruk.
- 41 Cecilia Ambjörn (1990)
Strömningsteknisk utredning avseende ut-
byggnad av gipsdeponi i Landskrona.
- 42 Cecilia Ambjörn, Torbjörn Grafström och
Jan Andersson (1990)
Spridningsberäkningar - Klints Bank.
- 43 Kjell Wickström och Robert Hillgren
(1990)
Spridningsberäkningar för EKA-NOBELs
fabrik i Stockviksverken.
- 44 Jan Andersson (1990)
Brofjordens kraftstation - Kylvattensprid-
ning i Hanneviken.
- 45 Gustaf Westring och Kjell Wickström
(1990)
Spridningsberäkningar för Höganäs kom-
mun.

- 46 Robert Hillgren och Jan Andersson (1991)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1990.
- 47 Gustaf Westring (1991)
Brofjordens kraftstation - Kompletterande simulering och analys av kylvattensspridning i Trommekilen.
- 48 Gustaf Westring (1991)
Vågmätningar utanför Kristianopel - Slutrapport.
- 49 Bo Juhlin (1991)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1990.
- 50A Robert Hillgren och Jan Andersson (1992)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1991.
- 50B Thomas Thompson, Lars Ulander, Bertil Håkansson, Bertil Brusmark, Anders Carlström, Anders Gustavsson, Eva Cronström och Olov Fäst (1992).
BEERS -92. Final edition.
- 51 Bo Juhlin (1992)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1991.
- 52 Jonny Svensson och Sture Lindahl (1992)
Numerical circulation model for the Skagerrak - Kattegat.
- 53 Cecilia Ambjörn (1992)
Isproppsförebyggande muddring och dess inverkan på strömmarna i Torneälven.
- 54 Bo Juhlin (1992)
20 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningens fartyg (1970 - 1990).
- 55 Jan Andersson, Robert Hillgren och Gustaf Westring (1992)
Förstudie av strömmar, tidvatten och vattenstånd mellan Cebu och Leyte, Filippinerna.
- 56 Gustaf Westring, Jan Andersson, Henrik Lindh och Robert Axelsson (1993)
Forsmark - en temperaturstudie. Slutrapport.
- 57 Robert Hillgren och Jan Andersson (1993)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1992.
- 58 Bo Juhlin (1993)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1992.
- 59 Gustaf Westring (1993)
Isförhållandena i svenska farvatten under normalperioden 1961-90.
- 60 Torbjörn Lindkvist (1994)
Havsområdesregister 1993.
- 61 Jan Andersson och Robert Hillgren (1994)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1993.
- 62 Bo Juhlin (1994)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1993.
- 63 Gustaf Westring (1995)
Isförhållanden utmed Sveriges kust - istatistik från svenska farleder och farvatten under normalperioderna 1931-60 och 1961-90.
- 64 Jan Andersson och Robert Hillgren (1995)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1994.
- 65 Bo Juhlin (1995)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1994.
- 66 Jan Andersson och Robert Hillgren (1996)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1995.
- 67 Lennart Funkquist och Patrik Ljungemyr (1997)
Validation of HIROMB during 1995-96.
- 68 Maja Brandt, Lars Edler och Lars Andersson (1998)
Översvämningar längs Oder och Wisla sommaren 1997 samt effekterna i Östersjön.
- 69 Jörgen Sahlberg SMHI och Håkan Olsson, Länsstyrelsen, Östergötland (2000).
Kustzonsmodell för norra Östergötlands skärgård.
- 70 Barry Broman (2001)
En vågatlas för svenska farvatten.
- 71 ***Vakant – kommer ej att utnyttjas!***
- 72 Fourth Workshop on Baltic Sea Ice Climate Norrköping, Sweden 22-24 May, 2002 Conference Proceedings
Editors: Anders Omstedt and Lars Axell

- 73 Torbjörn Lindkvist, Daniel Björkert, Jenny Andersson, Anders Gyllander (2003)
Djupdata för havsområden 2003
- 74 Håkan Olsson, SMHI (2003)
Erik Årnefelt, Länsstyrelsen Östergötland
Kustzonssystemet i regional miljöanalys
- 75 Jonny Svensson och Eleonor Marmefelt (2003)
Utvärdering av kustzonsmodellen för norra Östergötlands och norra Bohusläns skärgårdar
- 76 Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma Lindow och Jonny Svensson, Thalassos Computations (2004)
Integrerat kustzonssystem för Bohusläns skärgård
- 77 Philip Axe, Martin Hansson och Bertil Håkansson (2004)
The national monitoring programme in the Kattegat and Skagerrak
- 78 Lars Andersson, Nils Kajrup och Björn Sjöberg (2004)
Dimensionering av det nationella marina pelagialprogrammet
- 79 Jörgen Sahlberg (2005)
Randdata från öppet hav till kustzonsmodellerna (Exemplet södra Östergötland)
- 80 Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson (2005)
Integrerat Kustzonssystem för Hallandskusten
- 81 Tobias Strömgren (2005)
Implementation of a Flux Corrected Transport scheme in the Rossby Centre Ocean model
- 82 Martin Hansson (2006)
Cyanobakterieblomningar i Östersjön, resultat från satellitövervakning 1997-2005.



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping
Tel 011 -495 80 00 · Fax 011-495 80 01