



Istiden og dens landskab

EN KORT INTRODUKTION

Michael Houmark-Nielsen og Nicolaj Krog Larsen

Hvad er istider?

Formålet med dette hæfte er at give danske naturvejledere, naturfaglærere, skoleelever og øvrige interesserede en kort introduktion til Danmarks geologi.

Hæftet giver en kort introduktion til istider, en oversigt over de mest almindelige landskabsformer dannet under istiden, samt et kronologisk overblik over Isstrømme, klima-, havniveau- og miljøforandringer i Danmark gennem de seneste 150.000 år. Under den kronologiske gennemgang vises rekonstruerede kort over palæogeografien, som er baserede på en sammenstilling af mangeårig geologisk forskning.

Den læser, der bliver nysgerrig efter at gå i dybden med emnerne, anbefales at læse **Naturen i Danmark Bind 2: Geologien**

Dette hæfte er udgivet med støtte fra Nordea-fonden til projektet Junior Geologerne. Se mere på www.junior-geologerne.dk.

FORFATTERE

Michael Houmark-Nielsen
Lektor emeritus v. GLOBE Institutet,
Københavns Universitet

Nicolaj Krog Larsen
Professor v. GLOBE Institutet,
Københavns Universitet

REDAKTION

Camilla S. Andresen
Seniorforsker De Nationale Geologiske
Undersøgelser for
Danmark og Grønland (GEUS)

Stig Kinnerup
Geologistuderende ved Institut for Geovidenskab

Marie Holst-Riis
Bach. scient geologi og naturvejleder
Observatoriet i Brorfelde

GRAFIK

Geoviden
De Nationale Geologiske Undersøgelser for
Danmark og Grønland (GEUS)

LAYOUT

Grafisk designer Anne Sofie Obel
O2Design

FORSIDEFOTO:

Academy Gletscher set fra Navy Cliff i bunden af
Independence Fjorden, Nordgrønland.
Foto: N. K. Larsen

Udgivet: 1. udgave 2020
© 2020 Junior-Geologerne

Den geologiske tidsperiode, vi i dag befinder os i, kaldes Kvartær. Den strækker sig over de seneste 2,6 millioner år og er kendetegnet ved hurtige og gentagne klimaskift mellem kulde- og varmeperioder. De kolde perioder kaldes for istider og de varmere for mellemistider.

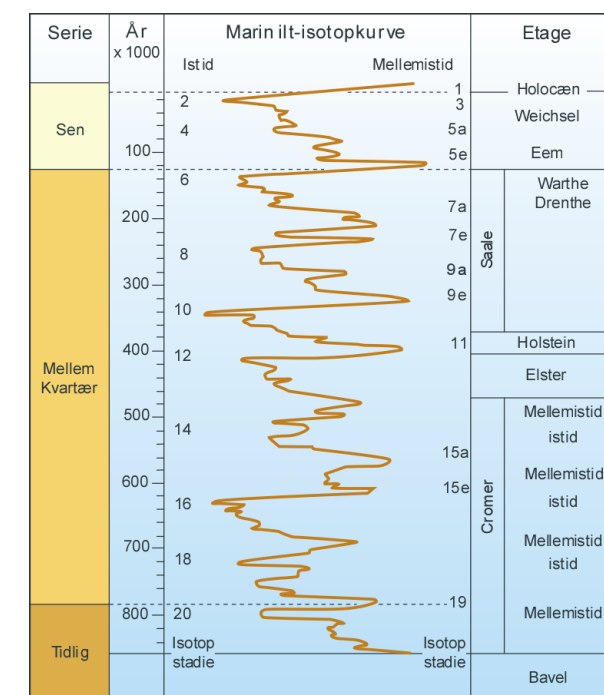
Under istiderne var solindstrålingen svagere end i dag, drivhuseffekten var reduceret og den varme Nordatlantiske Havstrøm, som er den nordlige fortsættelse af Golfstrømmen, var svækket betydeligt og trængt så langt sydpå, at klimaet i Nordvesteuropa var koldt. I det skandinaviske højland dannedes gletsjere, der voksede sammen til et stor iskjold i takt med at deres afsmeltning om sommeren blev mindre.

Is-kappen har, under de koldeste istidsforhold med meget gletsjerdannelse, dækket hele Skandinavien, Baltikum, Rusland, De Britiske Øer og Barentshavet. Vandstanden i verdenshavene afgøres af mængden af vand, der er bundet i de store iskapper på kontinenterne. Når det bliver koldere, vokser mængden af is på landmasserne og havspejlet falder, fordi nedbøren ikke føres tilbage til oceanerne. Fordi ismasserne netop var landbaserede (ligesom isen på Antarktis), forårsagede isdannelsen voldsomme havniveau-fald på mere end 100 meter. Derfor var landarealerne under istiden væsentligt større end de er i dag. Under mellemistiderne smeltede store dele af iskapperne, hvormed havniveauet steg igen. Derfor blev store landområder skiftevis tørlagt og oversvømmet.

Fra borer i dybhavet er der fundet spor efter mere end 100 kulde- og varmeperioder i løbet af Kvartær. I den senere del af Kvartær har hver istid været omkring 100.000 år, og i de koldeste perioder (stadiale episoder) kunne iskjoldet brede sig længere sydpå - helt ned på det Nordeuropæiske

lavland som for eksempel Danmark, Nederlandene, Tyskland og Polen og Rusland. I de isfrie landområder herskede der tundra med udbredt permafrost i det meste af Nordeuropa, og størstedelen af skoven var fortrængt til Kaukasus og det østlige middelhavsområde.

I størstedelen af en istids varighed var forholdene dog ikke kolde nok til at iskjoldet nåede Danmark. Denne knap så kolde periode af en istid kaldes for en interstadial periode. Her har sommertemperaturen været som i det nordlige Skandinavien og Island i dag. Iskjoldet var fortrængt til højlandet omkring den norsk-svenske fjeldkæde. I den vældige lavning foran iskjoldet, der i dag rummer Østersøen, fandtes der periodevis store opdæmmede søer.



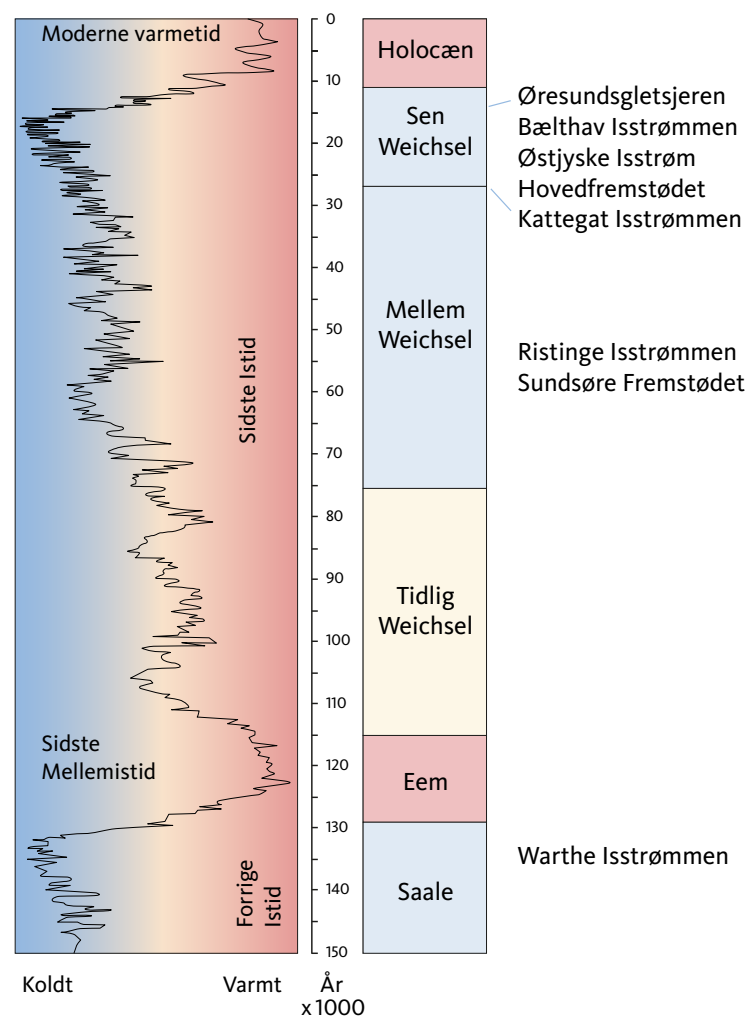
Klimasvingninger i de seneste ca. 800.000 år. Kurven over relative ændringer i temperatur, er baseret på målinger af kemiske ændringer i kalkskallede mikroorganismer fra sedimentkerner opboret fra dybhavet. Kurvens savtaktede forløb viser, til trods for udsving, hvordan istider bygger sig op til at blive koldere og kolde, hvorefter de afsluttes med en brat opvarmning. Efter M. Houmark-Nielsen m.fl. 2005.

Det interstadiale klima betød, at Danmark var en lavarktisk tundra domineret af dværgbuskheder, hvor spredte og åbne skove pletvist optrådte i landskabet.

Ligesom floraen var faunaen også kuldetålende, og på de åbne buskheder levede et væld af mægtige planteædere; heriblandt uldhåret næsehorn, kæmpehjort, steppebison, rensdyr, moskusokse og ikke mindst mammut. I Danmark er der registreret over 140 fund fra mammutten. Der er ikke fundet spor efter istidsmennesket i Danmark, hvilket dog ikke udelukker, at de har været der.

Til trods for de mange nedisninger gennem tiden, så finder man i det danske istidslandskab i dag mest tydeligt spor efter isstrømme fra de to sidste istider, Saale og Weichsel. Dette skyldes, at landskabsspor efter ældre isstrømme ødelægges og omformes af de yngste isstrømmes mægtige kræfter. I Saale og Weichsel var der overordnet tre perioder, som er kendetegnet ved serier af isstrømme ned over Danmark og disse falder sammen med kuldeperioder.

Den mindre varmeperiode eller mellemistid, vi i dag befinder os i, kaldes for Holocæn og begyndte for 11.650 år siden. Det holocæne mellemistidsklima er, i lighed med tidligere mellemistiders klima, præget af kraftigere solindstråling, høj varmetilførsel fra den Nordatlantiske Havstrøm og en høj drivhuseffekt. Disse faktorer tilsammen gør, at de danske farvande er lune, hvilket har skubbet den arktiske klimazone længere nordpå, og de arktiske tundraheder i istidens Danmark er derfor udskiftet med tempereret løvskov.



