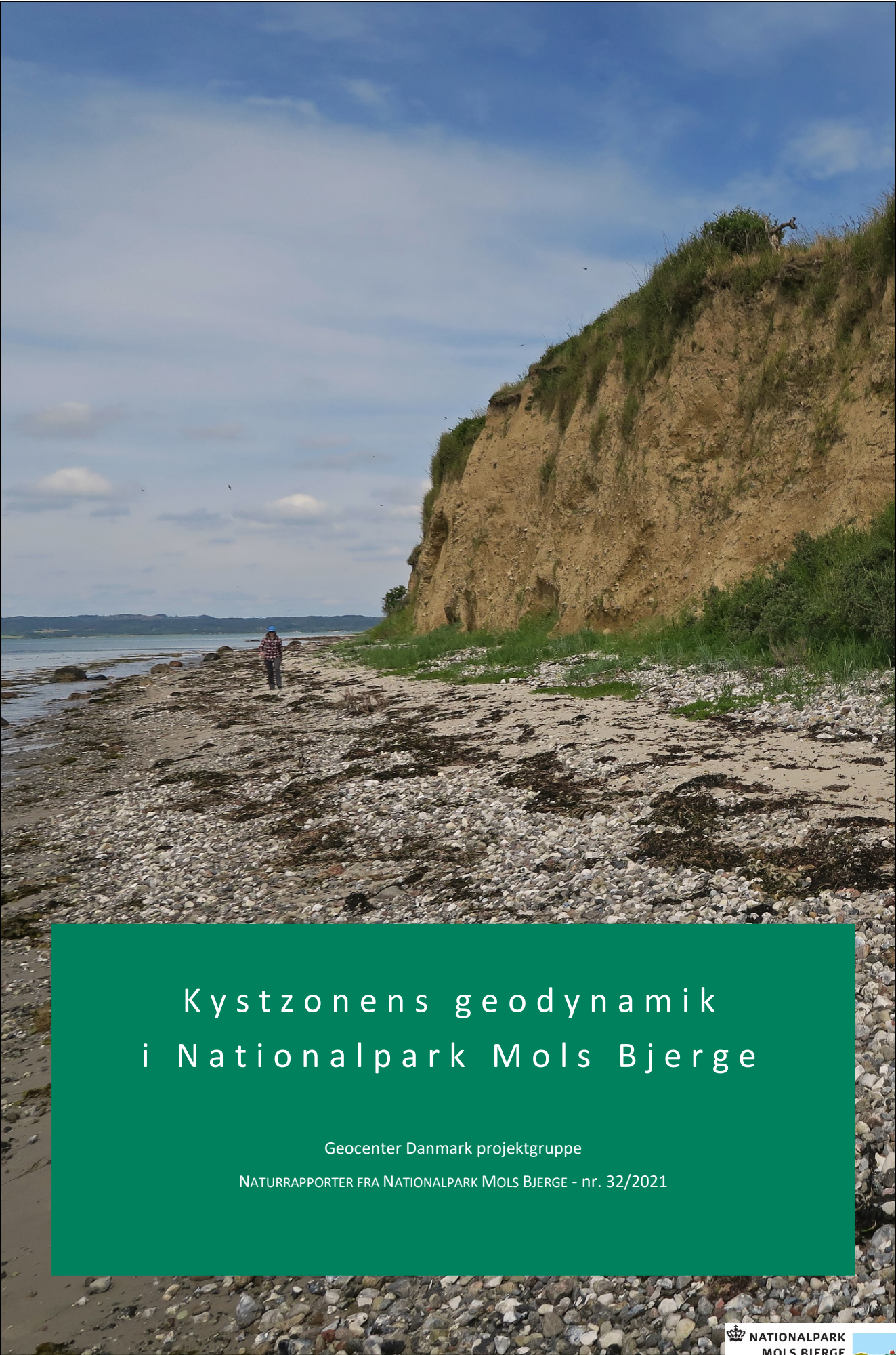




Kystzonens geodynamik i Nationalpark Mols Bjerge

Geocenter Danmark projektgruppe

NATURRAPPORTER FRA NATIONALPARK MOLS BJERGE - nr. 32/2021

Kolofon:

Titel: Kystzonens geodynamik i Nationalpark Mols Bjerger

Forfattere: Geocenter Danmark projektgruppe med bidrag fra:

Geoscience, Aarhus Universitet (GEO-AU):

Adjunkt Katrine J. Andresen.

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet (IGN-KU), Sektion for Geografi:

Adjunkt Mikkel Fruergaard og professor Aart Kroon.

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Afdeling for Maringeologi:

Seniorforsker Verner B. Ernstsen, seniorforsker Ole Bennike, naturgeograf Mikkel S. Andersen, naturgeograf Lars Ø. Hansen og seniorforsker Zyad Al-Hamdani.

Udgiver: Nationalpark Mols Bjerger.

Projekt: "Kystzonens geodynamik i Nationalpark Mols Bjerger"
– J.nr. NST-941-00500.

Finansiering: Nationalpark Mols Bjerger

Redaktion afsluttet: 8. marts 2021 (Bent Vad Odgaard & Jens Reddersen)

Omfang: 84 sider, inkl. 3 sider bilag.

Lagt på nettet: 12. marts 2021.

Brug af materialet: Materialet må frit benyttes med kildeangivelse.

Kildeangivelse: Geocenter Danmark 2021: Kystzonens geodynamik i Nationalpark Mols Bjerger. - Naturrapporter fra Nationalpark Mols Bjerger nr. 32, 84 sider.

Rapporternes konklusioner og perspektiveringer er forfatternes og ikke nødvendigvis nationalparkens



1 FORORD

Denne rapport er udarbejdet af en Geocenter Denmark projektgruppe indenfor det toårige projekt "Kystzonens geodynamik i Nationalpark Mols Bjerger" (2019-2020). Geocenter Danmark-projektgruppen består af medarbejdere fra Geoscience ved Aarhus Universitet (GEO-AU), Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet (IGN-KU) og De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS).

Baggrunden for projektet er, at mere end 60 km kystlinje indgår i Nationalpark Mols Bjerger (NPMB), og kysten udgør næsten halvdelen af nationalparkens afgrænsning. Kysten og dens dynamik spiller derfor en stor rolle for alle nationalparkens hovedsøjler natur, kultur, erhverv og turisme. Ud over at være omdrejningspunkt for de øvrige søjler spiller kystens natur en særlig rolle gennem sin store geo- og biodiversitet. I forhold til biodiversitet knytter der sig en række af nationalparkens sjældneste plante- og insektarter til kystens stejlkliner og strandenge, arter som er sjældne eller mangler i andre danske landskaber. Baggrunden for opståen og vedligeholdelse af disse kysthabitater er bl.a. de geologiske, geomorfologiske og fysiske processer og den postglaciale historie i området. Der er derfor behov for at belyse kystens geologiske, geomorfologiske og fysiske udvikling, herunder de forskellige kysttyper, deres geomorfologi og geologiske historie, de fysiske betingelser for deres opståen og dynamik samt deres mulige fremtid under forventede klimaændringer.

Projektet blev inddelt i fem arbejdsplaner (AP1-5) med tætte koblinger mellem hver arbejdsplan. AP1-4 undersøgte den postglaciale kystudvikling (AP1), den historiske kystudvikling (AP2), kystzonens dynamik og fysiske processer (AP3) samt kystzonens geodiversitet og naturtyper (AP4) baseret primært på eksisterende data komplementeret med feltobservationer; AP5 udviklede nye forskningsideer til fremtidige forskningsprojekter i NPMB baseret på resultaterne af undersøgelserne i AP1-4.

Denne rapport præsenterer arbejdet i AP1-4 i tre kapitler. Kapitel 3 belyser den postglaciale kystudvikling (AP1), udarbejdet primært af adjunkt Katrine J. Andresen (GEO-AU), seniorforsker Ole Bennike (GEUS) og adjunkt Mikkel Fruergaard (IGN-KU); kapitel 4 belyser den historiske kystudvikling samt kystzonens dynamik og fysiske processer (AP2 og AP3), udarbejdet primært af adjunkt Mikkel Fruergaard og professor Aart Kroon (IGN-KU); mens kapitel 5 belyser kystzonens geodiversitet og naturtyper, udarbejdet af seniorforsker Verner B. Ernsten, naturgeograf Mikkel S. Andersen, naturgeograf Lars Ø. Hansen og seniorforsker Zyad Al-Hamdani (GEUS). Et resumé af de tre kapitler er præsenteret i rapportens kapitel 2. Hele projektgruppen har bidraget til sammenskrivningen af rapporten. Hvis ikke andet fremgår er årstal i rapporten angivet enten som kalenderår før nu eller i år e. Kr.

Projektet "Kystzonens geodynamik i Nationalpark Mols Bjerger" er støttet økonomisk af NPMB. Projektgruppen takker specielt Bent V. Odgaard (medlem af Naturudvalget og Nationalparkrådet) og Jens Reddersen, natur- og projektmedarbejder i NPMB, for gode og konstruktive møder og diskussioner i løbet af projektperioden.

Der rettes yderligere en stor tak til medundervisere og studerende på Institut for Geoscience, Aarhus Universitet og Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet samt til besætning og kaptajn på Aarhus Universitets forskningsskib *Aurora*, for deres arbejde med indsamling af geofysiske data og sedimentkerner i Kalø Vig og ved Brabrand i forbindelse med kurserne Marine Geoscience, Hav & Klima og Refleksionsseismik & Logging. Her nævnes specielt Marit-Solveig Seidenkrantz, Lars Ole Boldreel, Christof Pearce, Ole Rønø Clausen og Peter Moe Astrup.

2 RESUMÉ

Formålet med kapitel 3 Postglacial kystudvikling er at belyse kystlinjens dynamik og naturlige processer efter sidste istid og indtil historisk tid. Ved hjælp af eksisterende data i form af borekerner, seismik og dateringer arbejdes der med kortlægning af palæolandskaberne omkring Nationalpark Mols Bjerger (NPMB), samt med fremstilling af en kystforskydningskurve. Ved at kombinere de to elementer kan der fremstilles palæogeografiske kort og palækystlinjer, og der kan laves en tolkning af de processer, der har virket i området siden den sidste istid. Strandforskydningskurven inddrager data fra hele Aarhus Bugt området, mens palæolandskabstolkningen i dette projekt er fokuseret på Kalø Vig, hvor der er stor datatæthed.

Formålet med kapitel 4 Historisk kystudvikling / Kystzonens dynamik og fysiske processer er at belyse kystlinjens dynamik, de naturlige dynamiske processer og den menneskelige påvirkning af systemet og processerne inden for historisk tid (1875-2019) baseret på eksisterende geodata såsom historisk kortmateriale, flyfotos, lidar-data samt feltobservationer. I analysen undersøges, hvordan kystlinjen i nationalparken enten har a) rykket havværts under en positiv tilførsel af sediment, b) rykket landværts under erosion, c) været stabil eller d) haft en langsgående udvikling i form af krumoddeudbygning. Resultatet af analysen viser tilbagerykningssrater op til 0,3-0,6 m/år og fremrykning op til 0,50-0,75 m/år. Langs det meste af nationalparkens kystlinje har den totale kystændring været lille i løbet af de sidste 145 år, men med en betydelig rumlig og tidsmæssig variation. De største ændringsrater er fundet langs kyststrækninger, som er påvirket af menneskelige aktiviteter – især af bygning af havneanlæg og moler i løbet af den undersøgte periode. Analysen viser også, at kystens udgangsgeologi, topografi og eksponeringsgrad har betydning for kystudviklingen, da disse faktorer styrer mængden og tilgængeligheden af sediment til kystudbygning samt bølgeenergien, som primært skaber gradienter i den langsgående sedimenttransport og derved omfordeler sedimentet langs kysten.

Formålet med kapitel 5 Kystzonens geodiversitet og naturtyper er at belyse den terrestriske del af kystzonens geodiversitet og udpegede naturtyper med fokus på naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge med henblik på at udvikle abiotiske form- og materialesignaturer (geomorfologiske og jordartsmæssige komponenter af geodiversitet) for dermed at evaluere den nuværende udbredelse af naturtyperne samt at vurdere udbredelsen i fremtiden i relation til en forventet havspejlsstigning. Som en del af undersøgelsen har vi udført en digital landskabsanalyse baseret på en geomorfometrisk analyse af et udsnit af den landsdækkende digitale terrænmodel (DTM) kombineret med informationer fra det nationale jordartskort. Vi har identificeret og beregnet morfometriske karakteristika samt udviklet abiotiske form- og materialesignaturer for naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge; dette har muliggjort en semi-automatisk klassifikation og kortlægning af kystklinter, strandvolde og strandenge. Endvidere har vi evalueret naturtypernes nuværende udbredelse ved at sammenligne udbredelsen af udpegede områder med de klassificerede områder – og dermed også med mulige områder for udpegning; både for kystklinter, strandvolde og strandenge gælder det, at der er klassificerede områder indenfor NPMB, som ligger udenfor diverse naturbeskyttelsesområder, hvormed der er et potentiale i NPMB for at udvikle yderligere områder med værdifulde kystnaturtyper. Desuden har vi vurderet naturtypernes udbredelse i fremtiden i relation til en forventet havspejlsstigning ved at sammenholde udbredelsen af de klassificerede naturtyper med bl.a. havspejlsstigningens niveau samt eksponeringen af og udbredelsesrummet for naturtyperne.

INDHOLDSFORTEGNELSE

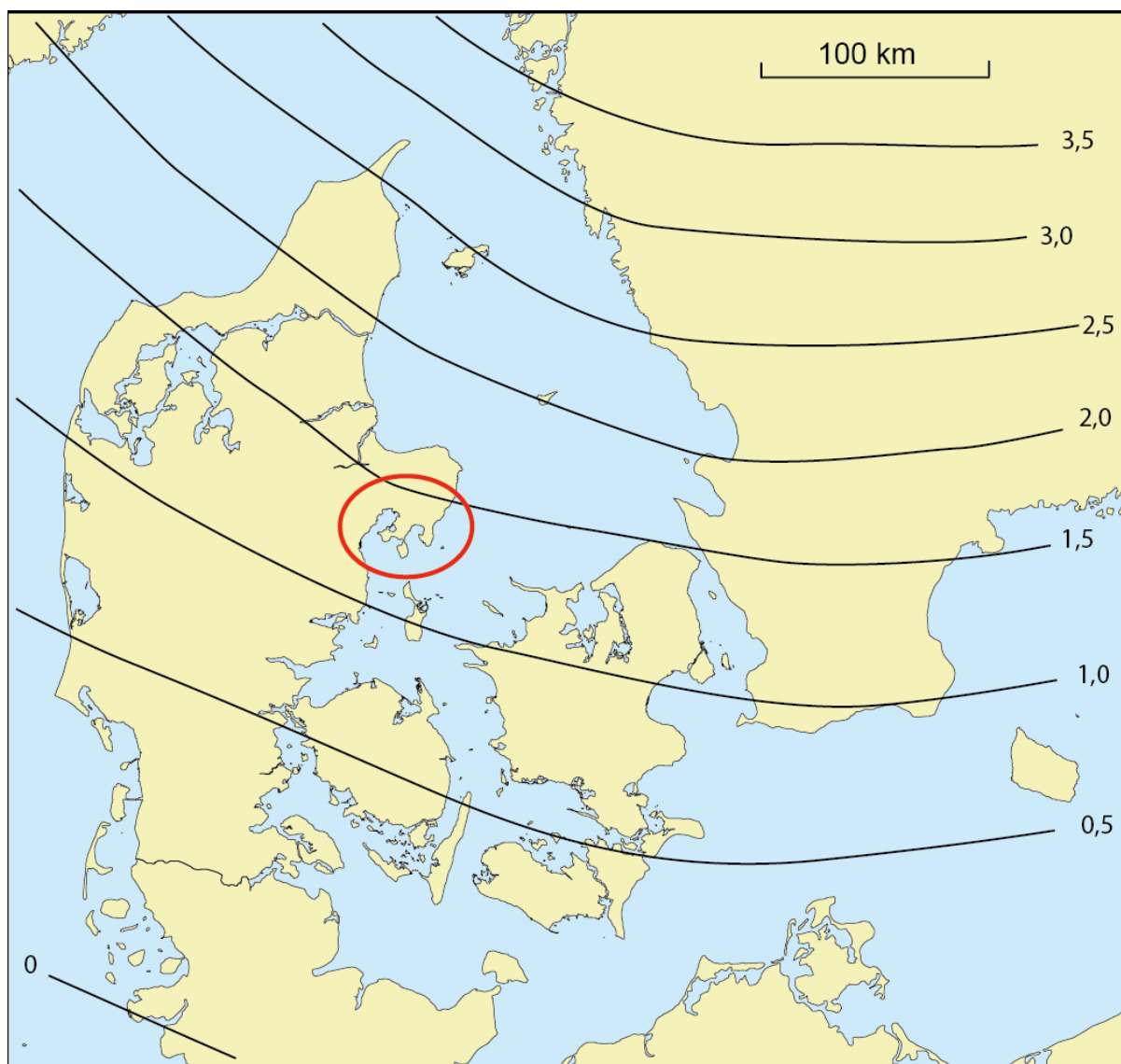
1	Forord	3
2	Resumé	4
3	Postglacial kystudvikling	6
3.1	Indledning	6
3.2	Lokalitetsbeskrivelse	10
3.3	Materialer og metoder	11
3.3.1	Holocæn strandforskydning i Aarhus Bugt området	11
3.3.2	Palæolandskabet i Kalø Vig	12
3.4	Resultater	15
3.4.1	Holocæn strandforskydning i Aarhus Bugt området	15
3.4.2	Palæolandskabet i Kalø Vig	16
3.4.3	Palæogeografiske kort for Kalø Vig	23
3.5	Diskussion	26
3.6	Konklusioner	27
4	Historisk kystudvikling / Kystzonens dynamik og fysiske processer	29
4.1	Indledning	29
4.2	Lokalitetsbeskrivelse	30
4.3	Materialer og metoder	35
4.3.1	Geodata	35
4.3.2	Georeferering og digitalisering af kystlinjen	36
4.3.3	Digital shoreline analysis system (DSAS)	36
4.3.4	Bestemmelse af sedimenttransport og krummoddedannelse	37
4.4	Resultater	38
4.5	Diskussion	45
4.6	Konklusioner	46
5	Kystzonens geodiversitet og naturtyper	47
5.1	Indledning	47
5.2	Lokalitetsbeskrivelse	50
5.3	Materialer og metoder	52
5.3.1	Datagrundlag for geodiversitet-komponenter	52
5.3.2	Naturtypernes geodiversitet-komponenter	53
5.3.3	Identifikation og afgrænsning af kystklinter, strandvolde og strandenge	55
5.4	Resultater	57
5.4.1	Udpegede og fredede kystklinter samt områder med mulige kystklinter	57
5.4.2	Udpegede og fredede strandvolde samt områder med mulige strandvolde	60
5.4.3	Udpegede og fredede strandenge samt områder med mulige strandenge	64
5.5	Diskussion	67
5.5.1	Semi-automatisk klassifikation og kortlægning af kystklinter, strandvolde og strandenge	67
5.5.2	Potentiale for yderligere kystklinter, strandvolde og strandenge	67
5.5.3	Kystklinter, strandvolde og strandenge i fremtiden	68
5.5.4	Dynamisk naturbeskyttelse af kystzonens naturtyper i fremtiden	69
5.6	Konklusioner	69
6	Litteraturliste	71
7	Bilag 1	75
7.1	Miljøstyrelsens beskrivelser af naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge	75
7.1.1	Kystklinter	75
7.1.2	Strandvolde	75
7.1.3	Strandenge	76
8	Bilag 2	78
8.1	Hældningskort	78
8.2	Krumningskort	79
8.3	Kort med toppe, lavninger og flader	81
8.4	Ruhedskort	83

3 POSTGLACIAL KYSTUDVIKLING

3.1 Indledning

Under sidste istid var store dele af Danmark dækket af et op til kilometertykt lag af is. For omkring 20.000 år siden begyndte isen at smelte tilbage. Landet blev således befriet for en kolossal vægt, og har derfor hævet sig siden. I begyndelsen gik det hurtigt, men efterhånden klingede landhævnningen af.

Processen er dog langt fra slut, landet hæver sig fortsat. Mest mod nordøst og mindst mod sydvest (Figur 1).



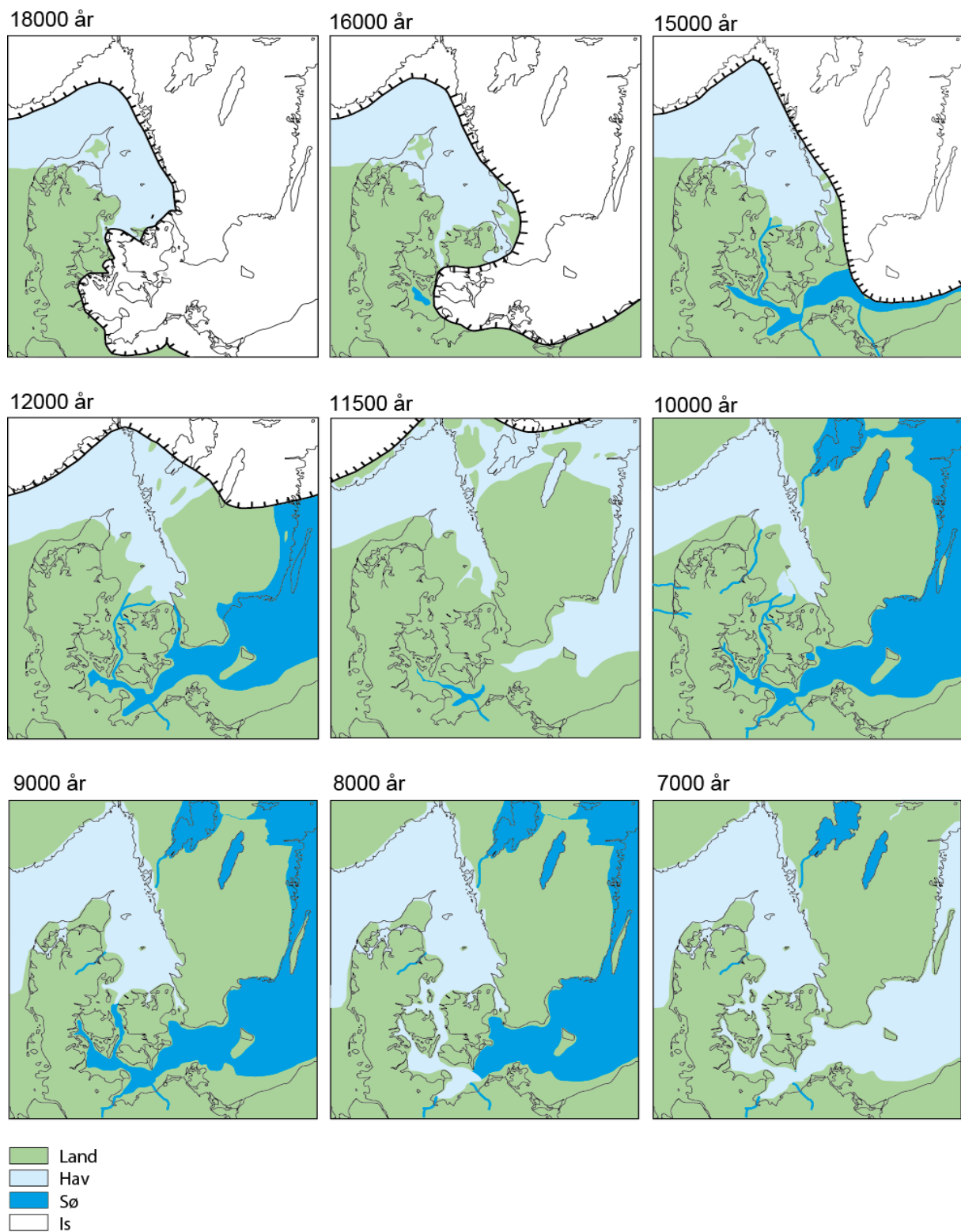
Figur 1: Nuværende landhævning i Danmark, i mm per år (Vestøl et al. 2019). Kortlægningen er baseret på GPS-målinger fra permanente målestationer, måleserier fra vandstandsmålere og præcisionsnivellementer. Den røde ellipse angiver studieområdet. Den relative havniveauændring påvirkes dog også af havniveaustigningen.

Samtidig med at landet hævede sig, er det globale havniveau også steget, fordi store mængder smeltevand strømmede ud i verdenshavene. I alt er havniveauet steget omkring 130 m siden sidste istids maksimum for ca. 21.000 år siden (Lambeck et al. 2014). Kombinationen af *landhævning* og *havniveaustigning* kaldes *relativ havniveauændring*.

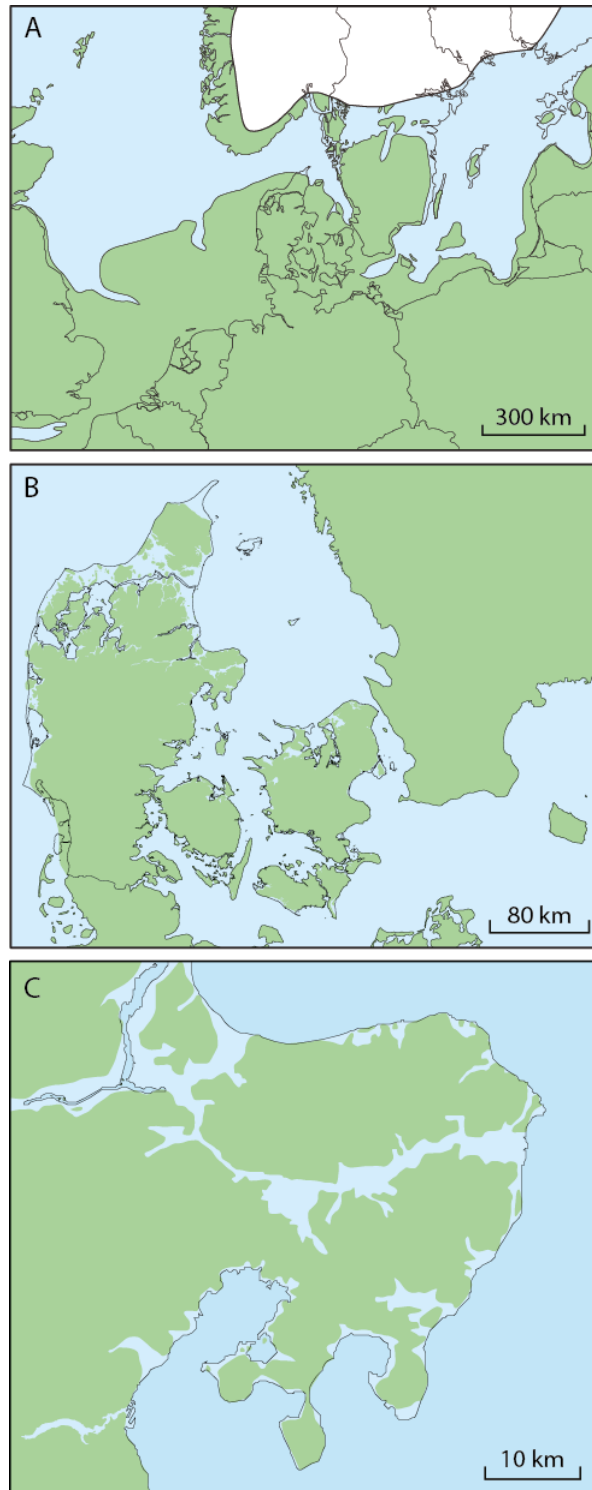
Relative havniveauændringer kan rekonstrueres ved at datere skaller af marine snegle eller muslinger der levede i havet, tørv som dannes i moser over havniveau, træstubbe eller rødder af landplanter der voksede på land. I sjældne tilfælde er der fundet druknede grave eller druknede bålpladser, ligesom arkæologiske fund fra udsmidslag kan give en præcis viden om havniveau på et givet tidspunkt.

Ved at analysere geofysiske og geologiske data kan undergrunden kortlægges. Dette kan give et billede af, hvordan landskabet så ud tilbage i tid, både for perioder, hvor havniveauet var højere end i dag og for perioder, hvor det var lavere. Kortlægningen af palæolandskaberne sammenholdt med en relativ havniveaukurve kan derfor give os viden om kystens placering og karakteristika tilbage i tid.

Figur 2 og Figur 3 (neden for) viser en række palæogeografiske kort, der opsummerer den overordnede fordeling af land, hav og is fra 18.000 til 7.000 år siden.



Figur 2: En serie palæogeografiske kort for det danske område modificeret fra Jensen et al. (2002).

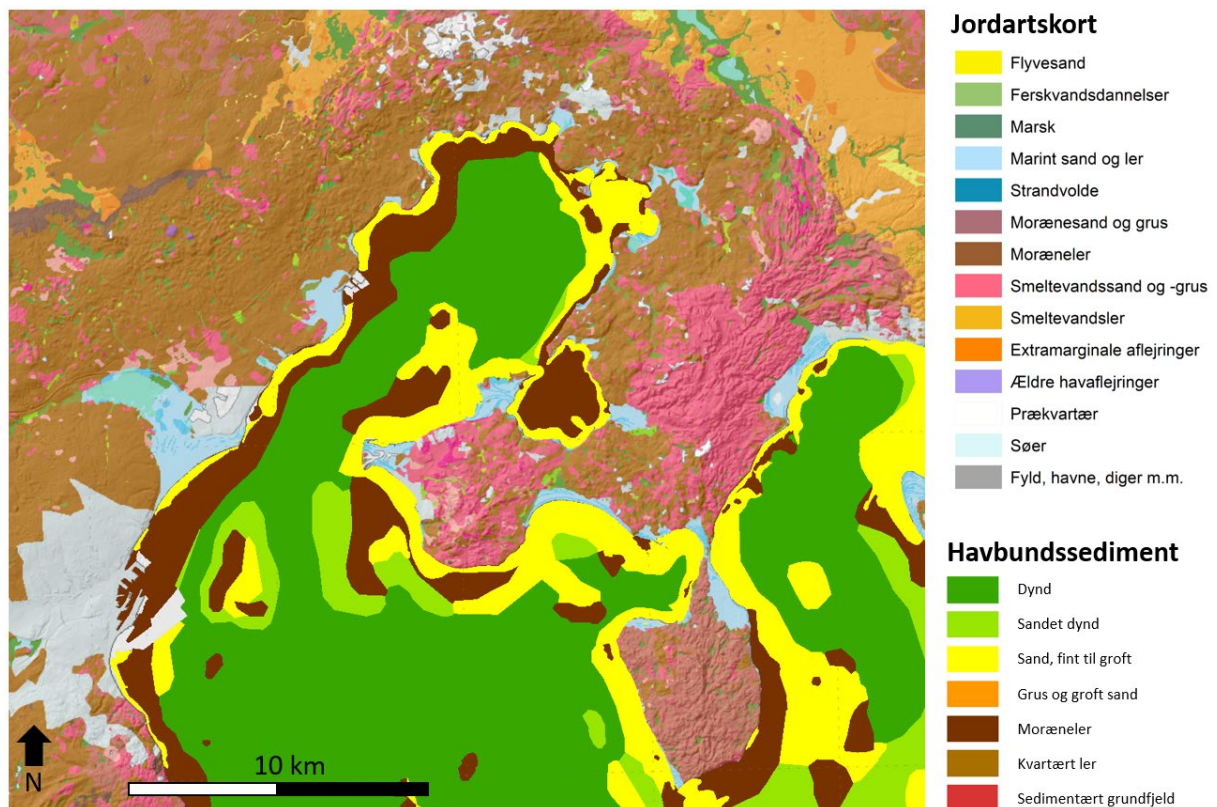


Figur 3: A. Palæogeografisk kort over de Britiske Øer, Nordsøen og Østersøen. Kortet viser fordelingen af land, hav og is i tidlig Holocæn (Fastlandstiden) for ca. 11.500 år siden. Det globale havniveau var omkring 60 m lavere end det nuværende (Lambeck et al. 2014) og Danmark var sammenhængende med England forbundet via det nu oversvømmede Doggerland. Østersøen stod i forbindelse med Kattegat via smalle stræder i Sverige. B. Palæogeografisk kort over Danmark, der viser fordelingen af land og hav for ca. 6000 år siden ved den maksimale havniveaustand under Littorina Transgressionen. Det ses, at store områder i Vendsyssel og Hanherred var havdækkede. C: Zoom-in af 3B på Djursland; det ses at der tidligere eksisterede en række fjorde og at Kolindsund var et stræde mellem Randers Fjord og det østlige Djursland. A er baseret på kort fra Jelgersma (1979), Björck (1995), Fredén (1988), Jensen et al. (2002), Uscinowicz (2003), Astrup (2018) og Bennike et al. (2019). B og C er primært baseret på GEUS' jordartskortlægning.

3.2 Lokalitetsbeskrivelse

Arbejdet omkring belystningen af den postglaciale kystudvikling i NPMB-regionen er fokuseret på Aarhus Bugt og Kalø Vig. Områderne er blandt andet udvalgt på baggrund af tilgængelige eksisterende data og dermed mulighederne for at udføre et detaljeret studie. Begge områder omfattes delvist af NPMB. Ved Kalø Vig skal der på sigt opføres et besøgscenter for nationalparkens gæster.

Kalø Vig kendetegnes ved en fordybning i landskabet bag de store krumme strøg af randmoræner, der karakteriserer Mols Bjerger. Randmorænerne fra Mols mod Rønde og til Løgten er dannet under det Ungbaltiske isfremstød for ca. 19.000 år siden, hvor store tunger af gletscheris var skudt frem i Kalø Vig og Ebeltoft Vig fra en overvejende sydøstlig retning (Houmark-Nielsen 2010, Larsen et al. 2017) (se Figur 2). På Figur 4 ses fordelingen af sedimenttyper på land og på havbunden i studieområdet. Sedimenterne på land, med forekomster af moræneler, morænesand og morænegrus samt smeltevandssand og smeltevandsler, afspejler overvejende de glaciale og senglaciale processer, mens havbundssedimenterne i høj grad afspejler de Holocæne aflejningsprocesser under skiftende havniveau. Det bemærkes, at Kalø Vig i de centrale dele er karakteriseret af en blød havbund bestående af dynd (mudder), mens der findes moræneler og sand langs med kysten. Holmen med Kalø Slotsruin er en sådan forekomst af moræneler, der i dag er over havniveau.



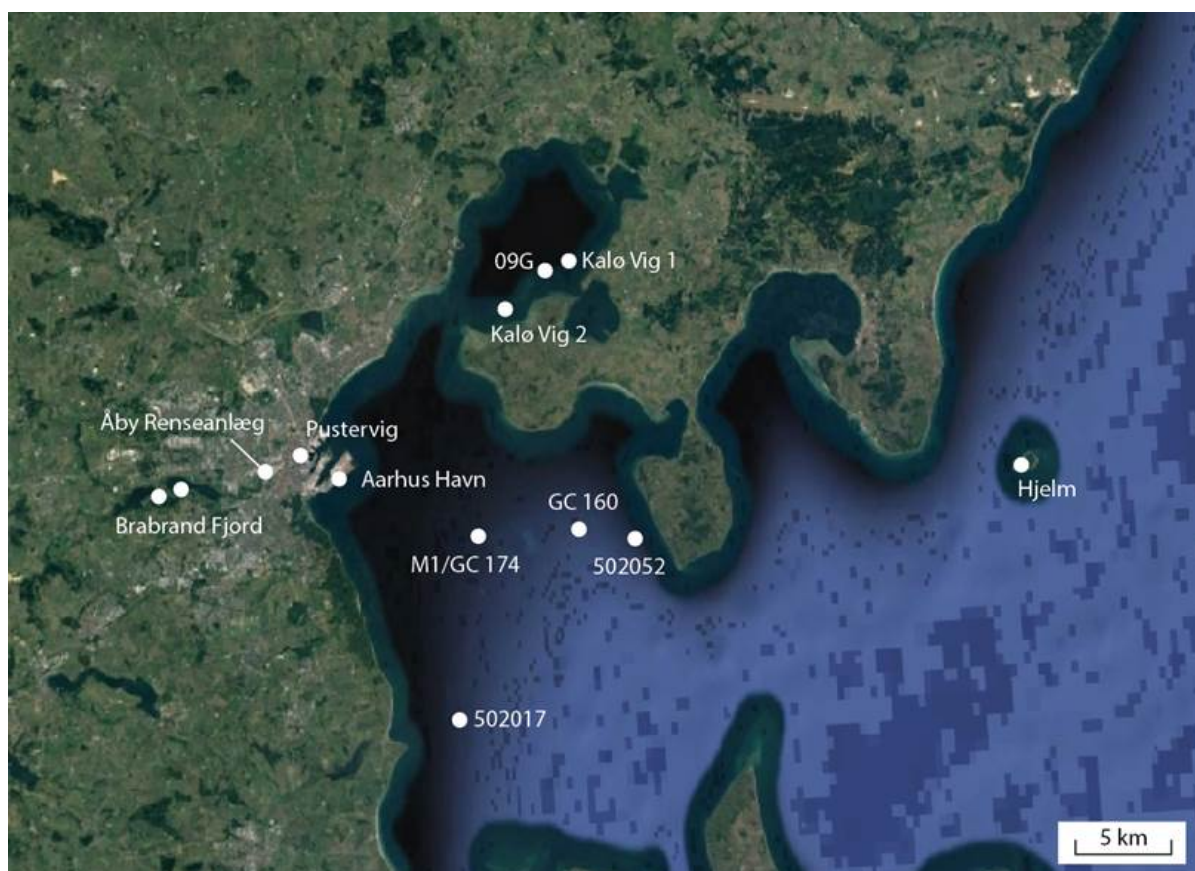
Figur 4: Figuren viser et terrænskyggekort med fordeling af sedimenttyper på land og til havs i studieområdet ved Aarhus Bugt. Havbundssedimentkortet viser opløsning fra kort oprindeligt i 1:250.000 målestoksforhold og jordartskortet i 1:25.000. Data fra den marine råstofdatabase Marta (<https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/marin-raastofdatabase-marta>).

Forekomsten af moræner ved havbunden viser, at der er en direkte fortsættelse af de terrestriske glaciale landskaber ud i Kalø Vig. Dette fremgår også af højde- og dybdemodellen for området (jf. Figur 18 i kapitel 4), hvor det storbakkede landskab omkring Kalø Vig træder tydeligt frem, og hvor der ses lavvandede områder ud for kysten på steder, hvor havbunden er karakteriseret ved moræner. Det ses yderligere, at Kalø Vig gennemskæres af en undersøisk kanal, der fra den sydlige åbning af vigen slynger sig mod nord i en stor bue, der ender i Knebel vig. En lignende men mindre kanal ses i den nordlige del af vigen. Denne slynger sig ud fra bugten ved Kalø Slotsruin.

3.3 Materialer og metoder

3.3.1 Holocæn strandforskydning i Aarhus Bugt området

Vi har valgt at opstille en strandforskydningskurve for Aarhus Bugt-området, fordi der foreligger ganske mange dateringer fra dette område (Figur 5, Tabel 1). Dateringerne stammer dels fra sedimentkerner i Aarhus Bugt; kerner der er indsamlet i forbindelse med kortlægning af sand og grus på havbunden og i forbindelse med undervisningstogter til Kalø Vig og dels fra sedimentkerner taget ved Brabrand Sø, der tidligere var en fjord. Desuden indgår dateringer fra arkæologiske udgravninger på land og marinarkæologiske undersøgelser i Kalø Vig, nær indløbet til Knebel Vig. Endelig indgår en datering af en fyrrestub, der dukkede op under uddybning af havnen i Aarhus. Dateringerne er sammenstillet i forbindelse med udarbejdelsen af denne rapport.



