



Vitensenteret
Trondheim

Prøvetrykk 1.2

Verden gjennom ● et lite hull

Nils Kr. Rossing





Midt Nordisk Vitensenteret 2006

Verden gjennom et lite hull

ISBN-13 978-82-92088-xx-x

Henvendelser om dette heftet kan rettes til:

*Vitensenteret
Postboks 117
7400 Trondheim
Tlf: 73 59 61 23*

Omslag og layout: *Nils Kr. Rossing*

Trykk: *Vitensenteret*

Prøvetrykk 1.2 - 15.02.07



Innhold

1 Innledning	5
2 Drømmen om å gjenskape øyet - historien om små hull	5
2.1 Steneopeiske hull - avbildningen gjennom små hull	6
3 Camera obscura - framstilling av kameraet og fotografering	14
3.1 Et lite historisk tilbakeblikk på hullkamera og camera obscura	14
3.2 Vitensenterets hullkamera	15
3.3 Lag et hullkamera	17
3.4 Valg av "film"	18
3.5 Fotografering med hullkamera	21
3.6 Fremkalling og kontaktkopiering av bildene	22
4 Camera obscura med linse	25
5 Camera lucida	27
6 Referanser	29
Appendix A Dimensjonering av Camera obscura	30



... om å se verden gjennom et hull



... om se verden gjennom et hull

1 Innledning

I desember 2006 fikk Trondheim en ny “attraksjon”. Et camera obscura på størrelse med en stor container ble åpnet på Honnørbrygga ved Sjøfartsmuseet og Royal Garden. Alf Christian Samuelsen har vært initiativtaker til prosjektet, som er prosjektert og bygget av studenter ved Arkitektavdelingen ved NTNU høsten 2006. En rekke firmaer har gitt økonomisk støtte til prosjektet.



Etter åpningen har Vitensenteret tatt over drifta av installasjonen.

Dette heftet gir en kort introduksjon til temaet hullkamera og *camera obscura*, med hovedvekt på å gi en fenomenologisk forståelse av de fysiske prinsippene som ligger bak. I tillegg er heftet ment å være en støtte til lærere i grunn- og videregående skole som ønsker å bruke temaet i undervisningen. Som vi skal se så er også hullkameraet en flott innfallsport til å forstå avbildning ved hjelp av linser.

2 Drømmen om å gjenscape øyet - historien om små hull

Som barn fikk jeg høre at dersom jeg ikke klarte å se tydelig på tavla trengte jeg briller. Siden det ikke var populært å bruke briller den gang, forsøkte vi å bøte på det utydelige synsinntrykket ved å knipe sammen øynene. Da opplevde vi at skriften på tavla trådte litt tydeligere fram. Hva kom dette av?



Liten blenderåpning



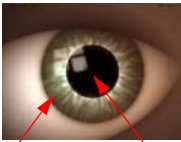
Stor blenderåpning



Da jeg ble litt eldre lærte jeg om blenderen på kameraet. Ved hjelp av blenderen er det mulig å regulere lysmengden inn på filmen. Bildet til høyre viser hvordan blenderen på et kamera fungerer. Flere små metallflak kan snurpe seg mer eller mindre sammen slik at åpningen kan gjøres stor eller liten.

Samtidig som blenderåpningen blir mindre og det kommer mindre lys inn på filmen, vil bildet få større dybdeskarphet, dvs. at gjenstander i forskjellig avstand fra kameratet blir skarpe. Det er den samme effekten vi opplever når vi kniper sammen øynene for å se bedre.

Stor åpning i pupillen



Iris Pupillen

Dersom vi studerer øyet vil vi se at også det har en blender som kan åpne og lukke seg, den såkalte *pupillen*. Pupillen er en åpning i regnbuehinna, *iris*, som gir øynene farge. På bildet til venstre ser vi at åpningen er ganske stor, det betyr normalt at det er lite lys, slik at pupillen åpnes opp for å slippe mest mulig lys inn til netthinna.

Hvordan pupillen åpner og lukker seg med mengden lys er enkelt å vise med et lite eksperiment:

Eksperiment 1 - Pupillen, øyets blenderåpning

Be en kamerat eller venninne stå noen minutter i et rom hvor det er lite lys. Bruk en lom-melykt og lys på skrå inn på øyet og se hva som skjer med pupillen. Hvor fort reagerer den?

Du vil se at den trekker seg sammen og blir mindre når du lyser inn på øyet. I det mørke rommet vil øyet forsøke å slippe inn mest mulig lys for å se best mulig. Når lysstrålen fra lykta tref-fer øyet blir det med ett svært lyst og pupillen trekker seg sammen. Vi legger også merke til at den bruker litt tid på bli mindre. At det ikke skjer umiddelbart vet vi ved at det tar litt tid å venne seg til dagslys etter å ha sittet i kinosalen en stund.

Liten åpning i pupillen



La oss se på hvordan øyenlegene har utnyttet små hull.

2.1 Steneopeiske hull - avbildningen gjennom små hull

Steneopeisk kommer av gresk og betyr "liten åpning". Et steneopeisk hull kan være et postkort med et ørlite hull i. Gjør følgende forsøk.



... om se verden gjennom et hull

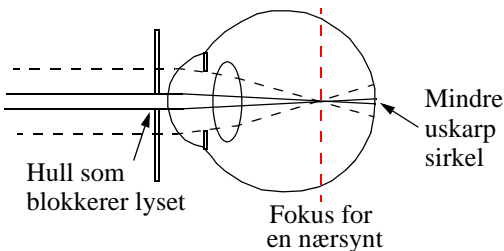
Eksperiment 2 - Steneopeisk hull

Ta et papirark og stikk et lite hull med en knappenål. Holdet hullet opp mot øyet og se på en gjenstand noen meter borte gjennom hullet. Undersøk om synsinntrykket av gjenstanden blir skarpere sett gjennom hullet enn uten.

Denne effekten blir bedre for de som på forhånd er litt nærsynte og som ser uklart uten briller. Forsøk synes å vise atlangsynte ikke oppnår samme effekt.

En tilsvarende effekt kan oppnås ved å se gjennom en fintinnet kam. Dette kan også beskytte mot sterkt sollys. Innfødte i Alaska bruker en slik teknikk for å beskytte øynene mot sterkt sollys.

I USA er det opprettet en egen organisasjon for nærsynte (International Myopia Prevention Association), som mener at en kan forebygge nærsynthet ved å gi barn briller med glass som består av et gitter av små hull som vist på figuren til høyre. Disse skal ha en rekke fordeler. Ikke minst ved at de fungerer godt på alle avstander og trenger ikke tilpasses en spesiell grad av nærsynthet som vanlige briller må. Brillene gir dessuten flott dybdeskarphet, ingen optiske feil og beskytter effektivt mot sterkt sollys.



La oss forsøke å finne ut hva dette fenomenet skyldes. I et nærsynt øye vil linsa i øyet krumme for mye. Dvs. at lysstrålene avbøyes for mye slik at bildet på netthinna i øyet blir uskarpt. Det skarpe bildet ligger et stykke foran netthinna som vist på figuren til venstre.

