

Analys av trender i utbredningen av fintrådiga alger längs Bohuskusten – generella och lokala mönster, samt möjliga förklaringsmodeller



Mats Lindegarth  
Institutionen för Marina Vetenskaper  
Havsmiljöinstitutet, Göteborgs Universitet  
[mats.lindegarth@marine.gu.se](mailto:mats.lindegarth@marine.gu.se)

**BOHUSKUSTENS**  
**VATTENVÅRDSFÖRBUND**

Lindegarh, Mats. 2019. Analys av trender i utbredningen av fintrådiga alger längs Bohuskusten – generella och lokala mönster, samt möjliga förklaringsmodeller. ISBN: 978-91-87107-36-8.

Omslagsfoto: Marine Monitoring AB.

# Innehåll

1. Sammanfattning.....	4
2. Inledning .....	5
2.1 Fintrådiga alger i grunda sedimentmiljöer .....	5
2.2 Övervakningsprogrammet .....	5
2.3 Utredningens syfte .....	7
3. Metoder .....	7
3.1 Dataunderlaget .....	7
3.2 Trender och variation i täckningsgrad mellan år.....	8
3.3 Fysiska och kemiska förklaringsvariabler .....	8
3.4 Variation och dimensionering av övervakning .....	9
4. Resultat och tolkning.....	10
4.1 Trender och fluktuationer i enskilda områden.....	10
4.2 Utvärdering av förklaringsmodeller .....	14
4.3 Variation och dimensionering av övervakning .....	15
5. Slutsatser och rekommendationer.....	17
6. Referenser .....	18

## 1. Sammanfattning

Programmet med övervakning av fintrådiga alger har resulterat i ett långsiktigt datamaterial som är både ekologiskt relevant, intressant för förvaltningen och konkret för kustens befolkning. I denna rapport utvärderas vilka eventuella trender och rumsliga mönster i befintliga data samt möjliga orsaker till observerade mönster. Syftet var att skapa bättre förståelse för trender och orsaker till utbredningen av fintrådiga alger och ge vägledning angående metodik och omfattning av framtida övervakningsinsatser.

Resultaten visar att det finns skillnader i dynamik mellan programmets fyra regioner. I det norra området ligger mängden alger på en liknande medelnivå (20-30% täckning) under de senaste 20 åren men med betydande fluktuationer mellan år. I de södra områdena observeras istället en signifikant och betydande ökning från en låg nivå i slutet av 1990-talet (5-10% täckning under sommarmånaderna) till en hög nivå (15-20%) tjugo år senare. Detta gör det rimligt att anta att de processer som ligger bakom variationen mellan år skiljer sig mellan regioner.

De analyser som gjordes för att utröna vad som orsakar förändringar, fokuserade på enkla fysikaliskt-kemiska faktorer men kan i endast i ringa grad förklara fluktuationer och trender. Istället är det troligt att förändringarna drivs av komplexa samband som skiljer sig mellan områden. Ytterligare förståelse kan åstadkommas genom närmare studier av vilka vikar som förändras mest och vilka faktorer som styr detta, men även andra "top-down" processer drivna av variation i betare och kanske även fisk som inducerar så kallade trofiska kaskader kan vara viktiga. En annan viktig aspekt för framtiden är också att undersöka hur länge de höga nivåerna i norra regionen har existerat. För detta behövs dock tillgång på äldre flygfoton.

Beräkningarna av variation och precision kan på ett konkret sätt användas till att ge rekommendationer om hur det eventuellt kan förändras och effektiviseras. Allmänt kan man säga att en precision på  $\approx 20\%$  av medelvärdet som åstadkoms med provtagning i 20-30 vikar vid 2-3 tillfällen per region förefaller ge en relativt god precision för ett år. Den övergripande slutsatsen är att programmet klarar av att följa trender och förändringar i olika delar av Bohuslän.

## 2. Inledning

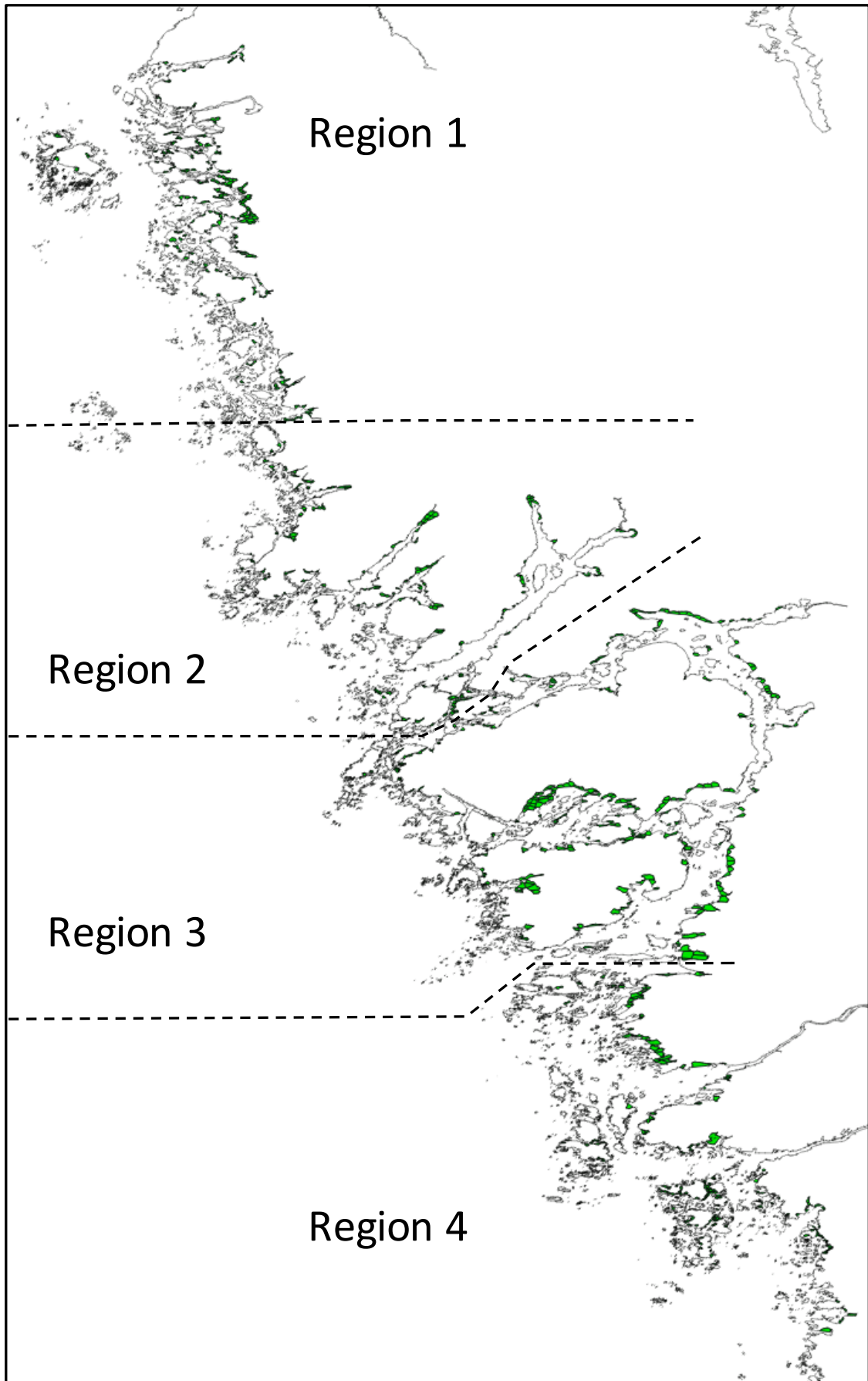
### 2.1 Fintrådiga alger i grunda sedimentmiljöer

