

# Fra dinosaur til fugl - autentisk undervisning

AF BENT LINDOW, MARIANNE ACHIAM & LEONORA SIMONY

Undervisning med fokus på hands on-metoder, hvor elevernes resultater er baseret på deres egne aktive undersøgelser, har længe været sat højt indenfor den naturfaglige pædagogik. Men kommer eleverne frem til de samme argumenter og konklusioner som forskerne, når de arbejder med de samme effekter?

Vi har undersøgt, hvad der sker, når elever fra udskoling og gymnasiet arbejder med evolution på et naturhistorisk museum. De arbejdede med autentiske genstande efter en klassisk naturvidenskabelig arbejdsmetode: sammenlignende anatomi. Og interessant nok viste det sig, at eleverne faktisk var i stand til selvstændigt at nå frem til de samme argumenter, som fagets forskere.

Problem- og undersøgelsesbaseret undervisning med fokus på elevernes egen eksperimenterende praksis er kernen i IBSE – *Inquiry Based Science Education*. Tanken bag denne didaktiske tilgang er, at eleverne ved selvstændige undersøgelser skal opdage de naturvidenskabelige metoder og derigennem skabe en interesse og nysgerrighed for naturvidenskaberne.

Inden for IBSE er ”inquiry” en betegnelse for forskeres undersøgelser, men også for elevernes egne måder at opnå viden og indsigt i videnskabelige idéer og metoder. I forlængelse heraf ligger yderligere en antagelse: Hvis elevernes undersøgelser er iscenesat så tro mod forskernes arbejde som muligt, så vil elevernes egne konklusioner overordnet svare til de resultater, som forskerne er kommet frem til inden for de samme emner. Men passer denne antagelse

i praksis?

Forskellige dele af naturvidenskaben er kendetegnet ved forskellige arbejdsmetoder. Hver af disse metoder har sine egne traditioner og implicite antagelser; og er ydermere afgrænset af en række erkendelser og overleveret erfaring fra generationer af forskere. Det kritiske spørgsmål til IBSE-metoden er om elever, der arbejder på egen hånd med de samme genstande og søger at svare på de samme spørgsmål som forskerne, vil bruge de samme undersøgelsesmetoder og argumenter? Vil de nå til de samme overordnede konklusioner? Eller vil de ende med forkerte eller stik modsatte resultater, fordi de mangler kendskabs til fagets eller metodens traditioner, historie eller faldgruber?

## SAMMENLIGNENDE ANATOMI

Sammenlignende anatomi er en videnskabelig metode, hvor man undersøger to eller flere organismers organer eller legemsdele. Man kan sammenligne knogler, bløddele, eller endda hele organsystemer hos både nulevende og uddøde dyr. Metoden havde sin spæde begyndelse i 15- og 1600-tallet. Her begyndte nogle naturfilosoffer at sammenligne menneskets anatomi med andre pattedyr. Det var dog først den store franske

anatom, zoolog og palæontolog Georges Cuvier (1769-1832), der i begyndelsen af 1800-tallet grundfæstede og udbredte metoden.

Herefter har sammenlignende anatomi været en vigtig del af biologien, der ønsker at forstå funktion og slægtskab hos nutidige organismer, og i palæontologien, der er videnskaben om uddøde organismers anatomi, levevis og slægtskab.

En sammenlignende undersøgelse af anatomen hos to eller flere organismer kan have flere formål. For det første kan man få en dybere forståelse for organernes funktion. Det gøres ved at sammenligne de forskellige organismers adfærd med forskelle og ligheder i deres anatomi. Ved disse undersøgelser bruger man metoder fra det nærbeslægtede fag funktionel anatomi.

