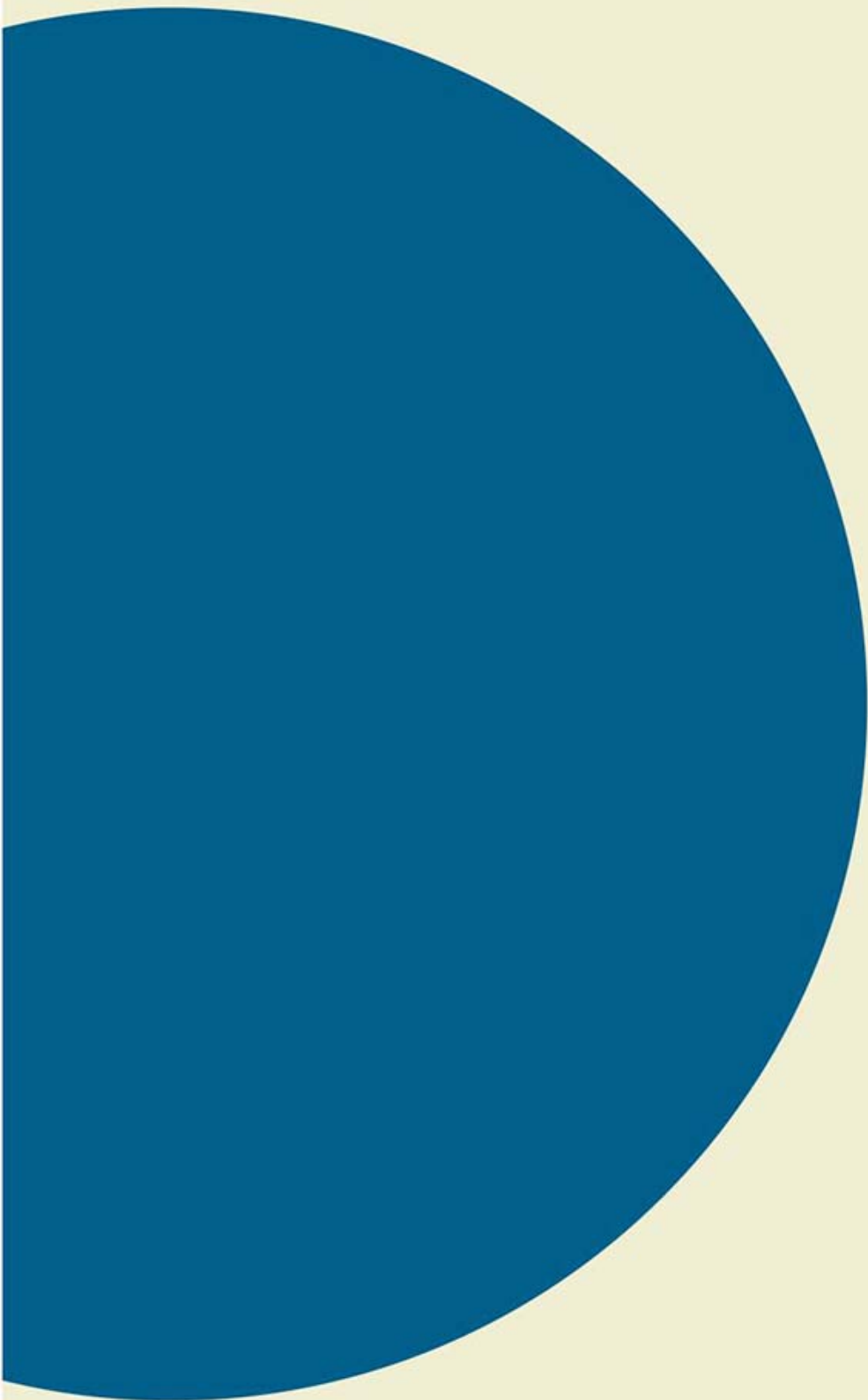


Nordsøen – Havbundsdata og kortlægning

Peter Gravesen, Jørgen O. Leth & Jørn Bo Jensen



DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR
DANMARK OG GRØNLAND, KLIMA- OG ENERGIMINISTERIET



GEUS

Nordsøen – Havbundsdata og kortlægning

Status for data, kortlægning, ressourcer,
Kvartær stratigrafi og fremtidsperspektiver

Peter Gravesen, Jørgen O. Leth & Jørn Bo Jensen

Indhold

1.	Indledning	4
1.1	Undersøgelsesbehov	5
1.2	Råstofressourcer	5
1.3	Habitater	6
1.4	Anlæg	6
1.5	De kvartære aflejringers stratigrafi	6
2.	Arkiver og data	7
2.1	Det maringeologiske arkiv	7
	<i>Navigationsdata</i>	8
	<i>Seismiske data og side scan sonar data</i>	8
	<i>Multibeam og ekkolod</i>	10
2.2	Borearkiv og Undergrundsarkiv	10
	<i>Boringer</i>	10
	<i>Grabprøver</i>	10
	<i>Rapporter</i>	11
2.3	Databaser	11
2.4	Data på andre institutioner og fra andre undersøgelser	13
3.	Generelle geologiske forhold	14
3.1	Prækvartæroverfladen og de kvartære aflejringers tykkelse	14
3.2	Aflejringernes alder og stratigrafi	15
3.3	Beskrivelse af de lithostratigrafiske enheder	17
	<i>Terschellingbank Member (Nieuw Zeeland Gronden Formation)</i>	17
	<i>Western Mud Hole Member (Nieuw Zeeland Gronden Formation)</i>	18
	<i>Jutland Bank Enhed</i>	18
	<i>Vadehavs Enhed</i>	18
	<i>Elbow Formation</i>	19

<i>Twente Formation</i>	19
<i>Agger Clay Enhed</i>	19
<i>"Yoldia Clay" Enhed</i>	20
<i>Dogger Bank Formation</i>	20
<i>Weichsel Smeltevands Enhed: sand, grus, sten og ler</i>	21
<i>Eem Enhed</i>	22
<i>Saale Till Enhed</i>	22
<i>Saale Smeltevands Enhed: sand, grus, sten og ler</i>	23
<i>Sen Elster - Holstein Enhed</i>	24
<i>Elster Till Enhed og Smeltevands Enhed: sand, grus, sten og ler</i>	24
4. Kortlægning	25
4.1 Bathymetri - kortlægning	25
4.2 Havbundssedimenter - kortlægning	26
4.3 Marine habitater - kortlægning	26
4.4 Shallow marine gasforekomster - Kortlægning.....	29
4.5 Ældre geologiske aflejringer - Kortlægning	29
5. Beskrivelse af områder	30
5.1 Ydre Nordsø, Store Fisker Banke og Dogger Banken.....	30
<i>Dogger Banken</i>	30
5.2 Centrale Nordsø.....	31
5.3 Skagerrak.....	32
5.4 Jyske Rev og Lille Fisker Banke	32
5.5 Vestkysten mellem Lodbjerg og Blåvandshuk.....	34
5.6 Horns Rev	37
5.7 Vadehavet.....	38
6. Kortlægning og undersøgelser i tilstødende lande omkring Nordsøen	39
7. Perspektiver og fremtid	40
8. Referencer	42
GEUS	3

1. Indledning

Denne redegørelse indeholder en kortfattet status for de maringeologiske undersøgelser i den danske del af Nordsøen, som har relevans for forståelse af de kvartærgeologiske forhold, bundsedimenternes udbredelse og sammensætning, bundens topografi, de bathymetriske forhold, råstoffernes udbredelse og kvalitet, den geologiske baggrund for de marine habitaters udbredelse samt forhold af betydning for etablering af bygningsværker på havbunden.

Ligesom for de indre danske farvande er der ikke foretaget en systematisk geologisk kortlægning af havbunden, men kortet over havbundssedimenternes udbredelse og type (Fig.1), som delvis tager de mest kystnære, indre dele af Nordsøen med, er udarbejdet på grundlag af en række opgaver og projekter, hvor af de fleste er råstofundersøgelser. De ydre dele af Nordsøen er ikke dækket af geologiske kort, ligesom datadækningen er mere sparsom.

Den danske del af Nordsøen er defineret som det danske territoriale område vest for Jylland inkl. Skagerrak frem til Skagen odde (Kort og Matrikelstyrelsen, 1980, 1989, 1990a, 1990b).

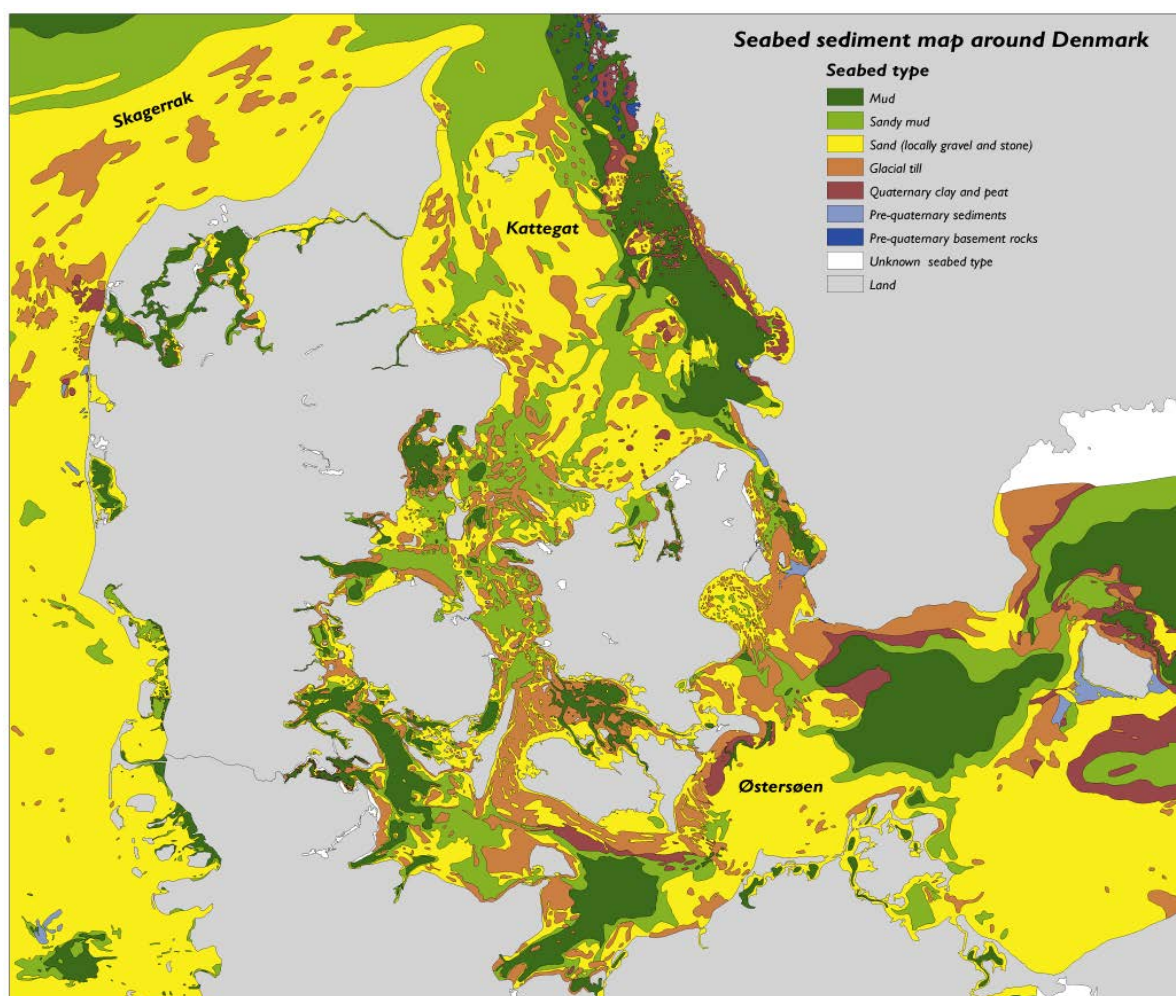


Fig. 1. Kort over havbundssedimenternes udbredelse og type (Fra Hermansen & Jensen, 2000) (Original målestok 1:500.000).

1.1 Undersøgellesbehov

I Nordsøen er der en række behov for geologisk kortlægning på og under havbunden, både med hensyn til havbundens sammensætning og topografi, men også for viden om de dybereliggende lags sammensætning og kvartære stratigrafi. De undersøgelser, som foretages for at finde olie og gas, skal ikke omtales her, men en række af de undersøgelser, som udføres for lokalisering og etablering af boreplatforme, vil indgå som databaggrund.

Tre emner er de centrale: råstoffer, habitater og anlæg. Fokus på sand-, grus- og stenråstofforekomster har hidtil været rettet mod de lavere vanddybder ned til 20 m's dybde i en rimelig afstand fra Jyllands kyst, men fremtidigt kan aflejringer på større dybde være interessante. Områder, som kan udlægges som naturtyper efter EU's Habitatsdirektiv, kan forekomme på alle dybder (Jensen, 2000; Leth, 2005). Marine anlæg som havvindmøller, olie- og gasrør og elkabler fordrer alle geologisk kortlægning for at kunne vurdere naturressourcer og beskyttelseskrav.

Maringeologiske forskningsundersøgelser i Nordsøen bidrager også til den samlede viden om de geologiske forhold indenfor de områder, som er de mere anvendelsesorienterede undersøgelsernes formål. De kvartære aflejringers stratigrafi er kun delvis formelt etableret, og derfor vil en indsats på dette område være relevant.

Maringeologiske undersøgelser i Nordsøen stiller større krav end til undersøgelser i de indre danske farvande. Alene vejr og havforhold gør det nødvendigt med større skibe, som dermed også er dyrere at leje. Risikoen for, at der vil være et større antal dage, hvor der ikke kan sejles på grund af vejret, er også til stede.

Kortlægning af råstoffer, kortlægning af grundlag for udpegning af habitater og undersøgelser i forbindelse med havanlæg kræver både regionalt og detaljeret feltarbejde. Indledningsvis vil udarbejdelse af et regionalt havbundssedimentkort baseret på eksisterende data være et godt udgangspunkt, og på nuværende tidspunkt er mulighederne for at påbegynde en sådan kortlægning etableret. (se afsnit 6).

1.2 Råstofressourcer

De marine sand-, grus- og stenråstofressourcer blev opgjort i 1998 (Jensen, 1998), især baseret på de undersøgelser, som var kendt indtil da. Den samlede ressource for det danske havområde blev vurderet til 4.500 mio. m³ med en overvægt på forekomst af sand (3.500 mio. m³). For Jyske Rev (Område 562) blev ressourcen vurderet til 450 mio. m³ sand med højt grus og ral indhold, og på Horns Rev (Område 524) blev den vurderet til 5 mio. m³ ral og 27 mio. m³ grus, men for begge områder gjaldt af datadækningen var sparsom. Jyske Rev blev senere i 2000 vurderet igen til en ressource på ca. 500 mio. m³ tilslagsmaterialer. Langs Jyllands vestkyst blev sand og grus aflejringerne kortlagt mellem 2000 og 2005, og ressourcerne her blev ansat til at være på 1,5-2,5 mia. m³ sand (Kystdirektoratet, 2001).

Samlet kan siges, at der i de potentielle råstofområder i Nordsøen, som kendes i dag, sandsynligvis er ressourcer på ca. mellem 2,0 og 3,0 mia. m³, hvoraf en del er kvalitetsmaterialer. Der foreligger kun få detaljerede undersøgelser i de kendte områder med præcise opgørelser af råstofmængderne, og der er også relativt få analyser af råstoffernes kvaliteter.

Derudover må det forventes, at yderligere undersøgelser i nye områder vil påvise flere resourcer.

1.3 Habitater

De marine habitatsområder (NATURA 2000 områder), som er udlagt i overensstemmelse med EU's Habitatsdirektiv, kan ses på fig.15. Der er i alt 6 områder i Nordsøen, hvoraf de fleste ligger tæt ved Jyllands vest og nordvestkyst, men derudover er der foreslået 6 nye områder (Fig. 15).

1.4 Anlæg

Marine anlæg i Nordsøen består af vindmølleparker omkring Horns Rev (Jensen et al, 2008), rækker af el-kabler (Leth, 1994, 1996) især fra Norge og naturgas- olieledninger fra boreplatformene omkring felterne i Central Graven.

1.5 De kvartære aflejringers stratigrafi

Den geologiske historie i Nordsøen gennem Kvartærtiden kan kun beskrives i brede vendinger, dels på grund af en dårlig datadækning og dels fordi der kun er fortaget få undersøgelser. De biostratigrafiske undersøgelser og aldersrelationerne omtales i afsnit 3, ligesom de lithostratigrafiske enheder beskrives indledningsvis for den yngste del af Kvartæret i afsnit 3.

2. Arkiver og data

2.1 Det maringeologiske arkiv

Det maringeologiske arkiv indeholder data, som er indsamlet med det formål at kortlægge råstoffer, havbundsgeologi, marine habitater og miljøforhold.

Arkivets opdeling er p.t. baseret på en opdeling af havområdet i råstofområder (Fig. 2).

