

DANMARKS DIGITALE JORDARTSKORT

MULIGT NYT RÅSTOF I DANMARK

Muligt nyt råstof i Danmark



Christian Knudsen

Er der mulighed for at finde titanium- og zirkonium-mineraler i Danmark, og er der mulighed for, at der kan ske udvinding heraf til industrielle formål? Som det var tilfældet med vurderingen af mulighederne for at finde olie i Danmark i 1960'erne, vil de fleste danskere spontant sige nej.

For at få et bedre billede af mulighederne for fund af titanium- og zirkonium mineraler, har GEUS gennem de seneste 8 år arbejdet med at undersøge om der kan være forekomster af disse mineraler, de såkaldte tungmineraller, i den danske undergrund. I perioden fra 1993-98 har GEUS selv finansieret projektet og 6 af de faglige afdelinger har været involveret i arbejdet.

Svaret på ovennævnte spørgsmål synes nu at være: Ja! Det ser ud til at der er mulighed for at finde forekomster af råstofmæssig interesse, og vi har fået viden om, hvor det vil være mest interessant at lede. Men i samme åndedrag skal det siges, at der endnu ikke er dokumenteret en forekomst. Det vil være op til råstofindustrien, med udgangspunkt i de gennemførte undersøgelser, at vurdere om der er kommerciel interesse i at fortsætte efterforskningen.

Forhistorien

De første undersøgelser af muligheden for tungmineraludvinding begyndte i midten af 1950'erne. Målet for denne efterforskning var de danske strande, og der blev startet udvinding fra et lille anlæg ved Skagen. Tiden, teknologien og mængderne var dog ikke gunstige, så produktionen varede kun nogle få år.

I slutningen af 1980'erne opstod der fornyet interesse for tungminerallerne, og i perioden 1989 til 1993 stod firmaet Norstral Minerals for efterforskningen med assistance fra det tidligere DGU og bl.a. med støtte fra EU. Målet for efterforskningen var mulige forekomster af tungmineraller i hævende strandvolde aflejret efter istiden (dvs. igennem de sidste 10.000 år) samt i de danske grusgrave (DGU årsberetning

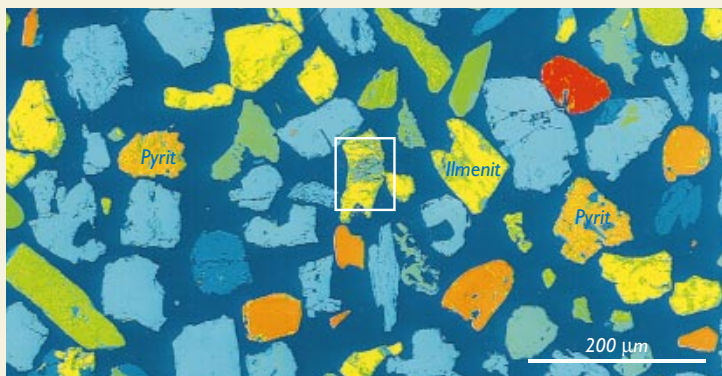
for 1990). Det viste sig dog, at disse aflejringer ikke indeholdt tungmineraller i tilstrækkelige koncentrationer og mængder, og at mineralsammensætningen ikke var økonomisk interessant. Norstral Minerals opgav derfor efterforskningen.

Hvad er tungmineraller

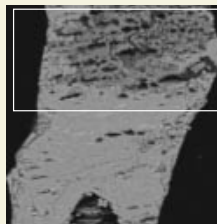
Danske sandaflejringer består hovedsageligt af mineralet kvarts. I så godt som alle sandaflejringer optræder der imidlertid varierende mængder af forskellige mørke, tunge mineraler. Disse mineraler har en højere massefylde end de mest almindelige mineraler som kvarts og feldspat (dvs. større end 2.8 g/cm³). De hyppigst forekommende tungmineraller i Danmark er

epidot, amfibol, pyroxen, granat, magnetit og svovlkis, som alle er uden råstofmæssig interesse. Sammen med disse mineraler optræder varierende mængder af titaniumholdige mineraler som ilmenit (FeTiO₃), rutil (TiO₂) og zirkonium-mineralet zirkon (ZrSiO₄). De sidstnævnte mineraler er f.eks. i Australien, Sydafrika og USA genstand for udvinding til industrielle formål.

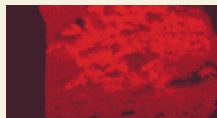
Det skal bemærkes at tungmineraller er stabile, naturligt forekommende mineraler, der blot har den egenskab, at mineralerne er tungere end f.eks. kvarts. Paradoksalt nok er det væsentligste metal i tungminerallerne - titanium - et letmetal. Tungminerallerne



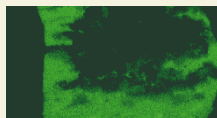
Scanning Elektron Mikroskop (SEM backscatter) billede af tungminerallerne indstøbt i epoxy (mørk blå). Farverne på billedet afspejler den gennemsnitlige atomvægt i mineralerne, ilmenitten er gul, den forvitrede ilmenit er grøn, zirkon er orange, pyrit er lys orange, monazit er rød og silikaterne blå.



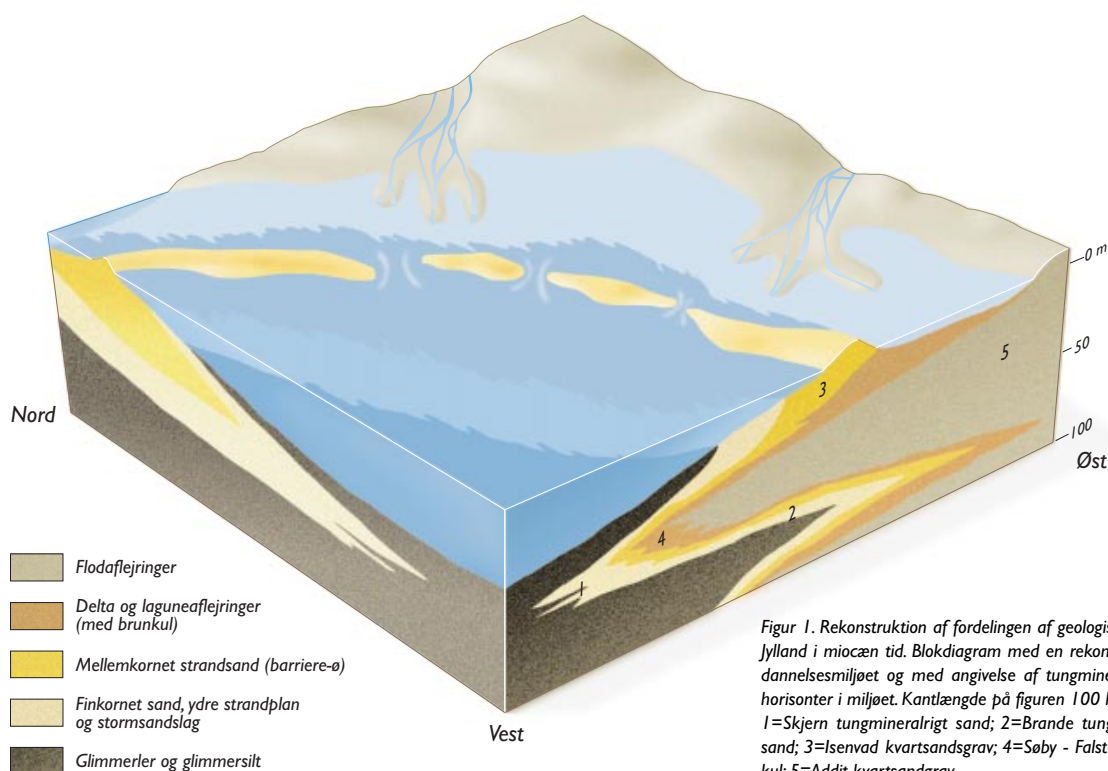
Delvist forvitret ilmenitkorn. Udsnit af ovenstående billede (i gråtoner). Den øvre mørkere grå del er stærkt forvitret og fremstår porøs på grund af tab af jern. Dette i modsætning til den svagt forvitrede nedre del.



