

Børn af Galileo

Af Mikael Svalgaard, NKT Photonics A/S

I år 1609 anvendte Galileo Galilei for første gang det nyligt opfundne teleskop til astronomiske observationer. I løbet af nogle få år opdagede han bl.a. eksistensen af måner omkring Jupiter, kratere på Månen, pletter på Solen og faser på Venus. I anledning af 400-året for Galileos banebrydende arbejde søger vi igennem projekt 'Børn af Galileo' at give børn i folkeskolen en lignende oplevelse: at bygge sit eget teleskop og se verdensrummet for første gang.

Indledning

Projektet har til formål, at udvikle en 8-ugers Natur/Teknik undervisningspakke til folkeskolens 4.-6. klasse, som skal være tilgængelig for alle lærere i Danmark. Der er fire centrale idéer i 'Børn af Galileo' der supplerer den astronomiundervisning som de fleste skolebørn på et eller andet tidspunkt møder:

1. Hver elev bygger sit eget optiske instrument, et refrakterende teleskop.
2. Simple dags-øvelser og observationer af nattehimmelen med det selv-byggede teleskop.
3. Møde med en person, der videregiver begejstringen ved at udforske verden vha. naturvidenskab.
4. Oplevelsen af selv at se astronomiske objekter gennem et stort teleskop, der opsættes på skolen.

Projektet startede i september 2007 og strækker sig over to år med deltagelse af i alt 1000 børn. I denne periode bliver undervisningspakken løbende videreudviklet ved gennemførelse af forløb og efterfølgende evaluering med børn og lærere. På nuværende tidspunkt har 800 børn fordelt på 12 skoler gennemført undervisningsforløbet. Der er blevet afholdt midtvejs-evaluering, og justeringer baseret på børns og læreres tilbagemeldinger er gennemført. Ved projektets afslutning vil undervisningspakken være tilgængelig for alle landets skoler på en særligt oprettet hjemmeside.

Projektet har til huse på Danmarks Tekniske Universitet (DTU Fotonik) som yder lagerplads, IT support og administration. Det ledes af Mikael Svalgaard (Koheras A/S, tidl. DTU Fotonik) i samarbejde med lærer Carsten Andersen (Bellahøj Skole) og konsulent Erland Andersen. Projektet har modtaget næsten 230.000 kr fra Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, Corrit fonden, Experimentarium, Københavns Kommune, Optical Cluster Copenhagen samt Dansk Optisk Selskab.

Undervisningsforløbet (se boksen) starter med at børnene bygger teleskoper og instrueres grundigt i sikker brug af instrumentet (kig aldrig på Solen). Derefter følger øvelser på skolen i grundlæggende teleskop håndtering og optiske begreber som forstørrelse, synsfelt, lysstyrke og abberationer. Midten af forløbet bruges på undervisning i astronomi sideløbende med at børnene får deres teleskop med

hjem og skal lave opgaver med observationer af nattehimmelen. Tilsidst kommer Mikael Svalgaard på besøg og fortæller om astronomi og rumforskning. Projektet kan afsluttes med en ekskursion til en astronomirelevant destination. Endvidere arrangeres et besøg på skolen med en stor astronomisk kikkert hvor objekter på nattehimmelen fremvises for alle skolens elever og deres familier.

Projekt forløb

Undervisningsforløbet strækker sig over 8 uger og er skitseret nedenfor:

uge 1 introduktion, kikkert bygges, sikkerhedsregler

uge 2 øvelser i kikkerthåndtering og optik

uge 3 flere øvelser med kikkert, laves gerne udenfor

uge 4-6 undervisning om astronomi, aften øvelser derhjemme med kikkert

uge 7 foredrag om astronomi

uge 8 mulig ekskursion (Bellahøj skoleplanetarium, Tycho planetariet, Kroppedal museum,); ellers endnu en uges astronomiundervisning i midterforløb.

