

Ligevægtsformer for Materialvandringsskyster.

Af Per Bruun.

Jordens Overflade deles imellem *Hav* og *Land*. Grænselinien er *Kysten*. Kystlinien og Kystomraadet har fra de ældste Tider tiltrukket sig Opmærksomhed.

Oldtiden kendte Iagttagelse af *givne* Naturforhold, herunder Kystforeteelser. Man beskrev *det foreliggende*. Katastrofer og Katastrofeteorier tillagdes særlig Betydning for Forandringer i Naturen. Først Udviklingslærens Gennembrud for nogle Menneskealder siden bragte det store Fremskridt indenfor Kystudforskningen. Vi ser nu Kysten som et *Øjebliksbillede af en Udvikling* — *et Eksperiment* — som kan studeres ved Hjælp af Maaleinstrumenter og beskrives med Tal.

Nedenforstaaende er et Forsøg paa ved Hjælp af en *Arbejdshypotese* ad matematisk og mekanisk Vej at forklare Udviklingen af visse Kystformer.

Ved en Kyst med Ligevægtsform antager Kystlinien kungruente eller ligedannede Former under sin Udvikling. Et specielt Tilfælde af Ligevægtsformen er Ligevægtsstillingen, hvor Kystliniens Beliggenhed stadig er den samme.

De materialførende *Havkræfter* er *Bølger* og *Strøm*. *Strømmen* kan være *Bølgestrømmen*, hvis Aarsag er *Bølgernes Afbøjning*, eller en *egentlig Havstrøm*, f. Eks. *Tidevandsstrømmen*. *De egentlige Havstrømmes* Betydning for *Materialvandringen* maa dog i Almindelighed antages at være ringe. Af *andre Naturkræfter*, der kan have Betydning for en Kysts Udvikling, nævnes *Vindkraften*, hvis direkte Virkning paa Kysten f. Eks. kan foraarsage *Sandflugt*, *Sedimentation* og *Opgroning* ved *Plantevækst* paa rolige Kyster, *rindende* eller *udsivende Vands Virksomhed*, der ofte kan være betydelig, endelig *Fastlandsbevægelser*. Disse *andre Naturkræfter* ses der her bort fra.

Ligevægtsstillinger.

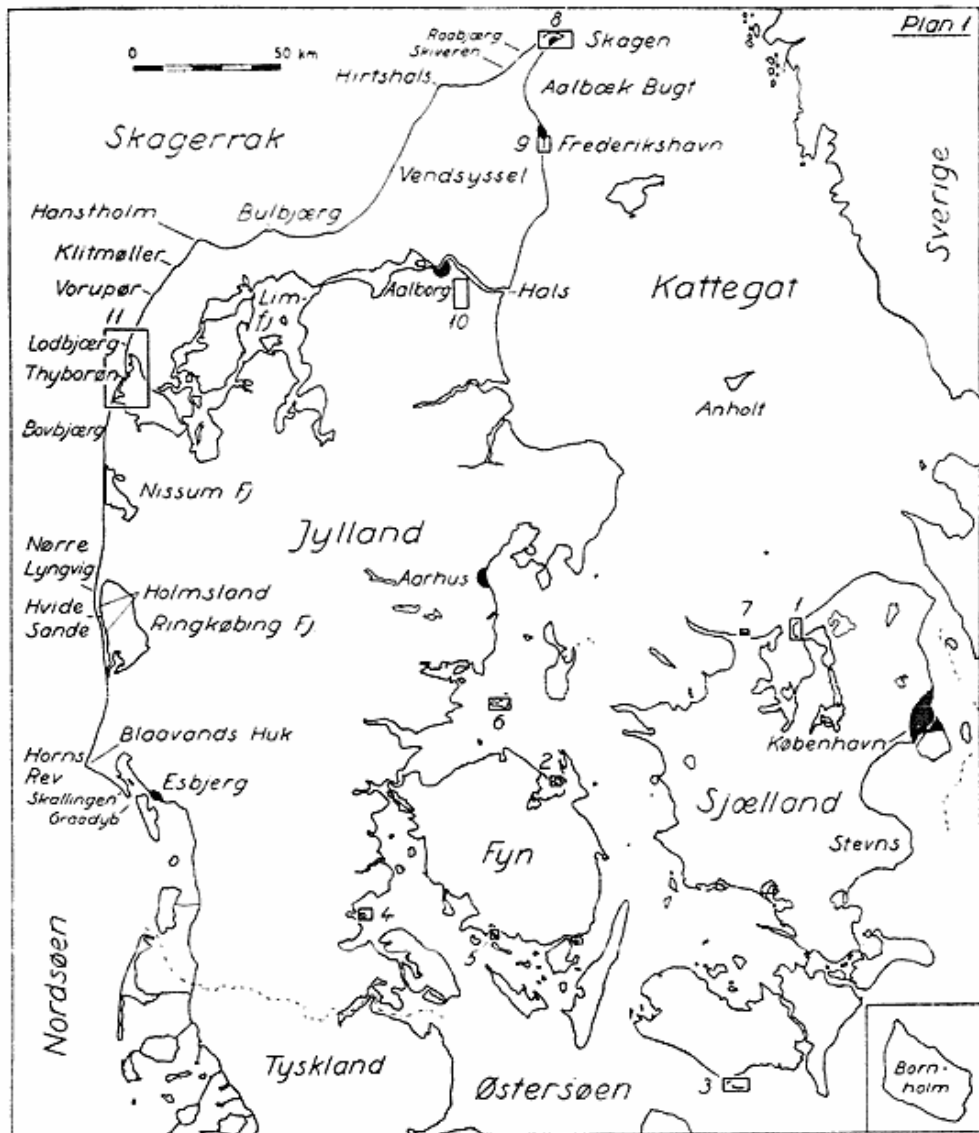
Ligevægtsstillinger — taget i Ordets strengeste Betydning — finder man formentlig kun ved Kyster, der bestaar af eruptive Bjergarter (her i Landet *Nordbornholm*), der yderst langsomt eroderes, thi skal en Kyst, der er opbygget af et eroderbart Materiale, f. Eks. en Istidsaflejringsring, indtage en *Ligevægtsstilling*, maa den Mængde Materiale, der fjernes fra Kysten, idet der her ved *Kysten* forstaas det begrænsede Omraade, der paavirkes af *materialførende Havkræfter*, stedse have nøjagtig samme Størrelse som den Mængde, der tilføres Kysten, og yderligere maa kræves, at den tilførte Mængde aflejres paa samme Maade, som den fjernede var aflejret, altsaa uden at Kystens *Tværprofiler* ændres (*Ligevægtsprofiler*).

De Dele af *Kysttværprofilet*, der har særlig Interesse for den af *Bølgerne* foraarsagede *Materialvandring* langs Kysten, er *Landgrunden*, hvorved forstaas det Omraade langs Kysten under Dagligvands-Linien, der paavirkes af og udformes væsentligst som Følge af Bølgernes Arbejde, og *Stranden* eller *Strandbredden*, d.v.s. Omraadet imellem Dagligvands-Linien og den Linie, hvortil Bølgerne skyller op under Storm og Højvande af normale Dimensioner. (Ved Sammenligning med *Fladkystskemaet* i A. Schou: *Det marine Forland*, S. 62, ses det, at det Omraade, der i det ovenforstaaende kaldes *Landgrunden*, svarer til *Strandplanet* i nævnte Skema, medens *Strandbredden* har samme Betydning som i Skemaet.)

I Almindelighed vil en Kyst enten være under Tilbagerykning (hyppigst), under Udrykning (sjældnere), eller Kystlinien svinger frem og tilbage om en vis *Ligevægtsstilling*, idet Kystliniens Gennemsnitsbeliggenhed er den samme.

Kysten bestaar her i Landet, bortset fra *Bornholms Nordkyst* og enkelte Kalkklipper, *Hanstholm*, *Bulbjærg*, *Stevns Klint* o.s.v., af Sten, Grus, Sand, Ler eller Blandinger af nævnte Materialer. Af disse forsvinder de fineste, d.v.s. Leret, fra Kystomraadet, naar det først er nedbrudt, idet de meget fine Lerpartikler kræver roligere Vand for at bundfælde, end der findes i *Materialvandringsskysterne*. Saaledes aflejres der til Stadighed fint Ler hidrørende bl. a. fra Nedbrydningen af *Nordsøens* og *Kattegats* Kyster i det dybe Omraade i *Skagerrak*. Sten, Grus og Sand bliver paa Kysten, og det er dette Materiale, der vandrer paa dennes *Landgrund* og *Strandbred*.

Betragtes Forholdene paa den *jyske Vestkyst* (Plan 1), saa er den nordlige Del af denne — fra *Skagen* til *Holmsland-Om-*



Plan 1.

raadet — i al Væsentlighed under stadig Tilbagerykning som Følge af Havets Angreb. Tilbagerykningens Størrelse er dog meget uensartet. I *Holmsland-Omrædet* er den forsvindende, og Kysten herfra og mod Syd har en Art *Ligevægtsstilling* med voksende Tendens til Udrykning, jo nærmere man kommer til *Blaavands Huk*. Syd herfor paa *Skallingen* rykker Kystlinien tilbage, naar undtages det sydligste Omraade af *Skallingen*, hvor Strømmen gennem *Graadyb* gør sig gældende, og hvor Kystlinien i mange Aar er rykket ud. Den *jyske Vestkyst* imellem *Skagen* og *Skallingen* er en *Udligningskyst*; men den har som Helhed betragtet hverken antaget nogen *Ligevægtsstilling* eller *Ligevægtsform*.

Ligevægtsformer.

Saa vel *Bølger* som *Strøm* søger at skabe stabile Kystformer, *Ligevægtsformer*. Dette Forhold giver sig særlig til Kende, hvor Kystmaterialets Modstandsevne mod Nedbrydning er forholdsvis ringe, f. Eks. i de danske Moræne- og Sandkyster. Vort Lands Opbygning med de mange Øer, Bugter, Fjorde og Sunde har imidlertid til Følge, at Virkningen af Bølger og Strøm hurtigt forandrer sig fra Sted til Sted. Ligeledes varierer det Materiale, som Kysten er opbygget af, hurtigt fra den ene Lokalitet til den anden. Som Følge heraf kan man ikke vente at finde *simple Ligevægtsformer* for Kystlinieforløbet af nogen betydelig Udstrækning her i Landet. Kun hvor særlige geografiske Forhold giver en i Hovedsagen ensrettet Paavirkning af en i geologisk Henseende ensartet opbygget Kyst, kan man forvente, at der optræder *simplere Ligevægtsformer*, eller at saadanne er under Udvikling.

I det nedenforstaaende er behandlet 4 Tilfælde af *Ligevægtsformer*, hvoraf *Formerne Tilfælde 1 a* og *Tilfælde 2 a* kan kaldes *tvungne*, fordi de ikke alene er Funktioner af *Materialvandringslovene*, men tillige er betingede i Forhold som *Kystens Udstrækning* eller andre rent geografiske eller geologiske Forhold.

I Modsætning hertil kan de i *Tilfældene 1 b* og *2 b* behandlede *Former* kaldes *frie Ligevægtsformer*, da de alene er Funktioner af de *materialførende Havkræfters Arbejde* og af *Materialvandringslovene*.

Tilfælde 1 a.

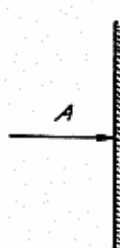


Fig. 1 anskueliggør et rent *teoretisk Tilfælde* — en fuldstændig retlinet Kyst af „uendelig“, d.v.s. meget betydelig Udstrækning. Kysten angribes udelukkende af *Bølger*, *Paavirkningen A* paa Fig. 1. *A* har samme Størrelse overalt og er altid vinkelret paa Kysten, der er opbygget af samme Slags Materiale ethvert Sted. Da der under de givne Forhold ingen *Materialtransport* kan foregaa langs Kysten, og Transporten paa tværs, saafremt Kysten bestaar af Sten, Grus og Sand, indskrænker sig til et Omraade af begrænset Udstrækning langs Kysten, fjernes der ikke Materiale fra denne. Kysten er i *stadig Ligevægt* og har *Ligevægtsstilling*. Hvis Kysten er opbygget helt eller delvis af Ler, vil den dog kunne nedbrydes, idet Leret af den udadgaende Bundstrøm, der skyldes Bølgerne, kan bæres ud paa

dybere Omraader i Havet eller til andre roligere Omraader, hvor Lerpartiklerne bundfældes. I begge Tilfælde beholder Kysten sin udlignede Form, der er dens i Kystens Udstrækning betingede *tvungne Ligevægtsform*. En Bugt ind i en Kyst som den ovenfor omtalte vil ikke kunne eksistere. Bugten vil, naar ikke netop den omliggende Kyst er en ren Lerkyst, blive udfyldt af Nedbrydningsmaterialer fra denne, eller eventuelt blive lukket ved Tangedannelse, idet der kan blive Tale om en vis lokal *Materialvandring* paa begge Sider af Bugten i dennes umiddelbare Nærhed. Hvis der løber en *Strøm* langs Kysten, og nævnte *Strøm* bøjer ud i Havet, vil Kysten kunne nedbrydes.

Tilfælde 2 a.

