



Geofysiske sporingsmetoder har afsløret en hidtil ukendt storby under det travle trafikknudepunkt Bohicon i Bénin i Vestafrika. Her fandt den første jernproduktion i Afrika sted for 3.000 år siden, og for 1.000 år siden havde byen en pulserende "jernindustri".

# Magnetisk kortlægning

- finder gammel afrikansk jernindustri

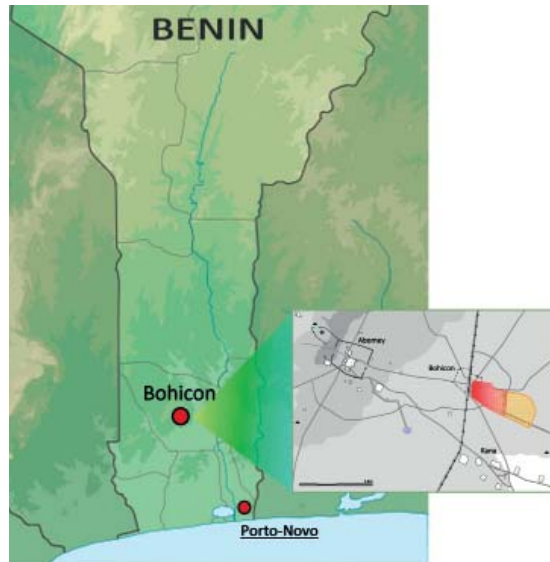


← Arkæologi midt i byen. På begge sider af en vej, udgraves spor efter forhistorisk jernudvinding, knallerter og motorcykler er det almindeligste transportmiddel på vejene i Bénin.

I forgrunden ses afrensning af overfladen forud for fotografering af en bunke tuyører (der senere viste sig at dække to jernudvindingsovne; tuyører er mundstykker til blæsebælg og er ofte lavet af ler, der kan tåle den høje varme i og ved ovnen). I baggrunden, på den anden side af vejen, er to jernudvindingsovne ved at blive udgravet.

Foto: Inga Merkyte

→ Byen Bohicon er et vigtigt trafikknudepunkt i den sydlige del af Bénin. Den røde farve angiver udstrækningen af den jernproducerende by fra 10. århundrede e.Kr., mens den gule farve angiver en endnu ældre by fra før 1000 f.Kr., hvor man allerede var godt bekendt med fremstilling af jern.



I 1990'erne arbejdede danske vejarbejdere med at anlægge en omfartsvej mellem byerne Abomey og Bohicon i Bénin i Vestafrika. Mens arbejdet stod på, forsvandt en rendegraver pludselig ned i et stort hul i jorden. Det blev startskuddet til et dansk arkæologisk forskningsprojekt i området ledet af professor Klavs Randsborg fra Københavns Universitet. De arkæologiske undersøgelser har åbenbart et kæmpestort område med talrige menneskeskabte "huler", der hver for sig kunne indeholde adskillige rum (mere end 1.700 registreret - kun en mindre del af det totale antal). Ingen vidste dengang, hvor gamle hulerne var eller hvem, der havde lavet dem, eller hvorfor. Viden om fortiden byggede alene på mundtlige overleveringer og på nogle få rejsebeskrivelser fra europæere, der begyndte at besøge området i det 17. århundrede. I dag ved vi, at "hulerne" er fra 1650-1850 og tjente som beskyttelsesrum under lokale krige og sekundært som vandbeholdere i tørtiden.

Under arbejdet med "hulerne" opdagede arkæologerne rester af en storby på mere end 500 hektar, der allerede for 1.000 år siden levede af industriel jernproduktion. Det viste sig også, at der allerede for 3.000 år siden var en endnu større by på stedet, sæde for den ældste palmeolieproduktion i Afrika og den tidligste jernproduktion på kontinentet.

De gamle storbyer blev bl.a. erkendt gennem en metode hentet fra geofysikken, nemlig magnetisk kortlægning.

