Downloaded from orbit.dtu.dk on: Nov 07, 2026

DTU Library

Torsk og klima

Hvordan påvirker klimaændringerne torsken i Nordsøen?

Rindorf, Anna; Brøgger Pedersen, Jens; Christensen, Asbjørn; Grønkjær, Peter; Höffle, Hannes; Jonasdottir, Sigrun; Mariani, Patrizio; Munk, Peter; Møller, Eva Friis; Maar, Marie

Total number of authors:
14

Publication date:
2012

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Link back to DTU Orbit

Citation (APA):
Rindorf, A., Brøgger Pedersen, J., Christensen, A., Grønkjær, P., Höffle, H., Jonasdottir, S., Mariani, P., Munk, P., Møller, E. F., Maar, M., She, J., Tirsgaard, B., Vinther, M., & Gislason, H. (2012). Torsk og klima: Hvordan påvirker klimaændringerne torsken i Nordsøen? Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.
http://www.aqua.dtu.dk/upload/aqua/publikationer/pjecer/torskogklima_pdf_til_web_med_forfatternavne.pdf

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Torsk og klima

Hvordan påvirker klimaændringerne torsken i Nordsøen?

Indhold

3 **Indledning**
Hvad sker der med torsken i Nordsøen,
når klimaet ændrer sig?

6 **Torskens liv**
Havets økosystemer
Torskens biologi

10 **Torskens føde i et varmere klima**
Fortæl mig, hvad du har fået til middag
Fiskens sorte boks
At måle torskens energiforbrug i laboratoriet
Når forskere fanger fisk

15 **Torskens larver i et varmere klima**
Hvad spiser torskelarverne?
Hvor er torskelarverne?
Simulering af havstrømme,
temperatur, plankton og fiskelarver

20 **Torskens fjender i et varmere klima**
Pas på, ellers bliver du ædt!

Hvad sker der med torsken i Nordsøen, når klimaet ændrer sig?

Vi ved, at klimaforandringerne ændrer temperaturen i havet, havstrømmene og ferskvandsafstrømningen fra land, og vi ved, at det påvirker havets produktion af plankton og fisk. Men hvad betyder det for de forskellige arters vækst og chancer for at overleve? Hvordan vil fordelingen mellem forskellige arter af plankton og fisk ændre sig? Og hvor stor en rolle spiller klimaændringerne for fiskebestandene sammenlignet med, hvad fiskeriet betyder? Det er store spørgsmål, som kun delvis kan besvares i dag.

«Torsken rykker langsomt nordpå, efterhånden som temperaturen stiger.»

I dette hæfte har vi valgt at fokusere på torskens fremtid i en varmere Nordsø. Torsken er både et byttedyr, en rovfisk og en vigtig spisefisk. Mængden af torsk i fremtiden har derfor både betydning for andre fiskebestande, for havdyr og fugle og for os mennesker. Mange mennesker er afhængige af fiskeriet, og for endnu flere har fisk en vigtig ernæringsmæssig betydning, fordi vi får vitaminer og mineraler og essentielle fedtsyrer fra fisk.

Torsken og andre koldtvandsarter klarer sig dårligere i de sydlige dele af Nordsøen i dag end for 30 år siden. Torskebestanden i Nordsøen er blevet mindre, og torsken rykker langsomt nordpå, efterhånden som temperaturen stiger. Forskningen viser, at der ikke kommer en stor årgang af torsk, hvis den gennemsnitlige bund-temperatur i Nordsøen er over 5,6°C i årets første kvartal. Men hvorfor nu det? Det ser vi nærmere på i dette hæfte.

Hæftet giver en oversigt over alle livets faser for en torsk, hvordan temperatur og miljø spiller ind på hver enkelt fase, samt hvordan forskerne undersøger dyr, der lever hele livet i havet og derfor er næsten umulige at observere direkte. Du kan også møde nogle af de forskere, der arbejder med torsk og klima. Men vi starter med lidt baggrundsviden. I afsnittet "Havets økosystemer" på side 6 kan du blandt andet læse om forskellen mellem havets og landjordens økosystemer, og side 8 handler om torskens biologi.

Torskens føde i et varmere klima

Klimaet påvirker os alle, men koldblodede organismer som fisk er særligt følsomme, fordi temperaturen har indflydelse på, hvor meget de kan spise: I et varmt klima vil de både indtage og bruge mere energi end i et koldt klima. Ved mindre temperaturstigninger betyder det, at fisk vokser mere end ellers, og hvis der er rigeligt med føde, fører en mindre temperaturstigning til, at deres vækst øges. Men der er

forskel på arterne. En koldtvandsart som torsken er ikke tilpasset varme forhold, og hvis temperaturen bliver for høj, begynder torskene at miste appetitten, og væksten falder drastisk. Men hvad spiser en torsk, og betyder det noget for den, hvad den får at spise? Dette emne tages op i afsnittet "Fortæl mig, hvad du har fået til middag" på side 10.

Når torsken har spist tilstrækkeligt, kan den vokse, og mens den vokser, oplagres der informationer om dens alder og opvækstforhold i fiskens sorte boks - ørestenene. Det kan du læse mere om i afsnittet "Fiskens sorte boks" på side 12.

Torskens energiforbrug påvirkes ud over temperaturen også af dens aktivitetsniveau, og netop energiforbruget under forskellige forhold er i centrum i afsnittet "At måle torskens energiforbrug i laboratoriet" på side 11. For at bestemme torskens energiforbrug i laboratoriet er det nødvendigt først at få fat i nogle levende torsk, og det kan godt være vanskeligt. I afsnittet "Når forskere fanger fisk" på side 13 kan du læse, hvordan forskerne får fat i fisk til eksperimenterne.

Torskens larver i et varmere klima

Voksne fisk har nemmere ved at tilpasse sig ændringer i temperaturen end unge fisk, og voksne torsk flytter sig forholdsvist sjældent for at undgå lidt varmere vand. Derimod er der mange eksempler på, at torskelarvers overlevelse afhænger af den omgivne temperatur og havstrømmene. Disse forhold påvirker torskelarverne både direkte gennem transport af æg og larver, øget fødebehov og øgede vækstmuligheder og indirekte gennem ændringer i mængden af dyreplankton, som udgør torskelarvernes føde. Højere temperatur øger havets produktion af føde, så larverne kan spise mere, men højere temperatur øger også larvernes stofskifte, så føden hurtigere forbrændes. Havstrømme spreder æg og larver fra torskenes gydepladser ud over store dele af Nordsøen med forskellig temperatur og planktonproduktion. Læs mere om det i afsnittet "Hvad spiser torskelarverne?" side 15 og "Hvor er torskelarverne?" side 16.

Desværre kan man ikke måle havstrømme, bundtemperaturer, planktonproduktion eller antallet af fiskelarver systematisk i hele Nordsøen. Derfor er man nødt til at regne sig frem til klimaforholdenes betydning gennem computersimuleringer, hvor forskernes viden bruges

«Man er nødt til at regne sig frem til klimaforholdenes betydning gennem computersimuleringer.»

til konkrete forudsigelser om fiskebestandenes tilstand. Computersimuleringer bruges inden for mange fagområder, fra klimaforskning og meteorologi over biologi til avanceret matematik og fysik. Modelleringen af havklimaet og planktonproduktionen behandles i afsnittet "Simulering af havstrømme, temperatur, plankton og fiskelarver" side 18.

Torskens fjender i et varmere klima

Torsken har historisk været en vigtig art i fiskeriet. Men allerede i starten af 1990'erne begyndte torsken at blive sjældnere i den sydlige Nordsø, og undersøgelser har vist, at det ikke udelukkende skyldes det store fiskeri. Også rovdyr er ude efter torsken, men hvor vigtige er de egentlig i forhold til fiskeriet? Det ser vi på i afsnittet "Pas på, ellers bliver du ædt" på side 20.

Hvad ved vi om torsk og klima?