Fig. 2 viser et andet *teoretisk* Tilfælde. *Paavirkningen A* er skraa i Forhold til Kystlinien — iøvrigt samme Forudsætninger som i *Tilfælde 1 a*. (Kysten har meget stor Udstrækning o.s.v.). *Materialtransporten* ved *b*, maa være lig *Materialtransporten* ved *a*, altsaa kan der ingen Nedbrydning finde Sted paa Strækningen mellem *a* og *b*, naar bortses fra Ler, der eventuelt forsvinder søværts. Kysten er i *stadig Ligevægt* og har en i Kystens Udstrækning betinget *tvungen Ligevægtsstilling*, hvis der ikke forsvinder Materiale søværts, eller *Ligevægtsform*, hvis der forsvinder Materiale. Er Kystens Udstrækning derimod begrænset fra *d* til *c*, vil Kysten kunne nedbrydes. (Der ses foreløbig bort fra Forholdene ved disse Endepunkter). Den Mængde Materiale, der gaar bort eller aflejres ved *c*, er en Funktion af Kystens Tilbagerykning oven for *c*. Nedbrydningen vil være størst ved *d* og aftage nedefter. Heller ikke i dette Tilfælde vil en Bugt kunne eksistere. Hvis der løber en *Strøm* ved Kysten, vil denne kunne nedbrydes under alle Omstændigheder.

Fig. 2.

Tilfælde 2 a med begrænset Udstrækning af Kystlinien svarer tilnærmelsesvis til Forholdene paa *Jyllands Vestkyst* paa Strækningen mellem *Bovbjerg* og *Nørre-Lyngvig*. Denne Kyststrækning er i hele sin Udstrækning underkastet omtrent samme *Paavirkning* af Bølgerne; saaledes har den *materialførende Kraft* overalt Retning fra Vest-nord-vest, og dens Størrelse varierer kun lidt. Kystens Tilbagerykning paa Strækningen er, som det var at vente, størst i Nærheden af *Bovbjerg* — før Høfdebygningen her et Par Meter om Aaret — og aftagende til ca. 0 ved *Nørre-Lyngvig*. Det ser saaledes ud til, at Kysten paa denne

Strækning omend i et meget langsomt Tempo søger at indstille sig vinkelret paa *Hovedpaavirkningsretningen*. Noget lignende er Tilfældet med Kysten Nord for *Blaavand*. Her skyldes Kystens Svingning mod Syd-vest Akkumulation paa den sydligste Strækning, hvilket bevirker, at Kysten imellem *Hvide Sande* og *Blaavand* udformes som en stor flad Bugt. Svingningen maa dog i dette Tilfælde antagelig ogsaa forstås paa Baggrund af rent geologiske Forhold, i hvilken Forbindelse *Horns Rev* (efter *A. Jessen* Resterne af en *Randmoræne*) maa formodes at have den største Betydning baade som lægivende og som material-samlende Værk.

Tilfælde 1 b.

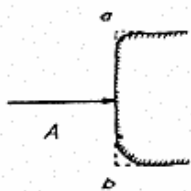


Fig. 3.

Der betragtes herefter en Kyst med begrænset Udstrækning, f. Eks. den paa Fig. 3 viste Kyst a—b. Kysten paavirkes udelukkende af A, der altid er vinkelret paa Kysten, som bestaar af samme Slags Materiale overalt. Saa længe A er nøjagtig vinkelret paa a—b, vil der ingen *Materialtransport* foregaa langs Kysten, forudsat at Hjørnerne ved a og b er $> 270^\circ$ udvendig maalt og fuldstændig skarpe som vist punkteret paa Fig. 3, og Kysten a—b har derfor en i Kystretning og Paavirkningsretning betinget *tvungen Ligevægtsstilling* eller *Ligevægtsform* alt efter Materialets Art, jfr. *Tilfælde 1 a*. Tilfældet har formentlig kun *teoretisk Interesse*; thi det er klart, at afviger A's Retning blot en lille Smule fra de 90° med Kystlinien, eller er Hjørnerne ved a eller b ikke større end 270° og fuldstændig skarpe — de skal altsaa bestaa af meget modstandsdygtigt Materiale — vil Nedbrydningen begynde. Den ovenfor omtalte *Ligevægt* er altsaa *ustadig*.

Den *Bølgeretning (Vindretning)* i Forhold til Kystlinien, som giver *størst Materialvandring*, kender man ikke. *Munch-Petersens* Materialvandringsteori, der af Teknikere anvendes til *teoretisk* Bestemmelse af *Materialvandringssretningen* (ved Hjælp af den saakaldte *M-P-Formel*), forudsætter, at *Materialvandringens* Afhængighed af *Bølgeretningen*, d.v.s. af *Vindretningen*, i det væsentlige vil kunne illustreres ved en *Sinuskurve* i Overensstemmelse med *Erfaringsresultaterne*: Der foregaa ikke *Materialvandring* langs Kysten, naar Bølgernes Indfaldsvinkel med Kysten er 90° ; *Materialvandringen* tiltager i Styrke, naar Vinklen mellem Bølgeretning og Kystlinie aftager; *Materialvandringen* synes at være nær sit Maksimum, naar denne Vinkel

er 0° , idet de Vinde, der kun danner en forholdsvis ringe Vinkel med Kystlinien, under ellers lige Forhold, i Almindelighed er farligst for Kystens Bestaaen; (det nedbrudte Materiale fjernes hurtigst, naar disse Vinde blæser).

Palle Bruuns Teori forudsætter, at *Materialvandring* ikke foregaar, naar Vinklen imellem Bølgeretning og Kystretning er 0° eller 90° , samt at *Materialvandringen* er kraftigst, naar Vinklen imellem Kystretning og Bølgeretning er 45° og iøvrigt har samme Størrelse for lige store Vinkelafvigelse af Bølgeretningen fra den Linie, der danner en Vinkel paa 45° med Kystlinien. *Palle Bruuns* Teori er herved i Modstrid med *Munch-Petersens* Teori, hvad de kystparallelle Vinde angaar, og i Modstrid med indhøstede praktiske Erfaringer. Man kan dog næppe hævde som en almindelig Regel, at *Materialvandringen* er størst ved netop 0° eller lige der i Nærheden af. Maksimumets absolutte Beliggenhed vil sikkert afhænge af flere Faktorer, som f. Eks. Landgrundens Hældning og Udstrækning, Materialets Art m. v. Endelig spiller ved de kystparallelle Vinde ofte Vindstrømme og Strømme, der skyldes Niveauforskelle imellem Vandflader, en vis Rolle til Gunst for Optræden af Maksimum nær de 0° . Spørgsmaalet om *Materialvandringens Afhængighed* af *Bølgeretningen* venter paa Klarlæggelse.

I det følgende, hvor der foretages en matematisk Udledning af den *Form*, som Kysten vil antage, hvor den stopper op i Øer, Landender, Odder m. v., vil *Munch-Petersens* Teori om *Materialvandringens Afhængighed* af *Bølgeretningen* (*Vindretningen*) blive benyttet som en Forudsætning.

Forinden defineres Begreberne *Materialvandringspunkt* og *Materialtransportens Massekurve*.

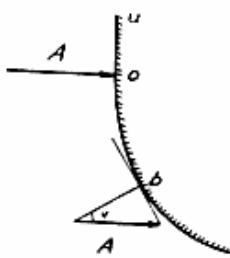


Fig. 4.

Et *Materialvandringsnulpunkt* defineres i Almindelighed som det Punkt paa en Kyst, hvor Tendensen til Materialtransport langs Kysten er lige stor til begge Sider, d. v. s., hvor et paa Kysten liggende Korn har samme Mulighed for at blive sat i Bevægelse i begge Retninger. I *Materialvandringsnulpunktet* staar den *materialførende Kraft* (*Munch-Petersen*) vinkelret paa Kysten, og *Nulpunktet* bestemmes i Almindelighed *teoretisk* herved. Paa Fig. 4 er *o* et *Materialvandringsnulpunkt*. (Det bemærkes at den *materialførende Kraft* intet har at gøre med „*Kraft*“ i fysisk Forstand).

I *Praksis* finder man *Nulpunktet* paa det Sted, hvor Tilsan-

dingen paa de to Sider af et i Havet udragende Bygværk, en Mole, en Høfde e. l., er ens, og det er ikke altid der, hvor den *materialførende Kraft* staar vinkelret paa Kystlinien, idet Muligheden for Materialtilførsel fra de to Sider skal være den samme. Denne Betingelse er kun opfyldt paa en Kyst, der er opbygget af ensartet og lige let bevægeligt Materiale. Der maa altsaa ikke være Klippe til den ene Side og Sand til den anden.

I *Materialvandringsnulpunktet* er Kysten ofte stejlere end den omgivende Kyst; men man kan ikke deraf slutte, at *Materialvandringsnulpunktet* paa en Kyststrækning netop findes der, hvor Kysten er stejlest, idet Stejlheden kan have andre Aarsager.

Ud fra Betragtninger over Kystens *Form* i Omegnen af et *Materialvandringsnulpunkt* bestemt paa den ovenfor omtalte *teoretiske* Maade er jeg kommet til en noget anden Definition og forstaar i Stedet et *Materialvandringsnulpunkt* som *det Punkt paa en Kyst, igennem hvis Tværsnit i Landgrund og Strand den resulterende Materialtransport regnet med Fortegn efter Transportretningen er lig 0*. De to Definitioner vil næppe altid dække hinanden. Om de gør det, vil antagelig bl. a. afhænge af Kystens *Form* i Omegnen af *Materialvandringsnulpunktet* (efter første Definition), d. v. s. af Kystens Retningsændringer eller Krumning. Man maa nemlig formode, at de forekommende Strømme (Bølgestrømme, Vindstrømme m. v.) med deres Indhold af opslæmmet Materiale under ellers lige Forhold lettere vil kunne undvige (løbe bort) langs den stærkere krummede Kyst, hvor Modstanden imod Vandets Bevægelse er mindst, og derved begunstige *Materialtransporten* fra den svagere til den stærkere krummede Kyst. Tillige synes Naturiagttagelser at vise, at der skal en vis Kyststrækning til, før *Materialstrømmen* er fuldstændig mættet. Denne Strækning vil altid kunne blive længst paa den svagere krummede Kyst, hvilket atter betyder, at man antagelig maa søge det *mængdemæssige Nulpunkt* ikke netop i det Punkt, hvor den *materialførende Kraft* staar vinkelret paa Kystlinien, men derimod et Stykke inde i Kysten med den svagere Krumning (imellem o og u paa Fig. 4).

Det er vanskeligt paa Forhaand at sige noget om, hvor stor en Forskel, der skal være paa Krumningerne paa de to Sider af *Materialvandringsnulpunktet*, før omtalte Forhold kan spille en mere væsentlig Rolle, men ved Laboratorieforsøg eller ved Forsøg ude i Naturen vil Spørgsmaalet antagelig kunne belyses.

Har Kystlinien et forholdsvis skarpt Knæk i *Materialvan-*

dringsnulpunktet, og staar den *materialførende Kraft* vinkelret paa den ene af de fra Knæpunktet udløbende Kystlinier, vil det ogsaa forstaas, at et Korn, der ligger paa denne Kyststrækning, ikke har store Chancer for at blive ført tilbage hertil, naar det først har passeret Knæpunktet, et Forhold, der i hvert Tilfælde har Betydning, naar *Materialvandringsnulpunktet* (efter første Definition) er beliggende i et i Forhold til den omliggende Kyst mere erosionsbestandigt Omraade — og det vil ofte være Tilfældet — med divergerende Krumningsradier paa de to Sider af *Nulpunktet*. Her maa man altsaa søge det *mængdemæssige Materialvandringsnulpunkt* et Stykke inde i den Kyst, hvorpaa den *materialførende Kraft* staar vinkelret.

I de fleste Tilfælde vil de to Definitioner vel praktisk talt dække hinanden, og i det følgende, hvor det er *Materialvandringsnulpunktet* i den *mængdemæssige Definitions* Betydning, der benyttes, er der derfor regnet med, at Definitionerne giver samme *Materialvandringsnulpunkt*, og at dette kan bestemmes som det Punkt paa Kysten, hvor den *materialførende Kraft* staar vinkelret paa Kystlinien. Den Kritik, der har rejst sig imod *M-P-Formelen* og dennes Anvendelsesomraade, lades her ude af Betragtning. Formelen benytter jeg empirisk.

Fra et *Materialvandringsnulpunkt* føres Materialet bort til begge Sider, hvorved Omraadet nedbrydes. Følgen heraf bliver, at *Materialvandringsnulpunkter*, som ligger i fremskudte Omraader bestaaende af ikke-erosionsbestandige Materialer, hurtigere nedbrydes end de omkringliggende Kyststrækninger. Paa saadanne overvejende af mindre erosionsbestandigt Materiale bestaaende Kyststrækninger udraderes *Materialvandringsnulpunkterne* efterhaanden. Denne Udvikling har antagelig fundet Sted paa den *jyske Vestkyst*, der paa Stenalderhavets Tid maa formodes at have været bugtet og fliget; men som ved Havets Nedbrydning efterhaanden er blevet glattet ud, saaledes at den har faaet jævne og bløde Former (se *Plan 1*). Paa *Vestkysten* fandtes der før Gennembrydningen af *Limfjordstangerne* antagelig kun eet *Materialvandringsnulpunkt* formentlig beliggende et Sted paa den sydvestlige Del af *Thy-Kysten*, maaske ved *Lodbjærg*. Ved Gennembruddet dannedes der endnu et *Nulpunkt* (se senere under *Eks. 11*). Derimod vil et *Materialvandringsnulpunkt*, der ligger i et erosionsbestandigt Omraade, kunne holde sig og herved øve bestemmende Indflydelse paa den omkringliggende Kysts Udvikling.

I Praksis kan man selvfølgelig ikke tale om et *Material-*

vandringsnulpunkt, men om et vist *Materialvandrings-Nulpunkts-Omraade*, idet *Materialvandringsnulpunktet* flytter sig frem og tilbage alt efter Vejrforholdene. Et saadant Omraade vil antagelig ofte strække sig over mange km.

