

Geologisk kortlægning af Vestkysten

Regionalgeologisk tolkning og en samlet vurdering
af aflejringsforholdene i området mellem
Nymindegab og Horns Rev

Volume 1 (2): Tekstbind

Udført for Kystdirektoratet i
2000 og 2001

Birger Larsen og Jørgen O. Leth



Geologisk kortlægning af Vestkysten

Regionalgeologisk tolkning og en samlet vurdering
af aflejringsforholdene i området mellem
Nymindegab og Horns Rev

Volume 1 (2): Tekstbind

Udført for Kystdirektoratet i
2000 og 2001

Birger Larsen og Jørgen O. Leth

Indhold

1.	SAMMENFATNING	4
2.	INTRODUKTION	8
2.1	Projektbeskrivelse	8
2.2	Baggrundsdata	9
3.	METODER	10
3.1	Feltarbejdet.....	10
4.	BESKRIVELSE AF UNDERSØGELSESOMRÅDET	12
4.1	Topografi.....	12
5.	RESULTATER	18
5.1	Den geologisk udvikling	18
5.1.1	De ældre lag (Saale istid og Eem interglacial)	18
5.1.2	Den glaciæle og senglaciæle udvikling (Weichsel)	20
5.1.3	Havspejlsstigning og den marine sedimentation.	23
5.1.4	Kystzonens udvikling imellem Nymindegab og Blåvands Huk.....	25
5.1.5	Den nyere udvikling i kystområdet:De sidste 3000 år	27
5.1.6	Dannelsen af det Indre Horns Rev.....	30
5.1.7	Vestslugen, området nord for Indre Horns Rev & Central område Øst.....	33
5.1.8	Det centrale område.....	35
5.1.9	Den vestlige Saale bakkeø og sedimentationen øst herfor	35
6.	SEDIMENTATION OG AKKUMULATIONS-RATER	42
6.1	Sidescan undersøgelser	42
6.2	Resultater af boringer – lithologi og sedimentstrukturer.....	42
6.3	Aflejringsmåde og omlejring.....	45
6.4	Skøn af akkumulationsrater baseret på C 14 dateringer.....	45
6.4.1	AMS analyser	45
6.4.2	Korrektion af C14 data.	46
6.4.3	Akkumulationsrater i boringer	50
6.5	Akkumulationsrater baseret på tykkelsen af marine sand.....	57
6.5.1	Strandplanet (Vestskråningen).	57
6.5.2	Indre Horns Rev området.....	61
6.5.3	Området nord for indre Horns rev og Vestslugen samt Central Øst	63
6.5.4	Området vest for Vestslugen.....	63
7.	KONKLUSIONER	65
7.2	Skøn over Mængder.....	67
7.3	Det videre arbejde - anbefalinger.....	70

Beskrivelser af metoder og boringer er vedlagt som bind 2.

1. SAMMENFATNING

- Projektets primære målsætning er så vidt mulig at kvantificere netto sedimentationen i området ud fra borekærne analyser. Det blev aftalt, at undersøgelsesområdet skulle omfatte området nord for Horns Rev og vest for Vestkysten fra Blåvands Huk til ca. 30 km mod nord til Nymindegab og ca. 40 km til søs dvs. en noget arbitrær afgrænsning. I praksis er vestsiden af en banke, der strækker sig N-S ca. 35 km ud for kysten anvendt som område begrænsning. De nævnte arealer er afgrænset på Figur 1.
- *Det overordnede sedimentationsbillede:* Undersøgelsesområdet har sammen med Horns rev området været et netto sedimentationsområde for sand gennem Holocæn tid. Akkumulationen har ikke været ens over området og depocenterne har skiftet gennem tiden. Det dominerende akkumulationsområde har været de arealer, der nu er land, med marine forland der strækker sig i kyst området fra Henne Strand til Grærup og videre syd for en linie fra Grærup til Varde dvs. området Oxbøl- Blåvands Huk til og med Skallingen. I nutiden er de vigtigste depocentre det tilhørende strandplan, her kaldt Vestskråningen samt det Indre Horns Rev samt området øst for den nederodrede bakkeø i den vestlige del af undersøgelsesområdet.
- Der synes at være 2 overordnede sedimentationssystemer i det undersøgte område. Det ene –kystsystemet- er knyttet til den kystnære sedimenttransport sydover langs Jyllands Vestkyst og med aflejningssted i kystområdet og på det Indre Horns Rev. Det andet- det ydre system- er knyttet til de store områder med relativt højtliggende glaciallandskab, der strækker sig nordover fra det vestlige ydre Horns Rev med aflejningsområde i en ca. 10 km bred zone øst herfor.
- Kystsystemet er knyttet til den kystnære sedimenttransport sydover langs Jyllands Vestkyst syd for Nymindegab og på den på det tilhørende strandplan (Vestskråningen) og videre ud på det Indre Horns Rev. De vigtigste akkumulationsområder har gennem tiden været de områder der nu dækkes af marint forland fra Henne Strand til Blåvands Huk og videre til Skallingen samt det Indre Horns Rev. Det formodes at en mindre del af sedimenterne transporteres og aflejres videre nordover på østsiden af Slugen/Nordmands Dyb op mod Vejers Banke. Denne består så vidt vides overvejende af mellem- og grovkornet marint sand og er adskilt fra Vestskråningen af et 4 km bredt område med meget beskedne sedimentdække af finkornet sand. Det formodes derfor at Vejers Banke ikke er en del af kystsystemet.
- Det ydre system er knyttet til de store områder med relativt højtliggende Saale glaciallandskab, en nederoderet bakkeø, som strækker sig nordover fra det vestlige ydre Horns Rev (Tuxen og Vovov). Sedimenter kommende herfra er overvejende aflejret øst for området i en nu næsten helt begravet sænkning der fortsætter Vestslugen sænkningen nordvestover. Bedømt ud fra retningen af progradering og hældning af lagdeling er sedimenterne overvejende tilført vestfra. Det gælder både sandpuden mellem de glacielle lag og Vestslugens vestside lige nord for det Ydre Horns Rev og en begravet spit der strækker sig fra vest mod øst på ca. 55° 39N, der synes at have en fortsættelse i Vejers Banke samt nordøst herfor den tykke dalfyldning i det nordvestlige del af undersøgelsesområdet. De hældende lag er dog ofte overlejret af et 1- 4 m tykt lag af seismisk homogent sand som repræsenterer det aktive lag- svarende til det yngre

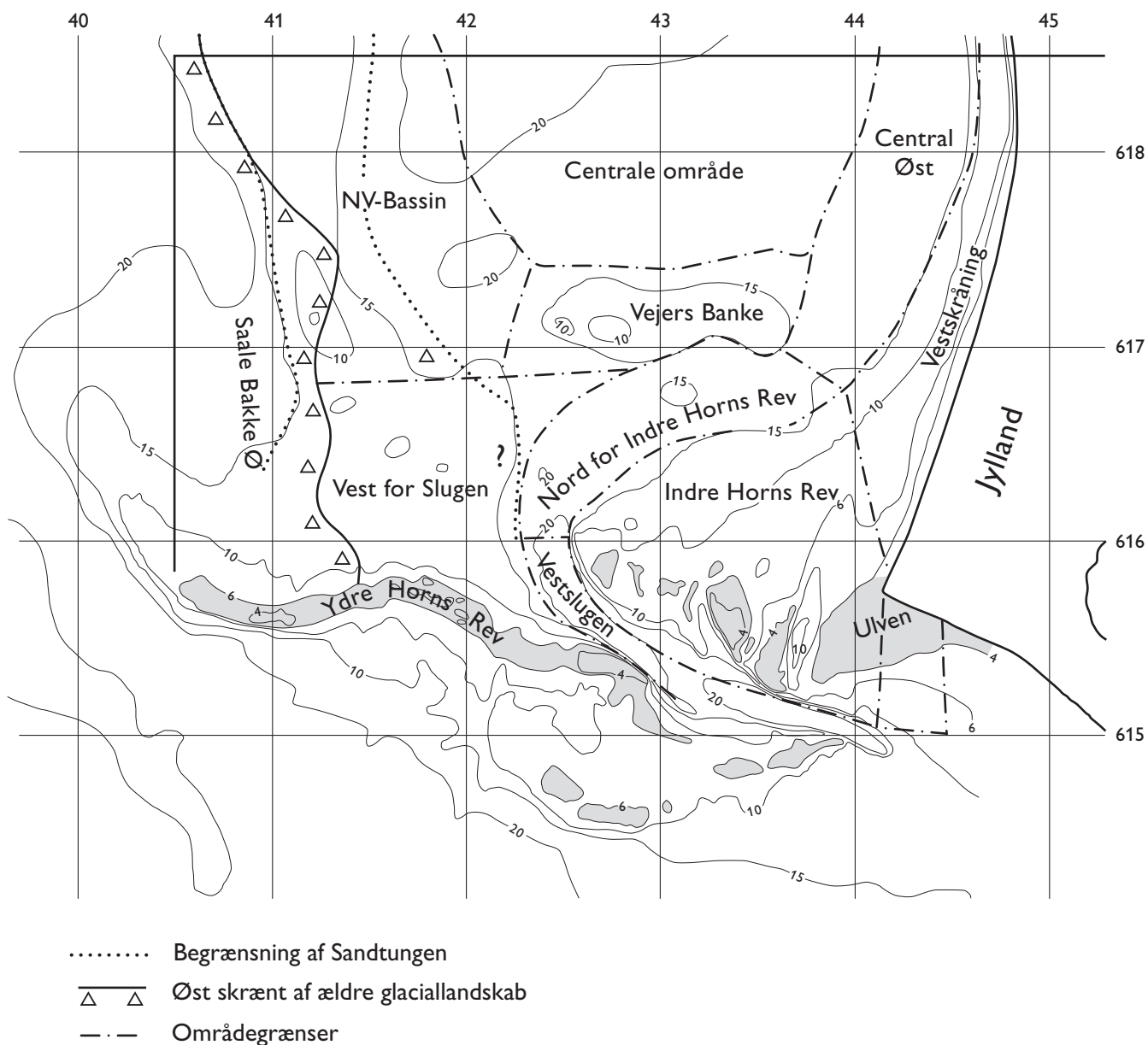
Nordsøsand. Banken kaldt Sandtungen danner som regel den vestlige del af disse sandakkumulationer i form af flade banker af seismisk homogent yngre Nordsøsand. Det er muligt at sedimenttransporten til det ydre system overvejende er kommet sydfra over og uden om Horns Rev- og at retningen af prograderingen er styret af topografiske forhold (accommodationspace på skråningerne).

- Ifølge DHI undersøgelser (DHI 2001) er det sandsynligt, at det ydre Horns Rev udgør et tredje sedimentsystem. Vi har i overensstemmelse med DHI resultater ikke fundet, at der sker en signifikant sandudveksling med kystsystemet. Det kan ikke udelukkes, at sedimenttransporten på det ydre Horns Rev er en afgrening af det ydre system. Sedimenttransport og aflejring på det ydre Horns Rev falder uden for denne undersøgelse.
- Kystzonen mellem Nymindegab og Blåvands Huk kan specielt syd for Henne Strand karakteriseres som et udbredt sedimentationsområde med tilvækst af kysten til følge. Baseret på langtids akkumulation i hele det marine forland inklusive tilhørende strandplaner i 7000 år skønnes den årlige middelakkumulation til $625.000 \text{ m}^3/\text{år}$. Hvis vi ganske groft antager at akkumulationen af strand og flyvesandsaflejringer over kote 0 har været konstant i de 7000 år, svarer det til at der årligt yderligere aflejres ca 170.000 m^3 over kote 0 svarende til ialt tæt ved $800.000 \text{ m}^3/\text{år}$. Baseret på dateringer af et geologisk profil fra Grærup ud gennem strandplanet og under antagelse af jævn fremrykning af et konstant formet profil kan middel pålejringen over 2800 år anslås til ca. $9000 \text{ m}^3/\text{år}$ pr km strand svarende ca. $100.000 \text{ m}^3/\text{år}$ på strækningen Grærup Strand til Henne Strand. Baseret på et i gennemsnit konstant formet profil af strandplanet (dvs. ca. $13\text{-}16 \text{ m}^3$ pr. m kystfremskydning) og KDIs målte middel kystforskydninger 1978 - 1996 kan den årlige pålejring anslås til $375.000 - 617.000 \text{ m}^3/\text{år}$ for hele strækningen fra Nymindegab til Blåvands Huk. Hertil kommer et bidrag til opbygningen over kote 0 som ret abitrært er anslået til ca $25.000 \text{ m}^3/\text{år}$ i nutiden. Akkumulationsrate bestemmelser i tre borer på den ydre del af strandplanet på 8 - 13 m dybde giver nutidige akkumulationsrater på $1,1 - 7.5 \text{ mm}/\text{år}$. Gentagne profilopmålinger viser at også strandplanet udenfor 8 m kurven er akkumulationsområde. Der indikeres altså en kraftig nutidig sedimentpålejring på både det nedre strandplan udfor Vestkysten i Blåvands Huk området
- *Samlet vurderes at den samlede netto pålejring på Vestskråningen og stranden fra Nymindegab til Blåvands Huk er i størrelsesorden $400.000 - 650.000 \text{ m}^3/\text{år}$.*
-
- Det Indre Horns rev vokser dels ved pålejring på vestspids-området, dels ved pålejring og udbygning af nordsiden og formodentlig også ved pålejring på den stejle sydvestside ned mod Slugen/ Vestslugen. Det Indre Horns Rev er med stor sandsynlighed et akkumulationsflak af marint Holocænt sand udbygget vestover direkte på ældre lag fra interglacial og forrige istid. Det ikke eller kun i mindre grad er underlejret af ældre holocæne marine lag.
- *På dette grundlag skønnes det samlede volumen af sand i det Indre Horns Rev at være 1.9 km^3 på et areal af 170 km^2 . Hertil kommer ca. 0.25 km^3 under Ulven og den tilstødende skråninger indtil 3 km øst for Blåvands Huk. Det formodes det meste af dette sand aflejret indenfor de sidste 3000 år svarende til $717.000 \text{ m}^3/\text{år}$.*

- Der er evidens for en udbygning vestpå af det Indre Horns Rev på ca. 4 km på 800 år. Det antages at revets form grundlæggende har været en banke opbygget til nær havniveau som i dag, dvs. en kortere version af nutidens rev. *På dette grundlag skønnes at der er på 800 år er pålejet mindst 0.58 km³ og sandsynligvis af størrelsen 0.83 km³ svarende til mindst 725.000 og sandsynligvis af størrelsen 1.000.000 m³/år.*
- Det formodes at også sedimenterne nord for det Indre Horns Rev på østsiden af Slugen overvejende er aflejet i forbindelse med udbygningen af det Indre Horns Rev. Dette er i overensstemmelse med DGI modelberegninger af nutidige sedimenttransportretninger for området. På østsiden af Vestlugen op til sydskråningen af Vejers Banke på 55°39' N findes på 44 km² et op til 4 m tykt sedimentdække med et samlet volumen på ca. 0.150 km³. Det antages yderligere at det tynde sedimentdække i "Det centrale område øst" også er aflejet i forbindelse med kystsystemet ca. 0.25 km³ på et areal af 136 km².
- *Et maksimum skøn for sand aflejet i forbindelse med kystsystemet i området nord og vest for Indre Horns Rev er af ret beskeden størrelsen ca. 0.4 km³. Under antagelsen af at dette materiale også er aflejet i 3000 årlig periode vil den årlige middelakkumulation være ca. 130.000 m³/år. Dette tal er meget usikkert fordi den brugte seismiske metode ikke kan skelne ca. 1m tynde lag og fordi der sandsynligvis vil være inkluderet ældre Nordsøsand i dette volumen.*

• **Samlet skønnes, at der aflejres mellem 1.200.000 og 1.650.000 m³ årligt i de områder der modtager sedimentmateriale via kystsystemet. Det skønnes at et tal omkring 1.5 mill. m³/år er det bedste estimat baseret på den fremlagte geologiske model. Denne model indebærer at der ikke netto udveksles signifikante mængder af sandsediment mellem kystsystemet og det ydre Horns Rev og det ydre sedimentsystem.**

- *Den samlede volumen af sediment i NV Bassinet er skønnet til 2,13 km³ på et areal af 216 km² men på grund af skiftet i sedimentation vil det ikke være formålstjenligt at omregne dette til akkumulationsrater med henblik på forholdene i dag.*
- *Nordskråningen af den ydre del af Horns Rev synes ikke at være et betydeligt sedimentationsområde for sand i nutiden. Hvis området vest for Vestslugen modtager sand fra kystsystemet transporteret nordpå fra det Indre Horns rev, som foreslået af DHI modeller (DHI 2001) så er det kun i moderate mængder, næppe mere end nogle få 1000 m³/år. Der sker en sedimentation i området vest for Vestslugen og på det store abrasionsflak nord for grunden Tuxen, men det skønnes at det meste af dette sand kommer fra det Ydre Horns Rev eller transporteres ind syd eller vestfra.*
- *Vejers Banken består så vidt vides af marint sand der ligger ovenpå smeltevandsaflejringer fra sidste istid. De højst beliggende dele af banken består af flere meter grovkornet marint sand uden grus. Banken er opbygget på de distale ret fladtliggende dele af de prograderende lag nord for spitten. På et erosionssnit heri ligger de seismisk homogene lag der udformer banken. Med disse forudsætninger må banken være dannet i løbet af de sidste få årtusinde. Oprindelsen af det grove sand i banken er uklart.*



Figur 1 Afgrænsning og inddeling af undersøgelsesområdet. Lavvandede områder hhv. >4 og >6 m er markeret med brune nuancer

2. INTRODUKTION

2.1 Projektbeskrivelse

Kystdirektoratet har initieret en række specialundersøgelser som bidrag til en revision af sedimentbudgettet for Jyllands Vestkyst. Herunder søges at inddrage processerne udenfor revlezonen, der normalt ikke indgik i tidligere kysttekniske sediment budgetter.

Som led heri indgik Kystdirektoratet (KDI) og GEUS i 1998 en samarbejdsaftale omkring udførelsen af en detaljeret geologisk kortlægning i kystzonen langs den jyske vestkyst. Første del, en kortlægning af området mellem Lodbjerg og Nymindegab, er afsluttet primo 2000 (Leth et al 1999). Fortsættelsen af det detaljerede kortlægningsarbejde i kystzonen mellem Nymindegab og Blåvands Huk gennemført i 2001. KDI har imidlertid fremført ønsket om at fremskynde den del af projektet, der vedrører en analyse af sedimentationsforholdene i området til 2000. Dette blev rapporteret i en rapport (Larsen og Leth 2001- GEUS Rapport 2001/22). Hermed skabes der grundlag for at inddrage resultaterne i det hydrauliske modelarbejde, der samtidig gennemføres i området. Den foreliggende rapport bygger i høj grad på den tidligere rapport modificeret hvor nye undersøgelser har anledning hertil. Resultatet af kortlægningen er sammenstillet med kort fra områderne nord for i GEUS rapport 2001/110.

Kystzonen mellem Nymindegab og Blåvands Huk kan karakteriseres som et udbredt sedimentationsområde med en tilvækst til kysten til følge (Hofdahl 1968, Nielsen og Nielsen 1990). Projektets primære målsætning er så vidt mulig at kvantificere netto-sedimentationen i området udfra borekerne analyser. Der fokuseres specielt på sedimentation der har sammenhæng med sedimenttransporten langs Jyllands Vestkyst. Det blev aftalt, at undersøgelsesområdet skulle omfatte området nord for Horns Rev og vest for Vestkysten fra Blåvands Huk til ca 30 km mod nord til Nymindegab og ca. 40 km til søs dvs. en noget abitær afgrænsning. I praksis er vestsiden af en banke, der strækker sig N-S ca. 35 km ud for kysten anvendt som område begrænsning (Figur 1).

I undersøgelsesområdet skal vi søge at belyse følgende spørgsmål:

- Hvor aflejres sandet i nutiden?
- Hvad er aflejringssraten lokalt og for hele området?
- Hvad er de samlede årlige aflejningsmængder?

På grund af bølge og strømpåvirkning sker der jævnligt omlejninger af de øverste dele af sandbunden. Havbundens niveau varierer i størrelsesorden 10 cm mellem Kystinspektorets årlige pejleprofiler ud til ca. 15 m vanddybde. Årsvariationen er flere meter på det indre strandplans revler. En del af denne variation er utvivlsomt måleusikkerhed, men det formodes at en del er reel. Det indikeres altså, at af størrelsesorden 10 cm af havbunden omlejres i forbindelse med uroligt vejr. Dette gælder sandsynligvis i hele området. Også flytning af strømribber og dyrenes roden i bunden (bioturbation) er med til at omlejre de øvre lag i bunden. En netto pålejring eller erosion som regel i størrelsesorden 0.2 -10 mm/år skal altså ses gennem en kraftig korttidsvariation.

2.2 Baggrundsdata

Der findes en del litteratur om sedimentationsforholdene i selve strand og kystzonen (Hof-dahl 1968, Nielsen og Nielsen 1990, Aagaard et al 1995 og Nielsen et al 1995) og spredte undersøgelser om Horns Rev/Grådyb bl.a. Kuijpers (1993,1995) og en række tekniske rapporter. KDI har gennemført gentagne pejlelinier fra kysten og ca 3 km ud for hver km af kysten, kort bilag C og (Kystinspektoratet 1999 a og b). Sedimentationsforholdene specielt i de lidt kystfjerne områder var så godt som ukendte. Der foreligger 14 korte borer foretaget i forbindelse med planlægningen af DONGs gas og olieledning i 1977 (DHI 1977). Der forelå ikke geologiske kort eller seismiske undersøgelser med tilstrækkelig høj opløsning for de øvre lag fra området, men enkelte seismiske linier i de tilgrænsende områder mod nord og syd (kort bilag B).

I forbindelse med de geotekniske undersøgelser for en vindmøllepark på det Ydre Horns rev blev der opmålt en seismisk linie og foretaget enkelte borer i Slugen og Esperancebugt syd for Oksby med henblik på ilandføring af et elkabel. Dette materiale er venligst stillet til rådighed af ELSAM (Marin Mätteknik 1998).

Det blev derfor skønnet nødvendigt, at gennemføre en letseismisk undersøgelse som forudsætning for at få en ide om forekomsten af akkumulationsområder og forekomsten af sedimenttransportformer og for at kunne placere borerne så repræsentativt som muligt.

3. METODER

Den årlige middel pålejring eller erosion vil blive søgt belyst gennem flere alternative metoder:

1. Bestemmelse af aldersfordelingen i sedimentprofilet baseret på C14 datering af skaller i udvalgte borer. Den nutidige middel akkumulationsrate skønnes ud fra tendensen over de sidste 500- 2000 år. Metoden kan ikke direkte måle alderen i de sidste 100 år på grund af forstyrrelser i C14 ligevægten ved afbrænding af fossilt brændstof og atombombe sprængninger i atmosfæren. Tidskala nogle hundrede år.
2. Baseret på tykkelsen af det havsand der er aflejret siden havet trængte ind i den relevante del af Nordsøen for 8500- 6000 år siden. Herunder identifikation af områder hvor ældre lag er blottet i havbunden og der ikke sker nogen netto sedimentation eller erosion. Tidskala nogle 1000 år.
3. Beregnet på grundlag af kystlinie udviklingen bestemt ud fra kort og observationer af dybdevariationer i de af Kystinspektoratets opmålte pejlelinier. Disse beregninger er foretaget af Kystinspektoratet. Tidskala 10- 20 år.
- 3a Sedimentbudget for strand-og indre strandplan baseret på kortstudier (Aagaard et al 1995) og vinddata og energi betragtninger som udføres af DHI. Tidskala dage/år. Dette vil dog ikke blive behandlet her.
4. Beregninger baseret på den geologiske historie af barriere komplekset, der strækker sig fra Henne Strand over Blåvands Huk til Skallingen samt indikationer på at havniveauet har været rimelig stabilt indenfor ca. ± 1 m i de sidste 3000 år. Mængdeberegninger under forudsætning af ligevægtsprofiler på indre og ydre strandplan - dvs. at formen på havbunden udenfor kystlinien taget over nogle 100 år er i "steady state". Tidskala få 1000 år.

3.1 Feltarbejdet

Bortset fra selve Horns Rev området (DGI 1992, Kuijpers 1993 og 1995 samt Marin Måteknik 1999, Rambøll 1999) forelå der ikke geologiske kort eller seismiske undersøgelser med tilstrækkelig høj opløsning for de øvre lag fra området. Det blev derfor skønnet nødvendigt, at gennemføre en letseismisk undersøgelse som forudsætning for at placere borerne så repræsentativt som muligt samt belyse hvorvidt der er områder hvor der ikke sker nettosedimentation. Der blev i år 2000 fra M/S Stine A opmålt knap 200 km seismiske linier (578501 til -509) i et meget åbent net med ca. 7 km mellem linierne. Disse linier målt under uroligt vejr og var ofte vanskelige at tolke. Borerne nr. 578101 til -104 og 578116 til -121 blev udført fra samme skib. Resultaterne er gengivet i databindet (Larsen og Leth 2001 GEUS Rapport 2001/22 bind 2). I 2001 blev der gennemført to seismiske opmålinger i området samt et boretogt. De seismiske linier har betegnelserne 578601 til -617 (indsamlet fra skibet "M/S Honte") og 578620 til -622 og 578625 til -630 (skibet "M/S Flyvefisken")

Der foreligger nu et tilnærmet 2-3 km net over området- se Bilag B. På et boretogt med "M/S Esvagt Alpha" blev borerne nr. 578150-175 udført. Resultaterne er gengivet i databindet: Larsen et al 2001, GEUS Rapport 2001/96 bind 2. Henvisninger til bilag i databindene vil have formen 22/bilags nr respektive 96/bilags nr.

Enkelte linier fra tidligere undersøgelser af Horns Rev området (Kuijpers 1993) og i området nord herfor (Leth et al 1999) er inddraget i arbejdet.

3.1.1 Seismiske metoder

De seismiske metoder er beskrevet i afsnit 2 i databindet bind 2 af nærværende rapport.

De seismiske målelinier er vist på Figur 2 og i bilag B.

3.1.2 Boringer

Udførelsen af borer og deres beskrivelse er beskrevet i afsnit 3 i bind 2 af denne rapport. Lithologien i de enkelte borer er fremlagt i boreprofilerne. A. Borerne nr. 578101 til -104 og 578116 til -121 samt supplerende boreoplysninger i GEUS rapport 2001/2 bind 2 (bilag 1.3- 1.28 samt i fotobilagene 2.1-2.20). Borerne fra 2001 nr. 578150-175 findes beskrevet i databindet til denne rapport (GEUS Rapport 2001/96 bind 2 , bilag 1.3- 1.30 samt i fotobilagene 2.1-2.56). I nærværende rapport er borepositionerne vist på bilag A.

3.1.3 Forsøg med prøvetagning af overfladen

På en række stationer blev det i 2000 forsøgt at udtage uforstyrrede sedimentsøjler af de øverste 20 cm af bunden ved hjælp af Grab, HAPS og en 1.5. m faldlod (vægt ca. 150 kg). Det lykkedes ikke at få prøver til større dybde en ca. 10 cm, så dette forsøg blev afbrudt.

4. BESKRIVELSE AF UNDERSØGELSESONOMRÅDET

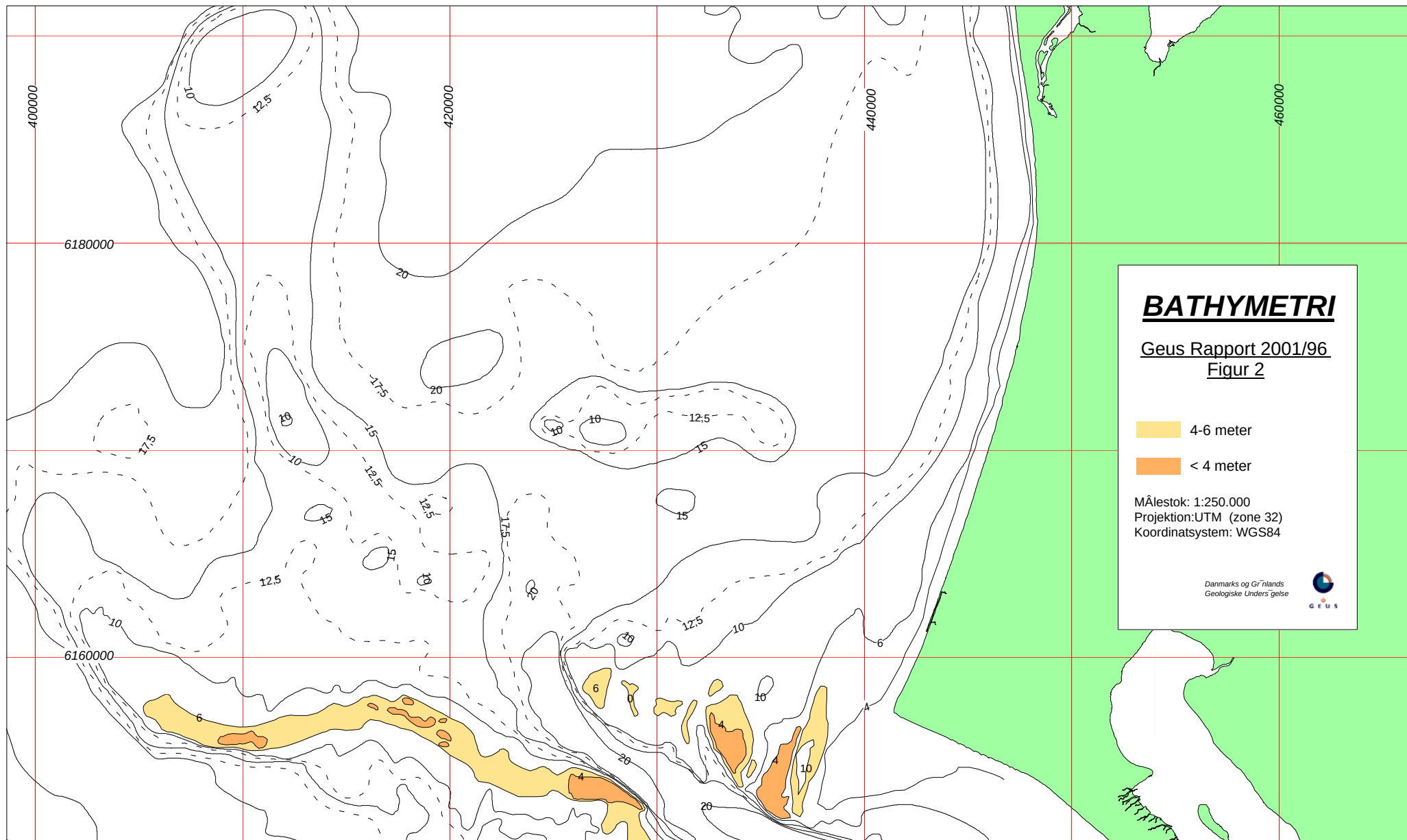
4.1 Topografi

Med henblik på at forstå sedimentationen i undersøgelsesområdet er det fundet praktisk at opdele det i delområder hvor det formodes at sedimentationsforholdene er rimelig ensartede (Figur 1). Bortset fra de inderste 3-4 km af kystzonen er dybdeforholdene kun kendt fra de noget bedagede søkort. Af hensyn til afgrænsning af banker og transport bundformer ville mere detaljerede oplysninger være ønskelig. Til anvendelse i denne rapport er der udover søkortets dybdekurver interpoleret dybdekurver for 12.5 og 17.5 m. (Figur 2).

