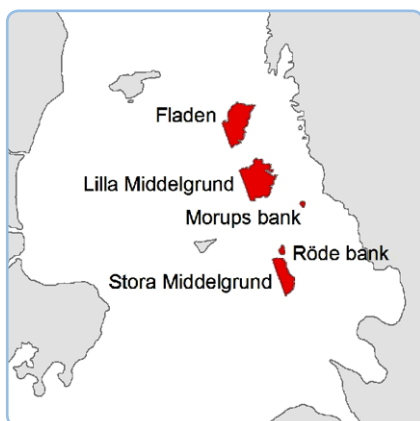


Utbredning av marina arter och naturtyper på bankar i Kattegatt

En modelleringsstudie

RAPPORT 6489 • DECEMBER 2012



Utbredning av marina arter och naturtyper på bankar i Kattegatt

-en modelleringsstudie

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

Postadress: CM-Gruppen, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/publikationer

Naturvårdsverket

Tel: 010-698 10 00 Fax: 010-698 10 99

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978- 91-620-6489-1

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2012

Tryck: CM Gruppen AB, Bromma 2012

Omslagbild: Tomas Lundälv

Förord

För att kunna tillgodose det stora behovet av kunskapsunderlag i öppna havsområden har Naturvårdsverket haft i uppdrag av regeringen (regleringsbrevet för 2004 och 2007) att kartlägga arter och naturtyper på utsjöbankar. Ett flertal av bankarna (totalt 44 stycken) i Östersjön, Skagerrak och Kattegatt har besökts och undersökts med avseende på makroalger, fisk och fågel, med vissa skillnader i undersökningsfokus mellan de olika bankarna.

Resultaten av fält undersökningarna har presenterats tidigare i tre olika rapporter, den första från 2007 *Inventering av marina naturtyper på utsjöbankar* (Naturvårdsverket rapport 5576), 2008 publicerades *Utbredning av arter och naturtyper på utsjögrund i Östersjön – en modelleringsstudie* (Naturvårdsverket rapport 5817), den mest omfattande rapporten *Undersökningar av utsjöbankar – inventering, modellering och naturvärdesbedömning* publicerades 2010 (Naturvårdsverkets rapport 6385).

I föreliggande rapport presenteras resultaten från den statistiska modelleringen av de fem utsjöbankar i Kattegatt baserat på data insamlat från inventeringar mellan 2004-2005. Syftet med rapporten var att ta fram kartor på utbredningen av arter och habitat för dessa fem bankar samt att diskutera för- och nackdelar med två olika metoder för habitat modellering (CART och GAM).

Arbetet med modell beräkningarna och beskrivning av resultaten har utförts Sofia Wikström (AquaBiota AB) samt Mats Lindegärth (Göteborgs Universitet), från Naturvårdsverket har Cecilia Lindblad ansvarat för projektet.

Innehåll

FÖRORD	3
INNEHÅLL	4
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	6
1 INLEDNING	7
2 METOD	8
2.1 Underlagsdata	8
2.1.1 Provtagning i fält	8
2.1.2 Bearbetning av fältdata	11
2.1.3 Prediktorvariabler	15
2.2 Metoder för emprisk modellering	17
2.3 Utvärdering av modellerna	19
2.4 Rumslik prediktion från modellerna	19
3 RESULTAT OCH DISKUSSION	21
3.1 Utvärdering av modelleringsmetoder	21
3.2 Beskrivning av utbredningskartorna	27
3.2.1 Ytsubstrat	27
3.2.2 Övergripande EUNIS-klasser	27
3.2.3 Naturtyper enligt Natura 2000	29
3.2.4. Makroalger	31
3.2.5 Fastsittande djur	40
3.2.6 Rörliga djur	43
3.3 Beskrivning av bankarna	46
3.4 Slutsatser	47
REFERENSER	49

Sammanfattning

I denna rapport presenteras kartor över bottenhabitat och bottenlevande arter på fem utsjöbankar i Kattegatt (Fladen, Lilla och Stora Middelgrund, Morups bank och Röde bank). Kartorna är framtagna med statistisk modellering utifrån data insamlade under utsjöbanksinventeringen 2004-2005. De resulterande kartorna har utvärderats med hjälp av externa valideringsdata för att ge ett mått på deras kvalitet. Modeller och kartor har tagits fram för ytsubstratklasser enligt EUNIS-systemet samt för utbredningen av 15 bottenlevande arter (inklusive alger och fastsittande och rörliga djur). Utifrån dessa underlag har även kartor över EUNIS-habitat och Natura2000-naturtyper tagits fram.

Modelleringarna gjordes med två olika statistiska metoder, CART (Classification and Regression Trees) och GAM (Generalized Additive Models) och ett av målen med studien var att jämföra och utvärdera dessa båda metoder. Resultaten tyder på att GAM är ett bättre verktyg än CART för att modellera utbredningen av marina arter med ett relativt begränsat antal datapunkter. Styrkan hos CART är istället att metoden kan modellera variabler med flera klasser. Detta gör att CART lämpar sig väl för modellering av ytsubstrat.

Djup var en mycket viktig prediktorvariabel för både arter och ytsubstrat, vilket betyder att kvaliteten på djupdata har stort inflytande på kvaliteten på de färdiga prediktionskartorna. Även den maringeologiska kartan från SGU bidrog i många fall substantiellt i modellerna.

Fladen utmärker sig bland bankarna genom rika tareskogar med stor djuputbredning, men även Lilla Middelgrund hyser stora arealer tareskog. Både Fladen och Lilla Middelgrund har en unik förekomst av maerl (*Phymatolithon calcareum*). Den ekologiskt viktiga hästmusslan (*Modiolus modiolus*) har sin rikaste förekomst på Stora Middelgrund.

Summary

This report presents maps of habitats and species distributions on five offshore banks in the Swedish Kattegat (Fladen, Lilla and Stora Middelgrund, Morups bank and Röde bank). The maps were produced by statistical modelling using data from an inventory of Swedish offshore banks carried out during 2004-2005. External validation data was used to evaluate the quality of the resulting maps. Models and maps were produced for seabed substrate (using EUNIS terminology) and the distribution of 15 benthic species, including algae and sessile and mobile animals. The map of seabed substrate was further used as input for maps of habitat types according to EUNIS and to the EC Habitat Directive.

Two different statistical methods were used for the modelling; CART (Classification and Regression Trees) and GAM (Generalized Additive Models). The results indicate that GAM is a better tool for modelling of species distributions using a limited number of data points, compared to CART. In contrast, the ability of CART to model variables with multiple classes makes it more suitable for modelling of seabed substrate.

Depth was an important predictor for the distribution of both substrate and species, which means that the quality of the bathymetric map has a large influence on the quality of the output maps. Also the geological map was important in several models.

Of the offshore banks, Fladen has remarkably extensive and well-grown kelp forests, but also Lilla Middelgrund has extensive kelp forests. Both Fladen and Lilla Middelgrund have a unique occurrence of maerl (*Phymatolithon calcareum*). The mussel *Modiolus modiolus*, which forms beds of high ecological value, has its widest distribution on Stora Middelgrund.

1 Inledning

Utsjöbankar är grunda områden som skiljer sig från grunt liggande kustområden genom att de omges av djupare vatten. Avståndet från kusten bidrar till att de är generellt mindre påverkade av fysiska störningar och föroreningar än mer kustnära områden, vilket gör att de kan fungera som tillflyktsort för arter som minskat eller försvunnit från kusten. Utsjögrunden fungerar även som födo- och uppväxtområden för många fiskarter och de är viktiga övervintringsområden för havsfåglar. Tidigare studier har visat att utsjöbankarna längs Sveriges kuster ofta utmärker sig genom hög artrikedom och god tillgång på ekologiskt viktiga habitat (Naturvårdsverket 2006, 2010). Samtidigt är utsjöbankarna utpekade som intressanta områden för etablering av havsbaserad vindkraft och vindkraftparker projekteras för närvarande på fler svenska utsjöbankar. För att möjliggöra en effektiv planering och förvaltning av utsjömiljöer behövs en förbättrad kunskap om utbredningen av arter och habitat i dessa miljöer.

I denna rapport beskrivs utbredningen av habitat och bottenlevande arter på fem utsjöbankar i Kattegatt (Fladen, Lilla och Stora Middelgrund, Röde bank och Morups bank), vilka inventerades under den första utsjöbanksinventeringen (2003-2005). Data från inventeringen har använts för att, med hjälp av rumslig modellering, ta fram yttäckande kartor av bottenhabitat enligt det europeiska habitatklassificeringssystemet EUNIS, naturtyper enligt Natura 2000, samt utbredningen av ett antal makroalger och bottenlevande djur på de fem utsjöbankarna. Det främsta syftet har varit att ge en översikt av områdenas livsmiljöer och utbredningen av dominerande arter och habitat, som ska kunna utgöra underlag för planering av bevarandearbete och exploatering. Ett ytterligare syfte har varit att utvärdera och jämföra två olika metoder för habitatmodellering, vilka båda använts och används för modellering av marin miljö i Sverige och internationellt.

De bankar som omfattas i denna rapport inkluderar samtliga bankar i Kattegatt som inventerades i den första utsjöbanksinventeringen. Av de andra utsjöbankar som inventerades samtidigt beskrivs bankarna i Östersjön i rapporten "Utbredning av arter och naturtyper på utsjögrund i Östersjön, en modelleringsstudie" (Naturvårdsverket 2008). Även Persgrunden i Skagerrak inventerades vid detta tillfälle, men eftersom antalet prover från detta område var ytterst begränsat, bedömdes det att dataunderlaget från utsjöbanksinventeringen var för litet för att användas för habitatmodellering. Miljön på Persgrunden beskrivs översiktligt i "Inventering av marina naturtyper på utsjögrund" (Naturvårdsverket 2006). Dessutom ingår Persgrunden i den nyligen upprättade "Kosterhavets Nationalpark" och en närmare karaktärisering av habitattyper görs inom ramen för detta arbete.

Ytterligare ett antal utsjöbankar som inventerades under perioden 2007-2010 beskrivs i rapporten "Undersökningar av utsjöbankar" (Naturvårdsverket 2010, rapport 6385).

2 Metod

Kartorna över utbredning av habitat och arter är framtagna genom statistisk modellering som bygger på fältdata från utsjöbanksinventeringen. Det första steget har varit att sammanställa underlagsdata för modelleringen. Ett stort arbete har lagts ned på att gå igenom fältdata från den första utsjöbanksinventeringen för att extrahera användbara data på bottensubstrat och bottenlevande arter. Metoderna för provtagningarna och hur data har behandlats beskrivs i avsnitt 2.1. Nästa steg har varit att skapa empiriska modeller som beskriver det statistiska sambandet mellan förekomsten av en art eller ett habitat och ett antal miljövariabler. Modelleringss metoderna beskrivs översiktligt i avsnitt 2.2 och utvärderingen av modellerna i avsnitt 2.3. Modeller med tillräckligt hög kvalitet har sedan används sedan för att göra prediktioner, vilket resulterar i heltäckande kartor som visar den predikterade utbredningen av arter och habitat (avsnitt 2.4).

2.1 Underlagsdata

2.1.1 Provtagning i fält

Provtagning skedde med hjälp av dykning, undervattensvideo monterade på en fjärrstyrd undervattensfarkost ("remotely operated vehicle", [ROV]), bottenhuggare och med olika typer av bottenkrapor beroende på botten typ. Totalt togs ungefär 600 prover under inventeringarna och antalet prover var relativt jämnt fördelade mellan metoderna (Tabell 1). Det totala antalet prover och fördelningen mellan olika metoder varierade något mer mellan områden. Exempelvis på Fladen och Lilla Middelgrund togs inga bottenhugg eller -skrap. Även om beskrivning och kvalitetssäkring av det praktiska arbetet med de olika metoderna ligger utanför arbetet med denna rapport, återfinns kortfattade beskrivningar av utförandet nedan.

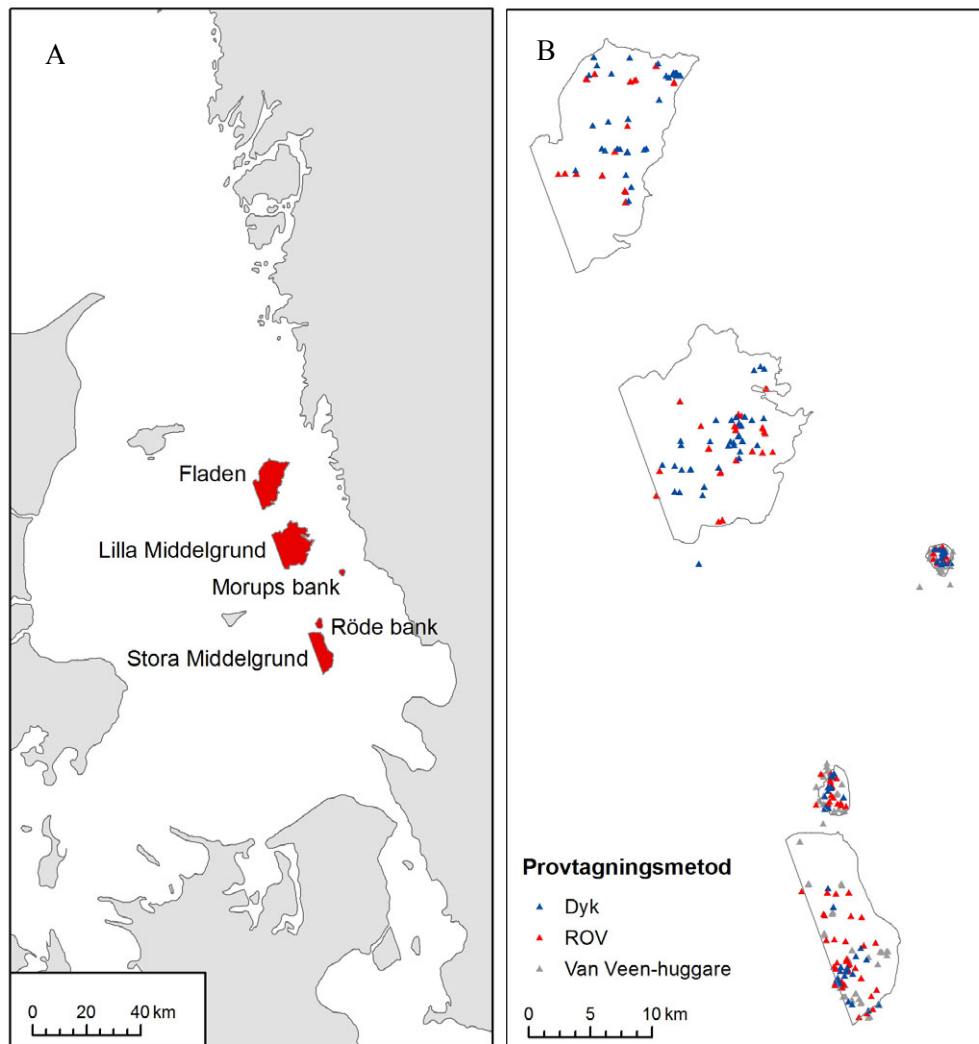
Tabell 1. Omfattning av provtagningar på utsjöbankarna i Kattegatt under 2004-2005.

Område	Yta (km ²)	Dyk	ROV	Hugg	Skrap	Totalt
Fladen	139,3	32	30	0	0	62
Lilla Middelgrund	163,1	42	38	0	0	80
Morups Bank	3,8	14	14	34	36	98
Röde Bank	7,3	12	16	62	26	116
Stora Middelgrund	73,5	20	35	77	30	162
Totalt	387,0	120	133	173	92	518

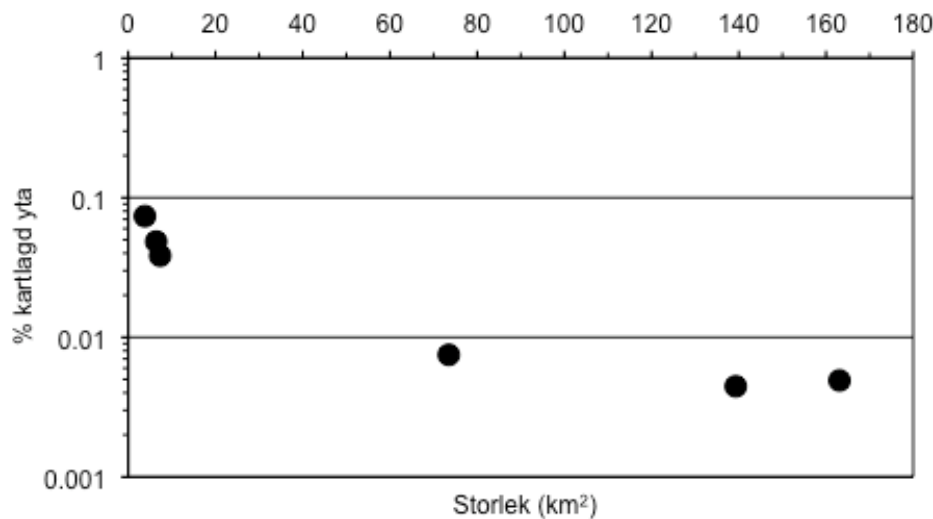
Av de metoder som användes vid provtagningen, bedömdes prover från ROV, dyk och bottenhugg användbara för övergripande modellering av botten substrat. Bottenkrap används i andra sammanhang för att spegla den artrikedom, framförallt av ryggradslösa djur, som finns på utsjöbankarna, men eftersom de inte kan positionsbestämmas med tillräcklig noggrannhet och därmed inte kan användas för rumslig

modellering, behandlas de inte vidare i denna rapport. Totalt fanns 426 prover från ROV, dyk och bottenhugg på de fem modellerade bankarna (Figur 1). Av dessa saknades information om bottensubstrat eller positionsbestämning för åtta punkter och ytterligare sju prover fick uteslutas från modelleringen eftersom de låg utanför den maringeologiska kartan och vi saknade information om bottenens geologi. Det innebär att 411 prover fanns tillgängliga för att modellera bottensubstrat.

För modellering av habitatbildande och andra karakteristiska djur och växter användes prover som tagits med hjälp av dyk och ROV. Totalt fanns 253 prover från dessa metoder på bankarna i Kattegatt. Sex av dessa låg utanför den maringeologiska kartan, de övriga 247 användes för att modellera biologiska variabler. Då både ROV- och dykprovtagningen skedde i enheter om 10 x 10 m, kan vi få ett överslag på hur stor del av utsjöbankarna som karterades genom direkta observationer (Figur 2). Eftersom antalet prover per område var i samma storleksordning



Figur 1. Karta över de undersökta utsjöbankarna i Kattegatt (A) och över provtagningspunkter med olika metoder på bankarna (B). Grunden är avgränsade i enlighet med den tidigare rapporten från utsjöbanksinventeringen (Naturvårdsverket 2006).