### Arkæologi og geofysik

I Danmark dukker levn fra fortiden hele tiden op af mulden pga. den intensive landbrugsdrift og store byggeprojekter med dybe fundamenter. Sådan er det ikke Bénin i Vestafrika. Her anvender man manuelle landbrugsteknikker, der kun bearbejder de øverste 10-15 cm af jordoverfladen, og byggetraditionen er også anderledes, idet man ikke anvender dybe

fundamenter til husbyggeri. Derudover vokser jordlagets tykkelse stadig i mange områder i Afrika, især i skovbæltet tværs over kontinentet, pga. omsætning af den frodige vegetation og tilførsel af støv fra Sahara. Arkæologiske fund i Vestafrika dukker derfor ofte først op et stykke under jordoverfladen.

Det var altså den udfordring, de danske arkæologer stod overfor, da de ankom til Benin i 1998. Derfor var det oplagt at finde inspiration i geofysiske metoder. Geofysik som disciplin opstod i forsøgene på at finde og udnytte jordens råstoffer. Arkæologer er først og fremmest interesserede i jordlag, der ligger tæt på overfladen og sjældent mere end i nogle få meters dybde. Derfor arbejder arkæologer med geofysiske fænomener af væsentlig mindre udstrækning end underjordiske oliebasiner eller store mineralforekomster.

Det stiller særlige krav til valget af instrumenter, som både skal være mobile og fintfølede. Arkæologer kan godt lide geofysiske metoder, fordi det som oftest er muligt at indsamle oplysninger, uden at man ødelægger de jordlag, som bliver undersøgt, hvilket jo sker ved en arkæologisk udgravning. En anden klar fordel ved brugen af geofysiske metoder er, at arkæologer kan undersøge meget større områder meget hurtigt og med betydeligt færre omkostninger end gennem en arkæologisk udgravning. En metaldetektor er et eksempel på en *aktiv* geofysisk metode, hvor omgivelserne påvirkes aktivt (fx vha. lyd, lys, eller anden stråling) og man registrerer omgivelsernes respons på påvirkningen. Responset fortæller om jordlagenes fysiske egenskaber og gør det muligt at kortlægge variationer inden for samme egenskaber. Sammen med såkaldt jordradar er metaldetektorer de mest udbredte aktive geofysiske metoder brugt i arkæologien. Til sammenligning er magnetisk kortlægning en *passiv* geofysisk metode, hvor man registrerer de naturlige variationer i omgivelserne ved hjælp af et magnetometer.

Forfatterne



Inga Merkyte, ph.d., postdoc, Saxo-Instituttet, Københavns Universitet  
merkyte@hum.ku.dk



Søren Albek, MA  
salbek@yahoo.com



Klavs Randsborg, professor, dr. phil. Saxo Instituttet, Københavns Universitet  
randsb@hum.ku.dk



Resterne af to jernudvindingsovne i den kompakte lerholdige vestafrikanske jord. Målestokken er inddelt i 10 cm enheder. Hulerne har fået deres egen arkæologiske park og museum ved Agongointo nær Bohicon. Udforskningen af hulerne har ført til mange meget spændende opdagelser, som har ændret både den lokale befolknings og omverdenens syn på Benins fortid – fra nærmest ikke-eksisterende til vigtig for hele Afrika.

Foto: Inga Merkyte

### Magnetisk kortlægning

Magnetisk kortlægning af de øvre jordlag bygger på den iagttagelse, at jordens magnetfelt vil være jævnt fordelt i jordlag, der ikke er forstyrret af menneskelige aktiviteter. Menneskeskabte aktiviteter på et givent sted vil forstyrre denne ensartethed, og der vil fremstå variationer i magnetfeltet. Disse variationer eller afvigelser kaldes *anomalier*.

Anomalierne kan skyldes alt fra en tabt ølkapsel til en nylig bortkastet betonblok. Arkæologer er interesserede i levn fra fortiden som huse, man kan erkende ved tilstedeværelsen af stolpehuller og ildsteder, grave og gruber, brønde og hegn, ja alt hvad der kan hjælpe med til at besvare grundlæggende spørgsmål om livet i fortiden.