Egentlige Havstrømmes (Tidevandsstrømmes — Udligningsstrømmes) Betydning for Materialvandringen og dermed for *Materialvandringsnulpunktets* Beliggenhed, en Betydning, som man i hvert Tilfælde ikke kan negligere, naar Strømmene ledsages af *Bølgegang*, er der set bort fra. For saadanne Tilfælde er den sidst omtalte Definition af et *Materialvandringsnulpunkt* mere korrekt.

Ved *Materialtransportens Massekurve* (Fig. 5) forstaar jeg herefter den *Kurve*, der fremkommer, naar man i et *retvinklet Koordinatsystem* afsætter *Kystens Længde* som *Abscisse* regnet

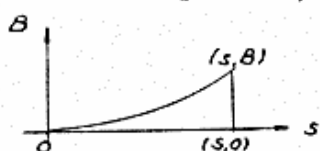


Fig. 5.

Materialtransportens Massekurve (M-Kurve).
The mass-curve of littoral drift (M-curve).

Længden $0-s$ (Fig. 5) er der nedbrudt ialt B m³ Materiale. Tangenthældningen $\frac{dB}{ds}$ er lig Nedbrydningen pr. Længdeenhed af Kysten.

Hvis A nu overalt paa Kysten fjerner den samme Mængde Materiale fra *Landgrund* og *Strand* pr. Længdeenhed af Kysten, beholder Kystlinien sin *Form*, selv om *Stejlheden* ikke overalt er ens.

Saaframt *Tilbagekningen* i en betydelig Aarrække har været den samme overalt paa en bestemt Kyststrækning, kan man omvendt slutte, at *Nedbrydningen* pr. Længdeenhed af Kysten er ens overalt, og at Kysten derfor har antaget en vis *Ligevægtsform*. Naar $\frac{dB}{ds}$ lig *Nedbrydningen* pr. Længdeenhed af Kysten altid har samme *Størrelse* paa de forskellige Steder langs Kysten — derfor kan den nok variere med Tiden — bliver *Materialtransportens Massekurve* en ret Linie. Benyttes nu det før omtalte *Erfaringsresultat* vedrørende *Materialvandrings* Afhængighed af *Bølgeretningen*, ses det, at A 's Projektion paa Kystlinien i et bestemt Punkt kan regnes at være ligefrem proportional med den samlede nedbrudte Mængde fra *Materialvandringsnulpunktet* og til det paagældende Punkt — A 's Pro-

jektion skal nemlig overalt medføre hele denne Mængde — og dermed proportional med Afstanden fra *Materialvandringsskystnulpunktet* til dette.

Naar *Materialvandringen* øges, kan det ske enten ved en Forøgelse af *Paavirkningens Oprodningsevne* eller ved en Forøgelse af dens *Transportevne*, (der ses bort fra det Tilfælde, hvor Bølgeretningen stadig er vinkelret paa Kysten, og hvor der i hvert Tilfælde ikke paa en udstrakt Kyst kan foregaa nogen langsgaaende *Materialvandring*). Hvad Oprodningsevnen angaar, saa er der Grund til at antage, at denne efterhaanden aftager noget, naar Vinklen mellem Bølgeretning og Kystretning bliver mindre, som Følge af en vis Svækkelse af Bølgerne ved disses Afbøjning henimod Kyst-Perpendikulæren. Derimod er der ingen Tvivl om, at den ved Bølgernes Afbøjning forarsagede Strøm langs Kysten bliver stærkere, jo større Afbøjningen er, og af denne Strøm afhænger Borttransporten af det nedbrudte Materiale. Spørgsmaalet om *Materialvandringens Afhængighed af Bølgernes Indfaldsvinkel med Kystlinien* er som før nævnt ikke klarlagt.

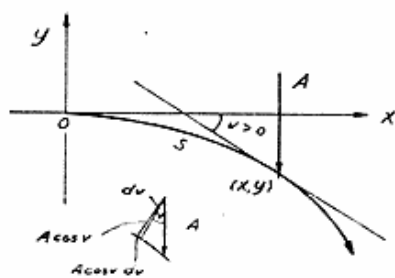


Fig. 6.

Fig. 6 viser en Kystlinie, hvorom det forudsættes, at Nedbrydningen er ens overalt. A er som før en *Bølgepaavirkning* og den eneste *Paavirkning*, som Kysten bliver udsat for. A er vinkelret paa Kysten i *Materialvandringsskystnulpunktet* o og har samme Størrelse overalt. Kysten bestaar af ensartet Materiale (med Indhold af Sand eller Grus), og der er fri Adgang for *Materialstrømmen* i ethvert Punkt.

Der indlægges nu et Koordinatsystem med Y-Aksen parallel med A og Begyndelsespunkt i o. I Henhold til det ovenforstaaende faas for Punktet (x,y), hvis Afstand fra *Materialvandringsskystnulpunktet* o maalt i Kystlinien er s:

Der indlægges nu et Koordinatsystem med Y-Aksen parallel med A og Begyndelsespunkt i o. I Henhold til det ovenforstaaende faas for Punktet (x,y), hvis Afstand fra *Materialvandringsskystnulpunktet* o maalt i Kystlinien er s:

Ang. v, se Fig. 6.

$$k \cdot s = A \cdot \sin v$$

$$0 \leq v \leq \frac{\pi}{2}$$

Til $x = 0$ svarer

$$s = 0 \text{ og } v = 0$$

k er en Konstant, der angiver den forekommende Nedbrydning pr. Længdeenhed af Kysten ($\frac{dB}{ds}$), k er afhængig af Materialet, men ingen Materialkonstant. Til enhver Værdi af k svarer en bestemt Størrelse af den ved Ligningen bestemte *Ligevægtsform*.

Man har,

$$k \cdot ds = A \cdot d \sin v = A \cdot \cos v \cdot dv$$

$$\frac{dy}{ds} = \div \sin v \quad , \quad \frac{dy}{dx} = \div \operatorname{tg} v \quad , \quad \frac{dx}{ds} = \cos v$$

$$k \cdot ds = \div A \cdot d \left(\frac{dy}{ds} \right)$$

$$\frac{d^2y}{ds^2} = \div \frac{k}{A} \quad , \quad y = \div \frac{k}{2A} \cdot s^2 + c_1 \cdot s + c_2$$

$$y = 0 \text{ for } s = 0 \text{ giver } c_2 = 0$$

$$\frac{dy}{ds} = 0 \text{ for } s = 0 \text{ giver } c_1 = 0$$

$$\text{Da } \frac{dx}{ds} = \cos v = \sqrt{1 - \sin^2 v} = \sqrt{1 - \left(\frac{dy}{ds} \right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{k \cdot s}{A} \right)^2} \text{ faas:}$$

$$x = \frac{A}{k} \cdot \int_0^s \sqrt{1 - \left(\frac{k \cdot s}{A} \right)^2} \cdot d \left(\frac{k \cdot s}{A} \right) = \frac{A}{k} \cdot \left(\frac{k \cdot s}{2A} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{k \cdot s}{A} \right)^2} + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{Arcsin} \frac{k \cdot s}{A} \right)$$

$$x = \frac{s}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{k^2 \cdot s^2}{A^2}} + \frac{A}{2k} \cdot \operatorname{Arcsin} \frac{k \cdot s}{A}$$

Den søgte Kurves Parameterfremstilling er:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{s}{2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{k \cdot s}{A} \right)^2} + \frac{A}{2k} \cdot \operatorname{Arcsin} \frac{k \cdot s}{A} \\ y &= \div \frac{k}{2A} \cdot s^2 \end{aligned} \right\} 0 \leq s \leq \frac{A}{k} \quad \text{I}$$

s kan elimineres. Sættes $\frac{k \cdot s}{A} = t$ faas:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{A \cdot t}{2k} \cdot \sqrt{1 - t^2} + \frac{A}{2k} \cdot \operatorname{Arcsin} t \\ y &= \div \frac{A \cdot t^2}{2k} \end{aligned} \right\} 0 \leq t \leq 1 \quad \text{II}$$

Af den oprindelige Differentialigning ses, at $t = \sin v$.

Parameterfremstillingen II kan da omskrives til:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{A}{k} \cdot \left(\frac{t}{2} \cdot \sqrt{1 - t^2} + \frac{v}{2} \right) \\ y &= \div \frac{A}{k} \cdot \left(\frac{t^2}{2} \right) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 0 &\leq t \leq 1 \\ 0 &\leq v \leq \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad \text{III}$$

eller:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{A}{k} \cdot \left(\frac{\sin 2v}{4} + \frac{v}{2} \right) \\ y &= \div \frac{A}{k} \cdot \left(\frac{\sin^2 v}{2} \right) \end{aligned} \right\} 0 \leq v \leq \frac{\pi}{2} \quad \text{IV}$$

$$\text{for } v = \frac{\pi}{2}, \text{ er } x = \frac{A}{k} \cdot \frac{\pi}{4}, y = \div \frac{A}{k} \cdot \frac{1}{2}$$

I de fundne Parameterfremstillinger III og IV indgaar $\frac{A}{k}$ som Faktor, d.v.s., at alle *Ligevægtsformer* er *ligedannede*. Størrelsen af *Ligevægtsformen* (den lineære Udstrækning) afhænger af Forholdet $\frac{A}{k}$ der sættes lig L. L kaldes *Ligedannedhedsfaktoren*. Herved forstaas *det Tal, hvormed man skal multiplicere Abscisser og Ordinater angivet i Kilometer i den Kurve, der fremkommer ved at benytte Parameterfremstillingerne III eller IV med $\frac{A}{k} = L = 1$ for at faa den virkelige Kystlinie. Hos-*

staaende *Tabel 1* angiver samholdende Værdier af Abscisser x , Ordinater y , Tangentvinkel v og Parameter t for $\frac{A}{k} = L = 1$. L er samtidig lig *Længden af Kysten* maalt i Kilometer.

Tabel 1.

x km	y km	v°	t
0,000	0,000	0,0	0,00
0,256	0,033	15,0	0,26
0,478	0,125	30,0	0,50
0,643	0,250	45,0	0,71
0,672	0,281	48,6	0,75
0,740	0,375	60,0	0,87
0,780	0,466	75,0	0,97
0,785	0,500	90,0	1,00

Tabellen kan benyttes til Optegning af *enhver Ligevægtsform* af Arten *Tilfælde 1 b*. Fig. 7 viser Ligevægtsformen for $L = 6,4 \cdot 10 \div 5$.

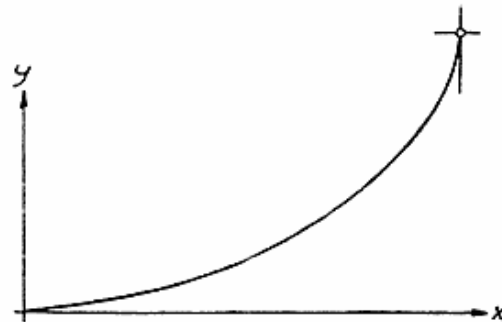


Fig. 7. Ligevægtsform, $L = 6,4 \cdot 10 \div 5$.
Form of equilibrium, $L = 6,4 \cdot 10 \div 5$.

Hvor A er stor (kraftig Paavirkning), træffer man *Ligevægtsformer* med stor Udstrækning; k er som før nævnt karakteristisk for den enkelte *Ligevægtsform*, men bestemmer ikke denne, da k 's Størrelse er afhængig af *Ligevægtsformens Udstrækning*. Naar *Paavirkning* og *Materiale* ikke ændres, vil k aftage, naar *Ligevægtsformen* udvides, (Krumningen aftager). Denne Udvidelse — Udvikling — af *Ligevægtsformen* foregaar efterhaanden meget langsomt, saaledes at Udviklingen ikke kan formodes at ville forstyrre *Formen* mere, end at man kan tale om en *Ligevægtsform* for Kystliniens Forløb.

En Betingelse for, at en fuldstændig *Ligevægtsform* kan udvikle sig, er naturligvis, at der er Plads, d.v.s. Landomraade, nok til den. Har f. Eks. en lille \emptyset i Aarhundreder været udsat for den samme *Paavirkning*, kan man kun forvente at finde en

Del af *Ligevægtsformen* i Øens Kystomrids. Det kan imidlertid ogsaa tænkes, at Øen eller Omraadet er af meget stor Udstrækning.

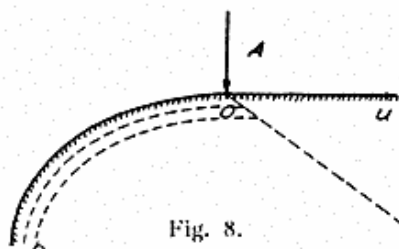


Fig. 8.

Fig. 8 forestiller et Landomraade, der paavirkes af Kraften *A*, der forudsættes at være vinkelret paa Kystens Hovedretning. Paa Strækningen *o—b* udvikles der da efterhaanden en *Ligevægtsform*. I det ekstreme Tilfælde, hvor *A* altid er vinkelret paa Kysten i *o*, vil denne ved *o* kunne faa et skarpt Knæk (90°), men i Naturen forekommer dette Tilfælde næppe, selv om den resulterende Paavirkning, f. Eks. *Munch-Petersens materialførende Kraft*, opfylder Betingelsen at være vinkelret paa Kysten i *o*. Derimod kan Kysten ved *o*, hvis f. Eks. Materialet her er særlig modstandsdygtigt, i Forvejen have et forholdsvis skarpt Knæk (vist punkteret paa Fig. 8). I saa Fald er der en Mulighed for, at Kystlinien *o—b* rykker kongruent tilbage, d.v.s., at den beholder sin *Størrelse* og *Form* uforandret under Bevægelsen som vist punkteret paa Fig. 8.