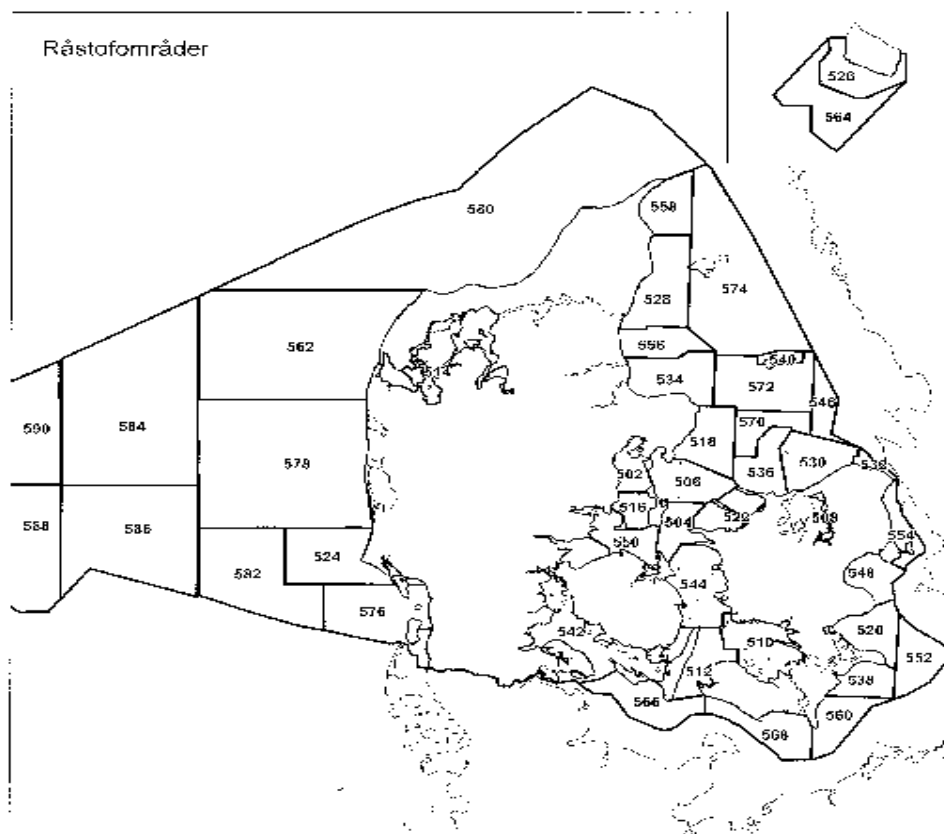


Fig. 2. Inddeling af det danske havområde i delområder, som er baggrunden for GEUS arkiv for maringeologiske data.

Navigationsdata

Navigationsdata indsamles ved alle undersøgelser og forskningsprojekter. Data foreligger sammen med de akustiske data (analogt eller digitalt), og tidligere lå de lagret i SPOCA-databasen. På grundlag af data er det muligt at fremstille kort over sejllinier (fig. 3,4)

Seismiske data og side scan sonar data

Shallow marine geofysiske data i et forholdsvis tæt net er indsamlet langs Vestkysten af Jylland samt delvis på Jyske Rev og Horns Rev. Rekogniseringsdata, forskningsdata og kommercielle data er samlet i et åbent net, især vest for 5° Ø (Figs. 3, 4). I den vestlige Nordsø og langs grænsen til Norge findes spredte data indsamlet i forbindelse med etablering af boreplatforme (Site Survey data). I alle undersøgelser er indsamlet seismiske data, mens side scan sonar ikke er optaget ved alle togter.

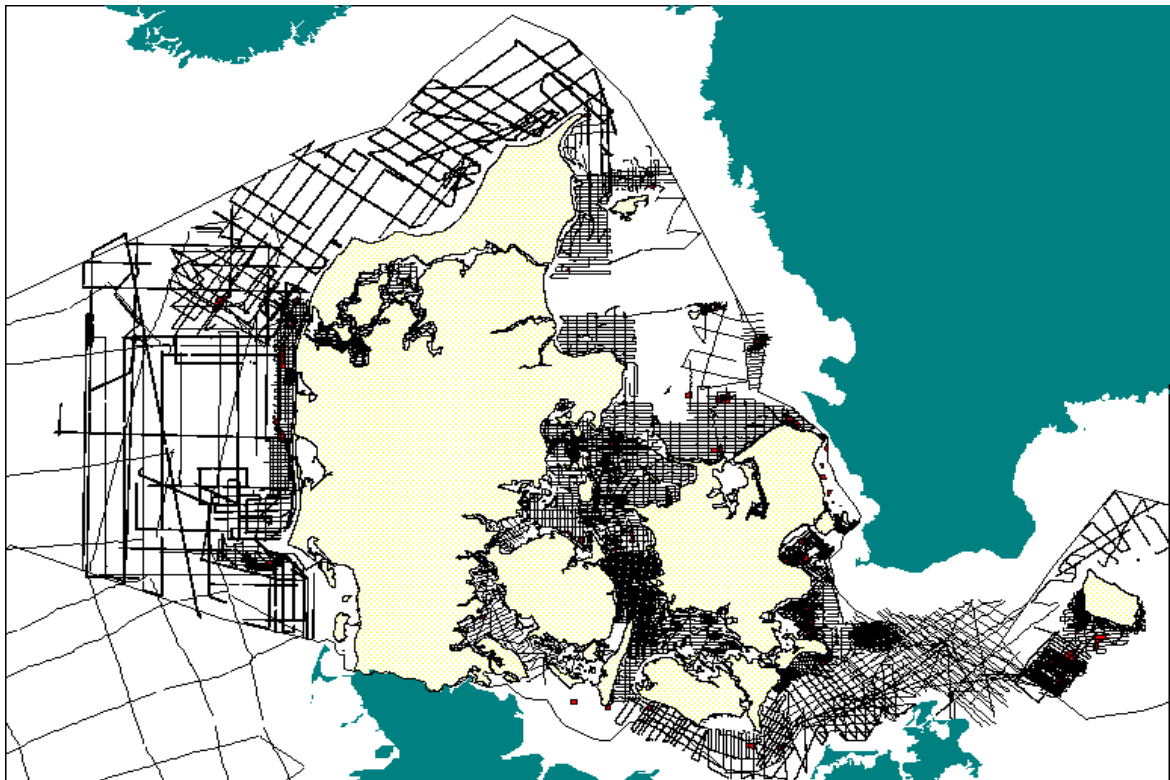


Fig. 3. Oversigt over sejllinier hvor der er indsamlet geofysiske data: Seismik og side scan sonar.

Data findes analogt som print-out eller på bånd og discs. De seismiske data lagres nu stort set kun elektronisk, og data processeres og tolkes efter feltindsamlingen.

Dybde seismiske data er indsamlet af olieselskaber i anseelige mængder (Nielsen et al., 2008). Disse data kan anvendes til bedømmelse af Kvartæret tykkelse og til kortlægning af strukturer på Prækvartæroverfladen.

Multibeam data er kun indsamlet få steder i Nordsøen, bl. a. på Horns Rev i forbindelse med anlægsopgaver (Jensen et al, 2006). Ved Site Surveys foreligger der ofte også data. Ekkolod data indsamles derimod som standard ved alle typer undersøgelser.

2.2 Borearkiv og Undergrundsarkiv

Boringer

Der foreligger både dybe og korte boringer fra Nordsøen, som indeholder oplysninger, der kan bruges ved undersøgelser og kortlægning. Boringerne er udført med forskellige formål, og de er meget uens fordelt indenfor området. En række boringer har GEUS modtaget som en del af indberetningspligten i Undergrundsloven og Råstofloven, mens andre er modtaget via frivillig indsendelse til GEUS. De sidstnævnte er især boringer udført i forbindelse med anlægsopgaver. Endelig er GEUS i besiddelse af eller har oplysninger om boringer udført i videnskabelige projekter.

I Borearkivet er boringerne registreret under et Borearkiv nr. (Atlasblad nr., eks. 5.150) med UTM-koordinater. I Undergrundsarkivet ligger boringerne under 32 delsblok-numre (F.eks. 56720.3) med UTM-koordinater. Boringerne indeholder oplysninger om navn på borested, borings- og indberetningsdata, borefirma, kote, m.m. samt næsten alle relevante geologiske informationer om havbunden og de Kvartære aflejringer ned til ofte større dybde.

Oplysninger om en stor del af boringerne er indlæst i GEUS boringsdatabaser. I Jupiter databasen, som især lagrer de korte boringer, findes i dag oplysninger om 1097 boringer i Nordsøen, hvor af de 951 boringer findes mere en 1 km fra vestkysten. En koncentration af boringer findes tæt på Jyllands vestkyst, og en anden findes i den ydre del af Nordsøen. I Samba databasen findes 736 boringer, og de fleste er fra den ydre del af Nordsøen. For begge databaser gælder, at der kun er få boringer fra den centrale Nordsø og i Skagerrak (Fig. 5).

Udover de allerede registrerede boringer i arkiverne findes i størrelsesordenen 500 boringer i rapporter, som skal indføres i Borearkivet.

Grabprøver

Med hensyn til grabprøver, som giver oplysninger om bundsedimentet, findes der især oplysninger fra Store og Lille Fisker Banke indsamlet af Danmarks Fiskeriundersøgelser, DFU (nu DTU Aqua). På en del af disse prøver har GEUS foretaget kornstørrelsesanalyser. Desuden foreligger grabdata og andre overfladesedimentdata fra den nære Vestkyst især indsamlet af Kystdirektoratet og grabdata indsamlet i forbindelse med anlægsopgaver. Overfladeprøver/grabprøver er også modtaget i forbindelse med Site Surveys (Czako, 2002), og de har bl.a. kunnet danne grundlag for udtegnning af et lokalt sedimentkort på grænsen ned til tysk sektor. Alle disse oplysninger er ikke lagrede i database. Det anslås, at der findes oplysninger om ca. 600 grabprøver.

Rapporter

Rapporter over maringeologiske undersøgelser findes i GEUS arkiver. Rapporterne indsendes til GEUS som led i indberetningsforpligtigelsen i de respektive love.

Site Survey rapporter

Rapporterne i Undergrundsarkivet er registreret i en database, og der findes mere end 400 rapporter med oplysninger om de overfladenære aflejringer. Ud over Site Survey rapporter findes f.eks. også Pipeline Route Survey rapporter.

Marine råstof- og anlægsrapporter

I arkivet for marine råstoffer og anlæg findes 60-70 rapporter fra Nordsøen, som omhandler de overfladenære råstoffer og marine anlæg (Heraf er de 40 udarbejdet af GEUS).

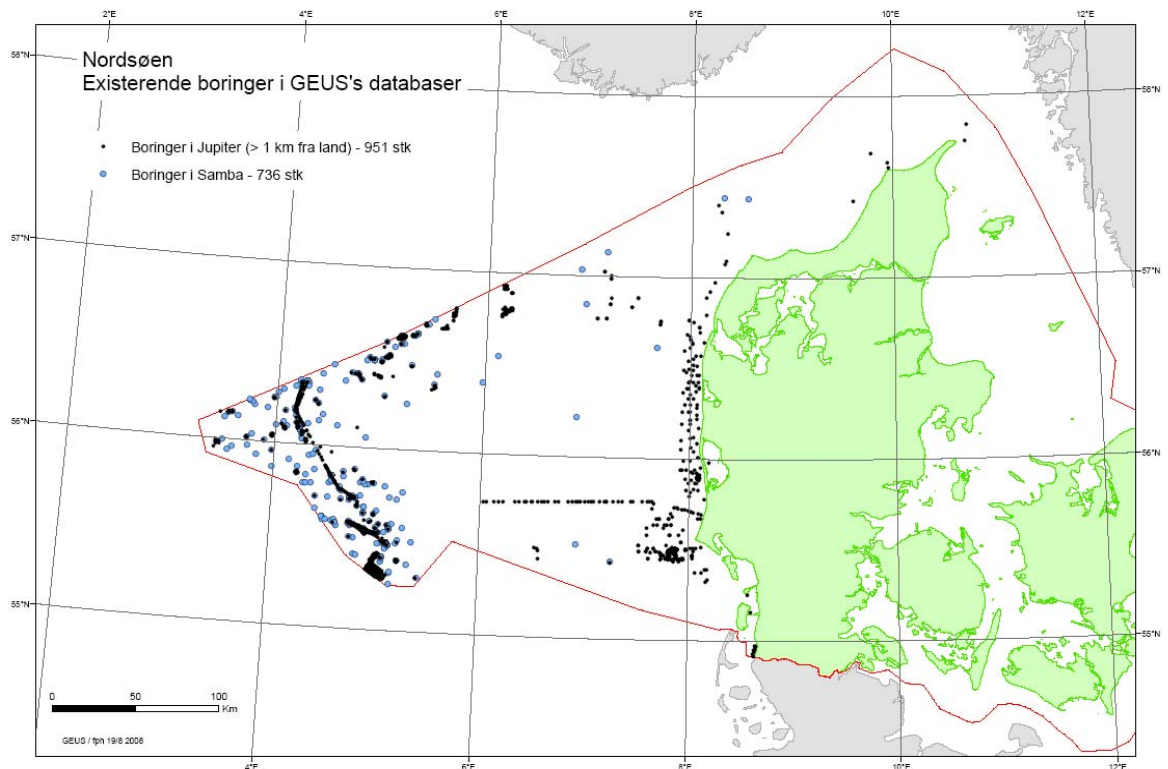


Fig. 5. Oversigt over boringer i Nordsøen, som er indlæst i GEUS databaser Jupiter og Samba.

2.3 Databaser

De omtalte databaselagrede boringer ligger i henholdsvis Jupiter databasen og Samba databasen, alt efter hvilken oprindelse de har. Samlet ligger der data om 1833 boringer. Et eksempel på et skærbillede fra Jupiter-databasen ses på fig. 6. Ud over de datalagrede boringer findes der også, som omtalt ovenfor, boringsdata i rapporter, som ikke er indlæst. Der er skønsmæssigt 500 boringer, som med fordel kunne indlæses og dermed på en hen-

sigtigsmæssig måde indgå i nye opgaver. De findes i størrelsesordenen 20-30 videnskabelige borer.

De geofysiske data, som er indsamlet i forbindelse med olie og gas efterforskning ligger i Samba databasen (registret i). De geofysiske data, som er samlet i forbindelse med råstof – og anlægsopgaver m.m., er registret under de enkelte opgaver og lagret på GEUS marinegeologiske server.

Der er iværksat udarbejdelse af en egentlig database til registrering af de geofysiske data. Databasen skal indeholde alle navigations data, akustiske data og rapporter, som skal være lagret så interne og eksterne brugere kan finde en række relevante data som f.eks. sejl-linier via et browser system. Boringsdata forbliver i boringsdatabaserne, men relevante data vil kunne trækkes fra de tre databaser til samlet bearbejdning og tolkning.

Databasen kaldes for "Marta", og forventes i funktion i slutningen af 2009.

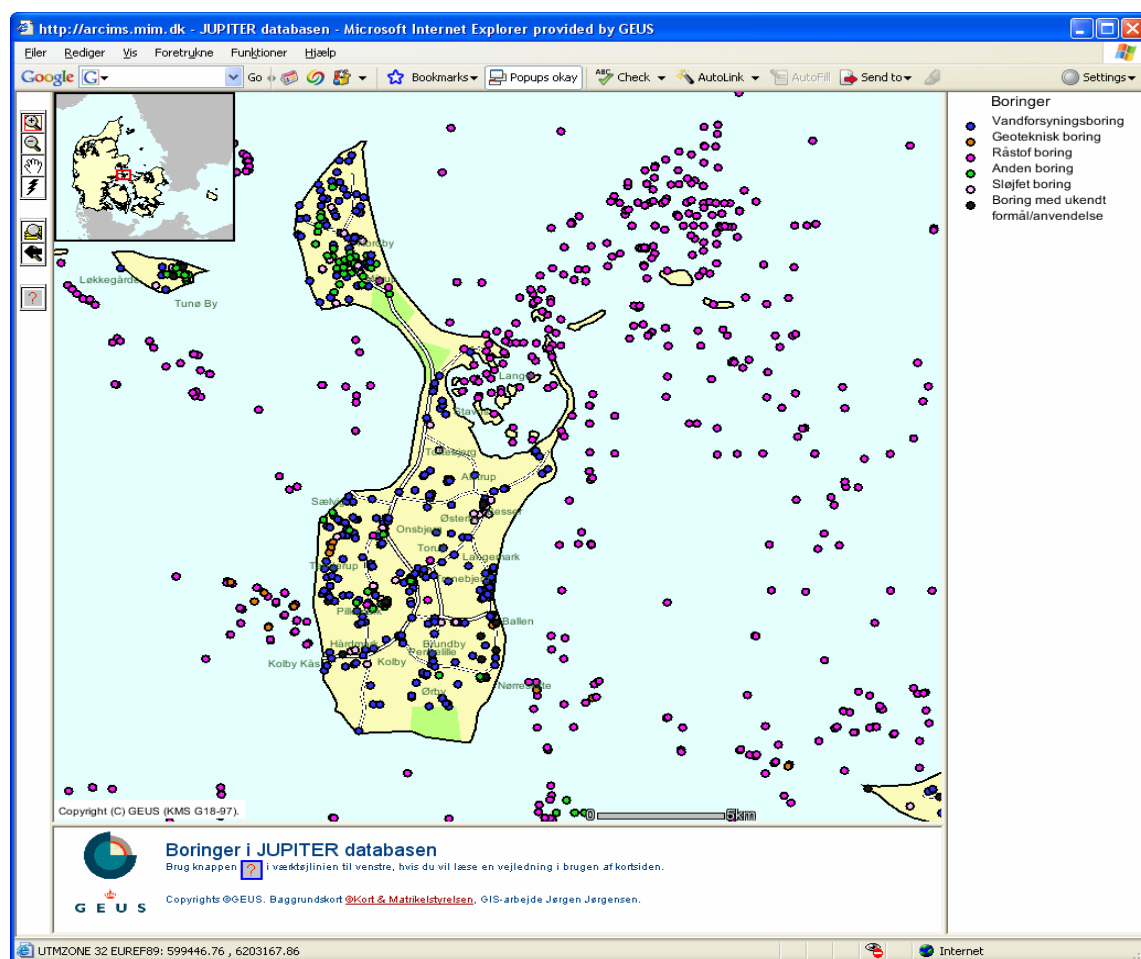


Fig. 6. Eksempel på skærmbillede i GEUS Jupiter boringsdatabase med borer på havbunden.

