

Tilspidset og slank. Det er den effektive og energibesparende form, som præger dyr og andre objekter, der bevæger sig i vand. Men hvorfor er det egentlig sådan?



FOTOGRAF: STEPHEN MAZE, DANMARKS AKVARIUM

Er hydrodynamik for børn? Skoletjenesten i Danmarks Akvarium tager udfordringen op.

Af Steen Lomholt, Skoletjenesten Danmarks Akvarium

BØRN OG UNGE ved fra sommerens badeture, at vand kan være tungt og trægt at bevæge sig i. Men de har sjældent et reflekteret syn på, hvorfor vand giver modstand. De kan også med lethed registrere ligheden mellem formerne på fisk, undervandsbåde eller torpedoer. Det kniber bare med at forklare lighederne. Nogle vil måske svare, at en torpedoform er egnet til at bore sig gennem vandet. Men den

forklaring tilfredsstiller næppe naturfagslæreren.

Fisk er anderledes 'yndefulde' og hurtige sammenlignet med mennesker i vand. Men de har også godt 400 millioner års tilpasninger bag sig, mens vi kun er på besøg, når vi vover os ud i vandet. Enkelte tunfiskeerter kan på korte distancer nemt nå hastigheder på 100 km/timen. Selvfølgeligigheden i fiskenes bevægelser afslører

imidlertid ikke tilpasningen, for vandets bevægelser rundt om fisken kan ikke ses. Heller ikke i akvarier.

Systematisk leg med vand

Da vand er tungt at flytte, er løsningen: skub og flyt vandet så lidt som muligt. Hos Skoletjenesten i Danmarks Akvarium kan eleverne gøre nogle grundlæggende erfaringer med de tre ydre faktorer, som fiskene har tilpasset sig: vandmodstanden, afsættet og friktionen.

For at begynde med friktionen, så kan man generelt sige, at overfladens beskaffenhed har stor betydning. Overfladen skal mindske muligheden for mikroturbulens ved kontakt med vandet under svøm-

ning. Fisk og især hajer har her særlige tilpasninger, der gør dem ideelle til et liv i vand.

Selve formen er dog afgørende i udgangspunktet. I undervisningsforløbet Tilpasning kan eleverne fra 6.-10. klasse afprøve forskellige modellers evne til hurtigt at bevæge sig gennem vand. Modellerne har forskellig form, men samme vægt og trækkes ca. 2 meter gennem vandet af et lod via et snoretræk. Modellernes hastighed afslører derved formens betydning for vandmodstanden.

De mindre elever fra 0.-5. klasse vil i undervisningsforløbet Svømning udelukkende arbejde med vandets afbøjning foran. Modellerne måles parvis mod hin-

>>

anden – slank og spids mod tyk og rund form – derpå slank og spids mod smal, men foran flad form. Den tilspidsede for-ende bevirker en gradvis og altså ikke abrupt afbøjning af vandet. For mindre elever er det nødvendigt at begrænse forståelse og formulering til dette forhold, selv om det egentlig er utilstrækkeligt.

Ud over modelforsøget afprøver de på dette trin (0.-5. klasse) også afsætsfladens betydning. Ved at sætte forskelligt udformede propeller, der drejes af elastikker på en lille båd, kan de se effekten på den afstand, båden tilbagelægger i vandbordet.

Turbulens dannes ved bevægelse i vand og er meget energikrævende. Derfor bør turbulens undgås, hvis man vil hurtigt frem. Store elever arbejder med den problemstilling på to måder. Dels erfaringsmæssigt ved at tage tid på fire modeller, hvor især de to tilspidsede (dobbelkeglen og enkeltkeglen) tydeligt viser betydningen af en bagudvendt spids, der begrænser hvirveldannelse bagtil som følge af pludseligt undertryk. Dels visuelt ved at trække de fire modeller gennem et akvarium med opslemmet kulstøv. Støvet afslører vandets bevægelser, og derved sættes tidsmålingen sammen med en observation.

Fiskene i det maski-mekaniske univers

Alle vil gerne se fodring i udstillingen eller bliver meget nysgerrige, hvis dyrepasserer har koste nede i akvariet og derved pludselig skræmmer fiskene. Begge dele frem-

kalder hurtig og naturlig adfærd, der viser fiskenes talenter. Eller mere præcist viser det fiskenes tilpasninger som en afspejling af både fysiske og biologiske vilkår.