Figur 2. Andel av utsjöbankarna som kartlagts med ROV eller dykning.

(högst antal: Lilla Middelgrund 80 prover; lägst antal: Morups och Röde Bank 28), medan ytan varierade mellan 4 och 163 km², tenderade de större bankarna att vara procentuellt sett sämre undersökta än de mindre. Det viktigaste budskapet är dock att andelen yta som kartlades med direkta observationer var mindre än 1 % på alla bankar. Detta visar att praktiska och ekonomiska förhållanden begränsar våra möjligheter att basera heltäckande karteringar av biologiska variabler på direkta observationer. Den typ av modellering som tillämpas i detta arbete kan, i kombination med empiriska mätdata, erbjuda ett kostnadseffektivt alternativ för att åstadkomma en heltäckande kartering.

PROVTAGNING MED UNDERVATTENSVIDE OCH ROV

Data från dessa undersökningar användes för modellering av bottensubstrat och biologiska variabler. Tekniska beskrivningar och detaljerad beskrivning av provtagningar har beskrivits i interna arbetsdokument (Lundälv och Erlandsson, Göteborgs universitet, opublicerat arbetsmaterial), men i korthet kan nämnas att arbetet utfördes ombord på fartyget R/V Lophelia. Provtagning gjordes genom filmning av transekter inom 10 x 10 m provrutor, runt slumpmässigt utvalda punkter. Vid videofilmningen eftersträvades att uppnå transektlängder på ≥ 50 m och att manövrera ROV cirka 1-2 dm över havsbotten. Allokeringen av provrutor gjordes genom stratifiering i tre (10-15 m, 15-20 m och 20-30m) eller två (10-20 m och 20-30 m) djupintervall och med avseende sex på olika bottensubstrat: lera, morän, finsand, sandgrus, silt och "äldre sediment" (sten/block) utifrån den information som fanns att tillgå från geologiska kartor under 2004-2005 (denna information skulle visa sig ofta vara bristfällig). Den påföljande videoanalysen koncentrerades till den nedre halvan av bilden på monitorn, vilket motsvarar en transektbredd på ca 0,5 m. Detta innebär att åtminstone 25 % (0,5 x 5 0 m) av ytan inom en provruta användes för bedömningarna.

Inom varje provruta uppskattades täckningsgraden av ovanstående substrattyper samt förekomst av bottenlevande, epibentiska djur och växter. Djur och växter identifierades till lägsta möjliga taxonomiska nivå (ofta art eller släkte). Totalt identifierades 175 taxa inom undersökningarna. För vissa av dessa gjordes uppskattningar av täckningsgrad eller abundans. Totalt fanns 133 provpunkter tillgängliga från de aktuella bankarna.

PROVTAGNING MED DYKNING

Data från dessa undersökningar användes för modellering av bottensubstrat och biologiska variabler. Stratifiering av 10 x 10 m provrutor gjordes med avseende på bottensubstrat och djupkategori (0-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 m). Fördelningen av substrattyperna berg, block (diameter > 500 mm), block (diameter 250-500 mm), sten, grus, sand, samt finare sediment skattades. Även inslag av skalgrus, spår av mänsklig aktivitet samt indikation på strömsättning antecknades.

Provtagning av biologiska data omfattade registrering av täckningsgrad eller abundans i fält av dominerande flora och fauna. Som hjälpmedel för skattingar användes en ruta om 0,5 x 0,5 m. Täckningsgrader registrerades som proportion bottenyta täckt av arten i fråga. Arter med enstaka fynd med marginell area noterades som förekommande. Djur och växter identifierades till lägsta möjliga taxonomiska nivå (ofta art eller släkte). Totalt identifierades 273 taxonomiska enheter inom undersökningarna. Totalt fanns 120 dykpunkter tillgängliga från de aktuella bankarna.

PROVTAGNING MED BOTTENHUGGARE

Data från dessa undersökningar användes endast för modellering av bottensubstrat. Bottenhuggen gjordes med så kallad ”van Veen-huggare”. Denna användes på lokaler dominerade av fint sediment och omfattar en yta på 0,1 m². Totalt fanns 173 prover tillgängliga från de aktuella bankarna.

2.1.2 Bearbetning av fältdata

BOTTENSUBSTRAT

Ett av målen med arbetet har varit att ta fram en karta över ytsubstrat, dvs. en beskrivning av substratet på bottenytan, för att komplettera den maringeologiska kartan som beskriver sammansättningen av djupa lager av bottensediment utan att ta speciell hänsyn till det som finns i ytan. Information om ytsubstratet är central för habitatklassificering, både enligt EUNIS och Natura 2000, och kan bidra till att förutsäga utbredningen av enskilda arter. Vi har utgått från en kartläggning av vanliga ytsubstrat och substratsammansättningar i svenska havsområden, framtagen av SGU (Elhammer et al. 2009). Substrattyperna beskrivs med terminologi hämtad från det europeiska habitatklassificeringssystemet EUNIS (Tabell 2). Vi gick ige-

nom substratbeskrivningarna från utsjöbanksinventeringen och översatte dem till dessa substratklasser. Fem av klasserna fanns representerade på bankarna i Kattegatt (Tabell 2). Denna substratindelning används som underlag för den framtagna ytsubstratkartan.

Tabell 2. Vanliga ytsubstrat och substratsammansättningar i svenska havsområden, beskrivna med EUNIS-terminologi, samt deras förekomst på utsjöbankarna i Kattegatt. Klassningen är gjord av SGU för att utveckla kartor över ytsubstrat enligt EUNIS-systemet.

Kod	Substratklass	Förklaring	Förekomst ¹
K1	Cobbles-bedrock	Hårdbotten dominerad av håll	-
K2	Pebbles-boulders	Heterogen hårdbotten	94
K3	Sand-pebbles	Heterogen grovsedimentbotten	166
K4	Sand	Sand	43
K5	Fine sand	Finsand	57
K6	Firm mud	Hård lera	-
K7	Nodules (Fe-Mn)	Noduler	-
K8	Mud	Lerbotten	50

¹ Antalet observationer på de fem utsjöbankarna i Kattegatt, i data från dyk, ROV och bottenhugg.

BIOLOGISKA DATA

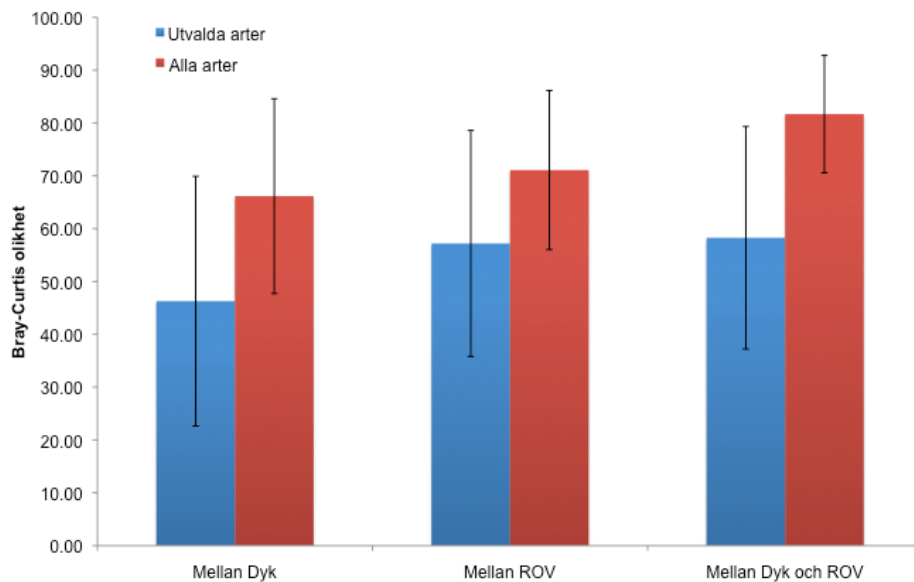
Provtagning av djur- och växtliv med dykning och ROV är inte utan vidare jämförbar. Dykning erbjuder betydligt bättre möjligheter till detaljstudier av små, kryptiska och svårbestämda arter än ROV, men den senare tillåter i gengäld att större ytor provtas. Skillnad i provtagningseffektivitet kan dock förväntas variera mellan arter. Stora, enkelt identifierade arter skiljer sig mindre mellan metoder än mindre kryptiska. Eftersom syftet med studien var att modellera främst habitatbildande och dominerande arter, bedömdes det att de data insamlade med de båda metoderna kunde användas i kombination.

Täckningsgrad av dominerande alg- och djurarter noterades i dykinventeringen, men inte konsekvent i ROV. För att uppnå jämförbarhet mellan metoderna och för att öka tillförlitligheten hos data transformerades därför allt data till förekomst eller icke-förekomst innan analyserna.

I proverna insamlade med ROV och dykning återfanns mer än 300 arter och släkten. Drygt 100 av dessa återfanns i prover tagna med båda metoderna. Dessa undersöktes med avseende på skillnad i frekvens mellan respektive metod. Grupper som förekom i prov från båda metoderna, med liten skillnad i frekvens och med en frekvens på minst $\approx 15\%$ prioriterades, liksom arter som kan beskrivas som "habitatbyggande". Dessutom gjordes en expertbedömning av huruvida arten kunde tillförlitligt identifieras med båda metoderna. Denna bedömning tog hänsyn till artens storlek och förekomst av vanliga förväxlingsarter. Arter som ibland bestämdes till släkte och ibland till art, aggregerades till släkte. Slutligen prioriterades även arter som är av speciellt intresse inom OSPAR:s och HELCOM:s arbete med

särskilt skyddsvärda arter (hästmusslor och sjöpennor). Denna process ledde fram till listan som redovisas i Tabell 3.

Som en indikation på att detta urval minskade skillnaden mellan metoder beräknades art-likheten mellan prover på hela bottensamhällena respektive för de utvalda arterna. Som ett mått på skillnad mellan prover, användes Bray-Curtis olikhet som är ett vedertaget mått inom analys av ekologiska data (Legendre & Legendre, 1998). Olikheter beräknades (1) mellan prover som tagits med samma metod och (2) mellan prover som tagits med olika metoder (dyk eller ROV). Jämförelser gjordes endast mellan prover som tagits på samma bank (Figur 3). Analysen visar att innan urvalet av arter gjordes, var olikheten mellan prover ungefär 82 % medan den var 66 och 71 % mellan prover tagna med dyk respektive ROV. Detta innebär att skillnaden i artsammansättning är större mellan prover tagna med olika metoder, än mellan prover som tagits med samma metod. När olikheten beräknas endast på de arter som valts ut för vidare analyser, minskar skillnaden mellan metoder (58 %) och är endast marginellt större än prover tagna med samma metoder (57 och 46 %). I sammandrag visar detta att med avseende på de arter som valts ut är metoderna mer likvärdiga än med avseende på bottensamhället som helhet. En vidare indikation på att sammanslagningen av prover från dyk och ROV är rimlig är att data ger upphov till användbara modeller vars prediktioner håller för oberoende validering med externa data (se resultatdelen).



Figur 3. Bray-curtis olikhet mellan alla dykprover inom en bank, mellan alla ROV-prover inom en bank samt mellan prov från både dyk och ROV inom en bank.

Tabell 3. Frekvens och ekologiska karakteristika av grupper som använts vid modellering.

Taxon	Dyk	ROV	Beskrivning	Levnadssätt
<i>Desmarestia</i> spp. ¹ kåringhår	0,76	0,33	Brunalg	Fastsittande
<i>Laminaria</i> spp. ² finger- och stortare	0,55	0,39	Brunalg	Fastsittande
<i>Saccharina latissima</i> skräppetare	0,47	0,25	Brunalg	Fastsittande
<i>Brongniartella byssoides</i> julgransalg	0,50	0,15	Rödalga	Fastsittande
<i>Corallina officinalis</i> korallalg	0,32	0,06	Rödalga	Fastsittande
<i>Delesseria sanguinea</i> ribbeblad	0,67	0,39	Rödalga	Fastsittande
<i>Dilsea carnosa</i> köttblad	0,31	0,18	Rödalga	Fastsittande
<i>Phycodrys rubens</i> ekbladig	0,67	0,31	Rödalga	Fastsittande
<i>Alcyonium digitatum</i> död mans hand	0,22	0,57	Mjuk korall	Fastsittande
<i>Pennatulacea</i> ³ sjöpennor	0,11	0,20	Sjöpennor	Fastsittande
<i>Metridium senile</i>	0,20	0,08	Havsanemon	Fastsittande
<i>Urticina</i> spp. ⁴	0,23	0,05	Havsanemon	Fastsittande
<i>Modiolus modiolus</i> hästmussla	0,14	0,09	Hästmussla	Fastsittande
<i>Ascidia</i> spp. ⁵ sjöpungr	0,10	0,23	Sjöpungr	Fastsittande
<i>Pagurus</i> sp. ⁶ eremitkräftor	0,37	0,37	Eremitkräftor	Rörlig
<i>Echinus</i> spp. ⁷ sjöborrar	0,24	0,17	Hårdbottenssjöborrar	Rörlig
<i>Asterias rubens</i> vanlig sjöstjärna	0,71	0,85	Sjöstjärna	Rörlig
<i>Marthasterias glacialis</i> taggig sjöstjärna	0,61	0,44	Sjöstjärna	Rörlig
<i>Astropecten irregularis</i> kamstjärna	0,27	0,34	Sjöstjärna	Rörlig

¹*Desmarestia aculeata* och *D. viridis*; ²*Laminaria digitata* och *L. hyperborea*.

³*Pennatula phosphorea*, *Virgularia mirabilis* och *Virgularia* sp.; ⁴*Urticina eques* och *U. felina*.

⁵*Ascidia mentula*, *A. virginea*, *A. callosa* och *A. conchilega*; ⁶*Pagurus bernhardus* och obestämda *Pagurus*.

⁷*Echinus acutus* och *E. esculentus*.

2.1.3 Prediktorvariabler

Urvalet av prediktorvariabler baserar sig på två kriterier. Dels ska det finnas ett förväntat samband mellan de valda variablerna och utbredningen av ytsubstrat liksom för utbredning av respektive arter. Dels ska det finnas en heltäckande karta över miljövariabeln med tillräckligt god kvalitet, för att det ska vara möjligt att skapa en heltäckande prediktion utifrån de framtagna modellerna. Tre prediktorvariabler har använts i modelleringen.

1) Djup. Många arter har en djuputbredning som begränsar sig till vissa djupintervall. Djupet kan därmed förväntas ha stor betydelse för att förutsäga utbredningen av marina arter. Djupets betydelse beror på att en rad faktorer som har en direkt påverkan på bottenlevande organismer samvarierar med djupet, exempelvis ljusinstrålning, vågpåverkan, bottentemperatur och salthalt. Även ytsubstratet påverkas indirekt av djupet, eftersom vågpåverkan avtar med djupet.

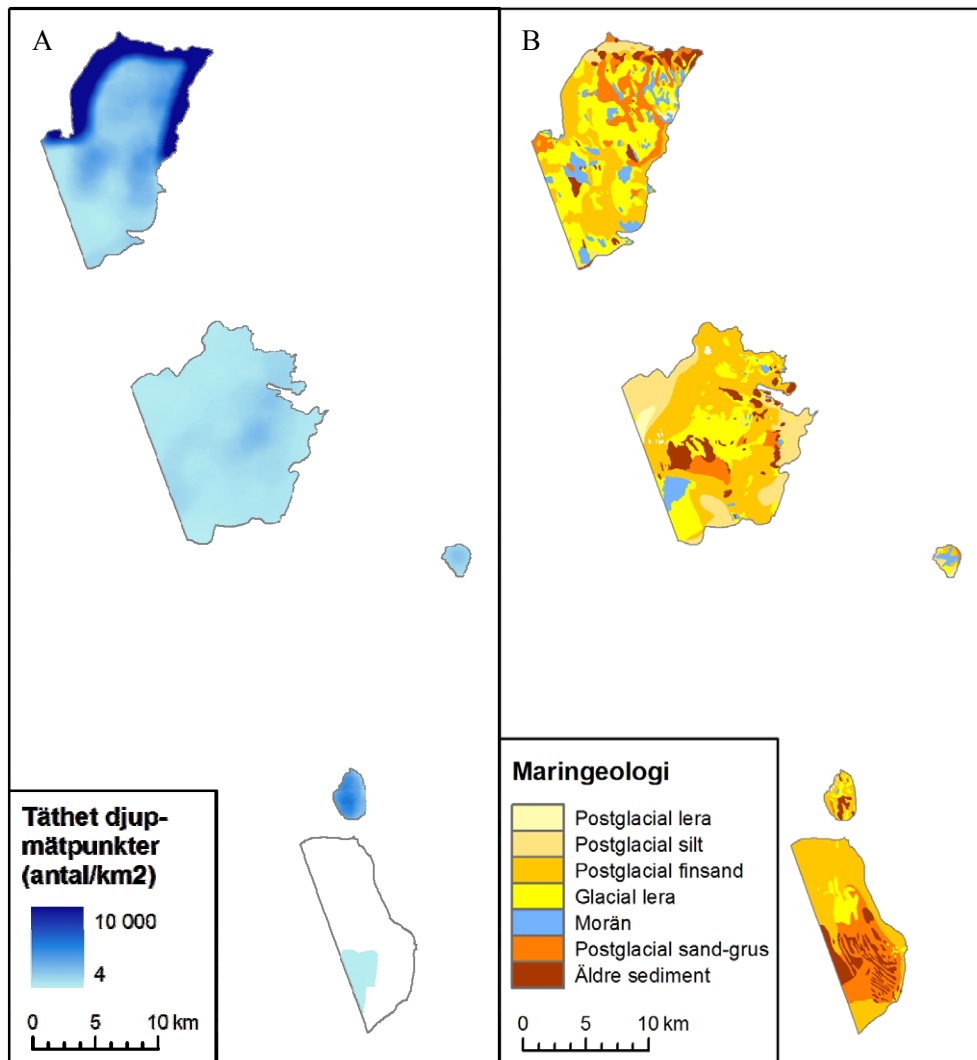
De djupdata som använts i modelleringarna är uppmätta i den biologiska inventeringen. Prediktionerna bygger däremot på en heltäckande batymetrisk karta som tagits fram genom interpolering av djupdata i punktform. Djuppunkterna är framtagna av Sjöfartsverket genom digitalisering av befintliga djupdata. Dessa djupdata är insamlade under olika tidsperioder och med olika tekniker, från handlodningar utförda på 1800-talet till moderna sjömätningar med flerstråligt ekolod, och tätheten av mätpunkter varierar dramatiskt inom och mellan bankarna (Figur 4A). Djuppunkterna interpolerades med kriging till en heltäckande karta med 10 x 10 m upplösning. Variationen i punkttäthet i underlaget betyder dock att noggrannheten i den resulterande djupkartan, och därmed i de framtagna prediktionerna, varierar mellan olika delar av kartan.