Dette billede viser den forvitrede del af ilmenitkornet. Billedet er et grundstof-scan for titanium udført vha. SEM. Intensiteten af den røde farve stiger med titanium indholdet. Det er højest i den forvitrede del af kornet og moderat i den friske ilmenit.



Dette billede viser et tilsvarende grundstof-scan for jern. Intensiteten af den grønne farve stiger med indholdet af jern. Det ses at jernindholdet er lavt i den forvitrede del af kornet.



Figur 1. Rekonstruktion af fordelingen af geologiske miljøer i Jylland i miocæn tid. Blokdigram med en rekonstruktion af dannelsesmiljøet og med angivelse af tungmineralberigede horisonter i miljøet. Kantlængde på figuren 100 km. 1=Skjern tungmineralrigt sand; 2=Brande tungmineralrigt sand; 3=Isenvad kvartsandsgrav; 4=Søby - Falsterholt brunkul; 5=Addit kvartsandsgrav.

lerne har altså ikke noget at gøre med tungmetaller som f.eks. bly og cadmium. Tungmetaller er *grundstoffer*, der sjældent optræder i fri form i naturen.

Titanium-mineralerne anvendes primært (92%) til fremstilling af hvidt farvestof til maling. Produktionen af titan-mineraler på verdensplan var i 1995 i størrelsesordenen 10 millioner ton, med en årlig vækst på ca. 2,5%. Zirkon anvendes primært i den keramiske industri, og produktionen af zirkon på verdensplan var i 1995 ca. 1 million ton, med en årlig vækst på ca. 4%. Denne vækst forventes at fortsætte, således at der i perioden 1996-2005 skal findes nye forekomster og bygges ny produktionskapacitet for disse tungmineraler på ca. 2 millioner ton titanium-mineraler og 0,4 millioner ton zirkonium-mineraler - udover den kapacitet der nedlægges fordi ressourcerne er udtømt.

Det geologiske miljø for dannelse af tungmineralforekomster

Tungmineralforekomster dannes normalt ved at mineralerne, efter at de er frigjort fra deres kilde f.eks. granit, transporteres med floder til kysten. Jo længere mineralerne transporteres og jo varmere

klimaet er, jo mere forvitres (modner) de. Tungmineraler kan ses i de danske strande som tynde mørke lag i strandsandet; men da disse mineraler generelt er transporteret relativt kort og under kølige forhold, er mineralerne her umodne.

Traditionelt udvindes tungmineraler fra fossile strandaflejringer med højt tungmineralindhold dannet under varmere klima, end det der i dag hersker i Danmark. Der er to forvittringsprocesser, der er med til at hæve kvaliteten af tungmineralerne. Dels nedbrydning af mineraler uden økonomisk interesse som f.eks. epidot og amfibol og dels en delvis nedbrydning af det titanholdige mineral ilmenit. Denne nedbrydning sker i det naturlige miljø, når det er varmt og svagt surt.

Nedbrydningen af ilmenit sker ved en delvis opløsning af mineralet og genudfældning af titanoxid (TiO_2) i sprækker, hulrum og ved overfladen af mineralerne (se boks side 2). Den nydannede del af ilmeniten kaldes leucoxen, og hvor ilmenitten er totalt omdannet, kaldes det nye mineral også leucoxen, selvom det består af meget finkornede sammenvoksninger af mineralerne rutil eller brookit (begge TiO_2).

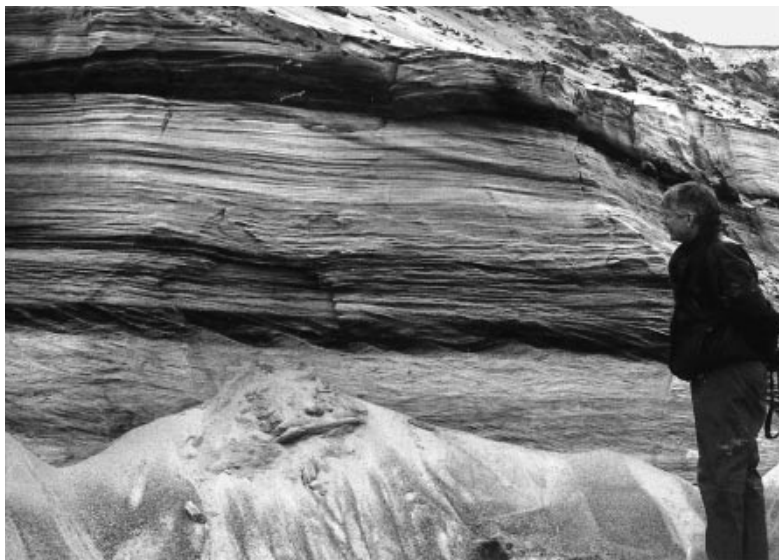
Den endelige tungmineralsammensætning

består således af særdeles bestandige komponenter i sandet efter omlejring og kemisk og fysisk forvitring.

Nye ideer - nye muligheder

Siden 1993 har GEUS efterforsket tungmineraler i de ca. 20 millioner år gamle sandaflejringer fra miocæn tid i Syd-, Midt- og Vestjylland. Indledende undersøgelser i dette geologiske miljø viste nemlig, dels at andelen af råstofmæssigt interessante tungmineraler er højere her, og dels at sammensætningen af disse mineraler er bedre (større indhold af titan) sammenlignet med de relativt unge aflejringer, der tidligere var genstand for efterforskning. Den bedre sammensætning skyldes, dels at mineralerne i miocæn tid er transporteret langt af floderne og dels at der dengang var varmere, og indholdet af uønskede komponenter dermed er blevet mindre som følge af sortering og slid under transporten og forvitring.

De miocæne sandaflejringer dækker ca. en tredjedel af det samlede danske landområde. For at indkredse det mest lovende efterforskningsområde opstilledes en geologisk model for dannelsen af mulige forekomster og hensigtsmæssige efterforskningsmetoder blev udvalgt.



Figur 2. Billede fra sandgraven ved Isenvad.

For at lokalisere eventuelle fossile strandaflejringer har undersøgelserne derfor taget udgangspunkt i at fastslå, hvorledes de geologiske miljøer har været fordelt op igennem miocæn tid.

Der var i miocæn tid et stort flodsystem, der førte sand fra det baltiske område og det Skandinaviske Skjold ud i Nordsøen. Disse floder har mødt havet i Jylland, med en nord-sydligt forløbende kystlinie, der flere gange har bevæget sig frem og tilbage mod vest og mod øst. Floderne har dannet store deltaer, hvor bl.a. brunkulslagene, der har været gravet i Midtjylland, blev dannet (figur 1). Foran disse deltaer har der været øer ("barriereøer" svarende til Rømø, Fanø og Sild). Strandene på sådanne fossile øer var det første mål for efterforskningen, da dette geologiske miljø ligner størsteparten af de forekomster, der udnyttes i udlandet.

