

# Terrestrisk fotogrammetri

## - en metode til strandopmåling

Af geolog Mads Kjørstrup og adjunkt Marketa Potuckova, Sektion for Geoinformatik og Arealforvaltning, Aalborg Universitet

Strande er dynamiske og ofte voldsomme miljøer, som er i konstant forandring. Det er derfor forbundet med vanskeligheder at foretage detaljerede opmålinger af stranden. En ny fotografisk teknik tillader en hurtig og billig strandopmåling selv under ekstreme bølgeforhold.

En strand kan defineres som den grænseflade mellem hav og land, der er domineret af bølgeaflejret sediment. Pga. ændringer i bølgeforholdene befinder stranden sig konstant i en tilstand af forandring. For at forstå en given strands udvikling er det nødvendigt at kvantificere strandens ændringer – enten ved opmåling af væsentlige morfologiske parametre eller ved bestemmelse af ændringer i strandens sedimentvolumen. Ifølge den ovenstående definition er langt størstedelen af stranden vanddækket, og i forbindelse med opmålinger er det derfor vigtigt at indsamle data fra den vanddækkede del af stranden. Dette kunne for eksempel være data om dybdeforhold (bathymetri) eller om eventuelle revlers placering.

### Traditionel strandopmåling

Herhjemme foretager Kystdirektoratet hvert år strandopmålinger langs den jyske vestkyst. Opmålingerne foretages langs profiler vinkelret på kysten ved hjælp af skibsbaseret ekkolod på dybt vand og ved totalstationsmålinger på lavt vand og på den tørre del af stranden. På denne måde indsamles værdifulde oplysninger om strandens udvikling og volumenændringer, som fx kan anvendes i planlægningen af kystbeskyttelsesindsatsen. Det er imidlertid omkostningskrævende at foretage sådanne opmålinger, og opmålingsfrekvensen er derfor lav. Desuden er opmålingerne begrænset til perioder med forholdsvis roligt vejr. Disse forhold bevirker, at det kan være vanskeligt at opnå et detaljeret datasæt for en given strands udvikling, og supplerende opmålinger med andre teknikker kan derfor være ønskværdigt. I det følgende præsenteres en ny fotografisk metode, der ved feltforsøg har vist potentiale til at kunne supplere Kystdirektoratets profilopmålinger.



Hele processen fra fotografering til fremstillingen af det endelige kortmateriale baseret på de aktuelle feltforsøg kan beskrives i en række skridt.

a) Øjeblikbillede. Revlens position indikeres af de brydende bølger længst fra kysten



b) Midlet billede. De bølgebetingedede fluktuationer er midlet bort, og der fremstår et stabilt billede af revlens og kystliniens position.



c) Oprettet billede. Billedet kan orienteres i et GIS program og opmålinger kan foretages (Foto og billedbehandling: Mads Kjørstrup)

### Terrestrisk fotogrammetri

Kort fortalt går metoden ud på, at fotografier af stranden taget fra et højt sted langs kysten behandles digitalt, således at det oprindelige billede “rettes op” og fremstår i fugleperspektiv. Det resulterende oprettede billede kan anvendes som kortmateriale, og den geografiske position af forskellige morfologiske parametre kan bestemmes. I princippet er metoden identisk med den opretning, luftfotografier udsættes for, inden de anvendes. I begge tilfælde er der tale om

fotogrammetri (dvs. anvendelsen af fotografier til kvantitative målinger), men når billederne er taget på landjorden benævnes metoden terrestrisk (dvs. landbaseret) fotogrammetri.

### Feltprocedurer

I de aktuelle feltforsøg blev kameraet placeret på toppen af en klit, hvorfra stranden, der undersøgte, kunne overskues. Der blev anvendt et specielt digitalt kamera beregnet til fotogrammetrisk arbejde. Forinden opta-

gelsen af billederne rejstes en række let genkendelige røde flag på stranden, hvis geografiske position blev nøjagtigt bestemt vha. total station eller differentiel GPS.