Grunda vikar med sediment är viktiga miljöer i Bohusläns kustområden. Områdena är mycket produktiva och fungerar som rekryterings- och uppväxtområden för många fiskarter. Inte minst områden med ålgräs betraktas som speciellt värdefulla och skyddsvärda. I termer av ekosystemtjänster så har grunda vikar också viktiga kvalitéer för rekreation, turism och andra estetiska värden.

Under 1990-talet uppmärksammades indikationer på storskaliga förändringar i mängden fintrådiga alger (Pihl et al. 1995, 1999) och i många områden är idag stora delar av bottenytan periodvis täckta av snabbväxande fintrådiga alger. Dessa leder till förändringar i områdenas biodiversitet av fauna och ekologiska funktion. Orsakerna till förändringen anses vara bland annat ökad näringstillförsel samt förändringar i fisksamhällets struktur och artsammansättning (Baden et al. 2012). Det är mot denna bakgrund som övervakningsprogrammet av fintrådiga alger i Bohuskustens vattenvårdsförbunds regi startades.

### 2.2 Övervakningsprogrammet

Metoderna och programmet finns beskrivet i ett flertal rapporter på vattenvårdsförbundets hemsida ([www.bvvf.se](http://www.bvvf.se)). I grova drag består den av flyginventering av förekomst och utbredning av snabbväxande fintrådiga grönalger i grunda (0-1 m) kustområden i ett antal fördefinierade vikar fördelade på fyra regioner längs Bohuskusten. Provtagning har under åren gjorts vid 2-3 tillfällen under maj-september. Regionerna har bestämts utifrån SMHI:s havsområdesregister och är Strömstad (Idefjorden-Fjällbacka), Lysekil (Fjällbacka-Gullmarsfjorden), Tjörn-Orust och Göteborg (Marstrand-Billdal). Vid fotograferingen används en digital systemkamera och fotografierna analyserades med hjälp av bildbehandlingsprogram. Områden med fintrådiga alger markerades och jämfördes med vikens totala area. Täckningsgraden av fintrådiga alger inom en vik noteras som procent av hela vikens yta. Nyligen publicerades en också rapport där vissa förslag på modifieringar av program och metoder presenteras (Ahlsén & Magnusson 2018).



Figur 1. Karta över programmets utbredning och regioner i Bohuslän. Övervakade vikar markerade i grönt.

### 2.3 Utredningens syfte

Studien syftade till att, med hjälp av övervakningsdata, (1) utvärdera vilka eventuella trender och rumsliga mönster som kan urskiljas, samt att (2) analysera kvalitativt, och om möjligt kvantitativt, orsaker till observerade mönster.

Resultaten skall användas för att skapa bättre förståelse för trender och orsaker till utbredningen av fintrådiga alger och ge vägledning angående metodik och omfattning av framtida övervakningsinsatser. Arbetet bedrivs endast med befintliga data insamlade inom det aktuella programmet eller inom andra regionala / nationella databaser.

## 3. Metoder

### 3.1 Dataunderlaget

Data till uppdraget har erhållits i olika etapper och enligt varierande excel-mallar. Mycket har hänt angående medvetenheten kring kvalitetssäkring av data sedan programmet startade, men en inledande reflektion är att mycket arbete skulle kunna sparas i utvärderingsskedet och problem med saknade metadata skulle kunna undvikas om man i framtiden utvecklar tydligare mallar och lagringsrutiner. Även om dessa frågor i viss mån försvårat arbetet är det tillgängliga materialet mycket omfattande och i vissa avseenden unikt.

Det slutliga materialet som använts i denna utredning omfattar data från 1998 till 2016. Totalt omfattar det 8762 värden men på grund av brister i dokumentationen kunde 8705 avläsningar av täckningsgrad användas från sammanlagt 818 vikar ("vikar") (Tabell 1 och 2, Fig. 1). Den sammanställda databasen bifogas i en separat fil (data\_fintrådiga\_alger\_1998\_2016.xlsx).

Tabell 1. Antal täckningsgradsmätningar gjorda med flygbilds fotografering i olika regioner under åren 1998-2016. Utförare är Marine Monitoring AB och HydroGIS AB.

År	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Totalt	Utförare
1998	159	144	184	77	564	MMAB
1999	127	123	167	51	468	MMAB
2000	149	121	168	98	536	MMAB
2001	134	104	164	113	515	MMAB
2002	138	112	163	125	538	MMAB
2003	120	121	185	119	545	HydroGIS
2004	124	122	195	122	563	HydroGIS
2005	123	122	181	120	546	HydroGIS
2006	119	118	183	116	536	HydroGIS
2007	82	78	121	79	360	HydroGIS
2008	121	118	181	119	539	HydroGIS
2009	120	117	183	120	540	HydroGIS
2010	122	119	182	116	539	HydroGIS
2011	121	112	184	118	535	HydroGIS
2013	117	117	184	121	539	HydroGIS
2014	119	113	178	122	532	HydroGIS
2016	78	76	80	76	310	MMAB
<b>Totalt</b>	<b>2073</b>	<b>1937</b>	<b>2883</b>	<b>1812</b>	<b>8705</b>	

Tabell 2. Antal täckningsgradsmätningar gjorda med flygbilds fotografering under olika månader under åren 1998-2016. Utförare är Marine Monitoring AB och HydroGIS AB.