Det har vist sig muligt at identificere aflejringer fra barriereøer i området omkring Brande, bl.a. i en sandgrav ved Isenvad (figur 2). Der er som led i tungminerafterforskningen gennemført 8 borer i området syd for Brande. Det har her vist sig, at der findes to tungmineralberigede horisonter, der dog begge sandsynligvis er for-

tynde til at være af økonomisk interesse (se boks herunder).

Snegleskaller og målinger i vandforsyningsboringer

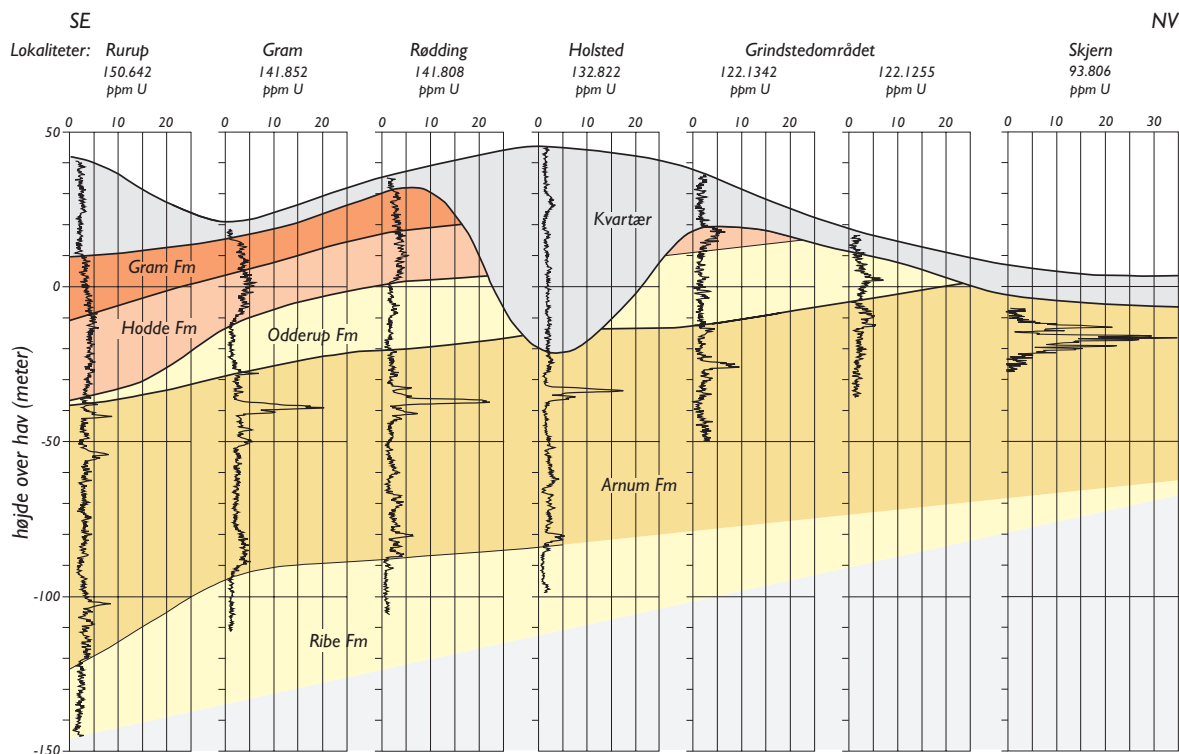
Et tredje dannelsesmiljø for tungmineralberigede aflejringer blev fundet som resul-

De to tungmineralberigede horisonter syd for Brande

- En øvre horisont bestående af mellemkornet sand aflejret på strande knyttet til barriereøer. Disse tungmineralberigede sandaflejringer er ca. 2 m tykke, men er endnu ikke fundet i større sammenhængende områder.
- En nedre horisont bestående af finkornet glimmersand er ca. 3 m tyk og kan følges sammenhængende, dels i det område hvor der er boret, men også regionalt (lille top øverst i Arnum Formationen på figur 4). Horisonten ligger oven på finkornede havaflejringer af glimmersilt og glimmerler, og det finkornede tungmineralberigede glimmersand er sandsynligvis aflejret på lidt dybere vand i havet ud fra kysten.

tat af såkaldt spectral-gamma logging i vandforsyningsboringer i Sønderjylland. I en boring ved Gram, ca. 60 meter under jordoverfladen sås høje udslag af de radioaktive grundstoffer uran (U) og thorium (Th). Undersøgelse af denne horisont viste, at jordlaget består af finkornet sand, naturligt beriget med tungmineraler og med et indhold af snegleskaller. Horisonten kan følges i et strøg fra Gram i Sønderjylland mod nord op til Skjern. Dette har kunnet lade sig gøre ved at gennemføre spektral-gamma logging af vandforsyningsboringer og ved undersøgelse af boreprøver med et stort indhold af miocæne snegleskaller. Jordlagene med tungmineralhorisonten kommer nærmere overfladen mod nord (figur 3 og 4) og ligger næsten lige under istidslagene ved Skjern. Det vides dog ikke, om disse aflejringer danner et sammenhængende lag, og hvilken udstrækning aflejringerne har til siderne. Som vist på figur 4 slår "tungmineralstrøget" en blød bue mod nordvest. Dette blev ikke konstateret ved loggingen, og det var kun undersøgelsen af boreprøverne med snegleskaller, der førte frem til at "strøget" næsten "går i dagen" ved Skjern.

Sammenstillingen af resultaterne fra den gammaspektrale logging (figur 4) viser ikke blot fordelingen af de tungmineralberigede aflejringer, den giver også mulighed for at gennemføre en overordnet tolkning af fordelingen af de geologiske enheder i området. Den nedre miocæne "Ribe Formation", der består af kvartssand og er et vigtigt vandreservoir i det sydlige Jylland, er f.eks. karakteriseret ved et lavt indhold af uran. Overgangen til den overliggende "Arnum Formation" er markeret ved en stigning af indholdet af uran. Dette skyldes forøget indhold dels af tungmineraler, og dels af ler, der også har et højere indhold af uran end kvartssand. Det ses, at det tungmineralberigede lag optræder som en markant top ca. 15 m under overkanten af Arnum Formationen. Den øverste del af Arnum Formationen er karakteriseret ved et let øget uran-indhold, som kan skyldes dels forekomsten af lerrige aflejringer og dels den regionalt udbredte tungmineralberigelse, som blev fundet i borer ved Brande. Et andet uran-maksimum, der ses i



Figur 3. Profil fra Sønderjylland til Vestjylland (se kort fig. 4). Profilet viser uranindholdet målt i ppm (parts per million) i en række borer. Beliggenheden af de forskellige geologiske enheder er indtegnet.

Odderup Formationen i Grindsted området, kan muligvis tilskrives tungmineralberigelse i et barriere-ø miljø svarende til den øvre horisont, der er fundet ved Brande. Endelig kan de lerrige Hodde og Gram Formationer genkendes på forhøjede uranindhold, højest i Hodde Formationen.

Ved at undersøge sammenhængen mellem indholdet af tungminerale og indholdet af uran og thorium har det vist sig, at uran fortrinsvis optræder i zirkon, medens thorium fortrinsvis findes i mineralerne monasit og xenotim ((La, Ce, Y, Th)PO₄). Monasit og xenotim optræder i små koncentrationer i sandet (ca. 1% af tungminerale), men på grund af deres meget specielle sammensætning, kan de spores ved hjælp af udstyr, der er følsomt for radioaktivitet.

