

2012

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 1

ANHOLT

- **ANHOLTS LANDSKABSELEMENTER**
- **STRANDVOLDSSLETTENS UDVIKLING
DE SENESTE 7.500 ÅR**
- **ØRKENEN PÅ ANHOLT**
- **FLAKKET — ET MARINT FORLAND UNDER
KONSTANT FORANDRING**
- **GEORADAR: GEOFYSISK MÅLEMETODE TIL
DETALJERET KORTLÆGNING AF JORDSTRUKTURER**
- **ISFREMSTØD OG LEDEBLOKKENE PÅ ANHOLT**

ANHOLT

Anholt midt i Kattegat dækker kun et areal på 22 kvadratkilometer, men øen rummer flere unikke landskabselementer. Øens særprægede Ørken er en hævet strandvoldsslette delvis dækket af indlandsklitter. Studier af strandvoldene fortæller om ændringer i klima, havspejl og landhævning de sidste 7000 år, mens studier af klitterne fortæller om en omfattende sandflugt for 100–500 år siden. Flakket på øens nordkyst er et ungt marint forland under konstant forandring. Flakket har udviklet sig gennem de sidste 1000 år og har de seneste 70–80 år flyttet sig østpå med imponerende hast. Samtidig er kystlinjen tæt ved øens havn rykket tilbage, og under kraftige vinterstorme skyller vandet nu ind over øens vigtigste vej. Hele Anholt omkranses af kridhvide strande. Her kan der bades, men også samles sten. Nogle af disse sten, ledeblokkene, fortæller om fortidens isfremstød gennem Kattegat.



ANHOLTS LANDSKABSELEMENTER

Anholt er en ø midt i Kattegat. Trods øens beskedne størrelse på blot 20 km² rummer øen flere karakteristiske landskabselementer. Mod vest findes et bakket glaciallandskab, og øst herfor ligger en gold strandvoldsslette overpræget af gulbrune klitter med sparsom vegetation, Ørkenen. Mod nord findes et fladt marint forland, Flakket, og rundt om hele øen ses brede strande og hvide havklitter, se kortene på side 4.

Øen ligger i den del af Danmark, der har været udsat for en relativ landhævning i Postglacial tiden; denne landhævning på adskillige meter har meget naturligt påvirket øens landskabsudvikling, ikke mindst i forbindelse med dannelsen af Ørkenens strandvoldsslette, hvor de højest liggende strandvolde nu befinder sig 9–10 m over havet.

Øens glaciallandskab er omkring 3 km² stort og består af bakkeland med en central lavning. Bakkelandet, der når højder på 39 m ved Nordbjerg og 48 m ved Sønderbjerg er af-

grænset på alle sider af retlinjede og op til 25 m høje stejlskrænter (se øverst i fotoet på side 3). Der findes desværre kun få profiler til oplysning om bakkelandskabets indre opbygning, men de få observationer, der er gjort, viser, at bakkelandet er opbygget af forskellige glaciære sedimenter, herunder lagdelt smeltvandssand og -grus samt moræneler og -sand. Sten fra disse aflejringer indeholder ledeblokke både fra det sydlige Norge (bl.a. rombeporfyrt), fra Dalarna i det mellemste Sverige og fra Østersøen. Man må således formode at Anholts bakkeland er opbygget under isfremstød både fra nordlige, nordøstlige og sydøstlige retninger under den seneste istid i Danmark. Øens bakkelandskab udgør en erosionsrest af et noget større landområde. Ved havstigningen i Stenalderen for omkring 7500–7000 år siden nåede havet imidlertid frem til øen og bølger fik mulighed for at nedbryde bakkelandet. De stejle kystskrænter blev dannet og det frigjorte materiale af sand og sten blev transporteret af bølger og strømme om til øens læ-

side (østsiden af øen), hvor materialet blev aflejret som strandvolde.

Den centrale lavning ligger umiddelbart vest og syd for Anholt by og udgør et fladt engområde med en overflade liggende i 3 meters højde. Tidligere undersøgelser af borekerner har vist, at lavningen er opbygget af postglaciære marine ler-aflejringer med skaller overlejret af ferskvandsaflejringer og tørv. Man må således forestille sig, at området tidligt i Postglacial tid har været en beskyttet fjord, men at fjorden på et tidspunkt pga. landhævningen er blevet afsnøret og omdannet til en lavvandet sø. Kommende borer vil afklare hvornår denne ændring skete, men et foreløbigt gæt vil være at havbugten blev afsnøret for omkring 3500 år siden.

Den delvist klitdækkede strandvoldsslette, der udgør Anholts østlige del og omfatter et areal på omkring 15 km², er Anholts mest særprægede landskabselement. Landskabet bærer navnet Ørkenen og dets særegne klitformer er enestående i Danmark, se foto øverst på side 5. Den trekantede strandvoldsslette strækker sig

Flakket er et afrundet vinkelforland, der har udviklet sig på øens nordside. Flakket opbygges af lave strandvolde, der er dækket med klitsand og adskilt af vanddækkede lavninger. I baggrunden ses det glaciale højland, afgrænset af en markant, inaktiv kystklint. Klinten blev dannet af bølgeerosion under den første oversvømmelse af området for omkring 7500 år siden.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.

LARS CLEMMENSEN

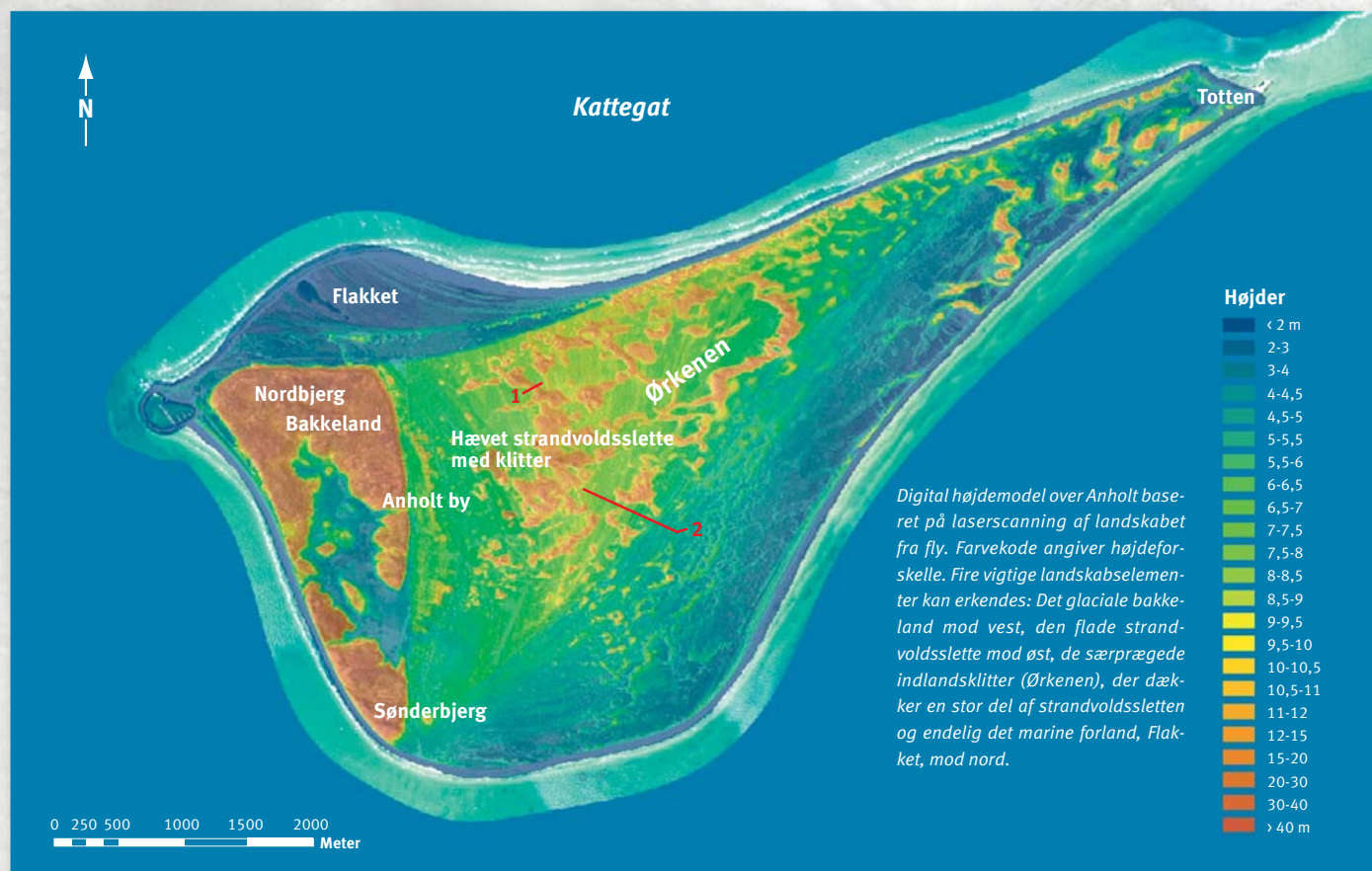
Lektor, IGG.
larsc@geo.ku.dk

LARS NIELSEN

Lektor, IGG.
ln@geo.ku.dk

JENS KONNERUP-MADSEN

Lektor, IGG.
jenskm@geo.ku.dk



Den flade strandvoldsslette mod øst udgør Anholts arealmæssigt største landskabselement. Strandvoldssletten opbygges af tætliggende stenede strandvolde. Fotografiet viser den ældste del af strandvoldssletten tæt ved klinten, der afgrænser bakkelandet. En stor indlandsklit ses ved foden af klinten.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.



Strandvoldssletten på den sydlige del af Anholt. Den meget stenede strandvold i forgrunden blev dannet for omkring 4300 år siden. Efterfølgende har kysten bygget sig omkring 1500 m ud mod sydøst.

