UPPSALA
UNIVERSITET

Torsken i Östersjön - reproduktiva anpassningar till brackvatten

Ida Bernhardsson

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag
Torsken (*Gadus morhua*) är en marin fisk som lyckats anpassa sig till att leva i Östersjöns bräckta vatten. Östersjötorsken är genetiskt differentierad från torsken i Atlanten. Den avgörande faktorn för om torsken ska etablera sig på en plats är dess reproduktion. Torsken lägger pelagiska ägg, som flyter fritt i den öppna vattenmassan. Äggens flytförmåga är beroende av vattnets salthalt. Äggens höga vatteninnehåll och deras storlek är vad som håller dem flytande. I Östersjön är vattnet mindre salt än i de andra haven på jorden. Detta beror på att tillförseln av vatten till Östersjön består både av sötvatten från älvar och inflöde av saltvatten från Nordsjön. Inflödet av saltvatten är litet och oregelbundet vilket har lett till att torskens lekplatser är avgränsade till Östersjöns tre djupområden där saltvattnet lägger sig på botten och skapar en miljö där äggen kan utvecklas. Torsken har minskat kraftigt i Östersjön till följd av överfiske, föroreningar, den globala uppvärmningen och syrefria bottnar, som är ett resultat av övergödningen av Östersjöns vatten. Uppsatsen tar upp torskens anpassningar till brackvatten, specifikt hur reproduktionen kan fungera vid den låga salthalten.

Inledning
Torsken (*Gadus morhua*) i Östersjön är adapterad till de speciella miljöförhållanden som finns i brackvattnet. Torsken är en marin fisk som ändå klarar av att leva i det mindre salta vattnet i Östersjön. Det finns en lokal anpassning hos Östersjötorsken (Andersen *et al*. 2009). Det är inte bara den lägre salthalten som försvårar livet för östersjötorsken. Det finns många andra orsaker till varför populationer varierar i individantal från år till år. Klimatförändringar kan göra att populationer förändras bland annat genom att temperaturen i havet förändras (Ottersen *et al.* 2006). Temperaturen i Östersjön har ökat något och detta har lett till en minskning av torskynglens huvudföda, en viss art av hoppkräftor (*Pseudocalanus acuspes*), vilket har påverkat torskpopulationen negativt (ICES 2012). Temperaturökningen har också lett till en ökning av mängden skarpsill (*Sprattus sprattus*). Skarpsillen äter torskägg och larver vilket missgynnar torsken (Alheit *et al.* 2005). Torsken har minskat kraftigt i Östersjön sedan 1980 då lekbiomassan var cirka 750 tusen ton fisk och år 2010 hade lekbiomassan minskat till cirka 325 tusen ton (Havs- och vattenmyndigheten 2012). Det finns mycket som hotar torsken inte minst följderna efter människans aktiviteter inom fiske och jordbruk.

Östersjön är ett mycket grunt hav med ett medeldjup på 60 meter (Ojaver 2010). Östersjön är ett hav som både är förorenat och övergött. Östersjöns avrinningsområde består av 14 länder. Alla dessa länder bidrar till att förorena havet. Det är framförallt tennföreningar från båtbottenfärger som missgynnar flera organismer i Östersjön (Magnusson *et al*. 2012). De länder som omger Östersjön har alla olika bestämmelser för vilka utsläpp som är tillåtna och detta gör det svårt att veta exakt vad som hamnar i Östersjön (Ivarsson *et al.* 2012). Övergödningen är en orsak till att miljön i Östersjön har försämrats (Rönnberg & Bonsdroff 2004). Siktdjupet har blivit sämre och stora algblomningar förekommer med syrefria bottnar som resultat vilket tvingar den vanligtvis bottenlevande torsken upp på grundare vatten (Morf *et al.* 2012).

Syftet med denna uppsats är att belysa de problem som torsken stöter på när den koloniserar områden i brackvatten. Uppsatsen kommer framförallt beskriva några av de adaptationer torsken utvecklat för att klara av detta och gå djupare in på reproduktiva anpassningar. Den låga salthalten utgör ett stort problem, om salthalten är för låg kommer torskäggen att sjunka till botten där syrehalten är för låg vilket leder till att äggen dör. Äggen är pelagiska, de svävar i vattnet, och flytförmågan är beroende av vattnets salthalt. Vattnet i Östersjön är inte lika salt som vattnet i de stora haven. Därför vill jag i denna uppsats besvara följande frågeställningar:

Vilka adaptationer har torsken för att leva i brackvatten?

Hur lyckas torsken reproducera sig i Östersjön?

Har torsken någon framtid i Östersjön?

Östersjön

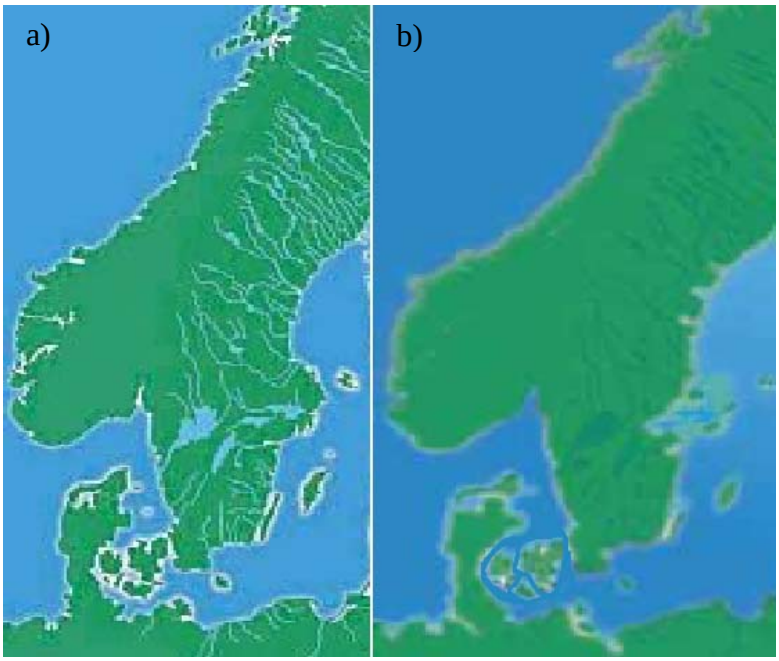
Östersjön är det största brackvattenhavet på jorden (Nohrén *et al*. 2009). Det har en mycket lägre salthalt än alla andra hav. Det är ett brackvattenhav för att det tillkommer både söt- och saltvatten och när det blandas blir resultatet en lägre salthalt. Sötvattnet kommer från de landområden som omger Östersjön. Det salta vattnet kommer från Nordsjön via Skagerrak och Kattegatt. Eftersom saltvattnet endast tillförs till Östersjön i det sydvästra hörnet av havet kan man se en nord-sydlig och en öst-västlig saltgradient (Zettler 2007). I nordligaste Östersjön har ytvattnet en salthalt på 2 ‰ och i söder 8 ‰. I djupområdena är salthalten 10 ‰ (Winsor *et al*. 2001).