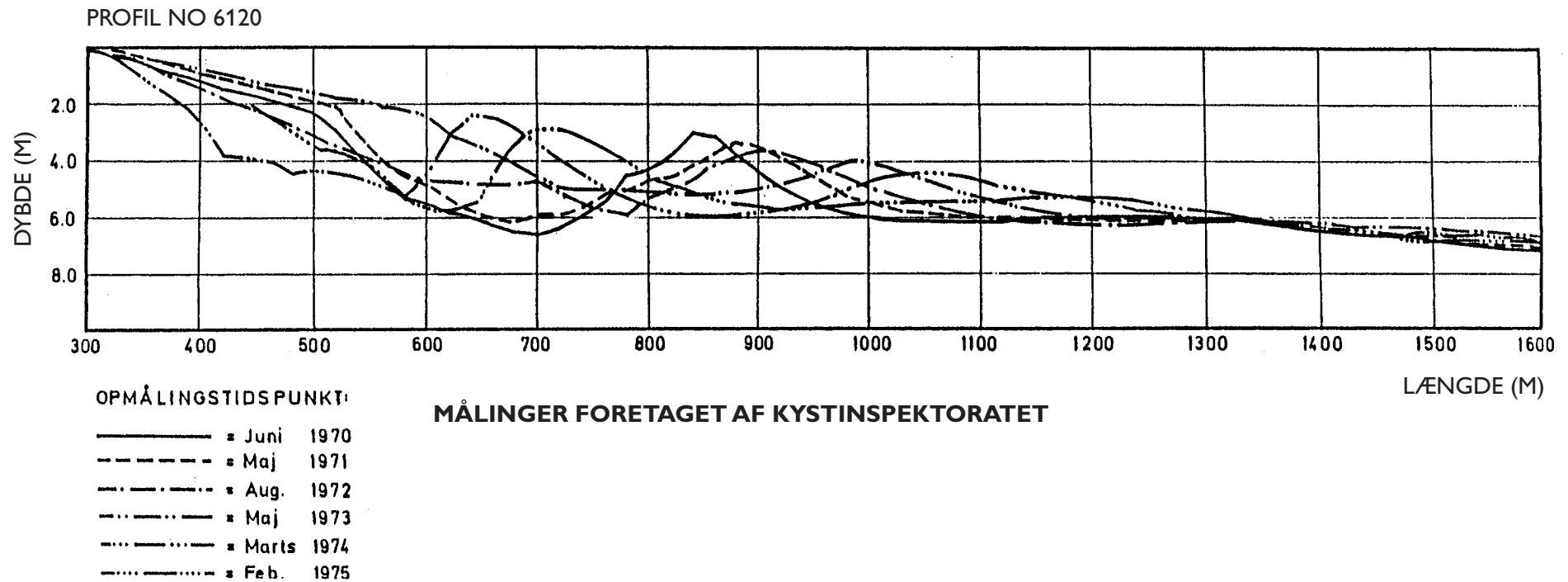
Det indre strandplan er zonen fra strandbredden til og med den ydre brændingsrevle (bølgebrydningszonen). Zonen er karakteriseret af stadig flytning af revler og tværløb, (Figur 3). Her defineres grænsen nedad/udad ved en linie hvor havdybden er konstant indenfor ca. 0.3 m over en 10 årig periode som observeret i Kystinspektoratets pejleprofiler (Bilag C og Figur 3) Udfra denne definition vil grænsen ligge tæt ved 6 m kurven- lidt dybere mod nord og lidt lavere på vestsiden af Blåvands Huk i en afstand på ca 1 km fra kystlinien (Figur 10). Det indre strandplan er derfor i det væsentlige ensbetydende med den vanddækkede del af "det indre profil (0 til -6m)" i rapporten (Kystinspektoratet 1998) og den ovenfor nævnte brændingszone.

Arealet af det indre strandplan mellem profil 5810 (Nymindesgab) og 6170 (Grærup Strand) er ca. 18 km² hvoraf de ca 11.7 km² ligger syd for profil 6050 (Henne Strand). Hertil kommer ca 11 km² i området ned til Blåvands Huk, hvor topografien påvirkes af Horns Rev.

Det ydre strandplan defineres i (Nielsen og Nielsen 1990) som det område der påvirkes af bølgestrømme ($d=1/2 L$) udenfor den ydre brændingsrevle. Ifølge denne definition vil hele undersøgelsesområdet ligge på det ydre strandplan. Det er ikke i denne sammenhæng en formålstjenlig definition. I stedet vælges at definere strandplanet som den undersøiske overflade af det sedimentprisme, der påvirkes når kystlinien rykker frem eller eroderes tilbage, altså den del af havbunden der er dynamisk knyttet til kysten. Følgelig indskrænkes zonen her til den jævne skråning der i det væsentlige forløber parallelt med kysten udenfor den ydre brændingsrevle (Figur 10). Den ydre begrænsning er ikke en skarp linie, men lægges formålstjenligt ved et knæk i bundprofilet mod den mere flade havbund udenfor (Figur 10 og 11). Dette sker tæt ved 15 dybdekurven, noget lavere i området nord for den indre del af Horns Rev. Det ydre strandplan er i det væsentlige ensbetydende med "det ydre profil" (-6 til -15m) i rapporten (Kystinspektoratet 1998). Geologisk set vil strandplanets ydergrænse være ydergrænsen af de lag, der lægges på ved udbygning af kystprofilet dvs. ved progradering. Undergrænsen af strandplans sedimentprismet kan stedvis ses som en seismisk reflektor. Dette har været vejledende for valg af ydergrænsen udfor Henne Strand. Grænsen er indlagt på Figur 1. Arealet af det ydre strandplan mellem profil 5810 (Nymindesgab) og 6170 (Grærup Strand) er ca. 85 km². Hertil kommer ca. 27 km² i området ned til Blåvands Huk, indenfor en linie der forløber ca. 11 km nord nordvestover fra Blåvands Huk, hvor strandplanet støder op til skrænten nordfor Horns Rev. (Figur 10).



GENTAGNE OPMÅLINGER FORETAGET AF KYSTPROFILET



Figur 3 Eksempel på gentagne målinger af kystprofilet 1970-1975 i Kystinspektoratets mållinie 6120 udfor Kærgård Klitplantage midt mellem Henne Strand og Grærup Strand (se bilag C). Kystlinien ligger ved station 300 m. Flytningen af revler giver en kraftig variabilitet på det indre strandplan mellem station 300 m og 1300 m. Grænsen for det ydre strandplan lægges ved St. 1300 m. Længere ude på det ydre strandplan er variabiliteten nogle få decimeter. Tilsvarende og nyere profiler foreligger for alle Kystinspektoratets måleprofiler.

Bankeområdet Ulven syd for Horns Rev og strandplanet sydvest for Skallingen (Esperance Bugt) ned mod Grådyb er en del af Skallingens sand akkumulationen, men ligger udenfor undersøgelsesområdet. I mængdeberegninger lægges basis af strandplanet her ved 10 m dybde.

Det indre Horns Rev (Figur 1 og 4), er en bank der strækker sig fra Blåvands Huk 16 km mod vest er adskilt fra det ydre Horns Rev af den godt 20 m dybe rende Slugen og dens fortsættelse Vestslugen. Den sydlige del er præget af højtliggende banker, Ulven og Søren Bovbjergs Knob der når op til 1 m under havniveau, og mindre banker længere vestpå med dybder på 4 til 5 m. Mellem bankerne findes tre render Ringkjøbing Dyb og Søren Bovbjergs Dyb og en til. Ifølge den "Danske Lods" er Ringkjøbing Dyb løbet "fuld af vragestumper, der pludselig træder frem af sandet, som altid er bevægelse underkastet. ... det samme gælder hele Horns Rev". Det er karakteristisk, at disse render, i lighed med dybene i Vadehavet, ender i højtliggende tærskler (barrer) og at de på siderne omgives af højtliggende områder, der minder meget om højsande. Sydøst skråningen er relativ stejl og ender i en markant næs længst vestover. Nordskråningen er mere jævn er formodentlig en særlig udformning af et strandplan, en aflejringskegle påvirket både af bølger og sedimentstrømme nordfra og af tidevandstransporterede sedimentmasser. Et markant knæk i dybdekurverne langs en linie mod nordvest til nord fra pynten Blåvands Huk markere grænsen mellem strandplanet udviklet foran Vestkysten og skråningen på nordsiden af Horns Rev. Det indre Horns Rev afgrænses her af denne linie og en fortsættelse sydover fra Blåvands Huk og i øvrigt som vist på figur 1. Nordgrænsen er meget usikkert fastlagt på samme måde som for det ydre strandplan.

Som begrundet senere konkluderer denne undersøgelse at det Indre Horns Rev er et akkumulationsflak af holocænt marint sand, og at der næppe findes en højtliggende kerne af ældre dannelser. Det samlede areal er omkring 170 km².

De flade områder op til den sydlige begrænsning af Vejers Banke knytter sig sedimentologisk til det indre Horns Rev. Arealet af disse områder inklusive Vestslugen ned til spidsen af det indre Horns Rev er ca. 55 km².

Det ydre Horns Rev: I denne sammenhæng betegner det ydre Horns Rev rækken af banker beliggende vest for Slugen renden; Cancer og Vyl mod syd og Munk, Tuxen og Vovov mod nord; med vanddybder under ca. 10 m og så vidt vides bestående af højtliggende ældre lag, tolket som en Saale randmoræne (Jessen 1925, DGI 1982). Noget simplificeret er den nordlige 10 m kurve anvendt til afgrænsning af undersøgelses området. Kuijpers (1993 og 1995) og nærværende undersøgelse viser, at området med relativt højtliggende ældre istidsdannelser, der ligger tæt under havbunden, fortsætter mindst til 25 km nord for grunden Vovov. Det samlede areal af disse områder er mindst 137 km² men begrænsningen vestpå er ikke foretaget.

Det centrale område: I forbindelse med denne undersøgelse har det vist sig praktisk at udskille et stort centralt område med tyndt sedimentdække. Det er mod syd begrænset af Vejers Banke mod øst af foden af det ydre strandplan og mod vest ved ca. 7°45 Ø af et dybt sedimentationsbassin, der er en begravet fortsættelse af dalen under Vestslugen. Området er karakteriseret af meget jævn bund med dybder der ret jævnt tiltager fra ca. 15 m mod syd til godt 20 m mod nord. Arealet er ca. 300 km².

Slugen og dens fortsættelse Vestslugen eller Nordmands Renden "gennemskærer" Horns Rev og fortsætter 7 km mod nordvest hvor den gradvis forsvinder i en ca. 15 m dyb tærskel. Den skyldes en spit ca. på 55° 39N udviklet tværs over renden tidligt i den Holocæne marine udvikling (Se afsnit 5.1.9). Nord for denne spit findes en udfyldt dal med op til 16 m marine sedimenter beliggende mellem det omtalte højtliggende istidsdannelser og det centrale område. Det antyder en tidligere fortsættelse af Vestslugen dalsystemet - som foreslået af Huse og Lykke Andersen (2000). Arealet af Vestlugen er ca. 11 km² og det udfyldte dalområde ca. 216 km².

Sandtungen betegner her den svage forhøjning med dybder på 12-17m, der strækker sig ca. 30 km nordover fra Horns Rev på vestsiden af Vestslugen og dens forlængelse til 55°54 N. Arealet af Sandtungen er ca. 310 km². Sandtungen ligger overvejende på det ovenfor omtalte udfyldte dalområde og området vest for Vestslugen.

5. RESULTATER

5.1 Den geologisk udvikling

I dette afsnit fremlægges den geologiske baggrund for området med sigte på forhold der skønnes af betydning for vurdering af de nutidige sedimentationsforhold. Geologien fremlægges overvejende på grundlag tolkningen af de seismiske undersøgelser kalibreret med boreoplysninger samt oplysninger i litteraturen. Der er fremstillet et kort over formationerne ved basis af det marine sand (Figur 5). Der er også vedlagt 7 eksempler på tolkede seismiske profiler, hvor de benyttede seismiske enheder illustreres. Dybdeskalaen på profilerne er baseret på en lydhastighed på 1500 m/s. Fastsættelsen af havniveau på profilerne er lidt usikker.

5.1.1 De ældre lag (Saale istid og Eem interglacial)

I området er der stedvis nederst i lagserien påvist lag som tolkes som istidsaflejringer fortrinsvis fra forrige istid Saale (eksempel Figur 6). Seismisk er disse lagkarakteriseret ved et kraftigt kaotisk refleksionsmønster stedvis med strukturer der tyder på isdislokation. Områderne gennemskæres af brede dale med U-formet tværsnit og ofte med flere generationer af indfyldning. Dalene er ikke vist på Figur 5. Hvor overfladen af istidslandskabet ligger begravet under flere meter yngre sedimenter er den som regel bølget (f.eks. Figur 14). Det antyder begravede bakkedrag. Det er dog karakteristisk, at de relativt højtliggende dele af Saale landskabet er skåret ned til et fladt abrasionsflak beliggende tæt ved kote -20 m og kun dækket af få meter sedimenter. Der er altså sket en kraftig erosion på disse gamle bakkeøer. Der er kun få prøver af materialet i dette ældre istidslandskab f.eks. boring 524060, 578150,-165,-168?,-170,-175 og GAS 4, overvejende smeltevandsaflejringer. Hvor Saale overfladen ligger dybt kan der lokalt ses et dække af seismisk strukturløst materiale der ligger over istidslandskabet men under Eem aflejringerne omtalt nedenfor (eksempel Figur 7). Disse lag formodes at være sen-Saale smeltevandsaflejringer.

De gamle Saale bakkedrag er i kote -20- til -28 m sjældent op til kote -15m omgivet af aflejringer fra et hav, Eem havet, fra sidste mellemistid. Seismisk er aflejringerne karakteriseret ved en ret lys, strukturløs fremtræden på seismogrammerne (Figur 7 og 13). Toppen af laget er ofte en markant reflektor. Det lavvandede hav har dækket store dele af undersøgelsesområdet og videre ind under det tilgrænsende kystland til en kystlinie ind mod det højtliggende istidslandskab i bakkeøerne (Kuijpers 1993) eller omkring mindre småøer. Her ses ofte tegn på akkumulationsflak. I boring 578150 (bilag 96/1.3) er der i kote -15 m fundet et lerlag med østersskaller og en Eem foraminifer fauna. Eem havet må i en periode har stået noget højere end hidtil antaget. Aflejringerne fra Eem havet synes ofte at være ret finkornet sand og silt med lidt organisk materiale f.eks. Boringerne 578150,-156,-169,-175 og GAS 16. Eemhavets aflejringer har bidraget til at danne en udjævnet basis for de senere aflejringer i området.

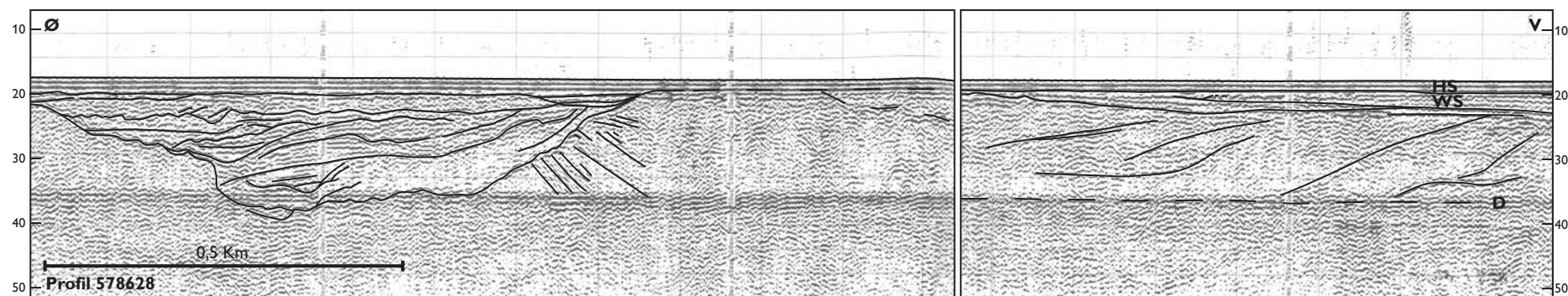
5.1.2. Den glaciale og senglaciale udvikling (Weichsel)

Undersøgelsesområdet ligger udenfor den yderste isrand for sidste istid (Weichsel). Vest for denne isrand strakte der sig store smeltevandssletter (hedesletter) mellem opragende ældre bakkeøer. Ved Varde ligger smeltevandsslettens overflade ca. i kote +2.5 m. Med en gradient, typisk for de distale dele af en alluvial smeltevandskegle på ca. 0,7 – 0,8 m pr km, kunne man forvente at overfladen af smeltevandssletten ville ligge omkring kote –10 m ved Vestkysten og hen ved kote –20 m i de centrale dele af undersøgelsesområdet. Over de egentlige smeltevandsaflejringer træffes ofte finsandede aflejringer fra et ferskvandmiljø samt lokalt vindaflejringer.

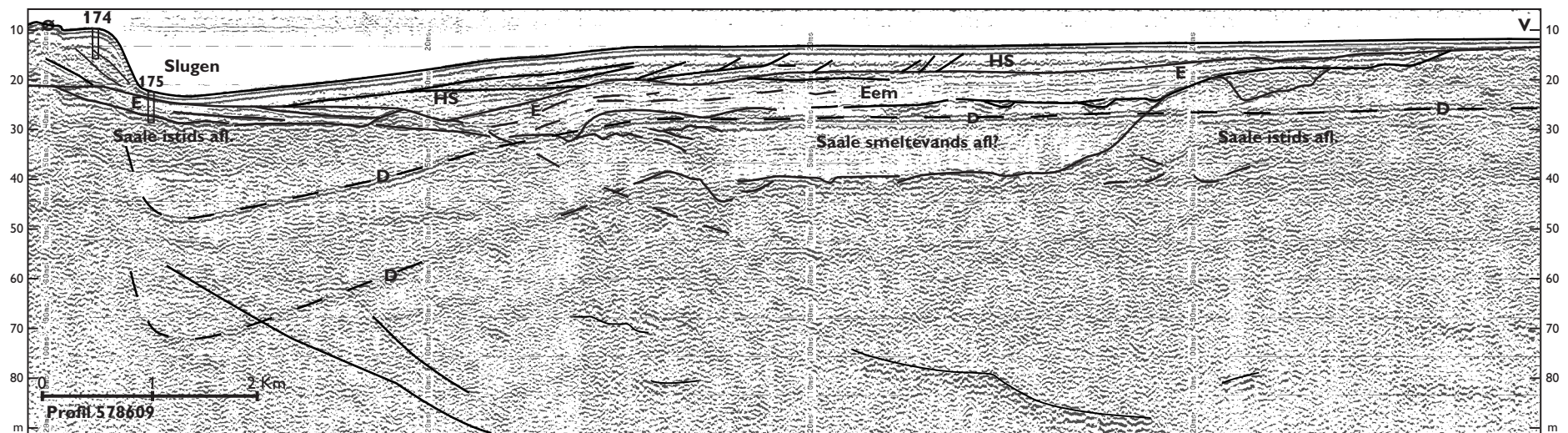
Ret finkornede smeltevandsaflejringer underlejrer de marine lag i store dele af området som en fortsættelse af hedesletterne i Vestjylland (se kortet Figur 5 og et eksempel i Figur 14). Aflejringerne er seismisk karakteriseret ved et bånd af korte let bølgede reflektorer, der formodentlig afspejler skiftende kanaler og småsøer i et fladt landskab. Båndet fremtræder ret mørkt på seismogrammerne.

Under sidste istid var store vandmasser bundet i ismasser på land så havniveauet stod mere end 100 m lavere end i dag. Det meste af Nordsøen lå hen som land og søer- den såkaldte Fastlandstid. Afvandingen af undersøgelsesområdet skete sandsynligvis gennem flodgrene til en stor flod i en fortsættelse af Elbdalen. Vestslugen-rendens fortsættelse nordover har nok fungeret i denne egenskab. På de vegetationsløse landområder mellem smeltevandsfloderne har vinden haft mulighed for at flytte om på de løse overfladelag og har dannet indlandsklitter og de såkaldte cover sands. Mod istidens afslutning steg temperaturen og området blev dækket med vegetation. I lavninger blev der aflejret tørv og gytje i søer og vandløb. Ferskvandsaflejringer fra denne tid er lokalt observeret i borerer under de marine dannelser. Fint sand ofte siltet med plantefragmenter er fundet under det marine sand i flere borerer i området (boringerne 578101,-102,-116.-120,-151,-157,-167?) og antyder vidtstrakte lavvandede søer.

Disse aflejringer kaldes ofte Twente Formationen. I de seismiske profiler kan de ikke skelnes fra det underliggende smeltevandssand.

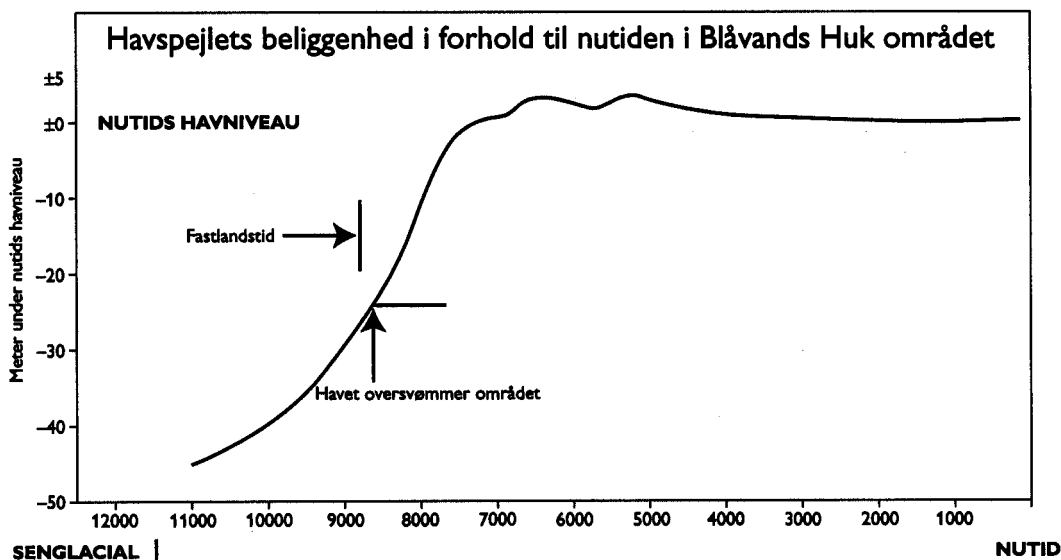


Figur 6 Sparker profil over et eroderet glacielandskab- fra Saale ca. 6 km udfor Nymindesgab i det østlige centralområde med ringe sedimentation ved foden af Vestskrånningen. Et abrasionsflak i ca. kote – 20 m er udformet på det ældre istidslandskab. Til venstre et tværsnit af en dal der gradvis er udfyldt fra vest. I istidsaflejringerne, som er karakteriseret af et mørkt diskontinuert refleksionsmønster, ses skrå reflektorer, der formodes at afspejle flagestruktur. Mod vest dækkes flanken af istidslandskabet af smeltevandsaflejringer fra sidste istid (WS). Det ses at udvævningen af Saale-landskabet delvis er sket tidligere. Hele området er totalt udjævnet og dækkes af et mindre end 2 m tykt dæklag af marine sedimenter.



Figur 7 Sparker profil over området nord for Horns Rev fra spidsen af det indre Horns Rev vestover på N:6.160.000 over Vestlugen til de relativt højtliggende istidsaflejringer sandsynligvis fra Saale istiden. En erosionsflader er udviklet på toppen af disse lag. En fordybning ned til omkring kote –40 m, som tolkes som en inderlavning foran Ydre Horns Rev, er formodentlig fyldt med sen Saale smeltevandsaflejringer. Små erosionskanaler i toppen af disse lag er overlejret af Eem havets aflejringer. Tynde Eem-aflejringer over Saale sedimenter er påvist både i boring 578175 og i boring 578150, der ligger få km længere vestpå i profilet. De hældende reflektorer i det Marine Sand (HS) vidner om en udbygning østover. Eem overfladen er kun dækket af få dm marint sand ved foden af det indre Horns rev (boring 578175). Profilet fortsætter i figur 12.

5.1.3 Havspejlsstigning og den marine sedimentation.

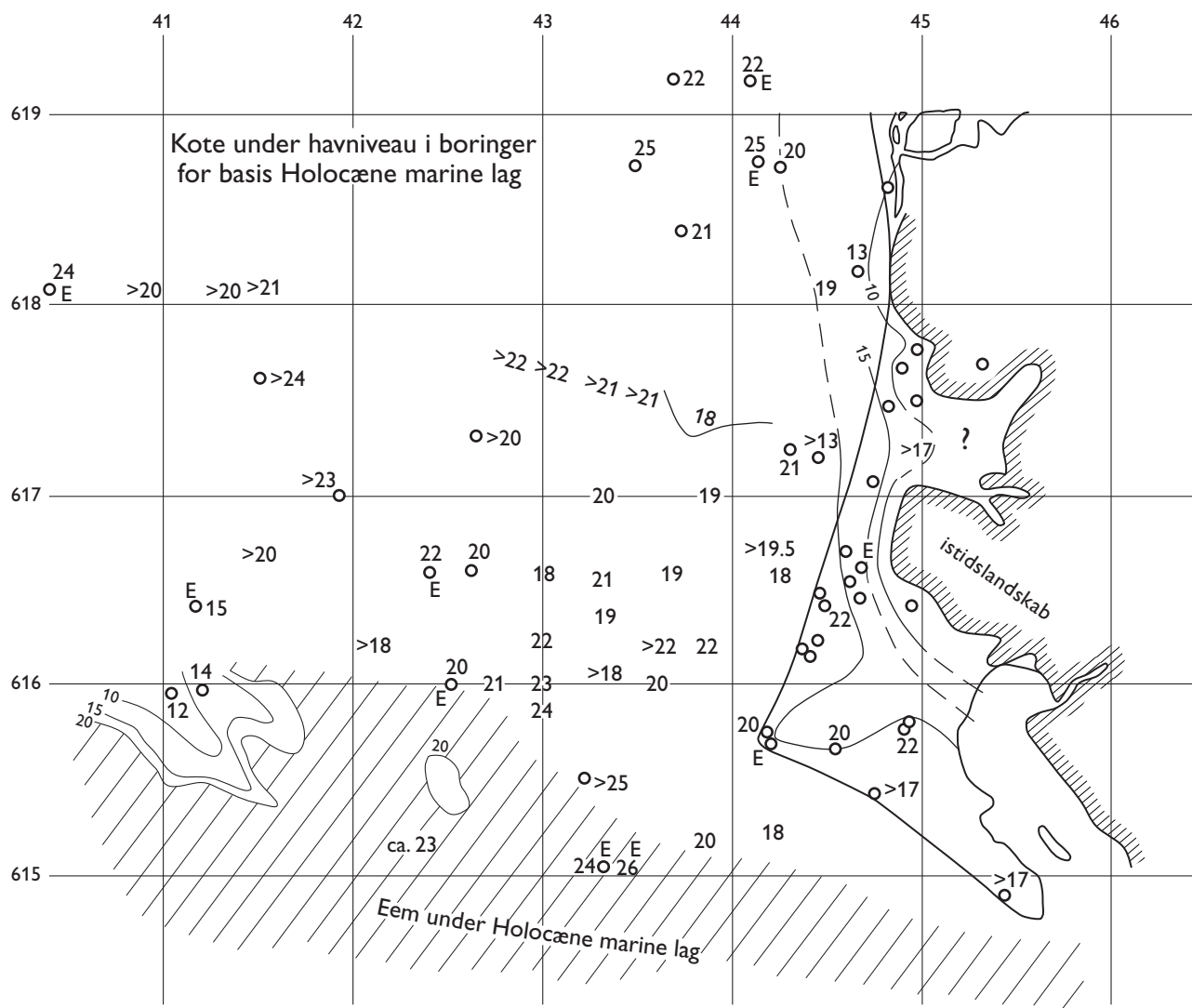


Figur 8 Havspejlets beliggenhed i undersøgelsesområdet gennem tiden, noget udglattet.

Efterhånden som temperaturen steg smeltede isen og havniveauet steg hurtigt (Figur 5). I boreriger umiddelbart nord for undersøgelsesområdet (578039) og syd for (524-041, -044 og -049, DGI 1992) kan iagttages hvorledes Postglaciale sø- og landaflejringer omkring kote – 25 m overlejres af marine lavtvandsdannelser. Baseret på pollenanalyser sker dette omkring tidlig Atlantisk tid (H. Krog i DGI 1982) svarende til ca. 8800 BP_{cal} (kalender år før nu se afsnit 6.4.2). Havet steg hurtigt ca. 25 m på 1000 år så størstedelen af området blev oversvømmet indenfor ca. 1000 år. Det marine Nordsøsand er altså aflejret indenfor de sidste 8000 - 8500 år.

Det landskab, der blev oversvømmet, så dog noget anderledes ud end i dag. Saale-istidslandskabet i den vestlige del af området stod næppe meget højere end i dag men endte mod øst i en 5 til 15 m høj skrænt. Området nord for Horns Rev højdedraget var meget jævnt og fladt og beliggende i niveauet hvad der i dag er imellem kote –25m og –20 m. bortset fra et lidt dybere beliggende dalstrøg lidt vest for Vestlugen og dens fortsættelse mod nordvest. Den flade slette fortsatte ind under de områder hvor Skallingen nu ligger og i et 5- 10 km bredt bånd af Vestkysten mellem Blåvands Huk og Henne Strand (Figur 6), hvor det stødte op mod det gamle istidslandskab på Varde bakkeø. Denne rejste sig op til 50 m over sletten. Sletteområdet var under nuværende kote –20 m i stort omfang dækket af et 1-10 m tykt lag af distale dvs. ret finkornede smeltevandsaflejringer m.v. Disse synes dog i vekslende omfang at være eroderet og indgår som materiale i de ældre holocæne (= de sidste 10.000 år) sø- og havaflejringer. Lokalt kan der iagttages mindre erosions-skrænter i randen af disse aflejringer.

Ifølge Aagaard et al. (1995) vil den flade havbund og det rigeligt tilgængeligt sediment give specielt gode forudsætninger for dannelse af barriere øerne Fanø og Rømø. På den flade lavvandede havbund mister bølgerne deres energi, og under sådanne forhold vil netto "cross shore" sedimenttransporten være rettet indad. Sandet ophobes efterhånden som en revle - den initiale barriere. Efterhånden som havet stiger flyttes denne barriere-banke øst



Figur 9 Dybden under havniveau for basis af de holocæne marine lag skønnet ud fra boreoplysninger og stedvis seismisk tolkning. Områder hvor de holocæne marine lag formodes at hvile direkte på marine aflejringer fra sidste interglacialtid "Eem" er mærket med skraveringer efter Kuijpers (1995) eller i borerer med et E. Dette er ikke gennemført i områder kortlagt i 2001.

på for med tiden at udforme barriereøerne (inklusive Skallingen). Materialet i øerne skulle altså i det væsentlige være transporteret ind mod kysten fra de kystnære dele af Nordsøen med et varierende tilskud af kysttransporteret materiale. Hvor vidt denne hypotese kan bekræftes må de fortsatte undersøgelser vise.