Undersøgelserne har også vist, at der er markante forskelle i fordelingen af disse mineraler. Dette forhold kan bruges til at spore, hvorfra mineralerne kommer; således stammer sandet ved Skjern, med et højere uran- og dermed zirkon-indhold, sandsynligvis fortrinsvis fra det norske og svenske grundfjeldsområde.

Fund ved Skjern

På grundlag af undersøgelsesresultaterne fra vandforsyningsboringerne blev det

Tungminerale ved Skjern

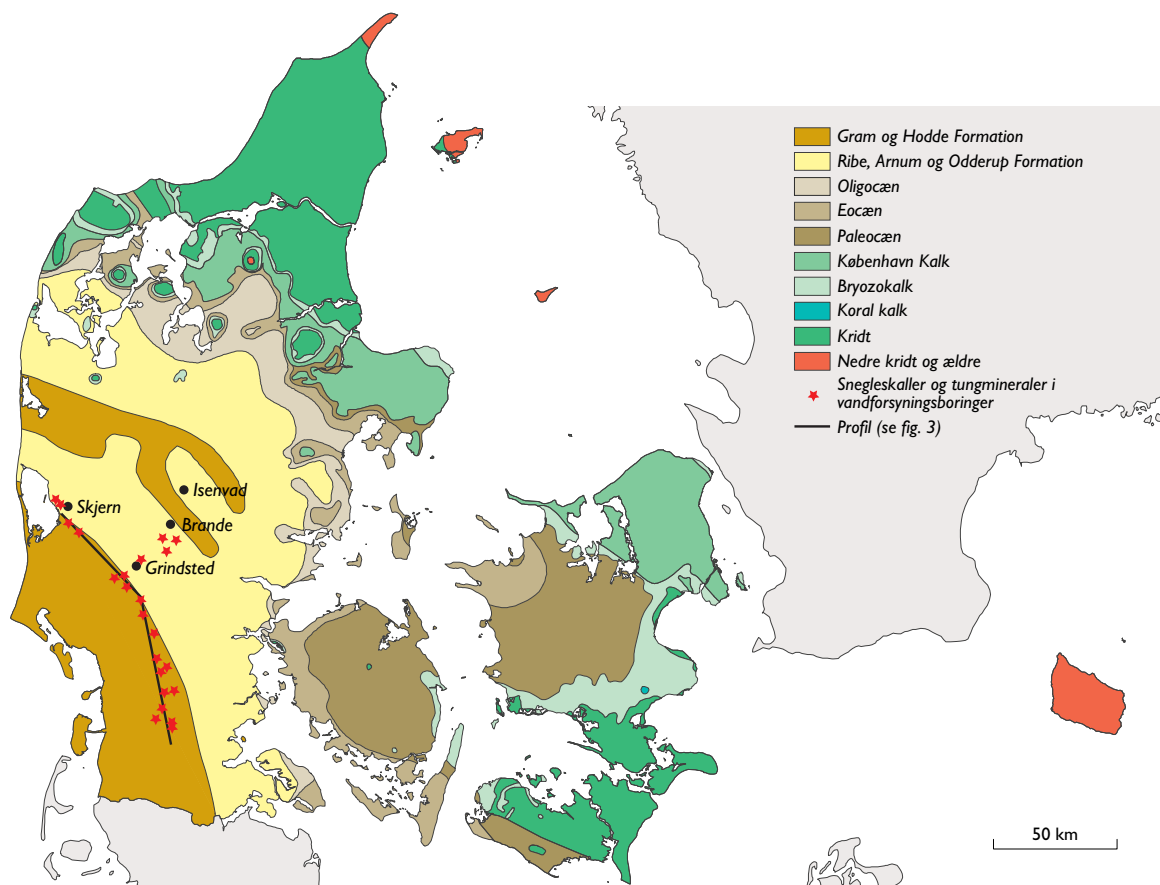
Mineralkemiske undersøgelser har vist at titanoxid indholdet i ilmeniten er ca. 54%. Sammenlignes disse resultater med forekomster, hvorfra der produceres i udlandet, kan man sige følgende om fundet fra Skjern. Indholdet af ilmenit, rutil og zirkon ligger nogenlunde på samme niveau, men fundet afviger på en række punkter fra kendte forekomster:

- Indholdet af værdiløse tungminerale er højt (ca. 55% mod normalt ca. 25% af alle tungminerale)
- Kornstørrelsen af tungminerale er lille (ca. 0.07 mm). Dette kan betyde, at det vil være vanskeligt at adskille de forskellige tungminerale.
- Forekomsten ligger tæt på de europæiske markeder.
- Der er større mængder overjord, som skal flyttes før gravning.

besluttet at udføre en række efterforskningsboringer ved Skjern. Disse borer bekræftede, at der forekommer tungminerale i forhøjede koncentrationer. Der er i området udført 7 op til 30 m dybe borer indenfor et ca. 20 km² stort område. I to af borerne konstateredes et ca. 10 m tykt lag med tungmineralindhold på ca. 10%. Overkanten af laget med tungminerale ligger i en dybde af ca. 15 m under terræn (figur 3).

Tæt ved den mest lovende af de 7 efterforskningsboringer udførtes en 8. boring for at skaffe sikkerhed for resultaterne. Fra sidstnævnte boring blev der optaget borekerner således at det for første gang var muligt at se de geologiske lag som tungminerale befinder sig i. Det viste sig at tungminerale findes i en serie af ca. 30 cm tykke sandlag, hvor sandlagene bliver gradvist finere oppefter.

Dette tolkes derhen, at tungminerale (og snegleskaller) under kraftige storme er transporteret fra stranden et godt stykke ud fra kysten og aflejret på forholdsvis dybt vand (ca. 20 m). Dette er et relativt sjældent miljø for dannelse af forekomster med tungminerale, og der kendes i forve-



Figur 4. Geologisk kort, der viser beliggenheden af de geologiske formationer direkte under istidslagene. På kortet er steder hvor der er fund af tungmineral berigede horisonter vist.

jens kun én større forekomst fra dette miljø. Den går under betegnelsen WIM 150 og ligger i Sydastralien. Denne forekomst er sandsynligvis en af verdens største, men den er ikke i produktion fortrinsvis fordi kornstørrelsen (ca. 0.046 mm) af tungminerallerne er for lille til, at de forskellige tungmineraller kan adskilles med en eksisterende teknologi.

Der blev derefter arbejdet med sandaflejringerne ved Skjern for at finde ud af, hvilke mineraller der findes og deres sammensætning. Det har vist sig, at indholdet af ilmenit er på ca. 3%, rutil på ca. 0.5% og zirkon på ca. 0.5% (alle vægt%), således at de råstofmæssigt interessante mineraller udgør ca. 4% af sandlaget (se boks side 5).

Hvorfor lede efter mineraller i Danmark

Man kan spørge, hvorfor man skal beskæftige sig med at lede efter og evt. udvinde mi-

neraller i Danmark. Det vil altid være forbundet med en vis ulempe at grave råstoffer op, og når råstofferne er udvundet, og f.eks. forvandet til hvid maling, er de væk - altså i sin natur ikke noget der øger vores "økologiske råderum".

Dette er imidlertid også tilfældet, hvis vi vælger at købe de mineralske råstoffer i udlandet. I begge tilfælde kommer råstofferne fra undergrunden, og hvis ikke fra den danske undergrund så fra undergrunden i et andet land, og det bliver næppe mere bæredygtigt, fordi det er udvundet et andet sted og sejlet den halve jord rundt.