Figur 5: Google satellitfoto over Aarhus Bugt området med angivelse af lokaliteter med kulstof-14 dateringer i Tabel 1.

Materialet til kulstof-14 datering er tørret og indsendt til en række forskellige laboratorier; de fleste prøver er blevet dateret i Aarhus (markeret AAR i Tabel 1). Der er dels tale om rester af landplanter, dels rester af skaller fra marine

muslinger og snegle. En potentiel fejlkilde er at tørv kan kompakteres betydeligt når den bliver dækket af sand og mange meter havvand, hvorved tørv trykkes ned i dybere niveau end oprindeligt (Baeteman et al. 2011).

Alle dateringer er udført ved accelerator-masse-spektrometri (AMS), hvor antallet af kulstof-14 atomer måles direkte. Dateringerne er angivet i konventionelle kulstof-14 år BP (before present, før år 1950; Stuiver & Polach 1977). Kulstof-14 aldrene er kalibrerede til kalenderår før nu.

For marine prøver har vi anvendt MARINE20 data og for terrestriske prøver har vi brugt INTCAL20 data. Vi har brugt programmet CALIB (<http://calib.org/calib/>) til at kalibrere dateringerne.

Tabel 1: Udvalgte kulstof-14 dateringer fra Aarhus Bugt området.

Kernel/ sted	Bredde °N	Længde °Ø	Laboratorie nummer	Materiale	Kote (cm)	Alder (¹⁴ C år BP) ¹	Kal. alder (år BP) ²	Ref.
502017-1	56,033	10,326	UA-57753	<i>Cornus sanguinea</i>	-1120	7972±37	8648-8993	a
502052	56,112	10,478	AAR-29102	<i>Menyanthes trifoliata</i>	-3318	10007±36	11280-11697	a
502052	56,112	10,478	AAR-29103	<i>B.nana+Dryas+S.pol</i>	-3420	10158±54	11405-11971	a
GC 160	56,117	10,433	POZ-7848	<i>Cerastoderma edule</i>	-2580	8290±40	8628-9002	b
GC 174	56,117	10,35	POZ-10516	<i>Mytilus edulis</i>	-1640	7870±50	8150-8477	b
GC 174	56,117	10,35	POZ-10517	<i>Cerastoderma lamarcki</i>	-1740	8240±50	8567-8976	b
M1	56,117	10,35	AAR-16263	<i>Cerastoderma edule</i>	-2616	8349±45	8690-9107	c
M1	56,117	10,35	UBA-19004	<i>Corylus avellana</i>	-2640	8565±43	9473-9658	c
M1	56,117	10,35	AAR-18772	Deciduous leaf fragment	-2660	8432±32	9328-9530	c
M1	56,117	10,35	AAR-18773	<i>Betula, Meny, Schoeno</i>	-2695	8910±34	9906-10183	c
Aarhus Havn	56,147	10,24	AAR-4859	<i>Pinus sylvestris</i> stump	-1350	8200±70	9003-9406	d
Pustenvig	56,158	10,208	AAR-4161	<i>Littorina</i>	-0,36	4865±50	4943-5366	e
Åby Rense	56,152	10,178	AAR-12628	<i>Cerastoderma</i>	-100	5179±39	5325-5648	f
Brabrand F	56,146	10,109	AAR-30708	<i>Ostrea edulis</i>	-710	6260±31	6495-6836	a
Brabrand F	56,146	10,109	AAR-30707	<i>Ostrea edulis</i>	-865	5862±34	6079-6395	a
Brabrand F	56,146	10,109	AAR-30706	<i>Mytilus edulis</i>	-877	8512±40	8967-9310	a
Brabrand F	56,146	10,109	AAR-30705	Twig	-890	9249±40	10262-10560	a
Brabrand F	56,146	10,109	AAR-30704	<i>Populus tremula</i>	-898	9377±37	10500-10702	a
Brabrand F	56,143	10,09	AAR-30093	<i>Schönoplectus lacustris</i>	-58	2831±32	2853-3058	a
Brabrand F	56,143	10,09	AAR-30092	<i>Cerastoderma</i>	-62	5428±33	5602-5909	a
Brabrand F	56,143	10,09	AAR-30091	<i>Littorina littorea</i>	-216	7274±36	7564-7848	a
Brabrand F	56,143	10,09	AAR-30090	In situ root, woody plant	-224	6895±39	7624-7834	a
Kalø Vig 1	56,25	10,417	AAR-8413	In situ <i>Quercus</i> root	-670	7690±45	8394-8586	g
Kalø Vig 2	56,219	10,383	AAR-27412	Tree stump	-750	7813±75	8417-8977	h
O9G	56,236	10,418	AAR-30088	Twig	-1363	8219±46	9022-9399	a
O9G	56,236	10,418	AAR-30089	Twig	-1359	8256±41	9032-9412	a
Hjelm	56,135	10,8	AAR-5486	<i>Littorina</i>	+380	5525±55	5674-6083	i

¹ Kulstof-14 aldre er angivet i konventionelle kulstof-14 år BP (before present = 1950; Stuiver & Polach (1977)).

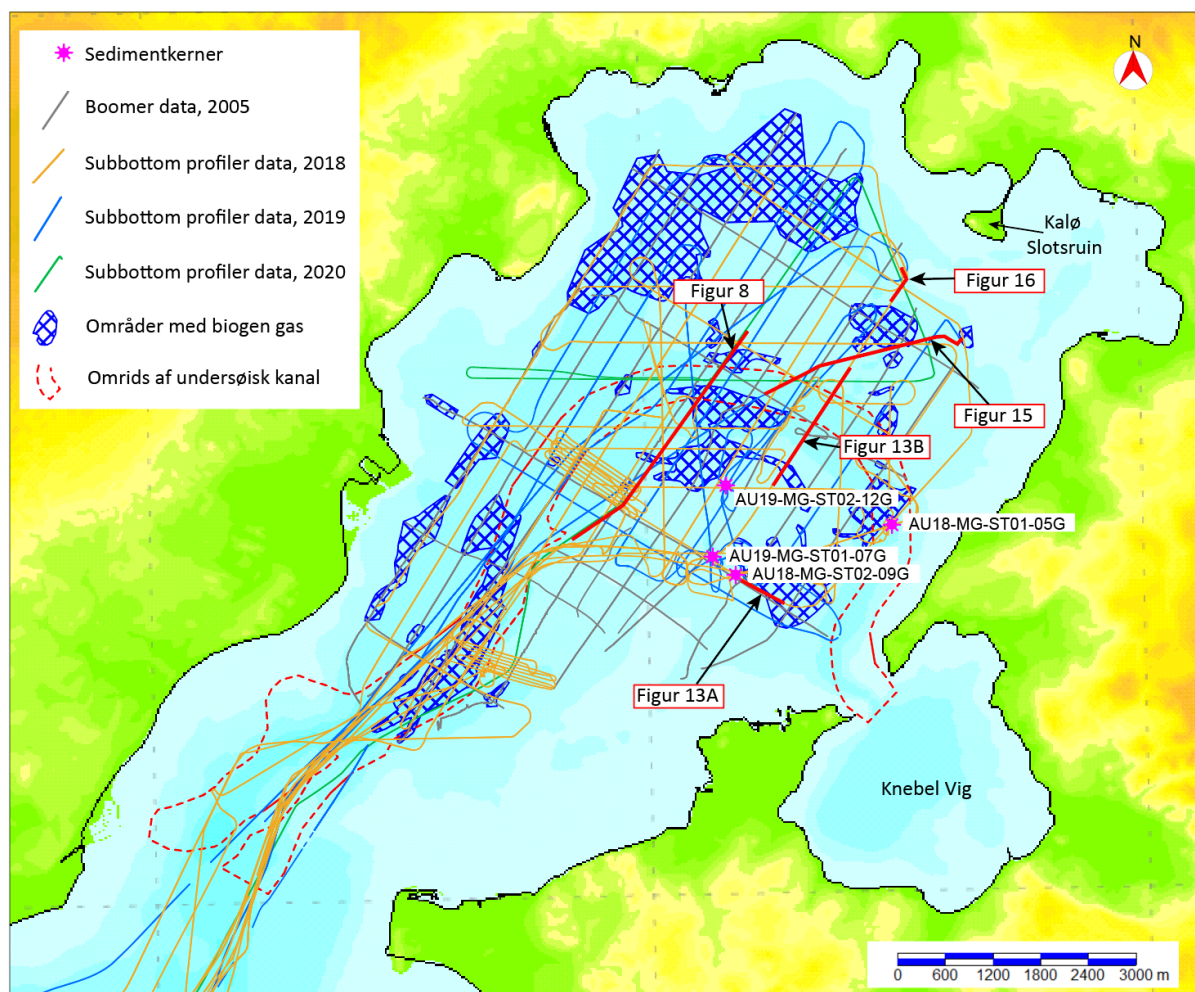
² Kalibrering til kalender år BP (2 sigma) er ifølge INTCAL20 og MARINE20 data (Reimer et al. 2020; Heaton et al. 2020).

Referencer. a: this study, b: Jensen & Bennike 2009, c: Rasmussen et al. 2020, d: Heinemeier & Rud 2000; e: Heinemeier & Rud 1999; f: Kveiborg 2014, g: Fischer 2005; h: Astrup 2018; i: Heinemeier & Rud 2001.

3.3.2 Palæolandskabet i Kalø Vig

Til kortlægning af palæolandskabet i Kalø Vig er der anvendt flere forskellige reflektionsseismiske datasæt: Boomer-data fra 2005, Sparker-data fra 2018 og 2019 samt Subbottom Profiler-data fra 2018, 2019 og 2020 (Figur 6). Herudover er der anvendt litologisk information fra fire sedimentkerner indsamlet i 2018 og 2019 (Figur 6, Tabel 2).

Data fra 2018 og 2019 er indsamlet i forbindelse med det kombinerede AU-KU-studenterkursus "Marine Geoscience". Data fra 2020 er indsamlet i forbindelse med AU-kurserne "Hav & Klima" samt "Refleksionsseismik & Logging".



Figur 6: Oversigt over refleksionsseismiske data og sedimentkerner i Kalø Vig anvendt i dette studie. Sparker-data fra 2018 og 2019 er delvist sammenfaldende med subbottom profil-data fra samme år. De røde linjer angiver placering af seismiske profiler vist i kapitlet.

Tabel 2: Sedimentkerner i Kalø Vig.

Kerne	Bredde °N	Længde °E	Vanddybde (m)	Kernelængde (m)	Årstal
AU18-MG-ST01-05G	56,2398	10,4489	12,5	5,10	2018
AU18-MG-ST02-09G	56,2346	10,4173	9,9	3,75	2018
AU19-MG-ST01-07G	56,2366	10,4128	9,8	3,70	2019
AU19-MG-ST02-12G	56,2445	10,4157	10,5	5,20	2019

Den refleksionsseismiske metode (se f.eks. Dondurur 2018) virker ved, at en lydimpuls udsendes fra et instrument og bevæger sig ned gennem vandsøjlen og videre ned gennem havbunden og de underliggende jordlag. Ved kraftige laggrænser vil lydimpulsen reflekteres og sendes tilbage overfladen, hvor den kan blive registreret ved hjælp af mikrofoner, kaldet hydrofoner til havs og geofoner på land. Ud fra tiden mellem udsendelse og modtagelse af lydimpulsen, den såkaldte tovejs-rejsetid (TWT), kan man ved hjælp af beregninger fremstille vertikale profiler af undergrunden langs de linjer, hvor data er indsamlet. Afhængig af hvor høj en frekvens og hvilken form og energi den lydimpuls, man udsender, har, kan man enten se meget dybt ned i jorden uden større detaljer, eller meget detaljeret men uden så stor nedtrængning.

Boomer og sparker er begge højfrekvente lydkilder, der oftest anvendes til undersøgelser af den overfladenære geologi (Dondurur 2018). Boomeren udsender en kraftig lyd ved hjælp af højspændingsspoler, der får en plade til at vibrere og hermed generere en trykpuls. Sparkeren virker ved afladning af højspænding fra elektrodetipper, der giver en gnist i vandet og dermed danner en dampboble, som når den sprænger, laver en høj lyd. Sparker- og boomer-lydpulser udsendes typisk med frekvenser omkring 1000 Hz, og med disse lydkilder kan der, afhængig af den specifikke geologi, kigges omkring 100-200 m ned i undergrunden og lag ned til omkring 1 m tykkelse kan ses. Til kortlægningen i Kalø Vig har vi anvendt otte boomer-profiler fra 2005, samt 16 sparker-profiler fra 2018 og 2019 (Figur 6).

Subbottom profil-data kaldes også for sediment-ekkolodsdata. Metoden virker ved, at der ved hjælp af elektromagnetiske signaler genereres en lydimpuls, et såkaldt ping, som udsendes fra en transducer (Dondurur 2018). Lyden, der udsendes, har typisk dominerende frekvenser omkring de 10 kHz, altså omtrent 10 gange højere end for sparker- og boomer-data. Dette gør, at vi med disse data opnår en større opløselighed, dog på bekostning af indtrængningsdybden. Med dette instrument kan vi typisk se lag der er 5-10 cm tykke, men kun kigge 10-20 m ned under havbunden. I Kalø Vig har vi haft 149 subbottom-profiler til rådighed (Figur 6).

Til tolkningen af de reflektionsseismiske data anvendes de klassiske principper defineret inden for seismisk stratigrafi (se f.eks. Mitchum et al. 1977). Der kortlægges således prominente refleksioner, der markerer skift mellem forskellige lagpakker, og der ses samtidig på variationer i de seismiske facies. Seismiske facies bruges til at karakterisere forskellige lagpakker som optræder på et seismisk profil. Seismiske facies beskrives ud fra refleksionernes amplitude, kontinuitet, interne mønstre, termineringer (lagafslutninger) og den eksterne form af diskrete lagpakker (Mitchum et al. 1977).

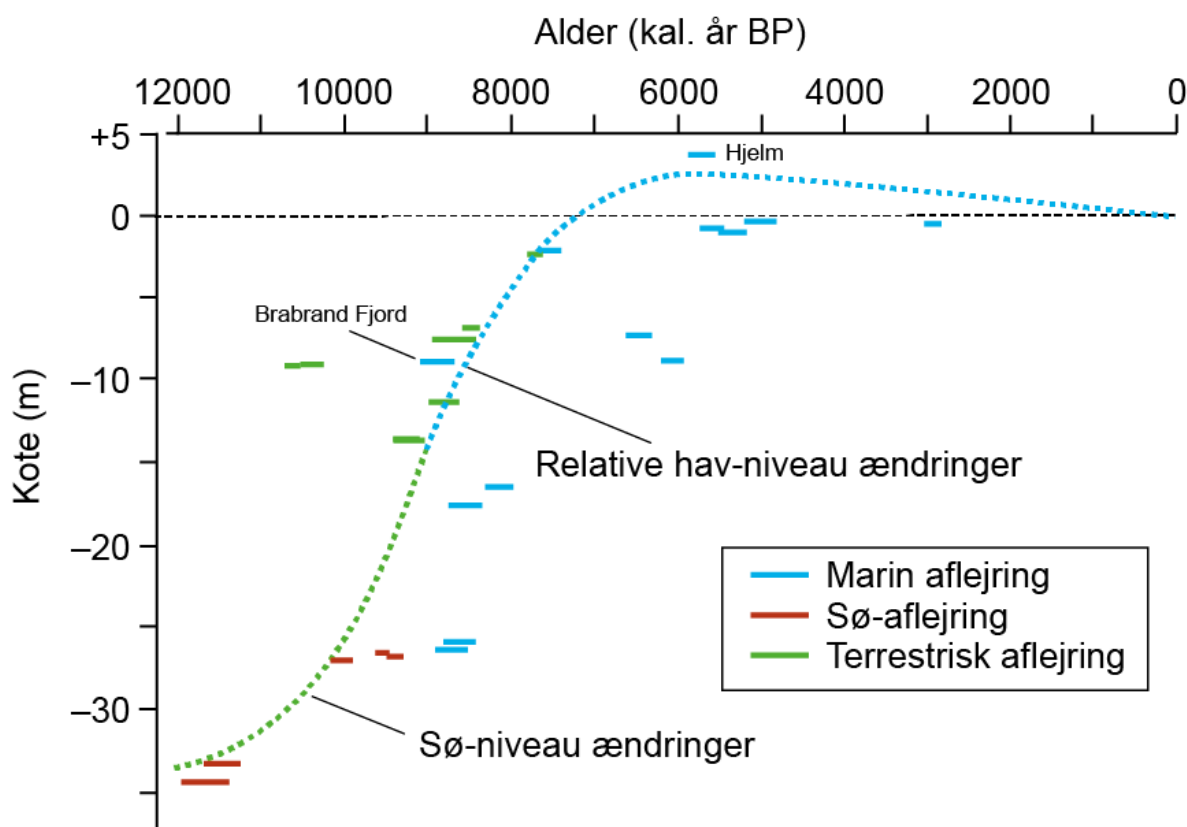
De anvendte sedimentkerner er indsamlet med en gravity-corer, der virker ved at et stålrør med et indre plastikrør presses ned i det bløde mudder på havbunden. For enden af røret sidder en lukkemekanisme (core-catcher), der gør at sedimentet bliver inde i stålrøret, når røret tages op fra havbunden. Ombord på skibet bliver plastikrøret med havbundsedimenterne trukket ud af stålrøret og skåret op i 1 m lange stykker. Stykkerne åbnes typisk i laboratorier efter togtet, hvor sedimentet beskrives med hensyn til litologi og sedimentære strukturer. Der udtages også prøver til eksempelvis datering (se afsnit 3.3.1).

Der er ofte usikkerheder omkring den reelle længde (recovery) af sedimentkerner som optages med en gravity-corer. Disse usikkerheder skyldes til dels kompaktering af sedimenterne under nedpresning af stålrøret, samt manglende sektioner af sedimentet lige ved og umiddelbart under havbunden (se nærmere diskussion i Glew et al. 2011). For arbejdet i denne rapport, vurderes disse usikkerheder dog ikke at give anledning til de store udsving i korrelationen mellem seismikken og sedimentkerne.

3.4 Resultater

3.4.1 Holocæn strandforskydning i Aarhus Bugt området

I Figur 7 har vi plottet koten af dateringer mod dybde og ud fra dateringerne tegnet en kurve, der viser hvordan vi forestiller os, at vandspejlet har udviklet sig i løbet af de sidste 12.000 år. Kurven er ikke særligt godt defineret, derfor har vi brugt en stiptet streg. Det ses, at mange af dateringer af skaller af marine muslinger og snegle ligger langt under kurven. Det skyldes, at dyrene ikke levede i strandzonen, men derimod på større vanddybder.



Figur 7: Kote af kulstof-14 dateringer fra Aarhus Bugt området, plottet mod alder. Kurven viser vandspejlets ændring fra 12.000 år før nu (BP, before present) og frem til i dag.

Den ældste datering er udført på rester af dværgbirk (*Betula nana*), rypelyng (*Dryas octopetala*) og polar-pil (*Salix polaris*). Dateringen gav en alder, der svarer til Yngre Dryas-perioden, der varede fra ca. 12.900 til 11.700 år før nu. Det var en ret kold periode med et tundra-lignende landskab præget af dværgbuskheder. På dette tidspunkt var der søer i de dybe dele af Aarhus Bugt. Vandspejlet i søerne steg i den følgende periode; søerne blev til én stor sø og søen brede sig.

Ud fra dateringerne ser det ud til, at havet begyndte at trænge ind i Aarhus Bugt området for omkring 9000 år siden, som en følge af det fortsat stigende globale havniveau. På dette tidspunkt var havniveau i området ca. 15 m lavere end i dag. I begyndelsen var vandet kun svagt salt, og der levede kun arter, der kan tolerere sådan en lav saltholdighed – det drejer sig for eksempel om hjertemusling, blåmusling og strandsnegl.

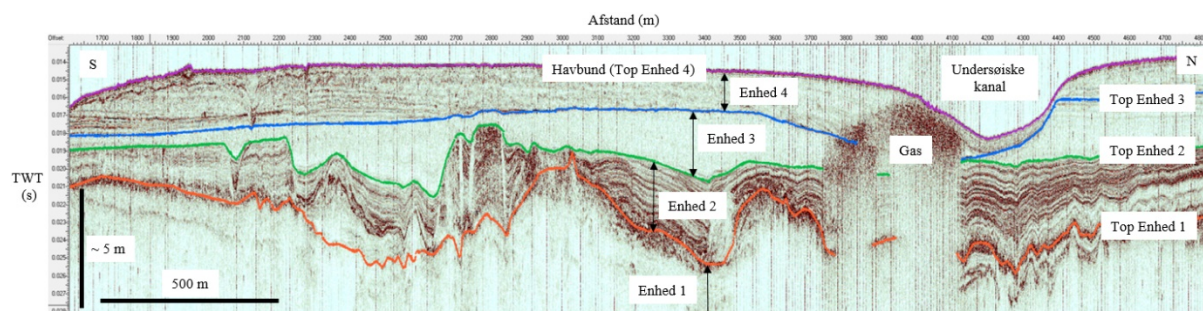
Det relative havniveau steg indtil for omkring 6000 år siden, hvor havniveauet nåede sit maksimum. Ved Aarhus var det maksimale havniveau omkring 2,5 m, ved Ebeltoft omkring 3,5 m og i den nordøstlige del af Djursland omkring 5 m over det nutidige havniveau (Mertz 1924). Saltholdigheden nåede et maksimum, samtidig med at temperaturen

var et par grader højere end i dag. Desuden var der mere udpræget tidevand end i dag. Disse forhold betød, at en art som østers trivedes. I løbet af de sidste 6000 år har det globale havniveau været stort set stabilt, og derfor præges denne periode af landhævning. Derfor er det relative havniveau faldet. Vi har angivet et jævnt fald frem til i dag, men som det ses er denne del af kurven meget usikker. De relative havændringer i moderne tid fremgår ikke af kurven.

3.4.2 Palæolandskabet i Kalø Vig

I dette afsnit præsenteres de seismiske data for Kalø Vig sammen med resultaterne fra de foretagne boringer. I afsnit 3.4.3. fremlægges derefter en samlet tolkning af resultaterne i forhold til, hvordan aflejningsmiljøet har skiftet i perioden fra istiden og frem til i dag.

I Kalø Vig har vi ud fra de tilgængelige reflektionsseismiske data kortlagt fire enheder, der omfatter lag fra omkring 20.000 år siden til i dag, dvs. perioden efter sidste istids maksimum. På Figur 8 ses et repræsentativt seismisk profil, hvor de fire enheder, samt de flader, der afgrænser dem, er markeret.



Figur 8: Nord-sydgående seismisk profil (sedimentekkolodsdato) fra 2020, der viser de fire enheder kortlagt i dette studie. Dele af profilet er påvirket af biogene gasansamlinger, som forhindrer gennemtrængning af lydbølger. Den undersøiske kanal på havbunden i Kalø Vig fremgår tydeligt. Se Figur 6 for placering af profiler.

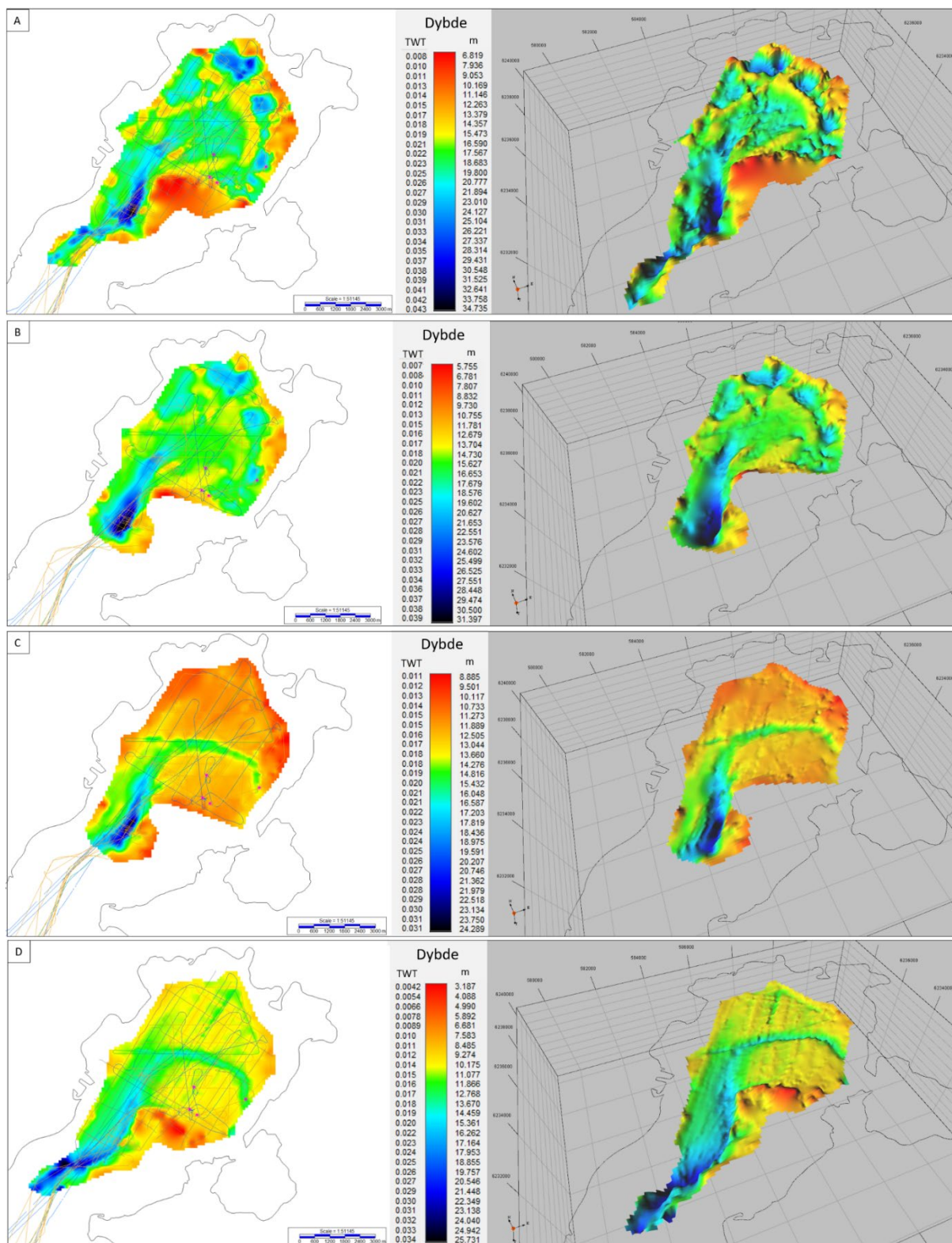
Enhed 1 er tolket til at repræsentere glaciale sedimenter aflejret under den sidste istid. Enheden er som regel kendetegnet ved en transparent seismisk facies (Figur 8), men der ses af og til interne reflektioner af forskellig karakter. Toppen af enheden er den ældste flade, der er kortlagt og denne er tolket i en kraftig højamplitude reflektion, som kan følges over stort set hele studieområdet. Toppen af Enhed 1 (*Top Enhed 1* overfladen) viser et varierende landskab med stejle og krumme højderygge og dybe dale (Figur 9A). Ingen af sedimentkernerne i Kalø Vig nåede ned til Enhed 1, men sedimenterne i Enhed 1 udgøres højst sandsynligt overvejende af moræneler. Dette bekræftes ved korrelation mellem områder angivet som moræneler på havbundssedimentkortet (Figur 4) og områder hvor Top Enhed 1 udgør havbunden. Som eksempel kan nævnes det lavvandede område vest for Knebel Vig. Bunden af Enhed 1 er ikke kortlagt, og det er derfor ikke muligt at angive tykkelsen af laget.

Enhed 2 er karakteriseret ved en højamplitude facies bestående af parallelle til semi-parallele reflektioner (Figur 8). Der ses i visse områder spor af nedskæringer i den øvre del af enheden, og toppen af enheden (*Top Enhed 2*) optræder nogle steder som en erosiv flade og andre steder som en mere gradvis overgang. Top Enhed 2 er kortlagt ved overgangen fra den højamplitude seismiske facies i Enhed 2 til den overliggende lavamplitude facies i *Enhed 3* (Figur 8). Som for Top Enhed 1 ses et lignende varieret, dog mindre stejlt landskab med højderygge og dale (Figur 9B). Tyk-

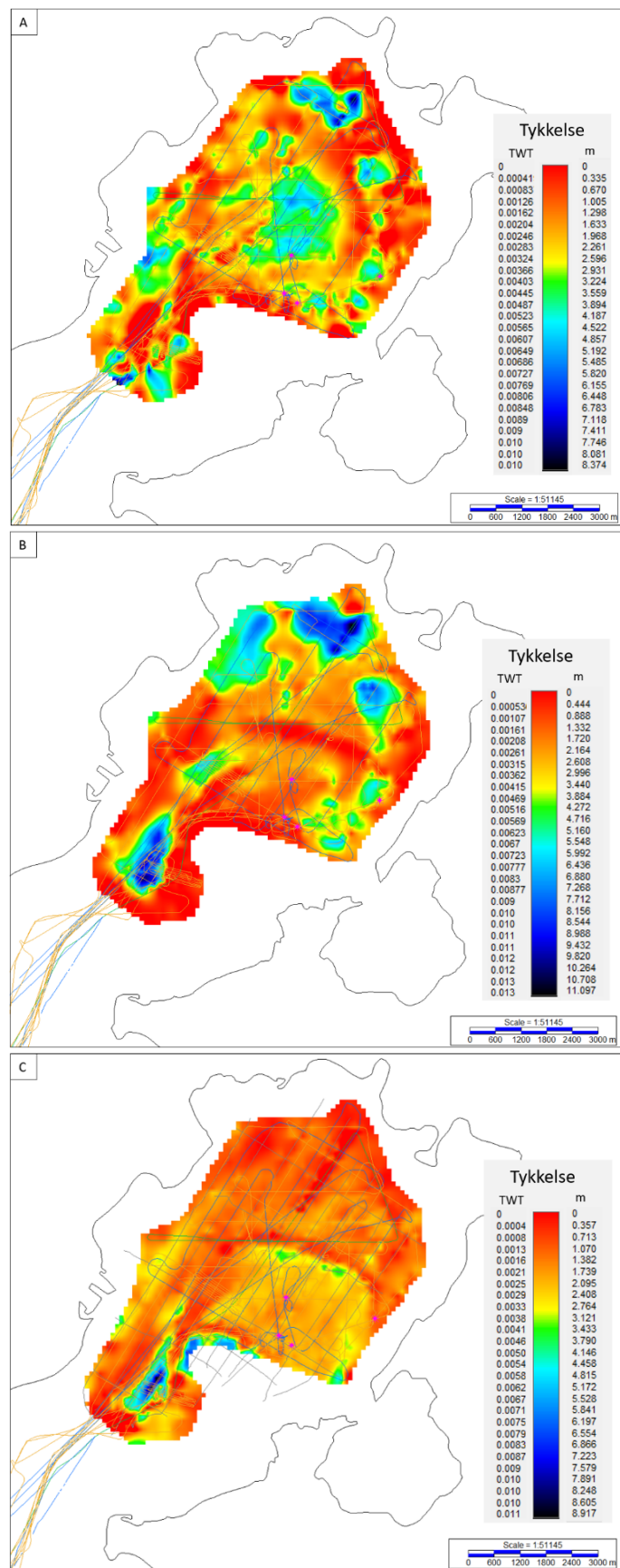
kelsen af Enhed 2 varierer mellem 0 m og 8 m (Figur 10A) og der ses en række mindre, isolerede depocentre (områder med særlig tyk aflejring). Sedimenterne i Enhed 2 kan karakteriseres ud fra kernerne i Kalø Vig. I kernerne AU18-MG-ST01-05G og AU19-MG-ST02-12G (Figur 11A, D) kan Enhed 2 vha. korrelation til seismikken (Figur 12A, D) karakteriseres som bestående af lamineret ler med ingen eller meget få skaller (stigende indhold af skaller opefter). AU18-MG-ST02-09G og AU19-MG-ST01-07G (Figur 11B, C) er begge taget i områder, hvor Enhed 2 i toppen viser tegn på nedskæringer (se Figur 12B, C). Enhed 2 karakteriseres her af homogent ler, der indeholder et stigende indhold af fragmenter af organisk materiale (sandsynligvis planterester) nedefter. Leret underlejres i begge kerner af et tyndt sandlag og kernerne slutter begge nederst i et tørvelag. Kulstof-14 dateringer af prøver fra tørvelaget i AU18-MG-ST02-09G viser kalibrerede aldre mellem 9400 og 9000 år BP (Tabel 1).

Enhed 3 fremtræder på de seismiske data som en homogen enhed med en transparent seismisk facies (Figur 8). Få steder kan der erkendes en række svage refleksioner internt i enheden og nogle steder ses diffraktioner (hyperbelformede refleksioner), der sandsynligvis hidrører fra punktobjekter i lagpakken (se f.eks. Figur 13A). Overfladen af Enhed 3 (*Top Enhed 3*) er de fleste steder en erosiv flade, som klart afgrænser den homogene og transparente Enhed 3 fra Enhed 4, som viser flere strukturer i det seismiske signal (Figur 8). Visse steder er overgangen mellem de to enheder dog mere gradvis. For Top Enhed 3 ses et noget fladere landskab, hvor meget af topografien fra Top Enhed 2 nu tilsyneladende er blevet fyldt ud (Figur 9C). Undtagelserne herfra er det dybe strøg længst mod syd, der fortsætter ind i et strøg som korrelerer med den undersøiske kanal på den nuværende havbund i Kalø Vig. Enhed 3 er mellem 0 m og 11 m tyk (Figur 10B). De største tykkelser opnås i isolerede depocentre længst mod nord og syd. Der ses yderligere en række mindre depocentre ud for Knebel Vig (Figur 10B). De mindste tykkelser ses mod kanten af det kortlagte område samt ved den undersøiske kanal. Sedimenterne i Enhed 3 består af ler med skiftende indhold af skaller og med varierende grad af bioturbation (omarbejdning af lagene som følge af dyr og planters aktivitet) (Figur 11 og Figur 12).

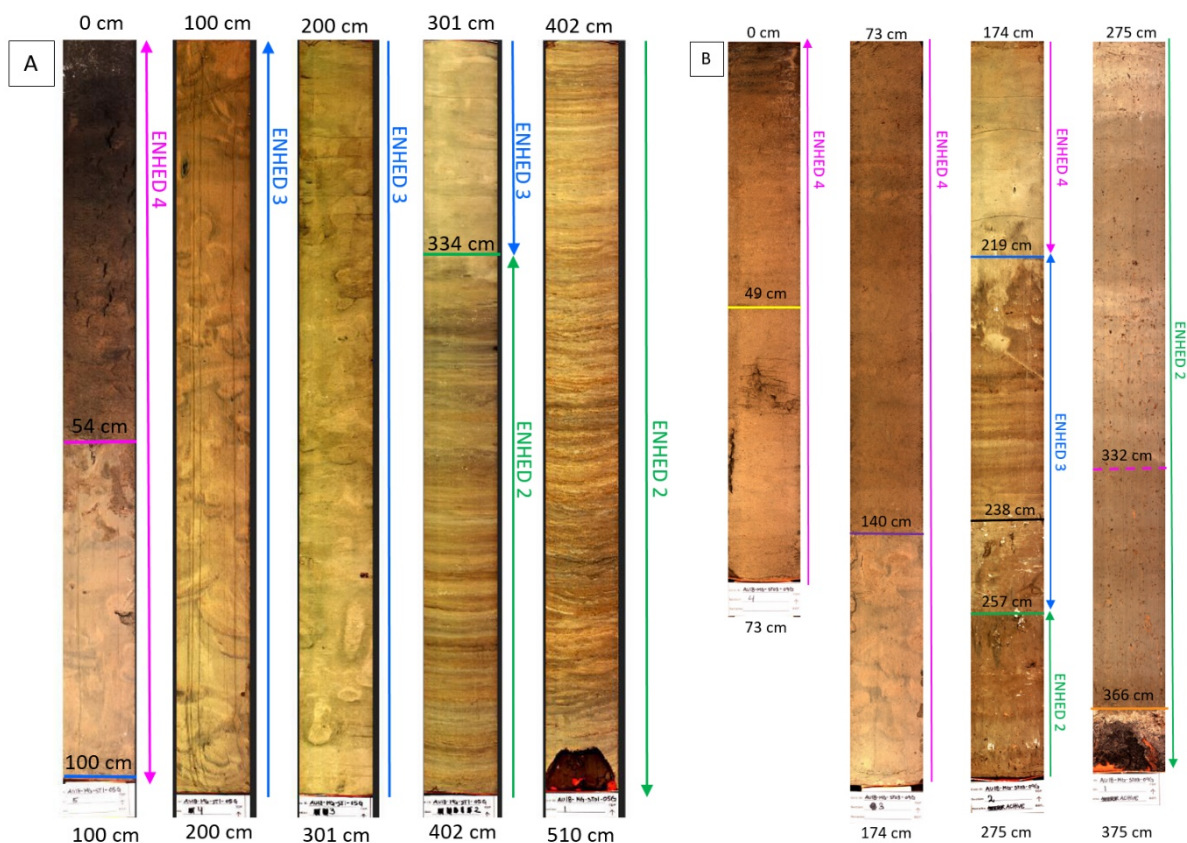
Enhed 4 er den yngste enhed og den er på de seismiske data kendetegnet ved en ofte højamplitude facies med en række forskellige refleksionsmønstre. Disse refleksionsmønstre omfatter: parallelle, semi-parallelle, prograderende (fremadskridende), ondulerende og nedlappende mønstre (se eksempler i Figur 13), der kan relateres til forskellige aflejningsmiljøer. Toppen af Enhed 4 (*Top Enhed 4*; den nuværende havbund) karakteriseres af en kraftig højamplitude refleksion. Ind mod land er der, på de steder hvor havbunden udgøres af moræneler, sammenfald mellem Top Enhed 1 og havbunden. Generelt er havbunden i Kalø Vig dog relativt flad sammenlignet med de ældre kortlagte flader, bortset fra den undersøiske kanal (Figur 9D). Enhed 4 varierer i tykkelse fra 0 til 9 m (Figur 10C), med de største tykkelser på sydsiden af den undersøiske kanal, samt i et isoleret depocenter ved den sydlige indgang til Kalø Vig. Disse tykke pakker korrelerer med en prograderende seismisk facies (eks. Figur 13B). Enhed 4 består øverst af gytje underlejret af siltet ler (Figur 11 og Figur 12).



Figur 9: Dybdekort for de fire kortlagte flader i 2D (venstre) og 3D (højre) kortvisninger angivet i TWT (tovejs-rejsetid) og meter fra den nuværende havoverflade. A) Top Enhed 1, B) Top Enhed 2, C) Top Enhed 3, D) Top Enhed 4.