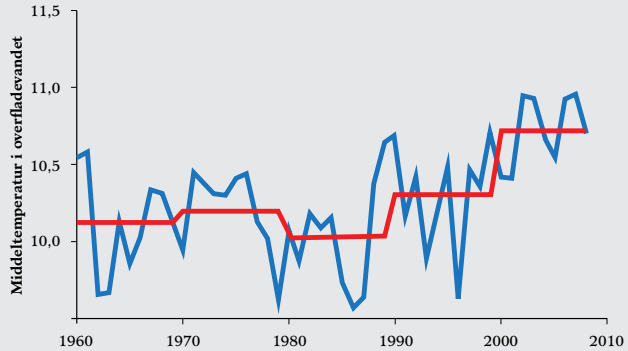
Det lader til, at der i slutningen af 1980'erne skete en større ændring i Nordsøens økosystem som reaktion på opvarmningen af havet. Tidligere passede planteplanktonets forårsopblomstring til det tidspunkt, hvor dyreplanktonet ynglede og havde brug for allermest

føde, men nu er produktionstoppene for de forskellige planktonarter blevet forskudt, hvilket også har ændret timingen mellem de forskellige grupper af dyreplankton og fisk. F.eks. er dyreplanktonarter, der foretrækker varmere vand, kommet til, mens arter, der foretrækker koldere vand, har trukket sig tilbage til dybere, koldere vand eller helt ud af Nordsøen. Det er sandsynligvis disse ændringer i planktonet, der i de seneste 40 år har medført, at der kommer færre nye torsk til bestanden.

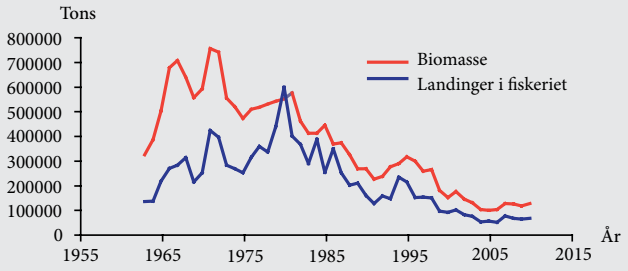
Men mange andre faktorer kan have medvirket til nedgangen i torskebestanden. Overlevelsen af æg og larver kan have ændret sig i takt med temperaturen, og det samme kan havstrømmenes transport af torskeæg og -larver rundt i havet. Nedgangen i antallet af nye torsk kan også skyldes, at småtorsk nu har en øget dødelighed, fordi rovfiskenes fødebehov generelt er steget, og fordi nogle af ungtorskenes fjender, f.eks. knurhane, er blevet mere talrige. På den anden side kan et varmere klima betyde, at de overlevende torsk vokser hurtigere, hvis der ellers er føde nok til stede, så de bedre kan undslippe rovdyr. Endelig har fiskeriet medvirket til et fald i torskebestanden, som også kan have reduceret tilgangen af nye småtorsk. Det varmere klimas effekt på overlevelsen og på væksten af torsk trækker i hver sin retning, og med den viden vi har i dag, er det ikke muligt at give et klart bud på, hvad den samlede effekt er. Vi ved nu, at klimaets påvirkning af torskebestanden i Nordsøen er langt mere kompleks, end man hidtil har været klar over.

«Ungtorskenes fjender, f.eks. knurhane, er blevet mere talrige.»

Vi kan håbe, at vi gennem fortsatte undersøgelser kan opnå en viden, som gør det muligt at skille de forskellige faktorers betydning fra hinanden, så vi kan have et bæredygtigt fiskeri i Nordsøen i fremtiden.



Figur 1. Middeltemperaturen i overfladevandet i Nordsøen fra 1960-2010 vist for hvert år (blå) og som gennemsnit over 10 år (rød).



Figur 2. Udviklingen i torskefangster og biomasse i Nordsøen. Biomassen er angivet 1. januar, mens landingerne dækker hele året. Da der kommer nye torsk til om sommeren, og torskene også vokser hen over året, kan landingerne godt overgå biomassen pr. 1. januar. Torskefiskeriet er gået meget tilbage i de senere år samtidig med, at torskebestanden er faldet. Tilbagegangen skyldes svigtende tilgang af nye små torsk til bestanden og et stort fiskeri.

Torskens liv

Havets økosystemer

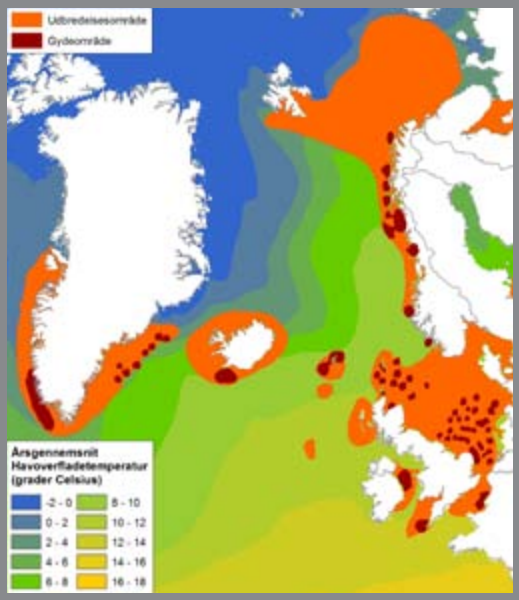
Hvor det på landjorden er planter og træer, der udgør bunden af fødekæden, er det i havet de mikroskopiske planktonalger. De bliver spist af millimeterstore vandlopper (dyreplankton), som er små krebsdyr, der udgør grundlaget for, at der kan være fisk, sæler og havfugle.

Planktonalgerne har brug for næringsstoffer og lys. Om vinteren begrænses deres vækst af lysmængden. Om sommeren er det mængden af næringsstoffer i de øverste vandlag, der afgør, hvor meget algerne vokser. I forårsmånederne, hvor både lys og næringssalte er til stede, vokser planteplanktonets eksplosivt. Det er netop på det tidspunkt, at vandlopperne og mange af fiskene forplanter sig. Tidspunktet for opblomstringen bestemmes af vandets temperatur og vindforhold. Planteplanktonet tjener som føde for vandloppernes larver, som selv bliver spist af fiskelarver. De voksne vandlopper spises af fiskelarver og småfisk, som selv bliver efterstræbt af større fisk. Ændres produktionen af planteplankton får det altså konsekvenser for fiskelarvernes overlevelse. Temperatur og lys spiller på denne måde en direkte rolle for, hvor mange dyr der er i havet, og hvor store de bliver.

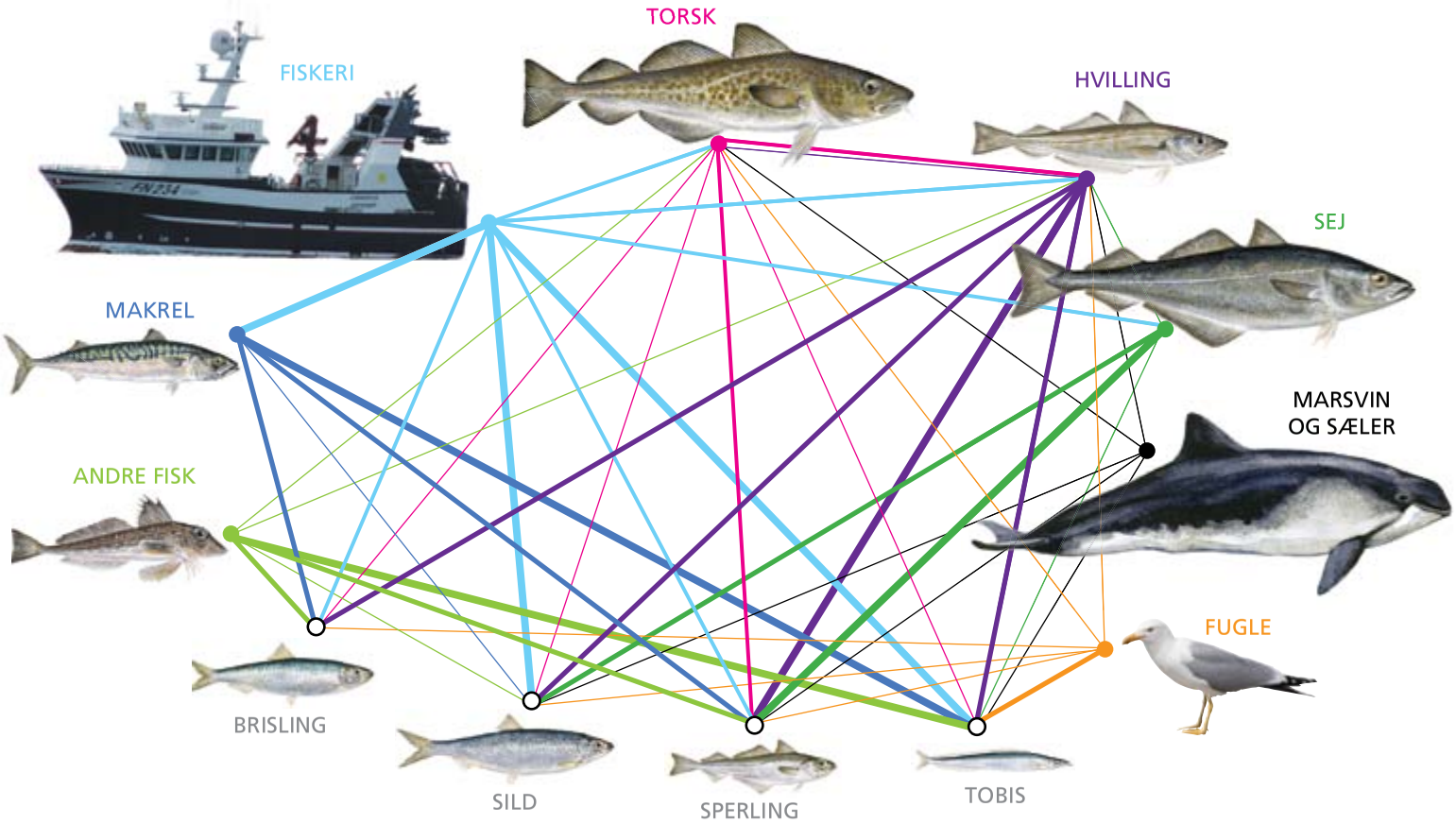
På landjorden er der oftest en skarp adskillelse mellem planteædere og kødædere, og det enkelte individ tilbringer hele sit liv i en af de to kategorier. I havet er det anderledes. Her spiser mange fiskearter f.eks. planteplankton, når de lige er kommet ud af ægget, herefter skifter de til dyreplankton og endelig for rovfiskenes vedkommende til andre fisk.

