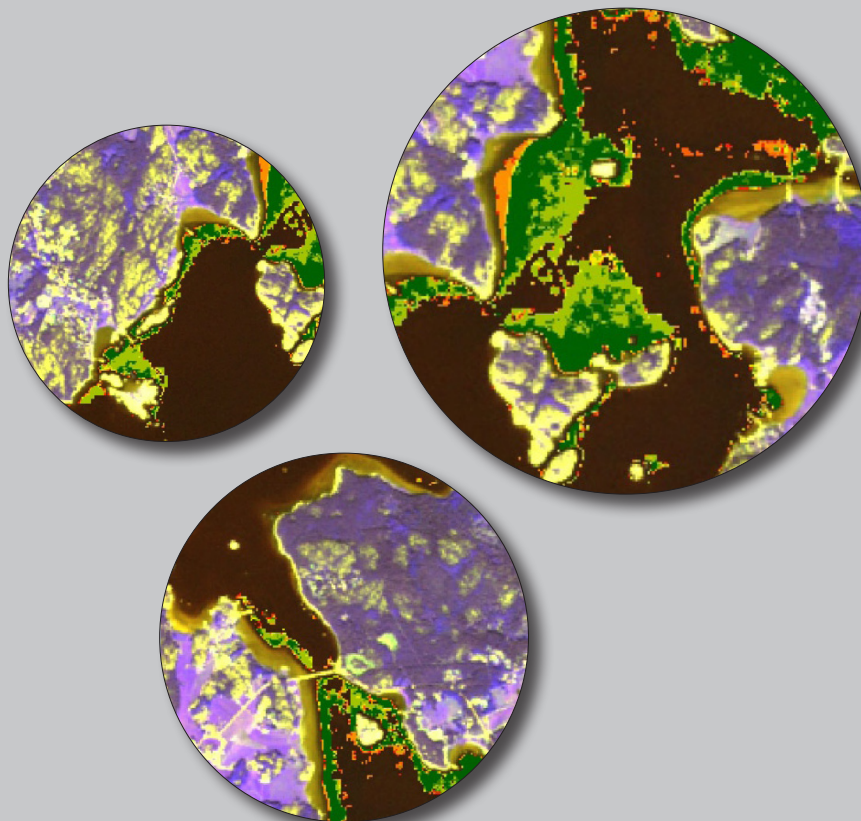




LÄNSSTYRELSEN  
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN

# Ålgräsutbredning (*Zostera sp.*) i Västra Götalands län sommaren 2008



För mer information kontakta:  
Länsstyrelsen i Västra Götalands län, vattenvårdsenheten  
Tel: 010-224 40 00  
Rapporten ingår i rapportserien för Västra Götalands län

Rapportnr: 2012:58  
ISSN: 1403-168X  
Projektledare: Ingela Isaksson  
Text: Mats Envall, Manrax AB [www.manrax.se](http://www.manrax.se)  
Utgivare: Länsstyrelsen i Västra Götalands län, vattenvårdsenheten

*Rapporten finns som pdf på [www.lansstyrelsen.se/vastragotaland](http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland) under Publikationer/Rapporter.*

## Förord

---

Modern teknik i form av både högupplösta satellitregistreringar av jordytan, det globala positionssystemet (GPS) samt digital bildbehandling med kraftfulla processorer har ökat möjligheten till storskalig kartläggning och övervakning av jordytan enormt. Möjligheten nyttjas redan i en mängd tillämpningar för både mönster och process, såsom t ex för vegetationstyper, ökenutbredning, regnskogsavverkning, algbloomingar och skogsbränder. Tillämpningar för företeelser under vattenytan, såsom t ex för biotopklassificering på grunda bottenar är dock fortfarande relativt outvecklat. Tillämpning för biotopklassificering på grunda marina bottenar skulle vara mycket värdefull i ett miljömässigt perspektiv (både ekologiskt och ekonomiskt), eftersom denna miljö utgör reproduktionslokal, barnkammare och/eller skafferier för en stor del av den fisk som påträffas i våra kustområden, men trots detta är mycket bristfälligt kartlagd.

Under 2008 genomförde konsultföretaget Manrax AB ([www.manraxab.se](http://www.manraxab.se)), på uppdrag av Länsstyrelsen i Västra Götalands län inom ramen för projekt *Samverkansplan för värdefulla kust- och havsområden i norra Bohuslän*, kartering av biotopen sjögräs på grund marin botten i fem kommuner i norra Bohuslän. I innevarande rapport har studien genomförts för hela länets kuststräcka och utgör därmed en enhetlig baslinjestudie av utbredningen av sjögräsängar i grunda havsområden i Västra Götalands län. Undersökningen baseras på en analys av satellitregistreringar i form av SPOT5-data från 2008, relaterad till insamlade biologiska referensdata.

Rapporten beskriver grundläggande klassificering, metodik för både kategorisering och noggrannhetsuppskattning, redovisar noggrannhetsuppskattningen för den resulterande karteringen, samt diskuterar både den resulterande karteringen, kategoriseringsmetoden och satellitdata.

Arbetet har finansierats inom ramen för bidrag från Havs- och Vattenmyndigheten anslaget 1:12 *Åtgärder för havs- och vattenmiljö* och utgör ett viktigt underlag för att bidra till flera nationella åtaganden, bland annat miljö kvalitetsmålet *Hav i balans samt levande kust- och skärgårdar*.

Ingela Isaksson

Projektledare marint inriktat åtgärdsarbete

Länsstyrelsen Västra Götalands län

# Innehåll

---

<b>1 Sammanfattning.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Introduktion.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Material och metoder.....</b>	<b>4</b>
2.1 Karteringsområde.....	4
2.2 Klassificering av biotyper.....	4
2.2.1 Ålgräs.....	4
2.3 Insamling av biologiska referensdata.....	5
2.3.1 Insamlingsstrategi.....	5
2.4 Satellitdata.....	6
2.5 Kategoriseringsmetod.....	7
2.6 Noggrannhetsanalys.....	7
2.6.1 Allmänt.....	7
2.6.2 Speciellt.....	13
<b>3 Resultat.....</b>	<b>14</b>
<b>4 Diskussion.....</b>	<b>15</b>
4.1 Valet av slutlig kartering av ålgräs.....	15
4.2 Bedömning av resultatet.....	15
4.2.1 Karteringens noggrannhet.....	15
4.2.2 Ålgräs eller nating?.....	16
4.3 Beaktande av metoden och datan.....	16
4.3.1 Jämförelse av SVM med alternativa multivariata metoder.....	16
4.3.2 Jämförelse av SPOT-5-data med alternativa satellitdata.....	18
4.4 Slutsats och förslag till fortsättning.....	19
<b>5 Referenser.....</b>	<b>20</b>

# 1 Sammanfattning

---

Denna rapport redovisar en kartering av ålgräsutbredningen (*Zostera* sp.) i Västra Götalands län sommaren 2008 genom multivariat kategorisering av satellit-registreringar av geosatelliten SPOT-5. Rapporten beskriver grundläggande klassificering, metodik för både kategorisering och noggrannhetsuppskattning, redovisar noggrannhetsuppskattningen för den resulterande karteringen, samt diskuterar både den resulterande karteringen, kategoriseringsmetoden och satellitdatan. Rapporten refererar till resulterande kartering och insamlade referensdata i form av ESRI shapefiler, ERDAS image-filer, samt mpeg2-komprimerade videofiler som leveras samtidigt, vilka den således utgör metadata för.