For en geologisk undersøgelse som GEUS er det derfor en central opgave at kortlægge de naturressourcer, som findes i landet, og den ovenfor beskrevne efterforskning skal ses i dette lys. GEUS rådgiver derudover om, hvordan en evt. indvinding kan ske på en så rationel og miljømæssigt forsvarlig måde som muligt.

Det videre arbejde

GEUS har nu bragt sine undersøgelser frem til en foreløbig afslutning. Det vil herefter være op til industriens vurdering, om de fremlagte resultater er så interessante, at man vil gå videre med undersøgelser af området med den mulige forekomst. Og det er grundejernes, myndighedernes og politikernes vurdering om de ønsker videre undersøgelser. Sådanne undersøgelser vil omfatte yderligere borer, for at fastslå forekomstens udstrækning, lødighed og tykkelse. Hvis disse falder gunstigt ud, må man gå videre med studier af, om det lader sig gøre at adskille tungminerallerne fra lette mineraller og adskille de værdifulde tungmineraller fra de øvrige, om tungminerallerne har de kemiske og fysiske egenskaber, der gør at der et marked for dem, samt endelig om forekomsten kan indvindes økonomisk og ikke mindst miljømæssigt forsvarligt.



Danmarks digitale Jordartskort 1:25.000



Bjørn Hermansen

Opgaven med at digitalisere de geologiske jordartskort 1:25.000 er det hidtil mest omfattende projekt på GEUS, hvor gamle traditionelle kort overføres til digital form. Projektet kunne være klaret med en simpel digitalisering af de foreliggende kort, men for at få et tilfredsstillende resultat blev kortene undervejs kvalitetssikret, harmoniseret og visse steder omtolket. Desuden blev det besluttet at den udgivne cd-rom udover selve kortværket – benævnt *Danmarks digitale Jordartskort* – skulle indeholde en geologisk beskrivelse af den anvendte klassifikation samt baggrundsoplysninger om kortværkets indhold og tilblivelse.

Grundlaget for Danmarks digitale Jordartskort er de oprindelige feltkarteringskort (se fig. 1), som repræsenterer en væsentlig del af det tidligere DGUs arbejdsindsats siden oprettelsen i 1888.

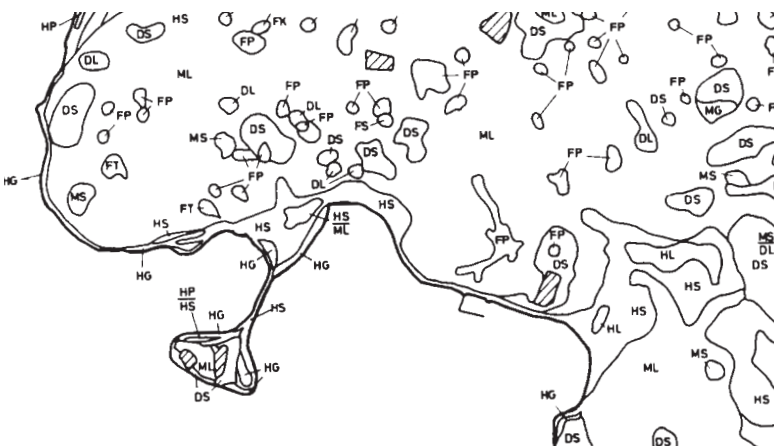
Selve feltkortene er kortblade med topografisk baggrund – oftest skåret i 9 eller 16 dele for at være mere håndterlige – med håndkolorerede geologiske symboler på. Disse kort er over en lang periode blevet rentegnet på kortblade 1:25.000 og overført til transparentfolie under navnet de "Foreløbige Geologiske Jordartskort" (se fig. 2).

Da behovet sidst i 1980'erne meldte sig for at få jordartskortene på digital form, viste det sig, at de Foreløbige Geologiske Jordartskort var velegnede til digitalisering. Arealdatakontoret (ADK) under Landbrugsministeriet og DGU besluttede at løse opgaven i fællesskab. Fra 1988 til 1994 tog ADK sig af digitaliseringen, mens DGU sørgede for den geologiske redigering. Derefter fik DGU og senere GEUS overdraget den samlede opgave, som siden da er løst ved hjælp af indskanning af jordartskortene med efterfølgende vektorisering og redigering (se side 9). På denne måde er der opbygget et stort antal polygoner, dvs. afgrænsede områder med samme jordartstype.

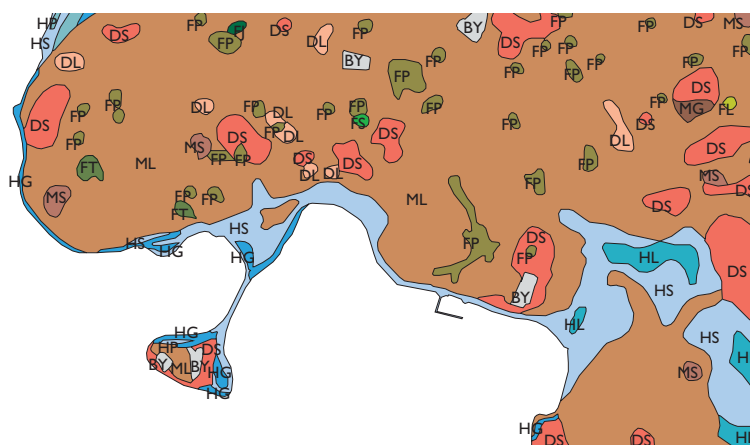
Jordartskortene for de hidtil karterede områder findes nu på digital form. Dette



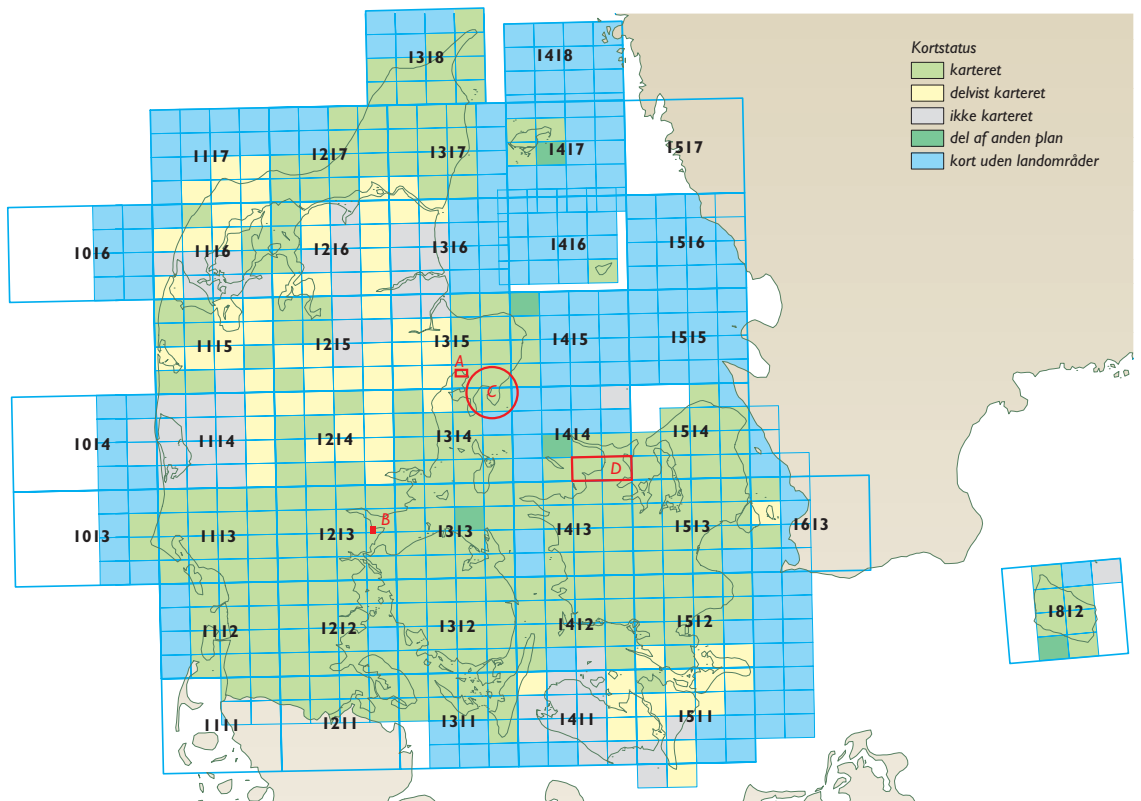
Figur 1. Eksempel på originalt arbejdskort, der har været anvendt under feltarbejdet og hvor de geologiske observationer er indført med hånden. Se område A, fig. 4 for lokalitet.