2.4 Data på andre institutioner og fra andre undersøgelser

Der er en række danske og udenlandske institutioner, som indsamler maringeologiske data fra det danske område.

I forbindelse med GEUS undersøgelser ved Vestkysten udført mellem 1998-2001 var der adgang til Kystdirektoratets database over sedimentanalyser af bundprøver. Databasen indeholder oplysninger om mere end 2000 sandprøver (Kystdirektoratet, 2001). Kystdirektoratet har desuden kystprofil data langs vestkysten, som er vigtige ved anlægsarbejder helt tæt på kysten.

Farvandsvæsenet indsamler detaljerede multibeam data, som det er muligt for GEUS at anvende.

Geologisk Institut ved Århus Universitet har indsamlet omfattende mængder data fra Nordsøen, i en periode samme med GEUS.

Data fra Nordsøen indsamles også af tyske og hollandske institutioner i forbindelse med forskningsprojekter, og disse data er ofte til rådighed for GEUS. Eksempel herpå er da tyske GEOMAR stillede data til rådighed for methanundersøgelser i Skagerrak (Laier et al., 2005).

I anden forskningssammenhæng blev der ved Cruise BGR04-AUR i 2004 med skibet AU-RELIA indsamlet seismiske data i linier på dansk områder tæt ved grænsen til tysk område, og indenfor EU-forskningsprojektet: South North Sea Quaternary Project (Konradi, 2000) er ligeledes indsamlet marine data. I en række af de udenlandske forskningsinstitutioner, som GEUS normalt samarbejder med, forligger maringeologiske data fra Nordsøen, som sandsynligvis vil kunne rekvireres.

Imidlertid foretager en lang række udenlandske skibe efter tilladelse fra Energistyrelsen hvert år undersøgelser i danske farvande, men de indsamlede data tilgår ikke de danske myndigheder.

3. Generelle geologiske forhold

3.1 Prækvartæroverfladen og de kvartære aflejrings tykkelse

Fladen mellem de kvartære aflejringer og de ældre lag (Basis Kvartær) er kortlagt på grundlag af dybde seismik (Nielsen et al, 2008). Fladen ligger mellem ganske få m under havniveau ved Vestkysten og mere end 1230 m under havniveau i de ydre dele af Nordsøen og Skagerrak. Det betyder, at de kvartære aflejringer i den danske del af Nordsøen varierer i tykkelse fra 2-3 m nær Jyllands vestkyst til mere end 1200 m i den vestlige og nordlige del (Fig. 7). Offshore kortet i fig. 7 er sat sammen med onshore kortet efter Binzer & Stockmarr (1994). Det viser et system af N-S orienterede begravede dale i den østlige Nordsø og vestlige Jylland (se også Huuse & Lykke-Andersen, 2000a), som overvejende er af Elster alder, eller muligvis Saale. Også i den vestlige Nordsø findes dale skærende prækvartæroverfladen, og de er orienterede NV-SØ (se også Salomonsen & Jensen, 1994). Dalenes alder her er Saale, Weichsel og Holocæn. Alle dalene er fyldt med kvartære sedimente. De er skåret ned i Øvre Kridt og Palæogen aflejringer mod NØ, i Neogen aflejringer mod SØ og centralt og i Tidlig Pleistocæne aflejringer mod V.

Flere steder er der også registreret overskydninger i glacialtektonisk forstyrrede lag (Huuse & Lykke-Andersen, 2000b; Larsen & Andersen, 2005; Jensen, Gravesen & Lomholt, 2008), som inkluderer både prækvartære og kvartære aflejringer.

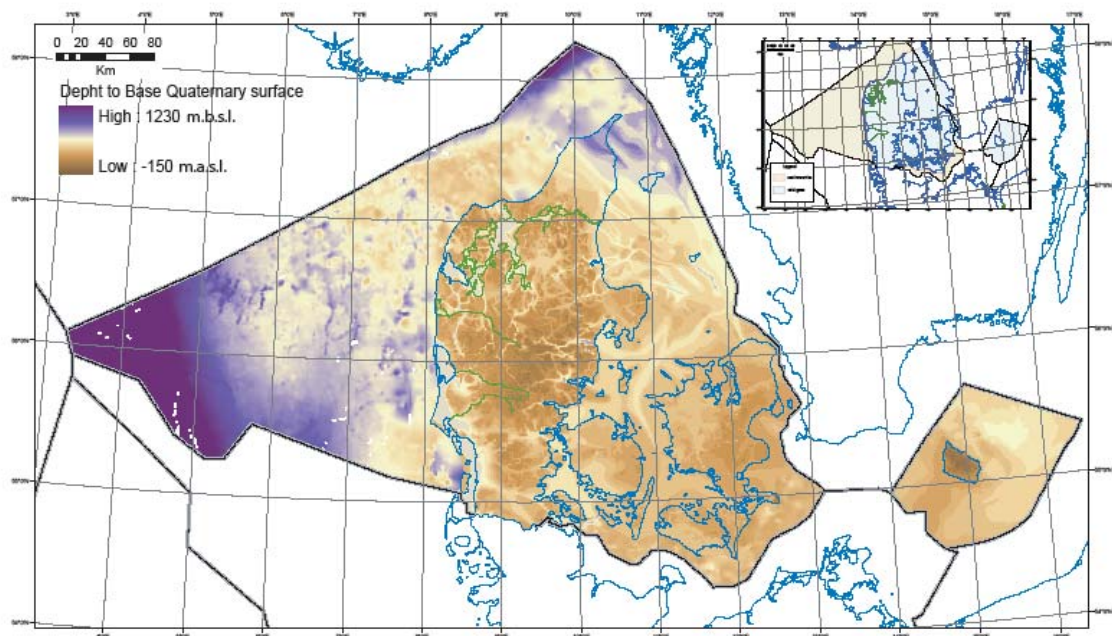


Fig. 7. Kort over basis af de kvartære lag offshore og onshore Danmark (Fra Nielsen et al., 2008).

3.2 Aflejringernes alder og stratigrafi

De ældste kvartære aflejringernes alder og stratigrafi er især belyst på grundlag af data fra olie-gas boringer samt få forskningsboringer (Knudsen, 1985; Pedersen, 1995a,b; Konradi, 2005). De mere end 1200 m tykke aflejringer kan deles i 7 seismiske enheder (ifølge Salomonsen, 1994, Salomonsen & Jensen, 1994). Det ældste Gelasien/Pleistocæn kendes kun fra få undersøgelser, bl.a. fordi kun få boringer når så dybt ned, men aflejringernes tykkelse taget i betragtning, må det forventes af ældre lag kan træffes over Kridt og tertiær aflejringer.

Tyra West B boringen i Central Graben er korreleret med den engelske Josephine boring, og den viser, at de Pliocæne og Tidlig Pleistocæne aflejringer tynder ud både mod vest og øst væk fra Central Graben området. Tidlig Pleistocæn er her omkring 300 m tyk, Midt Pleistocæn ca. 100 m tyk og Øvre Pleistocæn under 50 m (Knudsen & Asbjørnsdottir, 1991). De fleste aflejringer er af marin oprindelse. Mere detaljerede undersøgelser er foretaget af Pedersen (1995a,b), som på grundlag af data fra 53 boringer på dansk område har påvist Pliocæn-Kvartær grænsen, og aflejringer fra Tegel, Eburon eller Menap, Cromer og evt. Saale, men ikke f.eks. Holstein. Boringer på grænsen til norsk område og til tysk område indeholder også aflejringer fra grænsen mellem Pliocæn og Pleistocæn og aflejringer fra Tidlig og Midt Pleistocæn (Konradi, 1996).

Inddelingen af det danske Kvartær ses i skemaet, fig. 8:

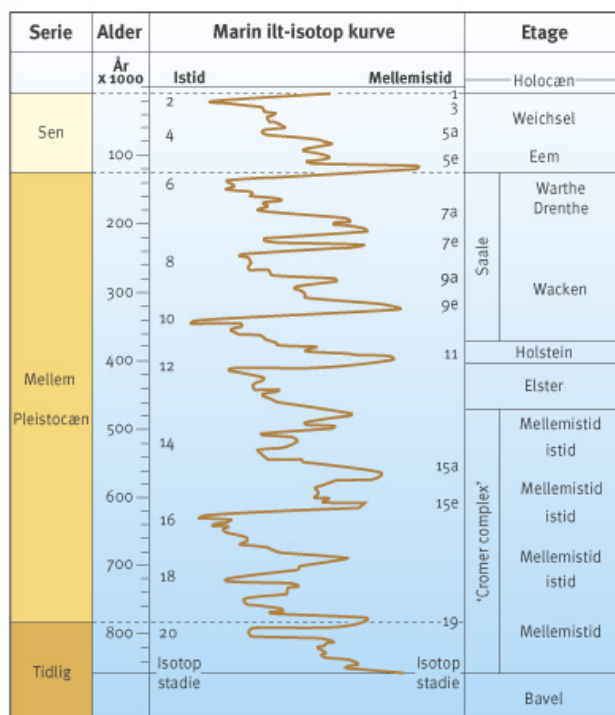


Fig. 8. Inddeling af det danske Kvartær i tidsafsnit (Fra Houmark-Nielsen, Krüger & Kjær, 2005). Den nyeste inddeling af Kvartær kan ses i Bennike et al., (2009), hvor basis af Kvar-tær er ved 2,588 mio. år. Desuden har Kvartær fået rang af system.

Boringer på NØ-siden af Dogger Banken (Roar 41, Roar 43, Skjold 21, Dan 31), som er ca. 150 m tykke, når lag af Saale, Eem, Weichsel og Holocæn alder (Knudsen, 1985), mens lag fra Weichsel, Sen Weichsel og Holocæn kendes fra en række korte boringer i den vestlige del af Nordsøen (Gravesen, Czako & Rasmussen, 2008). I Horns Rev området træffes lag fra Elster (antagelig), Holstein, Saale, Eem, Weichsel, Sen Weichsel og Holocæn (Konradi, Larsen & Sørensen, 2005; Larsen & Andersen, 2005; Jensen, Gravesen & Lomholt, 2008). Ved Jyske Rev er det især, Weichsel, Sen Weichsel og Holocæn, som er påvist (Leth, 1996).

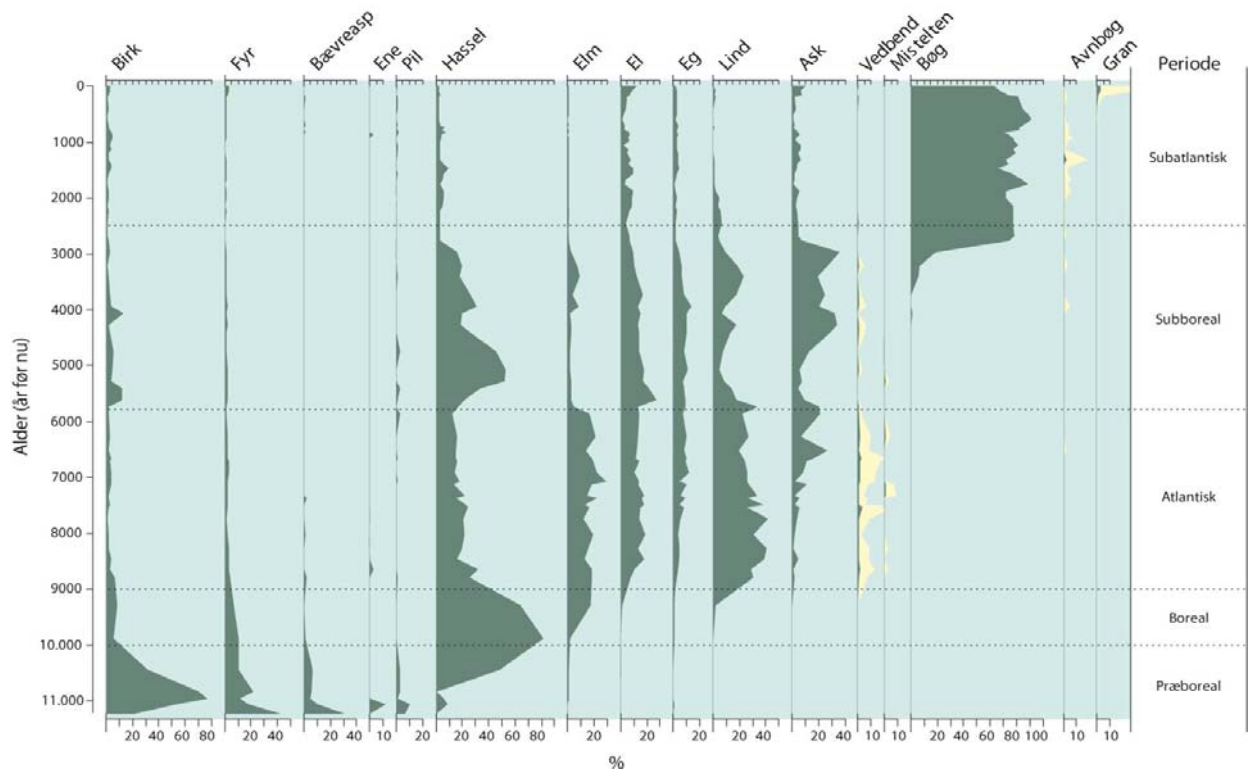


Fig. 9. Figuren viser pollendiagram med inddeling i de holocæne tidsafsnit og angivelse af Alder før nu (Fra Rasmussen, Nielsen & Bradshaw, 2007).

Aldersbestemmelse af de kvartære lag er overvejende sket på basis af dyr og planterester (f.eks. Knudsen, 1985; Knudsen & Asbjörnsdóttir, 1991; Pedersen, 1995a,b; Konradi, 2000; Konradi et al., 2005; Gravesen et al., 2008). De kvartære aflejringer er i begrænset omfang blevet kulstof 14 aldersbestemt. Det er især de marine holocæne aflejringer, der indeholder skalmateriale, som er dateret og henført til tidsafsnittene på fig. 9. (Leth, 1996; Leth et al, 2001; Konradi, 2000; se desuden også Behre, 2007).

Med hensyn aldersbestemmelse af de mere sjældent forekommende aflejringer fra Sen Weichsel tidsafsnittene: Ældste Dryas, Bølling, Ældre Dryas, Allerød og Yngre Dryas, findes kun få bestemmelser som i f.eks. Gravesen et al (2008), hvor der er påvist Allerød lag på Dogger Banken.

En inddeling af de kvartære aflejringer i formelle lithostratigrafiske enheder i Nordsøen er ikke etableret. Nogle markante enheder er introduceret, som f.eks. Agger Clay og Jutland Bank Sand (Leth, 1996), men række delundersøgelser med fokus på de forskellige enhe-

der, som bruges i engelsk og hollandsk sektor, peger på, at en del af de danske lag kan henføres til disse enheder.

Nedenstående foreløbige inddeling (Baseret på Knudsen, 1985; Foged, 1987; Larsen & Andersen, 2005; Gravesen et al., 2008; Konradi & Czako, 2002a,b,c; Konradi, 2003, 2004a,b) dækker dog kun Midt Pleistocæn aflejringer fra Elster, Sen Pleistocæn aflejringer samt Holocæn aflejringer. I Konradi (2002b) er anvendt en række engelske enheder for aflejringer nær det engelske-norske område, men en nærmere korrelation hertil må foretages senere. For alle enheder gælder, at der på grundlag af bl.a. seismiske data må foretages en vurdering af deres tykkelser og horisontale udbredelse.

Nordsøen: Kvartær lithostratigrafi (Foreløbig):

	Vest	Øst
Sen Holocæn	Terschellingbank Member	Jutland Bank Enhed
Tidlig Holocæn	Western Mud Hole Member	Vadehavs Enhed
Sen Weichsel-Holocæn	Elbow Formation	
Sen Weichsel	Twente Formation	
	"Freshwater (Allerød Enhed)"	Agger Clay Enhed
	"Yoldia Clay" Enhed	
	/Dogger Bank Formation	
Weichsel	Smeltevandssand og grus samt ler Enhed	
	Till Enhed	
Eem	Marin ler (+ ikke-marin) Enhed	
Saale	Smeltevandssand og grus samt ler Enhed	
	Till Enhed	
	Marin Sand Enhed	
Holstein	Marin Ler Enhed (Sen Elster-Holstein)	
Elster	Smeltevandssand og grus, samt ler Enhed	

3.3 Beskrivelse af de lithostratigrafiske enheder

Terschellingbank Member (Nieuw Zeeland Gronden Formation)

Denne enhed består af fint sand, meget fint sand, fint siltet sand og sandet silt med planterester og almindeligvis mange marine skaller og skalrester. Der forekommer dog

stedvis fint-mellemkornet sand med linser af silt og grus. Enheden er mellem 1,5 og 12 m tyk (Knudsen, 1985; Gravesen, 2006). Aflejringerne er dannet i det marine område i et åbent marint miljø i kystzonen, undertiden tidalt samt på dybere vand i tidsrummet fra Sen Holocæn til Recent. Enheden har stor udbredelse i den vestlige og centrale del af Nordsøen og er bl.a. fundet i borerer ved og på Tail End, i den Ydre Nordsø ved f.eks. HANNE-1 (Konradi, 2004), JETTE-1 (Konradi, 2003) og South Pod (Konradi and Czako, 2002b) ved grænsen til norsk territorium samt på hollandsk og engelsk område (Cameron et al., 1992; Gatliff et al., 1994; Konradi, 2002a; Konradi and Czako, 2002a,c; Czako, 2002). Sandet kan træffes helt ned til omkring 60 m's dybde, hvor det også har et tyndt tæppeformet udbredelse over store områder.