Når et nærsynt øye ser et punkt vil det fortone seg som en ullen ball. Når bildet sees gjennom et lite hull vil den ullne delen bli mindre fordi en mindre del av øyets linse får lys, som vist på figuren over. Tilsvarende vil det fokuserte bildet hos en langsynt person ligge bak øyets netthinne. I prinsippet skulle også en langsynt person oppnå et skarpere synsinntrykk ved å se gjennom et lite hull. Vi legger merke til at brillen som er omtalt foran er perforert med små hull. Det påstås at en på denne måten kan oppnå samme positive effekt med hensyn til dybdeskarphet, men med mindre tap av lys.



Ekspirement 3 - Kan en kam erstatte en brille?

Ta en fintinnet kam, hold den på tvers over synsfeltet, ganske tett ved øyet og se om du oppnår skarpere synsinntrykk enn uten kam.

Når vi bruker en kam vil synsfeltet bli splittet opp i en mengde vertikale spalter som virker på samme måte som hull. Siden spaltene eller hullene holdes så nært opp til øyet vil synsinntrykket bli lite forstyrret av tinnene eller nettverket mellom hullene.

Vi finner igjen den samme teknikken hos enkelte dyr som smalner av åpningen inn til øyet gjennom en regulerbar spalte utenpå øyet. Spalten kan også fungere som et øyelokk. På bildet til høyre ser vi øyet til en firfisle (gecco).



Vi finner også dette fenomenet andre steder i naturen.

Ekspirement 4 - Trær som lager bilder av sola¹

Du har kanskje gått en tur under trærne og sett hvordan sollyset siles gjennom lauet. Neste gang du gjør det, skal du se nøye på skyggemønsteret på bakken under trærne. Da vil du oppdage at lyspunktene, som burde ha alle mulige former, har alle avrundete former. I hverfall gjelder dette små åpninger i lauvet.

Det vi egentlig ser er en avbildning av den runde sola. Selv om åpningene i lauvverket har alle mulige former, så vil formen på avbildningene på bakken nærme seg mer og mer et bilde av den sirkulære sola (bildet til venstre under).



Før solformørkelsen



Under solformørkelsen

1. Ideen til dette avsnittet er hentet fra Bob Millers "Light walk" som han demonstrerer under sistt besøk ved Vitensenteret våren 2004 [5] a)



... om se verden gjennom et hull

At det virkelig er en avbildning av sola, bekreftes når sola er delvis dekket, som f.eks. ved solformørkelse. Da vil lysfeltene på bakken under trærne, nærme seg et bilde av den delvis tildekkede solskiven som vist på bildet over til høyre².

Vi skal “rendyrke” denne effekten i vårt neste eksperiment.

Eksperiment 5 - Firkantet og trekantet blir rundt

Skjær ut et trekantet og et firkantet hull i en papplate. Størrelsen kan være mindre enn 1 cm. Hold plata opp foran sola slik at skyggene av plata med hullene treffer skjermen.



Dersom plata er ganske nær skjermen, ser vi lysende avbildninger av de to hullene, et trekantet og et rundt. Når vi øker avstanden mellom plata og skjermen, ser vi at kantene blir mer og mer diffuse, og etterhvert er det vanskelig å se forskjell på de to lyspunktene, begge er blitt omtrent runde som sola.

Vi har altså sett at når plata er nær skjermen så avbildes den virkelige formen på åpningen. Er plata tilstrekkelig langt unna skjermen, ser vi en avbildning av sola.

Noen vil si at “slik vil det naturligvis være”. Når hullet er langt unna skjermen, vil konturene langs kanten av hullet viskes ut og det ser rundt ut.

For å overbevise skeptikeren om at det vi ser på skjermen virkelig er et bilde av lyskilden, kan vi lage oss en lyskilde som ikke er sirkulær, men er formet som et kryss.

Eksperiment 6 - Avbildning av en korsformet lyskilde

Til dette eksperimentet trengs to korte lysstoffrør med armatur slik at de kan tennes. De to lysstoffrørene monteres i kryss og plasseres bak hullplata som det er boret 9 hull i.

2. Bildene er tatt i Tyrkia av Herman Ranes, Trondheim Astronomiske forening, under solformørkelsen 29. mars 2006 (bildene er gjengitt med tillatelse fra opphavsmann).



Når vi nå undersøker hva slags avbildning vi får på skjermen, ser vi at hvert hull gir en komplett avbildning av lyskilden.



Skjerm



Plate med hull



Lyskors

Jo mindre hullene er, jo skarpere avbildes den korsformede lyskilden. Små hull gir imidlertid lyssvake bilder. Øker vi størrelsen av hullene blir bildet mer utydelig, men lyssterkere.

Av dette kan vi slutte at gjennom hvert av hullene i plata finnes all informasjon som skal til for danne et komplett bilde av lyskilden. Selv om hullet er lite, så mangler ingen informasjon om formen på lyskilden, men lysmengden som slipper gjennom blir mindre slik at bildet blir svakere.

Konsekvensene av denne erkjennelsen er at i et hvert punkt i rommet finnes all informasjon som skal til for å gi et komplett bilde av alle våre synlige omgivelser. Det er ganske opplagt at det er slik, siden vi kan plassere øyet vårt i et hvilket som helst punkt og se alt som er synlig omkring oss sett fra dette punktet. At vi ikke er istand til å se de fineste detaljene på stor avstand, skyldes hovedsakelig at netthinna vår har begrenset oppløsning, og ikke begrensninger i informasjonen i punktet hvor øyet vår er.



La oss se hva som skjer dersom vi monterer ei linse bak hullene på plata.

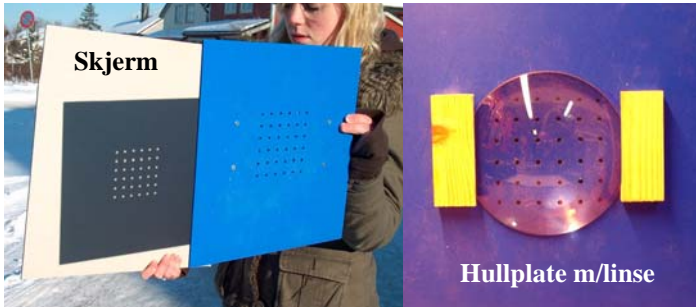
Eksperiment: 7 Linsa som samler alle enkelt bildene

Til dette eksperimentet trengs ei stor linse av den typen som finnes foran vippespeilet i en overheadprojektor. Disse linsene er ofte flate på den ene sida. Dessuten trengs ei hullplate og en passende lyskilde, for eksempel et lysende kors av lysstoffrør, men også sola kan benyttes.

Monter linse på baksida av hullplata og juster avstanden mellom hullplata og skjermen. Se om du får samlet alle avbildningene på ett sted.



... om se verden gjennom et hull



Idet lyset treffer glasset i linsa, vil det bli avbøyd. Hvert av de lysende hullene vil, som vi har sett, avbilde sola på en skjerm på baksiden av hullplata. Siden vi har plassert en linse over hullene i hullplata, vil avbildningene fra hvert av hullene, bøyes inn mot akse av linsa.