På de optagne billeder (se billedserie) fremgår det, at bølgerne konsekvent bryder et stykke fra kysten. Bølgebrydningen skyldes det forholdsvis lave vand over revlen, og de brydende bølger kan derfor bruges til at indikere placeringen af den underliggende revle. Efter brydningen på revlen gendannes bølgerne for atter at bryde på det lave vand nær land og skylle op på den tørre del af stranden. På billederne kan kystlinien defineres som grænsen for bølgenes opskyl på stranden. Brydende bølger er imidlertid aldrig helt ens, og øjeblikksbilleder giver derfor ikke et særligt præcist indtryk af hverken revlens eller kystliniens placering. Feltarbejdet omfattede derfor optagelsen af en billedsekvens over en periode på 5 minutter med det formål at skabe et midlet billede, hvor revlens og kystliniens placering fremgår uden bølgebetingede fluktuationer.

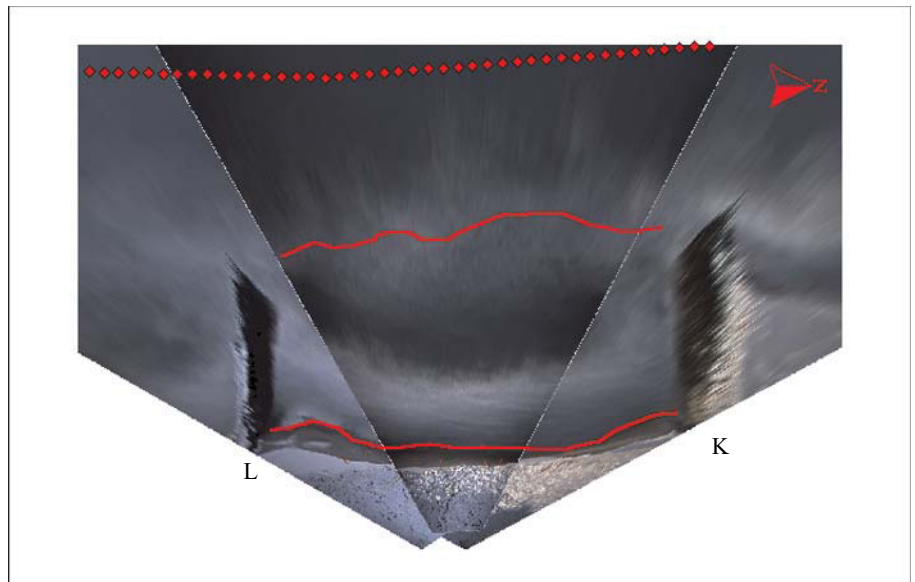
### Billedbehandling

De efterfølgende skridt af den fotogrammetriske proces omfattede computerbehandling af de optagne billeder. Først omdannedes den optagne billedsekvens til et midlet billede. Herved opnås en stabil repræsentation af både revlens og kystliniens placering. På det midlede billede kan revlen ses som et tydeligt hvidt bånd, og kystlinien fremgår ligeledes tydeligt som grænsen mellem vand og sand. Midlingen af billederne blev foretaget ved hjælp af et MATLAB-program, som blev udviklet til lejligheden.

Dernæst blev de midlede billeder oprettet. Til dette formål benyttedes de indmålte røde flag. På grundlag af flagenes placering på billedet samt ud fra kendskab til horisontens beliggenhed udregnes transformationsparametre, som muliggør en omregning fra billedkoordinater til geografiske koordinater. Ved denne proces bestemmes den geografiske placering af ethvert punkt på billedet, og i samme forbindelse resamples hele billedet, pixel for pixel, i et geografisk koordinatsystem (i dette tilfælde UTM-koordinater).

