

# Sod, sved og tårer

## Hvad kan man lære af eksperimenter med bronzestøbning?

af Anette Kjærulf Andersen, stud. mag. i forhistorisk arkæologi

*Siden 2004 har vi: en lille gruppe arkæologistuderende fra Københavns universitet, lavet forsøg med bronzestøbning i Lejre Forsøgscenter. På trods af at vi er den tredje bronzestøbergruppe, der har eksisteret i Lejre, har vi været nødt til at begynde helt fra bunden. En masse tid gik derfor med at lære at smelte bronzen, inden vi kunne begynde at støbe. Siden har vi gjort store fremskridt, senest i forsøg med cire perdu. Vores formål er ikke at producere en masse fine genstande, men at lære noget om metoderne og arbejdet bag. De erfaringer, vi har gjort os, har også været til gavn i felten, da vi nu ved, hvad vi skal se efter i forhold til bronzestøbning. Frem for alt må vi konkludere, at bronzestøbning ikke nødvendigvis efterlader genkendelige arkæologiske spor. Hvis man vil lære noget om bronzestøbernes virke, må man finde deres affald, hvilket kræver, at vi prioriterer lidt anderledes i felten.*

### Bronzestøbergruppen

Bronzestøbergruppen ved Københavns Universitet genopstod i efteråret 2004 og består i dag af stipendiat Bo Jensen, stud. BA. Michael Nielsen, stud. BA. Rasmus Emil Pedersen, stud. mag. Maria Wehde og stud. mag. Anette Kjærulf Andersen. Bo er den eneste af os, der tidligere har arbejdet med eksperimental bronzestøbning. Vi arbejder ud fra faste problemstillinger og udfører vores forsøg første søndag i hver måned fra april til oktober i Lejre Forsøgscenter. Centeret stiller sine faciliteter og ekspertise til rådighed for os og støtter os økonomisk gennem Forskningslegatet. Til gengæld udfærdiger vi hvert år en forsøgsrapport med vores resultater. Forsøgsrapporterne kan læses på centerets hjemmeside: [www.lejre-center.dk](http://www.lejre-center.dk), under Tidligere forsøg.

Det meste af vores første sæson gik med at mestre kunsten at smelte bronze. Vi er den tredje gruppe, der gennem årene har arbejdet med bronzestøbning i Lejre, men vi har desværre ikke kunne skaffe oplysninger om den tekniske del af de foregående gruppers forsøg. Selvom det ville have været lettere og mindre frustrerende, hvis vi havde haft disse oplysninger, så er der ingen tvivl om, at vi i dag har en langt større forståelse for, hvad det kræver at smelte bronzen.

Efter vi havde lært at smelte bronzen, kunne vi gå videre til forsøg med de forskellige støbeteknikker,

som kan påvises i det arkæologiske materiale. Åbne og todelte stenforme lavet af fedtsten er de mest simple forme, man kan arbejde med, og chancen for et godt resultat er meget stor. Formene kan, hvis man sørger for at opvarme og afkøle dem langsomt, holde næsten uendeligt. Vi har også lavet forsøg med åbne lerforme, som dannes ved at en genstand formet i voks presses ned i sandmagret ler. Disse forme kan med lidt held genbruges op til tre gange.

I år forsøger vi så at mestre cire perdu eller tabt voks-metoden, hvor en lukket form dannes af sandmagret ler omkring et vokspositiv. Selvom de fleste forstår grundprincipperne i denne metode, så er der



Fig. 1. Opstillingen fra vores seneste forsøg. Foran ovnen ligger to cire perdu-forme, som er ved at blive varmet op.

langt fra teori til praksis, og der er stadig en masse ubesvarede spørgsmål. Bronzestøbergruppens formål er netop at forsøge at besvare nogle af disse spørgs-

mål. Vi støber altså for at lære noget om teknikkerne og processerne, ikke for at lave fine kopier af oldsager.

### **Forsøgsopstillingen**

Vi ved meget lidt om bronzestøbernes arbejdsmetoder i bronzealderen. Vores forsøgsopstilling er opbygget på baggrund af arkæologiske fund og stærkt inspireret af smedeteknikker fra vikingetiden.