For Skoletjenesten er elevernes nysgerrighed en oplagt mulighed for at overføre den fysiske grundforståelse til forståelse af tilpasningen i fiskenes kropsform. Skræmmes fx en skalle – en almindelig dansk ferskvandsfisk med slank og tilspidset form - vil den hurtigt svømme bort. Den har en stor halefinne og kan således let bekræfte erfaringerne med modstand og afsæt for de mindre elever. Korallrevsfisken derimod er smalle og fladpandede og bruger de mindre brystfinner til fremdrift. Dårligt? Nej, blot tilpasset til at smutte ind i sprækker. For de mindste elever er målet her at løsrive erfaringerne fra det konkrete oplevede med modeller og fisk til en grundlæggende forståelse af generelle principper.

Fodring - en svømmekonkurrence for fisk

De større elever har mulighed for at arbejde med en hypotese på grundlag af erfaringerne. Ved at kaste et enkelt stykke foder ad gangen i et akvarium med mange forskellige fisk vil der automatisk blive kamp om føden. Ligesom i naturen. Fiskene vejer det samme, idet deres luftfyldte svømmeblære gør dem vægtløse i vandet. På baggrund af model-erfaringerne kan eleverne inden fodringen gætte på den art, der er hurtigst – samt begrunde deres

forslag. Til at fastholde de foretrukne gæt opsættes figurmodeller af de enkelte fisketyper.

Efter fodringen kan eleverne konstatere, at fisk med et godt afsæt og en strøm-linet form får flest foderstykker. Vandets bevægelser bliver ved hjælp af skabeloner med påtrykte streger sat på figurmodellerne, og de hurtigste fisk med strøm-linet form bliver groft forklaret som slanke, tilspidsede i begge ender samt symmetriske om længdeaksen. Eleverne ser også et par asymmetriske tilspidsede arter, som er ret passive. De har føletråde ved munden og er tilpasset fødesøgning ved bunden. Faktisk viser strømningsbilledet omkring deres figur-model, at de bliver trykket ned.

I akvariet er også lange, smalle fisk med en skrå, flad forende, lille halefinne og opadvendt mund. Eleverne har ofte medfølelse med dem, for de får næsten ikke noget foder ved demonstrationen. En ny hypotese er nødvendig – og derpå afprøvning med fodring over vandet. Her er disse fisk suverænt de bedste, idet deres lange krop og hale krummes som en fjeder, og fisken springer op af vandet. Munden er perfekt tilpasset til at tage insekter over vandoverfladen. Strømningsbilledet på skabelonen viser endog, at den foran presses opad.

Svømmende dyrs kropsform viser selvfølgelig tydeligt tilpasningen til bevægelse gennem vand. Der er kun begrænsede udvækster. Da fødekonkurrence er et grund-



"Makrellen lægger sin rygfinne ned i en fure, så finnen slet ingen modstand gør i høj fart".

læggende vilkår i naturen, kan eleverne efter demonstrationen se og forstå fordelene ved forskellighed. Divergens som biologisk begreb introduceres og forstås her som udtryk for tilpasning til forskellige vandmiljøer.

Som et mål for besøget i Skoletjenesten i Danmarks Akvarium bliver eleverne i stand til at forklare nogle vigtige grundprincipper for bevægelse i vand. ■



Der skal fart på! En hurtig historie om de tohjulede udvikling

”... en torpedo, der skydes gennem luftrummet, en bombe af kraft, [han] pløjer nærmest asfalten op, benene går som stempler på den tyske maskine!” Sådan beskrev Mader & Leth cykelrytteren Jan Ullrich i forbindelse med Tour de France.



Af Jon Volquartzén, Danmarks Tekniske Museum

DER ER IKKE NOGET så livsbekræftende som fart. Vi kender alle fornemmelsen, frihedsfølelsen, vinden i håret og suget i maven. Intet andet sted mærker man farten så tydeligt, som man gør på to hjul. Adrenalin-kick'et og ønsket om at bevæge sig fremad med rasende hast er en af de store motivationer i udviklingen af cyklen og motorcyklen både før og nu.