For det andet kan man afgøre graden af slægtskab mellem forskellige organismer, ved at undersøge mængden af ligheder og forskelle i deres anatomi. Hvis to eller flere organismer har de samme (homologe) anatomiske træk, er det tegn på, at de har udviklet sig fra en fælles stamform. Meget forenklet kortlægger man først anatomiske ligheder og forskelle hos de organismer man ønsker at undersøge. Derefter konstruerer og udregner man et slægtskabstræ (kladogram), hvor arternes indbyrdes slægtskab afgøres ud fra en oprindelig anatomi eller en søstergruppe, hvor oprindelige anatomiske træk er bevaret.

Sammenlignende anatomi blev brugt til slægtskabsanalyser indenfor biologien før

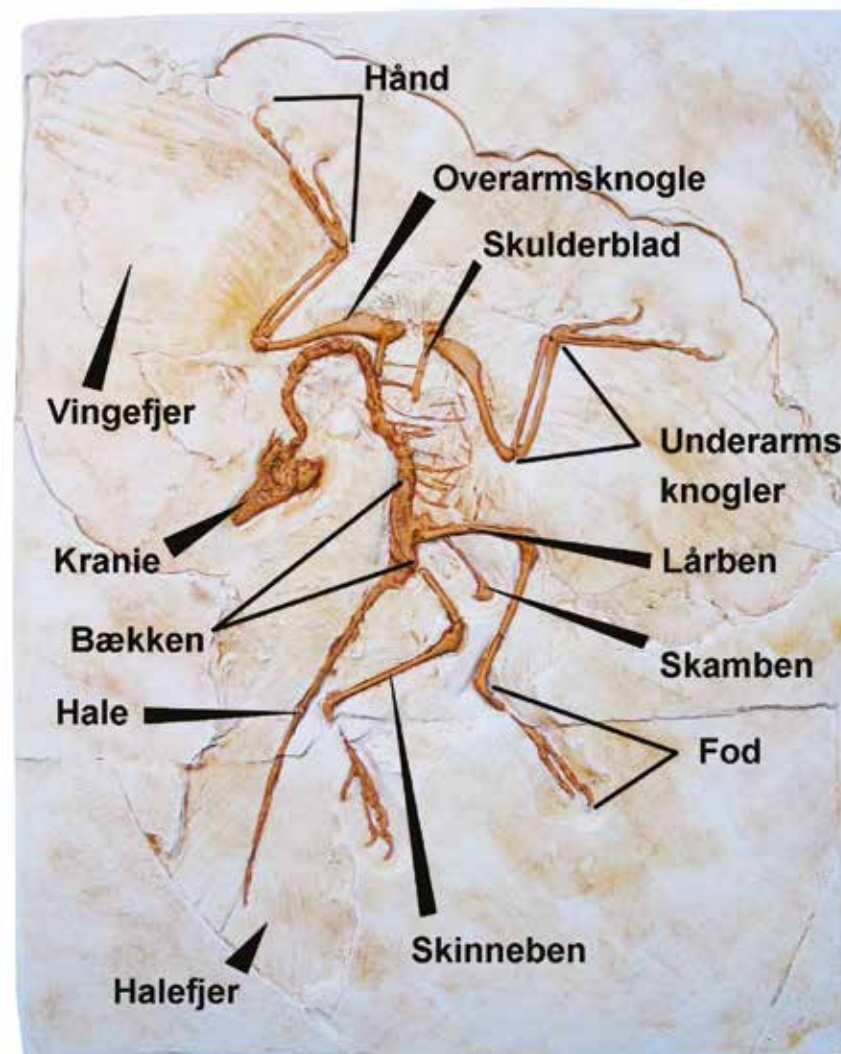


FOTO: BENT LINDOW

Kopi af *Archaeopteryx*-fossil med anatomisk oversigt. Den første *Archaeopteryx* blev beskrevet videnskabeligt i 1861. Eksemplaret, der er vist her, blev beskrevet i 1884 og er i dag udstillet på Museum für Naturkunde i Berlin. Dyret var på størrelse med en krage eller ravn og betegnes som den tidligst kendte fugl. Skelettet minder hovedsageligt om en lille kødædende dinosaur. For eksempel har den kæber med tydelige tænder; der er tre frie fingre med veludviklede kløer på de relativt lange arme, og halen er lang og knoglet. Men der er tydelige aftryk af fjer i kalkstenen under vingerne og ned langs halen, og *Archaeopteryx*' relative vingereal svarer til nogle nutidige fugles.