Fra to blæsebælge føres luft ud i et avlsrør. Vi har ingen arkæologiske spor af blæsebælge fra bronzealderen. Det er dog sikkert, at man også dengang har været nødt, at tilføre luft til bålet for at nå op på de 11-1200 grader, som det kræver at smelte bronze. Avlsrøret har vi til gengæld flere eksempler på i det arkæologiske materiale. Vores avlsrør er ca. 35 cm langt med en vinkelret bøjertud, som placeres over bålet. I stedet for at bruge en avlssten, bygger vi en lille mur af grene og ler. Muren holder det værste af gnisterne fra bålet på afstand af bælgene, samtidig med at den holder avlsrøret på plads. Bålet, hvor bronzen bliver smeltet, er placeret i en grube og skal helst bestå af store stykker trækul. Gruben fores med ler for at undgå, at urenheder bliver blandet med kullet og ender i den åbne digel. Foringen gør det samtidig lettere at opsamle eventuelt spildt bronze efter støbningen. For at få en optimal udnyttelse af varmen, har vi valgt at bygge en lille lerkappe omkring bålet, som er ca. 15 cm høj og slutter ca. 5 cm under tuden. I denne lille ovn placerer vi en digel med bronze. Vi har også mange eksempler på digler i det arkæologiske materiale. Diglen skal altid være dækket af trækul. På den måde sker opvarmningen oppefra, og man undgår, at bronzen afkøles af lufttilstrømningen. Denne opstilling har vi fundet meget effektiv. Afhængig af digelens placering i forhold til tuden tager det 15-25 minutter at smelte bronzen. Dog har vi set andre opstillinger, som har været lige så gode, og det er usikkert, hvordan det præcist har set ud i bronzealderen. Vi kan heller ikke sige med sikkerhed, at alle bronzestøberne har anvendt den samme opstilling. Når bronzen er smeltet, kommer man til det mest kritiske punkt i hele processen. I det øjeblik diglen tages ud af bålet, begynder bronzen at køle ned, og efter 1-2 minutter er bronzen igen størknet. Det er derfor meget vigtigt, at man har støbeformene klar. Formene opvarmes inden støbning for at mindske varmechokket.

### **De arkæologiske spor af opstillingen**

Det største forskningsmæssige problem med hensyn til bronzestøbning er, at vi i forhold til den store mængde bronzegenstande, som er produceret her i landet, ikke finder særlig mange spor efter produktionen. Denne ubalance i fundmaterialet kan ikke alene skyldes, at vi ikke ved, hvad vi skal se efter i felten. Det må også hænge sammen med, at bronze er relativt let at smelte. Der er ikke brug for en ovn, blot et bål og en luftkilde. De spor, bronzestøberne måtte have efterladt, forgår derfor lettere end spor fra f.eks. jernudvinding, som jo producere store mængder slagge.

De strukturer i undergrunden, som vores opstilling efterlader, er en grube med trækul, brændt ler og lerklining. Selvom vi arbejder i et område med meget leret jord, har vi ikke observeret nogen farvning af jorden som følge af de høje temperaturer. Gruber med trækul og lerklining er meget almindelige på bopladser, og selvom de ikke alle har været brugt til bronzestøbning, kan det heller ikke udelukkes, at nogen af dem har.

I teorien behøver bålet ikke at være nedgravet. Hvis man i stedet hævde bælgene og avlsrøret, kunne man anlægge bålet på jordoverfladen. Arkæologiske spor efter en sådan opstilling ville være meget sparsomme.

### **Affaldet og det arkæologiske materiale**

Heldigvis er det ikke kun spor efter opstillingen, vi har at gå efter. Bronzestøbning kan nemlig også efterlade en række forskellige typer af affald. Dette affald kan bidrage med vigtige oplysninger om bronzestøbernes arbejde, hvis vi vel at mærke kan finde det.

Vi har igennem vores forsøg sandsynligvis produceret og set næsten alle tænkelige affaldstyper. Nogen ville være meget let genkendelig, hvis man stødte på dem i felten, mens andre er svære at skelne fra almindelig bopladsaffald. Blandt de mest genkendelige er bronzedråber, som er blevet tabt ved støbning. Flere gange har vi også oplevet, at diglerne er sprunget under smeltning og alt bronzen er endt på bunden af bålet. Disse klumper er meget karakteristiske, da de fanger en del trækul og urenheder på deres vej. De større klumper kan let samles op og genbruges, mens mindre klumper og især

dråberne er meget svære at se, og det er nok mest disse, bronzestøberens kan tænkes at have efterladt.



Fig. 2. Øverst til højre ses bronzedråber, herunder en støbetap og til venstre klumper af spildt bronze.

Støbetapper er en anden karakteristisk affaldstype. De dannes ved indløb og kanaler i lukkede forme og er ofte kegleformede. For det meste er de afskårne støbetapper blevet genbrugt. Bronze kan omsmeltes et utal af gange, hvilket er grunden til, at vi ikke kan forvente at finde særlig meget af det blandt bronzestøberens affald. Dog optræder der nogle gange støbetapper i depotfund.

Gruppen har flere gange produceret en form for bronzeslagge, som vi ikke har været i stand til at omsmelte. Slaggen har en opboblet struktur og en grålig farve. Det opstår i de tilfælde, hvor bronzen er blevet overopvarmet og ses oftest som en fastbrændt skorpe i bunden af diglen. Dette fænomen må hænge sammen med, at der, når man varmer bronze, sker en fordampning af tin, da tin smelter ved en lavere temperatur. Dette ændrer den kemiske sammensætning og er sandsynligvis også det, der bevirker, at bronzen nogle gange ændrer farve.