Da det ved målingerne er svært at skelne anomalier, der skyldes nutidige aktiviteter fra de forhistoriske, er det bedst at vælge et undersøgelsesområde, som ikke er væsentligt påvirket af moderne aktiviteter. Arkæologer anvender fintfølede instrumenter, der kan trænge igennem de øverste jordlag og fange "ekkoer" fra fortiden. Variationerne i magnetfelterne måles i enheder kaldet nanoTesla ( $10^{-9}$  Tesla). Disse variationer kan være ret store: Med de meget fine instrumenter, danske arkæologer i Afrika har anvendt, er der op til 30.000 gange forskel på de svageste og stærkeste signaler. Variationerne kan stamme fra selv meget små enheder, fx en nu forsvundet husstolpe. Det betyder også, at det er nødvendigt med en stor måletæthed for at kunne fange de små "plamager" og at anvende computerprogrammer til at analysere data. Programmerne foretager en statistisk sortering af målingerne og gør tallene mere overskuelige ved at omsætte dem til digitale kort i form af konturkurver, farver eller 3D. For et trænet arkæologisk øje bliver disse fænomener til kort over gruber, grøfter, arbejdsområder – altså et "frosset" billede af fortiden. Sommetider er det dog nødvendigt at foretage mindre udgravninger for præcist at forstå, hvilket arkæologisk fænomen, der gemmer sig bag de observerede anomalier.

### Voodoo eller videnskab?

Et magnetometer består af en eller flere sensorer. Sensorerne er ofte parret og måler variationerne i magnetfelterne umiddelbart ved jordoverfladen og sammenholder disse med variationer i en fast afstand fra jordoverfladen. På denne måde opnås en meget høj nøjagtighed. Undersøgelsen foregår ved at magnetometeret bæres eller køres på en vogn hen over et undersøgelsesområde. Målingerne samkøres med geografiske koordinater ved hjælp af GPS eller ved inddeling af området i foruddefinerede felter. På én dag kan der undersøges mere end én hektar – et område det ville tage flere måneder at udgrave.

Forud for anvendelsen af magnetometeret i Bénin blev arkæologerne advaret om mulige problemer ved metoden. Bénin ligger nemlig lige på den magnetiske ækvator (og tæt på den geografiske ækvator), hvor magnetfeltet er svagest. En anden komplikation er, at magnetfeltlinierne tæt på ækvator forløber næsten parallelt med jordens overflade. Det gør at variationerne i magnetfelterne bliver mindre markante og derfor sværere at registrere. Ikke desto mindre lykkedes det de danske arkæologer at "erobre ækvator" og kortlægge mange arkæologiske pladser, som ligger skjult under jordoverfladen.

Når man bevæger sig med magnetometeret i heden midt i den travle afrikanske by Bohicon med susende motorcykler, larmende gadehandlere, masser af hilsende børn, og geder, høns og hunde omkring sig, opleves ofte et øjeblikkelig stilhed og forundring blandt tilskuerne: laver de mon en ny slags (voodoo)-ceremoni? Det er en nærliggende antagelse i et land, hvor man hver dag ærer sine forfædre gennem ceremonier og bruger magi til kommunikation med ånder og guder, og i øvrigt tror at slebne stenøkser er skabt af torden og lyn. Kun de tapreste blandt tilskuerne er modige nok til at spørge arkæologerne. Den videnskabelige udredning overbeviser dog de færreste. Og forundringen bliver endnu større, når der få dage senere igen dukker et hold af målbevidste arkæologer op. Et par timers koncentreret gravning og den første jernudvindingsovn ser dagens lys: "Hvordan vidste I den var her, begravet næsten en meter under overfladen? Det må da være voodoo!"

### Stor "jernby" opdaget

Ved starten af udforskningen af Bohicon blev de studerede områder udvalgt mere eller mindre tilfældigt. Men nu er arkæologerne i gang med at kortlægge hvert eneste grønne "frimærke" – alle de endnu ubebyggede steder i den hastigt voksende by. På bare den tid projektet har varede, er antallet af indbyggere i Benin fordoblet, og ikke mindst i byerne. Derfor er man nødt til at anvende forskningsmetoder der hurtigt undersøger store områder og baner vejen for mindre men meget målrettede udgravninger. Allede de første magnetometriske kort overraskede.