De seneste 150.000 års klimatiske udvikling, baseret på kemiske studier af mikroorganismer fra dybhavet. Til højre ses overordnet tre perioder med serier af isstrømme over Danmark. Modificeret efter Cohen et al. 2012



Istidens landskabstyper

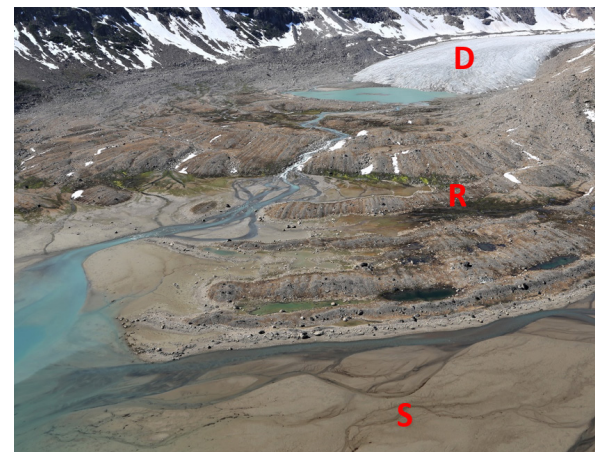
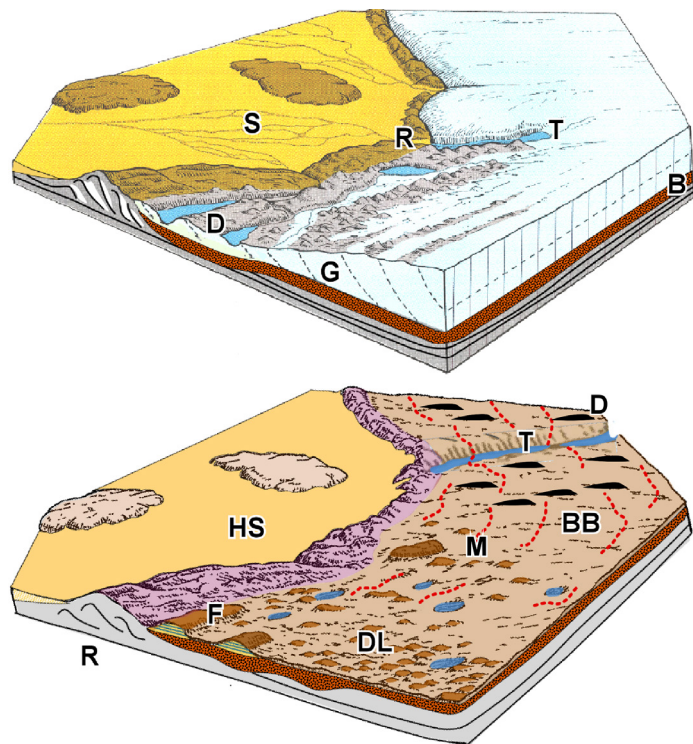
Geologer har gennem årtiers undersøgelser af de danske istidslandskaber været i stand til at sammenfatte en ret detaljeret historie for de seneste 150.000 års isstrømme henover Danmark. Dette er blandt gjort ved at sammenligne landskabet med de gletsjerlandskaber, som nutidens gletsjere i nord danner.

Historien er bygget på observationer af, at når randen af de store iskjolde rykker frem eller smelter tilbage efterlades landskabsformer, der udspringer af gletsjernes stærke kræfter. Iskjoldet efterlader bestemte former i landskabet, der afslører dens bevægelser. Disse former kaldes tilsammen en glacial landskabsserie. En glacial landskabsserie består af en flad smeltevandsslette dannet foran isranden og aflange bakkerygge, der udgør randmoræner formet langs isens rand. I det tidligere isdækkede område bag randen findes enten et svagt bølget morænelandskab, eller et mere bakket dødisland-

skab. Man kan også finde spor efter smeltevand, der er løbet i tunneler langs jordoverfladen, de såkaldte tunneldale og åse.

I løbet af en istid var der lange perioder, hvor Danmark var isfrit. Her eksisterede et sparsomt bevokset og kuldedomineret landskab, hvor vekslende nedfrysning og optøning af de øverste jordlag har været medvirkende til omstrukturering og nedbrydning af eksisterende terrænformer. I de isfrie perioder, og især i mellemistiderne, har havstigning betydet gennemgribende omstrukturering af landskabet.

Som introduktion til afsnittet om isstrømme, klima-, havniveau- og miljøforandringer i Danmark gennem de seneste 150.000 år, gennemgås i det følgende meget kort, hvorledes landskabsformerne i den glacial landskabsserie dannes.



Model for landskabsdannelse langs en gletsjerrand.

ØVERST: S: Smeltevandsslette, R: Isrand, T: Tunnel i isen, D: Dødis; is der ikke længere er en del af den aktive gletsjer G: Gletsjer.

NEDERST: HS: Hedeslette, R: Randmoræne, F: Issøbakke, DL: Dødislandskab, BB: Bølget bundmoræne med lave morænevolde (røde stiplede linjer), T: Tunneldal. Efter A. Schou 1948 og J. Krüger 1989.

Foto af Bjarke Gletsjer, Sydøstgrønland. A. Bjørk.

SMELTEVANDSSLETTER

Foran en gletsjer forgrener smeltevandsfloder sig i vidtstrakte flodsletter, hvori sand og grus aflejres. Dette system kaldes en smeltevandsslette. Smeltevandet, der kommer fra gletsjeren, sorterer materiale efter kornstørrelse, således at det groveste og dermed tungeste materiale aflejres nærmest gletsjeren mens det fine og lettere materiale aflejres længere borte. Smeltevandet følger og fletter sig ind i landskabets former ved at bevæge sig igennem lavninger og dale og gradvist fylder dem med sediment i form af grus, sand og ler. Således jævner smeltevandet, med sit medbragte sediment, dalbunde ud og skaber på den måde store udstrakte sletter. Smeltevandsslettens aflejringer består af lag i bundter med skråtstillede lag af sand og grus afsat i strømmende vand. Jo større sten der er i gruset, desto kraftigere har vandføringen været. Under katastrofeagtig udtømning af opdæmmede søer bag isranden, kan der føres meterstore blokke ud på flodsletten.



Snit gennem den ydre del af en smeltevandsslette (v. Saltbæk Vig, NV-Sjælland). På samme måde som der dannes små ribber på grund af vandets bevægelser henover havbunden i strandkanten, så har det strømmende vand i smeltevandsfloderne dannet store bølgede bundformer. Med tiden kravler nye bundformer ind over de gamle og den samlede sedimentpakke bliver jævn og kan blive ganske tyk. Fotografiet her viser et snit igennem en smeltevandsflods lagpakke af bundformer, hvor man kan se at lagene inden i bundformen er skråtstillede – det kaldes for krydslejring. Hældningen af de skråtstillede lag afslører, at strømretningen har været fra venstre mod højre. Partiklernes størrelse i lagpakken tiltager op efter, fordi gletsjeren er rykket nærmere og vandføringen derfor er blevet stærkere. Foto: M. Houmark-Nielsen.



Nutidig smeltevandsslette foran isranden ved Myrdalsjökull på Island, hvor flettede flodsletter fører smeltevand bort fra isranden. Sådan kunne de vestjyske hedesletter have set ud under deres dannelse.

Foto: J. Krüger.



Smeltevandssletter dannet ved Bjergsted på Midtsjælland. M. Houmark Nielsen, upubliceret

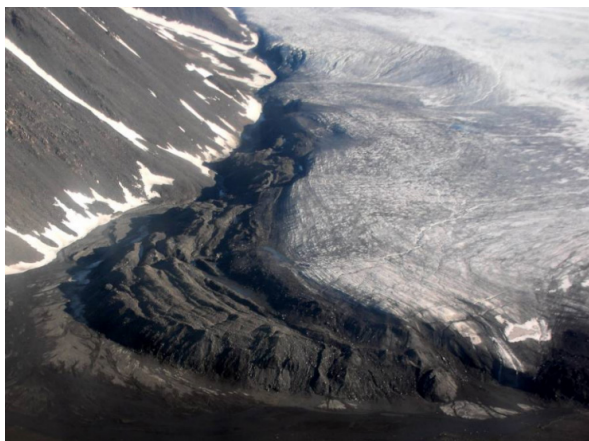
RANDMORÆNER

Randmoræner er store voldformede, aflange bakker, der dannes langs randen af en gletsjer. Gletsjerens vægt i sig selv er nok til at trykke underlagets materiale ud mod isens rand og på den måde ophobe og stable sedimenter. En anden dannelsesproces sker ved gletsjerens bevægelse. Ved gletsjerens rand kan den fryse fast til underlaget og på den måde trække materiale med sig op i flager, der stables foran den, når den bevæger sig hen over landskabet som en bulldozer. Materiale kan også falde eller skride ned for foden af gletsjeren og danne bakker.

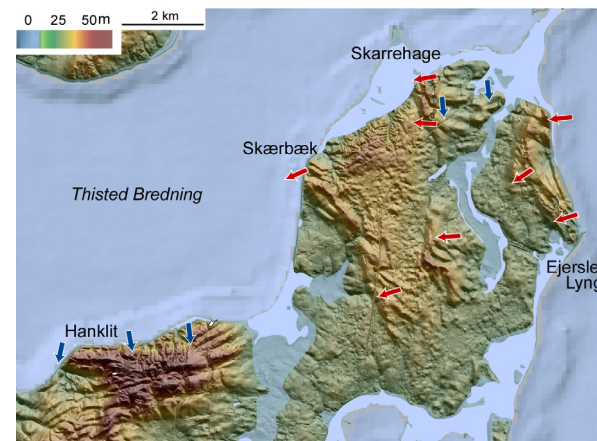
Randmoræner kan være dannet ved en kombination af alle de ovennævnte processer. Dette kan give randmorænen en kompleks opbygning. Hvis meget af underlaget flages og stables foran gletsjeren, vil dette efterlade en inderlavning, hvor materialet mangler.



Randmorænelandskab ved Mols Bjerge, Jylland. Foto taget mod syd. Foto: Skov og Naturstyrelsen.



Dannelse af randmoræner ved Sif Gletscher på Grønland. Foto: N.K. Larsen.



Randmorænelandskab ved Bordsmors, Jylland. Pilene (blå – ældst, rød – yngst) angiver retningen af isens tryk. M. Houmark Nielsen, upubliceret

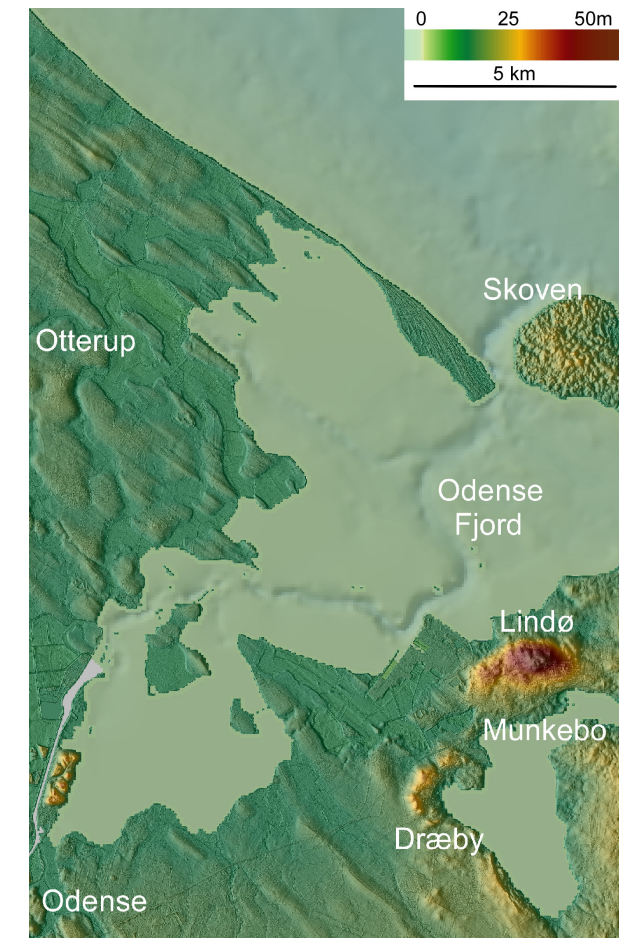
MORÆNEFLADER

Moræneflader er nok den mest almindelige danske landskabsform skabt under istiderne. Den er dannet under isen bag randen og kan enten være flad (bundmoræne) eller kuperet på grund af dødis (dødismoræne). Bundmorænen, som er kendetegnet ved en temmelig flad eller ofte jævnt bølget overflade, er dannet under gletsjeren. Den består for det meste af materiale aflejret fra bunden af isen, nemlig moræneler, eller mere fagligt korrekt, till. Ler, silt og sand vil tilsammen udgøre grundmassen, hvori sten og blokke vil ligge fordelt.

Det er svært at observere dannelsen af bundmoræner, da processen foregår inde under gletsjeren. Geologer har dog, ved at observere bunden af gletsjeren inde i tunneler under nutidige gletsjere, kunnet danne sig et billede af aflejningsprocessen. Aflejringen af bundmoræner viser sig bl.a. at hænge sammen med friktionen mellem gletsjeren og dens underlag. Sten og grus, der sidder fast i bunden af gletsjeren, vil blive løsrevet og aflejret i underlaget, hvis friktionen er for høj, når den tunge gletsjer skraber hen over underlaget. Er der vand til stede i laget under gletsjeren, glider den nemmere hen over det vandholdige underlag, der som en blød masse deformeres og trækkes med i gletsjerens bevægelsesretning. Bevægelsesretningen afsløres af svage striber i terrænet. Samtidig kan smeltning af gletsjeren også tilføre materialer af forskellige kornstørrelser (fra ler til grus) til bundmorænen.