Fig. 3. To digler. Den øverste er let sintret på kanten, mens den nederste er meget sintret og har fastbrændt bronzeslagge i bunden.

Langt størstedelen af affaldet fra bronzestøbning er lavet af ler. Digler, forme og muligvis lerklining burde være det, vi har størst chance for at finde, da det ikke har den samme genbrugsværdi som bronzen. Desværre forgår genstande af ler let i jorden, med mindre de er hårdt brændte. Cire perdu forme behøver ikke at blive brændt særlig længe. Vi har haft succes med blot at opvarme formene i kanten af et bål, indtil alt voksen er smeltet ud. Disse forme bliver desuden slået itu for at få bronzegenstanden ud, hvilket alt sammen betyder, at de er svære at finde. Dog sker der en opvarmning på indersiden af formen, når den 1200 grader varme bronze hældes i. Dette bevirker, at indersiden af formen kan være hårdt brændt, og især stykker med ornamentik burde være til at finde og genkende. Fragmenter af forme kan også kendes på deres kraftige sandmagring, som gør formen i stand til at modstå de høje temperaturer. Vi er dog i gang med en forsøgsrække, hvor vi bruger chamotte (knust keramik) i stedet for sand. Magring med fint chamotte kan ikke ses med det blotte øje, hvilket måske er en af grundene til, at vi finder så få fragmenter af forme.



Fig. 4. Støbeforme. Til venstre en todelt fedtstensform til segl. Øverst til højre er et fragment af en åben lerform til en økse. Nederst til højre er fragmenter af to cire perdu forme til tutulier.

Digler og avlsrør formes også af kraftigt sandmagret ler og brændes i et åbent bål ved ca. 900 grader. Hvis man sørger for, at de hver gang bliver opvarmet og afkølet langsomt, så kan digler genbruges 4-5 gange, mens avlsrør kan genbruges et utal af gange. Det er den kraftige sandmagring og de høje temperaturer, der gør, at diglerne og tuden på avlsrørene efter længere tids brug kan få en glasagtig overfalde, som kaldes sintring. Sintrede fragmenter er også meget let genkendelige.

**Det skal ses**

Det mest nedslående resultat af vores forsøg, set med en feltarkæologs øjne, er, at bronzestøbning ikke nødvendigvis efterlader sig genkendelige spor. Hvis bålet ikke er nedgravet, digler og avlsrør ikke er blevet sintret, lerformene er slået i stykker, og man ikke har tabt noget bronze, så er der ikke meget tilbage for os at finde. Men der *er* fundet sintrede digler og fragmenter af forme, og der *må* være mere derude. Hvis vi vil finde det, bliver vi nødt til at gå lidt grundigere til værks.

Der gemmer sig uden tvivl en større mængde affald fra bronzestøbning blandt de mange kilo ”brændt lerklining”, som bliver fundet i gruber på bopladser. Det kan være svært at udskille støbeaffaldet, hvis man ikke ved hvad man skal se efter. Man kan dog sige, at stykker magret med sand ikke er lerklining. For at lerklining skal holde sammen når den tørrer, bliver leret blandet med organisk materiale som høg og komøg. Sand har den modsatte virkning. Større cire perdu-forme kan til gengæld have et ydre lag af ler blandet med komøg eller andet organisk materiale, hvilket er endnu en grund til at se en ekstra gang på stykker af brændt lerklining. Noget andet, man burde sætte mere fokus på ved udgravning af bopladser fra bronzealderen, er gruberne. Et enkelt snit gennem en grube er ikke nok til at afsløre affald fra støbning. I stedet kunne man vælge at tømme et udvalg af gruberne samt solde noget af fylden.

På fig. 5 ses et eksempel på et støbeforms-fragment. Bemærk den kraftige sandmagring og resterne af ornamentik. Stykket er fundet af et af gruppens medlemmer på den store Ledreborg Golfbane

udgravning, som Roskilde Museum foretog i 2005-06. Fundet stammer fra en grube med en masse andet bopladsaffald, men alligevel genkendte finderens det straks. Der ville uden tvivl blive fundet meget mere, hvis der blandt feltarkæologer var et



Fig. 5. Fragmenter af kraftig sandmagret cire perdu-form (ROM2290 x2212). Foto bragt med tilladelse fra Roskilde Museum.

større kendskab til denne type materiale. Jeg vil derfor gerne opfordre alle feltarkæologer til at besøge Bronzestøbergruppen i Lejre Forsøgscenter og se på det, vi har produceret. Vi modtager også meget gerne input fra feltarkæologer og forskere. Hvis man har et spørgsmål eller en problemstilling, som vi kan tage op i kommende forsøg, er man velkomne til at kontakte os. Eller hvis man har fundet noget muligt støbeaffald, vil vi meget gerne se på det og komme med en vurdering. På forsøgscenterets hjemmeside kan man finde vores kontaktoplysninger.