Rapporten konstaterar att karteringen är överraskande träffsäker. Felet ligger visserligen omkring 3-9% i dess helhet och omkring 4-15% för ålgräs specifikt, men det tycks till största del vara lokaliserat till gränserna för ålgräsområden, framförallt i områden med större förekomster, och då framför allt i djupledd. Noggrannheten för särskiljningen av ålgräs och natingar (*Ruppia* spp) kan dock inte uppskattas med tillgängliga referensdata, men även den tycks vara ganska bra trots deras stora spektrala likheter, då med stöd av inkluderade djupdata.

Kategoriseringsmetoden, dvs. med hjälp av så kallad stödvektormaskin (eng. support vector machine), SVM, bedöms maximera karteringsnoggrannheten för multivariata metoder generellt genom att optimera överensstämmelsen mellan verklighet och karta specifikt med balansen mellan de olika typerna av kategoriseringsfel (dvs. *kappa*).

De använda data, dvs. satellitregistreringar av SPOT-5, har både för- och nackdelar jämfört med geografiskt och/eller spektralt mer upplösta satellit-registreringar. Sammantaget bedöms de dock utgöra ett mycket bra alternativ för storskalig kategorisering (dvs. kartering) och övervakning av grund marin botten, åtminstone längs kusten i Västra Götalands län. Mer upplösta satellitdata kan ge bättre resultat under speciella förhållanden, men gör inte nödvändigtvis det, eftersom upplösning under vatten är så starkt beroende av fysikaliska faktorer för vattnet (som t ex ljusreflektion av vattenytan, olika typer av grumlighet och färg).

Slutsatsen blir att denna typ av kartering på dessa data utgör ett mycket bra alternativ för storskalig kartering och övervakning av grunda marina botten i så stora områden som Västra Götalands län. Bättre alternativ framstår för närvarande, såvitt känt, som oproportionerligt mycket kostsammare för data och/eller arbetsinsats.

En rationell och ekonomiskt framkomlig vidareutveckling av karterings- och övervakningsbehovet för denna mycket betydelsefulla miljö är att utnyttja de förbehandlade registreringarna i denna kartering (eller åtminstone använda karteringsmetoden på nyare satellit-registreringar) till kompletterande kartering även av andra biotoper än ålgräs, och att samtidigt utprova den nya metoden med flygplansburen skanning med grön laser för mindre områden. Denna metod tycks kunna ge information om både djup och bottenstrukturer samtidigt, och kommer snart att bli mycket billigare genom att datainsamlingen kan ske från förlösa flygplan.

# 1 Introduktion

---

Modern teknik i form av högupplösta satellitregistreringar av jordytan, kraftfulla datorer för avancerad bildanalys, samt satellitpositioneringssystemet GPS (global positioning system) har gett oss verktyg för storskalig kartläggning och övervakning av på jordytan förekommande fenomen. De utnyttjas också redan i en mängd olika tillämpningar, såsom kartering av vegetationstyper och markanvändningar, och övervakning av pågående processer såsom ökenutbredning, polarisavsmältning, regnskogsavverkning, algbloomningar och skogsbränder. Tillämpningar för strukturer under vattenytan, såsom biotoper på grunda marina bottenar, har på senare tid också blivit allt vanligare, men då framförallt för tropiska klara vatten. Fortfarande är de relativt sällsynta för våra tempererade mer grumliga vatten (se t ex Philipson 2003, Lundén & Gullström, 2003, Vahtmäe *et al.* 2006, Gullström *et al.* 2006, Kutser *et al.* 2006, Bergström *et al.* 2007, och de nyss publicerade artiklarna av Vahtmäe *et al.* 2011 och Tulldahl *et al.* i EU-projektet HISPARES, samt referenser i dessa). Sådana tillämpningar har dock ett mycket stort potentiellt värde för miljöskyddsverksamhet i allmänhet, både ekologiskt och ekonomiskt, då grunda marina bottenar både har en mängd ekologiskt viktiga funktioner, såsom t ex reproduktionslokal, barnkammare, uppväxtområde och skafferi för många olika slags djur, både akvatiska och terrestra, och dessutom är mycket tids- och kostnadskrävande att kartlägga och övervaka med traditionella metoder.

Satellitbildsanalys av undervattensstrukturer ställer sig dock mycket mer komplicerad än motsvarande analys av strukturer på land. Huvudsakliga problem är att spektralsignaturen för specifika substrat varierar med både djup och många andra fysikaliska faktorer, samt att suspenderade ämnen i vattnet kan dölja strukturerna helt.

Denna rapport redovisar en kartering av biotopen ”ålgräs” (*Zostera* sp.) på grunda marina bottenar i Västra Götalands län för sommaren 2008 genom multivariat kategorisering med lärande datorprogram (så kallad stödvektormaskin) av registreringar av geosatelliten SPOT-5. Rapporten redogör för grundläggande klassificering av miljön, metoder för kartering och noggrannhetsuppskattning, samt redovisar den uppskattade noggrannheten för den resulterande karteringen och diskuterar resultatet, karteringsmetodiken och satellitdatan.

Arbetet utfördes åt Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Rapporten levereras tillsammans med den resulterande karteringen och insamlade biologiska referensdata i form av ESRI shape-, ERDAS imagine- och MPEG2-filer, vilka den således utgör förklarande metadata för.

## 2 Material och metoder

### 2.1 Karteringsområde

Karteringen omfattar havsbotten ner till 6 meters djup (kallad "grundbotten") i hela Västra Götalands län (röd markering i Figur 1) förutom dess allra nordligaste och nordvästliga del (från omkring Lunnevik och norrut, och hela Nord- och halva Sydkoster), samt några små områden sydväst om Tjörn. Total area grundbotten i hela Västra Götalands län är ca 38 558 ha (385 km<sup>2</sup>), varav karteringsområdet inkluderar ca 37 160 ha (372 km<sup>2</sup>), dvs. ca 96,3%.

### 2.2 Klassificering av biotyper

Vilken biotop som förekommer på en specifik yta marin grundbotten bestäms till stor del av:

- Vattendjup
- Bottensubstrat
- Exponeringsgrad, dvs. utsatthet för vind- och vågpåverkan
- Vattenutbyte

Biotoper i karteringsområdet kan med avseende på satellitdata klassificeras i:

1. Bar mjukbotten.
2. Ålgräs- (*Zostera*) och/eller nating- (från *Ruppia*) beväxt mjukbotten.
3. Brunalgsbeväxt mjuk eller hårbotten (vilken kan uppdelas vidare i snärjtång- (*Chorda*) respektive tarebeväxning (*Laminaria*), vilka båda kan inkludera blås- och sågtång (*Fucus*).
4. Rödalsbeväxt mjuk- eller hårbotten.
5. Zootäckt botten (dvs. djur, som t ex musslor).

Dessa fem typer skiljer sig i spektralsignatur (förutom möjligen zootäckt botten) och kan möjligen uppdelas ytterligare med relevanta korrelerande data. I denna kartering kategoriseras pixlarna dock endast till klasserna "ålgräs" respektive "icke ålgräs", dvs. 2 respektive 1, 3, 4 och 5. Hur väl den särskiljer ålgräs- och natingbeväxt botten avhandlas i diskussionsavsnittet nedan.

#### 2.2.1 Ålgräs

Ålgräs förekommer företrädesvis på djup från 0,5 till 7 meter, beroende på siktdjup, dock sällan djupare än 5 meter, på sandig till dyig botten i relativt



Figur 1. Illustration av karteringsområde såsom avgränsat av tillgängliga satellitregistreringar

skyddade lokaler (låg exponering). Uppåt övergår det vanligen till bar botten eller någon slags nating eller/och snärjtång, ofta utdraget till en lång övergående blandzon. Nedåt slutar det vanligen till bar sedimentbotten, ofta utdraget till en alltmer fläckvis förekomst i ett täcke av lösdrivande ålgrässtrån.