Teleskopbyggesæt

Et centralt element i projektet er, at hvert barn skal have lov til selv at bygge (og beholde) sit eget teleskop. Nysgerrigheden, glæden og stoltheden over det selvbyggede teleskop er meget stor og er til stor nytte for det videre undervisningsforløb. Når teleskopet kommer med barnet hjem fungerer det som ambassadør for projektets idéer overfor familiemedlemmerne. 'Almindelige' folk har ofte meget vage idéer om hvad optik er og hvad det kan bruges til. De forbløffes tit over at man selv kan bygge et fungerende teleskop.

Under planlægningsfasen blev det hurtigt besluttet, at instrumentet skulle være en refraktor og af en relativt høj optisk kvalitet. Samlelinsen skulle ikke være af formstøbt plastik, i stedet gerne af slebet glas og forstørrelsen skulle være 10-30 \times . F-forholdet skulle ikke være for hurtigt; omkring f/10 da der ellers ville blive stillet for store krav til optisk kvalitet og kor-

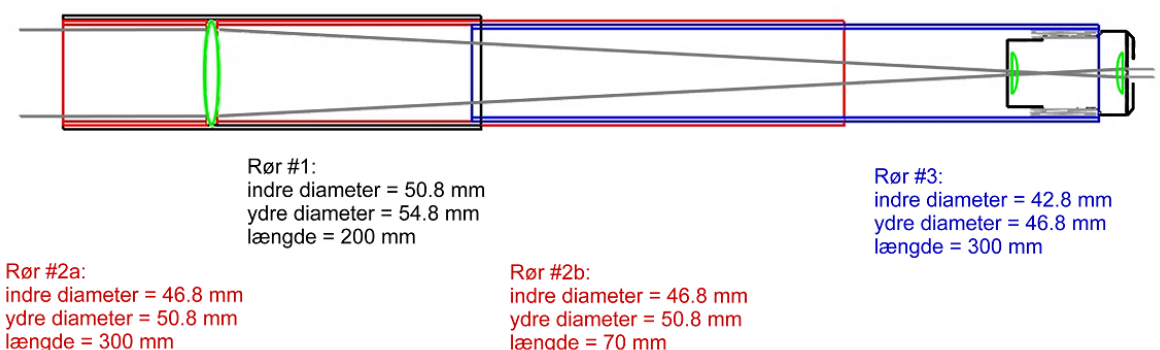
rigering. Samtidig skulle tubuslængden ikke overstige ca. 0,5 m da teleskopet ellers ville blive for svært at håndtere. Dermed skulle samlelinsen have en diameter på ca. 5 cm. Disse parametre er typisk for en begynderkikkert indenfor astronomien: lysstærk optik og noget højere forstørrelse end hvad er typisk for binokulære kikkerter. Vi besluttede også, at der ikke skulle gøres noget for at rette op på billedinvertering (at alting står på hovedet og er spejlvendt) da dette ikke er væsentligt for en kikkert til astronomisk brug og fordi invertering er et af de vigtige optiske fænomener som eleverne gerne skulle stifte bekendtskab med.

Som led i forarbejdet til projektet undersøgte vi en lang række kommercielt tilgængelige kikkert-byggesæt da vi nødvendig ville 'genopfinde hjulet'. Imidlertid var konklusionen, at disse byggesæt enten var for dyre eller havde for dårlig optik. Dernæst undersøgte vi priser på linser hos en lang række optikleverandører i Europa, USA og Japan men igen var prisen for høj, typisk 250 kr. pr. teleskop.

Endelig lykkedes det at få kontakt til et optik firma i Mumbai, Indien; meget passende kaldet 'Galileo Telescope Maker'! De solgte en slebet, bi-konveks $f=400$

mm glaslinse med en diameter på 50 mm, samt okularer i forskellige fokallængder. Teleskopets samlelinse er således ikke et egentligt objektiv sammensat af forskellige linser, materialer og krumninger og vil derfor i signifikant grad lide af primært sfærisk og kromatisk aberration. Okularerne er af Ramsden design med to identiske plano-konvekse linser med de plane flader vendt væk fra hinanden og separeret med en afstand der er ca. 8/10 af linsernes fokallængde. Dette design er ikke særlig anvendt idag som følge af signifikant transvers kromatisk aberration og lille arbejdsafstand for øjet.