En Betingelse for, at Strækningen *o—u* (Fig. 8) kan nedbrydes, er, at *A* af og til kan være eller altid er skraa i Forhold til Kystlinien *o—u*. I første Tilfælde kan den resulterende Paavirkning alligevel være vinkelret paa Kystlinien i *o*. Om *Formen* saa vil rette sig efter denne, er formentlig et Spørgsmaal om den resulterende Paavirknings vektorielle Sammensætning, idet enkelte om *Gennemsnitspaavirkningen* symmetriske grupperede Vektorer eller en enkelt særlig fremtrædende Vektor vil kunne være bestemmende for *Formudviklingen*.

Tilfælde 2 b.

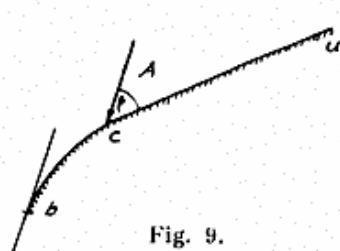


Fig. 9.

Er *A* skraa i Forhold til Kystlinien (Fig. 9), og har denne stor Udstrækning i Retning *c—u* (Fig. 9), starter man i et vist Punkt *c* med en Materialmængde, der er ligefrem proportional med $A \cdot \cos\beta$, hvor β er *A*'s Vinkel med Kystlinien i *c*. ($\beta = 90^\circ - \nu$). Matematiske Betragtninger analoge med de foran anførte giver, at

matematiske Betragtninger analoge med de foran anførte giver, at

den *Form*, der udvikler sig, er den, som man faar ved at benytte den Del af den i *Tilfælde 1 b* omtalte *teoretiske Kurve*, der svarer til Vinkelintervallet $(90 - \beta)^\circ$ til 90° , jfr. Fig. 18, Eks. 8, *Skagens Odde. Tabel 1* vil saaledes ogsaa kunne anvendes her.

Ligevægtsformers Udvikling.

En *Ligevægtsform* vil alt efter Omstændighederne kunne udvides, d.v.s. forøges i Udstrækning, eller indskrænkes, d.v.s. formindskes i Udstrækning, svarende til en Forøgelse, resp. en Formindskelse, af *Ligedannethedsfaktoren L*. Hvis *Formen* udvides — og dette sker som før nævnt meget langsomt i Udviklingens modne Faser, saaledes at man maa formode, at *Formen* ikke derved forstyrres væsentlig — aftager Nedbrydningen pr. Længdeenhed af Kysten gradvis i Overensstemmelse med Formindskelsen i Krumningen. Naar *Formen* paa denne Maade forøges i Udstrækning, forskubbes *Materialvandringsnulpunktet* efterhaanden i Udvidelsesretningen, hvilket viser sig ved, at Kystlinien begynder at dreje ved o og uden for *Ligevægtsformen* imellem o og u (Fig. 8). Hvis derimod o (Fig. 8) eller c (Fig. 9) er „absolut faste Punkter“, d.v.s. Omraader, der bestaar af meget modstandsdygtigt Materiale, eller som har „ubegrænset“ Materialeoverskud (meget højt Land), vil Kystlinien efterhaanden kunne dreje sig om o og slides af, indtil den har *Form* som en ret Linie i A 's Retning gennem o (c). Opmærksomheden henledes i den Henseende paa Forholdene, som de har udviklet sig paa *Vestkysten* ved *Hirtshals* (Stenrev), *Bulbjærg* (Kalkklippe), *Hanstholm* (Kalkklippe), *Klitmøller* (Stenrevet *Ørhage* bestaaende af Flint og Kridt) og *Vorupør* (Banke af Flint og Kridt), se *Plan 1*. Den Side, hvor *Paavirkningen* danner mindst Vinkel med Land, vil almindeligvis nedbrydes kraftigst. Tilsidst vil denne Kyst indstille sig parallel med *Paavirkningen*, og herefter bestemmer Modstandsdygtigheden af det „absolut faste Punkt“ i Kystens Vinkelspids Kystliniens yderligere Tilbage-rykning, selv om Udsving fra denne *tvungne Ligevægtsform* kan forekomme, jfr. de ovenfor nævnte Eksempler fra den *jyske Vestkyst*.

En anden Forklaring paa disse Pynters Udformning under Forudsætning af *45°-Teorien* for *Materialvandringens Maksimum* er givet af *Palle Bruun* i *Ingeniøren* 1909.

Ligevægtsformen vil kunne paavirkes af *Strømme*, hvis Betydning for *Materialtransporten* man ikke kan se bort fra, naar *Strømmene*, selv om de er nok saa svage, ledsages af *Bølgegang*,

desuden af *Kystmateriallets Art* og dets mulige Varieren langs Kysten. Det vil imidlertid føre for vidt her at komme ind paa en Diskussion om disse og andre Aarsager til Optraeden af Uregelmæssigheder i *Ligevægtsformen*.

Selvfølgelig er det vanskeligt at finde et Sted, hvor de opstillede Forudsætninger for Beregningerne alle er til Stede, og man maa her som paa andre Omraader ikke forvente, at Naturen lader sig fastlægge i matematiske Rammer. Teorien ovenfor skal opfattes som *en Forklaring* — ikke som *Forklaringen*. I Kravet om *ensrettet Paavirkning* maa man i de fleste Tilfælde lade sig nøje med den *resulterende Paavirkning*, f. Eks., som jeg her har gjort det, benytte *Munch-Petersens materialførende Kraft* som *Paavirkning*. Den *materialførende Krafts* Evne til at angive *Materialvandringens Retning* og dermed *Materialvandringssnulpunkters* omtrentlige Beliggenhed maa anses for at være udmærket uanset det teoretiske Grundlags Spinkelhed. En *Sammensætning af Ligevægtsformer*, hver gældende for sin specielle *Paavirkning*, synes at være vanskelig og meget usikker. I Naturen er det selvfølgelig de *sammensatte Former*, der optræder i alt overvejende Mængde.

Man maa heller ikke forestille sig, at Nedbrydningen foregaar som en jævn Afslidning. Den forekommer ofte i *begrænsede Perioder*, medens der udover disse kan være tilsyneladende Ro. De usædvanlig stærke Stormes (Orkanernes) særlige Betydning for Kystudviklingen synes at være lige saa uomtvistelig som uberegnelig.

I selve Kystlinien vil *Materialvandringen* ofte give sig til Kende ved store uregelmæssigt formede Bugtninger i Kystlinien. Disse Bugtninger eller „Bølger“ ses tydeligt i roligt Vejr, f. Eks. under Fralandsvind, og de flytter sig langs Kysten i *Materialvandringens retning*. Aarsagen til disse af Sand og Grus bestaaende „Bølger“s Optraeden maa formentlig søges i lignende og maaske langt større Materialflytningsfænomener i Kystens Revlesystem, idet „Bølgerne“ ofte, men *ikke* altid optræder i Forbindelse med Huller i Revlesystemet. Man træffer dog ogsaa „Bølgerne“ paa Steder, hvor Revledannelsen er lidet udviklet. De kan forekomme med lige store „Bølgebjerge“ og „Bølgedale“ eller med særlig udpræget „Bølgebjerg“ eller „Bølgedal“. I sidste Tilfælde kaldes de ogsaa „Indkil'er“ eller „Indskæringer“. Hosstaaende Fig. 10 viser en „Bølge“; „Bølgehøjden“ (h paa Fig. 10) kan paa *Vestkysten* være op til ca. 100 m, Bølgelængden (l paa Fig. 10) fra 2—300 m til et Par km, Van-

dringshastigheden meget forskellig alt efter Vejrforholdene, f. Eks. 0—1—2 km om Aaret. I *Aalbæk-Bugten* er Størrelsesdimensionerne mindre.

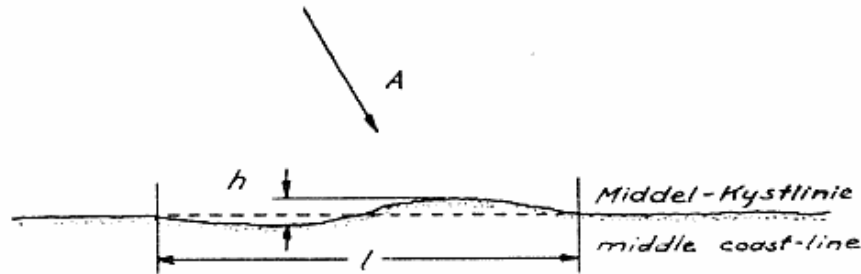


Fig. 10.

Paa Grund af „Bølgerne“ maa man altid regne med betydelige Udsving fra Middelkystlinien og være paa Vagt over for „Bølgedalene“, som er Kystens svage Punkter.

Det er sandsynligt, at man for at forstaa *Materialvandringssproblemerne* helt til Bunds maa søge tilbage til de fysiske elementære Processer.

Eksempler.

Eksemplerne er vist indtegnet paa *Geodætisk Instituts Maalebordsblade* (1:20.000) eller *Atlasblade* (1:40.000). Beliggenheden i Landet er angivet paa *Plan 1*. Den *teoretiske Kurve* er tegnet udenfor de respektive Kystlinier, og Begyndelsespunkt (ingen *Materialtransport* eller *Minimum* af *Materialtransport*) og Endepunkt (*Maksimum* af *Materialtransport*) er angivet ved en lille Cirkel. For Eksemplerne 2—7 svarende til *Tilfælde 1 b* er som *Materialvandringssnulpunkt* benyttet det Punkt paa Kysten, hvor den *materialførende Kraft* staar vinkelret paa Kystlinien, før den begynder at krumme. *Nulpunktet* er saaledes ikke bestemt ved Iagttagelse i Naturen, da det vilde kræve særlige Foranstaltninger som *Høfdebygning* m. v. og Iagttagelse igennem et langt Tidsrum at fastslaa den nøjagtige Beliggenhed af *Nulpunktet*. En absolut Bestemmelse af dette er dog uden væsentlig Betydning, fordi den *teoretiske Kurve* i *Nulpunktets* umiddelbare Nærhed er meget flad. For *Eks. 1's* Vedkommende er *Nulpunktets* omtrentlige Beliggenhed takket være Høfderne ved *Kikhavn* dog paaviseligt i Naturen. Eksemplerne er søgt paa Steder, hvor Forudsætningen om *ensrettet Paavirkning* — omend kun med Tilnærmelse — er opfyldt, eller hvor der er Tale om en vis *symmetrisk Paavirkning*.

Eksempler paa Tilfælde 1 b.

Fig. 11, Eks. 1. Hundested. Paa det Sted, hvor *Materialvandrigen* ifølge Teorien er størst, ligger *Hundested Havn*. Denne Havn blev i 1892 ombygget til en *Ø-Havn*. Ved en *Ø-Havn* for-



Fig. 11, Eks. 1, Hundested.

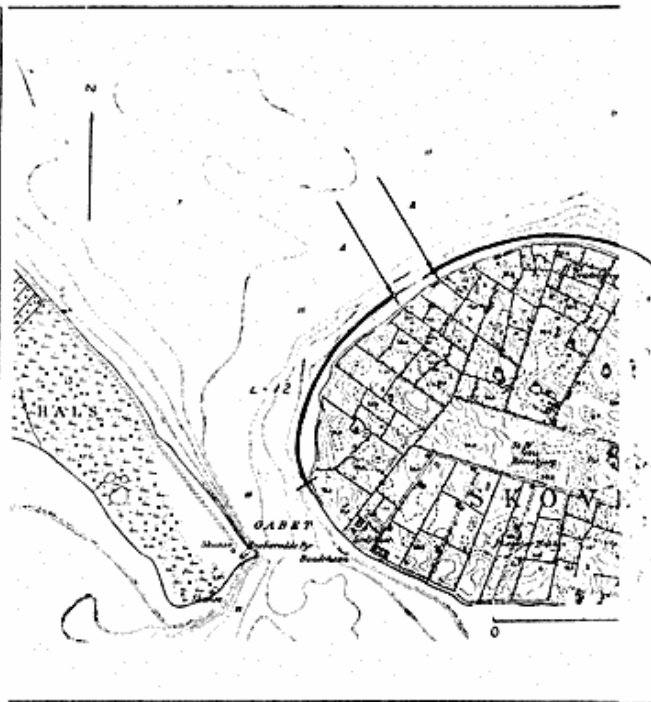


Fig. 12, Eks. 2, Halvøen Skoven.

staas en Havn, der ikke er i landfast Forbindelse med Kysten, men forbundet med denne ved en aaben Bro. Hensigten hermed er, at *Materialvandrigen* uhindret skal have Lov til at passere forbi, saaledes at Tilsanding af Havnen undgaas. I omtalte Tilfælde lykkedes det ikke at undgaa Tilsandingen, og Havnen er,

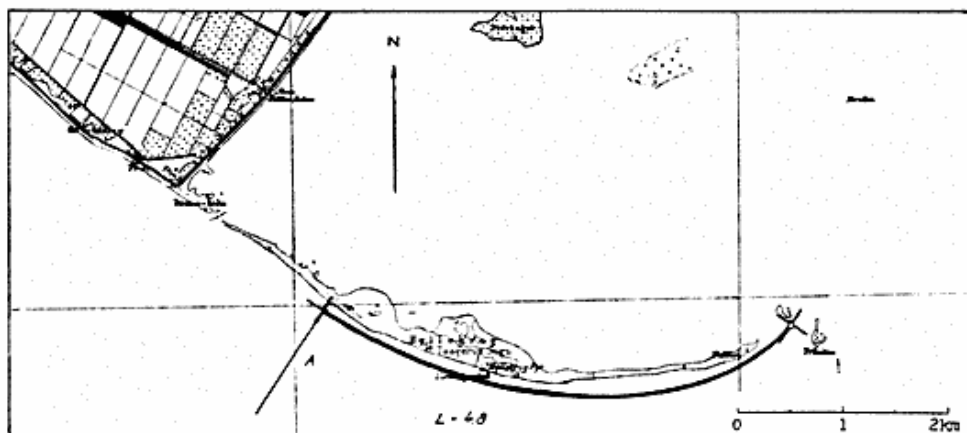


Fig. 13, Eks. 3, Hyllekrog.

som Figuren viser, nu landfast. Takket være Høfderne ved *Kikhavn* er det, som tidligere nævnt, paaviseligt i Naturen, at der findes et *Materialvandringssulpunkt* et Sted i Nærheden af *Kikhavn*, hvor ogsaa det *teoretiske Nulpunkt* er forudsat beliggende.