### **2.3 Insamling av biologiska referensdata**

Referensdata till karteringen insamlades under sommarhalvåret 2008 till 2010. Insamlingen skedde huvudsakligen från en 3,6 meters Zodiac gummibåt utrustad med en Tohatsu 10 hk utombordare, med hjälp av dropvideokamera, vattenkikare och direkta observationer.

Observationslokaler bestämdes i förväg och lades in i ruttor som sparades i en portabel GPS-navigatör (Magellan, Triton 300 med en angiven noggrannhet på 1-2 m (>95%) och 2-3 m (>99%)).

Under datainsamling längs de upplagda rutterna filmades vissa lokaler med UV-video i standard VHS-upplösning på DV-band och okulära observationer antecknades, varvid koordinaterna för observationspositionerna sparades i navigatören.

Efter datainsamling digitaliserades videofilmerna till MPEG2-format och redigerades till separata sekvenser för enskilda lokaler, och observationsdata sammanställdes i ArcGIS i punktshape-filer.

#### **2.3.1 Insamlingsstrategi**

Val av strategi för insamling av referensdata till en kartering är ett tveeggat problem, då den bör ha två diametralt motsatta egenskaper: en som möjliggör förbättring av noggrannheten i karteringen och en som ökar den statistiska signifikansen i noggrannhetsuppskattningen av karteringen. Till exempel, för denna kartering som fokuserar specifikt på ålgräs, så ger ju en större kännedom om den faktiska ålgräsutbredningen, dvs. riktad insamling mot presumptiva ålgräsområden, ökad möjlighet till optimering av karteringsmetoden, medan insamlingen i ett statistiskt perspektiv istället bör vara så slumpmässigt fördelad som möjligt för att optimera signifikansen av noggrannhetsuppskattningen av den resulterande karteringen. Riktad provtagning riskerar alltså att blåsa upp noggrannhetsvärdena för karteringen. Denna risk kompenseras i viss mån av en slumpmässig dragning av testdata för noggrannhetsuppskattningen ur de insamlade data, men detta kan inte helt eliminera den.

I denna insamling prioriterades dock initialt riktad provtagning, eftersom det vid denna tidpunkt inte var klart vilken kategoriseringsmetod som var bäst. Därför förlades insamlingen i en föregående kartering av de 5 nordligaste kommunerna i karteringsområdet (vilken utfördes på uppdrag av Länsstyrelsen inom ramen för det nationella pilotprojektet *Samverkansplaner för värdefulla kust- och havsområden*) i första hand till områden som kunde förväntas hysa större ålgräskoncentrationer, bedömt utifrån både tidigare inventeringar och egna observationer i bildmanipuleringar av satellitregistreringarna, och då speciellt till ålgräsförekomsternas grund- och djupavgränsningar. Insamling planerades också att utföras i samma lokaler vid två tillfällen: en under försommar och en under sensommar. Syftet var att maximera mängden referensdata för dels ålgräsförekomster och dess utbredningsgränser, och dels säsongsmässiga



skillnader, då denna information bedömdes mest betydelsefull för bedömning av olika karteringars såväl noggrannheter som möjliga orsaker till brister i dem.

Denna initiala strategi ändrades dock tidigt i den andra insamlingsomgången då ålgräsets utbredningsgränser i de första lokalerna befanns vara i stort sett desamma som vid den första omgången, eftersom detta faktum ökade den relativa fördelen av statistisk slumpmässighet i insamlingen. Istället slumpades då nya insamlingslokaler ut utanför ålgräsområdena, och nya insamlingsruttor lades upp. Senare (under sommaren 2009 och 2010) har ökad kunskap i manuell tolkning av satellitregistreringar alltmer styrt insamlingarna mot svårtolkade områden.

Under dessa år (2008-2010) har referensdata insamlats i karteringsområdet under totalt ca 30 hela dagar, dvs. 6 veckors arbetstid och totalt ca 600 referenspunkter.

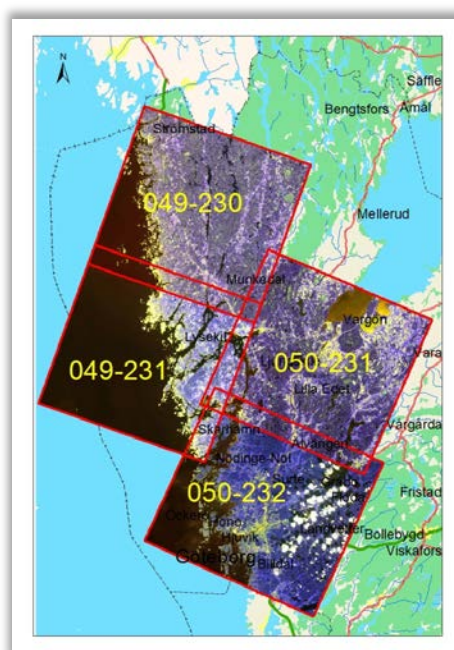
## 2.4 Satellitdata

Satellitregistreringar av karteringsområdet tillhandahölls av Länsstyrelsen ifrån databasen Saccess i form av 4 delvis överlappande SPOT-5-registreringar numrerade 049-230, 049-231, 050-231 samt 050-232 (Figur 2). Registreringarna var gjorda den 4/6 (050-231), den 27/7 (049-230 och 049-231) samt den 31/7 (050-232). Dessa registreringar är de enda av karteringsområdet som gjordes av SPOT-5 under 2008.

Varje SPOT-5-registrering täcker en total yta av 60 x 60 km, dvs. 3600 km<sup>2</sup>, upplöst i bildelement (picture elements, pixlar) på 10x10 meter (multispektralt). Pixlarnas ljusinhåll är upplöst i fyra frekvensomfång (bandbredder): grön-gul (0,50 till 0,59 µm), orange-röd (0,61 till 0,68), nära infraröd (near infrared, NIR) (0,78 to 0,89 µm) och kortvågs infraröd (short-wave infrared, SWIR) (1,58 to 1,75 µm), vardera specificerad med ett intensitetsvärde kodat i 8 digitala bitar, dvs. 1 byte, motsvarande ett decimalvärde mellan 0 och 255. Registreringarna är georefererade och koordinatspecificerade i SWEREF99 och levereras i filformatet GeoTIFF.

De två registreringarna som inkluderar den nordligaste delen av karteringsområdet (049-230 och 049-231) förenades till en mosaik och kategoriserades som en enhet (beroende på att de hade använts på detta sätt i den tidigare analysen av norra Bohuslän), medan de två andra kategoriserades var för sig. Karteringen bestod således av tre delkategoriseringar.

Karteringsområdet extraherades ur registreringarna i ArcGIS med hjälp av en mask täckande vattenområdet från land ner till 6 meters djup (hämtad från Naturvårdsverkets rapport 5591, 2006).



Figur 2. Illustration av de 4 analyserade SPOT-5-registreringarna av karteringsområdet.

## 2.5 Kategoriseringsmetod

Pixlarna i det extraherade karteringsområdet särskiljdes till klasserna "ålgrens" respektive "icke ålgrens" genom automatisk multivariat kategorisering med hjälp av ett lärande datorprogram kallat "stödvectormaskin" (eng. support vector machine), SVM. Kategoriseringen baserades på variablerna (1) pixlarnas spektralvärden (specificerade i totalt 8 variabler med absoluta och relativa värden), (2) interpolerade djupvärden i meter-intervaller (1 variabel), samt (3) uppskattade värden för exponeringsgrad (1 variabel). De två sistnämnda hämtades från Naturvårdsverkets rapport 5591 (2006). All databehandling och analys utfördes i ArcGIS 10 och MatLab 2010a.