Den optiske kvalitet er ikke så høj som oprindeligt tilstræbt. Da samlelinsen består af et enkelt bikonvekst element er de værste aberrationer ikke korrigeret til bare første orden. De negative følger af disse aberrationer er primært astronomiske da teleskopet f.eks. ikke er i stand til at vise Jupiters måner eller Saturns ringe. Til gengæld vil eksistensen af signifikante aberrationer gøre det muligt at anskueliggøre flere grundlæggende optiske principper. Sagt på en pæn måde kan man sige, at projektet på denne måde har valgt at have et større fokus på indlæring af optik end ellers!

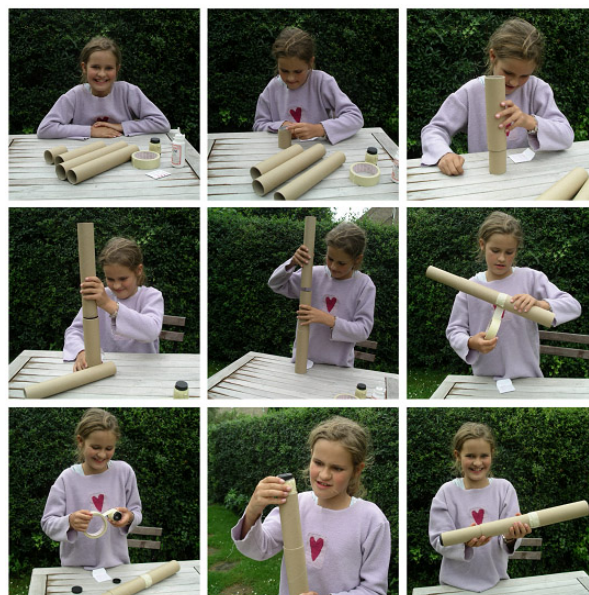


Figur 1. Mekanisk design af 'Børn af Galileo' teleskopet som består af en 50 mm samlelinse (grøn), okular (sort), klisterbånd (grå), samt fire rør sat indeni hinanden (sort, rød, blå).

Det er ikke nok at have fundet brugbare optiske elementer; disse skal også af ivrige børne-hænder kunne bygges ind i en robust tubus, der inkluderer en fokuseringsmekanisme og gerne også en vis beskyttelse af samlelinsen mod snavs og dug ved brug udendørs om aftenen. Vores løsning er skitseret i figur 1 og omfatter i alt fire paprør samt lidt lim og tape. Paprørene er specialfremstillede til formålet af en Dansk producent og koster i alt 8 kr. pr. teleskop. Rørenes dimensioner er tilpasset således, at samlelinsen lige netop kan sandwiches imellem to rør (rød) inde i et tredje rør (sort). Et fjerde rør (grøn) indeholder okularret og sættes ind i røret med samlelinsen. Diameteren af okular-røret er valgt således, at det kan trækkes frem og tilbage under fokusering uden at det falder ud af sig selv. Den tætte mekaniske tolerance på rørene aligner automatisk optikken vinkelret på den optiske akse og forhindrer transversal bevægelse under fokusering.

Det sidste element i teleskop konstruktionen er fremstilling af et dæksel ud af pap og malertape. Dækslet har to formål: 1) med lukket låg til beskyttelse af samlelinsen mod støv og snavs, 2) med en ca. 2 cm

åbning til afmaskering af samlelinsens ydre dele, mere herom nedenfor.



Figur 2. Sådan bygges 'Børn af Galileo' teleskopet.