Fig. 12, Eks. 2. *Halvøen Skoven*. Man lægger Mærke til, at Kystlinien paa *Hals Odde* er omtrent parallel med A.

Fig. 13, Eks. 3. *Hyllekrog*. Odden er dannet ved Materialtilførsel fra Vest.



Fig. 14, Eks. 4, Barsø.

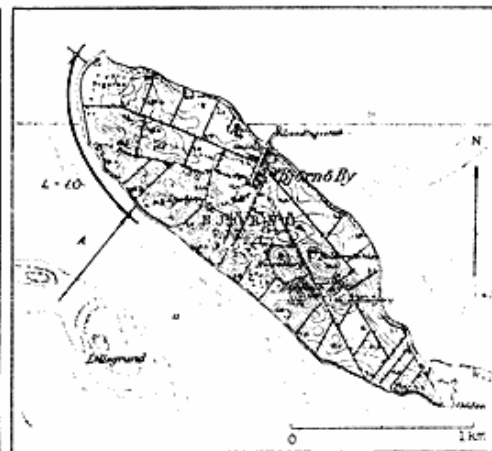


Fig. 15, Eks. 5, Bjørnø.

Fig. 14, Eks. 4. Barsø.

Fig. 15, Eks. 5. Bjørnø.

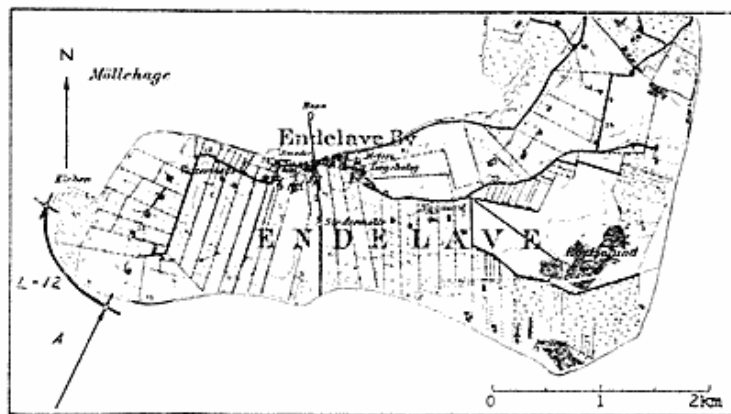


Fig. 16, Eks. 6, Endelave.

Fig. 16, Eks. 6. *Endelave*. Odden *Klobens Drejning* mod Øst fortsætter paa Grund af de vestlige Vindes Indflydelse.

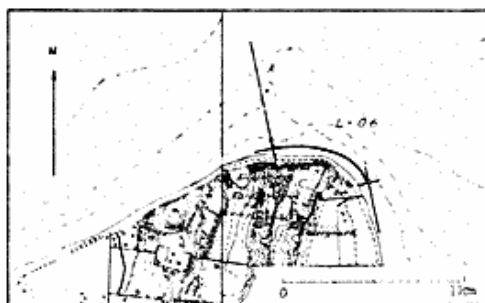


Fig. 17, Eks. 7, Klintebjerg.

Fig. 17, Eks. 7. Klintebjerg.

Eksempel paa Tilfælde 2 b.

Fig. 18, Eks. 8. *Skagens Odde*. Dannelsen af *Skagens Odde*, hvis yderste Spids hedder *Grenen*, maa tilskrives de af Istids-aflejringer opbyggede Pynter *Frederikshavn* og *Hirtshals*, samt den under *Raabjerg-Mile*-Omraadet liggende Lerknude, rimeligvis bestaaende af *Yoldialer* (*A. Jessen, Vendsyssels Geologi*). Betragtes Forholdene paa *Skagerrak*-Siden, vil det forstaaes, at *Hirtshals*-Pyntens og *Raabjerg*-Knudens Beliggenhed i Forhold til hinanden med de overvejende vestlige Vinde, der i nogle Aartusinder maa formodes at have blæst hen over Landet, har udelukket, at der har kunnet dannes en fuldstændig *Ligevægtsform*. Den første Del af *Ligevægtsformen* maa mangle, da *Paa-* *virningen* intet Sted kan blive vinkelret paa *Kystlinien*.

Lidt Nord for *Gl. Skagen* begynder man at kunne spore *Odden*'s Krumning. Den *materialførende Kraft* danner her en Vinkel paa ca. 60° med *Kystlinien*. I Henhold til det ovenforstaaende maa man da anvende den Del af *Ligevægtsformen*, som

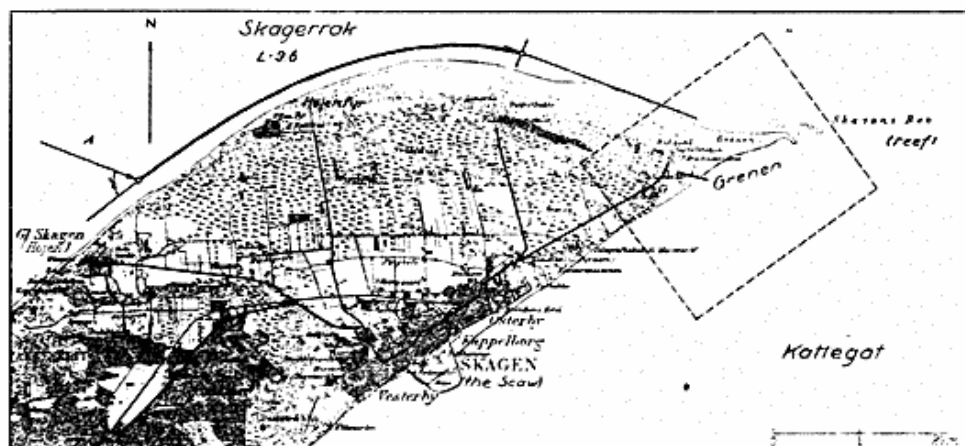


Fig. 18, Eks. 8, Skagens Odde.

svarer til Vinkler mellem $90^\circ \div 60^\circ = 30^\circ$ og 90° . Af det topografiske Kort fremgaar det, at der er god Overensstemmelse mellem Kystliniens og den teoretiske Kurves Forløb, naar undtages den yderste Spids af *Odden (Grenen)* og det udenfor liggende *Skagens Rev*, hvor *Kattegats* Indflydelse gør sig gældende. Som bekendt finder der imidlertid ikke Nedbrydning Sted paa *Grenens Skagerrak-Side*, tværtimod vokser *Grenen* stadig mod Nord med en Hastighed, der synes at ligge omkring 4—5 m om Aaret, og Spørgsmaalet er da, om dette Forhold kan forenes med Teorien ovenfor, der kun omhandler Nedbrydning. Hertil bemærkes, at Forudsætningen om fri Afgang for *Materialstrømmen* ikke er opfyldt i dette Tilfælde. *Revet*, paa hvis *Dannelse* og *Form* de *egentlige Havstrømme* (forarsaget især af optrædende Forskelle i Vandfladeniveau mellem *Nordsøen* og *Kattegat* under vestlige eller østlige Storme), maa formodes at øve afgørende Indflydelse, virker i Forbindelse med nævnte *Strømme* som en Art *Høfde* eller *Mole*, der samler det Materiale, som i rigelig Mængde tilflyder Omraadet. Dette Materiale skylles paa Land især af de svagere Vinde fra den nordlige Kvadrant, hvorved *Odden* forlænges. Selve Kystliniens Forløb synes at være bestemt af de stærke Storme fra den vestlige Kvadrant. Det er disse Storme, der giver de store Materialflytninger, og som aabenbart ordner Materialet i Overensstemmelse med *Ligevægtsformen*.

Hosstaaende *Luftfotografi* Fig. 19 viser Spidsen af *Grenen* omfattende det paa det topografiske Kort viste indrammede Parti. Billedet er efter Oplysning af *Hærens Flyvetroppers Fotosektion* optaget d. 25-7-1929 i 3000 m's Højde. Af Skygger paa Fotografiet har jeg bestemt Optagelsestidspunktet til ca. Kl. 14. Efter Oplysninger fra *Det danske meteorologiske Institut* var Vindforholdene d. 25-7-1929 Kl. 14 ifølge Observationer paa den meteorologiske Station *Skagen Fyr* beliggende paa *Grenen, Vest, Styrke 5 Beaufort* (8—9 m/sek.). De foregaaende 3 Observationer fra Stationen var: d. 25-7 Kl. 8 *Vest, Styrke 5*, d. 24-7 Kl. 19, *Vest, Styrke 5* og d. 24-7 Kl. 14 *Vest, Styrke 6*, d.v.s., at Vindforholdene over Havomraadet omkring *Grenen* i Døgnet før d. 25-7 Kl. 14 har været *stiv vestlig Kuling*. Der foreligger med andre Ord en Vejrsituation, som, hvad Vindretning angaar, vel ikke svarer nøjagtig til det *teoretiske* Tilfælde paa det topografiske Kort, men som paa den anden Side ikke ligger saa langt derfra (ca. 20° 's Vinkelafvigelse). Fotografiet synes saaledes at foregribe en meget interessant Situation i *Grenens* og

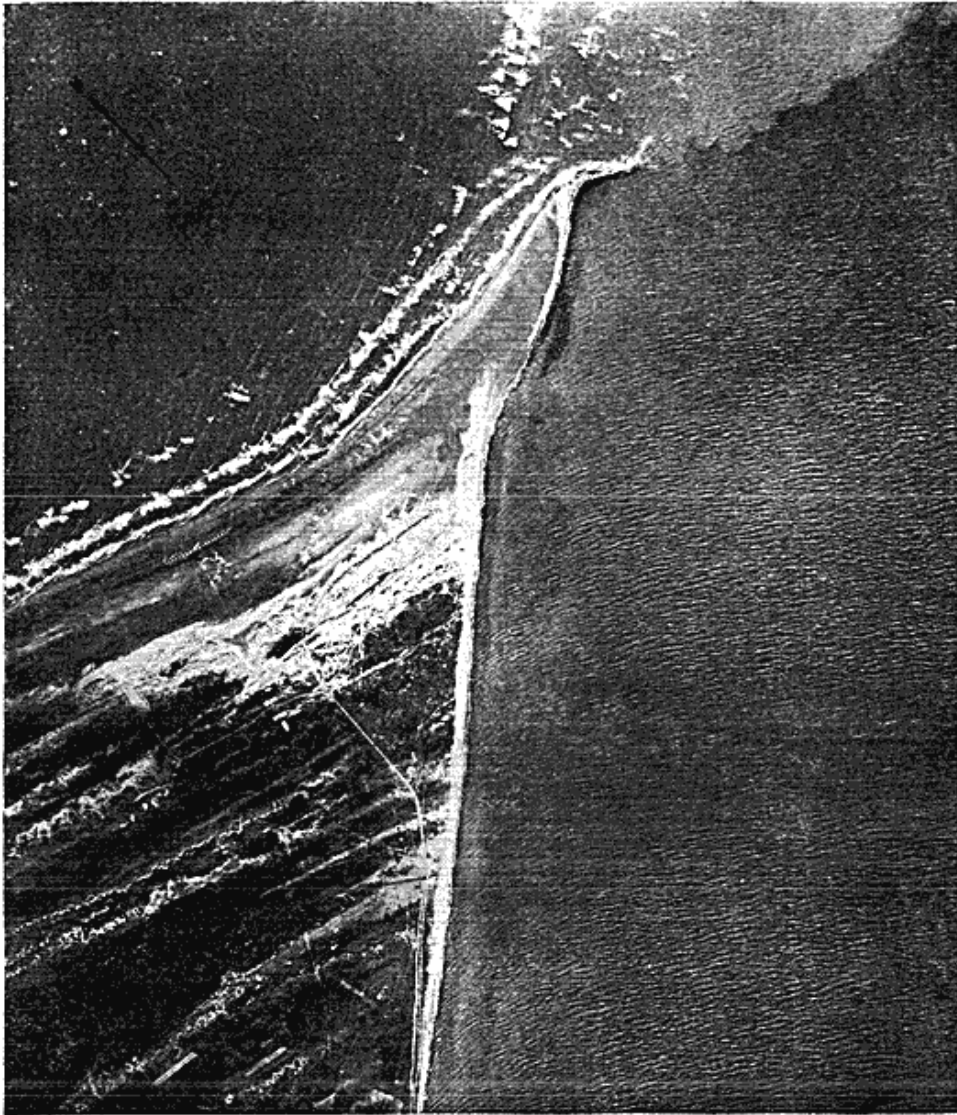


Fig. 19, Eks. 8. *Skagens Odde*. Luftfotografi af *Grenen* fra 3000 m's Højde.

Omraadet dækker det paa det topografiske Kort indrammede Areal.

Skagens Odde (spit). Air-photo of *Grenen*, 3000 m's height. The area of the photo is shown with dotted lines at fig. 18. Weather nearly as of fig. 18.

Note the sand-cloud. fot. Hærens Flyvetropper.