Eksempel på brug af jordradar ved Kernave i Litauen (som er på UNESCO's Verdenskulturarvsliste). Radaren trækkes henover området, der skal undersøges; resultaterne af målingen kan ses direkte på skærmen på den bærbare computer.

Fotos: Inga Merkyte.



## Geofysiske metoder i arkæologien

Det ældste geofysiske instrument anses for at være kompasset, kendt siden 1100-tallet. Det peger altid mod jordens magnetiske nordpol. Men lokale magnetiske forstyrrelser kan påvirke kompasset, så dets nordpil afviger fra den forventede retning. Opdagelsen af dette forhold blev udnyttet til påvisning af forekomster af jernmalm i Sverige allerede i det syttende århundrede. Det første magnetometer, dvs. et instrument til måling af jordens magnetfelter og lokale variationer, blev også udviklet i Sverige af Tobias Thalén i 1874.

Magnetometeret er i dag det mest anvendte geofysiske instrument indenfor arkæologien. For at få en hurtig vurdering af hvorvidt et undersøgelsesområde indeholder arkæologiske levn, kan man også anvende instrumenter, der måler magnetisk susceptibilitet eller modtagelighed. Det er en effektiv teknik, der anvendes som en form for rekognoscering forud for en mere detaljeret magnetisk kortlægning.

Et andet meget almindeligt instrument, som benyttes af arkæologer, er jordradar. Jordradar anvender radiobølger (typisk med en frekvens mellem 300-1.000 MHz) til at afsløre tætheden i jorden og kan dermed spore lag og genstande. Metoden er især velegnet til at opdage konstruktionsmæssige rester som kældre, fundamenter, stenbygninger, tunneller og gravkamre. Princippet i jordradar er, at den udsender pulser af højfrekvente radiobølger og måler refleksionen af disse. Jo lavere frekvens, jo dybere trænger radiobølgen ned, mens højere frekvenser ikke trænger så dybt ned men til gengæld

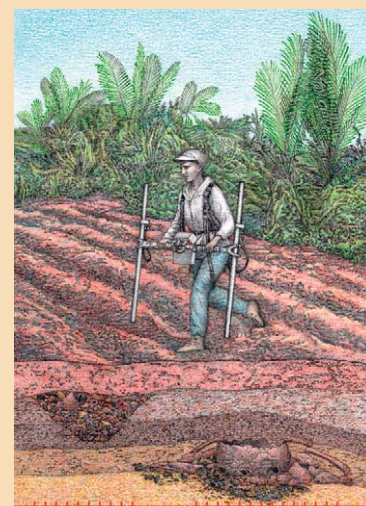
producerer et signal med høj opløsning og dermed flere informationer om jorddækkede strukturer. Jordens elektriske ledningsevne påvirker også undersøgelsesdybden.

Elektriske og elektromagnetiske metoder bygger på måling af jordens ledningsevne; resistens anvendes også. Metoderne bygger på, at man enten sætter strøm direkte til jorden eller påvirker jordoverfladen med et magnetfelt og måler responsen. Variationerne i ledningsevnen kan give et fingerpeg om jordens fysiske egenskaber, herunder menneskeskabte variationer.

Der findes yderligere en gruppe af geofysiske metoder, som har et vist potentiale indenfor arkæologien. Det gælder fx termisk prospektion, hvor man måler temperaturvariationerne (varmeabsorption og -emission) i jordens overflade. Hermed kan man identificere grøfter, gamle flodlejer, marksystemer, slaggebjerge og lignende.

Tegningen viser en arkæologisk undersøgelse med magnetometer. Når arkæologen vandrer på overfladen kan menneskeskabte strukturer – som her en affaldsgrube og en ovn – gemt i undergrunden opdages ved udsving i magnetfelterne (illustreret ved "+" på tegningen).