I Östersjön kan man hitta både marina och limniska arter. Eftersom havet varken är sött eller salt ställer det höga krav på de arter som lyckats anpassa sig till att leva under dessa förhållanden. Detta har medfört att Östersjön är ett artfattigt hav men det är individrikt då de organismer som klarar av att leva där slipper konkurrens från andra arter (Leppäkoski *et al*. 2002, Ojaver 2010). Många av de arter som lever i Östersjön har en mindre genomsnittlig storlek än de av samma art som lever i marina miljöer (Nissling *et al.* 1994).

Ett hav som förändras

För 10000 år sedan hade det stora istäcket som täckte Östersjön helt smält bort (Berglund 1979). Den tunga isen hade tryckt ner landmassan och när isen försvann började landet att stiga. Det är på detta sätt som Östersjön har avgränsats från Atlanten och blivit till det brackvattenhav det är idag. Östersjön har en kort men händelserik historia. Så som Östersjön rent geografiskt ser ut idag har den bara gjort i ca 8 000 år. För 8000 år sedan var den en marin havsvik till Atlanten, Littorinahavet (Figur 1) (Johannesson *et al.* 2007). Littorinahavet och Östersjön ser lika ut men vattnet i Littorinahavet var mycket saltare. Landhöjningen och det begränsade inflödet, från Nordatlanten, gör att Östersjön sakteliga håller på att utvecklas till ett limniskt system (Eronen *et al*. 2001). De senaste 8000 åren har Östersjön varit under ständig förändring, en förändring som sker än idag. Landhöjningen pågår fortfarande och är som störst just vid Skagerrak och Kattegatt. Varje år höjs havsbotten och grundet blir mindre

djupt. Detta resulterar i att allt mindre vatten kan komma in till Östersjön från Nordsjön. Det finns också en årlig variation i hur mycket saltvatten som strömmar in i Östersjön. Ett lugnt år utan stora stormar och hög vattengång är det inte lika mycket av det nya saltvattnet som pressas in i Östersjön (Matthäus & Frank 1992).



Figur 1. a) Östersjön i dag. b) Littorinahavet 8000 år sedan. Omritad efter André (2004).

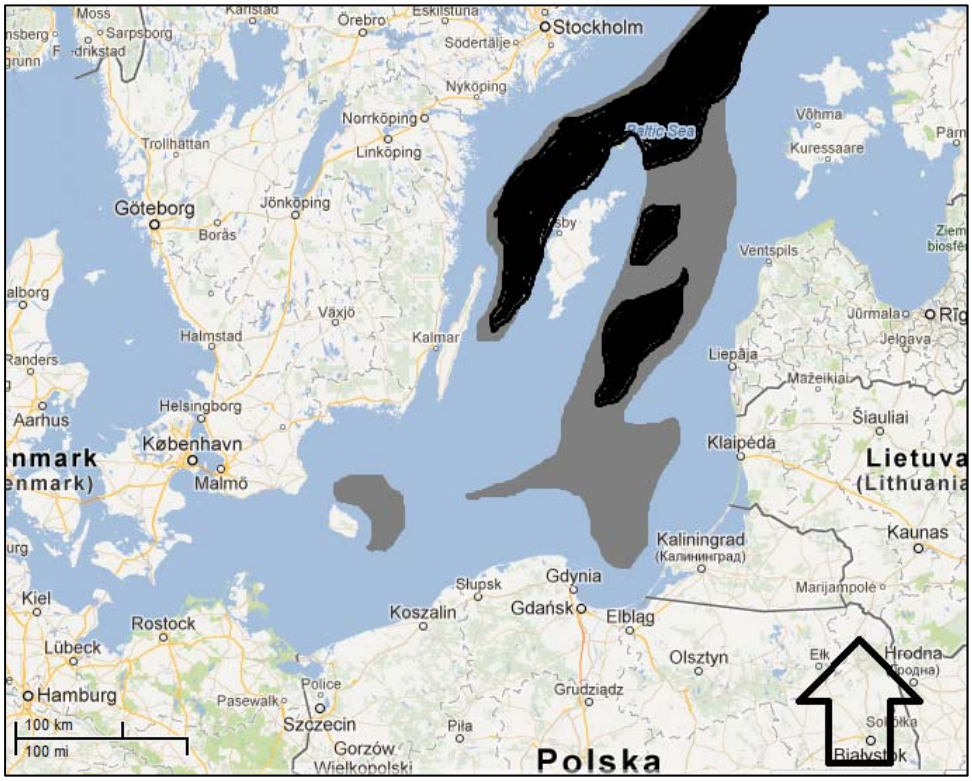
Hur mår Östersjön egentligen?

Östersjön har stora områden med vad man kallar död botten (Figur 2). Där har syret helt eller delvis förbrukats från havsbotten och bara anaeroba bakterier kan leva där. De döda havsbottnarna beror till stor del på mänskliga aktiviteter. På grund av vårt moderna jordbruk har vi bidragit till att Östersjön är övergödd (Rönnberg & Bonsdorff 2004). För att det ska växa bättre på våra åkrar tillsätter bönderna konsgödsel. Det är framförallt kväve och fosfor som tillsätts. All denna extra näring nyttjas inte av grödorna på åkrarna. Nederbörd tar med sig näringsämnena till våra vattendrag och stora mängder närsalter kommer ut i Östersjön (Diaz & Rosenberg 2008). Näringen tas upp av de fotosyntetiserande organismer som lever där. Detta extra näringstillskott får samma effekter i vatten som på land, det växer mer. Resultatet av övergödningen kan vi se som stora algblomningar. När algerna blommat färdigt och dör sjunker de till botten och där lägger de sig som en matta och de bottenlevande nedbrytarna kommer att förbruka syret för att kunna bryta ner de stora mängder dött material som faller ner på botten. Nedbrytningsprocessen resulterar i syrefria bottnar där endast anaeroba bakterier kan leva (Diaz & Rosenberg 2008).