Børne-teleskopet koster i alt ca. 60 kr. og kan samles på 1-2 undervisningstimer inkl. tørring af lim (figur 2). Kvaliteten af børnenes teleskoper har vist sig at være meget ensartet.

Efter realiseringen af det her beskrevne teleskop-byggesæt er der startet et lignende projekt i USA indenfor rammerne af FN's internationale astronomiår 2009. Projektet hedder 'Galileoscope' og sigter på at fremstille 1 million teleskop-byggesæt af en meget bedre optisk kvalitet end det her beskrevne. Prisen pr. teleskop er ca. 10 USD og derfor nogenlunde det samme som i vores projekt. På linket sidst i denne artikel kan teleskoperne bestilles; vær dog opmærksom på, at mindste bestilling er 1000 styk! Der er også en Europæisk forhandler der er begyndt at tilbyde kikkert-byggesæt i høj kvalitet til lignende priser (link nederst).

Praktiske øvelser

Inden børnene får teleskoperne med hjem og skal observere nattehimlen gennemgås en række øvelser om dagen på skolen (figur 3). Formålet er at lære børnene om grundlæggende kikkert håndtering, f.eks. at sigte, at fokusere, at holde kikkerten roligt. Der udføres øvelser hvor optiske begreber som forstørrelse, synsfelt, lysstyrke og aberrationer opleves. Ordet 'oplevelse' er brugt med vilje; det handler ikke om ligninger og teori – det handler om at vise børnene hvad disse fænomener går ud på og hvordan de selv kan styre dem.



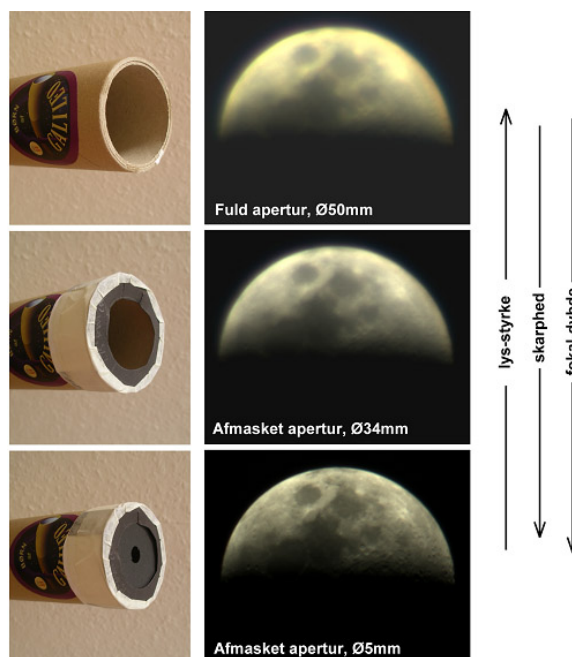
Figur 3. Stolte børn fra 4. v på Bellahøj skole med deres selv-byggede teleskoper.



Figur 4. Et mikroskop er blevet lavet ud fra to okularer. Opløsningsevnen er ca. 20 μm.

Eleverne får en blanding af 25 mm og 38 mm okularer og derudover er der nogle ekstra okularer på 9 mm og 12 mm. Derved kan børnene opleve hvordan forskellige okularfokallængder kontrollerer teleskopets forstørrelse efter formelen $f_{\text{samlelinse}}/f_{\text{okular}}$. Såvel børn som deres forældre er altid meget forundrede over at opdage at størrelsen af teleskopets synsfelt ikke styres af samlelinsens diameter, men af fokallængden på okularret.