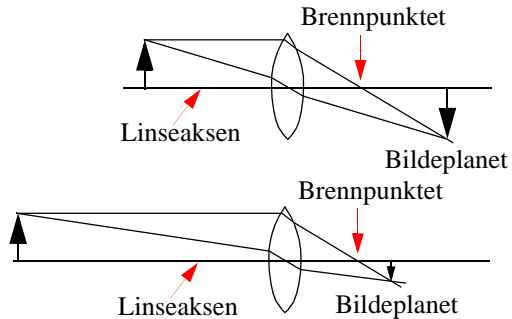
Holder vi linsa med hullplata i riktig avstand til skjermen, vil vi, om vi er heldige, få *ett* lysende punkt på skjermen. Det betyr at samtlige av de avbildede solene bak hvert av hullene legges oppå hverandre og danner *ett* bilde av sola.

Det er nettopp dette som gjør ei linse så genial. Mange små lyssvake avbildninger kan gjøres lyssterke dersom alle avbildningene legges oppå hverandre. Dersom vi tenker oss at vi øker antallet hull slik at mengden hull blir så stor at hullene går over i hverandre, vil de til slutt danne ett stort hull, og vi har ei linse slik som i kameraer og kikkerter o.l.. Det vil si ei klar linse uten hull. Ei linse vil derfor samle alle delbildene som passerer gjennom de tenkte hullene, til ett bilde i brennpunktet. Et bilde som både er lyssterkt og skarpt. Det eneste vi forutsetter er at skjermen er plassert i bildeplanet til linsa³.

3. Dette er strengt tatt bare riktig når objektet som skal avbildes er plassert uendelig langt borte. "Uendeligheten" er i praksis ikke lengre borte enn noen meter.



De fleste har lært å konstruere hvor bildeplanet er. Dette gjøres vanligvis som vist på figuren til høyre. Denne konstruksjonen er bygget på de prinsippene vi har studert forran, men istedet for å tegne alle strålene fra alle punktene på objektet (pila), så tegner vi bare to av strålene fra ett punkt på objektet. Vi velger ut toppunktet på pila. Vi vet at lysstråler som er parallelle med aksen, vil brytes inn mot et punkt, nemlig linsas brennpunkt. Videre har man funnet ut at lysstråler som passerer gjennom linsas midtpunkt, har lik retningen før og etter at de passerer linsa (de er parallelle). Dette skyldes at linsa er symmetrisk.



Vi vet at avbildningen bak linsa blir skarp der hvor strålene fra ett og samme punkt på objektet, møtes på baksida av linsa. Eller egentlig der hvor *alle* stråler som kommer fra ett punkt på objektet, og som går gjennom linsa, møtes. Dermed kan vi lett bruke enkel geometri og bestemme hvor det skarpe bildet av objektet vil falle, som vist på figuren over. Det eneste vi trenger å vite er linsas brennpunkt.

Dersom vi øker avstanden mellom linsa og objektet, vil strålene fra punkter på objektet som passerer gjennom linsa, bli mer og mer parallelle og bildet på skjermen nærmer seg brennpunktet, samtidig blir bildet på skjermen mindre og mindre. Når objektet er så langt borte at vi kan betrakte strålene fra objektet som parallelle vil avbildningen bli et punkt i brennpunktet. Avbilder vi sola på denne måten, er den så langt borte at strålene fra ulike punkter på sola kommer parallellt inn mot linsa. Dermed vil den avbildes skarpt som et punkt i brennpunktet.

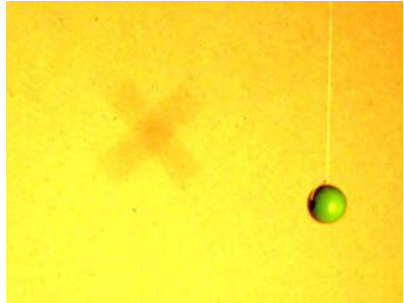
I det neste eksperimentet skal vi studere hva som skjer når vi istedet for et rundt hull, plasserer en liten rund gjenstand mellom lyskilden og skjermen.



... om se verden gjennom et hull

Ekspiriment 8 - Avbildning med skygger

Til dette eksperimentet trengs en liten kule ca. 5-10 mm i diameter, opphengt i en sytråd. Bruk en korsformet lyskilde som sist.



Bildet til høyre viser resultatet. Vi ser at skyggen gjengir den korsformede lyskilden. En kule vil danne en skygge som et kors, som gjengir et invertert skyggebilde av lyskilden.

Hvordan kan dette forklares?

Vi antar at lyset fra hver del av lysstoffrøret belyser et hvert punkt på skjermen som ikke er innenfor den korsformede skyggen. Innenfor korset vil kula skygge for en liten del av lyskilden. Flytter vi oss til en annen del av skyggen, så vil kula skygge for en annen, men like stor del av lyskilden. På denne måten vil et hvert punkt, også innenfor skyggen bli belyst av lyskilden, dog ikke hele lyskilden siden en liten del er dekket av kula. Dette er tilstrekkelig til at det dannes en skygge.

Ekspiriment 9 - Skyggen som blir til et lyst felt

I dette eksperimentet skal vi bruke kun *ett* lysstoffrør og en kule som henges opp slik at det dannes en skygge på skjermen.

Så dekker vi til en del av lysstoffrøret. Hvordan ser skyggen ut nå?



Bildet til høyre viser resultatet. Siden bare det ene røret lyser, vil skyggen i utgangspunktet bli et skrått felt. Dersom vi holder hånda over en del av lysstoffrøret, ser vi at der vi dekker til, vil det oppstå et lysere felt. Dvs. når vi skygger for røret blir skyggen mindre mørk i dette området.

Hvordan skal vi forklare dette?



Den enkleste måten å forstå dette på er å tenke på røret som to separate lyskilder, en på hver side av hånda. Kula vil dermed kaste to skygger, en for hver av de to lysende halvdelene av lysstoffrøret.

I det neste kapitlet skal vi anvende den kunnskapen vi har fått til å lage et enkelt kamera (hullkamera) ved hjelp av en eske med et lite hull i.

3 Camera obscura - framstilling av kameraet og fotografering

La oss først ta et lite historisk tilbakeblikk før vi beskriver hvordan vi kan lage og ta bilder med et hullkamera.

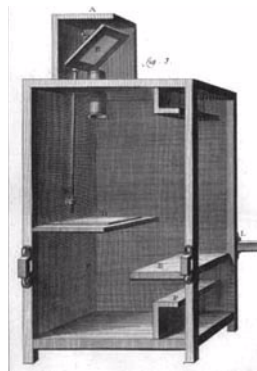
3.1 Et lite historisk tilbakeblikk på hullkamera og camera obscura

Prinsippet som ligger bak det som på 1600-tallet ble hetende camera obscura, kan spores helt tilbake til det 5. århundre f. Kr. da en kinesisk filosof oppdaget at lys som passerte gjennom et lite hull ga et opp-ned bilde på en skjerm som ble stilt opp bak hullet. Ca. 100 år senere gjorde den greske filosofen Aristoteles lignende obeservasjoner. I de neste 1800 år skjedde det ikke så mye på denne fronten. Det var først ca. år 1550 at man kom på å sette inn en linse og en skillevegg til å justere størrelsen på åpningen. Dette ga en betydelig bedre lysstyrke til det gjengitte bildet. I 1676 kom en tysk matematiker på å sette inn et speil i lysgangen slik at bildet også ble rettvendt. Det var hele tiden snakk om å projisere bildet på en skjerm eller et bord. Vi har i dette heftet valgt å skille mellom hullkamera og camera obscura som inkluderer en linse. Skjønt camera obscura kunne godt ha vært en fellesbetegnelse på begge typene kamera, siden *obscura* betyr “dunkel” eller “mørk” som i passer godt for begge typene kamera.