För de djupare delarna av Stora Middelgrund saknas djupmätningar helt. Här har det inte varit möjligt att skapa heltäckande prediktioner. Med hjälp av de framtagna modellerna är det lätt att i ett senare skede ta fram prediktionskartor även för dessa områden när djupdata finns tillgängliga.

2) Maringeologi. Även bottenens geologi, exempelvis förekomsten av hårbotten eller sand, styr vilka arter som kan förväntas finnas. Information om maringeologi är tagen från SGU:s maringeologiska karta, där minsta karteringsenheten är 50 m (Figur 4B). Substratklassen postglacial lera slogs samman med postglacial silt till en klass eftersom den hade för låg förekomst i inventeringsdata (sex förekomster i substratdata och bara en förekomst i art data). Detta kan anses motiverat eftersom båda substraten indikerar förekomsten av rena ackumulationsbottnar med rörliga sediment.

3) Bank, dvs. på vilken av de fem utsjöbankarna (Figur 1A) en inventeringspunkt är belägen. Faktorn grund togs med i modelleringen för att kontrollera för eventuella skillnader mellan de olika bankarna som inte beror på skillnader i djup och geologi.

Ytterligare två variabler (salinitet och vågexponering vid botten) övervägdes men uteslöts på grund av brist på data. Data på saliniteten vid botten finns framtagen för hela Kattegatt inom BALANCE-projektet (Al-Hamdani & Reker 2007), men upplösningen på dessa data är alltför grov (600 m) för att data ska vara användbara i detta sammanhang. Saliniteten i området varierar både i ytled och i djupled, men variationen är störst i djupled mellan vattenmassorna ovan och under haloklinen. Denna variation bör till stor del fångas upp av djupvariabeln. Data på vågexponering i ytan för hela svenska kusten finns i SAKU (Wennberg et al. 2006), men enligt denna karta är skillnaden i vågexponering ytterst liten mellan och inom ut-sjöbankarna vilket gör att den inte tillför någon information i modellerna. Det är möjligt att den verkliga variationen i exponering är större, men för att beskriva denna variation krävs en vågmodell som tar hänsyn till bottentopografin.



Figur 4 (A) Täthet av djupmät punkter i det underlag som har använts för att ta fram den djupkarta som använts för prediktionerna i denna rapport. En hög punkttäthet ger bättre noggrannhet i djupkartan och därmed även i prediktionskartorna. Den riktigt höga punkttätheten på norra Fladen utgörs av mätningar med flerstråligt ekolod. Det vita området på Stora Mittelgrund är inte sjömått och därför har varken djupkarta eller prediktionskartor kunnat göras för detta område. (B) Utsnitt ur maringeologiska kartan (SGU, serie Am).

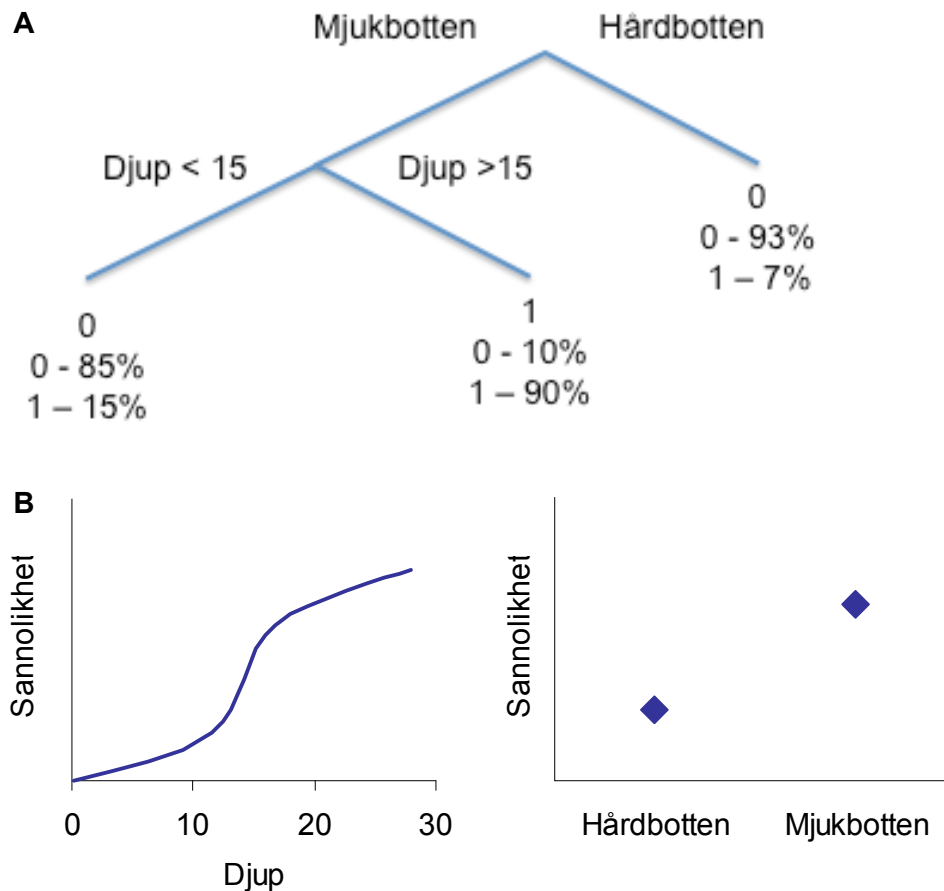
2.2 Metoder för empirisk modellering

Två olika statistiska analysmetoder har använts för modelleringen, CART (Classification and Regression Trees) och GAM (Generalized Additive Models).

Modellering med **CART** (Breiman et al. 1993) innebär i korthet att man identifierar en sekvens av brytpunkter i prediktorvariablerna som så väl som möjligt sammanfaller med förändringar i responsvariabeln. Dessa brytpunkter används för att dela upp data i successivt mer detaljerade grupper, så kallade ändnoder (Figur 5A). När responsvariabeln är kontinuerlig, dvs. abundans eller täckningsgrad av bottenorganismer, går metoden ut på att minimera variationen inom ändnoderna. Dessa modeller kallas ”regressions träd”. I de fall där responsvariabeln är kategorisk, dvs. förekomst eller icke-förekomst av en art eller en typ av substrat, kallas modellerna för ”klassificeringsträd”. De analyser som presenteras här faller inom den senare kategorin.

En viktig aspekt i modelleringen är att det föreligger risk för så kallad ”överanpassning” (på engelska ”over-fitting”). Detta innebär att modellen anpassas till det aktuella datamaterialet med en sådan detaljgrad att det förlorar sin generella giltighet. Detta får till konsekvens att modellen förlorar sin kapacitet att göra exakta förutsägelser om oberoende data (dvs. data som inte inkluderades i byggandet av modellen). För att motverka detta problem tillämpades i denna studie så kallad 10-faldig korsvalidering. Detta innebär att data delas upp i 10 delar, varefter en modell konstrueras utifrån 9/10 av materialet. Modellens utfall testas sedan mot testdata som utgörs av resterande 1/10 av data. Den trädlängd som ger bäst resultat i förhållande till testdata anses som den optimala storleken. Proceduren upprepas 10 gånger varvid alla delar av materialet tjänar som test-data och som resulterar i 10 skattningar på optimala trädstorlekar. För att undvika skevheter i den ursprungliga uppdelningen av data, upprepades ovanstående korsvalideringsprocedur 50 gånger. Alla beräkningar gjordes med program skrivna i Matlab.

Vid **GAM**-modellering beskrivs sannolikheten för förekomst av en art som en linjär eller icke-linjär funktion av varje prediktorvariabel (Figur 5B). Varje prediktorvariabel ger således ett sannolikhetsvärde, vilka summeras till sannolikheten för förekomst i en viss punkt på kartan. För att undvika överanpassning förenklades modellen så långt det gick utan att den tappade i förklaringsgrad, vilket innebär att bara de miljövariabler som bidrar statistiskt till att förklara utbredningen tas med i modellen. Förenklingen gjordes genom att modeller skapades med alla möjliga kombinationer av de tre prediktorvariablerna och den bästa modellen (dvs. en modell med hög förklaringsgrad men med så få prediktorvariabler som möjligt) valdes med Akaike’s Information Criterion (AIC). Modelleringen utfördes i GRASP (Lehmann et al. 2002), ett tillägg till statistikprogrammet R.



Figur 5. (A) Schematisk illustration av klassificeringsträd (CART) för förekomst (1) och icke-förekomst (0) av en godtycklig art. Modellen innehåller tre ändnoder med två prediktorvariabler. Den första, "Bottentyp", visar sig primärt viktig och den andra, "Djup", sekundärt. (B) Schematisk illustration av GAM-funktionerna mellan prediktorvariablerna (i detta fall "Djup" och "Bottentyp") och sannolikheten för förekomst av en godtycklig art. I både CART- och GAM-modellen förekommer den aktuella organismen företrädesvis på mjukbotten och på djup större än 15 meter.

En skillnad mellan de två modelleringsmetoderna är att med CART kan man modellera flera olika klasser av en variabel i en och samma modell. Detta lämpar sig väl för modellering av ytsubstrat, eftersom de olika substratklasserna kan modelleras tillsammans. Med GAM modelleras istället de olika substrattyperna var för sig och för varje punkt på kartan får man då fram en sannolikhet för förekomst av detta substrat. Den metod som SGU tagit fram för modellering av ytsubstrat enligt EUNIS bygger därför på CART-modellering. Vi har följt denna metod och modellerat bottensubstrat med CART. Substratmodellerna gjordes med 361 av de tillgängliga datapunkterna, efter att 50 punkter plockats ut slumpmässigt för att användas som oberoende utvärderingsdata.

Utbredningen av arter modellerades genomgående med både CART och GAM och resultaten jämfördes. Artmodellerna gjordes med 217 av de tillgängliga datapunkterna, efter att 30 punkter plockats ut slumpmässigt för att användas som oberoende utvärderingsdata.

2.3 Utvärdering av modellerna

Utvärdering av modellernas kvalitet, dvs. hur väl modellen lyckas med att förutsäga förekomsten av en art eller ett substrat, gjordes med utvärderingsmättet AUC (Fawcett 2006). En modell som förutsäger alla förekomster och icke-förekomster korrekt får AUC-värde 1 medan ett värde på 0,5 är att betrakta som slumpmässigt. Modeller med AUC-värden mellan 0,5 och 0,7 betraktas som dåliga medan värden över 0,8 indikerar att modellen är bra och värden över 0,9 att den är utmärkt (Naturvårdsverket 2009).

För varje modell gjordes både intern- och externvalidering. Internvalideringen görs med det data som användes för att bygga modellen och visar om det finns ett statistiskt samband mellan förekomst och miljövariabler, men säger inget om hur väl modellen kan användas för att skapa prediktioner utanför de undersökta punkterna. I externvalideringen testas modellen på oberoende fältdata som inte använts för att bygga modellen, vilket ger ett mått på modellens prediktiva förmåga. Data för externvalideringen (50 punkter för substratmodellerna och 30 punkter för artmodellerna) plockades ut slumpmässigt från inventeringsdata innan modelleringen. Storleken på externvalideringsdata är i det minsta laget, simuleringar har visat att med så få punkter är konfidensintervallet för valideringsresultatet stort (Isaeus et al., opublicerade data). Vi bedömde att det inte var möjligt att plocka ut flera valideringspunkter utan att försämra modellerna, men det betyder att utvärderingsresultatet ska tolkas med viss försiktighet. Vi har därför kompletterat externutvärderingen med en rimlighetsbedömning av de färdiga prediktionerna.

2.4 Rumslig prediktion från modellerna

De modeller som fick tillräckligt hög kvalitet i utvärderingen användes för att göra en rumslig prediktion av responsvariabelns utbredning i ett geografiskt informationssystem med hjälp av programvaran ArcGIS. I detta steg används heltäckande kartor av prediktorvariablerna. För varje punkt på kartan görs en beräkning av sannolikheten för förekomst av den modellerade arten eller substratet, utifrån information om djup, geologi och bank i denna punkt. För arterna redovisas dessa sannolikhetskartor, som visar sannolikheten mellan 0 och 1 för förekomst av en viss art i varje enskild punkt på kartan. För ytsubstrat, som har flera kategorier än förekomst/inte förekomst, visas den framtagna kartan istället vilken substratkategori som har högst sannolikhet för förekomst i varje punkt på kartan.

Även om kartorna visar sannolikhet för att hitta en art inom en 10 x 10 m ruta, ger de även en bild av hur vanlig arten är. För att illustrera detta kan vi anta att en arts utbredning uteslutande bestäms av djupet. Hög sannolikhet att hitta en viss art på ett visst djup innebär då att arten har hittats i en stor del av transektpunkterna på detta djup. Notera dock att en hög sannolikhet för förekomst av en art inte nödvändigtvis innebär att den har en hög täckningsgrad i det aktuella området.

Prediktionerna är gjorda så att de täcker in de delar av utsjöbankarna där vi har tillräckligt bra information. Prediktionerna för arter och artgrupper är bara gjorda ner till 40 m djup, eftersom de data som användes för den biologiska modelleringen (dyk och ROV) bara täckte in detta djupintervall. Det innebär att prediktionerna inte täcker in de djupaste delarna av Fladen och Lilla Middelgrund (jämför t.ex. Figur 8 med Figur 6). För Stora Middelgrund saknas djupinformation förutom för den centrala, grundare delen som är sjömått (Figur 4A). Prediktionerna täcker därför bara in en liten del av denna bank.

Prediktionskartorna, i projektionen RT90 2,5 gon V, visas i ArcView och ArcGIS och har gjorts med 10x10 meters upplösning, vilket också är upplösningen på de resulterande kartorna. Dessa finns tillgängliga i Naturvårdsverkets miljödataportal (www.miljodataportalen.naturvardsverket.se).

3 Resultat och diskussion

I det första avsnittet (3.1 Utvärdering av modelleringsmetoder) beskrivs resultat och erfarenheter från modelleringen med GAM och CART. Avsnittet riktar sig huvudsakligen till dem som är intresserade av modelleringsmetoderna, men är även tänkt att ge en förståelse för hur utbredningskartorna är framtagna. Läsare som huvudsakligen är intresserade av utbredningen av arter och habitat på bankarna kan gå direkt till avsnitt 3.2 (Beskrivning av utbredningskartorna), där de framtagna prediktionskartorna visas och diskuteras.

3.1 Utvärdering av modelleringsmetoder

Modellen av ysubstrat enligt EUNIS gav varierande säkerhet mellan de olika substratklasserna (Tabell 4). Externutvärderingen visar att modellen ger en utmärkt prediktion av klasserna ”sand” (homogen sandbotten) och ”mud” (lerbotten) och bra prediktioner av ”pebbles-boulders” (heterogen hårbotten) och ”sand-pebbles” (heterogen grovsedimentbotten). Däremot gav prediktionen av ”fine sand” ett dåligt resultat i externutvärderingen. Den modell som valdes ut av korsvalideringen med CART innehöll alla de inkluderade prediktorerna. Det är intressant att notera att om prediktorerna djup och bank successivt utelämnas, minskar precisionen i förutsägelserna så att om endast den geologiska kartan används, är det endast två substrat som kan förutsägas med rimlig säkerhet. Detta visar att det geologiska underlag som fanns tillgängligt inte ensamt var helt tillfredsställande och att information om andra omvärldsfaktorer kan vara ett värdefullt komplement.

Tabell 4. Sammanställning av modelleringen av ysubstrat enligt EUNIS. De modellerade substrattyperna är hämtade från en kartläggning av vanliga ysubstrat och substratsammansättningar i svenska vatten (Elhammer et al. 2009). Tabellen redovisar internvalidering (inAUC), externvalidering (exAUC) för en modell med alla de inkluderade prediktorerna (geologi, bank och djup) samt modeller med färre prediktorer. Prediktionskartan från modellen med alla tre prediktorvariabler visas i Figur 6.

	Geologi, Bank, Djup		Geologi, Bank		Geologi	
	inAUC	exAUC	inAUC	exAUC	inAUC	exAUC
Pebbles-boulders	0,89	0,90	0,89	0,83	0,69	0,80
Sand-pebbles	0,78	0,88	0,64	0,66	0,55	0,64
Sand	0,83	0,91	0,84	0,84	0,55	0,56
Fine sand	0,74	0,69	0,74	0,78	0,59	0,53
Mud	0,93	0,98	0,93	0,81	0,70	0,82

Ett annat sätt att utvärdera säkerheten i prediktionerna är att undersöka överensstämmelsen mellan substratkartan och de faktiska observationerna i inventeringspunkterna (Tabell 5). Jämförelsen visar att säkerheten varierar något mellan de olika substrattyperna. Mest framgångsrik var modellen med att prediktera förekomst av de grövsta och finaste sedimentklasserna (”pebbles-boulders”, ”sand-

pebbles” och ”mud”). Träffsäkerheten var betydligt sämre för de intermediära kornstorleksklasserna (”sand” och ”fine sand”), detta trots att ”sand” fick ett utmärkt resultat i externutvärderingen med AUC (Tabell 4). Detta beror sannolikt på att externvalideringsdata är så litet och att klassen ”sand” får ett omotiverat högt valideringsresultat i externvalideringen (betydligt högre än intervalideringsvärdet).

Tabell 5. Överensstämmelse mellan den predikterade substratkartan (Pred) och den faktiska förekomsten av substrattyperna i inventeringspunkterna från dyk, ROV och bottenhugg (totalt 411 punkter; Obs). Tabellen visar antalet inventeringspunkter inom en viss substratklass som predikterades korrekt (fet stil) och antalet som predikterades tillhöra någon av andra substratklasserna.