Moræneler fra Lodbjerg Klint, Nordvestjylland. Foto: M. Houmark-Nielsen.



Moræneflade ved Odense Fjord med striber i terrænet efter isens flyderetning. M. Houmark Nielsen, upubliceret



Bundmoræne på Island med terrænstriber. Foto: A. Schomacker.

DØDISLANDSKABER

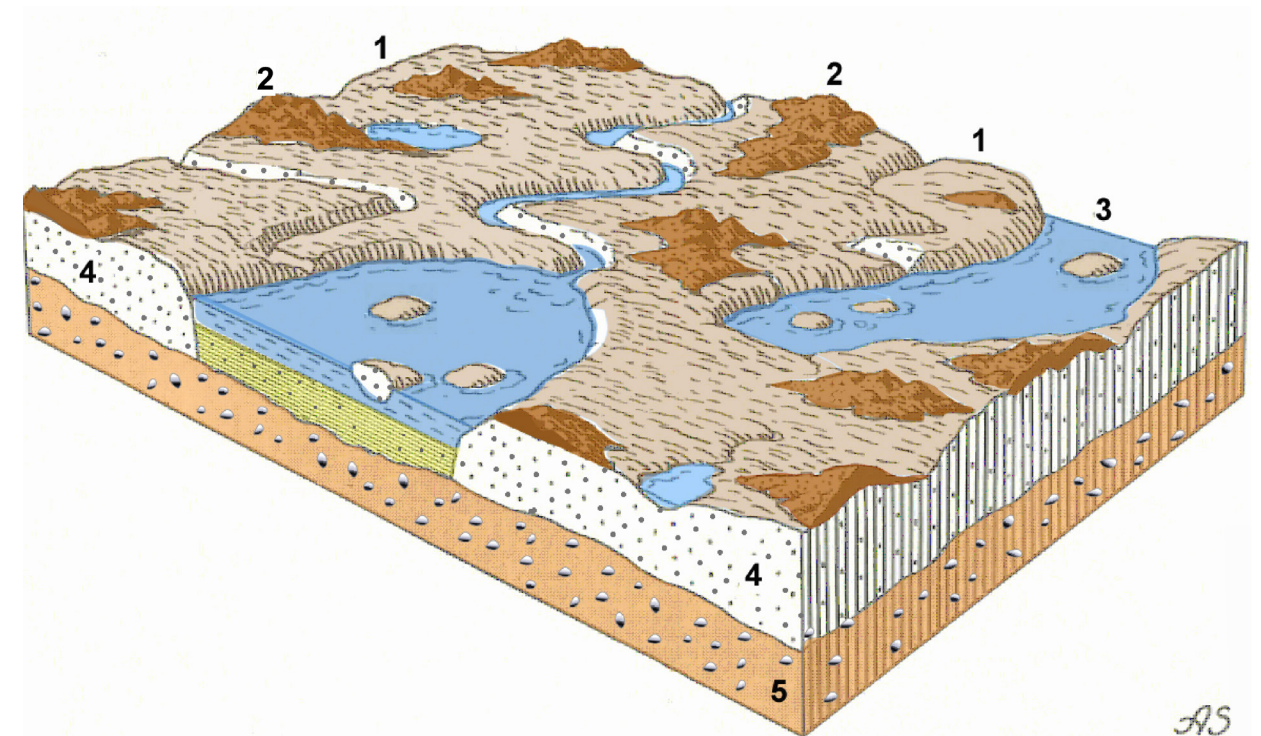
Når en gletsjer smelter tilbage, kan den efterlade store blokke af is i landskabet. Det kaldes dødis. Dødislandskaber er altså landskaber dannet efter isens tilbagesmeltning og kan derfor forekomme som et ekstra lag på et bundmorænelandskab. Dødislandskabets kendetegn er dels dødishuller, opstået hvor begravet dødis er smeltet efter afsætning af bundmorænen, dels issøbakker, der er bundsediment fra huller og lavninger på isen. Dødislandskaber er altså kuperede områder med en form for 'æggebakketopografi'. Mindre afrundede småbakker veksler med afløbsløse huller, hvor i der ofte er småsøer, mosehuller eller fugtige lavninger.



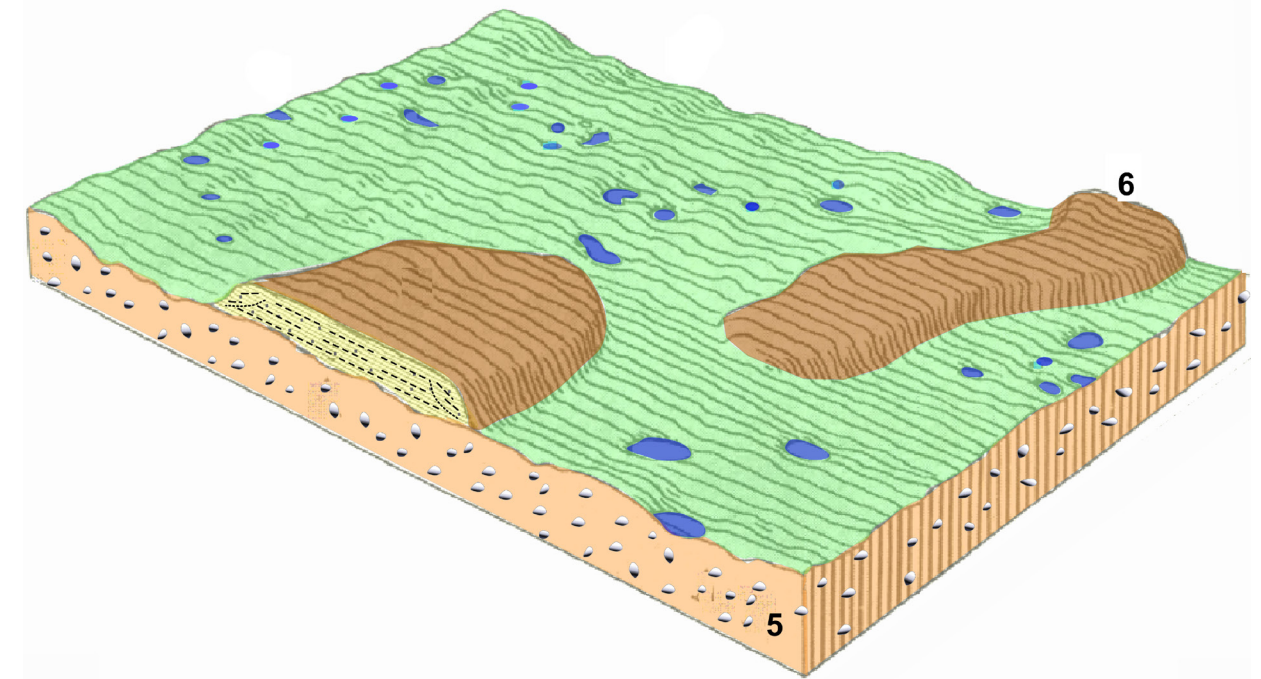
Dødislandskab fra Island. Foto: A. Schomacker.



Dødislandskab ved Skallerupholm nær Lejre med småbakker, der veksler med fugtige lavninger. Foto: M. Houmark-Nielsen.



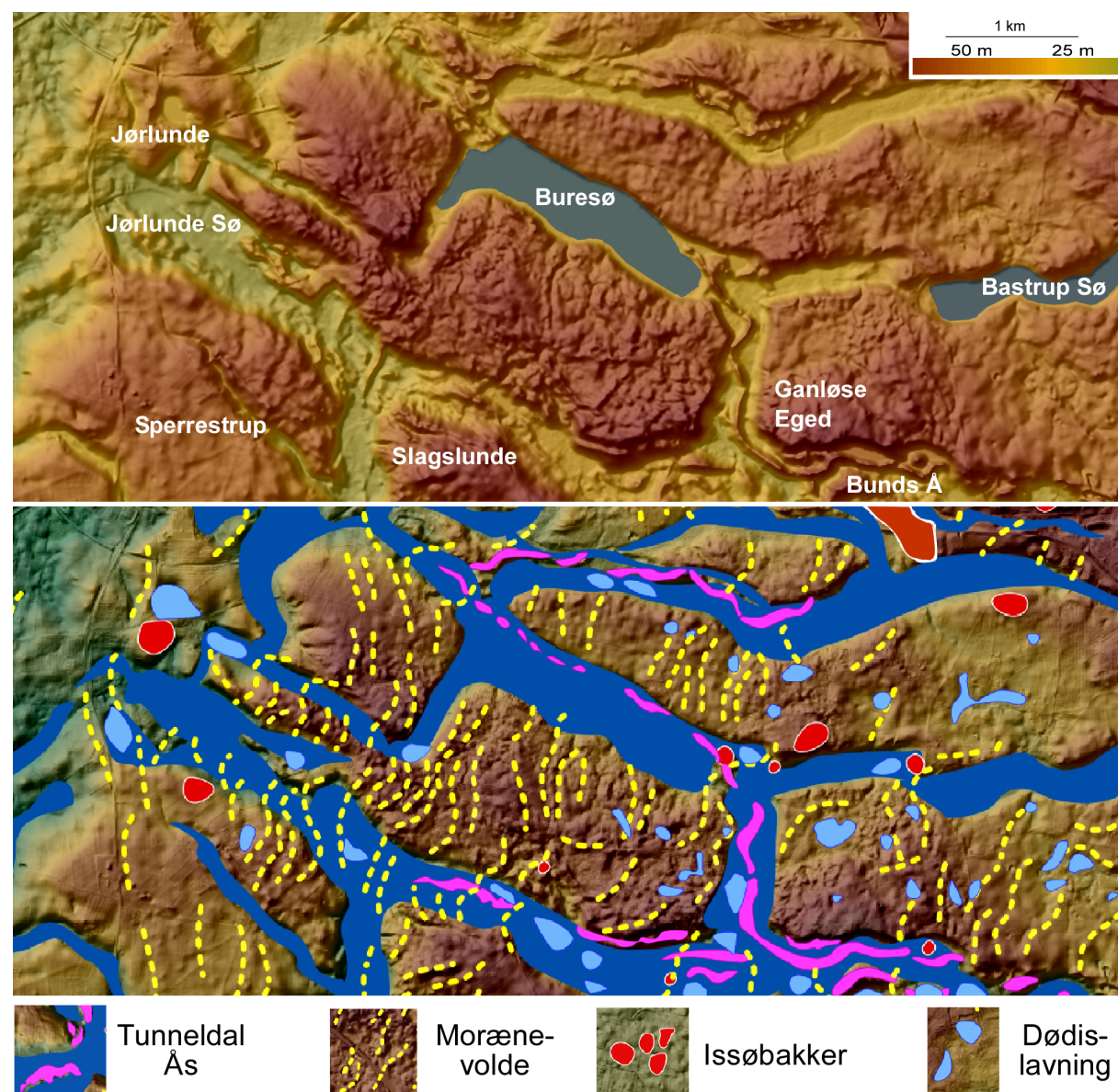
AS



Model, der viser dannelsen af et dødislandskab med to store issøbakker. Øverst ses smeltende dødis 4 hvilende på bundmorænen 5. På dødisens overflade 1 ses ophobninger af fremsmeltet morænemateriale 2. I overfladen findes lavninger med isdæmmede søer og flodløb 3. Nederst ses dødislandskabet, der opstod efter afsmeltningen. På bundmorænen 5 ses to issøbakker, som er den efterlavede søbund bestående af lagdelt sand og ler 6. Småsøer på den bølgede moræneflade er dødishuller, der er opstået, der hvor en dødisklump smeltede væk. Efter A. Schou 1948.