Løbemaskine og hurtigfod

Den første type cykel, vi kender til, blev meget betegnende kaldt for *laufmaschine* – eller oversat fra tysk til dansk, 'løbemaskine'. Laufmachiner begyndte at dukke op omkring 1817, og allerede i navnet bemærker man elementet af fart. Cyklen bestod såmænd ikke af andet end to hjul, et stel og et styr – ingen pedaler, intet kædetræk. Cyklen var lavet i træ og metal, den var meget let at bruge, men tung og klodset. Der var med andre ord plads til forbedring.

Der blev tænkt, så det knagede, i de

små værksteder rundt omkring i verden. I 1860'erne kom der så pedaler på, og cyklen fik navnet velocipede. Navnet er sammensat af de to latinske ord 'velox', der betyder hurtig, og 'pes', der betyder fod. Oversat til dansk hed den altså 'hurtig-fod'. Pedalerne blev monteret direkte på forhjulet, og kædetræk kom først senere. Forhjulets diameter blev derfor det afgørende for, hvor hurtigt man kunne køre, og selvsagt voksede størrelsen på forhjulet nu med voldsom hast. Ja, faktisk i en sådan grad at det kunne være meget besværligt at komme op på velocipeden uden hjælp.

Det gav også sine problemer at holde stille eller styre, og velocipede blev derfor hurtigt til 'væltepeter' i folkemunde. Der var dog en begrænsning for forhjulets størrelse: længden på cyklistens ben. Jo længere ben en cyklist havde, jo større diameter kunne hjulet have. Ikke overraskende havde datidens svar på Lance Armstrong og Bjarne Riis vældigt lange ben.

De store forhjul gjorde cyklen ekstra høj, og det blev efterhånden kun mænd, der cyklede på dem – det ville ikke være særligt dydigt for en frøken eller frue at bestige en så høj cykel iført kjole. Hun kunne risikere at vise sine ankler eller endnu værre sine underbenklæder! Antallet af cykler steg, og flere egentlige cykelløb begyndte at blive afholdt. Ikke blot blev cyklerne hurtigere, de blev også mere bekvemme. De fik jernstel, og hjulene var ikke længe store og tunge træhjul med jernmeder, >>

men lette og tynde med gummihjul. Opfindelsen af hjul med opspændte eger ændrede velocipedens navn til *bicykel* efter det engelske 'bicycle' der betyder 'to-hjul'. Men den beholdt i Danmark sit kælenavn 'væltepeter'.

Safetybike - en sikker cykel

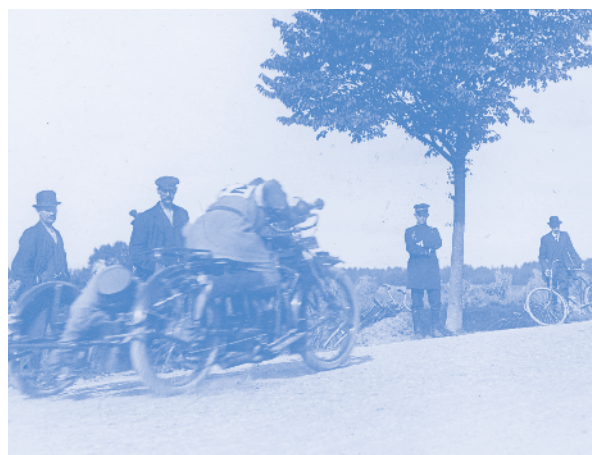
Det store spring frem mod cyklen, som vi kender den i dag, kom med opfindelsen af den såkaldte *safetybike* i 1885. Safetybiken fik sit navn, fordi den ikke havde det gigantiske forhjul, og derfor var der mindre risiko for legemsbeskadigelse med denne cykel, end der var med en væltepeter. Cyklisten faldt simpelthen ikke lige så langt, når han væltede, og det mindre forhjul gjorde cyklen lettere at styre. Safetybiken havde kædeetræk til baghjulet, og ved at benytte forskellige størrelser af tandhjul var det muligt at holde en høj hastighed, selvom forhjulsstørrelsen blev reduceret.

Til at begynde med var fartelskende mænd ikke særligt begejstrede for den nye cykel. Sikkerhed var for kvinder, og mange syntes, at safetybiken lignede en børncykel. Men da safetybiken pga. kædeetrækket begyndte at overstige væltepeterens hastighed på cykelbanen, fik piben en anden lyd. Nu kunne de kortbenede også sætte rekorder, og skønt mange mennesker fandt, at cykler med store forhjul var mere æstetiske, så vandt fart og brugervenlighed, og væltepeteren forsvandt fra veje og cykelbaner.