sammenlignende undersøgelser baseret på DNA blev mulige. Metoden er stadig afgørende indenfor palæontologiske slægtskabsanalyser, der indeholder uddøde organismer, hvor man som regel ikke har bevaret DNA.

For det tredje kan sammenlignende anatomi bruges til at undersøge evolutionære ændringer i organer eller organsystemer over tid. Til det formål vil man som regel

udvælge en eller flere forhistoriske organismer, hvis skeletanatomi er forholdsvis velkendt og komplet. Derefter sammenligner man de homologe organer med andre uddøde og nutidige medlemmer af gruppen. De uddøde repræsentanter er typisk udvalgt, så de tidsmæssigt repræsenterer forskellige trin i gruppens udvikling.

Man kortlægger derefter ligheder og forskelle i anatomen hos fortidige og nuti-

dige medlemmer af gruppen, samt hvornår vigtige ændringer fandt sted. Det kan igen være med til at kaste lys over den overordnede udviklingshistorie for en gruppe af beslægtede organismer. Med hjælp fra den funktionelle anatomi kan forskerne herefter begynde at fortolke hvornår og hvorfor, der er sket ændringer i anatomen og organsystemerne.

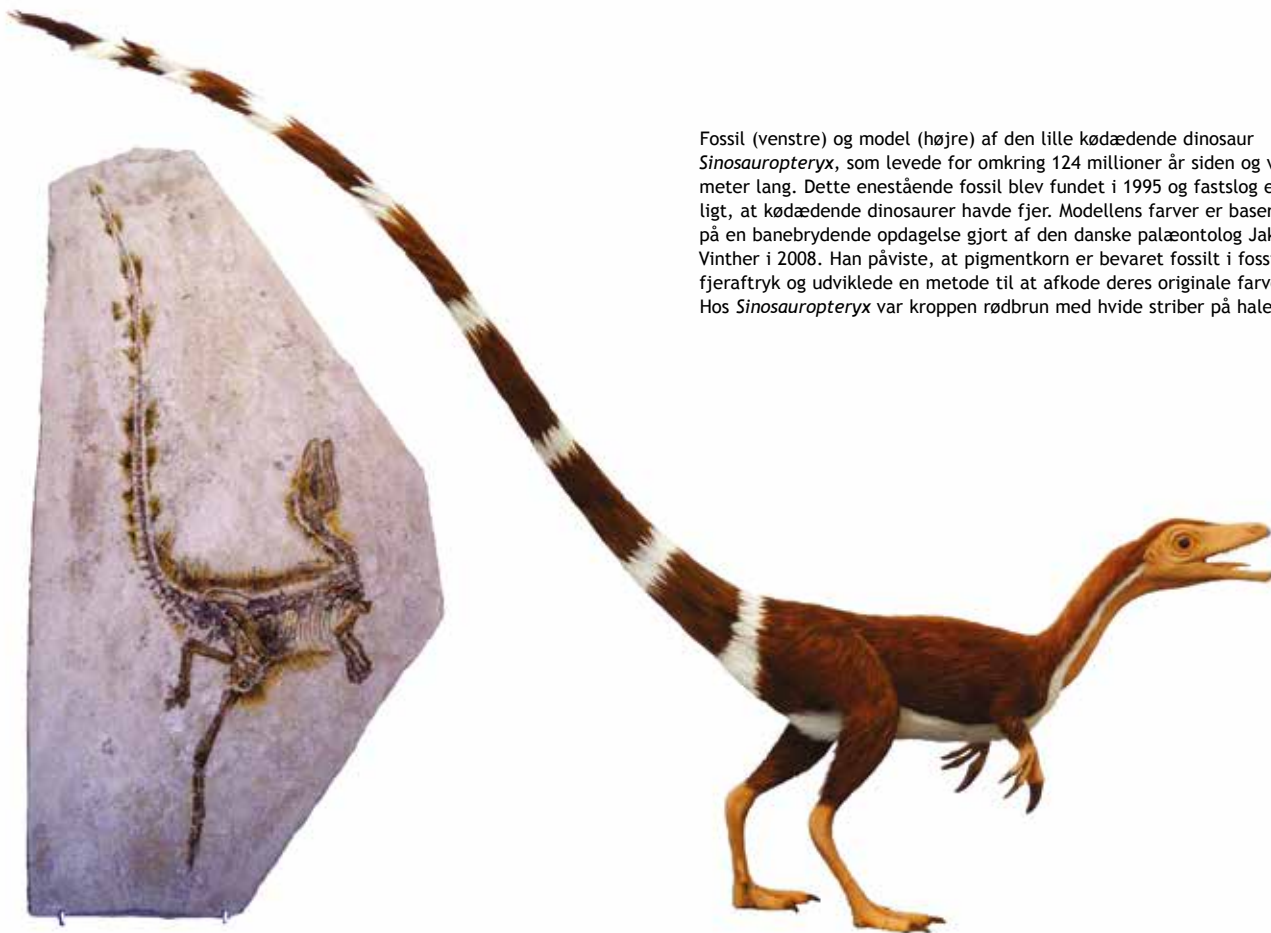
## FOSSILE FUGLE

I dag står det klart, at fuglene nedstammer fra små kødædende dinosaurer. Processen der skulle til, før palæontologerne nåede frem til den konklusion, var lang. Den begyndte med de første fossile fund af oldfuglen *Archaeopteryx* i midten af 1800-tallet og blev endelig afgjort i 1995 med de første sensationelle fund af fossile dinosaurer med fjer i Kina.