Enheden er defineret på hollandsk område og er en del af Nieuw Zeland Gronden Formation (Laban et al., 1995).

Western Mud Hole Member (Nieuw Zeeland Gronden Formation)

Denne enhed fra Sen Holocæn er også en del af Nieuw Zeland Gronden Formation, og den findes stedvis i den vestlige og centrale del af Nordsøen, men kan også træffes i den østlige del (Se figur 1). Den består af heterolitisk ler og fint sand samt siltet, fint sand, som ofte er bioturberet og indeholder marine skaller og skalfragmenter (Laban et al., 1995).

Jutland Bank Enhed

Enheden fra Tidlig og Sen Holocæn består af marint sand og grus, som varierer kornstørrelse både vertikalt i lagsøjlen og horisontalt i hele udbredelsesområdet. Udbredelsen er fra Vestkysten og 20 km ud herfra mellem Jammerbugt, Jyske Rev og Lille Fisker Banke og sydpå langs hel Jyllands vestkyst til Horns Rev. Enheden hviler på forskellige andre kvarter og prækvartære lag. Tykkelsen er almindeligvis under 10 m, men stedvis er tykkelser på op til 20 m truffet i borerer.

Aflejringerne er gråbrune og indeholder stedvis både mange skaller og planterester, og øvre del af enheden består af dynamiske sedimenter dannet i oddersystemer, barriere øer og på forstranden i det fladvandede marine miljø. Disse aflejringer kaldes for "det mobile sand". Det er muligt, at nærmere analyser gør det muligt at opdele enheden i underenheder (Leth, 1996; Leth et al., 2001; Jensen et al., 2008).

Vadehavs Enhed

(Opdeles eventuelt i flere enheder)

Denne enhed fra Sen Holocæn til Recent består af sand, silt og ler dannet som tidevandsaflejringer. Der kan beskrives en række facies, men overordnet er der tale om tre aflejrings typer. Tidevandskanaler er opfyldt af fint-mellemkornet sand med marine skaller og enkelte gruskorn. Lagene er omkring 10-15 m tykke. Tidevandsflader består af fint sand med mudderdraperinger og flaser, og lagene er ofte bioturberet. Tykkelsen er op til 10 m. Salt marsk aflejringer af ler og silt med vegetation er omkring 20 cm tykke. Ved bunden af de marine lag i området findes tørvelag og evt. andre lagune eller deltalag fra omkring 5000 år før nu (Davies, Bartholdy & Lykke-Andersen, 2001).

Elbow Formation

I Tidlig Holocæn blev Sen Weichsel aflejringer langs kystzonen gennemskåret af kanaler, og områderne blev fyldt med sø-kystzone sedimenter fra Elbow Formationen.

Elbow Formationen består af heterolitisk fint sand og ler, d.v.s lamineret finkornet sand, silt og ler stedvis med skaller. Der er udbredte tynde lag med organisk materiale, ved og gytje samt tykkere tørvelag. Desuden træffes udviklede jordbundshorisonter. Især findes et tykt tørvelag ved grænsen mod Pleistocæn (kaldes Basal tørv). Formationen er mellem 0,5 m og 2 m tyk.

Aflejringerne fra Tidlig Holocæn (Præboreal og Boreal kaldet Fastlandstiden, hvor Danmark bl.a. var landfast med England) er dannet på landjorden og i søer, delta, laguner og tidevandsmiljøer, hvilket især det høje indhold af plantemateriale peger på. Marine ler og silt lag med et stort indhold af marine skaller i bunden af formationen kendes også fra andre områder, og viser marine forhold forud for brakvands - og landforhold (Cameron et al., 1989).

Formationen er defineret i det hollandske område (Oele, 1969), men er udbredt over det meste af Nordsøen, også den danske del (Jyske Rev, Horns Rev, Store Fisker Banke, Lille Fisker Banke, Tail End) men som mindre begrænsede enheder (Cameron et al., 1992; Gatliff et al., 1994; Konradi, 2002a, 2004; Konradi & Czako, 2002a,b,c; Knudsen, 1985).

Twente Formation

Formationen fra Sen Weichsel - Tidlig Holocæn, som er defineret fra hollandsk område, er påvist få steder. Ved Horns Rev findes tynde flyvesandslag (Cover sand)(Fredningsstyrelsen, 1982; Kuijpers, 1993), og i den ydre del af Nordsøen på Store Fisker Banke og på Lille Fisker Banke findes formationen som flyvesand, søaflejringer og terresiske aflejringer dannet i det periglaciale område foran den smeltende Weichsel gletscher (Konradi, 2002a; Konradi, & Czako, 2002a,c).

Agger Clay Enhed

Agger Clay Enheden fra Tidlig Holocæn (Preboreal- Subboreal, fra 9350 BP) består af lamineret siltet ler med fint sand, som er aflejret i marint-brakisk miljø i fjordområder og laguner, og den indeholder en del marine skaller. Den har en tykkelse på 3 m til ca. 10 m og en begrænset udbredelse i den nordlige Nordsø omkring Limfjordens udløb (Leth, 1996).

"Freshwater (Allerød Enhed)"

Enheden består af ferskvandssilt, ler og gytje. En kulstof-14 datering fra et 9 cm tykt lag af mostørv med siltet gytje gav en alder på $11,140 \pm 70$ år BP, hvilket peger på, at lagene er aflejret i Sen Weichsel, Allerød (Gravesen et al., 2008). Lag fra nordsiden af Dogger Banken hviler på Sen Weichsel "Yoldia ler". Aflejringerne kunne eventuelt indpasses i Twente Formationen fra Sen Weichsel til Holocæn, som består af flyvesand og ferskvandssedimenter aflejret under periglaciale forhold (Cameron et al., 1989). En revision af aldersdefinitionerne af de kvartære aflejringer kan eventuelt placere enheden i den Holocæne Elbow Formation, evt. som basal tørv (Oele, 1969).

Tidligere undersøgelser peger også på tørveaflejringer på Dogger Banken (Veestra 1965; Fitch et al., 2005).

"Yoldia Clay" Enhed

Den marine Sen Weichsel enhed er op til 10 m tyk, og findes på den nordlige side af Dogger Banken og videre mod vest og nordvest (Knudsen, 1985). Den består af siltet og sandet ler og sandet silt med marine skaller (Gravesen et al., 2008). De marine lag hviler erosivt på Dogger Bank Formationens ler (Knudsen, 1985). "Yoldia Ler" Enheden antages at være jævnaldrende med det norddanske Yoldia ler aflejret i ishavet, der blev dannet ved smeltningen af de sidste Sen Weichsel gletschere (Den Ung Baltiske Is), og aflejringerne findes ud over i den nordlige del af Nordsøen også i Nordjylland, Skagerrak og Kattegat områderne (Knudsen, 1985). Imidlertid må havet ved Dogger Banken formodes at have forbindelse sydpå.

Dogger Bank Formation

Formationen fra Sen Weichsel, består af svagt siltet til fedt, hårdt, lamineret ler stedvis med lysere og mørkere lerkaster i grusfraktionen samt med indhold af fint sand og organisk materiale. Formationen er af non-marin oprindelse, antagelig en glacial søaflejring, som mod nordvest er eroderet og overlejret af den yngre marine "Yoldia Clay" aflejring fra Sen Weichsel. Formationen kendes især fra Dogger Banken og dens Tail End (Veestra, 1965; Foged, 1987; Fitch et al., 2005; Gravesen, 2006), men har formodentlig en stor udbredelse i Nordsøen fra den ydre del (Knudsen, 1985, Foged, 1987) til grænsen mod Norge (Konradi, 2003), hvor den er mellem 5 og 30 m tyk.

Gennem Weichsel var Dogger Banken karakteriseret ved dybe kanaler og nedskårne tunneldale dannet ved glaciofluvial erosion. Desuden skete aflejring på grund af gennemløb af store mængder smeltevand fra den smeltende gletscher gennem de talrige kanaler og søer, der fandtes i området.

Gennem Sen Weichsel - Allerød blev områder hævet, og der foregik aflejring i søer og kystnære laguner (Behre, 2007).

Ved begyndelsen af Holocæn lå Dogger Banken som en ø i Nordsøhavet (Konradi, 2000), og den blev derefter gradvis oversvømmet af havet og præget af stormepisoder, som f.eks. for omkring 8200 år siden (Weniger et al., 2008) for endelig at blive helt overskyllet for omkring 7500 år siden (Cameron et al., 1989; Fitch et al., 2005).

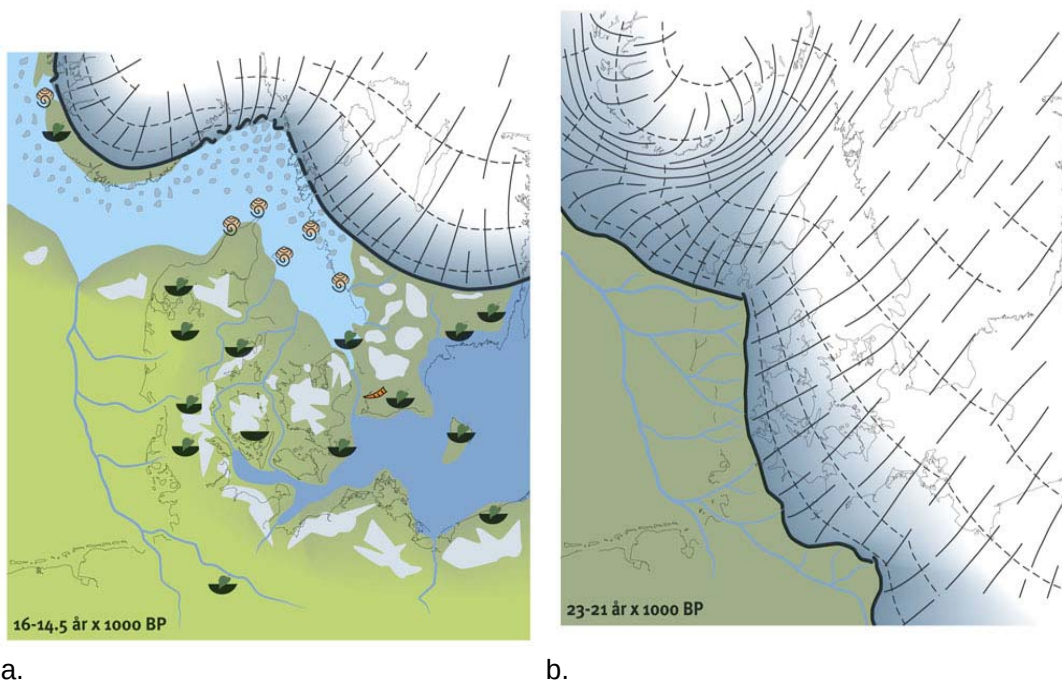


Fig. 10. a. Forholdene i Danmark og den nære Nordsø ved slutningen af Weichsel istiden. Landarealet strakte sig langt ud i Nordsøen, mens der var hav i Skagerrak og Kattegat. Et større flodsystem havde sit udløb i Skagerrak. b. Isens udbredelse ved Hovedfremstødets maximum i Weichsel. I Nordsøen fandtes store smeltevandsfloder. Legende: Land: Grøn, Hav: Blå, Is: Hvid, Sort: Mindre søer med planter, Gul snegl/musling: Subarktisk marin fauna. (Fra Houmark-Nielsen, Krüger & Kjær, 2005; Illustration: Michael Houmark-Nielsen og Kurt Henrik Kjær).

Weichsel Smeltevands Enhed: sand, grus, sten og ler
(Opdeles eventuelt i flere enheder)

Aflejringer fra Weichsel findes både som mere grovkornede sand-grus smeltevandsaflejringer og som issø lerafleriger i det meste af Nordsøen, dog især som sandaflejringer. Langs Jyllands vestkyst findes forsættelsen af hedesletterne et langt stykke ud mod vest i Nordsøen (Leth et al., 2001), hvor de flettede floder blev samlet i større hovedstrøm, som løb mod nord i forbindelse med smeltingen af gletscherne fra Hovedfremstødet og senere under smeltingen af gletscherne fra Det Ungbaltiske fremstød (Fig. 10a og 10b). Ved den sidste afsmeltning løb smeltevandet ud i det Yoldia ishavet, som havde bredt sig gennem Skagerrak og ned i Kattegat (Houmark-Nielsen, Knudsen & Noe- Nygaard, 2006).

Weichsel Till Enhed

Weichsel till aflejringer forventes ikke syd for en linie nordvest-sydøst, som danner forlængelsen af Hovedopholdslinien i Jylland. Nord for denne linie træffes ofte moræneler og sten som hårbundsområder, der strækker sig ind i Skagerrak (Figs. 1, 14, 16). Disse aflejringer formodes at være af Weichsel alder (Houmark-Nielsen et al., 2006).

Eem Enhed

Enheden fra Eem består af olivengråt, siltet ler, sandet silt og fint sand med sandlinser, skaller og skalfragmenter aflejret i et marint miljø. Eemaflejringerne er 10-15 m tykke mod vest (Konradi, Larsen & Sørensen, 2005; Larsen & Andersen, 2005), omkring tykke 5-10 m i den vestlige Nordsø (Knudsen, 1985) og op til 7 m mod nord ved grænsen til Norge, hvor de består af fint-mellem sand med skaller (Konradi, 2003, 2004b). Der er dermed tale om en udbredelse over store del af Nordsøen. Stedvis starter Eem perioden med ferskvandsaflejringer, som består af tørv og planterester.

Det danske landområdes kyst var stærkt forskåret i gennem Eem tiden (Houmark-Nielsen et al., 2006), og fra Nordsøen var der passage gennem Kattegat og et bælt i det sydlige Jylland til Østersøen (Fig. 11).



Fig. 11. Fordeling af land og hav i Eem interglaciertiden (Fra Houmark-Nielsen et al., 2005, Illustration: Michael Houmark-Nielsen & Kurt Henrik Kjær). Legende: Grøn: Land, Blå: Hav, Rød: Skov, Gul Musling: Boreal marin fauna.

Saale Till Enhed

Gennem Saale istiden var hele Danmark og Nordsøen dækket af gletschere, der bl.a. kom fra det Baltiske område. Saale gletscherne har glacialtektonisk deformeret Kvartære og Miocæne aflejringer i mindst to komplekser: I Fanø Bugt (Andersen, 2004) og i Ydre Horns Rev (Jensen et al., 2008). Hvis forstyrrelserne ved Horn Rev kan tilskrives det sidste Saale fremstød, Warthe fremstødet, vil israndslinien ligge længere ude i Nordsøen end foreslået af Houmark-Nielsen (2007) (se fig. 12). Sandede og lerede tillaflejringer med grus, sten og

blokke fra Saale kendes således fra Horns Rev området (Larsen, 2003; Larsen & Andersen, 2006; Jensen et al., 2008) og videre mod nord op ad Jyllands Vestkyst, hvor forlængelsen af Saale bakkeøerne er fundet mindst 10 km mod vest ud i Vesterhavet (Leth et al., 2001; Anthony, 2001; Leth, 2003). I disse bakkeøer træffes både till og smeltevandsaflejringer.

Saale Smeltevands Enhed: sand, grus, sten og ler
(Opdeles eventuelt i flere enheder)

Smeltevandsaflejringer fra Saale findes ofte i kanaler og dale skåret ned i Saale tillaflejringerne. De består af mellem til grovkornet sand og grus samt undertiden af finkornet og siltet sand og siltlag. Disse kan indeholde glimmer og plantefragmenter ligesom på bakkeøerne i Vestjylland (Jensen et al., 2008). Langs vestkysten træffes også sand, grus og ler fra Saale (Leth et al., 2001, Anthony, 2001).

Saale Marin Enhed: Sand

Fladevandede glaciomarine aflejringer findes i den vestlige Nordsø i form af kvarts sand. Aflejringerne er influeret af smeltevand fra smeltende gletschere (Knudsen, 1985; Pedersen, 1995a,b).

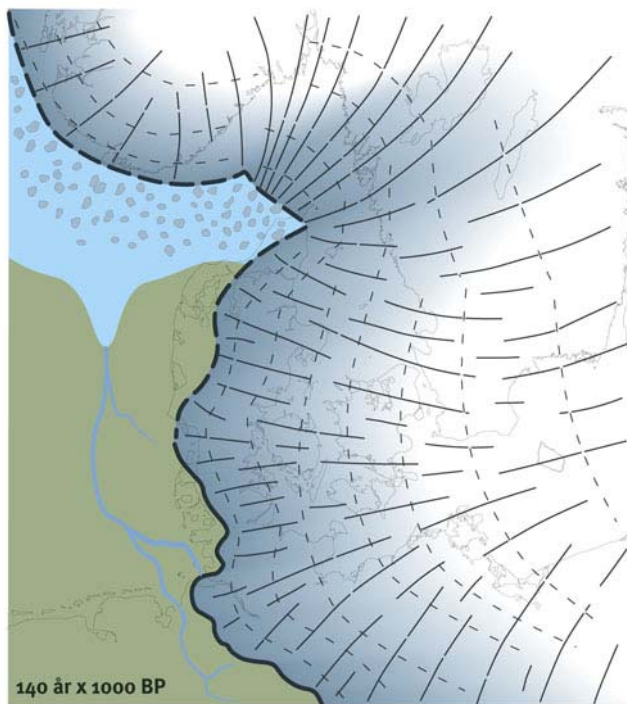


Fig. 12. Forholdene i Danmark og den nære del af Nordsøen i slutningen af Saale istiden, (Fra Houmark- Nielsen et al., 2005; Illustration: Michael Houmark- Nielsen og Kurt Henrik KJær). Legende: Grøn. Land, Blå: Hav med isbjerger, Hvid: is.