Omblandning av vattnet

Nytt syresatt vatten måste komma ner till havets botten för att återställa de syrefria områdena. Detta förhindras av två anledningar. Det är svårt att endast med hjälp av vindar blanda om

stora vattenmassor. I Östersjön finns en termoklin, ett temperatursprångskikt, det finns också en haloklin, en gräns mellan söt- och saltvatten. Saltvatten är tyngre än sötvatten och därför kommer det saltare vattnet att lägga sig på botten och det mindre salta vattnet att lägga sig på ytan (Winsor *et al*. 2001). Syret i vattnet på botten förbrukas snabbt av alla bottenlevande organismer och haloklinen förhindrar att nytt syrerikt ytvatten förs ner till botten med hjälp av strömmar. Den nord-sydliga saltgradienten är ett tecken på att det syrerika saltvattnet från Nordsjön inte transporteras så långt norrut i Östersjön vilket leder till att det salta vattnet i Östersjön byts ut mer sällan och detta leder till att områden med syrefri havsbotten kan sprida ut sig (Figur 2).



b

Figur 2. De syrefria bottnarnas utbredning i Östersjön. Grått = syrefattigt. Svart = syrefritt. Omritad efter Hansson *et al.*(2008).

Torsken

Torsken (*Gadus morhua)* är en marin fisk som tillhör familjen torskfiskar (Gadidae). Den kännetecknas på sina tre ryggfenor och mörka prickar på de brungröna sidorna, den har också en heldragen sidolinje som är lätt böjd efterkroppen. Den har också en skäggtöm på hakan som den använder sig utav när den simmar längs botten (Figur 3). Torsken är bottenlevande och lever på djup mellan 50 – 200 m. Torsken är en rovfisk som står på toppen av näringskedjan. I Östersjön består dess föda till största delen av småfiskar och större bottenlevande evertebrater (Figur 3) (Curry – Lindahl 1985).

Figur 3. Näringskedja i Östersjön.

Att det är en marin fisk betyder att den är hypoosmotisk det vill säga djurets kropp har en lägre koncentration av lösta ämnen, till största delen salt, än vad dess omgivande medium har(Wilson *et al*. 2002). Eftersom det är en lägre koncentration i cellerna än utanför kommer vattnet som finns inuti cellerna att tryckas ut. Detta går inte då fisken skulle dö av uttorkning. Istället löser fisken detta genom att dricka stora mängder vatten och den har speciella celler i sina gälar som tar upp saltet och avger det till det omgivande vattnet och fisken får därmed i sig vatten med en lägre saltkoncentration. Marina fiskar har också speciella njurar som gör att fisken kan exkretera urin med en mycket hög koncentration av salt (Wilson *et al*. 2002).

Torskens lek

Torsken vandrar till sin lekplats och de återvänder inte alltid till samma lokaler för att leka utan det kan variera. Leken går till så att hanen håller ett revir som besöks av honor. Under parning simmar paret upp till ytan och lägger sig buk mot buk och hanen ligger alltid med ryggen neråt. Befruktning sker och de pelagiska äggen flyter upp till ytan (Curry – Lindahl 1985).

Torsken lägger pelagiska ägg, som flyter fritt i den öppna vattenmassan. Detta för att bland annat undvika mekanisk skada och parasiter (Lønning 1988). Äggen kläcks efter ca tre veckor och då förs ynglen med hjälp av strömmar in på grundare vatten där vattnet är varmare och makrovegetationen fungerar som en barnkammare (Svedäng 2003). Det är främst blåstång (*Fucus vesiculosus*) och ålgräs (*Zostera marina*) som är viktiga biotopbildande växter i Östersjön.

Torsken och människan

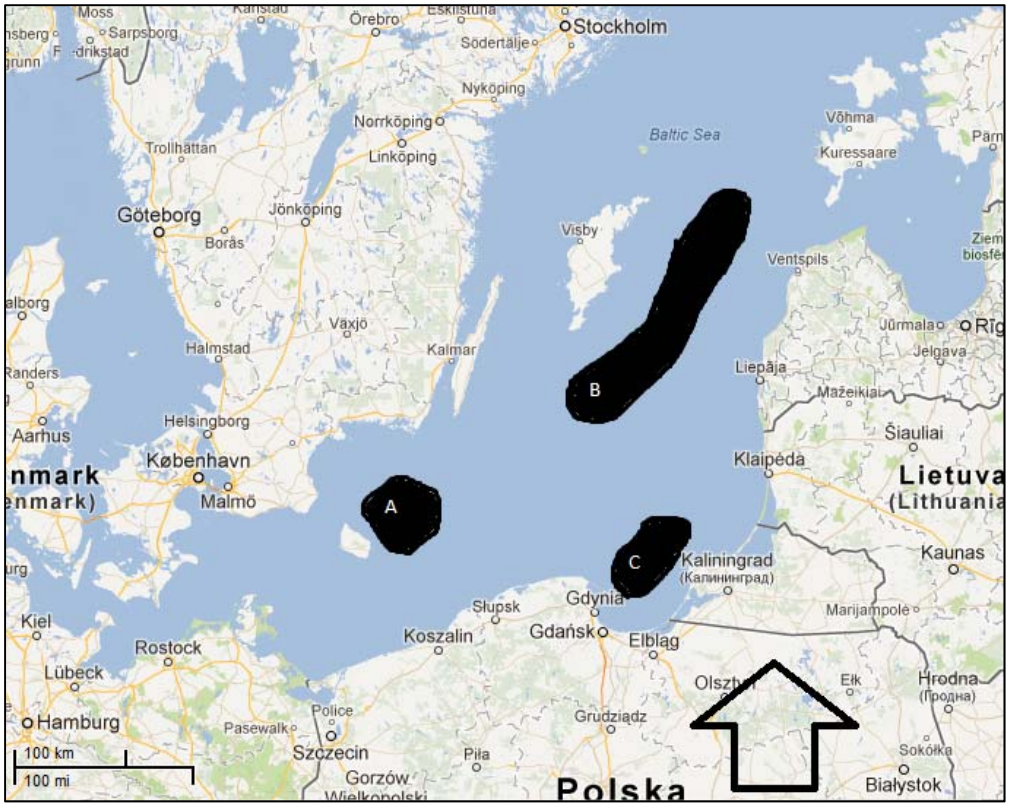
Torsken är den absolut viktigaste matfisken för människor vid Nordatlanten (Ottersen *et al*. 2006). Detta har lett till att fisken är kraftigt överfiskad och i Sverige är den rödlistad och klassas som starkt hotad (Svennson *et al*. 2010). Tack vare rödlistningen av torsken finns nu fiskekvoter, bestämmelser för hur mycket fisk man får ta upp, också en minimistorlek för fiskarna man tar upp enligt rekommendationer av ICES (International Council for the Exploration of the Sea). Torsken i Östersjön var för några år sedan nere på de lägsta nivåerna någonsin, nu har populationerna återhämtat sig något men det finns fortfarande inga livskraftiga bestånd av torsk i Östersjön (ICES 2012, Morf *et al.* 2012). Det finns två bestånd av torsk i Östersjön. Ökad fiskemortalitet på grund av överfiske är ett av de stora hoten mot torsken idag. Detta beror på att fiskeflottans verktyg har utvecklats oerhört snabbt och de klarar av att ta upp långt mer fisk än vad som är långsiktigt hållbart för torskbeståndet och ekosystemet (Hjerne & Hansson 2001).