Den 147 millioner år gamle oldfugl *Archaeopteryx* markerer lidt arbitrært fuglenes oprindelse. Fossilerne ligner mest af alt skelettet af en lille kødædende dinosaur, men der er også enestående aftryk af dyrets vingefjer og halefjer i kalkstenen ved knoglerne.

Fuglenes evolution efter *Archaeopteryx* er i store træk blevet afklaret af en lang række fossilfund fra hele verden. De fordeler sig henover Kridttiden – perioden fra 145 til 66 millioner år siden, som er den sidste del af dinosaurernes tidsalder. Fossiler viser at fuglenes anatomi udviklede sig i trin, indtil de første fugle med et ’nutidigt’ anatomisk udseende dukker op for 67 millioner år si-

FOTO: BENT LINDOW



Fossil (venstre) og model (højre) af den lille kødædende dinosaur *Sinosauropteryx*, som levede for omkring 124 millioner år siden og var 1 meter lang. Dette enestående fossil blev fundet i 1995 og fastslog endeligt, at kødædende dinosaurer havde fjer. Modellens farver er baseret på en banebrydende opdagelse gjort af den danske palæontolog Jakob Vinther i 2008. Han påviste, at pigmentkorn er bevaret fossilt i fossile fjeraftryk og udviklede en metode til at afkode deres originale farver. Hos *Sinosauropteryx* var kroppen rødbrun med hvide striber på halen.

den – kort før den store masseuddøen, der gjorde en ende på dinosaurernes tidsalder.

### FRA DINOSAUR TIL FUGL

På Statens Naturhistoriske Museum er det disse fund og undersøgelsesmetoder, der ligger til grund for undervisningsforløbet ”*Evolution – fra dinosaur til fugl*”. Forløbet tilbydes til udskoling og gymnasiet og indgår også i museets omkringrejsende undervisningstilbud ”Viden på Vej” for gymnasier i hele landet.