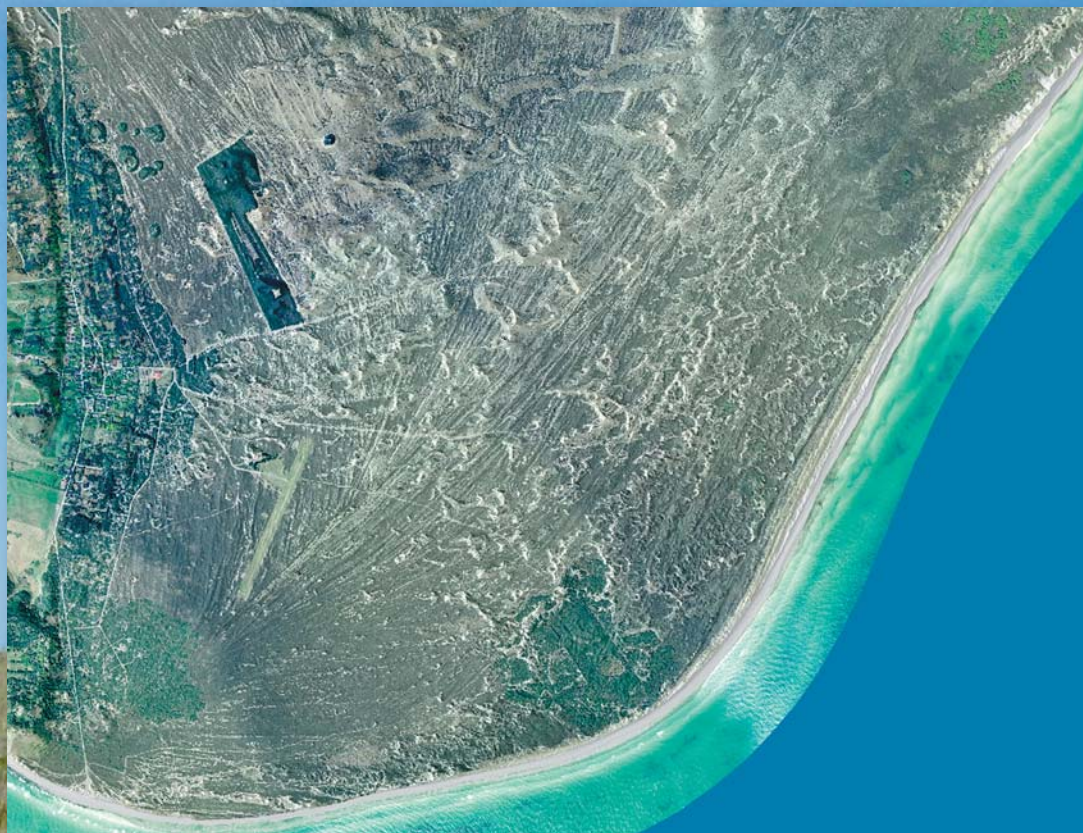
Foto: Lars Clemmensen, IGG.



7 km mod østnordøst og afsluttes af Totten, en lille sandodde, der i dag er tilholdssted for øens mange sæler. Strandvoldssletten, som er dannet gennem de seneste 7000 år, består af stenede strandvolde med mellemliggende lavninger. Strandvoldene ligger ganske tæt og der kan tælles omkring 200 strandvolde mellem højlandet og øens sydøstkyst. Ser man på flybilledet af øen side 6 øverst, bemærker man, at de først dannede strandvolde nær højlandet løber nord-syd, mens de senere dannede strandvolde har en sydvest-nordøst orientering.

Strandvoldssletten er blevet dannet under konstant tilførsel af sediment og under landhævning; kysten har bygget sig ud og strandvoldene er blevet dannet, den ene uden på den anden. Strandvoldenes sten, grus og sand er blevet transporteret op på stranden under højvande og kraftigt bølgeopskyl (side 6 nederst). Strandvoldene har sandsynligvis oprindeligt været dækket af lave sandklitter, men alle spor af disse klitter er nu forsvundet; de lave sandklitter blev omlejret af vinden under hyppige storme efter år 1560 og indgår nu i Ørkenens store klitformer.

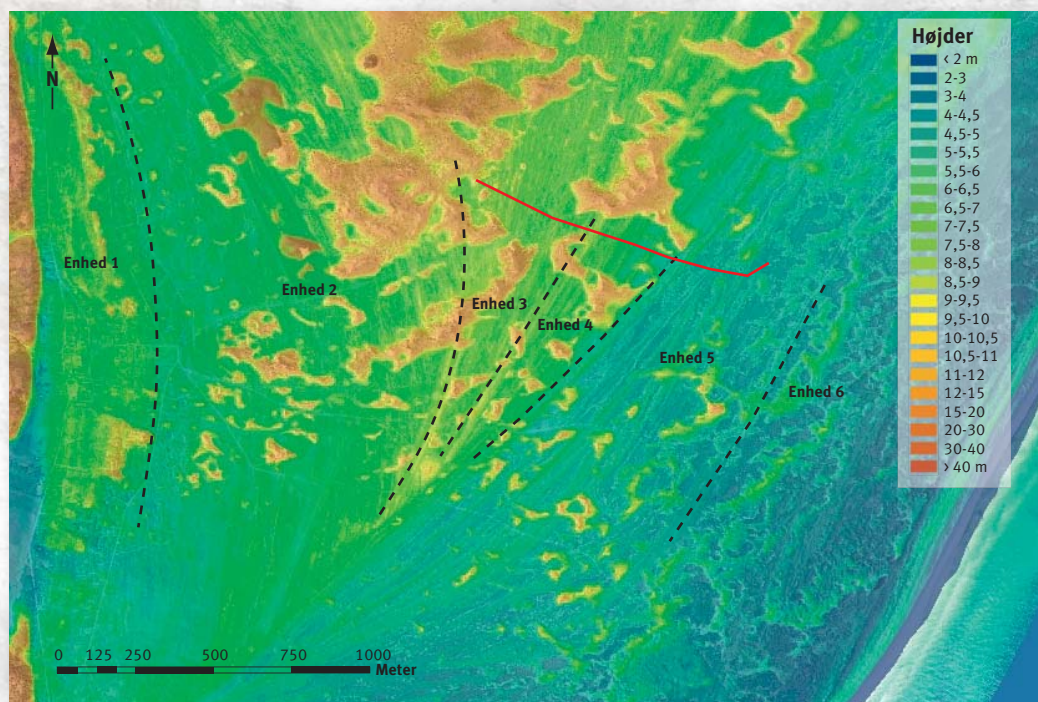
Flakket er et mindre marint vinkelforland på øens nordkyst, se kortene på side 4. Dannelsen af Flakket begyndte for omkring 1000 år siden, men udviklingen af Flakket tog først rigtig fart efter øens havn blev anlagt i 1902. Flakket omfatter således nogle af de yngste strandvoldsdannelser på øen. Strandvoldene på Flakket er typisk dækket af klitsand og danner lange, relativt lave rygge i det flade landskab; mellem disse rygge findes fugtige lavninger og søer. Flakket afviger således en del i udseende fra den ældre og hævede strandvoldsslette.



Flyfoto af den sydlige del af strandvoldssletten.
Copyright: Cowi, 2006.



Markant og meget stenet strandvold dannet for omkring 4300 år siden.
Foto: Lars Clemmensen, IGG.

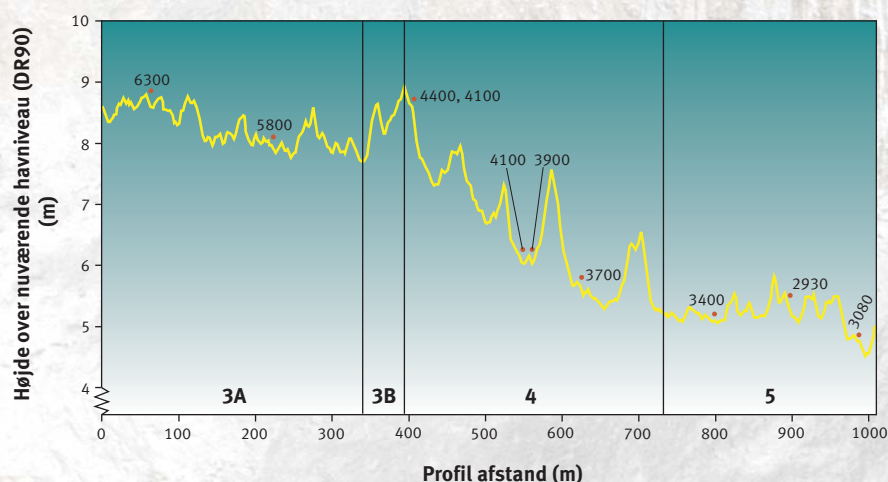


Højdekort over den sydlige del af strandvoldssletten med angivelse af enheder. Farvekode angiver højdeforskelle og det ses at strandvoldssletten når de højeste højder (9–10 m) i enhed 3. Det opmålte profil er angivet med rødt (se også kortet øverst side 4).

STRANDVOLDSSLETTENS UDVIKLING DE SENESTE 7500 ÅR

Den hævdede strandvoldsslette på Anholt er et af de bedst bevarede aflejringssystemer af sin art i Danmark og da hverken landbrug eller turisme i nævneværdig grad har ændret slettens topografi udgør den et enestående arkiv over fortidens klima- og havniveauændringer i Kattegat området, se fotos på side 6.