Torsken i Östersjön

Torsk har påträffats i hela Östersjön. Man har påträffat torsken i Bottenviken men den finns i större bestånd i Egentliga Östersjön. Detta för att vattnet i Egentliga Östersjön, södra Östersjön, har en betydligt högre salthalt. Östersjötorskens lek är dock begränsad till de södra delarna av havet (Figur 4) då äggen och spermierna är beroende av saltkoncentrationen och kan inte överleva om salthalten är för låg (Westin & Nissling 1991).

På 1980-talet var Östersjön ett fungerande ekosystem och torskbeståndet var stort (ICES 2012). Den stabila torsk populationen reglerade indirekt antalet av alla andra organismer i näringskedjan. Genom att torsken håller nere antalet av sin huvudföda som i sin tur håller en viss nivå av sin huvudföda hålls hela ekosystemet på en stabil nivå. Detta kallas kaskadeffekter, predatorns indirekta effekt på växtbiomassan. Östersjön har förändrats då torsken har minskat i antal. Detta gör att torskens huvudföda skarpsillen (*Sprattus sprattus*) har ökat avsevärt i antal i takt med att torsken har minskat. Skarpsillen livnär sig bland annat på torskens ägg vilket leder till ytterligare minskningar av torskbestånden. I egenskap av toppredator har torsken en strukturerande effekt på de lägre trofinivåerna i ekosystemet. Det förekommer alltid fluktuationer i bestånd som samverkar med varandra. Men den minskning av torsk som har skett de senaste trettio åren är större än vad den naturliga fluktuationen kan åstadkomma. Det sker just nu ett regimskifte i Östersjön och ekosystemet håller på att förändras (Österblom *et al.* 2007).

Torsken i Östersjön är från början atlanttorsk som vandrat in via Danska sundet (Vallin & Nissling 2000). Med hjälp av genetiska metoder kan man se att torsken i Östersjön är helt avskild från atlanttorsken. Dock finns en liten hybridzon vid Danska sundet där östersjötorsken och atlanttorsken hybridiserar (Nielsen *et al*. 2003). För att torsken ska kunna leva i Östersjöns bräckta vatten har den anpassat sig till den unika miljön. Den blir inte lika stor som atlanttorsken. Den leker på sommaren istället för på vintern som torsken i Västerhavet gör (Johannesson *et al*. 2007). Torsken är vanligtvis en bottenlevande fisk men på många platser i Östersjön har den tvingats upp i det grundare vattnet. Detta för att fisken inte klarar av att leva i syrefattiga bottenmiljöer (Johannesson *et al*. 2007).



Figur 4. Torskens lekplatser i Östersjön. A = Bornholmsdjupet. B = Gotlandsdjupet. C = Gdanskdjupet. Omritad efter Cardinale och Svedäng (2011).

Torsken kan enbart leka på vissa platser i Östersjön där äggen kan överleva och klara av att utvecklas till yngel. Undersökningar har visat att det är just salthalten som är den avgörande faktorn för om äggen kan överleva eller inte (Nissling *et al*. 1994). De lägger bara ägg vid Gotlandsdjupet, Gdanskdjupet och Bornholmsdjupet, vilka utgör platser med extra stort djup och hög salthalt (Figur 4). Den högre salthalten behövs för att torskens ägg ska flyta i den fria vattenmassan och inte sjunka ner till de syrefattiga områdena vid botten (Nissling *et al*. 1994). Det oregelbundna inflödet av syrerikt saltvatten från Nordsjön gör att det är svårt för det salta vattnet att transporteras ända upp till de nordligare lekplatserna. År då inflödet av nytt vatten är mycket litet har man sett att det endast är lekplatsen vid Bornholm där äggen överlever, de

ägg som lagts vid de norra lekplatserna har inte klarat sig och inte resulterat i några yngel (Cardinale & Svedäng 2011).