Lige fra forløbet begyndelse får eleverne at vide, at de skal arbejde med de samme metoder og materialer som de forskerne, der har afdækket fuglenes evolution. De skal både sammenligne skelettet hos fortidige og nutidige fugle, og bruge deres egen viden om nutidens fugle til at kaste lys over fuglenes oprindelse og evolution.

Forløbet begynder i museets udstillinger med en kort fælles indledning til de fossile fund af fjerede dinosaurer som for eksempel

*Sinosauropteryx*, der afgjorde spørgsmålet om fuglenes oprindelse.

Herefter arbejder eleverne i grupper i museets undervisningslokale. Eleverne begynder med at lave en brainstorm om fjer og deres funktion hos nutidens fugle. Denne selvfrebragte viden overfører de så til museets model af den lille, fjerede dinosaur *Sinosauropteryx* og finder frem til fjers funktion hos fuglenes dinosaur-forløbere: Fjerene var isolering mod kulde og varme, og havde farver til opvisning eller til camouflagen – men ikke til flyvning.

Eleverne skal nu bruge sammenlignende anatomi som metode. De får udleveret en afstøbning af et skelet af oldfuglen *Archaeopteryx* sammen med skelettet af en nutidig fugl (sortkrage, sølvmåge eller musvåge).

Eleverne får fortalt historien om fundet af de første *Archaeopteryx* og fjeraftrykkene på fossilerne. Derefter bliver de bedt om at sammenligne det fortidige og nutidige skelet. Når grupperne er færdige, bliver de-

res observationer gennemgået i plenum med en kort dialogbaseret diskussion af den mulige funktionelle forskel på de forskellige træk.

I sidste del af gruppeøvelsen skal eleverne diskutere det åbne spørgsmål: Mener de ud fra deres egne observationer, at *Archaeopteryx* kunne flyve eller ej? Det pointeres, at dette er et åbent videnskabeligt spørgsmål, hvor palæontologerne selv er uenige.

Undervisningsforløbet afsluttes derefter i museets udstillinger, hvor underviseren og eleverne i fællesskab gennem den dialogiske metode arbejder sig frem mod de afgørende evolutionære årsager til udviklingen af flyvefjer fra dinosaur til fugl.

### EN UNDERSØGELSE AF ELEVERNE

Som nævnt i første afsnit antager IBSE-metoden, at elevernes egne selvstændige undersøgelser i den iscenesatte forskningssituation vil medføre, at de når frem til de nogle af samme overordnede konklusioner

Archaeopteryx	Nutidige fugle	For eller imod aktiv flyvning hos <i>Archaeopteryx</i> ?
Relativt stort vingearreal	Relativt stort vingearreal	For
Kløer på vinge	Ingen kløer på vinge	For
Intet brystben	Kraftigt brystben med køl	Imod
Lang, bøjelig knoglehale med mange hvirvler	Kort gump med få hvirvler	Imod
Asymmetriske svingfjer	Asymmetriske svingfjer	For
Halefjer i palmebladsmønster	Halefjer i viftemønster	For
Robuste, tykvæggede knogler	Slanke, tyndvæggede knogler	Imod
Kæber med tænder	Næb uden tænder	Imod
Ønskeben*	Ønskeben	For
Langstrakt, fleksibel rygsøjle	Kort, afstivet rygsøjle	Imod

Tabel: Liste over anatomiske træk brugt i videnskabelige sammenlignende anatomiske undersøgelser af oldfuglen *Archaeopteryx*' flyveevne.

\*: NB! Ønskebenet er ikke bevaret på Berlin-eksemplaret, men findes på andre *Archaeopteryx*-fossiler.

som forskernes. Og det også selvom eleverne ikke umiddelbart er trænet i en given naturvidenskabelig metode.