TUNNELDALE OG ÅSE

Under en gletsjer vil der løbe smeltevand i tunneler langs jordoverfladen. Smeltevandet kan erodere lange tunneldale i landskabet, særligt hvis der er stort tryk på vandet, som for eksempel ved udtømming af et stort smeltevandsreservoir i eller under isen. Hvis vandet i en smeltevandstunnel begynder at løbe langsommere, vil det meste af det materiale, der udvaskes fra underlaget, ikke længere kunne transporteres væk. Materialet aflejres i stedet i smeltevandstunnelen med det groveste sediment nederst, da det er det første, der falder til bunds når strømhastigheden sænkes. Bakken, der aflejres inde under isen, vil derfor være lagdelt i hhv. grus og sand. Afsættes nok materiale på denne måde i tunnelen, kan den blive både højere og bredere end den oprindelige tunnel, efterhånden som tunnelen udvides. For eksempel kan en smeltevandsstrøm med en vanddybde på 4 m opbygge sedimenter på op til 15-20 m. Efter gletsjeren er smeltet, vil man kunne se en aflang bakke dannet af de opbyggede sedimenter midt i smeltevandssletten. Denne bakke kaldes en Ås og er en slags afstøbning af fortidens smeltevandskanaler.

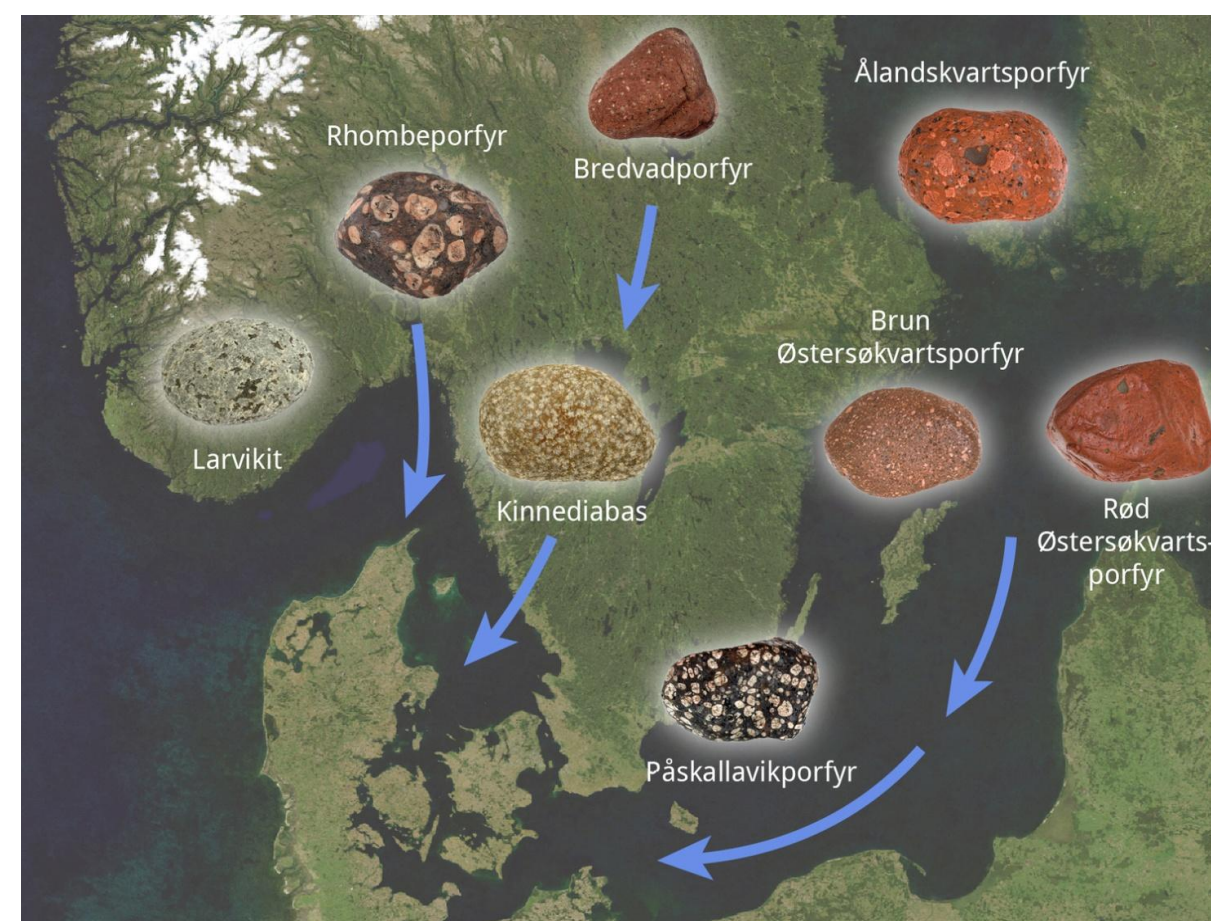


Moræneflade gennemskåret af tunneldale (mellem Farum og Slangerup, NØ-Sjælland). Øverst en terrænmodel, der udelukkende viser landskabets form, som det ser ud i dag. Nederst ses det tolkede istidslandskab. Tunneldalene er udskåret af smeltevandsfloder, der løb mod vest under isdækket. Flere kilometer lange åsbakker slynger sig gennem bunden af tunneldalene. Langsøerne Buresø og Bastrup Sø ligger i lavninger mellem tærskler i dalbunden. M. Houmark-Nielsen, upubliceret.

STEN OG BLOKKE I MORÆNELERET

De fleste sten og blokke vi finder i Danmark er ført hertil med gletsjere, som har samlet dem op undervejs. Kalksten og flintesten er almindelige sten fra den danske undergrund, mens mange andre typer af sten er bragt hertil fra Norge og Sverige. Let genkendelige sten fra særlige steder i Skandinavien (ledeblokke) findes langs strandene neden for skrænter med moræneler eller i strandvolde, der har fået sit materiale fra moræneler. Sten kan også findes i bunker på marker eller i grusgrave. Fælles for dem er, at de fortæller noget om, hvorfra gletsjerne har deres udspring og hvilken rute de eventuelt måtte have haft på vej mod Danmark.

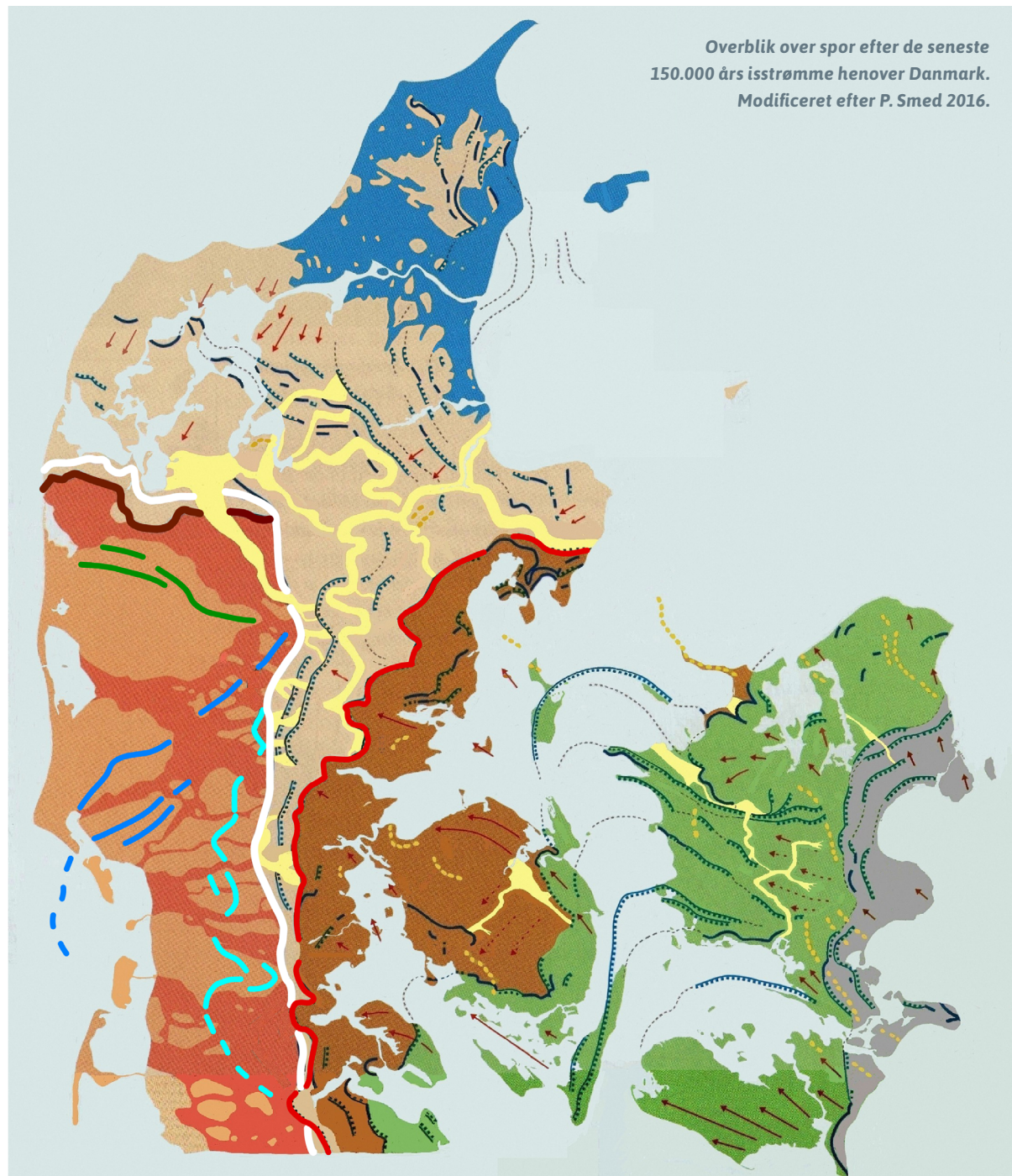
Det kræver en vis øvelse at kende forskel på forskellige typer bjergarter, derfor kan stenopslagsbøger være en rigtig god støtte. Hvis man vil undersøge istidsaflejringer med henblik på at bestemme retningen på den is, der afsatte dem, er det vigtigt at samle sten direkte fra det lag, man vil undersøge. Ellers kan sten fra andre lag afsat af tidligere eller senere fremstød forvirre billedet. De kan komme et andet sted fra. På stranden finder man ofte blandede sten fra flere lag. Til gengæld er det nemt at finde og identificere sten på stranden, fordi de er vasket fri for jord.



www.Gerhardts.dk

Isstrømme, klima-, havniveau- og miljøforandringer

GENNEM DE SENESTE 150.000 ÅR

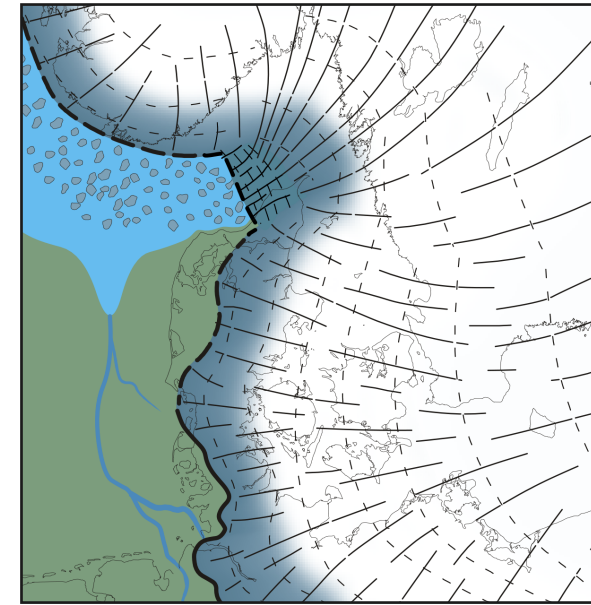


Overblik over spor efter de seneste 150.000 års isstrømme henover Danmark. Modificeret efter P. Smed 2016.