Kategoriseringen utfördes i följande steg:

1. Initial lågpasfiltrering av satellitdatan för förstärkning av småskaliga trender.
2. Manuell referens-kategorisering av en uppsättning pixlar i karteringsområdet baserat på (i) insamlade biologiska referensdata, (ii) tidigare observationer (egna och andras), samt (iii) härledningar ifrån bildmanipulationer av registreringarna tillsammans med biologiska referensdata och tidigare observationer. Det utfördes i praktiken genom markering av referensområden för respektive klasser med polygoner i en shapefil i ArcGIS.
3. Slumpmässig dragning av ett stickprov på 4000 datapunkter (pixlar) ur referens-kategoriseringen och uppdelning av detta i en tränings- och en test-datauppsättning på 2000 pixlar vardera.
4. Träning av en stödvectormaskin (SVM) med tränings-datauppsättningen och efterföljande testning av den tränade SVM:en för prestanda med test-datauppsättningen. (Initialt utprovades även SVM utrustade med olika kärnor (kernels), t ex Gaussisk radiell basfunktion (radial basis function, eller RBF), kvadratisk, polynomial (av olika grader) och multilagrad perceptron, varefter den kärna som gav de bästa resultaten, i detta fall RBF, valdes till karteringen).
5. Kategorisering av hela datauppsättningen för karteringsområdet med den tränade SVM:en.
6. Upprepning av punkt 3 - 5 tio gånger för varje delkartering för erhållande av ett stickprov ur felet inom karteringens konfidensintervall, och därmed också ur felets statistiska geografiska variation.
7. Summering av de sålunda erhållna 10 kategoriseringarna för varje delkartering.
8. Sammanfogning av de 3 resulterande delkarteringarna till en total kartering för hela karteringsområdet.

Punkt 1-2 och 7-8 utfördes i ArcGIS, och punkt 3-6 i MatLab.

## 2.6 Noggrannhetsanalys

### 2.6.1 Allmänt

#### Multinomial analys

Noggrannheten för en kartering kan uppskattas med vad man kallar en multinomial korrelationsanalys. En sådan analys utgår ifrån en så kallad "sammanblandnings"-matris (eng. confusion matrix) (Tabell 1), dvs. en korstabell där kolumnerna

representerar referens- (observerade) datapunkter (ie, pixlar) av olika klasser och raderna representerar kategoriserade (kartlagda) datapunkter av de olika klasserna. Det innebär att tabellens diagonal anger överensstämmande antal (eller proportioner) av observerade och kategoriserade datapunkter; celler på sidan om diagonalen anger olika typer av oenighet mellan observation och kategorisering (olika typer av "fel"), och marginalerna anger summor för de olika kategorierna med avseende på observerade (referens-) respektive kategoriserade (kartlagda) datapunkter.

		Referensklass		Summa
		Icke-ålgrens	Ålgrens	$p_{i+}$
Kartlagd kategori	Icke-ålgrens	1469 <i>0,7345</i>	6 <i>0,0030</i>	1475 <i>0,7375</i>
	Ålgrens	8 <i>0,0040</i>	517 <i>0,2585</i>	525 <i>0,2625</i>
Summa $P_{+j}$		1477 <i>0,7385</i>	523 <i>0,2615</i>	2000 <i>1,0000</i>

Tabell 1: Exempel på sammanblandningsmatris från denna kartering. Ordinarie siffror anger antal och kursiverade siffror anger proportioner för de två kategorierna i ett stickprov på 2000 pixlar.

Statistiska notationer för sammanblandningsmatriser redovisas i Tabell 2 nedan.

Symbol	Betydelse	Beräkning
<b>X</b>	Sammanblandningsmatris rader [1...r] är kategoriserade ("kartlagda") data kolumner [1...k] är observerade referens- ("sanna") data	
<b>R</b>	antal rader och kolumner i <b>X</b>	
$x_{ij}$	antal instanser i rad $i$ , kolumn $j$ , dvs i referensklass $j$ kategoriserad som klass $i$	såsom observerad
$x_{i+}$	marginalsumma för rad (kategoriserad klass) $i$	$\sum_{j=1}^r x_{ij}$
$x_{+j}$	marginalsumma för kolumn (referensklass) $j$	$\sum_{i=1}^r x_{ij}$
<b>N</b>	totalt antal observationer	$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k x_{ij}$ eller $\sum_{i=1}^r x_{i+}$ eller $\sum_{j=1}^k x_{+j}$
<b>P</b>	Proportionsmatris	$\mathbf{X} ./n$
$p_{ij}$	proportion instanser i rad $i$ , kolumn $j$	$x_{ij}/n$
$p_{i+}$	proportion kategoriserad data i rad (klass) $i$	$x_{i+}/n$ eller $\sum_{j=1}^k p_{ij}$
$p_{+j}$	proportion referensdata i kolumn (klass) $j$	$x_{+j}/n$ eller $\sum_{i=1}^r p_{ij}$

Tabell 2: Statistiska notationer för sammanblandningsmatris och motsvarande proportionsmatris.

Ur sammanblandningsmatriser kan man uppskatta följande direkta (naiva) statistiska mått på noggrannhet.

Symbol	Statistikmått	Beräkning
$C_i$	Användarnoggrannhet, kategoriserad klass $i$	$x_{ii}/x_{i+}$ eller $p_{ii}/p_{i+}$
$\bar{C}_i$	Inklusionsfel, kategoriserad klass $i$	$1 - C_i$
$O_j$	Producentnoggrannhet, referensklass $j$	$x_{jj}/x_{+j}$ eller $p_{jj}/p_{+j}$
$\bar{O}_j$	Exklusionsfel, referensklass $j$	$1 - O_j$
$A_o$	Helhetsnoggrannhet	$\sum_{i=1}^r x_{ii}/n$ eller $\sum_{i=1}^r p_{ii}$
$\bar{A}_o$	Helhetsfel	$1 - A_o$

Tabell 3: Naiva statistiska mått som kan beräknas från sammanblandningsmatris.

Det finns således två olika typer av fel, vilka kan vara förvirrande, men den traditionella terminologin för dem är väletablerad. De uttrycks vanligen ur producentens (dvs. kartografens, i detta fall den automatiska kategoriserarens) synvinkel (eftersom den andra synvinkeln vanligen är referensen, dvs. "sanningen"). Betraktad tvärs över raderna (klasserna såsom kartlagda), sägs ett fel av inklusion ha uppstått när producenten felaktigt kartlagt en datapunkt till en kategori den inte tillhör, dvs., ha begått felet att överkartera en kategori. Denna typ av fel minskar användarnoggrannheten  $C_i$ . Omvänt, betraktad tvärs över kolumnerna (kategorier såsom funna i området), sägs ett fel av exklusion ha uppstått när producenten missat att kategorisera en datapunkt till dess rätta kategori, dvs., ha begått felet att underkartera kategorin. Detta fel minskar istället producentnoggrannheten  $O_j$ . Till exempel, i Tabell 1 ovan har producenten specifikt för ålgräs felaktigt kategoriserat åtta pixlar som representerar icke-ålgräs till ålgräs och samtidigt felaktigt uteslutit sex pixlar som representerar ålgräs ifrån ålgräs, dvs. gjort totalt fjorton felkategoriseringar, varav åtta minskar användarnoggrannheten och sex minskar producentnoggrannheten för ålgräs. Den resulterande kategoriseringen har således högre producentnoggrannhet än användarnoggrannhet för ålgräs. Helhetsnoggrannheten  $A_o$  skiljer inte på de två typerna av fel, utan behandlar båda helt enkelt som kategoriseringsfel.