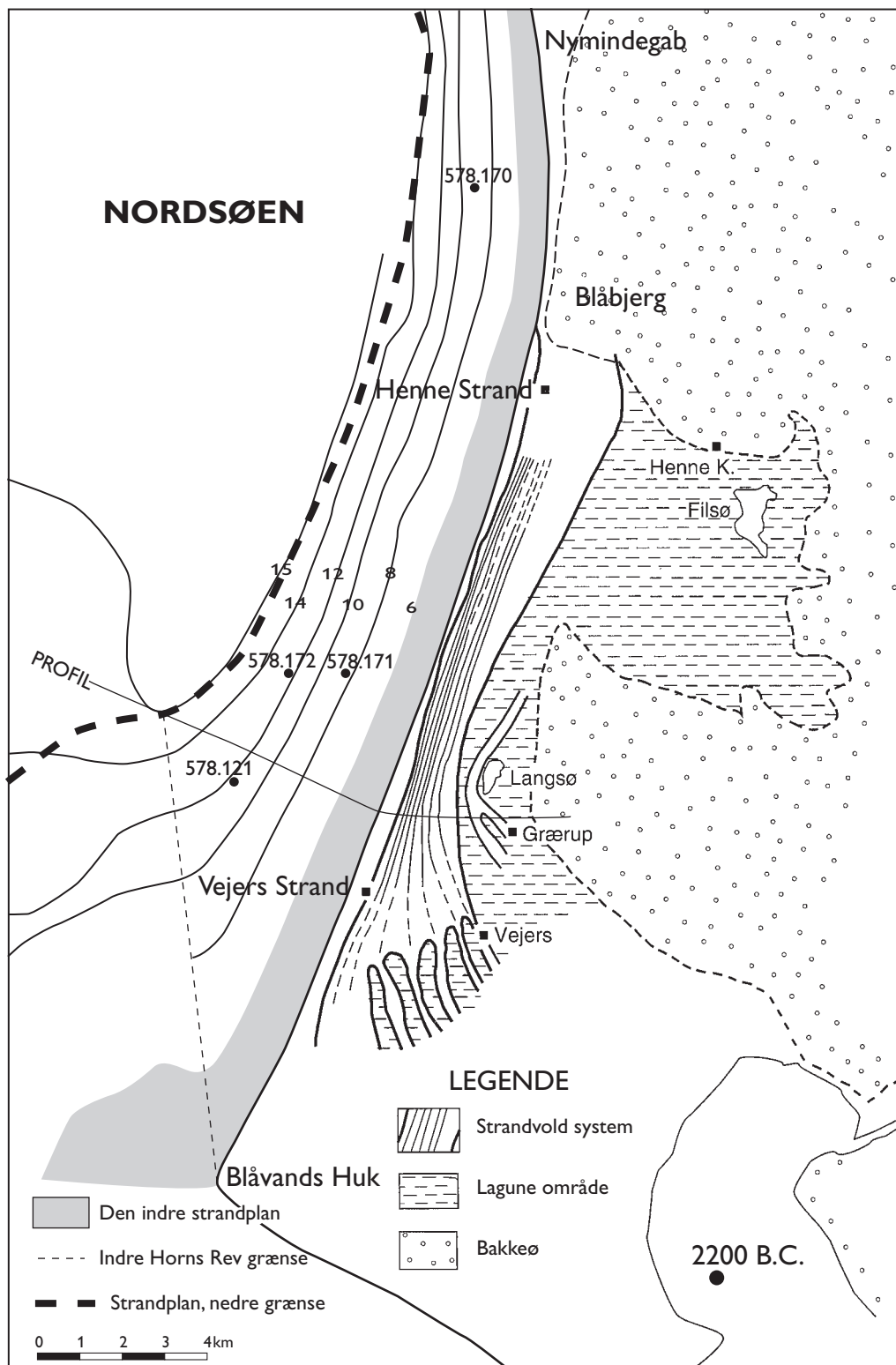
Undersøgelsesområdet har i begyndelsen af havspejlsstigningen ligget mere beskyttet af Horns Rev og Doggerbanken, der først blev overskyllet endeligt for ca. 7000 år siden (Shennan et al 2000). Som diskuteret ovenfor ser det ud til at i de første få tusinde år af Nordsøens eksistens skete en ganske omfattende sedimentation i store dele af undersøgelsesområdet. *For omkring 7000 år siden nåede havniveauet op til tæt ved det nutidige. Siden har det indenfor undersøgelsesområdet været rimeligt stabilt i forhold til landniveauet og næppe varieret mere end $\pm 2\text{ m}$* (Krog, 1979). Kystformerne har derfor haft lang tid til at udvikles omkring dette niveau. Der er i dog nogen usikkerhed hvorvidt der har været mindre variationer (1 a 2 m) i havniveauet i denne periode, specielt hvorvidt det har stået højere end i nutiden (Krog 1979, Jacobsen 1993, Hoffmann 1991, Nielsen, Clemmensen & Andreasen, 1995). For detail udformningen af de marine forlande er mindre variationer i havniveau og tidevandsforhold vigtige, men i denne rapport sammenhæng er det væsentligt at havniveauet i lang tid har ligget tæt ved det nuværende relativt til landniveauet.

5.1.4 Kystzonens udvikling imellem Nymindegab og Blåvands Huk

En række borer på land viser, at der strækker sig et mindst 20 m tykt legeme af post-glacialt marint sand fra Blåbjerg mod syd til og med Skallingen (Figur 9). Området er altså dannet af havaflejringer som et såkaldt marint forland og er nu i stor udstrækning dækket af klitter. Også i nutiden sker der pålejring på kysten fra Nymindegab til Blåvands Huk svarende til en netto materiale vandring skønnet til 400.000 m³ år af Hofdahl (1968) og 1.200.000 m³ år af DHI (2001). Ovenpå et underlag af ældre men stort set ukendte lag ligger en såkaldt spit platform- en undersøisk udbygning af marint sand. Herover findes en øvre del aflejret i kystzonen (strandbred, strandvoldsystemer og senere klitaflejringer). Det kan altså konkluderes at *Kystzonen mellem Nymindegab og Blåvands Huk specielt syd for Henne Strand kan karakteriseres som et udbredt sedimentationsområde med tilvækst af kysten til følge.*

Hele området tænkes dannet på følgende måde. Materialet som opbygger området, stammer fra et glaciallandskab, som nu er eroderet bort. Sedimenterne er ført sydpå i forbindelse med udformningen af Jyllands vestkyst som en udligningskyst. Udformningen af barrierens nordligste del tyder på, at dette glaciallandskab må have ligget vest for Blåbjerg området ude i Vesterhavet ifølge (Nielsen, Clemmensen og Andreasen, 1995). Denne antagelse er dog ikke underbygget af de nye undersøgelser. Der er påvist en erosionsrest af et glaciallandskab vest for Blåbjerg, men størstedelen ligger under kote – 20 m og er delvis dækket af sedimenter der er ældre end 6000 år (Boring 578170, Bilag 96/1.23 og tabel 2.2).

Med henblik på, at belyse forløbet af sedimentationen i kystområdet vil vi søge at udrede tidsforløbet for dannelsen af det marine forland.



Figur 10 På land: Barriere (strandvold) systemet og de bagved liggende tidligere lagune områder ved Fil sø er kopieret efter Nielsen, Clemmesen og Andreasen (1995). Til søs: Dybdekurver efter Kystdirektoratets opmålinger 1994-1995. Opdelingen i det indre og ydre strandplan. Profil linien for figur 11 er vist. Dateringen i Ho Bugt (K 5813) angiver den kalibrerede alder af et tørvelag beliggende 40 cm under vadepladen (Davis et al. 1997). Punktet angiver minimums udbredelsen af det marine forland 2200 BC.

Under flyvesandsdækket strækker der sig en 1 a 3 km bred barriere langs kysten fra lidt nord for Henne Strand til syd for Vejers (Nielsen, Clemmensen og Andreasen 1995). Bag denne brede barriere ligger et tidligere lagune område, hvor den nu delvis udtørrede Filsø ligger (Figur 10).

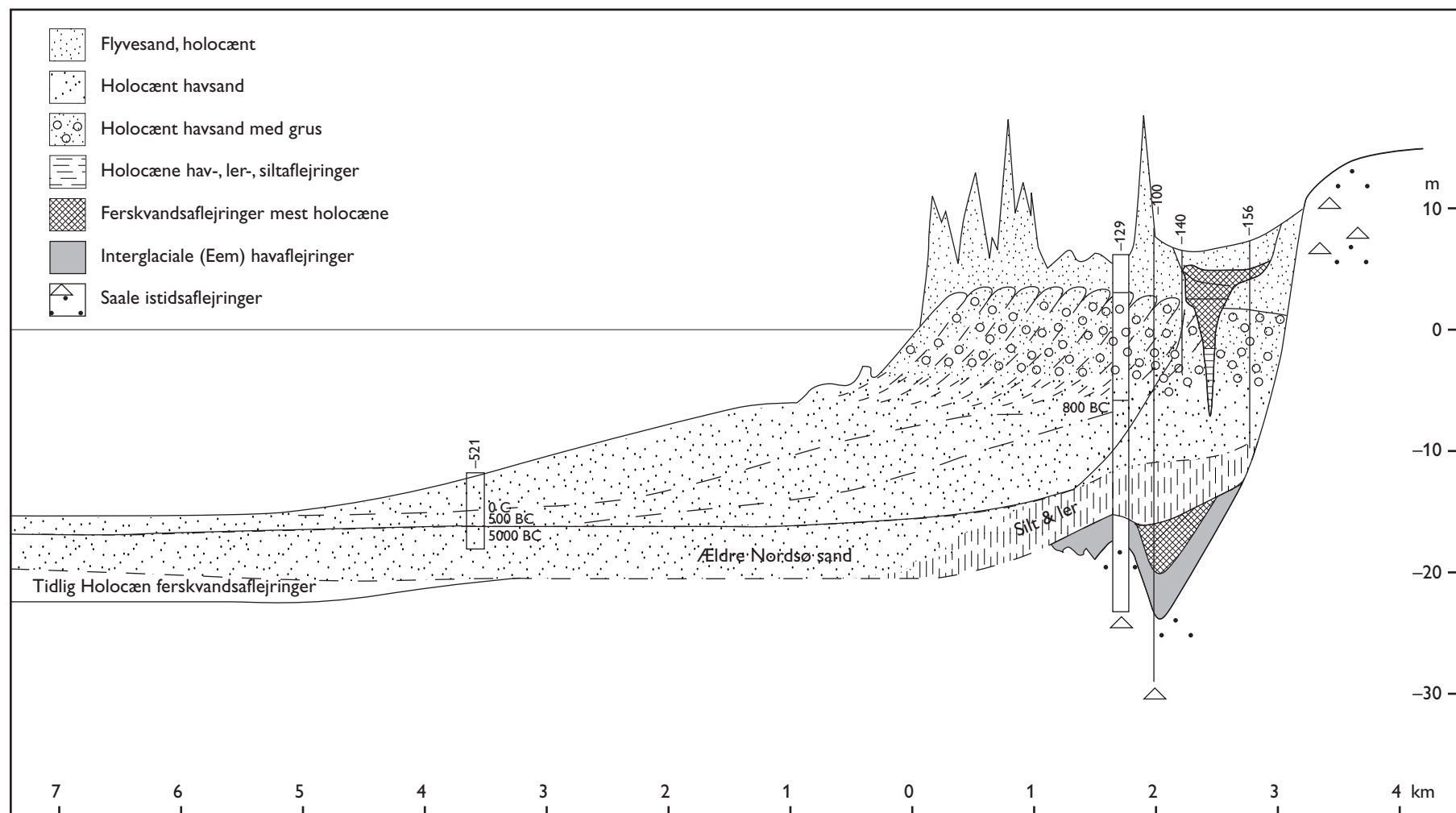
I første omgang er der sket en bassinudfyldning ved at der dannes et undersøisk flak af fint sand ved en udbygning mod sydsydpøst og syd ud fra det tidligere glacielandskab i bakke-øennord for Blåbjerg. Hen over dette flak er det grovere erosionsmateriale udbygget som et krummoddekompleks i sydsydpøstlig og derpå sydpøstlig retning (Figur 10). Barrieren og den tilhørende udbygning af strandplanet er successive vokset mod syd ud over flakket. På et tidspunkt er havforbindelsen fra syd op til Filsø lagunen blevet afbrudt enten ved at forbindelsen er blevet opfyldt af egne aflejringer, eller måske snarere ved at flyvesand har fyldt kanalen op. Den tidligere beskyttede salte Filsø lagune overgik til en ferskvandssø. Ifølge Jonassen (1957) med modifikationer af Odgaard (1985) og Krog (1979) skete dette sent i Atlantisk tid (ca. 6800-5800 BP_{cal}). Den inderste del af barriere systemet nåede på dette tidspunkt mindst til ned omkring Grærup (pøstligst på Figur 11).

5.1.5. Den nyere udvikling i kystområdet: De sidste 3000 år

Den fortsatte materialevandring mod syd af erosionsmateriale, hvoraf noget blev lagt på kysten, medførte en udbygning af barrieren med strandplan på strandplan i vestlig retning. Dette ses tydelig på georadarprofiler (Nielsen, Clemmensen og Andreasen 1995) og er vist på Figur 11.

Den grusholdige barriere strækker sig næppe helt til Blåvands Huk (Clemmensen 1999) som det antydes af Aagaard et al. (1995 fig. 1). Siden ca 1200 AD er tilførslen af groft materiale til barrieren ophørt ifølge (Clemmensen et al. 1996). Der vides meget lidt om Blåvand områdets og Skallingens ældre geologi bortset fra at den er opbygget af et tykt lag havsedimenter (Jessen 1925). I vandforsyningsboringer i Blåvands Huk - Oksby området er der ikke truffet marine grus- og stenholdige lag. Ud fra studiet af udviklingen i de sidste hundrede år (Aagaard et al 1995 og Davis et al. 1997) formodes, at Skallingen og Ho Bugt med Langeli er dannet som en serie af barriereøer og tidevandsmiljøer i lighed med Fanø og Rømø. En tørv under tidevandssedimenterne i den sydpøstligste del af Ho Bugten er dateret til ca. 4000 år BP_{cal}. Dette indikerer, at en betydelig del af landområderne nord for Skallingen er opbygget til nær havniveau allerede på dette tidspunkt. Den yderste del af Skallingen er muligvis først dukket op over havniveau indenfor de sidste fire hundrede år (Davis et al. 1997, Clemmensen 1999). Alle disse dannelser forudsætter dog at havbunden er nær havniveau så bølgetransport kan virke, dvs. der må ligge en forudgående udbygning af ret lavvandede flak hvorpå de mere strandrelaterede processer kan virke. Muligvis kan grunden "Ulven" syd for Blåvands Huk anses for en nutidig noget modificeret dannelse af denne art.

Ifølge Petersen (1998) er der ca. 2 km inde i landet ved Grærup Vandværks boring (GEUS 120.129) i kote -7m fundet en musling (*Donax vittatus*) som er dateret til ca. 2620 ± 75 år BP svarende til ca. 2800 BP_{cal}. På dette tidspunkt lå havniveauet tæt ved det nuværende og det må ud fra koten antages at muslingen har levet nær grænsen mellem den indre og ydre strandplan. Den daværende kyst har formodentlig ligget mod øst lidt uden for skrænten ved Grærup by (Figur 11), i overensstemmelse med oplysninger om at Grærup klint blev inaktiv "some time after 3000 BP" (Aagaard et al., 1995). På radar profilerne kan direkte



Figur 11 Et noget skematisk snit af de marine dannelser fra den gamle kystskrænt øst for Grærup gennem barriere dannelsen og de tilhørende strandplans aflejringer i dag afgrænset af Vestskråningen. På land baseret på georadar tolkninger (Nielsen et al 1995) og boreoplysninger fra GEUS borearkiv. Profil linien er vist på figur 10. De skitserede tidligere kystprofiler er baseret på de viste dateringer og en uforandret form af kystprofilen. Numrene på land henviser til GEUS borearkiv atlasblad 120.

iagttages gentagne pålejninger på barrierens vestside. Hvis vi antager at Petersens datering er korrekt og at kystprofilen har haft nogenlunde samme form som i dag (antagelse af ligevægtsprofil) ses på Figur 11 at foden af det ydre strandplan har ligget ca 1 km længere østpå. Dette er i god overensstemmelse med dateringsresultatet i havboring 586.121 (bilag 22/1.12). Ovenpå groft marint sand dateret til før 5150 BC sker der fra 450 BC til hen mod år 0 en sedimentation på ca. 3.6 mm/år svarende til at strandplanet prograderer ud over området. Fra år 0 til i dag er der ved borestedet aflejret godt 2 m sand med en middelpålejring af 1,1 mm/år.

Dette billede er blevet bekræftet i et profil 3 km længere nordpå. I boring 578171 placeret på 8 m dybde på det ydre strandplan (udfor KDI pejleprofil 6140) er de øverste 5.2 m fint sand aflejret i de sidste ca. 1585 år ^(korr.), svarende til en middelakkumulationsrate på 3.2 mm/år. Akkumulationsraten har varieret kraftigt fra ca. 10,5 mm/år i perioden ca. 400 AD til 725 AD medens den i middel har været ca. 1.4 mm/år siden (se Figur 26). En seismisk reflektor i ca. 4 m dybde ved boring 578171 kan følges ca. 1.3 km vestpå næsten til boring 578172 hvor den smelter sammen med underlaget i kote -16.3 m. Underlaget ses at være tydelig grovere havsand- som det også var tilfældet i boring 578121 der ligger 3 km længere sydpå, hvor toppen af laget blev dateret til ca. 7000 år B.P. Strandplan-prismet er synes altså opbygget ca. 3 m og tåen er flyttet ca. 1 km vestover i de sidste ca. 1500 år i dette område.

Vi kan således opstille en model hvor udbygningen af barrieren mod vest ledsages af en udbygning af strandplan-prismet. En tilsvarende model er fremlagt af van der Valk (1992) for opbygningen af de hollandske vadehavsøer og mere generelt af Roy et al. (1994).

Pålejningen vestpå udfor Grærup svarer rimeligt til den rate der er påvist ved kortstudier dækkende perioden 1790-1890 på 75 m pr.100 år (Petersen 1998). Ifølge dette argument har en væsentlig del af udbygningen af barrieren vestover fundet sted i de sidste 3000 år. Dette er i overensstemmelse med (Clemmensen 1999). Østfor eller under barrieren må findes den ældre barriere, der forårsagede lukningen af Filsø og som det marine forland nord for Skallingen støtter sig til. Det er bemærkelsesværdigt at toppen af de grusede lag i barrieren ofte træffes op til 3-4 m over havniveau, hvilket er noget højere end hvad der kunne forventes med de nuværende dynamiske forhold (Jessen 1925). På grundlag af dateringer og modellen ovenfor vil akkumulationsraterne i profilet vist som Figur 11 blive skønnet.

I Vejers sydlige klitplantage synes barrieren at gå i opløsning ved at krumoddekomplekset skiller sig op i flere grene med laguneaflejninger eller kanaler imellem (Figur 10). De skrånende strandplans-reflektioner ses dog tydeligt vestligst i alle georadar profilerne. Grunden til at den grusrige barrieredannelsen er ophørt kan være at et kildeområde til erosionsmateriale i form af det gamle glacielandskab efterhånden er blevet helt nederoderet, og der alene har været sand til rådighed til opbygning af Blåvands Huk området. En anden mulighed er, at de grove materialer dirigeres ud på det Indre Horns Rev. Området mellem Grærup -Oksbøl bakkelandet og Blåvands Huk - Oksby antages i de øvre lag at være opbygget overvejende af lagunesedimenter med erosionskanaler.

Alle de nævnte aflejninger er blevet dækket af flyvesand, dels i form af dæklag af vekslende tykkelse, dels i form af klitter ofte af betragtelig tykkelse (Clemmensen et al 1996 og 1999). Dette flyvesand har givet landskabet sit nuværende udseende, idet næsten alle kanaler og lavninger er blevet udfyldt, og de vandrende klitter har dannet landskabets nuværende bakker. Perioder med kraftig sandflugt og klitdannelse har vekslet med mere rolige perioder (Clemmensen et al 1996).

På strækningen fra Nymindegab til en km nord for Henne Strand er det glacielle landskab på Varde bakkeøen kun adskilt af en smal strimmel marint forland fra selve stranden. Det seismiske profil udenfor ved ca. 10 dybdekurven og boring 578170 (Bilag 96/1.23) viser at her er sandet i strandplanet (Vestskrånningen) her ret tyndt og underlejret af højtliggende glacialaflejringer. De øvre 3 m sand i boringen er dateret til ca. 6000 år BP (korrigeret) så også ældre aflejringer bidrager til strandplan-prismet i dette område. Udformningen af det nutidige strandplan og Kystdirektoratets gentagne opmålinger vidner dog om at der stedvis sker en kraftig pålejring også i dette område (se afsnit 6.5.1).

5.1.6. Dannelsen af det Indre Horns Rev

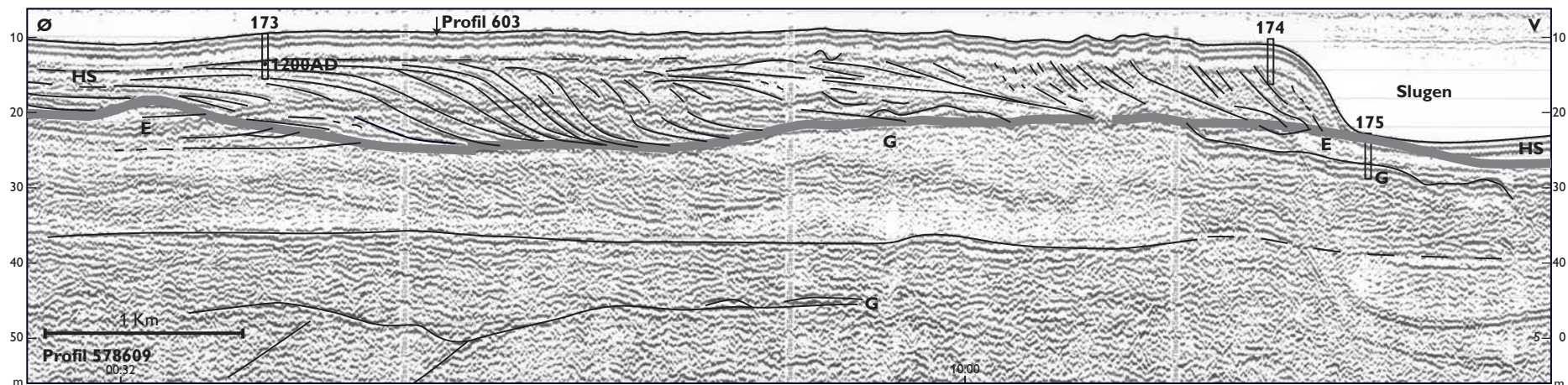
Tilførsel af sediment til det Indre Horns Rev synes nøje knyttet til eksistensen af en kysttransport ned til området tæt ved Blåvands Huk. Der sket en udbygning vestover af Vestkysten fra Henne Strand til Blåvands Huk på af størrelsen 3 km over de sidste ca. 3000. Dette strandvoldsystem breder ud i en vifte ca. 5 km nord for Blåvands Huk. Alderen på den sydlige spids af den grusholdige barriere angives til ca. 1200 AD (Clemmensen et al. 1996). Det må derfor formodes at kystsedimenttransporten ret sent i dette forløb dirigeres ned til Blåvands Huk og foden af det indre Horns Rev. Dette stemmer overens med at er Skallingen en ung "barriere ø" dannet i løbet af de sidste fire århundrede ifølge (Davis et al. 1997).

Underlaget for det marine sand på det Indre Horns Rev er en svagt bølget erosionsflade, der under den nordlige og vestlige del observeres i kote -18 til -24 m. Under selve Blåvands Huk ligger basis af de marine dannelser ca. i kote -22m (Figur 9). Ifølge undersøgelserne for ilandføring af et elkabel lige øst for Ulven (Marin Mätteknik 1999) og i en ældre GEUS seismik linie 240-044 (Kuijpers 1993) skønnes basis her at ligge i kote -16 til -20 m undtagen nær sydranden ved munden af Ringkøbing Dyb hvor underlaget stejlt sænker sig til ca. -30 m. I en boring i Søren Bovbjergs Dyb på 19.5 m vand. (boring 578.176-177 Bilag 96/1.29 og 1.30) blev der gennemboret 5.5 m mellem- til grovkornet marint sand. Et finkornet lag ved basis antyder at man er nær basis af det marine sand. Basis for det Indre Horns Rev ligger altså under kote - 25 m på dette sted. Under den lavvandede sydlige del af revet foreligger ikke observationer af basis men den antages at den ligge nær kote -20m og at der ikke forekommer større forhøjninger i underlaget. Ud fra den seismiske profiler ses, at revet er udbygget vestover direkte på ældre lag fra forrige interglacial og istid, hele volumet er et akkumulationsflak til sin basis så vidt vides uden ældre holocæne marine lag (se Figur 12 og 13). Det konkluderes at det Indre Horns Rev er en ophobning af marint Holocænt sand som vist på tykkelseskortet Figur 17.

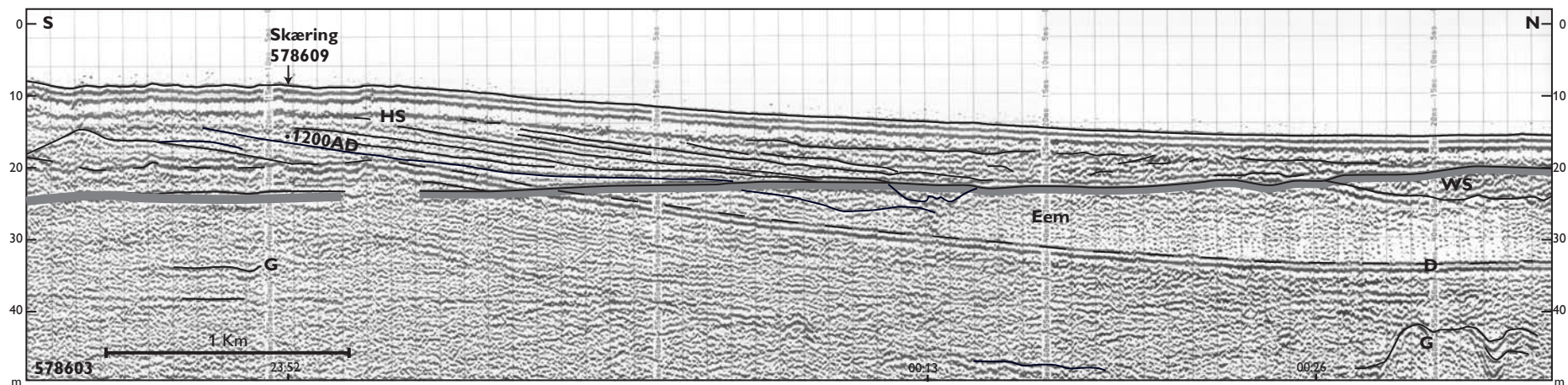
På dette grundlag skønnes det samlede volumen af sand i det Indre Horns Rev at være 1.9 km³ på et areal af 170 km². Hertil kommer ca. 0.25 km³ under Ulven og den tilstødende skrånninger indtil 3 km øst for Blåvands Huk. Som begrundet ovenfor formodes det meste af dette sand aflejret indenfor de sidste 3000 år svarende til 717.000 m³/år

Udbygning af det indre Horns Rev i 800 år

De seismiske undersøgelser viser at det Indre Horns rev vokser dels ved progradering og pålejring på vestspids området, dels ved pålejring og udbygning af sedimentprismet på nordsiden og formodentlig også ved pålejring på den stejle sydvest side ned mod Slugen.



Figur 12 Sparker profil på langs (på N:6.160.000) af det indre Horns Rev. Profilet følger næsten 10 m kurven på nordsiden af banken på de yderste ca. 5 km. De sigmoidale reflektorer fra ca. kote –12 m til basis i 18- 24 m vidner om at banken er udbygget ved pålejring på fronten. Variationerne i refleksionsmønsteret antyder et i detalje komplekst udbygningsforløb. Reflektorerne går helt ned til et underlag, der tolkes som rester af Eem aflejringer eller ældre istidsdannelser (Saale) som det observeres i boring 578175. Underlaget har altså været spule rent inden spidsen af banken vokser hen over det. Den markerede reflektor er i boring 578173 dateret til år 1200. Det indebærer at banken er vokset ca. 3.5 km østover i de 800 år. De øverst 2-4 m på flakket ser seismisk ud til at være homogen og er ifølge dateringerne omlejret indenfor de sidste par hundrede år.



Figur 13 Sparker profil over nordskråningen på E:430000 af det indre Horns Rev ca. 5 km øst for spidsen. De skrå reflektorer repræsenterer tidligere havbunds niveauer. Det ses, at sedimentprismet er bygget op og ud nordover over en strækning på 3- 4 km, og at denne udbygning er sket på en erosionsflade i Eem aflejringer. Længst mod nord er Eem overfladen dækket af smeltevandsaflejringer fra sidste istid og evt. senglaciale dannelser (WS). Den markerede reflektor kan med rimelig sikkerhed spores ca. 900 m mod øst på profilet (Fig. 13) til ca. 4 m under havbunden i boring 578173, hvor den er dateret til ca. år 1200 (AD). Med disse forudsætninger ses at der er aflejret ca. 7m sediment på skråningen i de sidste 800 år svarende til en middelpålejrning på 8.75 mm/år samtidig med at foden af skråningen forskydes nordover.

Udfra det seismiske profiler kan en paleo-spids af Horns Rev observeres ca. 4 km øst for den nuværende spids (Figur 12).

Paleo-spidsen kan ved C 14 datering i boring 578173 (Bilag 96/1.25) dateres til ca. år 1200, der er altså evidens for en udbygning vestpå af det Indre Horns Rev på omkring 4 km på 800 år. Dette er i overensstemmelse med at sandet i boring 578174 (bilag 96/1.26) nær spidsen af revet er aflejret indenfor de sidste ca. 100 år. Den seismiske reflektor nordpå fra boring 578173 (Figur 13) viser at der i samme periode er sket en opbygning på 5-7 m og en fremrykning af foden af sedimentprismet i nordskråningen på 1.5 - 2.5 km. I boring 578103 på 13 m vand ca. 2 km øst for dette profil ses dels at foden er prograderet ind over ældre sand for ca. 1500 år siden. Boringen viser også at sedimentationsraten for omkring 1500-1000 år siden tiltog kraftigt, således at de øverste 3 m af sandet her er aflejret i løbet af de sidste 700 år svarende til en middelpålejring på 5.1 mm/år.