- Områder dækket af NØ-isen med israndslinjer
- Østjyske israndeslinje og områder dækket af Østjyske Isstrøm
- Område dækket af Bælthav Isstrømmen
- Område dækket af Øresunds gletsjeren
- Smeltevandsdal
- Senglacial Ishav
- Bakkeø Hedeslette
- Warthe Isstrøm Israndslinjer
- Ristinge Isstrøm Israndslinjer
- Sundsøre Fremstød Israndslinjer
- Kattegat Isstrøms største udbredelse Hovedstilstandslinjen
- Hovedfremstødet største udbredelse Hovedstilstandslinjen

NÆSTSIDSTE ISTID – SAALE

For 380.000 til 130.000 år siden

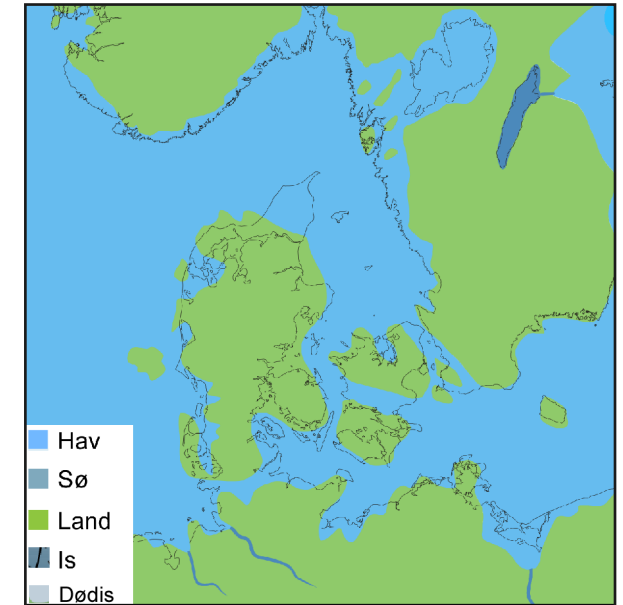


I Danmark findes spor efter tre større Saale-nedisinger, afbrudt af isfrie perioder. De to sidste fremstød hedder **Drenthe Fremstødet** (fra Mellemsverige) samt **Warthe Isstrømmen** (fra Østersøen) og de overskred begge hele Danmark.

Randmoræner fra Saale istidens Warthe isstrøm, der fandt sted for ca. 150.000 år siden, findes i et bælte på tværs af Vestjylland fra nordøst mod sydvest. Den bortsmeltende is efterlod et landområde, der var presset ned af isens vægt. På grund af den havstigning, som fulgte med isens afsmeltning, kunne et ishav mod slutningen af Saale istiden for 135.000 år siden derfor brede sig ind gennem Norske Rende, som er det dybere hav lige syd for Norge, til Skagerrak. Langs den vigende isrand kalvede isen og sendte isbjerge ud i havet, og på land henlå store arealer dækket af dødis. I dalsænkninger blev smeltevandsflodernes sten og grus dækket af sten-frit issø-ler afsat i lokale søbassiner og afsnørede strømløb – og pionervegetationen bredte sig over det unge morænelandskab.

EEM MELLEMITID

For 130.000 til 117.000 år siden



I den varmeste del af Eem mellemistiden var klimaet lidt varmere og mere fugtigt end i dag. Da verdenshavene nåede det højeste niveau stod vandspejlet 6-9 meter over det nuværende, og tidligere tørlagte landområder blev oversvømmet.

Blandt andet blev Vendsyssel havdækket, og der opstod en række sunde, som forbandt Nordsøen og Kattegat med Østersøen. Bl.a. et smalt sund der skar sig tværs gennem Slesvig-Holsten. Temperaturen og saltholdigheden var på dette tidspunkt noget højere end i nutidens hav omkring Danmark. På land udvikledes faunaen fra åben pionerskov til tæt løvskov med eg, hassel og avnbøg. Her levede en lang række dyrearter, såsom kronhjort, dådyr og bæver, samt arter som i dag er uddøde; steppebison, skovelefant og skovnæsehorn. Der er ikke påvist spor af mennesker i Danmark, men de har eksisteret længere sydpå i Mellemeuropa under Eem mellemistiden. Hen mod slutningen af Eem blev havet mere brakt og lavvandet på grund af hævnig af jordskorpen.

SIDSTE ISTID – WEICHSEL

For 117.000 til 11.650 år siden

Weichsel istiden indledtes med et væsentligt fald i havniveau og indvandring af mere kuldetolerante arter både på land og i havet. Det faldende havniveau betød at landområderne omkring Skandinavien og Nordsøen blev meget større, klimaet blev samtidig mere kontinentalt og det Skandinaviske Iskjold havde etableret sig i højlandet i Norge og Sverige. Østersølavningen var omdannet til en stor sø, der blev afvandret til Kattegat gennem floder, der løb tværs over det vestlige Skåne og nordøstlige Sjælland. Permafrosten holdt sit indtog, og samtidig måtte skoven vige pladsen for den arktiske dværgbuskhede.

TIDLIG WEICHSEL

For 117.000 til 75.000 år siden



I Tidlig Weichsel lå store dele af Sydsandinavien med Danmark samt Nordsøen hen som en del af den nordeuropæiske tundra med en sparsom vegetation af hårdføre urter og lave buske af dværgbirk og pil.

Somrene var lune, sommetider med temperaturer i nærheden af 14°C, men dog med et årsgennemsnit lavere end 0°C. På tundraen levede mammutter sammen med andre dyr som uldhåret næsehorn, kæmpebjørn, steppebison, rensdyr og moskusokse. I tundralandskabet var jorden frosset i mange meters

dybde året rundt, og kun i den korte sommer nåede de allerøverste dele af jorden at tø op. Så opstod der jordflydning, som udglattede det tidligere reliefrige istidslandskab fra Saale, og Eem-tidens søer og sumpede lavninger dækkedes efterhånden af flydejord. Havniveauet faldt mere end 25 til 50 meter i begyndelsen af Weichsel, men det nordlige Jylland og Skagerrak var stadig en del af den bugt, der via Norske Rende var forbundet med Atlanterhavet. Fund af mere varmekrævende marine dyrearter blandt den arktisk prægede fauna viser, at lunere vandmasser nu og da nåede de danske farvande. I Østersølavningen fandtes store ferskvandssøer. Fra Tidlig Weichsel kendes to mildere perioder (Brørup og Odderade interstadialerne), hvor det Skandinaviske Iskjold smeltede voldsomt tilbage, og havniveauet steg tilsvarende. Plantevæksten var da præget af åben birkeskov med fyr, mens gran indvandrede i slutningen af de milde perioder.

MELLEM WEICHSEL

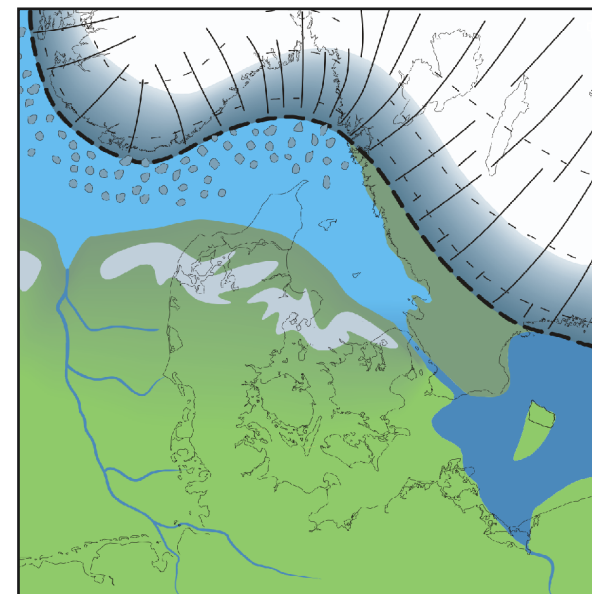
For 75.000 til 28.000 år siden

Mellem Weichsel bød på den første dybe kuldebølge under sidste istid. Ishavets bugt, der dækkede Vendsyssel, brente sig dybt ind i Kattegat til trods for at det globale havniveau lå 50 til 75 m under det nuværende. Dette skyldes sandsynligvis, at nedpresningen foran det Skandinaviske Iskjold var tilstrækkelig stor til at kunne opveje den globale havspejlsænkning, som var resultatet af øget gletsjervækst i de polare egne.

Flere gange i Mellem Weichsel spores perioder med lunere vandmasser i Kattegat, men de marine sedimenter har også lag med isskurede sten, der viser, at iskjoldet flere gange nåede ud i bugten, hvor der drev smeltende isbjerge rundt. I Mellem Weichsel voksede iskjoldet og fra denne periode kendes tre isfremstød i Danmark:

HORNS STADIALET

For 60.000 år siden



Under Horns Stadialet voksede Det Skandinaviske Iskjold, og en isstrøm – **Sundsøre Fremstødet** – trængte for første gang i Weichsel ind over Danmark, dog kun til de nordlige dele af Jylland og dybt ned i Kattegat.

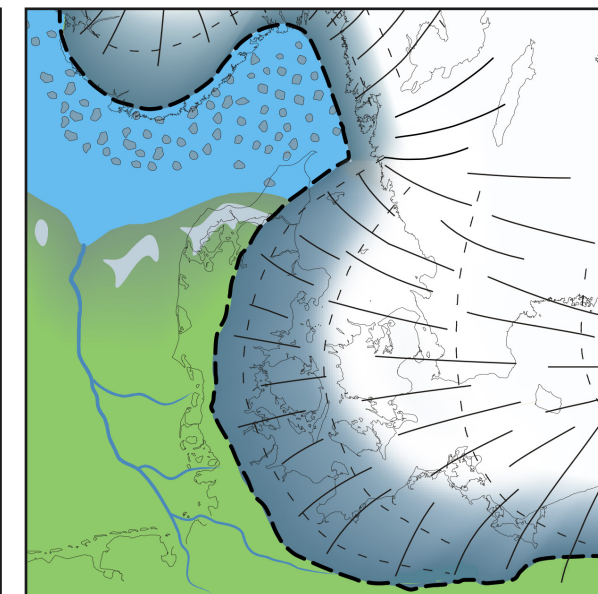
HIRTSHALS INTERSTADIALET

For 60.000 til 55.000 år siden

Mildere subarktiske vandmasser trængte ind i Kattegat, og der opstod forbindelse fra de isdækkede søer i Østersøen gennem Esrum-Alnarp dalen tværs over Skåne og NØ-Sjælland. Dalen var sandsynligvis blevet dannet ved indsynkning langs brud i jordskorpen omkring den Fennoskandiske Randzone, som er en markant brudlinie der strækker sig fra Skagerrak over Bornholm og helt til Sortehavet.

RISTINGE ISSTRØMMEN

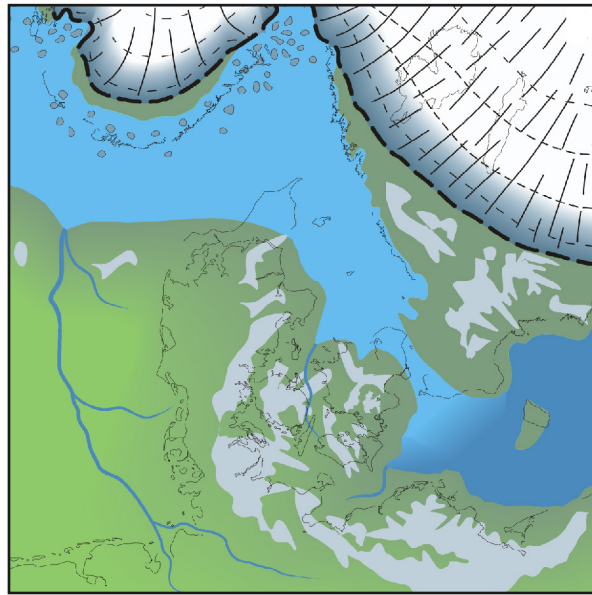
For 55.000 til 50.000 år siden



En baltisk isstrøm, **Ristinge Isstrømmen**, trængte for første gang under Weichsel tiden ind over Danmark. Sten og grus af baltisk oprindelse fundet i de marine lag i Vendsyssel viser, at isstrømmen trængte gennem Østersø-lavningen og kalvede i Kattegat, mens den dækkede det sydøstlige Danmark og det meste af Sønderjylland. Isen afsatte en till (moræneler), der i den sydlige og østlige del af landet har en karakteristisk rosa kulør, som skyldes knuste røde sandsten fra Østersøens bund. Denne isstrøm havde randen stående længere vestpå end Hovedstiltandslinjen, men næppe så langt vestpå som den nuværende jyske vestkyst.