Det statistiska måttet på helhetsnoggrannheten ( $A_o$ ) och dess standardavvikelse ( $s$ ) givet ett objektivet stickprov av storlek  $n$  med  $n_t$  lyckade dragningar är då:

$$A_o = n_t/n$$

$$s = \sqrt{\frac{A_o \times (1 - A_o)}{n}}$$

och  $A_o$  har följaktligen konfidensintervallet:

$$A_o \pm \left[ s \times Z_{1-\alpha} + \frac{1}{2n} \right]$$

där  $Z_{1-\alpha}$  är det tvåsidiga normala måttet på sannolikheten för Typ I-fel  $\alpha$ .  
Korrigeringen för små stickprov  $1/2n$  ignoreras oftast för stickprovsstorlekar  $n > 50$  då det är  $< 1\%$ . Nedre och övre gräns truneras vid 0 eller 1 vid behov.

Per-klass användarnoggrannheten ( $C_i$ ) och dess standardavvikelse beräknas på samma sätt som helhetsnoggrannheten, men med antalet korrekta och totala antalet försök begränsat till en enda rad:

$$C_i = \frac{x_{ii}}{x_{i+}}$$

$$s_{i+} = \sqrt{\frac{C_i * (1 - C_i)}{x_{i+}}}$$

och konfidensintervallet beräknas följaktligen med den ändliga populationskorrigeringen istället avseende antalet observationer i raden, dvs:

$$C_i \pm \left[ s_{i+} * Z_{1-\alpha} + \frac{1}{2x_{i+}} \right]$$

Per-klass producentnoggrannheten ( $O_j$ ) (också kallad "tillförlitlighet", eng. reliability) och dess standardavvikelse beräknas på samma sätt, men med antalet korrekta och totala antalet försök begränsat till en enda kolumn:

$$O_j = \frac{x_{jj}}{x_{+j}}$$

$$s_{+j} = \sqrt{\frac{O_j * (1 - O_j)}{x_{+j}}}$$

och  $O_j$  har följaktligen konfidensintervallet:

$$O_j \pm \left[ s_{+j} * Z_{1-\alpha} + \frac{1}{2x_{+j}} \right]$$

Användning av korrelationsanalys för noggrannhetsuppskattning för en kartering är dock egentligen ett missbruk av analysen/felaktigt vald analys, eftersom noggrannheten för en kartering inte handlar om korrelation mellan **proportioner** korrekta respektive felaktiga kategoriseringar, utan om korrelation mellan de geografiska fördelningarna av datapunkterna (dvs. mellan fördelningarna i verkligheten och på kartan), vilket kallas överensstämmelse (konkordans, eng. concordance). Överensstämmelse kan uppskattas genom jämförelse av de proportioner av felkategoriseringar som kan förväntas av rena slumpskäl med de som erhållits i karteringen. Detta gör ett statistiskt mått på överensstämmelse som kallas *kappa* ( $k$ ).

## "Kappa"-index

*Kappa*-indexet är inte egentligen ett noggrannhetsmått i sig, utan snarare ett komplement till de naiva noggrannhetsmåten, eftersom de naiva måten onekligen är korrekta men kan vara mer eller mindre slumpmässiga beroende på antal och proportioner av inkluderade klasser (på kartan kallade "kategorier").

Detta kan inses om man föreställer sig en karta där klass A är kartlagd över 90% av undersökningsområdet och klass B över resterande 10%. Dessa proportioner kan då användas som en *a priori*-uppskattning av den verkliga täckningen, vilket ger en slumpmässigt vald punkt i verkligheten en sannolikhet på 90% att vara av klass A. Den gemensamma sannolikheten för att denna punkt också är korrekt kartlagd som kategori A enbart av slumpskäl är då 0,81 (ie,  $0,9 \times 0,9$ ). Samma resonemang tillämpat på klass B ger en gemensam sannolikhet för att en slumpmässigt vald punkt på kartan är korrekt kartlagd som kategori B på 0,01. Det innebär att denna karta kan förväntas ha en helhetsnoggrannhet på 82% med en helt slumpmässig tilldelning av markpunkter till kategorier, alldeles oavsett hur det faktiska mönstret på kartan ser ut.

Behovet av *kappa* minskar med ökande antal klasser. Till exempel är chansöverensstämmelsen för en karta med tjugo klasser, var och en med  $p_{i+} = p_{+i} = 0,05$  endast  $20 * (0,05)^2 = 0,05$ . Behovet minskar också med en ökande balans mellan klassernas proportioner: för två lika sannolika klasser som vardera kartläggs över hälften av området är chans-helhetsnoggrannheten 50%, jämfört med 82% för 90/10 splittringen diskuterad ovan.

Det måttet *kappa* egentligen anger är "den proportion oenighet förväntad av slumpskäl som **inte finns** i karteringen". Det innebär att värdet 0 anger att den funna proportionen oenighet är densamma som slumpmässigt kan förväntas, dvs att överensstämmelsen mellan verklighet och karta inte går att skilja från en slumpmässig. Värdet över 0 anger att den funna proportionen oenighet är mindre än vad som slumpmässigt kan förväntas, dvs att överensstämmelsen mellan verklighet och karta är bättre än vad som slumpmässigt kan förväntas, medan värden under 0 anger att den funna proportionen oenighet är större än vad som slumpmässigt kan förväntas, dvs att överensstämmelsen mellan verklighet och karta är sämre än vad som slumpmässigt kan förväntas.

Det innebär att specifika värden på *kappa* inte har någon generell betydelse. Nollpunkten är visserligen otvetydig, dvs. inte skild från ren slumpmässighet, men den ökande noggrannheten med ökande *kappa* är inte ett direkt samband som med helhetsnoggrannheten, utan framförallt beroende av fördelningen av marginalproportionerna. Vilket värde på *kappa* som kan anses indikera "bra" överensstämmelse är således specifikt (dvs. beroende av den speciella tillämpningen). (Dess statistiska signifikans anger ju endast hur exakt vi har mätt dess storlek; inte hur viktig denna storlek är i en viss tillämpning eller vilken storlek som kan uppfattas som hög respektive låg överensstämmelse). Icke desto mindre har generella riktlinjer föreslagits i litteraturen. Ett förslag är: <0 ingen överenskommelse, 0-0,20 liten, 0,21- 0,40 acceptabel, 0,41-0,60 måttlig, 0,61-0,80 betydande, och 0,81-1 nästan perfekt överensstämmelse. En annan är: <0,40 dålig, 0,41-0,75 acceptabel till bra och >0,75 utmärkt. Värdet över 0,8 kan dock i allmänhet anses indikera åtminstone bra överensstämmelse.