Pred \ Obs	Pebbles-boulders	Sand-pebbles	Sand	Fine sand	Mud
Pebbles-boulders	60	32	2		
Sand-pebbles	12	135	8	5	6
Sand		11	26	2	4
Fine sand	1	25	5	10	16
Mud		4	3		43

Makroalgerna var den artgrupp som visade sig lättast att modellera. Åtta olika arter eller släkten av makroalger modellerades: tre brunalger och fem rödalger (Tabell 6). Externutvärderingen visar att för sex av arterna var både CART- och GAM-modellerna bra eller utmärka. För de två övriga arterna, rödalger *Brogniartella byssoides* och *Phycodrys rubens*, var GAM-modellerna bra men CART-modellerna bara intermediära.

För de fastsittande djuren var modelleringsframgången mera blandad (Tabell 6). Sex arter eller högre taxa kunde modelleras: fyra nässeldjur, en mussla och ett släkte av sjöpongar. För en av dessa arter, havsanemonen *Metridium senile*, gav varken CART eller GAM någon modell, vilket innebär att ingen av metoderna kunde hitta något statistiskt samband mellan artens utbredning och prediktorvariablerna. För tre taxa, havsanemonsläktet *Urticina*, sjöpongs-läktet *Ascidia* samt för musslan *Modiolus modiolus*, gav bara GAM fungerande modeller. GAM-modellen för *Modiolus* var i gengäld utmärkt enligt externutvärderingen, medan modellerna för *Urticina* och *Ascidia* bara var intermediära. Slutligen gav gruppen sjöpennor utmärkta modeller med båda metoderna, medan läderkorallen *Alcyonium digitatum* gav dåliga modeller med båda metoderna.

Även många av de rörliga djuren visade sig svåra att modellera (Tabell 6). Eremitkräftor (släktet *Pagurus*) gav dåliga modeller med båda metoderna och sjöborrar (släktet *Echinus*) gav ingen CART-modell och en dålig GAM-modell. Däremot var modelleringsframgången bättre för de tre arter av sjöstjärnor som modellerades. Alla tre arterna gav GAM-modeller, som spände från intermediär till utmärkt i externutvärderingen. Två av arterna gav även CART-modeller, som även de spände från intermediär till utmärkt kvalitet.

Tabell 6. Sammanställning av artmodellerna från CART och GAM. Tabellen redovisar internvalidering (inAUC), externvalidering (exAUC) och vilka prediktorvariabler som kom med i modellen. De modeller som bedömdes som tillräckligt bra i externvalideringen (exAUC>0,8 för CART och exAUC>0,7 för GAM) är markerade med fet stil; för dessa modeller finns kartprediktioner i rapporten.

	CART			GAM		
	inAUC	exAUC	prediktorer	inAUC	exAUC	prediktorer
Makroalger						
<i>Desmarestia</i> spp. ¹ kärnghår	0,83	0,88	djup	0,89	0,90	djup, bank
<i>Laminaria</i> spp. ² finger- och stortare	0,91	0,95	djup, bank	0,92	0,94	djup, bank
<i>Saccharina latissima</i> skräppetare	0,85	0,91	djup, bank	0,87	0,85	djup, bank
<i>Brongniartella byssoides</i> julgransalg	0,90	0,74	djup, geologi, bank	0,92	0,80	djup, geologi, bank
<i>Corallina officinalis</i> korallalg	0,88	0,94	djup, geologi	0,94	0,96	djup, geologi
<i>Delesseria sanguinea</i> ribbeblad	0,89	0,86	djup, geologi, bank	0,87	0,87	djup, bank
<i>Dilsea carnosa</i> köttblad	0,90	0,98	djup, geologi, bank	0,89	0,94	djup, bank
<i>Phycodrys rubens</i> ekblading	0,91	0,70	djup, geologi, bank	0,79	0,90	djup, geologi
Fastsittande djur						
<i>Alcyonium digitatum</i> död mans hand	0,80	0,59	djup, geologi, bank	0,78	0,55	djup
<i>Pennatulacea</i> ³ sjöpenbor	0,97	0,94	djup, geologi, bank	0,97	0,98	djup
<i>Metridium senile</i>	-			-		
<i>Urticina</i> spp. ⁴	-			0,86	0,75	djup, bank
<i>Modiolus modiolus</i> hästmussla	-			0,83	0,94	djup, bank
<i>Ascidia</i> spp. ⁵ sjöpunger	-			0,84	0,73	djup, bank
Rörliga djur						
<i>Pagurus</i> sp. ⁶ eremitkräftor	0,74	0,53	djup, geologi	0,80	0,66	djup, geologi, bank
<i>Echinus</i> spp. ⁷ sjöborrar	-			0,86	0,62	djup, geologi, bank
<i>Asterias rubens</i> vanlig sjöstjärna	-			0,79	0,92	djup, bank
<i>Marthasterias glacialis</i> taggig sjöstjärna	0,88	0,90	djup, geologi, bank	0,85	0,78	djup, geologi, bank
<i>Astropecten irregularis</i> kamstjärna	0,76	0,75	djup, geologi	0,87	0,85	djup, geologi, bank

¹*Desmarestia aculeata* och *D. viridis*; ²*Laminaria digitata* och *L. hyperborea*.

³*Pennatula phosphorea*, *Virgularia mirabilis* och *Virgularia* sp.; ⁴*Urticina eques* och *U. felina*.

⁵*Ascidia mentula*, *A. virginea*, *A. callosa* och *A. conchilega*; ⁶*Pagurus bernhardus* och obestämda *Pagurus*.

⁷*Echinus acutus* och *E. esculentus*.

I de fall där både CART och GAM gav modeller var modellernas kvalitet i externvalideringen i de flesta fall tämligen likvärdig mellan metoderna. I några fall var utvärderingen något bättre för CART och i andra fall något bättre för GAM. Undantaget är modellerna för två makroalger, där CART-modellerna fick betydligt sämre utvärdering, samt för två sjöstjärnor där CART-modellen i det ena fallet blev betydligt bättre och i det andra fallet betydligt sämre.

Av de tre prediktorvariablerna (djup, maringeologi och bank) var djup den enskilt viktigaste faktorn (Tabell 4 och Tabell 6). Djup kom med i samtliga modeller och hade ofta ett stort inflytande på den predikterade utbredningen. Den maringeologiska kartan kom med i samtliga modeller för ysubstrat men bara i omkring hälften av artmodellerna, något oftare i CART- än i GAM-modellerna. Exempelvis predikteras hårdbotten ("pebbles-boulders") vara vanligast på morän och äldre sediment och minst vanligt på postglaciala sediment. Ett liknande mönster är vanligt för många av de modellerade hårdbottenarterna, exempelvis makroalger. Faktorn bank, dvs. tillhörighet till en av de fem modellerade utsjöbankarna, kom med i en stor del av artmodellerna och i habitatmodellen. Om man jämför CART- och GAM-modellerna för en och samma art är det ofta, men inte alltid, samma faktorer som kommer med i modellerna.

Trots att CART- och GAM-modellerna i vissa fall skiljer sig åt i vilka faktorer som ingår är prediktionerna i de flesta fall lika i de stora dragen. På en detaljerad nivå finns dock en del skillnader, vilka till stor del förklaras av skillnader i modelleringsmetoderna. Vad gäller djuputbredningen predikterar GAM-modellerna en gradvis ökning eller minskning av sannolikheten för förekomst, medan CART predikterar skarpa gränser mellan djup där arten hittas med hög sannolikhet och där den inte finns. Detta beror på att GAM hittar en statistisk funktion mellan sannolikheten för förekomst och djupet (Figur 5B), medan CART delar in djupet i kategorier med låg eller hög sannolikhet (Figur 5A).

En konsekvens av metoden är att CART-modellen i flera fall hittar små avvikelser i djuputbredningen hos en art, exempelvis att den saknas eller är ovanlig i ett smalt djupintervall. Detta visar sig i prediktionerna genom band med avvikande hög eller låg sannolikhet som följer ett visst djup (se t.ex. Figur 11). I vissa fall kan dessa detaljer i djuputbredningen förklaras av artens ekologi, men i de flesta fall är det mer troligt att en lägre förekomstfrekvens inom ett smalt djupintervall uppkommer av en slump. Dessa mönster i CART-modellerna baseras oftast på ett fåtal datapunkter, där arten kan saknas därför att den har en fläckig utbredning eller att lämpligt substrat saknas lokalt. I jämförelse med CART ger GAM-modellerna en mer utslätad bild av djuputbredningen, i de fall då en art har en fläckvis utbredning predikterar den en något lägre sannolikhet över ett större djupintervall.

Smala band med avvikande sannolikhet är ett tecken på att med det dataunderlag vi haft tillgång till i denna studie tenderar CART oftare än GAM att överanpassa modellerna, dvs. att hitta detaljerade utbredningsmönster som finns i data men inte

i verkligheten. Det är möjligt att CART är mer känsligt än GAM för att datamaterialet är litet, vilket innebär att det ofta finns få datapunkter inom ett visst djupintervall, bank och bottentyp.

Att prediktionerna från CART och GAM för en och samma art skiljer sig i detaljerna, även då båda modellerna är bra eller till och med utmärkta enligt externutvärderingen, visar att det finns en osäkerhet på den lilla skalan i prediktionskartorna. Med undantag för uppenbara fall av överanpassning hos CART-modellerna är det omöjligt att säga vilken av prediktionerna som är mest korrekt i dessa fall. Däremot är likheten i de stora dragen ett tecken på att modellerna klarar av att återskapa de stora utbredningsmönstren med god precision.

Ett annat sätt att jämföra prediktionerna från CART och GAM är att jämföra frekvensen av predikterade förekomster, vilket kan visa om någon av metoderna systematiskt ger högre sannolikhet för förekomst än den andra. Detta gjordes genom att beräkna medelsannolikheten att hitta arten i hela området, dvs. summan av sannolikhetsvärdena för alla punkter i prediktionskartan dividerat med antalet punkter. Frekvensen av predikterade förekomster samt frekvensen i inventeringsdata visas i Tabell 7 för de arter som fick tillräckligt bra resultat i externvalideringen (se nedan). Även i denna jämförelse är prediktionerna från GAM och CART mycket lika. Det enda undantaget är prediktionerna för taggig sjöstjärna (*Marthasterias glacialis*), där modellerna också skiljde sig kraftigt i externutvärderingen. Detta förstärker intrycket av att prediktionskartorna ger en god bild av den faktiska förekomsten av arterna, även om detaljutbredningen är något mer osäker.

Däremot skiljer sig den predikterade frekvensen från den observerade i många fall (Tabell 7). Arter knutna till grunda hårdbottnar (makroalgerna och hästmussla) har konsekvent en lägre predikterad än observerad frekvens, medan det omvända gäller för arter knutna till sedimentbottnar (sjöpennor och sjöstjärnan *Astropecten irregularis*). Denna skillnad visar att inventeringspunkterna inte är slumpmässigt fördelade i relation till miljövariablerna, grunda hårdbottnar är överrepresenterade i inventeringen i förhållande till hur vanlig denna bottentyp är. Konsekvensen av denna obalans i provtagningen är att det inte går att använda den observerade frekvensen av en art i inventeringsdata för att säga något om hur utbredd arten är i ett område. En av styrkorna med modellering av arters utbredning är att det ger en sannare bild av den faktiska frekvensen i hela området. Skillnaden kan illustreras av ett enkelt räkneexempel. Om man utgår direkt från inventeringsdata och multiplicerar med den totala ytan på de inventerade bankarna (322 km²) blir den beräknade ytan med förekomst av sjöpennor (Pennatulacea) 87 km². Om man utgår från prediktionerna blir den beräknade ytan istället 151 eller 155 km².

Prediktionerna från de modeller som fick ett tillräckligt bra resultat i externutvärderingen beskrivs närmare i avsnitt 3.2. Gränsen för tillräckligt bra sattes till 0,7 för GAM-modellerna och 0,8 för CART-modellerna. Vi valde en högre gräns för CART-modellerna för att minska risken för att få med överanpassade modeller. För

flera arter finns prediktioner från både CART och GAM. Ett sätt att använda de två kartorna är att jämföra i vilka delar de stämmer överens och i vilka de inte gör det. De mönster som kommer igen i båda prediktionerna kan betraktas som säkrare än de mönster som bara visas av den ena prediktionen.

Tabell 7 Observerad frekvens i inventeringsdata (obs) och frekvensen av predikterade förekomster i CART (PredCART) och GAM (PredGAM) för de arter som gav bra modeller.

Taxon	Obs	PredCART	PredGAM
<i>Desmarestia</i>	0,43	0,31	0,31
<i>Laminaria</i>	0,40	0,31	0,29
<i>Saccharina</i>	0,37	0,28	0,30
<i>Brongniartella</i>	0,34		0,23
<i>Corallina</i>	0,19	0,11	0,10
<i>Delesseria</i>	0,52	0,39	0,38
<i>Dilsea</i>	0,25	0,20	0,19
<i>Phycodrys</i>	0,49		0,33
<i>Urticina</i>	0,09		0,08
Pennatulacea	0,27	0,47	0,48
<i>Modiolus</i>	0,13		0,07
<i>Ascidia</i>	0,12		0,11
<i>Asterias</i>	0,79		0,58
<i>Marthasterias</i>	0,49	0,64	0,50
<i>Astropecten</i>	0,34		0,58

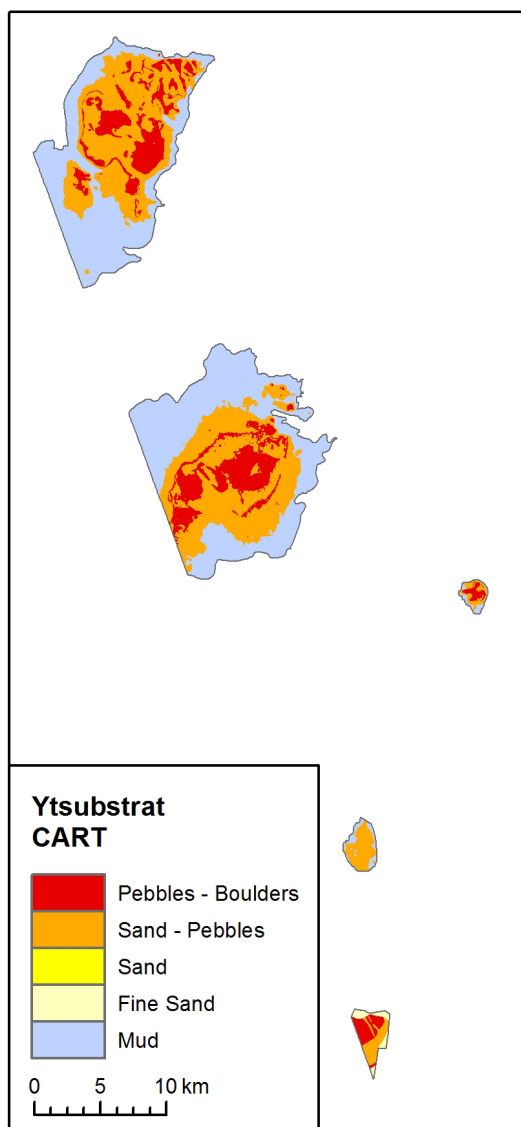
3.2 Beskrivning av utbredningskartorna

3.2.1 Ytsubstrat

Den predikterade utbredningen av ytsubstrat enligt EUNIS visas i Figur 6. Modellen predikterar att de grundaste delarna av bankarna täcks av klassen ”pebbles-boulders” (heterogen hårbotten), djupare områden av ”sand-pebbles” (heterogen grovsedimentbotten) och de allra djupaste av ”mud” (lera). Det smala bandet med ”pebbles-boulders” på 20 m djup på Fladen och Lilla Middelgrund är troligen en artefakt, men kan tolkas som att det finns en del områden med denna substrattyp inom de områden som predikteras som ”sand-pebbles”. Detta visas även av utvärderingen av modellen (Tabell 5); en stor del av observationerna av ”pebbles-boulders” predikterades felaktigt som ”sand-pebbles”. På motsvarande sätt innehåller det som visas som ”sand-pebbles” och ”mud” i kartan även en del rena sandbottnar (klasserna ”sand” och ”fine sand”). De senare två klasserna predikteras bara finnas i liten utsträckning på Stora Middelgrund, men de förekommer även fläckvis på de andra bankarna, framförallt på de delar av bankarna som anges som ”sand-pebbles” eller ”mud” på prediktionskartan.

3.2.2 Övergripande EUNIS-klasser

Utifrån den framtagna kartan över ytsubstrat har vi kategoriserat bottenarna på bankarna enligt EUNIS-systemet, ned till nivå 3 (Figur 7). Substratklasserna är ”översatta” till EUNIS-substrat enligt Tabell 8. De dataskikt som behövs för att göra en karta över EUNIS-klasser till denna nivå är, förutom ytsubstrat, även vågexponering samt utbredningen av de biologiska zonerna ”infralittoral” och ”circularlittoral”. Infralittoralen utgör den övre delen av zonerings som domineras av alger och högre växter, medan circularlittoralen innefattar de djupare, djurdominerade zonerna där växtligheten glesas ut därför att tillgången på ljus blir begränsande. Data på vågexponering är tagna från SAKU (Naturvårdsverket 2006, a). De undersökta bankarna ligger i sin helhet i klassen hög exponering (”high energy”). För avgränsningen av infra- och circularlittoral har vi följt samma metod som använts för kartläggning av marina EUNIS-habitat i nordvästra Europa inom MESH-projektet (Coltman et al. 2008). I detta arbete har man satt gränsen vid utbredningsgränsen för tarehabitat. För att komma så nära denna metod som möjligt begränsade vi infralittoralen så att 95 % av samtliga observationer av tare låg inom detta djupintervall. Anledningen till att vi uteslöt de 5 % av tareförekomsterna som låg djupast var att minska risken för att gränsen skulle sättas av enstaka extrema observationer utanför tarearternas naturliga utbredning. Med denna metod sattes gränsen mellan ”infra-” och ”circularlittoral” vid 22 m djup.



Figur 6. Den predikterade utbredningen av ytsubstrat enligt EUNIS-systemet.

Tabell 8. Översättningstabell från de modellerade substratklasserna till EUNIS-klasser.