Resultatet er et oprettet billede, hvor alle billedets oprindelige pixler er placeret i overensstemmelse med deres geografiske position. Udregningen af transformationsparametrene og resamplingen blev foretaget ved hjælp af et MATLAB-program, som blev udviklet til lejligheden.

Endelig blev de oprettede billeder orienteret i et GIS-program. Herved muliggøres den egentlige opmåling af fx revlens og kystliniens position. Den anvendte GIS-software tillod også skabelsen af mosaikker af overlappende billeder, således at forholdsvis lange kyststrækninger kunne opmåles samlet. Positionen af revlen blev bestemt ved at identificere og isolere de lyseste pixler i de hvide bånd, som indikerer revlens position. De lyseste pixler på bille-



Mosaik af overlappende billeder. Forløbet af revlen og kystlinien er markeret med røde linier. De røde firkanter markerer positionen af det revlefodrede sand. Revlefodringen foregik ca. et halvt år, før billederne blev taget, og det ses tydeligt, at revlen har bevæget sig kystværts i løbet af perioden. På billedet ses også de to høfder (Høfde K og L), som afgrænser undersøgelsesområdet. Afstanden mellem høfderne er 400 m. (Grafik- og billedbehandling: Mads Kjørstrup)

det repræsenterer nemlig de steder, hvor bølgerne oftest bryder, og den underliggende antagelse er, at revlens top og området med den hyppigste bølgebrydning ligger forholdsvis tæt på hinanden.

### Overvågning af en revlefodring

Hvis optagelsen af billeder foregår over et længere tidsrum, er det muligt at kvantificere ændringer i fx kystliniens eller revlens position. Det omtalte feltforsøg med metoden blev gennemført i forbindelse med Kystdirektoratets revlefodring ved Fjaltring syd for Thyborøn. Revlefodring er en form for kystbeskyttelse, hvor skibsladninger af sand typisk deponeres på ydersiden af en allerede eksisterende revle. Meningen er, at bølgerne enten transporterer sandet ind mod land, hvor det kan bidrage direkte til væksten af den nærliggende kyst, eller at det tilførte sand forstærker revlens bølgebrydereffekt, således at kysten vokser ud efter i kraft af det bølgelæ, der opstår bag den forstørrede revle.

Kystdirektoratet udførte profilopmålinger både før og efter revlefodringen, men disse blev udført med ca. et års mellemrum. Det blev derfor besluttet at supplere de bathymetriske data med fotogrammetriske opmålinger for bedre at kunne følge revlens og kystens udvikling. Den fotogrammetriske opmåling foregik langs 500 m kyststrækning over en periode på 6 måneder og havde karakter af et pilotprojekt, hvor hovedformålet var at vurdere metodens anvendelighed og eventuelle problemer.

Overordnet set stemte fotogrammetrien og profilopmålingerne godt overens. Profilopmålingerne viste en kystværts bevægelse af revlen over undersøgelsesperioden, som også kunne genfindes i de fotogrammetriske data, der afslørede, at

revlen bevægede sig omkring 150 m kystværts i løbet af undersøgelsesperioden. Imidlertid dækker dette tal over en variabilitet, som ikke blev opfanget i de årlige profilopmålinger. For eksempel dokumenterede de fotogrammetriske opmålinger revlebevægelser på op til 50 m i løbet af ganske få dage. Fotogrammetriske opmålinger blev foretaget mindst én gang om måneden, men ofte hyppigere. Derved opnåedes en god opløsning af revlens og kystliniens tidlige ændringer, og det blev muligt at få et billede af strandens respons på individuelle storme. Den egentlige effekt af revlefodringen – altså hvorvidt den fungerer som sedimentkilde eller bølgelæ, eller om fodringen på længere sigt havde en kystbeskyttende effekt – kunne ikke afgøres på grundlag af de fotogrammetriske opmålinger. Til gengæld afslørede feltforsøget adskilligt om metodens fordele og ulemper i forhold til traditionel opmåling.