Strandvoldsslettens topografi viser, at strandvoldssletten kan opdeles i seks topografiske enheder, se kortet ovenfor. Luminescensdatering af strandvoldene (se figurteksten til højre) gør det muligt at beskrive strandvoldsslettens udvikling i en aldersmæssig ramme. Enhed 1, som er ældst og dannet tættest på det vestlige højland, har aldre mellem 7500 og 6700 år; enhed 2 mellem 6700 og 6500 år (aldersinterval for denne enhed er dog usikkert), enhed 3 har aldre mellem 6500 og 4300 år; enhed 4 mellem 4300 og 3600 år; enhed 5 mellem 3600 og 2600 år og enhed 6 har aldre yngre end 2600 år. Vi kan altså slutte, at udbygningen af de omkring 200 strandvolde begyndte for omkring 7500 år siden og at udbygningen tilsyneladende skete uden større afbrydelser. Strandvoldssletten blev først udbygget fra vest mod øst, senere fra nordvest mod sydøst. De forskellige enheder har forskellige højder over nuværende havniveau og overraskende nok



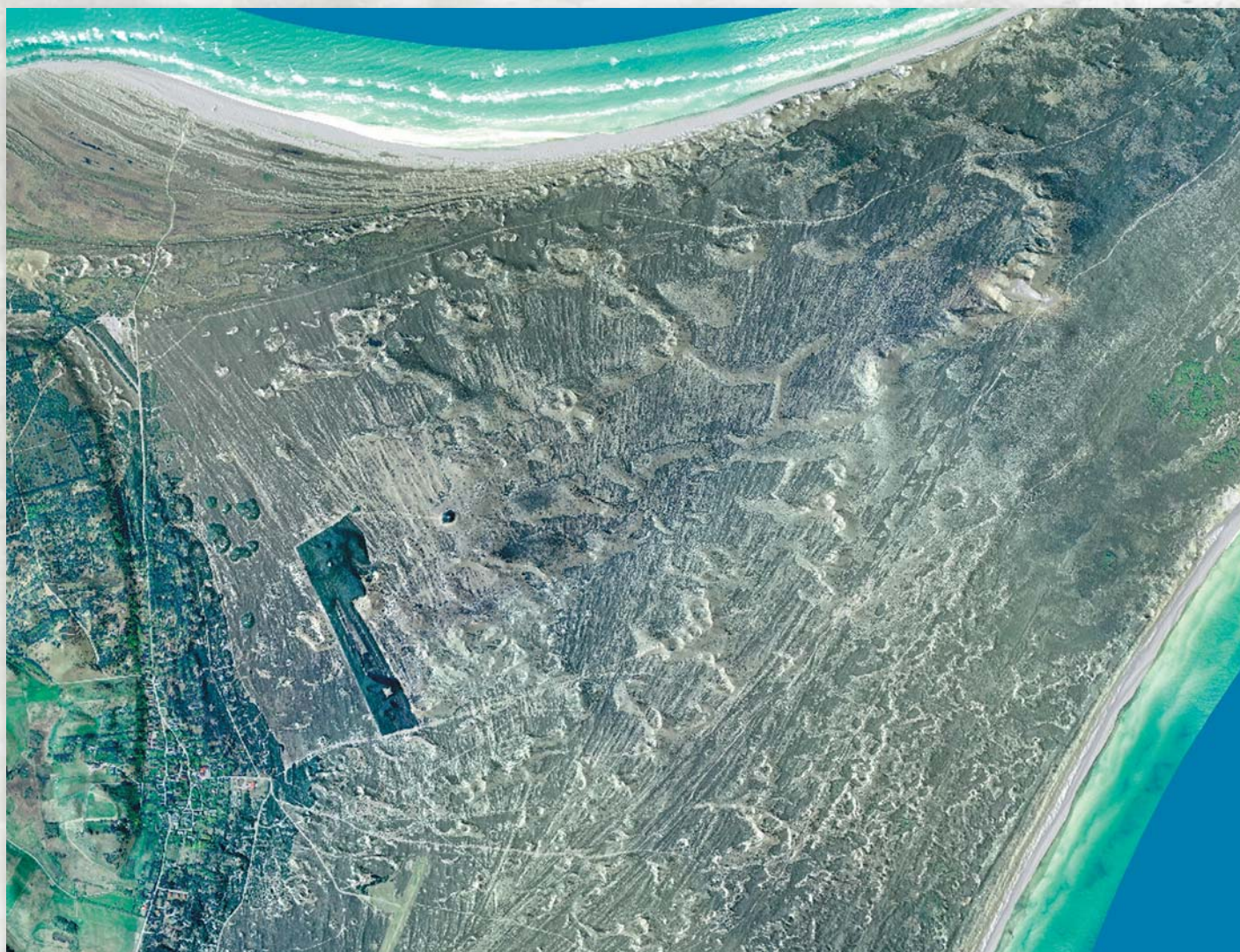
Profil opmålt på tværs af enhederne 3–5, hen over den sydlige del af strandvoldssletten. Lokaliseringen af profilet er vist på figuren ovenfor. De røde prikker angiver, hvor der er udtaget prøver til luminescensdatering af strandvoldene og tallene over prikkerne angiver de målte aldre. Se teksten for tolkning af profilet. Teknikken bag luminescensdatering er beskrevet i Geoviden nr. 3 fra 2005.

Efter: L. Clemmensen et al., i: Quaternary Science Review, online i løbet af 2012.

ligger strandvoldene ikke højest i enhed 1, men i enhed 3, hvor strandvolde når højder på omkring 9 m over nuværende havniveau, mens lavningerne befinder sig 8–8,5 m over nuværende havniveau, se profilet på figuren ovenfor. I enhed 4 falder strandvoldssletten relativt hurtigt (over få hundrede år) med omkring 3 m. Dette fald i topografi fortsætter med mere moderate værdier gennem enhed 5 og 6.

Da moderne strandvolde har højder på omkring 1,5 m og de mellemliggende lavninger ligger omkring 0,9 m over havniveau, kan topografiske målinger af strandvoldssletten anvendes til en tolkning af det relative havniveau i fortiden. Kender vi også alderen på enheder-

ne kan vi beskrive udviklingen i relativt havniveau gennem tiden. At vi bruger betegnelsen relativt havniveau skyldes, at det havniveau, vi læser ud fra strandvoldenes topografi, er blevet meget påvirket af landhævnningen på øen (se også side 16). Analyser af strandvoldenes topografi viser således, at vi havde det højeste relative havniveau under dannelsen af enhed 3 for 6500 til 4300 år siden. Nogle af strandvoldene når højder på 9 m i slutningen af enhed 3 for omkring 4300 år siden, og da det relative havniveau er omkring 1,5 m lavere kan det sluttes, at det relative havniveau på det tidspunkt stod i omkring 7,5 m. Da vi mener, at landhævnningen på Anholt har udgjort



Flyfoto af den nordlige del af strandvoldssletten, der er præget af mange klitter og som derfor også kaldes Ørkenen. Den høje, gamle klint ind mod bakkelandet er tydelig i den venstre del af billedet, og øverst til venstre ses en del af Flakket.

Copyright: Cowi, 2006.

mellem 6 og 10 m de sidste 5000 år (forskellige data viser, at landhævnningen var på mellem 1,2 og 2,0 mm om året), betyder det, at det absolutte havniveau for 4300 år siden lå mellem $\pm 1,3$ m og $\pm 2,1$ m. I enhed 4 (4300-3600 år) falder niveauet af terrænet ganske hurtigt med 3,5 m og vi tolker, at årsagen til dette fald er udtryk for et fald i det relative havniveau på 3,5 m og et tilhørende fald i det absolutte havniveau på godt 2 m. Georadar-analyser af strandvoldenes interne opbygning (se senere) viser ofte 'knæpunkter', dér hvor fortidens strandaflejringer mødte havet. Målinger af disse knæpunkters højde over havet underbygger ideen om, at der skete et hurtigt fald i havniveauet samtidig med dannelsen af enhed 4. Det bratte fald i havniveau på omkring 2 m skete for omkring 4000 år siden eller ved afslutningen

på en lang og varm periode i midt Holocæn, en periode, hvor andre undersøgelser viser, at årstemperaturen faldt ganske hurtigt med $1-2^{\circ}\text{C}$. De nye data fra Anholt bidrager dermed til en bedre forståelse af sammenhængen mellem temperaturændring og havniveau og kan indgå i den igangværende debat om den temperaturbestemte havniveaustigning i nutiden.

ØRKENEN PÅ ANHOLT

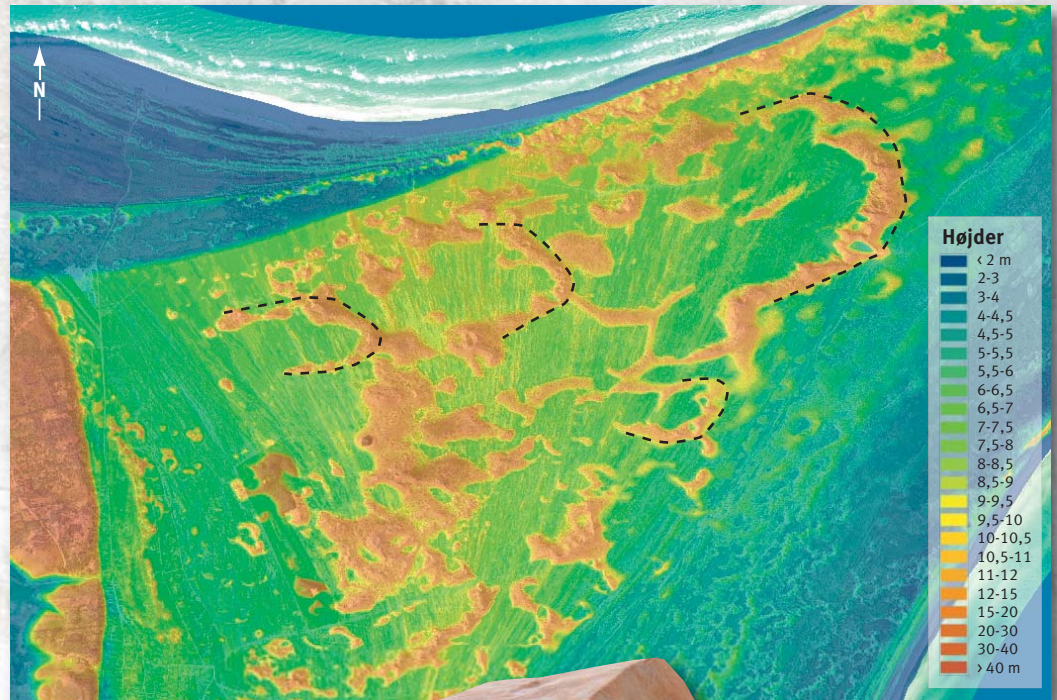
Det mest særprægede landskabselement på Anholt er uden tvivl Ørkenen, se illustrationerne ovenfor og på side 9. Axel Jessen beskrev Ørkenen i 1897 med følgende ord "et så øde og trist udseende som man kun træffer det få steder i landet". At området vitterligt gør et meget øde indtryk må man give Jessen ret i, men derimod vil de fleste naturskere nok mene at Ør-

kenen langt fra er trist. Ørkenen blev fredet i 1938-39 dels for at bevare den særegne vegetation, dels for at Ørkenens klitter kunne udvikle sig naturligt ('som vinden blæser').