Sen Elster - Holstein Enhed

Enheden fra Sen- Elster - Holstein består af op til 11 m tykke marine aflejringer ved Horns Rev (Jensen et al., 2008, GEO, 2006). Lagene er mørkegrå og har et indhold af marine skaller og sort organisk materiale. Der er tale om siltet sand, leret og sandet silt og meget siltet, sandet til fedt ler.

Den danske kystzone var i Sen Elster- Holstein stærkt indskåret med forbindelser til Østersøen (Houmark-Nielsen et al., 2006). Forholdene i den øvrige del af Nordsøen er i øvrigt dårligt belyst, og Holstein er ikke påvist andre steder (Knudsen, 1985; Pedersen, 1995a,b).

Elster Till Enhed og Smeltevands Enhed: sand, grus, sten og ler (Opdeles eventuelt i flere enheder)

Fra Elster istiden, hvor de store gletschere fra øst nåede helt ud til at dække over den danske del af Nordsøen, kendes stedvis til aflejringer i Nordsøen. I forbindelse med svaghedszoner i de prækvartære lag dannedes dale og i Elster istiden blev disse uddybet. Dalene er med til at præge landskabet i Nordsøen (Huuse & Lykke-Andersen, 2000). Elster till kendes fra Horns Rev området (Jensen et al., 2008). Smeltevandssand og grus er truffet i dalene. I Sen Elster, hvor isen smeltede, dannedes talrige søbassiner, hvor der blev aflejret tykke lag af issøler.

4. Kortlægning

4.1 Bathymetri - kortlægning

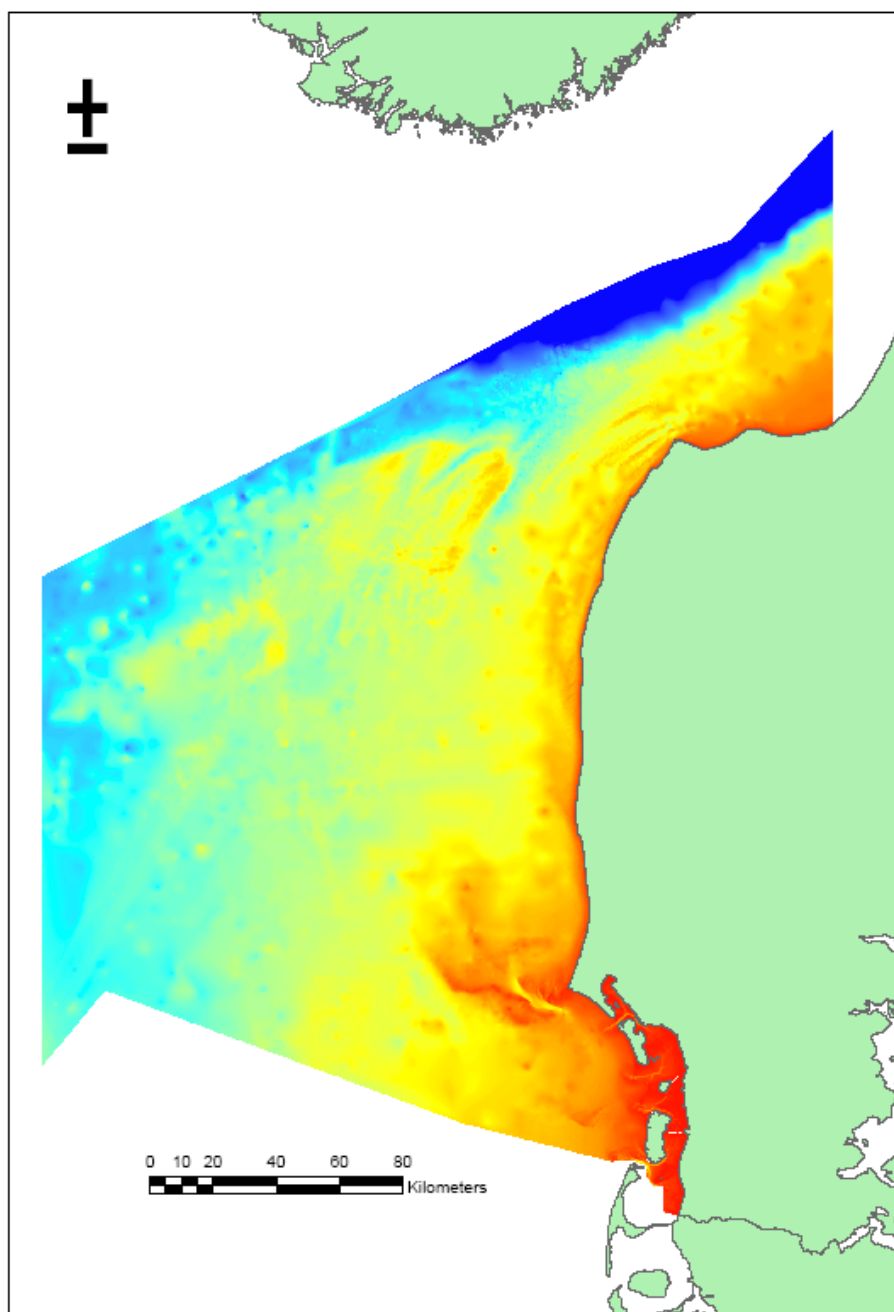


Fig. 13. Bathymetri ud til 6° Ø. Legende: Rød: laveste vanddybde, mørke blå: dybeste vanddybde. (Fra Farvandsvæsenet).

De generelle dybdeforhold og bundtopografi kan ses på Søkortene fra Kort og Matrikelstyrelsen (1980, 1989, 1990a, 1990b) i målestoksforhold 1:750.000 og 1:360.000 samt på andre kort over specielle områder i andre målestoksforhold (Blåvandshuk-Fanø, Jyllands Vestkyst, Horns Rev, Grådyb, Lister Dyb, Ringkøbing Fjord). På fig. 13 vises en nyere opmåling foretaget og fremstillet af Farvandsvæsenet (undtagen de vestligste dele af Nordsøen). På kortet ses de højere liggende rev: Horns Rev (4-15 m's dybde, men gennemskåret af kanaler til 30 m's dybde) og Jyske Rev (14-40 m's dybde, men præget af rygge og kanaler), men også andre fladvandede områder et stykke fra kysten er iøjefaldende (f.eks. Vejers Flak på 10-15 m's dybde). Vest for 6° Ø når havdybden ned til mere end 250 m, mens Dogger Bankens nordøst ende, Tail End ligger mellem 20 og 60 m's dybde. I Skagerrak nås de største havdybder ved grænsen til norsk område på ca. 130 m's dybde.

4.2 Havbundssedimenter - kortlægning

Der er i forbindelse med en række projekter i Nordsøen blevet udarbejdet forskellige typer af sedimentkort over de trufne aflejringer. Der er ikke tale om en systematisk kortlægning, som kendes fra f.eks. England og Holland, hvor der er udgivet to kortblade i 1:250.000 for hvert kortområde: et Holocæn kort for de overfladenære lag og et glacial kort for de lag, der ligger under de Holocæne. (Jeffery et al., 1988; Jeffery et al., 1989, Laban et al., 1995). De hidtidige danske resultater er indtegnet på havbundssedimentkortet i 1:500.000 (Fig. 1) eller er udgivet som separate delkort (Figs. 16, 17, 18, 19). Inddeling i sedimenttyper har for disse kort fulgt de samme retningslinier.

Et havbundssediment kort i målestoksforhold 1: 5.760.000 er publiceret af Mærsk Olie og Gas AS, (2005) på basis af ICES Oceanographic database. Kortet viser dominans af sand i det mest af Nordsøen med større områder med meget fint sand og siltet sand centralt over Central Graven. Dette er ikke helt i overensstemmelse med et andet havbundssedimentkort over Mærsk's aktivitetssområder i målestoksforhold 1:1.100.000, der næsten udelukkende viser fint sand (Mærsk Olie og Gas AS, 2005).

4.3 Marine habitater - kortlægning

En anden måde at kortlægge og klassificere havbundssedimenterne på er efter Habitatsdirektivets naturtyper (Fig. 14). Der er kortlagt de tre marine naturtyper i Leth (2005):

a. Sandbanker med lavvandet vedvarende dække af havvand, hvor havdybden sjældent overstiger 20 m (Natura 2000 code 1110).

Bankerne består overvejende af sand mellem 0,06 mm og 2,0 mm og er blevet kortlagt baseret på akustiske data og få sedimentprøver. Definitionen af sandbanker har været indgående diskuteret i forhold udpegning af denne type i Nordsøen (se nedenfor, Gravesen, 2006).

Sandaflejringer dækker store områder i Nordsøen og sandbanker er kortlagt både langs vestkysten af Jylland og på dybere vand.

b. Rev i form af stenede eller biogene formationer som hæver sig fra havbunden (Natura 2000 code 1170).

Danske hårdbundsaflejringer med residuallag i form af sten og blokke danner baggrunden for denne type i dansk Nordsø (moræneaflejringer, prækvartære sedimenter). Hårdbundsaflejringer med muligheder for stenrev træffes især i den nordlige del af Nordsøen: Lille Fisker Banke, Jyske Rev og Skagerrak.

c. Undersøiske formationer forårsaget af udstrømmende gas (boblerev)(Natura 2000 code 1180). Områder med udstrømmende gas giver ophav til boblerev og pockmarks. Disse typer tolkes ud fra side scan sonar data og oplysninger fra lokale fiskere, men kan i øvrigt være vanskelige at lokalisere. Et større område med boblerev er kortlagt på Lille Fisker Banke. Kalkcementerede sandstenssøjler/boblerev er fundet i Skagerrak, mens større områder med udsivende methangas også er kortlagt i området (Laier et al., 2005, Laier & Jensen, 2007).

Desuden findes yderligere en type beskrevet i Jensen (2000):

d. Mudder og sandflader, der er blottet ved ebbe (Natura 2000 code 1140). Denne type findes veludviklet i Vadehavsområdet.

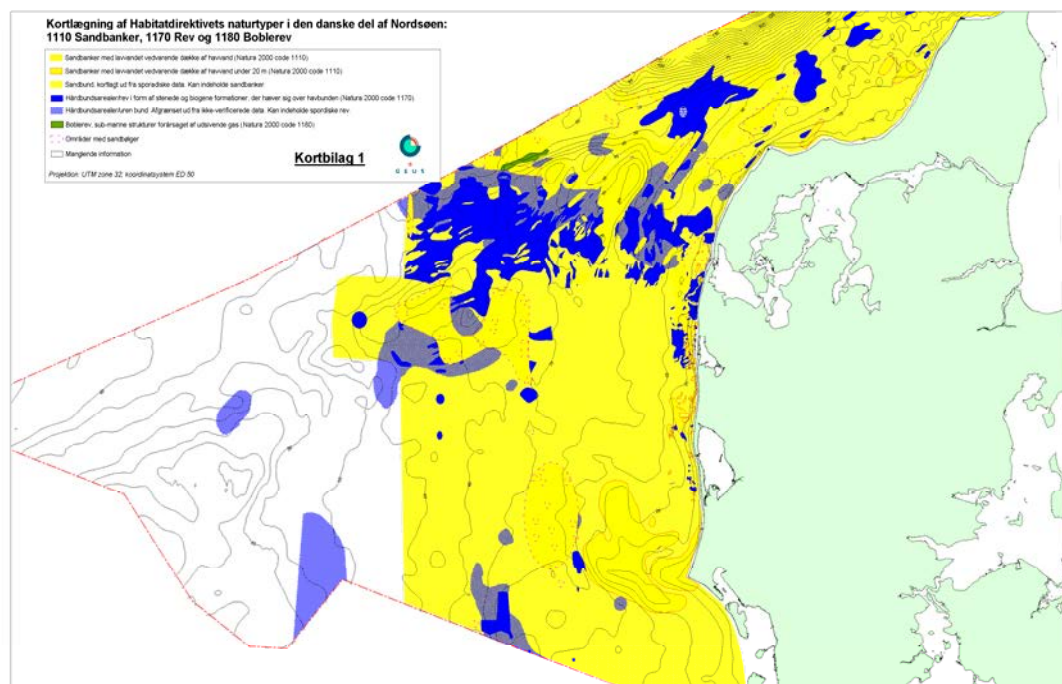


Fig.14. Kort over Habitatsdirektivets naturtyper i den østlige del af Nordsøen (Fra Leth, 2005).

De udlagte habitatsområder i det danske havområde ses på fig. 15. I Nordsøen er der 6 områder udenfor kystlinien (samt Nissum Bredning og Ringkøbing Fjord), men der blev i 2008 foreslået 5 nye områder: Nord for Skagens odde (sandbanker), Store Rev (Stenrev, 4 boblerev), Gule Rev (Stenrev), Lille Fisker banke (Stenrev) og Thyborøn stenvolde (Sten-

rev). Desuden er et fuglebeskyttelses-område syd for Horns Rev (Sydlig Nordsø) foreslået udvidet til at også at være habitatsområde.

I forbindelse med udpegning af Natura 2000 habitaterne i den danske Nordsø er især hovedtypen 1110 Sandbanker's definition blevet debatteret. I forbindelse med de geologiske kortlægninger er det almindeligvis nedenstående definition som anvendes:

Sandbanker

Definition af sandbanker i indenfor code 1110 frembyder en del problemer. De sandbund-former, som findes på havbunden, indgår normalt i et "klassifikationssystem", der bl.a. betinges af et samspil mellem materialets kornstørrelse og de hydrodynamiske forhold, formerne er dannet under. Langt hen af vejen er der etableret en klassifikation, som accepteres af geologer og geografer i både Danmark, Tyskland, Holland og England (og andre lande). Betegnelsen for de forskellige bundformer kan variere, men typerne er i øvrigt konsistente. Definitionen af bundformerne er uafhængig af den bund, som de dannes på.

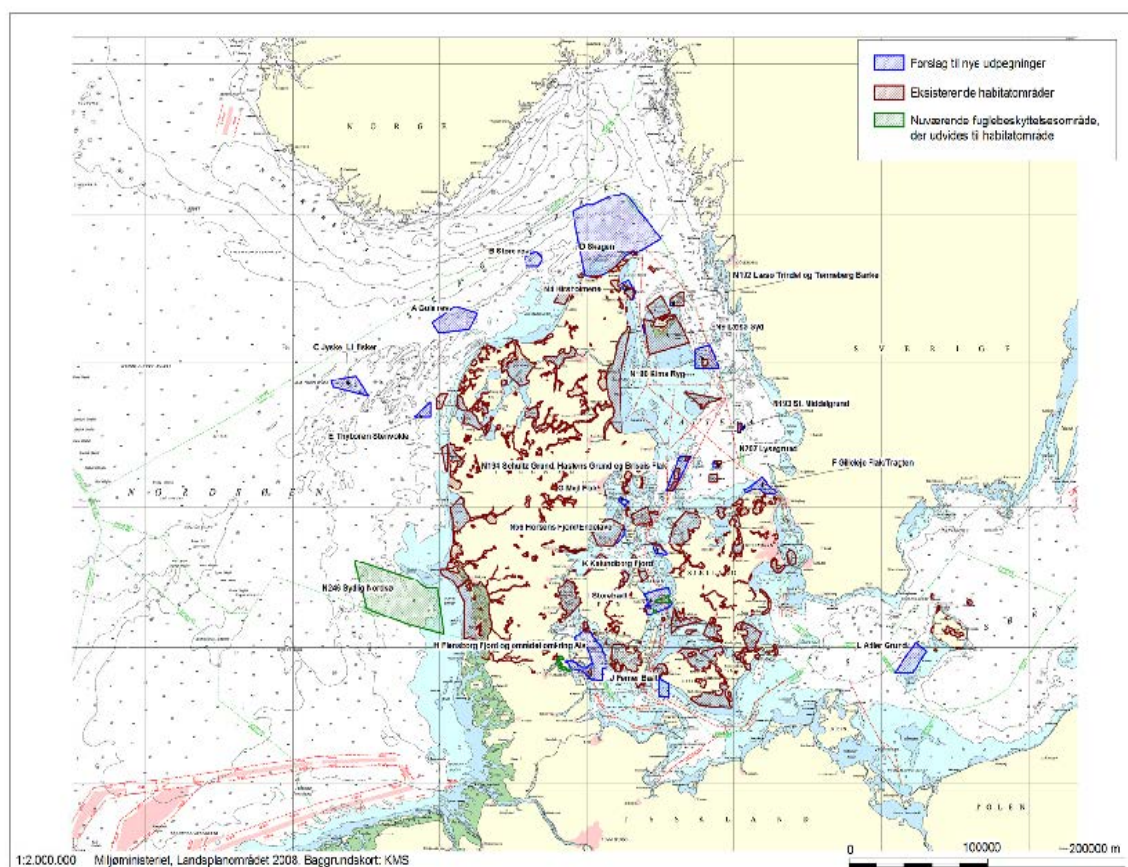


Fig. 15. Kort som viser: Forslag til nye habitatsområder, de udlagte områder og et fugleområde, der ønskes udpeget til habitatsområde. (Fra By- og Landskabsstyrelsens Hjemmeside, 2008).