Vi efterprøvede den antagelse ved at følge elevernes arbejde i undervisningsforløbet, hvor de arbejder med sammenlignende anatomi og diskuterer spørgsmålet om *Archaeopteryx*' flyveevne. I praksis lavede vi optagelser af undervisningsforløbene for i alt syv klasser i både udskoling og gymnasiet i november og december 2012. Foruden lydoptagelser af hele forløbet, lavede vi også videooptagelser af en enkelt gruppe elevers arbejde i hver af de syv klasser. Derefter blev både lyd og videooptagelser transskriberet ordret.

Ud fra videooptagelserne, noterede vi, hvilke anatomiske forskelle hver gruppe observerede mellem *Archaeopteryx*-fossilet og skelettet af en nutidig fugl. Derpå noterede vi, hvilke observationer eleverne brugte til argumentere og drage konklusioner om *Archaeopteryx*' flyveevne. Endelig sammenlignede vi elevernes argumentation med den i 10 videnskabelige artikler, der bruger sammenlignende anatomi til at undersøge *Archaeopteryx*' flyveevne (se tabel-

Elevgruppe under diskussion af *Archaeopteryx*' flyveevne. Bemærk, hvordan der peges på det relevante område på fossilet som en del af deres argumentation.

len ovenfor).

Vores resultater viser, at eleverne uopfordret finder og sammenligner en delmængde af de samme anatomiske træk, som i de videnskabelige undersøgelser. De bruger dog ikke alle deres observationer i deres indbyrdes diskussion om *Archaeopteryx*' flyveevne, men ud fra de træk de bruger, argumenterer de sig frem til samme konklusioner som i de videnskabelige studier. Selvfølgelig har eleverne ikke tid til at måle, beregne eller gennemanalysere på deres sammenligninger af anatomiske træk. Men deres umiddelbare konklusioner svarer godt



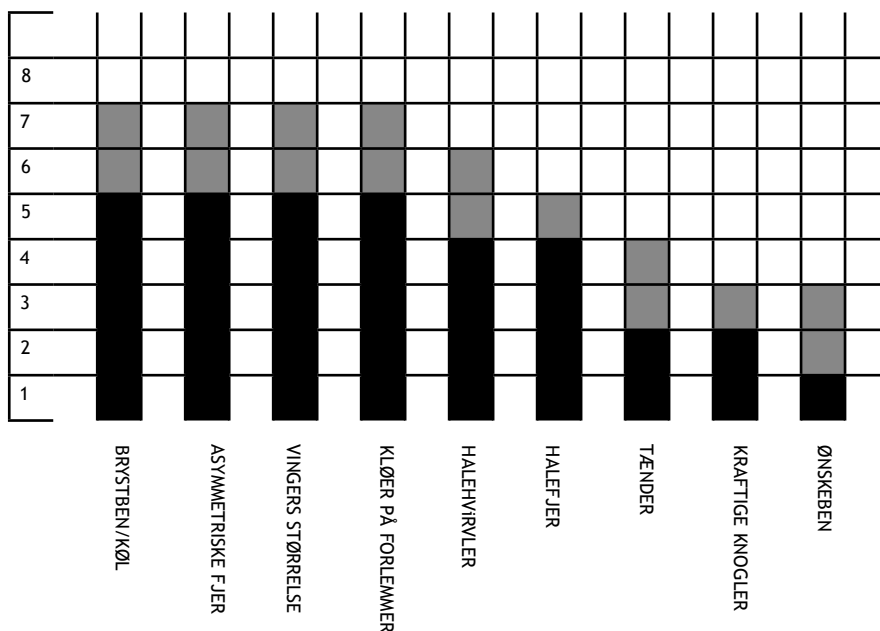
til de indgangsspørgsmål, som virkelighedens forskere har brugt som springbræt til en uddybende videnskabelig undersøgelse.