Ørkenen på Anholt dækker et areal på 15 km². Landskabet er dog ikke en 'rigtig' ørken i den klassiske betydning af ordet. Dertil er nedbøren på Anholt for stor og vegetationen for udbredt. Ordet lavhede eller klithede ville være mere dækkende, men betegnelsen Ørkenen klinger bedre og refererer til de usædvanlige klitter og de sparsomt bevoksede, stenede strandvolde.

De stenede strandvolde i Ørkenen var nok oprindeligt dækket af lave klitter aflejret umiddelbart efter strandvoldenes dannelse. Denne ide underbygges af studier ved Flakket, hvor det kan iagttages at strandvoldene kun få år ef-

Højdekort over klitterne i Ørkenen. Bemærk at klitterne synes at danne en meget stor sammensat parabelklit, der igen opbygges af mindre parabelklitter, angivet med stiplede sorte linje. Andre, mindre veldefinerede klitformer indgår også. Parabelklitterne er alle vandret fra vest mod øst under indflydelse af de dominerende vestenvinde.



Eksempler på vindpolerede sten, hvor både to- og trekanter er synlige.

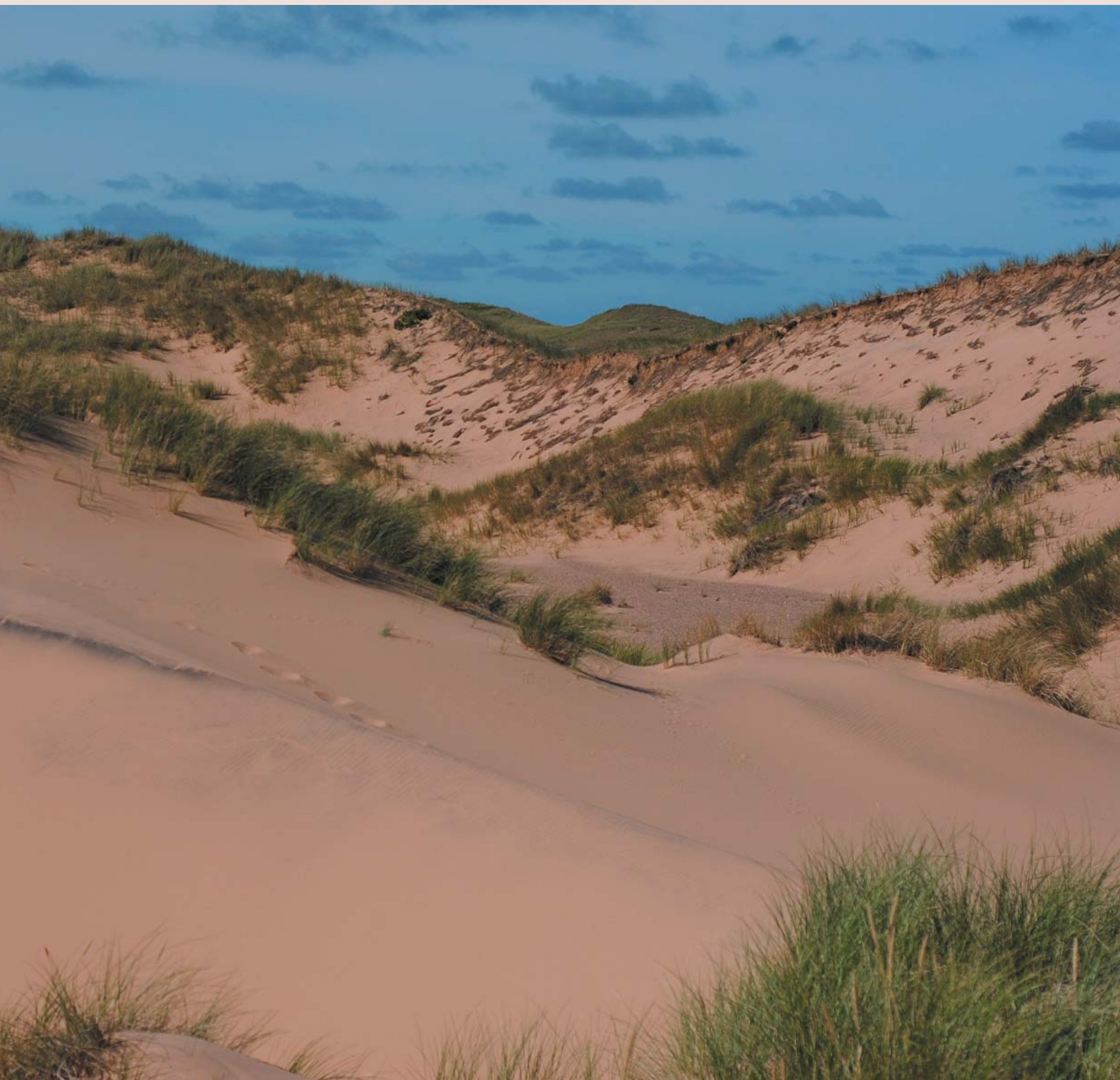
Foto: Peter Warn-Moors, GEUS.

ter deres dannelse, så snart de ikke længere overskyldes af bølger, bliver dækket af flyvesand. Senere blev landskabet i den nuværende 'ørken' dækket af fyrreskov, men i 1560 blev der anlagt et fyr på Anholt og de næste 40 år blev det meste af skoven fældet til brændsel. Det gamle landskab med klitdækkede strandvolde dukkede frem, og under de kraftige storme i den seneste del af Den lille Istid,

(kuldeperioden mellem år 1350 og 1900), blev sand fra klitter og strandvolde omløjet og blæst sammen i nye og langt større klitformer. Samtidig blev en stor del af strandvoldssletten 'fejret ren' og de mange stenede strandvolde dukkede frem mellem klitterne. Mange af stenene på disse strandvolde viser tydeligt, at de har været udsat for flyvesandets slibende og polerende virkning og flere steder finder man

veludviklede 'tokanter' og 'trekanter' dannet under skiftende vindretninger, dog overvejende fra vestlige retninger, se fotos ovenfor.

De nydannede ørkenklitter består af mellem- til grovkornet sand og har en betydelig større kornstørrelse end øens havklitter. Ørkenklitterne har endvidere en karakteristisk varm rødbrun eller gulbrun farve, som det ses på fotoet side 10. Ørkenklitterne er et eksempel på



Røde ørkenklitter ved Indien.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.

såkaldte indlandsklitter, idet sandet der opbygger dem stammer fra lokalt materiale (strandvolde) og ikke fra moderne strandsediment, som er det der forsyner de hvide havklitter på Anholt med sand. Sandets gulbrune farve skyldes, at mørke jernholdige mineralkorn i strandvoldene med tiden er blevet nedbrudt og at mange kvartskorn nu er dækket af en tynd hinde af rustfarvede jernforbindelser. Ørkenklit-

ternes gulbrune farve afviger markant fra den knitrede hvide farve som de unge havklitter har, se forsiden. Dette har inspireret Anholtboerne til at give et område med meget smukke ørkenklitter ved øens sydkyst navnet 'Indien'.

Hovedparten af Ørkenens klitter er nu stabiliseret af plantevækst, især hjælme, græsser og laver samt en smule revling og enebær, se foto side 11. Men det er tydeligt at se på klit-

ternes form at de tidligere har været aktive og er vandret mod øst under påvirkning af hyppige og kraftige vestenvinde. Hovedparten af ørkenklitterne på Anholt danner store og ofte komplekse parabelklitter (se kortene på side 8 og 9), men man ser også små rygge og kuppelformer eller stjerneagtige typer og sammenvoksede netværk samt mere uregelmæssige former. Mange af klitformerne er endvidere



Stabiliserede indlandsklitter er den mest almindelige klitform i Ørkenen. Klitterne er dækket af hjælme, græsser og laver samt spredte enebær og revling. Datering af klitterne viser, at de senest var aktive omkring år 1900. Billedet blev taget i forbindelse med filmoptagelser i august 2010, se boksen.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.

blevet ændret ved udviklingen af store grydeformede vindbrud (huller i klittens vegetation). De største klitter når højder på omkring 15 m over det omkringliggende plateau.

Dateringer af klitsandet og historiske kilder viser, at ørkenklitternes storhedsperiode lå mellem år 1600 og 1900. I den periode var Ørkenen præget af nøgne til kun svagt bevoksede vandreklitter og landskabet har sandsynligvis minnet om nutidens Råbjerg Mile og endda i større skala. Stabiliseringen af klitterne efter år 1900 skete i en periode med relativt lav vindenergi. Nu er flere af klitterne, især i Ørkenens sydøstlige og mest vindeksponerede hjørne, dog atter ved at blive aktiveret, måske et resultat af at vindenergien har været tiltagende de seneste 20–30 år. Aktive klitter ses bl.a. ved 'Indien' på øens sydkyst. Ørkenklitterne er her brudt igennem rækken af hvide havklitter og farveforskellen mellem de to klittyper er slående.

FILMOPTAGELSER PÅ ANHOLT

Forfatterne til dette nummer af Geoviden har arbejdet med Anholts naturlandskaber siden 2002 og har skrevet en række videnskabelige artikler om øens udvikling de seneste 7000 år.