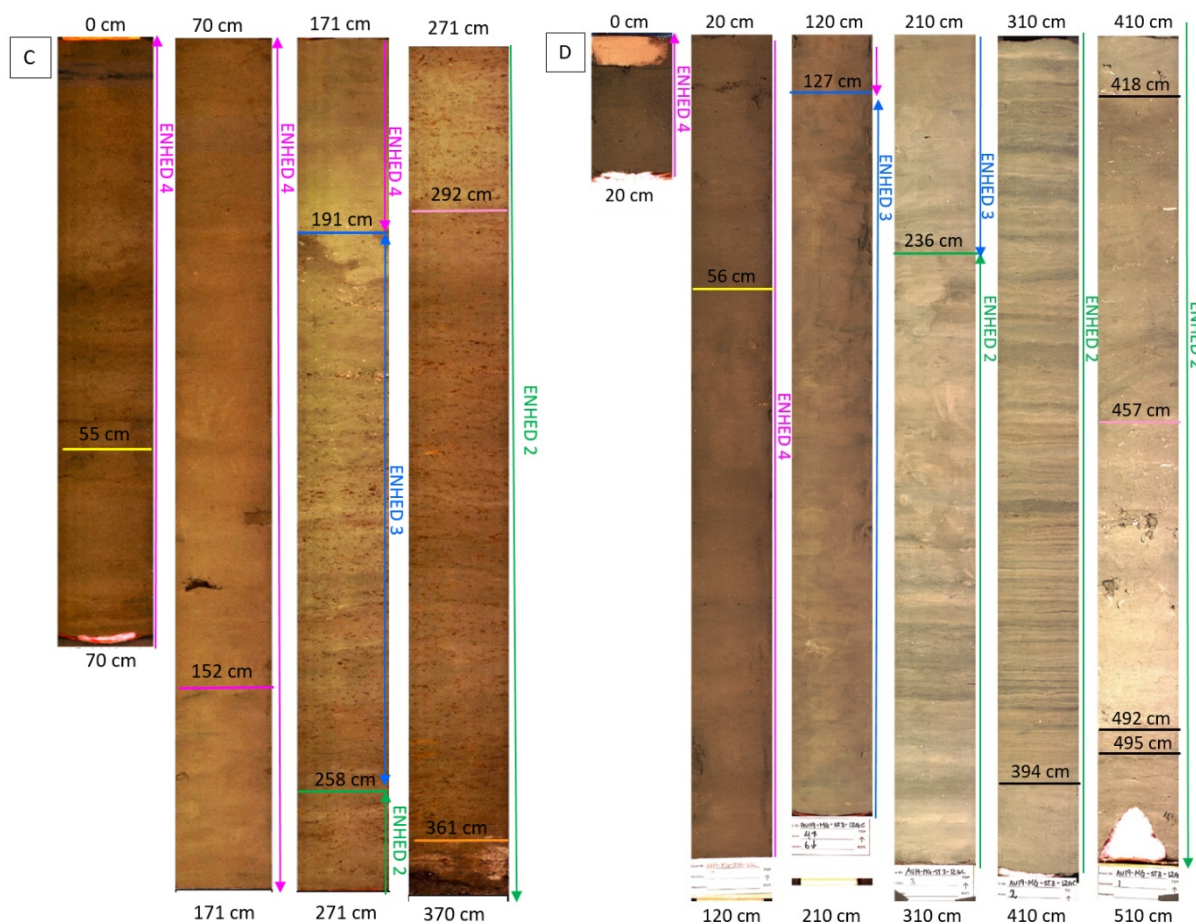
Figur 10: Tykkelsskort for Enhed 2 (A), Enhed 3 (B) og Enhed 4 (C) angivet i TWT (tovejs-rejsetid) og meter.



Figur 11 (fortsættes på næste side): Kernescanningsbilleder for sedimentkernerne fra Kalø Vig.

A) I kerne **AU18-MG-ST01-05G** ses øverst et mørkt lag bestående af gytje, der fra 54 cm (pink overgang) underlejres af lysegrå siltet ler med skalfragmenter og svag lamination. Det bemærkes, at overgangen mellem disse to lag er forstyrret, tilsyneladende på grund af bioturbation (gravende dyr). Det lysegrå ler underlejres fra 100 cm (blå overgang) af lidt mørkere og mere homogent ler, hvori der ses antydninger af sedimentære strukturer (krydslejringer) og bioturbation. Det homogene ler fortsætter indtil 334 cm (grøn overgang). Herunder ses lamineret ler, der indeholder få eller ingen skaller.

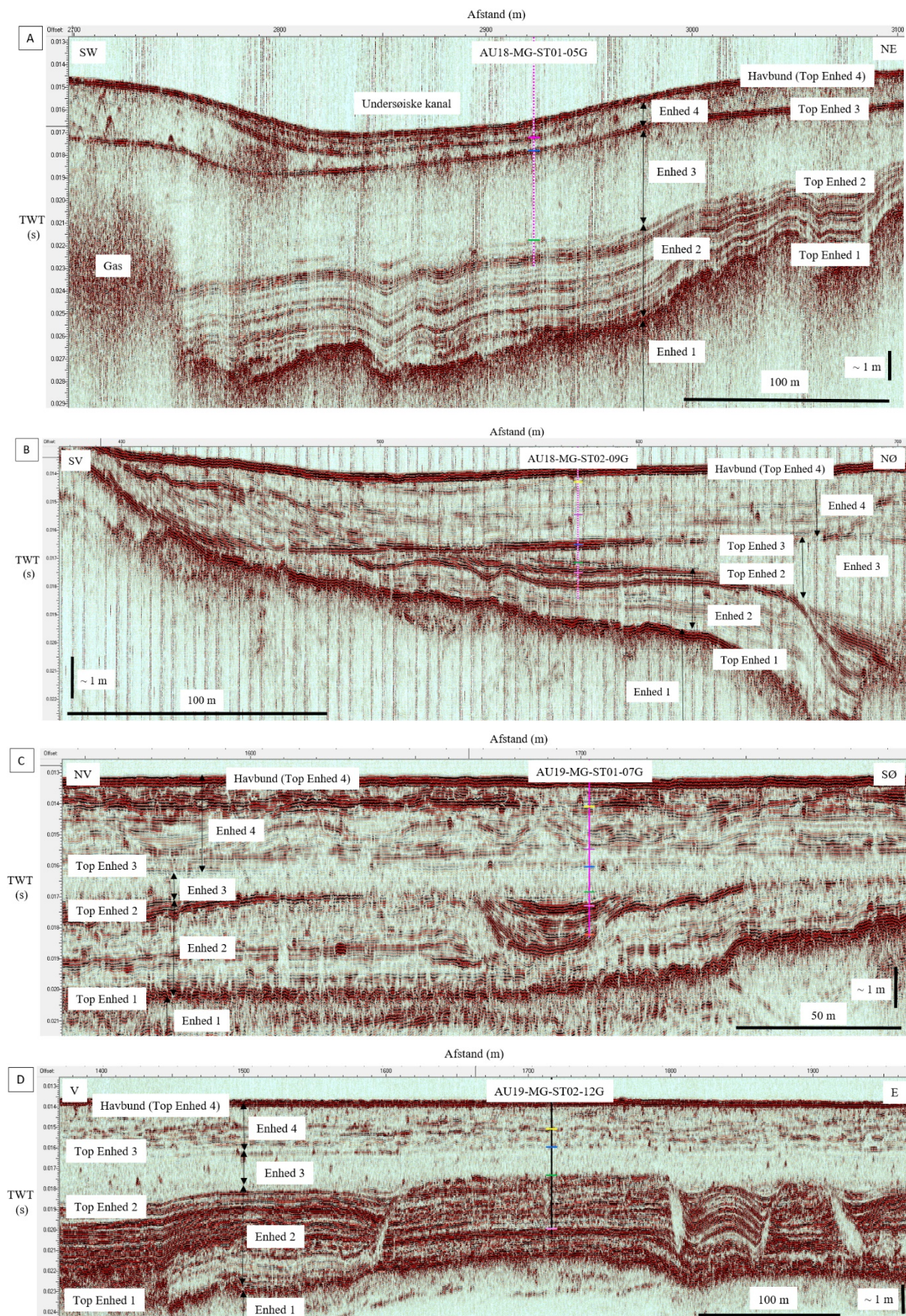
B) For **AU18-MG-ST02-09G** ses flere markante skift i aflejringerne. Øverst ses et siltet lerlag, der bliver mørkere nedefter. Siltindholdet falder under 49 cm (gul overgang) og ved 140 cm (lilla overgang) ses et farveskift og en ændring til homogent lysegråt ler, der har spor af bioturbation. Fra omkring 219 cm (blå overgang) ses et markant skifte til lamineret siltet ler. Overgangen bærer tydelige præg af bioturbation. Det laminerede siltede ler bliver ved 238 cm (sort overgang) afløst af siltet ler med mange skalfragmenter. Skallerne aftager nedefter fra 257 cm (grøn overgang), hvor der ses et skifte til homogent lysegråt ler, som nedefter indeholder et stigende antal fragmenter af organisk materiale. I bunden (366 cm, orange overgang) ses først et sandlag med grus og dernæst et mørkt tørvelag. Tørvelaget er kulstof-14 dateret til 9.400-9.000 kalenderår før nu (Tabel 1).



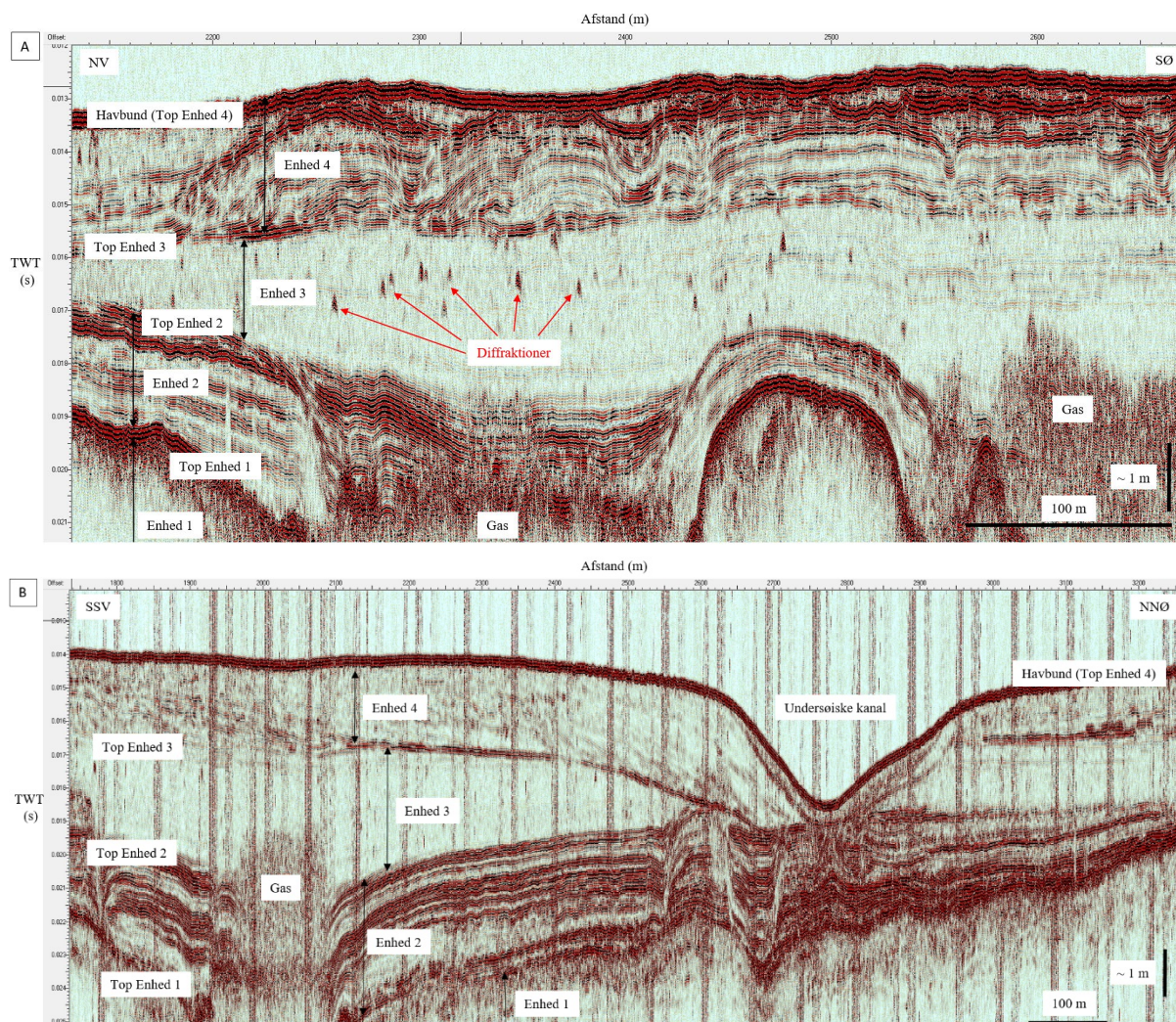
Figur 11 (forsat fra forrige side): Kernescanningsbilleder for sedimentkernerne fra Kalø Vig.

C) I kerne **AU19-MG-ST01-07G** ses øverst et siltet lerlag, der bliver mørkere nedefter. Fra 55 cm (gul overgang) bliver leret mere kompakt og fra 152 cm (lilla overgang) kan der anes spor efter bioturbation. Ved 191 cm (blå overgang) ses et markant skifte til homogent lysegråt ler, som nedefter indeholder et stigende antal fragmenter af organisk materiale. I bunden (361 cm, orange overgang) ses et sandlag over et tørvelag.

D) Kerne **AU19-MG-ST02-12G** viser overvejende ler. I toppen ses et mørkt relativt homogent siltet lerlag. Fra 127 cm (blå overgang) ses der ler med spor efter bioturbation. Ved 236 cm (grøn overgang) sker der et skifte til lamineret ler, som i toppen er påvirket af bioturbation. Bioturbationen aftager dog hurtigt nedefter og den fine lamination træder tydeligt frem. Under 394 cm (sort overgang) er laminationen mindre tydelig og ved 418 cm ses der et lysere lag med skaller. Endnu en overgang ses ved 457 cm (lys lilla overgang), hvor der igen optræder flere skaller. Ved 492 cm optræder et tyndt sandet lag, mens der fra 495 cm ses ler med organisk materiale.



Figur 12: Seismiske profiler (sedimenttekkolodsdato), der viser sammenhængen mellem seismik og sedimentkerner i Kalø Vig. De korte farvede afmærkninger på borelinierne refererer til sedimentændringerne markeret på borekernerne i Figur 11. A) AU18-MG-ST01-05G, B) AU18-MG-ST02-09G, C) AU19-MG-ST01-07G, D) AU19-MG-ST02-12G.



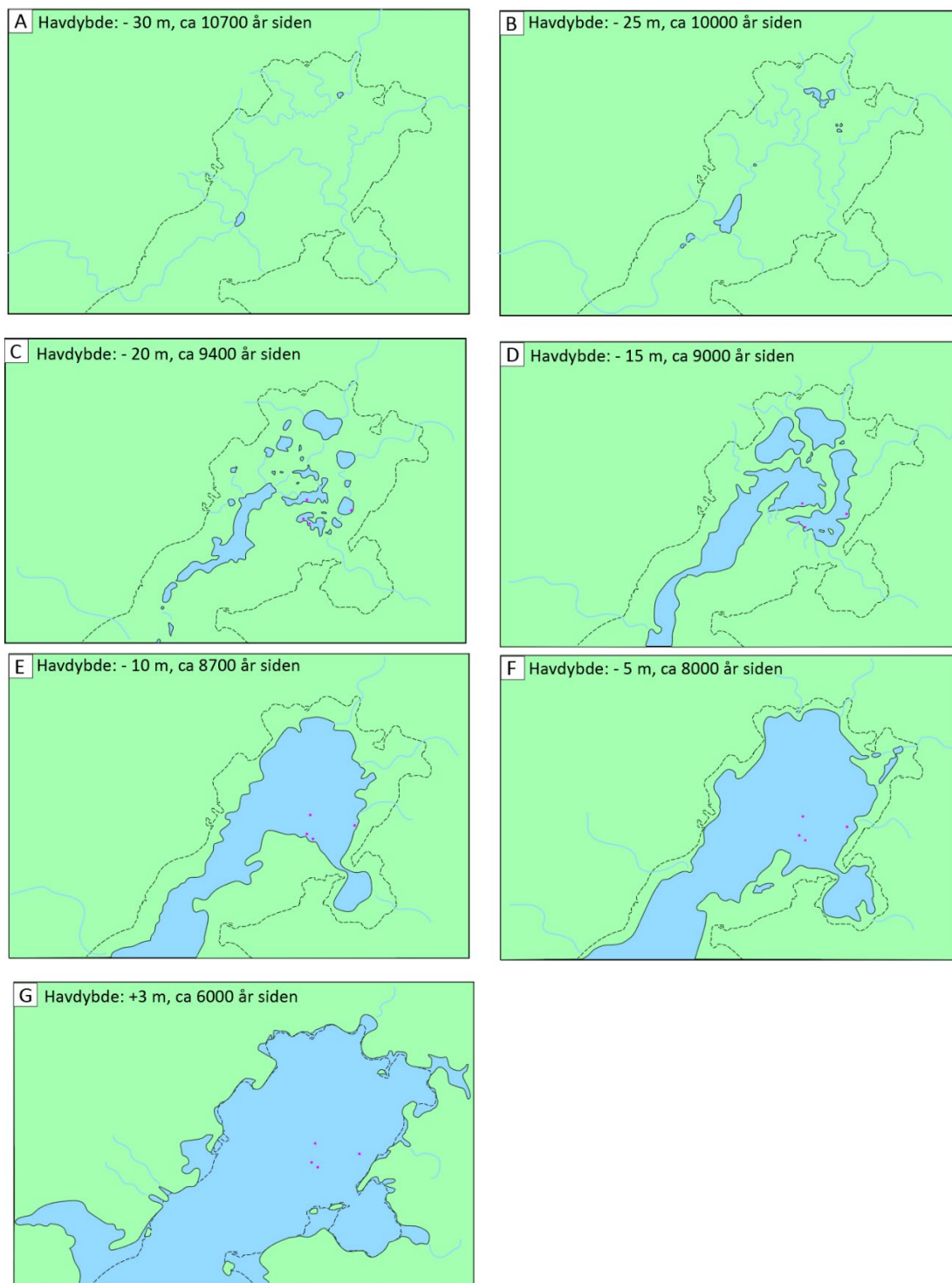
Figur 13: Seismiske profiler, der afspejler variationen i Enhed 4. A) Høj-amplitude ondulerende seismisk facies i Enhed 4. Denne facies optræder primært i området syd for den undersøiske dal ud for Knebel Vig. B) Varierende seismiske facies af Enhed 4. Startende fra venstre ses en overgang fra ondulerede facies til prograderende facies, mens der til højre (nord for den undersøiske kanal) ses et parallelt til semi-parallelt refleksionsmønster. Se Figur 6 (s. 13) for placering af de seismiske profiler (sedimentekkolodsdata).

3.4.3 Palæogeografiske kort for Kalø Vig

Under sidste istids sidste isfremstød for ca. 19.000 år siden (det såkaldt Ungbaltiske Fremstød) var det globale havniveau omtrent 130 m under det nuværende (Lambeck et al. 2014). I Kalø Vig blev der omkring dette tidspunkt formet en række krumme randmoræner. Dels på land, som vi kender fra det nuværende landskab i Mols Bjerge, men dels også i området, der i dag er havdækket. De to strøg af krumme højderygge i Top Enhed 1 overfladen (Figur 9A) tolkes således som mindre randmoræner, der sandsynligvis er dannet i forbindelse med kortvarige genfremstød under afsmeltningen af den Ungbaltiske is. Under afsmeltningen er det også sandsynligt, at der blev efterladt dødis i Kalø Vig. Nogle af de mindre huller i Top Enhed 1 fladen kan derfor måske have oprindelse som dødishuller. Generelt tolkes landskabet i Kalø Vig under afsmeltningen i Senglacial tiden fra 19.000 til 11.700 år siden at have været præget af dødis, mindre søer og smeltevandsfloder.

Ved overgangen til den Holocæne periode for 11.700 år siden viser strandforskydningskurven (Figur 7), at det relative kystniveau i Aarhus Bugt begyndte at stige relativt hurtigt fra omkring 32 m under nuværende havniveau til omkring

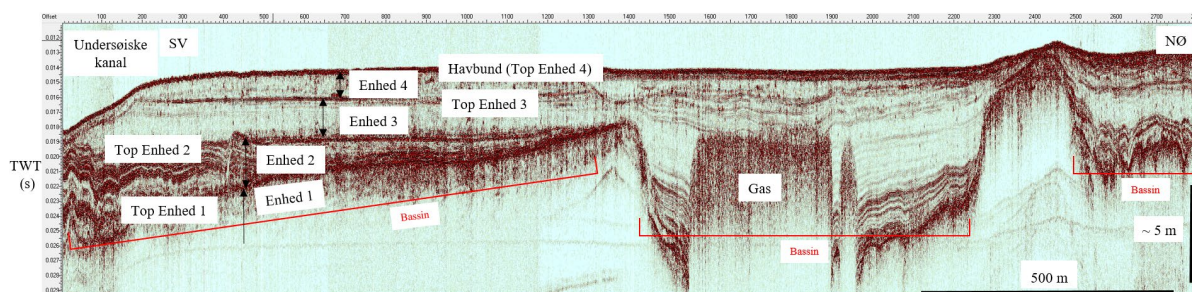
3 m under nuværende havniveau for ca. 8.000 år siden. Ved at sammenligne det relative kystniveau med dybden af Top Enhed 1, Top Enhed 2 og Top Enhed 3 fladerne, og ved at inddrage allerede publicerede palæogeografiske kort, kan palækystlinjerne forsøges optegnet (Figur 14). Resultaterne heraf skal dog tolkes med forsigtighed, idet denne tilgang ikke tager højde for erosion og kompaktion af lagene.



Figur 14: Palæogeografiske kort over Kalø Vig med estimeret fordeling af land, søer og hav i Tidlig og Mellem Holocæn. Den sorte stiplede linje viser den nuværende kystlinje, mens de lyserøde prikker viser positionen af sedimentkernerne anvendt i dette studie. Havindtrængning fra syd for ca. 9.000 år siden (D). Kortene er lavet ved at sammenligne den relative strandfor-skydningskurve (Fig. 7, s. 15) med dybdekortene (Fig. 9, s. 18) til de forskellige tider. Vandløb er forsøgt indtegnet så de følger topografiske lavninger og forbinder søerne. Detaljerne på kortene er forbundet med stor usikkerhed.

Ud fra de palæogeografiske kort og strandforskydningskurven skønnes det, at de dybe dale i Top Enhed 1 sandsynligvis har været søer med stadigt stigende vandspejl indtil for omkring 9.000 år siden, da havet trængte ind i Aarhus Bugt (jfr. afsnit 3.4.1). Vi vurderer, at aflejring af sediment i de dybeste søer i Kalø Vig startede for omkring 10.700-10.000 år siden, da kystniveauet stod 30 til 25 m lavere end i dag (Figur 14A, B).

For omkring 9.400 år siden var vandspejlet steget til omkring 20 m under det nuværende og på dette tidspunkt var der mange større søer i Kalø Vig og, som følge deraf, aflejring mange steder (Figur 14C). Aflejringerne fra dette søstadie i Tidlig Holocæn knytter sig til Enhed 2. Tykkelseskortet for enheden (Figur 10A) viser netop depocentre i områder, der svarer til lavningerne i Top Enhed 1 overfladen (Figur 9A) og meget tynde/fraværende lag hen over de krumme randmorænebakker. De seismiske data viser i Enhed 2 refleksioner med generelt høj og parallel amplitude, der overlejrer med retning ind mod Top Enhed 1 overfladen (Figur 15), hvilket stemmer godt overens med tolkningen af, at sedimenterne i Enhed 2 er aflejret i isolerede søer med relativt stillestående vand. Lagene i borekernerne gennem Enhed 2, som f.eks. den stærkt laminerede ler uden skaller i AU18-MG-ST01-05G (Figur 12A) matcher ligeledes et søaflejningsmiljø, og laminationerne kan eventuelt afspejle årstidsvariationer (varv). Dette ville i så fald afspejle dybt vand. I den øverste del af Enhed 2 ses i de mere lavvandede områder tegn på nedskæringer i søsedimentterne (se f.eks. Figur 12B, C) og derved givetvis et skifte i aflejningsmiljøet. Sedimentterne i nedskæringerne, der er truffet i kernerne AU18-MG-ST02-09G og AU19-MG-ST01-07G (Figur 11B, C), viser homogen marin ler-gytje med stigende indhold af organisk materiale (højest sandsynligt planterester) nedefter. I bunden af nedskæringerne er der fundet tørv med et tyndt sandlag over. Nedskæringerne og de observerede aflejringer tyder på, at der muligvis har været en kortvarig tilbagetrækning af havet i området, der har afbrudt den ellers kontinuerlige havniveauanstigning.



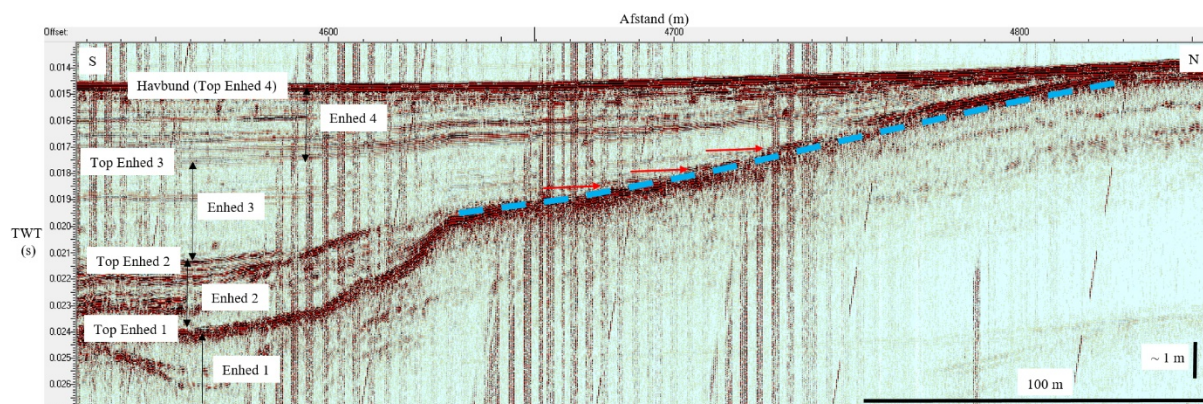
Figur 15: Eksempler på aflejring af Enhed 2 i isolerede bassiner (søer) mellem højderyggene i Top Enhed 1 overfladen. Der ses en forskellig seismisk facies søerne imellem, hvilket afspejler de adskilte aflejningsmiljøer og aflejring til forskellige tider under forskelligt vandspejl. Se Fig. 6 for placering af profilerne (sedimentekolodsdata).

Efter havet begyndte at trænge ind i Kalø Vig for omkring 9.000 til 8.700 år siden (Figur 14D, E) aflejredes Enhed 3 i stadigt større dele af vigen i takt med at havniveauet steg. Havet bredte sig og kysten trak sig tilbage.

På strækninger med en eksisterende stejl topografi, som f.eks. i områder med moræneaflejringer vil havet formodentligt have eroderet i kysten (eks. Figur 16). På strækninger med en eksisterende flad topografi vil erosionen have været mindre udtalt, men kysten var stadig under tilbagetrækning. På strækninger, hvor en relativ flad og sandet kyst er efterfulgt landværts af en stejl modstandsdygtig kystklint, er det sandsynligt at kystzonen blev indsnævret i takt med at lavvandslinjen gradvist rykkede landværts mens højvandslinjen var fikseret af kystklinten (jfr. Doody 2013).

Marinarkæologiske fund i Kalø Vig (Astrup 2018) omfatter blandt andet træørdder og træstubbe, der er fundet på 6,7 og 7,5 m vanddybde og som er dateret til omkring 8.900-8.400 år før nu (se Tabel 1). Disse fund stemmer fint

overens med de fremstillede palæogeografiske kort i Figur 14, der viser at der var land i områderne med fundene indtil for ca. 8.700 år siden, mens områderne for ca. 8.000 år siden blev oversvømmede (Figur 14F).



Figur 16: Eksempel på seismisk profil fra område i Kalø Vig, hvor kysten for ca. 9.000-8.400 siden udgjordes af en moræne-klint (blå stiplede linje). Her har der sandsynligvis være tale om en kyst, der blev eroderet af havet. Der ses tydelige pålappende reflektioner (røde pile) i Enhed 3 ind mod Top Enhed 1 overfladen, der vidner om den fortsatte havstigning i den periode, som Enhed 3 repræsenterer. Se Figur 6 (s. 13) for placering af sedimentekkolods-profilen.

Toppen af Enhed 3 er mange steder kendetegnet ved en markant erosiv overflade (overflade eroderet af strømme eller bølgeslag), der vidner om et fald i det relative havniveau i perioden mellem Enhed 3 og Enhed 4. Vi har ingen aldersdateringer fra Enhed 3 eller 4, men sammenlignes der med strandforskydningskurven, er det sandsynligt at Enhed 4 er aflejret inden for de sidste 3.000-5.000 år, altså under det relative havniveau-fald, der skyldtes landhævning (se Figur 7). Enhed 3 kan således dateres omtrentligt til perioden 9.000-5.000 år før nu.

De vekslende seismiske facies internt i Enhed 4 fortæller, at sedimenterne er aflejret under vekslende aflejringsmiljøer, som nok primært har været styret af vekslende strømforhold. Således tolkes sedimenterne i Enhed 4 med den fremadskridende facies (Figur 13B) at være aflejret i forbindelse med en kraftig bundstrøm i Kalø Vig. Den samme bundstrøm tolkes til at være ansvarlig for dannelsen af den nuværende undersøiske kanal. Strømmen har eroderet kanalen og de eroderede sediment er så blevet (gen)aflejret syd for kanalen i det lavvandede område.

3.5 Diskussion

Ovenstående resultater fortæller en spændende historie om vekslende geologiske forhold i Kalø Vig. Fra deglaciationen for ca. 19.000 år siden, hvor landskabet har været domineret af markante randmoræner til Tidlig Holocæn, hvor der har været et kuperet landskab med mange søer og store træer og hvor arkæologiske fund (Astrup 2018) viser, at mennesker i Maglemose-kulturen har opholdt sig ved kysten, der dengang lå længere ude i vigen end i dag. Endelig er havet trængt ind, og det højere havniveau førte til helt andre strømforhold i vigen og en længere kyststrækning.

Kysten i Kalø Vig har tilbage i tid formentlig været lige så forskelligartet, som den er i dag. Grundet den relative hurtige stigning i havniveau fra 9.000 til 8.000 år siden, hvor havet steg omkring 10 m på 1.000 år, har trykket på kyststrækninger i forbindelse med kysterosion sandsynligvis været større end i dag. Modsat i dag, har kysten dog de fleste steder kunnet trække sig naturligt tilbage, og det må formodes, at der er sket en naturlig omvendt hastig migration

af landskabs- og kysttyper landværts under havstigningen. Under det efterfølgende relative fald i havniveau fra omkring 6000 år siden og til i dag, ses ifølge vores opstillede strandforskydningskurve en langsommere ændring i havniveauet. Dette må formodes at have stimuleret en mere langsom migration af fuldt udviklede kysttyper havværts.

De tilgængelige seismiske profiler er indsamlet med en vis minimums-vanddybde og afstand fra den nuværende kyst. Dette giver en begrænsning i forhold til hvor langt op i tid, vi kan se kystens sedimenter på vores data. Når palæokystlinjen ligger længere havværts end vores data, har vi mulighed for at analysere, hvordan kysten så ud og hvilke sedimenter, der blev aflejret langs den. Men når palæokystlinjen ligger længere landværts end vores data, forsvinder kystsedimenterne ligeledes fra vores data og for disse perioder kan der så i stedet arbejdes med aflejringer fra større vanddybde. Sættes kysten til udelukkende at repræsentere overgangen mellem havet og landet (dvs. ikke mellem søerne og landet), begrænser den tidshorisont hvori vi kan genfinde kystaflejringerne på vores seismiske data sig derfor til perioden fra ca. 9000 år siden (hvor havet oversvømmede Kalø Vig) til for omtrent 8000 år siden, hvor kysten allerede lå længere landværts end vores data. Netop i denne periode ses den hurtigste stigning i havniveauet og som det fremgår af Figur 16, ses der overvejende spor efter en erosionskyst i Kalø Vig i denne periode.

Manglen på seismiske og akustiske data fra lavvandede områder (<5 m vanddybde) er et gennemgående problem for studier af kystnære områder. Fænomenet kaldes ofte for 'the white ribbon' og refererer til det manglende overlap mellem marine og terrestriske data og den traditionelle opdeling af forskningsfelterne i hhv. marin og terrestrisk geologi. Der findes en række metodikker inden for kortlægning af batymetrien, der tilstræber at lukke dette hul, som f.eks. grøn LIDAR, hvor havbunden op til nogle meters vanddybde kan kortlægges (Andersen et al. 2017); og anvendes der mindre skibe, kan seismiske og akustiske data optages på lavere vanddybder. Yderligere ses flere teknikker inden for 'transition zone' seismik, der tilstræber at indsamle seismiske data på tværs af kysten. Kortlægningen af geologien på tværs af kysten er relevant ikke mindst for projekter relateret til kystmorfologisk udvikling, som dette projekt om NPMB. Inden for andre discipliner, som f.eks. marin geoarkæologi og kvartærgeologi generelt, er det ligeledes af stor betydning, at vores kortlægning forbindes hen over kysten (Prampolini et al. 2020).

3.6 Konklusioner

Analysen af de tilgængelige data fra Aarhus Bugt og Kalø Vig har muliggjort opstilling af en strandforskydningskurve og en række palæogeografiske kort for Kalø Vig, som er baseret på tolkede overflader og enheder ud fra seismiske data. Strandforskydningskurven viser en relativ hurtig stigning i vandspejlet fra starten af den Holocæne periode for ca. 12.000 år siden og indtil for omtrent 8.000 år siden. Herefter var stigningen mindre kraftig indtil for ca. 6.000 år siden, hvorefter der ses et havniveau-fald forårsaget primært af landhævning. Der er generelt overensstemmelse mellem strandforskydningskurven og de kortlagte seismiske enheder, og de palæogeografiske kort giver et bud på, hvordan landskabet i Kalø Vig har set ud tilbage i tid. Inden havets indtrængning for ca. 9.000 år siden var landskabet præget af store søer opstået i lavninger mellem større bakkestrøg. Bakkestrøgene tolkes som randmoræner, formet af isen for ca. 19.000 år siden, mens en række markante lavninger fortolkes som mulige dødishuller. For ca. 6.000 år siden stod havet højest og de i dag lavtliggende områder omkring Kalø Vig var oversvømmede.

Den geologiske udvikling af Kalø Vig er i dette studie belyst i overordnede træk. De geofysiske og geologiske data fra området indeholder dog mange flere detaljer, der kan belyse udviklingen i større detaljegråd - både tidsmæssigt og

rumligt. Fremadrettet kunne der arbejdes mere med sedimentkernerne i området, for blandt andet at undersøge disse med henblik på sammensætning af bevoksningen ud fra de formodede planterester, der specielt optræder i sedimenterne fra Tidlig Holocæn. Det ville også være nyttigt med flere kulstof-14 dateringer af prøver fra kernerne, således at der kan konstrueres en aldersmodel. De fire kortlagte seismiske enheder kan yderligere underopdeles, således at udviklingen kan belyses i kortere tidstrin og i større rumlig detalje.

Materialet, der er fremkommet under studiet, som for eksempel de palæogeografiske kort og strandforskydningskurven, kan anvendes til formidling af den postglaciale kystudvikling for området. Således kunne der fremstilles fysiske og digitale 3D-modeller over området og der kunne yderligere arbejdes med digitalt formidlingsmateriale, hvor brugeren med udgangspunkt i de kortlagte overflader, kan påføre forskellige havniveauer og dermed selv forme illustrationen af den postglaciale udvikling.

4 HISTORISK KYSTUDVIKLING / KYSTZONENS DYNAMIK OG FYSISKE PROCESSER

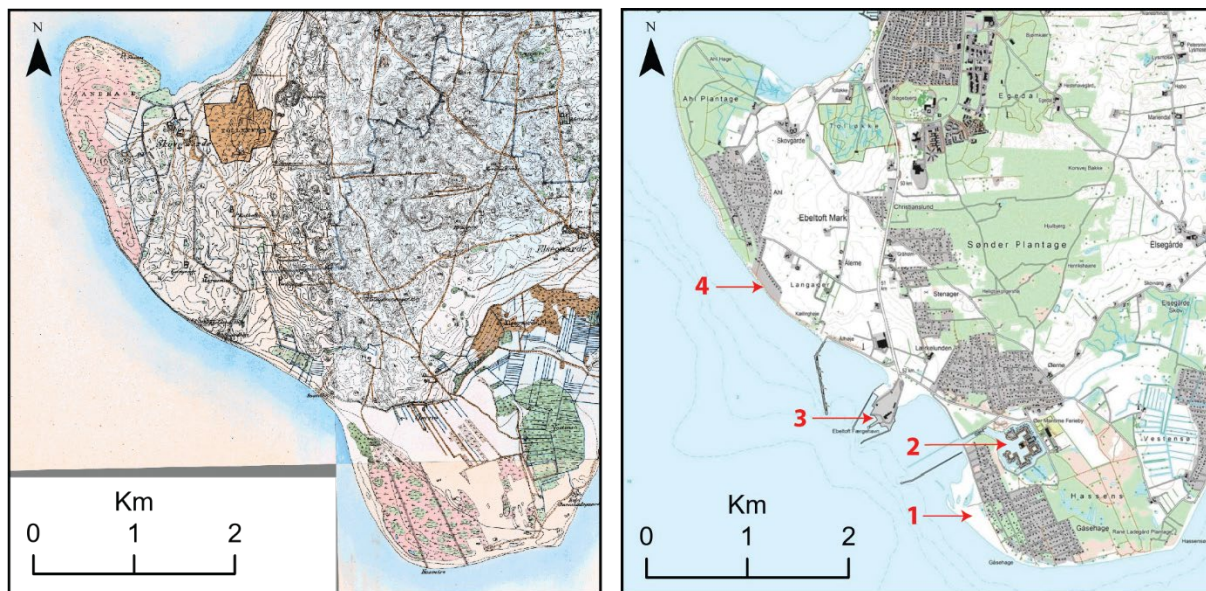
4.1 Indledning

Nationalpark Mols Bjerger er præget af glaciale processer, som har skabt den største del af landskabet under Weichsel-glaciationen. Efter at istidens store ismasser smeltede bort og Djursland og Mols Bjerger igen var isfri, har havspejlsændringer samt havets bølger og strøm formet det unikke kystlandskab, som i dag kan opleves i nationalparken.

Som beskrevet ovenfor i kapitel 3 betød en stigning i det relative havspejlsniveau indtil for ca. 6.000 år siden, at havet langsomt oversvømmede dele af Djursland, i det der betegnes Littorina Transgressionen (Figur 3). I takt med havspejlsstigningen og forskydning af kystlinjen i en landværts retning kom flere af istidens glaciale landskabsformer under erosion og store mængder sediment blev frigivet fra talrige kystklinter og omfordelt langs kysten.

Som havspejlsstigningen aftog, og havniveauet gradvist begyndte at falde, blev det kystlandskab som ses i Mols Bjerger i dag dannet. Dette landskab er hovedsageligt skabt af bølgeprocesser, som til stadighed flytter rundt på sedimentet og både giver anledning til kystudbygning og kysterosion. I dette kapitel fokuseres på, hvordan kysten i Mols Bjerger har ændret sig i løbet af historisk tid, samt på de nuværende kystprocesser og kystlinjens dynamik. I lokalitetsbeskrivelsen gives en geomorfologisk karakterisering af kysterne i Mols Bjerger.