Fremrykningen vestover fra paleospidsen på E:43000 udgør sikkert 29 km² og et volumen på 0.31 km³. Udbygningen på nordsiden andrager ca. 18 km² og et volumen på 0.08 km³. Opbygningen af den ældre del af nordskråningen op til den nuværende 6 m kurve skønnes ret usikkert til 0.19 km³ (0.14 - 0.25). En enkelt seismisk linie (Figur 13 længst mod syd) antyder en udbygning også mod sydøst. Dette vil være i overensstemmelse med resultatet af DHIs modelarbejde (DHI 2001) som viser sediment transport på tværs af banken ved nordlige vinde. Udfra den seismiske fastlagte paleo-spids af revet anslås at sydvest skråningen af revet er prograderet ca. 2 km mod sydøst. Udfra en ide om at bankens grundlæggende har været opbygget til nær havniveau som i dag men i en kortere version af nutidens banke, anslås at der også er pålejret ca. 1.5 km på revet mod sydvest skråningen. Dette er meget usikkert. Dette vil tillægge ca. 0.24 km³ på et areal af 18 km². *Samlet skønnes at der er pålejret mindst 0.58 km³ og sandsynligvis af størrelsen 0.83 km³ på 800 år svarende til mindst 725.000 m³/år og sandsynligvis af størrelsen 1 000.000 m³/år.*

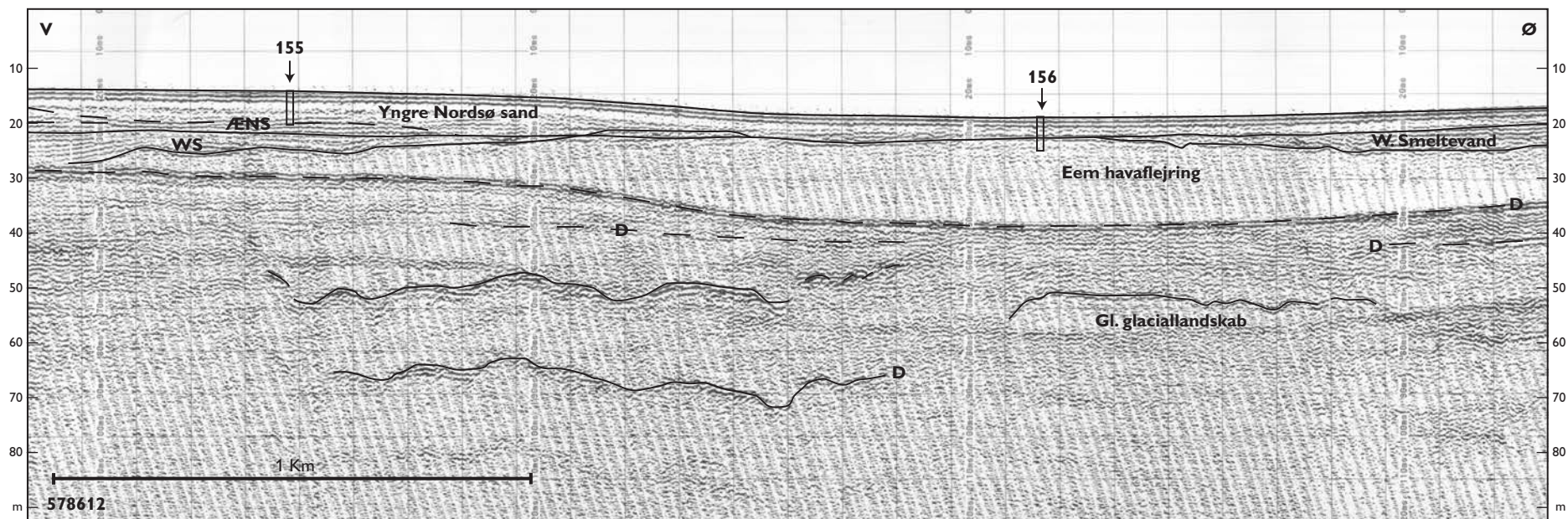
Disse tal stemmer rimeligt overens med skønnet baseret på hele Indre Horns Rev over 3000 år.

5.1.7 Vestslugen, området nord for Indre Horns Rev & Cental område Øst

Renden mellem de indre og det ydre Horns Rev fortsætter som en ca 2 km bred dal i havbunden kaldt Vestslugen eller Nordmanddyb til ca 7 km længere nordpå, hvor den ebber ud i en tærskel med ca 15 vanddybde sydvest for Vejers Grund (Figur 3 og 14).

Så vidt vides er strømmen kraftig og skiftende i renden og der synes ikke at foregå en væsentlig blivende sedimentation. Den skiftende lagserie i boring 578156 (Bilag 96/1.9) i den nordlige del tyder på meget vekslende sedimentationsforhold. Vestsiden af renden udgøres af en sandaflejring der synes at udbygges østover (se afsnit 5.1.9).

Der strækker sig et ca 4 km bredt område nord for det indre Horns Rev og vest for Vestskråningen der er karakteriseret af et overvejende tyndt 1- 4 m, lokalt manglende, dække af marint sediment (Figur 17). Der er glidende overgange til foden af sedimentprismet under Vestskråningen og nordskråningen af det indre Horns Rev (se f.eks. Figur 139 og på den anden side mod nord til det centrale område (Figur 1). Sedimentet i området og de tilstødende skråninger er overvejende fint siltet sand (Boringerne 578101 til 104 (Bilag 22/1.3 til 1.6), 578121 (22/1.12), 578172 (96/1.25) samt Gas 2 (22/1.15). I flere boringer træffes tynde lag af let leret silt. I flere af boringerne er der nederst fundet skaller dateret til



Figur 14 Sparker profil. Tværsnit på N: 6. 166.000 over Vestslugens forlængelse nordover . På vestsiden ses aflejringer af Yngre Nordsø sand, der hviler på et erosionssnit i Ældre Nordsø sand. (ÆNS), som det observeres i boring 578155. Laget (WS) tolkes som smeltevandssand fra sidste istid (Weichsel) og ferskvandsaflejringer fra tidlig postglacialtid (Boring 578157) findes under store arealer i undersøgelsesområdet. Seismisk er det karakteriseret af korte bølgede reflektorer (hummocky clinoforms) som formodes at afspejle vekslende småskala kanaler og småsøer. Denne lagserie er eroderet bort under de centrale dele af Vestslugen renden, og de underliggende- homogent udseende Eem havaflejring fra sidste mellemistid danner basis for de nutidige havaflejringer (Boring 578156).

før ca 5000 år BP så ældre Nordsø sand udgør en del af lagserien her. Over store områder ligger et abrasionsflak på Saale glacialområdet tæt under bunden. Der er ikke påvist sandbølger og andre sedimenttransportformer i området.

Det kunne tyde på at der foden og nederst på skråningen forekommer lejlighedsvis koncentreret strøm og dermed en reduceret nutidig sedimentation eller muligvis erosion. Denne formodning er i overensstemmelse med DHI modelberegninger for området, der tyder på moderat sedimenttransport sydover på og vest for Vestskråningen samt nordgående transport nord for Indre Horns rev. En tilsvarende zone langs foden af en skråning med akkumulation beskriver Zeiler et al. (2000) fra Den tyske Bugt. Den er også i overensstemmelse med områder med non-deposition længer nordpå langs Vestjyllands kyst (Leth et al 1999). Zeiler et al (2000) kalder zonen "sediment depletionzonen" fordi den taber sediment indad mod kysten og udad mod dybere vand.

5.1.8 Det centrale område

Området er et relativt fladt og relieffattigt areal mest med dybder mellem 15 og 25 meter mellem foden af Vestskråningen og det indfyldte NV bassin. Vestgrænsen er ret arbitrært sat til 7°45 E og sydgrænsen er Vejers Banke. Under den østlige del af området (det Centrale område Ø på Figur 1) er, som nævnt ovenfor, underlaget over store strækninger et abrasionsflak på Saale moræneområder og dalsystemer (Figur 6, og borerne Gas 3 og 4, Bilag 22/1.16 og 1.17), men også andre aflejringer forekommer ved basis (Figur 5). Under det egentlige centrale område ligger smeltevandslag og senglaciale sø aflejringer næsten overalt tæt op under havbunden. Det marine dæklag er sandsynligvis tyndt, 1 a 2 m de fleste steder, dog noget mere i de næsten udfyldte dalsænkninger som i nordøsthjørnet af området.

Der er ikke nogen markant seismisk eller sedimentologisk forskel mellem de marine lag og underlaget. Det kan derfor ikke udelukkes, at tykkelsen af det marine lag som vist på Figur 17, lokalt er underestimeret. De få borer fra området (Gas 5 til 8 Bilag 22/1.18 til 1.21) tyder på at de marine sedimenter overvejende er fint siltet sand med et moderat dyndindhold og lokale dyndlag. Underlagets sedimenter afviger ikke meget herfra.

Indenfor undersøgelsesområdet er arealet af det egentlige centrale område omkring 162 km² og med en middeltykkelse på 1.5 m marint sediment anslås det samlede volumen til 0.24 km³.

5.1.9 Den vestlige Saale bakkeø og sedimentationen øst herfor

Den vestlige Saale bakkeø

Der er store områder præget af relativt højtliggende abrasionsflak på Saale glacielandskabet. Området er en nederoderet bakkeø, som en platform strækker sig 25 km nordover fra det vestlige ydre Horns Rev (bankerne Tuxen og Vovov). De eneste prøver fra denne platform er borerne 524060 (Bilag 22/1.13) og 578150 (Bilag 96/1.3) der begge viser kraftigt rustfarvet smeltevandssand (Kuijpers 1995). De seismiske profiler tyder dog på, at også andre glaciale sedimenter forekommer i det stærkt isdislokerede område og i den 2 km brede udfyldte dal omkring 55° 41 N, der formodentlig er en tunneldal (Huuse og An-

dersen 2000). Denne dal er muligvis en fortsættelse af sænkningen nordfor det Ydre Horns Rev (Figur 7), men relationen er uklar. Der er også påvist lokale erosionsrester af Eem aflejringer (Boring 578150 og Gas 16) og senglaciale sedimenter (Boring 578151 Bilag 96/1.4) på erosionsplatformen. I alle borerne er platformen dækket af ca. 1 m sand, og over store områder viser seismikken også et tyndt dække på platformen bortset fra under Sandtungen, se nedenfor. Platformen er mod øst begrænset af en markant skråning, der delvis er dækket af yngre Saale smeltevandsaflejringer og Eem havaflejringer (Figur 6). Skråningen var dog stadig markant ved begyndelsen af den marine sedimentation. I området omkring 55°40' N, hvor tunneldalen udmunder, er forholdene ikke afklaret.

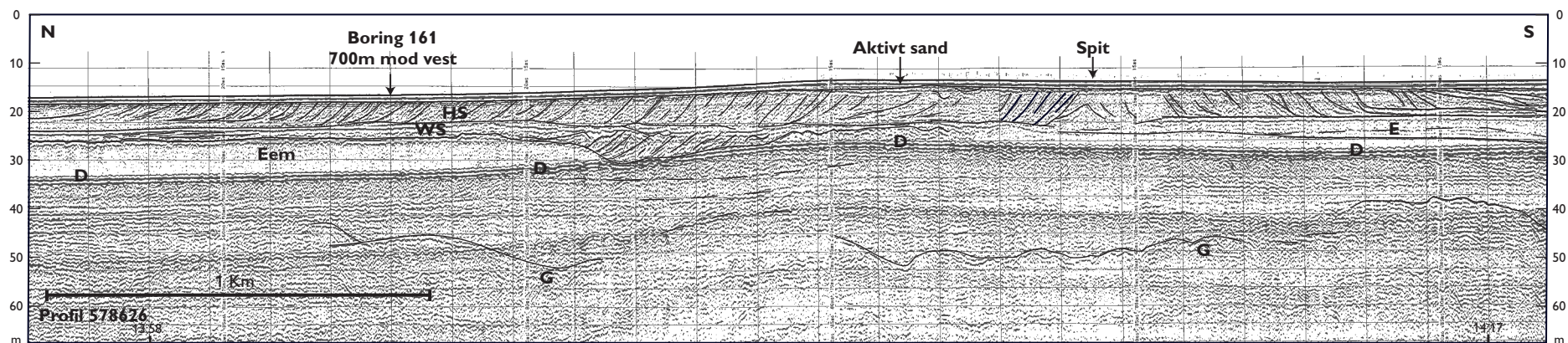
Sedimentationen mod øst.

Sedimenter er i stor udstrækning aflejret øst for området i en nu næsten helt begravet sænkning der fortsætter Vestslugen-sænkningen nordvestover (Figur 17). Bedømt ud fra retningen af prograderingen og hældningen af lagdeling er sedimenterne overvejende tilført vestfra. Det gælder både sandpuden mellem platformen og Vestslugen rendens vestside lige nord for det Ydre Horns Rev (Figur 7) og en begravet spit der strækker sig fra vest mod øst på ca. 55° 39'N, der synes at have en fortsættelse i Vejers Banke samt i særlig grad den nord herfor liggende den tykke dalfyldning i NV Bassinet. (Figur 16). De hældende lag er dog ofte overlejret af et 1- 4 m tykt lag af seismisk homogent sand som repræsenterer det aktive lag- svarende til det yngre Nordsøsand. Banken kaldt Sandtungen danner som regel den vestlige del af disse sandakkumulationer i form af flade banker af seismisk homogent yngre Nordsøsand. Det er muligt at sedimenttransporten til dette område overvejende er kommet sydfra over og uden om Horns Rev- og at retningen af prograderingen er styret af topografiske forhold (accommodationspace på skråningerne).

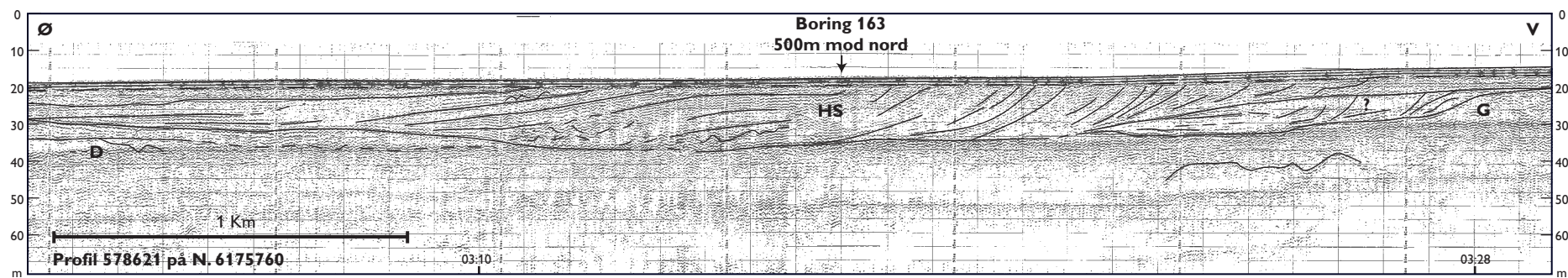
NV Bassinet

I en tidlig fase af den marine udvikling er tegn på en kraftig tilførsel af sediment fra syd og vest hen over de nederoderede vestlige glacialområder. Dette materiale er i stor udstrækning aflejret på skråningerne af glaciallandskabet som ret stejltstående lag (Figur 16) der derved udbygges- prograderer- nordøstover, næsten som et floddelta der bygges ud i en sø. Et langt bånd af Eem aflejringer direkte under de holocæne marine lag et stykke oppe af østskråningen (Figur 5) kunne forklares ved at antage erosion af en lejlighedsvis ret kraftig nordgående strøm i den østlige del af bassinet. Gradvis bliver lagene i prograderingen mindre stejle og i NØ bassinet ses at lagene når længere østover hvor de onlapper op ad den modsatte skråning. Med tiden sker der derfor en aflejring i de dybereliggende dele af aflejrbassinets- således at skråningshøjden aftager og den dybe del af bassinet forskydes østover samtidig med at terrænet gradvis udjævnes (Figur 16). Kun de øverste 6 m af dette sedimentdække er belyst i borerne 578163 og 164 (Bilag 96/1.16 og 1.17) samt de nederste dele af Gas 11,13 og 14. I disse borer er sedimentet marint mest fint siltet sand eller silt med finsand.

Efter bassinet i det væsentlige er udjævnet til 16 – 20 m dybde spreder der sig et 1- 3 m lag af mellemkornet sand stedvis med et beskedent grusindhold (samme borer + Gas 12) og med tynde lag af grus og groft sand nær basis. Der er altså sket en markant ændring i sedimentationen ret sent i udviklingen af området. Der foreligger ikke dateringer af dette. Den nordlige del af banken "Sandtungen" (Larsen & Leth 2001) består af dette materiale er bedst udviklet over grænsen mellem det glaciæle abrasionsflade og NØ Bassinet.



Figur 15 Sparker profil fra nord mod syd på E: 420000 af en spit (odde) der strækker sig på tværs af Vestslugen rendes forlængelse ca. på 55039 N sandsynligvis 7 km mod vest lidt syd for Vejers Banke. På figuren ses at spitten er vokset direkte ud på en flade der består af Eem aflejringer (E) mod syd og Weichsel smeltevandsaflejringer (WS) mod nord, så det er ældre Nordsøsand. Spitten er vokset hen over en erosionsdal der synes opfyldt af smeltevandsaflejringer. I den første tid er spitten blevet ca. 1 km bredere ved pålejring på skråningerne (progradering). Senere sker der også en sedimentation i bassinet nord og syd for spitten så skråningerne med tiden bliver lavere. Det marine sand i spit komplekset afskæres opad af en erosionsflade der overlejres af yngre Nordsøsand, der i boring 578161 er lidt grovere end det fine ældre Nordsøsand. (G) angiver toppen af det glaciale landskab. (D) markere dobbeltekk



Figur 16 Sparker profil over de kanten af det udfyldte sedimentationsbassin i NV delen af området. De yderste dele af istidslagene fra Saale (G) .Et dybt bassin bliver gradvis fyldt vestfra op til et niveau der svarer til toppen af abrasionsplatformen på Saale bakkeøen tæt vest for.. Den nederste aflejringskegle (?) har muligvis sammenhæng med udløbet af en stor glacial dal lige syd for profilet. I boring 578163 tæt vest for ses at det tyndt dæklag af recent sand overlejre en mere end 5 m tykt lag grovsilt og sand.

Den samlede mængde sediment i NV bassinet er skønnet til 2,13 km³ på et areal af 216 km². men på grund af skiftet i sedimentation vil det nok ikke være formålstjenligt at omregne dette til akkumulationsrater med henblik på forholdene i dag.

Spitten på 55° 39 N

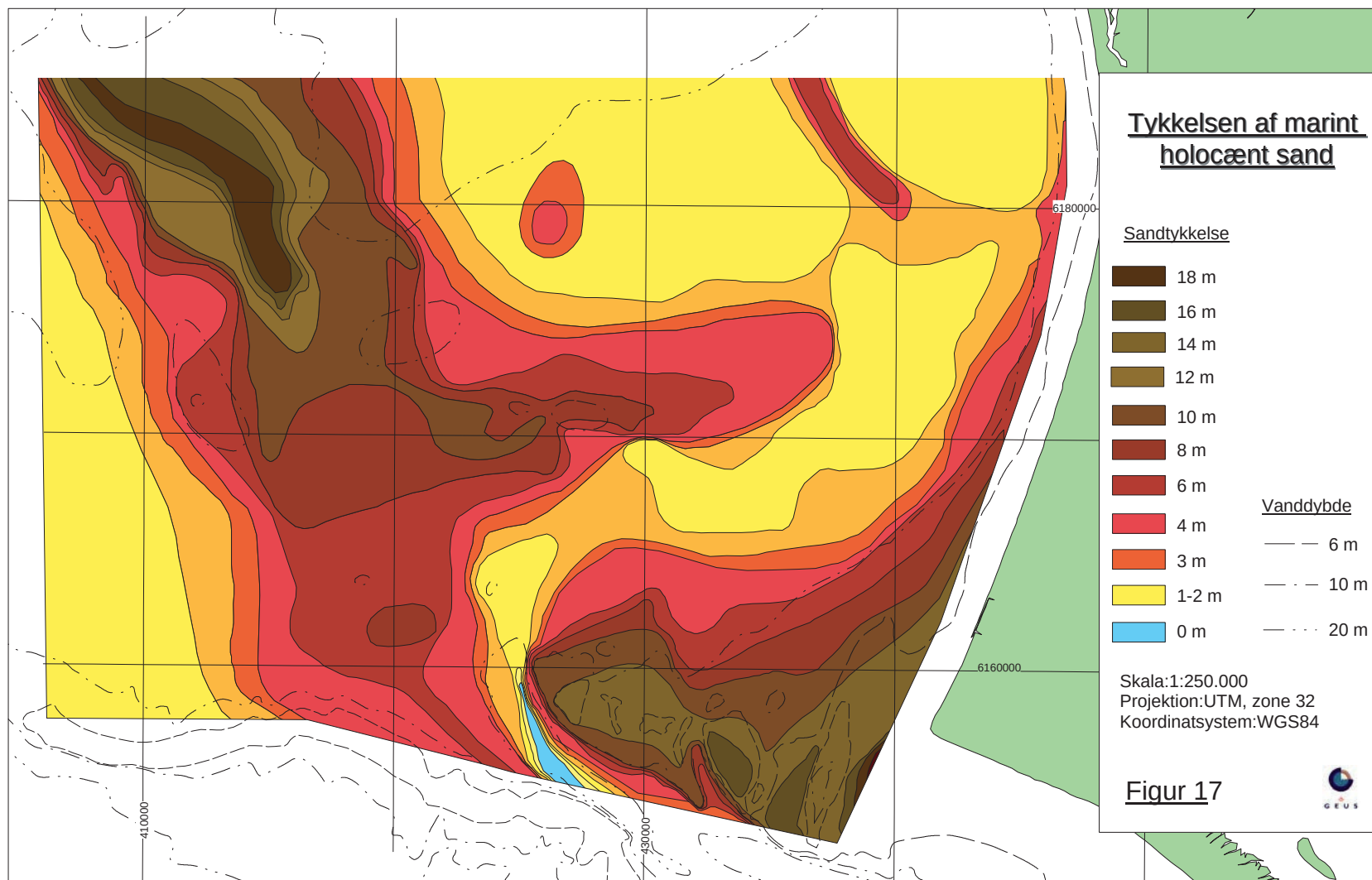
Af særlig betydning er at der på ca. 55° 39N ret tidligt i udviklingen dannes en odde eller et system af odder (spit), der med en vis reservation kan følges fra 55°39 N 07°40 E omkring 10 km mod øst. Spitten er seismisk karakteriseret af et skift på 180° i retningen af progradering. Strukturen rejser sig omkring 7 m over den omgivende havbund og med overflade tæt ved nuværende kote -13 m mod vest og 20 m længere østover. Den synes relateret til ellers helt begravede småforhøjninger i underlaget. Retningen af prograderingen tyder på at spitten gradvis er vokset østpå og er blevet bredere både mod syd og specielt mod nord (Figur 15 og 29). Spitten virker som en dæmning i "Slugen dalen" og danner kærnen i den tærskel der i dag afslutter Vestslugen nordpå. Som diskuteret i afsnit 6.4.3 boring 568155 indikeres at spitten primært er udviklet ca. 5000 til 4000 BP men at progradationen fortsatte til mindst 2500 BP. Dette er et overraskende resultat fordi havniveauet på dette tidspunkt har ligget nær det nuværende, så "spit"dannelsen må være en submarin proces. De to dateringer er ikke direkte placeret i materiale der udiskutabelt er en del af spitten så det kan ikke udelukkes at udførte dateringer ikke repræsenterer spittens dannelse. Den detaljerede udvikling kan ikke afklares med det foreliggende net af seismiske linier. Materialet i spit området er inkluderet i områderne mod nord og syd.

Området vest for Vestslugen

Et op til 7 m tykt pude af marine sedimenter er afsat øst for platformen og nord for det Ydre Horns Rev hvor den udgør den vestlige skråningen af Vestslugen renden (Figur 7 og 17). Pudens struktur er ikke velbelyst i de foreliggende seismiske linier. Ret få skrå reflektorer indikerer, puden er vokset vestover. De hældende lag overlejres af nogle få meter homogent sand, som repræsenterer det mere eller mindre aktive yngre Nordsøsand. De sparsomme dateringer antyder, at der sker en langsom pålejring (0.4 – 1 mm/år) både i dæklaget på platformen og på sandpuden. Der foregår altså en moderat sedimentation på Vestslugens vestskråning (0.5-1.5 mm/år) overvejende af mellemkornet sand stedvis med grovsand. (Boringerne 578118, 578154 og 578155). Mere lokalt på banken kan raterne blive meget højere i lokale rendeudfyldninger og på driver på bankes overflade (se afsnit 6.4.1).

Vejers Banke

Er et par op til 5 m høje sandrygge der liggende omkring 55°41 N og strækker sig Ø- V fra ca.10 til 22 km fra kysten. De mest lavvandede dele er kun 8 – 9 m dybe, men banken afgrænses bedst af 15 m kurven. Udfra oplysninger i Fiskerikortet (L.D/- Nr. 5506) er bunden præget af sten og uren bund. Dette antyder højtliggende moræne el.lign. Dette blev ikke bekræftet i de foreliggende seismiske profiler. Banken består så vidt vides af marint sand der ligger ovenpå smeltevandsaflejringer fra sidste istid. Boring 578159 og 578158 (Bilag 96/1.11 og 1.12), er placeret på den høje del af banken på henholdsvis 10.7 og 11.1 m vand medens 578160 (Bilag 96/1.13) og 578120 (22/1.11) er placeret mere marginalt. På dette grundlag ser det ud til at de højst beliggende dele af banken består af flere meter grovkornet marint sand uden grus medens kornstørrelsen aftager til lidt finere sand nedad og på siden af banken. Det er sandsynligt, at materialet i den øverste del af banken omlej



res i forbindelse med storm. Den underste del af banken er opbygget af de distale ret fladtliggende dele af de prograderende lag nord for spitten omtalt ovenfor. På et erosionssnit heri ligger de seismisk homogene lag der udformer banken. Med disse forudsætninger må banken være dannet i løbet af de sidste få årtusinde. Arealet af Vejers Banke er ca. 80 Km² og volumet til basis af det marine sand omkring 0.54 km³.

Oprindelsen af det grove sand i banken er uklart, men det kan nævnes at tilsvarende materialer er truffet i boringerne 578161 og 578162 begge på 16,7 m dybde 5-7 km vest for Vejers Banke nær et sted hvor glaciale lag ligger tæt ved bunden. De grove materialer

I bankens øverste del synes at afvige så meget fra det fine sand sydfra men at ligne de grovere sandmaterialer vestfra. Det anses derfor som mest sandsynligt at sandet er transporteret vestfra.

6. SEDIMENTATION OG AKKUMULATIONSRATER

I dette afsnit søges at sammenstille resultater fra seismik, boringer samt geologiske overvejelser med henblik på at afklare hvor der kan forventes nutidig (de sidste 1000 år) sedimentation og hvor ikke og danne baggrund for et skøn over akkumulationsrater. Formålet er at prøve at forstå sedimentationsforholdene med henblik på at afgrænse områder hvor det er rimeligt at antage ensartet nutidig sedimentation/ erosion. Områderne er afgrænset på Figur 1. Der fokuseres specielt på områder som er relateret til sedimenter transporteret på Jyllands Vestkyst.

6.1 Sidescan undersøgelser

Der er udført sidescan målinger langs alle de seismiske målelinier. Generelt ser bunden meget ensartet ud og fremtræder uhyre fattig på strukturer langs målelinierne. Dette afspejler formodentlig homogent velsorteret sand. Der kan stedvis skimtes storribber (megaribber) med en bølgelængde af størrelsesorden 0.5 m – hvilket indikerer at strømmen overskrider ca. 30 cm/s. Mindre ribber som bølgeribber vil dog ikke kunne observeres med den anvendte frekvens. Der er kun få steder påvist større strømrelaterede bundformer (Figur 18 og 19). Der er ikke i undersøgelsesområdet observeret sten på bunden langs linierne.

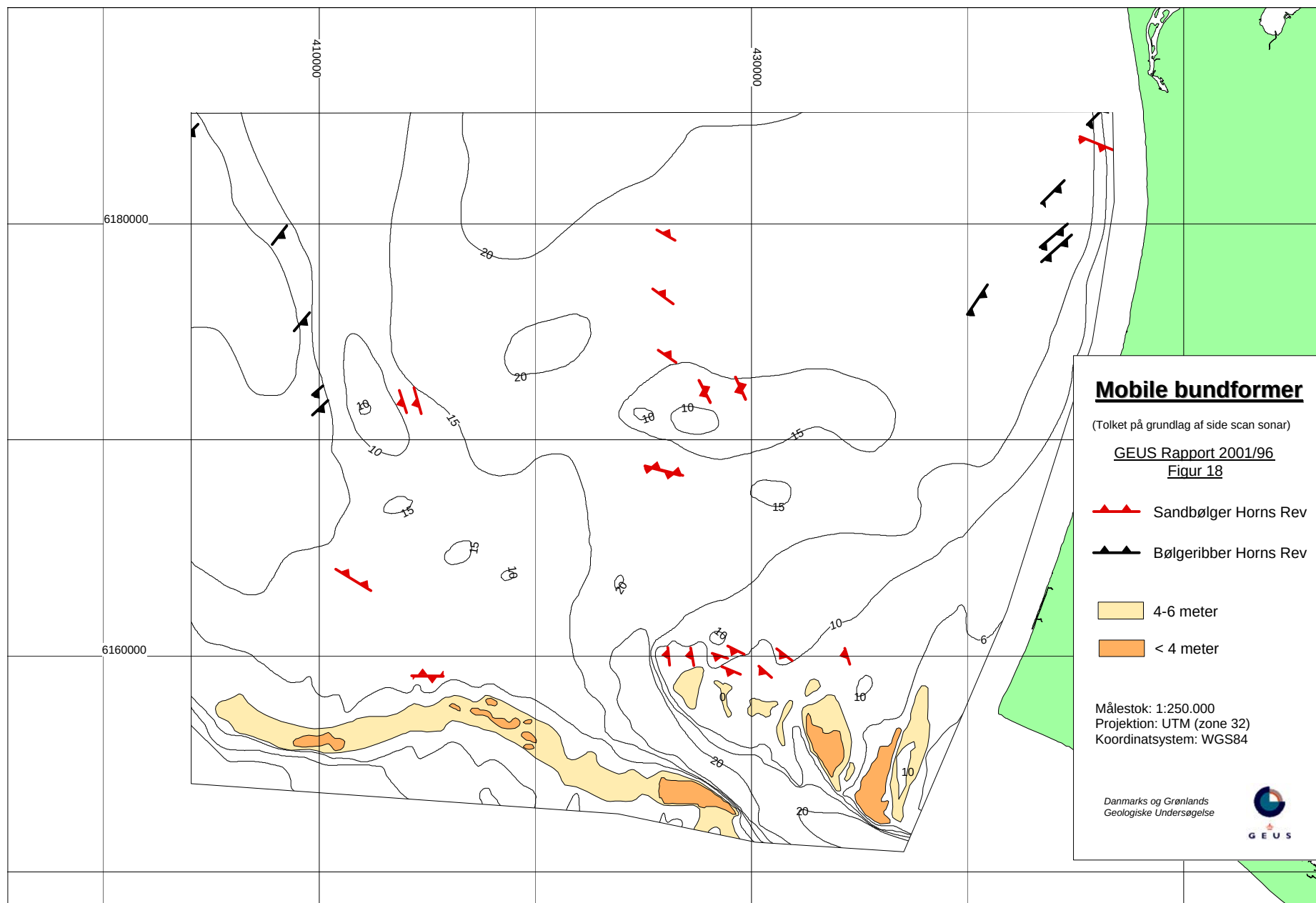
Kun få steder, fortrinsvis på de flade skråninger af NV Bassinet, findes gruset bund med sandribber (omkring 7°45 E 55°45 N).