Figur 2. Rentegnet "Foreløbigt Geologisk Jordartskort" udarbejdet på grundlag af de originale håndtegnede feltkarteringskort. Se område A, fig. 4 for lokalitet.



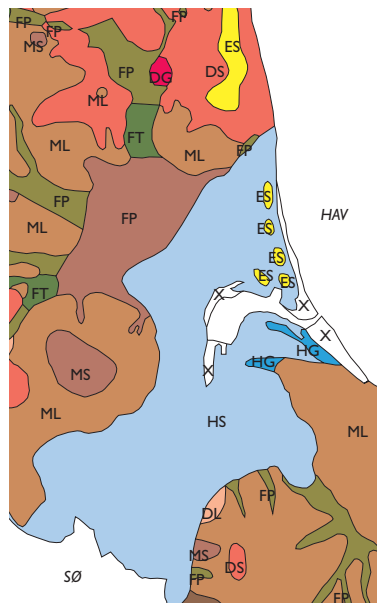
Figur 3. Resulterende digitalt kort med jordartssymboler og farver udarbejdet på grundlag af de foreløbige jordartskort. Se område A, fig. 4 for lokalitet.



Figur 4. De helt eller delvis karterede kortblade i Danmark. Henvisninger til andre figurer: A, figur 1, 2 og 3; B, figur 5; C, figur 7; D, figur 8.

betyder, at GEUS er i stand til at præsentere et kortgrundlag, som er så tæt på originalkortlægningen som muligt. De digitale kort indeholder oplysninger om jordarternes type og udbredelse i ca. 1 meters dybde. Med dette kortværk samt tilhørende beskrivelser er der tillige skabt en geologisk informationspakke, som lever op til kravene om tilgængelighed via de digitale medier (dvs. velegnet til GIS, tekst- og billedbehandling samt distribution over edb-netværk m.m.) og giver mulighed for at integrere de geologiske jordartsdata med øvrige digitale informationer om f.eks. boreriger eller arealanvendelse.

Som det fremgår af oversigtskortet (fig. 4), er Danmarks digitale Jordartskort sammensat af et stort antal kortblade. I den aktuelle version er der 360 kortblade svarende til godt 80% af Danmarks landareal. En del af disse er dog kun delvist karteret. Når Danmark er færdigkarteret, vil det komplette digitale kortværk bestå af 411 kort.



Figur 5. Jordartskort fra Rands Fjord. Områder mærket X er fremkommet efter karteringstidspunktet. Se område B på fig. 4 for lokalitet.

Topografisk baggrund

På de Foreløbige Geologiske Jordartskort forekommer en del topografiske informationer. Kystlinier, søer og afgrænsning mod byområder fra disse kort er medtaget i digitaliseringen, da disse linier oftest indgår i jordartspolygonerne. Søer, som siden er blevet udtørret eller genopfyldt med vand, vil fremstå med de bredder, der gjaldt på karteringstidspunktet. Kystlinierne er til gengæld oftest udskiftet med en digital kystlinie leveret fra Kort- & Matrikelstyrelsen (KMS) i slutningen af 1980'erne. Når dette er gjort, er det for at undgå brud i kystlinien ved kortbladsgrænserne (f.eks. områder, hvor to nabokort er karteret med mange års mellemrum).

Anvendelse af en nyere kystlinie medfører til gengæld, at der kan forekomme ukarterede områder, hvor der er dannet nyt land ved aflejring (se fig. 5) eller inddæmning siden karteringen. Omvendt fjernes områder, der er borte-roderet af havet siden karteringen fandt sted.

Fremstillingsmetode

De digitale jordartskort er fremstillet - ud fra transparent kopier af de reteg-nede Foreløbige Geologiske Jordarts-kort - ved to forskellige metoder som illustreret. Den ene omfatter manuel dataopsamling med en mus med "sigte-korn" på et digitaliseringsbord og efterfølgende tilføjelse af meningsmæssig sammenhæng (topologi). Den anden metode er stort set fuldautomatisk. Kortene skannes ind og omdannes til linier (vektorer), som herefter forsøges samlet til passende polygoner af et GIS-program.

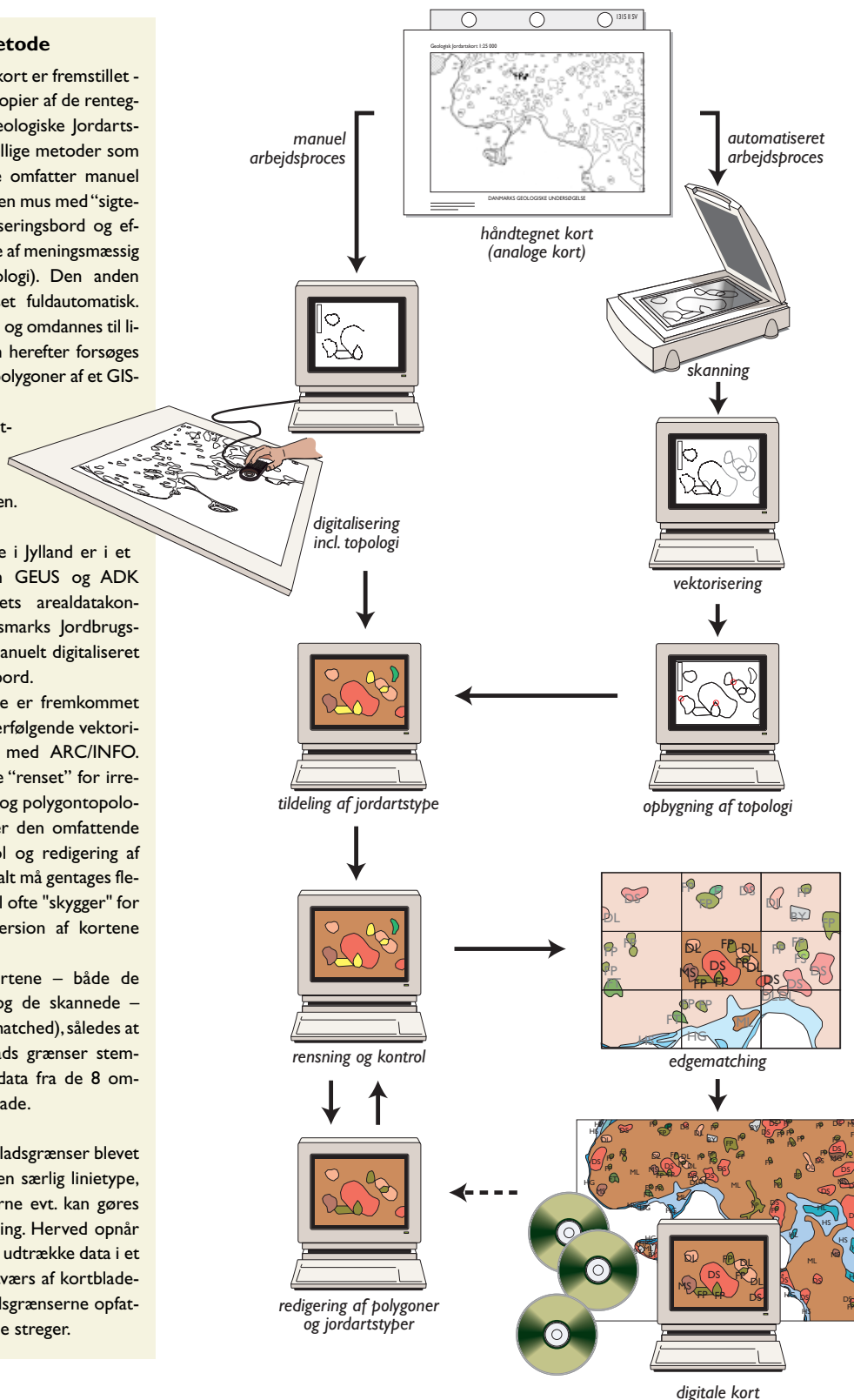
I begge tilfælde fort-sættes med til-føjelse af informa-tion om jordartstypen.