År	Maj	Juni	Juli	Augusti	September	Totalt	Utförare
1998			288	276		564	MMAB
1999			211	257		468	MMAB
2000		160	198	178		536	MMAB
2001		175	168	172		515	MMAB
2002		178	180	180		538	MMAB
2003		180	183	182		545	HydroGIS
2004	195		182	186		563	HydroGIS
2005		186	181	179		546	HydroGIS
2006	178		178	180		536	HydroGIS
2007	179			181		360	HydroGIS
2008	180		179		180	539	HydroGIS
2009	180		179		181	540	HydroGIS
2010	179		179		181	539	HydroGIS
2011	179		177		179	535	HydroGIS
2013		182	178	179		539	HydroGIS
2014	178		179		175	532	HydroGIS
2016			154		156	310	MMAB
<b>Totalt</b>	<b>1448</b>	<b>1061</b>	<b>2994</b>	<b>2150</b>	<b>1052</b>	<b>8705</b>	

### 3.2 Trender och variation i täckningsgrad mellan år

Ett viktigt syfte med övervakningsprogrammet och är att undersöka om mängden fintrådiga alger ökar eller minskar. Inom ramen för detta uppdrag undersöks trender grafisk och med icke-parametriska trendtest, s.k. Mann-Kendall test (Hirsch et al 1982). Eftersom trenderna efter initiala test visade sig variera mellan programmets olika regioner, utvärderades de framför allt individuellt i regionerna.

Även om detektion av långsiktiga trender är ett viktigt mål för övervakningen, förekommer det också betydande fluktuationer mellan enskilda år som är tillfälliga och inte leder till bestående förändringar. Beskrivning av dessa mönster och ökad förståelse av de bakomliggande faktorerna kan potentiellt bidra till framtida åtgärder och restaurering av dessa områden.

Programmet har under åren haft två olika utförare (Tabell 1). Som ett sätt att utvärdera om de observerade tidsmässiga mönstren till en betydande del kan tänkas vara orsakade av olika utförare utvärderades förändringar mellan enskilda år kvantitativt och grafisk för att utröna om övergången från en utförare till en annan var avvikande stor i förhållande till skillnader mellan år som mättes av samma utförare.

### 3.3 Fysiska och kemiska förklaringsvariabler

För att undersöka om fluktuationerna i förekomst av fintrådiga alger kan förklaras av faktorer som har med väder, vind och koncentrationer av näringsämnen i vattnet hämtades data från SMHI:s databaser över väderstationer (<https://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/?parameter=2>) miljöövervakningsdata i kustområden (<https://www.smhi.se/klimatdata/oceanografi/havsmiljodata/marina-miljoovervakningsdata>) och avrinning (<https://vattenwebb.smhi.se/station/>) (Tabell 3).



Tabell 3. Miljövariabler som används för att undersöka samband med förekomsten av fintrådiga alger. För att skala alla variabler lika z-transformerades de innan analys.

Kod	Förklaring
År	År
Vind	Medelvindstyrka under perioden maj-augusti (Norkoster i R1 och Vinga/Säve/Göteborg i R4)
Ned	Total nederbörd under perioden maj-augusti (samma områden som för Vind)
LT4_8	Medelvärde för lufttryck under perioden april-augusti (samma områden som för Vind)
VF1-4	Total vattenföring på våren (februari – april). (Strömsån i R1 och Göta älv i R4).
Temp4_8	Medelvärde för vattentemperatur under perioden maj-augusti (Strömstad och Tanum kommun i R1, Göteborg och Kungälv kommun i R4)
TN2_4	Medelvärde för totalkväve under perioden februari-april (samma områden som för Temp4_8)
TN5_8	Medelvärde för totalkväve under perioden maj-augusti (samma områden som för Temp4_8)
TP2_4	Medelvärde för totalfosfor under perioden februari-april (samma områden som för Temp4_8)
TP5_8	Medelvärde för totalfosfor under perioden maj-augusti (samma områden som för Temp4_8)
Ch15_8	Medelvärde för koncentrationen av klorofyll maj-augusti (samma områden som för Temp4_8)
Alg	Medelvärde för täckningsgrad av fintrådiga alger under perioden maj-augusti

Här undersöks betydelsen av väderrelaterade variabler (vind, nederbörd, lufttryck och vattenföring i områdets viktigaste vattendrag) samt fyskem-variabler mätta i kustvattnen (temperatur, totalkväve och totalfosfor). För vissa variabler inkluderades data endast från perioden under algernas huvudsakliga växtsäsong, men andra som kan tänkas ha en fördröjd effekt inkluderades även data från den föregående våren. Som kontrast till de fintrådiga algerna inkluderades också data på växtplankton (klorofyll) som i egenskap av att vara en primärproducent också kan förväntas svara på näringsämnen.

### 3.4 Variation och dimensionering av övervakning

För att kunna bedöma programmets ändamålsenlighet med avseende på precision och dimensionering kvantifierades variationen mellan och inom vikar och områden. Eftersom programmet även används inom vattenförvaltningen som ett underlag för expertbedömning av ekologisk status, beräknades även variationen för enheter som är relevanta för vattenförvaltningen d.v.s. vattenförekomster. Varianskomponenter beräknades med "maximum likelihood" skattningar med biblioteket 'lmer4' (funktionen lmer) i statistikprogrammet r (R Core Team 2018))

Beräkningar av precision med varierande antal vikar och tillfällen gjordes enligt metoder som utvecklats inom forskningsprogrammet WATERS (Lindgarth et al 2016). Beräkningarna av varianskomponenter och precision gjordes med programmets regioner som utgångspunkt. Syftet var att i första hand att undersöka vilken precision man kan åstadkomma i enskilda regioner för ett individuellt år, givet varierande antal tillfällen och vikar. Avgörande för precisionen är variationen mellan vikar ( $s_V^2$ ) och tillfällen ( $s_{res}^2$ , = skattad som residualvariation i denna analys), samt antalet vikar (a) och tillfällen (n) under ett år. Den totala variationen beräknas som:

$$V = \frac{s_V^2}{a} + \frac{s_{res}^2}{an}$$

och standardfelet beräknas som,

$$SE = \sqrt{V}.$$

När analyserna görs med logaritmerade data ( $\ln(x+1)$ ), beräknas slutligen det relativa felet ( $\approx \frac{SE}{\bar{x}}$ ) som:

$$Relativt\ fel = e^{SE} - 1.$$

Även om programmet är ursprungligen utformat främst för att följa förändringar i olika delar av Bohuslän, har det även använts som en metod för att göra ”expertbedömningar” inom statusbedömningarna inom vattendirektivet. I detta sammanhang är den viktigaste rumsliga enheten ”Vattenförekomster” och bedömningsperiodens längd är 6 år. För att undersöka precisionen för sådana bedömningar skattades även varianskomponenter och precision för en sådan modell. Variationen inom en vattenförekomst och bedömningsperiod beräknas enligt:

$$V = \frac{\left(1 - \frac{b}{6}\right) * s_{\text{År}}^2}{b} + \frac{s_V^2}{a} + \frac{s_{\text{År}*V}^2}{ab} + \frac{s_{\text{res}}^2}{abn}$$