Tegning: Izolda Maciukaite





Opmålingsteam i færd med magnetisk kortlægning af området rundt om Kivik-graven i Skåne (ældre bronzealder), en af de vigtigste fundpladser i Sydsandinavien.



## Magnetiske målinger

Et magnetfelts styrke måles i enheden tesla, opkaldt efter den serbiske fysiker Nikola Tesla. Tesla er en temmelig stor enhed hvorfor man oftest bruger nano-tesla (nT) eller mikrotesla ( $\mu\text{T}$ ).  $1 \text{ tesla} = 1.000.000.000 \text{ nT}$ .  $1 \mu\text{T} = 1.000 \text{ nT}$ . Jordens magnetfelt er stærkest ved polerne og måler ca.  $65 \mu\text{T}$  mens det er svagest ved Ækvator hvor det måler ca.  $32 \mu\text{T}$ . I Danmark er magnetfeltet ca.  $50 \mu\text{T}$ . Til sammenligning kan en køleskabsmagnet måles til at være 5 milli-tesla eller ca. 100 gange mere end jordens magnetfelt over Danmark. Moderne magnetometre har en følsomhed fra 0,01 nT ned til

0,000001 nT ( $10^{-15}\text{T}$ ). Det er tilstrækkeligt til at opdage arkæologiske rester ned til en dybde på 2-3 m under jordoverfladen.

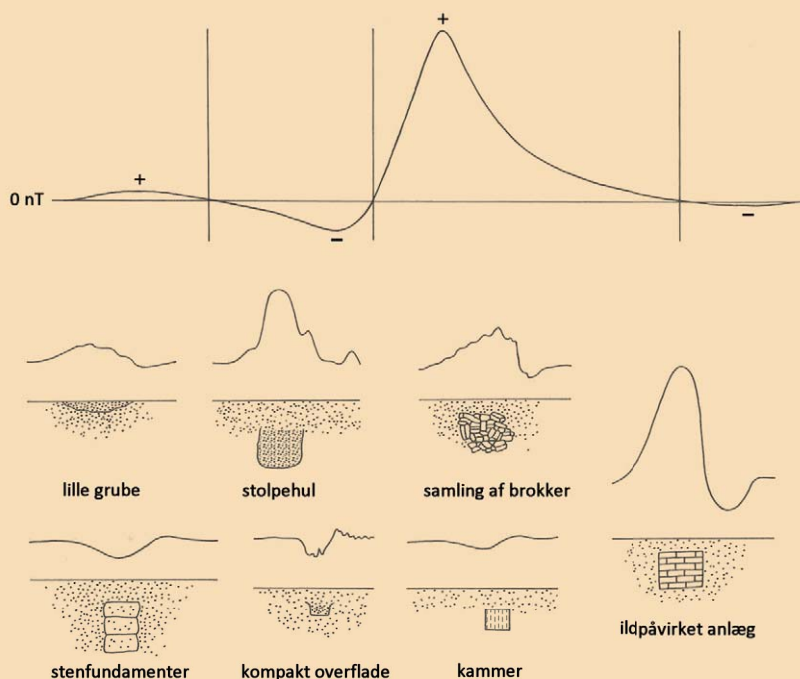
Magnetiske målinger er nemmest at overskue i form af kort så man kan vurdere anomaliers styrke, størrelse, form og de mønstre de danner. Et typisk kort vil benytte sig af en farveskala, fx grå hvor hvid farve markerer negative værdier mens sort markerer de højeste positive værdier. Med hvert kort følger også en farveskala som hjælper med at evaluere anomaliers styrke der kan være bestemt af deres type, størrelse og dybde. Når man fortolker magnetiske kort skelnes der generelt mellem tre slags geofysiske anomalier:

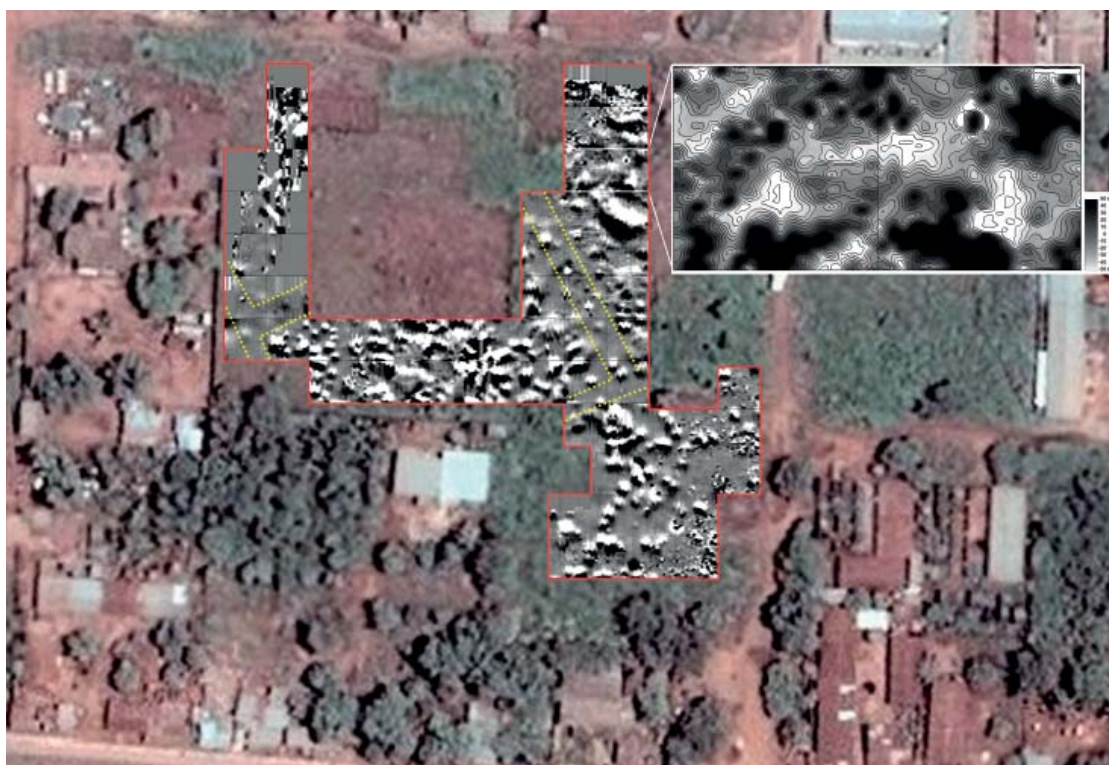
1) Positive magnetiske anomalier, dvs. områder med et meget stærkt eller positivt magnetfelt som associeres med jordfyldte strukturer som gruber, grøfter og stolpehuller.

2) Negative magnetiske anomalier, dvs. områder med afvigende lavt eller negativt magnetfelt som kan indikere vejforløb, vægfundamenter, brolægninger, hulrum og lignende.

3) Dipolære magnetiske anomalier, dvs. områder hvor der parvist er både positive og negative magnetiske udsving til stede. Det afspejler typisk jernholdige eller brændte materialer (herunder moderne hegn og nedgravede ledninger) og/eller brændte strukturer som ovne eller ildsteder.

← Eksempler på arkæologiske anlæg og de magnetiske anomalier de giver anledning til deres identifikation.





Et udsnit af Bohicon med et af områderne kortlagt med magnetometer. Et område på 20x10 m af det magnetiske kort er forstørret og viser prikformede anomalier identificeret som jernudvindingsovne, der løber rundt om en bakke bestående af jernslagget og affald fra 900-tallet e.Kr. Som baggrund anvendes et luftfoto taget i 2008. Den forhistoriske by var inddelt af gader, hvilket er markeret med gule stiplede linier.

De var fyldt med prikformede anomalier dybt under jordoverfladen, som ikke lignede nogen af de kendte arkæologiske fænomener. Udgravninger afslørede, at prikkerne repræsenterer jernudvindingsovne. Og der var hundreder af dem indenfor de undersøgte områder og givetvis mange tusinde udenfor!