Ifølge Cameron et al., (1992) kan de opdeles i følgende store former, som alle findes på engelsk område: 1. Sand ribbons, 2. Sandbanks, 3. Sand waves:

1. Sand ribbons er aflange former, der ligger parallelt eller subparallelt med den dominerende tidevandsstrøm, og de kan være op til adskillige km lange og ret brede, men de har en tykkelse på kun få meter. De kan være opbygget af sandwaves.
2. Sandbanks er også aflange former, og de er de største bundformer på havbunden. De er også parallelle eller subparallelle med den dominerende tidevandsstrøm. Sandbankerne ligger ofte som rygge parallelle med hinanden. Der er eksempler på, at de kan være op til 42 m tykke og 50 km lange. De kan være opbygget af sandwaves.
3. Den mindste type er sandwaves, som findes over store dele Nordsøen, og der er registreret højder på mellem 4.5 og 16 m, og de kan have en længde på mellem 50 og 500 m. Det er bundformer med længste udtrækning vinkelret på strømmen. De største former er ofte dækket af mindre former som ribber.

Ud over disse tre store former kan der i alle miljøer findes mindre ribbeformer (megaribber og bølgeribber), ligesom der er områder med sand uden bundformer og strukturer (se også Kuijpers et al., 1993; Leth, 1996; Anthony & Leth, 2002).

4.4 Shallow marine gasforekomster - Kortlægning

Forekomst af gas (methan o.a) i de marine sedimenter i Nordsøen er blevet kortlagt i forbindelse med kommercielle opgaver og i forbindelse med forskningsprojektet METROL. Ved sidstnævnte projekt er kortlagt forekomster i Skagerrak (Laier et al., 2007; Laier & Jensen, 2007).

4.5 Ældre geologiske aflejringer - Kortlægning

Kort over de prækvarter aflejringer på prækvarteroverfladen, som dækker Nordsøens indre dele er fremstillet af Håkansson & Pedersen (1992) i målestoksforhold 1: 500.000. Inden for de senere år er der udgivet to kort, som viser hele Nordsøens geologi i henholdsvis målestoksforhold 1: 4 mio. (Sigmond, 2002) og målestoksforhold 1:5 mio. (Asch, 2005), og GEUS har udarbejdet den danske del af Nordsøen.

I det meste af Nordsøen underlejres de kvartære aflejringer af neogene aflejringer (Oligocæn, Miocæn, Pliocæn) og palæogene aflejringer (Palæocæn (uden Danien) og Eocæn), men fra omkring Hanstholm og ind i Skagerrak er det Danien og Kridt aflejringer som træffes.

5. Beskrivelse af områder

Beskrivelsen behandler sedimentsammensætningen på havbunden og delvis de kvartære lag et stykke ned. Desuden omtales områdernes råstofpotentiale samt kort og data set i lyset af mulighederne for udarbejdelse af et regionalt kort baseret på eksisterende data.

5.1 Ydre Nordsø, Store Fisker Banke og Dogger Banken

De ydre del af det danske område langs territorialgrænsen til Tyskland, Holland, England og Norge ind til omkring 5° Ø indeholder Dogger Bankens Tail End og Store Fisker Banke, som ligger over Central Graben.

Havbunden er dækket af op til omkring 5 m tykt marint holocænt fint, meget fint og siltet sand samt områder med silt og ler. Disse lag overlejrer op til 2 m tykke holocæne ferskvandaflejringer i form af heterolithisk ler, silt og sand med planterester og tørv. Stedvis er også registreret smeltevandssand og ler.

Særlig interesse for havbundsforholdene og de kvartære lag er rettet mod Dogger Banken, hvorfor en lidt længere beskrivelse følger nedenfor.

Dogger Banken

Dogger Banken ligger i den vestlige og centrale del af Nordsøen (mellem 55° og 56° N og mellem 4° og 5° Ø) som et langstrakt, nordøst-sydvest orienteret og pilespidsformet platformråde på omkring 30-40 m's vanddybde, som antages at være afslutningen på et højdeområde, der strækker sig fra engelsk område gennem hollandsk og tysk område til dansk område. Det er højtliggende ler, som danner kernen og afgrænsningen af Dogger Banken.

Udenfor dansk område ligger en del af højdeområdet på mindre end 30 meters havdybde. Det danske område er ikke benævnt Dogger Banken på det danske søkort: Nordsøen, midterste del, 1:750.000, men på tysk område hedder den nordøstlige ende over 30 m for Dogger Tail End, og på dette sted lukker 30 m dybdekurven.

Den danske lagfølge på Dogger Banken består af følgende (Gravesen, 2006; Gravesen et al., 2008):

Havbunden og de øverste lag består af Holocænt sand med grus i tykkelser fra 1,5 -12 m, som under havbunden træffes mellem kote – 37 m og - 50 m. I dele af området er sandet finkornet, leret og siltholdigt, og det indeholder marine skaller og planterester. Andre steder er sandet fin- mellemkornet med siltlinser og grus. I mindre dele af området træffes desuden mudder og gytjeaflejringer især i den nordligste del. Mange, forholdsvis dybe begravede kanaler eller dale findes nord og syd for det højtliggende område, men kun få af dem skærer ind i platformen. Dalene og kanalerne er nederst fyldt med ler, men øverst af sandede smeltevandsaflejringer samt tørv og gytjelag fra Sen Weichsel og Holocæn.

Under sandaflejringerne træffes mellem kote – 40 m og -74 m leraflejringer, som er 15 – 25 m tykke. De består overvejende af stenfrit ler med siltstriber samt af ler med sten og grus. Lerlagene mod øst og de nederste lag mod vest er for størstedelen dannet i en isdæmmet issø under Weichsel isens smeltning. Mod den nordvestlige flanke ved 40 m's dybde be-

står de øverste lag af "Yoldia" ler, som er dannet i havet samtidig med smeltningen af Sen Weichsel isen.

Nederst under kote – 74 m træffes op til mere end 100 m tykke sand og grussmelte-vandslag med enkelte silt og lerlag, som kan anses for at være dannet i forbindelse med afsmeltning af den udbredte iskappe i Saale istiden.

De massive leraflejringer kontrollerer stort set morfologien og afgrænsningen af det højtliggende område, fordi de former en højtliggende kerne, hvorpå og omkring det postglaciale sand er aflejret.

Den afgrænsede lerforekomst tyder på, at den primært er dannet i en sø, der var omgrænset af gletscheris, men som senere blev oversvømmet af havet. Det finkornede og stive ler er vanskeligt at erodere i, hvorfor lerplatformens form stort set har kunnet bevares gennem den postglaciale periode, hvor havniveauet har ændret sig flere gange.

Der er ikke foretaget kortlægning af råstoffer i den ydre Nordsø, hvor der er havdybder, der gør indvinding uinteressant, ligesom den lange afstand til land er en begrænsning. Forhandlinger om en mulig udpegning af et habitatsområde på Dogger Banken pågår stadig i EU regi.

Kort – og datadækning

For dette område er der ikke fremstillet et samlet havbundskort, men for de områder hvor der er aktiviteter i forhold olieplatforme e.a., er der ofte foretaget kortlægning af overfladesedimenterne (se f.eks. Mærsk Olie og Gas AS, 2005). Der findes også korte boringer, som viser de kvartære lag ned til 5-10 m underhavbunden samt dybere boringer, olie-gas boringer og forskningsboringer med oplysninger om store dele af den kvartære lagserie (Fig.5). Desuden findes ofte tolket shallow seismik og side scan soner data i aktivitetssområderne samt store mængder dybdeseismik.

Vurderingen er, at der kan fremstilles et meget foreløbigt regionalt havbundskort på grundlag af disse data, hvor der tages forbehold for datadækningen (i en tekst).

5.2 Centrale Nordsø

Den centrale del af Nordsøen, som ligger mellem 5° Ø og 7-8° Ø, dog fraregnet Jyske Rev, Lille Fisker Banke og Horns Rev, som rækker ud fra Jyllands Vestkyst, udmærker sig ved at have en dårlig datadækning. Hidtil har det overvejende været forskningsundersøgelser og anlægsundersøgelser, som har ydet data til dette område (både geofysik og boringer). Fordelingen af overfladesedimenter har været vurderet (og baseret på undersøgelser) af en række forfattere (se f.eks. Eisma, 1981; Wirth & Wiesen, 1988), som peger på, at der kan skelnes mellem tre facies (på dansk område): mudder facies i Skagerrak, blandet muddersand facies i den centrale Nordsø og sand facies i resten af området.

Der er ikke hidtil været efterforskning af råstoffer i området, hvorfor potentialet ikke er kendt.

Habitatsudpegninger i dette område er endnu ikke sket (fig. 15).

Kort – og datadækning

Der er ikke fremstillet kort for denne del af Nordsøen. Datadækningen er ringe. De seismiske data, der findes, er indsamlet i et åbent net, og boringsdata findes overvejende i form af traceer i forbindelse med olie- gas ledningen fra Central Graben til Jylland (se fig. 5).

Området mangler detaljerede undersøgelser for at vurdere råstofpotentialet.

Vurderingen er, at fremstilling af et regionalt havbundskort i dette område må baseres på samtolkning af geologi og bathymetri med klargøring af usikkerhederne.

5.3 Skagerrak

Skagerrak ligger øst for 8° Ø og nord for 57° N op til Skagen, og området er karakteriseret ved den relativt store havdybde mod grænsen til Norsk område, men med mere fladvandede områder langs kysten fra Hanstholm til Skagen. Holocæne sandsedimenter dominerer på havbunden, især finkornede, men glaciæle hårbundssedimenter og restaflejringer ("lag") i form af moræneler og sten (stenrev) forekommer også i større i områder (Fig. 1). Især på Gule Rev og Store Rev findes stenrev. Større sandbanker bestående af fin-mellemkornet sand er identificeret over området som både transverse former (store og små ribber samt banker) og longitudinale former (sand ribbons), hvor de store sand banker forekommer med megaribber på toppen (Kuijpers, Werner & Rumohr, 1993; Leth, 1996).

De kvartære aflejrings tykkelse varierer mellem 75 m og 160 m (van Weering, Rumohr & Liebezeit, 1993), men er i de dybere dele tyndere og i den østlige del stedvis helt fraværende på havbunden, hvor Mesozoiske sedimenter stedvis træffes.

Området er kortlagt med hensyn til forekomst af shallow methan gas i de marine sedimenter, og boblerev er desuden også påvist.

I store dele af Skagerrak er der ingen råstofinteresser på grund af havdybden og sedimenternes kornstørrelse. I Jammer Bugten ud for Vigsø er der råstofmuligheder mht sand, grus og ral. På Skagen Nordstrand er indtil nu indvundet fint sand lige uden for kystlinien indenfor en 10 m bred zone af kystprofilet. Sandet bruges til kystsikring.

Kort - og datadækning

For selve Skagerrak indgår havbundssedimenttemaet i forbindelse med havbundssedimentkortet kortet i 1:500.000 (Fig. 1). Der findes et åbent net af seismiske linier og ganske få boringer (figs. 3, 5).

Der mangler detaljerede råstofundersøgelser på de mere lavvandede områder udenfor habitatsområderne for at kunne vurdere potentialet.

Vurderingen er, at der kan udarbejdes et justeret regionalt havbundskort ud fra de eksisterende data, hvis både nye data fra habitatsundersøgelser og gasundersøgelser inddrages.

5.4 Jyske Rev og Lille Fisker Banke

Jyske Rev og Lille Fisker Banke komplekserne ligger omkring 57° N og 8° N.

Den geologiske opbygning af Jyske Rev viser flere områder med en parallel geologisk udviklingshistorie. Morænelerområder (rygge) er kernen i området, omkring hvilke grovkornede Holocæne aflejringer er dannet. I forbindelse med havspejlsændringerne siden istiden er grove materialer aflejret som kystdannelser uden for moræneområderne, der har fungeret som kildområder. De marine aflejringer, især oddedannelser, findes i dag akkumuleret på vanddybder mellem –21 m og ca. –30 m og omkring – 40 m. Ud fra en vurdering af de forhåndenværende sedimentprøver er der tale om kvalitetsmaterialer med et særdeles højt indhold af grus og ral (20-80%). Der er ikke foretaget petrografiske og andre kvalitetsmæssige analyser af ressourcen, men generelt er forekomsten karakteriseret som velsorteret med højt kvartsindhold og et lille indhold af finkornet materiale.

Der er velbegrundede forventninger til at finde en række lignende områder med store forekomster af grus og ral. Som grundlag for en samlet vurdering af Jyske Revs råstofpotentiale mht. tilslagsmaterialer er der foretaget en beregning af arealer, hvor havbunden er karakteriseret af grusede materialer indenfor vanddybder mindre end 40 m. En summering af disse arealer giver et samlet areal af grusbund på knap 500 km². Antages en minimumstykkelser af gruslaget på 1 m indenfor disse områder findes der potentielt i størrelsesordenen 500 mio. m³ tilslagsmaterialer i området, mens der i udlagte områder er 20-40 mio. m³.

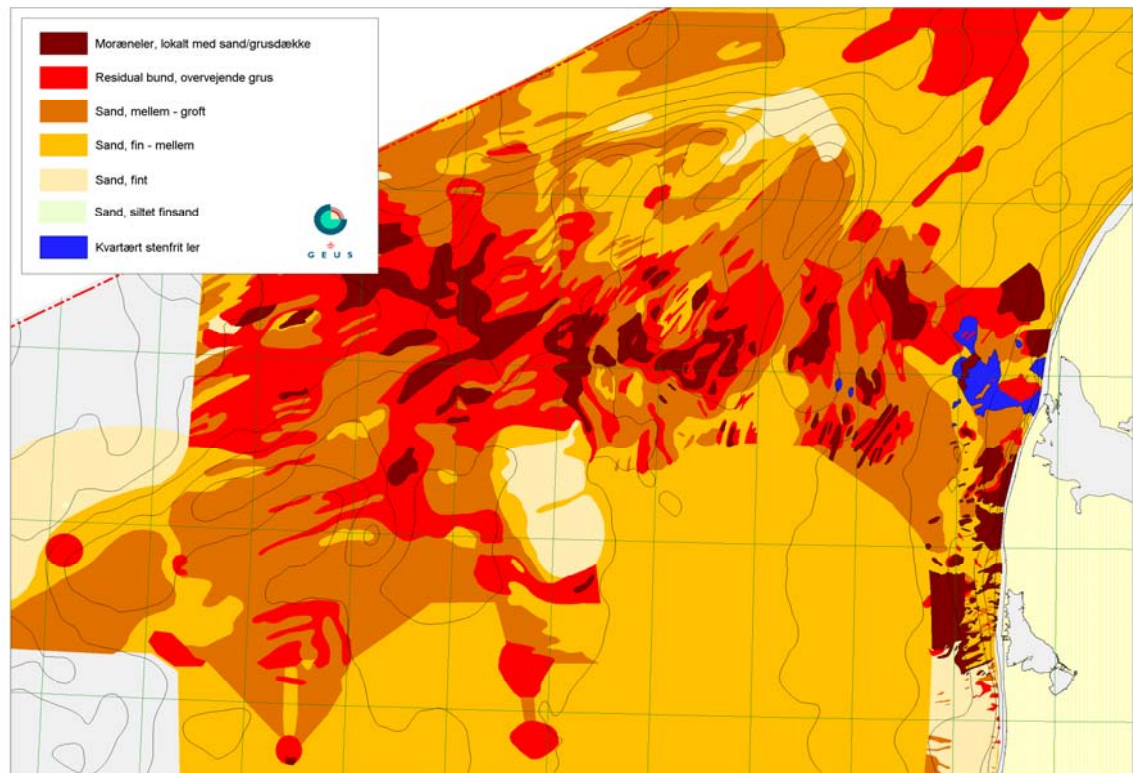


Fig. 16. Geologisk kort over Jyske Rev, Lille Fiskerbanke og omliggende områder. (Ca. målestoksforhold 1: 1 mio.).

En del områder er ikke råstofmæssigt interessante pga. kvalitet, vanddybde eller andet (Leth, 1996, Leth 2003). Råstofpotentialet i området blev således vurderet i 2000 (Leth, 2000a, 2000b).

Kort- og datadækning

Det fremstillede kort for Jyske Rev og Lille Fisker Banke (Fig. 16) er baseret på både et tæt seismisk net (Jyske Rev) og et mere åbent net (Lille Fisker Banke)(Figs. 3, 4). Der eksisterer få borer, men en del grabprøver og prøvesugninger (figs. 4, 5).

Nye mere detaljerede undersøgelser giver bedre råstofvurderinger, men størstedelen af området mangler sådanne undersøgelser.

Vurderingen er, at det eksisterende kort skal justeres for at undgå i et regionalt kort. Der skal bl.a. andet tages stilling til hvilke enheder der skal medtages på kortet, men dette gælder for alle de kort som forligger (Figs. 1, 16, 17, 18, 19).

5.5 Vestkysten mellem Lodbjerg og Blåvandshuk

Området ligger mellem 57° N og Blåvandshuk og ud til vest for 8° Ø.

De recente sand (det mobile sand) er detaljeret kortlagt og vist på fig.17. Der store bankestrukturer, som er opbygget af sand og grus fordeler sig uens i området, og i store områder er der mindre end 0,5 m sand. Tykkelsen af bankerne kan være helt op til 6 m. De største strukturer er fasthæftet på den Jyske kyst (Anthony & Leth, 2002).