Det påstås at denne metoden ble brukt til å få en virkelighetstro gjengivelse av motiver. På figuren til høyre ser vi et instrument hvor kunstneren gikk inn i sitt “atelier” og fikk gjengitt det utvendige motivet på bordet foran seg⁴. Det var da en smal sak å tegne omrisset slik at motivet fikk de riktige proposjonene.

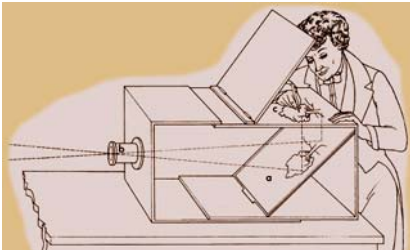
En mindre og mer hendig versjon er gjengitt på figuren under. Etter at lyset har passert linsa treffer det et skråstilt speil som reflekterer “bildet” opp på en mattskive eller tynt papir, slik at det trer fram og kan gjengis⁵.

Det hevdes at Thomas Jefferson skaffet seg sitt eget private camera obscura i 1794, men ingen vet om han noen gang gjorde nytte av det.





... om se verden gjennom et hull



Ut over på 1800-tallet ble det bygget flere storskala kameraer for utdannings- og underholdningsformål. På 1830-tallet var den franske kunstner og fysiker **Louis-Jacques-Mandé Daguerre** den første som klarte å bevare et bilde på en kobberplate belagt med et tynt belegg med sølv-jodid behandlet med kvikksølv, og som han etter eksponering badet i en saltoppløsning for at bildet skulle

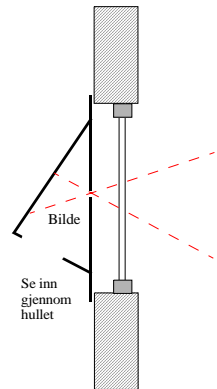
holde seg. I 1839 ga den engelske vitenskapsmannen og astronomen **Sir John Herschel** prosessen navnet *fotografering* etter de greske ordene *photos* - lys og *grafhein* - å tegne [3] a).

3.2 Vitensenterets hullkamera

I Vitensenteret har vi laget et veggmontert hullkamera.

Kameraet består av en boks hvor det i den ene vegg er stukket et lite hull. På bakveggen inne i kameraet gjengis et “perfekt” bilde av omgivelsene.

“Kameraet” på bildet over er en skrå kasse montert på en rullegardin av stål. I gardinen er det tatt et hull ca 5 mm i diameter. Ser vi inn gjennom det runde hullet på siden av kassen, ser vi et opp-ned bildet av verden utenfor vinduet. Det er selvfølgelig en forutsetning at motivet utenfor vinduet er godt opplyst.



4. Figuren er hentet fra http://girl-with-a-pearl-earring.20m.com/Girl_with_a_Pearl%20Earring_Camera_Obscura.htm

5. Figuren er hentet fra <http://www.lewis-clark.org/content/content-article.asp?ArticleID=1488>

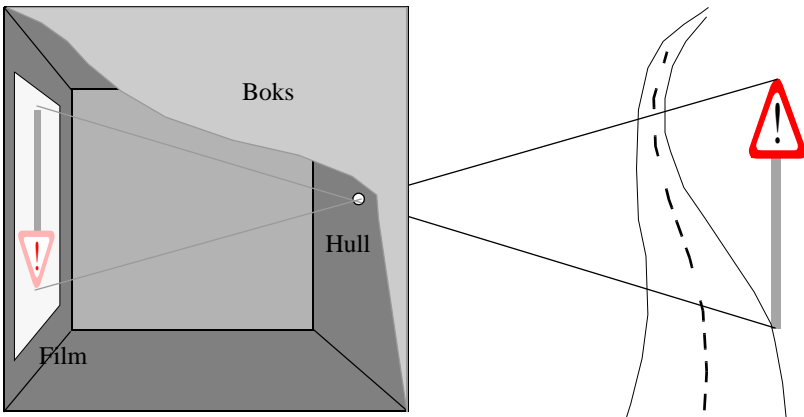


Følgende historie fortelles:

“En dag da jeg som barn satt i mørket på utedoen og konsentrerte meg om en påtrengende oppgave, oppdaget jeg plutselig et stort lysende bilde på døra foran meg. Jeg la merke til at bildet sto på hodet og at det ikke var statisk, men at trærne og skyene på himmelen beveget seg. Senere oppdaget jeg at det hadde falt ut en kvist i panelet på doens bakvegg. Det var fra dette runde kvisthullet lyset kom og laget levende bilder på dodøra.”

(fritt etter Frode Willmann, Vitensenteret)

Den vesle gutten vi hører om i denne historien opplevde ganske overraskende å befinne seg inne i et hullkamera. Hvert lyspunkt bak doen sendte en lysstråle inn gjennom det lille hullet og tegnet en farget prikk på døra foran. Tilsammen ble alle lyspunktene et komplett bilde av “verden” bak doen.



Den enkleste variant av et hullkamera er en boks med et lite hull i. På figuren over ser vi hvordan trafikkskiltet blir avbildet opp ned på bakveggen i boksen. Jo mindre hullet i boksen, er jo skarpere blir bildet. Ulempen er at små hull gir lite lys. Størrelsen på hullet er derfor alltid en avveining mellom skarphet og lysstyrke.

Plasserer vi en lysfølsom film på boksens bakvegg vil vi kunne lage et bilde av skiltet.

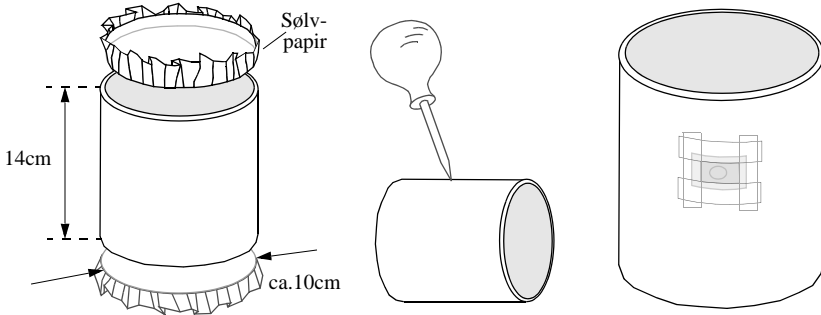
I det neste eksperimentet skal vi lage et enkelt hullkamera.



... om se verden gjennom et hull

3.3 Lag et hullkamera [1]

Til dette eksperimentet trenger vi en rund boks (rosinboks eller rundt papprør) med lokk.



Boksen kan være ca. 14 cm høy og ha en diameter på ca. 10 cm. Det er viktig at boksen er helt lystett. Om lokkene er hvite vil de slippe inn lys. For å unngå dette legger vi sølv-papir omkring lokkene.