Cirka 150 kortblade i Jylland er i et samarbejde mellem GEUS og ADK (Landbrugsministeriets arealdatakon-tor, nu under Danmarks Jordbrugs-Forskning) blevet manuelt digitaliseret på et digitaliseringsbord.

De øvrige kortblade er fremkommet ved skanning og efterfølgende vektorisering af kortene med ARC/INFO. Derefter er kortene "renset" for irre-levante liniestykker og polygontopolo-gi er opbygget. Efter den omfattende proces med kontrol og redigering af kortene (som normalt må gentages fle-re gange, da visse fejl ofte "skygger" for andre) er første version af kortene klar.

Sidenhen bliver kortene - både de hånddigitaliserede og de skannede - kanttilpasset (edgematched), således at data ved et kortblads grænser stemmer overens med data fra de 8 om-kringliggende kortblade.

Endelig er alle kortbladsgrænser blevet udskiftet og tildelt en særlig linietype, så kortbladsgrænserne evt. kan gøres usynlige ved udtegning. Herved opnår man mulighed for at udtrække data i et ønsket område på tværs af kortblade-ne, uden at kortbladsgrænserne opfat-tes som forstyrrende streger.



Postglaciale aflejringer

- ES - Flyvesand
- FG - Ferskvandsgrus
- FS - Ferskvandssand
- FI - Ferskvandssilt
- FL - Ferskvandsler
- FP - Ferskvandsgytje
- FT - Ferskvandstørv
- FV - Vekslede tynde ferskvandslag
- FK - Kilde-, mose- og søkalk
- Fj - Okker og myremalm
- HG - Saltvandsgrus
- HS - Saltvandssand
- HI - Saltvandssilt
- HL - Saltvandsler
- HP - Saltvandsgytje
- HT - Saltvandstørv
- HV - Vekslede tynde saltvandslag, Marsk

Senglaciale aflejringer

- TG - Ferskvandsgrus
- TS - Ferskvandssand
- TI - Ferskvandssilt
- TL - Ferskvandsler
- YG - Saltvandsgrus
- YS - Saltvandssand
- YL - Saltvandsler
- YP - Saltvandsgytje

Glaciale aflejringer

- ZG - Issøgrus
- ZS - Issøsand
- ZL - Issøler
- DG - Smeltevandsgrus
- DS - Smeltevandssand
- DI - Smeltevandssilt
- DL - Smeltevandsler
- MG - Morænegrus
- MS - Morænesand
- MI - Morænesilt
- ML - Moræneler
- MV - Vekslede tynde morænelerslag
- KMG - Kalkmorænegrus
- KMS - Kalkmorænesand
- KML - Kalkmoræneler

Interglaciale aflejringer

- IT - Ferskvandstørv
- QG - Saltvandsgrus
- QS - Saltvandssand
- QL - Saltvandsler

Figur 6. Signaturforklaring for de kvartære jordarter.

Signaturer

Jordarterne er opdelt i grupper, hvor der overordnet skelnes mellem kvartære og prækvartære aflejringer. De kvartære aflejringer er inddelt i glaciale, interglaciale,

senglaciale og postglaciale aflejringer. Disse er endvidere underopdelt efter aflejningsmiljøer. De prækvartære aflejringer er i princippet inddelt efter aflejringernes alder, men i denne version af kortværket er en del blot angivet som udifferentieret prækvartære lag. Jordartsklassifikationen angives med bogstavssymboler og farver (signaturer).

Bogstavssymbolerne er en mnemoteknisk kode, der er sammensat af to bogstaver, som angiver aflejringstype, geologisk alder og lithologi f.eks. ML (MoræneLer) eller FT (FerskvandsTørv). Farverne er primært opdelt efter hovedinddelingen af de kvartære aflejringer (glaciale, interglaciale...).

De enkelte aflejringstyper er søgt markeret med farvenuancer indenfor hovedgruppens hovedfarve (se fig. 6). I alt er der anvendt 44 forskellige koder til beskrivelse af de kvartære jordartspolygoner og 16 koder til angivelse af prækvartære aflejringer.

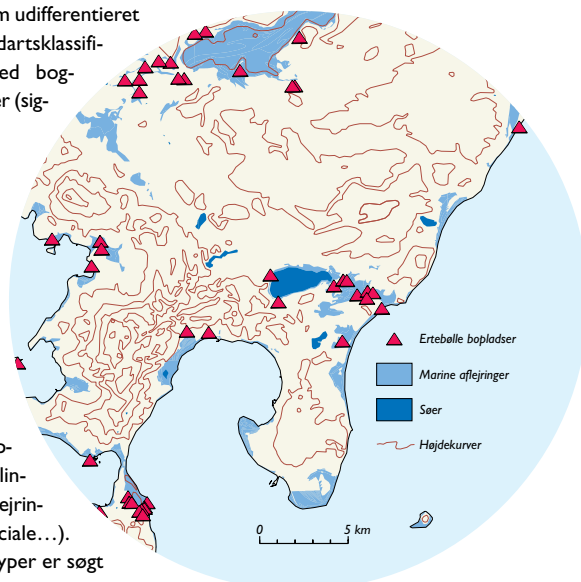
Målestoksforhold

Grundlaget for Danmarks digitale Jordartskort er overvejende kort i målestoksforholdet 1:25.000. Kortbladene I II I, II, III og IV samt I II I III foreligger dog i målestoksforholdet 1:50.000. Karteringen af jordarterne er gennem tiden foregået på topografiske kort med forskellige målestoksforhold (fra 1:20.000 – 1:50.000). Indtil 1978 blev målebordsblade i 1:20.000 anvendt som feltkort; de er efterfølgende nedfotograferet til 1:25.000 (4cm kort), som siden da har været brugt som feltkort, og vi anser det for at være den målestok, som kortværket egner sig bedst til udtegning i.