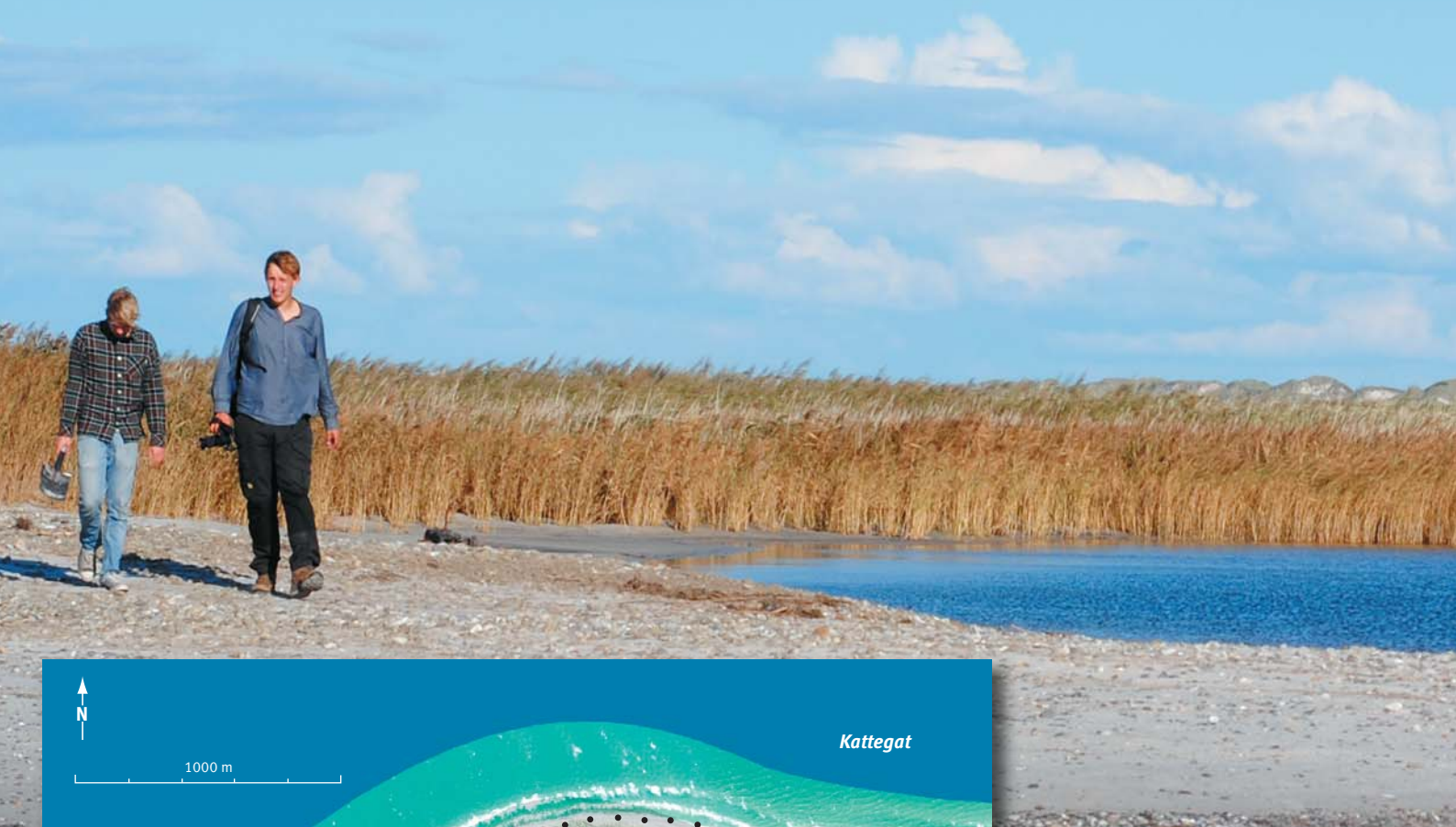
I 2009 etablerede gruppen et samarbejde med Chilbal Film om at formidle forskningsresultaterne til gymnasieskolen og den brede offentlighed. Dette samarbejde har resulteret i en produktion af tre film om Anholts naturlandskaber. Planlægning af filmarbejdet fandt sted i forsommeren 2010, og filmoptagelserne i august 2010. Arbejdsgruppen på Anholt bestod af to filmfolk, forskergruppen og fire geologistuderende fra IGG, samt fire gymnasieelever. Filmene blev færdigproduceret i januar 2011 og vist ved et medarbejdermøde på IGG i foråret 2011.

Film 1 og 2 om henholdsvis Anholts kyster og Ørkenen henvender sig til elever i folkeskole og gymnasium. Filmene skildrer geologisk og naturgeografisk feltarbejde på Anholt og fortæller om, hvor spændende, udfordrende og vigtigt det er at undersøge landskabsudviklingen i Danmark efter sidste istid. Det er planlagt at film 1 og 2 med tilhørende introduktion skal indgå i det materiale, som bruges i undervisningen i geografi i gymnasiet. Film 3 vil blive vist af DR 2 (Danskernes Akademi) i 2012 som led i en programserie om 'Kyster i forandring'. Film 3 fortæller om kyst- og landskabsudviklingen på Anholt de seneste 7000 år og belyser bl.a. hvordan studier af øens strandvolde kan bidrage til en bedre forståelse af fortidens ændringer i havniveau.

Filmene kan anskaffes ved henvendelse til Bent Yde Jørgensen, Chilbal Film, (chilbal@os.dk).

Mellem de lave strandvolde findes der lavninger, der ofte er vandfyldte. En af disse lavninger har udviklet sig til en relativt stor strandsø. Grundet kysterosion langs Flakkets nordvest side er havet nu rykket ganske tæt på strandsøen, der i dag kun er adskilt fra havet af en smal strandtange.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.



Flyfoto fra maj 2006, der viser at Flakkeet er et afrundet vinkelforland. Et vinkelforland er én af mange typer af marine forlandsdannelse. Flakkeet er opbygget af lave klitdækkede strandvolde med mellemliggende, ofte vandfyldte lavninger. Strandvoldenes forløb viser, at Flakkeet er udbygget mod nordøst samtidig med at der er sket erosion langs den nordvestlige kyst. Den sideværts forlægning af Flakkeet er fortsat de seneste år. GPS-opmålinger af kystlinjen i 2010 (angivet med sorte og røde prikker) viser, at kysten mellem 2006 og -10 er rykket ca. 40 m tilbage langs Flakkets nordvestside og 30–70 m frem langs Flakkets nordøstside. Pilen viser hvor fotoet på side 14 er taget.

Copyright: Cowi, 2006.

FLAKKET – ET MARINT FORLAND I KONSTANT FORANDRING

Flakkeet er et relativt ungt marint forland på Anholt's nordkyst. Flakkeet er opbygget af en række nordvest-sydøst-orienterede, stenede strandvolde, se flyfoto ovenfor. De yderste volde er kun dækket af tynde og spredte flyvesandsaflejringer, mens alle de inderste strandvolde er dækket af 1–2 m, eller i et enkelt tilfælde mere

end 5 m, tykke æoliske (flyvesand) aflejringer. De æoliske aflejringer er dækket af vegetation; enkelte vindbrud ses dog i de højeste klitter. Strandvoldene med overliggende klitsand danner lange, tydelige rygge i landskabet og er adskilt af 10–40 m brede lavninger med en rig vegetation af bl.a. dun-birk, krybende pil, revling, grå star, smalbladet kæruld, rød svingel, almindelig kællingetand, glanskapslet siv og

tagrør. Lavningerne er vanddækkede (især i vinterhalvåret) og en af disse lavninger har udviklet sig til en permanent og relativt stor strandsø, se ovenfor.

Flakkeet afgrænses mod nord af aktive strande langs Kattegat. På nordvestsiden af Flakkeet er stranden erosiv, relativt smal og uden den store topografiske variation. Her afgrænses stranden mod land af en erosionslinje gennem

Kysten langs Flakkets nordvestside er rykket tilbage siden 1934. Dette ses bl.a. ved, at vegetationsrige klitlavninger, der oprindeligt blev udviklet bag den yderste havklit, nu ses i strandzonen, hvor de nedbrydes af bølgerne.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.



Den fremrykkende kyst langs Flakkets nordøstside er præget af en ca. 60 m bred strand, og der er dannet en op til 1,8 m høj stenet strandvold. Strandvolden dannes når vandstanden i havet ud for kysten er høj og når der samtidig er bølgeenergi nok til at transportere sten og sand højt op på stranden.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.



tidligere klitdækkede strandvolde og tørvefyldte lavninger, se foto øverst til højre. På nordøstsiden af Flakket bygger stranden ud og den er bred og veludviklet. Stranden er her typisk opbygget af en 10 m bred forstrand, en op til 1,8 m høj og 25 m bred strandvold og en bagvedliggende lavning, se foto nederst til højre. Her ændrer kystlandskabet sig dog ganske hurtigt pga. kystens udbygning og de nye strand-

volde, der dannes, når kysten bliver tilstrækkelig bred.

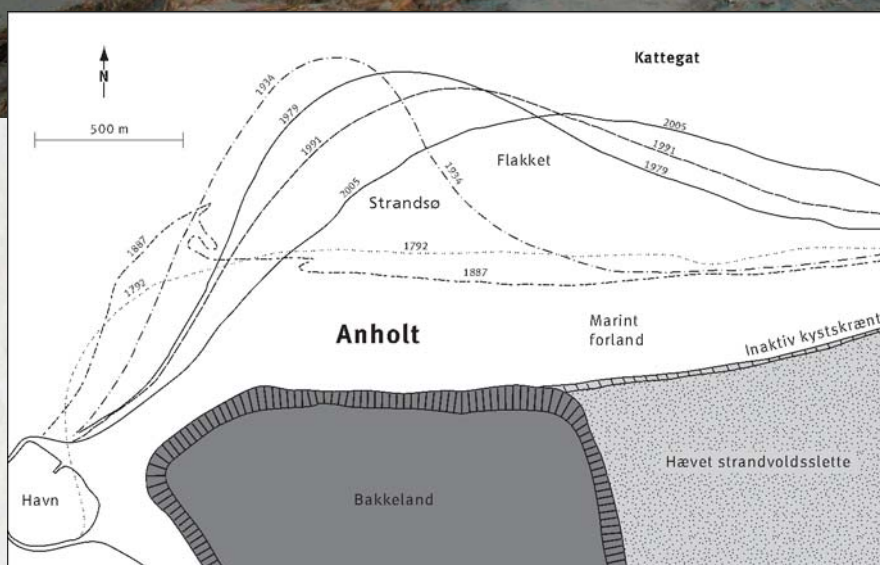
Kattegat er et havområde næsten uden tidevand, idet den maksimale tidevandsstørrelse, dvs. forskel mellem høj- og lavvande, kun er beskedne ca. 40 cm. Til gengæld præges kystområderne af ganske betydelige vandstandsvariationer, der er betinget af meteorologiske forhold, især vindstuvning og lufttryk. Vand-

standen kan således årligt variere mellem 1,4 m over og 1,2 m under middelvandstanden. Strandvoldene på Flakket er opbygget af bølgeopskyl under perioder med særlig høj vandstand i havet ud for kysten.