Under det mobile sand findes andre holocæne aflejringer i form af marint sand og grus med minder lerindhold samt holocænt silt og ler (Herunder Agger leret)(Fig. 18). Desuden træffes glaciale smeltevandssand, grus og ler aflejringer bl.a. som forsættelsen af Weichsel hedesletterne og glacial leret og sandet moræneler fra Saale er en fortsættelse af bakkeøerne.

Endelig er også truffet marine Eem sedimenter og Miocænt kvartssand og glimmerler samt brunkul

Den geologiske kortlægning foretaget mellem 1998 og 2001 påviste følgende ressourcer: Mellem Lodbjerg og Nymindegab er der fra kysten og 10 km ud mod vest vurderet at være 500 mio. m³ sand, hvoraf de 100 mio. m³ antagelig umiddelbart kan bruges til kystfordring. Mellem Nymindegab og Horns Rev antages der mellem 10 til 20 km fra kysten at være 1-2 mia. km³ sand (Kystdirektoratet, 2001).

Kort- og datadækning

De to geologiske kort for området er fremstillet ud fra et tæt net af seismiske data og side scan sonar data (fig.3), og relativt mange borer og grabprøver (fig. 5).

Råstofpotentialet er vurderet af GEUS og Kystdirektoratet baseret på de detaljerede undersøgelser.

Vurderingen er, at kortene med justeringer kan indgå i et regionalt havbundskort. En del oplysninger indgår allerede i havbundskortet i 1:500.000 (fig. 1).

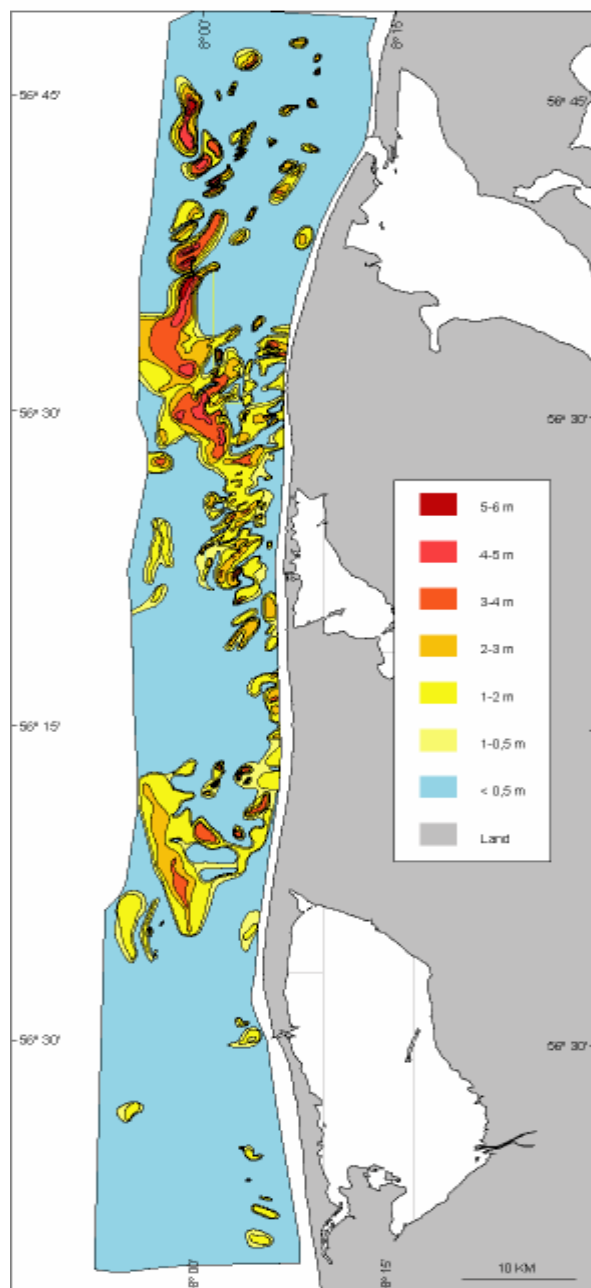


Fig. 17. Kort over det mobile sand ud for den Jyllands vestkyst mellem Lodbjerg og Nymindegab (Fra Leth et al., 2001).

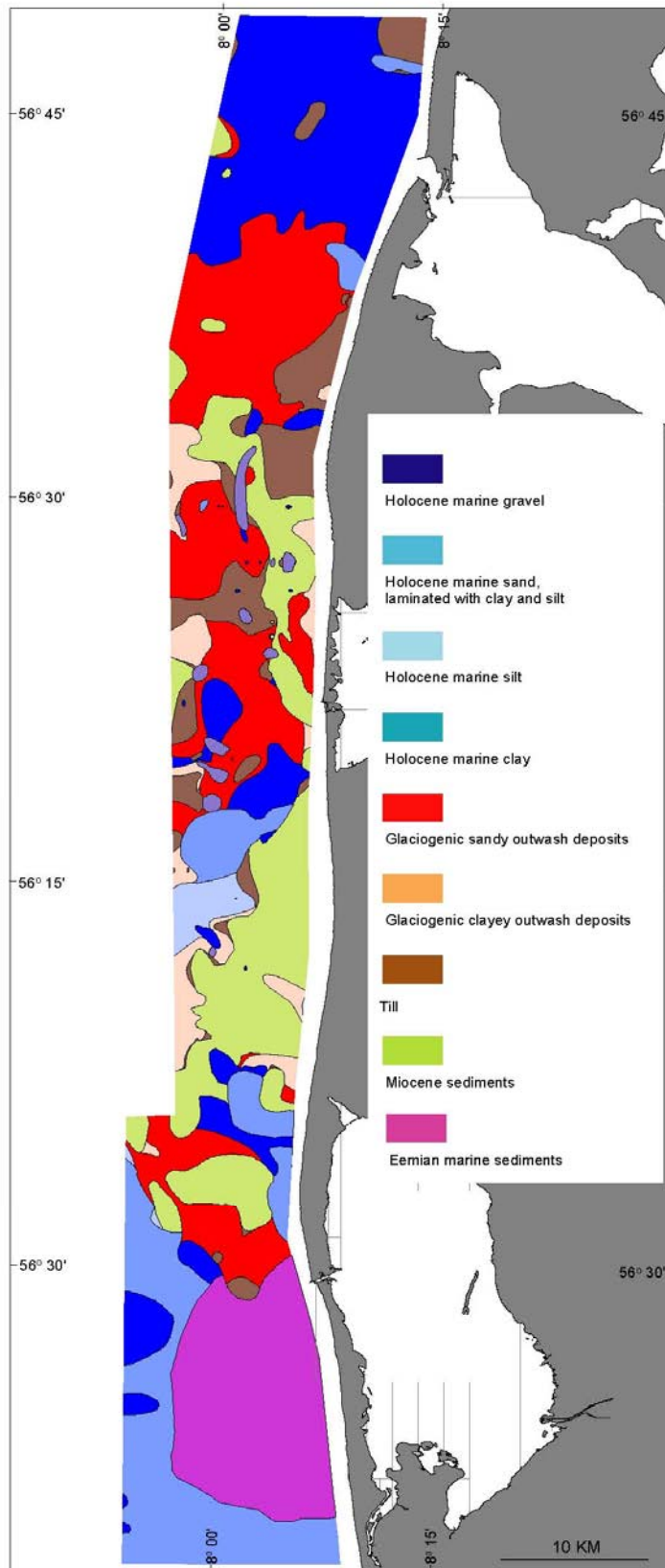


Fig . 18. Geologisk kort over lagene under det mobile sand ud for Jyllands vestkyst mellem Lodbjerg og Nymindegab (Fra Leth et al., 2001).

5.6 Horns Rev

Området ligger vest for Blåvandshuk og ud til øst for 7° Ø.

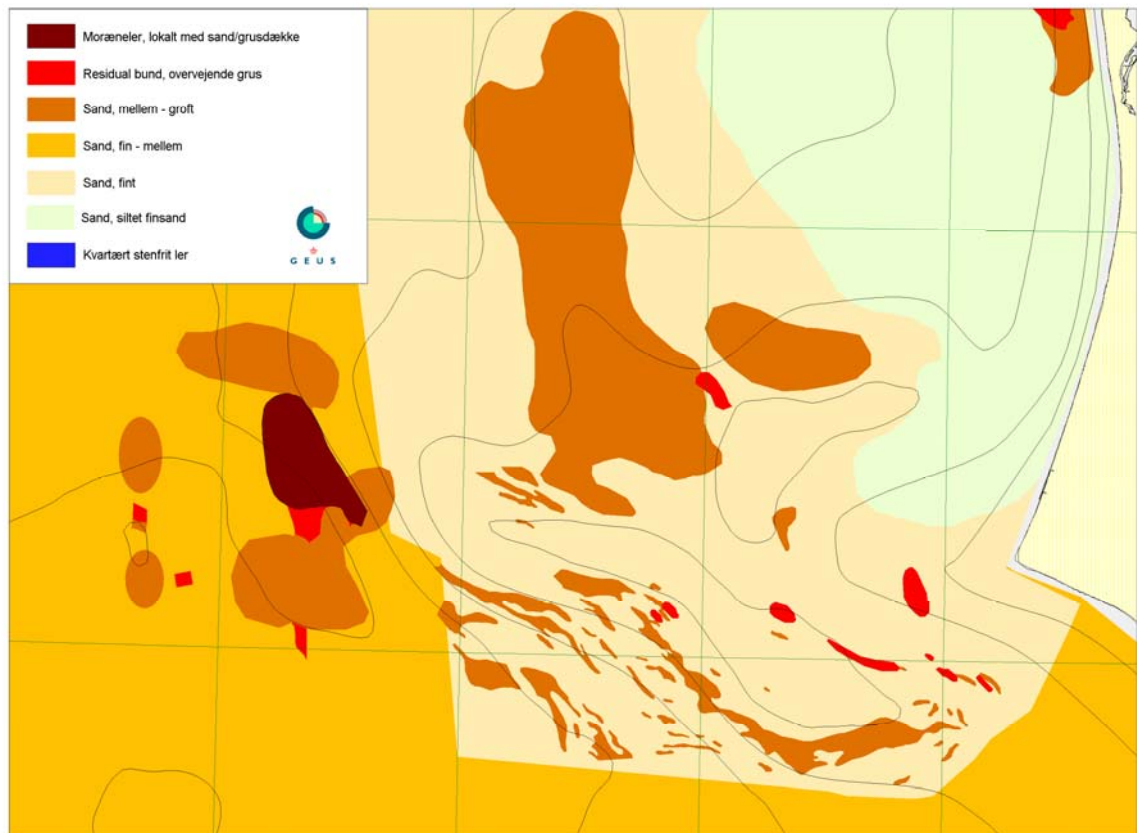


Fig. 19. Geologisk kort over de geologiske lag under det mobile sand omkring Horns Rev. (Ca. målestok 1: 500.000).

De geologiske forhold på Horn Rev er kendt fra en række undersøgelser angående råstoffer og vindmølle anlæg. Råstofforholdene i Horns rev området er beskrevet i en række rapporter (se i Jensen & Lomholt, 2006). I Jensen (1989) peges på, at de vigtigste råstofrelevante aflejringer består af to typer. Det glaciale bakkeøssand fra Saale, som stedvis er mellem-grovkornet og gruset, men som også har vist sig at være glacialtektonisk deformeret (Jensen et al., 2008), er den ene hovedtype. De overfladenære, men ældre (fossile) holocæne strandvolde og oddedannelser er den anden hovedtype, som findes i tykkelser i op til 6 m. Disse aflejringer består ofte af mellem-grovkornet sand med grus. I øvrigt er det meste holocæne sand finkornet. Derudover træffes till aflejringer fra Saale istiden i overfladen. Ressourcerne (spekulative) er vurderet til at have en minimum størrelse på 5 mio. m³ ral (materiale op til 300 mm) og 27 mio. m³ grus 2 (sand med 10 % grus og ral). Der er ikke foretaget yderligere råstofundersøgelser på Horns Rev, hvor et stort areal nu foreslås udlagt til Habitatområde (fig. 15), mens andre dele er optaget af vindmølleparker.

Kort- og datadækning

Det fremstillede havbundskort (fig. 19) er fremstillet ud fra et tæt net af seismiske data og side scan sonar data samt en del borer og grabprøver (fig. 5), og informationerne indgår

også i havbundskortet i 1:500.000 (fig. 1). Der er indsamlet yderligere informationer i området siden kortets fremstilling.

Området bliver nu anvendt til vindmølleparker og et større habitatsområde ventes udpeget, så yderligere råstofundersøgelser og indvinding vil kun kunne foregå i begrænsede områder.

Vurderingen er, at efter en justering vil kortet kunne indgå i et regionalt Nordsøkort.

5.7 Vadehavet

Området ligger øst for 8° Ø og fra Blåvandshuk og sydpå til den dansk-tyske grænse.

Aflejringerne på havbunden består i dette område af Holocænt sand, silt og ler. Aflejringerne er transporteret og aflejret under tidevandsforhold, og det er især de finkornede materialer, som findes på tidevandsflader og marsken. Kun i tidevandskanalerne findes fint til mellemkornet sand.

Data- og kortdækning

Området indgår i Havbundssedimentkortet i 1:500.000 (Fig. 1), og desuden foreligger andre overfladekort for de mest kystnære dele, som kan bidrage (Bartholdy personlig komm.). I den ydre del af området findes et åbent seismisk net (Fig. 3) og kun få borer (Fig. 5).

Råstofpotentialet er antagelig begrænset, men ikke undersøgt i detaljer.

Vurderingen er, at der kan fremstilles et regionalt havbundskort for dette område ved inddragelse af alle datatyper.

6. Kortlægning og undersøgelser i tilstødende lande omkring Nordsøen

England, Tyskland og Holland har som omtalt gennem en årrække gennemført en kortlægning på havområdet i målestoksforholdet 1: 250.000. Nordsøen er opdelt i kortblade, der måler 1° i nordlig (vertikal) retning (f.eks. fra 56 til 57° N) og 2° i østlig (horisontal retning) (f.eks. fra 2 til 4° Ø). Desuden har hvert kortblad et navn (f.eks. Dogger). Et kort dækker et område på 125 km (127,5 km) X 111,25 km d.v.s. ca. 14.000 km². Der er fremstillet kort, som viser havbundens sediment sammensætning (Sea Bed Sediments og Holocæn) samt kort, der viser de Pleistocæne lags sammensætning. Desuden er der ofte en række temakort placeret omkring det egentlige kort. England og Holland har sammen udgivet fælles kortblade i den sydlige del af Nordsøen (f.eks. Laban et al., 1995).

På de kortblade, hvor grænsen mellem Danmarks territorium og andre landes territorier befinder sig, er det danske område efterladt hvidt (f.eks. kortbladene Fisher og Dogger).

Landenes kortlægninger, som startede op helt tilbage i 1980'erne, er foregået ved hjælp af shallow geofysik, vibrocore borer og grabprøver ligesom eksisterende data fra forskningsprojekter og kommercielle opgaver er indgået. Der er ingen tvivl om, at England og Holland har haft stor gavn af deres samarbejde, bl.a. ved at løse geologiske problemer på tværs af landenes sektorgrænser.

På Dansk område vil en kortbladsinddeling i overensstemmelse med de andre landes medføre, at Nordsøen er dækket af 7 kortblade, hvoraf de 6 deles med andre lande. På disse 6 kortblade er der foretaget kortlægning af England på Fisker, England og Holland på Dogger, Holland og Tyskland på Tail End o.s.v.

Det vil ikke være realistisk at forestille sig en dansk kortlægning i samme omfang på grund af de store omkostninger til feltarbejde på havet. Det kunne overvejes at etablere et digitalt kortværk på grundlag af de 7 kortblade i 1:250.000, som suppleres op med informationer i takt med at disse indsamles i forbindelse med andre aktiviteter: Etablering af olieplatforme, anlægsarbejder, habitatsundersøgelser, og råstofundersøgelser. Kortværket kunne påbegyndes samtidig med udarbejdelse af havbundssedimentkortet i 1:500.000. Kortene skulle ikke publiceres før kvaliteten var acceptabelt, men de kunne bruges i planlægning og sagsbehandling under hensyntagen til datagrundlaget.

7. Perspektiver og fremtid

GEUS er for nuværende med i to projekter, som startes op i begyndelsen af eller medio 2009 bl.a. med det formål at sammenstille regionale havbundskort i Nordsøen. Projekterne er finansieret af EU Kommissionens Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries. Projekternes hovedprodukter vil være et havbundssedimentkort og et kort over marine landskaber, hvoraf det andet forventes baseret på det første.

Der forventes, at GEUS i 2009 foretager en dataindsamling i udvalgte del af Nordsøen. Med hensyn til mere detaljeret råstoftkortlægning i Nordsøen forventes det, at det nye vederlag, der blev vedtaget i den nye Råstoflov pr. maj 2009, vil skaffe øgede midler til, at GEUS kan kortlægge i større omfang.

Der er behov for en sammenstilling af de geologiske forhold i Nordsøen i 1:500.000/ 1:1 mio. ud fra eksisterende data, ligesom en mere detaljeret stratigrafisk opfattelse af de kvartære forhold i Nordsøen vil være hensigtsmæssig at have etableret for at løse fremtidige opgaver.

Derfor vil den første opgave med støtte fra EU være at fremstille:

Havbundens sedimentfordeling på kort (Sea Bed Map).