Torskens udbredelse

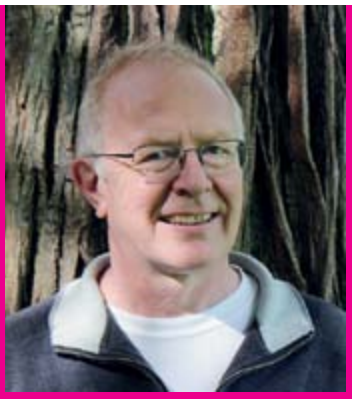
Torsken er udbredt over hele det nordlige Atlanterhav. Den findes så langt nordpå som i Barentshavet nord for Norge, og så langt syd på som det Keltiske hav mellem England, Frankrig og Irland. Torsken lever hovedsagelig ved temperaturer fra 2 til 10°C, selvom voksne torsk kan overleve temperaturer fra under 0°C til op til 20°C. Torsk findes på alle dybder fra kysten til ned til 600 m og dermed stort set i hele Nordsøen. Torsk kan blive meget store - ved Island er der fanget torsk over 2 m, og i 1800-tallet kunne man stadig finde torsk på over 1,5 m i Nordsøen. Middellængden på selv gamle torsk er dog langt mindre i dag - for torsk i Nordsøen omkring 130 cm.



Figur 3. Torskens udbredelse



Figur 4. Nordsøfiskenes fødenet. Pilenes tykkelse angiver den biomasse, der årligt overføres mellem f.eks. torsk og tobis, altså hvor meget tobis torsken spiser. Pilenes farve angiver, hvad fisken spiser, f.eks. er pile fra torsken til de dyr, den spiser, alle pink.
Illustrationer: Scandinavian Fishing Year Book, Colourbox og Danmarks Fiskeriforening.



Forskerportræt. Henrik Gislason *er professor på Danmarks Tekniske Universitet og forsker i, hvordan fisks vækst, dødelighed og produktion af æg afhænger af hinanden.*

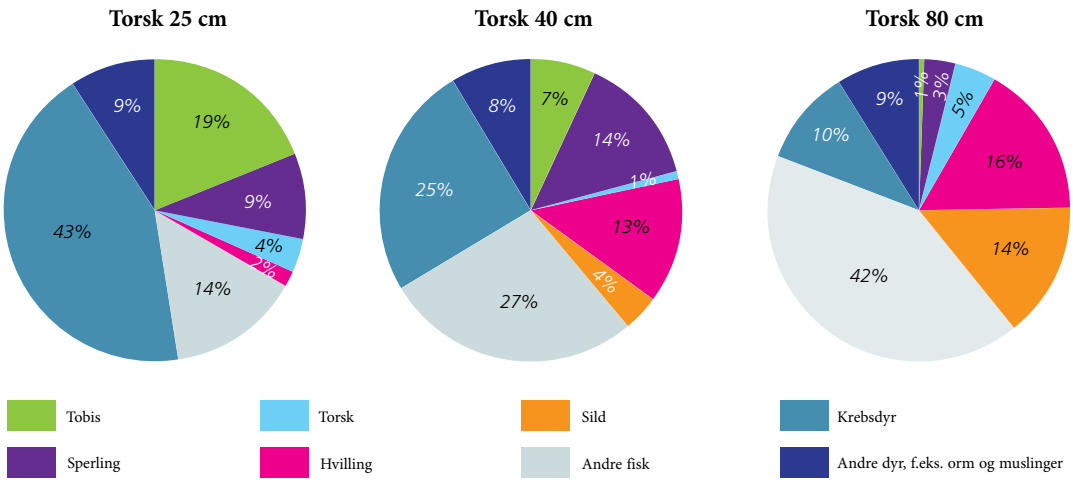
Hvad fiskene spiser, bestemmes i høj grad af deres størrelse, for fisk kan som regel kun spise byttedyr, som de kan gabe over. Derfor spiser små fiskearter ofte dyreplankton hele deres liv, mens større fiskearter spiser stadig større fødeemner, efterhånden som de vokser. Nogle fiskearter, f.eks. knurhane og hvilling, gør et stort indhug i andre arters ungfisk, f.eks. torsk. Disse småtorsk kunne, hvis de havde fået lov at vokse op, en dag selv have spist de fisk, som efterstræbte deres yngel. På den måde er der et kompliceret fødenet i havet, hvor fiskene og andre arter gensidigt påvirker hinanden på kryds og tværs (se figur 4), mens der på land ofte er en simplere og mindre forgrenet fødekæde, hvor f.eks. løver spiser zebraer, som spiser græs.

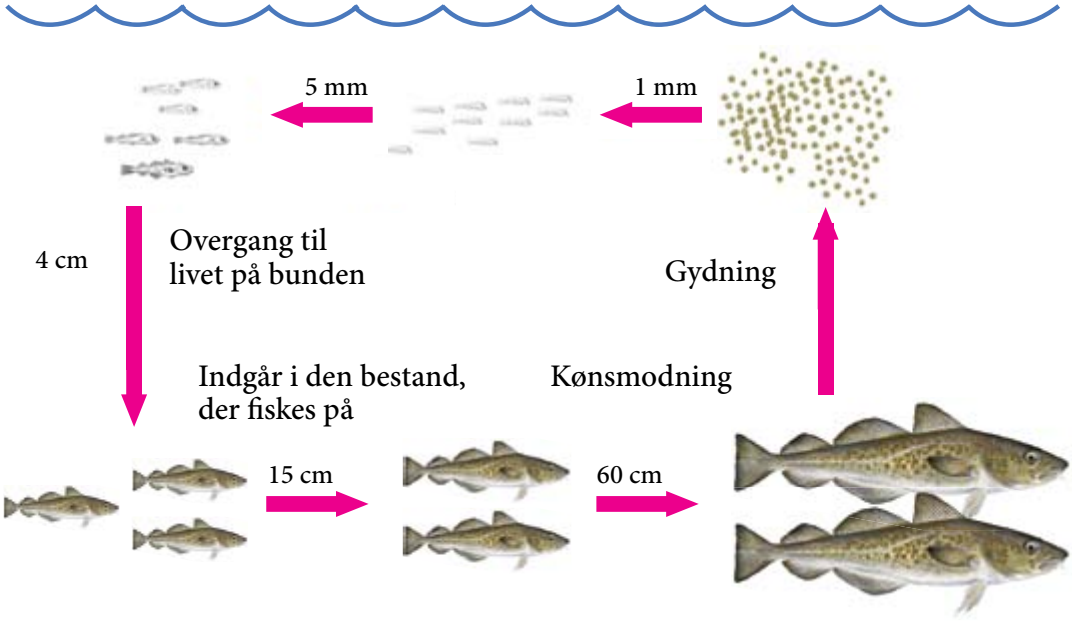
Torskens biologi

De fleste torsk i Nordsøen tilhører én bestand, men er højst sandsynligt delt op i mindre lokale stammer. Der findes dog selvstændige bestande af torsk langs den skotske kyst, den norske kyst og i Den Engelske Kanal, der ikke gyder sammen med torsken i selve Nordsøen (se figur 3). Andre steder findes der torskebestande, som vandrer over store afstande efter byttedyr som sild og lodde, men i Nordsøen vandrer torsken ikke så langt. Den tilbringer dog sommer og efterår nordpå i Nordsøen, men er længere mod syd om vinteren og i foråret.