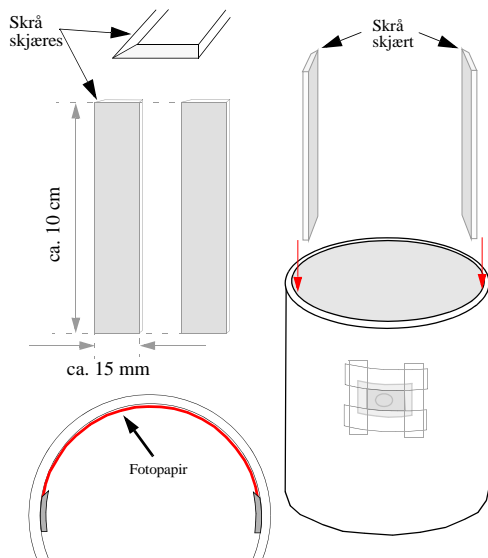
Før vi setter på lokkene skal vi lage hull og montere filmholdere inne i boksen.

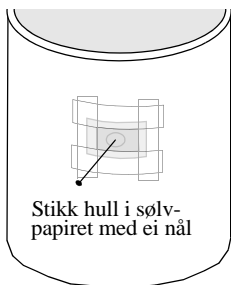
I første omgang borer vi et relativt stort hull (ca. 5 mm) omtrent midt på veggen som vist midt på figuren over. Hullet kan enten bores eller stikkes med en syl. Deretter tapes hullet igjen med svart elektriktape, ev. dekket med sølvpapir som tapes fast foran hullet.

Så lages holderen som skal holde filmen på plass. Klipp to remser av kartong (tykkelse 0,5 - 1,0 mm).

Disse kan være ca. 10 cm lange eller akkurat så lange at de ikke kommer i konflikt med lokkene når disse settes på.

De tynne remsene limes på baksiden av de brede remsene. Derne monteres disse på innsiden av boksen, en på hver side i boksens lengderetning, med den smale siden inn mot veggen. Sørg for at filmen passer inn mellom holderen og veggen som vist nederst på figuren til høyre.





Når lokkene settes på er kameraet nesten ferdig. Det eneste som mangler er å stikke et nålehull gjennom sølvpapiret eller tapen foran på kameraet.

Diameteren på hullet skal tilpasses dybden på kamerahuset. Med en kamerahusdybde på ca. 10 cm, bør hullet ha en diameter på 0,4 mm. En vanlig knappenål har en tykkelse på ca 0,6 mm. Det betyr at hullet lages med å stikke bare spissen inn i folien. Men de fleste hull vil fungere.

Dersom du velger et dypere kamera, bør du også stikke et større hull. For nærmere beskrivelse, se appendiks A. Vær klar over at “stort” hull gir mye lys og kortere eksponeringstid, men litt uskarpe bilder. Lite hull gir lite lys og lengre eksponeringstid, men skarpere bilder.

Figuren under viser det ferdige hullkamera.



Foto: Nils Kr. Rossing



Foto: Nils Kr. Rossing

3.4 Valg av “film”

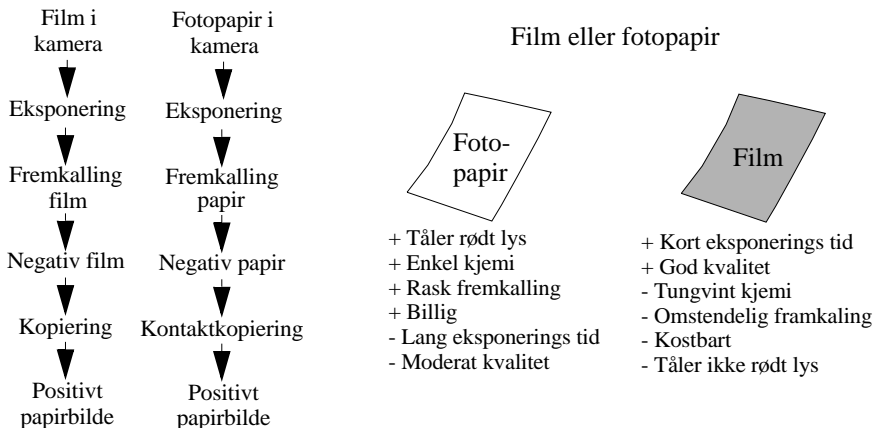
Før vi kan fotografere med kameraet, må vi velge riktig “film” [1].

Vanligvis bruker vi *film* i fotoapparater. På filmen får vi et negativt bilde. På et negativt bilde blir det som er lyst i virkeligheten, mørkt og omvendt. Etter at bildet er tatt, fremkalles filmen og tørkes. Fremkalling av film krever spesielle kjemikalier. Dernest brukes filmen til å lage et positivt bilde på et fotopapir.



... om se verden gjennom et hull

Vi kan imidlertid også bruke fotopapir i kameraet. Da får vi først et *negativt* papirbilde som vi kontaktkopierer over til et *positivt* papirbilde.



Her er noen grunner for å velge fotopapir:

1. Fotopapir blir ikke eksponert av rødt lys, dvs. vi kan bruke mørkeromspære og se på når vi legger i filmen⁶
2. Vi kan bruke de samme kjemikaliene for fremkalling av både negative og positive bilder
3. Framkallingen av bildene på fotopapir går raskere enn om vi må bruke film og papir
4. Papir brukes både til å lage negative og positive bilder, dermed blir det billigere.
5. **MEN** kvaliteten blir bedre ved bruk av film. Dessuten er filmen mye mer følsom enn papiret slik at eksponeringstida kan reduseres betraktelig.

6. Dessuten vil ikke det røde lyset som siver inn gjennom lokket i en rosinboks eksponere filmen.



Litt hullkamera teori [3] b):

Før du går i gang å tar bilder bør du vite følgende:

1. Belysning

Hullkamera egner seg vanligvis bare til utendørs fotografering. På figuren til høyre har vi vist fire vanlige lysforhold. Vi bruker disse fire som en hjelp til å bestemme eksponeringstiden.



Strålende sol, skygger langt unna



Dempet sol, litt disig



Overskyet, uklare skygger



Sterkt overskyet, i skygge

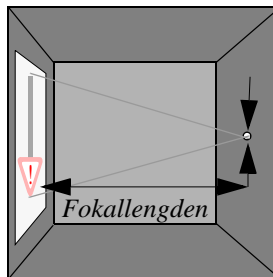
2. Hvor følsom er filmen/fotopapiret?

Vanligvis benyttes DIN-, ASA- eller ISO-standarden⁷. Følsomheten angis med et tall etter en av disse kodene. Vi vil benytte ISO-standarden (ISO og ASA er det samme). Vanlig film angis med følsomheter mellom ISO 100 til ISO 800. ISO 100 er relativt lite følsomme for lys, mens ISO 800 er omtrent 4 ganger mer følsom som ISO 100 og regnes for å være en relativt følsom film.

Fotopapir er typisk ISO 4. Dvs. at den er omtrent 20 ganger mindre lysfølsom enn ISO 100.

3. Hvor mye lys skal vi slippe inn på filmen/fotopapiret? Eller hvor lang eksponeringstid skal vi bruke?

Eksposeringstida er avhengig av diameteren på hullet og dybden på kameraet (fokallengden). Vi beregner derfor forholdet mellom fokallengden og hullets diameter. Denne verdien kaller vi for f .