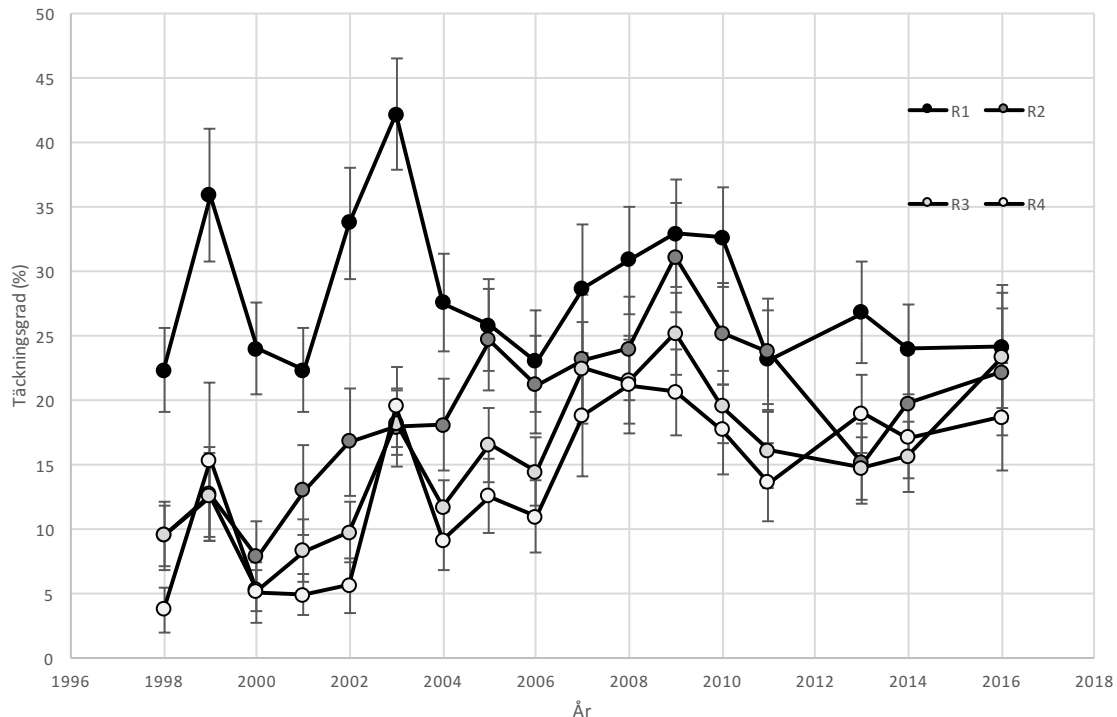
där  $s_{\text{År}}^2$  är variationen mellan år och b är antalet år som mäts inom en period på 6 år.

## 4. Resultat och tolkning

### 4.1 Trender och fluktuationer i enskilda områden

En grafisk analys av medeltäckningsgraden i de olika undersökningsområdena från region 1 i norr till region 4 i söder, visar att det finns trender och stor variation mellan åren, men att trenderna skiljer sig mellan regionerna. Eftersom dynamiken skiljer sig mellan områden bedömdes det som mest meningsfullt att vidare utvärdera trender separat inom områdena snarare än en övergripande, sammanslagen trend. Det bör också påpekas att enskilda vikar och möjligen också mer avgränsade geografiska områden inom de respektive regionerna, i många fall uppvisar en mycket komplex och varierande dynamik. Denna dynamik kan dock vara starkt påverkad av lokala, mer eller mindre slumpmässiga processer. Att förstå dessa ligger dock utanför ramen för detta uppdrag. Istället ligger fokus på att beskriva och förstå större skeenden.

En grundläggande slutsats är att det norra området ligger på en förhållandevis hög nivå av fintrådiga alger redan när programmet startades (Fig. 2). Totalt sett över alla vikar och tillfällen, ligger täckningsgraden på  $\approx 25-30\%$  redan i slutet på 90-talet och håller sig i stort sett på den nivån under hela perioden fram till 2016. I detta område är det förhärskande mönstret alltså ingen monoton trend utan snarare starkt fluktuerande mellan år, speciellt i början av 00-talet.



Figur 2. Täckningsgrad av fintrådiga alger (medel  $\pm$  SE) för enskilda år inom de respektive regionerna under perioden 1998-2016 (notera att inga prover tog 2012 och 2015).

Detta skiljer sig ifrån dynamiken i övriga regioner (Fig. 2). Den grafiska analysen och de icke-parametriska trendtesten visar att dess områden karakteriseras av signifikanta öknings under perioden 1998-2016 (Tabell 4). Även om vissa skillnader kan spåras mellan regionerna 1-3, är det övergripande mönstret detsamma. Från att ha legat på nivåer på 5-10% täckning i början av perioden, karakteriseras de i slutet av perioden av nivåer på 15-20%, d.v.s. en fördubbling (Fig. 2). Även om täckningen inte riktigt når upp till samma nivåer som i den norra regionen under flera år, finns det år då region 2 och 3 är helt i nivå med det norra. Det är också värt att notera att den ökning som sker i region 2-4, i huvudsak sker under de första 10 åren (1998-2008), för att sedan plana ut och eventuell avta något mellan åren 2009-2016.

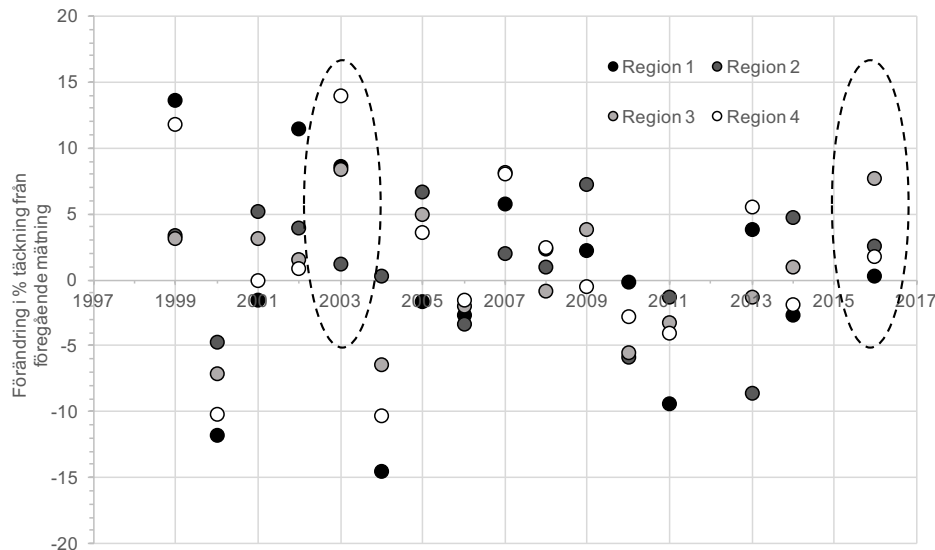
Tabell 4. Test för monotona trender inom enskilda områden med Mann-Kendall test. Tau är ett mått på trendens styrka och riktning (maximal negativ trend  $\text{Tau} = -1$  och positiv trend  $\text{Tau} = 1$ ) och p anger om trenden är statistiskt signifikant (kritiskt gräns  $p < 0.05$ ).