Flakket, der kan karakteriseres som et afrundet vinkelforland, har en maksimal nord-syd udstrækning på omkring 800 m, se kortet side 12. Flakket er begrænset mod syd af inak-

Stormen, der ramte landet natten mellem den 9. og 10. december 2011, forvoldte alvorlige skader på Anholts vigtigste vej, lige nord for havnen, hvor øens højspændingskabel blev frilagt. Stedet er vist med en pil på flyfoto på side 12.

Foto er venligst udlånt af anholt.dk



Udviklingen af Flakket mellem 1792 og 2005. Det ses, at Flakket er et meget dynamisk aflejringssystem. Ændringen fra en relativt lige, øst-vest-gående kyst til et afrundet vinkelforland skete mellem 1887 og 1934 og kan med stor sandsynlighed sættes i relation til bygningen af øens havn i 1902. Siden 1934 har dette vinkelforland forskubbet sig mod øst under indflydelse af en østgående sedimenttransport i kystzonen.

Efter: Clemmensen et al., 2011.

tive kystklinter. En ca. 25 m høj klint adskiller forlandet fra det bagvedliggende glaciale landskab, mens en 3–4 m høj klint adskiller det marine forland fra de hævdede strandvoldsafløjninger fra Stenalderen. Mens den høje kystklint langs det glaciale landskab nok blev dannet under Stenalderhavets første oversvømmelse af området for 7500–7000 år siden, synes den lave kystklint længere mod øst at være af yngre dato og er sandsynligvis dannet under en periode med kysterosion, der sluttede for omtrent 1000 år siden. Udviklin-

gen af Flakket er således sket gennem de sidste 1000 år. De tidligste faser af udbygningen er dokumenteret ved hjælp af luminescensdatering af kystsedimenter og georadar-opmåling, mens udviklingen siden 1792 er aflæst fra kortdata og flyfotos, se kortet ovenfor. De alleryngste faser af kystudviklingen – siden 2006 – er dokumenteret vha. GPS-opmåling af kystlinjen, se kortet side 12.

Under den første fase af kystudviklingen – mellem år 1000 og 1780 – byggede kysten sig 400 m ud mod nord. Kort efter år 1792 fulgte

en periode med kysttilbagetrækning, i det mindste langs den østlige del af Flakket. Denne fase af kysttilbagetrækning skyldes muligvis dominans af østlige vinde i en periode omkring 1800. Disse østlige vinde ændrede kystdynamikken og betød sandsynligvis, at bølgestrømmen førte sediment fra øst mod vest, hvorved dele af tidligere aflejrede strandvoldssedimenter blev eroderet. Efter 1810 (tidspunkt bestemt ved luminescens-datering af kystsediment) byggede kysten sig atter ud og nåede omkring 1887 næsten frem til linjen fra 1792. I perioden lige før 1887 blev der dannet en markant klitryg langs kysten. Dannelsen af denne op til 8 m høje klitryg skyldtes sandsynligvis, at storme fra nordvestlige og vestlige retninger var meget hyppige i slutningen af det 19. århundrede og at strandsand under disse hyppige storme blev transporteret op i havklitten af vinden.

Bygningen af Anholts havn i år 1902 ændrede strømmene i området og førte til en meget hurtig ændring af Flakkets udseende. Flakkets kystlinje, som forud for havnebyggeriet var relativt retlinjet og orienteret Ø–V, blev ændret til en afrundet form. I 1934 var vinkelforlandet relativt smalt og havde sit toppunkt omkring 1700 m nordøst for havnen. Efter 1934 er Flakkets toppunkt blevet forskudt omkring 1000 m

østover og samtidig har forlandet fået en lidt bredere men stadig meget afrundet form. Forskydningen af Flakket betød, at forlandets nordvestside blev eroderet, samtidig med at der blev lagt sediment på kysten langs Flakkets nordøstside, som er bygget omkring 600 m ud siden 1934; her er der i gennemsnit dannet en strandvold hvert 10. år. Denne udvikling er fortsat efter 2006 og GPS-opmåling har vist, at kystlinjen på nordvestsiden af Flakket er rykket omkring 40 m tilbage mellem maj 2006 og november 2010. I samme tidsrum er kystlinjen på nordøstsiden af Flakket rykket mellem 30 og 70 m frem. Disse ændringer i Flakkets kystlinje er ganske store og ændringerne siden 2006 har betydet, at den store strandsø, som udgør et vigtigt naturelement på Flakket, nu er truet af hyppige oversvømmelser, idet søen kun er adskilt fra havet af en ca. 25 m bred og 1,2 m høj sandtange. Kysttilbagetrækningen

har samtidig frigivet sand, som vinden kan blæse ind over forlandet og en del af Flakket længst mod vest er nu dækket af nyaflejret æolisk sand.

Men kystlinjeændringen berører ikke kun Flakkets naturområder. Øens vigtigste vej, der forbinder Anholt by med havnen, er anlagt på en small strimmel forland mellem havet og den markante kystklint. I 1935 lå vejen lige øst for havnen ca. 100 m inde i land, men i takt med den pågående luv-sideakkumulation (syd-øst for havnen) og læsidererosionen (østnord-øst) for havnen, fortsatte Flakkets forlægning mod øst. For hver storm rykkede havet tættere og tættere på vejen og under stormen og højvandet natten mellem den 9. og 10. december i 2011 fjernede bølgerne store dele af vejen og øens højspændingskabel, der lå under vejen, blev frilagt (side 14). Da Flakkets forlægning mod øst primært kan tilskrives dominansen af vestlige vinde og en resulterende kysttransport af sediment mod øst må det forventes at den igangværende udvikling fortsætter de kommende år. Det betyder, at yderligere erosion af kyststrækningen nær havnen må forventes, med mindre der foretages omfattende kystsikring.

GEORADAR: GEOFYSISK MÅLEMETODE TIL DETALJERET KORTLÆGNING AF JORDSTRUKTURER

GEORADAR

Den mest detaljerede viden om Anholts strandvoldssystemer og klitter får man naturligvis ved at grave eller bore ned i sedimenterne, så man kan lave direkte observationer og opmålinger af disse geologiske fænomener. Men når man skal undersøge store områder eller lange profilinjer på flere hundrede meter, er det naturligvis umuligt at gennemgrave eller gennem-bore hele området. I stedet benytter man sig ofte af indirekte geofysiske metoder. Den geofysiske georadar-metode er særdeles velegnet til undersøgelser af mange af de geologiske fænomener, som vi støder på på Anholt.

En af forfatterne er her i færd med at forklare, hvordan georadaren fungerer. De to gule 'kasser' mellem hjulet og trækstangen, er antennerne, se teksten her på siden og side 16. På konsollen, som opmåleren bærer på brystet, kan man løbende kontrollere kvaliteten af de indsamlede data.

Fotos: Bent Yde Jørgensen, Chilbal Film.



Det ligger i ordet 'georadar', at dette instrument er en radar, som er udviklet til at kigge på geologiske materialer med. Georadar-metoden er almindelig kendt i geofysiske kredse, og dens anvendelighed til detaljeret kortlægning af geologiske materialer er beskrevet indgående i faglitteraturen. Talrige arbejder fra halvfemserne viser, at metoden er særdeles velegnet til at kortlægge sandede sedimenttyper med.

Den georadar, som vi benytter til målinger på Anholt, se fotos på side 15, består i det væsentligste af to antenner. Antennerne ligger på en plade på jordoverfladen, som trækkes af sted under optagelserne. Den ene antenne fungerer som sender-antenne, mens den anden fungerer som modtager. Ved hver optagelse sendes en puls af sted fra senderantennen, og samtidig går modtagerantennen i gang med at registrere radarbølger, som bliver reflekteret tilbage mod jordoverfladen fra grænseflader under jordoverfladen. Refleksioner kan ske ved grænseflader, hvor de dielektriske egenskaber i jorden ændrer sig. På Anholt sker dette i praksis oftest, når porøsiteten (den relative del af jordvolumenet, som udgøres af mellemrum mellem sandkornene) af de sandede aflejringer ændrer sig, eller hvis vandindholdet ændrer sig. Derfor kan man fx få reflek-

sioner fra grundvandsspejlet, eller når sandkornenes sorteringsgrad eller kornstørrelse skifter. Bortset fra grundvandsspejlet vil refleksioner derfor normalt opstå ved laggrænser, som viser skift i de geologiske aflejringer. I almindelighed kan man derfor med god tilnærmelse antage, at de billeder, som georadarens refleksioner viser, beskriver geometrien og udbredelsen af geologiske lag.