Substratklass modellering	Substratklass enligt EUNIS
Pebbles-boulders	Rock/Reef ¹
Sand-pebbles	Coarse sediment
Sand	Coarse sediment
Fine sand	Sands and muddy sands
Mud	Muds and sandy muds

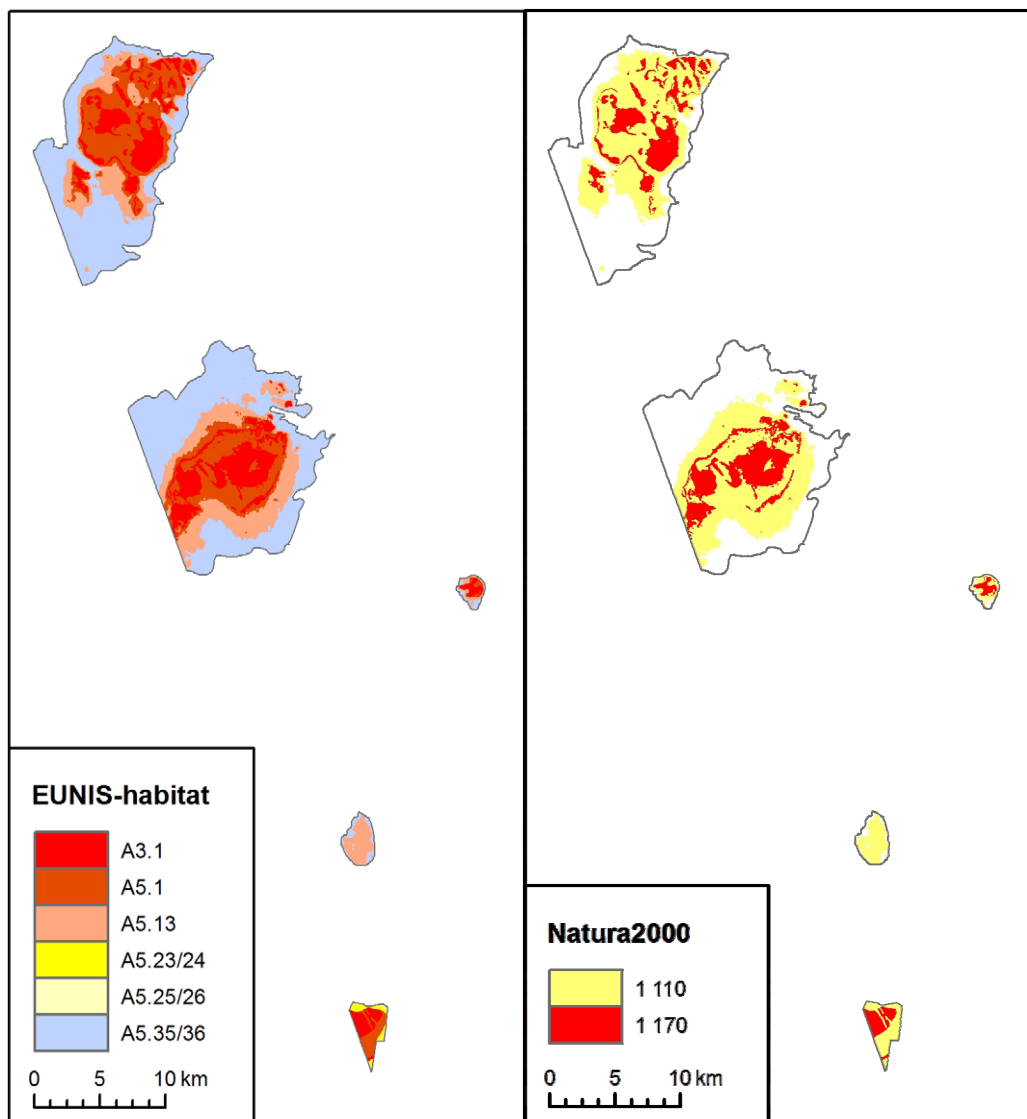
¹ Mosaik med "Coarse sediment" kan förekomma.

3.2.3 Naturtyper enligt Natura 2000

De naturtyper som förekommer på utsjöbankarna är *Rev 1170* och *Sublittorala sandbankar 1110*. Enligt EU-definitionen utgörs rev av stabilt hårt substrat (berggrund, block eller sten) som höjer sig över omgivande botten och karaktäriseras av makroalgsamhällen och hårbottendjur som blåmusslor, svampdjur och mossdjur. Sublittorala sandbankar ska enligt EU-definitionen huvudsakligen bestå av sandiga sediment, även om grövre (sten och block) och finare (lera) kornstorlekar även kan förekomma. En rimlig tolkning av detta är att avgränsade grundområden där hårbotten dominerar klassas som rev, medan områden med en lägre täckningsgrad av hårbotten klassas som sublittorala sandbankar så länge inte inslaget av finsediment (silt och lera) blir för stort.

I den första rapporten från utsjöbanksinventeringen klassades utsjöbankarna i Kattegatt som sublittorala sandbankar. Denna klassning baserade sig på den marin-geologiska kartan och hade utgångspunkten att bara bottnar med fast berggrund enligt den geologiska kartan skulle klassas som rev. De biologiska inventeringarna visar dock att det är vanligt med ett stort inslag av hårbotten på delar av dessa bankar, speciellt i grunda delar där vågorna har svallat bort finare material och lämnat kvar block och stora stenar. För att skapa en bättre klassning av naturtyper har vi därför använt den predikterade utbredningen av dominans av ”pebbles-boulders” för att ange utbredningen av Rev 1170. På motsvarande sätt används utbredningen av substratklasserna ”sand-pebbles”, ”sand” och ”fine sand” för att ange utbredningen av Sublittorala sandbankar 1110.

Den resulterande kartan över naturtyper enligt Natura 2000 visas i Figur 7. Kartan visar att alla bakarna utom den djupt liggande Röde bank har betydande områden med Rev, även om de största områdena finns på Fladen och Lilla Middelgrund. Det smala bandet med Rev på 20 m djup på Fladen och Lilla Middelgrund är troligen en artefakt.



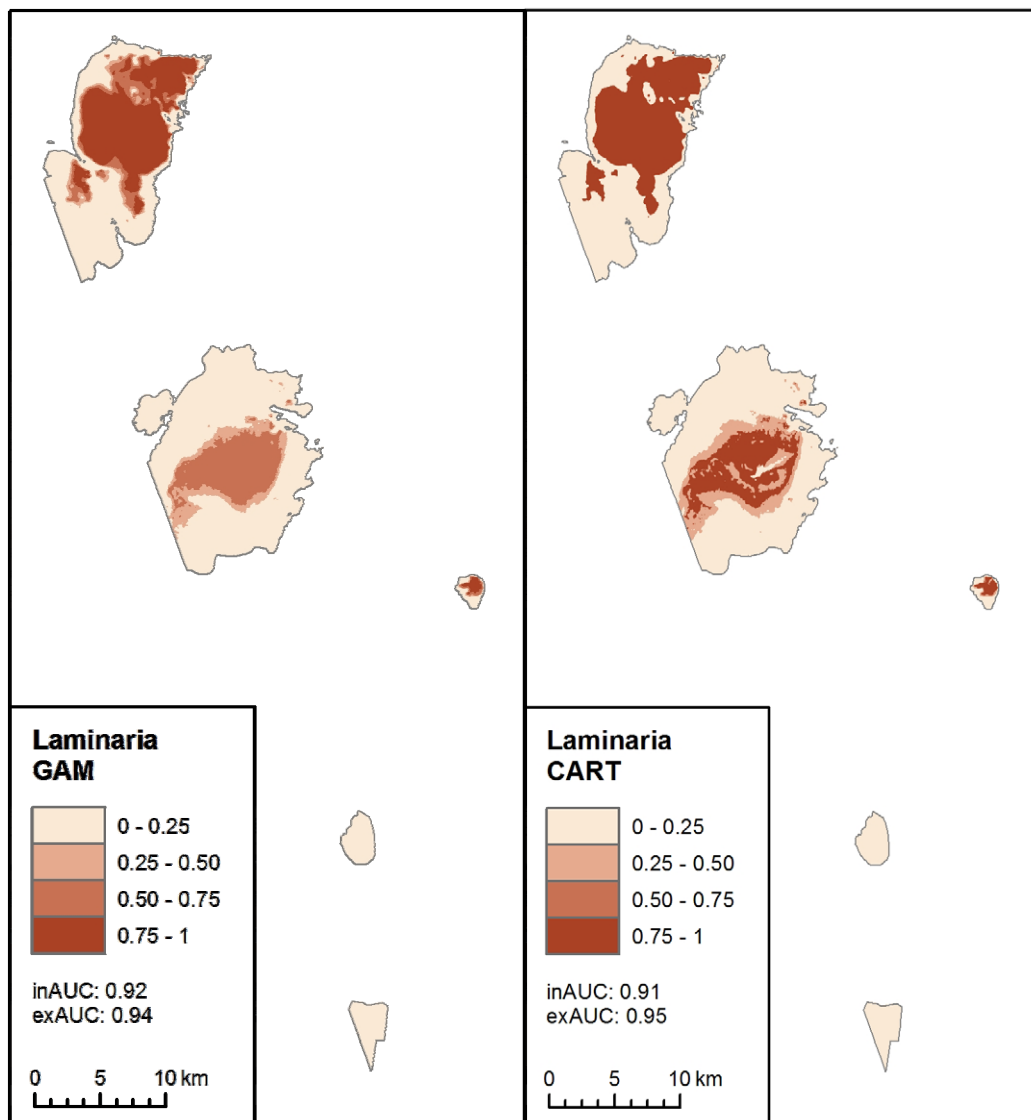
Figur 7. (Vänster) EUNIS-habitat på utsjöbankarna i Kattegatt. Se Tabell 9 för förklaring av habitatkoderna. Klassificeringen bygger på den predikterade utbredningen av ytsubstrat (Figur 6), djuputbredningen av tarearter samt vågexponering enligt SWM. (Höger) Utbredningen av naturtyperna Sublittoral sandbankar(1110) och Rev (1170) på utsjöbankarna i Kattegatt.

Tabell 9. Förklaring av koderna för EUNIS-habitat (Figur 7).

Kod	Beskrivning
A3.1	High energy infralittoral rock
A5.12	Infralittoral coarse sediment
A5.13	Circalittoral coarse sediment
A5.23/24	Infralittoral sand/muddy sand
A5.25/26	Circalittoral sand/muddy sand
A5.35/36	Circalittoral mud/sandy mud

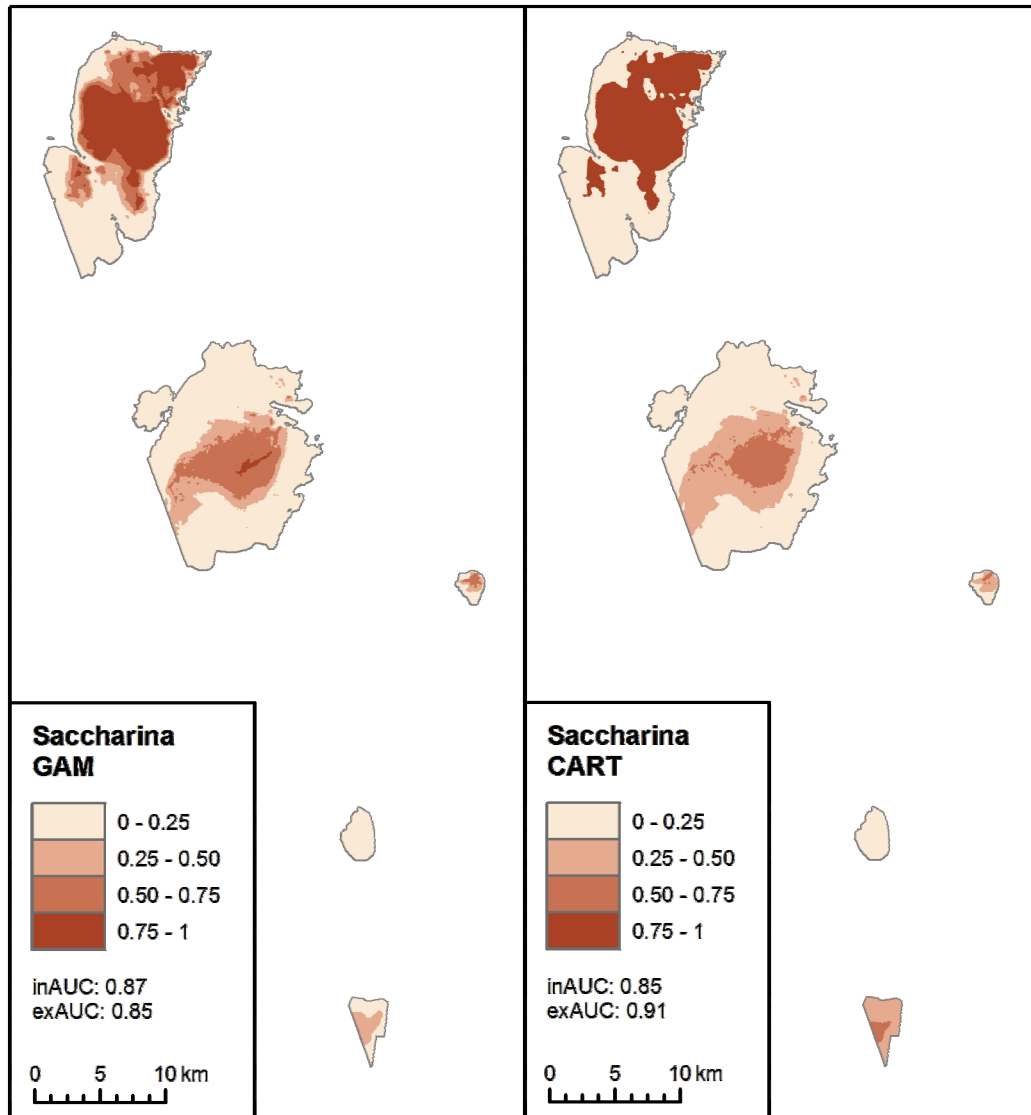
3.2.4. Makroalger

På flera av bankarna hittades välväxta skogar av tarearterna *Laminaria digitata* (fingertare), *L. hyperborea* (stortare) och *Saccharina latissima* (skräppetare), vilka utgör ett viktigt habitat för många andra arter. Finger- och stortare modellerades tillsammans eftersom arterna inte alltid skiljdes åt i inventeringarna. Prediktionerna från både GAM- och CART-modellerna visar att arterna är vanligast i grunda områden (ned till 15-20 m) och att sannolikheten för förekomst minskar med djupet (Figur 8, Figur 9). CART-modellen för *Laminaria* spp. indikerar att dessa arter saknas eller förekommer sparsamt i de allra grundaste delarna (<10 m djup), medan



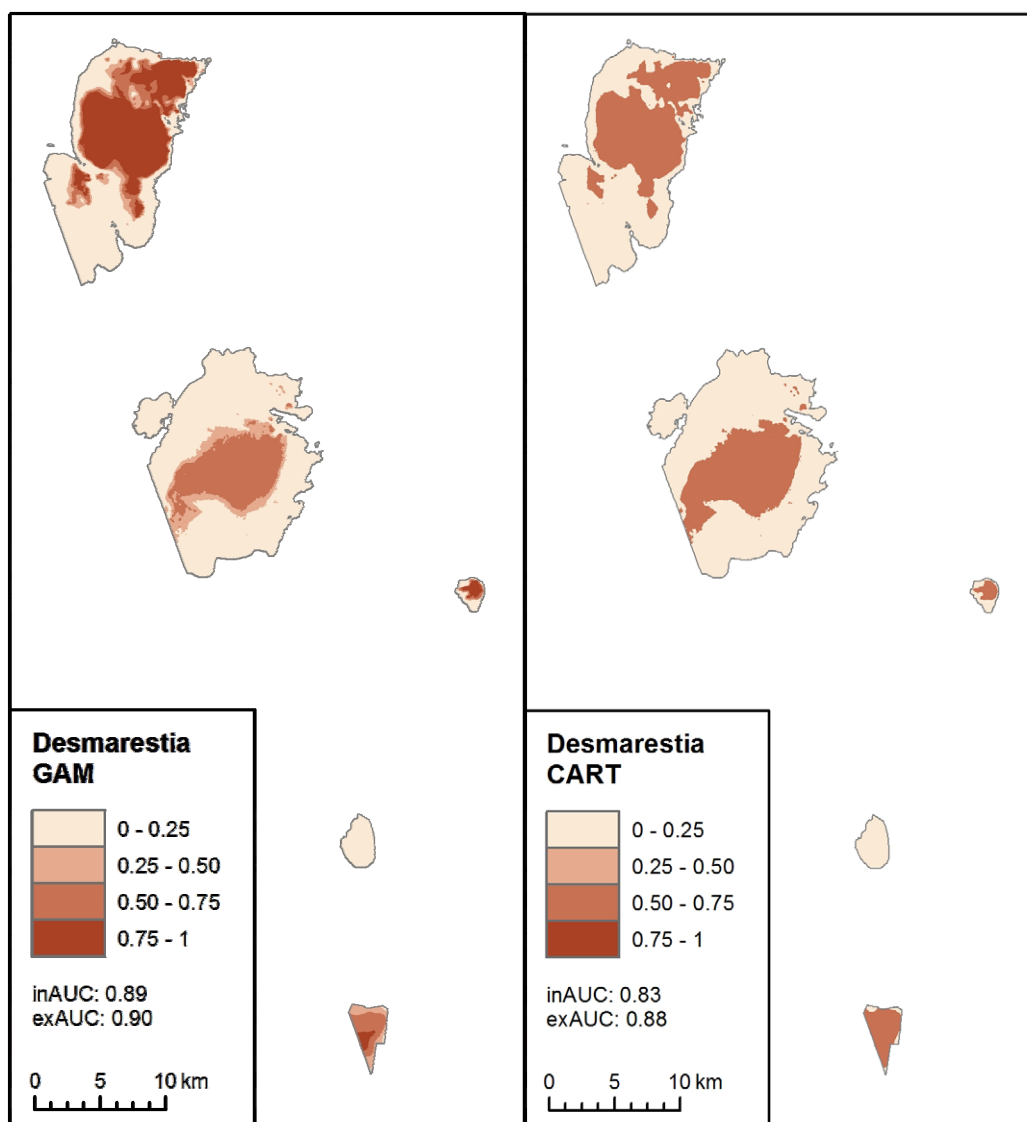
Figur 8. Sannolikheten för förekomst av brunalgerna *Laminaria digitata* och *L. hyperborea* (finger- och stortare) på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

GAM-modellen inte visar något sådant mönster. Det är möjligt att de allra grundaste delarna istället domineras av *Saccharina latissima*, men avsaknaden av *Laminaria* på dessa djup i CART-prediktionen kan också vara en artefakt orsakad av det finns så få inventeringspunkter i detta djupintervall. Om man jämför förekomsten av tarearterna på ett och samma djup mellan de olika bankarna är alla tre arterna vanligast förekommande på Fladen och betydligt mindre vanliga på Stora Middelgrund och Röde bank jämfört med alla andra bankar.