Anvendelsen af forskellige okularfokallængder muliggør endvidere, at eleverne kan bygge et mikroskop ved at sætte to okularer sammen med et stykke tape (figur 4). Eleverne eksperimenterer selv med forskellige okular kombinationer og vil opdage at de bedste resultater opnås med et så stort f-forhold som muligt og med den største fokallængde vendt nedad mod emnet under observation. Denne konstruktion er meget lig de tidligst kendte eksempler på multi-linse mikroskoper, såsom det Sacharias Janssen i 1595 som ti-årig byggede sammen med sin far. Sjovt nok havde Sacharias da samme alder som målgruppen for projekt 'Børn af Galileo'!¹. Disse simple mikroskoper kan let vise detaljer ned til ca. 20 μm og det åbner en hel verden af udforskningsmuligheder. Eksperimenterne med teleskop og mikroskopkonstruktion illustrerer tydeligt overfor børnene hvordan forskellige linser kan kombineres til optiske systemer, der har en langt bedre ydeevne end de individuelle bestanddele.

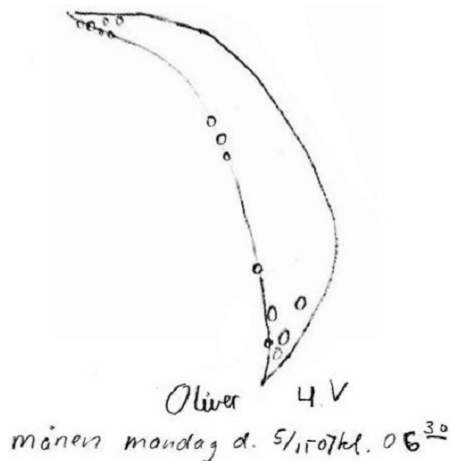


Figur 5. Illustration af optiske principper som børnene oplever med deres kikkert ved en gradvis afmaskering af samlelinsen. Fotografierne af Månen er optaget med det viste teleskop.

Børnene har også bygget et dæksel med et hul på 2 cm i diameter til montering foran samlelinsen. Herved kan flere grundlæggende optiske fænomener

¹ Som 24-årig eksperimenterede Sacharias samtidigt med Johannes Lippershey med de første teleskopkonstruktioner, dog kom Lippershey først med patentansøgningen herom. Nogle år efter kom Sacharias gentagne gange på kant med loven for falskmønteri, så glæden ved at eksperimentere og opfinde kan altså også drives for vidt!

illustreres, nemlig at abberationers størrelse vokser med afstanden til den optiske akse, at lysstyrken er givet ved samlelinsens areal samt at fokal dybden øges med f -forholdet (figur 5). Børnene lærer at samlelinsens ydre dele skal være maskeret ved brug om dagen eller ved observation af Månen (figur 6). Ved observation af lyssvage objekter, som f.eks. gaståger, skal det fulde areal af samlelinsen til gengæld bruges.



Figur 6. Månen optegnet af Oliver fra 4.v på Bellahøj skole.

Forstørrelsen af teleskoperne kan variere fra ca. $10\times-40\times$ og det er et problem at holde dem roligt nok til at kunne betragte billedet klart. En anordning skulle således findes for montering af teleskoperne. Imidlertid kom denne erkendelse først til os *efter* at budgetter var lavet og udstyr bestilt; derfor måtte konstruktionen helst ikke koste noget! Løsningen kom fra projektlederens svigerfar, Lasse Andersen, der er arkitekt: man tager en cykel og sætter den på hovedet, ligesom når den skal lappes. Dernæst spændes teleskopet fast på forhjulet med to kraftige elastikker (figur 7). Ved at dreje hjulet justeres teleskopets retning i højde og ved at dreje styret justeres retningen i azimuth. Det er da innovation i verdensklasse!



Figur 7. Der observeres med 'Børn af Galileo' teleskopet under Kulturnatten 2007. Bemærk teleskopets innovative alt-azimutal opstilling!