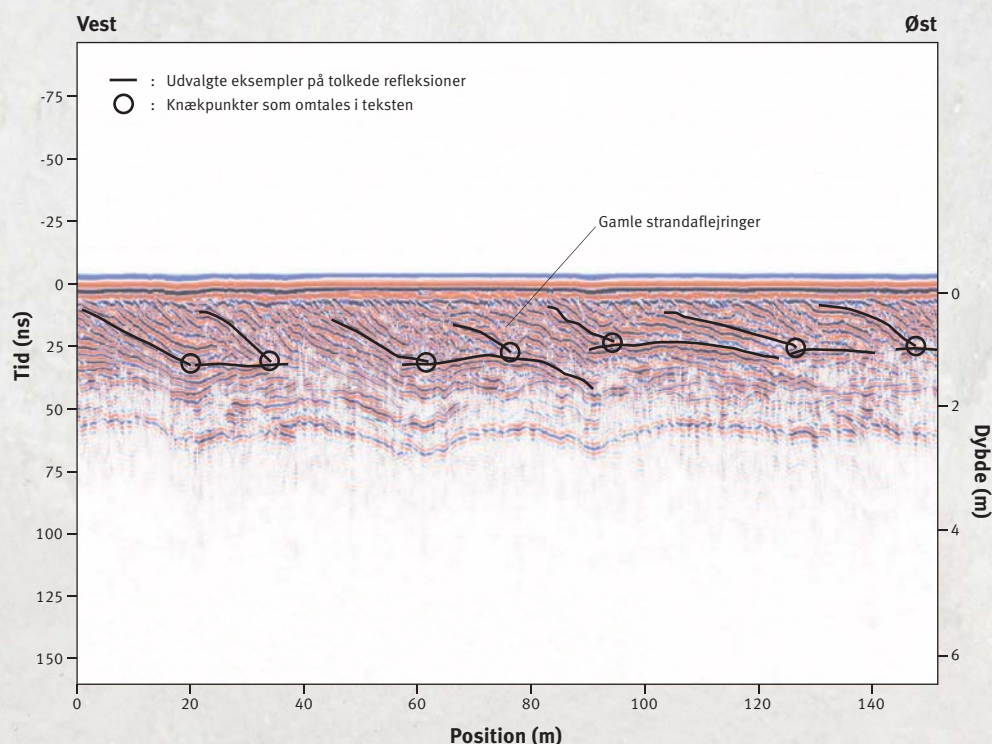
Strandvolde

De geologiske strukturer, som kan observeres ved hjælp af georadar-refleksionerne optaget over strandvoldssystemer, kan benyttes til at vurdere havniveauet, da systemerne blev aflejret. Ved at studere nydannede strandvolde på Anholt med georadar og vandstandsdata registreret af Farvandsvæsenet fandt forfatterne i 2009 frem til, at et særligt knæpunkt, hvor relativt stejltstående refleksioner møder mere fladtliggende refleksioner, markerer vandstanden i havet, da aflejringerne blev afsat. De stejle refleksioner hælder mod havet, og man kan forestille sig, at de repræsenterer det sidste, lidt stejle stykke af stranden, man går på, før man kommer ud i bølgerne på en badedag. Knæpunkterne vist med cirkler i figuren nedenfor markerer udvalgte punkter, hvor man rammer vandkanten. I georadar-data fra Anholt kan man

observere mange sådanne knæpunkter, og de viser, hvordan havniveauet ændrer sig under dannelsen af strandvoldssystemerne og kystudbygning. I figuren nedenfor tolkes det, at de ældste aflejringer ligger til venstre, og kysten har således bygget sig ud mod højre. Georadar-datasættet har en relativt høj opløsningsevne. I data fra Anholt kan man typisk skelne top og bund af lag ned til ca. 25 cm tykkelse, når man benytter antenner med en hovedfrekvens på omkring 250 MHz (MHz ~ Mega Hertz).

Relativt havniveau

Det er velkendt blandt geologiinteresserede og professionelle geologer, geofysikere og geodæter, at det skandinaviske område stadig hæver sig, efter at isen fra sidste istid er smeltet bort. Den tykke is tyngede og pressede den yderste stive del af Jorden et stykke ned i de 'blødere' underliggende lag i Jordens kappe. Efter isens afsmeltning er en ny ligevægt stadig ved at indstille sig, hvorved jordoverfladen hæver sig ganske langsomt og helt umærkeligt for mennesker. Forskere refererer ofte til dette fænomen, som 'isostasi' eller 'isostatisk ligevægt'. En analogi, som ofte bliver nævnt, er en korkprop, som presses ned under vand og skyder op igen, når det påførte pres fjernes. En pioner i undersøgelsen af den isostatisk effekt af



Georadar-data over hævende strandvolde og lavninger. Jordoverfladen synes helt flad, fordi topografien langs vejen, hvor målingerne forløb, ikke er lagt ind i datasættet. Der er 5 cm mellem målepunkterne. Ved hvert målepunkt er der foretaget 8 målinger, som efterfølgende er blevet summeret. Derved opnår man, at refleksioner fra geologiske laggrænser bliver kraftigere, mens støj, som er tilfældig fra måling til måling, bliver svagere. Data-sættet blev målt i august måned 2010, mens filmen 'Ørkenen i Kattegat' blev optaget. Profilet er målt lige ved siden af profil 1, se kort på side 4.

isafsmeltningen i det danske område var Ellen Louise Mertz, som allerede i 1924 publicerede en videnskabelig artikel, hvor hun viste, at de nordligste dele af Danmark havde hævet sig adskillige meter gennem de seneste ca. 6000 til 7500 år. Hun baserede sine undersøgelser på kortlægning af hævede strandlinjer. Landhævningen kan derfor flere steder være/have været af størrelsesordenen millimeter om året.

Når man fortolker havniveau tilbage i tiden ud fra de observerede knæpkpunkter i georadar-data, skal man derfor huske at tænke landhævning siden istiden ind i sin fortolkning. Hvis man i dag fx finder, at et knæpkpunkt i en gammel strandvold ligger 4 m over nuværende havniveau, så kan man altså ikke konkludere, at havniveauet er faldet 4 m siden den gamle strandvold blev aflejret, fordi landjorden også har hævet sig i den mellemliggende periode. Faktisk fandt forfatterne i et studium fra 2010, at forskellen i placeringen af knæpkpunkter i radardata indsamlet over to strandvoldssystemer med en aldersforskel på ca. 700 år kunne forklares alene ud fra isostatisk effekt af isafsmeltning, hvis man antog en hævningsrate svarende til 1 mm om året.

Klitter

Ligesom de interne strukturer af strandvoldssystemer kan belyses med georadar, så kan de interne strukturer af klitter også kortlægges med georadar. Ved undersøgelse af klitter skal man være opmærksom på, at klitter kan være relativt høje med stejle flanker. Man skal derfor tage højde for topografien, for at kunne lave en korrekt fortolkning af georadar-data over sådanne strukturer. I figuren nedenfor er topografien langs georadar-linjen, som krydser en strandvold og en klit, lagt ind vha. oplysninger fra laserscannede topografiske kort målt fra fly. Radarrefleksionerne viser tydeligt den interne lagdeling under strandvolden og den vestlige flanke af klitten. Det er tydeligt, at refleksionsmønstrene under strandvolden og under klitten ligner hinanden. I begge tilfælde dominerer refleksioner, som hælder mod højre. Knæpkpunkter, hvor refleksionernes hældning ændrer sig brat, kan ligesom i det tidligere eksempel ses under strandvolden og tolkes som indikatorer for (relativt) havniveau, da strandvolden blev dannet. Strukturerne under strandvolden er dannet af vand (bølgeenergi fra havet). Klitterne er aflejret af vinden og har derfor en helt anden dannelseshistorie. Alligevel min-

der de hældende refleksioner, som kan observeres internt i klitten, i deres udseende umiddelbart om refleksionerne under strandvolden. Man skal derfor være påpasselig med at undgå fejltolkninger og inddrage anden viden fra geologiske kort, opmålinger og feltobservationer i sin fortolkning af de geofysiske data. 🌐

HER KAN MAN LÆSE MERE

Clemmensen, L.B., Bendixen, M., Nielsen, L., Jensen, S., Schrøder, L. 2011:

Coastal evolution of a cusped foreland (Flakket, Anholt, Denmark) between 2006 and 2010. Bulletin of the Geological Society of Denmark 59, 37–44.

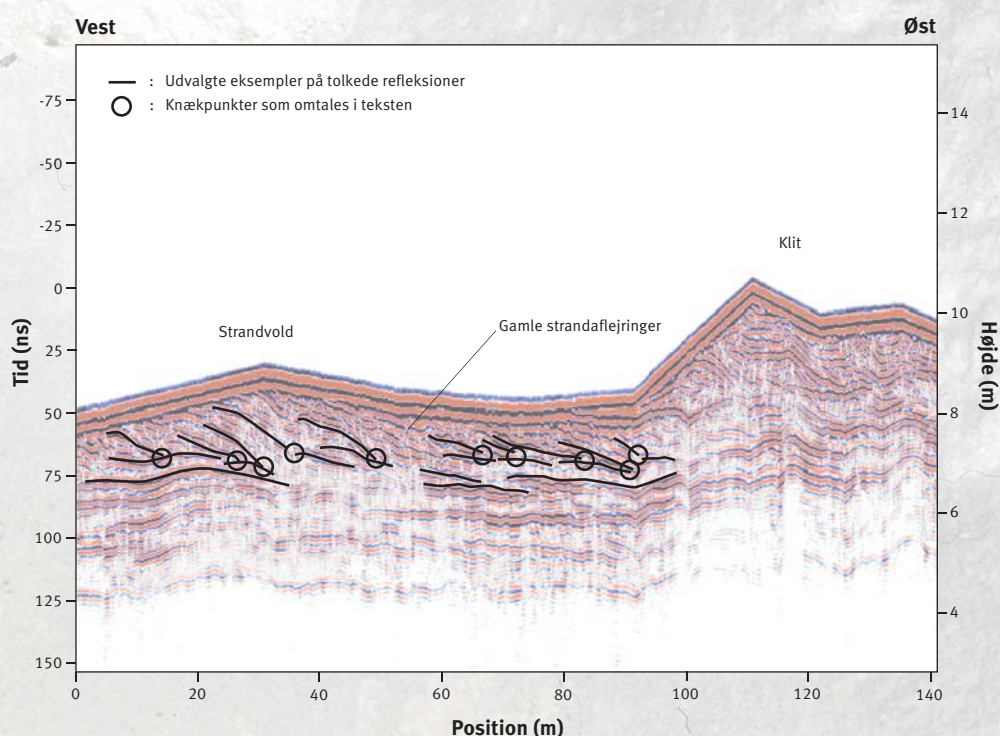
Larsen, G. and Kronborg, C. 1994:

Geologisk Set – Det mellemste Jylland. Geografforlaget, Brenderup, Danmark, 57–61.