Diameter hull

$$f = \frac{\text{Fokal-lengden}}{\text{Diameter hull}}$$

7. DIN - Deutsche Industri Norm, ASA - American Standards Association, ISO - International Standards Organization (se referanse [3] b))



... om se verden gjennom et hull

I vårt tilfelle blir:

$$f = \frac{100\text{mm}}{0,5\text{mm}} = 200$$

Vi kan så gå inn i en tabell for å bestemme eksponeringstiden for ulike belysninger når vi bruker fotopapir (ISO 4). Dersom vi bruker film blir eksponeringstiden mye kortere.

Lysforhold	f = 200	f-verdier
Strålende sol	40 sek	Eksponeringstid
Dempet sol	80 sek	
Overskyet	160 sek	
Sterk skygge	320 sek	

I appendiks A finner du en mer fullstendig tabell dersom du vil lage deg kameraer med andre dimensjoner⁸.

3.5 Fotografering med hullkamera

Du gjør følgende når du skal ta et bilde:

1. Gå inn i et mørkt rom eller et mørkerom med rødt lys, og klipp til filmen eller fotopapiret slik at det passer i kameraet. Sett på lokket og sørg for at hullet er dekket med svart tape.
2. Gå ut og finn et fint motiv. Bestem eksponeringstiden ut fra lysforholdene.
3. Sett kameraet slik at det står stødig. Forsikre deg om at åpningen peker rett mot motivet og fjern tapebiten som dekker hullet.
4. Ta tida og dekk til hullet når tida er utløpt.
5. Gå tilbake til mørkerommet og fremkall filmen eller fotopapiret.

I det neste avsnittet skal vi se hvordan vi fremkaller bildene.

8. Se referanse [3] b)



3.6 Fremkalling og kontaktkopiering av bildene

Nå må vi fram med fotoskålene og kjemikaliene. Til fremkalling og kopiering av bilder trenger du fire skåler, fremkallervæske, fix og mye vann. Det kan også være praktisk med fotoklyper for å løfte opp bildene. I tillegg trenger du et fotorom med rødt fotolys.

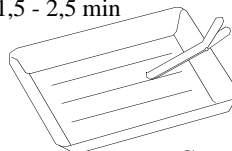
Gå fram på følgende måte i mørkerommet:

1. Gjør klar kjemikaliene:
 - A) Bland ut fremkaller (se fremkalleremballasje)
 - B) Bland ut stoppbadet
 - C) Bland ut fix-badet (se fixemballasje)
 - D) Et kar med mye vann, helst rennende
2. Ta ut det eksponerte fotopapiret av kameraet.
3. Legg papiret i fremkalleren, dra det fram og tilbake med ei fotoklype. Løfte det over i stoppbadet når bildet ser passe mørkt ut (1,5 - 2,5 min.).
4. Skyll av i stoppbadet (ca 0,5 min).
5. Ta den andre fotoklypa og hent over i fix-badet (5 - 10 min.).
6. Skyld i rennende vann. Skåla kan f.eks. stå under en kran som renner (ca. 60 min).
7. Legg til tørking under press. Tørkepapir kan brukes mellom fotopapiret.

Våt kontaktkopiering:

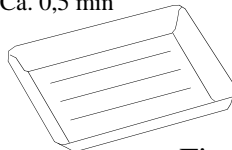
1 Fremkaller

1,5 - 2,5 min



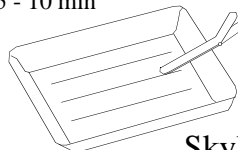
2 Stoppbad

Ca. 0,5 min



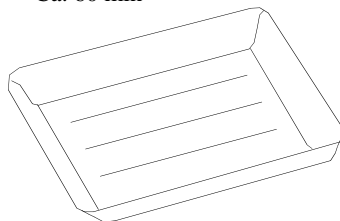
3 Fix-bad

5 - 10 min



4 Skylling

Ca. 60 min





... om se verden gjennom et hull

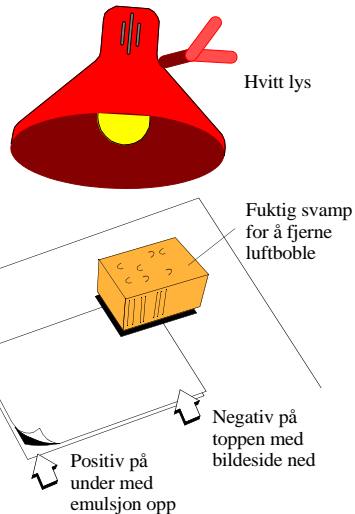
Vi skal nå lage en positiv versjon av det negative bildet. I tillegg til det som tidligere er nevnt trenger du en lampe med vanlig hvitt lys og en våt svamp.

Gå fram på følgende måte:

1. Når negativet har ligget i skyllebadet en stund, legges et ubrukt fotopapir av samme størrelse som negativet, opp i skyllebadet. La det ligge der et par minutter.
2. Ta opp det ubrukte papiret og legg det med emulsjonssiden opp. Ta så opp negativet og legg det oppå det ubrukte papiret med bildesiden ned.
3. Stryk svampen over papirene slik at alle luftbobler mellom de to papirene er borte. Det kan være lurt å bruke en fotorull.
4. Tenn lampen med vanlig hvitt lys i ca. 4 - 6 sekunder. **Husk at alt annet fotopapir i mørkerommet må pakkes ned før lyset tennes.**
5. Legg negativet tilbake i skyllebadet, mens det nyeksponerte fotopapiret legges i fremkalleren. Fremkall og fikser bildet på vanlig måte.

Du har nå fått et positivt bilde. Juster belysningen ved kontaktkopiering dersom det positive bildet er over eller undereksponert.

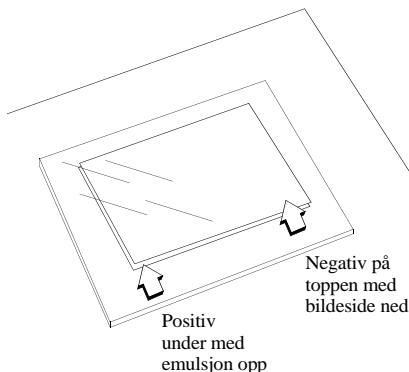
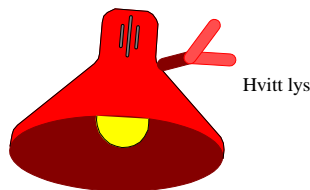
En alternativ måte er tørr kontaktkopiering





Tørr kontaktkopiering:

1. Ta negativet ut av skyllebadet og *tørk det*.
2. Ta et ubrukt papiret og legg det med bildesiden opp (emulsjonssiden). Ta den tørkede negativen og legg den oppå det ubrukte papiret med bildesiden ned.
3. Legg ev. en glassplate over de to papirene om det er vanskelig å holde dem tett sammen.
4. Tenn lampa med vanlig hvitt lys i 4 - 6 sekund. **Husk at alt annet fotopapir i mørkerommet må pakkes ned før lyset tennes.**
5. Legg det nyeksponerte fotopapiret i fremkalleren. Fremkall og fikser bildet på vanlig måte.