Torskens ägg

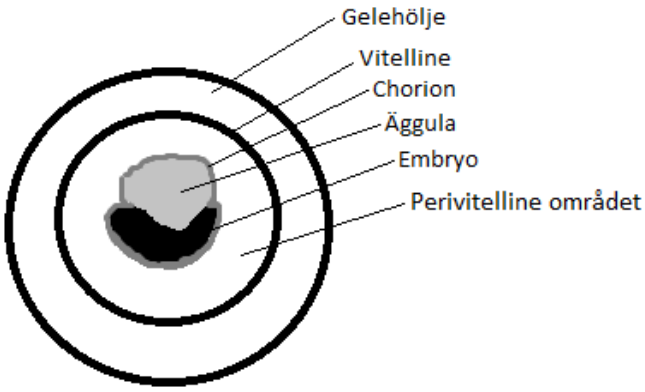
Torskens ägg är anpassade för att flyta fritt i vattnet, de är pelagiska. Torskens ägg flyter genom att det har en lägre densitet än det omgivande vattnet (Nissling *et al.* 1994). Ute i de stora haven kan de lägga sina ägg överallt då salthalten är den samma i hela havet. I Östersjönlägger torsken sina ägg i de djupa bassängerna som finns vid Gotland, Gdansk och Bornolm för där samlas det saltare vattnet (Cardinale & Svedäng 2011). Undersökningar har visat att det är just salthalten som är den begränsande faktorn för torskarnas reproduktionsframgång (Nissling & Westin 1997). Äggets flytförmåga ändras under utvecklingen och precis efter befruktningen ökar flytförmågan för att ägget ska ligga uppe vid ytan där det är god syretillgång, för att utvecklas ordentligt måste syrehalten vara över 11 ‰ (Mangor – Jensen 1987, Nissling & Vallin 1996). Eftersom salthalten är lägre i Östersjön och leken fortfarande sker vid ytan sjunker istället äggen långsamt ner genom vattnet och stannar i haloklinen 50 – 80 m under ytan där salthalten är lagom så att vattnet kan bära upp ägget (Nissling *et al.* 1994).

Torskens ägg har två stora hinder som de måste komma över för att vara pelagiska. Det är att de ska flyta i vattnet och att embryot inte ska dö av uttorkning i det salta vattnet, att lyckas upprätthålla en låg koncentration lösta ämnen trots avsaknadav de organ, som kan avge salt, som de adulta fiskarna har (Mangor – Jensen 1987).

Ägget hotas av uttorkning eftersom det osmotiska trycket gör att vattnet borde tryckas ut ur ägget. Ägget lyckas ändå bibehålla en osmotisk balans. Ägget har en väldigt stor yta i förhållande till sin volym vilket gör att vattenförlusten borde ske ganska fort. Men för att motverka detta har äggen en mycket låg vattenpermeabilitet (Mangor – Jensen 1987). Vattentransporten genom ägget går mycket långsamt. Det membran som ligger närmast embryot, chorion (Figur 5), utgör en av fosterhinnorna och är nästan helt ogenomträngligt för vatten (Mangor – Jensen 1987).

Torskens ägg flyter på olika nivåer i vattnet under utvecklingen. Detta för att äggets volym hela tiden är den samma, och ökningen av embryots volym kommer att ändra äggets flytförmåga (Davenport *et al*. 1981). Det tar 17 dagar för ägget att utvecklas till ett yngel och kläckas (Mangor – Jensen 1987). Det första som händer efter befruktning är att perivitelline-området (PVS, från engelskans perivitelline space) bildas (Figur 5) (Shelbourne1956). Det är ett område mellan embryot och gellagret där restprodukter från embryot lagras och embryots kontakt med omvärlden skyddas. Under utvecklingen av äggen finns det tre stadier av vattenrörelse in i äggen(Mangor – Jensen 1987). Dag 1 till 9, stadium 1,ökar PVS vilket indikerar en vattenminskning. Dag 9-13, stadium 2, minskar PVS men eftersom äggets volym hela tiden är konstant betyder det att embryot måste öka i volym. Embryot ökar i volym genom att börja dricka vatten och på så sätt bildas det håligheter i underhuden på embryot, håligheterna fylls med vätska. I tidig utvecklingsfas är det äggulan som har låg densitet och

som ser till att ägget flyter, men i takt med att embryot använder näringen i äggulan bildas dessa vätskefyllda håligheter i underhuden på embryot som säkerställer att ägget flyter (Mangor – Jensen 1987). Från dag 13 till det att äggen kläcks, stadium 3, ökar PVS igen och ägget sjunker något. De första nio dagarna är det en helt passiv vattentransport som sker via osmos. Efter nio dagar blir transporten aktiv då embryot påbörjar samma drickbeteende som man kan se hos de vuxna fiskarna (Mangor – Jensen 1987).



Figur 5. De olika delarna av ett torskägg.

Torskens ägg består till ca 92% av vatten, detta vatten sugs in i ägget redan i honans äggstockar (Mangor – Jensen 1987, Nissling & Westin 1991). Genom att bryta ner protein-fosfater till aminosyror bildas ett osmotiskt tryck som utjämnas genom att det sugs in vatten i ägget (Craik & Harvey 1984). I honan är ägget isosmotiskt, äggets koncentration av lösta ämnen är den samma som omgivningens. När ägget sedan lämnar honan och kommer ut i det salta vattnet blir det hypoosmotiskt, ägget har en lägre koncentration av lösta ämnen än sin omgivning, utflöde av vatten från ägget förhindras genom att vitellinehinnan har en låg vattenpermeabilitet (Mangor – Jensen 1987). Detta gör att embryot de första 8-10 dagarna måste klara sig helt på de reserver det har de med sig från början (Mangor – Jensen 1987).

Salthalten i Östersjön är lägre vilket östersjötorsken har anpassat sig till, deras ägg kan flyta i den lägre salthalten. Jämfört med atlanttorsken lägger östersjötorsken större ägg (Tabell 1) som har en god flytförmåga. De enda delarna av ägget som är tyngre än vattnet och motverkar flytförmågan är chorion och embryot. En av de tydliga adaptationerna hos östersjötorsken är att de har en tunnare chorion (Tabell 1). Detta för att deras ägg är större och därför sträcks chorion ut och blir tunnare vilket ger ägget en lägra massa (Nissling *et al.*1994). Dessa adaptationer har resulterat i att östersjötorskens ägg kan flyta vid en lägre salthalt.

Tabell 1. Skillnader mellan atlanttorsk och östersjötorsk. Omgjord efter Nissling *et al.* (1994).