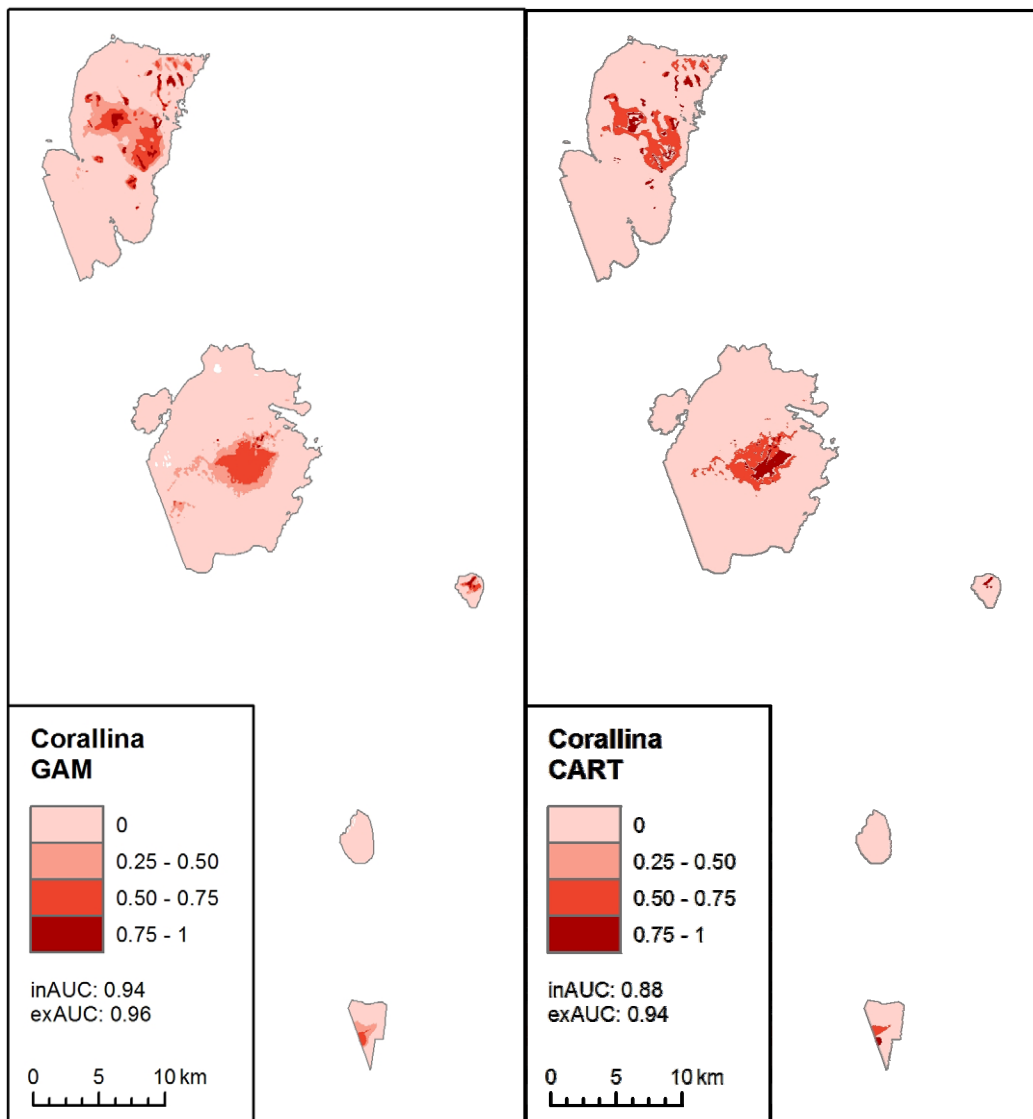
Figur 9. Sannolikheten för förekomst av brunalgen *Saccharina latissima* (skräppetare) på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

En annan brunalgsgrupp som var vanligt förekommande på utsjöbankarna var de fleråriga arterna *Desmarestia aculeata* och *D. viridis* (styvt och mjukt kärringhår), vilka modellerades tillsammans. Deras utbredningsmönster är mycket likt utbredningen av tarearterna, med skillnaden att de är mer vanligt förekommande på Stora Middelgrund (Figur 10).



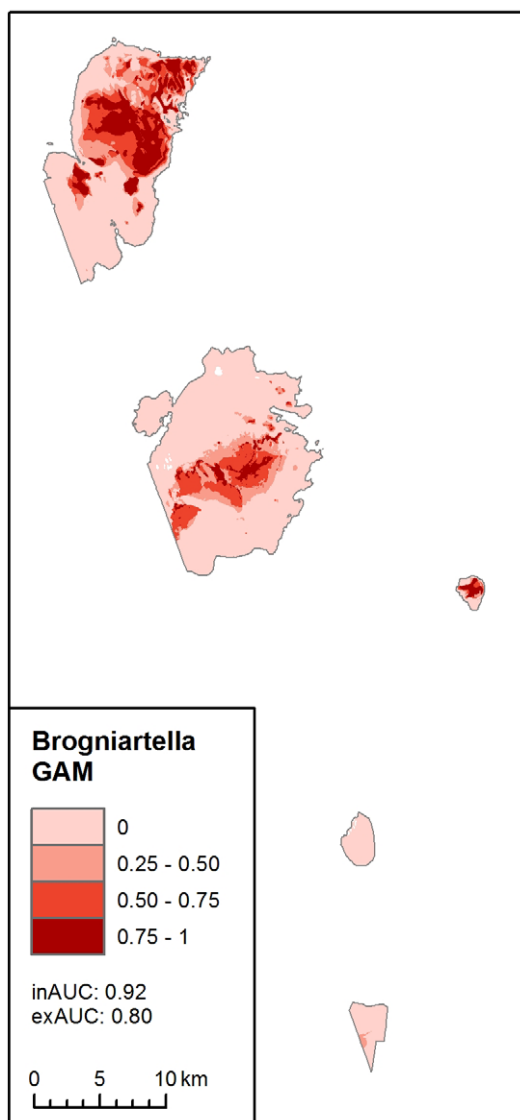
Figur 10. Sannolikheten för förekomst av brunalgerna *Desmarestia aculeata* och *D. viridis* (styvt och mjukt kärringhår) på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

Förutom brunalgerna är ett antal rödalger karaktärsarter för algsamhällena på utsjöbankarna. Den kalkinlagrande rödalgen *Corallina officinalis* (korallalg) förekommer framförallt på moränbottnar grundare än 13 m (Figur 11). Utbredningskartorna från GAM- och CART-modellerna är lika i de stora dragen, men skiljer sig i detaljer. Eftersom modellerna är likvärdiga i externvalideringen är det svårt att säkert veta vilken av prediktionerna som är mest korrekt. Vissa detaljer i CART-prediktionen är troligen artefakter, exempelvis den smala remsan med låg sannolikhet på runt 11 m djup på Fladen och Lilla Middelgrund.



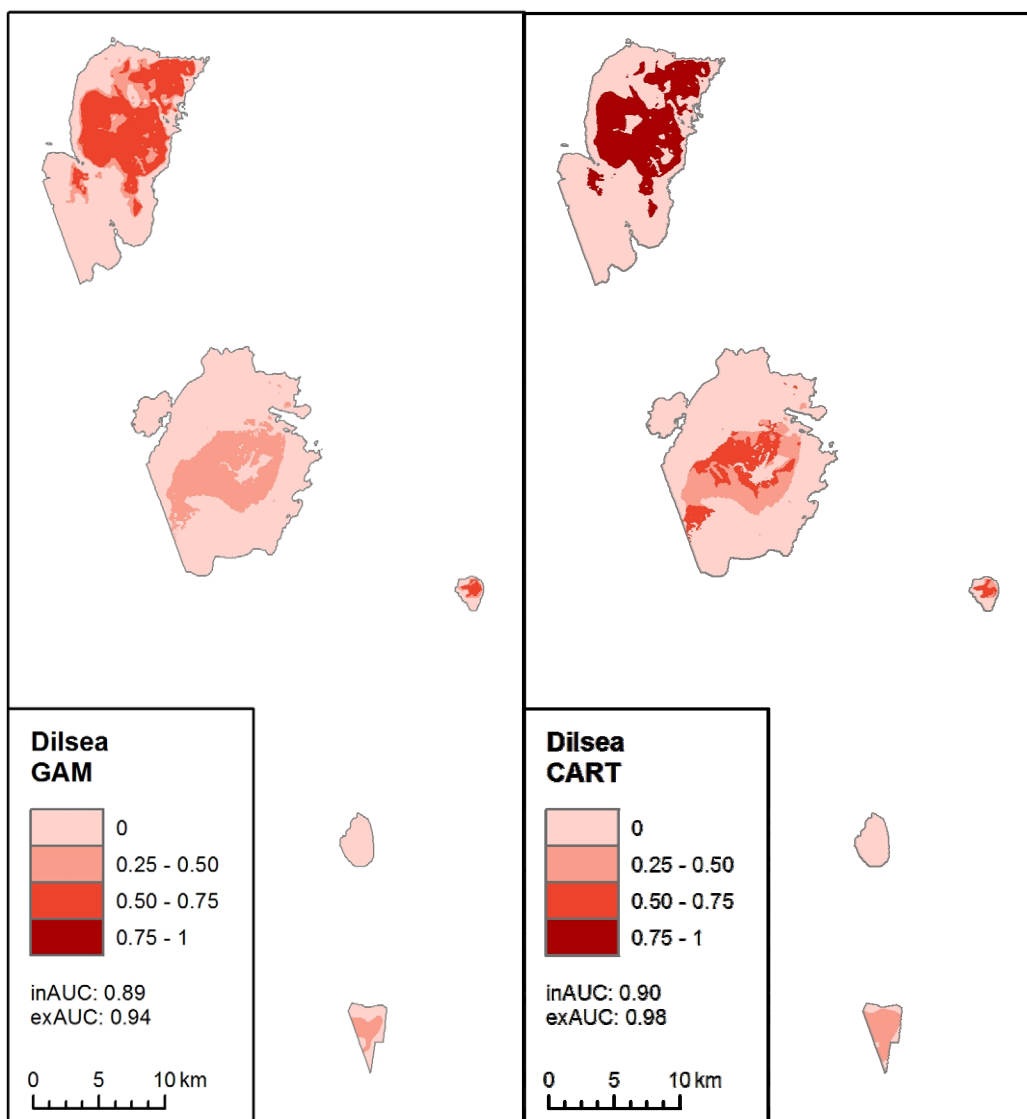
Figur 11. Sannolikheten för förekomst av rödalgen *Corallina officinalis* (korallalg) på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

Även den trådformiga rödalgen *Brogniartella byssoides* (julgransalg) är vanligast i områden grundare än 15-20 m (Figur 12). CART-modellen för denna art bedömdes vara för svag i externvalideringen, så bara prediktionen från GAM-modellen visas.



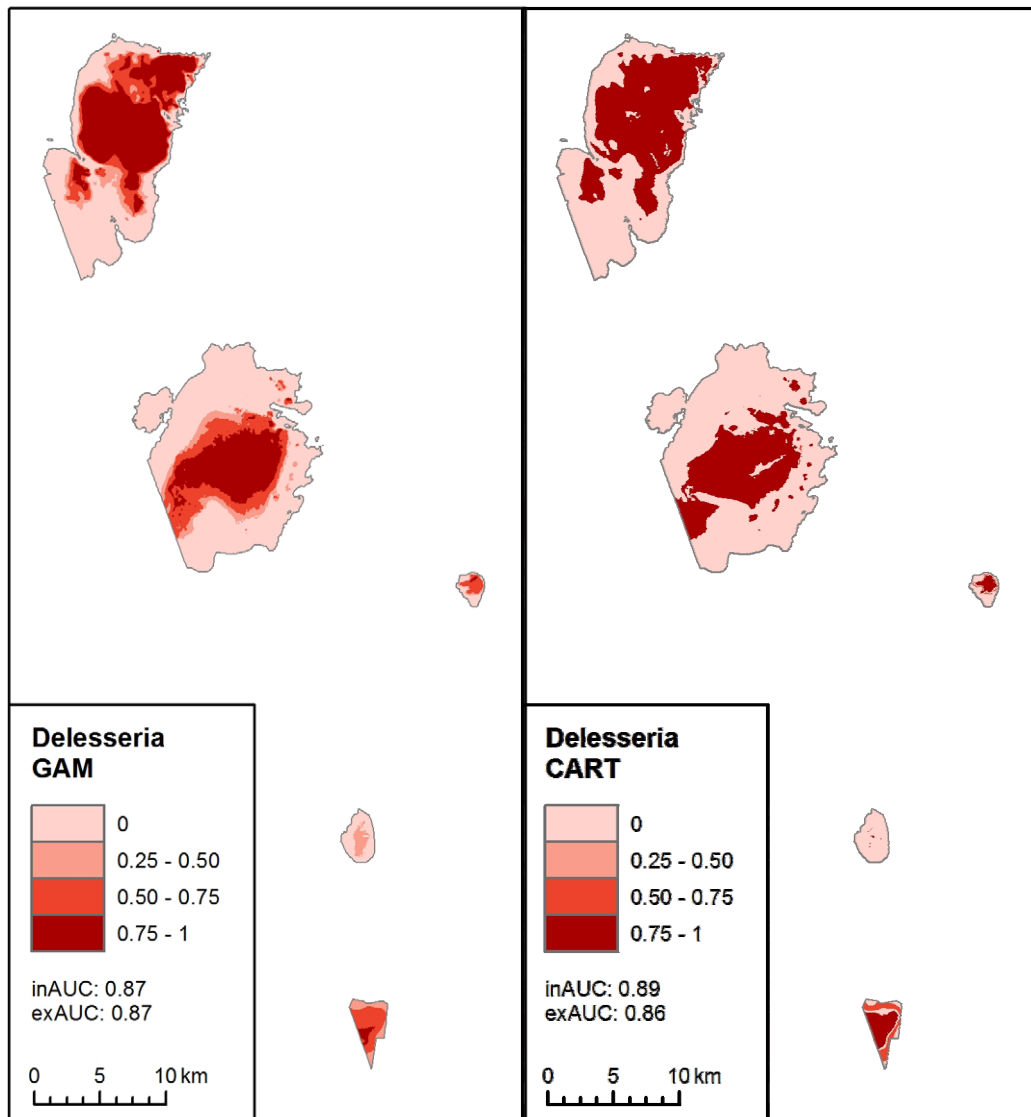
Figur 12. Sannolikheten för förekomst av rödalgen *Brogniartella byssoides* (julgransalg) på utsjöbankarna i Kattegatt. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

Den bladformiga *Dilsea carnosa* (köttblad) har däremot låg sannolikhet för förekomst i de grundaste områdena, över ca 11 m djup (Figur 13). Liksom de flesta andra algarter är den vanligast förekommande på Fladen. Prediktionerna från GAM och CART visar samma utbredningsmönster, men CART-modellen predikterar generellt högre sannolikheter.



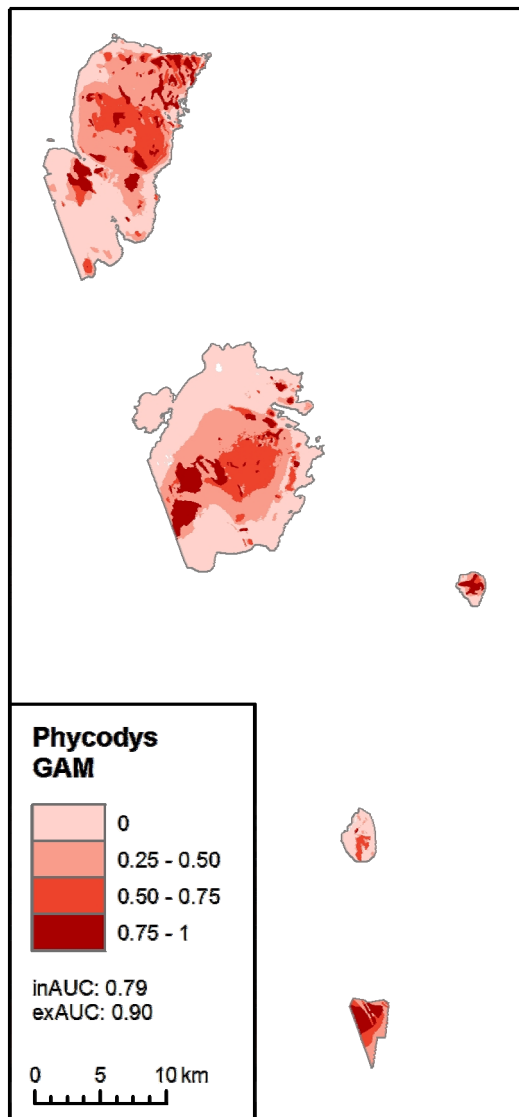
Figur 13. Sannolikheten för förekomst av rödalgen *Dilsea carnosa* (köttblad) på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

De två bladformiga rödalgerna *Delesseria sanguinea* (ribbeblad) och *Phycodrys rubens* (ekblading) är de upprättväxande algarter som hittades allra djupast i inventeringen, ned till 28 m djup (förutom ett enstaka fynd av *Phycodrys rubens* på 35 m djup). Prediktionerna visar också att dessa arter är vanliga i ett större djupintervall, från de grundaste delarna ned till en bit under 20 m (Figur 14, Figur 15). I grundare områden är sannolikheten hög att hitta arterna oavsett botten typ enligt den geologiska kartan. På större djup är sannolikheten i flera fall större på bottenar med morän och/eller äldre sediment, vilket överensstämmer med de bottenar där sannolikheten är hög att hårdbotten ("pebbles-boulders") dominerar. Detta gäller för prediktionen från CART-modellen för *Delesseria*, som hittas djupare på moränbottenar än



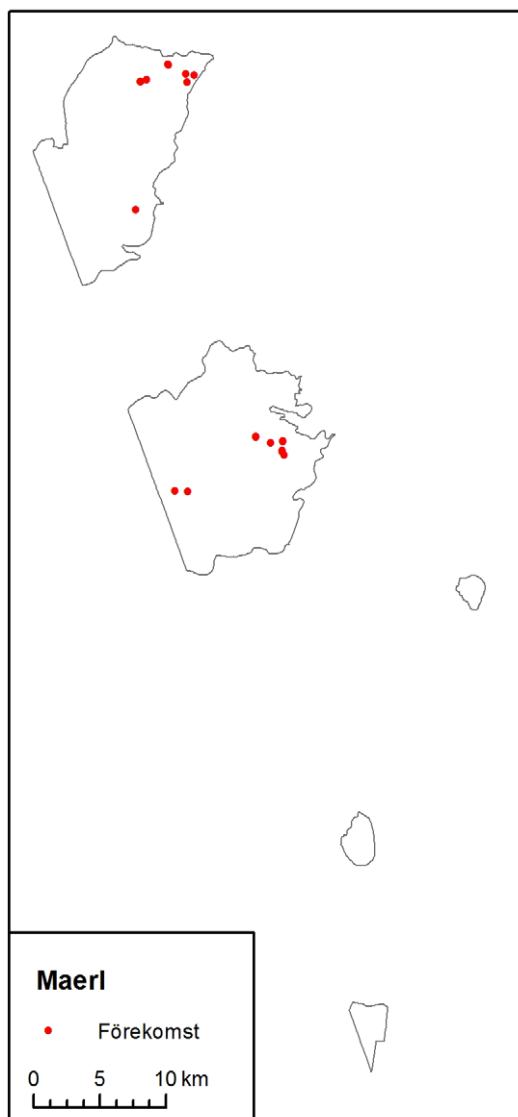
Figur 14. Sannolikheten för förekomst av rödalgen *Delesseria sanguinea* (ribbeblad) på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

på andra botten typer. Betydelsen av botten typ är ännu större i GAM-modellen för *Phycodrys*, som visar att på moränbottenar hittas arten med stor sannolikhet ända ned till 28 m djup. Prediktionerna från GAM och CART för *Delesseria* överensstämmer i stora drag, men även här finns skillnader i detaljer. CART-modellen predikterar exempelvis att sannolikheten för förekomst av arten är låg i de allra grundaste delarna (<10 m) och i ett smalt band på runt 19 m djup på Morups bank och Stora Middelgrund. Den låga sannolikheten i grunda områden kan motsvara artens verkliga utbredning, men det andra exemplet är med största sannolikhet en artefakt som beror på att modellen bygger på relativt få inventeringspunkter. CART-modellen för *Phycodrys* bedömdes vara för svag i externvalideringen, så bara prediktionen från GAM-modellen visas.