Oddens Formudviklingsproces. Paa Billedet ses som bemærket af *Munch-Petersens* (*Materialwanderung längs Meeresküsten ohne Ebbe und Flut*) tydeligt den Sky af opslæmmet Sand, der staa ud over *Grenens* Spids. I denne Forbindelse nævnes, at denne „Sandsky“ ofte kan observeres flere km forbi *Grenen*, og at dens Begrænsning imod *Kattegats* klarere Vand kan staa meget skarpt. Paa Billedet bemærkes iøvrigt Bølgedrejningen ind mod Kysten paa *Skagerrak*-Siden.

At *Oddens Form* ikke har ændret sig væsentlig i Tidens Løb, viser foretagne Opmaalinger fra *Videnskabernes Selskabs Kort* fra 1795 til *Generalstabens* nyeste Kort (1887—1928—1935), og *Oddens* Udviklingshistorie kan iøvrigt læses i *Grenens* og de indenfor liggende Omraaders Landskab i de store Systemer af koncentriske og parallelle, stenede Strandvælde med mellem-liggende Partier Mose, der viser, hvorledes Landet er vokset

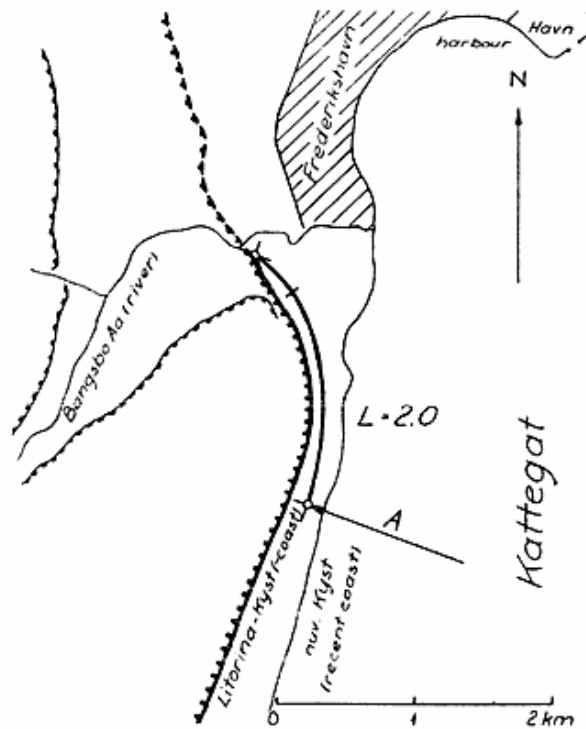


Fig. 20, Eks. 9. Litorina-Kystlinien ved Frederikshavn.
Cliff-shoreline of the Litorina-sea, Frederikshavn.

mod Nord, ved at det ene Bælte af Ral, Grus og Sand har lagt sig udenfor det andet, jfr. det topografiske Kort, hvor man af de langstrakte Moser og Søer og af Niveaukurvernes Forløb faar et Indtryk af denne Naturens Opbygningsteknik. Som i saa mange lignende Tilfælde, haade store — ved *Nordamerikas Østkyst*, f. Eks. *Sandy Hook (New York Bay)* — og smaa, f. Eks. *Ørøde* ved *Nykøbing M.* og i det hele taget ved *Krumodder (Axel Schou, Det marine Forland)* — skaffes Materiale til Forlængelse af *Odden* bl. a. ved Nedbrydning af Partier, der ligger længere inde paa *Odden* (Strækningen fra ca. *Skiveren* i Syd til ca. *Højen Fyr* i Nord — se det topografiske Kort og *Plan 1*). Dette giver en langsom Forskydning af *Oddens* Vestsider om-trent vinkelret paa Vækstretningen, samtidig med at det Om-

raade paa Vestsiden, der eroderes, efterhaanden breder sig mod Nord.

Foruden de anførte Eksempler kan der nævnes talrige andre;

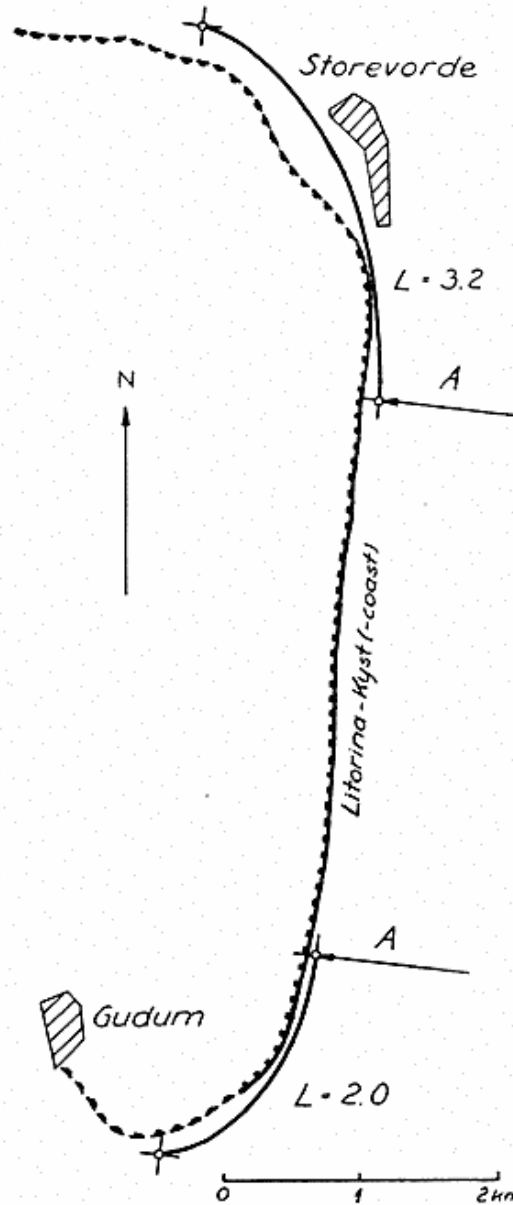


Fig. 21, Eks. 10. Litorina-Kystlinien mellem Storevorde og Gudum (Øst for Aalborg).

Cliff-shoreline of the Litorina-sea east of Aalborg.

af beslægtede i Udlandet *Spurn Head* ved *Humber* (England) og den yderste Del af *Hela-Halvøen* i *Danzig-Bugten*. Mange Steder vil dog Rev (*Klitmøller*, *Anholt*), Omraader med vanskelig eroderbart Materiale (*Hanstholm*), særlige Strømforhold (*Skalling-Ende*) eller Havne- og Molcanlæg (*Anholts Nordvest-*

pynt) forhindre Udviklingen af en *Ligevægtsform* af Arten *Tilfælde 1 b* eller *Tilfælde 2 b*.

Smaa *Ligevægtsformer* af lignende Art træffes mange Steder ved vore Kyster. De smaa *Ligevægtsformer* udvikler sig ofte i Overensstemmelse med en af et foran liggende flakt Omraade forarsaget *ændret* Bølgeretning.

Ved Teorien lader den Omstændighed, at nogle Partier af en Kyststrækning angribes særlig haardt, sig ofte forklare derved, at de paagældende Partier ligger uden for, d.v.s. paa Ydersiden af *Ligevægtsformen*, hvorved Kystens Krumning det samme Sted bliver for stærk, jfr. det nedenfor omtalte *Eks. 11, Fig. 22*.

Teorien behandler i Almindelighed de *Former*, der er opstaaet som Følge af *Nedbrydningen* af en Kyst; men den kan formentlig ogsaa, som Eksemplerne 3 og 8 tyder paa, finde Anvendelse ved visse *Opbygningsprocesser*, idet det er en med Naturiagttagelser overensstemmende Antagelse, at det er de stærke og overvejende nedbrydende Storme, der bestemmer en *Kystform*. Disse stærke Storme kan samtidig med *Nedbrydningen* udføre et opbyggende Arbejde ved at hidføre Materiale, som evt. ordnes i Overensstemmelse med *Ligevægtsformen*.

Den Frihed, der ligger i Teoriens *Ligedannethedsprincip*, maa selvfølgelig ikke anvendes ukritisk.

Eksempler fra Litorina-Tiden.

Ogsaa i Forløbet af gamle Kystlinier, der har været beskyttet i *Litorina-Tiden* kan man finde *Former*, der leder Tanken hen paa Teorien ovenfor, jfr. *Fig. 20* og *21, Eks. 9* og *10*, hvor nogle Kystlinier fra denne Tid er vist tegnet efter Kort udarbejdet af *Danmarks geologiske Undersøgelse*.

Ved Bestemmelse af *Paavirkningsretningen* er der regnet med lignende Vejrforhold som i Nutiden.

Fig. 20, Eks. 9, er fra den gamle, meget veludviklede Kystklint fra *Litorina-Tiden* Syd for *Frederikshavn*. Paa Figuren kan den matematiske *Ligevægtsform* kun benyttes i Intervallet 0° til 55° , eller til den viste Tverstreg paa Figuren, men ikke paa Strækningen 55° til 90° . Forklaringen herpaa finder man i Naturen i den Strandvold, der dækker hen over Munden af *Bangsbo Aa Dalen*, hvor en smal Fjord i *Litorina-Tiden* har strakt sig ind i Landet. Man maa antagelig forestille sig Udviklingen saaledes, at en Del af det fra Kystklinerne mod Syd udskyldede Materiale af de *materialførende Havkræfter* er ført mod Nord, hvor det efterhaanden er aflejret ved Nordenden af Højlandet som en Strandvold, hvis Rodende støttede sig til Bakkefoden, og hvis Spids som en Odde voksede ud i *Materialvandringssretningen*, en Udvikling, der formentlig bl. a. maa tilskrives *Bangsbofjordens* ringe Udstrækning.

Fig. 21, Eks. 10, viser *Litorina-Kystlinien* paa Nord, Øst- og Sydsiden

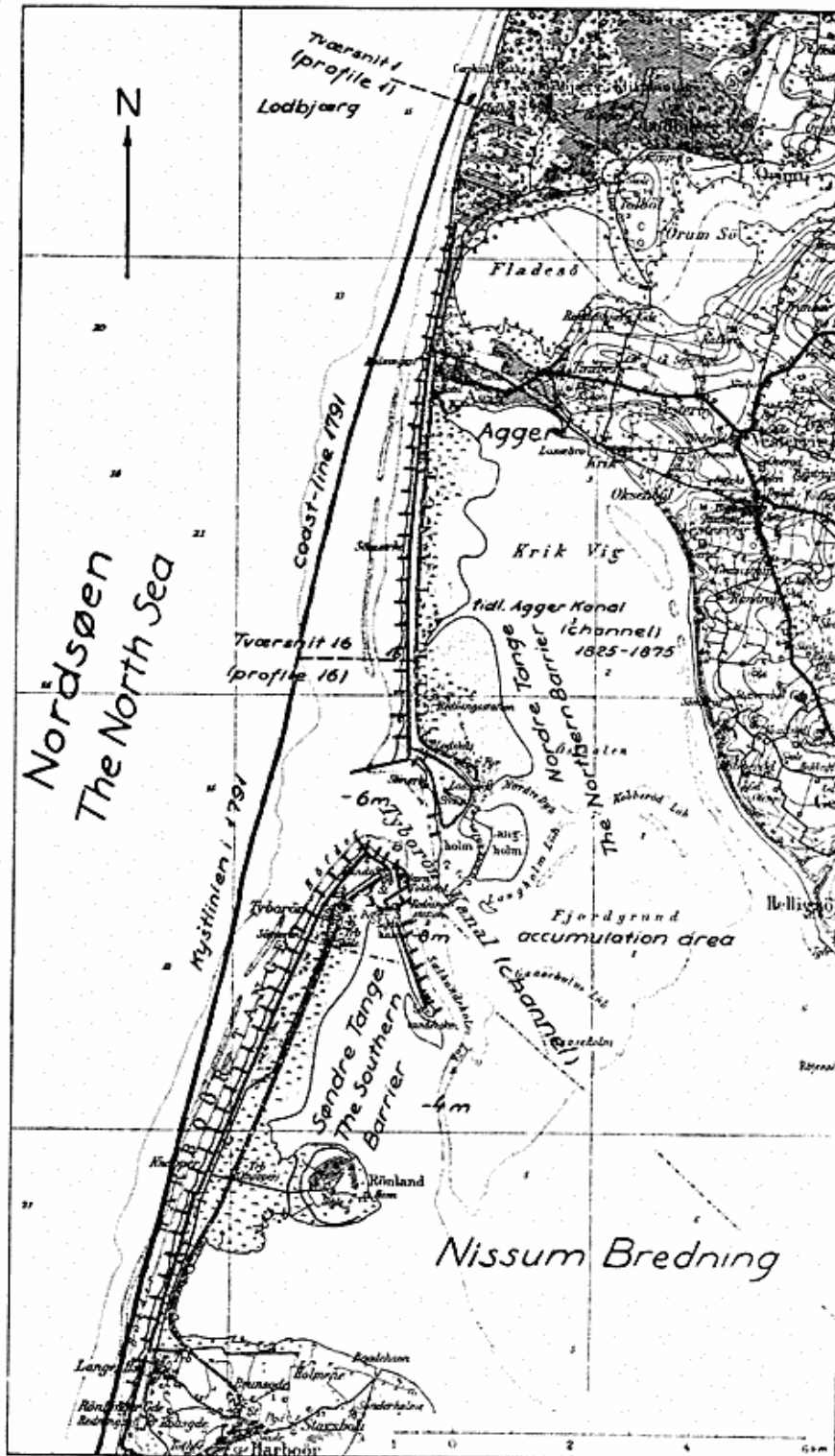


Fig. 22, Eks. 11. Limfjordstangerne ved Thyborøn.
 The Limfjord-barriers by Thyborøn.
 (tidal range 0,4 m).

af den store Bakke mellem Landsbyerne *Storevorde* og *Gudum* Sydøst for *Aalborg*. Paa Nord- og Sydsiden er den gamle Kystlinie dog mindre veludviklet — vist punkteret. Østsiden er derimod meget veludviklet, selv om Datidens store Havbugt Øst for *Aalborg* antagelig kun har haft temmelig ringe Vanddybde, og den gamle Kystlinie staar som en stejl og næsten rellinet Skrænt. Man bemærker, at A staar vinkelret paa den nord-sydgaaende Kystlinie, samt Tilnærmelsen til *Ligevægtsformen* mod Nord og Syd.