	Östersjötorsk	Atlanttorsk
Äggstorlek (mm)	1,49 - 1,78	1,19 - 1,62
Choriontjocklek (µm)	3,3 - 5,0	5,5 - 7,7
Flytförmåga (salthalt, ‰)	12,3 - 18,3	29,5 - 33
Adult maxstorlek (cm)	122	140

Torskens spermier

Torskens spermier ser ut som däggdjurs med ett huvud och en svans. Det som ändå skiljer dem från däggdjursspermier är att de inte har någon acrosom, ett skydd runt spermiehuvudet (Morisawa & Suzuki 1980). Detta beror på att ägget har en micropyl, en por eller öppning i ägget som underlättar för spermierna då de ska komma in i ägget. Inne i hanens testiklar är det samma saltkoncentration som i spermien, det är också en viss syre- och koldioxid-koncentration och ett specifikt pH som orsakar passivitet hos spermien. Inne i testikeln ligger spermierna helt stilla (Morisawa & Suzuki 1980). Det är när spermien kommer ut i den hyperosmotiska miljön, havsvattnet, som den aktiveras och börjar simma. Hanen släpper spermier precis efter att hona släpper sina ägg (Morisawa & Suzuki 1980). Undersökningar har visat att även fast äggen kan flyta på rätt nivå vid en salthalt under 12,5 ‰ har de inte blivit befruktade och detta på grund utav att spermierna är helt omotila vid så pass låga salthalter (Westin & Nissling 1990).

Östersjötorskens spermier är adapterade till den låga salthalten i brackvattnet. Man har visat att spermier från östersjötorsk kan simma vid lägre saltkoncentrationer (Westin & Nissling 1990). Exakt varför vet man ännu inte. Hanen släpper ifrån sig sina spermier precis efter att honan lagt sina ägg. Detta för att spermierna har en mycket kort livslängd och måste därför nå äggen väldig fort för att befruktning ska kunna ske. Spermierna måste simma i en blandning av vattnet och sädesvätskan för att kunna befrukta ägget. Därför är det också viktigt att hanen släpper sina spermier nära äggen (Morisawa & Suzuki 1980). Undersökningar har visat att östersjötorskens spermier har högst motilitet, simmar bäst, vid en salthalt av 15,5 – 26 ‰. Om salthalten sjunker under 12,5‰ kan de inte röra sig alls (Morisawa& Suzuki 1980). Det är därför torsken har utvecklat det speciella beteendet med att hanen alltid ligger under honan och släpper sina spermier kort efter att honan släppt sina ägg.

Diskussion

Torsken i Östersjön har utvecklat egenskaper som möjliggör dess etablering i området. Undersökningar har visat att östersjötorskens ägg klarar av att flyta vid en mycket lägre salthalt än atlanttorskens ägg och östersjötorskens spermier kan simma vid en lägre salthalt (Westin & Nissling 1990, Nissling & Westin 1997). Östersjötorsken har också anpassat sitt lekbeteende. De leker bara på de platser där det samlas saltvatten. De är de djupaste platserna

i Östersjön vid Gotland, Bornholm och Gdansk. Rekryteringsframgången är störst vid dessa platser där äggen har bättre förutsättningar till att överleva och utvecklas till larver. De har också ändrat tiden för sin lek, östersjötorsken leker på sommaren istället för på vintern som atlanttorsken gör.

Fiskekvoten

I den fiskekvot som finns i svenska vatten ingår också en minimistorlek på de fiskar man får ta upp. Undersökningar har visat att det finns en stark korrelation mellan torskhonors storlek och deras ägg, stora och äldre honor lägger större ägg jämfört med yngre och mindre honor (Nissling & Westin 1997). Det har också visat sig att östersjötorskens ägg är större än atlanttorskens ägg, vilket genererar en förbättrad flytförmåga i Östersjöns bräckta vatten (Nissling *et al.*1994). De regler som styr fisket i dag är med andra ord felaktiga om vi vill försöka rädda torsken i Östersjön. Fiskare vill ta upp de största individerna för de ger en större inkomst. Ifall en stor andel av de äldre och stora fiskarna fångas kommer torskens rekrytering att missgynnas och det kan bli svårare för bestånden att kunna återhämta sig. Om en population till exempel skulle drabbas av en sjukdom och individantalet skulle minska kraftigt skulle rekryteringen försvåras. De små unga individerna som utgör majoriteten av beståndet idag kommer inte att utföra en lika lyckad lek som stora individer med erfarenhet av lek och med energireserver som bidrar till mer konkurrenskraftig avkomma (Svedäng 2003). År med stort inflöde av saltvatten kan fler åldersgrupper bidra till rekryteringen av östersjötorsk. År med litet inflöde är det enbart de stora honorna att lyckas med sin lek (Cury & Roy 2011).

Om Östersjön blir en sjö?

Vad kommer att hända om Östersjön blir en riktig sjö? Det salta vattnet kommer troligen att efter en mycket lång tid blandas ut med det söta vattnet (Eronen *et al*. 2001). Men detta kommer att ta mycket lång tid då haloklinen kommer att ligga kvar även om det inte tillförs något nytt saltvatten. Därför kommer syret att ta slut på bottnarna och det kommer inte att tillkomma något syresatt vatten. Kommer då de syrefria bottnarna att breda ut sig ytterligare? I stora vattenmassor där salthalten är homogen i hela vattenmassan blir det också en termoklin. Kallt vattnet är tyngre än det varma vattnet vilket leder till att det kalla vattnet kommer att lägga sig på botten. Termoklinen försvårar omblandning av yt- och bottenvatten.

Vad kommer att hända med de organismer som lever i Östersjön om det blir ett limniskt system? Landhöjningen går långsamt. De anpassningar som Östersjötorsken har idag har uppkommit på väldigt kort tid (Johannesson *et al*. 2007). Om evolutionen skulle fortsätta med samma hastighet kan det möjligen utvecklas en sötvattentorsk. De sötvattenarter som redan lever i Östersjön kommer inte att behöva anpassa sig och de kommer att få ett mycket större område som de kan leva på. Det troligaste scenariot är kanske att de limniska arterna kommer att konkurera ut de arter med marint ursprung om Östersjön blir en sjö (Johannesson *et al*. 2007).

Ekosystem under förändring

Ekosystemet i Östersjön håller på att förändras. Skarpsillen har ökat i antal och det har negativa effekter på torsken. Om torsken försvinner kommer då ekosystemet att kunna

fortsätta eller kommer det att krascha? Östersjön har få arter vilket gör det till ett mycket känsligt hav och om den dominerande rovfisken försvinner kommer ekosystemet att förändras (Alheit *et al*. 2005).