### Fordele og ulemper

Metodens helt store fordel består i den relative lethed, hvormed opmålinger kan foretages i felten. Det tog således én person mindre end to timer at opstille og positionsbestemme flag på stranden og optage billedsekvenser for en kyststrækning på adskillige hundrede meter. Metoden tillader altså en hurtig, enkel og dermed billig strandopmåling. I forhold til profilopmålinger med skibsbaseret ekkolod har metoden den klare fordel, at den med lethed kan anvendes under ekstreme bølgeforhold, hvor sejladet er umuligt. Faktisk virker metoden bedst under forhold med "livlig sø", da sandsynligheden for bølgebrydning på eventuelle revler herved er størst. Desuden har metoden den fordel, at den leverer rumligt kontinuerte data om kystliniens og

eventuelle revlers placering i modsætning til profilopmålingerne, som kun belyser forholdene langs udvalgte linier.

En vigtig ulempe i forhold til at anvende metoden til revleopmåling består i, at revlens position kun kan bestemmes, hvis der sker bølgebrydning på revlen. Dette var en begrænsning under feltforsøget, hvor kun stormbølger eller store dønninger brød på revlen, men det vil ikke være noget problem på strande, hvor revlen ligger på lavere vand. Desuden skal det bemærkes, at metoden udelukkende kan bruges til indsamling af positionsdata og derfor ikke kan sige noget om dybdeforhold.

### Nøjagtighed

Metodens nøjagtighed fortjener at få nogle ord med på vejen. Foreløbige analyser af data fra feltforsøget viser, at kystliniens position gennemsnitligt blev bestemt med en nøjagtighed på +/- 5 m, mens revlepositionen skønnes at være bestemt til +/- 15 m. Bemærk dog at disse tal i høj grad er betinget af det anvendte kamera og af kameraets placering i forhold til stranden og derfor ikke kan tages som et generelt mål for metodens nøjagtighed.

Det er vigtigt at huske, at de punkter på billederne, som bruges til at afgrænse revlens og kystliniens placering (hhv. de lyseste pixler og grænsen for det højeste bølgeopsky), ikke nødvendigvis stemmer med den virkelige placering af henholdsvis revletoppen eller middelvandstandskystlinien. Der blev derfor foretaget korrektioner af kystliniens position, baseret på bl.a. bølge- og vandstandsdata samt beregnede strandhældninger for at tage hensyn til dette. En korrektion af revlens position var til gengæld ikke mulig på grund af manglende bathymetriske data fra perioden med den fotogrammetriske opmåling.

### Andre metoder til strandopmåling

Strandopmålinger kan foretages på adskillige måder, men i det følgende vil der kun blive omtalt et par teknikker, der, som de allerede beskrevne metoder, har den fordel, at de kan indsamle data fra både den våde og tørre del af stranden.

Den fotogrammetriske metode, som er beskrevet i denne artikel, er inspireret af en videobaseret teknik, det såkaldte Argus-system, som er udbredt i adskillige lande verden over. Videooptagelserne foretages ved hjælp af fast installerede kameraer, som konstant indsamler data for en bestemt kyststrækning. Billederne kan så midles og oprettes efter behov på helt samme måde som beskrevet i denne artikel. Argus-systemets ubrudte dataindsamling gør det muligt at studere en strands udvikling i detaljer på tidsskalaer fra ganske få sekunder til adskillige år, og meget værdifuld forskning er derfor baseret på Argus-data.

Luftbåren laserscanning har i adskillige år været anvendt til produktion af præcisionshøjdemodeller af landoverfladen

(se *GeologiskNyt*, juni 2001), men som noget forholdsvist nyt er der blevet udviklet laserscannere, der er i stand til at gennemtrænge vand og indsamle bathymetriske data. Uklart vand spredning og absorberer imidlertid lasersignalet, og indtil videre er teknikken kun blevet anvendt med held i meget klarvandede havområder eller på forholdsvist lavt vand.