Fra cykelræs til cykeltur

Med safetybiken begyndte nu også kvinder og ældre mennesker at køre på cykel, og antallet af cyklister voksede. Omkring 1900 havde de fleste voksne en cykel, og dens status som værende den frygtløse, sporty ungersvends legetøj gled i baggrunden. Cyklen var nu primært et transportmiddel til og fra arbejde eller til en rekreative tur i det grønne. Væddeløb og høj fart blev efterhånden forlagt til lukkede baner eller øde landevejsstrækninger.

Grundkonstruktionen i safetybiken svarer stort set til de cykler, vi kender i dag, og udover gearets opfindelse i 1905 har



cyklen faktisk ikke udviklet sig meget siden. Nogen vil mene, at teknikken i cyklen nok har nået sit endemål. Når man i dag forsøger at forbedre cykler, så de kan få mere fart på, så er det enten vægten, aerodynamikken eller cyklistens ydeevne, der fokuseres på.

FOTO: ISTOCK



Motorcyklen: der skal mere fart på

For den unge sportsmand, der stadig ønskede det vilde, anarkistiske og mandige, kunne motorcyklen være sagen. Stort set samtidig med, at safetybiken kom på markedet, blev den første motorcykel med benzinmotor opfundet, og i slutningen af 1800-tallet var der flere firmaer, der fik en egentlig storproduktion af motorcykler.

Motorcyklen blev forholdsvis hurtigt en succes. Den var ikke lige så dyr som fx en bil, men var meget hurtigere end både hest og cykel. Udviklingen inden for motorcykler stod også i fartens tegn. Man forsøgte konstant at øge motorens ydeevne eller mindske dens vægt, så man kunne komme hurtigere frem. Motorcykelløb sås overalt i den

vestlige verden, hvor de fascinerede og begejstrede. Løbene var ikke professionaliserede på samme måde, som de er i dag. Så det var ofte glade amatører og mekanikere, der deltog i løbene, som blev afholdt på ganske almindelige veje.

Motorcyklens storhedstid i Danmark var fra begyndelsen af 1900 til lige efter 2. Verdenskrig. I denne periode var motorcyklen ikke blot en forlystelse, men blev også et transportmiddel til og fra arbejde. Alligevel formåede motorcyklen, i modsætning til cyklen, at bevare sit image som fartdævlens foretrukne køretøj. Den dag i dag er det fortsat farten, der sætter dagsordenen, når det handler om udviklingen af motorcykler, og visse modeller kan køre over 300 km/timen. ■

Form, fart og finurlige fisk

Farvestrålende koralfisk. Elegante laks, der springer ud af vandet for at passere frådende vandfald. Dovne klumpfisk, der stille flyder med strømmen, mens de filtrerer vandet for føde. Det lyder nærmest som en punchline fra et Discovery-program. Men hvilke faktorer er det egentlig, der står bag udformningen af de vidt forskellige fisketyper? Hvorfor er laksen strømlinjet og ikke rund? Hvilken indflydelse har halens form på fiskens svømmeadfærd?

Vand er tykkere end luft

NÅR VI ER en tur ved stranden, opdager vi hurtigt, at det ikke er så nemt at flytte sig i vandet, som det er på land. Bare at gå på sandbunden er yderst anstrengende og energikrævende. Selvom vi landkrabber synes, at fiskens bevægelse gennem vandet ser legende let ud, står fisken faktisk over for de samme udfordringer som os.

Når vi kigger nærmere på fiskens bevægelse gennem vandet, er der to ting, der har indflydelse på vandets modstand på fi-

sken. Den første er, hvor stor en overflade fisken har. Når fisken svømmer gennem vandet vil dens fremdrift påvirke det omkringliggende vand, som pga. vandets tiltrækningskraft til fiskens overflade vil blive trukket med i fiskens svømmeretning. Dette træk giver en øget modstand på fiskens fremdrift, så jo større overflade fisken har, des mere vand vil den trække med sig, og tilsvarende mere energi koster det at bevæge sig gennem vandet.