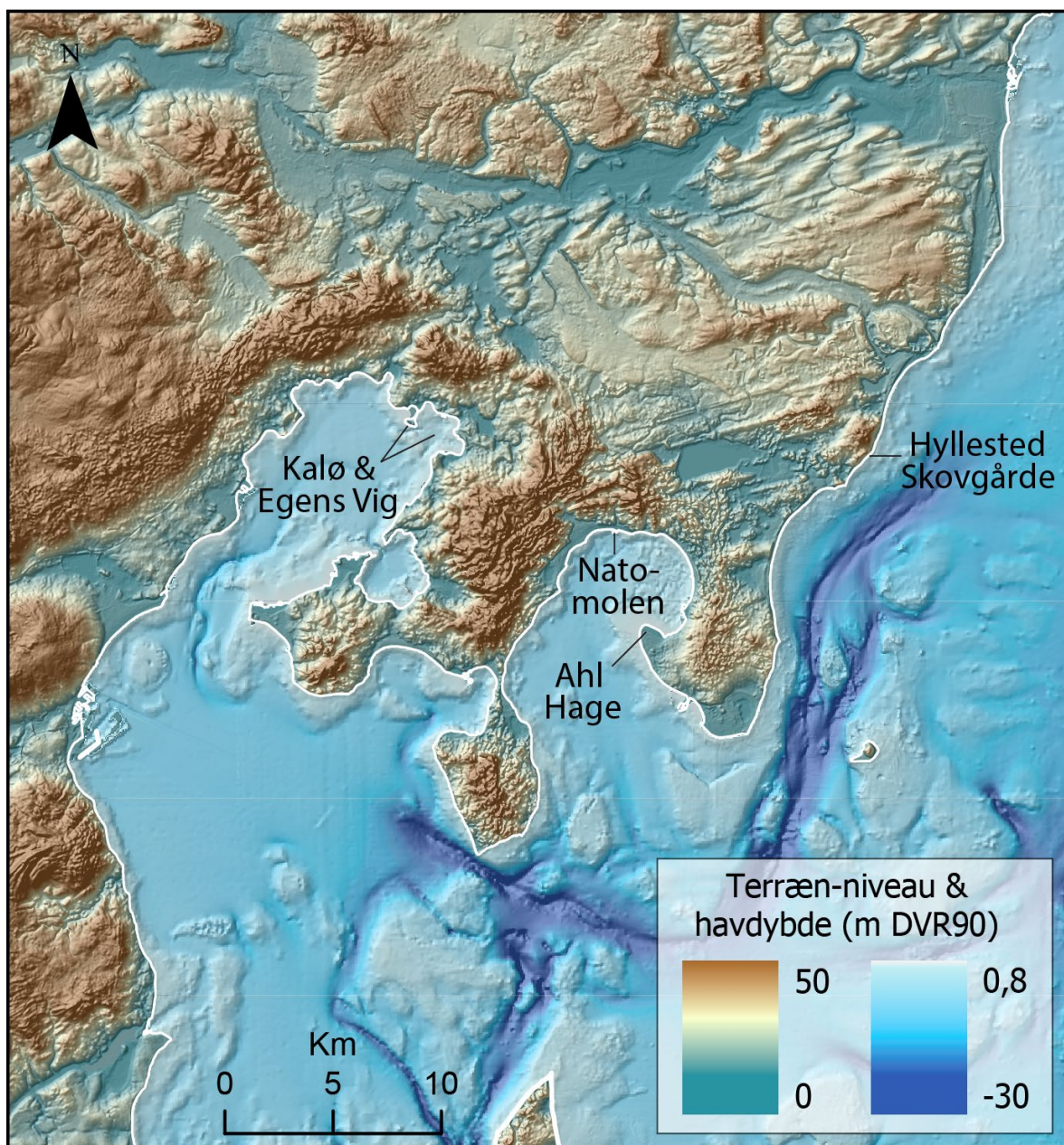
I de efterfølgende afsnit er der fokus på kystlinjens dynamik i løbet af de sidste 145 år, på de naturlige dynamiske kystprocesser og den menneskelige påvirkning af kystlandskabet og kystlinjens forløb (Fig. 17).



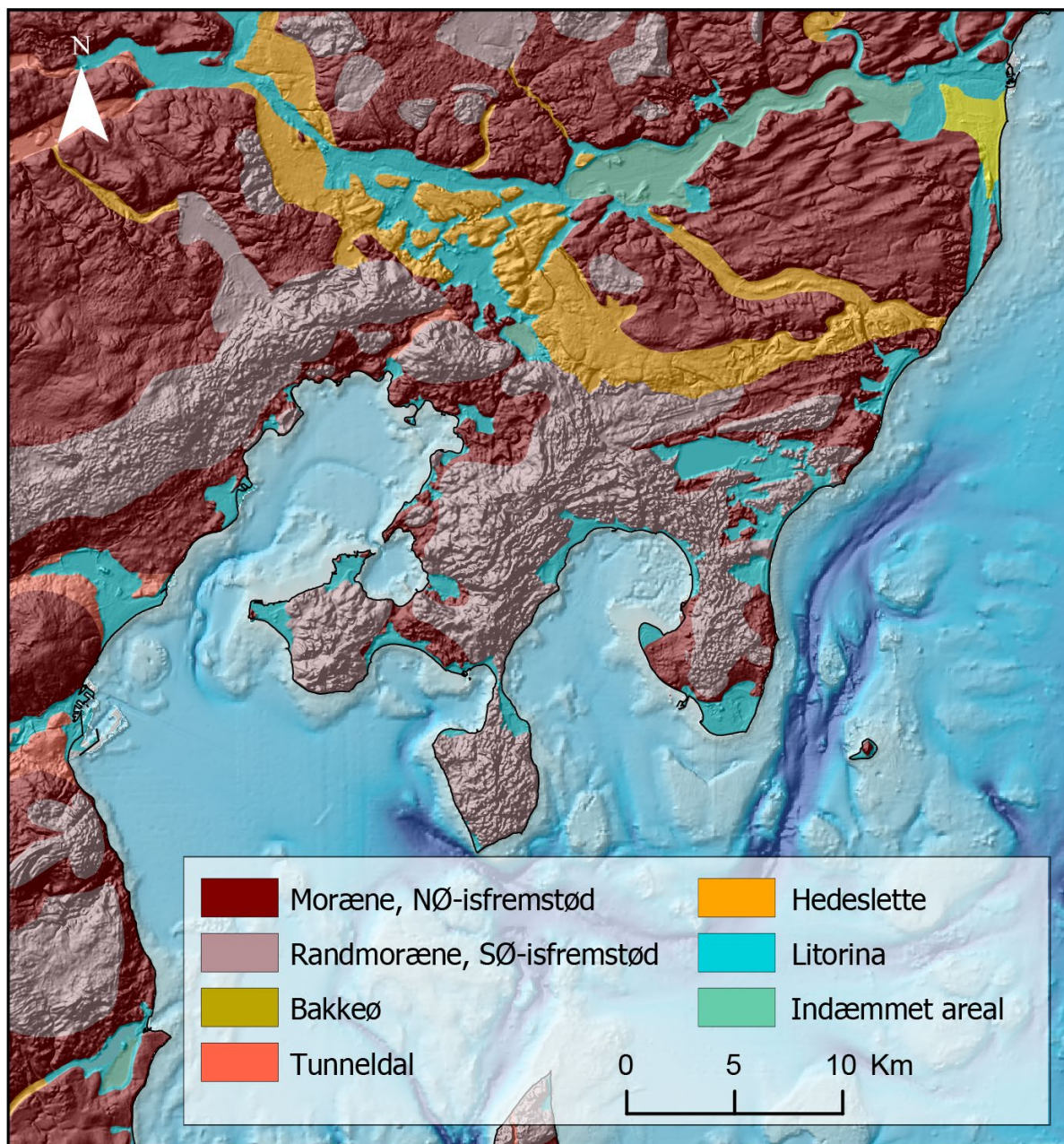
Figur 17: Ebeltøft-halvøens sydvestlige kyst i henholdsvis 1875 (venstre, Høje Målebordsblad) og i 2019 (højre, DTK/Kort25). De to kort illustrerer påvirkning som menneskelig aktivitet har haft på kystlandskabet og kystlinjens forløb. Kortene viser hhv. kystens forløb før og efter udbygningen af Ebeltøft Færgenhavn og udgravningen af Øer Maritime Havn. 1: Kystudbygning som resultat af etablering af stenmole ved indsejlingen til Øer Maritime Havn. 2: Øer Maritime Havn og 3: Ebeltøft Færgenhavn har ændret kystlinjens forløb. 4: Kysttilbagerykning delvist forårsaget af lu-side erosion efter udbygningen af Ebeltøft Færgenhavn.

4.2 Lokalitetsbeskrivelse

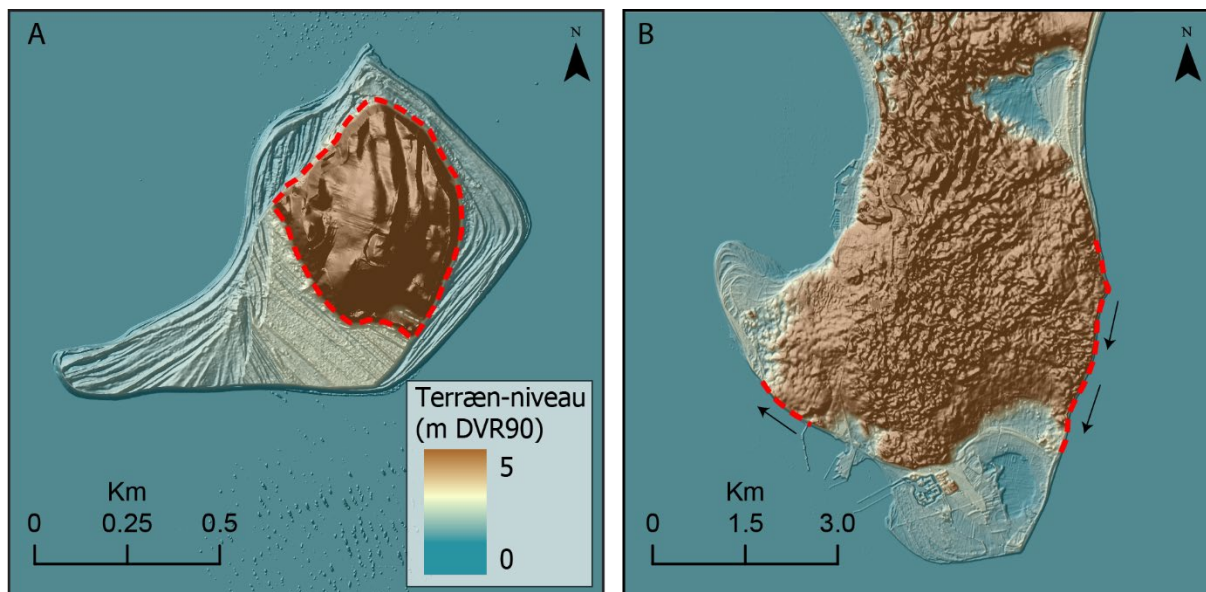
Istidslandskabets topografi og geomorfologi, som blev dannet under sidste istid, har dannet og danner til stadighed rammen for kystudviklingen i Mols Bjerger (Fig. 18-19). Udviklingen af kystlandskabet har i høj grad været påvirket af de sidste 6.000 års relative havspejlsfald (Figur 7), hvor havniveauet gradvist er faldet 3 til 5 meter til nuværende havniveau med en rate på omkring 0,5 til 0,8 mm pr. år. Littorinahavets kystlinje ligger derfor mange steder landværts for den nuværende kystlinje, da havniveauet faldt og en positiv tilførsel af sediment til kysten bevirkede at kystlinjen gradvist blev forskudt havværts i takt med at et nyt kystlandskab voksede frem (Figur 20A). Ikke alle kyststrækninger har modtaget et tilstrækkeligt stort overskud af sediment til at kysten har bygget ud og disse strækninger fremstår i dag som karakteristiske kystklinter, hvor erosion blottet istidslandskabets moræneaflejringer (Figur 20B og Figur 21).



Figur 18: Terræn-niveau og havdybde for Syddjurs og tilgrænsende områder. Langs kysten i Mols Bjerger-området fremstår istidslandskabets topografi som højereliggende partier (gule og brunlige nuancer), mens kystlandskabets topografi fremstår lavere (blålige nuancer).



Figur 19: Geomorfologisk landskabskort over Mols Bjerge-området, hvor landskabsformerne er tolket i forhold til dannelse.



Figur 20 A-B:

(A) Øen Hjelm ligger 5 kilometer øst for Ebeltoft Odde. For 6000 år siden stod Littorinahavet omkring 4 meter højere her og bølger eroderede en kystklint i moræne-sedimenterne (markeret med stiplet rød linje). I takt med at det relative havniveau faldt, blev der dannet et nyt kystlandskab foran kystklingen bestående af rækker af strandvolde. Således ligger Littorinahavets fossile kystlinje og fossile kystklinter i dag op til 700 meter fra havet.

(B) Kystklinter (markeret med stiplet røde linjer) dannes ved erosion på strækninger af kysten, hvor der er et kronisk underskud af sediment. En del af det eroderede sedimentet transporteres (sorte pile) med bølger og strøm langs med kysten, hvor det kan indgå i opbygningen af krumodde- og strandvoldskomplekser. De to højdekort har ens terræn-niveau-skala. Terrænhøjder over 5 meter er angivet i mørkebrunt.



Figur 21: Kystklint i moræneaflejringer nordvest for Ebeltoft Færgehavn.

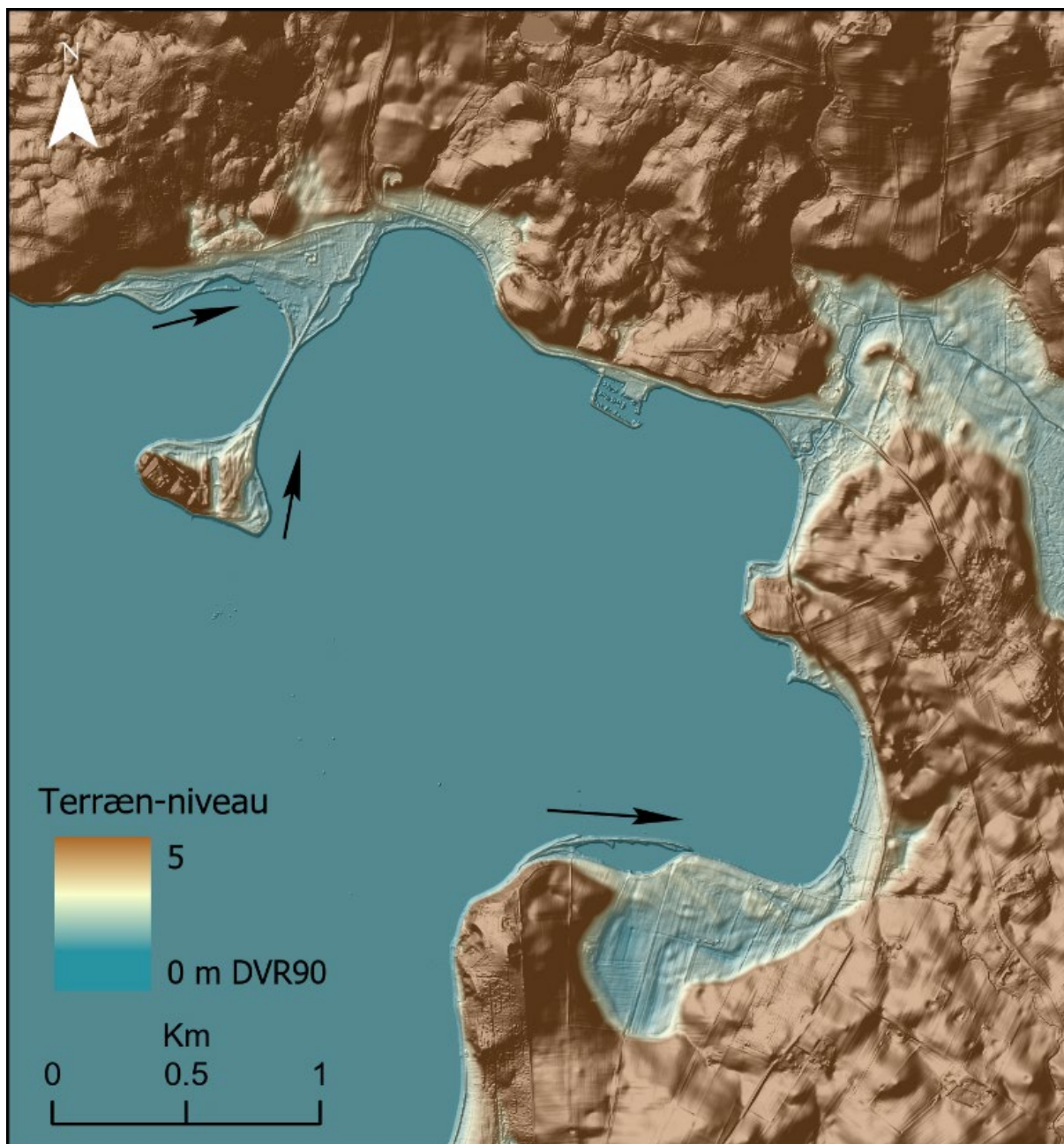
Kystmorfologien i Mols Bjerger er altså overvejende skabt i løbet af de sidste 6.000 år. Bølgeprocesser under høje vandspejl har eroderet kyststrækninger og dannet kystklinter. Materialet fra klinerne bliver transporteret havværts til dybere dele af kystplanet eller langs kysterne til lavvandsområder, hvor der dannes akkumulerende landskabsformer som krumodder, strandvolde eller barriereodder (Figur 20B). Materialetransporten langs kysten følger retningen for de hyppigste og største bølgetog og fx fra åbent farvand mod beskyttet farvand og ikke nødvendigvis de fremherskende vindretninger. Bag barriereodderne eller i afsnørede bugter, dannes der lavvandede laguner, hvor bølgedynamikken er meget reduceret, og hvor fine sedimentpartikler som ler, silt og organisk materiale kan akkumulere, og vegetation kan vokse (Figur 22). I perioder med et relativt havspejlsfald dannes ofte strandvolde, som kan danne sammenhængende strandvoldssletter. Et eksempel på denne kystmorfologi er vist i Figur 23 og Figur 24, hvor der ses forskellige akkumulationsformer i Egens Vig og ved Ahl Hage.



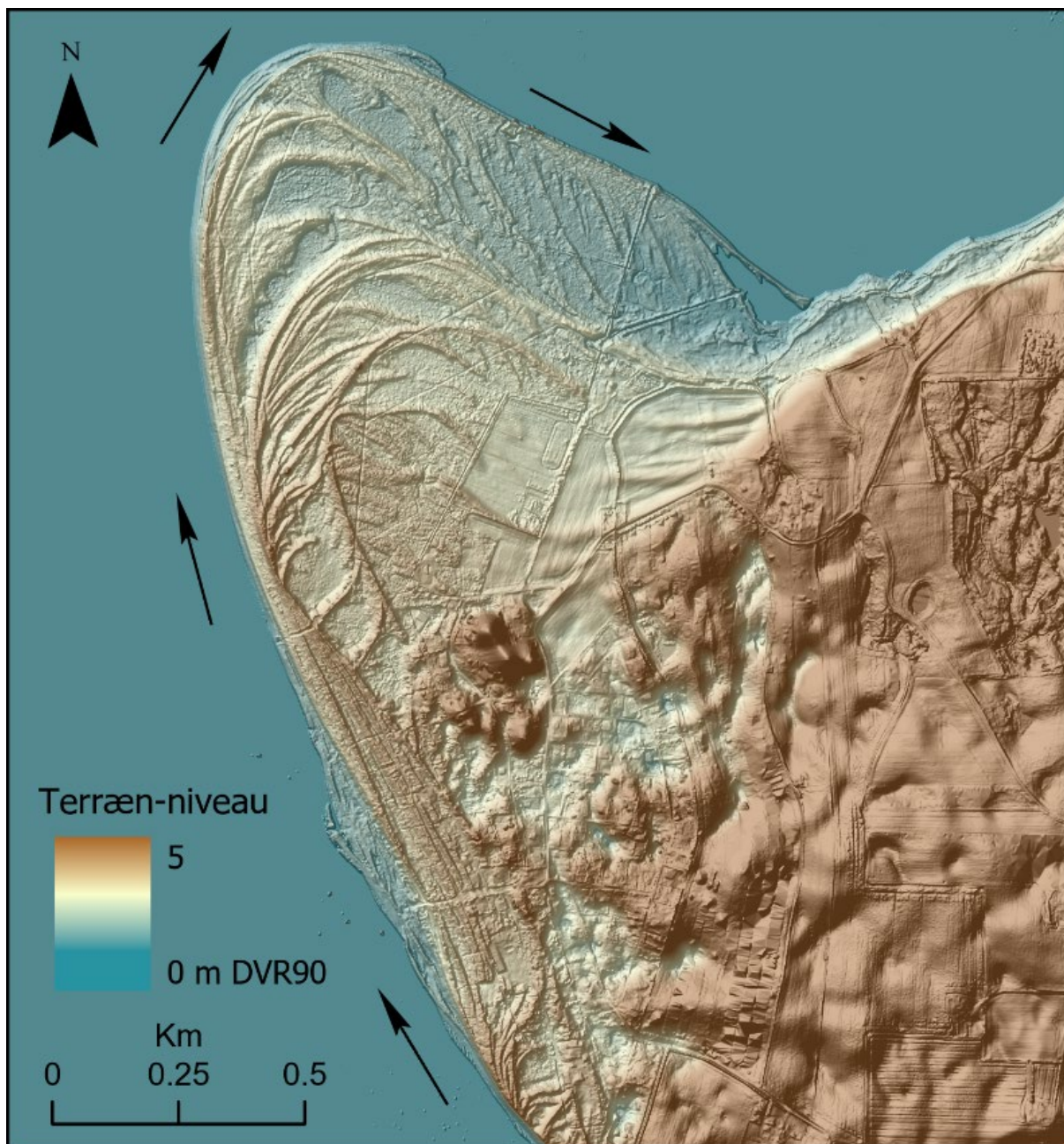
Figur 22: Kystlagune bag krumodde umiddelbart nord for Kalø Slotsruin.

Vindklimaet i området domineres af vind fra vestlige og sydvestlige retninger og påvirker særligt kyststrækninger, som er orienteret mod disse retninger. Det frie stræk, altså den distance som vinden kan bevæge sig over havet uden at skulle krydse over landmasser, er begrænset i forhold til den dominerende vindretning, og bølgehøjderne er derfor relativt lave. Øst-orienterede kyststrækninger er overvejende påvirket af bølger fra nordøstlige til sydøstlige retninger. Bølger fra østlige retninger kan være høje, da det frie stræk er væsentligt større, men vind fra disse retninger forekommer mindre hyppigt.

Tidevand har kun en lille betydning i Mols Bjerger-området. Tidevandsforskellen, der er defineret som den vertikale forskel mellem gennemsnitlig lavvandsniveau og gennemsnitlig højvandsniveau er omkring 0,3 meter. Vandspejlsændringer i området er mere præget af lokale vindstuvningseffekter og atmosfæriske trykændringer under en stormpassage. Vindstuvningseffekter er dog størst langs Kattegats kyster, når vinden blæser fra nordlige retninger, hvor vandet i Kattegat bliver presset mod syd.



Figur 23: Højdekort med detaljeret kystmorfologi for Egens Vig. Sorte pile indikerer retningen for den langsgående sedimenttransport og krummedannelse.



Figur 24: Højdekort med detaljeret kystmorfologi for Ahl Hage. Ahl Hage er opbygget af strandvolde, krumodder og afsnørede laguner som resultat af et positivt sedimentbudget og et faldende havspejlsniveau. De sorte pile indikerer retningen af den langsgående sedimenttransport.

4.3 Materialer og metoder

4.3.1 Geodata

Analysen af den historiske kystudvikling i Nationalpark Mols Bjerge er udført i det geografiske informationssystem ArcMap version 10.6.1. ved analyse af historiske topografiske kort, oprettede luftbilleder kaldet ortofotos samt det digitaliserede topografiske grundkort Kort10. Det ældste kort, Høje Målebordsblade (HMB), er opmålt i 1875-1877 og det yngste kortværk, Kort10, er opdateret i 2019, hvilket giver en tidserie over kystlinjens udvikling på 144 år. Tabel 3 viser de forskellige kort og ortofotos, som er anvendt i analysen samt den estimerede maksimale usikkerhed for hvert datasæt. Datasættenes reelle usikkerhed er derfor formentlig meget mindre.

Tabel 3: Kortværk anvendt i den historiske analyse af kystudviklingen.

Type	Kort optegnet	Input-år i DSAS	Skalering/opløsning	Digitalisering af kystlinje	Usikkerhed (m)
Topografisk kort (HMB)	1842-1899 (1875-1877)	1875	1:20000	Kystlinje digitaliseret efter sort omrids	± 11
Topografisk kort (LMB)	1928-1945 (1931-1942)	1937	1:20000	Kystlinje digitaliseret efter sort omrids	± 11
Topografisk kort	1953-1976 (1965-1974)	1974	1:25000	Kystlinje digitaliseret efter sort omrids	± 11
Topografisk kort	1986-1997	1900	1:25000	Kystlinje digitaliseret efter sort omrids	± 11
Ortofoto	1954	1954	25 cm	Våd/tør linje	± 3
Ortofoto	1995	1995	80 cm	Våd/tør linje	± 3
Ortofoto	1999	1999	40 cm	Våd/tør linje	± 3
Ortofoto	2004	2004	25 cm	Våd/tør linje	± 3
Ortofoto	2008	2008	12,5 cm	Våd/tør linje	± 3
Ortofoto	2012	2012	12,5 cm	Våd/tør linje	± 3
Ortofoto	2015	2015	25 cm	Våd/tør linje	± 3
Ortofoto	2018	2018	30 cm	Våd/tør linje	± 3
Kort10	2019	2019	Kystlinje digitaliseret ved tracing-værktøj	na	na

4.3.2 Georeferering og digitalisering af kystlinjen

Det landsdækkende ortofoto-datasæt fra 1954 er ved visuel inspektion fundet upræcist georefereret, hvorfor en ny georeferering blev foretaget i ArcMap. 1954-datasættet blev georefereret ved at sammenholde positionen af en række udvalgte kontrolpunkter på 1954-ortofotoserien med punkternes position på et reference-datasæt fra 2016. Efter en kvantificering af usikkerheden (bestemmelse af RMSE-værdi) samt visuel inspektion var georefereringen af 1954-datasættet præcis nok til at kunne anvendes til kystanalysen.

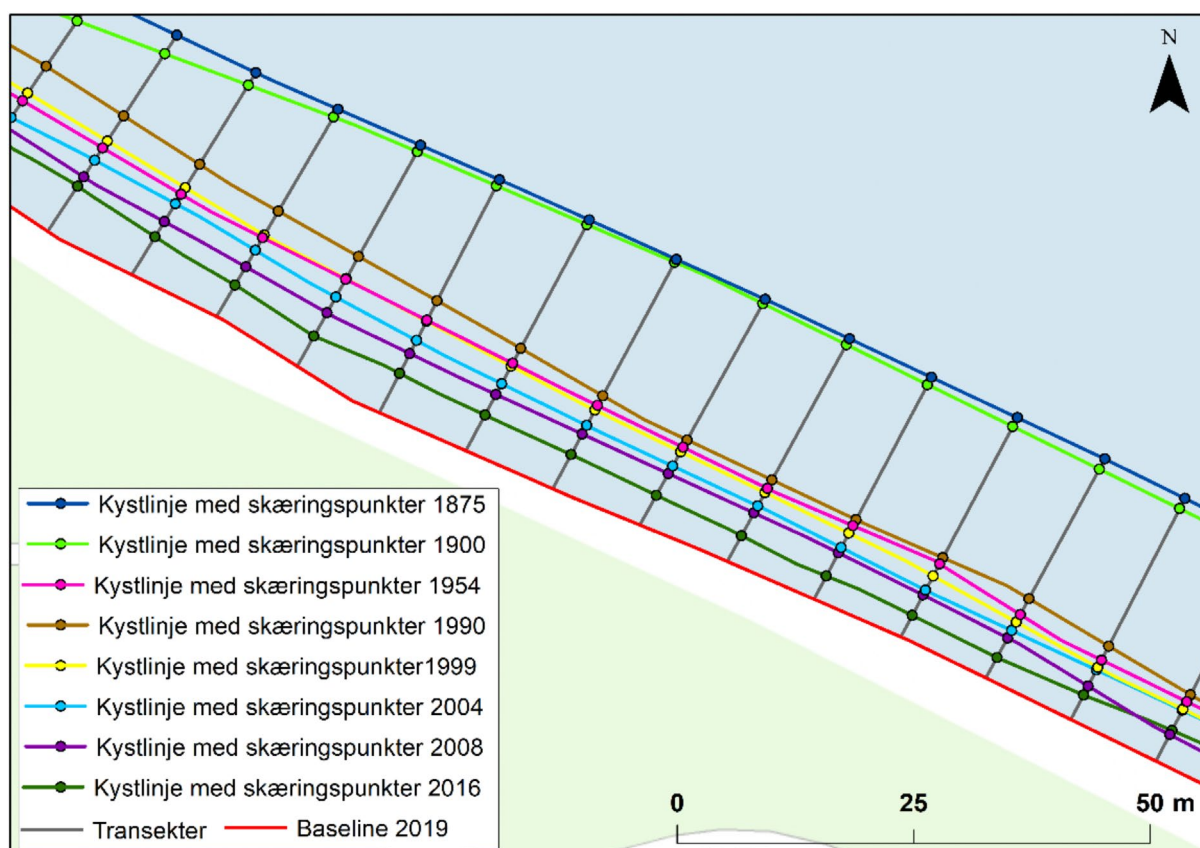
På hver af de enkelte kortsæt er kystlinjen digitaliseret i ArcMap. På de topografiske kort er kystlinjens placering markeret med en sort streg, som blev digitaliseret. På ortofoto-datasættene blev våd/tør-linjen digitaliseret. Da denne linjes placering bestemmes af vandstanden samt størrelsen på bølgeopskyl blev ortofotos fraseret, hvis der blev observeret tydelig forøget bølgeaktivitet. Det antages, at den sorte streg på de topografiske kort og våd/tør-linjen på ortofoto-datasættene tilnærmelsesvis tilsvarende middelhavspejlsniveauet.

4.3.3 Digital shoreline analysis system (DSAS)

Til bestemmelse af ændringer samt hastigheden af ændringerne i kystlinjens kystnormale position blev GIS-værktøjet, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) benyttet (Himmelstoss et al. 2018).

DSAS fungerer som add-in i ArcMap ved at generere transekter vinkelret på Kort10-kystlinjen (2019), som i denne analyse er bestemt til at være basiskystlinje eller udgangskystlinjen (Figur 25). Inden analysen skal en række parametre specificeres. Udjævningstolerancen blev sat til 1. Hver kystlinje tildeles en usikkerhedsværdi, som er et udtryk for usikkerheden ved georefereringen, ved den manuelle digitalisering og ved selve flybilledet. Usikkerhedsværdien

er bestemt til mellem ± 11 meter for de topografiske kort og ± 3 meter for ortofoto-datasættene. Udjævningsafstanden blev sat til mellem 100 og 500 meter og afstanden mellem transekterne til 10 meter. Udjævningsafstanden er bestemt ud fra en visuel inspektion og varierer med kystlinjens kurvatur. På strækninger hvor kystlinjen har en stor kurvatur, er det nødvendigt at vælge en mindre udjævningsafstand i forhold til strækninger hvor kystlinjens kurvatur er lille. Transekt-afstanden er sat til 10 meter på baggrund af kystlinjens kurvatur og for at opnå en høj visualisering af ændringsraten. Til slut blev ændringsraterne i meter per år (m/år) bestemt ved vægtet lineær regression (WLR) eller slutpunkts-bestemmelse (EPR).



Figur 25: Kystlinjer, transekter og skæringspunkter for et udvalgt udsnit af kystlinjen. De farvede prikker markerer skæringspunkterne mellem kystlinjer og transekter. Afstanden mellem de enkelte skæringspunkter og mellem skæringspunkterne og basis-kystlinjen anno 2019 er et udtryk for den kystnormale forskydning af kystlinjen over tid (Frendrup & Jacobsen 2020).

4.3.4 Bestemmelse af sedimenttransport og krummoddedannelse

Da DSAS-værktøjet er udviklet til at beregne ændringer i kystlinjens position i en kystnormal retning (vinkelret på kysten) kan værktøjet ikke bestemme kystlinjeændringer, som skyldes kystparallel udbygning af kysten, som er normal ved krummoddedannelse og krummoddeudbygning. Kystparallelle udbygningsrater ved odder blev i stedet bestemt i ArcMap ved at måle afstanden i fugleflugt fra et fast referencepunkt til det punkt, hvor odden begynder at krumme i en landværts retning.

Kystnære processer genereres ofte ved en kombination af bølger og strøm. Bølger, og specifikt bølgehøjden, er en indikation på energien, som er til rådighed til at flytte sedimenterne. Sedimenttransport på kystplanet genereres ved, at sedimentet løftes vertikalt op i vandsøjlen under bølgepassage, hvor det efterfølgende bliver transporteret med strømninger. Disse strømninger kan være bølgerelaterede og virke langs kysten eller på tværs på kysten. Derudover

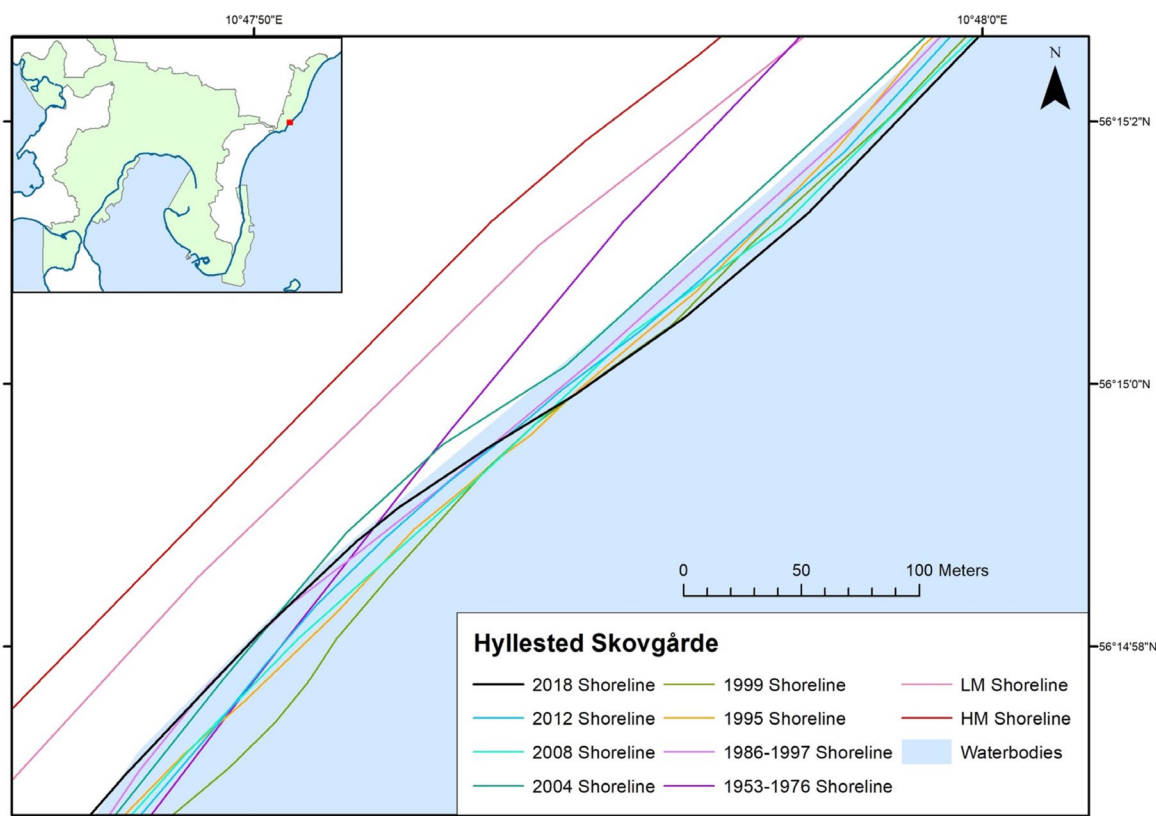
kan der observeres strømninger, som er relateret til tidevand eller vind-stuvning. Disse strømninger er dog ofte ikke vigtige for sedimenttransporten langs kysterne i de indre danske farvande og for dannelse af kystlandskabet.

Vindklimaet er brugt til at estimere de lokale bølgeforhold. Hver vindhastighed (v) af hver vindklasse er konverteret til en "vind-stress-faktor" på en semiempirisk måde ($\text{vind-stress} = 0,71 v^{1,23}$). Derefter er alle frie stræk over havet målt for alle retninger med pålandsvind. Den signifikante bølgehøjde for hver vindhastighed og vindretning er estimeret med vind-stress og frit stræk som input-variabler. Den lokale kystlinjeorientering er målt i forhold til geografisk nord og kystnormalen er vinkelret på den lokale kystlinje. Vinklen α er vinklen mellem retningen, hvor bølgen kommer fra og den lokale kystnormal. Sedimenttransporten på langs af kysten er beregnet på baggrund af den signifikante bølgehøjde (H_s) og α med formelen: $Q_{\text{masse}} = 128 (H_s)^{2,5} \sin(2\alpha)$ (CERC 1984 i Van Rijn 2002; kg s^{-1}).

Den estimerede signifikante bølgehøjde og α er karakteristisk for bølger tæt på kystlinjen. Sedimenttransporten for hver bølgehøjde og hver bølgeretning er multipliceret med frekvensen fra vindklimaet. Til sidst er alle potentielle transporter i hver retning opsummeret, hvilket giver den samlede potentielle transport.

4.4 Resultater

Af i alt 6248 transekter fordelt langs den ca. 130 kilometer lange kystlinje i nationalparken, blev der ved 3097 transekter fundet at kystlinjen var under erosion, mens der ved 3151 transekter blev fundet kystudbygning. Den gennemsnitlige udbygningsrate blev bestemt til 0,13 m/år, hvilket betyder at der samlet set langs hele nationalparkens kystlinje har været en mindre kystudbygning i løbet af de sidste ca. 145 år.

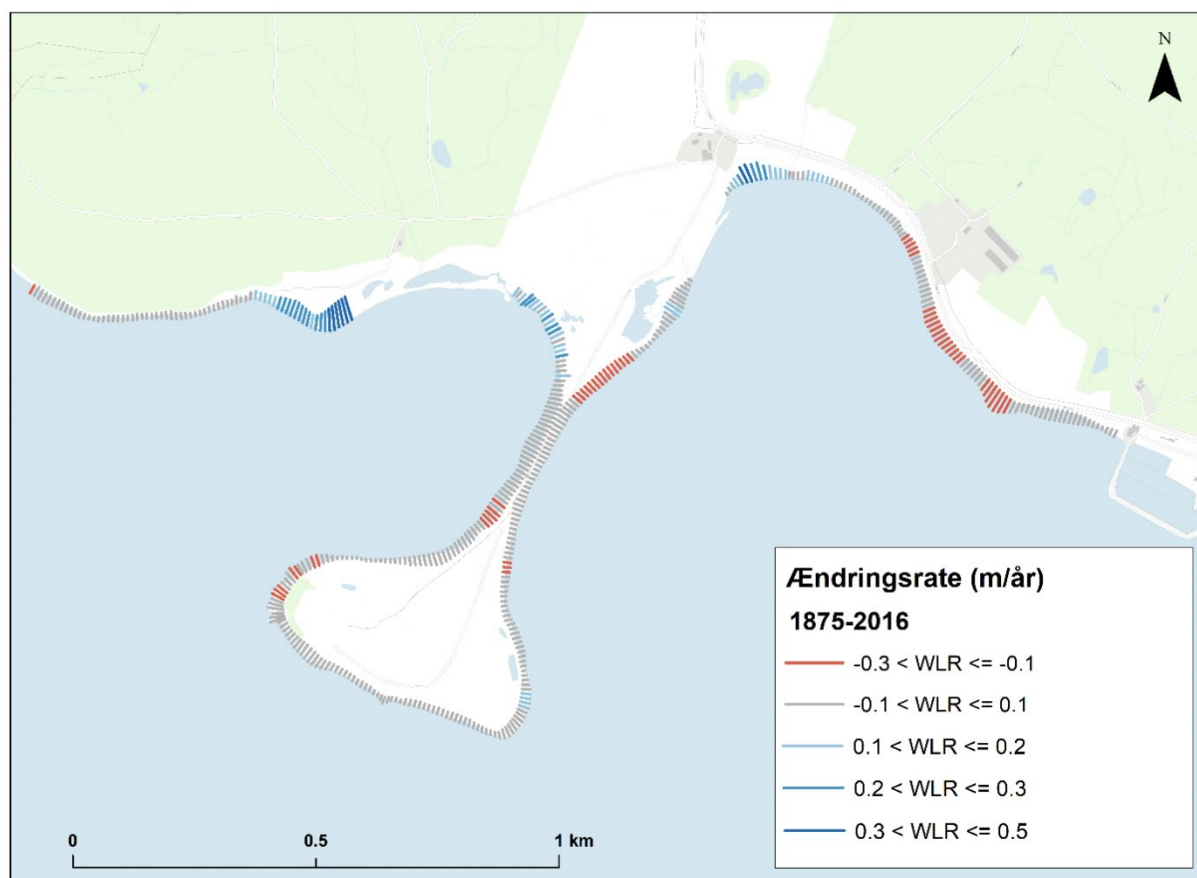


Figur 26: Kystlinjetændringer ved Hyllested Skovgårde (Miller 2020).