### Anvendelse af fotogrammetriske data

Skibsbaseret ekkolod (og til en vis grad laserscanning) kan levere bathymetriske data, som i kombination med opmålinger af den tørre del af stranden udgør særdeles værdifulde oplysninger, da de både tillader volumenberegninger og bidrager med nøjagtige positioner af fx revler. Imidlertid er disse data dyre at indsamle, hvorfor opmålingshyppigheden for en given strand ofte er lav. Argus-systemet er i stand til at levere et fuldstændigt detaljeret billede af en strands udvikling, men dækker kun korte kyststrækninger.

Terrestrisk fotogrammetri, som præsenteret i denne artikel, udgør et alternativ til de nævnte teknikker. Metoden tillader i kraft af sin enkle feltprocedure meget hyppige opmålinger, og i modsætning til Argus-systemet kan opstillingen flyttes, så forskellige kyststrækninger kan opmåles. Der til kommer, at metoden sammenlignet med de øvrige teknikker anvender et minimum af specialiseret udstyr og software.

Denne artikel har illustreret anvendelsen af metoden til overvågning af en revlefodring. I forbindelse med fremtidige overvågninger kunne det være spændende at foretage samtidige opmålinger af en revlefodret kyststrækning og en uberørt referencestrækning for bedre at kunne vurdere revlefodringens effekt. En alternativ brug af metoden kunne være i forbindelse med kalibrering og verifikation af numeriske modeller for kystudvikling, hvor hyppigt indsamlede data bestemt vil være en fordel. Metoden kommer imidlertid til sin fulde ret, hvis den kombineres med andre teknikker. De fotogrammetriske data kan "udfylde hullerne" (både tidsligt og rumligt) mellem fx bathymetriske profilopmålinger, på samme måde som man i geologisk kortlægning kobler geofysiske data med boringsoplysninger. Overvågningen af så dynamiske miljøer som strande vil bestemt kun blive styrket af hyppigt indsamlede data.

### Links:

<http://cil-www.oce.orst.edu:8080/>  
Coastal Imaging Lab, Oregon State University. Udviklingen af videometoder til strandopmåling startede her. Links til Argus-stationer i hele verden med opdaterede billeder.

<http://www.planetargus.com/>  
Den kommercielle udbyder af Argus-systemet. Information og tekniske detaljer om systemet.

Bøger ...

# Nyheder!

## Geologisk set Fyn og Øerne

Forfatter: geolog Gunnar Larsen, Fyns Amt

Nu er Fyn og de fynske øer også dækket i denne værdifulde håndbogsserie, som beskriver lokaliteter af national geologisk interesse.

144 sider, fuldt farveillustreret. 225 kr.

Serien omfatter desuden:

**Det nordlige Jylland.** 208 s. 200 kr.

**Det mellemste Jylland.** 272 s. 275 kr.

**Bornholm.** 208 s. 200 kr.

## Danske landskaber – billedatlas

Forfattere: Knud Binzer og Ib Marcussen  
Fotos: Peter Warna-Moors

En flot bog, som i smukke fotos og en let tilgængelig tekst beskriver de danske landskabstyper.

Se anmeldelsen i *Geologisk Nyt* 1/2002.  
80 sider. Indbundet. 125 kr.

Bogen er udgivet af GEUS, og forhandles kun af Geografforlaget.

## Djurslands Geologi

Forfattere: Stig A. Schack Pedersen  
og Kaj Strand Petersen

Omfattende bog om Djurslands geologiske historie.  
Med bilag: Stort geologisk kort, 1:50.000.  
Fuldt farveillustreret med fotos, detaljkort og instruktive tegninger.  
Indbundet. 225 kr.



**GEOGRAFFORLAGET**  
5464 BRENDERUP · 6344 1683

... fra GEOGRAFFORLAGET