Torsken gyder flere forskellige steder i Nordsøen i løbet af vinteren og foråret. Æggene er lidt over 1 mm i diameter og flyder op til

Figur 5. Hvad spiser små og store torsk?





Figur 6. Torskens livscyklus.
Illustrationer: Scandinavian Fishing Yearbook og DTU Aqua.

overfladen, hvor de klækker efter ca. 1-2 uger, afhængigt af temperaturen. En stor huntorsk kan gyde 2-3 millioner æg om året. Det lyder af meget, men ekstremt mange æg og larver dør i løbet af de første par måneder. Torskelarverne er ca. 5 mm store og lever hovedsaglig af vandloppelarver og vandlopper. Når torskene når en størrelse på 3-6 cm, begynder de at opholde sig længere tid på bunden. Her skjuler de sig gerne på lavere vand blandt store sten og vandplanter for at undgå at blive spist af en rovfisk. I denne periode lever torskene af små krebsdyr, orme og andre små bunddyr (se figur 6).

Efterhånden som torskene vokser, begynder de at spise flere og flere fisk. Til at begynde med spiser de småfisk som tobis, sidenhen er det sildefisk, små torsk og andre torskefisk. Kommercielt vigtige fiskearter som sildefisk, torskefisk og tobis udgør ca. 45 % af føden hos torsk på 25 cm og ca. 80% af føden hos torsk, der er større end 40 cm (se figur 5). Resten af føden udgøres af krebsdyr og andre bunddyr. En voksen torsk spiser ca. fire gange sin egen vægt om året.

Samtidig med at torskene vokser, flytter de ud på dybere vand: et-årige torsk findes fortrinsvis ved havdybder under 80 m, mens ældre torsk er mest almindelige på dybere vand. Nogle Nordsø-torsk er klar til at gyde allerede ved toårsalderen, men de fleste torskestammer gyder først, når de er fire år eller ældre.

Torskens føde i et varmere klima

Fortæl mig, hvad du har fået til middag

Torsken lever af en blanding af planktonædende fisk (f.eks. sild), bunddyr (f.eks. krabber og muslinger) og mindre torsk. Planktonædende fisk har et højere energiindhold end de andre fødeemner og er det foretrukne bytte for torsk. I de perioder, hvor der er mange planktonædende fisk i forhold til bunddyr i torskens føde, vokser den hurtigere og får mere afkom.

Figur 7. Indholdet i en torskemave. Foto: Niels Gerner Andersen.

Torskens maveindhold

Når man skal undersøge, hvad en torsk har spist, åbner man maven og trækker maveindholdet ud med en pincet. Torsk spiser mange rejer og muslinger, og tit er kun skallen tilbage. Men selv skallerne, kan ikke holde lang tid, for mavesyren er meget stærk, og en torsk kan fordøje en hel hummer med skal inden for 18 timer. Når byttet er fisk, går fordøjelsen endnu hurtigere. Det kan være en fordel for en lille torsk, fordi der hurtigere bliver plads i maven, så den kan spise igen. Og jo mere den spiser, jo hurtigere vokser den.

Forskerportræt. Hannes Höffle, *Danmarks Tekniske Universitet, undersøger, hvordan betingelser i miljøet og fordelingen af fisk i havet er relateret, og hvad der kan påvirke denne relation, f.eks. hvordan miljøet påvirker fordelingen af torsk og andre bundfisk som æg, larver og ungfisk.*

Mængden af føde i havet kan variere både i mængde og kvalitet fra år til år og inden for et år. Det kan have stor betydning for, hvor godt de enkelte årgange af fisk klarer sig. Den tilgængelige føde kan ændre sig langsomt over flere årtier, blandt andet pga. klimaforandringer, som kan ændre udbredelsen af byttedyr i havet og dermed, hvilken type føde der er til rådighed. Ændringerne kan også skyldes menneskeskabte forandringer i økosystemet. Man ved f.eks., at torsken i starten af 1900-tallet spiste store muslinger i langt højere grad end nu. Store muslinger er sjældne i dag, for de har svært ved at tåle, at fiskernes bundtrawl slæber hen over dem.

Ikke kun mængden af føde er vigtig for fisk. Ligesom hos mennesker er der noget mad, der er bedre for fisk end andet. Både fødemængde og kvalitet er nogle af de vigtigste faktorer for, hvordan fisk vokser og trives, og hvor meget afkom de får. Da den tilgængelige føde varierer over både tid og sted, kan fisk i modsætning til os, ikke selv bestemme, hvad de vil spise.

For at kunne forudsige hvordan fiskebestande påvirker hinanden, må man vide, hvor mange fisk der spises af andre fisk. Ligesom pattedyr har fisk en tydeligt afgrænset mave og tarm. Det største problem ved at undersøge fisks maveindhold er at undgå nedbrydning af maveindholdet, så man kan genkende føden, for mavesyren virker stadig, efter fisken er død. For det meste er det upraktisk at undersøge fisken straks, når den er fanget. Derfor konserveres fiskens maveindhold, enten ved at chokfryse hele fisken eller ved at sprøjte formalin eller alkohol ind i maven. Når forskerne kommer hjem i laboratoriet, undersøger de torskens maveindhold (se figur 7).

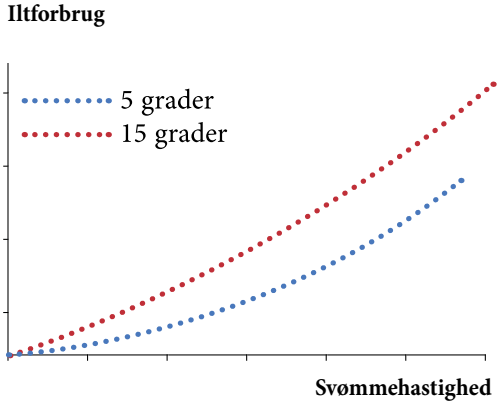
Fisk vokser mest om sommeren, hvor der er meget føde af god kvalitet i modsætning til om vinteren, hvor der er mindre mad og lavere temperaturer, og mange fisk slet ikke vokser. Når der er meget føde af god kvalitet, er der mere energi til rådighed, som fisken kan bruge til hurtigt at vokse sig stor, og den kan oplagre den energi, der er tilovers som fedt eller producere mere afkom. Oplagret fedt bruges i de perioder, hvor der ikke er noget føde til rådighed.

En af grundene til at fisk hurtigt skal vokse sig store er, at risikoen for at blive spist af andre er langt større for en lille fisk end for en stor fisk fra samme art. Samtidig kan en stor fisk selv spise et større udvalg af føde, måske endda også mindre artsfæller. Fisk, der vokser hurtigt, øger derfor deres chance for at overleve, så de kan blive kønsmodne, forplante sig og overføre deres gener til næste generation.

At måle torskens energiforbrug i laboratoriet

Når man beregner, hvor meget føde en torsk skal bruge til at overleve og vokse, er man nødt til at have viden om, hvordan energiforbruget ændrer sig både med temperaturen og med fiskens størrelse og aktivitetsniveau. Torskens energiforbrug måles gennem registreringer af fiskens iltoptag under svømning i et såkaldt svømmerespirometer (se figur 10). Iltforbruget er direkte proportionalt med energiforbruget, og en fordobling af iltforbruget svarer dermed til en fordobling af energiforbruget.

Respirometeret består af et lukket kammer, hvor en propel laver en vandstrøm, som fisken skal svømme imod. Under forsøget bliver vandhastigheden langsomt øget, indtil fisken er ude af stand til at følge med mere, og forsøget stoppes. Iltforbruget bliver målt under hele forsøget og fortæller, hvordan energiforbruget ændres med svømmehastigheden. Resultaterne af svømmeforsøget, som er afbilledet på figur 8, viser, hvilken effekt temperaturen (5°C og 15°C) har på torskens svømmeegenska-



Figur 8. Vandtemperaturens effekt på torskens svømmehastighed og iltforbrug målt i et svømmerespirometer.