Region	Tau	p
1	-0.0147	0.967
2	0.515	0.004
3	0.485	0.007
4	0.456	0.011

Trots att vi alltså ser att trenderna skiljer sig mellan regioner, vilket i viss mån tyder på att lokala processer kan vara betydelsefulla för de långsiktiga förändringarna, är det också tydligt att det finns gemensamma drag i den variation som observeras mellan år (Fig. 2). Exempelvis ser vi under 1999, 2003 och runt 2008 att nivåerna är förhållandevis höga generellt i alla regioner. Således verkar det också finnas storskaliga processer som påverkar hela området och som leder till öknings (och minskningar) från ett år till ett annat, som är generella för hela Bohuskusten.

Detta illustrerar tydligt om man beräknar den övergripande förändringen inom regioner mellan enskilda år (Fig. 3). Exempelvis, kan vi se att det sker en ökning i alla områden från

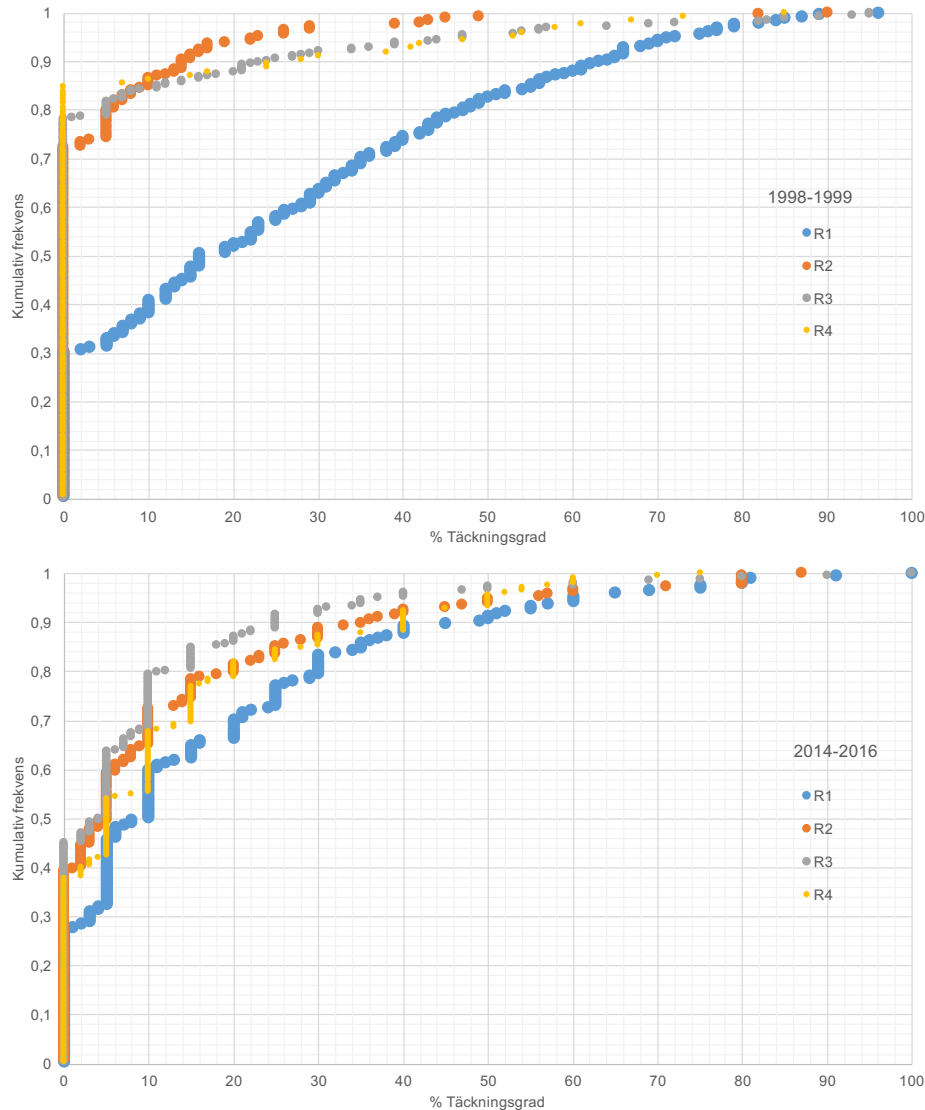
1998-1999 och en generell minskning från 2010-2011. Genomgående är det slående att de förändringar som sker mellan år, väldigt ofta är kvalitativt lika i alla områden. Undantag finns naturligtvis då de olika områdena går i motsatt riktning (exv. 2014), men det genomgående mönstret är att ett av hög samstämmighet.



Figur 3. Förändringar i %-täckningsgrad mellan närliggande år inom de respektive regionerna. Värdena representerar förändring från föregående år. Inringade år representerar tillfällen då det skett byte av utförare (2003 från MMAB till HydroGIS och omvänt 2016).

Denna analys visar också att även om det kan finnas skillnader mellan utförare, förefaller det inte som om detta på något betydande sätt påverkar slutsatserna om de viktigaste trenderna eller kortsiktiga variationerna (Fig. 3). De år då skifte sker mellan utförare, visar i likhet med de flesta andra år betydande förändringar. Förändringarna mellan 2002 och 2003 är ganska stora i område 4 men i förhållande till andra år och regioner är de inte extrema. Detta innebär inte att det inte är befogat att vidare precisera och standardisera metoderna, men på det stora hela verkar resultaten robusta mot denna typ av felkällor.

Detta blir än mer tydligt när man undersöker vad det är som bidrar till den observerade ökningen. Det är väl känt att det finns en mycket stor variation mellan vikar och faktiskt även i samma vik från ett tillfälle till ett annat. Ett sätt att åstadkomma en ökning i medeltäckningsgrad från exempelvis 5% till 15% kan vara (1) en generell ökning på  $\approx 10\%$  i alla vikar eller (2) genom att frekvensen av vikar som inte har någon eller väldigt liten täckningsgrad minskar. Om det första alternativet dominerar kan man förvänta sig att relativt subtila mätfel kan få stor inverkan på resultaten, medan felet kan förväntas vara mindre om det senare är fallet.



Figur 4. Kumulativa fördelningar av mätningarna i början (överst) och slutet (nederst) av perioden.