SEJERØ-MØN INTERSTADIALET

For 45.000 til 30.000 år siden



Efter den første baltiske isstrøm indtraf en længere periode for 45.000 til 30.000 år siden, hvor Danmark var stort set isfrit, og hvor klimaet var forholdsvis mildt. Sommertemperaturer gennem hele perioden svingede et par grader omkring 10°C og vintertemperaturer lå langt under 0°C.

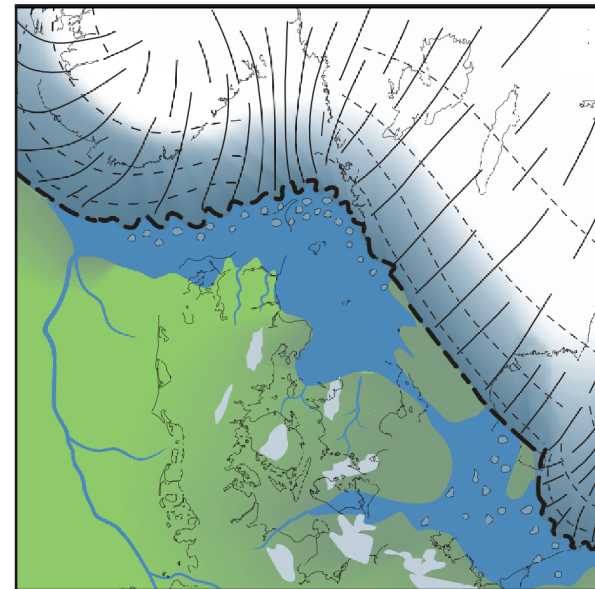
Plante- og dyrelivet var tilpasset de kolde og barske vilkår på Mammutsteppen, hvor pattedyrene talte moskusokse, mammut, lemming, rensdyr og blandt fuglene bl.a. dalrype. Et stort antal mammuttænder, som er blevet taget med af senere isfremstød og efterfølgende afsat sammen med istidssedimenter, er dateret til denne periode. Plantevæksten bestod af græsser, lyng, ene, dværgpil og dværgbirk.

I Skagerrak og Kattegat fandtes et ishav, som til tider strakte sig ind over Nordsjælland. Det Skandinaviske Isskjolds gletsjere kalvede i Norske Rende og afvandingen fra søer i Østersølavningen foregik henover NØ-Sjælland gennem Esrum-Alnarpdalen. Ved Esrumdalens munding aflejredes mudder med en sparsom marin, arktisk fauna og med sten og grus, tabt af smeltende isbjerge.

I denne langvarige milde periode fra 45.000 til 30.000 år siden, indtraf dog for 33-35.000 år siden et kortvarigt isfremstød, hvor endnu en baltisk isstrøm trængte frem gennem den isdæmmede sø i Østersølavningen og dækkede de østlige dele af Danmark.

KATTEGAT ISSØEN

For 30.000 til 29.000 år siden



Det Skandinaviske Isskjold voksede atter ud over de sydnorske kystegne, og det inderste af bugten blev afsnøret fra Nordatlanten, så der opstod en isdæmmed sø, **Kattegat Issøen**. Hurtige og voldsomme fald i Kattegat Issøens vandspejl, der er registreret i Vendsyssel, i Lønstrup Klints opstabilede flager af mudder og sand, vidner om, at søens vand ved flere lejligheder brød igennem isdæmningen i Norske Rende.

SEN WEICHSEL

For 28.000 til 11.650 år siden

Sen Weichsel var den koldeste del af sidste istid, og Det Skandinaviske Isskjold nåede sin største udbredelse under tre større isfremstød:

Kattegat Isstrømmen fra Norge

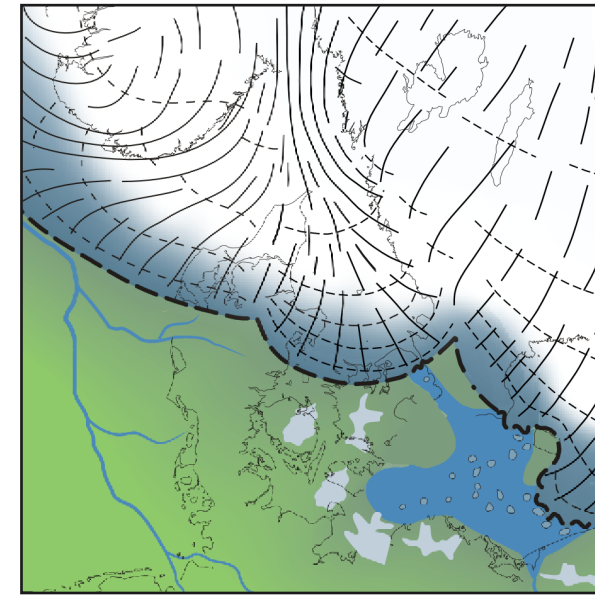
Hovedfremstødet fra Sverige

De Ungbaltiske Isfremstød, med retning gennem Østersølavningen.

Disse nedisninger har formet hovedtrækkene i det østdanske istidslandskab:

KATTEGAT ISSTRØMMEN

For 28.000 år siden



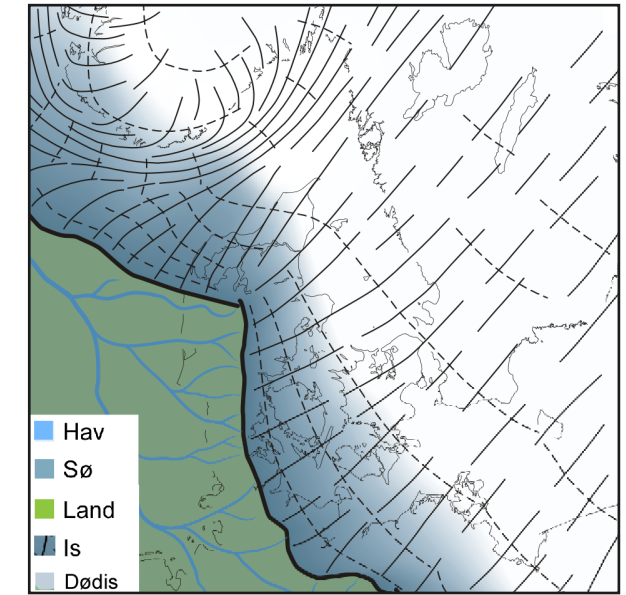
For 28.000 år siden skød en isstrøm fra Sydnorge - **Kattegat Isstrømmen** - ud i Kattegat Issøen og videre ind over det nordlige Danmark.

Den arktiske flora og fauna blev brudt ned og fortrængt af ørkenlignende forhold med sne- og sandfygning og ekstrem kulde.

Efterfølgende forsvandt isen fra Danmark og afsmeltningen betød, at Kattegat Issøen atter kom til at dække det meste af sit tidligere område. Smeltvandssand afsattes i Vendsyssel, mens lerede sedimenter med sten tabt af isbjerge afløstes af sandede delta- og flodaflejringer i Kattegats sydlige kystområder. På land lå store dødismasser tilbage, og i floder og søer aflejredes sedimenter med rester af et arktisk plante og dyreliv.

HOVEDFREMSTØDET

For 23.000 til 20.000 år siden



Under **Hovedfremstødet**, også kaldet NØ-isen, trængte Det Skandinaviske Isskjold fra Sverige massivt ind over Danmark flankeret af en isstrøm gennem Norske Rende og af en baltisk gletsjer på vej ind over det nordtyske-polske lavland. Over en bred front nåede en langsomt flydende del af is-skjoldet fra nordøst for 23.000- 20.000 år siden frem til Hovedstilsstandslinjen.

Det har undret mange istidsforskere, at Hovedstilsstandslinjen danner en næsten ret vinkel sydvest for Viborg. Israndens vinkelform kan skyldes, at isstrømmen gennem Norske Rende har været så effektiv, at Midtjylland ikke fik tilført tilstrækkelige mængder is til, at isranden kunne opnå et mere naturligt, udrettet forløb. Desuden stod isen ikke nødvendigvis ved hele Hovedstilsstandslinjen på samme tid; den østvest- gående del af linjen synes at være noget ældre end den nord-syd-gående del.

I de centrale dele af Danmark er NØ-isens aflejringer rige på ledeblokke fra Mellem- og Sydsverige. Isens største udbredelse markeres kun i ringe grad af randmoræner, men derimod af nord- og østgrænsen af de store vestjyske hedesletter. Disse flodsletter blev dannet af smeltvand, der løb vestpå mellem bakkeøernes udglattede istidslandskab fra Saale.

Hedesletterne fik størstedelen af deres sand og grus tilført gennem de nord- og østjyske tunneldale, hvor smeltevand i og under isskjoldet søgte ud mod isranden. Hovedstilstandslinjen skærer den jyske vestkyst ved Bovbjerg, hvorfra den kan følges videre ud i Nordsøen.

For 19.000 år siden blev den Nordatlantiske havstrøm mere aktiv, og bragte dermed mere varme til Danmark og mens NØ-isen smeltede tilbage, trængte et arktisk præget hav ind over dele af Vendsyssel. Isens tilbagesmeltning blev afbrudt af flere genfremstød, der efterlod store NV-SØ-gående randmorænestrøg gennem landet, men som især er synlige i Jylland. Her dannedes også de store midtjyske floddale, hvor smeltevandet både fulgte de tidligere tunneldale og udgravede nye dale på dets vej mod nordvest ud til Limfjorden. Bag genfremstødernes randmoræner findes strømlinede landskaber med såkaldte drumliner, der er bakker skabt i isens flyderetning. Mange steder efterlod den vigende isrand dødis.

Landskabsformer dannet i forbindelse med smeltning af dødis ses især på det centrale Fyn.

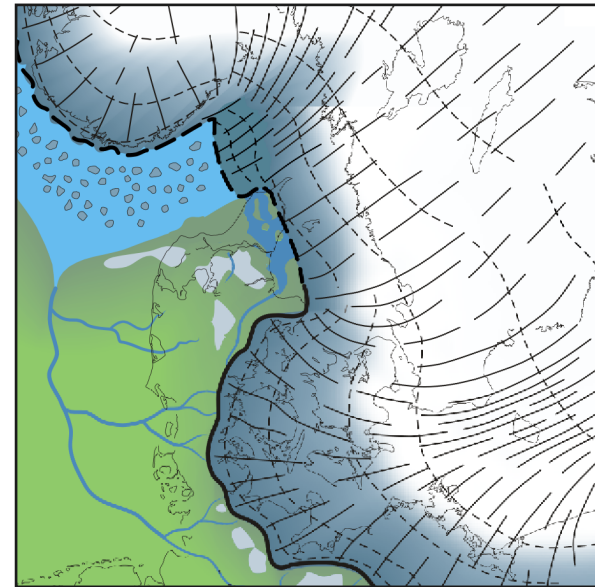
DE UNGBALTISKE ISFREMSTØD

For 19.000 år til 16.000 år siden

Afslutningen af sidste istid er karakteriseret af tre kortvarige isfremstød i rap, som alle kom fra øst.