I fortidens Bénin blev jern produceret i høje skorstensagtige ovne, hvor man lagvis placerede jernholdig malm og trækul. Når temperaturerne blev tilstrækkeligt høje, løb slaggen ud mens jernet blev tilbage i ovnen som en kagelignende svampet klump – Afrikas sande guld! Jernudvindingsovne i lange rækker lå sammen med mængder af jernslagget, der blev smidt i de selvsamme gruber, hvorfra man havde hentet leret til konstruktion af ovne og huse. Gruber og husrester ses som “pandekager” på de magnetiske kort. I forbindelse med udgravningerne fandt arkæologerne også mange tegn på reparationer, der tydede på, at den samme ovn var blevet brugt igen og igen.

Samlet afslørede undersøgelserne, at der her var tale om et område på mindst 550 ha (5,5 km<sup>2</sup>) – en gigantisk “jernby” samtidig med vikingetiden i Danmark. Til sammenligning var middelalderens København på ca. 60 ha.

Jernbyen havde en produktion, der minder om moderne fabrikker med op til 500 ovne i gang dag-

ligt, konstant røg, forurening, trækulsbrænding og afskovning – en menneskeskabt naturkatastrofe i næsten moderne målestok. Men helt sikkert noget, der kunne betale sig. Tilbage står kun ét spørgsmål – hvem var aftagerne til de store mængder jern, langt mere end til lokalt forbrug? Svaret er nok: de islamiske riger mod nord.

### Afrikas første jernproduktion

Magnetisk kortlægning ledte også de danske arkæologer på sporet af andre opdagelser. En prøvegravning af en af “pandekagerne” afslørede en væltet lermur til en brændt hytte som gemte palmeskaller, lerkar og en aflang klump “rust”. Røntgenfoto-grafiering af klumpen afslørede en jernlansespids lavet af en meget dygtig smed. Kulstof-14-dateringer af palmeskallerne ledte til en endnu større overraskelse: Hytten brændte ned for 3.000 år siden. Det vil sige, at Afrikas tidligste jernproduktion skabtes netop her, hvor en industriel produktion af jern fandt sted et par årtusinder senere og – som det skulle vise sig – i en storby på mindst 650 hektar og samtidig med dansk bronzealder. Afrikas største by uden for Faraonernes Ægypten!

Den næste opgave, der venter arkæologerne, er formidlingen af denne helt spritnye viden i form af en permanent udstilling på Benins fornemste museum, Paladmuseet i Abomey, en af UNESCO's Verdenskulturarvslokalteter. ■

### Videre læsning

Abrahamsen, N. 1965. Arkaomagnetisme og jernalderslagge. KUML, s. 115-132.

Bevan, B. W. 2000. An Early Geophysical Survey at Williamsburg, USA. *Archaeological Prospection* 7:1, s. 51-58.

Conyers, L. B. 2013. *Interpreting Ground-penetrating Radar for Archaeology*. Left Coast Press.

Gaffney, C., Gater, J. 2006. *Revealing the Buried Past: Geophysics for Archaeologists*, Tempus.

Greve, M. H., S. B. Torp, H. Nørgård, 2008. Fremdriftsrapport for de geofysiske undersøgelser ved Jelling. Nationalmuseet.

Møller, J.-T., Jørgensen, M.-S. & Høstmark, J. 1984, eds. *Arkæologi og geofysiske sporingmetoder*. Working Papers 14, Nationalmuseet, København.

Smekalova, T. N., Voss, O., Smekalov, S. L. 2008. *Magnetic surveying in archeology. More than 10 years of using the Overhauser GSM-19 gradiometer*. Wormianum.

Viberg, A., Trinks, I., Lidén, K. 2011. A Review of the Use of Geophysical Archaeological Prospection in Sweden. *Archaeological Prospection* 18, s. 43-65.

Hjemmeside: [www.worldarchaeology.net/geofysik](http://www.worldarchaeology.net/geofysik)  
<http://agongointo.worldarchaeology.net/>