Med Hensyn til Formbedømmelsen af saadanne ældre Kystlinier maa der selvfølgelig vises Varsomhed, idet Vind- og Vejrforhold kan have været anderledes end i vore Dage, og rene Tilfældigheder kan spille en Rolle. Omvendt er det muligt af gamle modne Kystliniers *Form* at slutte sig til *Retningen* for den *Paavirkning*, der har udformet den paagældende Kystlinie, og for *Litorina-Tidens* Vedkommende synes dette ofte at pege paa lignende Vindforhold som de nu herskende, jfr. Eksemplerne ovenfor.

Eks. 11. Et Praktisk Eksempel paa Anvendelse af Massekurver.

Fig. 22, Eks. 11 viser *Limfjordstangerne*, der adskiller den vestlige Del af *Limfjorden* (*Nissum Bredning*) fra *Nordsøen*. Paa Figuren er indtegnet den omtrentlige Beliggenhed af den *ubrudte* Tanges Havkystlinie i 1791. Iøvrigt er Beliggenheden af den *brudte* Tanges Havkystlinie i Dag omtrent den paa Figuren viste for den med Høfder forsynede Stræknings Vedkommende, medens Kystlinien Nord for Høfderne paa *Nordre Tange* i Dag ligger lidt længere mod Øst, end Figuren viser (ud for *Lodbjærg* ca. 150 m).

Den aabne Kanalforbindelse imellem de 2 Vandflader, den saakaldte *Thyborøn Kanal*, er dannet af Naturen ved et Tangegennembrud, der fandt Sted i 1862.

Limfjordstangerne er antagelig opbygget ved Nedbrydning af glaciale Omraader af betydelig Mægtighed ved *Agger* og *Lodbjærg* i Nord og ved *Bovbjærg* i Syd, se Plan 1. Den naturlige Forbindelse imellem disse Omraader er en ubrudt Tange, hvis Kystlinie mod Vest tangerer de glaciale Omraaders vestlige Afgrænsning. Iagttagelser af Strandvolde og Aflejringer i *Nissum Bredning* gør det sandsynligt, at Tangeforbindelsen har eksisteret helt tilbage til *Litorina-Tiden*. Hvor Tangerne nu ligger, har der en Gang været Fjord, hvilket fremgaar af, at Tangerne, hvis øvre Lag er Sand og Grus, fra Kote ca. \pm 6 m er opbygget af fjordaflejt Saltvandsklæg (*Litorina-Dynd*) af betydelig Mægtighed — ved *Thyborøn* ca. 30 m; herefter følger Istidsaflejringer m. v. *Tangernes* Historie er iøvrigt meget dunkel, idet det foreliggende ældre Kortmateriale er meget sparsomt og

dertil upaalideligt. Dette gælder ogsaa de historiske Beretninger. Der synes at have været længere Perioder, hvor Forbindelsen har været ubrudt, og hvor Kystens Tilbagerykning maa formodes at have fulgt de omkringliggende glaciale Omraaders Tilbagerykning, og kortere Perioder med Gennembrud eller Kanaldannelse, hvor Kysten i Gennembrudsstedets Nærhed er rykket hurtigt tilbage, og store Mængder Sand og Grus af Strømmen, der opstaar som Følge af optrædende Forskelle i Vandfladeniveau imellem Fjord og Hav, er ført ind i Fjorden, hvor det har aflejret sig i store Fjordgrunde, se Fig. 22. Under stærke Vestenstorme kan denne Vandstandsdi­fferens blive omkring et Par Meter. Det normale Flodskifte er ca. 0,4 m. Ved Fjordgrundenes fortsatte Vækst — der aflejres i Øjeblikket ca. 1 Mill. m³ Sand aarlig — er Strømmen tilsidst blevet hæmmet saa meget, at Kanalen ikke mere har været i Stand til at sluge det fra Havkysten paa begge Sider af Bølger og Strøm tilførte Sand m. v. Følgen heraf blev, at Naturen igen lukkede Kanalen, hvorefter Kysten atter rettede sig ud. Et historisk Eksempel herpaa er Dannelsen af *Agger-Kanalen*. Gennembruddet fandt Sted i 1825, og Kanalen lukkedes atter af Naturen i 1875. Paa Fig. 22 ses en Rest af *Agger-Kanalen* som en langstrakt Indbugt i *Nordre Tanges* Fjordkystlinie. Lignende Naturbegivenheder har fundet Sted andre Steder i Verden, f. Eks. paa *New-Jersey-Kysten* i U.S.A.

I 1862 gennembrødes som nævnt *Limfjordstangerne* ved *Thyborøn*, og der dannedes den nuværende *Thyborøn Kanal*. Som ved alle tidligere Gennembrud rykkede Kystlinien i Begyndelsen særlig hurtigt tilbage i Kanalens Nærhed. Efterhaanden bredte Virkningen af Kanaldannelsen sig ud til de omkringliggende Kyststrækninger, og Kystlinien udformedes som en Tragt.

Om *Materialvandringen* paa den ubrudte Tange ved man intet bestemt; men det ser ud til, at Kysttilbagerykningen ved *Lodbjærg* har været ret upaavirket af Kanalens Eksistens indtil de senere Aar, mens Tilbagerykningen ved *Bovbjærg* synes at have tiltaget noget efter Kanaldannelsen. Heraf kan man formentlig slutte, at *Bovbjærg*-Omraadet er blevet berøvet en vis Tilførsel af Materiale paa Grund af Kanaldannelsen, og dette betyder atter, at *Materialvandringsnulpunktet* for den ubrudte Tange har ligget længere mod Nord end det *Nulpunkt*, der nu findes 6—10 km Syd for Kanalen. Denne Antagelse bestyrkes af Landskabsudformningen i Omraadet Syd for *Søndre Tange*, hvor der inden for en smal Bræmme af Klitter langs Havet fin-

des et langstrakt og lavtliggende Omraade med Enge og Søer, der strækker sig fra *Limfjorden (Nissum Bredning)* til *Ferring* Nord for *Boobjærg*. Dette Omraade er sandsynligvis Resterne af en tidligere Kanal mellem *Limfjorden* og *Nordsøen*. Dens Udlob har vendt mod Syd, og dermed er sandsynliggjort, at *Materialvandringen* paa Kysten udenfor overvejende har været sydgaaende.

Ved Gennembruddet dannedes der 2 *Materialvandringssulpunkter*, et Nord for — dog maaske identisk med den ubrudte Kysts *Nulpunkt* — og et Syd for Kanalen, og fra Kysten mellem disse 2 *Nulpunkter* førtes (og føres) Materialet af Bølger og Strøm henimod Kanalen. Fra Kysten uden for *Nulpunkterne* vandrer Materialet derimod bort fra Kanalen henholdsvis mod Nord (mod *Skagen*) og mod Syd (mod *Horns Rev* og *Graadyb*).

Thyborøn Kanal vilde sandsynligvis ligesom alle tidligere Kanaler have lukket sig, hvis ikke den danske Stat paa Grund af erhvervsmæssige Interesser, Fiskeri og Søfart, der efterhaanden knyttedes til Kanalen, besluttede at stabilisere Kyst og Kanal ved Dige- og Høfdebygning. I Løbet af Perioden 1875—1910 udførtes derfor betydelige Dige- og Høfdeanlæg først paa *Søndre* og derefter paa *Nordre Tange*. I 1915 paabegyndtes Anlæg af en Fiskerihavn ved *Thyborøn*. Kanalen stabiliseredes ligeledes ved Bygning af Høfder og Parallelværker, og først i Tyverne fuldførtes Anlægget af den ca. 900 m lange „*Havmole*“ paa Sydspidsen af *Nordre Tange*.

Vandbygningsvæsenet fulgte altimens Udviklingen ved omfattende Dybdemaalinger, Pejlinger, i Havomraadet uden for Tangerne og i de tilgrænsende Omraader, i selve Kanalen og i Fjorden indenfor paa Fjordgrundene. Dybdemaalingerne i Havet viste, at Erosionen af *Landgrunden* fortsatte. Det, man har opnaaet ved Høfdebyggeriet, synes at være, at man — i hvert Tilfælde for en Tid — har hæmmet Nedbrydningen indenfor Høfderne; derimod har Høfderne øjensynlig ikke paavirket Erosionen af Havbunden uden for Høfderne — maaske med Undtagelse af Bunden i deres umiddelbare Nærhed.

Opmaalinger af Fjordgrundsomraadet, hvorpaa det ind gennem Kanalen førte Sand aflejredes (de finere Lerpartikler fra Klægen bundfældes antagelig længere inde i Fjorden), gav samtidig Oplysninger om disse Grundes fortsatte Vækst. I de senere Aar er der som tidligere nævnt aflejret ca. 1 Mill. m³ Sand paa Fjordgrundene aarlig. Kanalen dannede flere idelig varierende og i besejlingsmæssig Henseende vanskelige Løb

over Fjordgrunds-Deltaet. Dens Mindstetværsnit er efterhaanden tiltaget og er i Øjeblikket ca. 4500 m².

Da de trufne Foranstaltninger til Stabilisering af Tangerne og Kanalen øjensynlig ikke i Længden vilde være tilstrækkelige og ud fra Ønsket om at bevare den vigtige Fiskerihavn *Thyborøn* længst muligt, er der nu i Henhold til Lov af 14. August 1946 vedtaget at søge Udviklingen bragt under Kontrol ved nye og meget omfattende Kystsikringsforanstaltninger m. v. For at holde Sandet *paa Kysten* og *borte* fra Kanalen bygges der to store *Moler*, en *paa* hver Side af Kanalen, i Forlængelse af de allerede eksisterende kortere *Moler*. Sikkerhed imod et muligt Gennembrud af Tangerne opnaas ved Anlæg af et meget solidt *Dige* et Par km fra Kysten. Vandstandsforholdene i Fjorden bringes under Kontrol, og Kanalen stabiliseres samtidig, ved at man fører omtalte *Dige* over Kanalen som en *Spærredæmning* med indbyggede *Sluser*. Ang. dette Kæmpeprojekt — Udgiften er anslaaet til ca. 92 Mill. Kr. — henvises til Artiklen i *Ingeniøren* Nr. 16, 1946, eller i *Shore and Beach*, number one, April 1946, (*Sv. Svendsen*).

I det følgende er der gjort et Forsøg *paa* at forklare *Nordre Tange's* Udvikling ved Hjælp af *Massekurver*. Beregningerne af de nedbrudte Mængder er udført *paa* Grundlag af *Vandbygningsvæsenets Pejlpplaner* (stillet til Raadighed af Vandbygningsdirektør *E. Hertz*).

Massekurverne er optegnet for en Kyststrækning *paa* ca. 9,43 km regnet fra Punkt 1 til Punkt 16 (se Fig. 22). Ialt er der her 16 pejlede Tværsnit eller 15 Omraader, hvor det har været muligt at beregne den bortskaarne Mængde. De undersøgte Bunderomraader er opad begrænset af 0m-Niveauplanet, nedad af ÷ 6 m-Niveauplanet eller af ÷ 9 m-Niveauplanet. Nyere Opmaalinger viser, at Bortskæring af Havbunden finder Sted helt ude *paa* Dybder imellem 16 og 20 m; men periodiske Opmaalinger ud over Dybder *paa* 9—10 m er først *paabegyndt* i de senere Aar, og man kender derfor kun lidt til Udviklingen *paa* de større Dybder. Det nedenforstaaende siger derfor intet om Forholdene udenfor 9 m-Dybdekurven, hvor Bunden, som allerede nævnt, maaske lige med Undtagelse af det nordligste Omraade, bestaar af fjordaflejret Ler. Det er dog udenfor al Tvivl, at Bortskæringen *paa* de større Dybder og maaske i stigende Grad *paavirker* Udviklingen *paa* de mindre Dybder langs Land ved at give Aarsag til en vis tværgaaende Materialbevægelse indefra og udefter. Denne Tværtransport af

Materiallet synes især i de senere Aar (Pejlingerne i 1934, 1936 og 1938), at være kendelig i Kysttværprofilernes Udvikling, medens Tangens *Planform* ikke synes paavirket deraf, se senere.