Denne udvikling dækker dog over store lokale variationer med flere skift mellem kysterosion og kystudbygning. At der netto har været en kystudbygning skyldes i høj grad menneskelige aktiviteter langs kysten i nationalparken primært i form af udbygningen af havneanlæg og moler. De dele af nationalparkens kystlinje, som ikke ligger i forbindelse med menneskeskabte konstruktioner, har overordnet været stabile eller under svag erosion.

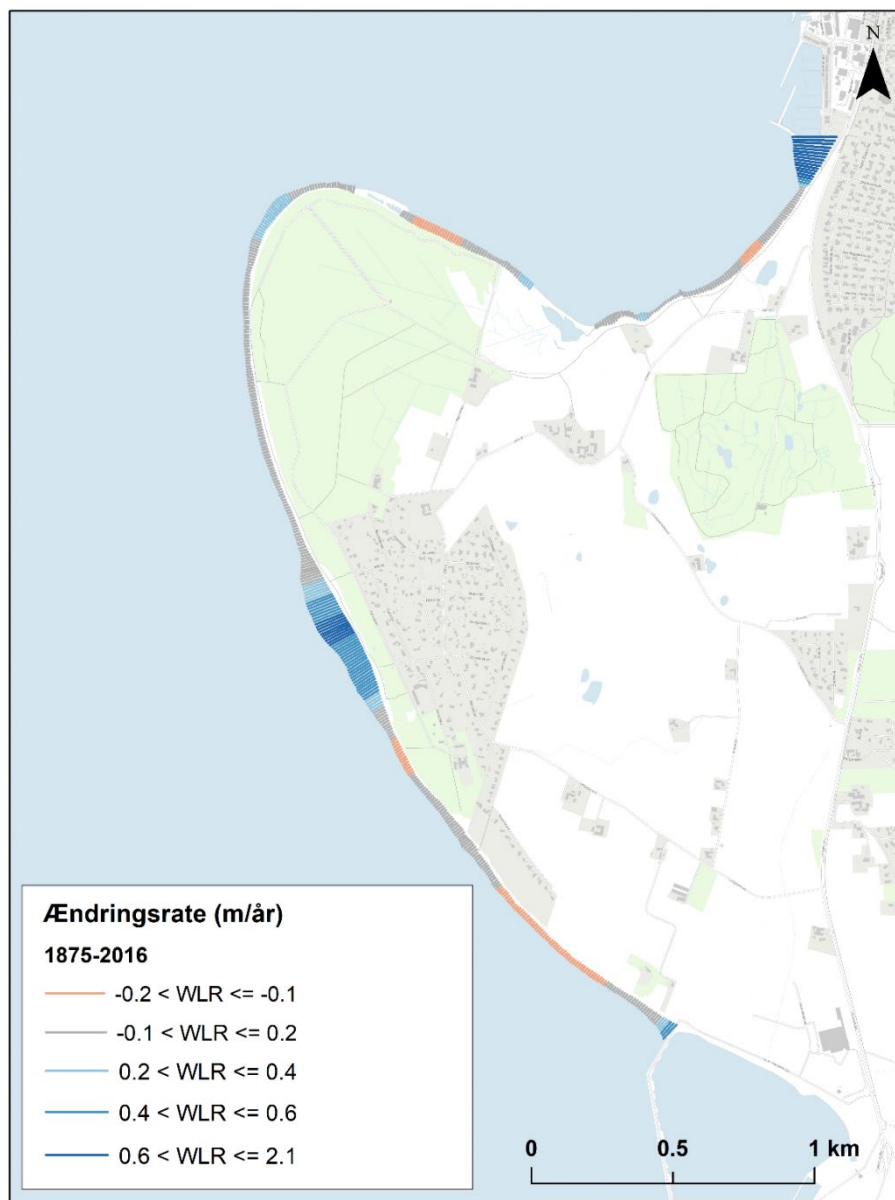
Langs hovedparten af nationalparkens kyster har kystlinjen periodevis været under fremrykning og periodevis været under erosion. Figur 26 viser et eksempel på den heterogene kystudvikling ved Hyllested Skovgård, som er karakteristisk for kystudviklingen i nationalparken. Selvom både de Høje og de Lave Målebordsblade dokumenterer en netto kystudbygning på denne kyststrækning, så viser de yngre kortsæt, at kystlinjens udvikling skiftevis har været domineret af udbygning og erosion. Samtidig har udviklingen på langs af kysten varieret. Blandt andet ses det, at i den nordlige del af det viste udsnit, er 2018-kystlinjen placeret længst havværts, hvorimod den i den sydvestlige del af udsnittet er placeret længere mod vest (landværts) set i forhold til kystlinjens placering i perioden fra 1953 til 2012. Dette betyder at denne del for nyligt har været under erosion.

Også kyststrækningen i området omkring Kalø illustrerer den relativt store variabilitet, der er i kystlinjens udvikling (Figur 27). Langs denne relative korte kystlinje ses der skiftevis strækninger, hvor kystlinjens position har været stabil, strækninger med erosion og strækninger med udbygning. Ændringsraten varierer mellem en tilbagerykning på op til 0,3 m/år og en fremrykning på op til 0,5 m/år.



Figur 27: Kystudbygning og erosion ved Kalø. Blå transekter viser hvor kysten har været under udbygning og røde transekter, hvor kysten har været under erosion. Grå transekter indikerer at kystlinjen har været stabil i undersøgelsesperioden. WLR står for vægtet lineær regression (weighted linear regression), som er metoden benyttet til at beregne ændringsraterne (Frendrup & Jacobsen 2020).

Nogle af de højeste naturlige rater for kystudbygning i nationalparken er fundet ved vestkysten af Ahl Hage, hvor der er observeret en kystudbygning på mellem 0,6 og 2,1 m/år i perioden (Figur 28). Det fremgår dog også af figuren, at kystlinjens position ved Ahl Hage har været påvirket af udbygningen af hhv. Ebeltoft Skudehavn (ca. 1975) og Ebeltoft Færgehavn (ca. 1965). Begge disse anlæg har givet anledning til øget aflejring og kystfremrykning i umiddelbar nærhed af havneanlæggene.

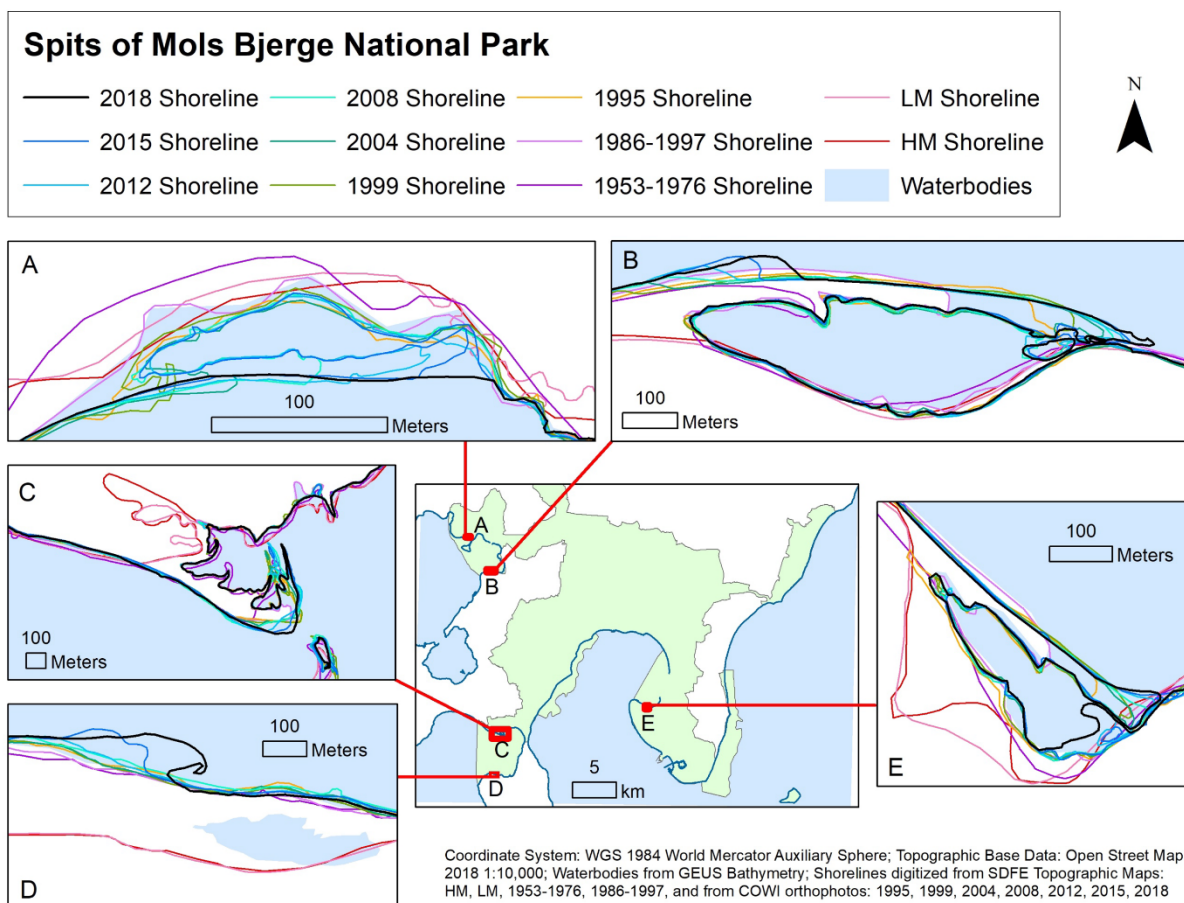


Figur 28: Kystudbygning og erosion ved Ahl Hage. Blå transekter viser hvor kysten har været under udbygning og røde transekter, hvor kysten har været under erosion. Grå transekter indikerer at kystlinjens har været stabil i undersøgelsesperioden (Frendrup & Jacobsen 2020).

De mest dynamiske kyststrækninger er observeret i forbindelse med de fem større krumodder, som er en del af nationalparkens kyststrækning (Figur 29 og 30).

- *Odde A* er lokaliseret ved Hestehave Skov nær Kalø. I 2018 havde odden næste afsnøret ”sin” lagune. Odden har udviklet sig hurtigt da den første gang observeres i 1999.

- *Odde B* ligger i den sydlige del af Egens Vig. Udviklingen af denne odde kan følges tilbage på det topografiske kort fra 1953-76. Siden 2004 har odden været tæt på at afsnøre lagunen, som den beskytter. Den distale ende af odden er meget dynamisk og ændrer kontinuerligt forløb.
- *Odde C* ligger i Begtrup Vig, og har kontinuerligt skiftet position i løbet af den undersøgte periode. Selvom hovedparten af odden har været stabil siden 1995 ændrer spidsen kontinuerligt sit forløb. Odde C er nationalparkens største og mest komplekse odde.
- *Odde D* ligger tæt på Kongsgårde i den sydlige del af Begtrup Vig. Den blev dannet i perioden mellem opmålingen af LMB i perioden 1928-1945 og kortet opmålt i perioden fra 1953-76. Odden har næsten helt afsnøret den bagvedliggende lagune. I løbet af de sidste ca. 6 år siden 2014 er en ny odde blevet dannet umiddelbart havværts for den oprindelige odde.
- *Odde E* er lokaliseret på den østlige side af Ahl Hage. Udviklingen af denne odde ses første gang omkring opmålingen af det topografiske kort fra 1886-97. Ligesom de andre odder, har denne odde også næsten afsnøret den bagvedliggende lagune fra Ebeltoft Vig. Kun en mindre kanal forbinder stadig lagunen med vigen.



Figur 29: De fem krumodder og deres placering i nationalparken. (A) Hestehave Skov ved Kalø. (B) Egens Vig. (C) Begtrup Vig/Rønne. (D) Kongsgårde. (E) Ahl Hage (Miller 2020).



Figur 30 A-D:

(A) Den distale ende af odden ved Hestehave Skov. Odden har næsten helt afsnøret den lille lagune, som findes på den landværts side af barrieren.

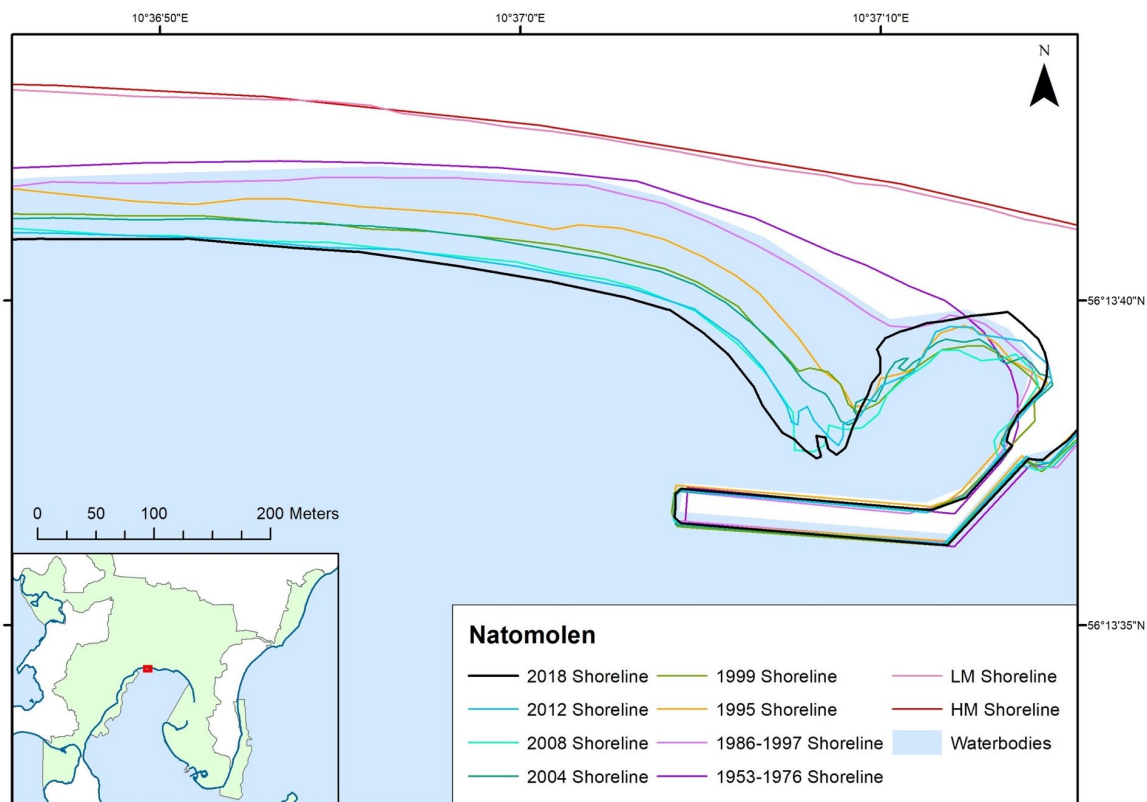
(B) Odden ved Egens Vig.

(C) Odde i Begtrup Vig. Odden ses øverst i billedet.

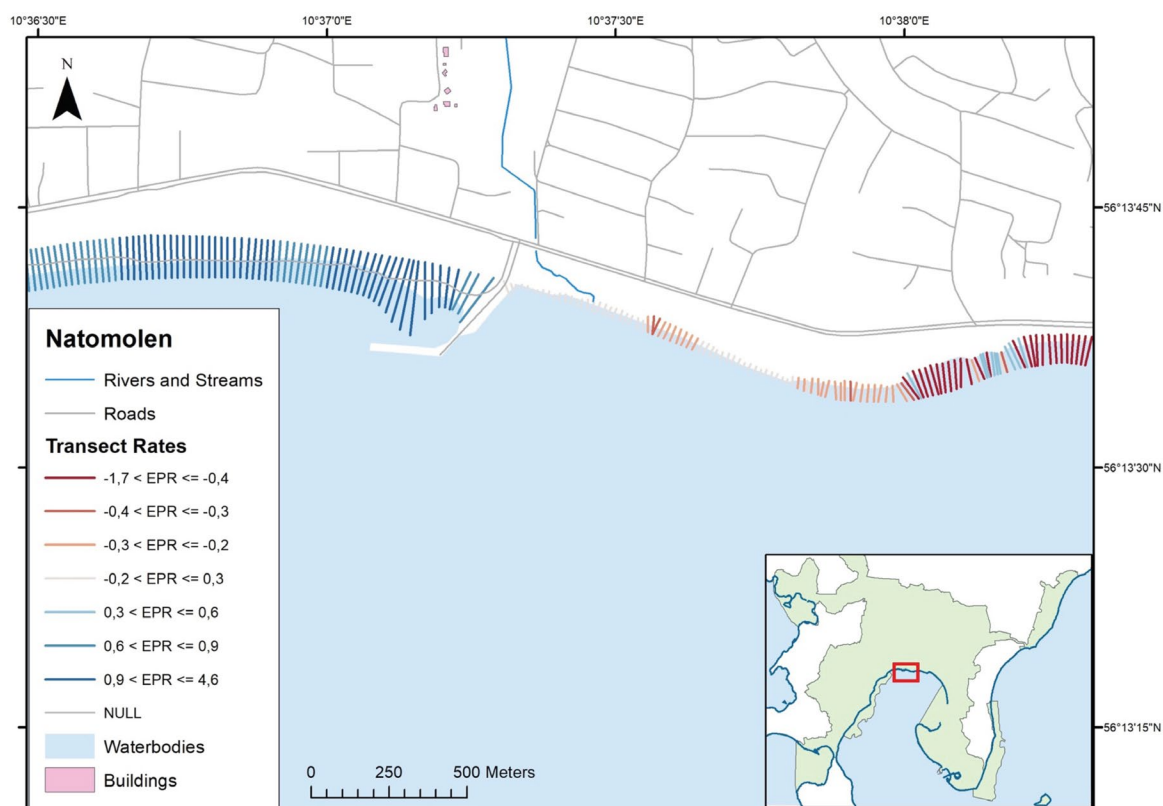
(D) Ny dynamisk odde under dannelse ved Kongsgårde (Miller 2020).

Udbygningen af nationalparkens odder repræsenterer en naturlig udvikling. I modsætning til den generelle kystudvikling i nationalparken, som er kendetegnet ved både erosion og udbygning, ses der langs flere kyststrækninger en kontinuerlig kystudbygning.

Figur 31 viser kystudviklingen vest for NATO-molen, hvor kysten kontinuerligt er bygget ud i hele undersøgelsesperioden. Samme tendens er observeret i forbindelse med andre menneskeskabte konstruktioner langs kysten. NATO-molen blev taget i brug i 1968 og har siden haft en stor effekt på kystlinjens udvikling, med aflejring på den vestlige side af molen og erosion og kysttilbagerykning på den østlige side af molen (Figur 32 og Figur 33).



Figur 31: Kystændringer umiddelbart vest for NATO-molen (Miller 2020).



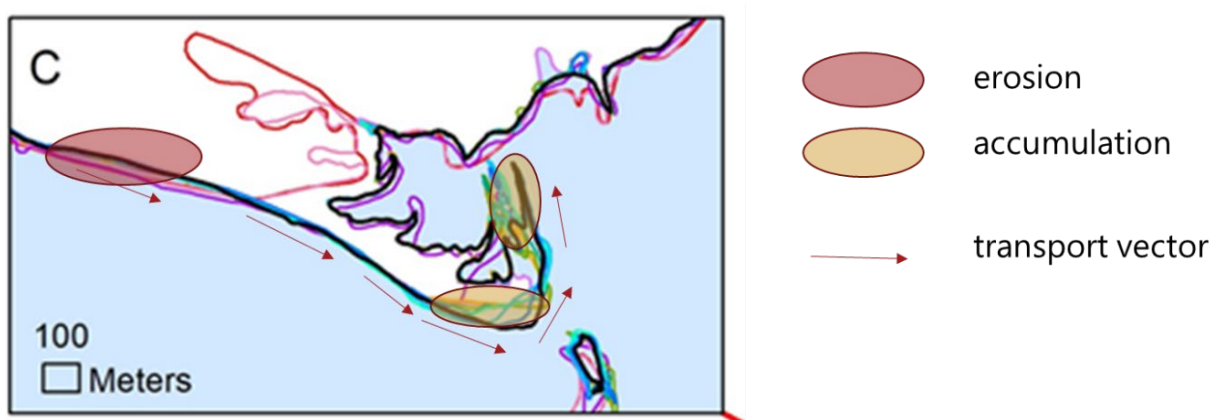
Figur 32: DSAS-transekter som viser hvordan kystlinjen vest for NATO-molen bygger ud og øst for molen eroderer og rykker tilbage (Miller 2020). EPR står for slutpunktsrate (End Point Rate), som er metoden benyttet til at beregne ændringsraterne.



Figur 33 A-B: (A) Vest for NATO-molen er der i dag opstået et mindre marint forland med en lille kystlagune. (B) Øst for molen eroderes kysten og der er etableret høfder, som skal fange sediment for at mindske erosionen af kysten (Miller 2020).

Et eksempel på den potentielle sedimenttransport langs kysten er illustreret i Figur 34. Figuren er baseret på den estimerede signifikante bølgehøjde og vinddata fra Tirstrup (Cappelen og Jørgensen 1999). Udviklingen af kyststrækninger med oddedannelse forgår ofte i en dominerende retning styret af gradienter i den kystparallelle transport. Særligt sker dette på kyststrækninger, hvor kystlinjens orientering ændrer sig meget. Erosion opstår på kyststrækninger, hvor sedimenttransporten væk fra kyststrækningen overstiger sedimenttransporten, som tilføres samme kyststrækning. Omvendt opbygges kysten, når tilførslen af sediment til en kyststrækning overstiger transporten væk fra samme kyststrækning.

Der findes en række kilder til de sedimenter, som aflejres i et kystområde i et glacialt landskab. Overvejende stammer sedimentet fra erosion af nærliggende områder, og en af hovedkilderne er erosion af klinter i glaciære aflejringer (Figur 21, s. 32). Derudover kan man observere, at sediment tilføres kysten igennem vandløb eller ved bølgeprocesser, som transporterer sediment fra kystplanet og op på stranden, men den tilførte mængde er relativ lille i forhold til den der tilføres ved erosion af klinter.



Figur 34: Netto sedimenttransport langs en krumme i Begtrup Vig/Rønne.

4.5 Diskussion

Den historiske udvikling af kystlinjerne i Nationalpark Mols Bjerger dokumenterer målbare ændringer over årtier. Bølger genererer ændringer langs kysten, og i naturlige systemer er der en rumlig sammenhæng mellem erosion og akkumulation.

Storme resulterer i en stor påvirkning på kysterne i form af akut erosion. To aspekter er vigtige at tage hensyn til, når kystpåvirkningerne af en storm vurderes: hvordan ser den eksisterende morfologi ud (hvor høj er den lokale topografi), og hvad er intensiteten af bølgeprocesser samt vandspejlsniveauet under stormen. En storms påvirkning kan inddeles i fire klasser (Sallenger 2000):

Med stigende vandspejlsniveau og bølgeintensitet har mindre storme med lav intensitet kun en påvirkning på stranden forårsaget af de intensiverede opskylsprocesser. Når stormintensiteten øges eller når topografien er lav, opstår der erosion af klitter eller klinger. En yderligere intensivering af stormen øger muligheden for at stranden overskylls. Med maksimal stormintensitet med store bølger og højt vandspejlsniveau, kan der opstå en oversvømmelse og drukning af kystlandskabet. Jo lavere baglandstopografien er, jo større er muligheden for oversvømmelse. På grund af de store rumlige forskelle i kysttopografien i nationalparken, observeres der ofte akut klint-erosion på kyststrækninger med en høj og stejl topografi, mens der sker overskyl eller oversvømmelse på strækninger med relative lave kyststrækninger med for eksempel krummoddesystemer. Ved oversvømmelse af kysten bevirker dette ofte, at odder eller strandvoldssystemer migrerer landværts.

Kronisk erosion er ofte knyttet til strømninger på langs af kystplanet, altså kystparallelt. Gradienter i kystparallelle strømninger sørger for erosion eller akkumulation af sediment langs kystlinjen. Strømning på langs af kysten og sedimenttransport skyldes ofte vinklen mellem kystlinjens orientering og det lokale bølgeklima. Hastigheden hvormed en krumodde forlægger sig langs kysten er afhængig af flere faktorer som 1) bølgeintensiteten og vinklen mellem bølge og kystnormal; 2) gradienter i sedimenttransporten på langs af kysten; 3) mængden af sediment til rådighed (afstand til kilden); 4) størrelsen af akkumulationsrummet (findes der allerede et lavvandsområde eller er kystnærhedszonen dyb); og 5) oprindelig undersøisk morfologi.

Når udviklingen af forskellige krumodder studeres (Figur 29), så ses det at alle er påvirket af overstående faktorer i forskellige grad. Krumodden omkring Hestehave Skov ved Kalø er et mønstereksempel på en krumodde, som forlægger sig mod øst, fordi der næsten udelukkende er en transport af sediment langs kysten. Krumodden i Begtrup Vig/Rønne er et eksempel, hvor den eksisterende undersøiske topografi har en stor betydning for udviklingen. Krumoddernes forlægningshastighed er større, når sedimenttransporten forgår over et lavvandsområde. For eksempel betyder den store lavvandede platform omkring Ahl Hage, at krumoddedannelsen er stor i dette område.

På kyststrækninger med en stejl topografi dannes der klintkyster. Disse klinger er ofte skabt i glaciære aflejringer som moræner. Sedimentet som ved erosion frigives fra klinerne transporteres enten havværts, hvor det aflejres under bølgebasis, hvilket ofte sker under storme, eller det bliver transporteret langs kysterne, hvor det indgår i dannelsen og udbygningen af odder og strandvolde. Alt andet lige sker der typisk en sortering af eroderet materiale her, hvor fint materiale føres til havs, mens grovere materiale forbliver langs kysten. Den relative forskel i størrelsen af sedimentfluxen på tværs og på langs af kysten er ukendt. Transport af sediment på tværs af kysten kan påvirke kystnære

vandområder og kan have en negativ effekt på f.eks. ålegræs, der vokser på strandplanet (Cabaco et al. 2008). Kystbeskyttelse af klinterne har ofte til formål at reducere sedimenttabet langs kysten for at beskytte økonomiske interesser som sommerhuse eller infrastruktur. Kystbeskyttelse af klinter kan dog have en negativ effekt, ved at der sker et tab af sediment fra den kystnære zone, som således kan øge vanddybden og derved reducere mængden af lys tilgængelig for bundvegetation (ofte ålegræs). Derudover bevirker kystbeskyttelsesplanlægning, at der er mindre sediment til rådighed til at vedligeholde og opbygge kysten på nedstrøms-kyststrækninger.

Menneskeskabte strukturer langs kysten kan direkte påvirke transportprocesserne i kystnære områder. Ebeltoft Færgehavn, NATO-molen i Ebeltoft Vig og mange små kystbeskyttelsesprojekter bremser sedimenttransporten langs kysten. Dette genererer aflejringer opstrøms for disse menneskeskabte barrierer, men erosion på nedstrøms side.

4.6 Konklusioner

I løbet af de seneste ca. 145 år har nogle kyststrækninger i Mols Bjerge oplevet tilbagerøyningsrater på op til 0,30 - 0,60 m/år og andre fremrykning på op til 0,50-0,75 m/år. Bølge-dominerede kystparallelle strømninger og gradienter i sedimenttransporten styrer primært den observerede rumlige variabilitet i ændringsraterne.

Akut erosion opstår ofte under storme med høj vandstand, som muliggør erosion af nationalparkens kystklinter, og hvor odder bliver påvirket af overskylsprocesser eller endda oversvømmelse.

Menneskelig aktivitet, primært i form af havneanlæg, forstyrrer den naturlige sammenhæng mellem områder med erosion og aflejring og skaber lokalt kyststrækninger med relativ høje ændringsrater.

Mængden af eroderet sediment fra kystklinterne, som transporteres og "tabes" til dybt vand eller transporteres langs kysten er ikke kvantificeret.

5 KYSTZONENS GEODIVERSITET OG NATURTYPER

5.1 Indledning

Naturen er et dynamisk kompleks af levende (biotiske) og ikke-levende (abiotiske) elementer. Biodiversitet er et udtryk for mangfoldighed og kvalitet af den levende natur; og begrebet biodiversitet har siden 1970-80erne haft enorm betydning for forskningsdagsordenen og forvaltningen af den danske natur. Begrebet geodiversitet blev introduceret første gang i 1993 umiddelbart efter FN's Verdenstopmøde i Rio de Janeiro i 1992 om miljø og udvikling, hvor bl.a. Biodiversitetskonventionen blev vedtaget. Siden 1990'erne har geologer og geomorfologer anvendt begrebet geodiversitet til at beskrive variationen af den abiotiske natur, og geodiversitet betragtes ofte som netop den abiotiske tvilling til biodiversitet. Geodiversitet er defineret som den naturlige variation af geologiske, geomorfologiske, jordartsmæssige og hydrologiske komponenter, og den inkluderer disse komponenters relationer, egenskaber og systemer (Gray 2013). Begrebet geodiversitet har dog ikke haft den samme gennemslagskraft som begrebet biodiversitet, til trods for at geobevarelse (geoconservation) har en lang historie, som går mere end et århundrede tilbage i tiden; det mest berømte eksempel er nok Yellowstone, som er verdens første nationalpark.

I Skandinavien har man gjort en stor indsats for at promovere geodiversitet (eller geologisk mangfoldighed). Allerede tilbage i 1996 tog Nordisk Ministerråd initiativ til et projekt, hvor opgaven var at introducere netop begrebet geologisk mangfoldighed og gøre det kendt i forbindelse med naturforvaltning. Og det har også haft en effekt. I samtlige af Danmarks nationalparker indgår elementer af geologisk mangfoldighed som en del af udpegningsgrundlaget. Forvaltningen i de danske nationalparker er dog af mere biologisk eller kulturel karakter.

Internationalt, og dermed også i Europa og Danmark, er der målsætninger om at forvalte naturen med en bæredygtig og helhedsorienteret økosystembaseret tilgang. Generelt kan et økosystem karakteriseres som et dynamisk kompleks af plante-, dyre- og mikroorganismesamfund og deres ikke-levende miljø i interaktion som én funktionel enhed. Ofte består et økosystem af flere habitater, dvs. flere grupper af dyr og planter, som lever i tilknytning til deres miljø. Fundamentet for disse habitater, og for økosystemer generelt, er kombinationen og interaktionen af biotiske og abiotiske elementer, og dermed af biodiversitet og geodiversitet. En økosystembaseret forvaltning forudsætter derfor integration og dermed kortlægning og monitorering af habitaternes biotiske og abiotiske elementer.

Kortlægning og monitorering af habitater foregår i Danmark i henhold til EU's habitatdirektiv fra 1992, som sammen med EU's fuglebeskyttelsesdirektiv udgør EU's naturbeskyttelsesdirektiver. Naturbeskyttelsesdirektiverne er grundlaget for Natura 2000, som er betegnelsen for et netværk af beskyttede naturområder i EU. Habitatdirektivet forpligter EU's medlemslande til at beskytte udvalgte naturtyper og arter, der er karakteristiske, sjældne eller truede i EU. For hvert Natura 2000-område er der udarbejdet et udpegningsgrundlag for at beskytte disse karakteristiske, sjældne eller truede naturtyper og arter i EU. Habitatdirektivet omfatter mere end 200 naturtyper og 700 arter af planter og dyr, hvoraf ca. 60 naturtyper og mere end 100 arter findes i Danmark. Naturtyperne inddeles ofte i marine og terrestriske naturtyper, fx rev i det marine miljø og rigkær i det terrestriske miljø.

Grænsezonen mellem det terrestriske og marine miljø – kystzonen som denne rapport omhandler – er karakteriseret ved både terrestriske og marine naturtyper, som fx *sandbanker*, *flodmundinger*, *kystlaguner* og *strandsøer*, *bugter* og *vige*, *rev* og *boblerev*, *strandvolde* og *stenede strande*, *klinter*, *strandenge* og *klitter*.

EU's vandrammedirektiv bidrager også til at fastlægge rammerne for beskyttelsen af overgangsvande som flodmundinger, laguner og kystvande i kystzonen ved fastsættelse af miljømål, men direktivet er ikke – som EU's habitatdirektiv nævnt ovenfor – målrettet en beskyttelse af udvalgte naturtyper og arter. Ligeledes kan EU's oversvømmelsesdirektiv have indflydelse på naturbeskyttelsen i kystzonen, men dette direktiv er heller ikke målrettet en beskyttelse af udvalgte naturtyper og arter. EU's vandrammedirektiv og oversvømmelsesdirektiv er derfor ikke inddraget i nærværende rapport.

Udover den europæiske og internationale naturbeskyttelse er der også en national naturbeskyttelse. Mange naturområder er forsvundet fra landskabet, og for at bremse denne udvikling besluttede Folketinget allerede tilbage i 1972 at beskytte bestemte naturtyper. I 1992 blev disse bestemmelser udvidet til den såkaldte Naturbeskyttelseslov, som blandt andet indeholder bestemmelser om beskyttelse af forskellige naturtyper, hvilket er beskrevet i lovens §3. Disse §3-naturtyper omfatter søer, moser, ferske enge, strandenge, heder, overdrev og vandløb. I modsætning til habitatdirektivets naturtyper er §3-naturtyperne beskyttede overalt, hvor de forekommer i Danmark. Med hensyn til strandenge betyder det, at disse områder er beskyttet i henhold til naturbeskyttelseslovens §3, men indenfor Natura 2000-områderne kan dele af disse områder med strandeng desuden være beskyttet i henhold til habitatdirektivet. Natura 2000-områderne bliver som hovedregel beskyttet af den eksisterende natur- og miljølovgivning suppleret med særligt stramme retningslinjer for, hvornår der kan gives tilladelser, der berører Natura 2000-områder. Strandenge udpeget i henhold til habitatdirektivet reguleres dermed i henhold til miljømålsloven, mens alle øvrige områder med strandeng følger naturbeskyttelsesloven.

Sidst men ikke mindst er det muligt at beskytte naturarealer gennem fredning. Siden Naturfredningsloven trådte i kraft i 1917, har fredninger været et centralt værktøj i naturbeskyttelsen. Fredninger er det ældste og mest vidtgående instrument til beskyttelse af flora og fauna, landskaber, kulturspor, naturvidenskabelige og undervisningsmæssige værdier. I dag findes bestemmelserne om fredning i naturbeskyttelsesloven. Fredning er ikke målrettet bestemte naturtyper, men en fredning kan udmærket supplere beskyttelsen af naturtyper i henhold til habitatdirektivet og/eller naturbeskyttelsesloven, bl.a. ved at beskytte fredede naturarealer mod bebyggelse. Naturbeskyttelseslovens § 3 sikrer en generel beskyttelse af en række naturtyper imod aktive indgreb, som ændrer naturarealernes tilstand. Men bestemmelsen kræver derimod ikke naturbeskyttende indgreb og sikrer fx ikke imod, at naturarealerne springer i skov eller på anden måde gror til. En fredning kan for et konkret område fastsætte bestemmelser, der giver kommunen mulighed for en aktiv pleje af arealerne for at opretholde en ønsket tilstand. En fredning kan samtidig skabe mulighed for at anlægge stier, der giver offentligheden adgang til at opleve disse naturarealer. Desuden har man med en fredning mulighed for at skabe forbindelse mellem isolerede beskyttede naturarealer, f.eks. ved at udtage arealer af landbrugsdrift (Naturstyrelsen 2013). Ligeledes kan en fredning i nogle tilfælde supplere den særlige planlægning i Natura 2000-områder med fx at give offentligheden bedre adgang til naturområderne, forudsat offentlighedens adgang ikke er i strid med hensynet til arterne på udpegningsgrundlaget (Naturstyrelsen 2013). Med andre ord kan naturtypen strandeng både være beskyttet i henhold til naturbeskyttelsesloven og være underlagt yderligere beskyttelse i henhold til habitatdirektivet og dermed miljømålsloven og desuden være underlagt fredning – dette eksempel illustrerer samtidig en stigende grad af beskyttelse og regulering i naturforvaltningen.

Generelt spiller geodiversiteten en væsentlig mindre rolle end biodiversiteten i naturforvaltningen, hvilket bl.a. kommer til udtryk gennem beskrivelsen af naturtyperne og ligeledes gennem diverse indikatorer til vurdering af miljøtilstand, hvor de primære indekser og indikatorer er af overvejende biologisk karakter, mens de mere fysiske er sekundære og af understøttende karakter.

Formålet i nærværende studie er at undersøge den terrestriske del af kystzonens geodiversitet og udpegede naturtyper med fokus på naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge med henblik på at udvikle abiotiske form- og materialesignaturer (geomorfologiske og jordartsmæssige komponenter af geodiversitet) for dermed at evaluere den nuværende udbredelse af naturtyperne samt at vurdere udbredelsen i fremtiden i relation til en forventet havspejlsstigning.

Analysen er en digital landskabsanalyse baseret på en geomorfometrisk analyse af et udsnit af den landsdækkende digitale terrænmodel (DTM) kombineret med informationer fra det nationale jordartskort. Analysen vil specifikt:

- Identificere og beregne naturtypernes morfometriske karakteristika med henblik på at udvikle abiotiske form- og materialesignaturer for naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge.
- Evaluere naturtypernes nuværende udbredelse ved at sammenligne udbredelsen af udpegede områder med mulige områder baseret på naturtypernes abiotiske form- og materialesignaturer.
- Vurdere naturtypernes udbredelse i fremtiden i relation til en forventet havspejlsstigning ved at sammenholde udbredelsen af naturtypernes abiotiske form- og materialesignaturer med bl.a. havspejlstigningens niveau samt eksponeringen af og udbredelsesrummet for naturtyperne.

Miljøstyrelsens beskrivelser af naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge omfattet af habitatdirektivet (habitat-naturtyper) og for strandengenes vedkommende også naturbeskyttelsesloven (§3-naturtyper) er vedhæftet i Bilag 1.