Den anden og mest indflydelsesrige ting er, hvor meget vand fisken skal flytte for at komme frem. For os, der bevæger os i luft, er omkostningerne ved at skubbe luften til side meget små, men idet vand har en meget større massefylde (vægt/volumen) end luft, er det langt mere energikrævende at flytte sig i vand. For at mindske den mængde vand, der skal flyttes – og derved energiforbruget – har nogle fisk udviklet en strømlinjet form, der mindsker modstanden. Den strømlinede form, hvor både hoved og hale er forholdsvis tilspidset som på en torpedo, bevirker, at vandet bliver brudt med mindst mulig modstand, og vandet glider over kroppen og halen med mindst mulig turbulens. Havkatten, der lever på bunden, vil med sit store hoved påvirkes af en stor vand-

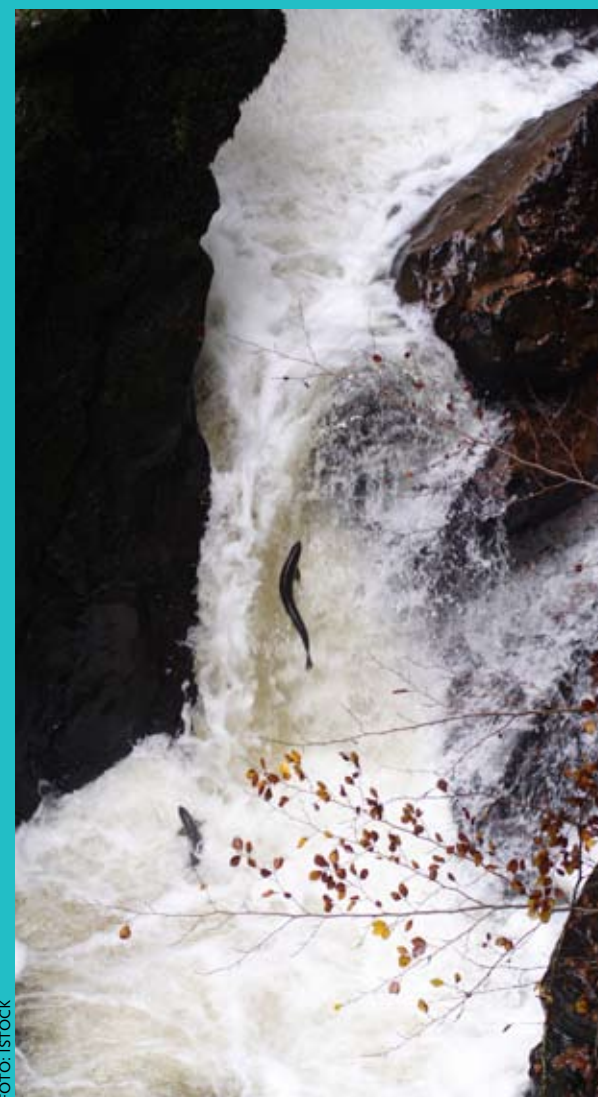
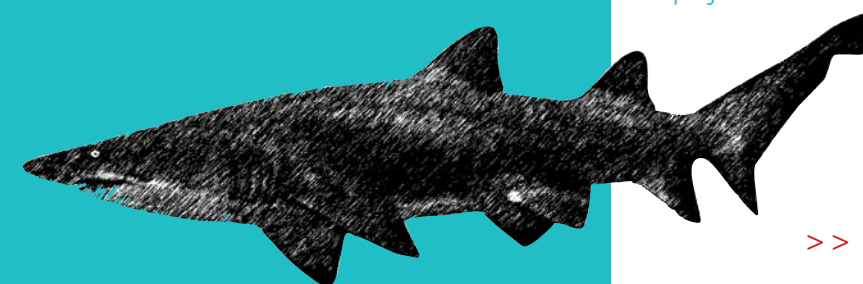


FOTO: ISTOCK

Hajer får en del af deres opdrift dækket af begrebet dynamisk opdrift. Det betyder, at de horisontale finner er placeret således, at vandstrømmen henover dem giver opdrift.



modstand, mens en strømnetet laks vil påvirkes meget lidt.

Fremdrift

For at fisken skal kunne accelerere, dykke, stige, ændre retning eller holde en konstant fart gennem vandet, er den forsynet med forskellige udformninger af finner, alt efter hvor den lever. Finnerne på fiskens under- og overside bliver hovedsageligt brugt til stabilisering og fremdrift, mens eksempelvis koralfiskene har veludviklede brystfinner til at manøvrere rundt mellem korallerne.