Møller, I. & Nielsen, L., 2005:

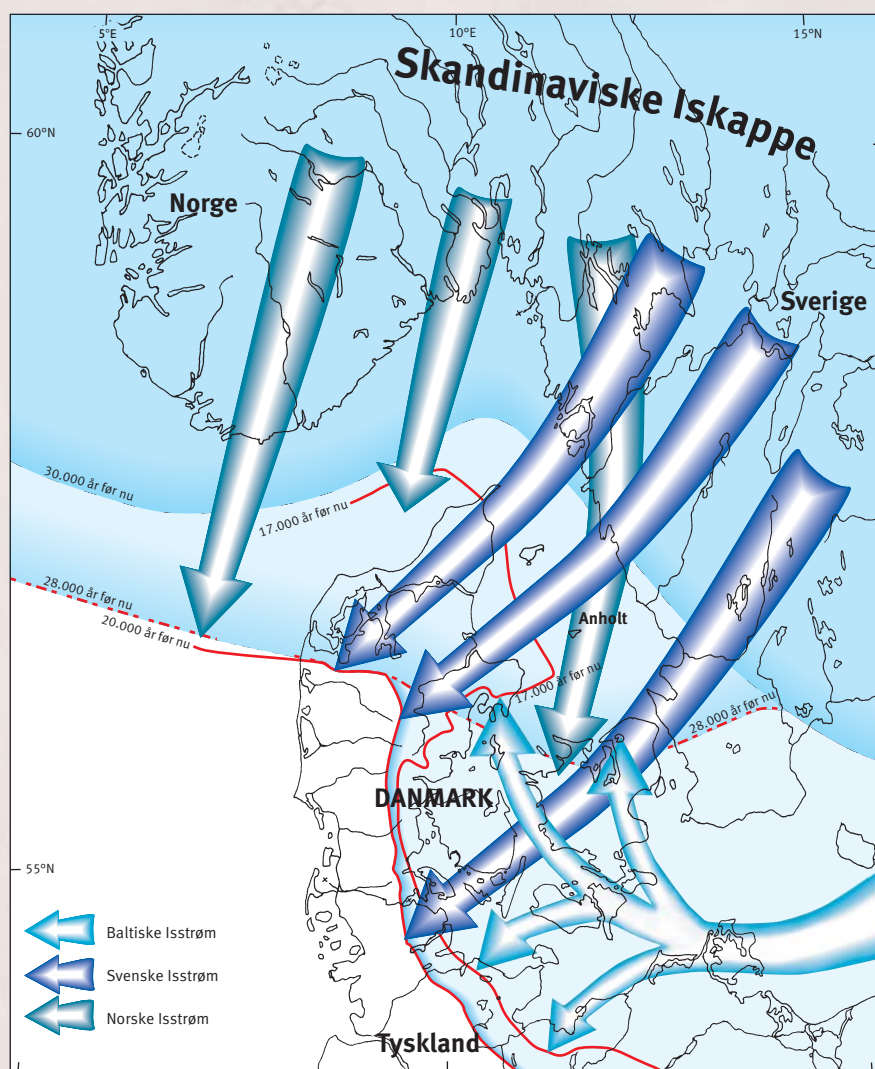
Georadars indtrængningsdybde – stor i tørt sand/grus og lille i moræneler. Geologisk Nyt 3, 10–14.

Georadar-data indsamlet langs en linje over en strandvold og en klit (se kortet på side 4, nr. 1 med rødt for placering). Også dette data-sæt blev målt i august måned 2010.



ISFREMSTØD OG LEDEBLOKKENE PÅ ANHOLT

Går man en tur langs Anholt's nordlige stenede strand kan man se en lang række strandsten af vidt forskellig oprindelse. Stenene kommer fra forskellige steder i det sydlige Skandinavien og er for de flestes vedkommende udvasket fra de glaciale sedimenter, der ses rester af i bakkelandskabet mod vest. Nogle af stenene kaldes ledeblokke. Det er bjergarter, man kan bestemme, hvor kommer fra. De har et karakteristisk udseende og er let genkendelige pga. deres farve, mineralindhold eller struktur. Desuden kommer de fra et geografisk veldefineret og afgrænset kildeområde. En række af de vigtigste ledeblokke langs danske strande er vulkanske bjergarter med strøhorn af forskellig karakter; disse kaldes porfyrer. Ved at undersøge og bestemme ledeblokkene på en given lokalitet, kan man få en ret god fornemmelse af, hvorfra isen er kommet og hvilken vej den har bevæget sig, før den afsatte de glaciale sedimenter på lokaliteten. 'Ledeblok-metoden' er således en af de metoder, der har været – og stadig bliver – brugt til at kortlægge de forskellige isfremstød og deres bevægelsesmønstre. Interessen for ledeblok-metoden går i Danmark tilbage til Vilhelm Milthers lidt før år 1900. Milthers valgte at koncentrere sig om nogle få, let genkendelige vulkanske porfyrer, som eksempelvis rombeporfyren fra Oslo-området, i sine undersøgelser af istidsaflejringer. Også geolog Axel Jessen (1868–1952), der beskrev Anholt's geologi i 1897, var opmærksom på stenene som indikatorer på isens fremstød. Han observerede en række karakteristiske bjergarter: krystalline bjergarter som Ålandsrapakivi og granitporfyr fra Østersøen; Smålandsgranit, Grønklitporfyr og Bredvadporfyr fra Dalarna, og syenitporfyr og rombeporfyr fra Oslo-området. Derudover fandt Jessen nogle sedimentære bjergarter: palæozoiske og mesozoiske sandsten, Saltholmskalk og Faksekalk, samt limonitsandsten med planteaftryk.



Isstrømskort over Danmark i sen Weichsel. Den Norske Isstrøm begyndte sin fremrykning mod Danmark omkring 30 000 år før nu. Dens hovedopholdslinje etableredes omkring 28 000 år før nu og forløb fra Bovbjerg over Molshoved til Hven. Den Svenske Isstrøm gled efterfølgende fra NØ ned over Danmark efter Den Norske Isstrøm var smeltet tilbage til Skagerrak. Den Svenske Isstrøm når 'Ussings Linie' omkring 20 000 år før nu, og mens den smeltede tilbage herfra rykkede Den Baltiske Isstrøm frem til den Jyske Stilstandslinie (omkring 17 000 år før nu).

Kilde: Stig Asbjørn Schack Pedersen, 2011.

ROMBEPORFYREN

En af de mest karakteristiske ledeblokke i Danmark er rombeporfyren, en vulkansk bjergart med store rombeformede feldspatkrystaller spredt i en finkornet, ofte rødbrun grundmasse. Rombeporfyren er en sjælden bjergart og kendes kun to andre steder udover Oslo-området, nemlig i den østafrikanske riftdal, fx fra vulkanen Kilimanjaro, og på Mount Erebus nær Ross Sea ved Antarktis. Alle disse steder er områder, hvor der har foregået kontinental opsprækning med tilknyttet magmadannelse.

I Oslo-området blev rombeporfyrene dannet for ca. 290–270 millioner år siden ved store sprækkeudbrud. De rombeformede strørkorn (de store krystaller) består af en speciel feltspat kaldet anortoklas. Den finkornede grundmasse består for det meste af alkalifeltspat, jern-titan oxider og apatit. De store krystaller er størknet dybt nede i et magmakammer inden smelten bevægede sig op mod overfladen, mens grundmassen først er størknet efter lavaen strømmede ud på overfladen.

Strørkornene i de enkelte rombeporfyrlavastrømme har en karakteristisk størrelse, form og måde at være pakket på i de enkelte strømme. I alt er der registreret op mod 50 forskellige typer rombeporfyre fra forskellige udbrud. Det at lavastrømmene ser forskellige ud har gjort det muligt at kortlægge dem og dermed har den samlede vulkanske udviklingshistorie for rombeporfyrene kunnet kortlægges. De fleste lavastrømme er mellem 30 og 100 m tykke, men en enkelt er helt op mod 200 m tyk. Lavastrømmenes udbredelse er også imponerende; den tykkeste lavastrøm menes således at have dækket et område på mere end 10.000 km², svarende til et samlet volumen på mere end 1000 km³, og det er meget stort – selv i global målestok.

Rombeporfyre fra Oslo-området.

Fotos: Peter Warna-Moors, GEUS.



DE VIGTIGSTE LEDEBLOKKE OG DERES HJEMSTEDER

Oslo-området	Rombeporfyre, larvikit
Dalarne	Øjediabas, prækambrisk sandsten
Värmland	Filipstad-granit
Götaland	Kinnediabas, øjegranit
Halland	Charnockit
Ålandsøerne	Ålands-rapakivigranit
Østersøen	Rød og brun Østersø-kvartsporfyr
Småland	Emmer-porfyr, kalksten
Blekinge	Karlshamn-granit
Skåne	Kambrisk sandsten
Bornholm	Bornholmsk Granit, Nexø Sandsten



Forfatterne fra venstre: Lars Nielsen, Lars Clemmensen og Jens Konnerup-Madsen.

Foto: Bent Yde Jørgensen, Chilbal Film.

GEOCENTER DANMARK

GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Geologisk Institut ved Aarhus Universitet samt Institut for Geografi og Geologi og Geologisk Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

UDGIVER

Geocenter Danmark.

REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.



ISSN 1604-6935 (papir)

ISSN 1604-8172 (elektronisk)

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidebillede: Ørkenklitter ved Indien.

Foto: Lars Clemmensen, IGG.

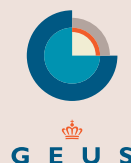
Reprografisk arbejde: Benny Scharck, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk



INSTITUT FOR GEOGRAFI OG GEOLOGI

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: geo@geo.ku.dk

GEOLOGISK MUSEUM

Øster Voldgade 5-7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: rcp@snm.ku.dk



INSTITUT FOR GEOSCIENCE

Aarhus Universitet
Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Århus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk



DANMARK

PP

Magasinpost UMM
ID-nr. 46439

PortoService, Postboks 9490, 9490 Pandrup