Intet er fejlfrit

Det udgivne kortværk indeholder i alt 175.000 polygoner med ca. 4 1/2 million koordinater. Så omfattende menneskeskabte datamængder kan ikke være tilvejebragt uden at der forekommer fejl.

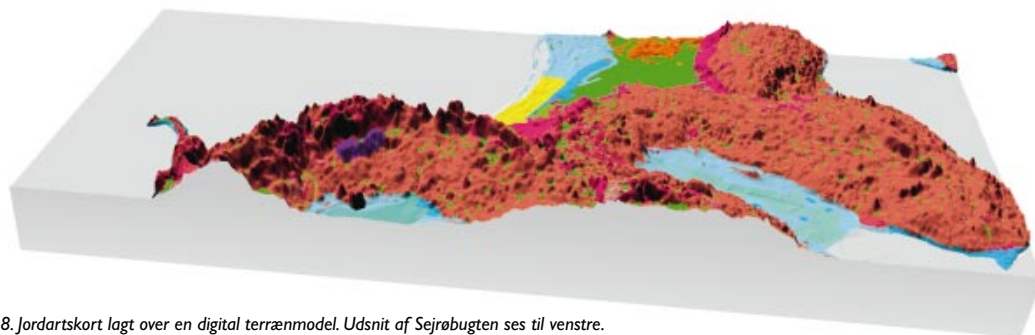
Det forhold at nogle kort er hånddigitaliseret, mens andre er skannet og vektoriseret, medfører forskellige fejlmuligheder: Skanning og vektorisering kan – afhængigt



Figur 7. Ertebøllefolkets tilbøjelighed til at lægge deres bopladser nær den daværende kystlinje kan dokumenteres ved at udtegne bopladsernes placering på et jordartskort, hvor kun marine aflejringer er medtaget. Se område C, fig. 4 for lokalitet.

af kortmaterialets beskaffenhed – medføre sammensmeltning af linier og dannelsen af kanter, som ikke findes på originalmaterialet. Disse fejl er i videst muligt omfang søgt rettet. Hånddigitalisering medfører ikke sådanne fejl, men man risikerer til gengæld at hele polygoner kan være glemt - trods kvalitetssikring.

Det kortmateriale, der udgør digitaliseringsgrundlaget for de digitale jordartskort, er udarbejdet fra 1888 til nu og fremstår derfor uensartet. F.eks. blev der kun anvendt 10 karteringssymboler i de første år af karteringen, hvor man i dag anvender hele 44. Oplysninger om karteringstidspunktet må derfor anses for væsentlige og af samme grund fremgår de af metadatabasen, som findes på den udgivne cd-rom.



Figur 8. Jordartskort lagt over en digital terrænmodel. Udsnit af Sejrøbugten ses til venstre. Se område D, fig. 4 for lokalitet.

GIS-formatet

Danmarks digitale Jordartskort er skabt ved hjælp af ARC/INFO, men de mest udbredte GIS'er i dag er de PC-baserede GIS ArcView og MapInfo. I den officielle cd-rom version er kortene derfor konverteret til ArcViews shape-format, som desuden kan læses af MapInfo; version 4.5 eller nyere. Shape-filerne er inddelt efter KMS' kortbladsinddeling for 4cm kort.

Anvendelse af jordartskortene

Jordartskortlægningen tager udgangspunkt i en generel videnskabelig geologisk kortlægning af landet uden en specifik anvendelse for øje. De traditionelle kort – og i de seneste år digitale delkort – har dog været anvendt og efterspurgt til mange forskellige formål udover rene geologiske forskningsopgaver. Kortene har bl.a. været anvendt af arkæologer (se fig. 7), ved entreprenøropgaver, råstofeftersøgning og ikke mindst i forbindelse med vurdering af jordarternes dyrkningsværdi (bonitetskortlægning). Men også ved nyere opgaver, f.eks. udpegning af beskyttelsesområder for grundvandsforekomster, vil kortene blive brugt som led i sådanne områders afgrænsning.

Til de fleste anvendelser må jordartskortene kombineres med andre digitale kort-temaer eller evt. en digital terrænmodel for at få det ønskede udbytte (se fig. 8). Ved at kombinere jordarter med et skovtema kan man f.eks. finde ud af, hvor mange procent af skovområderne der findes på de enkelte jordartstyper. Kombinationen med vandløbsoplande giver mulighed for at beregne hvor mange hektar moræneler henholdsvis smeltevands-

sand, der f.eks. er for Tudeås opland i Vestsjælland. Anvendes i stedet selve vandløbs-temaet, kan der til en hver strækning tilknyttes oplysning om den jordart vand-

løbet passerer. Dette kan bl.a. være fordelagtigt i forbindelse med hydrologiske modeller, hvor både grundvand og overfladevand inddrages.

Noget om jordartstyper



Moræneler (ML)

Den hyppigst forekommende jordart i Danmark er moræneler, som udgør over 38% af de karterede områder. Moræneaflejringer er aflejret i tilknytning til isen og består af meget usorterede sedimenter. Moræneaflejringer kaldes moræneler, morænesand eller morænegrus alt efter den dominerende kornstørrelsesfraktion i aflejringer. Moræneaflejringer kan være aflejret under isen, eller være aflejret i forbindelse med bortsmeltning af isen eller de kan være smeltet ud og gledet ned af isen.



Smeltevandssand (DS)

16-17% af de karterede arealer består af smeltevandssand, som dermed er den næsthypigst forekommende jordart. Smeltevandssandaflejringer er ofte velsorterede og er transporteret og aflejret af smeltevand fra gletschere, men er i modsætning til senglaciale sandlag, efterfølgende igen blevet overskredet af gletschere. Smeltevandssand indeholder ofte grus.



Ferskvandstørv (FT)

Denne jordart udgør 7-8% af de karterede arealer. Ferskvandstørv er dannet ved akkumulation af plantemateriale i søer, ved vandløb eller i højmoser i tiden efter istiden. Ferskvandstørv består overvejende af organisk materiale.



DANMARKS DIGITALE JORDARTSKORT 1:25.000 PÅ CD-ROM

Inde i bladet kan man læse om tilblivelsen af "Danmarks digitale Jordartskort 1:25.000".

Kortværket er nu tilgængeligt i en cd-rom udgave. Man kan erhverve hele kortværket eller dele deraf efter behov.

Kortværket henvender sig til planlæggere og entreprenører, men forventes også at have interesse til videnskabeligt brug og for undervisere og studerende.

Ved henvendelse til GEUS kan man efter nærmere aftale bestille et større eller mindre antal kortblade eller specielle udsnit til brug for særlige formål.

Det er også muligt at bestille printede udgaver, hvis man ikke selv råder over faciliteter til udskrivning af kortene.

Henvendelse til GEUS kan ske til: Bjørn Hermansen, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), Thoravej 8, 2400 København NV, eller E-mail: bjh@geus.dk

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet.

Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark, Grønland og Færøerne.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår. Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer

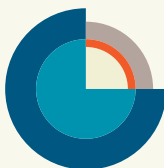
GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS
Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8, 2400 København NV.
Tlf.: 38 14 20 00
Fax.: 38 14 20 50
E-post: geus@geus.dk
Hjemmeside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion:

Carsten Thuesen, GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Peter Moors

Illustrationer: Carsten Thuesen

Foto: Anne Vibeke Leth