Analyser av kumulativa fördelningar av täckningsgradsmätningarna i början av perioden (1998-1999), visar att vikar med såväl hög täckningsgrad (70-100%) som låg täckningsgrad (0-5%) fanns i alla regioner redan i början av perioden (Fig. 4, övre figuren). Däremot skiljer sig den norra regionen (R1) från övriga på det sättet att endast c 30% av vikarna saknar alger. I övriga regioner är den motsvarande andelen 75-85%. Detta har förändrats på ett drastiskt sätt i slutet av perioden (2014-2016). Under dessa år är andelen vikar utan alger oförändrat i det norra området, medan andelen i övriga regioner har sjunkit till  $\approx 40\%$  (Fig. 4, nedre figuren). Således kan den största delen av ökningen i de tre södra regionerna förklaras av att de fintrådiga algerna är mer spridda i området snarare än mindre förändringar i redan drabbade vikar. Sådana förändringar sker visserligen också men med detta i åtanke är det inte troligt att skillnader i mätteknikens detaljer kan förklara årliga fluktuationer eller långsiktiga trender. Vi kan dock konstatera att fördelningarna i slutet av perioden (2014-2016) är betydligt mer "hackig" än i början (Fig. 4). Detta antyder att mättekniken har ändrats i någon mån och att man i slutet av perioden varit mer benägen att runda av skattningarna till multipla av 5%, (exv. 5, 10, 15% etc.).

Sammanfattningsvis kan man slå fast att mängden fintrådiga alger ökat i de södra områdena under åren 1998-2016, men att nivåerna varit generellt höga men fluktuerande under hela

perioden. En viktig fråga som dock ej kan besvaras här är frågan om hur länge dessa höga nivåer varit förhärskande i områdets norra område. En intressant tanke kan vara att undersöka möjligheten att analysera flygbildsmaterial eller andra bilder från tidigare decennier. Huruvida ett sådant material existerar är dock oklart.

#### 4.2 Utvärdering av förklaringsmodeller

Även om korrelativa analyser med diverse miljövariabler inte kan entydigt bevisa vad som *orsakar* höga eller låga nivåer, kan de ge indikationer på bland vilka typer av processer vi bör söka svaren. Här undersöks betydelsen av väderrelaterade variabler (vind, nederbörd, lufttryck och vattenföring i områdets viktigaste vattendrag) samt fyskem-variabler mätta i kustvattnen (temperatur, totalkväve och totalfosfor).

Eftersom analyserna av det norra området inte påvisat några trender utan årlig variationer handlar den först analysen om att finna samband som förklarar dessa fluktuationer (Tabell 5). Till skillnad från mängden fintrådiga alger indikerar signifikanta samband med "År" att det finns trender i vind (minskande), nederbörd (minskande) och temperatur (ökande) under perioden. Det finns även signifikanta positiva samband mellan vattentemperaturen och ett antal olika näringsvariabler och klorofyll under sommaren är positivt korrelerat med temperatur, kväve och fosfor. Variationerna i fintrådiga alger mellan år visar däremot inga signifikanta samband med näringsämnen. Den enda variabel med någon förklaringsgrad är istället lufttrycket under sommaren, där högre lufttryck ("bättre väder") är associerat med högre täckningsgrad av alger. Sambanden är inte extremt starka men förklarar ändå drygt 30% av variationen mellan år. Observationen får betraktas som helt i linje med uppfattningen bland intresserade i området, men analysen visar också att fenomenet är betydligt mer komplicerat än vad denna analys kan förklara. Vi kan också konstatera att de observerade sambanden med klorofyll visar att data på närsalter trots allt är tillräckligt precisa för att kunna påvisa effekter på primärproducenter.

Tabell 5. Parvis korrelationer mellan miljövariabler och alger i den norra regionen. Nedanför diagonalen visas  $r^2$  med signifikanta samband i fetstil (kritiskt värde är  $r^2 = 0.21$ ), ovan diagonalen visas korrelationskoefficienten,  $r$ , som visar riktningen på sambandet.

	År	Vind	Ned	LT4_8	VF1-4	Temp4_8	TN2_4	TN5_8	TP2_4	TP5_8	Chl5_8	F_alger
År		-0.53	-0.70	0.23	-0.34	0.57	0.10	0.07	0.22	0.36	-0.05	-0.26
Vind	<b>0.28</b>		0.63	-0.48	-0.11	-0.25	-0.03	0.38	-0.18	-0.18	0.41	0.03
Ned	<b>0.50</b>	<b>0.40</b>		-0.20	0.47	-0.44	0.13	0.07	-0.21	-0.39	0.13	0.29
LT4_8	0.05	<b>0.23</b>	0.04		-0.05	0.17	0.08	0.13	-0.06	0.04	-0.41	0.57
VF1-4	0.11	0.01	<b>0.23</b>	0.00		-0.26	0.30	-0.12	0.09	-0.34	-0.15	-0.02
Temp4_8	<b>0.32</b>	0.06	0.20	0.03	0.07		0.54	0.43	0.74	0.68	0.47	0.05
TN2_4	0.01	0.00	0.02	0.01	0.09	<b>0.29</b>		0.30	0.73	-0.01	0.38	0.18
TN5_8	0.00	0.14	0.01	0.02	0.01	0.18	0.09		0.16	0.18	0.54	0.02
TP2_4	0.05	0.03	0.04	0.00	0.01	<b>0.55</b>	0.54	0.03		0.45	0.38	-0.13
TP5_8	0.13	0.03	0.16	0.00	0.12	<b>0.47</b>	0.00	0.03	0.20		0.52	-0.21
Chl5_8	0.00	0.16	0.02	0.16	0.02	<b>0.22</b>	0.14	<b>0.30</b>	0.14	<b>0.27</b>		-0.19
F_alger	0.07	0.00	0.08	<b>0.33</b>	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.04	0.04	

I den södra regionen, region 4, visade både den grafiska analysen och trend-testen att mängden fintrådiga alger ökar under perioden. Samma mönster syns i korrelationsanalyserna (Tabell 6). Algerna visar en ökande trend med år och precis som i norra regionen fann vi en minskande trend i nederbörd och ökade vattentemperatur. Dessutom minskar halterna av totalkväve i det södra området. Förutom den ökande trenden, finns det även positiva samband mellan förekomsten av alger och vattentemperaturen under sommarperioden. Även koncentrationen av fosfor uppvisar ett positivt samband med algerna.

Sammanfattningsvis kan man säga att de starkaste miljö sambanden när det gäller att förklara tidsmässiga trender och fluktuationer i mängden fintrådiga alger skiljer sig mellan de olika regionerna. Fluktuationerna i norr uppvisar ett positivt samband med högtryckssituationer och i söder finns ett positivt samband med vattentemperatur som även sammanfaller med en ökande trend under åren 1998-2016. Dessutom finns ett svagt men signifikant samband med fosfor under sommarmånaderna (fosfor är dock även positivt korrelerat med temperatur i båda regionerna). Det är också intressant att notera att klorofyll, som indikerar primärproduktion i plankton, uppvisar andra mönster. Här finns ingen trend men i det norra området visar det sig att det finns samband med både kväve och fosfor.