Vi observerede på videoerne, at eleverne under diskussionen af flyveevne konstant refererer fysisk til fossilet ved at pege eller røre ved de relevante anatomiske dele, når de skal argumentere (eleverne har desværre ikke mulighed for at røre ved det nutidige fugleskelet, da det er for skrøbeligt). De kan for eksempel også sammenligne svingfjere fra en nutidig fugl med *Archaeopteryx*' ved at placere dem oven på fjeraftrykkene på fossilet.

Interessant nok observerede vi også gentagne gange, at eleverne har nemmere ved at ”afkode” skelettet af den forhistoriske *Archaeopteryx* end af en nutidig fugl. Det skyldes nok, at fossilet minder mere om deres egen umiddelbare referenceramme:



Diagram over elevernes observationer af anatomiske træk på *Archaeopteryx*-fossilet og brug af dem i deres diskussion af flyveevne. Sort: Elevgrupper, der observerer trækket og bruger det i diskussionen. Grå: Elevgrupper, der observerer trækket uden at bruge det i diskussionen.



menneskeskelettet og et ”generaliseret indre billede” af skelettet hos hvirveldyr. Heroverfor står det evolutionært stærkt omformede nutidige fugleskelet, hvor mange kendetegn er ændret eller flyttet. For eksempel: Håndens knogler er vokset sammen; ligesom mellemfodsknoglerne er blevet til én; benstillingen er anderledes med et næsten vandret lårben langs kroppen; og bækkenet er åbent nedadtil.

### EFFEKTEN AF AUTENTISKE METODER OG GENSTANDE

Vores observationer af elevernes adfærd i undervisningsforløbet viser, at de faktisk på egen hånd når frem til de samme overordnede argumenter, som vi finder i forskningsartikler skrevet af fagpalæontologer. Eleverne er altså i stand til at benytte den sammenlignende anatomi, uden kendskab til metodens traditioner, historie eller faldgruber.

Vi mener, at iscenesættelsen af forløbet er en stærkt medvirkende årsag til dette. Forløbet foregår i autentiske rammer, der afspejler eleverne eget arbejde. Museet er en autentisk lokalitet, hvor der er genstande fra samlingerne, og der foregår forskning. Eleverne parafraserer dette arbejde med videnskabeligt nøjagtige kopier eller ægte skeletter af henholdvist fortidige og nutidige fugle. En medvirkende årsag til elevernes engagement er også, at de arbejder med et ”åbent problem” – kunne *Archaeopteryx* flyve aktivt? – hvor der ikke er givet et ”korrekt” eller ”endeligt” svar fra de professionelle forskere, så elevernes egne konklusioner er lige så valide.

### FORSLAG TIL EGEN PRAKSIS

I forløbet ”Evolution – fra dinosaur til fugl” har eleverne adgang til stærke ressourcer i form af seks ens videnskabeligt korrekte afstøbninger af et *Archaeopteryx*-fossil, monterede nutidige fugleskeletter og et bredt udvalg af fjertyper.

Det samme udvalg af materialer kan være ressourcemæssigt svært eller umuligt at anskaffe for en skole eller et gymnasium. I artiklen på s. 18 præsenterer vi derfor en række forslag til, hvordan man selv kan bruge sammenlignende anatomi som undersøgende metode i et studie af evolution over tid uden de store udgifter til materialer. ■

*Bent Lindow er underviser og palæontolog ved Statens Naturhistoriske Museum. Marianne Achiam er adjunkt ved Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet. Leonora Simony er biologistuderende ved Biologisk Institut, Københavns Universitet.*

### LÆS MERE

- Per Christiansen (2004): *Dinosaurerne i nyt lys*. Gyldendal, 264 s.
- Karsten Elmose Vad (2012): *Do touch! Hands-on princippet i den naturhistoriske undervisning*. Danske Museer 2012 (2), s. 8-10
- Bent E. K. Lindow (2009): *Da dinosaurerne fik fjer – Kompendium*. Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet, 19 s.
- Hanne Strager, Mikkel H. Post & Joakim Engel (2006): *Fjer*. Zoologisk Museum, Københavns Universitet, 115 s.