DEN ØSTJYSKE ISSTRØM

For 19.000 år siden

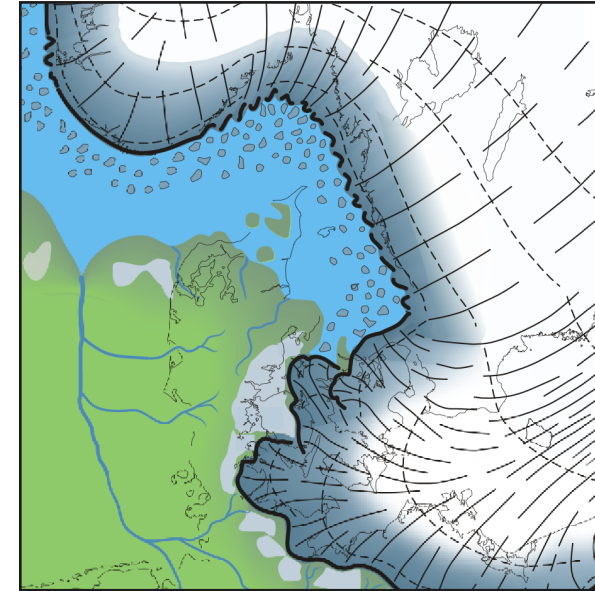


Mens ishavet – Yoldiahavet- trængte ind over Vendsyssel og ned i Kattegat, havde isskjoldet i Østersøen mistet sit greb i underlaget, og en baltisk isstrøm - **den Østjyske Isstrøm** - flød fra øst ind over Danmark for knap 19.000 år siden.

Isen nåede frem til den Østjyske Israndslinje, og i den østlige del af landet afsattes till (moræneler) med et karakteristisk indhold af sten og blokke fra Skåne og Østersøens bund. Denne isstrøm gik efterhånden i stå og samtidig var der afstrømning til Kattegat, dels ved kalvning, dels gennem store smeltevandsfloder i Gudenå-dalen.

BÆLTHAV ISSTRØMMEN

For 18.000 år siden

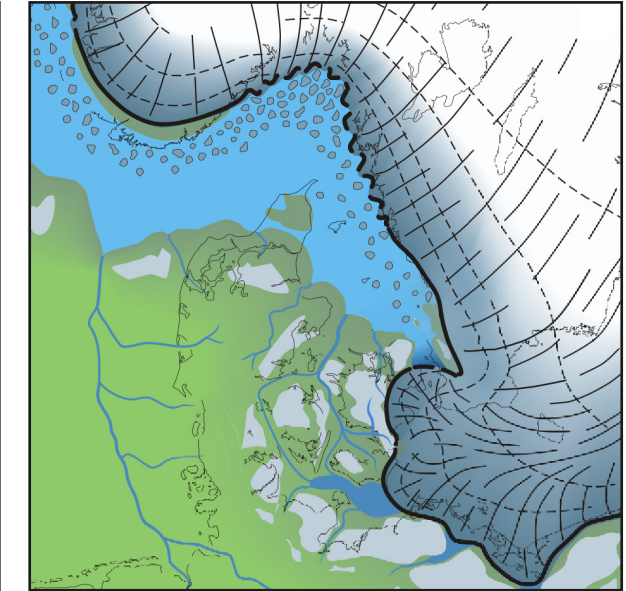


Et fornyet fremstød fra isskjoldet i Østersøen, **Bælthav Isstrømmen**, skød sig ind over det østlige Danmark for mellem 17.000 og 18.000 år siden. Isstrømmen skabte bueformede israndsdannelser, der især er tydelige i Storebælt og i Nordvestsjælland, fx Odsherred-buerne.

Bælthavisens hovedstrøm havde delt sig i tre mindre strømme, der trængte frem gennem de laveste dele af landet, der senere blev til Bælterne og Øresund: Én isstrøm over Sjælland kælvede således ud i Yoldiahavet i det sydlige Kattegat, en anden søgte op gennem Storebælt, mens en tredje skød mod vest gennem Lillebælt til Sønderjyllands kystegne. Ishavet havde samtidig forbindelse med den brakvandsfyldte fjord i det nordlige Øresund, hvorfra der er fundet sparsomme rester af polartorsk, ringsæl og isbjørn.

ØRESUNDSGLETSJEREN

For 17.000 år siden



Endnu yngre istunger skød sig vej gennem den sydlige del af landet, hvor der dannedes strømlinede bundmorænelandskaber. Den yngste isstrøm, kaldet **Øresundsgletsjeren**, havde sin rand liggende langs den østlige del af Sjælland for 17.000 - 16.000 år siden. Høje Møn blev dannet af denne yngste isstrøm.

Langs isens rand opstod større isdæmmede søer og under afsmeltningen dannedes flodsletter og større systemer af smeltevandsdale på Fyn og Sjælland. Store mængder af is fra disse ungbaltiske isfremstød overgik til dødis og sammen med efterladt dødis fra Hovedfremstødet begyndte den nedsmeltning, der førte til dannelsen af de mange bakkede dødislandskaber i Østdanmark.

Istiden var nu nær sin afslutning og landskabsdannelsen kunne gå ind i sin afsluttende fase.

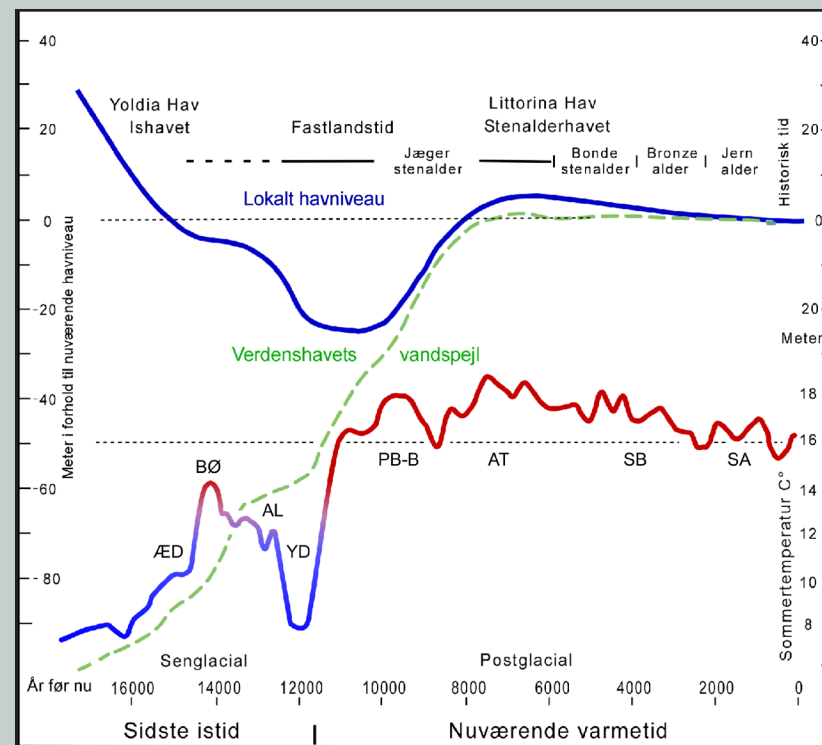
Når istider slutter

SÅ STIGER VANDSTANDEN I HAVENE...

Drivkræfterne bag den nedbrydning og omformning af istidslandskabet til det Danmark vi kender i dag, er de ændringer i havspejlets højde og klimaforandringer, som har fundet sted gennem perioden fra slutningen af istiden og frem til i dag. Gammelt land er forsvundet eller har fået ændret udseende, mens nye landskaber skabt af hav og vind er vokset frem.

Som tidligere nævnt, så afgøres vandstanden i verdenshavene af mængden af vand, der er bundet i de store iskapper på kontinenterne. Når det bliver koldere, vokser mængden af is på landmasserne og havspejlet falder, fordi nedbøren ikke føres tilbage til oceanerne. Når istider afsluttes, skyldes det, at solindstrålingen til Jorden stiger, hvilket resulterer i kraftig opvarmning og efterfølgende afsmeltning af isen. Dette gjorde sig også gældende ved afslutningen af sidste istid, med det resultat at vandstanden i verdenshavene steg med 120 meter på en periode over ca. 12.000 år.

Den globale stigning i havspejlet resulterede dog ikke i en støt stigning af havniveauet i de danske farvande. Dette skyldes, at jordskorpens bevægelser også spiller ind. Isen trykker nemlig jordskorpens ned, hvilket betyder, at når isen smelter, vil det manglende tryk på jordskorpens resultere i en landhævning. Ved afslutningen af en istid vil landhævningen i første omgang være ret markant, for senere at aftage, uden dog helt at stoppe. Landhævningen efter afsmeltningen af istidens iskjold i Danmark fortsætter stadig i dag med en rate på gennemsnitligt 1-2 mm pr år. De sidste 18.000 års ændringer i kystlinjens placering i Danmark er således et resultat af både ændringer i det globale vandspejl, samt ændringer i jordskorpens bevægelser.

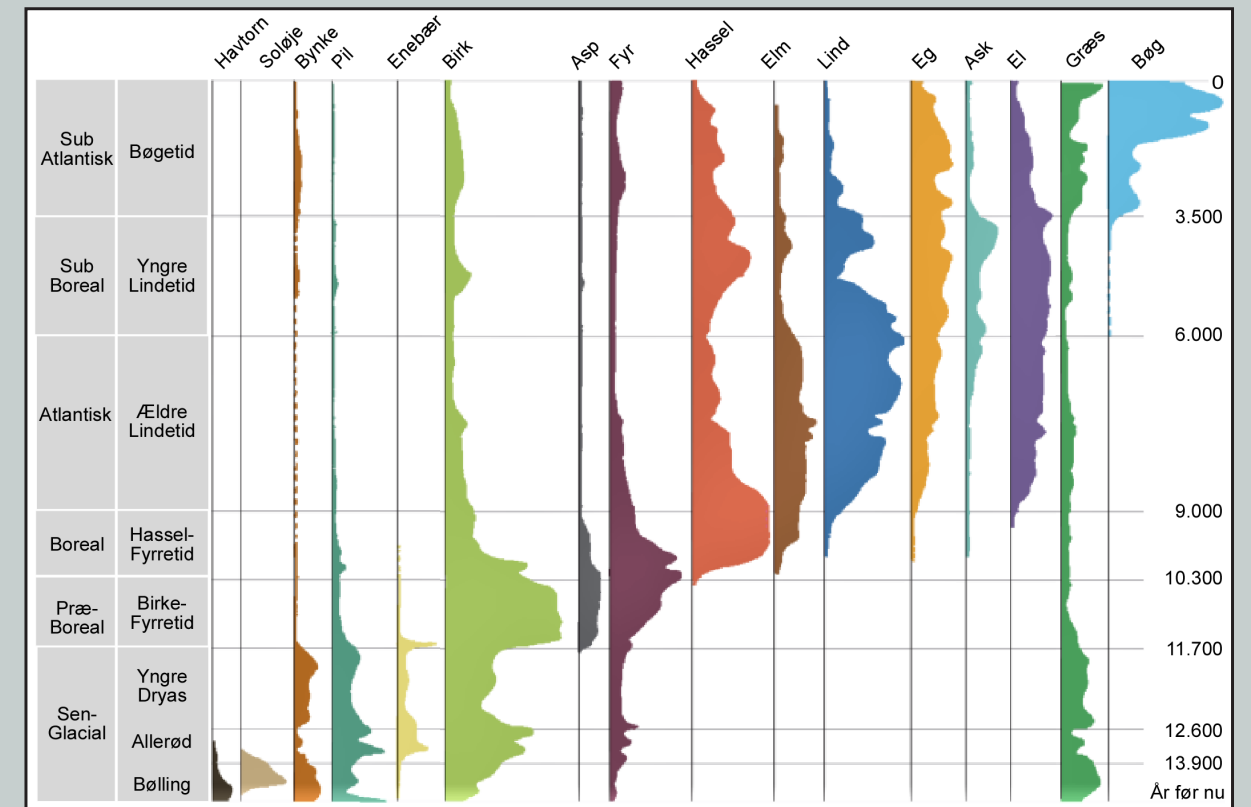


Havniveau og klima i det Nordlige Danmark.