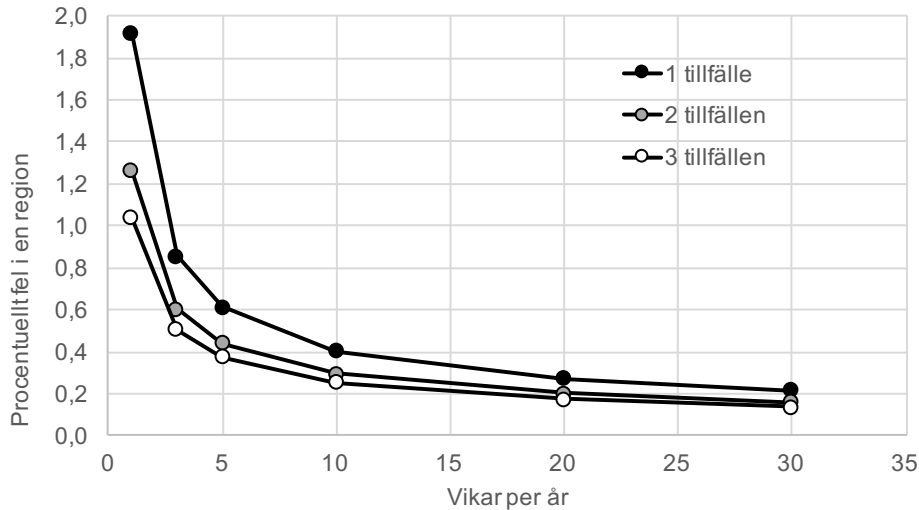
Tabell 6. Parvis korrelationer mellan miljövariabler och alger i den södra regionen. Nedanför diagonalen visas  $r^2$  med signifikanta samband i fetstil (kritiskt värde är  $r^2 = 0.21$ ), ovan diagonalen visas korrelationskoefficienten,  $r$ , som visar riktningen på sambandet.

	År	Vind	Ned	LT4_8	VF1-4	Temp4_8	TN2_4	TN5_8	TP2_4	TP5_8	Chl5_8	F_alger
År		-0.04	-0.49	0.03	0.02	0.67	-0.49	-0.60	0.37	0.37	-0.23	0.68
Vind	0.00		0.14	-0.39	-0.09	-0.02	-0.07	0.02	0.05	-0.12	0.21	-0.10
Ned	<b>0.24</b>	0.02		-0.34	-0.17	-0.18	-0.12	0.09	-0.30	-0.20	0.10	-0.27
LT4_8	0.00	0.16	0.11		-0.14	0.29	0.35	0.30	0.09	0.26	-0.16	0.30
VF1-4	0.00	0.01	0.03	0.02		-0.18	0.00	-0.16	-0.25	-0.22	-0.09	0.04
Temp4_8	<b>0.44</b>	0.00	0.03	0.08	0.03		-0.17	-0.12	0.22	0.54	-0.01	0.67
TN2_4	<b>0.24</b>	0.01	0.02	0.13	0.00	0.03		0.87	0.34	0.35	0.32	-0.13
TN5_8	<b>0.36</b>	0.00	0.01	0.09	0.02	0.02	<b>0.76</b>		0.18	0.36	0.33	-0.17
TP2_4	0.14	0.00	0.09	0.01	0.06	0.05	0.11	0.03		0.73	0.09	0.45
TP5_8	0.13	0.02	0.04	0.07	0.05	<b>0.29</b>	0.13	0.13	<b>0.54</b>		0.13	0.45
Chl5_8	0.05	0.04	0.01	0.03	0.01	0.00	0.10	0.11	0.01	0.02		-0.14
F_alger	<b>0.46</b>	0.01	0.07	0.09	0.00	<b>0.45</b>	0.02	0.03	0.20	<b>0.21</b>	0.02	

#### 4.3 Variation och dimensionering av övervakning

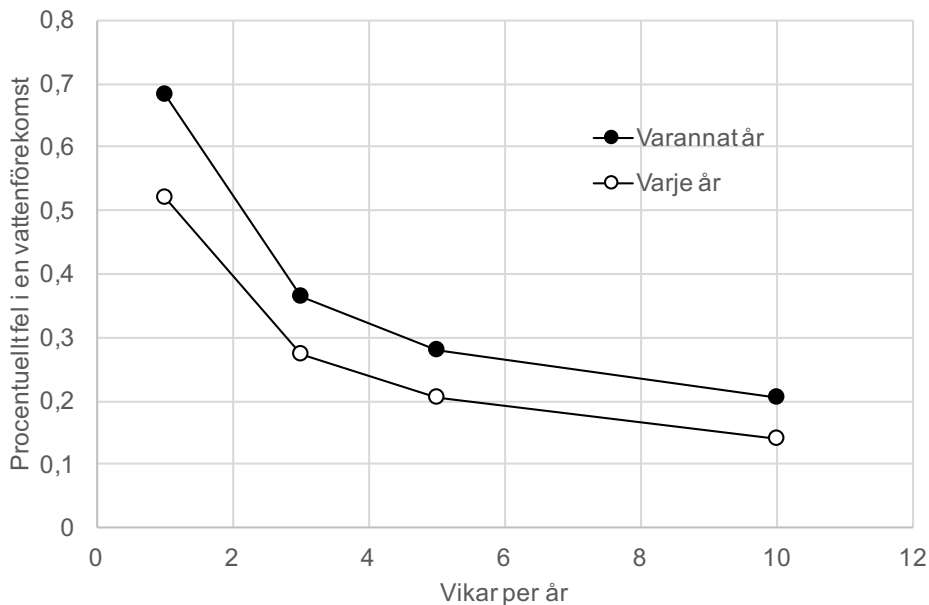
Analysen av rumslig och tidsmässig variation visade att variationen mellan mättillfällen inom samma vik och år kan vara betydande och faktiskt större än mellan vikarna vid ett givet tillfälle vikar ( $s_V^2=0.19$ ,  $s_{res}^2=0.96$ ). Givet dessa genomsnittliga skattningar kan vi sluta oss till att både antalet vikar och tillfällen har betydelse för den övergripande precisionen inom en region (Fig. 5). Men även om det har en viss betydelse om man provtar en eller tre gånger per år, bristande precision med få tillfällen i viss mån kompenseras genom att man tar flera vikar. På grund av att dynamiken och den exakta tidpunkten då algerna tillväxer, varierar mellan år (exempelvis på grund av vädersituationen), kan man även från andra utgångspunkter argumentera för att endast ett provtagningstillfälle kan vara riskabelt.

Oavsett om man provtar en eller flera gånger under ett år, kan man notera att ett program med 25-30 vikar per region och år leder till att man kan förvänta sig en precision på  $\approx 20\%$  av medelvärdet. Detta innebär att vid en medeltäckningsgrad på 50% ligger osäkerheten (SE) i det skattade medelvärdet för en region på  $\approx 10\%$  täckning.



Figur 5. Förväntad precision ( $\frac{SE}{\bar{X}}$ ) i en region vid varierande antal mättillfällen och vikar.