### **2.6.2 Speciellt**

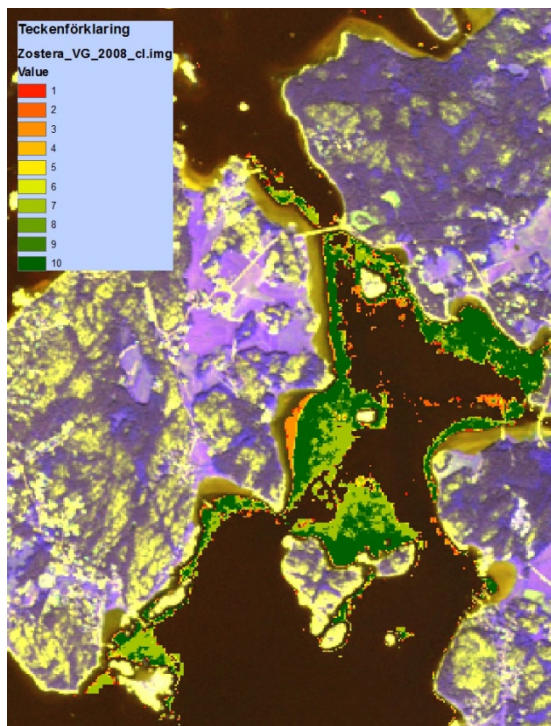
I denna analys uppskattades noggrannheten för alla tränade SVM med både helhetsnoggrannheten  $A_o$  (95 % CI), de specifika användar- och producentnoggrannheterna för ålgräs  $C_i$  (95 % CI) och  $O_j$  (95 % CI), samt  $kappa$  (95 % CI).

Dessutom uppskattades felets geografiska variation genom dragning av 10 stickprov ur noggrannhetsuppskattningens konfidensintervall bestående av separata träningar av SVM baserade på olika slumpmässiga dragningar ur referensdatan, kategorisering av alla pixlar med dessa SVM, och summering av de resulterande kategoriseringarna.



### 3 Resultat

Den resulterande sammanfattade karteringen redovisas i form av en rasterfil över hela karteringsområdet med samma upplösning som satellit-registreringarna och med pixelvärden från 1 till 10 (Fig. 3). Pixelvärdena anger hur många av stickproven på 10 kategoriseringar för vardera delkartering som särskiljde respektive pixel till kategorin "ålgräs". (Pixlar med värdet 0 uteslöts från rasterfilen). Ökande pixelvärden anger således ökande sannolikhet för att pixeln faktiskt representerar ålgräs. Av dessa pixlar bedömdes de som ligger i intervallet 7-10 utgöra den kvalitativt bästa uppskattningen av ålgräsubredningen. Därför extraherades dessa pixlar ur den resulterande karteringen och redovisas i en likadan rasterfil såsom en enda slutligt antagen optimal uppskattning av ålgräsubredningen för sommaren 2008.



Figur 3. Illustration av den resulterande rasterfilen mot bakgrund av en satellit-registrering (insidan av Resö). Ökande värden anger ökande sannolikhet för ålgräsförekomst.

Helhetsnoggrannheten ( $A_0$ ) för de tre delkarteringarna (se Figur 2 ovan) var ungefär densamma för de två registreringarna 049-230/049-231 och 050-232: omkring  $0,985 \pm 0,015$  (95% CI), dvs inom konfidensintervallet 0,970-0,990, men avsevärt lägre för registreringen 050-231: omkring  $0,925 \pm 0,012$  (95% CI), dvs inom konfidensintervallet 0,913-0,937. Den var således avsevärt lägre för fjordområdet innanför Orust än för resten av karteringsområdet.

Noggrannheten specifikt för ålgräs var välbalanserad mellan användarnoggrannhet ( $C_i$ ) och producentnoggrannhet ( $O_j$ ) för alla tre delkarteringar och även den ungefär densamma för de två delkarteringarna av 049-230/049-231 och 050-232: inom omkring 0,96-0,99 (95% CI), men avsevärt lägre för delkarteringen av 050-231: inom omkring 0,85-0,90 (95% CI).

Också  $kappa$  var ungefär lika hög för delkarteringarna 049-230/049-231 och 050-232, omkring 0,96-0,98 (95% CI), men avsevärt lägre för delkarteringen 050-231, omkring 0,80-0,85 (95% CI).

Både de naiva statistiska noggrannhetsmått, både för delkarteringarna totalt och specifikt för ålgräs, samt  $kappa$ , var således avsevärt lägre för fjordområdet på insidan av Orust än för resten av karteringsområdet.

## 4 Diskussion

---

### 4.1 Valet av slutlig kartering av ålgräs

Den resulterande sammanfattande karteringsfilen redovisar den karterade ålgräsutbredningen i form av pixel-värden från 1 till 10, vilka representerar en summering av 10 separata kategoriseringar för varje delkartering baserade på olika stickprov i den biologiska referensdatan. Högre värden indikerar således högre sannolikhet för att pixeln är korrekt **med avseende på ålgräs**. Det innebär att uteslutning av pixlar med lägre värden ökar karteringens användarnoggrannhet och minskar dess producentnoggrannhet för ålgräs. Alternativet med den högsta användarnoggrannheten, dvs endast inkluderande pixlar med värdet 10, kallas traditionellt för den mest konservativa uppskattningen. Den ger således den högsta sannolikheten för att en slumpmässigt vald ålgräsyta på kartan verkligen representerar en ålgräsbeväxt bottenyta.

Frågan vilket intervall pixelvärden som ger den "bästa" sammanfattningen av delkarteringarna i en enda karta över ålgräsutbredningen saknar alltså objektiva svar. Det beror på vilket förhållande mellan användar- och producentnoggrannhet man föredrar. Kategoriseringsfelet går inte att bli av med, utan kan endast fördelas på olika sätt över de olika kategorierna, typerna av fel och därmed kartan. Min kvalificerade bedömning är dock att intervallet mellan 7 och 10 uppvisar det minsta antalet kvalitativt större felaktigheter för ålgräs, dvs. undviker de tydligaste felaktigheterna av båda typerna av fel, och således ger det "bästa" resultatet i en generell mening. Detta intervall föreslår jag följaktligen som slutlig karta över den härledda ålgräsutbredningen. Närmare än så går inte att komma med dessa data och denna kategoriseringsmetod.

### 4.2 Bedömning av resultatet

#### 4.2.1 Karteringens noggrannhet

Helhetsfelet för hela området utanför Orust uppgår till omkring 3 % och för området innanför till omkring 9 %. Det specifika felet för ålgräs uppgår till omkring 4 % för området utanför Orust och till omkring 15 % för området innanför. Dessa värden måste dock alla bedömas som relativt låga, trots de högre värdena för området innanför Orust, eftersom den uppskattade överensstämmelsen mellan verklighet och karta, dvs. *kappa*, ligger över 0,8 för alla, vilket är bra. Denna bedömning stöds också av att felets geografiska variation till största del är lokaliserad till ålgräsområdenas djup- respektive grundgränser, eftersom det indikerar att felet framförallt handlar om svårigheter att avgränsa ålgräsförekomster, speciellt i djupledd, snarare än om mer slumpmässiga felkategoriseringar.

Denna bedömning innebär också att den lägre noggrannheten för området innanför Orust inte bör vara typisk endast för detta område, utan snarare för större ålgräsförekomster i en allmän mening, eftersom det särskiljande för detta område är just det som orsakar kategoriseringsfelen, dvs. en större andel ålgräs och därmed en större mängd gränser mellan kategorierna. Den lägre noggrannheten kan istället antas korrelera med en större andel ålgräsförekomster, och förmodligen också med

en fördelaktig miljö för ålgräs i sig, eftersom ålgräs företrädesvis förekommer i relativt lågexponerade miljöer nära land där vattnet ofta är grumligare beroende på både högre tillförsel av grumligt sötvatten från land och högre biologisk aktivitet av plankton (det senare ofta som följd av det förra). Omvänt kan den högre noggrannheten för delområdena utanför Orusts inre fjordar antas vara uppblåst av både en mindre andel ålgräs och en större andel klarare vatten. Att detta inte enbart är en statistisk effekt av en mindre andel ålgräs visas av att ålgräsförekomster i mer exponerade lokaler även uppvisar mindre geografisk variation för kategoriseringsfelen, dvs. högre noggrannhet i karteringen.