Figur 9. En øresten fra en torsk.

Fiskens sorte boks

Fiskenes vækst afspejler sig i deres øresten, som findes i fiskens indre øre og består af kalk, en smule protein og forskellige sporstoffer. På den måde opfører ørestenen sig som et flys sorte boks, der oplagrer informationer.

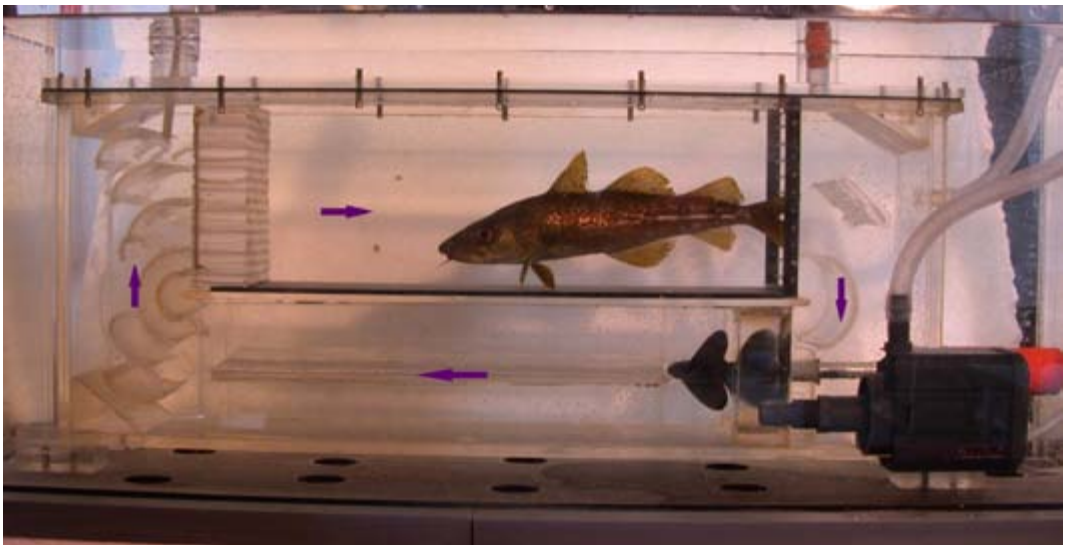
Det specielle ved øresten er, at de vokser i takt med fisken ved at aflejre nyt materiale uden på den eksisterede øresten, så den får en ringstruktur, som man kender fra træer. Ligesom træer har øresten både daglige og årlige vækstringe. Ved at tælle antallet af ringe kan man derfor bestemme alderen på en fisk.

Men øresten kan også bruges til at undersøge, hvor hurtigt fisk vokser. I perioder med hurtig vækst indlejres mere ørestensmateriale, og vækstringene bliver bredere i forhold til perioder med langsom vækst. Ved at måle afstanden mellem de forskellige vækstringe kan man således finde ud af, hvor hurtigt fisken har vokset på forskellige tidspunkter i dens liv.

Fiskeribiologer har brugt øresten til at undersøge vækstmønstre og aldersbestemme fisk i mere end 100 år, men den teknologiske udvikling har medført, at man i dag kan bruge øresten til langt mere end før. Når øresten vokser, indlejres der mikroskopiske mængder af metaller og andre sporstoffer fra det omgivende vand. Fordi mængden af sporstoffer varierer mellem de forskellige havområder, er det muligt at undersøge, hvor en fisk har været ved at analysere de sporstoffer, der er indlejret i de forskellige vækstringe. Mængden af sporstoffer, der aflejres, varierer fra sted til sted, og dermed sladrer ørestenen om, hvor torsken voksede op, og hvornår den forlod sit opvækstområde.

En anden og helt ny måde at bruge øresten på er at undersøge den lille mængde protein, der også indlejres i øresten. Ved at analysere forholdet mellem lette og tunge kvælstof- og kulstofisotoper kan man bruge øresten til at finde ud af, hvad en fisk har spist gennem hele sit liv, og om den tilgængelige føde for torsk har ændret sig gennem tiden.

***Forskerportræt. Jens Brøgger Pedersen** er ph.d.-studerende ved Århus Universitet, hvor han arbejder med torskens vækst under forskellige klimaforhold.*



Figur 10. En torsk bliver testet i et svømme-respirometer. Pilene viser vandstrømmens retning. Foto: Bjørn Tirsgård.

ber og energiforbrug. Eksperimentet viser, at torsk i hvile bruger langt mere energi på bare at overleve ved 15°C som ved 5°C. Når vandtemperaturen går fra omkring 1°C om vinteren til 20°C om sommeren, sker der ikke kun en forøgelse i fiskens kropstemperatur, men også i kroppens enzymaktivitet. Enzymerne står for blandt andet fødenedbrydelse, energiproduktion og vækst. Den øgede enzymaktivitet medfører både, at fisken kan opnå et højere aktivitetsniveau, men også at dens energiforbrug stiger, selv hvis den opretholdt det samme aktivitetsniveau.

***Forskerportræt. Bjørn Tirsgård** er ph.d.-studerende inden for fiskefysiologi på Københavns Universitet. Han forsker i klima-ændringernes effekt på fiskens energiforbrug.*

Når forskere fanger fisk

Når man skal fange fisk til brug for videnskabelige undersøgelser, foregår det ofte på samme måde, som når fiskere fanger fisk, som skal sælges hos fiskehandleren. Voksne fisk fanges med et trawl ligesom i det kommercielle fiskeri. Mange forskningsskibe, som f.eks. det danske havforskningsskib Dana (se figur 11), er faktisk tæt på at være en fiskeritrawler blot forsynet med ekstra instrumenter og udstyr.

Når fangsten er på dæk, bliver fiskene transporteret ind i laboratoriet, hvor de bliver talt, længden bliver målt, og vægten noteret, kønnet bliver bestemt, og ørestenene bliver skåret ud, så man kan bestemme deres alder. Andre gange tager man prøver af fiskenes maveind-

Figur 11. Dana er Danmarks Tekniske Universitets havforskningsskib. Foto: Line Reeh.

hold for at undersøge, hvad de har spist, eller vævs- eller blodprøver som kan analyseres genetisk, så man kan finde ud af, hvilken bestand fiskene tilhører.

Hvis man skal skaffe store vilde fisk til forskningsforsøg, kan man fange fiskene i trawl, i forskellige former for ruser eller med almindelige håndholdte fiskestænger. Trawling er hårdt ved fiskene, men i de situationer hvor der skal bruges mange og store fisk, eller hvor man ikke kan fange dem med ruser og stang, kan man være nødt til at lave nogle meget skånsomme og kortvarige trawltræk. Ruse og stang er de mest skånsomme fiskeredskaber, men metoderne er meget tidskrævende, og de kan til tider være umulige at bruge. Ruser er små netfælder, som fisken svømmer ind i. De bruges til at fange småtorsk på lavt vand.

Figur 12. Fiskeri med stang er en skånsom og sjov måde at fange fisk på. Her pilkes torsk på Grønland. Foto: Bjørn Tirsgård.

Torskens larver i et varmere klima

Hvad spiser torskelarverne?

Dyreplankton, og især vandlopper, er vigtigt som fødekilde for de fleste fiskelarver. Vandlopper lever mest af planteplankton, dvs. mikroskopiske encellede alger, som tager energi fra solen og næring fra vandet. Der er mange forskellige typer af planktonalger, og de er forskellige i smag, næringsindhold og udseende. Kiselalger er store og næringsrige og har en hård skal lavet af kisel omkring sig, mens grønalger er mindre og ofte ikke så næringsrige som kiselalgerne. Vandlopper kan spytte føde, de ikke kan lide, ud igen og kan på den måde vælge deres favoritmad fra en blanding af algeceller.

Selv om de fleste vandlopper er planteædere, er der dog også nogle vandlopper, som er rovdyr. De hænger ubevægelige i vandet som en løve på lur, indtil et lille encellet dyr eller en mindre vandloppe kommer forbi. Så springer de af sted for at fange byttet. De vandlopper, der både spiser grønt og kød, har den fordel, at de kan få det optimale ud af føden, så de kan have den højeste vækst, lave så mange larver som muligt og være i god fysisk form, så de kan springe væk fra fisk og andre rovdyr. Derfor skal de til hver en tid "overveje", hvilken føde der er den bedste. Det, der er mest af, kan jo være "junk food", så det kan være bedre at gå efter den næringsrige, men måske knap så rigelige føde. Hvis den gode mad befinder sig, hvor rovdyrene er, må vandlopperne nøjes med den føde, der er mindre risiko ved at fange. Så ofte er deres fødevalg et kompromis mellem sandsynligheden for at få noget at spise og risikoen for selv at blive spist.