Figur 15. Sannolikheten för förekomst av rödalgen *Phycodrys rubens* (ekblading) på utsjöbankarna i Kattegatt. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

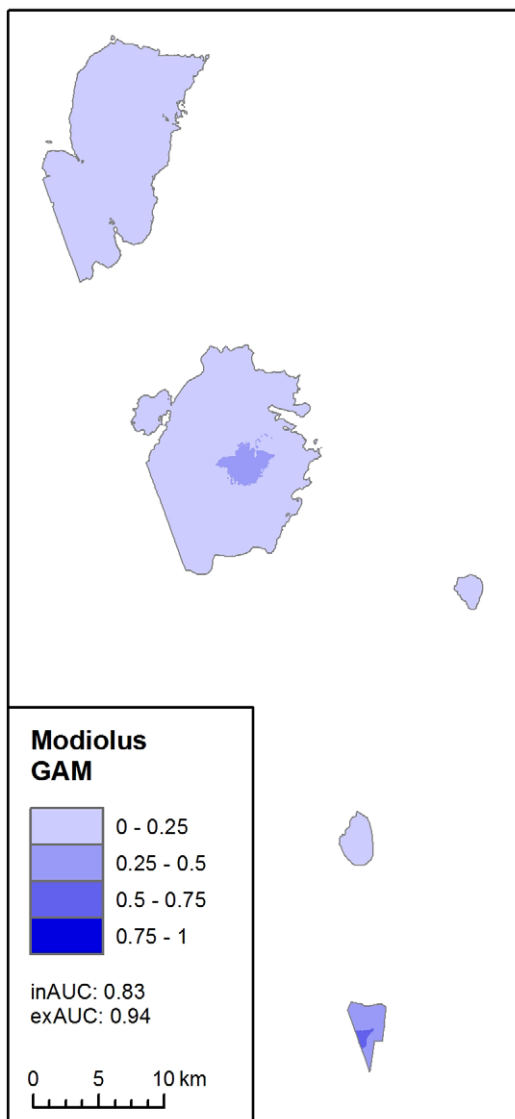
På Fladen och Norra Middelgrund hittades förekomst av **maerl** (*Phymatolithon calcareum*), en kalkinlagrande rödalga som växer lösliggande och kan bilda tjocka mattor i områden med god vattenomsättning. Maerl är ett viktigt habitat med betydelse för många arter och upptaget på OSPARs lista över hotade naturtyper. Den rika förekomsten av maerl på dessa bankar är unik för Sverige (Naturvårdsverket 2006). Förekomsten av maerl var för låg för att utbredningen skulle gå att modellera. Istället redovisas förekomsten i inventeringsdata som en punktkarta (Figur 16). Hög täckningsgrad av maerl hittades främst på intermediära djup (18-20 m) på Lilla Middelgrund, i områden som predikterades som ”pebbles-boulders” och ”sand-pebbles” i substratkartan.



Figur 16. Förekomst av maerl (*Phymatolithon calcareum*) i inventeringarna.

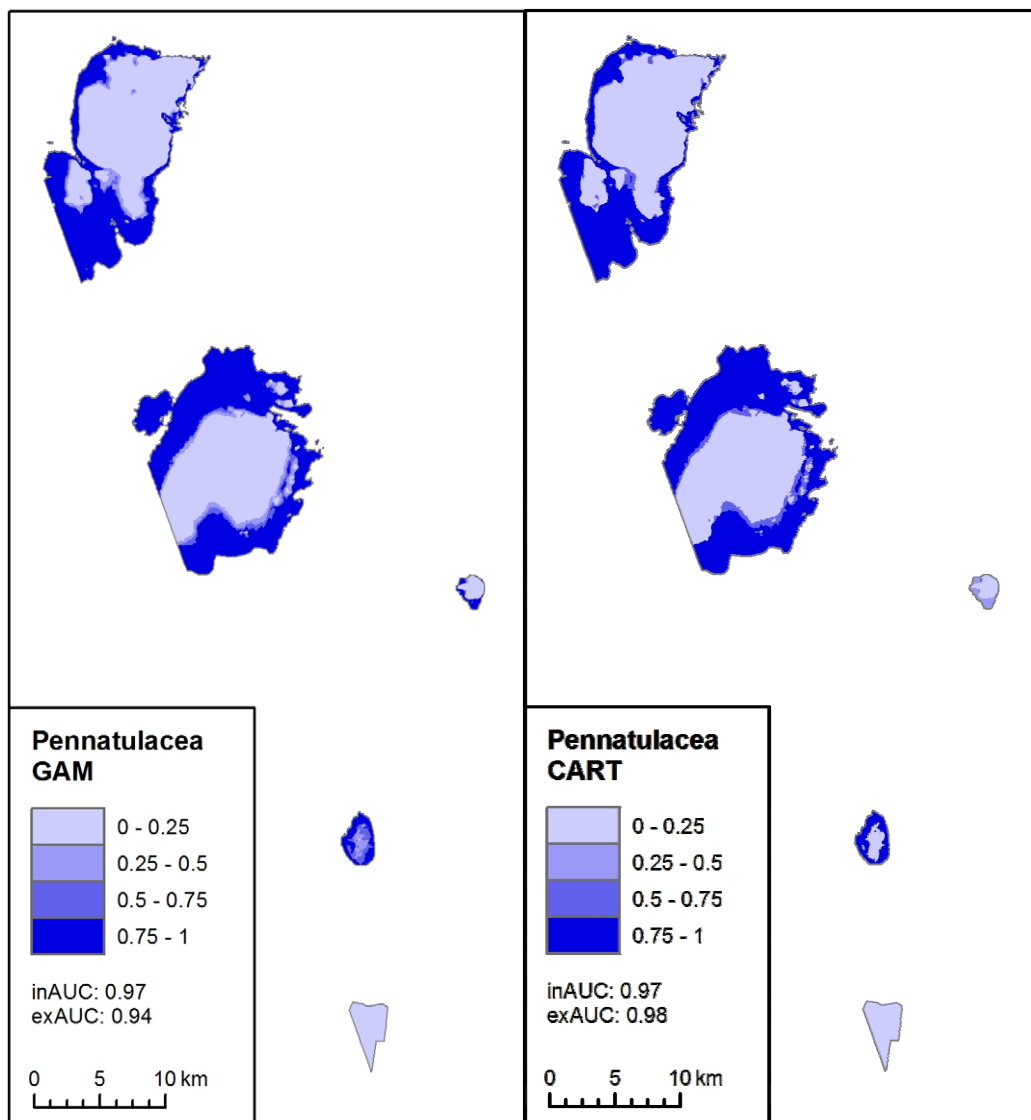
3.2.5 Fastsittande djur

Musslan *Modiolus modiolus* (hästmussla) är en ekologiskt viktig art genom att den bygger upp musselbankar som utgör ett viktigt habitat för många andra arter. Modiolus-bankar är intressanta ur naturvårdssynpunkt, dels eftersom de ofta utgör ett mycket artrikt habitat och dels eftersom habitatet har minskat och finns upptaget på OSPARs lista över hotade miljöer. I inventeringen hittades hästmussla nästan uteslutande på Stora och Lilla Middelgrund (en förekomst gjordes på Fladen och en på Morups bank). Detta återspeglas i prediktionen från GAM, där hög sannolikhet för förekomst (>50 %) predikteras på den grundaste delen av Stora Middelgrund (ned till 15 m) och en viss sannolikhet på djupare delar av Stora Middelgrund och grunda delar av Lilla Middelgrund (Figur 17). CART gav ingen modell för *Modiolus*.



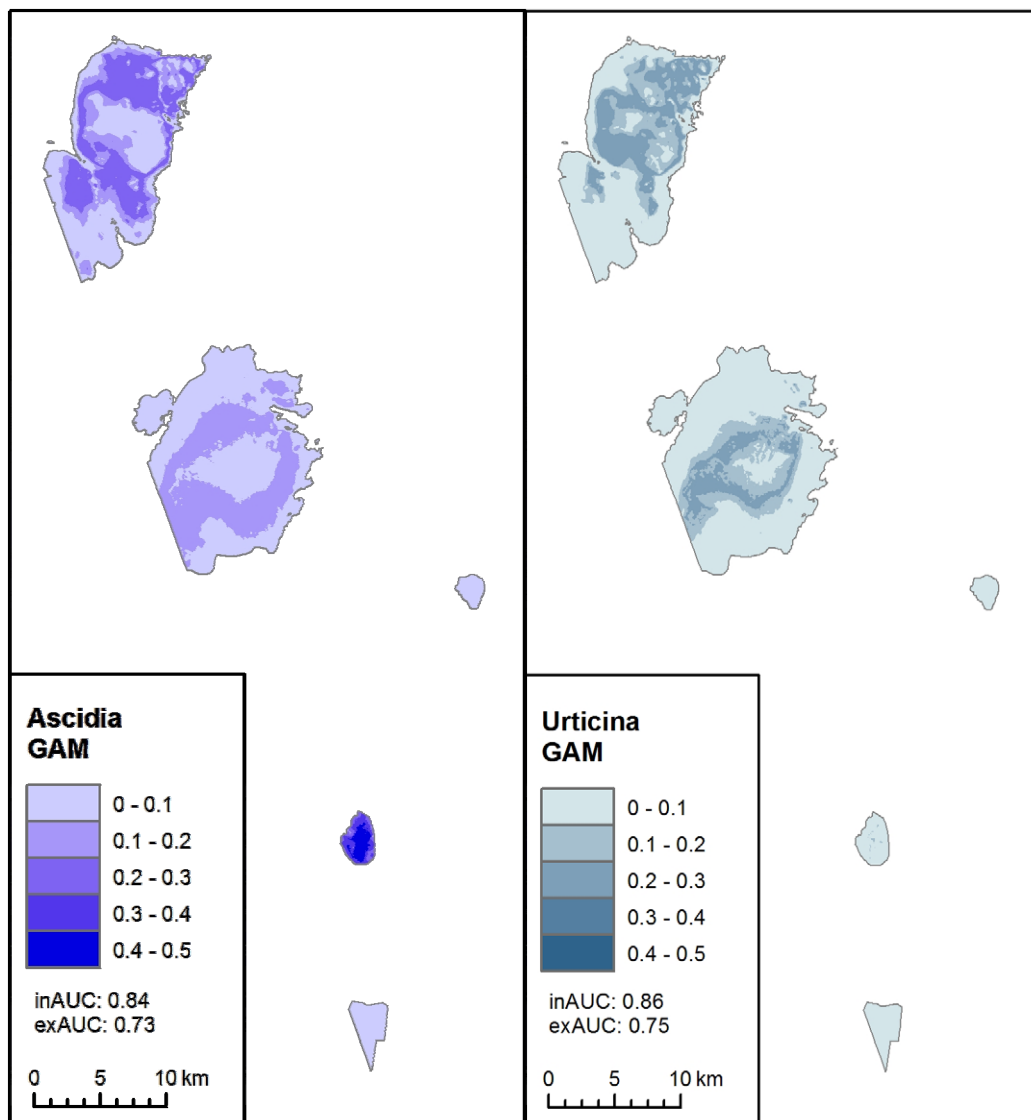
Figur 17. Sannolikheten för förekomst av *Modiolus modiolus* (hästmussla) på utsjöbankarna i Kattegatt. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

Gruppen **sjöpennor** innehåller arterna *Pennatula phosphorea*, *Virgularia mirabilis* och *Virgularia* sp., vilka modellerades tillsammans. Rika samhällen av sjöpennor hittas ofta på mjukbottnar som påverkas av stora grävande kräftdjur, exempelvis havskräfta. De påverkas negativt av trålning och habitatet "sjöpennor och grävande megafauna-samhällen" är upptaget på OSPARs lista över hotade miljöer. Gemensamt för arterna är att de är knutna till djupa mjukbottnar. Detta avspeglas i prediktionerna, som visar att gruppen är vanligast i de djupaste delarna av utsjöbankarna (Figur 18). Prediktionerna från CART och GAM överensstämmer mycket väl, förutom på Morups bank där CART predikterar att sannolikheten är låg i djupa områden. Detta mönster bygger dock på en enda inventeringspunkt där sjöpennor saknas på 27 m djup och bedöms därför vara en artefakt i modelleringen.



Figur 18. Sannolikheten för förekomst av sjöpennor (Pennatulacea) på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

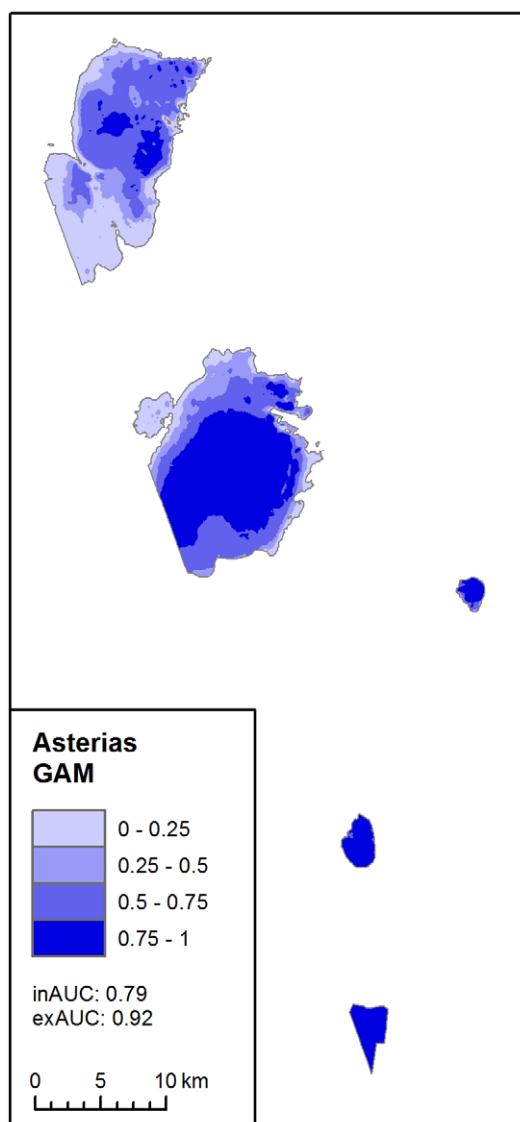
Släktena *Ascidia* (sjöpungar) och *Urticina* (havsanemoner) förekom båda gles i inventeringen (hittades i 12 respektive 8 % av inventeringspunkterna). Båda släktena gick att modellera med GAM, men externutvärderingen visar att modellerna är av intermediär kvalitet och ska tolkas med viss försiktighet. CART gav inga modeller för dessa släkten. Sjöpungar av släktet *Ascidia* är karaktärsarter för djupa hårdbottnar, under makroalgsbältet. Prediktionen visar att sannolikheten att hitta *Ascidia* är störst på Röde bank och närmast på Fladen (Figur 19), vilket också stöds av antalet förekomster i inventeringen. Inom bankarna är de vanligast på intermediära djup, mellan ca 18 och 26 m, dvs. under den makroalgsdominerade zonen. *Urticina* är vanligast på något mindre djup (15-20 m) och på Fladen och Lilla Middelgrund (Figur 19).