For at opnå de høje hastigheder må fiskene dog gøre brug af halefinnen. Halefinnen er, ligesom skibets propel, bygget til at flytte en vandmængde med en hastighed og derved opnå fart. Ved at halefinnen svinges som et pendul fra side til side, skubbes vandet væk, og der skabes et undertryk på oversiden og et overtryk på undersiden. Trykforskellen giver et positivt løft ligesom på en flyvinge og skaber derved en øget fart gennem vandet. I modsætning til dette positive løft dannes der en negativ turbulens, når vandet passerer finnespidserne, hvilket sænker fiskens fremdrift.

Hvis fisken skal kunne opretholde en høj fart, er det mest økonomisk at være strømnetet og bruge en relativt stiv hale til hurtige slag. Det skyldes, at når fisken er i fart, vil et stort udslag med kroppen, stor vinkel på længderetningen, danne en ne-

gativ kraft og derved bremse fiskens fremdrift. Ved acceleration fra lav hastighed er modstanden mindre, og kraftige slag med hele halepartiet og et stort haleareal vil derfor flytte en større vandmængde og give mere fart og hurtigere acceleration.

Makrellen, som er en hurtigsvømmer, har fx en høj og smal halefinne, som giver et positivt løft og en lille negativ turbulens over finnespidserne. Dette – sammen med dens strømnetede krop – giver makrellen mulighed for at opnå høje hastigheder under byttejagten i de frie vandmasser. Gedden derimod er en accelerationsfisk og kan med sit kraftige haleparti med ryg og gatfinne flytte meget store mængder vand på kort tid. Accelerationen bruger gedden, når den fra sit skjul skal overraske et bytte.

Ballon i maven

Det er ikke kun fremdrift, der er svær, når man lever i vand. Man skal også kæmpe med den udfordring, det er at holde sig i konstant dybde eller ændre dybde med konstant hastighed. Når et menneske er ude og dykke er der både brug for et blybælte til at komme ned og en luftfyldt vest til at kunne justere opstigningen.

Hos fisk findes der flere metoder til at holde sig stabilt i vandsøjlen. Mange fisk har en gasfyldt blære kaldet svømmeblæren. Når fisken bevæger sig op og ned i dybderne ændres volumen af gassen i blæren, da trykket omkring fisken ændres.



FOTO: ISTOCK

For at imødegå disse ændringer justerer fisken på flere måder. Ved en stigning i vandsøjlen kan fisken fastholde samme volumen ved at lukke gas ud eller ved at absorbere gas fra svømmeblæren. En anden mulighed er ved hjælp af tryk fra musklerne at tvinge svømmeblæren til at holde samme størrelse, selvom gassen gerne vil udvide sig. Der er dog grænser for, hvor hurtigt fisken kan regulere svømmeblæren og derfor kan fisk med svømmeblære ikke bevæge sig hurtigt op eller ned i vandsøjlen.

Hajer har fundet en anden løsning på problemet. De har ingen svømmeblære, men til gengæld en meget stor fedtholdig lever, der virker som opdriftsmiddel. Dette gør, at hajer kan ændre deres dybde hurtigt. Men den store lever tager plads, der ellers kunne være brugt til svømmemuskelatur. Hajer får derfor en del af deres opdrift dækket af begrebet dynamisk

opdrift. Det betyder, at de horisontale finner er placeret således, at vandstrømmen henover dem giver opdrift.

Makrellen er et eksempel på en fisk, der udelukkende bruger dynamisk opdrift. Dette kræver, at den er i konstant bevægelse, for ellers ville den synke. Dette koster en del mere energi end de andre løsninger, men giver til gengæld fuld frihed op og ned i vandsøjlen og mere plads til svømmemuskelatur. Begge dele er ting, som en jagende rovfisk som makrellen nyder godt af.

Vandets store forskelligheder i strøm, dybde, temperatur og bevoksning giver muligheder for utallige tilpasninger. Det er dette, der giver os det utroligt spændende og til tider meget mærkelige dyreliv, vi finder i de store vandmasser. Og bare vent, vi har nok ikke set de mærkeligste skabninger endnu. ■