Om man studerar kartorna över de döda bottnarnas utbredning och torskens lekplatser ser vi att de matchar varandra perfekt. Detta är kanske ingen överraskning då det är svårast för det nya syresatta vattnet att blanda ut sig med det vattnet som ligger på botten av de djupa bassängerna. Det är på djupet av bassängerna som vattnet ligger kvar längst. Om inte vi människor hade övergött vattnet och sett till att Östersjöns bottnar blev helt syrefria hade då torsken funnits i en kraftig population i Östersjön? Det är människans aktiviteter och specifikt fiskemortaliteten som är det största hotet mot torsken i Östersjön (Hjerne & Hansson 2001).

Torsken som lever i Östersjön lever precis på gränsen av vad den klarar av. I Östersjön blir inte torskarna lika stora som ute i de andra haven, de har en mindre maxstorlek i Östersjön än i till exempel Atlanten. Östersjötorsken måste lägga ner mycket energi på att klara av att leva i sin miljö. Det är en trade – off, en avvägning, mellan att klara av stressen från sin miljö och tillväxa i tillräcklig omfattning. Den fiskekvot och minimistorlek som finns har också visat sig påverka storleken hos de fiskar som leker (Nakken 1994, Ottersen 2006). Honorna blir lekmogna tidigare och vid en mindre storlek, mindre honor lägger ägg som inte har lika hög flytförmåga. De leker bara över de områden där botten har för lite syre för att äggen ska klara sig. Kommer torsken att kunna fortsätta lägga stora ägg när allt pekar på att honorna inte kommer få växa till tillräckligt stor storlek? Eftersom chansen att överleva minskar om du växer dig stor tjänar du på att förbli liten. Det är fisket som selekterar vilka individer som kommer att finnas kvar och reproducera sig. Om du kan leka vid en mindre storlek och risken för fiskemortalitet minskar kommer du inte att vinna någonting på att bli stor. Detta är dock problematiskt då det har visat sig att stora honor har en mer framgångsrik lek (Nissling & Westin 1997).

Leker torsken fel?

Torskens lekbeteende är speciellt, att de simmar tillsammans uppe vid ytan och släpper ägg och spermier samtidigt. Lekbeteendet där hanen följer honan ökar sannolikheten för att spermierna befruktar äggen. I Östersjöns ytvatten är salthalten lägre än vad torskarnas spermier klarar av att simma i och ändå sker leken vid ytan. År med dåligt inflöde från Atlanten har man sett att leken endast sker vid Bornholmsdjupet. Vattnet i de lekplatser längre norrut är inte tillräckligt salt för att kunna hålla äggen flytande. Men ytvattnet är inte heller tillräckligt salt för att spermierna ska kunna simma i det (Morisawa & Suzuki 1980, Westin & Nissling 1990).

En räddning

Torskens räddning i Österssjön skulle vara ifall det vandrade in torsk från Atlanten och hybridiserade med östersjötorsken vilket skulle ge en större genpool och eventuellt ge en positiv effekt på rekryteringen. Anpassningar till brackvatten och tillväxtgener skulle kunna skapa en fisk som kan överleva i Östersjön. Torsken i Atlanten leker på vintern och östersjötorsken har flyttat sin lekperiod till sommaren. Detta försvårar hybridisering mellan de

olika populationerna avsevärt. Om salthalten blir lägre och fisket selekterar bort de större honorna kommer torsken att försvinna från Östersjön, vilket är det troligaste scenariot (Johannesson *et al*. 2011).

För att vi på lång sikt ska bevara torskbestånden i Östersjön måste miljöförhållandena bli bättre. Om östersjötorsken försvinner är det en stor förlust för ekosystemet och yrkesfiskarna. Det är också en stor förlust för mig då jag tycker att torsken är en enastående fisk.

Tack!

Ett stort tack till min handledare Katariina Kiviniemi för mycket bra återkoppling, hjälp och en bra kurs. Jag vill också rikta ett tack till mina kurskamrater för att de gett bra återkoppling.

Referenser

Alheit J, Möllmann C, Dutz J, Kornilovs G, Loewe P, Mohrholz V, Wasmund N. 2005. Synchronous ecological regime shifts in the central Baltic and the North Sea in the late 1980s. ICES Journal of Marine Science **62**: 1205 – 1215.

Andersen Ø, FrangWetten O, De Rosa MC, Andre C, CarelliAlinovi C, Colafranceschi M, Brix O, Colosimo A. 2009. Haemoglobin polymorphisms affect the oxygen binding properties in Atlantic cod populations. Proceedings of the Royal Society **276**: 833 – 841.

André T. 2004. Littorinahavet - en salt historia. Havsutsikt **1**: 8 - 9.

Berglund BE. 1979. The deglaciation of southern Sweden 13,500-10,000 B.P. Boreas. **8**: 89 – 117.

Cardinale M, Svedäng H. 2011. The beauty of simplicity in science: Baltic cod stock improves rapidly in a 'cod hostile' ecosystem state. Marine Ecology Progress Series. **425**: 297 – 301.

CraikJCA,Harvey SM. 1984.Biochemical changes occurring during final maturation of eggs of some marine and freshwater teleosts. Journal of Fish Biology **24**: 599 – 610.

Curry – Lindahl K. 1985. Våra fiskar, Havs – och sötvattensfiskar i Norden och övriga Europa.Havsfiskar i Norden och nordvästra Europa. P.A Norstedt och Söners förlag Stockholm.

Cury P, Roy C. 2011.Optimal Environmental Window and Pelagic Fish Recruitment Success in Upwelling Areas. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **46**: 670 – 680.

Davenport J, Löönninangd S, Kjärsvik E.1981. Osmotic and structural changes during early development of eggs and larvae of the cod, *Gadus morhua L.* Journal of Fish Biology **19**: 317-33.

Diaz RJ, Rosenberg R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science **321**: 926-929.

Eronen M, Glückert G, Hatakka L, van de Plassche O, van der Plicht J, Rantala P. 2001. Rates of Holocene isostatic uplift and relative sea-level lowering of the Baltic in SW Finland based on studies of isolation contacts. Boreas **30**: 17–30.

Hansson M, Thell AK, Andersson L, Axe P. 2008. Expeditionsrapport från U/F Argos: syrgaskartering i Östersjön. SMHI.

Havs- och vattenmyndigheten 2012. Fiskbestånd och miljö i hav och sötvatten. Resurs- och miljööversikt 2012. Havs- och vattenmyndigheten, Göteborg.