Karteringen kan sammantaget således bedömas som bra med en total noggrannhet från ca 97 till 91 % och specifikt för ålgräs från ca 96 till 85 % ifrån områden med mindre andel ålgräs till de med större andel, med största delen av felet lokaliserat till gränserna för ålgräset, speciellt i djupledd.

#### **4.2.2 Ålgräs eller nating?**

Karteringens förmåga att särskilja ålgräs och natingar, dvs. olika typer av grön vegetation, eller olika så kallat "sjögräs", är dock oklar. Klart är att karteringen till stor del korrekt utesluter glesa förekomster av natingar på botten grundare än 1 meter (då tillsammans med felaktig utslutning av gles förekomst av ålgräs), men lika klart är att den till stor del felaktigt inkluderar tätare natingförekomster på djupare botten. Exakt hur stort det totala felet är går inte att uppskatta ifrån tillgängliga referensdata, men de antyder dock att det inte behöver vara så stort, eftersom tätare natingförekomster djupare än 1 meter är relativt sällsynta (påträffade endast några gånger under insamlingen av referensdata). Så även om felet är stort inom de olika djupnivåerna, dvs. felaktig utslutning av ålgräs på botten grundare än 1 meter och felaktig inklusion av natingar på botten djupare än 1 meter, så tycks det ändå vara relativt litet totalt eftersom ålgräs relativt sällan förekommer grundare än 1 meter och natingar relativt sällan förekommer djupare än 1 meter. I så fall är en relativt bra särskiljning inte huvudsakligen beroende på spektralvariablerna, utan på djupvariabeln. Denna antydning gör dock att det framstår som **mer felaktigt** att säga att kategoriseringen inte särskiljer ålgräs och natingar än att säga att den gör det, dvs. som **mer korrekt** att säga att kategoriseringen särskiljer ålgräs och natingar än att säga att den inte gör det.

### **4.3 Beaktande av metoden och datan**

#### **4.3.1 Jämförelse av SVM med alternativa multivariata metoder**

Den här använda metoden för multivariat kategorisering, dvs. stödvektormaskin (SVM), framstår som överraskande bra. Tidigare egna försök med kategoriseringar med hjälp av artificiella neurala nätverk (ANN) av typen självorganiserande karta (eng. self-organizing map, SOM) och maximal trolighetsklassificering (maximum likelihood, ML), vilken även användes i båda karteringarna i HISPARES-projektet, har inte presterat lika bra.

Fördelen med SVM gentemot ANN är att den inte kan överanpassa kategoriseringen till träningsdata, utan endast kan nå en maximalt balanserad generaliseringsgrad mellan de olika typerna av kategoriseringsfel, dvs. ett optimalt *kappa*-värde, vilket, i sin tur, begränsas av den praktiska möjligheten till överensstämmelse. SVM arbetar dock egentligen "en våning över" ANN, eftersom SVM innehåller en valbar "kärna" som bestämmer dess kategoriseringsfunktion

och därmed kan väljas till att vara ett ANN. SVM och ANN är således egentligen inte jämförbara, eftersom SVM kan inkludera och utnyttja de bästa egenskaperna hos ANN.

Fördelen med SVM gentemot ML är att SVM drar en gräns (ie, stödvektorn) mellan kategorierna av datapunkter (ie, pixlarna) och således optimerar själva särskiljningen av kategorierna snarare än tilldelandet av datapunkter till respektive kategori, eftersom detta optimerar överensstämmelsen mellan referensen och karteringen, dvs.  $\kappa$ , medan ML istället optimerar den troliga tillhörigheten av varje datapunkt till respektive kategori, dvs. överensstämmelsen mellan datapunkterna och kategorierna, vilket endast kan uppnå i bästa fall likvärdighet med det förra (eftersom det förra ger den bästa generella överensstämmelsen per definition). SVM optimerar således överensstämmelsen genom en optimal kompromiss mellan de två olika typerna av fel, medan ML söker den kartering som mest troligt är den sanna, trots att det inte finns någon enskild "sann" kartering om inte en SVM med optimal kärna kan hitta en. Det som inte går att särskilja entydigt går inte att särskilja entydigt. Av denna orsak kan ML endast uppnå likvärdighet med SVM, aldrig bli bättre, medan SVM alltid är minst lika bra som ML eller bättre.

SVM kan naturligtvis också användas för kartering av flera klasser än två, såsom ML användes i HISPARES-projekten, och då således med garanti att prestera lika bra eller bättre än ML.

Det finns många andra metoder för multivariat kategorisering, men med SVM tycks den nå sin optimala nivå (med en optimal kärna), varvid begränsningen för kategoriseringens noggrannhet endast ligger i datans fördelning, dvs särskiljbarheten av datapunkterna, i den multidimensionella rymden. Denna särskiljbarhet har två begränsningar: en empirisk och en sannolik. Den empiriska utgörs av satellitregistreringens spektrala upplösning medan den sannolika utgörs av upplösningen i de med datapunkternas kategorier korrelerade fysikaliska variablerna, dvs. hur väl de inkluderade fysikaliska variablerna (i detta fall djup och exponeringsgrad) kan särskilja kategorierna i olika sådana fysikaliska förhållanden. Den förra, dvs. satellitregistreringens upplösning är given, varför dess begränsande effekt på karteringens noggrannhet inte kan minskas. Den senares begränsande effekt kan dock teoretiskt minskas genom förbättring av de inkluderade variablerna och inklusion av flera sådana variabler i datauppsättningen. T ex borde den kunna minskas, dvs. noggrannheten förbättras, med bättre djupdata. De tillgängliga för denna kartering utgör endast en interpolering baserad på mestadels gamla djupmätningar och har upplösningen 20 x 20 m. Fler djup kan mätas och interpoleringen kan förbättras. Möjligen skulle denna begränsning också kunna minskas, dvs. noggrannheten förbättras, genom inklusion av fler variabler såsom bottenstrat och bottenens lutningsriktning och lutningsvinkel. Då bör dock försiktighet iakttas med avseende på balansen mellan empiriskt registrerade och korrelerade fysikaliska data i datauppsättningen. Alltför stor del korrelerade fysikaliska data riskerar förskjuta kategoriseringen mot en mer sannolik snarare än sannare förekomst av de specifika klasserna. Empiriskt registrerade data måste tillåtas spela en betydande roll i kategoriseringen även om datauppsättningen skulle utökas med fler fysikaliska faktorer, t ex genom differentiell viktning. Huruvida detta verkligen kan förbättra noggrannheten, och i vilken mån, måste dock utvärderas i empiriska test.