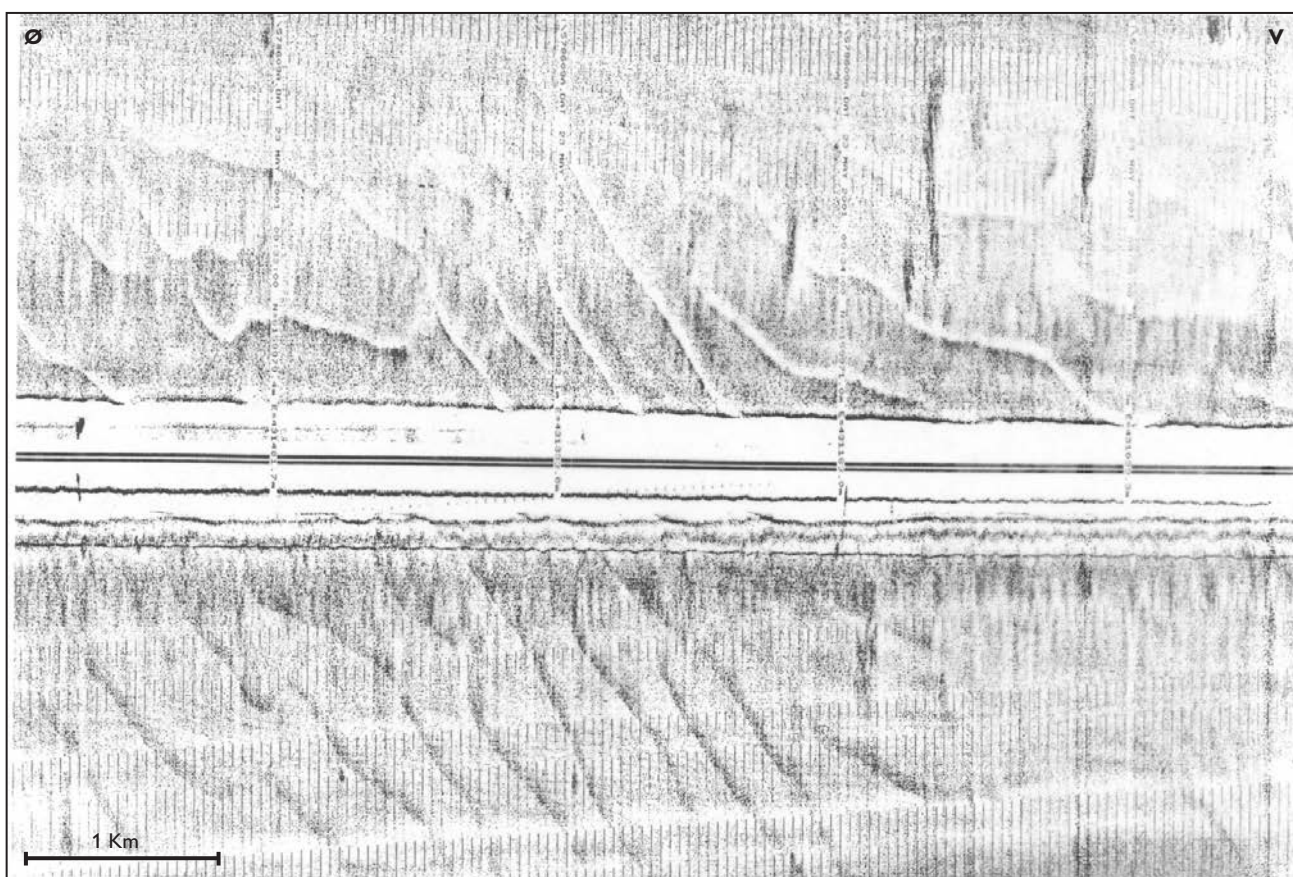
Ifølge Kuijpers (1993) kan der på østskråningen af Slugen, hvor den skærer igennem Horns Rev, stedvis påvises megaribber. Megaribber er også observeret på det Indre Horns rev på ca. 10 m dybde (Figur 18)

6.2 Resultater af boringer – lithologi og sedimentstrukturer.

Generelt er de holocæne marine sedimenter (HS) i boringerne præget af mellemkornet til fint sand, ofte med en tendens til lamination i de lidt mere finkornede intervaller. Der forekommer i enkelte boringer grovere lag ofte ledsaget af uklare lag af skaller og skalstumper. I boringer (578119, -121, -150,-157,-168,-169,-170) kan disse grovere lag relateres til afbrud i lagserien (hiata) hvor der i en længere periode ikke er bevaret sediment på stedet. I en hel del boringer findes der øverst et ret tyndt groft lag (578151,-154,-162,-163,-166?), der kunne tolkes som et residualsediment og tyde på at disse områder er under erosion.

Der er meget få eksempler på småskala krydslejring og andre indikationer på småskala ribber. Da sådanne sandsynligvis fandtes på havbunden, må dette forhold indikere, at der sker en remobilisering af de øvre havbundslag så strukturer forstyrres (se afsnit 6.3). I de finsandede og siltrige intervaller ses lavvinklede krydslejringer, strukturer der kunne ligne "hummocky cross stratification" (Walker 1984, Vincent 1986). Denne lejringsform dannes i forbindelse med omlejring af de øvre lag af havbunden ved indvirkning af stormbølger på dybder der ikke normalt påvirkes af bølge strømme.





Figur 19 Udsnit af sidescansonar linie 578609. Viser aktive sandbølger på den ydre del af det Indre Horns Rev. (Se figur 18)

I borer i hjørnet mellem Vestkysten og Horns Rev (Boring 578.102 og under 2.7m i 578.104 og fåtalligt i 578.121) forekommer få cm tykke let lerede siltlag, der ofte er underlejret af lag rigt på skaller og skalfragmenter. Der må altså lejlighedsvis være muligheder for aflejring og bevaring af ret finkornede sedimenter på den dybere del af strandplanet. Ved prøvetagningen d 28/8 2000 blev der på havbunden på station 104 og d 27/7 2001 på station 176 observeret et få mm tykt lag af finkornet materiale ovenpå det fint- mellemkornede sand, der normalt udgør havbunden her. Dette repræsenterer sandsynligvis en temporær aflejring af det finkornede suspendede stof, der ses i tidevandsstrømmene.

6.3 Aflejningsmåde og omlejring

På grund af bølge- og strømpåvirkning sker der jævnligt omlejring af de øverste dele af sandbunden i modsætning til lag på lag aflejringen i rolige aflejningsområder for muddersedimenter f.eks. i Østersøens dybe bassiner. Havbundens niveau varierer i størrelsen 10 cm mellem Kystdirektoratets årlige pejleprofiler ud til ca. 15 m vanddybde. Årsvariationen er flere meter på det indre strandplans revler som illustreret på Figur 3. En del af denne variation er utvivlsomt måleusikkerhed, men det formodes at en del er reel. Det indikeres altså, at i størrelsesorden 10 cm af havbunden omlejres i forbindelse med uroligt vejr. Dette gælder sandsynligvis i hele området. Også flytning af stømribber og dyrenes roden i bunden (bioturbation) er med til at omlejre de øvre lag i bunden. Dette er de vilkår hvorunder en netto pålejring eller erosion som regel i størrelsesorden 0.2 -10 mm/år skal ses gennem en kraftig korttidsvariation.

6.4 Skøn af akkumulationsrater baseret på C 14 dateringer

Bestemmelsen af akkumulationsrater ($\text{g/m}^2/\text{år}$) baseres på en bestemmelse af alderen af forskellige horisonter i sedimentsøjlen. Et sæt data baseres på datering af skalmateriale i sedimenterne. Metoden bygger på den antagelse, at skallerne i sedimentet er aflejret blivende indenfor få år efter de er dannet. Denne antagelse kan kun sandsynliggøres ved at skallerne gennemgående ser ud til at være hele og ikke har været udsat for slid i større omfang inden aflejringen, samt ved en rimelig systematik i de fundne aldre gennem sedimentlaget.

De enkelte dateringer er altså baseret på analyse af en enkelt skal. Grundlæggende kan vi ikke afgøre hvorvidt denne skal er repræsentativ for det niveau den er udtaget fra. De mest friske udseende skaller i de ønskede niveauer i borematerialet er udvalgt til datering. Hvor det har været muligt, er sammenhængende dobbeltskaller udvalgt, men i mange niveauer har kun enkeltskaller kunne findes, så en vis transport af skalmaterialet til aflejningsstedet kan ikke udelukkes. Skallerne er udtaget af sedimentet med fingrene, men er så vidt mulig skyllet i destilleret vand og tørret uden berøring. Skallerne er bestemt af B.Larsen og kontrolleret af Kaj Strand Petersen.

6.4.1 AMS analyser

C14 bestemmelserne fra år 2000 blev foretaget med AMS teknikken på "Ångströmlaboratoriet, afdelingen for Jonfysik" ved Uppsala Universitet, af Göran Possnert og Maud

Söderman. Skallerne fra 2001 blev bestemt med samme teknik på Aarhus Universitet AMS laboratorium af Jan Heinemeier. Metoden tillader datering på enkelte skaller. For at fjerne et evt. ydre kontamineret lag er skallerne skyllet i deioniseret vand ved pH 3. Derefter er CO₂ frigivet ved behandling med 0.5M HCl i 2 omgange. CO₂ fra den sidste behandling, der formodes at repræsentere den inderste ukontaminede del af skallen, er anvendt til datering. CO₂ omdannes til grafit Fe-katalytisk. Resultaterne er fremsendt som ukorrigerede konventionelle C14 aldre i Tabel 1 og bilag E. BP betyder "before 1950". Standardafvigelsen på målingerne angiver kun usikkerheden der fremkommer ved laboratoriemålingerne.

2 af prøverne Ua 17062 og Ua 17070, som repræsenterede helt nutidige skaller var dateret med henblik på at få en ide om den tilsyneladende alder af nutidige skaller (reservoir-effekten). For disse to skaller angives resultatet som procent moderne og er relateret til oxalsyre standarden dvs. 100 pM svarer til en recent prøve.

6.4.2 Korrektion af C14 data.

Muslingerne må danne deres skaller af kulstof, der stammer fra havvandet. Hertil kommer at der ved indbygningen af C i karbonat sker en fraktionering der afspejler sig i $\delta^{13}\text{C}$ ‰. I havmiljø er den ca. 0 men i træ er den -25 ‰, C14 alderen er efter international standard korrigeret til $\delta^{13}\text{C} = 25$ ‰- dette er den konventionelle C14 alder- altså alderen af nydannet træ på land. C14 alderen forudsætter af det indebyggede C14 var i ligevægt med det atmosfæriske C14 på dannelses-tidspunktet. Imidlertid er C i havvandet en blanding af nyt og ældre C således svarende til en C14 alder på 400 år (Heier-Nielsen et al 1995). Denne reservoir alder er fratrasket den konventionelle C14 alder i tabel 2. For Uppsala data er $\delta^{13}\text{C}$ bestemt på de enkelte skaller, men den for at spare tid er antaget til 0.5 for Aarhus data. Fejlen herved er dog maksimalt få årtier.

Sammenligning af C14 aldre med absolutte aldre i år, baseret på årringe i træ, har vist at C14 produktionen ikke har været konstant gennem tiden som det forudsattes i beregningen af de konventionelle C14 dateringer. Virkningen heraf er korrigeret ved hjælp af et program stillet til rådighed af Stuiver et al.(1998).

Tabel 1 Måleresultater fra C-14 laboratoriet,

Resultat av ^{14}C datering av skalprover från Danmark.

Förbehandling av skal/karbonat:

1. Ultraljudstvätt i avjoniserat vatten pH=3.

2. Lakning med 0.5M HCl i omgångar varvid olika fraktioner erhålls.

I första ordningen kan den därvid erhållna CO_2 -gasen från de olika fraktionerna antagas motsvara olika djup i skalet/karbonatet från ytan räknat och därmed ge information om föroreningsgrader och liknande (exempelvis omkristallisation argonit/kalcit).

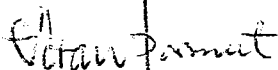
3. Den erhållna CO_2 -gasen grafiteras därefter Fe-katalytiskt före acceleratormätningen av ^{14}C -innehållet.

I den aktuella undersökningen har lakningen gjorts i 2 omgångar, den inre fraktionen har daterats.

RESULTAT

Labnummer	Prov	$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰ PDB}$	^{14}C ålder BP
Ua-17055	578-103 (G) 2-6 cm	0,4	470 $\pm$ 55
Ua-17056	578-103 (G) 50 cm	0,4	660 $\pm$ 60
Ua-17057	578-103 (G) 195-200 cm	0,7	790 $\pm$ 60
Ua-17058	578-103 (G) 295-300 cm	0,7	1 080 $\pm$ 60
Ua-17059	578-103 (G) 400-405 cm	0,7	2 110 $\pm$ 60
Ua-17060	578-103 (G) 572 cm	0,5	4 730 $\pm$ 55
Ua-17061	578-117 (I) 150 cm	1,2	1 535 $\pm$ 55
Ua-17062	578-118 (K) 5 cm	1,3	133,2 $\pm$ 0,8 pM
Ua-17063	578-118 (K) 68 cm	1,7	2 555 $\pm$ 55
Ua-17064	578-118 (K) 194 cm	-1,1	4 445 $\pm$ 55
Ua-17065	578-119 (L) 50-55 cm	1,7	1 550 $\pm$ 55
Ua-17066	578-119 (L) 200 cm	1,0	2 105 $\pm$ 65
Ua-17067	578-119 (L) 300 cm	1,0	2 075 $\pm$ 60
Ua-17068	578-119 (L) 457 cm	0,2	2 445 $\pm$ 65
Ua-17069	578-119 (L) 565 cm	1,2	4 780 $\pm$ 65
Ua-17070	578-121 (A) 0-5 cm	0,5	113,8 $\pm$ 0,8 pM
Ua-17071	578-121 (A) 37 cm	0,1	890 $\pm$ 55
Ua-17072	578-121 (A) 95-100 cm	0,6	1 135 $\pm$ 60
Ua-17073	578-121 (A) 229 cm	0,7	2 405 $\pm$ 55
Ua-17074	578-121 (A) 390 cm	-0,3	2 830 $\pm$ 55
Ua-17075	578-121 (A) 437-440 cm	-0,3	6 570 $\pm$ 75

Med vänlig hälsning



Göran Possnert/Maud Söderman

ÅNGSTRÖMLABORATORIET
 AVD FÖR JONFYSIK, ^{14}C -LAB
 UPPSALA UNIVERSITET

Tabel 2

C14 Dateringer N f Horns Rev

Lab NR	Boring	dybde i bor cm	Materiale	skaller	delta C13	C14 alder år BP	s.	C14 marin corr. år BP	Alder corr. år	Alder til år 2000
Ua-17055	578-103(G)	4	Tellina fabula	dobbel	0,4	470	55	70	AD 1950	50
Ua-17056	578-103(G)	50	Macra corallina	enkelt	0,4	660	60	260	AD 1650	350
Ua-17057	578-103(G)	198	Tellina fabula	dobbel	0,7	790	60	390	AD 1475	525
Ua-17058	578-103(G)	298	Tellina fabula	dobbel	0,7	1080	60	680	AD 1300	700
Ua-17059	578-103(G)	402	Macra corallina	enkelt	0,7	2110	60	1710	AD 320	1680
Ua-17060	578-103(G)	572	Venus gallina	enkelt	0,5	4730	55	4330	BC 2900	4900
Ua-17061	578-117(I)	150	Spisula elliptica	enkelt	1,2	1535	55	1135	AD 920	1080
Ua-17062	578-118(K)	5	Ensis ensis (recent)	dobbelt	1,3	133,2	0,8	%M recent	>AD1960	<40 -0
Ua-17063	578-118(K)	68	Donax vittatus	dobbelt	1,7	2555	55	2155	BC 190	2200
Ua-17064	578-118(K)	194	Venus striatula	enkelt	-1,1	4445	55	4045	BC 2540	4540
Ua-17065	578-119(L)	52	Tellina tenuis	enkelt	1,7	1550	55	1150	AD 890	1110
Ua-17066	578-119(L)	200	Tellina fabula	enkelt	1,0	2105	65	1705	AD 350	1650
Ua-17067	578-119(L)	300	Macra corallina	enkelt	1,0	2075	60	1675	AD 390	1610
Ua-17068	578-119(L)	457	Tellina fabula	enkelt	0,2	2445	65	2045	BC 40	2040
Ua-17069	578-119(L)	564	Spisula solida	dobbelt	1,2	4780	65	4380	BC 2960	4960
Ua-17070	578-121(A)	3	Spisula solida (recent)	dobbelt	0,5	113,8	0,8	%M recent	nutidig	få år
Ua-17071	578-121(A)	37	Spisula subtruncata	enkelt	0,1	890	55	490	AD 1430	570
Ua-17072	578-121(A)	97	Tellina tenuis	enkelt	0,6	1135	60	735	AD 1280	720
Ua-17073	578-121(A)	229	Macra corallina	enkelt	0,7	2405	55	2005	BC 10	2010
Ua-17074	578-121(A)	390	Venus striatula	enkelt	-0,3	2830	55	2430	BC 450	2450
Ua-17075	578-121(A)	438	Tellina fabula	dobbelt	-0,3	6570	75	6170	BC 5150	7150
AAR 2381	524-060	110	Tellina tenuis	?	1,4	1340	55	940	AD 1100	900

Tabel 2.2

C14 Dateringer nord for Horns Rev 2001(foreløbige)

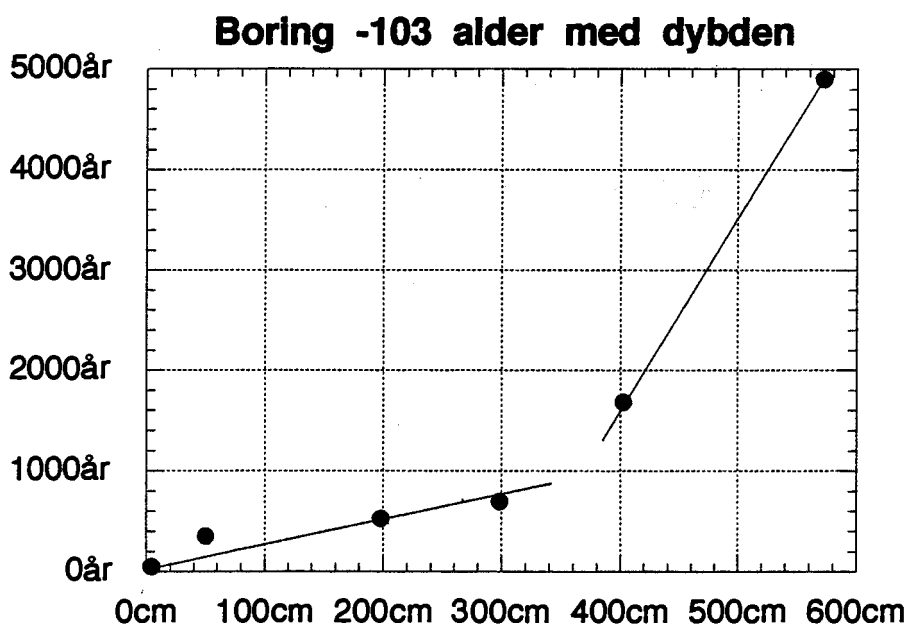
Lab NR	Boring	dybde i bor cm	Materiale	Skaller	delta C 13*	C14 ALDER år BP	S	C14 marin corr år BP	Alder corr år	Alder til år 200
AAR-7179	578-152	133	Tellina fabula	enkel	0.5	662	39	262	AD1648	352
AAR-7181	578-152	522	Macoma baltica	enkel	0.5	2014	43	1614	AD 427	1573
AAR-7180	578-153	322	Mactra corralina	enkel	0.5	3992	55	3592	BC 1939	3939
AAR-7182	578-155	126	Tellian fabula	enkel	0.5	2835	57	2435	BC 465	2465
AAR-7183	578-170	30	Spisula solida	enkel	0.5	5654	54	5254	BC 4030	6030
AAR-7185	578-170	186	Spisula solida	enkel	0.5	5510	49	5110	BC 3956	5956
AAR-7184	578-170	315	Spisula solida	enkel	0.5	5678	67	5278	BC 4030	6030
AAR-7186	578-171	37	Tellina fabula	enkel	0.5	479	43	79	AD 1951	50
AAR-7187	578-171	183	Tellina fabula	dobbel	0.5	1679	37	1279	AD 728	1272
AAR-7188	578-171	512	Tellina fabula	dobbel	0.5	2044	44	1644	AD 415	1585
AAR-7189	578-173	62	Spisula solida	enkel	0.5	518	42	118	AD1694-1949	168
AAR-7190	578-173	396	Tellina fabula	dobbel	0.5	1251	41	851	AD 1212	788
AAR-7191	578-174	66	Spisula solida	dobbel	0.5	600	38	200	AD 1668-1795	268
AAR-7192	578-174	175	Syndosmya alba	enkel	0.5	439	42	39	AD 1953	47
AAR-7193	578-174	500	Syndosmya nitida	enkel	0.5	493	37	93	AD1889-1950	80

* delta C13 antaget til 0.5 ‰

6.4.3 Akkumulationsrater i borer

En enkelt C14 bestemmelse nr. AAR 2381 er venligst stillet til rådighed af A.Kuijpers, GEUS. C 14 resultaterne er fremlagt i Tabel 1 og 2 og Bilag D. Boringernes placering er vist på Bilag B. Nedenfor fremlægges resultaterne for de enkelte borer. For de fleste borer vedlægges et plot af de korrigerede aldre mod dybden.

Boring 578103



Figur 20 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578.103. Hældningen af kurverne angiver akkumulationsraten.

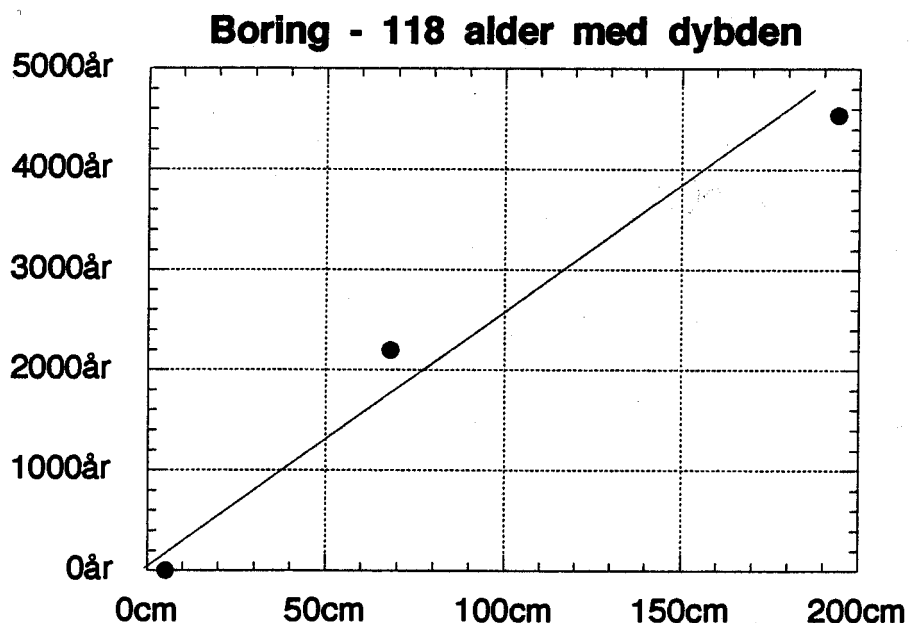
Boringen 578103 (Bilag 22/1.5) er placeret på 13 m vand på nordvestskrånningen af Søren Bovbjergs Knob (den inderste del af Horns Rev). De knap 6 m dybe boring strækker sig ca. 5000 år tilbage i tiden. I hele tidsrummet har der rådet marine forhold på stedet.

Baseret på C14 bestemmelser i 572 og 402 cm dybde har akkumulationsraten mellem 2900 BC og år 320 BC i gennemsnit været 0.5 mm/år. For omkring 1500 til 1000 år siden tiltager akkumulationsraten kraftigt således at de øverst ca. 3 m af sandet er aflejret i de sidste 700 år svarende til en middel pålejring på 5.1 mm/år. Udfra de 4 målepunkter i intervallet skønnes at akkumulationen har været rimelig ens i dette tidsrum.

Boring 578117

Boringen (Bilag 22/1.8) er beliggende lidt vest for munden af renden Vestslugen" på østskrånningen i et sandlegeme der ligger oven på det ældre Nordsøsand. Der er kun foretaget en C14 datering i 150 cm dybde, der dateres til AD 920 (= efter år O). Hvis vi antager jævn sedimentation siden da svarer det til en pålejring på 1.4 mm/år. Denne bestemmelse bør dog verificeres med en til to dateringer på prøver nærmere havbunden.

Boring 578118



Figur 21 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden de øverste ca. 2 m i boring 578118. Hældningen af kurven angiver akkumulationsraten.

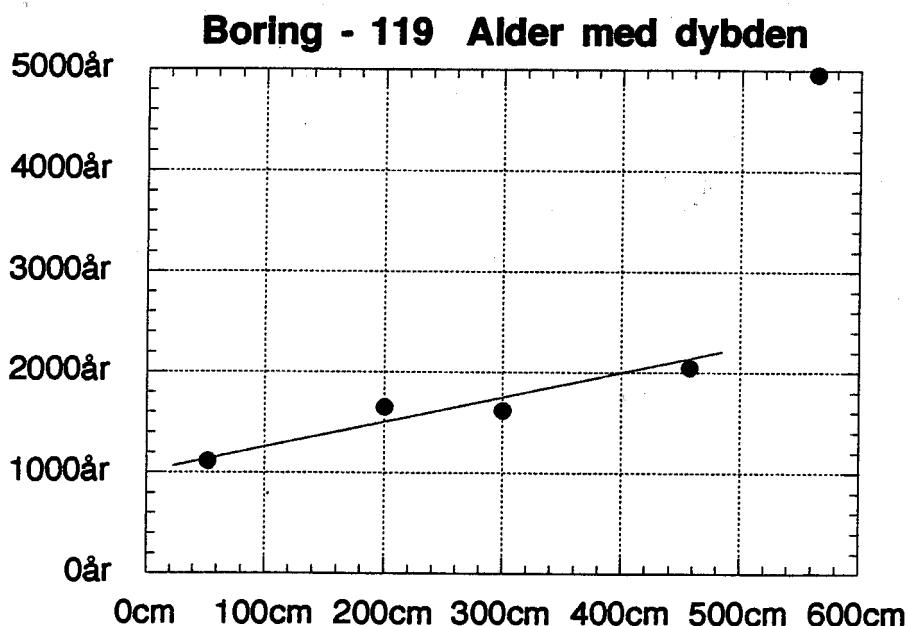
Boringen 578118 (22/1.9) er beliggende på nordskrånningen af den ydre del af Horns Rev på 13.6 m vand. Der er kun foretaget 3 C14 dateringer i en generelt opad grovende sandserie i de øverste 2 m. På dette spinkle grundlag ser det ud til at den gennemsnitlige akkumulationsrate har været rimelig konstant og af størrelsesordenen 0.4 mm/år til nutiden. De nederste 4 m er aflejret før 2540 BC (før år 0).

Dette kunne indikere, at nordsiden af det ydre Horns Rev kun i beskedent omfang i nutiden er akkumulationsområde for sand.

Boring 524060 (B2)

Boringen 524060 (Bilag 22/1.13) er beliggende på nordskrånningen af den ydre del af Horns Rev på 11 m vand ca. 4 km længere vestpå end boring -118. Boringen er beskrevet i (Kuijpers 1995) hvor det anføres at kun de øverste ca. 110 cm er Nordsøsand. Dette lag hviler på sand aflejret i floder eller alternativt i strandvoldsmiljø som er ældre end sidste mellemistid Eem. C14 dateringen indikerer, at aflejringen af det marine sand først begyndte for ca. 1000 år siden svarende til en middel akkumulationsrate på 1 mm/år.

Boring 578119

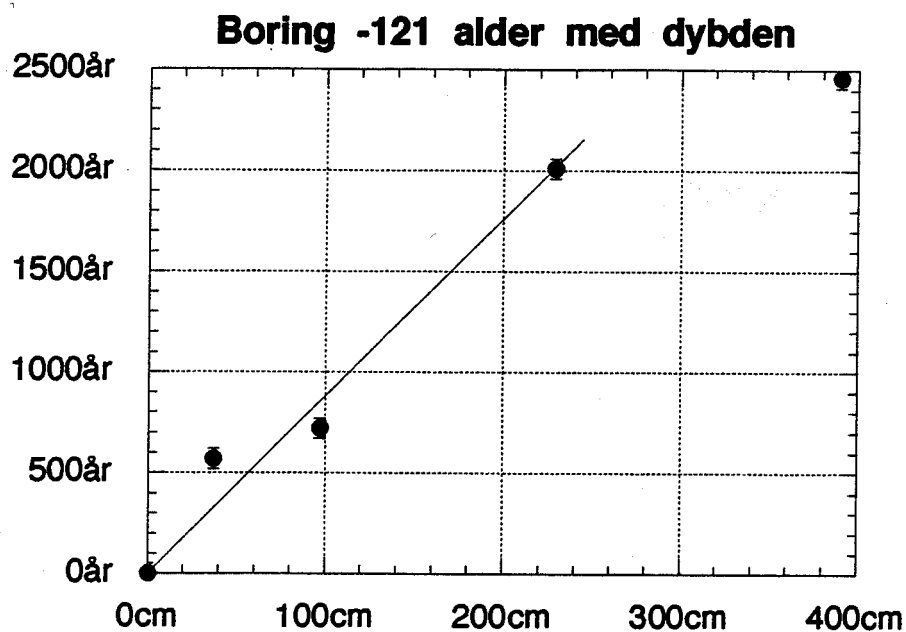


Figur 22 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578119. Hældningen af kurven angiver akkumulationsraten.

Boringen 578119 (Bilag 22/1.10) er placeret ca. 9 km nord for de ydre dele af Horns Rev på den sydlige del af Sandtungen. Boringen er placeret på et sted, hvor der er tegn i de seismiske registreringer på en yngre sandakkumulation, Yngre Nordsøsand. Boringen repræsenterer den tykkeste del af drive af sand, der hviler på et erosionssnit i ældre sand. Tæt ved bunden af boringen i 572 cm dybde er en skal dateret til 2900 BC. Det fine sand i bundlaget er overlejret af et lag af ret groft sand med grus (453-516 cm). Lige over dette lag er en skal dateret til 40 BC. Dette grove sandlag repræsenterer et tidligere erosionssnit og der er en hiatus (afbrud i sedimentationen) lige over det. Baseret på 4 dateringer ser det ud til, at sandlaget fra 453 cm og op efter er aflejret ret hurtigt i tidsrummet fra 40 BC til ca. år AD 1000 altså i løbet af ca. 1000 år. Akkumulationsraten er i gennemsnit 4.5 mm/år i denne periode. Hvis der er sket pålejring i de sidste ca. 1000 år, er det ganske lidt.