Kæmpe-kikkert på skolebesøg

Udover et besøg for de involverede klasser med foredrag om astronomi afholdes der også et arrangement for

hele skolen hvor et stort astronomisk teleskop opsættes og en erfaren amatørastonom viser frem. Teleskopet til dette formål er indkøbt for projektets midler og består af en reflektor med et 45 cm $f/4.5$ hovedspejl (figur 8). Dette er et temmelig stort apertur som virkelig kan bringe selv svage objekter frem tydeligt på den lysforurenede himmel i Københavns-området. Klare objekter, såsom Orion tågen og Saturn fremstår så folk ofte ikke tror, at det billede de ser er virkeligt. Formålet med dette besøg er at begejstre børnene og deres familier, og at vise dem at optik og astronomi er sjov og spændende. Der er næsten altid nogle familier der gerne vil vide hvor de kan købe et teleskop. Links til begyndervejledninger, lokale astronomiforeninger og teleskopforretninger findes derfor på projektets hjemmeside.



Figur 8. Projektets 18" $f/4.5$ teleskop på skole besøg (Kongevejens skole).

Perspektiv

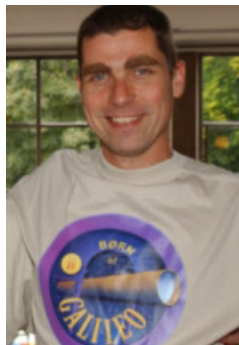
Når 'Børn af Galileo' slutter vil vi have opbygget en masse erfaring i hvordan optik og astronomi kan udbredes på nye måder i folkeskolen. Projektets hjemmeside med vejledninger og undervisningsmateriale vil være færdigudviklet og tilgængelig for alle. Der er dog to væsentlige problemer som vi endnu ikke har løst: skalering og finansiering. Skalering – eller hvordan får man udbredt f.eks. foredrags- og kikkert-besøg til mange skoler over hele landet? Svaret kan ligge i inddragelse af allerede eksisterende kræfter i f.eks. Dansk Naturvidenskabs Festival som i forvejen arrangerer foredrag på skoler og i lokale amatørastonomiske foreninger, der har teleskoper og ekspertise. Sidstnævnte findes over hele landet og bugner af engagerede ildsjæle der måske kunne organiseres. Mht. finansiering er der flere muligheder, der spænder fra '*gratis for skolen*' (midler fra fonde, kommuner eller staten skal skaffes) til '*skolerne betaler*'. Pris for byggesæt er ca. 60 kr. pr. elev.

Uanset finansierings-model skal der være en central aktør som står for at indkøbe materialer, oplagring, samle byggesæt og distribuere dem.

FN har udnævnt næste år, 2009, som 'International Year of Astronomy' i anledning af 400-året for teleskopets indførelse. På nationalt og internationalt plan har organisationer i mange lande store planer for promovering af astronomi i denne forbindelse, og finansieringsmulighederne kan være forbedret af dette momentum. Vi håber, at erfaringerne fra 'Børn af Galileo' kan bruges i et dansk initiativ i denne sammenhæng, men for at det skal lykkes kræves deltagelse af en større organisation end de tre personer som står bag dette projekt. Experimentarium arbejder pt. på at videreføre dele af projektet med de erfaringer vi har opnået. Der er ligeledes forberedelser i gang, ledet af Carsten Andersen, om et projekt hvor 1000 kikkert-byggesæt skal distribueres på Centre for Undervisningsmidler i Danmark således at alle landets skoler kan rekvirere byggesæt.

Litteratur

- [1] Projekt 'Børn af Galileo's hjemmeside med undervisningsmateriale, nyheder og baggrund, www.boernafgalileo.dk.
- [2] Dansk hjemmeside for Det Internationale Astronomiår – 2009, www.astronomi2009.dk.
- [3] Information om Galileoscope, der er en del af 'International Year of Astronomy', <http://astronomy2009.us/optics/galileoscope/>
- [4] Europæisk teleskopforhandler, forhandler lavpris MYScope byggesæt, <http://www.galileo.cc>



Mikael Svalgaard er fysiker og har forsket 14 år i anvendt optik på Danmarks Tekniske Universitet. I dag arbejder han på NKT Photonics A/S i Birkerød med fremstilling af lasere. Han har tre børn med polarforsker Signe Andersen og er ivrig amatør astronom. Se mere på www.leif.org/mikael.