5.2 Lokalitetsbeskrivelse

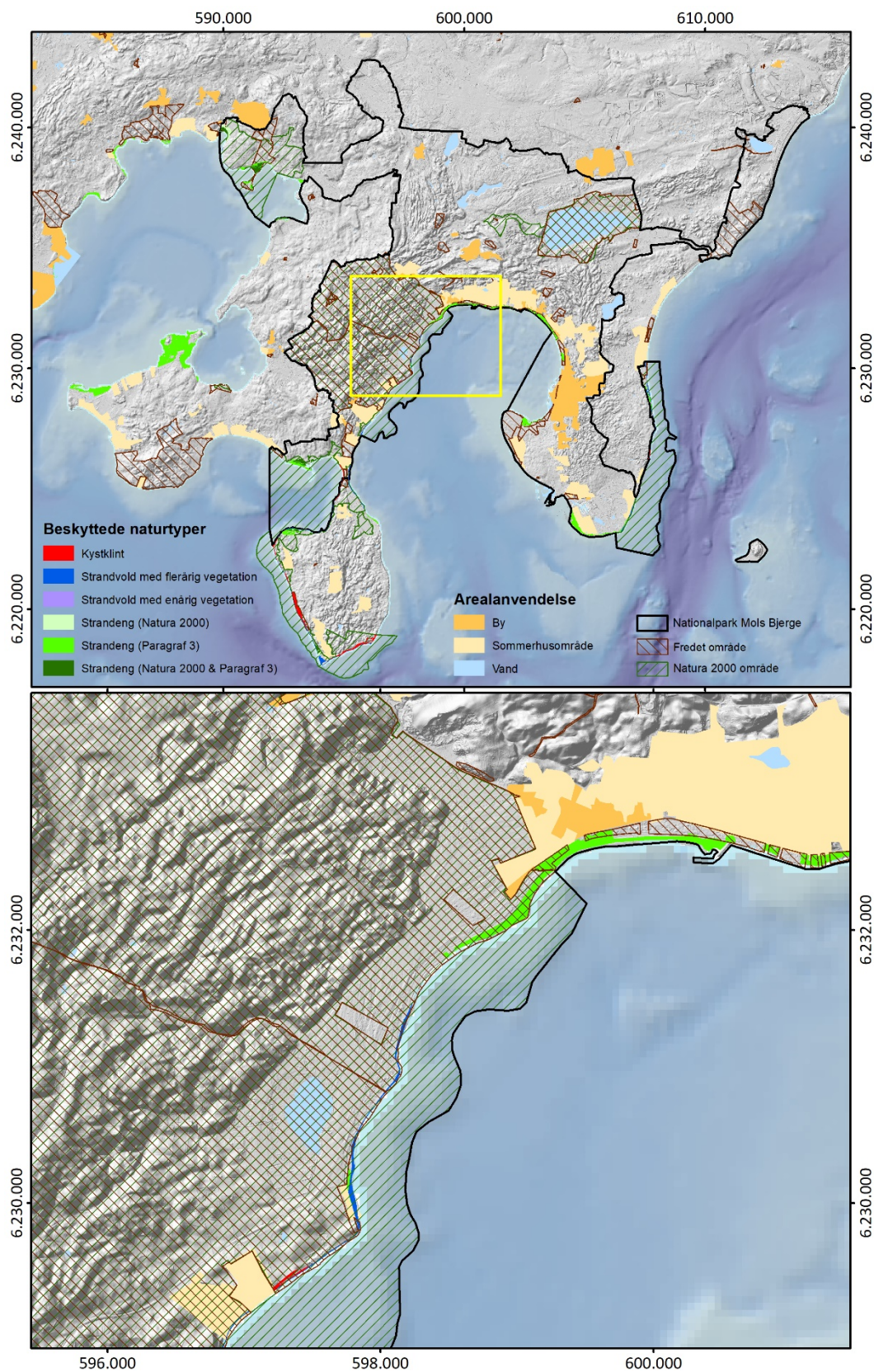
Nationalparkens afgrænsning er tæt knyttet til Natura 2000-områderne og deres afgrænsning. Fem Natura 2000-områder er helt eller delvist beliggende indenfor NPMB, eller omvendt omfatter NPMB helt eller delvist fem Natura 2000-områder. Afgrænsningen af NPMB og de fem Natura 2000-områder er vist i Figur 35. Heraf fremgår det tydeligt, at afgrænsningen af NPMB følger afgrænsningen af Natura 2000-områderne dog med undtagelse af Helgenæs, som for nuværende ikke er en del af NPMB. Fire af de fem Natura 2000-områder indeholder kyststrækninger. Disse fire Natura 2000-områder er *Kaløskovene og Kaløvig* (nr. 230), *Begtrup Vig og kystområder ved Helgenæs* (nr. 51), *Mols Bjerge med kystvande* (nr. 227) og *Kobberhage kystarealer* (nr. 231).

Natura 2000-områdernes udpegningsgrundlag er relativt bredt, idet områderne omfatter både terrestriske og marine naturtyper og dermed også naturtyperne karakteristiske for kystzonen i overgangen mellem land og hav. Habitat-naturtyperne 1230 *Klinter eller klipper ved kysten* (her kystklinter), 1210 *Enårig vegetation på stenede strandvolde* (her strandvolde med enårig vegetation) og 1220 *Flerårig vegetation på stenede strande* (her strandvolde med flerårig vegetation) og 1330 *Strandenge* findes alle på tværs af de fire Natura 2000-områder (Naturstyrelsen 2016a, b, c, d). Naturtypen kystklint (1230) er udpegningsgrundlag i *Begtrup Vig og kystområder ved Helgenæs* (nr. 51), *Mols Bjerge med kystvande* (nr. 227) og *Kobberhage kystarealer* (nr. 231). Naturtyperne strandvolde (1210 og/eller 1220) er udpegningsgrundlag i *Kaløskovene og Kaløvig* (nr. 230), *Begtrup Vig og kystområder ved Helgenæs* (nr. 51) og *Kobberhage kystarealer* (nr. 231). Naturtypen strandeng (1330) er udpegningsgrundlag i *Kaløskovene og Kaløvig* (nr. 230) og *Begtrup Vig og kystområder ved Helgenæs* (nr. 51).

Den rumlige fordeling af habitat-naturtyperne kystklinter (1230), strandvolde (1210 og 1220) og strandenge (1330) samt §3-naturtypen strandeng, der både findes indenfor og udenfor Natura 2000-områderne samt indenfor og udenfor NPMB, er vist i Figur 35. Zoom-in af kyststrækningen omkring Femmøller Strand centralt i NPMB er vist som eksempel, eftersom det er vanskeligt at se udbredelsen på stor skala, idet udpegningsområderne langs kysten naturligt udgøres af relativt smalle bånd. Dette er tydeligt illustreret i zoom-in eksemplet fra Femmøller Strand (Figur 35).

Enkelte kyststrækninger er desuden beliggende i fredede områder, hvilket gælder både indenfor og udenfor NPMB. Kyststrækninger ved hhv. Kalø Vig, Dragsmur, Femmøller Strand og Boeslum Strand, alle i NPMB, er beliggende i NATURA2000-områder og er samtidigt også fredede områder (Figur 35).

En del af kyststrækningen både indenfor og udenfor NPMB er bebygget. Dette gælder specielt kyststrækningen i Ebeltoft Vig, hvor der er bybebyggelse omkring Ebeltoft samt sommerhusområder langs hele vigen fra Ebeltoft til Femmøller Strand (Figur 35). Bebyggelse udgør generelt en afgrænsning for naturtyperne og udgør desuden en barriere for en potentiel dynamik og migration af naturtyperne.



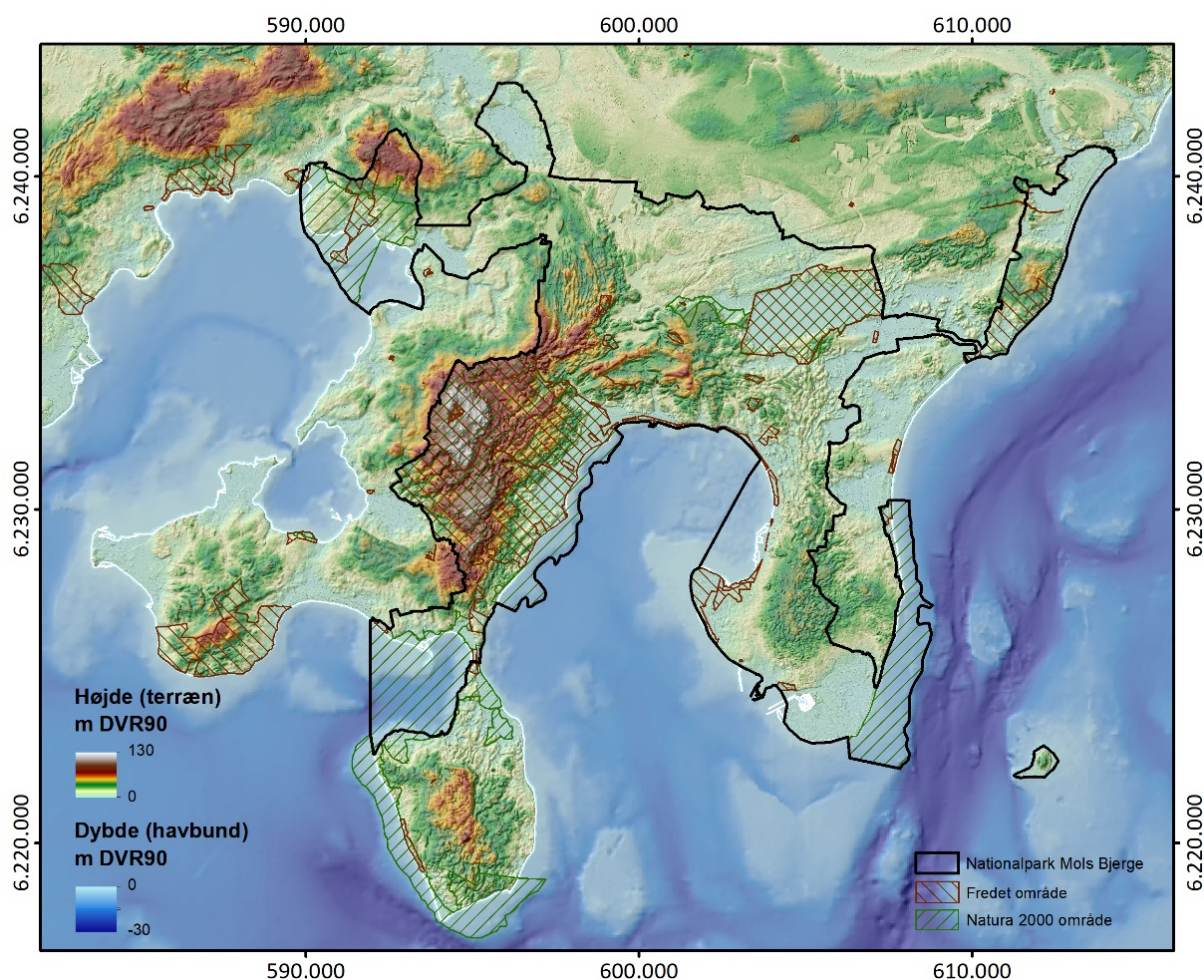
Figur 35: Øverst: Oversigtskort med de beskyttede habitat-naturtyper kystklint (1230), strandvold med både enårig og flerårig vegetation (1210 og 1220) og strandeng (1330) samt §3-naturtypen strandeng. Nederst: Zoom-in af strækningen fra Fuglsø til Natomolen som eksempel på beskyttede naturtyper og arealanvendelse. Samme udsnit bruges som eksempel i sektion 5.4.

5.3 Materialer og metoder

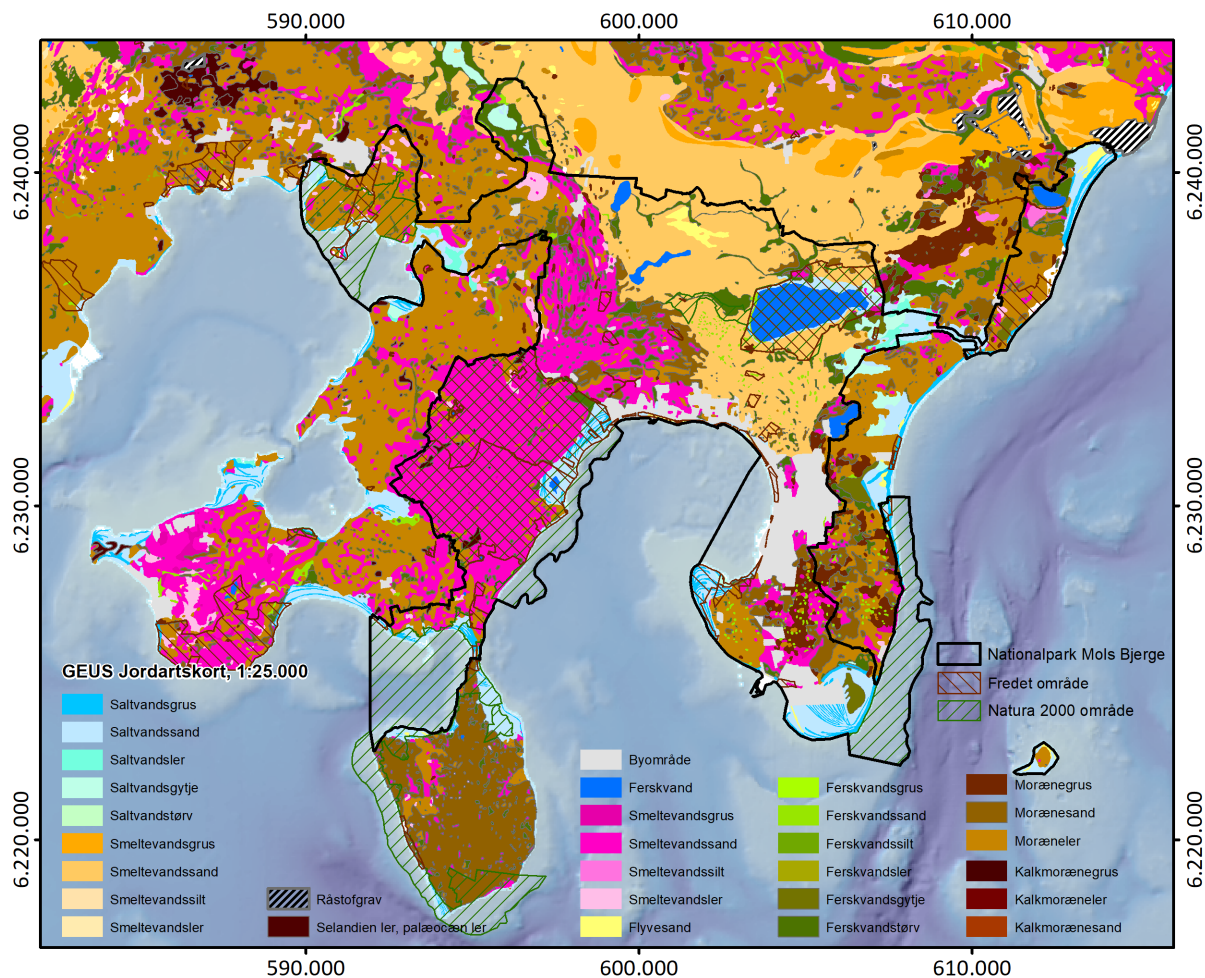
5.3.1 Datagrundlag for geodiversitet-komponenter

Analysen af naturtyperne baserer sig på udsnit af data fra:

- 1) Den nationale digitale terrænmodel (DTM) fra 2018 (www.sdfe.dk) (Figur 36). Cellestørrelsen på data er oprindeligt 40 cm, men til denne analyse er cellerne resamplet til 1,6 m, da dette er vurderet som rigelig høj opløsning til formålet. Til identificering af naturtypernes morfometriske karakteristika benyttes en række afledte produkter af terrænets geometri, herunder hældning, krumning, ruhed og topografisk positions-index. Disse vil blive beskrevet nærmere i de følgende afsnit.
- 2) Det nationale jordartskort (www.geus.dk – senest opdateret i september 2020) (Figur 37).



Figur 36: Digital terrænmodel (DTM) (SDFE), senest opdateret i 2018.



Figur 37: Jordartskort (GEUS), senest opdateret i september 2020.

5.3.2 Naturtypernes geodiversitet-komponenter

De tre naturtyper (klinter, strandvolde og strandenge) har hver især nogle særegne morfometriske og materialemæssige karakteristika. Disse karakteristika beskrives og kvantificeres i dette afsnit, og i det efterfølgende afsnit er parametrene ført ind i flow-diagrammer til identifikation af naturtyperne.

Kystklinter

Som beskrevet i indledningen under Natura 2000 naturtypebeskrivelsen, forekommer kystklinter ganske tæt ved havet, da det netop er eksponeringen til havet og havets erosion, der er årsag til dannelsen af kystklinterne. Kystklinterne ses som stejle skråninger på bagstranden, og derfor er den tydeligste morfometriske karakteristika da også hældningen af klinten. Til identifikation af kystklinter er derfor benyttet terrænets hældning, som er afledt af DTM'en (Figur 47 i Bilag 2). Der findes ikke en egentlig definition på hældningen af kystklinter, men baseret på de eksisterende kystklinter i området er det estimeret at hældningen af den enkelte kystklint, eller dele af kystklinten, generelt er 30° eller mere. Højden af kystklinten er i denne analyse defineret som værende minimum 5 meter, ligeledes estimeret på baggrund af eksisterende kystklinter.

Kystklinterne kan opdeles i to klasser: 1) Nuværende kystklinter (senere blot refereret til som kystklinter), og 2) Fossile kystklinter. Opdelingen baseres på nærheden til kysten, så de nuværende kystklinter ligger tæt på den nuværende kystlinje, og de fossile kystklinter ligger tæt på den forhistoriske kystlinje. Den forhistoriske kystlinje bestemmes som den landværts afgrænsning af det marine forland, og det marine forland er bestemt som en sammenslutning af saltvandsaflejringerne fra jordartskortet.

Strandvolde

Strandvolde ses ofte i landskabet som karakteristiske parallelle aflange rygge. Til identifikation af strandvoldene benyttes terrænets "krumning", hvilket er hældningen af hældningen; eller forklaret på en anden måde er krumningen et udtryk for om hældningen er stigende eller faldende. Størrelsen af strandvolde kan variere meget, og derfor benyttes krumningen beregnet på to forskellige skala-niveauer: 1,6 m cellestørrelse (Figur 48 i Bilag 2) og 8 m cellestørrelse (Figur 49 i Bilag 2).

Foruden terrænets krumning er det muligt at lokalisere, hvor i landskabet der findes toppe og lavninger. Dette gøres ved brug af et Topographic Positioning Index (TPI), som fortæller noget om, hvorvidt en celle i DTM'en ligger højere (toppe – positiv TPI) eller lavere (lavninger – negativ TPI) i forhold til de omkringliggende celler. Hvor mange omkringliggende celler, der inddrages i analysen, har betydning for størrelsen af de landskabsformer der identificeres. Til identifikation af strandvolde bruges en søgeradius på 59,2 m, dvs. ca. 60 m. Dette er mindre end i den efterfølgende identifikation af strandenge, så for at skelne imellem de to kaldes denne for Fin-skala TPI (F-TPI) (Figur 50 i Bilag 2). Beregning af TPI er udført i Benthic Terrain Modeler (BTM), som er et værktøj til geomorfometrisk klassifikation (Wright et al. 2005). For en mere detaljeret gennemgang af BTM og anvendelsen til geomorfologisk kortlægning i kystzonen refereres til Andersen et al. (2017) og Hansen et al. (2021).

Strandvoldene bestemmes som beliggende enten: 1) I det marine forland, eller 2) Nær de identificerede kystklinter. Strandvolde er marine aflejringer og derfor kan de findes i det marine forland, hvor det marine forland i denne analyse er afgrænset som en sammenslutning af saltvandsaflejringerne fra jordartskortet. I definitionen af Natura 2000-naturtyperne indgår stenede og grusede strande i den samme naturtype som strandvoldene, og nærheden til kystklinterne er derfor medtaget i analysen ud fra en betragtning om, at kystklinterne som oftest findes i forbindelse med stenede og grusede strande.

Strandenge

Strandenge kan morfometrisk karakteriseres som værende flade områder (evt. med mindre morfologiske enheder såsom tuer af gul engmyre), og strandengene findes nær kysten på områder der oversvømmes af havvand. Til identifikation af strandvolde bruges to morfometriske parametre, som begge kan være indikatorer for flade områder: TPI og terrænets ruhed.

Til identifikation af strandengene beregnes TPI på lidt større skala (søgeradius på 145,6 m, dvs. ca. 150 m) end for strandvoldene, idet strandengene breder sig over større flade arealer. Dermed undgår vi at inkludere små toppe (fx myretuer) og lavninger i analysen. På grund af den større skala kaldes parameteren her for Broad-scale TPI (B-TPI) (Figur 51 i Bilag 2). Flade områder kan identificeres som B-TPI værdier tæt på nul.

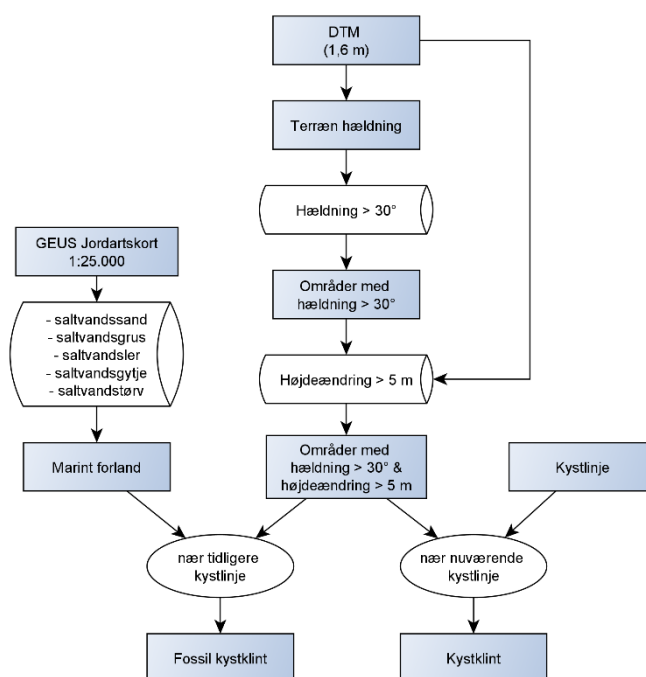
Terrænets ruhed er en kvantificering af højdevariationen for hver celle i DTM'en i forhold til dens naboceller (Figur 52 i Bilag 2). En lav ruhed er forbundet med lille højdevariation, som dermed findes på flade områder. Ruheden er beregnet på en cellestørrelse på 8 m, for ikke at fange de mindre variationer i terrænet som kan forekomme indenfor strandengene (fx myretuer).

Det antages at strandengenes materiale består af marine aflejringer, idet den relative landhævning i området siden stenalderen har været 3-4 m. Strandenge skal som tidligere nævnt udsættes for oversvømmelser fra havvand, og for nuværende vil havvandet ikke kunne trænge op til 3 m over middelvandstand. De marine aflejringer er, som for de to andre naturtyper, defineret som en sammenslutning af saltvandsaflejringerne fra jordartskortet.

5.3.3 Identifikation og afgrænsning af kystklinter, strandvolde og strandenge

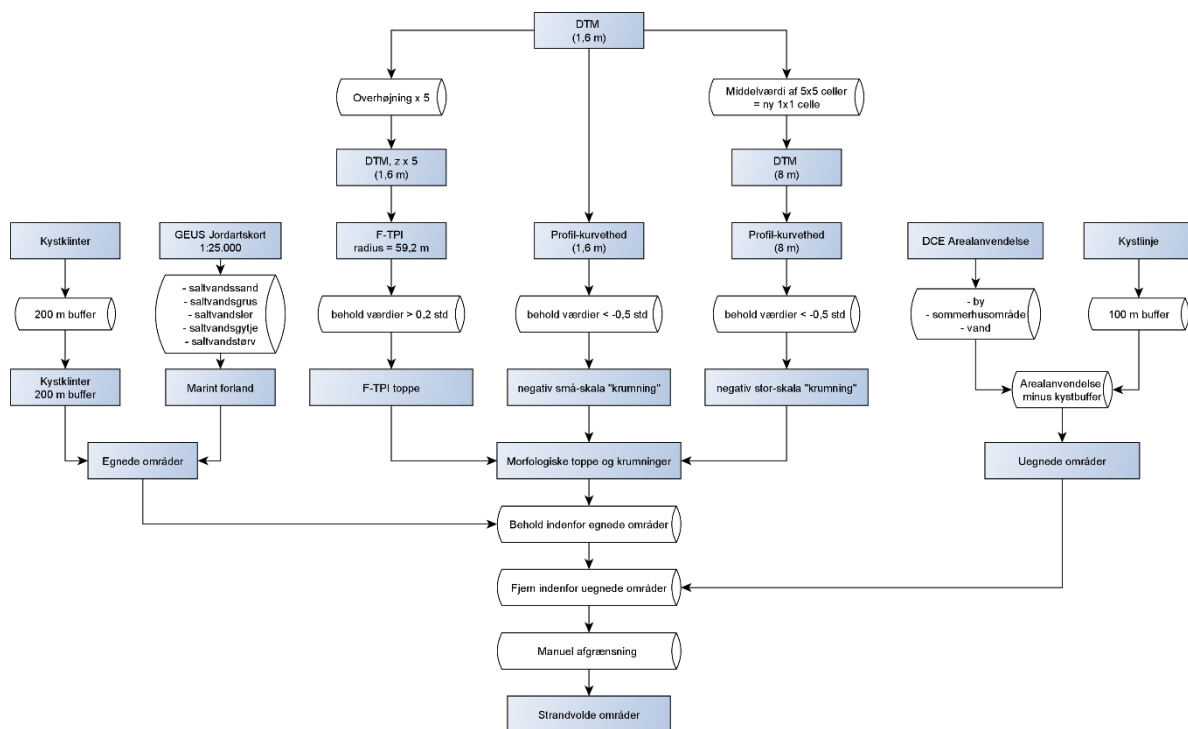
Metoderne til identifikation og afgrænsning er skematiseret i følgende flow-diagrammer for henholdsvis kystklinter (Figur 38), strandvolde (Figur 39) og strandenge (Figur 40) samtidig med, at kriterierne er opsummeret.

Kystklinterne er identificeret på baggrund af et morfometrien (hældning > 30°, højdeændring > 5 m). Kystklinterne er afgrænset på baggrund af nærhed til den nuværende kystlinje; mens fossile kystklinter er afgrænset på baggrund af materialet (saltvandsaflejringer) samt nærhed til tidligere kystlinje.



Figur 38: Identifikation af områder med kystklinter og fossile kystklinter.

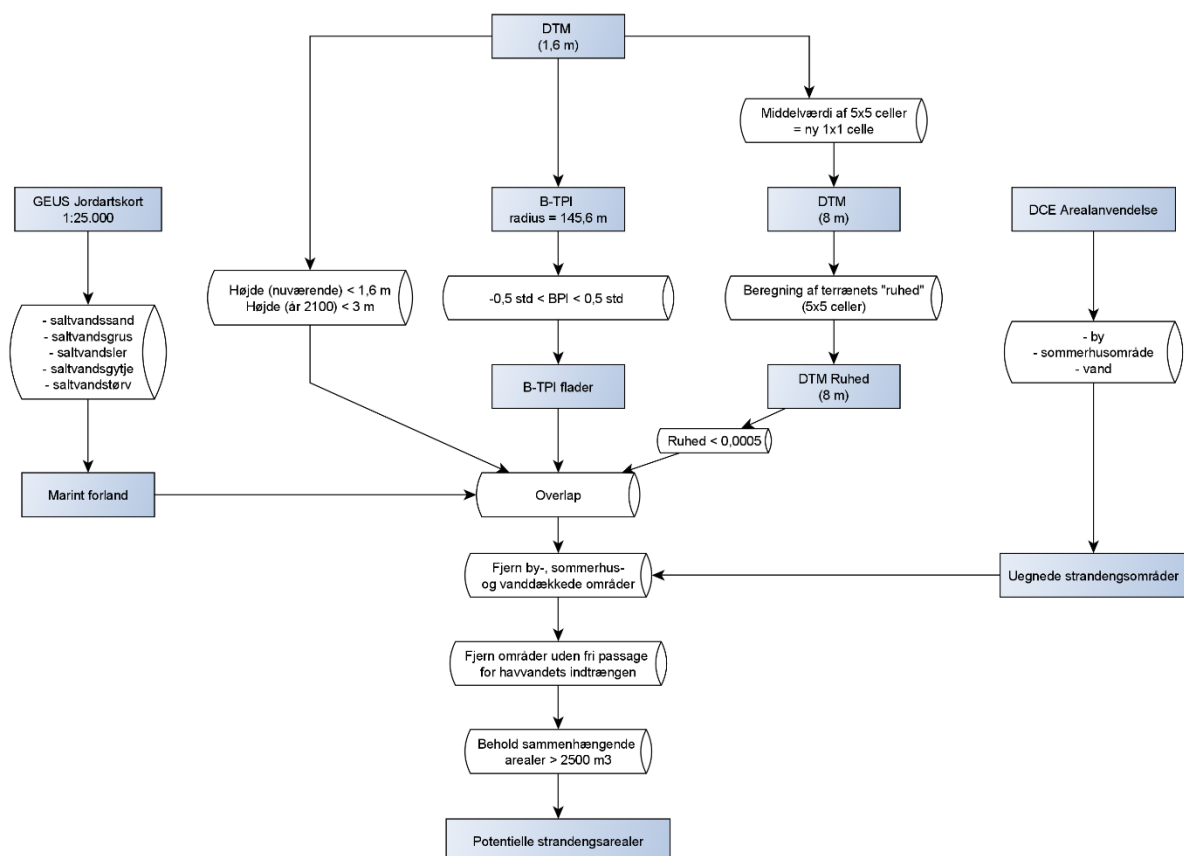
Strandvolde er afgrænset på baggrund af materialet (saltvandsaflejringer) samt nærhed til de morfometrisk kortlagte kystklinter. Strandvoldene er identificeret på baggrund af morfometrien (F-TPI toppe, små-skala krumning og stor-skala krumning), som har gjort det muligt at lave en yderligere manuel afgrænsning, hvor disse karakteristika fremtræder tydeligt.



Figur 39: Identifikation af områder med strandvolde.

Strandengene er identificeret på baggrund af morfometriske parametre for flade områder (B-TPI flader og lav ruhed) og afgrænset på baggrund af materialet (saltvandsaflejringer) samt områder med by, sommerhuse og vand. Slutteligt er der kun beholdt områder, hvor havvandet har fri passage til oversvømmelse, og hvor arealet er større end 2.500 m², hvilket svarer til minimums-arealet for §3-beskyttede strandenge.

Derudover er den maximale indtrængen af havvand på land brugt som en yderligere afgrænsning for strandengene. I den forbindelse er der opstillet to scenarier: 1) Nuværende scenarie, hvor den absolut maximale indtrængen af havvand går op til 1,6 m over middelvandstand, som ifølge Kystdirektoratets højvandsstatistikker svarer til en 20-års hændelse for Grenå havn (Kystdirektoratet 2018), og 2) Scenarie for år 2100, hvor den absolut maximale indtrængen af havvand går op til 3 m over middelvandstand, hvilket kommer af de 1,6 m fra højvandsstatistikkerne sammenlagt med 1,4 m, som er en estimeret maksimal havniveaustigning i Danmark frem mod år 2100 (www.klimatilpasning.dk).



Figur 40: Identifikation af områder med potentielle strandenge.

5.4 Resultater

5.4.1 Udpegede og fredede kystkliner samt områder med mulige kystkliner

En oversigt over arealudbredelsen af habitat-naturtypen 1230 *Klinter eller klipper ved kysten* (her kystkliner) i NPMB og den morfometriske identifikation af kystkliner (jf. afsnit 5.3.3) er vist i Tabel 4; som eksempel er den rumlige fordeling af arealudbredelsen med zoom-in omkring Femmøller Strand vist i Figur 41.

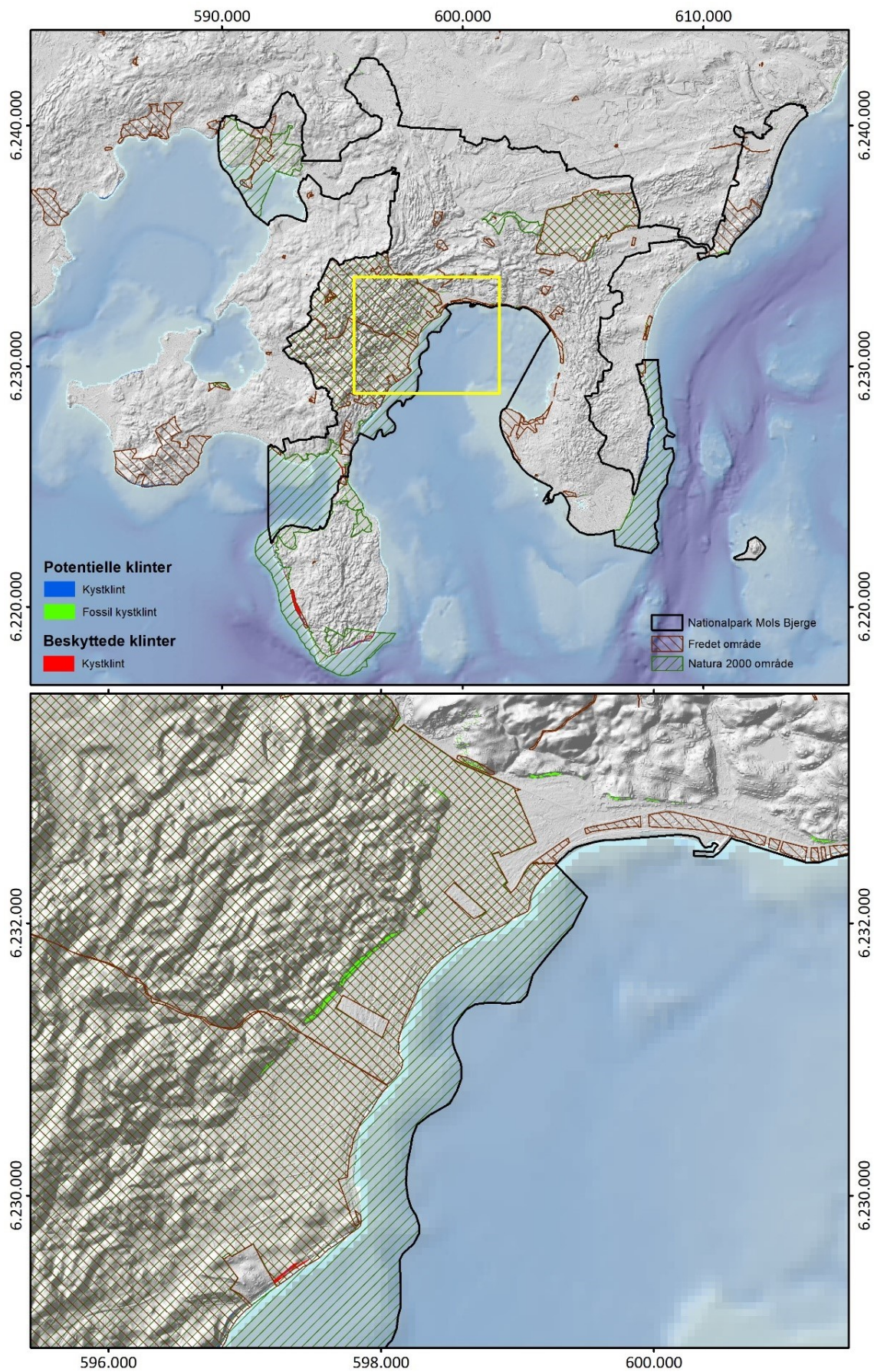
Det udpegede areal af habitat-naturtypen kystkliner (1230) i NPMB udgør $\approx 33.000 \text{ m}^2$, heraf opfylder et areal svarende til $\approx 9.000 \text{ m}^2$ ($\approx 28\%$) den morfometriske identifikation af kystkliner. Knap 20% ($\approx 6.000 \text{ m}^2$) af det udpegede areal af kystkliner ligger desuden indenfor fredede områder.

Den samlede arealudbredelse af kystkliner i NPMB på baggrund af den morfometriske identifikation er beregnet til $\approx 113.000 \text{ m}^2$, hvoraf $\approx 73.000 \text{ m}^2$ ligger indenfor Natura 2000-områderne og $\approx 30.000 \text{ m}^2$ indenfor fredede områder. Et areal svarende til $\approx 17.000 \text{ m}^2$ ligger udenfor både Natura 2000-områderne, §3-områderne og de fredede områder og er dermed ikke underlagt nogen specifik beskyttelse.

Tilsvarende er den samlede arealudbredelse af fossile kystklinter i NPMB beregnet til $\approx 99.000 \text{ m}^2$ på baggrund af den morfometriske identifikation. Heraf ligger $\approx 47.000 \text{ m}^2$ indenfor Natura 2000-områderne, mens $\approx 63.000 \text{ m}^2$ ligger indenfor fredede områder. For de fossile klinters vedkommende ligger et areal svarende til $\approx 45.000 \text{ m}^2$ udenfor både Natura 2000-områderne, §3-områderne og de fredede områder.

Tabel 4: Arealudbredelsen af kystklinter og fossile kystklinter.

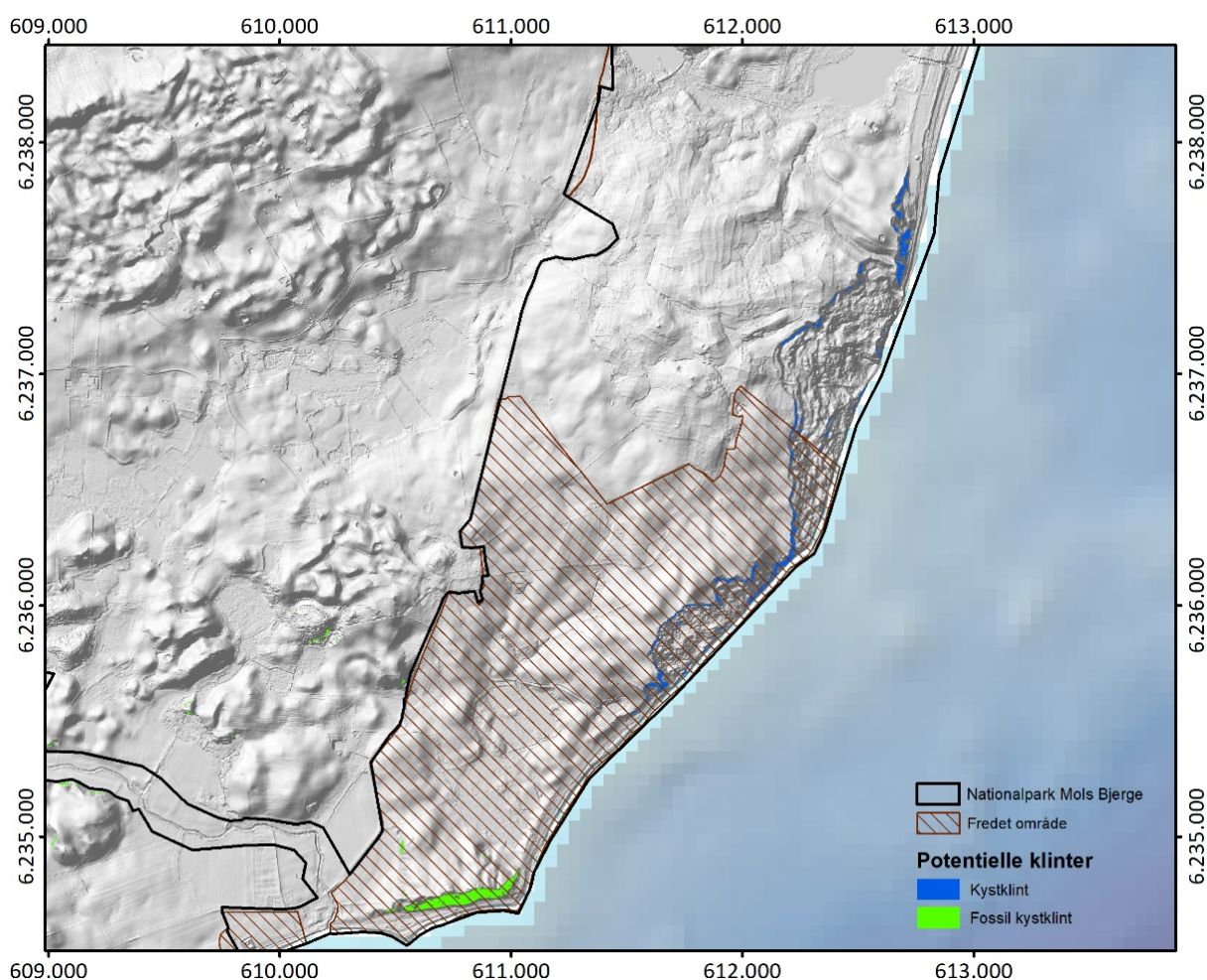
	Kystklinter (m ²)	Fossile kystklinter (m ²)
NATURA 2000		
NATURA2000-naturtype	33.019	-
NATURA2000-naturtype (morfometrisk)	9.249 (28%)	-
Indenfor fredet område	6.214	-
Morfometrisk		
Total	112.528	98.834
Indenfor NATURA 2000-område	72.641	47.421
Indenfor fredet område	30.050	52.936
Indenfor NATURA 2000-område, §3-område ELLER fredet område	95.640	71.248
Indenfor NATURA 2000-område, §3-område OG fredet område	11.090	21.370
Udenfor NATURA 2000-område, §3-område OG fredet område	16.887	27.586



Figur 41: Udpegede kystklinter (1230) og mulige kystklinter.