Figur 19. Sannolikheten för förekomst av *Ascidia* (vänster) och *Urticina* (höger) på utsjöbankarna i Kattegatt. Observera att skalan skiljer sig från övriga figurer. Skalan är vald eftersom sannolikheten för förekomst är under 50 % i hela området. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

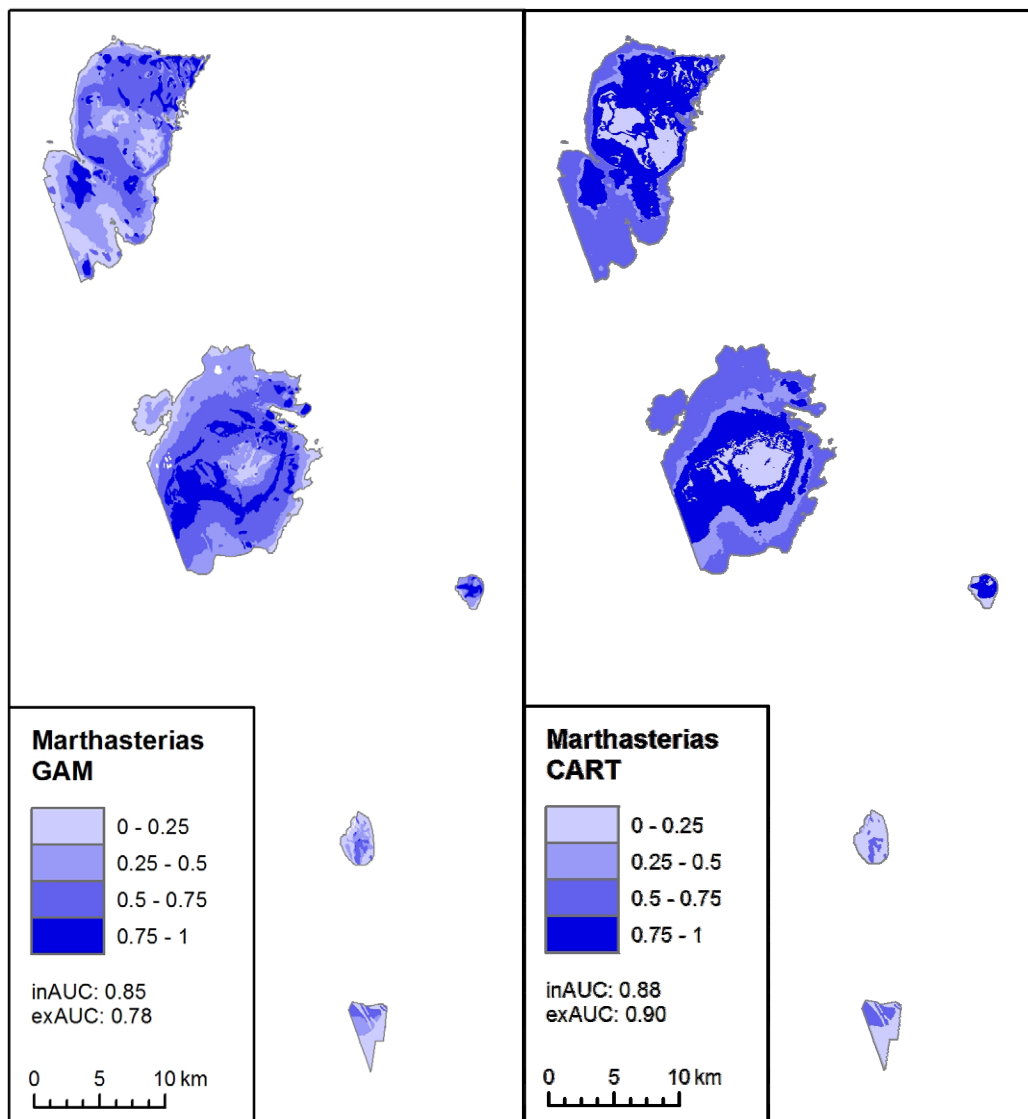
3.2.6 Rörliga djur

De enda rörliga djur som gav tillräckligt bra modeller var tre arter av sjöstjärnor. *Asterias rubens* (vanlig sjöstjärna) var den vanligaste förekommande arten i inventeringen, hittad i 80 % av alla inventeringspunkter. Prediktionen från GAM visar att det är mycket stor sannolikhet att hitta arten på hela bankarna, förutom i de allra djupaste delarna (Figur 20). Det enda undantaget är Fladen, där sannolikheten att hitta *Asterias* är betydligt lägre utom i de allra grundaste delarna. CART gav ingen modell för *Asterias*.



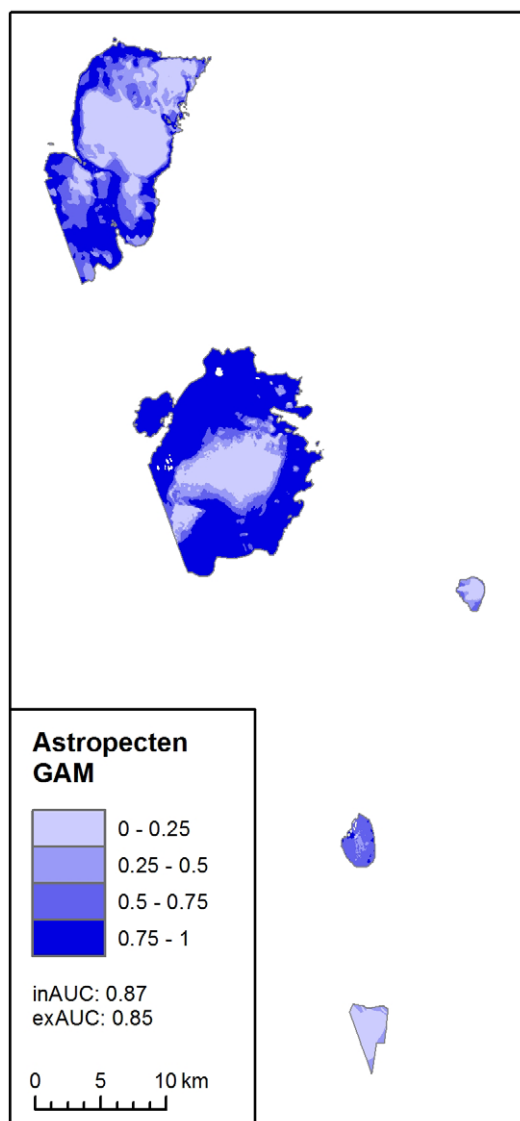
Figur 20. Sannolikheten för förekomst av sjöstjärnan *Asterias rubens* på utsjöbankarna i Kattegatt. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

Prediktionerna för *Marthasterias glacialis* (taggig sjöstjärna eller ishavsstjärna) skiljde sig mycket mellan GAM och CART (Figur 21). CART-modellen fick den bästa utvärderingen, men modellen är mycket komplicerad och prediktionen visar flera smala band av hög eller låg sannolikhet på specifika djup vilket tyder på att modellen är överanpassad. GAM-modellen är av intermediär kvalitet enligt extern-utvärderingen och prediktionen ska därför tolkas med viss försiktighet. Enligt denna prediktion är *Marthasterias* vanligast på intermediära djup, på morän och äldre sediment i den geologiska kartan, samt är vanligare på Fladen, Lilla Middgrund och Morups bank än på de två sydligaste bankarna. Även CART-prediktionen visar att arten är vanligast på intermediära djup och på samma tre bankar, vilket ger stöd åt dessa övergripande mönster. Detaljerna i båda prediktionerna är dock mycket osäkra.



Figur 21. Sannolikheten för förekomst av sjöstjärnan *Marthasterias glacialis* på utsjöbankarna i Kattegatt. Den vänstra figuren visar prediktionen från en GAM-modell, den högra från en CART-modell. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

Till skillnad från de två andra arterna är *Astropecten irregularis* (kamstjärna) framförallt knuten till sandbottnar. Detta avspeglas i GAM-prediktionen, som visar att arten är vanligast i de djupaste delarna av bankarna, vilket sammanfaller med de områden som predikteras som rörliga sediment (dvs. andra substrat än ”pebbles-boulders”), samt generellt i områden med sand och sand-grus enligt den geologiska kartan (Figur 22). CART-modellen för *Astropecten* bedömdes vara för svag i externvalideringen, så bara prediktionen från GAM-modellen visas.



Figur 22. Sannolikheten för förekomst av sjöstjärnan *Astropecten irregularis* på ut-sjöbankarna i Kattegatt. AUC-värdena anger resultatet av extern- och internvalidering och är ett mått på prediktionens kvalitet.

3.3 Beskrivning av bankarna

I detta avsnitt beskrivs de fem bankarna i Kattegatt utifrån resultaten från modelleringarna av substrat och arter. Ytterligare beskrivning av bankarna, bland annat med avseende på förekomst av rödlistade och sällsynta arter, finns i den tidigare rapporten från den första utsjöbanksinventeringen (Naturvårdsverket 2006). I rapporten "Undersökningar från utsjöbankar" från 2010 finns även en sammanfattande naturvärdesbedömning för samtliga inventerade bankar (Naturvårdsverket 2010).

Tabell 10 visar en jämförelse av bankarnas storlek samt hur stor yta som upptas av några arter och habitat som är intressanta ur ett naturvärdesperspektiv. Jämförelsen inkluderar inte Stora Middelgrund: eftersom prediktionerna bara är gjorda för en liten del av grundets yta blir en sådan ytoppskattning missvisande för denna bank.

Tabell 10. Ytan (i km²) på Fladen, Lilla Middelgrund, Morups bank och Röde bank, den predikterade ytan som upptas av Natura2000-habitaten 1170 Rev och 1110 Sublittorala sandbankar samt ytan med minst 50% predikterad sannolikhet för förekomst av tare (*Laminaria* och *Saccharina*) och sjöpennor (Pennatulacea) baserat på GAM-modeller.

	Fladen	Lilla Middelgrund	Morups bank	Röde bank
Total yta	139,3	163,1	3,8	7,3
Rev	21,7	24,0	1,3	0,0
Sublittorala sandbankar	58,4	62,1	1,5	5,2
Tare	62,7	30,4	1,6	0,0
Sjöpennor	53,1	82,2	1,4	6,1

Fladen är en av de största inventerade bankarna i Kattegatt (139,3 km²) och omfattar en stor variation av arter och miljöer. Grundet har stora områden med naturtypen Rev och stor förekomst av arter knutna till denna miljö, exempelvis makroalger. Den mycket rika förekomsten av tare skiljer ut det från de andra inventerade bankarna och från motsvarande områden närmare kusten, de ekologiskt viktiga tarearterna förekommer med hög sannolikhet över hela banken ned till ca 23 m djup. Detta är betydligt djupare än i Kattegatts kustområden, vilket visar att Fladen är mindre påverkad av kustnära övergödning. I nordöstra delen av banken hittades bottenar med maerl (*Phymatolithon calcareum*), ett ekologiskt viktigt habitat som är klassat som hotat eller minskande av OSPAR.

Lilla Middelgrund har också stora områden med Natura 2000 naturtypen Rev och en stor förekomst av arter som är typiska för detta habitat. Förekomsten av tare är mindre än på Fladen, men även denna bank har rika tareskogar med större djuputbredning än i kustområdet. På Lilla Middelgrund hittades den största förekomsten av maerl (*Phymatolithon calcareum*) med hög täckningsgrad. Här förekommer också en del hästmusselbankar, som klassas som ett hotat eller minskande habitat

av OSPAR. Lilla Middelgrund har även den största predikterade ytan av sjöpennor. Sjöpennor är en viktig komponent i habitatet ”sjöpennor och grävande megafauna-samhällen”, vilket är upptaget på OSPARs lista över hotade och minskande habitat. Den höga sannolikheten att hitta sjöpennor på djupa delar av alla de inventerade bankarna i Kattegatt är därför intressant.

Morups bank är många gånger mindre än Fladen och Lilla Middelgrund (3,8 km²), men påminner om dessa båda med avseende på ysubstrat. En stor del av banken utgörs av Natura 2000 naturtypen Rev, med välutvecklade algsamhällen.

Röde bank är också mycket liten bank (7,3 km²). Till skillnad från de andra bankarna saknar den riktigt grunda delar där botten påverkas kraftigt av vågor. Av den anledningen saknas naturtypen Rev, dvs. områden där hårbotten dominerar. Trots detta förekommer en del hårbottenarter på banken, exempelvis den största förekomsten av sjöpungrar av släktet *Ascidia* som är karaktärsarter för djupa hårbottenar. De två djupast levande algarterna (*Delesseria sanguinea* och *Phycodrys rubens*) är också relativt vanliga. Sannolikheten för förekomst av sjöpennor är stor på nästan hela banken.

Stora Middelgrund har betydligt mindre andel hårt substrat än de nordligare bankarna. Bara i den allra grundaste delen finns ett litet område med naturtypen Rev. Botten domineras istället av sand, grus, småsten och skalgrus. Förekomsten av ren sand var större än på de andra inventerade bankarna, vilket avspeglas av att modellen för ysubstrat bara predikterade förekomst av sand på denna bank. Den låga förekomsten av hårt substrat gör att förekomsten av makroalger är betydligt lägre än på de andra bankarna. Tare förekommer knappast alls. Däremot hyser banken den rikligaste förekomsten av hästmussla (*Modiolus modiolus*). Sannolikheten för förekomst av hästmusselbankar, som finns upptagna på OSPARs lista över hotade miljöer, är hög i de grundaste områdena och så hög som 25-50% på hela den del av banken där prediktionskartan har kunnat göras. Arten förekommer även i djupare områden, där vi tyvärr inte kunnat göra någon prediktion eftersom djupdata saknas. Avsaknaden av prediktion för de djupare områdena gör också att djupt levande arter som sjöpennor ser ut att saknas på denna bank, trots att sannolikheten att hitta sjöpennor i djupa områden är lika hög som på de andra bankarna.

3.4 Slutsatser

Nedan summeras några av de viktigaste slutsatserna från detta arbete.

Den sammanlagda bilden av alla de modelleringar som genomförts inom detta projekt visar att en rad arter och artgrupper (speciellt makroalger) går bra att modellera med så litet som 217 datapunkter i denna typ av utsjömiljöer. Alger är lättare att modellera än djur, åtminstone med de prediktorvariabler som ingick i denna

studie. Samma erfarenhet gjordes även vid modelleringen av utsjöbankarna i Östersjön (Naturvårdsverket 2008).

Både denna och många andra studier visar att djup är en mycket viktig prediktorvariabel för både arter och ysubstrat, vilket betyder att kvaliteten på djupdata har stort inflytande på kvaliteten på de färdiga prediktionskartorna. Även den maringeologiska kartan från SGU bidrog i många fall substantiellt i modellerna.

Vad gäller jämförelsen mellan modelleringsmetoderna ger GAM ett något bättre resultat än CART med avseende på vilka arter som går att modellera. CART misslyckades med att skapa en modell för sex av djurarterna, medan GAM kunde göra modeller med tillräckligt bra kvalitet för åtminstone fyra av dessa. För de arter som gick att modellera med båda modellerna blev dock kvaliteten likvärdig mellan metoderna. Granskning av prediktionskartorna visar att det finns en viss risk att CART-modellerna blir överanpassade, vilket inte nödvändigtvis visas av resultatet från externvalideringen. Sammantaget tyder denna studie på att GAM är ett bättre verktyg än CART för att modellera utbredningen av marina arter med ett relativt begränsat antal datapunkter.

Styrkan hos CART visar sig istället i dess förmåga att modellera variabler med flera klasser. Detta gör att CART lämpar sig väl för modellering av ysubstrat.

För de arter som gick att modellera med både GAM och CART blev prediktionerna från de två modellerna mycket lika i de flesta fall, vilket tyder på de resulterande prediktionskartorna har god tillförlitlighet.

Den predikterade frekvensen av arter och habitat skiljde sig i de flesta fall avsevärt från den observerade frekvensen. Vissa arter och habitat var överrepresenterade i inventeringen. Prediktionen av arters utbredning från modellerna ger därför en sannare bild av den faktiska frekvensen i hela området. Habitatmodellering kan därför vara ett viktigt verktyg för att ta fram kvantitativa mått på utbredningen av naturtyper för planering och förvaltning.

Fladen utmärker sig bland bankarna genom rika tareskogar med stor djuputbredning, men även Lilla Middelgrund hyser stora arealer tareskog. Både Fladen och Lilla Middelgrund har en unik förekomst av maerl (*Phymatolithon calcareum*). Den ekologiskt viktiga hästmusslan (*Modiolus modiolus*) har sin rikaste förekomst på Stora Middelgrund.

Referenser

- Al-Hamdani, Z & Reker, J. (eds.) (2007). *Towards marine landscapes in the Baltic Sea*. BALANCE interim report 10. Available at <http://balance-eu.org/>. ISBN: 978-87-7871-203-5.
- Breiman, L., Friedman, J.H. & Olshen, R.A. (1993). *Classification and regression trees*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton (Fla.); London; New York.
- Coltman, N., Golding, N. & Verling, E. (2008). *Developing a broadscale predictive EUNIS habitat map for the MESH study area*. Available at www.searchmesh.net/Default.aspx?page=1570
- Elhammer, A., Hallberg, O. & Erlandsson, C. (2009). Maringeologi till EUNIS. SGU RAPPORT 08-1565/2008.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters* 27:861-874
- Legendre, P. & Legendre, L. (1998). *Numerical ecology*. Second English Edition edn. Elsevier Science B. V.
- Lehmann A., Overton J.C. & Leathwick, J.R. (2002). GRASP: Generalized regression analysis and spatial predictions. *Ecological Modelling* 157, 189-207.
- Naturvårdsverket (2006) a. *Sammanställning och Analys av Kustnära Undervattensmiljö (SAKU)*. Naturvårdsverket Rapport 5591.
- Naturvårdsverket (2006). *Inventering av marina naturtyper på utsjöbankar*. Naturvårdsverket Rapport 5576.
- Naturvårdsverket (2008). *Utbredning av arter och naturtyper på utsjögrund i Östersjön. En modelleringsstudie*. Naturvårdsverket Rapport 5817.
- Naturvårdsverket (2009). *Data om havsbotten. Rapport Regeringsuppdrag 25*. Naturvårdsverket Rapport 5987.
- Naturvårdsverket (2010). *Undersökning av utsjöbankar. Inventering, modellering och naturvärdesbedömning*. Naturvårdsverket Rapport 6385.

Utbredning av marina arter och naturtyper på bankar i Kattegatt

RAPPORT 6489

NATURVÅRDSVERKET
ISBN 978-91-620-6489-1
ISSN 0282-7298

En modelleringsstudie

Rapporten beskriver utbredningen av habitat och bottenlevande arter på fem utsjöbankar i Kattegatt (Fladen, Lilla och Stora Middelgrund, Röde bank och Morups bank), vilka inventerades under den första utsjöbanksinventeringen (2003-2005).

Data från inventeringen har använts för att, med hjälp av rumslig modellering, ta fram yttäckande kartor av bottenhabitat i enlighet med, det europeiska habitatklassificeringssystemet EUNIS samt klassificeringen av naturtyper enligt Natura 2000. Resultatet visar på sannolikheten för förekomst av ett antal makroalger och bottenlevande djur på de fem utsjöbankarna.

De översiktliga kartorna på områdenas livsmiljöer och utbredningen av dominerande arter och habitat, ska kunna ligga till grund för bevarandearbete och fysisk planering. I rapporten görs även en utvärdering och jämförelse av två olika metoder för habitatmodellering (CART och GAM) vilka båda används för modellering av marin miljö i Sverige och internationellt.