Boring 578121

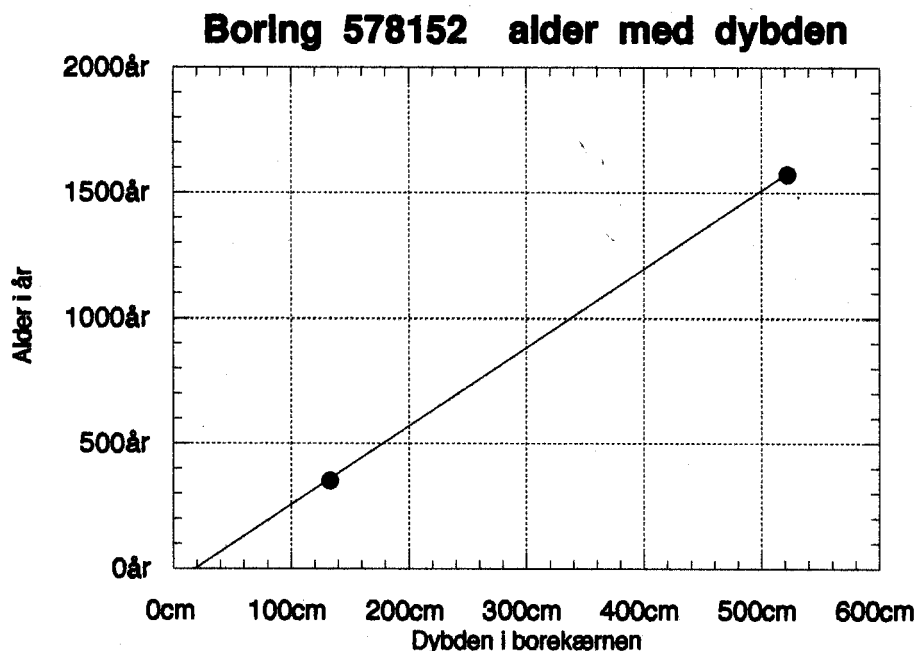
Boringen 578121 (Bilag 22/1.12) er beliggende 12.5 m vand på den nedre del af det ydre strandplan udfor Vejers Strand. Den 5.75 m dybe boring består af marint sand. Et groft gruslag hviler på sand, der er dateret til ca. 5200 BC medens det overlejres af fint sand der er dateret til 460 BC. Der er altså tegn på et langt afbrud- en hiatus- i lagserien. De grove lag i kote - 16 m kunne tolkes som en strandvoldsdannelse, men det passer ikke med havnivauets beliggenhed (Figur 8) Derfor er det mere sandsynligt at de grove lag et residual sediment fra et miljø præget af strøm. De 4 dateringer i de øverste 3,7 m tyder på en rimelig vedvarende middel akkumulationsrate på ca. 3.6 mm/år i tidsintervallet fra 450 BC til 0 år og på ca. 1.1 mm/ år fra år 0 til i dag. Forekomsten af ler/ siltlag og horisonter med



Figur 23 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578121. Hældningen af kurven angiver akkumulationsraten.

mange sammenskyllede skalstumper antyder dog på i detalje mere variable sedimentationsforhold. Dette forløb kunne tyde på at strandplan-prismet for ca. 2500 år siden prograde ud over zonen med ringe sedimentation (se Figurer 1 og 8).

Boring 578152



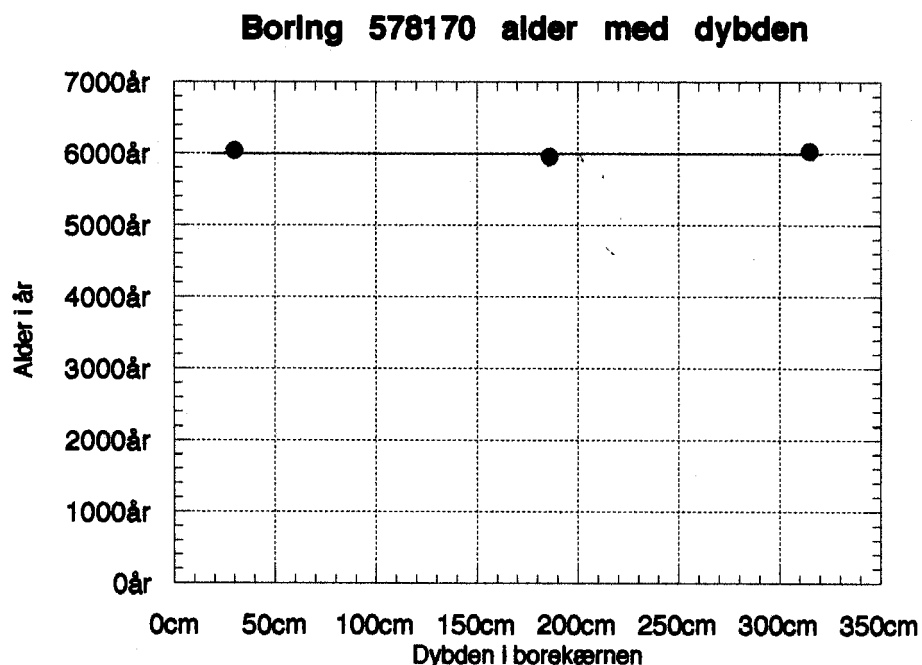
Figur 24 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578152. Hældningen af kurverne angiver akkumulationsraten.

Boringen 578152 (Bilag 96/1.5) er placeret i den vestlige del af i det sedimentlegeme der ligger vest for det eroderede Saale bakkeø, og skulle have dateret begyndelsen af prograderingen. De unger aldre viser imidlertid at boringen ikke kom igennem de yngre Nordsø-sand som også blev dateret i boring 578.119 ca. 2 km mod nord-nordvest. Middel akkumulationsraten er i 578152 med de to punkter estimeret til 3.3 mm/år og synes i modsætning til 578.119 at fortætte til op mod nutiden.

Boring 578153 (Bilag 96/1.6) daterer de yngste dele af de stejle prograderinger der ses på sydsiden af spitten, der danner en tærskel i Vestslugens nordende. Dateringen antyder, at den hurtige udbygningen af spitten var nær afsluttet for ca. 4000 år siden, men en fortsat udbygning østover med fladere progradation er dateret i boring 578155 til 2410 BP. Prøven under erosionslaget i boring 578119 i 5,72 m dybde, som repræsenterer de ældre Nordsø sand, er dateret til ca.4900 BP. Dette giver en første indikation af dannelsesiden for spitten. Udfra det seismiske profil formodes, at der er en hiatus mellem de øvre aktive sand og den daterede horisont, så det er ikke formålstjenligt at beregne en middel akkumulationsrate på dette grundlag

Boring 578155 (Bilag96/1.8) daterer den ydre del af sedimentpuden vest for Slugen. Det var formodet, at dette område var et nutidigt depocenter. Denne formodning blev ikke bekræftet af denne datering der kun tyder på en middel akkumulationsrate på ca. 0.5 mm/år over 2460 år på dette sted. Placeringen svarer dynamisk set til boring 578117 længst mod syd, der viste en ca. 3 gange så høj rate de sidste ca. 1000 år.

Boring 578170

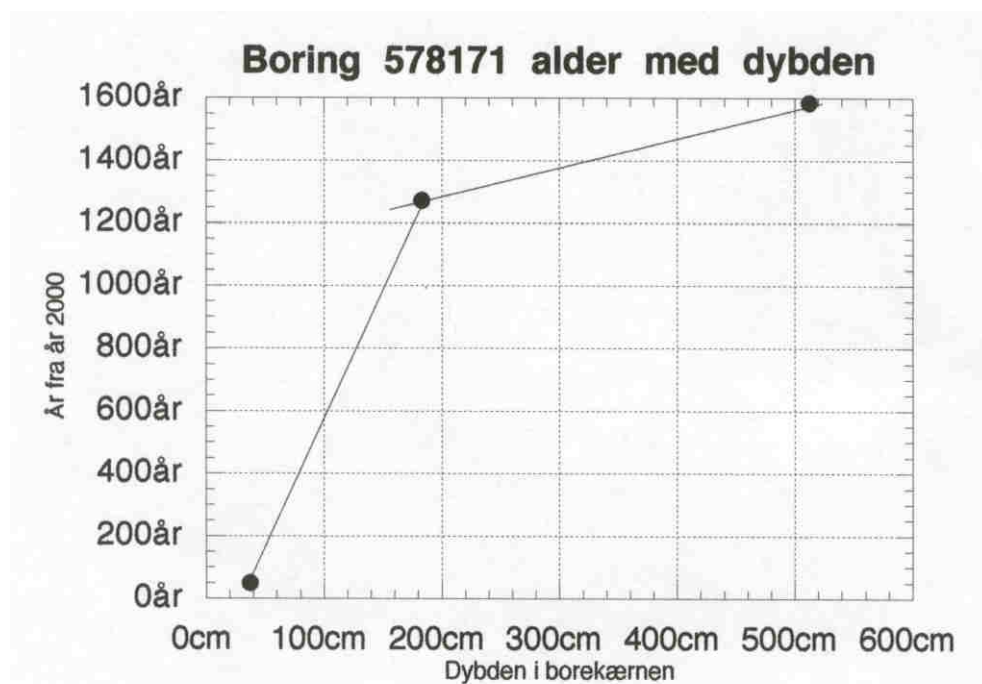


Figur 25 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578170.

Boringen 578170 (Bilag 96/1.23) er placeret på det ydre strandplan (Vestskråningen) på 9.5 m vand udfør Blåbjerg, hvor det glaciare landskab (bakkeøen) kun er adskilt af en smal strimmel marint forland fra selve stranden. Det seismiske profil ved ca. 10 dybdekurven og

boringen 578170 viser at sandet i Vestskråningen her er ret tyndt og underlejret af højtliggende glacialaflejringer. De øvre 3 m sand i boringen er i 3 prøver dateret til ca. 6000 BP (korrigeret) så også ældre aflejringer bidrager til materialet i strandplan-prismet i dette område. Boringen tyder på at der næppe på denne lokalitet sker blivende sedimentation i nutiden.

Boring 578171

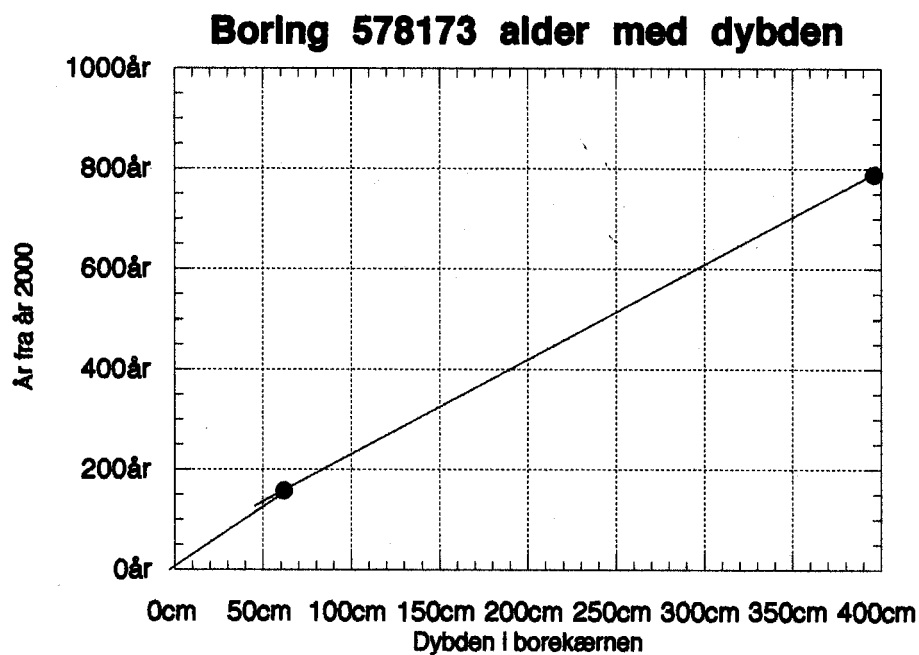


Figur 26 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578171 Hældningen af kurven angiver akkumulationsraten.

Boringen 578173 (Bilag 96/1.24) er placeret på det ydre strandplan, Vestskråningen, udfor Grærup Strand på 8.1 m vand. Dateringerne viser at området er et akkumulationsområde i nyere tid men tyder også på meget varierende middel akkumulationsrater. Fra år 1951 til år 2001 ca. 7.4 mm/år, fra AD 1272 til 1950 1.2 mm/år og fra AD 1584 til 10.5 mm/år. Variationerne kan være reelle men kan også være påvirket af omlejring af ældre skaller og omlejring af overflade lagene som nævnt i afsnit 2. Boringen er nærmere diskuteret i afsnit 5.1.5.

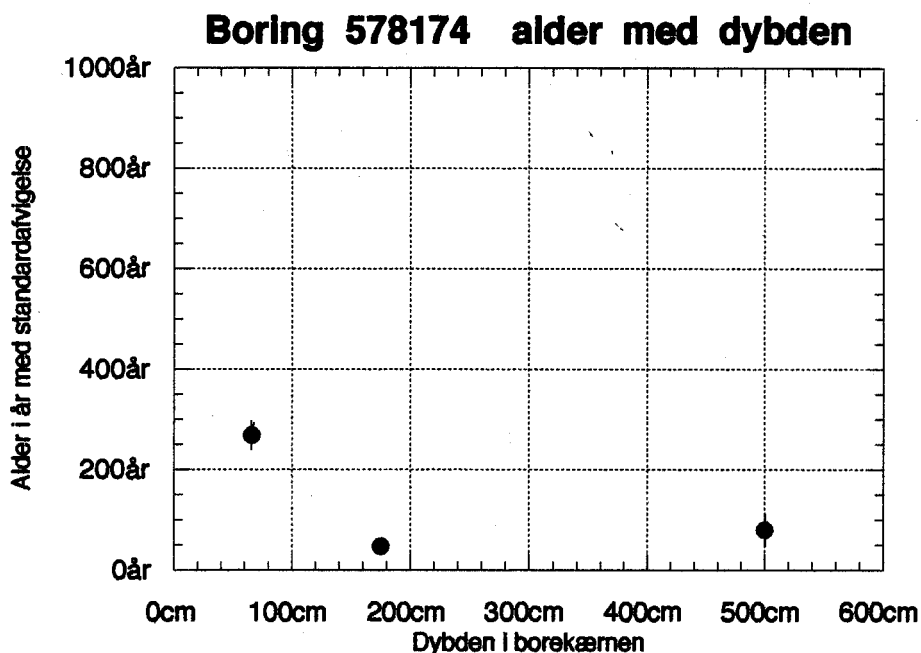
Boring 578173

Boringen 578173 (Bilag 96/1.26) er placeret på det Indre Horns Rev ca. 5.5 km øst for spidsen. Den øverste prøve fra 62 cm er taget i det seismisk homogene aktive sandlag. Dateringen er meget usikker AD1664- AD1949 men vidner i lighed med dateringerne fra boring 578174 om omlejring i de sidste århundrede. Det er næppe formålstjenligt at beregne en akkumulationsrate på dette grundlag. Prøven fra ca. 4 m dybde daterer en reflektor til ca. AD 1212. Reflektoren kan følges både mod vest og nord som det er vist på figur 12 og 13. og tyder på en kraftig udbygning af det Indre Horns Rev i de sidste 800 år- som diskuteret i afsnit 5.1.4.



Figur 27 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578173 Hældningen af kurven angiver akkumulationsraten.

Boring 578174



Figur 28 Korrigerede aldre i år fra nu mod dybden i boring 578174.

Boringen 578174(Bilag 96/1.27) er placeret nær spidsen af det indre Horns Rev på 12 m vand. Dateringerne helt ned til 5 m dybde tyder på at sedimentet er aflejret i nyeste tid dvs. med en meget høj akkumulationsrate. Den noget forhøjede alder AD 1668 - AD 1795 på den øverste prøve fra 66 cm dybde kan forklares ved en vis omlejring af de solide Spisula skaller i de øverste meter før aflejringen.

6.5 Akkumulationsrater baseret på tykkelsen af marine sand.

6.5.1 Strandplanet (Vestskråningen).

Som det fremgår af den geologiske oversigt, afsnit 5.1.4, må kysten og det foranliggende strandplan anses for et betydeligt sedimentationsområde. Kystfremrykningen (Hofdahl 1968, KDI 2001) og resultatet af dateringerne i borerne 578121, -103, -171 og -172 sandsynliggør at de ydre dele af strandplanet er aktive akkumulationsområder også i nutiden. Dette understøttes også af at middeldybderne taget over 10 - 30 år synes at aftage på ydre del af strandplanet i området (Tabel 4, oplysning fra Kystdirektoratet).

Akkumulation baseret på langtidsskøn

Udbygningen af det marine forland sker fortrinsvist ved pålejrning på kysten og på strandplanet der danner Vestskråningen. Hertil kommer materiale der flyder fra stranden ind i klitterænet og "washover fans som beskrevet af Davis et al. (1997) og Aagaard et al. (1995) fra Skallingen og tidevands relaterede vadehavsaflejringer i Ho Bugt. I dag ligger mange af disse aflejringer på land, men kan bidrage til et langtidsskøn over de tilførte sedimentmængder.

Som beskrevet i afsnit 5.1.5 er der aflejret betydelige Holocæne sedimentmasser i de områder der danner det marine forland og de tilhørende strandplaner. Udfra Figur 7 skønnes at arealet af det marine forland til ca. 190 km² og at der er ophobet i størrelsesorden 4.4 km³ havaflejringer inklusive materialet i de tilstødende strandplan-prismer. Det svarer til en gennemsnitlig nettoaflejring af godt 625.000 m³ om året i 7000 år. Hertil kommer det marine sediment der ligger over kote 0 og flyvesandet, der her antages også at stamme fra strandaflejringer. Som en første approksimation antages, at alt sediment over kote 0 er ankommet til området transporteret som strandsand i Holocæn tid, bortset fra ferskvandsaflejringerne i Filsø området. Udfra GEUS højdemodel er middelhøjden skønnet til 7.4 m over et areal på 163 km² svarende til et volumen af 1.2 km³. Hvis vi ganske groft antager at akkumulationen af strand og flyvesandsaflejringer over kote 0 har været konstant i de 7000 år, svarer det til at der årligt aflejres ca. 170.000 m³ over kote 0. Antagelsen er en kraftig forenkling når de varierende forhold beskrevet f.eks. (Clemmensen et al. 1996, Clemmensen 1999) tages i betragtning. I nutiden er sandflugten kraftig dæmpet så det skønnes at der nu kun årligt aflejres af størrelsesorden 25.000 m³ over kote 0.

I alt ca. 5.6 km³ aflejret i det marine forland og de tilstødende strandplan-prismer over ca. 7000 år. Det svarer til i middel 800.000 m³/år

Af Figur 7 fremgår det at der i en række landboringer nær stranden er påvist 15- 20 m marint sediment aflejret siden havet oversvømmede området for 8800- 8000 år siden hvilket svarer til en middelpålejrning på i størrelsesordenen 2 - 3 mm/år. Men som nævnt er disse områder først dannet væsentlig senere (Clemmensen 1999) så det er sandsynligt at akkumulationsraterne var flere gange højere.

Vestskråningen - Ligevægtsprofil

Sandlegemet der danner Vestskråningen består af løse sedimenter, ført til området af bølger og strøm. Det er derfor rimeligt at antage at udformningen af skråningen i lighed med en alluvial flod sker i et sammenspil af de tilstedeværende sedimenter og bølge- og strømkræfter der forekommer i området. Modsætning hertil er områder hvor "modstandsdygtige"

lag sætter sit præg på havbundens udformning. Vestskråningen vil altså stærkt forenklet forventes at være udformet som et "ligevægts profil" som foreslået af Bruun (1954 og 1988) og senere forskere. Dette skal forstås som et statistisk gennemsnitsprofil, som bibeholder sin udformning, bortset fra (mindre?) fluktuationer, herunder sæsonfluktuationer (Bruun og Schwarts 1985; Aagaard 1999). I undersøgelsesområdet er det karakteristisk, hvor det ikke påvirkes af Horns Rev, at tværprofilet i det ydre strandplan er svagt sigmoidalt (s formet) med svage hældninger fra ca. 6 m til 9 m. noget stejlere fra ca. 9 – 12 m hvorefter profilet flader ud.

Denne beskrivelse af ligevægtsprofilet vil altså ikke omfatte korttidsvariationer i revlesystemer på det indre strandplan eller storm- og sommerprofiludvikling. Men hvis der sker en netto sedimentation i området vil ligevægtsprofilet med tiden rykke udad som det er beskrevet i afsnit 5.1.5.

Kystdirektorates årlig gentagne pejlelinier (Bilag C) dækker det meste af strandplanet. Målingerne fra 1994-1995 danner baggrund for kontureringen i Figur 10 og arealberegningerne i Tabel 3.

Tabel 3 Arealer af dybdeintervaller på strandplanet (skønnede).

Kystafsnit	0-6 m km ²	6-8 m km ²	8-10 m km ²	10-12 m km ²	12-14 m km ²	14- 15.5 m km ²	Sam- let km ²
Nymind.(5810)-n.Henne (6050)	6,4	5,1	5,4	3,9	4,6	4,8	30,2
n.f.Henne(6050)- Grærup(6170)	11,7	9,7	8,5	6,1	7,9	11,4	55,3
Grærup (6170)-Blåvands Huk*	11,2	7,1	4,4	2,6	1,2	0,4	26,9

* Begrænset sydpå af linie Blåvands Huk - 55°39' N 08°01'E, se Figur 1 .

Det er karakteristisk, at dybdekurverne forløber meget jævnt og parallelt med kysten. Det indikerer, at der med tiden sker en vis udjævning ved transport kystparallel. Der er dog ikke ved de foretagne side scan målinger påvist sediment-transportformer som støjribber o.lign. Selve strandplanets form viser at der sker en sedimenttransport på tværs. Hvorledes sedimenttransporten finder sted er genstand for en omfattende litteratur, f.eks. (Aagaard 1991, Aagaard et al 1995, Gruszczynski et al.1993, Roy et al 1994, Vincent 1986 og Zeiler et al 2000).

Det må antages at en kombination af strømtransport, rip-currents og aflejring af bølgesuspenderet materiale er aktive, men oplysningerne er meget sparsomme fra området.

Udbygningen af det marine forland er sket syd og vestover, hvilket er i overensstemmelse med den nutidige netto sedimenttransport (Hofdahl 1968, Laustrop et al. 2000). Netto materialtransporten af sand fra Nymindesgab til Blåvands Huk er følgelig sydover i de kystnære dele af strandplanet. DHIs (2001) modellering indikerer at der sker en sedimenttransport sydover over hele Vestskråningens areal. Sedimenttransporten på Skallingens sydvestkyst skal ikke behandles her.

Korttidsvurderinger

Baseret på de gentagne Vestkystpejlinger over perioden 1978-1996 har H.Toxvig, Kystdirektoratet vurderet den årlige middelændring af dybdekurvernes afstand fra faste målepunkter taget for de 10 måleprofiler i hver kystafsnit (Bilag C).

Tabel 4 Middel flytning i m/år af dybdekurver (+udad) i gennemsnit over 10 profiler 1978-1994

kystafsnit	0 m kurve	6 m kurve	8 m kurve	10m kurve	12m kurve
Nymind.(5850)-HenneS. (6060)	+ 0,53	+3,09	+0,77	+1,10	+3,33
Henne(6070)-Grærup S.(6160)	- 0,11	+4,83	+0,19	+1,96	-
Grærup S.(6170)-Blåvands Huk*	- 0,15	+2,98	-	-	-

Data fra H. Toxvig, Kystdirektoratet Dec 2000.

Tabel 5 Fremrykningshastigheden mellem +4 og -6 m middel 1978 - 1996

KD profil linier	Kystafsnit	Fremrykning
5850 til 6010	udfor Nymindegab	1.57 m / år
6020 til 6060	N f Henne Strand	1,95 m / år
6070 til 6110	Udfor Kærgaard Plantage	0,83 m / år
6120 til 6160	N. f Grærup Strand	1,09 m / år
6170 til 6210	Vejers Strand	1,71 m / år
6220 til 6260	Kallemærsk hede-Blåvand	0,40 m / år

Data fra H. Toxvig, Kystdirektoratet Okt. 2001

Trods det meget "støjfyldte materiale" fremgår det, at der sker en forskydning af dybdekurverne udefter dvs. en nettopålejring i de 3 kystafsnit. I området Nymindegab til Henne Strand, hvor også kystpålejringen er størst, kan pålejringen på det ydre strandplan ses helt ud til 12-13 m dybde. I kystafsnittet Grærup - Blåvands Huk, hvor strandplanets udformning er stærkt præget af mødet med Horns Rev, observeres der også væsentlige ændringer. Hvis vi antager at tværprofilet af strandplanet er nogenlunde som i Figur 10 og 11 vil disse forskydninger svare til en pålejring i størrelsesordenen 10 mm/år ved 6 m kurven og 0,5 - 5 mm for de øvrige. Der er altså ikke tale om en jævn pålejring over tidsrum af 10 år og 10 km kyst.

Profilet udfor Grærup (Figur 11) er placeret for at udnytte de foreliggende dateringsdata - men som det ses på Figur 10 ligger profilets ydre del tæt ved mødet med skråningen foran det indre Horns Rev så dets placering er ikke helt typisk.

Hvis vi antager at formen af tværprofilet udfor Grærup i Figur 11 i gennemsnit har været konstant (ikke markante dynamiske ændringer) medens kysten er rykket frem, så vil der pålejres af størrelsen 9 - 20 m³ sand pr meter kystfremrykning hertil kommer vindaflejringer. Der eroderes tilsvarende ved tilbagerykning. Det er dog blevet klart, at sedimentationen også på det ydre strandplan er episodisk og meget variable og at høje middel akkumulationsrater omkring 1 cm/år forekommer over flere årtier. Det skønnes derfor at en middel pålejring på 13 - 18 m³ pr meter kystfremrykning pr m kyst er reasonabel. Anvendes dette interval på de kystændringer mellem Nymindegab og Blåvands Huk der angives i Hofdahl (1968) kan akkumulationen estimeres til mellem 215.000 - 300.000 m³/år i områ-

det fra Nymindegab til Henne Strand og 160.000 - 225.000 m³/år for Henne Strand til Blåvands Huk. Bruges i stedet de nyere data i tabel 5 kan akkumulationen mellem Nymindegab og Henne Strand estimeres til 228.000 - 317.000 m³/år og mellem Henne Strand og Blåvands Huk 262.000 - 362.000 m³/år. Disse estimater er grove - men det ser ud til at de er af samme størrelsesorden som materialevandringen i området. Det skal nævnes, at der stedvis kan konstateres en forstejling af det ydre strandplan (Kystinspektoret 1998 s 33 og Aagard et al 1995) så forudsætningen om konstant profilform er kun delvis opfyldt. Boring 578170 viste også at det ikke er overalt at det ydre strandplan i det nordlige område der er akkumulationsområde, så det er muligt at akkumulationen er noget overestimeret. Som omtalt i afsnit 5.1.5 viser de foreliggende få dateringsresultater på Grærup profilet (Figur 11) at kysten her er rykket omkring 2.5 km frem de sidste 3000 år. Under forudsætning om en gennemsnitlig jævn fremrykning og antagelsen om formen på strandplanet i gennemsnit er den samme kan vi udfra de få foreliggende dateringer anslå pålejringsraten til at være af størrelsesordenen 3.5 mm/år fra kysten udtil 3 m, ca. 2.5 mm/år fra 3 til 9 m dybde og ca. 2 til 0.5 mm/år på de ydre dele af strandplanet. Ved 12 m er den målt til 1.1 mm/år. Det svarer til en aflejring på ca 9000 m³/år/1km kyst og en kystfremskydning på ca. 1 m.

Af Figur 10 fremgår det at barrieren (strandvoldssystemet) som en første tilnærmelse er lige bred fra Grærup til Henne Strand. Hvis vi derfor antager at de ovenfor nævnte pålejringsrater har været gældende for dybdeintervallerne for kyststrækningen i tabel 3 kan netto akkumulationen skønnes til ca 100.000 m³/år på de 11 km mellem Grærup Strand og Henne Strand, hvilke også er i rimelig overensstemmelse med tallene overfor.

Konklusion kysten

De foreliggende observationer støtter antagelsen af strandplanet er et nutidigt akkumulationsområde for sand. Pålejringshastigheden målt i få dateringer og de gentagne profilopmålinger viser at også at dette også gælder den ydre del af strandplanet på dybder over 8 m.

Der foreligger følgende estimater af netto pålejringsrater:

Baseret på langtids akkumulation i hele det marine forland i 7000 år er 625.000 m³/år. Hvis vi ganske groft antager at akkumulationen af strand og flyvesandsaflejringer over kote 0 har været konstant i de 7000 år svarer det til at der årligt yderligere aflejres ca 170.000 m³/år over kote 0 i alt tæt ved 800.000 m³/år.

Baseret på dateringer af et geologisk profil fra Grærup ud gennem strandplanet og under antagelse af jævn fremrykning af et konstant formet profil kan middel pålejringsraten over 2800 år anslås til ca. 9000 m³/år pr km strand og til ca. 100.000 m³/år på strækningen Grærup Strand til Henne Strand.

Baseret på et i gennemsnit konstant formet profil af strandplanet (dvs. ca. 13-16 m³/m kystfremskydning) og de målte middel kystfremskydninger 1978- 1996 kan den årlige pålejringsrate anslås til 375.000 – 617.000 m³ for hele strækningen fra Nymindegab til Blåvands Huk. Hertil kommer et bidrag til opbygningen over kote 0 som ret arbitrært er anslået til ca 25.000 m³/år i nutiden.

Samlet vurderes at den samlede nettopålejringsrate på Vestskråningen fra Nymindegab til Blåvands Huk er i størrelsesordenen 400.000 – 650.000 m³/år.

6.5.2 Indre Horns Rev området

Skråningen nord for det Indre Horns Rev

Et markant knæk i dybdekurverne langs en linie mod nordvest fra pynten Blåvands Huk (figur 10) markerer grænsen mellem strandplanet udviklet foran Vestkysten og skråningen på nordsiden af det indre Horns Rev. Den inderste del af denne er en usædvanlig jævn skråning der skråner ca 1 km/ km fra den nordlige mundingsbarre af Ringkøbing Dyb mod nordvest. Denne morfologi kunne ligne en aflejningskegle. De inderste, østlige del af denne kegle er dækket af KDIs pejleprofiler. H. Toxvig har venligst vurderet den årlige middel akkumulation fra klittop til til enden af disse linier i perioden 1977 - 1996. På dette grundlag vurderes at der i nutiden aflejres meget lidt på den øverste del af keglen kun i størrelsesordenen 10.000 m³/år på 6 km², medens der på de tilstødende dele af Vestskråningen 3 - 7 km nord for Blåvands Huk (profil 6230-6200) aflejres af størrelsesordenen 45.000 til 62.000 m³/år/km kyst. Disse mængder er medregnet i kystakkumulationen ovenfor. Boring 578104 (Bilag 22/1.10) repræsenterer det ret finsandede-silteede materiale der aflejres på aflejningskeglen. Boring 578.103 der står i foden af dette sedimentprisme er de øverste 3 m aflejret i de sidste ca. 700 år. For omkring 1500 til 1000 år siden tiltager sedimentationsraten kraftigt således at de øverst ca. 3 m af sandet er aflejret i de sidste 700 år svarende til en middel pålejrning på 5.1 mm/år. Udfra de 4 målepunkter i intervallet har akkumulationen været rimelig ensartet i nyere tid. I området ca 6 km vest-nordvest for Blåvands Huk vest for nordmundingen af Ringkøbing Dyb kan der under et par meter seismisk homogent sediment ses fladtliggende reflektorer over flere km der har en tilsyneladende hældning på ca 5 m/km mod vest. Disse reflektorer kunne repræsentere tidligere aflejningskegler i nord-skråningen af det indre Horns Rev, se iøvrig afsnit 5.1.6.

Aflejrning syd for Blåvands Huk

Ulven betegner en meget lavvandet banke (< 4m), der strækker sig ca. 7 km mod sydvest fra Blåvands Huk. Den begrænses mod syd af en stejl skrænt ud mod Slugen - og mod vest af Ringkøbing Dyb. Skråningen østover er mere moderat og smelter sammen med sandplan-skråningen foran Skallingen i Esperance Bugt.