Figur 13. Vandloppen *Acartia* (grøn pil) er kun 0,9 mm stor. Her ses den med to forskellige furealger, *Alexandrium* (rød pil) og *Prorocentrum* (gul pil), og den skal vælge, hvilken den vil spise. Ofte vælger en vandloppe det største bytte først, men i dette tilfælde vælger den *Prorocentrum*, fordi *Alexsandrium* er giftig. Foto: Erik Selander.

Figur 14. *Calanus finmarchicus* (nr. 1) og *Calanus helgolandicus* (nr. 2) er vigtige vandlopper for fisk, men fiskene spiser også mange andre loppearter, f.eks. *Acartia*, *Temora* (nr. 3) og *Metridia* (nr. 4). Foto: Peter Munk, Kristine Arendt og Erik Selander.

Forskerportræt. Sigrún H. Jónasdóttir *forsker på Danmarks Tekniske Universitet og er vild med vandlopper. Hun undersøger f.eks., hvad vandlopperne spiser, hvor mange æg de lægger, og hvornår. Hun ser også på, hvor de forskellige vandloppearter bedst kan lide at opholde sig i vandmasserne.*

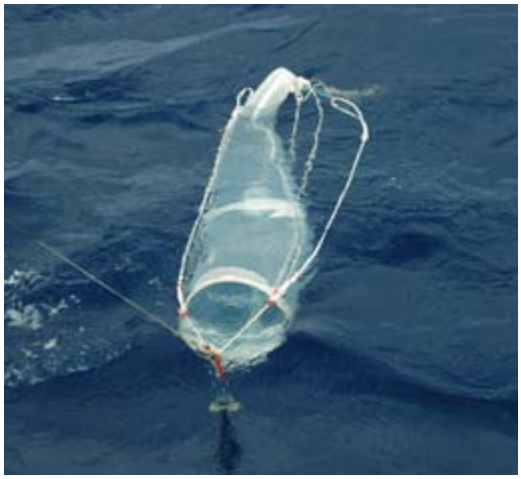
I Nordsøen findes der mange vandloppearter, men der er to, som er specielt vigtige som fødekilde for torsk: *Calanus finmarchicus* og *Calanus helgolandicus*. De er meget lig hinanden i form og størrelse og kan vanskeligt adskilles i mikroskopet, før de er voksne. *C. finmarchicus* foretrækker koldere vand end *C. helgolandicus* og dominerer derfor i de nordlige områder af Nordsøen og i de vandlag, hvor temperaturen er lav, mens *C. helgolandicus* især findes i den sydlige del af Nordsøen.

Den helt afgørende forskel mellem dem er imidlertid, at de lægger æg på forskellige tidspunkter af året. *C. finmarchicus* lægger primært æg om foråret, mens *C. helgolandicus*' ægproduktion topper sidst på sommeren. Det betyder, at hvis temperaturen stiger, og *C. finmarchius* klarer sig dårligere, vil der blive færre vandloppelarver i forårsperioden, hvor torskelarverne klækker og har brug for vandloppelarver som føde. Derudover er *C. helgolandicus* ikke så fedtholdig som *C. finmarchicus*. Torskelarverne skal derfor spise mange flere *C. helgolandius* end *C. finmarchius* for at få fedt nok til at overleve og vokse. Disse faktorer har tilsammen stor betydning for larvernes fødeindtag og overlevelse.

Man mener, at de temperaturændringer, der er sket gennem de sidste 30 år, og de medfølgende ændringer i *Calanus*-sammensætningen er en del af forklaringen på, at der fanges færre torsk i Nordsøen, men vi mangler endnu en række brikker i forståelsen af sammenhængen. Ved at kombinere viden om *Calanus*' livscyklus og fysiologi med modellering af havstrømme, algeproduktion og vandtemperatur kan vi få en bedre forståelse af samspillet imellem havtemperaturen og produktionen af føde til fiskelarverne.

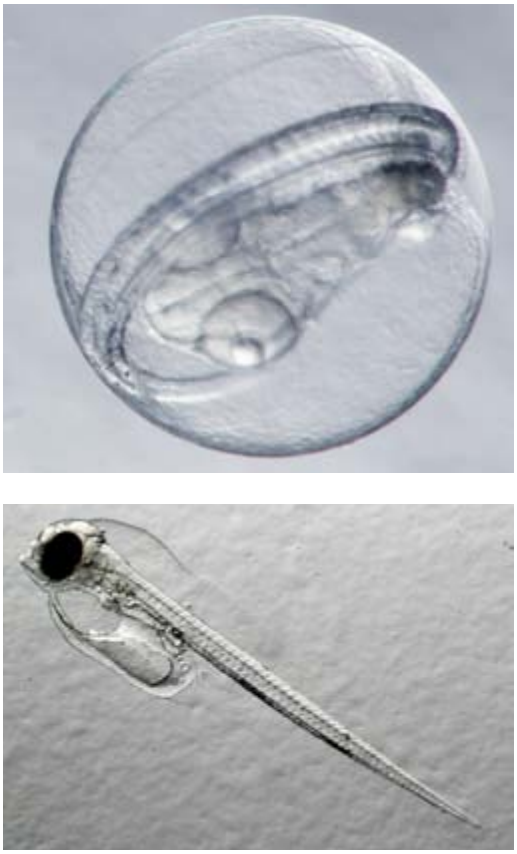
Hvor er torskelarverne?

Torsken gyder sine æg i vandsøjlen og både æg og larver driver af sted med havstrømmene. Det tager ca. 10 dage fra ægget er befrugtet, til en lille skrøbelig torskelarve kommer til verden (se figur 16).



Figur 15. Med et plankton-net kan forskerne fange plankton og torskeæg og -larver og finde ud af, hvor de befinder sig i havet. Oplysningerne kan blandt andet bruges i computermodeller, der forudsiger, hvor havstrømmene vil føre æg og larver hen. Foto: Sigrún H. Jónasdóttir.

Larvernes overlevelse er afhængig af temperaturen, den tilgængelige føde og risikoen for at blive ædt. Til at begynde med føres larverne passivt omkring, men i løbet af kort tid er de i stand til aktivt at bevæge sig hen mod områder med større fødetilgængelighed.



Figur 16. Torskeæg lige inden klækning og en ca. fem dage gammel torskelarve. Foto: Anders Thorsen.

Det er dog ikke nødvendigvis en god idé for dem at svømme derhen, hvor der er mest føde. Hvis der er rigtig mange om buddet, er det måske bedre at bevæge sig til en mere ydmyg fødekilde, som larverne kan have for sig selv.

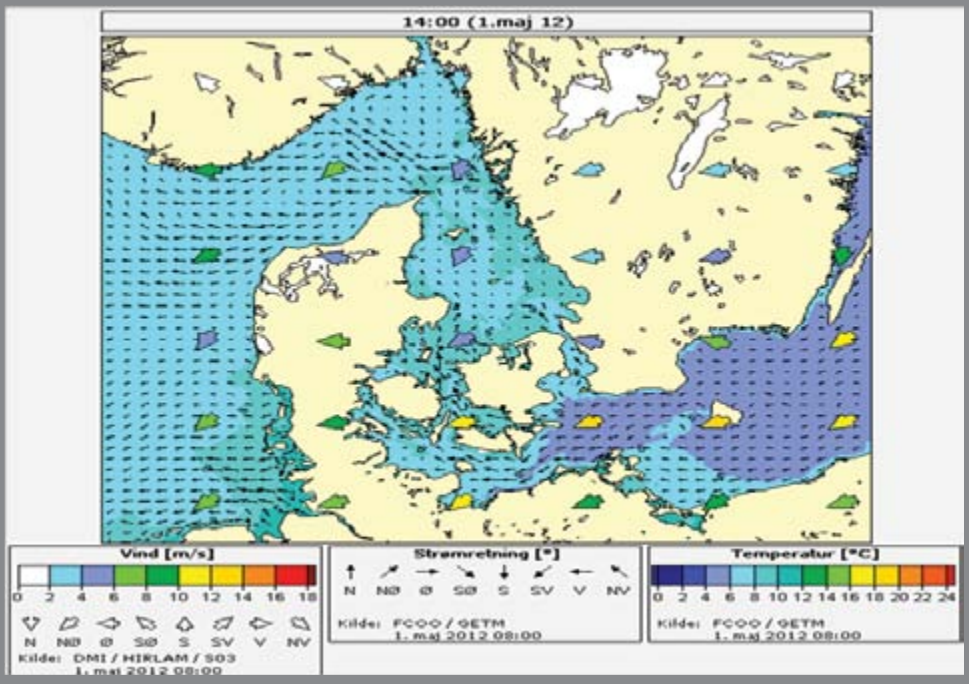
Forskerne undersøger, hvor æg og larver befinder sig, ved at fange dem med planktonnet (se figur 15). Nettet fanger både fiskeæg og larver og vandlopper, alger og andre planktonorganismer. Prøverne kan afsløre, hvor æggene gydes, og hvor larverne er, og herefter kan man bruge en computermodel til at bestemme, hvor strømmen fører æg og larver hen. Når man er på togt, er det tit umuligt at sortere fiskeæg og larver fra resten af prøven om bord på skibet. Derfor konserverer man prøven i formalin eller alkohol og kigger på den efter togtet. Tit ligner fiskelarverne slet ikke de voksne fisk, og så tager det tid at bestemme, hvilke arter man har fanget.