Kraftig blå kurve: Ændringer i kystlinjens højde i forhold til nuværende havniveau i et bælte fra Nordsjælland til de vestlige Limfjordsegne. Stiplet grøn kurve: Stigning i verdenshavenes vandspejl. Blå-rød kurve: Sommertemperaturen i Nordvesteuropa. Denne er styret af både langsomme ændringer i solindstråling til jorden, samt kortere fluktuationer i Den Nordatlantiske Havstrøm. Forkortelserne AED: Ældste Dryas, BØ: Bølling, AL: Allerød, YD: Yngre Dryas PB-B: Præboreal – Boreal, AT: Atlantisk, SB: Subboreal, SA: Subatlantisk. Alle henviser til tidsperioder i pollendiagram. M. Houmark Nielsen, upubliceret

...OG NYE PLANTER VANDRER IND

Vegetationsudviklingen siden slutningen af sidste istid og frem til i dag er rekonstrueret ved at analysere pollensammensætningen i bundsedimenter fra en meget lang række søer i Danmark. De forskellige plantarters pollen har hver deres karakteristiske udseende. Samtidig er de kemisk meget robuste, hvilket gør, at man kan uddrive dem fra søsedimenter og dernæst bestemme den procentvise forekomst af de enkelte arters pollen under mikroskop. Denne metode har afsløret, hvorledes istidens arktiske tundraheder, med blandt andet pil og enebær, blev afløst af de mere varme- og lyskrævende træarter birk og fyr, hvorefter en tæt skov af hassel, elm og lind vandt ind.



Efter N. Noe-Nygaard m.fl. 2017 på basis af Johs. Iversen.

YOLDIAHAVET

For 18.000 til 15.000 år siden

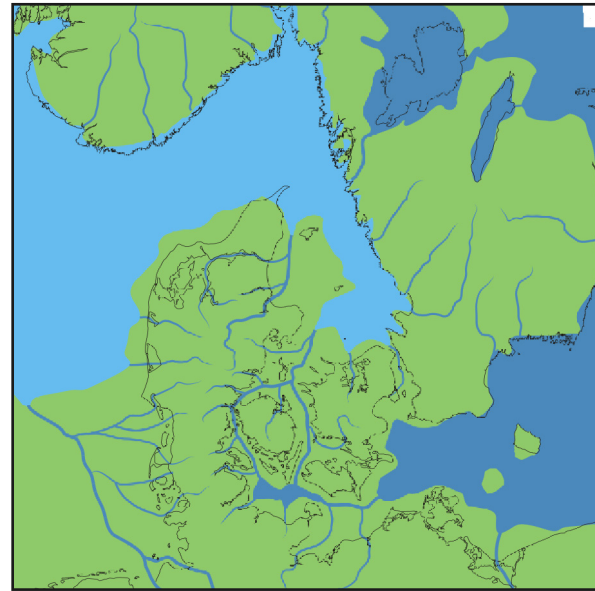
Som følge af isafsmeltningen i slutningen af istiden flød et ishav ind over Vendsyssel for ca. 18.000 år siden og bredte sig hurtigt til det meste af Kattegat. Fund af fossiler vidner om en rig arktisk fauna. Der er fundet hele skeletter eller rester af grønlandshval, hvidhval, ringsæl og isbjørn, foruden de kuldetålende muslinger, ishavsmusling (*Portlandia (Yoldia) arctica*), hulemusling (*Hiatella (Saxicava) artica*) og afstumpet sandmusling (*Mya truncata*). Havbunden hævede sig dog hurtigt op af havet i Vendsyssel, som følge af den markante landhævning i disse nordlige egne. I området omkring Frederikshavn i Nordjylland er Yoldiahavets kystklinter i dag hævet til højder mere end 60 meter over det nuværende havspejl, hvilket har medført erosion af kystklinter og udbygning af sandede og grusede krumodder og dannelse af strandvolde ud for kysten.

I øst voksede den Baltiske Issø i størrelse foran den vigende isrand.

Efterhånden som is skjoldet smeltede væk, vendte de kuldetolerante planter og dyr tilbage på land. Allerede i de relativt varme Bølling og Allerød perioder for ca. 15.000 år siden bredte et plantedække af græsser med spredt bevoksning af pil og bynke og senere også enebær og birk sig på de nyligt fremsmeltede mineralrige morænejorde. Urterne og dværgbuskene tiltrak flokke af rensdyr – og i hælene på dem også mennesket. De ældste spor af rensdyrjægere i Danmark er således omkring 15.000 år gamle.

FASTLANDSTIDEN

For 15.000 til 8.000 år siden



Fastlandstiden er karakteriseret ved, at havniveauet i Danmark var lavere end det nuværende. Dette skyldtes, at selvom isen smeltede og det globale vandspejl steg, så var landhævningen i Danmark relativt større. Perioden dækker den alleryngste del af istiden samt starten af den efterfølgende mellemistid **Holocæn**. Under den laveste vandstand blev Østersøen afvandet gennem store floder, hvis dyberender i dag løber i bunden af Bælterne. Østersøbassinet og store dele af det mellemste Sverige var dækket af en stor ferskvandssø - Ancylussøen. Under Fastlandstiden blev den arktiske steppefauna bestående af bl.a. rensdyr, fjeldræv, snehare, kæmpehjort, desman (en slags vandlevende muldvarp), samt vildhest og bjørn fortrængt af dyr som elg, ulv, urokse, kronhjort, rådyr og vildsvin, efterhånden som den nærmest træløse vegetation forandredes til åben skov af birk, fyr og hassel.

Når man kigger på detaljerede klimaarkiver (iskerner) over afslutningen af sidste istid, så kan man se at Holocæn begyndte ganske brat for ret præcist 11.650 år siden. Selvom man ved, at mellemistiden skyldes en støt og roligt stigende solindstråling, så ved forskerne stadig ikke hvorfor den var så brat, at man i løbet af blot 10 år gik fra subarktisk til tempereret klima i Danmark. Meget tyder dog på, at en voldsom kickstart af Golfstrømmen og den Nordatlantiske Havstrøm har spillet en stor rolle.

STENALDERHAVET

For 8.000 til 4.000 år siden



Fastlandstiden ophørte, da havet oversvømmede Nordsøen og atter trængte ind i det sydlige Kattegat og Bælterne. I perioden mellem 9.000 og 8.000 år siden steg havspejlet i verdenshavene hurtigt, da de sidste rester af de store iskjolde på den nordlige halvkugle smeltede. Samtidig var landhævningen i det danske område faldet så meget til ro, at store arealer blev oversvømmet i løbet af relativ kort tid. I beskyttede og lavvandede områder som fjorde og laguner, blev der aflejret dynd og mudder med masser af skaller i, hvoraf de mest almindelige muslinger og snegle tæller hjertemusling, blåmusling, østers, tæppemusling, kammusling og strandsneglen Littorina. Stenalderhavet kaldes derfor også for **Littorinahavet**. I Stenalderhavets ler og dynd findes desuden stubbe og træstammer fra drukningen af fastlandstidens fyrreskove.

Store områder af morænelandet blev oversvømmet, hvilket betød at kun de højeste partier stak op af Stenalderhavet, og kystlandet især i Nordjylland, Djursland og Nordsjælland blev omdannet til talrige øer og holme og hvor smalle sunde og fjorde skar sig ind i land.

At Stenalderhavets kystklinter i dag findes omkring 4–5 meter over nuværende havniveau i et bælte fra NØ-Sjælland over Djursland og Himmerland til det

nordlige Limfjordsområde, skyldes dels den stadige landhævning i de nordlige dele af landet, dels at vandstanden i verdenshavene de seneste 6.000 år har været nogenlunde stabil. I Vendsyssel når Stenalderhavet sit højeste niveau ca. 14 meter, mens det syd for en linje fra Ringkøbing til Møn ligger under nuværende havspejl grundet land-indsynkning.

SANDFLUGT

For ca. 700 år siden og frem til i dag

Selv om klitter allerede fandtes langs kysten i Stenalderen, nåede klitdannelse og sandflugt sit absolutte højdepunkt i Senmiddelalderen ca. år 1400 og frem til nyere tid. Sandflugten havde flere årsager, dog spillede et koldt og fugtigt klima, med heraf følgende lavt havniveau og lav grundvandsstand en stor rolle. Faldende temperaturer og nye storm- og lavtryksbaner samt ændrede havstrømme ramte Europa allerede i Jernalderen for omkring 2000 år siden og tiltog i styrke op til vor tid. Især fra Middelalderens slutning og nogle århundreder fremover herskede kulde og flere storme mere end normalt. Denne periode kaldes Den lille istid. Den lille istid var en global kuldebegivenhed som fik havspejlet til at falde. Først og fremmest fordi de voksende gletsjere bandt store mængder vand, men også fordi koldt havvand fylder mindre end varmere havvand. Da havspejlet faldt fulgte grundvandsstanden med. Selvom det var en begrænset grundvandssænkning, kunne det i visse områder have store følger. Med faldende grundvandsstand udtørrede de øverste sandlag, som derved bliver nemme at flytte rundt med, og samtidig svækkes vegetationen, som er med til at holde på sandet. Når der derefter, f.eks. på grund af vinderosion og overgræsning, rives hul på vegetationsdækket, kan vældige sandmængder hurtigt blive fanget af vinden og gå i drift. Dermed er grunden til sandflugten lagt. Denne proces kan først stoppes, hvis vinden ikke længere kan få fat i løst, tørt sand. Det kunne f.eks. ske, når så meget sand var fjernet, at stenene lå tilbage som en tæt brolægning, der skærmede det underliggende sand. Den slags afblæsningsflader kan i nutiden ses på den brede sandstrand efter stormvejr. Hvor afblæsningen og klitvandringen har været mindre gennemgribende, kan sand samles

i småklitter i læ af græstuer, sten eller andet og danne et uregelmæssigt småkuperet terræn. Flere steder i Danmark, f.eks. langs kysten i Nordsjælland og NV-Jylland er den lille istids klitrækker kravlet langt ind i istidslandskabet. Ud over de geologiske og klimatiske processer, spillede menneskelige faktorer som overgræsning og rovdrift på landskabets ressourcer også en rolle for sandflugten.

Problemet med sandflugt blev løst ved at man beplantede træer i store plantager langs de berørte kyster, så sandflugt er ikke et problem i dag.



Fyret ved Rubjerg Knude fotograferet i 2001.
Foto: Heb/CC BY-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)

Anbefalet læsning

Larsen, G. & Sand Jensen, K. (Red) (2017)
Naturen i Danmark Bind 2. Geologien
Gyldendal, 552 pp. 3^{die} udgave

Knudsen, K.L., Houmark-Nielsen, M., Noe-Nygaard, N. 2017
Klimaets naturlige variationer. Kap. 12 i Naturen i Danmark Bind 2. Geologien.
Gyldendal, s. 237-253. 3^{die} udgave.

Houmark-Nielsen, M., Knudsen, K.L. & Noe-Nygaard, N. 2017
Istider og mellemistider. Kap. 13 i Naturen i Danmark Bind 2. Geologien
Gyldendal, s. 255-301. 3^{die} udgave

Noe-Nygaard, N., Knudsen, K.L. & Houmark-Nielsen, M. 2017
Fra istid til og med jægerstenalder. Kap. 14 i Naturen i Danmark Bind 2. Geologien.
Gyldendal, s. 303-331. 3^{die} udgave

Krüger, J. 2017
Nutidens landskab. Kap. 16 i Naturen i Danmark Bind 2. Geologien
Gyldendal s. 363-396. 3^{die} udgave

Binderup, M. 2017
Nutidens kyster og klitter. Kap. 17 i Naturen i Danmark Bind 2. Geologien
Gyldendal, s. 397 - 438. 3^{die} udgave

Cohen, K.M. & Gibbard, P.L. 2012
Regional chronostratigraphical correlation table for the last 270.000 years

Houmark-Nielsen, M., Kjær, K.H. & Krüger, J. 2005
De seneste 150.000 år i Danmark, istidslandskabets og naturens udvikling
Geoviden, nr. 2, 20 p.

Krüger, J. 1989
Gletscheren og landskabet – i nutid og istid.
Gyldendal, 77 s.

Aaris-Sørensen, K. 2016
Danmarks pattedyr fra istid til nutid
Statens Naturhistoriske Museum, 256 s.