Du har nå fått et positivt bilde. Juster belysningen ved kontaktkopiering dersom det positive bildet er over- eller underekspontert (blir for mørkt eller for lyst).

Bildene under er eksempler på fotoer tatt med Camere obscura.



De hvite skyggene på bildet til venstre er nysgjerrige personer som ville se hva som foregikk⁹.

Du har nå tatt et bilde med et hullkamera og fremkalt bildet. Vi skal nå se at vi ikke nødvendigvis må fremkalle bildene, men kan vise dem på en mattskive.

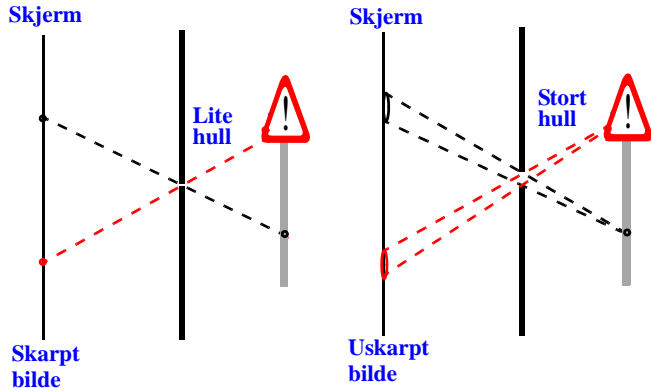
9. Bildene er tatt av Truls Lorentzen, Vitensenteret.



... om se verden gjennom et hull

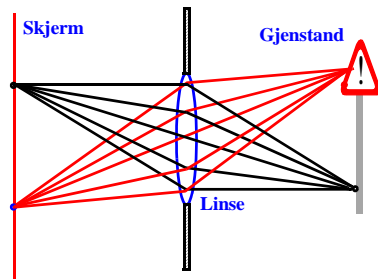
4 Camera obscura med linse

Vi har i det foregående avsnittet sett at små hull har klare begrensninger når det gjelder avbildning. Små hull gir skarpe, men lyssvake bilder, mens store hull gir uskarpe, men lyssterke bilder. Dette er en opplagt begrensning.



På figuren over har vi vist hvordan to punkter på trafikkskiltet avbildes på skjermen. I virkeligheten vil alle punkter som reflekterer lys fra skiltet avbildes på denne måten.

Brukes derimot ei linse, får vi i både pose og sekk. Når linsa settes inn i det store hullet får vi både et lyssterkt og et skarpt bilde. Grunnen er at linsa bryter lysstrålene fra gjenstanden, slik at uansett hvor strålene fra et punkt går gjennom linsa, så treffer den samme punktet på skjermen bak. På denne måten får vi utnyttet lyset fra hele den store lysåpningen og vi får et lyssterkt og skarpt bilde.



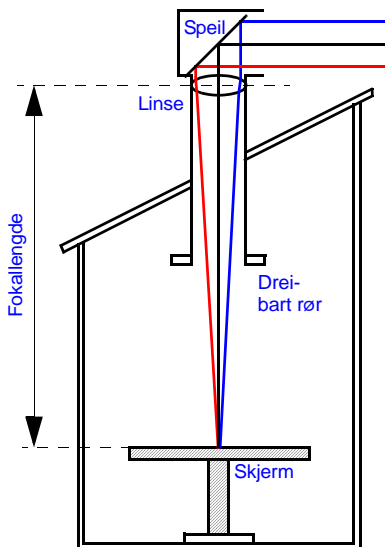
Figuren over til høyre viser hvordan noen stråler fra to punkter går gjennom linsa og treffer tilsvarende to punkter på skjermen. Vi må imidlertid passe på å plassere skjermen i riktig avstand fra linsa. Dybdeskarpheten til et kamera med linse er derfor mye mindre enn for et ordentlig hullkamera.

Ved Vitensenteret i Trondheim er det bygget et stort camera obscura som en kan sitte inni. For at bildet skal bli lyssterkt nok er det plassert en linse i røret som går gjennom taket. Et speil over linsa er plassert i en vinkel på 45° , slik at det er mulig å se ut til sidene. Ved å dreie speilet i forskjellige retninger kan en se seg omkring, nesten som et periskop. Bordet fungerer som skjerm.

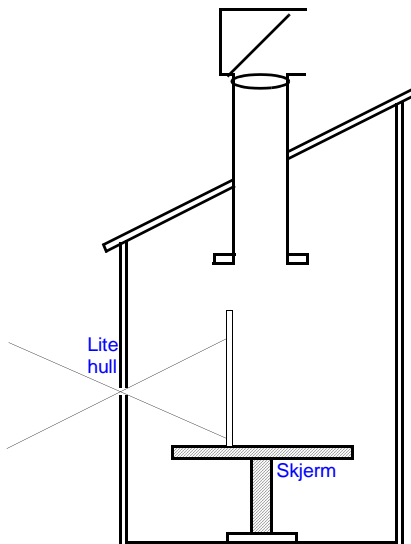
Linsa er sammensatt av en konveks og en konkav del med og har en diameter på 14,5cm. Dette gir en fokallengde på nærmere 1,3 meter, som gir en praktisk avstand mellom linse og skjermen.



Bildet under viser det store camera obscura ved Vitensenteret.



I tillegg til linsa i taket så er det et hull i veggjen slik at huset kan fungere som et tradisjonelt hullkamera. Hullstørrelsen kan varieres ved hjelp av en dreibar skive.





... om se verden gjennom et hull

5 Camera lucida

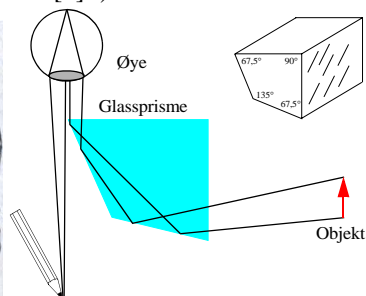
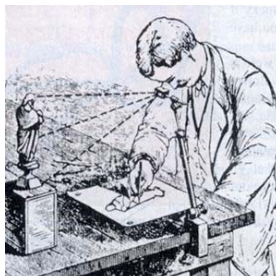
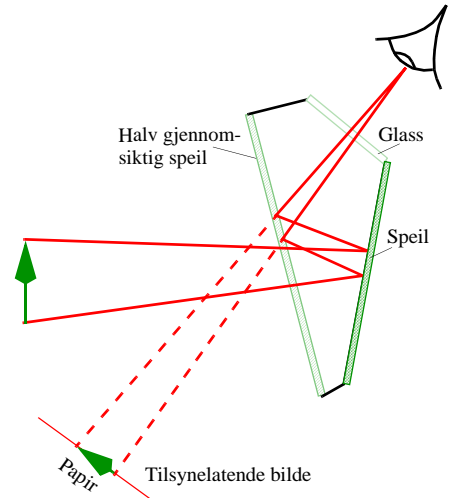
Camera lucida ble i sin tid utviklet som et hjelpemiddel for tegnere som skulle gjengi et motiv med riktige proporsjoner og perspektiv. Det var den britiske vitenskapsmannen **William Hyde Wollaston (1766-1828)** som i 1807 utviklet apparatet. Det gir mulighet til å se objektet samtidig som en ser tegnearket og blyanten. Det kan med andre ord se ut som om motivet ligger på tegnepapiret. Det kreves imidlertid trening for å kunne bruke apparatet på en effektiv og god måte [4] a).