I forbindelse med ELSAMS undersøgelser for indføring af et strømkabel fra vindmølleparken på Horns Rev foreligger en enkelt seismisk linie over skråningen ned mod Slugen og langs vestsiden af Ulven. (Marin Mätteknik AB 1999), en linie delvis sammenfaldende med GEUS linie 524-044 skud 204-390 (Kuijpers 1995). På dette grundlag indikeres, at skråningen på sydspidsen af "Ulven" er udbygget ca. 1 km sydpå udover en ældre "rende-skrænt" fra kote ca. -20 m til -28m, så der er dannet et sandlegeme, der er ca. 20 m tykt. Østskråningen af "Ulven" hviler på en noget ujævn reflektor i 14 - 20 ms dybde. Et øvre dæklag på 1- 4 m tykkelse strækker sig ud til ca. 10 m dybde. De få boringer antyder, at hovedparten af sandlaget er mellemkornet sand, men at der dæklaget er fint sand.

Side scan viser veldefinerede sandbølger på det ret jævne område sydøst for Ulven mellem 8 og 10 m dybde med en tydelig transportretning mod vest. På den stejle skråning mellem 10 og 20 m dybde er bunden også præget af sandbølger. På grund af orienteringen af sandbølger på østsiden af Slugen konkluderer Kuijpers (1993), at hastigheden af tidevandsstrømmen her er tilstrækkelig til at transportere sedimenter både i nordlig og sydlig retning. Formen af sandbølger kunne også indikere transport skråt op ad skråningen.

I Kystinspektoratets rapport (1999) sammenlignes dybder på KDI havpejleprofiler fra 1966 og 1999 syd for Blåvands Huk. Der konstateres en opbygning på de 43 år på 0.6 - 2m på

den øverste del af Ulvens østskråning fra 3- 4 m dybde, medens der ikke sker markante ændringer på den inderste 1.5 km af profilerne.

S.B. Knudsen KDI har venligst gennemset disse data fra pejlelinierne lige øst for Blåvands Huk. Den østligste linie 6280 har ikke kunne genmåles siden 1970, formodentlig p.g.a. for lavt vand, så den store pålejring må behandles med forbehold. De næstfølgende 2 km af stranden (linie 6290 og 6300) har aflejringen i den yderste del på henholdsvis 84.000 og 90.000 m³/år medens den næste profillinie østpå (6310) viser en erosion på 13.000 m³/år. Målingerne indikerer, at den øvre del af østskråningen af Ulven i nyeste tid er et aktivt akkumulationsområde og at der ikke sker større ændringer umiddelbart længere østover. Målingerne dækker dog ikke hele østskråningen så akkumulationen kan ikke kvantificeres på dette grundlag, men skønnes til i størrelsesordenen 200.000-300.000 m³/år.

Samlet ser det ud til at der sker en transport og aflejring af sand syd på fra Blåvands Huk og at en del af dette materiale på 8 til 10 m dybde føres vestpå dvs. ud mod den indre del af Horns Rev.

Udbygning af det indre Horns Rev

De seismiske undersøgelser viser at det Indre Horns Rev vokser dels ved pålejring på vestspids-området, dels ved pålejring og udbygning af nordsiden og formodentlig også ved pålejring på den stejle sydvestside ned mod Slugen. Det konkluderes at det Indre Horns Rev er en ophobning af marint Holocænt sand.

På dette grundlag skønnes det samlede volumen af sand i det Indre Horns Rev at være 1.9 km³ på et areal af 170 km². Hertil kommer ca. 0.25 km³ under Ulven og den tilstødende skrån timer indtil 3 km øst for Blåvands Huk. Det formodes det meste af dette sand aflejret indenfor de sidste 3000 år svarende til 717.000 m³/år

Ud fra det seismiske profiler kan en paleo-spids af Horns Rev observeres ca. 4 km fra den nuværende spids. Denne paleo-spids kan ved C 14 datering i boring 578173 dateres til ca. år 1200, der er altså evidens for en udbygning vestpå af det Indre Horns Rev på ca. 4 km på 800 år. Som begrundet i afsnit 4.3.4 skønnes *at der er akkumuleret mindst 0.58 og sandsynligvis af størrelsen 0.83 km³ på 800 år svarende til mindst 725.000 og sandsynligvis af størrelsen 1.000.000 m³/år.*

Disse tal stemmer rimeligt overens med skønnet baseret på hele Indre Horns Rev over 3000 år.

Sediment udveksling mellem det indre Horns rev og det ydre Horns Rev over Slugen ?

I de dybeste østlige del af Slugen findes et lag af finkornet materiale "schlick" (Fredningsstyrelsen 1982 s 28 Lüneburg (1967). Dette tolkes af Lüneburg (1967) som indikation af ret rolige aflejningsforhold i Slugen. Stedvis ligger Eem aflejringerne blottet i overfladen eller er dækket af et meget beskedent dæklag (f.eks. boring 578175 bilag 96/1.28 og Figur 7). I disse områder indikeres non- deposit eller lejlighedsvis erosion. Som nævnt ovenfor ligger det indre Horns rev direkte på en overflade af Eem eller ældre dannelser. Det viser at området omkring spidsen af det indre Horns Rev gennem tiden har været erosionsområde. Der er ikke i det foreliggende materiale indikationer på sediment-transportformer på bunden af den dybeste dele af Slugen- men for størstedelen af området foreligger der ikke data.

Det konkluderes, at der sker en betydelig sedimenttransport på sydøstskråningen af Slugen. Bunden af Slugen synes ikke at være et akkumulationsområde -men stedvis forekommer finkornet materiale. De foreliggende data er for sparsomme til at vurdere om der sker en betydelig bundtransport på tværs af Slugen. Denne undersøgelse omfatter ikke sydsiden af Slugen.

6.5.3 Området nord for indre Horns rev og Vestslugen samt Central Øst

Renden mellem de indre og det ydre Horns Rev fortsætter som en ca. 2 km bred dal i havbunden kaldt Vestslugen eller Nordmanddyb til ca. 7 km længere nordpå, hvor den ebber ud i en tærskel med ca. 15m vanddybde sydvest for Vejers Grund (Figur 3 og 14).

Så vidt vides er strømmen kraftig og skiftende i renden og der synes ikke at foregå en væsentlig blivende sedimentation. Den skiftende lagserie i boring 578156 (Bilag 96/1.9) i den nordlige demonstrerer meget vekslende sedimentationsforhold. Vestsiden af renden udgøres af en sandaflejring der synes at udbygges østover (se afsnit 6.5.4).

Der strækker sig et ca. 4 km bredt område nord for det indre Horns Rev og vest for Vestskråningen der er karakteriseret af et overvejende tyndt 0- 4 m dække af marint sediment (Figur 17). Det formodes, at også disse sedimenter overvejende er aflejret i forbindelse med udbygningen af revet fordi de stedvis er yngre end den periode med erosion hvor smeltevandsaflejringerne fjernes som ligger før eller samtidig med dannelsen af det Indre Horns Rev. På østsiden af Vestslugen op til sydskråningen af Vejers Banke på 55° 39 N findes et op til 4 m tykt sedimentdække på 44 km² med et samlet volumen på ca. 0.150 km³.

Vi antager at det tynde sedimentdække på det omkring 4 km brede bånd vest for Vestskråningens fod (Centralområde Øst på Figur 1) også er aflejret i forbindelse med kystsystemet vil der adderes ca. 0.25 km³ på et areal af 136 km². De sidste tal er meget usikre fordi den seismiske metode brugt i området ikke kan skelne ca. 1m tynde lag og fordi der sandsynligvis vil være inkluderet ældre Nordsøsand i volumet

Et maksimum skøn for sand aflejret i forbindelse med kystsystemet i området nord og vest for Indre Horns Rev er af ret beskeden størrelsen ca. 0.4 km³. Under antagelsen af at dette materiale også er aflejret i 3000 årlig periode vil den årlige middelakkumulation være ca. 130.000 m³/år.

6.5.4 Området vest for Vestslugen

De sparsomme dateringer antyder, at der sker en langsom pålejring (0.4 – 1 mm/år) både i dæklaget på platformen og på sandpuden på Vestslugens vestside, men lokalt i udfyldte smårender (boring 578152) kan akkumulationsraten nå op på 3.3 mm/år fra ca. 1500 BP til nu og i driver på bankens overflade (boring 578118) op til 4.5 mm/år fra 40 BC til 1000 AD (se afsnit 6.4.3). For at undersøge hvorvidt den yderste lidt stejle del af Vestslugens vestskråning var et nutidigt specielt aktivt akkumulationsområde er raten søgt bestemt i to boringer. Boring 578117 (Bilag 22/1.8) på 12m vand ca. 5 km fra Tuxen og fra spidsen af det Indre Horns Rev er en skal fra laget af yngre Nordsøsand fra 1.5 m dybde er dateret til 920 AD svarende til en middelakkumulationsrate på 1.4 mm/år. En boring 578153 (Bilag 96/1.8) ca. 4 km længer nordpå nær enden af Vestslugen (Figur 14) giver en middelakku-

mulationsrate på 0.5 mm/år siden ca. 2500 BP. Der foregår altså en moderat sedimentation på Vestslugens vestskråning overvejende af mellemkornet sand. Hvis området modtager sand fra kystsystemet transporteret nordpå fra det Indre Horns Rev, som foreslået af DHI modeller (DHI 2001) så er det kun i moderate mængder, næppe mere end nogle få 1000 m³/år. Det samlede billede er, at der foregår en moderat sedimentation over hele området på af størrelsesordenen 0.5 – 1 mm/år men også mere lokalt forekommer væsentlig forøgede akkumulationsrater. Det ser ud til at det ældre Nordsøsand i et vist omfang eroderes i området specielt på moræneområderne.

Baseret på kortlægning af tykkelsen af det marine sediment er den samlede mængde skønnet til 0.66 km³ på 122 km². Hvis vi antager at dette materiale er aflejret jævnt siden området blev transgraderet for ca. 8000 år siden svarer det til omkring 80.000 m³/år.

7. KONKLUSIONER

Projektets primære målsætning er så vidt mulig at kvantificere netto sedimentationen i området udfra borekærne analyser. Det blev aftalt, at undersøgelsesområdet skulle omfatte området nord for Horns Rev og vest for Vestkysten fra Blåvands Huk til ca. 30 km mod nord til Nymindegab og ca. 40 km til søs dvs. en arbitrær afgrænsning. I praksis er vestsiden af en banke, der strækker sig N-S beliggende ca. 35 km ud for kysten anvendt som område begrænsning. De nævnte arealer er afgrænset på Figur 1.

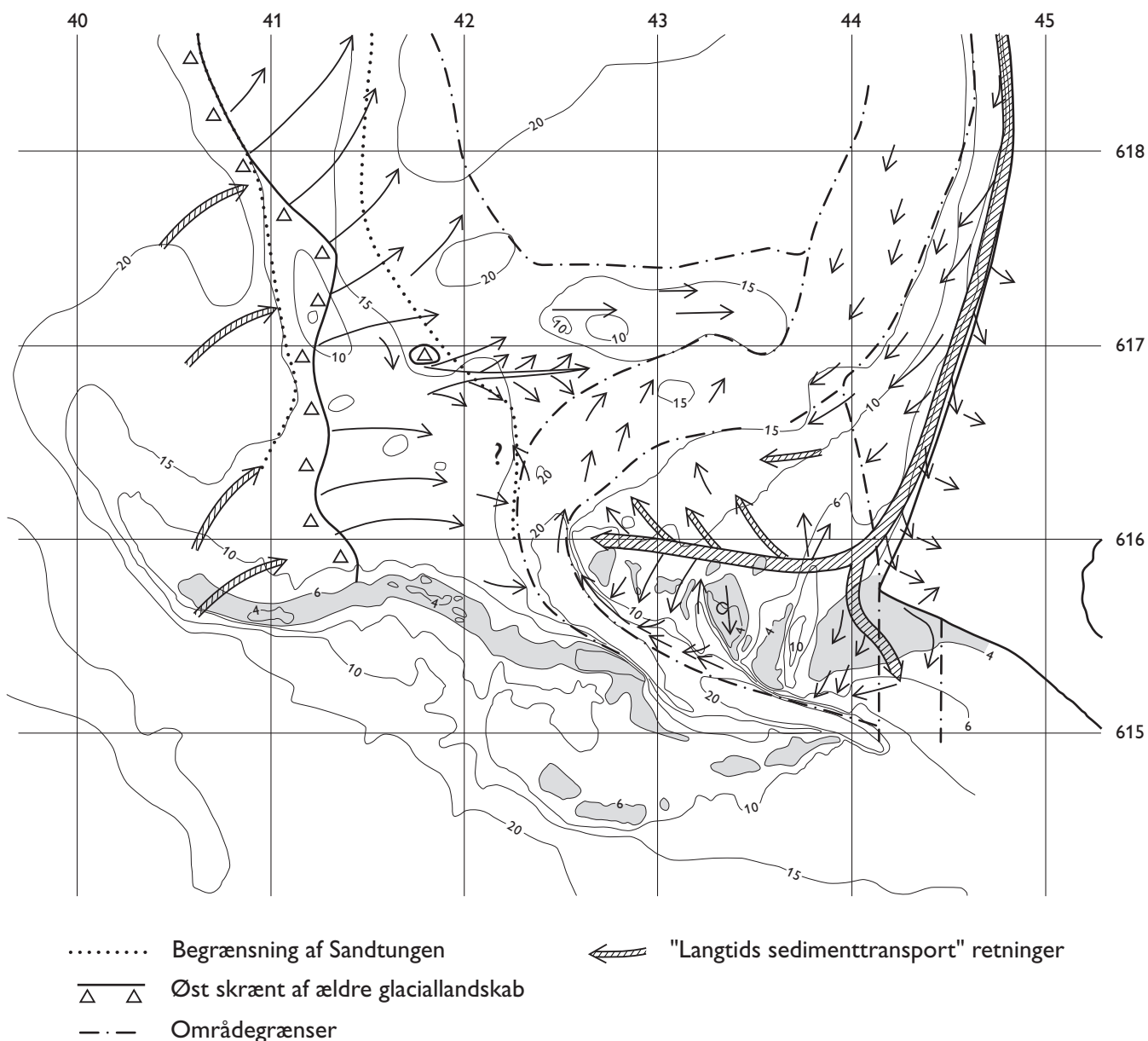
7.1. Det overordnede sedimentationsbillede:

Undersøgelsesområdet har sammen med Horns Rev området været et netto sedimentationsområde for sand gennem Holocæn tid (Figur 17). Akkumulationen har ikke været ens over området og depocenterne har skiftet gennem tiden. Det dominerende akkumulationsområde har været de arealer, der nu er land, mest flyvesandsdækket marint forland, der strækker sig i kyst området fra Henne Strand til Grærup og videre syd for en linie fra Grærup til Varde dvs. området Oxbøl- Blåvands Huk til og med Skallingen (Figur 9). I nutiden er de vigtigste depocentre det tilhørende strandplan, her kaldt Vestskrånningen samt det Indre Horns Rev samt området øst for den nederordrede bakkeø i den vestlige del af undersøgelsesområdet.

Der synes at være 2 overordnede sedimentationssystemer i det undersøgte område. Det ene –kystsystemet- er knyttet til den kystnære sedimenttransport sydover langs Jyllands Vestkyst og med aflejningssted i kystområdet og på det Indre Horns Rev. Det andet- det ydre system- er knyttet til de store områder med relativt højtliggende glaciallandskab, der strækker sig nordover fra det vestlige ydre Horns Rev med aflejningsområde i en ca. 10 km bred zone øst herfor. Dette er ganske skematisk vist på Figur 29.

Kystsystemet er knyttet til den kystnære sedimenttransport sydover langs Jyllands Vestkyst syd for Nymindegab og på den på det tilhørende strandplan (Vestskrånningen) og videre ud på det Indre Horns Rev. De vigtigste akkumulationsområder har gennem tiden været de områder der nu dækkes af marint forland fra Henne Strand til Blåvands Huk og videre til Skallingen samt det Indre Horns Rev. Det formodes at en mindre del af sedimenterne transporteres og aflejres videre nordover på østsiden af Slugen/Nordmands Dyb op mod Vejers Banke. Denne består så vidt vides overvejende af mellem- og grovkornet marint sand og er adskilt fra Vestskrånningen af et 4 km bredt område med meget beskeden sedimentdække af finkornet sand. Det formodes derfor at Vejers Banke ikke udgør del af kystsystemet, men modtager sedimentermateriale andetsteds fra.

Det ydre system er er knyttet til de store områder med relativt højtliggende abrasionsflak i Saale glaciallandskabet, en nederoderet bakkeø, som strækker sig nordover fra det vestlige ydre Horns Rev (Tuxen og Vovov). Sedimenter kommende herfra er overvejende aflejret øst for området i en nu næsten helt begravet sænkning der fortsætter Vestslugen sænkningen nordvestover. Bedømt udfra retningen af progradering og hældning af lagdeling er sedimenterne overvejende tilført vestfra. Det gælder både sandpuden mellem de glacial lag og Vestslugens vestside lige nord for det Ydre Horns Rev og en begravet spit der strækker sig fra vest mod øst på ca. 55° 39'N, der synes at have en fortsættelse i



Figur 29- Overvejende transportretninger som de afspejler sig i retningen af progradering i de aflejede sedimenter over hele den marine lagpakke. Specielt i området indenfor Sandtungen og på Vejers Banke er prograderingen ofte overlejret af nogle få meter Yngre Nordsøsand, der fremtræder strukturløst på de seismiske profiler (se eksempler på figur 15 og 16).

Vejers Banke samt nord herfor den tykke dalfyldning i det nordvestlige del af undersøgelsesområdet. De hældende lag er dog ofte overlejret af et 1- 4 m tykt lag af seismisk homogent sand som repræsenterer det aktive lag- svarende til det yngre Nordsøsand. Banken kaldt Sandtungen udgør den vestlige del af disse sandakkumulationer i form af flade banker af seismisk homogent yngre Nordsøsand. Det er muligt at sedimenttransporten til det ydre system overvejende er kommet sydfra over og uden om Horns Rev og at retningen af prograderingen er styret af topografiske forhold (accommodationspace på skråningerne).

Ifølge DHI undersøgelser (DHI 2001) er det sandsynligt at det ydre Horns Rev udgør et tredje sedimentsystem. Vi har i overensstemmelse med DHI resultater ikke fundet, at der sker en signifikant sandtransport fra kystsystemet. Det kan ikke udelukkes, at sedimenttransporten på det ydre Horns Rev er en afgrening af det ydre system. Sedimenttransport og aflejring på det ydre Horns Rev falder uden for denne undersøgelse.

7.2 Skøn over Mængder

Kystzonen mellem Nymindegab og Blåvands Huk kan specielt syd for Henne Strand karakteriseres som et udbredt sedimentationsområde med tilvækst af kysten til følge. Baseret på langtids akkumulation i hele det marine forland inklusive tilhørende strandplaner i 7000 år skønnes den årlige middelakkumulation til $625.000 \text{ m}^3/\text{år}$. Hvis vi ganske groft antager at akkumulationen af strand- og flyvesandsaflejringer over kote 0 har været konstant i de 7000 år svarer det til at der årligt yderligere aflejres ca 170.000 m^3 over kote 0 svarende til ialt tæt ved $800.000 \text{ m}^3/\text{år}$.

Baseret på dateringer af et geologisk profil fra Grærup ud gennem strandplanet og under antagelse af jævn fremrykning af et konstant formet profil kan middel pålejringen over 2800 år anslås til ca. $9000 \text{ m}^3/\text{år}$ pr km strand svarende ca. $100.000 \text{ m}^3/\text{år}$ på strækningen Grærup Strand til Henne Strand.

Akkumulationsrate bestemmelser i tre borer på den ydre del af strandplanet på 8 - 13 m dybde viser nutidige akkumulationsrater på 1,1 – 7.5 mm/år. Gentagne profilopmålinger viser at også strandplanet udenfor 8 m kurven er akkumulationsområde. Der indikeres altså en kraftig nutidig sedimentpålejring på både det nedre strandplan udfor Vestkysten i Blåvands Huk området og dets fortsættelse i skråningen nord for det Indre Horns Rev.

Baseret på et i gennemsnit konstant formet profil af strandplanet (dvs. ca. $13\text{-}16 \text{ m}^3$ pr. m kystfremskydning) og KDIs målte middel kystfremskydninger 1978 - 1996 kan den årlige pålejring anslås til $375.000 - 617.000 \text{ m}^3/\text{år}$ for hele strækningen fra Nymindegab til Blåvands Huk. Hertil kommer et bidrag til opbygningen over kote 0 som ret abstrakt er anslået til ca $25.000 \text{ m}^3/\text{år}$ i nutiden.

Samlet vurderes at den samlede netto pålejring på Vestskråningen og stranden fra Nymindegab til Blåvands Huk er i størrelsesorden $400.000 - 650.000 \text{ m}^3/\text{år}$.

Der er indikationer på, at der er sket et skift i sedimentationsmønstret ca. 2- 3000 år før nu. Der er opstillet en model hvor udbygningen af barrieren og stranden mod vest ledsages af en udbygning - progradering- af strandplan-prismet.

De seismiske undersøgelser viser at det Indre Horns Rev vokser dels ved pålejring på vestspids-området, dels ved pålejring og udbygning af nordsiden og formodentlig også ved pålejring på den stejle sydvestside ned mod Slugen og Vestslugen. Det konkluderes at det Indre Horns Rev er et akkumulationsflak af marint Holocænt sand. Udfra den seismiske profiler ses at flakket er udbygget vestover direkte på ældre lag fra Eem interglaciertiden og fra forrige istid, hele volumet er et akkumulationsflak til sin basis-der ikke eller kun i ringe grad er underlejret af ældre holocæne marine lag.

På dette grundlag skønnes det samlede volumen af sand i det Indre Horns Rev at være 1.9 km^3 på et areal af 170 km^2 . Hertil kommer ca. 0.25 km^3 under Ulven og den tilstødende skråninger indtil 3 km øst for Blåvands Huk. Det formodes det meste af dette sand aflejret indenfor de sidste 3000 år svarende til $717.000 \text{ m}^3/\text{år}$.

En tidligere spids af indre Horns Rev dateret til omkring år 1200 kan observeres ca. 4 km fra den nuværende spids. Der er altså evidens for en udbygning vestpå af det Indre Horns Rev på ca. 4 km på 800 år. Det antages at flakkets form grundlæggende har været en banke opbygget til nær havniveau som i dag dvs. en kortere version af nutidens rev. *Samlet skønnes at der er pålejret mindst 0.58 km^3 og sandsynligvis af størrelsen 0.83 km^3 på 800 år svarende til mindst 725.000 og sandsynligvis af størrelsen $1.000.000 \text{ m}^3/\text{år}$.*

Det formodes, at også sedimenterne nord for det Indre Horns Rev på østsiden af Vestslugen overvejende er aflejret i forbindelse med udbygningen af det Indre Horns Rev fordi de delvis hviler på det samme erosionsplan, hvor smeltevandsaflejringerne er eroderet bort. Dette er i overensstemmelse med DGI modelberegninger over de nutidige retninger for sedimenttransport for området. På østsiden af Vestlugen op til sydskråningen af Vejers Banke på $55^{\circ} 39' \text{ N}$ findes et op til 4 m tykt sedimentdække på 44 km^2 med et samlet volumen på ca. 0.150 km^3 . Hvis vi yderligere antager at det tynde sedimentdække i et ca. 5 km bredt bånd vest for Vestskråningen også er aflejret i forbindelse med kystsystemet vil der adderes ca. 0.25 km^3 på et areal af 136 km^2 . De sidste tal er meget usikre fordi den seismiske metode brugt i området ikke kan skelne ca. 1m tynde lag og fordi der sandsynligvis vil være inkluderet ældre Nords sand i dette volumen.

Hvis vestskråningen af Vestslugen modtager sedimentmateriale fra kystsystemet er det sandsynligvis i meget begrænset mængde.

Et maksimum skøn for sand aflejret i forbindelse med kystsystemet i området nord og vest for Indre Horns Rev er af ret beskeden størrelsen ca. 0.4 km^3 . Under antagelsen af at dette materiale også er aflejret i 3000 årlig periode vil den årlige middelakkumulation være ca. $130.000 \text{ m}^3/\text{år}$.

Samlet skønnes at der aflejres mellem $1.200.000$ og $1.650.000 \text{ m}^3$ årligt i de områder der modtager sedimentmateriale via kystsystemet. Det skønnes at et tal omkring $1.5 \text{ mill. m}^3/\text{år}$ er det bedste skøn baseret på den fremlagte geologiske model. Denne model indebærer at der ikke netto udveksles signifikante mængder af sandsediment mellem kystsystemet og det ydre Horns Rev og det ydre sedimentsystem.

Den samlede volumen af sediment i NV Bassinet er skønnet til $2,13 \text{ km}^3$ på arealet 216 km^2 men på grund af skiftet i sedimentation vil det ikke være formålstjenligt at omregne dette til akkumulationsrater med henblik på forholdene i dag. Dette er dog klart at området

tidligere har været et depocenter af samme størrelsesorden som Vestkysten syd for henne og det Indre Horns Rev.

Nordskråningen af den ydre del af Horns Rev synes ikke at være et betydeligt sedimentationsområde for sand i nutiden. Hvis området vest for Vestslugen modtager sand fra kystsystemet transporteret nordpå fra det Indre Horns rev, som foreslået af DHI modeller (DHI 2001) så er det kun i moderate mængder, næppe mere end nogle få 1000 m³/år. Der er en sedimentation i området vest for Vestslugen og på det store abrasionsflak nord for grunden Tuxen af størrelsesorden 1 mm/år. Det skønnes at det meste af dette sand kommer fra det Ydre Horns Rev eller transporteres ind syd eller vestfra. Langtidsraten for området anslås til 80.000 m³/år.

Tabel 6

Arealer og volumen af holocæn marint sediment

Områder er afgrænset på figur 1.

	Areal km ²	volumen km ³	note 1	note 2
Andre data				
Vestskråningen*	112	0.37	ref tabel 3	til kote -16
Marine forland under kote 0	190	4.4	ref 6.5.1.1	inc strandplaner
Marine forland over kote 0	170	1.2	middelhøjde 7,	Uden Filsøområdet
Fra geogisk kortlægning				
Indre Horns rev inc Ulven*	185	2.15		
Nord f indre Horns Rev*	55	0.15	inc Vestslugen	
Centrale område Ø*	136	0.24		
Centrale område	162	0.23	ø f 7 45 E	
Vestlige bakkeø**	137	0.14		
NV bassin**	216	2.13	n f 55 39	
Vest for Vestslugen**	122	0.66	ø f Vestlige bakkeø	S. f. 55 39-spit
Vejers Banke området**	80	0.54		

* Kystsystemet

** Det ydre system

7.3 Det videre arbejde - anbefalinger.

Det videre arbejde bør fokuseres på at uddybe viden om de identificerede depocentre specielt på Vestskrænten og den indre del af Horns Rev og specielt udvekslingen med det ydre Horns Rev.

Dateringer af skalmateriale i udvalgte borer fra land og hav i Blåvands Huk området vil kunne bidrage til en bedre forståelse af tidsforløbet af aflejringen af sedimenter i området.

Med henblik på en bedre forståelse af geologien udtegnes kort over de vigtigste seismiske reflektorer og tykkelseskort over smeltevandsaflejringerne og dæklaget over morænedannelserne i undersøgelsesområdet og hvis muligt for ydre Horns Rev.

Der skal foretages en samlet tolkning af datamaterialet fra området syd for undersøgelsesområdet for at belyse en eventuel sediment udveksling med Grådybs mundingsområde til Horns Rev og med det ydre Horns Rev til Indre Horns Rev.

En systematisk kortlægning af kornstørrelsesfordelingen i områdets overflade sedimenter er ønskelig for bedre at forstå sedimentationsforholdene og kalibrere DHIs modeller.

Der skal udarbejdes et detaljeret bathymetrisk kort over området til studiet af bundformer og som baggrund for hydrauliske modeller.

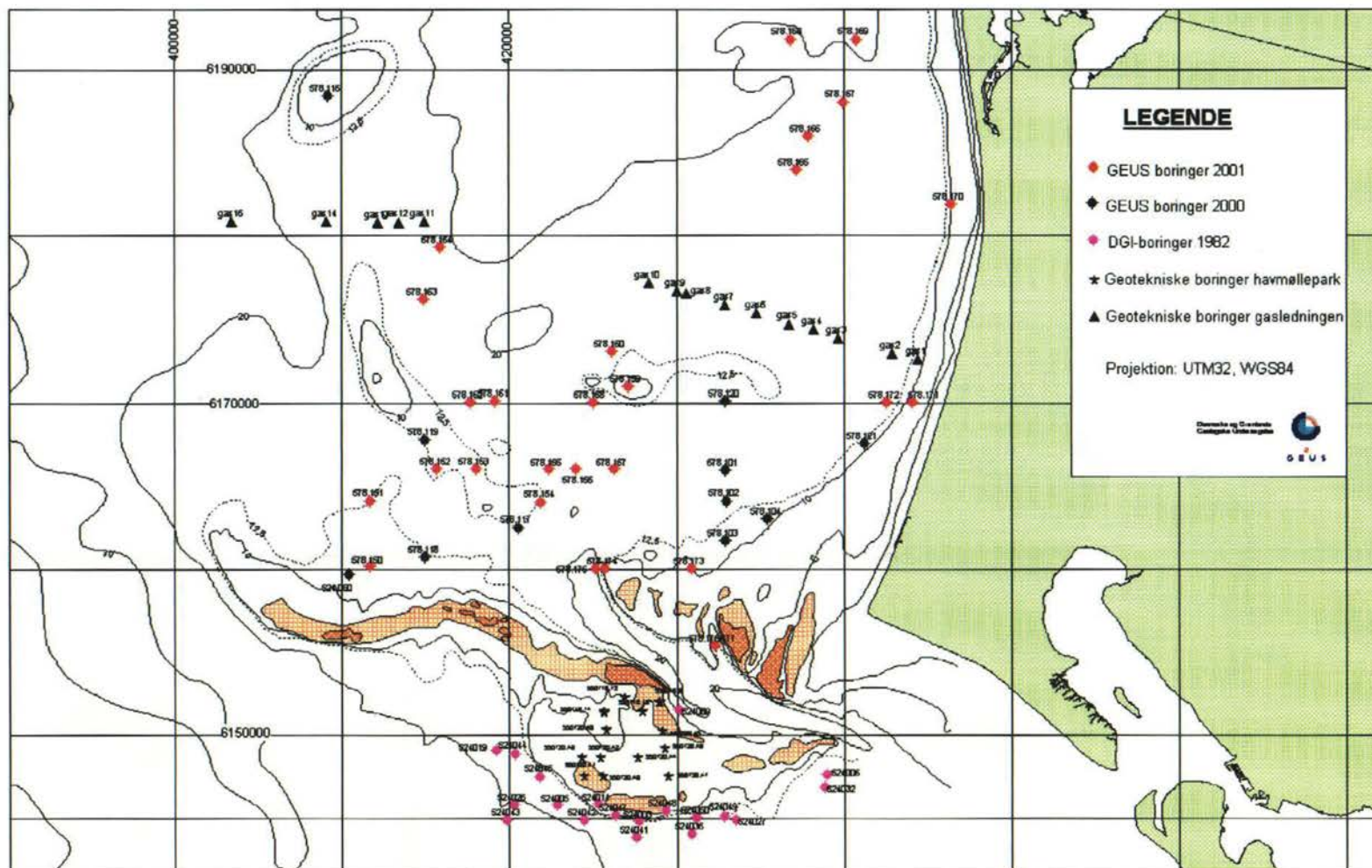
Det eksisterende net af seismiske og side scanning linier fortsættes til omkring 1 km for at muliggøre en bedre kortlægning af sandforekomsterne specielt en bedre afgrænsning af de nutidige depocentre og spittens historie. Dette ledsages af borer som støttepunkter for tolkningen af seismikken og bestemmelsen af akkumulationsrater i de øverste meter af havbunden.