Simulering af havstrømme, temperatur, plankton og fiskelarver

Forskerne ved i dag rigtig meget om, hvad der sker i havet kvalitativt, dvs. det man kan beskrive med ord. Men forskernes viden kommer til kort, når de skal omsætte den kvalitative viden til konkrete tal og f.eks. udtale sig om præcist, hvor varmt eller hvor meget plankton der var i maj 1996 på et bestemt sted i Nordsøen.

Da der ofte ikke er målinger på netop det sted, man vil vide noget om, bruger forskerne computersimuleringer til at vurdere, hvordan forholdene var, eller hvordan de vil blive i frem-

***Forskerportræt. Asbjørn Christensen** på den store blå scene. Han forsker på Danmarks Tekniske Universitet i, hvordan fisk og deres tidlige livsstadier bliver påvirket af ændringer i havet.*



Figur 17. Beregning af havstrømme og vandtemperaturer i de danske farvande kl. 14:00 den 1. maj 2012.

Nordsøens vandstrømme

Havmiljøet i Nordsøen påvirkes af klimaet både gennem den direkte effekt af højere lufttemperaturer, gennem ændringer i indstrømningen af varmt vand fra Golfstrømmen, og gennem afstrømningen af ferskvand fra land. Man kan bruge computermodeller til at beregne strømmenes retning og styrke, og hvordan de påvirker fordelingen af vandtemperatur og saltholdighed. Modelberegningerne tjekkes med observationer og målinger fra satellitter, målebøjer og skibe. Når modellerne er tjekket, kan de bruges både til at bestemme temperatur og strøm på et givet sted og tidspunkt, hvor man ikke har målinger, og til at forudsige, hvordan klimaændringer vil påvirke havstrømme og vandtemperaturer i fremtiden. I løbet af de sidste 25 år er havets overfladetemperatur steget med ca. 1°C i europæiske farvande, og stigningen forventes at fortsætte, så vi vil nå op på 2-4 °C højere temperaturer i overfladevandet i Nordsøen i slutningen af dette århundrede.

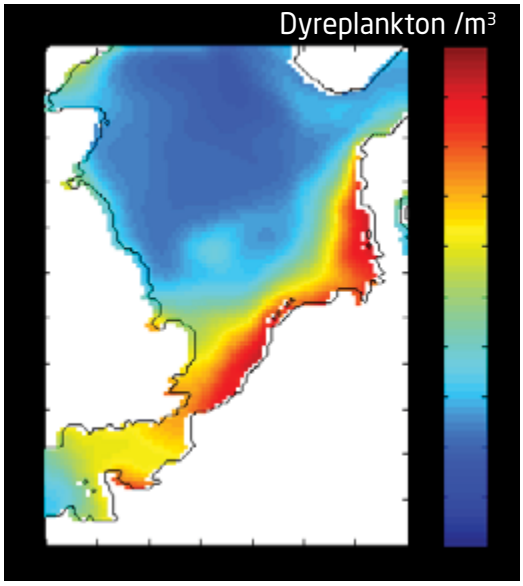
tiden. For at anvende computersimulering er man nødt til at skabe en realistisk model af hav, plankton og fisk i computeren, og her kommer det forskningsmæssige håndværk på en alvorlig prøve. Kunsten er at lave computermodeller, der er så detaljerede, at de kan beskrive de væsentligste træk ved livet i havet, men samtidig skal de være så simple, at de kan anvendes i praksis og ikke indeholder unødvendige detaljer. Der er f.eks. mere end

1.000.000.000.000.000 (10^{15}) fisk og endnu flere planktonorganismer i Nordsøen, men man vil nødig beskrive hver eneste i computermodellen.

Torskelarvernes føde er dyreplankton, som er ca. 10-50 gange mindre end dem selv. For at kunne afgøre om den dårligere overlevelse af torskeæg og -larver i varme år skyldes forskydningen i planktontoppe, må man vide for hvert år, hvordan transporten med havstrømmene var, og hvilken planktonproduktionen der fandt sted. Men det er dyrt at måle de faktiske forekomster af plankton. Derfor udvikler forskere modeller for de relevante arter af dyreplankton baseret på forsøg i laboratoriet. Her måler man, hvor hurtigt dyreplanktonarterne spiser, hvad deres optimale temperatur er, og hvor stor dødeligheden er. Disse modeller kan så indgå i endnu større modeller, der kan bruges til at forudsige forekomsten af dyreplankton.

Udover de processer man kan måle i laboratoriet, påvirkes dyreplankton især af havstrømmene. Havstrømmene transporterer dem rundt og bestemmer derfor til dels, hvor godt de vokser: De vokser nemlig bedst dér, hvor der er den rette temperatur og en høj produktion af de alger, de spiser. For at kunne beskrive denne variation bliver computermodellerne af dyreplankton koblet til en fysisk model, der beskriver havstrømme og temperatur. Desuden bliver computermodellerne koblet til en model, der beskriver algeproduktionen. Forekomsten af dyreplankton varierer fra år til år, fra sæson til sæson, mellem vanddybder og fra de kystnære til de åbne farvande. Modellerne gør det muligt at beskrive både den tidslige og rumlige fordeling af fiskenes føde tilbage i tiden, men også at se frem i tiden ved hjælp af scenarier for det fremtidige klima.

***Forskerportræt. Marie Maar** på et vindmøllefundament. Hun arbejder på Aarhus Universitet og forsker i, hvordan klimaændringer og eutrofiering påvirker havets biogeokemi og dyreplankton.*



Figur 18. Årsgennemsnit for biomasser af dyreplankton i Nordsøen. Figuren viser, at der er mest dyreplankton i den syd-østlige del af Nordsøen.

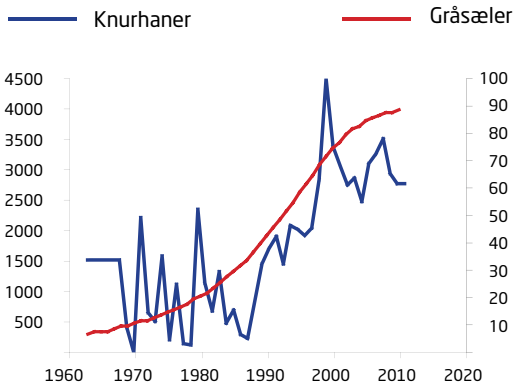
Torskens fjender i et varmere klima

Pas på, ellers bliver du ædt!

Der er mange farer, når man er en torsk, og en af de største er ens egne artsfæller. Store torsk spiser gerne mindre torsk, og historisk set har man ment, at det at blive spist af en anden torsk var den vigtigste årsag til dødelighed blandt torsk i de første leveår. Dødeligheden burde derfor være aftaget for torskene i Nordsøen i de senere år i takt med, at torskebestanden er blevet væsentligt mindre, og andelen af voksne fisk er faldet.