Eksempel med kystklinter og fossile kystklinter ved Jernhatten-Rugård

Et eksempel på områder med mulige kystklinter og fossile kystklinter, baseret på den automatiske klassifikation (jf. afsnit 5.3.3), er vist i Figur 42 med kyststrækningen ved Jernhatten-Rugård. Her er der identificeret en potentiel fossil kystklint ved Jernhatten samt en længere strækning med potentielle kystklinter omkring Rugård. Kyststrækningen ved Jernhatten-Rugård ligger udenfor Natura 2000-områderne i NPMB, men dele af kyststrækningen ligger til gengæld i et fredet område. Den nordligste del af strækningen med potentielle kystklinter ved Rugård Camping og umiddelbart syd for campingpladsen ligger dog udenfor det fredede område og er dermed ikke underlagt nogen specifik naturbeskyttelse.



Figur 42: Eksempel med kystklinter og fossile kystklinter ved Jernhatten-Rugård.

5.4.2 Udpegede og fredede strandvolde samt områder med mulige strandvolde

En oversigt over arealudbredelsen af habitat-naturtyperne 1210 *Enårig vegetation på stenede strandvolde* (her strandvolde med enårig vegetation) og 1220 *Flerårig vegetation på stenede strande* (her strandvolde med flerårig vegetation) i NPMB samt af den morfometriske identifikation af strandvolde (jf. afsnit 5.3.3) er vist i Tabel 5; som eksempel er den rumlige fordeling af arealudbredelsen med zoom-in omkring Femmøller Strand vist i Figur 43.

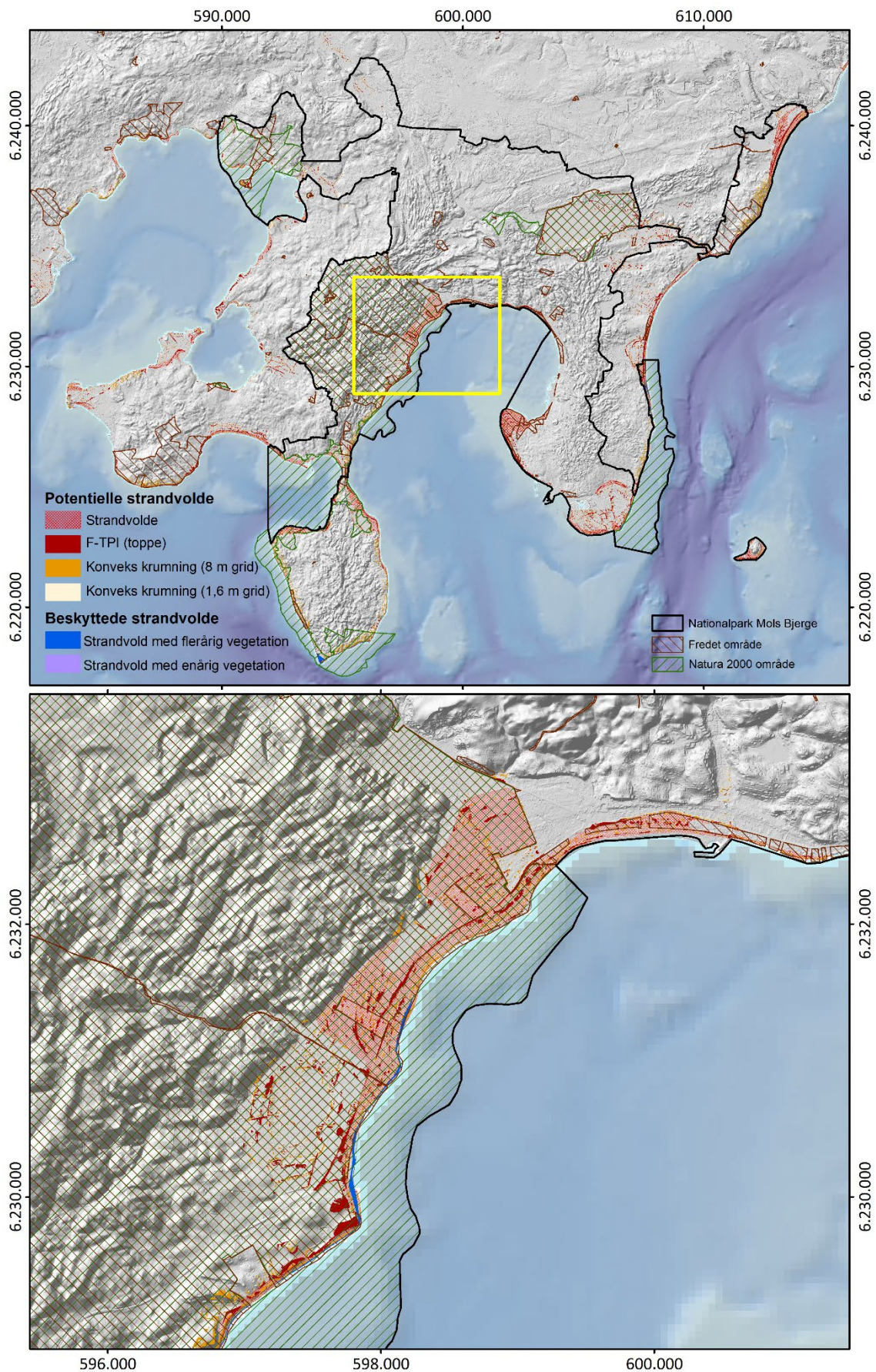
Det udpegede areal af strandvolde med enårig vegetation (1210) i NPMB udgør $\approx 62.000 \text{ m}^2$, heraf opfylder et areal svarende til $\approx 58.000 \text{ m}^2$ ($\approx 93\%$) den morfometriske klassifikation for strandvolde. Knap 10% ($\approx 5.000 \text{ m}^2$) af det udpegede areal af strandvolde med enårig vegetation ligger desuden indenfor fredede områder.

Hvad angår strandvolde med flerårig vegetation (1220) udgør det udpegede areal i NPMB ca. $\approx 157.000 \text{ m}^2$, hvoraf et areal svarende til $\approx 131.000 \text{ m}^2$ ($\approx 83\%$) opfylder den morfometriske klassifikation for strandvolde. For strandvolde med flerårig vegetation ligger $\approx 20\%$ ($\approx 31.000 \text{ m}^2$) af det udpegede areal desuden indenfor fredede områder.

Den samlede arealudbredelse af strandvolde i NPMB på baggrund af den morfometriske identifikation er beregnet til $\approx 5,7 \text{ mio. m}^2$, hvoraf $\approx 1,9 \text{ mio. m}^2$ ligger indenfor Natura 2000-områderne, mens $\approx 2,6 \text{ mio. m}^2$ ligger indenfor fredede områder. Et areal svarende til $\approx 1,5 \text{ mio. m}^2$ ligger udenfor både Natura 2000-områderne, §3-områderne og de fredede områder og er dermed ikke underlagt nogen specifik beskyttelse.

Tabel 5: Arealudbredelsen af strandvolde.

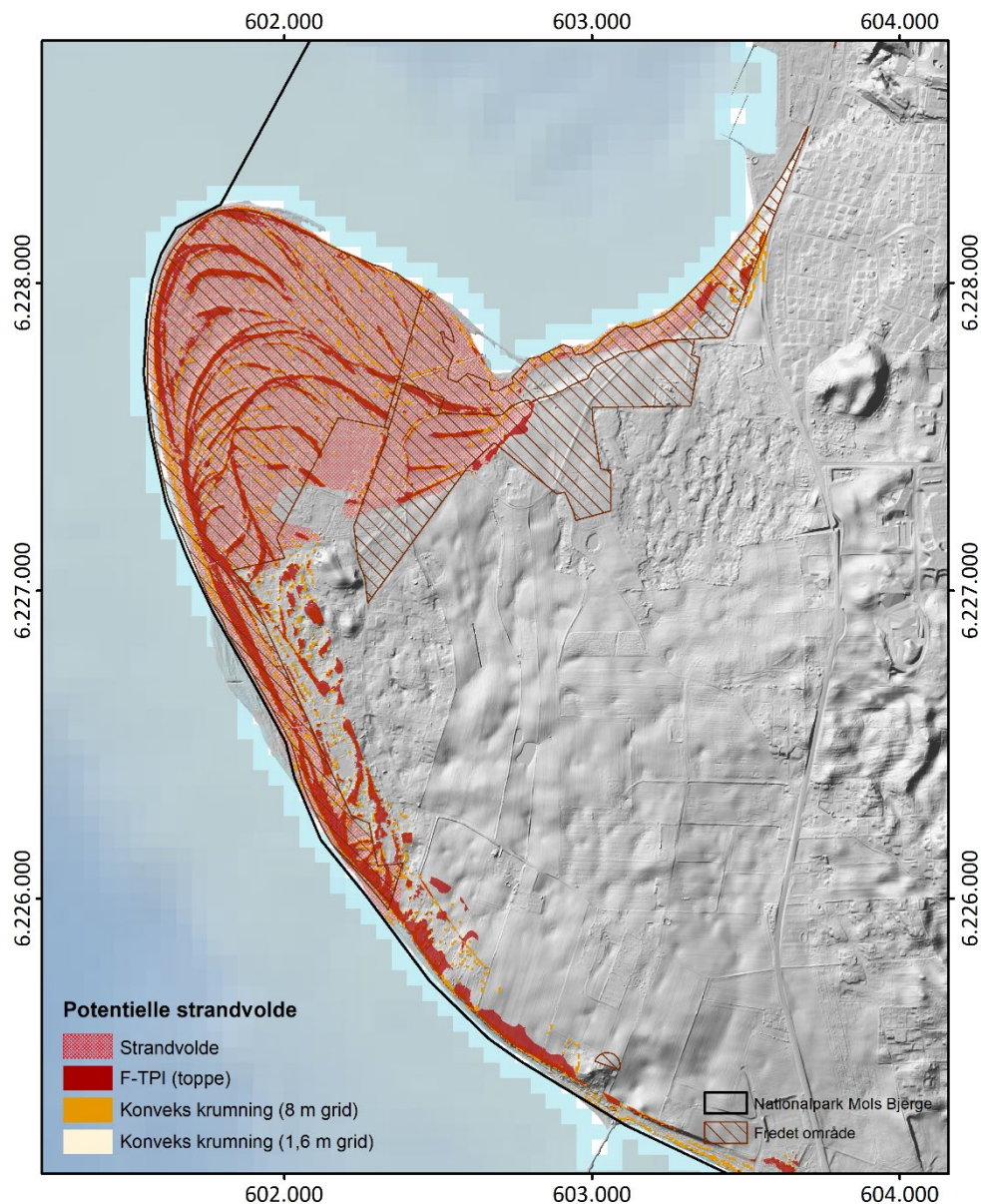
	Strandvolde (enårig vegetation) (m^2)	Strandvolde (flerårig vegetation) (m^2)	Strandvolde (m^2)
NATURA 2000			
NATURA2000-naturtype	62.106	156.605	-
NATURA2000-naturtype (morfometrisk)	58.020 (93%)	130.632 (83%)	-
Indenfor fredede områder	5.163	30.643	-
Morfometrisk			
Total	-	-	5.684.063
Indenfor NATURA 2000-områder	-	-	1.934.305
Indenfor fredet områder	-	-	2.608.790
Indenfor NATURA 2000-område, §3-område ELLER fredet område	-	-	4.230.797
Indenfor NATURA 2000-område, §3-område OG fredet område	-	-	567.607
Udenfor NATURA 2000-område, §3-område OG fredet område	-	-	1.453.266



Figur 43: Udpegede strandvolde med enårig og flerårig vegetation (1210 og 1220) og mulige strandvolde.

Eksempel med strandvolde ved Ahl Hage

Et eksempel på udbredte områder med strandvolde, baseret på den semi-automatiske klassifikation (jf. afsnit 5.3.3), er vist i Figur 44 med kystområdet ved Ahl Hage.



Figur 44: Strandvolde ved Ahl Hage.

Her er identificeret en strandvoldsslette, skabt med den nordvestlige udbygning af oddesystemet ved Ahl Hage (se også kapitel 4). Området med strandvolde ved Ahl Hage er dækket af skov ligesom kystklinerne ved Rugård. Strandvoldene fremstår dermed ikke tydeligt i det bevoksede landskab; enkelte steder genkendes strandvoldssystemerne dog relativt tydeligt i bevoksningsmønstrene. Strandvoldssletten ved Ahl Hage ligger udenfor Natura 2000-områderne i NPMB, men størstedelen af området med strandvolde ved Ahl Hage ligger til gengæld i et fredet område.

5.4.3 Udpegede og fredede strandenge samt områder med mulige strandenge

Udbredelsen af habitat-naturtypen *1330 Strandenge* og §3-naturtypen *Strandeng* i NPMB samt af den morfometriske identifikation af strandenge (jf. afsnit 5.3.3) er vist i Tab. 6; som eksempel er den rumlige fordeling af arealudbredelsen med zoom-in omkring Femmøller Strand vist i Fig. 45. Tab. 6 og Fig. 45 viser desuden udbredelsesrummet for strandeng fremskrevet for år 2100 med inddragelse af en estimeret maksimal havniveaustigning (jf. afsnit 5.3.3).

Tabel 6: Arealudbredelsen af strandenge.

	Strandenge (nuværende) (m ²)	Udbredelsesrum for strandenge (fremskrevet til 2100) (m ²)
NATURA 2000		
NATURA2000-naturtype	359.000	-
NATURA2000-naturtype (morfometrisk)	239.853 (67%)	-
Indenfor fredede områder	147.570	-
§3		
§3-naturtype	1.142.668	-
§3-naturtype (morfometrisk)	460.014 (40%)	-
Indenfor NATURA 2000-område	547.861	-
Indenfor fredet område	481.787	-
Indenfor NATURA 2000-områder ELLER fredede områder	777.247	-
Indenfor NATURA 2000-områder OG fredede områder	252.401	-
Udenfor NATURA 2000-områder OG fredede områder	365.421	-
Morfometrisk		
Total	1.153.712	4.364.548
Indenfor NATURA 2000-områder	678.854	1.648.228
Indenfor fredede områder	515.848	1.971.530
Indenfor §3-, NATURA 2000- ELLER fredede områder	1.110.050	2.719.911
Indenfor §3-, NATURA 2000- OG fredede områder	219.745	601.721
Udenfor §3-, NATURA 2000- OG fredede områder	43.661	1.646.636

Det udpegede areal af strandenge (1330) i NPMB udgør 359.000 m², heraf opfylder et areal svarende til ≈240.000 m² (≈67%) den morfometriske klassifikation for strandenge. Godt 40% (≈148.000 m²) af det udpegede areal af Natura 2000 strandenge ligger desuden indenfor fredede områder.

Det udpegede areal af §3-naturtype strandenge i NPMB er væsentligt større. Det udgør et areal på ≈1,1 mio. m², hvoraf ≈460.000 m² (≈40%) opfylder den morfometriske klassifikation for strandenge. Godt 70% (≈777.000 m²) af det udpegede areal af §3 strandenge ligger indenfor enten Natura 2000-områder eller fredede områder.

Den samlede potentielle arealudbredelse af strandenge i NPMB på baggrund af den morfometriske identifikation er beregnet til ≈1,2 mio. m², hvoraf ≈679.000 m² ligger indenfor Natura 2000-områderne og ≈516.000 m² indenfor fredede områder. Et samlet areal svarende til ≈44.000 m² ligger udenfor både §3-områderne, Natura 2000-områderne og de fredede områder; disse arealer er dermed ikke underlagt nogen specifik beskyttelse.

Tilsvarende er det samlede udbredelsesrum for strandenge fremskrevet for år 2100 beregnet til ≈4,4 mio. m² på baggrund af den morfometriske identifikation samt med inddragelse af en estimeret maksimal havniveaustigning. Heraf ligger ≈1,6 mio. m² indenfor nuværende Natura 2000-områder, mens ≈2,0 mio. m² ligger indenfor nuværende fredede områder. Et arealmæssigt udbredelsesrum for strandenge fremskrevet for år 2100 svarende til ≈1,6 mio. m² ligger udenfor nuværende §3-områder, Natura 2000-områder og fredede områder.

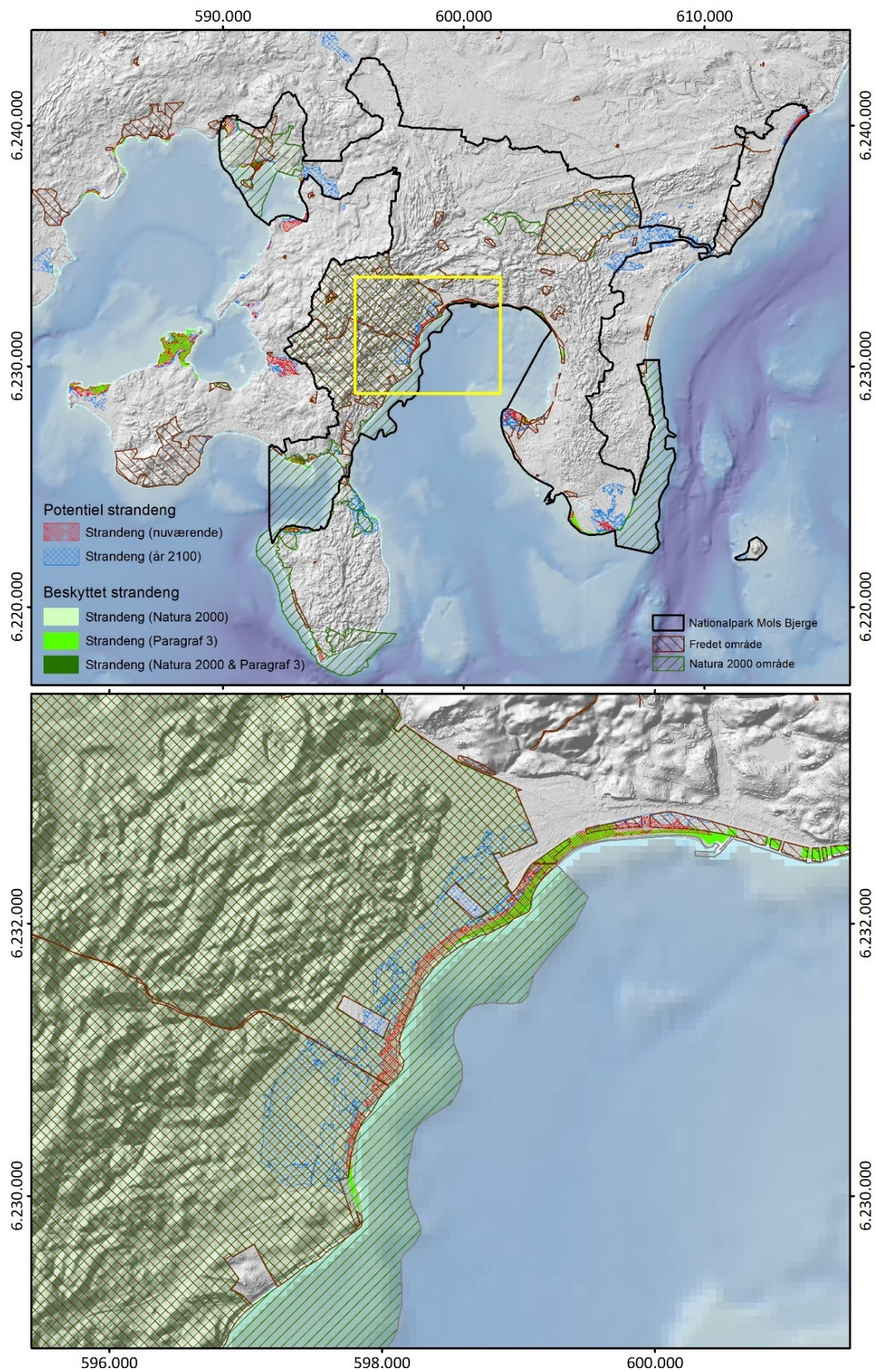
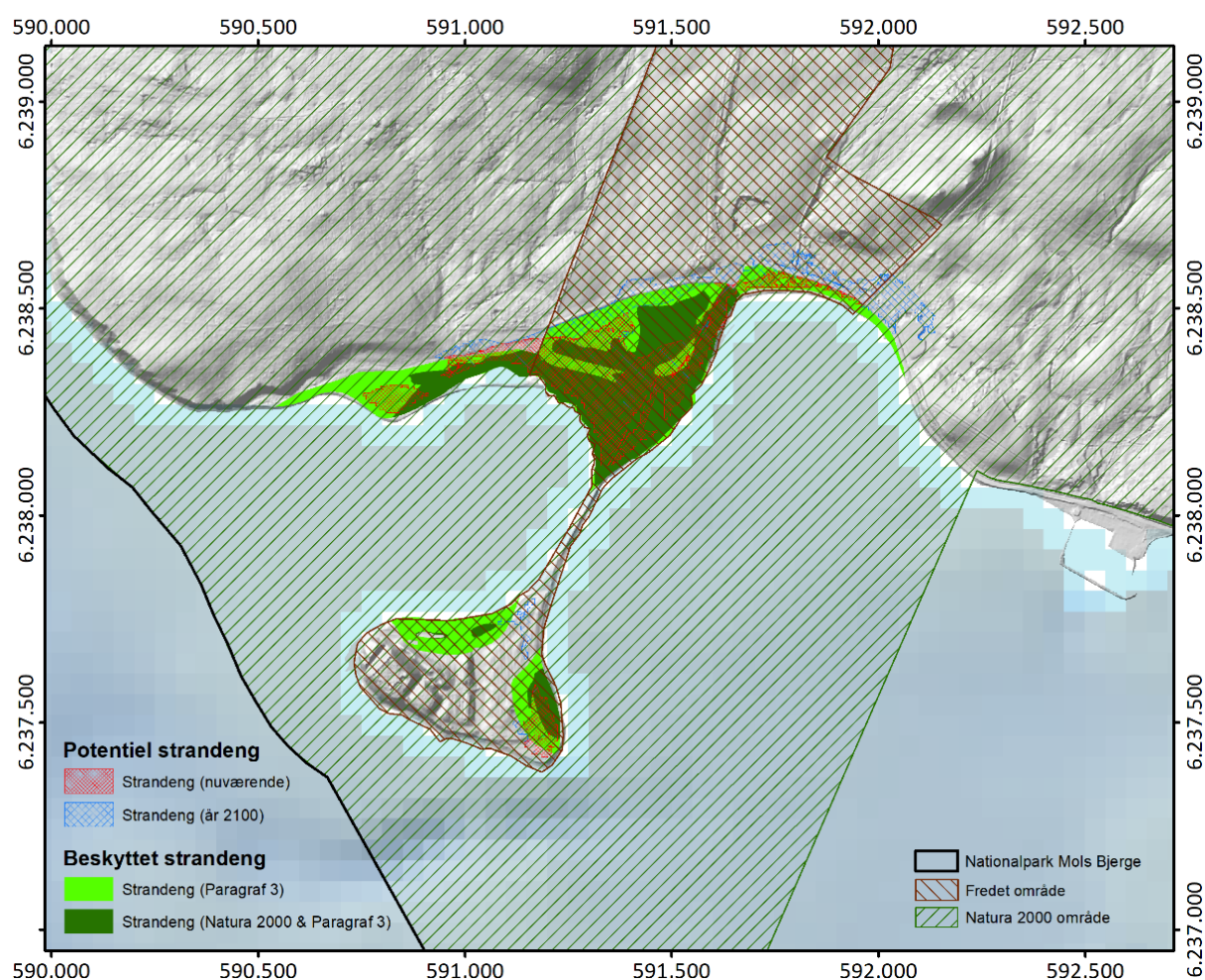


Fig. 45: Habitat-naturtype strandeng (1330), §3-naturtype strandeng og mulig strandeng i dag samt muligt udbredelsesrum for strandenge frem mod år 2100 ved havspejlsstigning på 1,4 m og yderligere stigning på 1,6 m fra højvandsstatistikkerne.

Eksempel med strandenge ved Kalø

Et eksempel på områder med udpegede strandenge samt områder med mulige strandenge, baseret på den semi-automatiske klassifikation (jf. afsnit 5.3.3), er vist i Figur 46 med kystområdet ved Kalø. Der er også identificeret områder med det potentielle udbredelsesrum for strandenge fremskrevet for år 2100 med inddragelse af en estimeret maksimal havniveaustigning (jf. afsnit 5.3.3).

Den reelle fremtidige udbredelse af strandenge er naturligvis også afhængig af infrastrukturelle barrierer og af anden arealanvendelse. Bl.a. ligger der en vej mellem dele af det potentielle udbredelsesrum for strandenge og den nuværende kystlinje. Samtlige potentielle nuværende og fremtidige områder med strandenge ligger indenfor det nuværende Natura 2000-område, og visse dele ligger sågar indenfor det fredede område ved Kalø.



Figur 46: Strandenge ved Kalø.

5.5 Diskussion

5.5.1 Semi-automatisk klassifikation og kortlægning af kystklinter, strandvolde og strandenge

Vi har identificeret og beregnet morfometriske karakteristika samt udviklet abiotiske form- og materialesignaturer for naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge (jf. afsnit 5.3). Dette har muliggjort en semi-automatisk klassifikation og kortlægning af kystklinter, strandvolde og strandenge (jf. afsnit 5.4.1-5.4.3).

For habitat-naturtypen kystklinter (1230) blev $\approx 28\%$ af det udpegede areal også klassificeret således (jf. afsnit 5.4.1 og Tabel 4). Den primære forklaring på det relativt lave procenttal er, at klassifikationen kun omfatter arealer med en hældning $>30^\circ$ og en højdeændring >5 m (jf. afsnit 5.3.3 og Figur 38). Det medfører, at kun de stejleste dele af kystklinterne klassificeres. Typisk består kystklinter af en konkav klintfod og evt. en konveks klinttop, som begge har relativt lavere hældninger. Den arealmæssige klassifikation kan dermed sandsynligvis forbedres ved en nabo-analyse og/eller buffer-analyse med inddragelse af arealer med konkav og konveks krumning, som ligger i direkte forlængelse af de stejleste områder. Klassifikationen er til gengæld fuld-automatisk, idet der ikke indgår nogle manuelle skridt i klassifikationen. Der eksisterer ikke nogen morfologisk definition af kystklinter ift. eksakt hældning og højdeændring, så yderligere analyser af kystklinternes småskala-morfologi kunne sandsynligvis optimere disse grænseværdier. Det bør også nævnes, at der i beskrivelsen af natur-habitattypen kystklinter (1230) ikke indgår en specifik definition af morfologien og morfometrien og dermed af hældningen og højdeændringen (jf. Bilag 1).

For habitat-naturtyperne strandvolde med enårig og flerårig vegetation (1210 og 1220) blev hhv. $\approx 93\%$ og $\approx 83\%$ af det udpegede areal også klassificeret således (jf. afsnit 5.4.2 og Tabel 5). De relativt høje procenttal kan givetvis forklare med kombinationen af geomorfologiske og jordartsmæssige komponenter af geodiversitet i klassifikationsnøglen (jf. afsnit 5.3.3 og Figur 39), idet strandvoldene både har en karakteristisk morfologi og morfometri og desuden er afgrænset til saltvandsaflejringer i det marine forland. Digitaliseringen af afgrænsningen af de individuelle strandvoldsområder er udført manuelt; klassifikationen er dermed semi-automatisk og ikke fuld-automatisk. Det betyder, at der er mulighed for forbedringer af klassifikationen hvad angår automatiseringen og dermed reproducerbarheden i kortlægningen. Det bør igen nævnes, at der i beskrivelsen af natur-habitattyperne strandvolde med enårig og flerårig vegetation (1210 og 1220) ikke indgår en specifik definition af morfologien og morfometrien (jf. Bilag 1).

For habitat-naturtypen strandenge (1330) blev $\approx 67\%$ af det udpegede areal også klassificeret således, mens det for §3-naturtypen strandenge var $\approx 40\%$ (jf. afsnit 5.4.3 og Tabel 6). Strandengene er ligesom strandvoldene klassificeret med en kombination af geomorfologiske og jordartsmæssige komponenter af geodiversitet (jf. afsnit 5.3.3 og Figur 40), hvor strandengene er flade og afgrænset til områder med saltvandsaflejringer og dermed også til det marine forland ligesom strandvoldene. Strandengene er dog ikke så morfometrisk særegne som strandvoldene, hvilket kan være en af forklaringerne på de lavere procentuelle sammenfald af klassificerede og udpegede arealer. I beskrivelserne af habitat-naturtypen strandenge (1330) og §3-naturtypen strandenge indgår ingen morfologisk eller morfometrisk beskrivelse (jf. Bilag 1).

5.5.2 Potentiale for yderligere kystklinter, strandvolde og strandenge

Vi har evalueret naturtypernes nuværende udbredelse ved at sammenligne udbredelsen af udpegede områder med de klassificerede områder – og dermed også med mulige områder for udpegning. Både for kystklinter, strandvolde og

strandenge gælder det, at der er klassificerede områder indenfor NPMB, som ligger udenfor diverse naturbeskyttelsesområder (jf. afsnit 5.4.1-5.4.3 og Tabel 4-Tabel 6). Specielt for strandvolde, hvor et areal svarende til $\approx 4,8$ mio. m² ligger udenfor både Natura 2000-områderne, §3-områderne og de fredede områder, og som dermed ikke er underlagt nogen specifik beskyttelse. Med andre ord er der et potentiale i NPMB for at udvikle yderligere områder med værdifulde kystnaturtyper.

5.5.3 Kystklinter, strandvolde og strandenge i fremtiden

Kysterosionen vil øges i fremtiden som følge af havspejlsstigningen og den forventede stigning i antallet af stormfloder (jf. kapitel 4). Det betyder også øget erosion af kystklinterne. Den arealmæssige udbredelse af kystklinterne forventes dog ikke at ændres væsentligt, idet erosionen generelt medfører en tilbagerykning af kystklinten. Havspejlsstigningen kan endog ende med at øge den arealmæssige udbredelse af aktive kystklinter, hvis de fossile kystklinter, der i dag ligger tilbagetrukket i landskabet, aktiveres som følge af havspejlsstigningen.

Den arealmæssige udbredelse af strandvolde vil derimod generelt blive reduceret, idet strandvoldene på det marine forland vil drukne som følge af en relativ havspejlsstigning. Med den øgede kysterosion, som følge af havspejlsstigningen og den forventede stigning i antallet af stormfloder, vil der fortsat være udbredte områder med stenede strande og stenede opskylsrygge. Den arealmæssige udbredelse af disse områder kan sågar potentielt øges. Ligeledes vil der med den øgede kysterosion fortsat være udbygning af oddesystemer med større og mindre opskylsrygge. Med andre ord er det sandsynligt, at udbredelsen af habitat-naturtypen strandvolde med enårig vegetation bevares og endog potentielt øges, mens udbredelsen af strandvolde med flerårig vegetation vurderes at blive reduceret. Denne reduktion kan midlertidigt forsinkes ved bl.a. omlægning af infrastruktur og bebyggelse, fx i forbindelse med klimatilpasning.

Den arealmæssige udbredelse af strandengene kan teoretisk set bevares, forudsat strandengene har mulighed for at rykke ind i landet med det stigende havspejl; det maksimale udbredelsesrum er dog reelt begrænset til det marine forland. Det betyder, at den arealmæssige udbredelse af strandengene kan bevares i en vis periode med et relativt stigende havspejl, men på lang sigt og med et fortsat relativt stigende havspejl vil den potentielle arealmæssige udbredelse af strandengene reduceres. Også for strandengene gælder det, at reduktionen kan forsinkes midlertidigt ved bl.a. omlægning af infrastruktur og bebyggelse. For den reelle fremtidige udbredelse af strandenge spiller al anden arealanvendelse naturligvis også en væsentlig rolle, om arealerne fx er udlagt som landbrugsarealer. Dette spørgsmål er for nylig forsøgt adresseret i NPMB i en kortlægning af strandengsarterne Jordbær-Kløver og Smalbladet Hareøre og en simpel modellering af habitattab ved indrykning af kystlinjen (Corvinus & Reddersen 2020).

En fremtidig oversvømmelse og drukning af naturtyper er dog ikke nødvendigvis ensbetydende med et tab af disse arealer som naturtyper. Drukne terrestriske kystnaturtyper som stenede strande og strandvolde kan potentielt transformeres til marine kystnaturtyper som stenrev. Dette vil afhænge af den lokale hydrodynamik, sedimenttransport og morfodynamik, om de drukne stenede strande og strandvolde eksponeres eller tilsandes. En relativ havspejlsstigning kan dermed generelt generere en omdannelse af terrestriske kystnaturtyper til marine kystnaturtyper. Yderligere forskning i både relikte og recente miljøer er nødvendig mhp. at belyse denne potentielle omdannelse.

5.5.4 Dynamisk naturbeskyttelse af kystzonens naturtyper i fremtiden

Med havspejlsstigningen og den forventede stigning i antallet af stormfloder ser vi ind i en fremtid med øget dynamik i kystzonen (jf. kapitel 4). Det betyder, at vi også bør tilpasse naturbeskyttelsen til dette dynamiske miljø. Herunder også omdannelsen af naturtyper hvad enten det er omdannelsen af terrestriske kystnaturtyper til marine kystnaturtyper, som nævnt ovenfor, eller om det er omdannelsen af fx overdrev til kystklinter eller omdannelsen af fx overdrev, heder, enge, moser og rigkær til strandenge. I og med omdannelsesprocesserne relateret til klimaforandringerne foregår over lange tidsskalaer, er det vigtigt også at have et langsigtet planlægnings- og forvaltningsperspektiv i kystzonen ift. naturbeskyttelse.

Det akutte behov for klimatilpasning i kystzonen mht. kysterosion, kystbeskyttelse og oversvømmelsesrisiko er en unik mulighed for netop at tænke langsigtet planlægning og forvaltning. Det er en mulighed for med langsigtede løsninger at designe og bygge med naturen (Designing with Nature og Building with Nature) mhp. at skabe en modstandsdygtig (resilient) kystzone ift. klimaforandringer. Samtidig er det en mulighed for i samme ombæring at skabe et rekreativt rum med plads til en kompleks og dynamisk natur med både levende (biotiske) og ikke-levende (abiotiske) elementer, med både høj biodiversitet og geodiversitet, i både by- og landzonen.

5.6 Konklusioner

Vi har undersøgt den terrestriske del af kystzonens geodiversitet og de udpegede naturtyper kystklinter, strandvolde og strandenge med henblik på at udvikle abiotiske form- og materialesignaturer (geomorfologiske og jordartsmæssige komponenter af geodiversitet) for at evaluere den nuværende udbredelse af naturtyperne samt at vurdere udbredelsen i fremtiden i relation til en forventet havspejlsstigning.

Som en del af undersøgelsen har vi udført en digital landskabsanalyse baseret på en geomorfometrisk analyse af et udsnit af den landsdækkende digitale terrænmodel (DTM) kombineret med informationer fra det nationale jordartskort.

Vi har identificeret og beregnet morfometriske karakteristika samt udviklet abiotiske form- og materialesignaturer for naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge. Dette har muliggjort en semi-automatisk klassifikation og kortlægning af kystklinter, strandvolde og strandenge.

Vi har evalueret naturtypernes nuværende udbredelse ved at sammenligne udbredelsen af udpegede områder med de klassificerede områder – og dermed også med mulige områder for udpegning. Både for kystklinter, strandvolde og strandenge gælder det, at der er klassificerede områder indenfor NPMB, som ligger udenfor diverse naturbeskyttelsesområder. Det betyder, at der er et potentiale i NPMB for at udvikle yderligere områder med værdifulde kystnaturtyper.

Vi har vurderet naturtypernes udbredelse i fremtiden i relation til en forventet havspejlsstigning ved at sammenholde udbredelsen af de klassificerede naturtyper med bl.a. havspejlsstigningens niveau samt eksponeringen af og udbredelsesrummet for naturtyperne.

6 LITTERATURLISTE

Andersen MS, Gergely A, Al-Hamdani Z, Steinbacher F, Larsen LR, Ernsten VB (2017). Processing and performance of topobathymetric lidar data for geomorphometric and morphological classification in a high-energy tidal environment. - *Hydrology and Earth System Sciences*, 21: 43-63, DOI: 10.5194/hess-21-43-2017.

Astrup PM (2018). Sea-level change in Mesolithic southern Scandinavia, 207 pp.- Jutland Archaeological Society, Aarhus.

Baeteman C, Waller M, Kiden P (2011). Reconstructing middle to late Holocene sea-level change: A methodological review with particular reference to 'A new Holocene sea-level curve for the southern North Sea' presented by K.-E. Behre. - *Boreas* 40, 557–572.

Bennike O, Nørgaard-Pedersen N, Jensen JB, Andresen KJ, Seidenkrantz M-S (2019). Development of the western Limfjord, Denmark after the last deglaciation: a review with new data. - *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 67, 53–73.

Björck S (1995). A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP. - *Quaternary International* 27, 19–40.

Cabaco S, Santos R, Duarte CM (2008). The impact of sediment burial and erosion on seagrasses: A review. - *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79-3, 354-366.

Cappelen J, Jørgensen B (1999). Observed Wind Speed and Direction in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90. - Technical Report 99-13: Danish Meteorological Institute.

Corvinus MR & Reddersen J (2020). Strandenge med Jordbær-Kløver og Smalbladet Hareøre. Udbredelse, bestandsstørrelse, ledsageflora og sårbarhed i Nationalpark Mols Bjerger. - *Naturrapporter fra Nationalpark Mols Bjerger*, 29, 24 s. ([link](#))

Doody, JP (2013). Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, does it tell us anything about the future? *Ocean and Coastal Management* 79, 34-41.

<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.05.008>.