8. REFERENCER

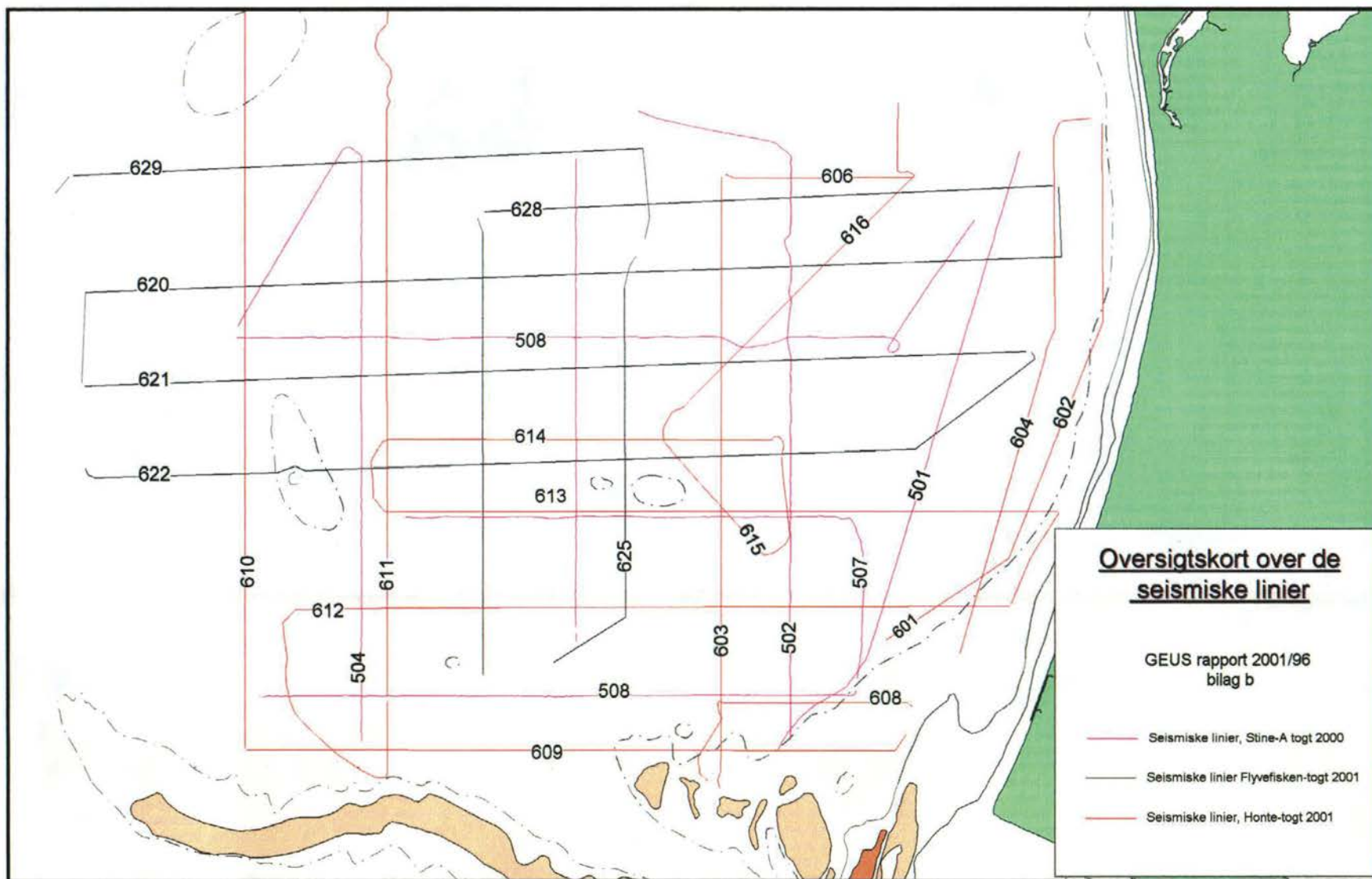
- Aagaard, T., 1991: Sandsugning og det fysiske Miljø, konsekvenser af råstofindvinding på havbunden. Miljøministeriet: Skov- og Naturstyrelsen 1991.
- Aagaard, T., Nielsen, J., Greenwood, B., Christiansen, C., Lund-Hansen, L. & Nielsen, N., 1995: Coastal Morphodynamics at Skallingen, SW Denmark: Low and Moderate Energy Conditions. *Danish Journal of Geography* 95, 1-11.
- Aagaard, T., Nielsen, N. & Nielsen, J., 1995: Skallingen-Origin and Evolution of a Barrier Spit. *Meddelelser fra Skalling-Laboratoriet XXXV*, København 1995.
- Bruun, P., 1954: Coastal stability. Copenhagen. Danish Engineering Press.
- Bruun, P., 1988: The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise: A Discussion on Large-Scale Two- and Three-Dimensional Usages. *Journal of Coastal Research* 4, 627-648.
- Bruun, P. & Schwartz, M. L., 1985: Analytic Prediction of Beach Profile Change in Response to a Sea Level Rise. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., Suppl. Bd. 57, 33-55.
- Clemmensen, L. B., Andreasen, F., Nielsen, S. T. & Sten, E., 1996: The late Holocene coastal dunefield at Vejers, Denmark: characteristics sand budget and depositional dynamics. *Geomorphology* 17, 79-98.
- Clemmensen, L. B., 1999: Holocene evolution of the Vejers-Skallingen barrier spit, Denmark. *Eskursion B2 in Pedersen, G.K. & Clemmensen, L.B. (eds) IAS Copenhagen 1999, Field Trip Guidebook. 19th Regional European Meeting of Sedimentology Aug 24-26, 93-102.*
- Davis, R.A., Bartholdy, J. Pejrup, M. & Nielsen, N., 1997: Stratigraphy of Skallingen- A Holocene Barrier in the Danish Watten Sea. *Aarhus Geoscience* 7, 9-19.
- DGI, 1982: Horns Rev, Ressourceundersøgelser fase 1-4, Geoteknisk Rapport 2, 2 bind. Ref 4742-75. Rapport til Fredningsstyrelsen 9.kontor- Havbundsundersøgelser.
- DHI, 1977: Dansk Hydraulisk Institut Oktober 1977: Engineering study for Natural Gas Transmission Pipelines- Design Conditions. Appendix A: Vibrocoring logs and Laboratory results. Rapport DO-78-02-04.
- Gripp, K., 1944: Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. Auf dem Archiv der Deutschen Seewarte und das Marineobservatoriums Bd 63 Nr 2.
- Gruszczynski, M., Rudowski, S., Semil, J., Slominski, J. & Zrobek, J., 1993: Rip currents as geological tool. *Sedimentology* 40, 217- 236.
- Heinemeier, J., Heier-Nielsen, S. & Rud, N. 1992: AMS C-14 dateringer. *Arkæologiske Udgravninger i Danmark* 1992, 291-303.
- Heier-Nielsen, S., Heinemeier, J., Nielsen, H.L., & Rud, N., 1995: Recent reservoir ages for Danish fjords and marine waters. *Radiocarbon* 37(3), 875-882.
- Hofdahl, F., 1968: Vestkysten. I *Vandbygningsvæsenet 1868 – 1968* s 20-28. (Jubilæums-bog udgivet af Vandbygningsvæsenet).
- Hoffmann, D., 1991: Sea level changes at the Schleswig-Holsteinian North Sea Coast during the last 3000 years. *Quaternary International* 9, 61-65
- Huuse, M. & Lykke Andersen, H., 2000: Overdeepened Quaternary Valleys: Eastern North Sea. *Aarhus Geoscience-PH.d Thesis vol 7 VII*, 47 sider.
- Jacobsen, N. Kingo, 1993: Shoreline Development and Sea-Level Rise in the Danish Watten Sea. *Journal of Coastal Research* 9 (3), 721-729.

- Jessen, A., 1925: Geologisk kort over Danmark, Kortbladet Blaavandshuk. Danmarks geologiske Undersøgelse 1. række Nr 16.
- Krog, H., 1979: Late Pleistocene and Holocene shorelines in Western Denmark. In Ole, E., Schüttenhelm ; R.T.E. & Wiggers, A. J. (ed) The Quaternary History of the North Sea, 75-83. Acta Univ. Ups. Symp. Univ. Ups. Annum Quingentesimum Celebrantis 2.
- Kuijpers, A., 1993: Supplerende Seismiske undersøgelser i område 524 Horns Rev. DGU Kunde rapport nr 76. 1993.
- Kuijpers, A., 1995: The Late Quaternary sediment distribution in the DK sector of the North Sea: Area 582 and 524. DGU Datadocumentation no 13. 1995.
- Kystinspektoratet, 1998. Vestkysten 98. Hovedrapport. Rapport fra Kystinspektoratet Dec. 1998.
- Kystinspektoratet, 1999a. Sedimentanalyse. Vestkysten 1999. Rapport fra Kystinspektoratet Dec. 1998.
- Kystinspektoratet, 1999b. Morfologisk udvikling i Vadehavet. Rapport fra Kystinspektoratet Dec. 1999.
- Larsen, B., Leth, J., 2001: Geologisk kortlægning af Vestkysten. En vurdering af aflejningsforholdene i området mellem Nymindesø og Horns Rev. Danmarks og Grønlands geologiske Undersøgelse Rapport 2001/22 Bind 1 Text, Bind 2 Bilag. Udført for Kystdirektoratet 2000-2001.
- Laustrop, C., Toxvig Madsen, H., Bjerre Knudsen, S., Sørensen, P., 2000: Coastal Steepening in Denmark. Coastal Engineering Conference Proceeding, ICCE 2000s ?.
- Leth, J.O., Anthony, D., Andersen, L & Jensen, J.B., 1999. Geologisk kortlægning af Vestkysten. Regionalgeologisk tolkning af kystzonen mellem Lodbjerg og Nymindesø. Udført for Kystinspektoratet i 1998 og 1999. Danmarks og Grønlands geologiske Undersøgelse Rapport 1999/75.
- Leth, J.O., Anthony, D., Andersen, L. Larsen, B. & Jensen, J.B., 2001. Geologisk kortlægning af Vestkysten. Samlede resultater af den regionalgeologiske kortlægning af kystzoene mellem Lodbjerg og Blåvandshuk.. Udført for Kystinspektoratet i 1998 og 2001. Danmarks og Grønlands geologiske Undersøgelse Rapport 2001/110.
- Lüneburg, H., 1967: Eigenschaften und Verteilung der Sedimente am Hornsriff. Veröffentlichungen des Institut für Meeresforschung in Bremerhaven. 10, 187-208.
- Marin Mätteknik, 1999: Acoustic survey, Raport Windmill park, AREA Horns Rev Rapport ELSAM80907
- Nielsen, S.T., Clemmensen, L.B. & Andreassen, F., 1995: The middle and late Holocene Barrier Spit System at Vejers, Denmark: Structure and Development. Bulletin of the Geological society of Denmark, 42, 105-119.
- Nielsen, J. & Nielsen, N., 1990: Kystmorfologi. Kompendium Geografisk Centralinstitut, KU.
- Petersen, K. Strand, 1998 : Den holocene marine udvikling ved Limfjordstangerne og tilgrænsende dele af Nordsøen-Jyske Rev, belyst ved molluskfaunaen. Limfjordsprojektet, rapport nr.8, 1998, 303-323.
- Rambøll, 1999. ELSAM I/S. Havmøller, Geotekniske undersøgelser, Horns Rev. Rapport Nov. 1999.
- Roy, P.S., Cowell, P.J., Ferland, M., A. & Thom, B., G., 1994: Wave-dominated coasts. In Carter, R.W.G. & Wodroffe, C.D., (eds.) Coastal evolution, Late Quaternary shoreline morphodynamics. 121-186 Cambridge University Press.

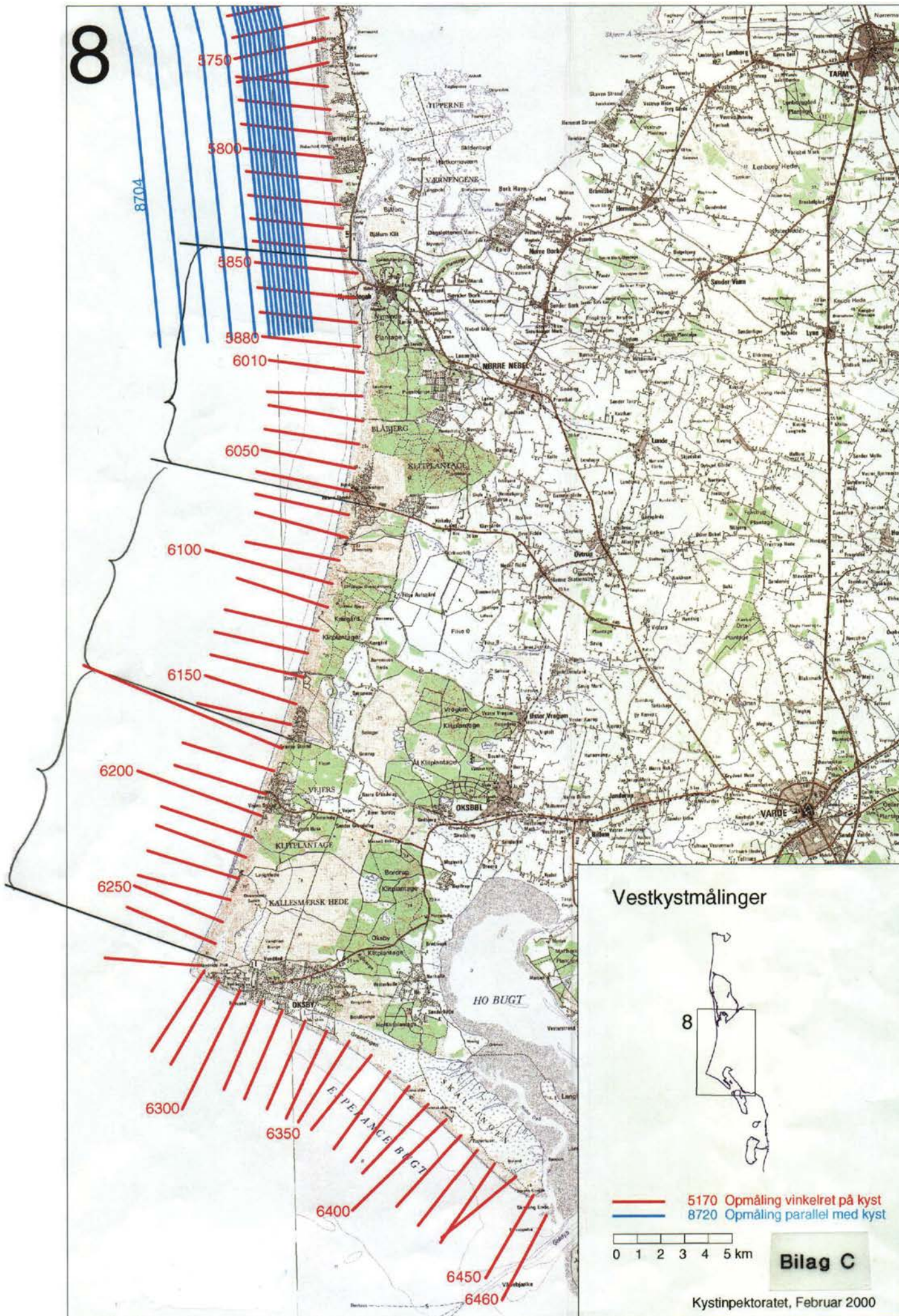
- Shennan, I., Lambeck, K., Flather, R., Horton, B., McArthur, J., Innes, J., Lloyd, J., Rutherford, M. & Wingfield, R., 2000: Modelling western North Sea paleogeographies and tidal changes during the Holocene. *In* Shennan, I. & Andrews, J. (eds.) *Holocene Land-Ocean Interaction and Environmental Changes around the North Sea*. Geological Society, London, Special Publications, 166, 299-319.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hugghen, K.A., Kromer, B. Maccormac, G., Van der Plicht, J. & Spurk, M.. 1998: INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24.000-0 cal BP. *Radiocarbon* 40 (3), 1041-1083.
- Walker, R.G., 1984: Shelf and Marine Sands, in Wakler, R.G. ed *Facies Models*, Geoscience Canada Reprint series 1. 2 ed., 141-170.
- Van der Valk, L., 1992: Mid-en Late-Holocene Coastal Evolution in the Beach-Barrier Area of the Western Netherlands. (disp.). Vrije Universiteit Amsterdam.
- Vincent, C.E., 1986: Processes affecting sand transport on a storm-dominated shelf,. In *Canadian Society of Petroleum Geologists, Mem. 111*, 121-132.
- Zeiler, M., Schulz-Ohlberg, R.L. & Figge, K., 2000: Mobile sand deposits and shoreface sediment dynamics in the inner German Bight (North Sea). *Marine Geology* 170, 363-380.

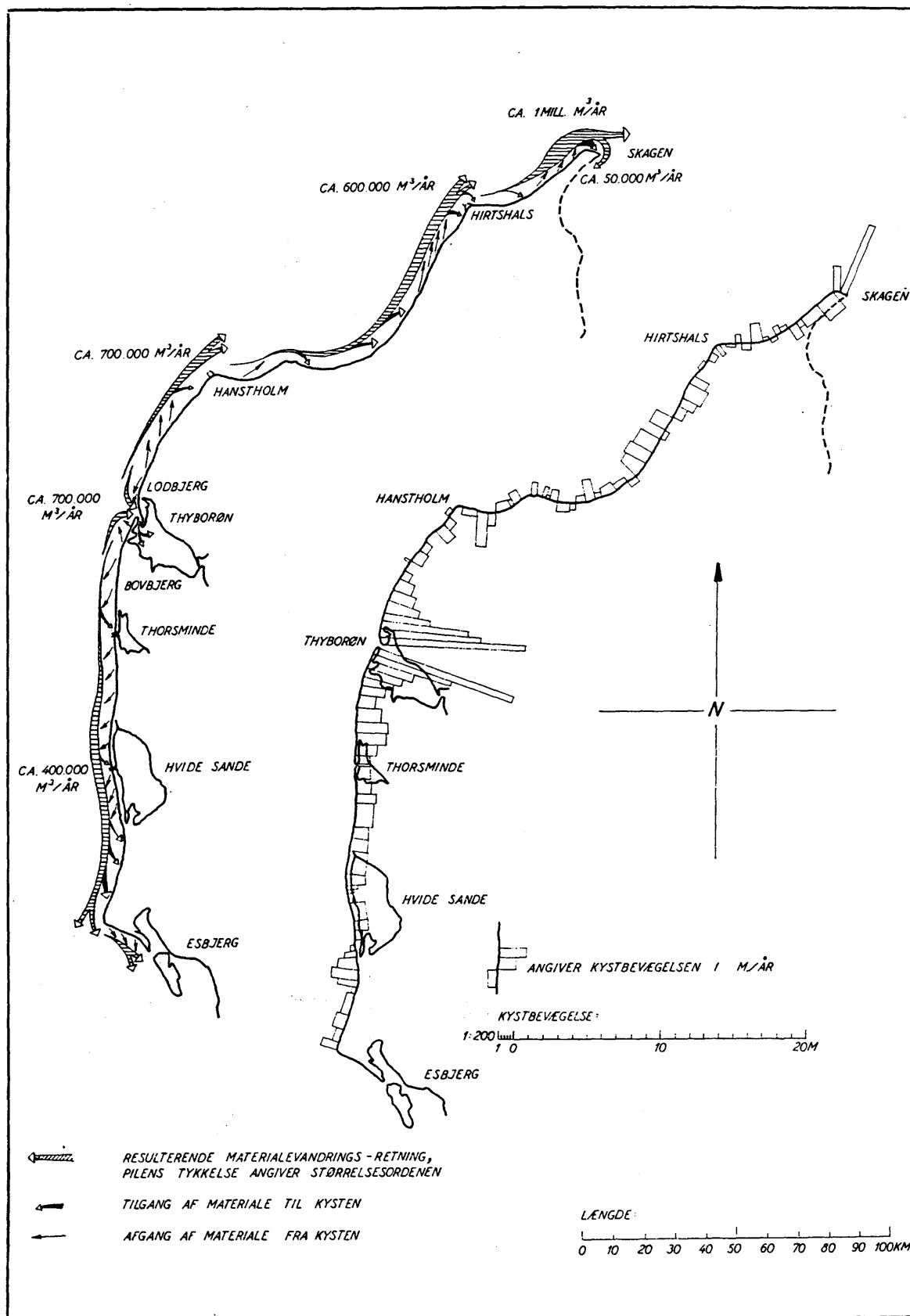


Oversigtskort med dybdekurver og alle boringer i Horns Rev området. 4 og 6 meter dybdekurverne på Horns Rev er fremhævet med hhv. mørk og lys orange farve.



8





Materialvandring og kystindrykning langs Jyllands vestkyst.

Fra F.Hofdahl 1968

Samples: Birger Larsen/Jørgen Leth - reviderede foreløbige resultater, alle C13 sat til 0.5 ‰

Date: 23 October 2001

J.nr.: larsen.@3a

AAR-#	Sample Type	Collection Site	^{14}C Age (BP)	Reservoir corrected ^{14}C Age (BP*)	Calibrated age ±1 stdv.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) VPDB	Submitter ID	Submitter
AAR-7179	shell (Tellina fabula)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Hele serien er artsbestemt af Birger Larsen. Prøven skal bidrage til bestemmelsen af akkumulationsraten af sand, som led i et sedimentbudget for Jyllands Vestkyst og tilliggende Nordsø. Samtidig bidrager dateringen til historien af landskabsformerne på havbunden og belyser faunaudviklingen i denne del af Nordsøen. Denne prøve belyser akkumulationsraten i nyere tid. 0.9 mg C. 1.33m below surface. -13.5m asl. (55 37.957 Lat, 7 39.694 Long) <i>Exp. age:</i> 1000 BP.	@662 ± 39	@262 ± 39 (Res. age: 400)	@AD 1648, AD 1535-1661	@0.5	Vesterhavet 578-152, 133 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7180	shell (Mactra corallina)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den midterste del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer. 3.22m below surface. -15.4m asl. (55 37.981 Lat, 7 41.968 Long) <i>Exp. age:</i> 4000 BP.	@3992 ± 55	@3592 ± 55 (Res. age: 400)	@1939 BC, BC 2027-1832	@0.5	Vesterhavet 578-153, 322 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7181 Bilag E	shell (Macoma baltica)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den ældste del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer. 5.22m below surface. -17.3m asl. (55 37.957 Lat, 7 39.694 Long) <i>Exp. age:</i> 6000 BP.	@2014 ± 43	@1614 ± 43 (Res. age: 400)	@AD 427, AD 407-531	@0.5	Vesterhavet 578-152, 522 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth

AAR-#	Sample Type	Collection Site	^{14}C Age (BP)	Reservoir corrected ^{14}C Age (BP*)	Calibrated age ± 1 stdv.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) VPDB	Submitter ID	Submitter
AAR-7182	shell (Tellina fabula)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den yngste del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer ved Sandtungen nord for Horns Rev. 0.38 mg C. 1.26m below surface. -16m asl. (55 38.011 Lat, 7 46.063 Long) <i>Exp. age:</i> 2000 BP.	@2835 $\pm$ 57	@2435 $\pm$ 57 (Res. age: 400)	@516-414 BC, BC 760-404	@0.5	Vesterhavet 578-155, 126 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7183	shell (Spisula solida)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal (lille eksemplar). Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den yngste del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer ud for Jyllands Vestkyst n.f. Blåvands Huk. 0.30m below surface. -9.8m asl. (55 46.746 Lat, 8 08.790 Long) <i>Exp. age:</i> 2000 BP.	@5654 $\pm$ 54	@5254 $\pm$ 54 (Res. age: 400)	@4041-4004 BC, BC 4219-3982	@0.5	Vesterhavet 578-170, 30 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7184	shell (Spisula solida)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den ældste del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer ud for Jyllands Vestkyst n.f. Blåvands Huk. 3.15m below surface. -12.5m asl. (55 46.746 Lat, 8 08.790 Long) <i>Exp. age:</i> 6000 BP.	@5678 $\pm$ 67	@5278 $\pm$ 67 (Res. age: 400)	@4216-4045 BC, BC 4223-3984	@0.5	Vesterhavet 578-170, 315 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7185	shell (Spisula solida)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den mellemste del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer ud for Jyllands Vestkyst n.f. Blåvands Huk. 1.86m below surface. -11m asl. (55 46.746 Lat, 8 08.790 Long) <i>Exp. age:</i> 4000 BP.	@5510 $\pm$ 49	@5110 $\pm$ 49 (Res. age: 400)	@3956 BC, BC 3967-3803	@0.5	Vesterhavet 578-170, 186 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth

AAR-#	Sample Type	Collection Site	^{14}C Age (BP)	Reservoir corrected ^{14}C Age (BP*)	Calibrated age ± 1 stdv.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) VPDB	Submitter ID	Submitter
AAR-7186	shell (Tellina fabula)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den yngre del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer ud for Jyllands Vestkyst n.f. Blåvands Huk. 0.37m below surface. -8.5m asl. (55 40.350 Lat, 8 06.733 Long) <i>Exp. age:</i> 1000 BP.	@479 $\pm$ 43	@79 $\pm$ 43 (Res. age: 400)	@AD 1951, AD 1692-1953	@0.5	Vesterhavet 578-171, 37 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7187	shell (Tellina fabula)	Nordsøen, N for Horns Rev. Dobbeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den yngre del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer ud for Jyllands Vestkyst n.f. Blåvands Huk. 1.83m below surface. -9.8m asl. (55 40.350 Lat, 8 06.733 Long) <i>Exp. age:</i> 2000 BP.	@1679 $\pm$ 37	@1279 $\pm$ 37 (Res. age: 400)	@AD 693-764, AD 683-776	@0.5	Vesterhavet 578-171, 183 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7188	shell (Tellina fabula)	Nordsøen, N for Horns Rev. Dobbeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den ældre del af udbygningen af de Holocæne marine sandaflejringer ud for Jyllands Vestkyst n.f. Blåvands Huk. 5.12m below surface. -13m asl. (55 40.350 Lat, 8 06.733 Long) <i>Exp. age:</i> 5000 BP.	@2044 $\pm$ 44	@1644 $\pm$ 44 (Res. age: 400)	@AD 415, AD 361-431	@0.5	Vesterhavet 578-171, 512 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7189	shell (Spisula solida)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkelt skal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den ældre del af udbygningen af den indre del af Horns Rev. 0.62m below surface. -11m asl. (55 34.862 Lat, 7 54.253 Long) <i>Exp. age:</i> 3000 BP.	@518 $\pm$ 42	@118 $\pm$ 42 (Res. age: 400)	@AD 1694-1949, AD 1679-1951	@0.5	Vesterhavet 578-173, 62 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7190	shell (Tellina fabula)	Nordsøen, N for Horns Rev. Dobbeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179.	@1251 $\pm$ 41	@851 $\pm$ 41 (Res. age: 400)	@AD 1212, AD 1161-1242	@0.5	Vesterhavet 578-173, 396 cm	Birger Larsen/Jørgen

AAR-#	Sample Type	Collection Site	^{14}C Age (BP)	Reservoir corrected ^{14}C Age (BP*)	Calibrated age ± 1 stdv.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) VPDB	Submitter ID	Submitter
		Denne prøve belyser den ældre del af udbygningen af den indre del af Horns Rev. 3.96m below surface. -15m asl. (55 34.862 Lat, 7 54.253 Long) <i>Exp. age</i> : 5000 BP.						Leth
AAR-7191	shell (Spisula solida)	Nordsøen, N for Horns Rev. Dobbeltskal (små skaller). Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den yngste del af udbygningen af den indre del af Horns Rev. 0.66m below surface. -12.7m asl. (55 34.815 Lat, 7 49.329 Long) <i>Exp. age</i> : 500 BP.	@600 $\pm$ 38	@200 $\pm$ 38 (Res. age: 400)	@AD 1668-1795, AD 1656-1947	@0.5	Vesterhavet 578-174, 66 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7192	shell (Syndosmya alba)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den yngste del af udbygningen af den indre del af Horns Rev. 1.75m below surface. -13.7m asl. (55 34.815 Lat, 7 49.329 Long) <i>Exp. age</i> : 1500 BP.	@439 $\pm$ 42	@39 $\pm$ 42 (Res. age: 400)	@AD 1953, AD 1895-1955*	@0.5	Vesterhavet 578-174, 175 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth
AAR-7193	shell (Syndosmya nitida)	Nordsøen, N for Horns Rev. Enkeltskal. Prøvebeskrivelse: se AAR-7179. Denne prøve belyser den yngste del af udbygningen af den indre del af Horns Rev. 5.00m below surface. -17m asl. (55 34.815 Lat, 7 49.329 Long) <i>Exp. age</i> : 2000 BP.	@493 $\pm$ 37	@93 $\pm$ 37 (Res. age: 400)	@AD 1889-1950, AD 1689-1952	@0.5	Vesterhavet 578-174, 500 cm	Birger Larsen/Jørgen Leth

^{14}C ages are reported in conventional radiocarbon years BP (before present = 1950) in accordance with international convention (M. Stuiver & H.A. Polach: Discussion of reporting ^{14}C data. Radiocarbon 19-3 (1977) p. 355).

Thus, all calculated ^{14}C ages have been corrected for fractionation so as to refer the result to be equivalent with the standard $\delta^{13}\text{C}$ value of -25‰ (wood). Reported $\delta^{13}\text{C}$ values have been measured by Dr. Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Science Institute of the University of Iceland, in connection with the Aarhus-Reykjavík AMS ^{14}C dating collaboration.

Dates of marine samples (eg. shells and marine mammals) have to be corrected for reservoir effect to be comparable to contemporaneous terrestrial material. The ocean reservoir age (approx. 400 y depending on location) is subtracted from the conventional ^{14}C age to obtain the reservoir corrected age given in the second ^{14}C age column. The reservoir corrected ^{14}C ages of marine samples are calibrated following the procedure described below. When marine sample dates are published, the conventional, uncorrected ^{14}C age should always be quoted. When corrected ^{14}C ages are quoted, the reservoir age used should be given explicitly.

Calibrated ages in calendar years have been obtained from the calibration tables in *Stuiver et al. 1998 Radiocarbon vol. 40(3) pp 1041-1083* by means of the 1998 version (4.0) of the Seattle CALIB programme (*Stuiver and Reimer 1993 Radiocarbon 35(1) pp 215-230*) using the 10 yr terrestrial calibration curve. The intercept of the measured ^{14}C age with the calibration curve is given in the first line (as a time interval if more than one intercept). The intercept method has been used to calculate the calibrated age interval (second line) corresponding to ± 1 standard deviation in the conventional ^{14}C age.

1955* denotes possible influence of bomb ^{14}C , i.e. post 1955.