Hjerne O, Hansson S. 2001. Constant catch or constant harvest rate? The Baltic Sea cod (*Gadus morhua* L.) fishery as s modeling example. Fisheries Research **53**: 57 – 70.
ICES WGIAB report 2012. 2012. ICES/HELCOM working group on integrated assessments of the Baltic sea (WGIAB) SCICOM Steering Group On Regional Sea Programmes.
Ivarsson M, Pettersson K. 2012. Nya regler för havet – målbilden klar dags för åtgärder. Havet 2012: 23 – 25.
Johannesson K, André C, Kautsky L. 2007. Snabb evolution i Östersjön. Forskning och Framsteg **3**: 34-38.
Johannesson K, Smolarz K, Grahn M, André C. 2011.The future of Baltic Sea populations: Local extinction or evolutionary rescue? AMBIO **40**: 179 – 190.
Leppäkoski E, Gollasch S, Gruszka P, Ojaveer H, Olenin S, Panov V. 2002. The Baltic sea – a sea of invaders.Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **59**: 1175–1188.
Lønning S, Køjrsvik E, Falk-Petersen I. 1988.A comparative study of pelagic and demersal eggs from common marine fishes in northern Norway. Sarsia **73**: 49 – 60.
Magnusson A, Marine monitoring AB, Samuelsson PO. 2012. TBT-forskning ger bättre hantering av förorenade sediment. Havet 2012: 89-94.
Mangor – Jensen A. 1987. Water balance in developing eggs of the cod *Gadus morhua L.* Fish Physiology and Biochemistry **3**: 17–24.
Matthäus W, Frank H. 1992. Characteristics of major inflows – a statistical analysis. Continental shelf research **12**: 1375 – 1400.
Morisawa M, Suzuki K. 1980. Osmolality and potassium ion: Their roles in initiation of sperm motility in teleosts. Science **210** : 5.
Morf A, Gipperth L, Anders Grimvall A, Sundblad EL. 2012. Social analys – en havsrelaterad samhällsanalys. Underlagsrapport för Sveriges inledande bedömning i havsmiljöförordningen. Havsmiljöinstitutets rapport nr 2012:3.
Nakken O. 1994. Causes of trends and fluctuations in the Arcto-Norwegian cod stock. ICES Marine Science Symposia **198**: 212 - 228.
Nielsen EE, Hansen MM, Ruzzante DE, Meldrup D, Grönkjär P. 2003. Evidence of a hybrid-zone in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the Baltic and the Danish Belt Sea revealed by individual admixture analysis. Molecular Ecology **12**: 1497 – 1508.
Nissling A, Kryvi H, Vallin L. 1994. Variation in egg buoyancy of Baltic cod *Gadus morhua* and its implications for egg survival in prevailing conditions in the Baltic Sea. Marine Ecology Progress Series **110**: 67 – 74.
Nissling A, Vallin L. 1996. The ability of Baltic cod eggs to maintain neutral buoyancy and the opportunity for survival in fluctuating conditions in the Baltic Sea. Journal of Fish Biology **48**: 217 – 227.
Vallin L, Nissling A. 2000. Maternal effects on egg size and egg buoyancy of Baltic cod, *Gadus morhua.* Implications for stock structure effects on recruitment. Fisheries Research **49**: 21 – 37.
Nissling A, Westin L. 1991. Egg buoyancy of Baltic cod (*Gadus morhua*) and its implications for cod stock fluctuations in the Baltic. Marine Biology **111**: 33 – 35.
Nissling A, Westin L. 1997. Salinity requirements for successful spawning of Baltic and Belt Sea cod and the potential for cod stock interactions in the Baltic Sea. Marine Ecology Progress Series **152**: 261-271.
Nohrén E, Pihl L, Wennhage H. 2009. Spatial patterns in community structure of motile epibenthic fauna in coastal habitats along the Skagerrak – Baltic salinity gradient. Estuarine, Coastal and Shelf Science **84**: 1–10.
Ojaveer H,Jaanus A, MacKenzie BR, Martin G,Olenin S, Radziejewska T , Telesh I , Zettler ML, Zaiko A. 2012. Status of biodiversity in the Baltic Sea. PLOS One 5: e12467.

Ottersen G, Hjermann D Ø, Stenseth NC. 2006. Changes in spawning stock structure strengthen the link between climate and recruitment in a heavily fished cod (*Gadus morhua*) stock. Fisheries Oceanography **15**: 230 – 243.
Rönnberg C, Bonsdroff E. 2004. Baltic Sea eutrophication: area-specific ecological consequences. Hydrobiologia **514** : 227 – 241.
Shelbourne JE. 1956. The abnormal development of plaice embryos and larvae in marine aquaria. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **35**: 177-192.
Sjöstrand B, Werner M. 2012. Torsken vill hem och leka – val av lekplats har stor betydelse. Havet 2012 **69** – 72.
Svedäng H. 2003. The inshore demersal fish community on the Swedish Skagerrak coast: regulation by recruitment from offshore sources. ICES Journal of Marine Science **60**: 23 – 31.
Svensson M, Degerman E, Florin AB, Hagberg J, Kullander SO, Nathanson JE, Stenberg C. 2010. Fiskar – Fish Pisces. Rödlistade arter i Sverige 2010. 323 – 332.
Westin L, Nissling A. 1990. Effects of salinity of spermatozoa motility, percentage of fertilized eggs and egg development of Baltic cod (*Gadus morhua*), and implications for cod stock fluctuations in the Baltic. Marine Biology **108**: 5 – 9.
Wilson WR, Wilson JM, Grosell M. 2002. Intestinal bicarbonate secretion by marine teleost fish—why and how? Biochimicaet Biophysica Acta **1566**: 182 – 193.
Winsor P, Rodhe J, Omstedt A. 2001. Baltic Sea ocean climate: an analysis of 100 yr of hydrographic data with focus on the freshwater budget. Climate Research **18**: 5–15.
Zettler ML, Schiedek D, Bobertz B. 2007. Benthic biodiversity indices versus salinity gradient in the southern Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin **55**: 258–270.
Österblom H, HanssonS, LarssonU, HjerneO, Wulff F, Elmgren R, Folke C. 2007. Human-induced trophic cascades and ecological regime shifts in the Baltic Sea. Ecosystems **10**: 877 – 889.