Men nu er en ny aktør trådt ind på scenen som den vigtigste kilde til dødelighed for ungtorsk: den grå knurhane (se figur 19). Den er blevet meget almindelig i de senere år (se figur 20), formentlig i forbindelse med det varmere klima. Samtidig er knurhanernes fødebehov vokset, fordi vandet er blevet varmere. En væsentlig del af den grå knurhanes føde er småtorsk under 10 cm. Men torsken vokser også hurtigere, når vandet er varmt. Derfor er det muligt, at dødeligheden for småtorsk enten forbliver uændret eller nedsættes, når vandet bliver varmere, fordi torsken hurtigt kan vokse til en størrelse, hvor den ikke længere kan blive spist af knurhaner.

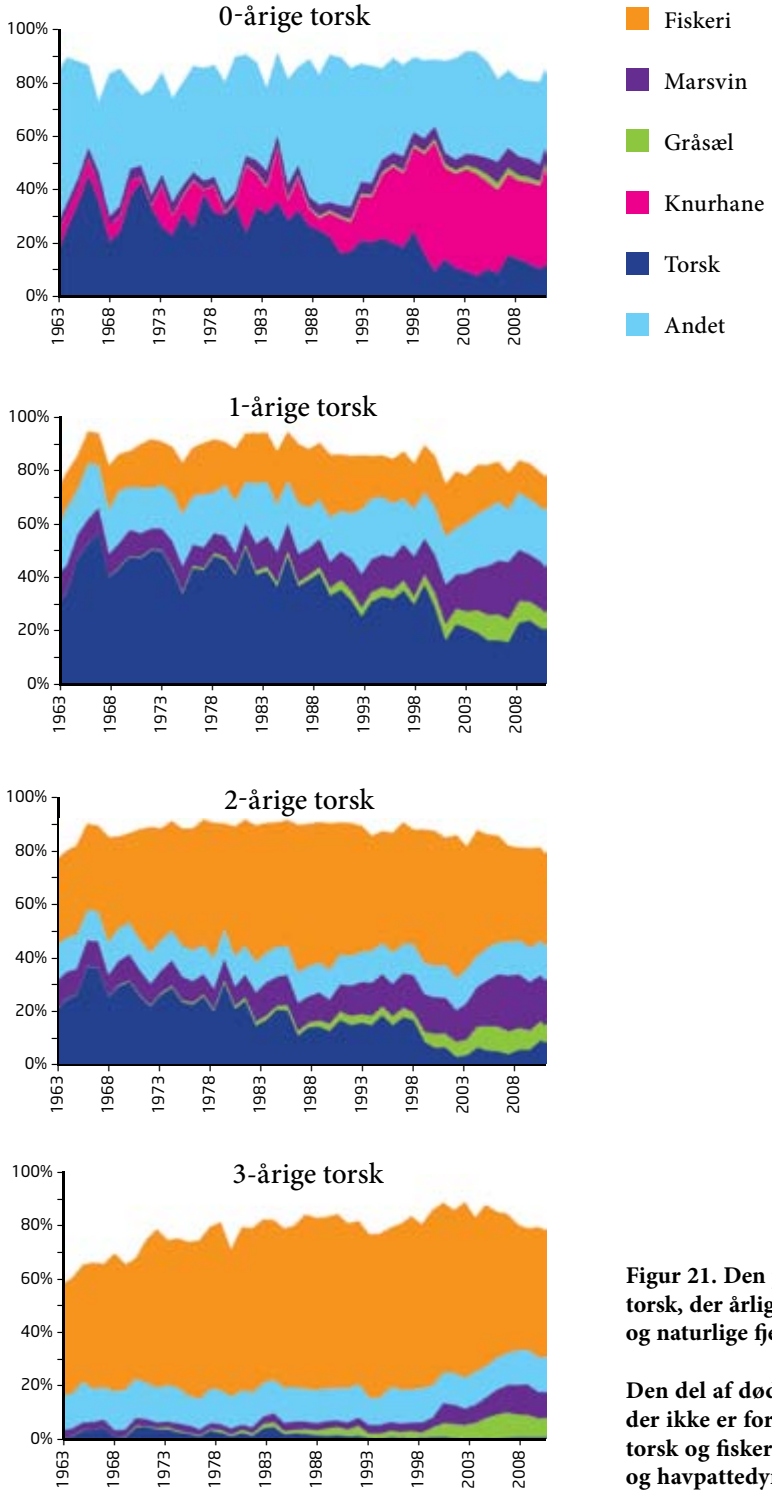
Men torsken har også andre fjender. I de senere år har man undersøgt, hvad havpattedyr spiser. Havpattedyr er varmblodede dyr og bruger dermed langt mere energi end koldblodede fisk af samme størrelse.



Figur 20. Udvikling i antal knurhaner og sæler i Nordsøen fra 1963-2010. Antal angivet i tusinder.

De mest almindelige havpattedyr i Nordsøen er gråsælen og marsvinet. Gråsælen blev tidligere udsat for jagt, men det er nu kun lovligt at skyde sæler, hvis de direkte ødelægger fiskeredskaber. Sælerne har derfor en langt større

Figur 19. Knurhanen er de unge torsks værste fjende, men når torsken er omkring et år, er den så stor, at knurhanen ikke længere kan gabe over den. Tegning: Scandinavian Fishing Year Book.



Figur 21. Den procentdel af Nordsøens torsk, der årligt dør på grund af fiskeri og naturlige fjender.

Den del af dødeligheden (lyseblå), der ikke er forårsaget af marsvin, sæler, torsk og fiskeri, skyldes andre rovfisk og havpattedyr, sygdom mm.

***Forskerportræt. Anna Rindorf** forsker på Danmarks Tekniske Universitet i, hvordan fiskebestande påvirker hinanden, havfugle og havpattedyr. Hun arbejder også med, hvordan vi sørger for at opretholde et sundt økosystem med plads til både fiskeri og naturlig mangfoldighed.*

chance for at overleve og selv få unger, og populationen af sæler i Nordsøen har været støt stigende over de sidste 20 år, indtil den i de senere år har stabiliseret sig på et niveau på lidt under 90.000 dyr (se figur 20).

Havpattedyrenes fødeindtag er ikke som de koldblodede dyr styret direkte af temperaturen. Der vil derfor ikke være en stigning i fødeindtaget, når vandet bliver varmere. Til gengæld skal en torsk være meget stor, før havpattedyrene ikke kan spise den, og der er dermed ikke håb om, at torsken kan udnytte en øget vækst til at undslippe, sådan som den kan undslippe knurhanerne, når den når en vis størrelse.

Tilsammen er gråsælerne, marsvinene og knurhanerne ansvarlige for en stor del af torskens dødelighed, og den tidligere opfattelse af, at den dødelighed, som torskens naturlige fjender udsatte den for, var faldende, har vist sig ikke at være korrekt. Selvom der er gjort en stor indsats for at begrænse torskefiskeriet, har torsken kun oplevet en lille nedgang i den samlede dødelighed (se figur 21).

Figur 22. Marsvinet er sammen med gråsælen og knurhanen ansvarlig for en stor del af torskens dødelighed. Tegning: Scandinavian Fishing Yearbook.

Torsk og klima.
Hvordan påvirker klimaændringerne
torsken i Nordsøen?

Udgivet af Institut for Akvatiske Ressourcer,
Danmarks Tekniske Universitet, 2012.

Illustrationer på forsiden og side 3:
Colourbox og Scandinavian Fishing Yearbook.
Layout og tryk: PE offset A/S.
Oplag: 4.000 eksemplarer.
Læs mere på www.torskogklima.dk.

Torsk og klima – en del af Sunfish-projektet

Hvordan vil torskebestanden i Nordsøen reagere, når klimaet bliver varmere? Hvordan påvirkes æggene, larverne og den voksne torsk af klimaændringerne? Hvilken rolle spiller torsken i Nordsøens økosystem? Og hvordan undersøger forskerne egentlig livet under havet? Det er emner, som tages op i dette undervisningsmateriale om torsk og klima. Materialet er rettet mod biologi i gymnasiet og består ud over hæftet af hjemmesiden www.torskogklima.dk.

Hæftet udspringer af forskningsprojektet Sunfish, hvor seks universiteter og forskningsinstitutioner har undersøgt aspekter af klimaforandringernes betydning for livet i Nordsøen. Sunfish blev gennemført fra 2008-2012 og var støttet af Det Strategiske Forskningsråd.

Partnerne i Sunfish-projektet

Danmarks Tekniske Universitet

DTU

AARHUS UNIVERSITET

DMI

KØBENHAVNS UNIVERSITET

The Scottish Government

Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG