

Forskning på tværs af faggrænser

Både fysikere og biologer er optaget af at udforske og forstå naturen. Biologer kan stille mange relevante spørgsmål, som de ikke kan besvare. Og fysikere kan svare på mange spørgsmål, som ingen har stillet. Den svære kunst er at kombinere spørgsmål og svar på tværs af faggrænser.

Forfatterne



Thomas Kiørboe er professor, DTU Aqua. tk@aqua.dtu.dk



Anders Andersen er lektor, DTU Fysik aanders@fysik.dtu.dk



Tomas Bohr er professor, DTU Fysik tomas.bohr@fysik.dtu.dk

Alle tilknyttet Centre for Ocean Life (VKR Center of Excellence)

Opskriften på en “hit-artikel” i et videnskabeligt tidsskrift (altså en artikel, der bliver læst og citeret af mange) er ifølge en nylig artikel i *Science* at kombinere konventionel viden med en passende – og ikke for stor – dosis nyt fra et andet forskningsfelt. Da Darwin introducerede sine revolutionerende ideer om evolution og naturlig selektion byggede hans præsentation i høj grad på en beskrivelse af konventionel viden om avl af husdyr. Og da Newton introducerede sine gravitationslove byggede han sin fremstilling på velkendt geometri, ikke på den nye differentialregning han også havde udviklet. Nye ideer løsevet fra konventionel viden opfattes som skøre og har kun ringe gennemslagskraft, i hvert fald i deres samtid.

At utraditionel kombination af viden kan føre til nye opdagelser er en gammel nyhed: Det er ofte på grænsen mellem discipliner, at de store nybrud sker. Forfatterne til denne artikel, to fysikere og en biolog, forsøger (som så mange andre) at kombinere deres viden på tværs af deres respektive discipliner, først og fremmest til at belyse biologiske spørgsmål. Og vi deltager i et VKR-forskningscenter, som forsøger at bringe fysikere, matematikere, biologer og kemikere sammen om at udvikle forståelsen af livet i havet og af marine økosystemer. Men vi har oplevet, at det ikke altid er lige nemt at kommunikere på tværs af faggrænser: Vi har vidt forskellige traditioner, og vi har forskellige sprog.

Forskellige faglige traditioner

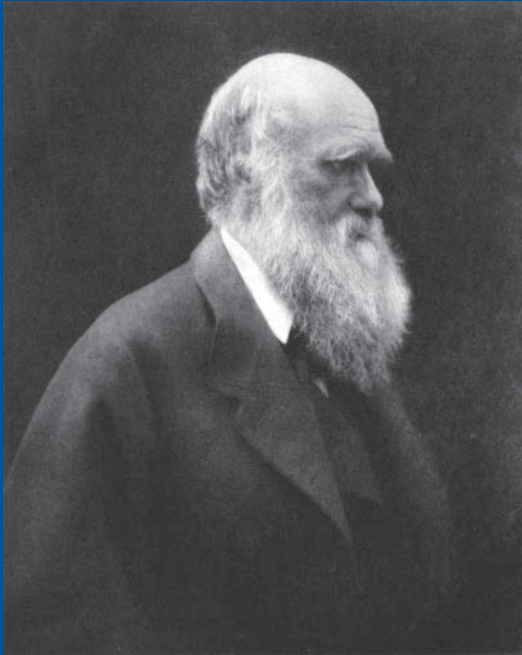
Den danske biolog Tom Fenchel karakteriserede engang forskellen mellem biologer og fysikere nogenlunde således: Hvis de hver især skulle beskrive et billardspil ville biologen beskrive spil efter spil, notere at hvert spil er unikt men kategorisere dem og ende med at skrive en lang afhandling om sine observationer. Fysikeren ville derimod snart udlede teorien om det elastiske stød og skrive en kort artikel.

Den forskel, der her karikeres, går tilbage til vore faglige forfædre: På basis af nogle få fundamentale postulater formulerede Einstein den specielle relativitetsteori i få ligninger, der revolutionerede fysikken, mens Darwin brugte et helt liv på at samle observationer, inden han omsider kunne formulere sine ikke mindre revolutionerende ideer i en hel bog.

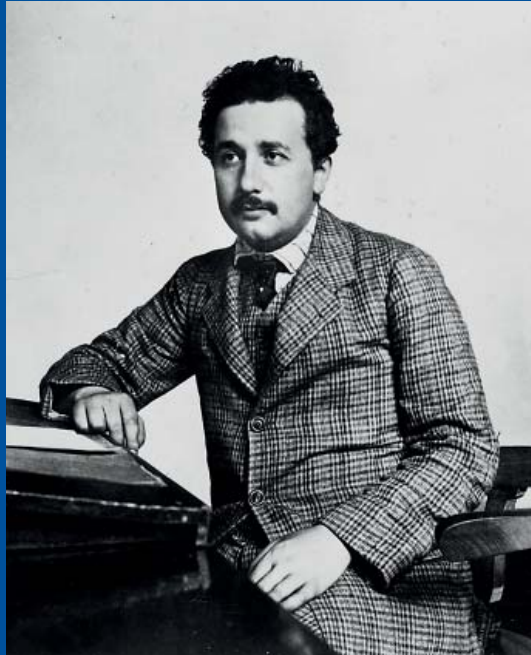
Biologi er i sit udgangspunkt en beskrivende videnskab, der fokuserer på detaljer, kompleksitet og forskellighed (diversitet), mens fysikkens ideal i højere grad er syntesen, forenklingen og det fundamentale. Biologi bygger traditionelt på intuition, fysikken udnytter derimod ofte matematiske beviser. Biologien taler i (mange) ord, fysikken i (få) ligninger.

Forudsætningen for at overkomme de kulturelle kløfter og sproglige barrierer er at erkende dem. Og

Biologi versus fysik



Darwin brugte et helt liv på at samle observationer og evidens og udgav først i en alder af 50 år *Arternes oprindelse*,



mens Einstein i en alder af blot 26 år publicerede den specielle relativitetsteori, der fundamentalt ændrede fysikken.

der er meget at vinde ved at overskride faggrænserne, både for biologien og for fysikken. Lad os starte med det sidste.

Fysikkens udvikling

Gennem de seneste 100 år har fysikkens grundlag ændret sig med stor hastighed, først med introduktion af relativitetsteori og siden kvantemekanik, standard-modellen og strengteori. Bestræbelserne har været indad i en stadig søgen efter naturens mindste, fundamentale byggesten. Men der er grænser for, hvor mange superacceleratorer vi kan bygge, og derfor grænser for, hvor mange fysikere, der kan beskæftige sig med naturens mindste byggesten. Og samtidig er det blevet klart, at ikke alle verdens spørgsmål kan besvares med dette reduktionistiske princip, selvom fysikken ambitiøst har stræbt mod at formulere "teorien for alting". Dette er måske især blevet åbenbart gennem studiet af såkaldt komplekse systemer – som de fleste biologiske systemer er – og har ført til erkendelsen af, at hver længdeskala og grad af kompleksitet har sine egne fundamentale problemer, som kan interessere fysikere.

Fysikere har derfor i stigende omfang kastet sig over biologiske problemer. Det drejer sig om stort set alle områder indenfor biologien, herunder molekylærbiologi, cellebiologi, fysiologi, medicin og økologi. Fysikerne tilfører biologien en forståelse af

underliggende, ikke-intuitive fysiske mekanismer og en analytisk kraft, og fysikken har ydet væsentlige bidrag til biologien. Men der er også mange eksempler på, at fysikere har besvaret selvopfundne spørgsmål, som ingen andre har interesse i og som typisk er begrundet i en metode, som de behersker.

Det gode problem

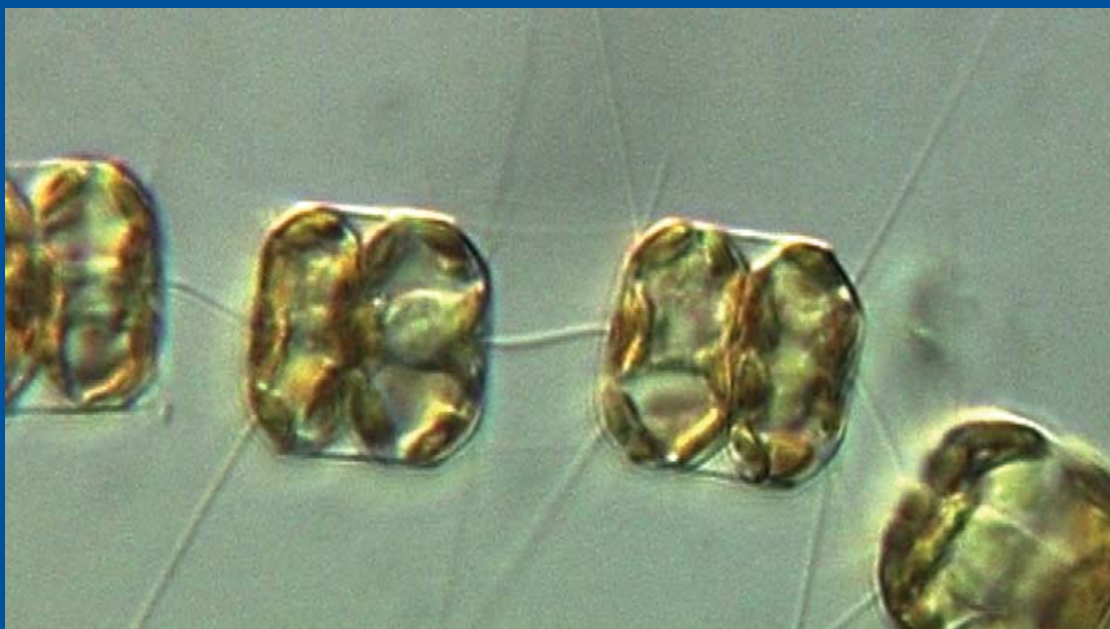
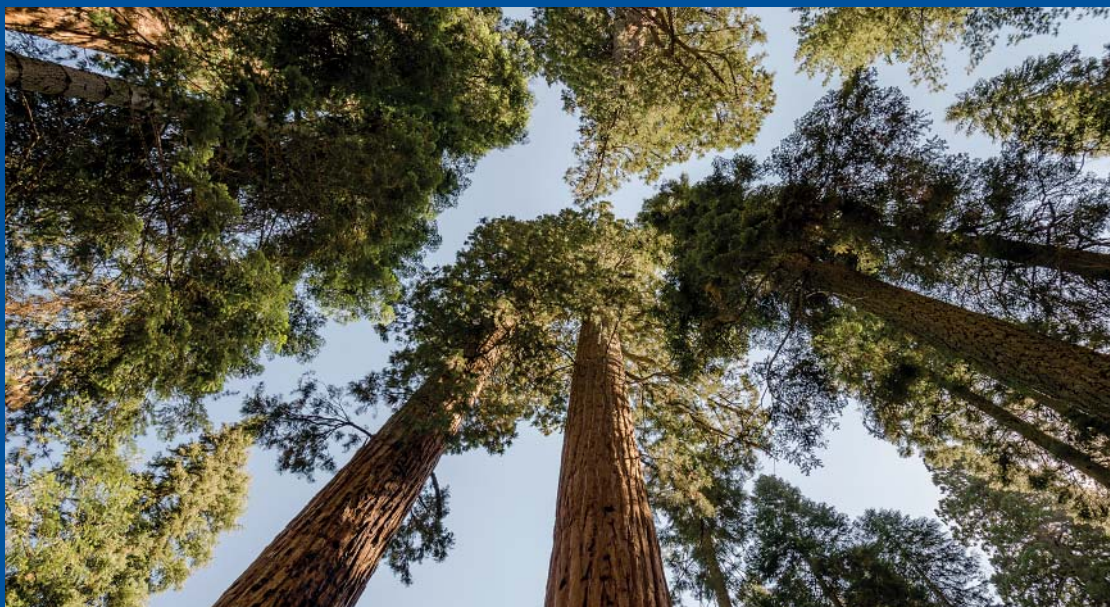
En matematiker kom engang til én af os og spurgte, om der var et godt biologisk spørgsmål, som passede til det svar, han ad matematisk vej havde fundet frem til. Fysikere og matematikere er altid på jagt efter *gode problemer*. Et *godt problem* er karakteriseret ved at kunne løses teoretisk, og ved at løsningen er ikke-trivielt – altså at man ikke uden videre kan regne det ud – og gerne overraskende. Lidt ligesom en interessant gåde. Det *gode problem* er altså typisk ikke afledt af et udefrakommende spørgsmål men snarere defineret ved sine egenskaber. Løsningen af den slags problemer kan lede til nye overraskende indsigter. Det er der altså ikke noget i vejen med. Men der er selvfølgelig forskel på interessante og ligegyldige spørgsmål, og den distinktion er ikke altid nem at gøre.

Problemer og spørgsmål i biologien er typisk defineret ud fra en observation, som ønskes forklaret. Biologer er trænet i at måle på biologiske systemer, fra celle- til økosystemniveau, men ofte kan observationer ikke fortolkes ved hjælp af sund fornuft og intu-

Havets planter er encellede og, mens landjordens planter kan være små eller store – eller meget store, som Sequoia-træerne øverst. Denne forskel i primærproducenternes størrelser har afgørende betydning for strukturen af havets og landjordens fødekæder.

Foto sequoia-træer:
Tuxyso / Wikimedia Commons
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>

Foto kiselalgeralger: Niels Daugbjerg



ition. Lad os tage et par eksempler fra vores eget forskningsområde.

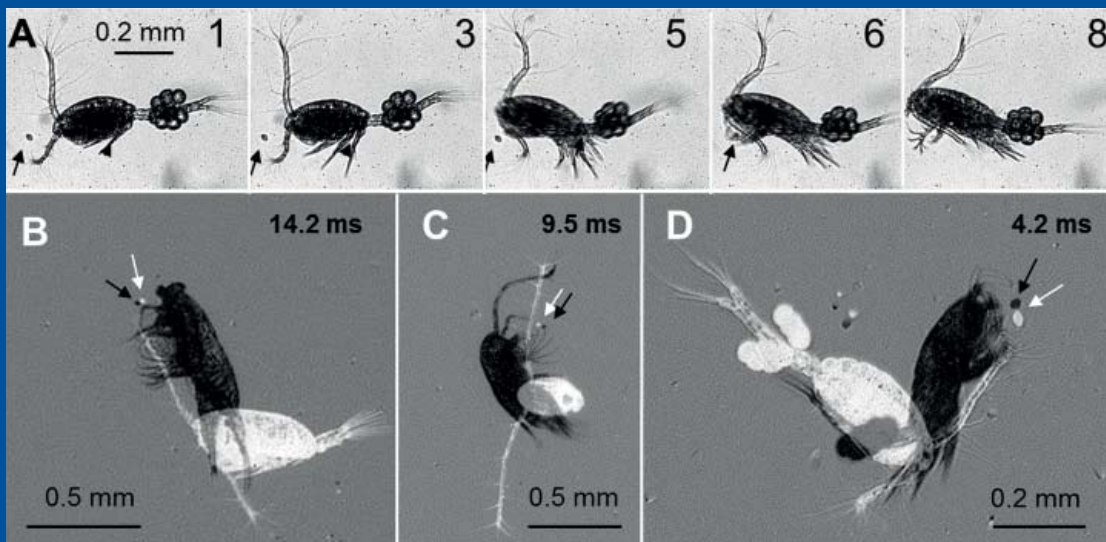
Fysikken i biologien

Planteproduktionen i havet varetages af mikroskopiske encellede planter, det såkaldte fytoplankton. Men hvorfor er alle havplanter mikroskopiske, når planterne på landjorden har alle mulige størrelser, fra mikroskopiske encellede organismer til små græsser og til de største, 100 m høje *Sequoia*-træer? Denne forskel i primærproducenternes størrelse forplanter sig hele vejen op i fødekæden og er derfor vigtig for at forstå forskelle mellem fødekæderne på land og i havet.

Plantevæksten på landjorden er først og fremmest begrænset af vand – der er ringe plantevækst i Sahara og stor plantebiomasse i en regnskov. Plan-

tevæksten i havet er derimod primært begrænset af tilgængeligheden af plantenæringsstoffer som nitrat og fosfat. Fysikkens love om molekylær diffusion fortæller os, at tilførslen af næringsstoffer er langt mere effektiv, jo mindre planten er, og det er præcis grunden til, at planterne i havet er mikroskopiske. Men der skal en forståelse af formel fysik til for at indse dette – det kan ikke udledes af naturhistoriske observationer.

Et andet eksempel er, at mange mikroskopiske planktondyr skaber en fødestrøm ved at vibrere med deres fødelemmer, og de høster byttepartikler, der ankommer i fødestrømmen. Men nogle byttedyr, få tusindedele mm store, opdager, at de er ved at blive indfanget og flygter. Umiddelbart er logisk reaktion, men hvordan kan disse blinde smådyr vide, at de er i fare? Vi har mange tilsvarende observatio-



(Forfatterens fotos. Gengivet med tilladelse fra Proceedings of the National Academy of Sciences)

Et spørgsmål om træk

Et af de mest fundamentale *træk*, der karakteriserer en organisme, er dens størrelse. Næsten alle *vitale rater* afhænger af en organismes størrelse: stofskifte, vækst, fødeoptagelse, reproduktion osv. Og for forskellige livsformer knytter der sig specifikke fordele og ulemper (*trade-offs*) til størrelse. For encellede planktonalger, gælder fx, at jo mindre de er, des større er deres relative næringsoptagelse og derfor deres væksthastighed. Men samtidig er der flere organismer, der græsser på små celler, som derfor også har en større dødelighed. Det er balancen mellem dødelighed og vækst og derfor antallet af græssere og mængden af næring, der afgør hvilken størrelse, der er optimal i et givet miljø.

For flercellede organismer er det tilsvarende balancen mellem overlevelse og reproduktion, der afgør den optimale størrelse for den voksne organisme: des større den er, des større formeringsevne, men jo længere er den om at kønsmodnes

med en deraf større risiko for at blive ædt inden kønsmodning. Marine økosystemer er størrelsesorganiserede – små ædes af større, som ædes af endnu større – og kan modelleres robust, hvis man kan kvantificere fordele og ulemper ved organismernes størrelse og få andre essentielle træk.

Billederne viser eksempler på bagholdsangreb i havet. En mm-stor vandloppe angriber med stor hastighed et lille byttedyr (øverste billeder). Vand er tykkere end luft, og man ville derfor forvente, at vandloppen ville skubbe sit byttedyr væk, når den kastede sig mod byttet. Men det sker ikke som illustreret på de nederste billeder. I hvidt og sort er i 3 eksempler vist position af vandloppe og bytte (pile) hhv. lige før og efter angrebshoppet. Byttet skubbes ikke væk. Fysikken har givet svaret på, hvordan det kan lade sig gøre: hoppet går så hurtigt, at det tyktflydende grænselag, der normalt omgiver små vanddyr, når de svømmer, simpelthen ikke udvikles.

ner af, hvordan mikroskopiske organismer tilsyneladende kan registrere og reagere på væskeforstyrrelser – fra bytte, mage, eller rovdyr. Der skal formel fysik til for at forstå, at en lang række vidt forskellige situationer alle kan forklares ved én og samme mekanisme, nemlig at en væske, der forstyrres, ikke kun bevæger sig og roterer men også “deformeres”, og at det netop er dét, organismerne kan registrere. Hermed er en vigtig mekanisme for interaktioner mellem små akvatiske organismer afdækket.

Hvad skal der til?

I begge tilfælde har spørgsmålene kunnet formuleres som *gode problemer*, men de har samtidig været formuleret af biologer og været begrundet i et biologisk spørgsmål. Og i begge tilfælde har der været tale om, at kombinationen af veletablerede observationer og mekanismer fra to fagområder har ført

til ny indsigt. Biologerne har stillet spørgsmål, som de ikke kunne besvare, og fysikerne har besvaret spørgsmål, de ikke kunne stille. Forudsætningen for dette samarbejde er, at biologerne formulerer deres spørgsmål som et *godt problem*.

En anden måde at forene disciplinerne er ved at formulere nogle overordnede problemstillinger og her ud fra i fællesskab at definere de mere specifikke forskningsspørgsmål. Det er fremgangsmåden i *Centre for Ocean Life*, hvor forskellige fagdiscipliner samles om en overordnet opgave: At forstå hvordan marine økosystemer fungerer og ved hjælp af modeller forudsige, hvordan de vil reagere på miljøændringer, klimaændringer og fiskeri.

Den overordnede metode er inspireret af fysikkens evne til forenkling: Marine økosystemer består af



Ocean Life
Centre for Ocean Life
VKR Centre of Excellence

Centre for Ocean Life (www.oceanlifecentre.dk) er et tværfagligt forskningscenter hvor biologer, fysikere, matematikere og kemikere studerer livet i havet og udvikler modeller af marine økosystemer med henblik på at kunne vurdere effekter af klimaændringer, fiskeri, og andre miljøpåvirkninger. Centret er oprettet af Villum Fonden som et VKR Center of Excellence og engagerer studerende, post docs, og forskere fra DTU, KU og RUC.

Videre læsning

Steven Vogel, *Life in Moving Fluids*, 2. udgave, Princeton University Press, 1994.

Steven Vogel, *The Life of a Leaf*, The University of Chicago Press, 2012.

Toward a Synthesis of the Newtonian and Darwinian Worldviews, John Harte, *Physics Today*, side 29-34, oktober 2002.

tusinder og atter tusinder af arter, der vekselvirker med hinanden og med det omgivende miljø, men vi kan ikke modellere denne kompleksitet ved at beskrive art efter art – sådanne modeller bliver lige så komplicerede som den natur, vi vil beskrive. Traditionelt løses dette problem ved at ignorere kompleksiteten og gruppere arter, der er nogenlunde ens i nogle få typer. Men man kan omfatte naturens kompleksitet ved i stedet at beskrive *individ*er, der er karakteriseret af nogle få *træk* – så få som muligt, men nok til at få det væsentlige med – og så lade individer vekselvirke med hinanden og med miljøet.

Et eksempel på et *træk* er evnen til at lave fotosyntese. Hvert træk har nogle fordele og nogle omkostninger (*tradeoffs*): Det koster at have et fotosynteseapparat, men fotosyntesen leverer organisk stof til plantens vækst. Det er individernes kombinationer af træk med hver deres fordele og ulemper, der afgør

hvilke der er de bedst egnede i et givet fysisk miljø. De bedst egnede individer overlever, og det resulterende økosystem opstår ved emergens. Vi udnytter altså det Darwinistiske princip om *survival of the fittest*, men har – paradoksalt nok – forladt artsbegrebet.

Darwin og Newton

Forudsætningen for den trækbaserede måde at beskrive økosystemer på er, at vi kan kvantificere fordele og ulemper ved ethvert "*træk*". Organismer fungerer i overensstemmelse med fysikkens love og er et produkt af evolution drevet af naturlig selektion. Og netop ved i et samarbejde mellem discipliner at udnytte Darwins og Newtons love kan vi opnå en kvantitativ, mekanistisk forståelse af fordele og ulemper ved hvert essentielt træk. Vi kan for de forskellige livsformer i havet definere de få essentielle træk, der tilsammen bedst beskriver organismernes Darwinistiske "fitness". Herved bliver vi i stand til at udvikle en forståelse for, hvordan marine økosystemer fungerer, og vi bliver måske i stand til at lave robuste forudsigelser.

Forudsætningen er, at vi kan få disciplinerne til at arbejde sammen. Fysikere og matematikere kan hjælpe med at sætte den dybe indsigt som naturhistoriske observationer kan tilvejebringe på formel. Og generalisere den – så den kan operationaliseres i modeller af marine økosystemer. ■

Hvis du havde én dag.....

...som studerende på en naturvidenskabelig uddannelse

Så kunne du

- Opleve studiemiljøet
- Snakke med en studerende
- Være med til undervisningen
- Prøve en helt almindelig dag på studiet



Bliv studerende for en dag

WWW.SDU.DK/BROBYGNING