Hvordan fungerer et slikt instrument? Det kan lages på mange forskjellige måter.

Både prizmer og halvgjennomsiktige speil er benyttet for å oppnå hensikten. I figuren til høyre viser en variant av camera lucida.

Selve instrumentet er gjennomskåret. Lyset fra motivet går gjennom det halvgjennomsiktige speilet i forkant for så å reflekteres av speilet i bakkant av instrumentet. Det reflekterte lyset treffer på nytt det halvgjennomsiktige speilet, denne gangen fra innsiden. Refleksjonen går så ut gjennom åpningen som kun er dekket med et glass og trefrer øyet. Observatøren vil oppfatte objektets plassering som rett ned på skriveplata på bordet. Siden speilet er halvgjennomsiktig vil øyet også se lys som kommer fra hånda og blyanten som befinner seg ved papiret. Siden motivet reflekteres to ganger er det også rettvendt. Men enda viktigere, papiret sees rettvendt hvilket er en stor fordel, da hånda beveger seg slik hender skal bevege seg.

Wollaston benyttet en noe annen teknikk. Han brukte et firkantet rett prisme med vinkler 67,5, 67,5, 135 og 90° som vist på figuren til under [4] f).





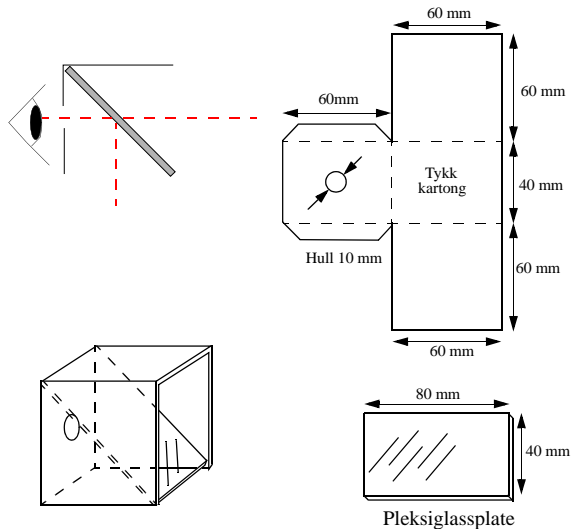
Når prisme skal brukes så ser man så vidt ned over den venstre kanten av prismet, slik at øyet dels ser blyanten mot tegnepapiret og dels ser motivet som reflekteres i prismets flater.

I 2001 ga **David Hockney** ut boka "*Secret Knowledge: Rediscovering the Lost Techniques of the Old Masters*", som har skapt mye diskusjon. Her hevder han at mange av de store mestrene har benyttet camera lucida for raskt å få riktig proporsjoner og perspektiv i sine portretter og landskapsmalerier. Han mener å se en endring i stilen på 1500-tallet. Dette forutsetter at oppfinnelsen av camera lucida hadde funnet sted langt tidligere enn antatt (1807), eller at disse tidlige malerne har benyttet andre teknikker, f.eks. camera obscura. Mange stiller seg tvilende til Hockney's påstander [4] b).

La oss se hvordan vi kan lage en forenklet versjon av et camera lucida.

Ekspériment 10 - Bygg et forenklet camera lucida [4] c) d)

Et enkelt Camera Lucida kan lages som vist på figuren til høyre. Av tykk papp lages en eske hvor to av vegge mangler. På en av de gjenværende veggene lages et hull med en diameter på omtrent 10mm. Et pleksiglassplate dimensjoner 80mm x 40mm skjæres til. Etter at sidene i boksen er limt sammen plasseres plata diagonalt inne i boksen slik at en gjennom hullet kan se speilbildet av tegnearket rett under kameraet, samtidig som en ser objektet rett gjennom plata. På denne måten ser en både hånden som tegner og objektet som skal tegnes. Kameraet monteres på et passende stativ rett over tegnearket..



En stor ulempe med denne løsningen er at en ser speilbildet av hånda som tegner. Den som har prøvd å tegne ved å se gjennom et speil, vet hvor vanskelig dette er.



... om se verden gjennom et hull

6 Referanser

- [1] Jim Shull, *“The Beginner’s Guide to Pinhole Photography”*, Anherst Media, Inc 1999, ISBN-0-936262-70-2
- [2] **Bob Millers Light walk**
 - a) http://www.exploratorium.edu/light_walk/
- [3] **Camera obscura**
 - a) <http://www.lewis-clark.org/content/content-article.asp?ArticleID=1488>
 - b) <http://www.pinholephotography.com.au/Project/Exposure/exposure.html>
 - c) <http://brightbytes.com/cosite/AmateurWork.pdf>
 - d) http://girl-with-a-pearl-earring.20m.com/Girl_with_a_Pearl%20Earring_Camera_Obscura.htm
- [4] **Camera lucida**
 - a) <http://www.rleggat.com/photohistory/history/cameralu.htm>
 - b) <http://www.newcastle.edu.au/discipline/fine-art/theory/analysis/lucida-x.htm>
 - c) <http://www.newcastle.edu.au/discipline/fine-art/theory/analysis/lucida-x.htm>
 - d) <http://web.archive.org/web/20020601202943/www.bbc.co.uk/science/sci-enceshack/backcat/experiments/macameralucida.shtml>
 - e) <http://www.camera-lucida.com/pages/470591/index.htm>
 - f) <http://chem.ch.huji.ac.il/~eugenik/history/wollaston.html>
- [5] **Bob Miller - “Light walk”**
 - a) http://www.exploratorium.edu/light_walk/



Appendix A Dimensjonering av Camera obscura

Tabellen under viser sammenhengen mellom anbefalt hullstørrelse og fokal-lengde, dvs. avstand mellom hullet og filmen/fotopapiret. Vi har tillatt oss å runde av til nærmeste 1 cm (fokal-lengde) og nærmeste 0,5mm (hulldiameter). Dimensjonene er ikke kritiske [1].

Fokal-lengde	Hulldiam.
6 cm	0,3 mm
10 cm	0,4 mm
12 cm	0,45 mm
16 cm	0,5 mm
20 cm	0,6 mm
25 cm	0,65 mm
33 cm	0,75 mm
38 cm	0,8 mm
50 cm	0,9 mm

Valg av eksponeringstid som funksjon av fokal-lengde og lysforhold:

Lysforhold	f=64	f=90	f=128	f=180	f=256	f=360	f=512	f=720	f-verdier
Strålende sol	4sek	8sek	15sek	30sek	60sek	120sek	240sek	480sek	Eksponeringstid
Dempet sol	8sek	15sek	30sek	60sek	120sek	240sek	480sek	960sek	
Overskyet	15sek	30sek	60sek	120sek	240sek	480sek	960sek	1920sek	
Sterk skygge	30sek	60sek	120sek	240sek	480sek	960sek	1920sek	3840sek	

$$f \text{ er gitt ved formelen } f = \frac{\text{fokal-lengde [mm]}}{\text{hull-diameter [mm]}} = 200$$