For at fremstille kortet skal der tages stilling til en række emner og udføres en gennemgang af eksisterende data:

1. Beslutning om kortenes indhold, sedimentklassifikation og legende (sammen med EU-partnere).
2. Beslutning om niveau for vidensgrundlag.
3. Gennemgang af eksisterende borer og sideløbende indlæsning af ikke-databaselagrede borer.
4. Gennemgang af data i eksisterende rapporter.
5. Gennemgang af eksisterende geofysiske data.(scannes).
6. Anvendelse af eksisterende tolkede profiler (profiler scannes, indlægges i GeoGraphix).
7. Indsamling af data fra andre lande (især Tyskland).
8. Gennemgang af publicerede artikler.

Sideløbende med disse aktiviteter kunne der etableres syv digitale kort i 1:250.000. som beskrevet i afsnit 6.

Kortlægningen vil levere informationer til:

- a. Etablering af det geologiske grundlag for kortlægning (EU-projekt) og behandling af habitaterne indenfor og udenfor EU Habitatsområderne.
- b. Det glaciære lag sammensætning i udvalgte områder eventuelt vist på temakort.
- c. Viden om råstoffer i de overfladenære lag (hvor relevant).
- d. Geologisk grundlag for anlægsopgaver: Vindmøller, rør og ledninger.

e. Forbedret viden om de kvartære aflejrings udbredelse, tykkelse, sammensætning, stratigrafi og alder.

8. Referencer

Andersen, L.T., 2004: The Fanø Bugt Glaciotectonic Thrust Fault Complex, Southeastern Danish North Sea. Ph.D. thesis. Danm og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2004/30, 143 sider.

Anthony, D., 2001: Seabed geology, Holocene development and sediment dynamics in the Danish coastal zone of the North Sea. Ph.D. thesis. Danm og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2001/121.

Anthony, D. & Leth, J.O., 2002: Large-scale bedforms, sediment distribution and sand mobility in the eastern North Sea off the Danish west coast. *Marine Geology* 182, side 247-263.

Asch, K., 2005: The 1:5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas. IGME 5000, BGR, Hannover 2005.

Behre, K.E., 2007: A new Holocene sea-level curve for the southern North Sea. *Boreas*, Vol. 36, side 82-102.

Bennike, O., Knudsen, K.L. & Pietrowski, J.A., 2009: Termen Kvartær er tilbage - undergrænsen defineret til 2,588 mio. år. *Geologisk Nyt*, nr. 3 juni 09, side 21-23.

Binzer, K. & Stockmarr, J., 1994: Geological map of Denmark. Pre-Quaternary surface topography of Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie 44, 10 sider + 2 kort.

Cameron, T.D.J., Schüttenhelm, R.T.E. and Laban, C., 1989: Middle and Upper Pleistocene and Holocene stratigraphy in the southern North Sea between 52° and 54° N, 2° to 4°E. In: Henriet, J.P. & Moor De G.(eds.): *The Quaternary and Tertiary geology of the Southern Bight, North Sea*. Ministry of Economic Affairs Belgian Geological Survey, side 119-135.

Cameron, T.D.J., Crosby, A., Balson, P.S., Jeffery, D.H., Lott, G.K., Bulat, J. and Harrison, D.J., 1992: *The Geology of the Southern North Sea, United Kingdom Offshore Regional Report*, British Geological Survey. 152 sider.

Czako, T., 2002: Sedimentological description of vibrocore samples, Central North Sea, Denmark. Blocks 5504/20, 5504/24, 5505/17 and 5505/21. Danm. og Grønl. Geol. Undres. Data Report, 5 sider + bilag.

Davis, R.A. Jr., Bartholdy, J. & Lykke-Andersen, H., 2001: Sedimentary depositional environments and Holocene geologic evolution of the northern Danish Wadden Sea. *Korean Society of Oceanography, Spec. Pub.* 2001, side 63-75.

Eisma, D., 1981: Supply and deposition of suspended matter in the North Sea. *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment* 5, side 415-428.

Fitch, S., Thomson, K. and Gaffney, V., 2005: Late Pleistocene and Holocene depositional systems and the palaeogeography of the Dogger Bank, North Sea. *Quaternary Research* 64, side 185-196.

Foged, N., 1987: The need for Quaternary geological knowledge in geotechnical engineering. *Boreas*, Vol. 16, side 419-424.

Fredningstyrelsen, 1982: Horns Rev. Ressourceundersøgelser Fase 1-4. Geoteknisk Rapport Nr. 2. Bind 1: Tekst, 38 sider + bilag.

Gatliff, R.W., Richards, P.C., Smith, K., Graham, C.C., McCormac, M., Smith, N.J.P., Long, D., Cameron, T.D.J., Evans, D., Stevenson, A.G., Bulat, J. and Ritchie, J.D., 1994: The geology of the central North Sea. United Kingdom Offshore Regional Report, British Geological Survey, 118 sider.

GEO, 2006: Horns Rev 2 Offshore Wind Farm Geotechnical investigations. Factial Report. Borings, CPT's and vibrocores. GEO project no. 29180.

Gravesen, P., 2006: Dogger banken i Nordsøen. Notat til Skov-og Naturstyrelsen. GEUS-notat nr. 10-NA-2006-4, 4 sider.

Gravesen, P., Czako, T. & Rasmussen, P., 2008: Geological description of vibrocores from the Rigs-3 site, Danish North Sea. *Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap.* 2008/45, 14 sider + bilag.

Haakonsson, E. & Pedersen, S.A.S., 1992): *Geologisk kort over den Danske Undergrund*. 1:500.000, Varv.

Hermansen, B. & Jensen, J.B., 2000: *Digitalt kort over havbundssedimenterne omkring Danmark 1:500.000*. *Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap.* 2000/68. + CD.

Houmark-Nielsen, M., 2007: Extent and age of Middle and Late Pleistocene glaciations and periglacial episodes in southern Jylland, Denmark. *Bull. Geol. Soc. Denmark* vol. 55, side 9-35.

Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. & Kjær, K.H., 2005: De seneste 150.000 år i Danmark. *Istidslandskabet og naturens udvikling*. *Geviden, Geologi og geografi* nr. 2, 2005, side 2-19.

Houmark-Nielsen, M., Knudsen, K.L. & Noe-Nygaard, N., 2006: 13. Istider og mellemistider. I: Larsen, G. (red.): *Naturen i Danmark*. *Geologien*, Gyldendal, side 255-302.

Huuse, M & Lykke-Andersen, H., 2000a: Overdeepened Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: morphology and origin. *Quaternary Science Reviews*, 19, side 1233-1253.

Huuse, M. & Lykke-Andersen, H., 2000b: Large-scale glaciotectonic thrust structures in the eastern North Sea. In: Maltman, A.J., Hubbard, B. & Hambrey, M.J. (eds.): *Deformation of Glacial Materials*. Geological Society, London, Special Publications 176, side 293-305.

Jeffery, D.H., Laban, C., Niessen, A.C.H.M., Schüttenhelm, R.T.E., 1988: Silver Well, Sheet 54° N – 02° E. Sea bed sediments and Holocene Geology. Scale 1:250.000. British Geological Survey & Rijks Geologische Dienst.

Jeffery, D.H., Frantsen, P., Laban, C & Schüttenhelm, R.T.E., 1989: Silver Well. Sheet 54 N-02 E. Quaternary Geology. Scale 1:250.000. British Geological Survey & Rijks Geologische Dienst.

Jensen, J.B., 1998: Evaluering af sand, grus og stenressourcer på det danske havområde. Del IV sammenfattende rapport. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 1998/129. 41 sider + bilag.

Jensen, J.B., 2000: Kortlægning af marine naturtyper i Danmark i forbindelse med EF-Habitatsdirektivet. Udført for Skov-og Naturstyrelsen. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2000/106, 31 sider + kortbilag + CD.

Jensen, J.B. & Lomholt, S., 2006: Råstoffer ved HR2 Vindmølleparken. Vurdering af mulige sand- og grusforekomster på Horns Rev. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2006/4, 16 sider

Jensen, J.B., Gravesen, P. & Lomholt, S., 2008: Geology of outer Horns Rev, Danish North Sea. Bull. Geol. Surv. of Denmark and Greenland, 15, side 41-44.

Knudsen, K.L., 1985: Foraminiferal stratigraphy of Quaternary deposits in the Roar, Skjold and Dan Fields, central North Sea. Boreas, Vol. 14, side 311-324.

Knudsen, K.L. & Asbjörnsdottir, L., 1991: Plio-Pleistocene foraminiferal stratigraphy and correlation in the Central North Sea. Marine Geology 101, side 113-124.

Konradi, P., 1996: Foraminiferal biostratigraphy of the post-mid-Miocene in the Danish Central Trough, North Sea. In: De Batist, M. & Jacobs, P. (eds.): *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*, Geological Society Special Publications 117, side 15-21

Konradi, P.B., 2000: Biostratigraphy and environment of the Holocene marine transgression in the Heliogoland Channel, North Sea. Bull. Geol. Soc. Denmark, vol 47, side 71-79.

Konradi, P., 2002a: Description of seven vibrocores from the Lille Fisker Banke area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002/38, 8 sider + bilag.

Konradi, P., 2002b: Review of Site Surveys, Store Fisker Banke area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002/66, 27 sider + bilag.

Konradi, P., 2003: Description of vibrocores from four well sites in the Danish North Sea. Geological description af vibrocores from NINI-4. SIRI-5 CECILIE-2 and JETTE-1 well sites, Store Fisker Banke area and northern Tail End area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders., Rap 2003/75, 18 sider + bilag.

Konradi, P., 2004a: Geological description of five vibrocores from the Hanne-1 Site, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2004/7, 6 sider + bilag.

Konradi, P., 2004b: Description of vibrocores from three well sites in the Danish North Sea. Geological description of vibrocores from the CECILIE-1 and CONNIE-1 well sites, from the FLOKI-1 well site and from the VANESSA-1 well site. Store Fiske Banke Area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2004/66, 11 sider + bilag.

Konradi, P., 2005: Cenozoic stratigraphy in the Danish North Sea Basin. Geologie en Mijnbouw 84, 2, side 109-111.

Konradi, P. & Czako, T., 2002a: Geological description of vibrocores from the Nini-3 site, Store Fisker Banke area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002/2, 10 sider + bilag.

Konradi, P. & Czako, T. 2002b: Geological description of five vibrocores from the South Pod Site, Store fisker Banke Area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002/41, 7 sider + bilag.

Konradi, P. & Czako, T., 2002c: Geological description of six vibrocores from the Hejre-1 site, Store Fiske Banke area, Danish North Sea. Danm.og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002/32, 7 sider + bilag.

Konradi, P., Larsen, B. & Sørensen, Aa.B., 2005: Marine Eemian in the Danish eastern North Sea. Quaternary International 133, side 21-31.

Kort og Matrikelstyrelsen, 1980: Skagerrak, 1:360.000, nr. 92, 5. udgave.

Kort og Matrikelstyrelsen, 1986: Nordsøen, nordlige del, 1:750.000, nr. 89, Int.-Chart 1041. 3. udgave.

Kort & Matrikelstyrelsen, 1990a: Nordsøen, midterste del, 1:750.000, nr. 90, Int.-Chart 1042. 3. Udgave.

Kort & Matrikelstyrelsen, 1990b: Nordsøen, sydlige del, 1:750.000, nr. 91, Int.- Chart 1043, 3.udgave.

Kuijpers, A., 1993: Supplerende seismiske undersøgelser i område 524 Horns Rev. Udført for Skov- og Naturstyrelsen. DGU Kunde rapport nr. 76, 18 sider + bilag.

Kuijpers, A., 1995: Late Quaternary sediment distribution in the DK Sector of the North Sea: Area 582 and 524, DGU Datadocumentation no. 13, 13 sider + bilag.

Kuijpers, A., Werner, F. & Rumohr, J., 1993: Sandwaves and other large-scale bedforms as indicators of non-tidal surge currents in the Skagerrak off Northern Denmark. *Marine Geology*, 111, side 209-221.

Kystdirektoratet, 2001: Kystdirektoratets program for Undersøgelser & Udvikling 1998-2001. Slutrapport, 36 sider.

Laban, C., van der Klugt, P.C.M. and Frantsen, P.J., 1995: Oyster Grounds. Kaartblad/Sheet 54° N- 04° E. Sea Bed Sediments & Holocene Geology. Rijks Geologische Dienst. 1:250.000 Series.

Laier, T. & Jensen, 2007: Shallow gas depth-contour map of the Skagerrak-western Baltic Sea region. *Geo-Mar Lett.*

Laier, T. Jensen, J.B., Ion, G., Gulin, M. & Fritsche, U., 2005: Digital maps of free gas distribution in marine sediments. WP2 deliverables of the METROL EU project 2003-2005. *Danm. og Grønl. Geol. Unders., Rap. 2005/78*, 25 sider + bilag + CD.

Larsen, B., 2003: TEMANUMMER. Blåvands Huk - Horns Rev området – et nyt Skagen ? *Geologi, Nyt fra GEUS*, nr. 4 december 2003, side 2-10.

Larsen, B. & Andersen, L.T., 2005: Late Quaternary stratigraphy and morphogenesis in the Danish eastern North Sea and its relation to onshore geology. *Geologie en Mijnbouw* 84, side 113-128.

Leth, J.O., 1994: Statnett Cable Route Survey, Danish North Sea Survey Report. DGU Service report no. 47, 33 sider + bilag

Leth, J.O., 1996: Statnett Cable Route Survey, Danish North Sea. *Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 1996/112*, 19 sider + bilag.

Leth, J.O., 1996: Late Quaternary geological development of the Jutland Bank and the initiation of the Jutland Current, NE North Sea. *Nor. Geol. Unders. Bull. 430*, side 25-34.

Leth, J.O., 2000a.: Geologisk kortlægning af Jyske Rev. En tolkning af den geologiske udvikling samt en vurdering af ressourcepotentialet. *Danm og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2000/43*, 16 sider + bilag.

Leth, J.O., 2000b: Jyske Rev, ressourcevurdering. GEUS-notat 10-MI-00-05 udarbejdet til Skov-og Naturstyrelsen, 2 sider.

Leth, J.O., 2003: TEMANUMMER. Nordsøen efter istiden – udforskningen af Jyske Rev. *Geologi, Nyt fra GEUS*, nr. 3 december 2003, side 2-12.

Leth, J.O., 2005: Revurdering af marine kortlægningsdata som grundlag for udpegning af habitatsområder offshore i Nordsøen. Kortlægning af NATURA 2000 marine naturtyper. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2005/37, 32 sider + kortbilag + CD.

Leth, J.O., Anthony, D., Larsen, B., Andersen, L.T. & Jensen, J.B., 2001: Geologisk kortlægning af Vestkysten. Samlede resultater af den regionalgeologiske kortlægning af kystzonen mellem Lodbjerg og Blåvandshuk. Udført for Kystdirektoratet 1998-2001. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2001/111, 26 sider + bilag.

Mærsk Olie og Gas AS, 2005: Atlas over miljø- og naturforhold i Nordsøen,. Vurdering af Virkning på Miljøet (VVM) for yderligere brønde, Bilag med 113 kort.

Nielsen, T., Mathiesen, A. & Bryde-Auken, M., 2008: Base Quaternary in the Danish parts of the North Sea and Skagerrak. Bull. Geol. Surv. of Denmark and Greenland, 15, side 37-40.

Oele, E., 1969: The Quaternary geology of the Dutch part of the North Sea, north of the Frisian Isles. *Geologie en Mijnbouw*, 48, 5, side 467-480.

Pedersen, A. M., 1995a: Foraminiferal Biozonation in the Early Pleistocene in the Central North Sea. Danm. Geol. Unders., Ser. C. nr. 13, side 2-56.

Pedersen, A. M., 1995b: Pliocene - Middle Pleistocene Biostratigraphy in the Central Danish North Sea wells E-1, P-1 and TWB-12. Danm. Geol. Unders., Ser. C nr. 13, side 2-28.

Rasmussen, P, Nielsen, A.B. & Bradshaw, E., 2007: Fra natur- til kulturlandskab. *Geoviden* nr. 1 2007, side 2-9.

Salomonsen, I., 1994: A seismisk stratigraphic analysis of Lower Pleistocene deposits in the western Danish sector of the North Sea. *Geologie en Mijnbouw* 72, side 349-361.

Salomonsen, I., 1995: Origin of a deep buried valley system in Pleistocene. *Proceedings of the 2nd Symposium on: Marine Geology* (ed. Michelsen, O.). Danm. Geol. Unders., Ser. C nr. 12, side 7-19.

Salomonsen, I. & Jensen, K.A., 1994: Quaternary erosional surfaces in the Danish North Sea. *Boreas*, Vol. 23, side 244-253.

Sigmond, E.M.O., 2002: Geological map, Land and Sea Areas of Northern Europe. Scale 1:4 million. Geological Survey of Norway.

Van Weering, T.C.E., Rumohr, J. & Liebzeit, G., 1993: Holocene sedimentation in Skagerrak: A review. *Marine Geology*, 111, side 379-391.

Veenstra, H.J., 1965: Geology of the Dogger Bank area, North Sea. *Marine Geology*, Vol. 3, side 245-262.

Weninger, B., Schulting, R., Bradtmöller, M., Clare, L., Collard, M., Edinborough, K., Hilpert, J., Jöris, O., Niekus, M., Rohling, E.J. & Wagner, B., 2008: The catastrophic final flooding of Doggerland by the Storegga Slide tsunami. *Documenta Praehistorica* XXXV, side 1-24.

Wirth, H. & Wiesner, M.G., 1988: Sedimentary Facies in the North Sea. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, Heft 65, side 269-287.