Variationskomponenterna relevanta för beräkning av precision inom en vattenförekomst och bedömningsperiod beräknades till  $s_{\text{År}}^2=0.054$ ,  $s_V^2=0.088$ ,  $s_{V*\text{År}}^2=0.018$  och  $s_{res}^2=1.01$ . Analysen visar att en precision på 20% av medelvärdet kan åstadkommas om 5 vikar provtas varje år inom vattenförekomsten. Vid provtagning vartannat år blir motsvarande precision  $\approx 30\%$ , och för att åstadkomma motsvarande precision behövs 10 vikar.



Figur 6. Förväntad precision ( $\frac{SE}{\bar{X}}$ ) i en vattenförekomst och bedömningsperiod vid varierande antal vikar och om prover tas varje eller vartannat år ( $b=3$  eller  $6$ ).

Sammanfattningsvis visar dessa analyser i enlighet med tidigare erfarenheter att mängden fintrådiga alger varierar avsevärt i tid och rum, ofta på ett mer eller mindre oförutsägbart sätt och på små tids och rumsskalor, d.v.s. mellan tillfällena under sommaren och mellan vikar inom samma region och till och med vattenförekomst. Vi kan också konstatera att det finns ett visst mått av systematisk variation mellan vikar som är större än tendensen till tillfälliga skillnader mellan år. Detta manifesteras genom att  $s_V^2 > s_{V*\text{År}}^2$ . Det bör dock poängteras att



denna studie inte har haft ambitionen att på ett djupare sätt undersöka och förstå orsaker och processer bakom den rumsliga variationen, d.v.s. varför vissa vikar har mer alger än andra. Genom att kvantitativt skatta varianskomponenterna kan man trots denna variation sluta sig till att programmet kan användas för att leverera data som på ett tillräckligt precist sätt kan användas för att bedöma både trender och tillstånd.

## 5. Slutsatser och rekommendationer

Programmet med övervakning av fintrådiga alger har pågått i två decennier och utgör på många sätt ett unikt och långsiktigt datamaterial på ett fenomen som är både ekologiskt relevant, intressant för förvaltningen och konkret för kustens befolkning. Även om det finns viss potential för förbättring av mätmetoder och utformning av programmet (Ahlsén och Magnusson 2018), är det ett av få exempel inom svensk marin miljöövervakning på dataserier som tillämpar storskaliga metoder på ett konsekvent och långsiktigt sätt.

Resultaten från dessa analyser antyder att det finns skillnader i dynamik mellan programmets fyra regioner. I det norra området ligger mängden alger konstant högt med i vissa fall betydande fluktuationer, medan de södra områdena uppvisar en ökning under perioden. Som en konsekvens av detta ligger det också nära till hands att tro att de processer som ligger bakom variationen mellan år skiljer sig mellan regioner.

De analyser som gjordes för att utröna vad som orsakar fluktuationer och trender är visserligen i huvudsak explorativa, men de bekräftar i huvudsak bilden av att dessa drivs av komplexa samband som skiljer sig mellan områden. Kanske kan ytterligare förståelse åstadkommas genom att närmare studera vilka vikar som förändras mest och vilka faktorer som styr detta. Givetvis kan det också löna sig att utvärdera andra processer, exempelvis "top-down" processer drivna av variation i betare och kanske även fisk som inducerar så kallade trofiska kaskader, men kanske måste detta göras på en mer detaljerad skala. En annan viktig aspekt för framtiden är också att undersöka hur länge de höga nivåerna i norra regionen har existerat. För detta behövs dock tillgång på äldre flygfoton.

Förutom att visa hur effektivt programmets nuvarande utformning och dimensionering är när det gäller att mäta förändringar och trender, kan beräkningarna av variation och precision även på ett konkret sätt användas till att ge rekommendationer om hur det eventuellt kan förändras och effektiviseras. Även om det inte finns några absoluta riktlinjer för hur bra precision man behöver olika sammanhang, så kan man allmänt säga att en precision på  $\approx 20\%$  av medelvärdet som åstadkoms med provtagning i 20-30 vikar vid 2-3 tillfällen per region förefaller ge en relativt god precision för ett år. Om man skall optimera med avseende på vattendirektivets krav behöver man sannolikt fler vikar men å andra sidan verkar man kunna få bra precision även om provtagning inte sker varje år. Dock måste man komma ihåg att täckningsgrad av fintrådiga alger inte är en indikator som är förankrad i föreskriften som beskriver hur statusklassningen enligt vattendirektivet skall gå till (HVMFS 203:19) och en viktig aspekt i detta sammanhang är behovet av att bestämma och validera klassgränser i förhållande till påverkansfaktorer.

Den övergripande slutsatsen är att programmet klarar av att följa trender och förändringar i olika delar av Bohuslän. Tydligare slutsatser kring hur de fintrådiga algerna svarar på påverkansfaktorerna kräver en mer detaljerad rumslig analys och antagligen mer detaljerade påverkansdata. En sista reflektion är att en betydande insats krävdes för att få data i godtagbart skick genom att komplettera och korrigera metadata (lokalkod och -namn mm.) samt att sammanställa data från en mängd olika dokument med delvis olika mallformat. I denna del av kvalitetssäkringen finns det rum för förbättring, och tillsammans med redovisade slutsatser kring dimensionering, och förslag redovisade av Ahlsén och Magnusson

(2018) finns det nu goda förutsättningar för att ytterligare finjustera redan intressanta långtidsdata.

## 6. Referenser

- Ahlsén J och Magnusson M. 2018. Utvärdering av flygfotograferingen inom delmomentet Utbredning av snabbväxande makroalger i Bohuskustens Vattenvårdsförbunds kontrollprogram. Marine Monitoring AB Lysekil, Sweden. Bohuskustens Vattenvårdsförbund. ISBN: 978-91-87107-35-1
- Baden S., Emanuelsson A., Pihl L., Svensson C-J., Åberg P. 2012. Shift in seagrass food web structure over decades is linked to overfishing. *Mar Ecol Prog Ser* 451:61-73.
- Lindegarh M, Carstensen J, Drakare S, Johnson RK, Nyström Sandman A, Söderpalm A, Wikström S A (Editors). 2016. Ecological Assessment of Swedish Water Bodies; development, harmonisation and integration of biological indicators. Final report of the research programme WATERS. Deliverable 1.1-4, WATERS report no 2016:10. Havsmiljöinstitutet, Sweden.
- Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten<sup>1</sup>
- Hirsch, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A. (1982), Techniques for trend assessment for monthly water quality data, *Water Resources Research* 18, 107-121.
- Pihl, L., Isaksson, I., Wennhage, H., Moksnes, P-O. 1995. Recent increase of filamentous algae in shallow Swedish bays: effects on the community structure of epibenthic fauna and fish. *Neth. J of Aqu. Ecol.* 29: 349- 358.
- Pihl, L., A. Svensson, P-O. Moksnes & H. Wennhage. 1999 Distribution of green algal mats throughout shallow soft bottoms of the Swedish archipelago in relation to nutrient loads and wave exposure. *J. Sea Res.* 41: 281- 294.
- R Core Team. 2014. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.