Dondurur D (2018). Acquisition and processing of marine seismic data. - Elsevier, Amsterdam, 598 pp.

Fischer A (2005). Mennesket og havet i ældre stenalder. - I: Bunte, E. (red.): *Arkeologi och naturvetenskap*, 276-297, 372-373.

Fredén C (1988). Marine life and deglaciation chronology of the Vänern Basin, southwestern Sweden. - *Sveriges Geologiska Undersökning Ser. Ca* 71, 80 pp.

Frendrup IK, Jacobsen PS (2020). Ændringer i kystlinjens position ved Nationalpark Mols Bjerger fra 1875-2016. - Upubliceret BSc projekt. Københavns Universitet.

Glew, J.R., Smol, J.P., Last, W.M. (2011): Sediment core collection and extrusion, In: W. M. Last & J. P. Smol (Eds.) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 73-105

Gray M (2013). Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature. - Wiley-Blackwell, 508 sider.

Hansen LØ, Ernstsens VB, Clemmensen LB, Al-Hamdani Z, Kroon A. A method for estimating sediment budgets of washover deposits using Digital Terrain Models. - Earth Surface Processes and Landforms (i trykken).

Heaton TJ, Köhler P, Butzin M, Bard E, Reimer RW, Austin WEN, Ramsey CB, Grootes PM, Hughen KA, Kromer B, Reimer PJ, Adkins J, Burke A, Cook MS, Olsen J, Skinner LC (2020). Marine20 – the marine radiocarbon age calibration curve (0-55,000 cal BP). - Radiocarbon 62, doi: 10.1017/RDC.2020.68.

Heinemeier J, Rud N (1999). Danske arkæologiske AMS ¹⁴C-dateringer, Aarhus 1997. - Arkæologiske udgravninger i Danmark 1998, 327-345.

Heinemeier J, Rud N (2000). AMS ¹⁴C-dateringer, Aarhus 1999. - Arkæologiske udgravninger i Danmark 1999, 296-313.

Heinemeier J, Rud N (2001). AMS ¹⁴C-dateringer, Aarhus 2000. - Arkæologiske udgravninger i Danmark 2000, 313-328.

Himmelstoss EA, Henderson RE, Kratzmann MG, Farris AS (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: - U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179, 110 p.

Houmark-Nielsen M (2010). Istidslandskabet omkring Nationalpark Mols Bjerger. - Geologisk Tidsskrift 2010, 1–25.

Jelgersma S (1979). Sea-level changes in the North Sea basin. - In: Oele, E., Schuttenhelm, R.T.E. & Wiggers, A.J. (eds.): The Quaternary history of the North Sea. Acta Universitatis Upsaliensis: Symposium Universitatis Upsaliensis Annum Quingentesimum Celebrantis 2, 233–248.

Jensen JB, Bennike O (2009). Geological setting as background for methane distribution in Holocene mud deposits, Århus Bay, Denmark. - Continental Shelf Research 29, 775–784.

Jensen JB, Kuijpers A, Bennike O, Lemke W (2002). Balkat – the Baltic Sea without frontiers. - Geologi, nyt fra GEUS 2002, 4, 19 pp.

Kveiborg J (2014). FHM 4880 Åby Renseanlæg-Regnvandsbassin Åby sogn, Hasle herred, Århus amt. Stednr. 15.03.10 KUAS-journalnummer: 2008-7.24.02/FHM-006. - Rapport, Moesgaard Museum, 156 pp.

Lambeck K, Rouby H, Purcell YS, Sambridge M (2014). Sea-level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. – Proc. Nat. Acad. USA (PNAS), 111, 15296–15303

Larsen NK, Kristensen A, Buylaert J-P (2017). Datering og dannelse af istids- og mellemistidsaflejringer. – Naturrapporter fra Nationalpark Mols Bjerger nr.16.

Mertz EL (1924). Oversigt over de sen- og postglaciale niveauforandringer i Danmark. - Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række, Vol. 41, 49 pp.

Miller LJ (2020). The Impacts of Climate Change and Geomorphological Change on the Coastline of a Glacial Landscape: Mols Bjerge National Park, Denmark. - Upubliceret MSc projekt. Københavns Universitet.

Miljøstyrelsen (2016). Habitatbeskrivelser, årgang 2016 – Beskrivelse af danske naturtyper omfattet af habitatdirektivet (NATURA 2000 typer). Habitatbeskrivelser, ver. 1.05, maj 2016, 38 sider.

Mitchum RM, Vail PR, Sangree JB (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea-level, Part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection pattern in depositional sequences. - In: Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir, 26, 117-133

Naturstyrelsen (2016a). Natura 2000-plan 2016-2021 Kaløskovene og Kaløvig Natura 2000-område nr. 230 Habitatområde H230. - Naturstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet, 20 sider.

Naturstyrelsen (2016b). Natura 2000-plan 2016-2021 Begtrup Vig og kystområder ved Helgenæs Natura 2000-område nr. 51 Habitatområde 47. - Naturstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet, 18 sider.

Naturstyrelsen (2016c). Natura 2000-plan 2015-2021 Mols Bjerge med kystvande Natura 2000-område nr. 227 Habitatområde 186. - Naturstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet, 22 sider.

Naturstyrelsen (2016d). Natura 2000-plan 2015-2021 Kobberrhage kystarealer Natura 2000-område nr. 231 Habitatområde 231. - Naturstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet, 18 sider.

Naturstyrelsen (2013). Handlingsplan for fredning. - Naturstyrelsen, 36 sider.

Prampolini M, Savini A, Fogliani F, Soldati M (2020). Seven Good Reasons for Integrating Terrestrial and Marine Spatial Datasets in Changing Environments. - Water 2020, 12, 2221.

Rasmussen P, Pantopoulos G, Jensen JB, Olsen J, Røye H, Bennike O (2020). Holocene sedimentary and environmental development of Aarhus Bay, Denmark – a multi-proxy study. - Boreas 49, 108–128.

Reimer P, Austin WEN, Bard E, Bayliss A, Blackwell PG, Ramsey CB, Butzin M, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hajdas I, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kromer B, Manning SW, Muscheler R, Palmer JG, Pearson C, van der Plicht J, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, Wacker L, Adolphi F, Büntgen U, Capano M, Fahrni SM, Fogtmann-Schulz A, Friedrich R, Köhler P, Kudsk S, Miyake F, Olsen J, Reinig F, Sakamoto M, Sookdeo A, Talamo S (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kB). - Radiocarbon 62, doi: 10.1017/RDC.2020.41.

Sallenger AH (2000). Storm impact scale for barrier islands. - J. Coastal Res. 16-3, 890-895.

Stuiver M, Polach HA (1977). Discussion of reporting ^{14}C data. - Radiocarbon 19, 355–363.

Uścinowicz S (2003). The southern Baltic relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement. - Polish Geological Institute Special Papers 10, 79 pp.

Van Rijn LC (2002). Longshore sand transport. - Proceedings of the 28th ICCE, Cardiff, UK., 2439-2451.

Vestergaard P (2000). Strandenge – en beskyttet naturtype. - GEC Gads Forlag. Aktieselskabet af 1994 og Miljø- og Energiministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, 223 sider.

Vestøl O, Ågren J, Steffen H, Kierulf H Tarasov L (2019). NKG2016LU: a new land uplift model for Fennoscandia and the Baltic Region. – J. Geodesy 93, 1759–1779.

Wright DJ, Lundblad ER, Larkin EM, Rhinehart RW, Murphy J, Cary-Kothera L, Draganov K (2005). ArcGIS Benthic Terrain Modeler. - Corvallis, Oregon: Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center. Download fra <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/btm/>

7 BILAG 1

7.1 Miljøstyrelsens beskrivelser af naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge

Nedenfor er Miljøstyrelsens beskrivelser af naturtyperne kystklinter, strandvolde og strandenge omfattet af habitatdirektivet (habitat-naturtyper) og for strandenges vedkommende også af naturbeskyttelsesloven (§3-naturtyper).

7.1.1 Kystklinter

NATURA 2000-naturtype 1230 Klinter eller klipper ved kysten (Miljøstyrelsen 2016)

Klinter og klipper ved havet eller ganske tæt på dette. Vegetationen er typisk påvirket af beliggenheden ved kysten ved forekomst af salttålede eller forstyrrelsestolerante arter. Plantesamfundene og hvor stor en andel, de dækker af naturtypen, er meget forskellige fra sted til sted. Forskellene skyldes graden af eksponering mod havet, geologien, morfologien, egnen og om arealerne har været udnyttet af mennesker. Typisk er der en zonerings af plantesamfund fra de stejleste skrånninger nærmest havet uden vegetation, kun med laver, eller med pionervegetation af flod m.fl., til partier med græs og urter på toppen og på mere beskyttede dele af skråningerne.

På mere beskyttede lokaliteter er der gradvise overgange til mere eller mindre kystpåvirkede varianter af hede, overdrev, højstaudesamfund, krat eller skov. Disse varianter medregnes til naturtypen, så længe de vokser på klinter eller klipper ved kysten, og ikke mere præcist ved hjælp af bl.a. artssammensætningen af karakteristiske arter kan henføres til en anden af habitatdirektivets naturtyper, se nedenfor vedrørende arealstørrelsesgrænser for hvornår specielle vegetationstyper bør udskilles, hvis de også matcher en anden habitattype. Størrelsesgrænserne skal forhindre urimeligt ressourceforbrug til opsplitning af en kystskrænt i mange delnaturtyper. På den anden side er der stor forskel på den nødvendige forvaltning af partier med skov og med overdrev, så en vis opsplitning er nødvendig.

Karakteristiske arter er: engelskgræs, hindebæger-arter, strand-limurt, læge-kokleare, strand-vejbred, rød svingel (kun underarten pruinosa), vild gulrod og strand-kamille. Endvidere er fladstrået rapgræs, skotsk lostilk, firehannet hønsetarm, flod og hedelyng vigtige arter for typen.

Klinter i deres meget forskellige udformninger findes mange steder i det danske kystlandskab, mens klipper næsten kun findes på Bornholm.

Afgrænsning mod lignende habitatnaturtyper: Følgende habitatnaturtyper kortlægges separat, når de overskrider en vis minimumsstørrelse: Kildevæld (7220) og tørt kalksandsoverdrev (6120) > 100 m². Sammenhængende partier med hede (4030), overdrev (6210, 6230), enekrat (5130) > 2500 m². Bøgeskov (9110, 9120, 9130, 9150) og egeblandkov (9160) > 0,5 ha.

7.1.2 Strandvolde

Natura 2000-naturtype 1210 Enårig vegetation på stenede strandvolde (Miljøstyrelsen 2016)

Stenede eller grusede strande eller strandvolde med enårige planter, der vokser på opskyllet materiale som tang eller grus. Opskyllet aflejres typisk som små volde og er rigt på kvælstofholdigt, organisk materiale. Visse flerårige arter hører med til plantesamfundet, men der skal være overvægt af enårige planter.

Karakteristiske arter er: strandsennep, sodaurt, mælde-arter, pileurt-arter, hestetunge, alm. kvik, gåsepotenti, strandhornskulpe og strandmandstro.

Naturtypen findes almindeligt langs kyster i de indre danske farvande, som er udsat for en vis bølgepåvirkning fra havet. Naturtypen har som regel store ubevoksede dele mellem de bevoksede, men da bevoksningerne flytter rundt på stranden i årets løb grundet skiftende aflejringer af materiale, kan der ikke ses bort fra de tidvis ubevoksede dele af stranden mellem vegetationen, som derfor medregnes til typen.

Afgrænsning mod lignende habitatnaturtyper: Énårig vegetation på tanglinier i strandenge hører med til type 1330.

Afgrænsning mod ikke-omfattet natur: Énårig vegetation på opskyllet tang, der ligger på sandstrand o.lign. er ikke omfattet.

Natura 2000-naturtype 1220 Flerårig vegetation på stenede strande (Miljøstyrelsen 2016)

Stenede eller grusede strande eller strandvolde med flerårig vegetation, inklusive de indre/øvre dele, som i visse tilfælde kan udgøre ret store komplekser med flere generationer af gamle strandvolde. Dele af naturtypen kan være vegetationsløs eller blot med laver og mosser.

Karakteristiske arter er: strandkål, strandarve, marehalm og strandfladbælg. Endvidere er alm. kvik, alm. røllike, strand-bede og strand-limurt vigtige arter for typen. Øvrige arter der indikerer naturtypen under danske forhold: Hjorterod, strand-kamille, nikkende limurt, alm. sct. hansurt, bidende stenurt, stinkende storkenæb (var. rubricaula).

Naturtypen findes almindeligt langs kyster i de indre danske farvande, som er udsat for en vis bølgepåvirkning fra havet, især på kyster langs Østersøen, Kattegat og bælterne.

Afgrænsning mod lignende habitatnaturtyper: På store gamle strandvoldssystemer kan der efterhånden udvikles typer af strandoverdrev (6210 eller 6230), grå klit/klithede (2130/2140, hvis strandvoldene er overlejret med sand, idet der antages altid at have foregået en vis vindomlejring af sand ved kysten), hede (4030, hvis substratet er grus/sten), samt strandeng (1310/1330), tidvis våd eng (6410) eller rigkær (7230) i lave dele. Sådanne komplekser henføres kun til type 1220 for de dele, som ikke mere præcist kan henføres til en anden af direktivets naturtyper ved hjælp af arts-sammensætningen af karakteristiske arter, også selvom de ikke længere oversvømmes af havet.

7.1.3 Strandenge

Natura 2000-naturtype 1330 Strandenge (Miljøstyrelsen 2016)

Naturtypen omfatter plantesamfund som jævnligt oversvømmes af havet, fx ved vinterstorme, samt tilsvarende vegetation af salttålende græsser og urter ved kysten selvom der ikke forekommer oversvømmelse. Naturtypen omfatter både den klassiske græssede salteng ved kysten, den ugræssede strandsump og vegetation på opskyllede tanglinier i strandenge. Naturtypen findes langs kyster beskyttet mod væsentlig bølgepåvirkning og deraf følgende erosion.

Karakteristiske arter er: harril, kryb-hvene, rød svingel, strand-annelgræs, strand-malurt, alm. kvik, stiv kvik, engelskgræs, kødet hindeknæ, rødbrun kogleaks, slap annelgræs, spyd-mælde, kilebæger-arter, strand-asters, strand-bede, gåse-potenti, strand-kamille, strand-mælde, sandkryb, strandtrehage, strand-vejbred, sumpstråarter, udspilet star

og udspærret annelgræs. I strandsumpen vil endvidere tagrør og strand-kogleaks ofte være almindelige, visse steder ledsaget af blågrøn kogleaks, vild selleri eller samel.

Øvrige arter der indikerer naturtypen under danske forhold: jordbær-kløver, hindebæger-arter, smalbladet kællingetand, strand-rødtop, samel, liden tusindgylden og strand-tusindgylden.

Almindelige arter for naturtypen under danske forhold: engelsk kokleare, læge-kokleare, fjernakset star, syltstar og strand-svingel.

Strandenge findes især ved fjorde og vige samt langs kyster med lavvandede områder, herunder i inddæmmede områder. Store, veludviklede strandenge findes i Vadehavet, Limfjorden, Isefjord og langs dele af Lollands kyster.

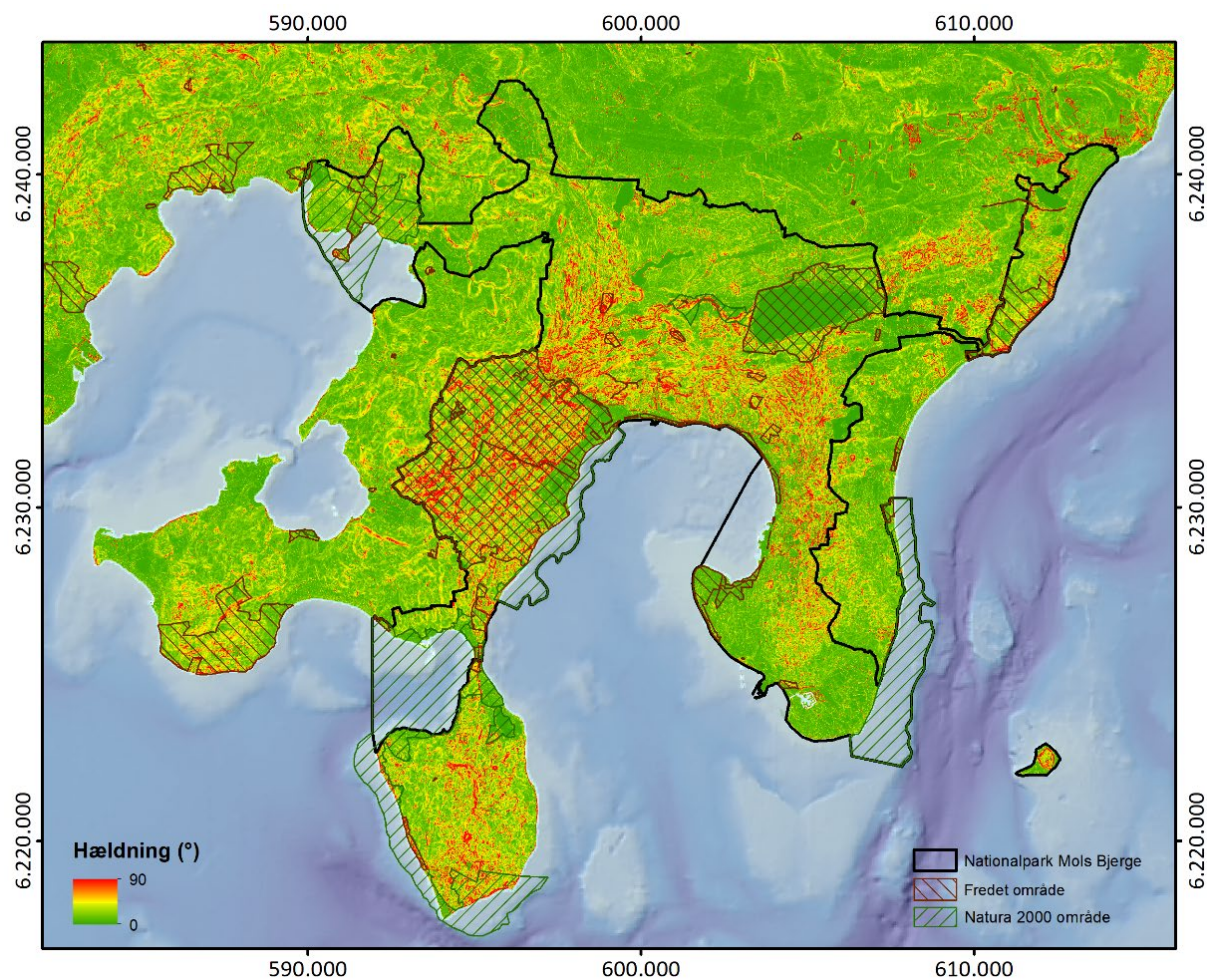
Afgrænsning mod lignende habitatnaturtyper: I strandengskomplekser i bred forstand indgår ofte partier af andre naturtyper, som ikke er strandeng i habitatdirektivets forstand, og derfor ved kortlægning bør opgøres særskilt – især type 1150, 1310, 6210, 6230, 6410, 7220 og 7230. Elementer af énårig vegetation på tuer af gul engmyre henføres til 1310 (i mosaik med 1330). Hele saltengszoneringen er omfattet (nedre, mellem og øvre geolittoral), mens strand-overdrev henføres til overdrevstyperne (6210 og 6230). Opskyllede tanglinier i strandengen kan have en vegetation svarende til type 1210. Disse hører med som integreret del af 1330 og skal ikke udskilles. Ved afgrænsning mod type 1340 opfattes forekomster, hvor saltpåvirkningen skyldes havet, som kystnære og dermed 1330, mens 1340 har sin saltpåvirkning fra salt grundvand.

§3-naturtype Strandeng (Vestergaard 2000)

Strandenge kan defineres som lavtliggende, saltvandspåvirkede, vegetationsdækkede arealer fortrinsvist langs beskyttede havkyster. Strandengenes vegetation består af salt- og fugtighedstolerante græsagtige arter (græsser, halvgræsser og siv) og andre urter, som danner et mere eller mindre sammenhængende plantedække af varierende højde, og inkluderer såvel lavtvoksende, engagtig vegetation (salteng) som rørsump.

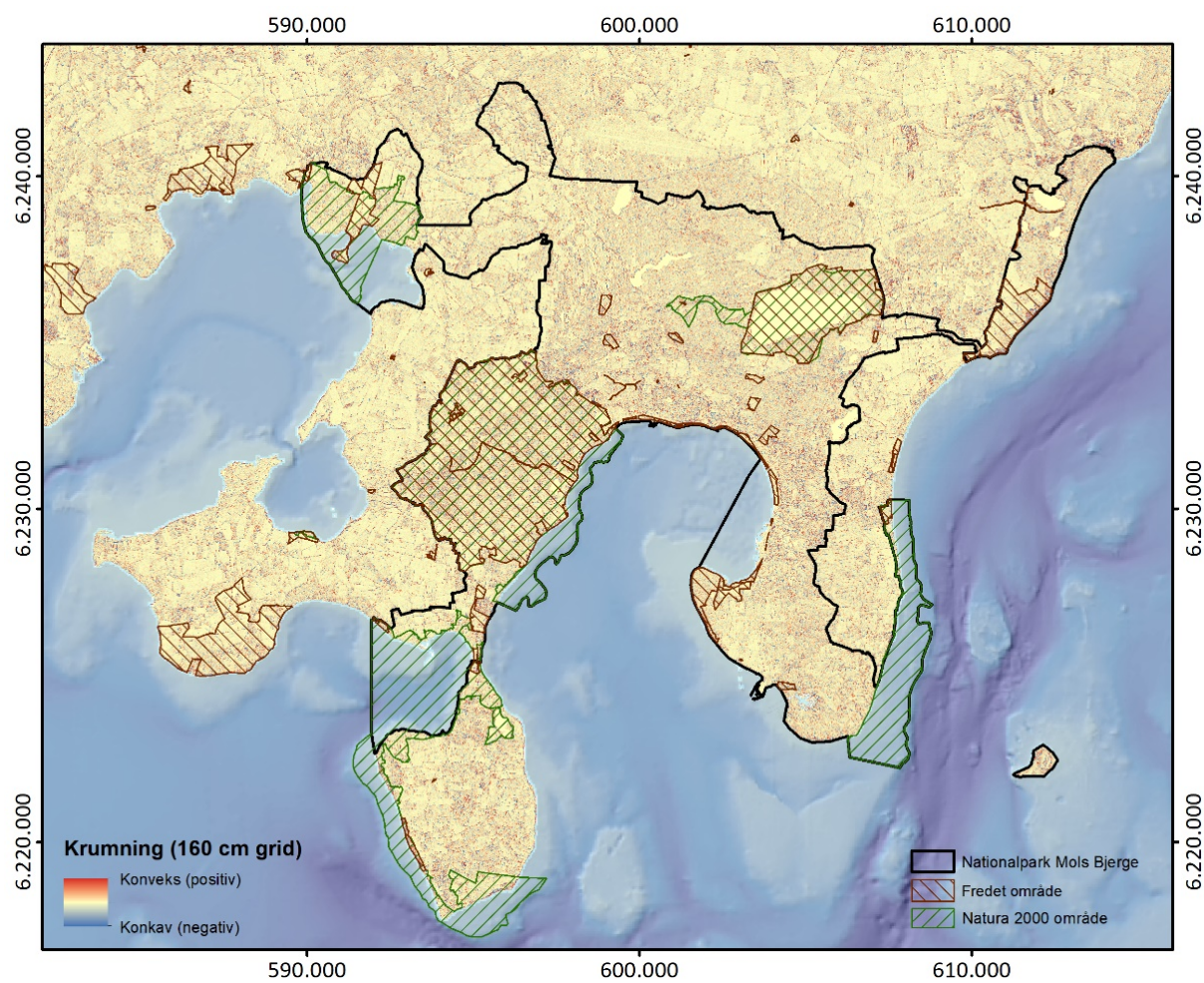
8 BILAG 2

8.1 Hældningskort

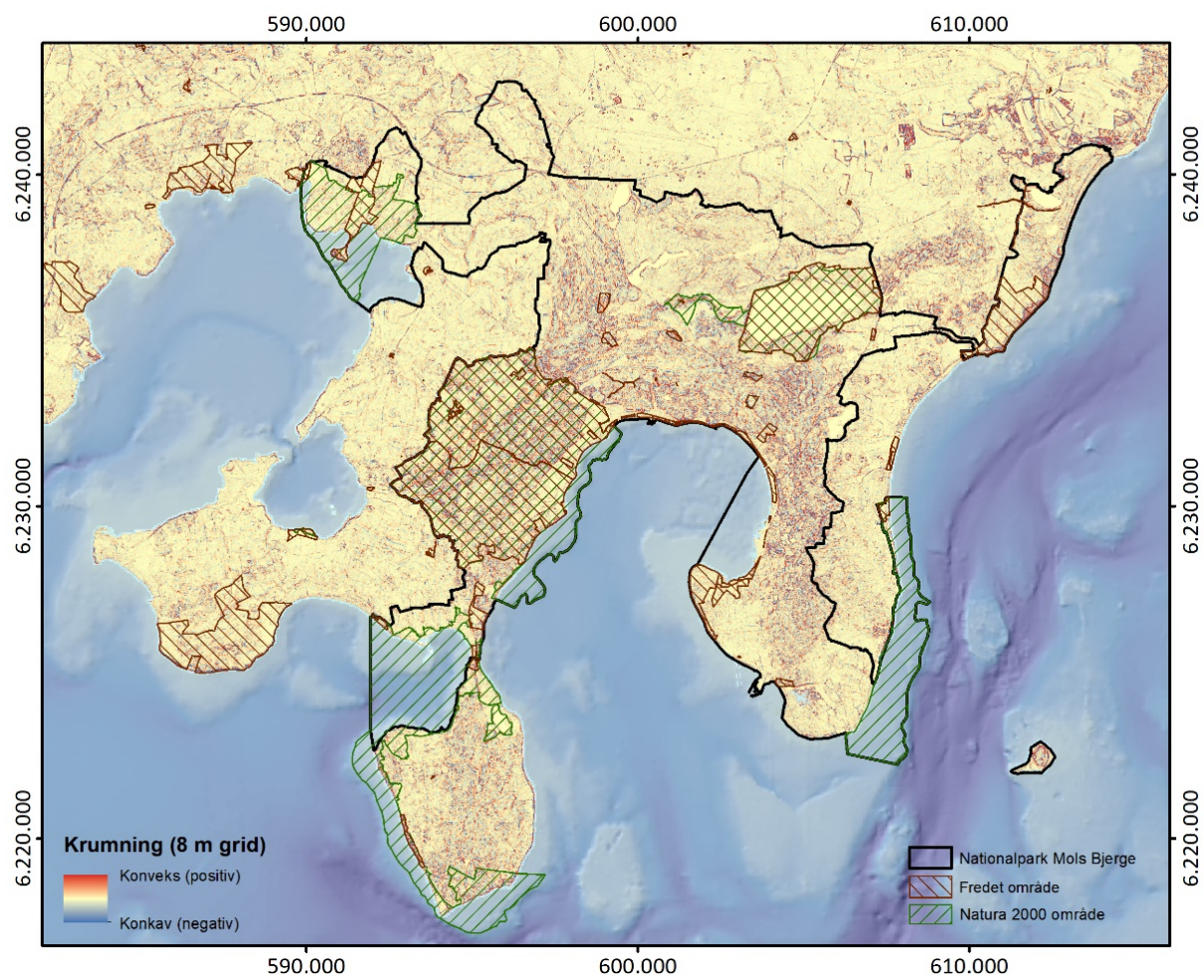


Figur 47: Hældningskort afledt (1. afledte) af DTM. Cellestørrelsen er 1,6 m.

8.2 Krumningskort

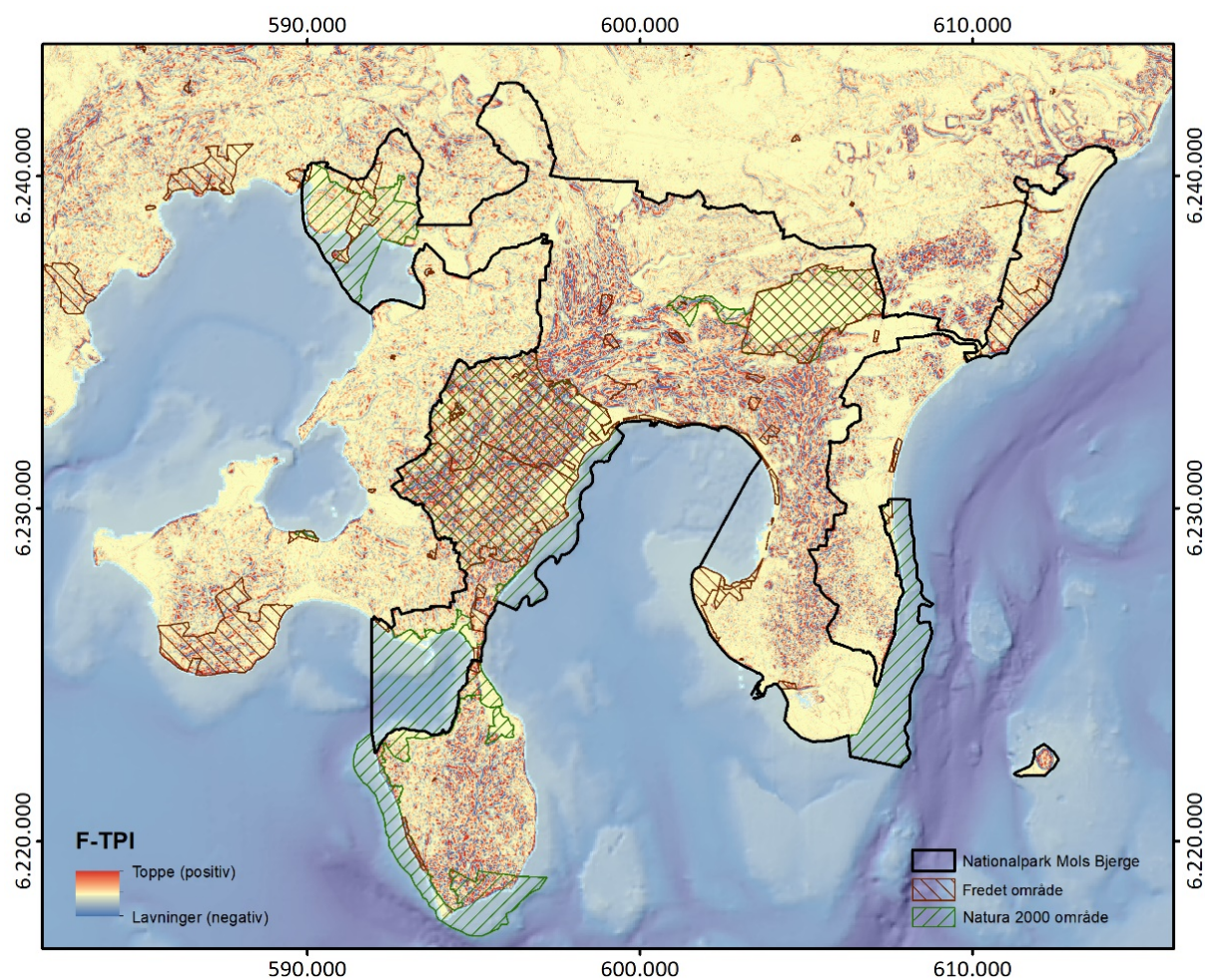


Figur 48: Krumningskort afledt (2. afledte) af DTM. Cellestørrelsen er 1,6 m.

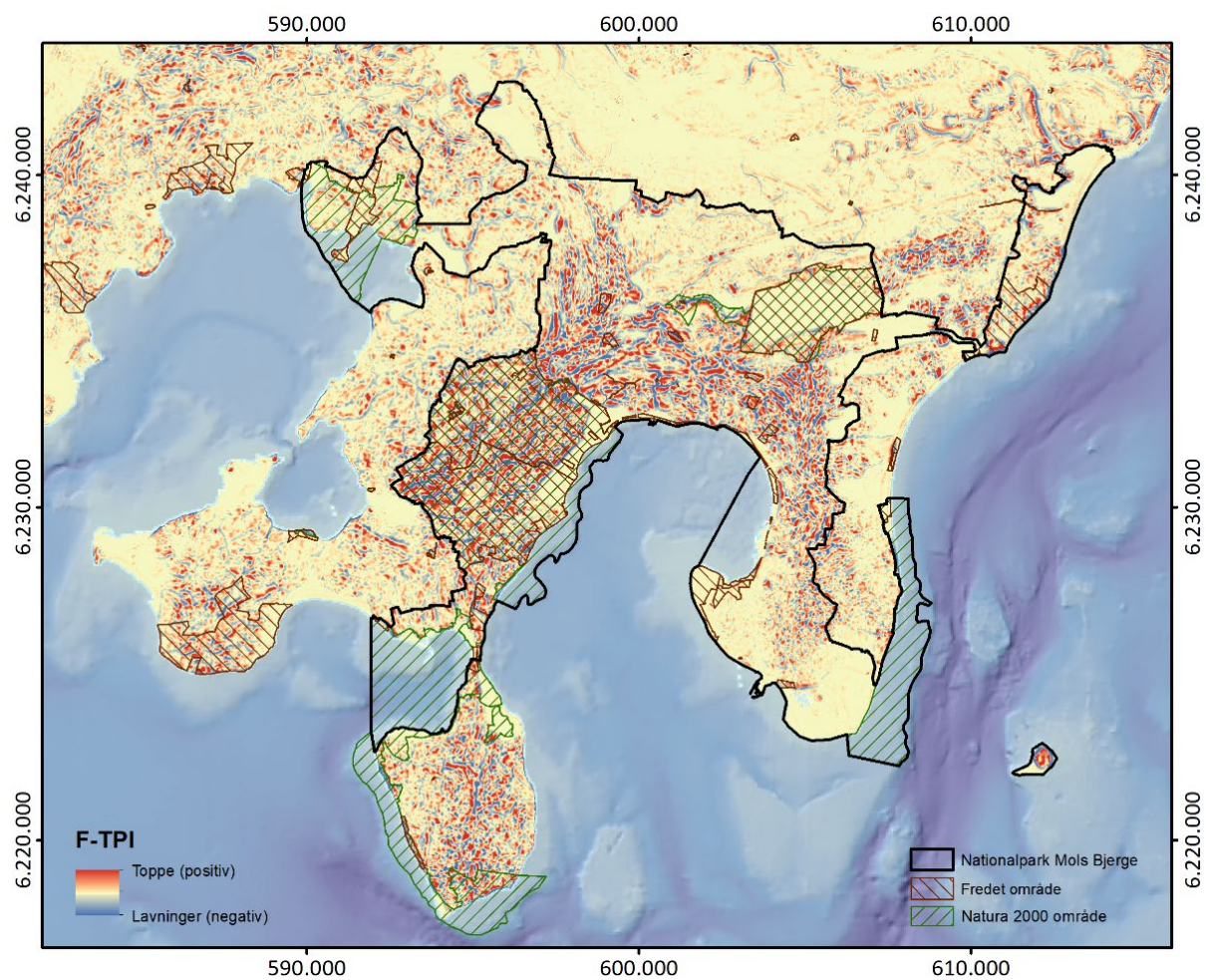


Figur 49: Krumningskort afledt (2. afledte) af DTM. Cellestørrelsen er 8 m.

8.3 Kort med toppe, lavninger og flader.

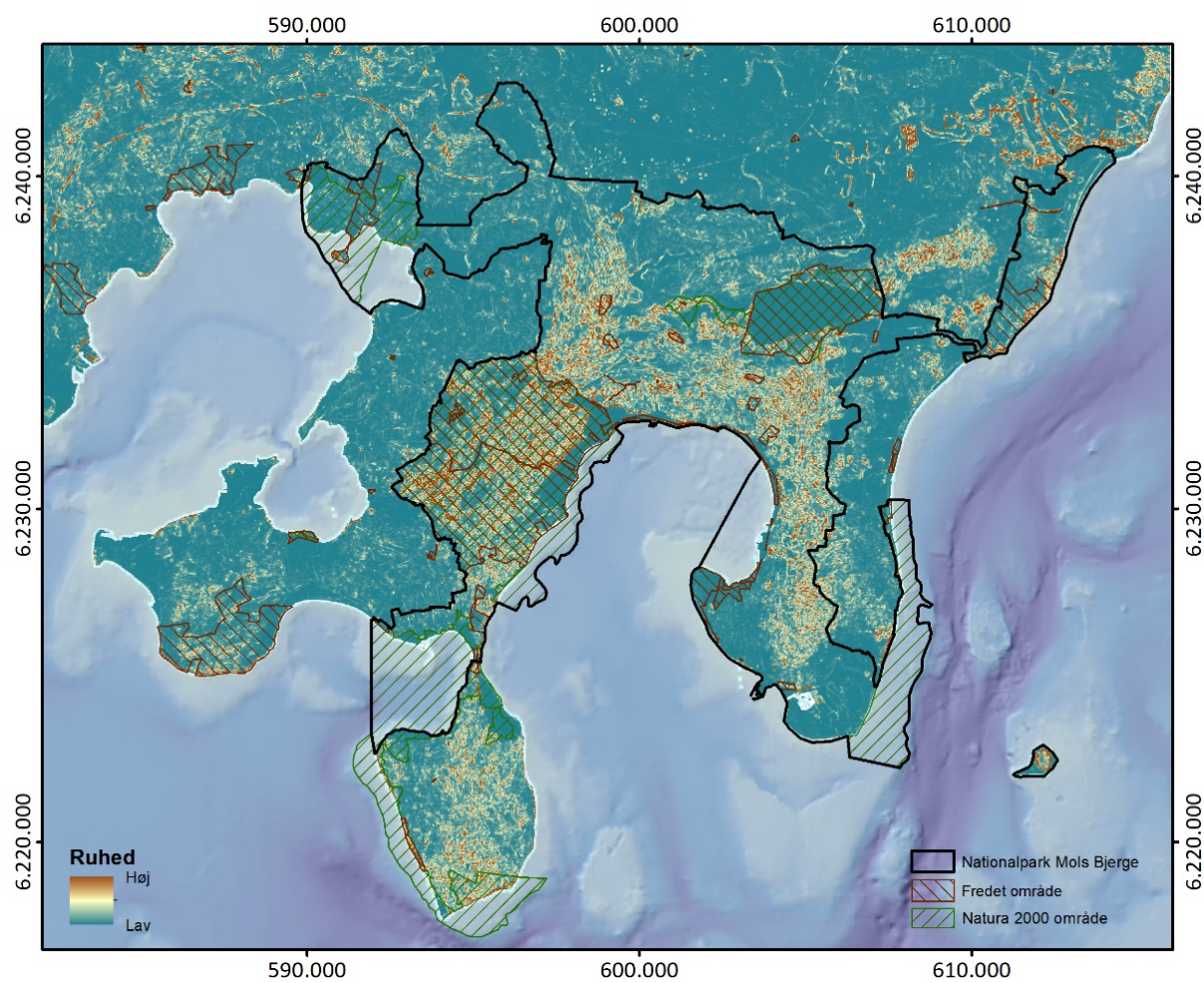


Figur 50: Toppe, lavninger og flader illustreret med Fine-scale Topographic Positioning Index (F-TPI) beregnet med BTM på baggrund af DTM.



Figur 51: Toppe, lavninger og flader illustreret med Broad-scale Topographic Positioning Index (B-TPI) beregnet med BTM på baggrund af DTM.

8.4 Ruhedskort



Figur 52: Ruhedskort beregnet på baggrund af DTM. Cellestørrelsen er 8 m.