#### 4.3.2 Jämförelse av SPOT-5-data med alternativa satellitdata

De här använda satellitregistreringarna, dvs. SPOT-5-data med 10 x 10 meters upplösning, har både för- och nackdelar. En självklar nackdel är att de begränsar den möjliga geografiska noggrannheten till  $\pm 10$  meter. Just denna geografiska upplösning framstår dock som tillräckligt bra för en bra storskalig kategorisering (se ovan), och är även fördelaktig gentemot geografiskt mer upplösta satellitregistreringar genom att vara mindre känslig för spridd reflektion av solljus från vattenytan. En tidigare egen kartering av Stigfjorden baserad på data ifrån satelliten QuickBird med en upplösning på 2,4 meter omintetgjordes av just spridd ljusreflektion. Hela vattenytan framstod som ett istäcke i registreringen. (Denna effekt kan också vara (åtminstone delvis) ansvarig för vattnets ogenomskinlighet i QuickBird-registreringen i Vahtmäe *et al.* 2011, Figur 3.b). Den optimala upplösningen för undervattenstillämpningar i Västra Götaland tycks vara omkring 4 meter, som t ex i registreringar av satelliten Kompsat-2 och IKONOS, men skillnaden i karteringsnoggrannhet mellan Kompsat-2 och SPOT-5-registreringar framstod vid ett pilotförsök inte som betydande, utan tycktes istället till stor del döljas i den geografiska variationen i konfidensintervallet (dvs. av den spektrala upplösningen). (Detta pilotförsök använde dock inte Kompsat-registreringarnas maximalt möjliga spektrala upplösning på 11 bitar, utan reducerad till 8 bitar).

SPOT-5-registreringar kan även misstänkas ha lägre spektral upplösning under vatten genom avsaknad av band för blått ljus (420-500 nm). Sammansättningen av spektralband är väsentlig för (den multispektrala) upplösningen under vatten genom att olika våglängder penetrerar olika djupt i vatten, varav blått ljus penetrerar djupast. Emellertid, Tulldahl *et al.* i HISPARES-projektet konstaterade att "vi har för oss (eng. *recall*) att blått har begränsad användbarhet i Östersjön", samt att inklusion av gult till rött och grönt i kategoriseringar av WorldView-2-registreringar (de första högupplösta, 2 meters, multispektrala 8-bands satellitregistreringarna) istället höjde noggrannheten signifikant. Motsägelsen att "blått har begränsad användbarhet i Östersjön" trots att det penetrerar djupast i vatten beror förmodligen på (bland annat) att det även har högst spridning (scatter) förorsakad av suspenderade partiklar i vattnet. Det blir alltså mer betydelsefullt ju renare vattnet är. För ålgräsområden kan det således antas vara av mindre betydelse, då dessa områden vanligen har relativt grumliga vatten.

HISPARES-projektet erbjuder dock tyvärr ingen möjlighet till jämförelse av noggrannheten mellan (deras) användning av rött, gult och grönt i WV-2-registreringar med (föreliggande) användning av grön-gul, orange-röd, nära infraröd och kortvågs infraröd i SPOT-5-registreringar. Klart är att nära infraröd och kortvågs infraröd inte tillför mycket information till grön-gul och orange-röd i SPOT-5-registreringar, så de tre WV-2-banden rött, gult och grönt kan rimligen antas ge högre spektral upplösning under vatten. Denna eventuella fördel måste då dock vägas mot den samtidigt ökande risken för vågspridd ljusreflektion med den högre geografiska upplösningen, samt mot extrakostnaden jämfört med SPOT-5-registreringar.

Slutligen måste nämnas att SPOT-5-registreringar av ett och samma område vid olika tidpunkter varierar kraftigt i upplösningen av undervattensstrukturer. Både vind (före och under) och nederbörd (före) registreringen försämrar den. Registreringar gjorda under stabila högttrycksförhållanden kan således ha mycket hög upplösning, medan de gjorda vid temporära avbrott i stabila lågttrycksförhållanden istället kan ha mycket låg. Och i Sverige råder ju ganska

sällan stabila högtrycksförhållanden, kanske speciellt sällan på västkusten, varför upplösningen oftare är sämre än bättre. Därutöver finns många andra faktorer som försämrar upplösningen under vatten, såsom vattnets färg, algbloomningar av både planktoniska och trådalger och grumling av stor landavrinning. Dessa problem är dock generella för alla satellitregistreringar oavsett upplösning och således inte specifika nackdelar för SPOT-5-registreringar. De kan kompenseras för till viss grad genom jämförelse av en kronologisk serie av registreringar över flera år.

#### **4.4 Slutsats och förslag till fortsättning**

Allt sammantaget framstår SPOT-5-registreringar (speciellt med tanke på att de erbjuds kostnadsfritt) som ett relativt sett mycket bra alternativ för storskalig kategorisering (dvs. kartering) och övervakning av förändringar för grund marin botten, åtminstone i Västra Götalands län. De ger tillräckligt bra noggrannhet för att kunna härleda och följa utbredningen av åtminstone vissa grovt avgränsade klasser av biotoper. Mer högupplösta satellitdata kan ge bättre resultat, men gör inte nödvändigtvis det, eftersom den praktiska upplösningen i vatten är så starkt beroende av fysikaliska faktorer. De kan till och med ge sämre resultat.

I mindre storskalig och mer upplöst kategorisering bör registrering från flygplan, till exempel den nya metoden med skanning med grön laser, komma ifråga snarare än mer upplösta satellitregistreringar. Denna metod tycks kunna ge information både om djup och bottenstrukturer samtidigt och kommer dessutom att bli avsevärt mycket billigare när en liten utrustning kommer att användas i ett förarlöst flygplan.

Det innebär att en naturlig fortsättning på detta projekt är att utnyttja de redan förbehandlade satellit-registreringarna till kompletterande kartering även av andra biotoper än ålgräs. Önskvärt vore en total grov kartering enligt klassificeringen ovan (kanske nödvändigtvis exkluderande zootäckt botten) av hela grundbotten (ner till 6 meters djup) i länet. Detta kan utföras parallellt med utprovning av den nya metoden med grön laser för mindre delområden, vilken då både kan referera till karteringarna ifrån satellit-registreringarna och användas tillsammans med satellitregistreringarna. Dessa inriktningar framstår som en rationell och ekonomiskt framkomlig vidareutveckling av karterings- och övervakningsbehovet för denna mycket betydelsefulla miljö.

## 5 Referenser

---

Bergström, U., Evertson, J., Karås, P., Sandström A., Sundblad G. & Wennberg S. 2007. Evaluation of satellite imagery as a tool to characterise shallow habitats in the Baltic Sea. BALANCE, Interim Report No. 12.

Gullström, M., Lundén, B., Bodin, M., Kangwe, J., Öhman, M.C., Mtolera, M.S.P. & Björk, M. 2006. Assessment of changes in the seagrass-dominated submerged vegetation of tropical Chwaka Bay (Zanzibar) using satellite remote sensing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67: 399-408.

Lundén, B. & Gullström, M. 2003. Satellite remote sensing for monitoring of vanishing seagrass in Swedish coastal waters. *Norwegian Journal of Geography* 57, 121-124.

Philipson, P. 2003. *Environmental Applications of Aquatic Remote Sensing*, University printers, Uppsala University, Uppsala.

Tulldahl, H. M., Philipson, P. & Tolt, G. Sea Floor Classification with WorldView-2 and Bathymetry Data. 4 pp. (HISPARES. 01/2010-12/2012. <http://www.hispares.eu/project/>)

Vahtmäe, E., Kutser, T., Martin, G. & Kotta, J. 2006. Feasibility of hyperspectral remote sensing for mapping benthic macroalgal cover in turbid coastal waters; a Baltic Sea case study. *Remote Sensing of the Environment* 101(3): 342-351.

Vahtmäe, E., Kutser, T., Kotta, J. & Pärnoja, M. 2011. Detecting patterns and changes in a complex benthic environment of the Baltic Sea. (HISPARES. 01/2010-12/2012. <http://www.hispares.eu/project/>). *Journal of Applied Remote Sensing* 5:1-18.



**LÄNSSTYRELSEN**  
**VÄSTRA GÖTALANDS LÄN**