De undersøgte Bundomraader har største Bredde mod Syd. Paa Grund af Kystens voksende Stejlhed er denne Bredde efterhaanden aftaget. Til Eksempel nævnes, at 0 til ± 6 m-Omraadets Udstrækning ved Tværsnit 1 i 1874 var ca. 420 m, i 1934 ca. 400 m; ved Tværsnit 16 var Bredden i 1874 ca. 650 m, i 1934 ca. 350 m. 0 til ± 9 m-Omraadets Udstrækning ved Tværsnit 1

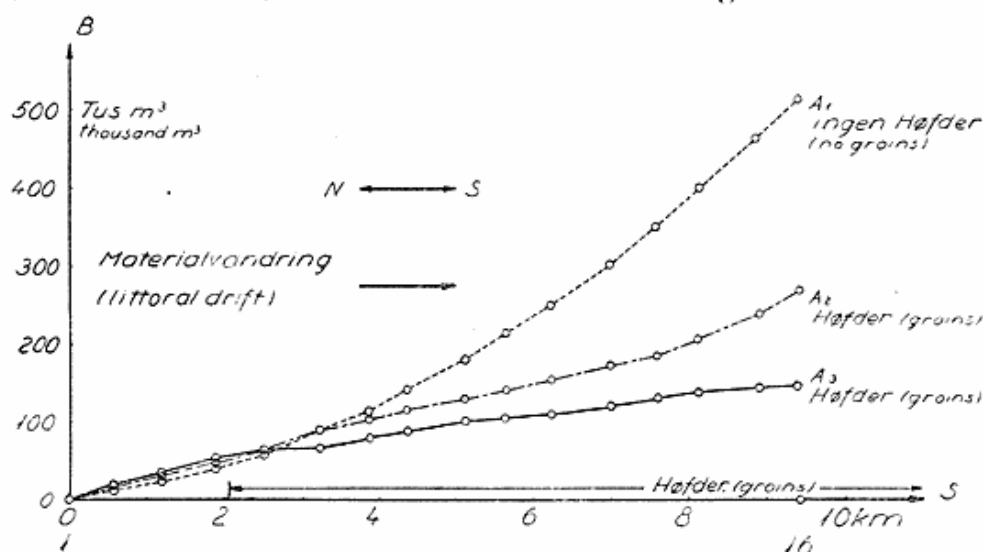


Fig. 23. Abscisse er den rektificerede Kystlinie regnet ud fra Materialvandringsskystens nulpunkt 0 (0,0).

Ordinat er den bortskaaede Mængde.

A_1 er *Massekurven* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem 0 og ± 6 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1874—1903.

A_2 er *Massekurven* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem 0 og ± 6 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1903—1921.

A_3 er *Massekurven* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem 0 og ± 6 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1921—1938.

Abscisse is the length of the coast. (0,0) is the Z-point. Ordinate is the quantity yearly eroded. A_1 is the M-curve for the quantity yearly eroded between the 0 and ± 6 m-levels during the periode 1874—1903. A_2 is the M-curve for the quantity yearly eroded between the 0 and ± 6 m-levels during the periode 1903—1921. A_3 is the M-curve for the quantity yearly eroded between the 0 and ± 6 m-levels during the the periode 1921—1938.

var i 1903 ca. 670 m, i 1934 ca. 550 m; ved Tværsnit 16 var Bredden i 1903 ca. 1250 m, i 1934 ca. 850 m. Paa det stejleste Sted paa Kysten — lidt Nord for *Agger*, eller 2—3 km Syd for Punkt 1 — er 0 til ± 9 m-Omraadets Bredde i Perioden 1903—1934 aftaget fra ca. 600 m til ca. 450 m.

Figureerne 23 og 24 viser *Massekurverne*. Abscisse er den rektificerede Kystlinie imellem Punkterne 1 og 16 regnet ud fra Punkt 1, Ordinat er den gennemsnitlig bortskaaede Mængde pr.

Aar i de angivne Tidsrum regnet fra Tværsnit 1, hvor *Materialvandringsnulpunktet* til Stadighed er forudsat beliggende. Dette er næppe helt rigtigt. Saafremt *Materialvandringsnulpunktet* inden Tangegennembruddet har ligget længere mod Syd end ved Punkt 1 (f. Eks. ved Agger), er der, som det vil fremgaa af nedenforstaaende Beskrivelse af *Massekurverne*, Grundlag for den Antagelse, at *Materialvandringsnulpunktet* ved den stedfundne Udvikling langsomt har forskudt sig mod Nord; jeg har

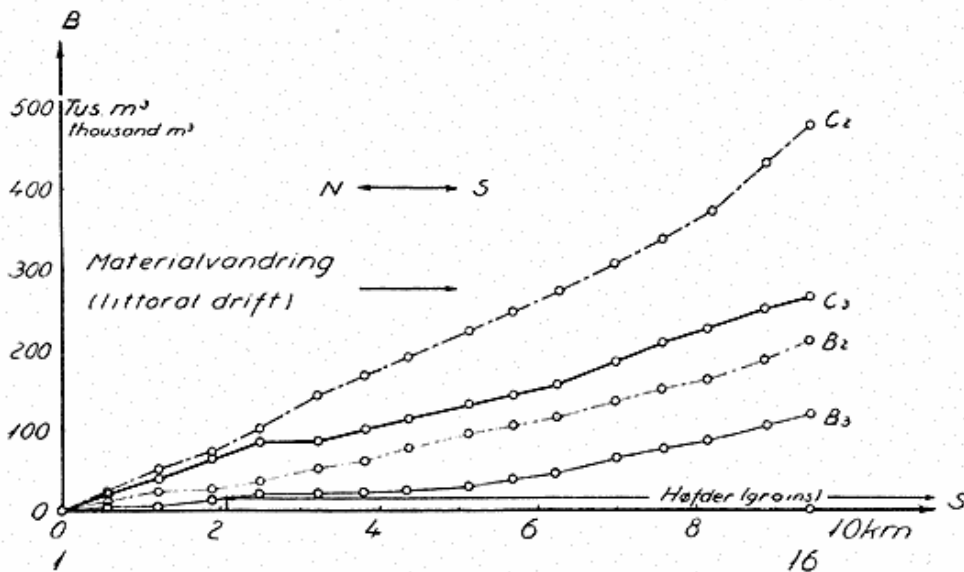


Fig. 24. Abscisse er den rektificerede Kystlinie regnet ud fra *Materialvandringsnulpunktet* 0 (0,0).

Ordinat er den bortskaaede Mængde.

B_2 er *Massekurven* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem ± 6 og ± 9 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1903—1921.

B_3 er *Massekurven* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem ± 6 og ± 9 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1921—1938.

C_2 er *Massekurven* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem 0 og ± 9 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1903—1921.

C_3 er *Massekurven* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem 0 og ± 9 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1921—1938.

Abcisse is the length of the coast. (0,0) is the Z-point. Ordinate is the quantity yearly eroded. B_2 is the M-curve for the quantity yearly eroded between the ± 6 and ± 9 m-levels during the periode 1903—1921. B_3 is the M-curve for the quantity yearly eroded between the ± 6 and ± 9 m-levels during the periode 1921—1938. C_2 is the M-curve for the quantity yearly eroded between the 0 and ± 9 m-levels during the periode 1903—1921. C_3 is the M-curve for the quantity yearly eroded between the 0 and ± 9 m-levels during the periode 1921—1938.

tillige konstateret, at Kysten i *Lodbjærg*-Omraadet langsomt har drejet sig mod Uret, d.v.s. ind mod Kanalen, hvilket kan bestyrke Antagelsen ovenfor. Herved kan der muligvis blive Tale om en Parallelforskydning af *Massekurverne* op eller ned, men ikke om en Ændring af disses Form. For den Kyststrækning, der svarer til den Del af *Massekurverne*, som ved Forskydnin-

gen maatte komme under s-Aksen, foregaar *Materialvandringen* naturligvis i modsat Retning.

Fig. 23 viser *Massekurverne* for den gennemsnitlige aarlige Nedbrydning imellem 0 m- og \div 6 m-Niveauplanerne i Tidsrummet 1874—1903, den punkterede Kurve A_1 , 1903—1921, den stiplede Kurve A_2 , og 1921—1938, den fuldt optrukne Kurve A_3 . Naar 1903 er valgt som Skillepunkt for to Tidsintervaller, skyldes det, at det var omkring dette Tidspunkt, at Høfdebygningen paa *Nordre Tange* blev udført. Siden Høfdebygningen er Dybden ved Høfdernes Yderender iøvrigt tiltaget fra 3—4 m til 5—6 m.

Paa Fig. 24 er *Massekurverne* for 0 til \div 6 m-Omraadene A_2 (1903—1921) og A_3 (1921—1938) tillagt *Massekurve-Ordinaterne* fra \div 6 til \div 9-Omraadet for de samme Perioder i Form af *Massekurverne* B_2 (1903—1921, stiplet med tynd Linie) og B_3 (1921—1938, fuldt optrukket med tynd Linie). \div 6 til \div 9-Omraadet maa som nævnt for en væsentlig Dels Vedkommende anses for bestaaende af Ler. Herved er opnaaet *Massekurverne* C_2 1903—1921, stiplet med svær Linie) og C_3 (1921—1938, fuldt optrukket med svær Linie) for Omraadet imellem 0 m- og \div 9 m-Niveauplanerne.

Kurven A_1 paa Fig. 23 viser, at Tangens *Form* er *umoden*. $\frac{d^2B}{ds^2}$ eller Tilvæksten i Tangenthældning $\frac{dB}{ds}$ er > 0 , d.v.s., at Konkaviteten stedse vender nedad. Dette skyldes den stærkere Nedbrydning i Kanalens Nærhed, som direkte eller indirekte maa tilskrives Kanalstrømmen. Kurven A_2 tyder stadig paa *Instabilitet i Formen*. Nedbrydningen er størst i Nærheden af Kanalen og noget nordligere end Midten. A_3 viser i Hovedsagen *Formstabilitet* med Undtagelse af den nordligste Strækning, hvortil det kraftigste Angreb nu synes at have forskudt sig. Den ganske svage Nedbøjning af A_3 's øverste Ende kan muligvis tilskrives Virkningen af den først i Tyverne byggede *Havmole* paa Sydspidsen af *Nordre Tange*. To pejlede Tværsnit nærmest denne *Mole* er iøvrigt udeladt i denne Undersøgelse netop for at undgaa *Molens* Virkning.

Paa Fig. 24 viser *Massekurven* C_2 ligesom A_2 stærkest Nedbrydning i Kanalens Nærhed og noget nordligere end Midten. C_3 viser ligesom A_3 en vis *Formstabilitet* med Undtagelse af den nordligste Del. B_2 viser stærk Lighed med C_2 , medens B_3 lidt nordligere end Midten er omtrent parallel med s-Aksen, hvilket antagelig skyldes, at \div 6 til \div 9 m-Omraadet har faaet tilført Materiale indefra 0 til \div 6 m-Omraadet og fra Omraadet

derover, d.v.s. fra *Strandbredden*. Denne tværgaaende Materialbevægelse, der kan eftervises paa anden Maade, er formentlig en Funktion af Kystens tiltagende Stejlhed, idet det omtalte med s-Aksen omtrent parallelle Stykke af B_3 netop findes, hvor Kysten er stejlest. Sammenlignet med Dybdemaalingen i 1931 viser den sidste Dybdemaaling, der er foretaget i 1938 (herafter har det ikke været muligt at maale i Havet p. G. af Minefare) saaledes aftagende Stejlhed i Tværsnittene mellem 0 og 9 m-Kurven, hvilket skyldes Tilsandinger paa $\div 6$ til $\div 9$ m-Omraadet, medens Bortskæringen paa 0 til $\div 6$ m-Omraadet er fortsat og tilsyneladende intensiveret. Forholdet er herefter i store Træk det, at den aarligt bortskaarne Mængde indtil 1927—1931 er aftaget indenfor de enkelte Dybdeomraader (Fig. 23 og 24). Samtidig er de enkelte Dybdeomraaders Fladeareal som Følge af Kystens Forstejling ogsaa aftaget. Mere indgaaende Undersøgelser, som ikke skal omtales her, viser dernæst, at Erosionen pr. Fladeenhed af Havbunden (nogle faa cm om Aaret) ikke er aftaget, i hvert Tilfælde hidtil ikke med nogen tydelig Tendens. Middeldybden i Omraadet 0 til $\div 9$ m har holdt sig praktisk talt konstant op igennem Aarene.

Til det ovenforstaaende bemærkes, at den bortskaarne Mængde over 0-m-Niveauplanet ikke indgaar i *Massekurverne*, da der ingen periodiske Opmaalinger — Nivellementer — foreligger af selve *Stranden*. Imidlertid maa denne Mængde paa Grund af Kystliniens relativt langsomme Tilbagerykning, gennemsnitlig ca. 3 m om Aaret, være forholdsvis mindre betydelig. Iøvrigt kan den med rimelig Grund sættes ligefrem proportional med Kysttilbagerykningen, og tegner man „Massekurver“ for denne, faar man Kurver, der er meget nært beslægtede med de ovenfor beskrevne *Massekurver* A_1 , A_2 og A_3 , d.v.s., at Ordinaterne til disse Kurver, naar den bortskaarne Mængde over 0-Niveauplanet medtages, blot skal multipliceres med en Konstant > 1 . Paa Fig. 25 er den punkterede Kurve K „Massekurven“ for Kysttilbagerykningen i Tidsrummet 1921—1938, idet den samlede Tilbagerykning af Kystlinien i hvert af de pejlede Tværsnit er opfattet som en Mængde, der er bortskaaet af *Stranden* paa Strækningen mellem det paagældende Tværsnit og det umiddelbart Syd herfor liggende Tværsnit. Afstanden mellem de pejlede Tværsnit er regnet ens, hvilket tilnærmelsesvis er rigtigt. En Korrektion, hvorved der indføres en konstant Afstand, ændrer ikke nævneværdigt ved Kurven.

Paa Fig. 25 findes endnu en Kurve V. Denne Kurves Abscis-

ser er stadig den rektificerede Kystlinie imellem Punkt 1 og Punkt 16. Ordinator er *Sinus v*, se Fig. 4. Den til Bestemmelse af Vinklerne *v* benyttede *Paavirkningsretning* er Retningen for *Munch-Petersens materialførende Kraft* — Vest ca. 19° Nord. Vinklerne er maalt paa et Kort tegnet efter Opmaaling i 1930. Det bemærkes, at det er ligegyldigt for Kurvens Form, om *v* er et Par Grader større eller mindre. Kurven bliver stadig, naar bortses fra det nordligste Stykke, en omtrent ret Linie. Den er ligesom *Massekurverne* A₃ og C₃ stejlest mod Nord, hvilket gi-

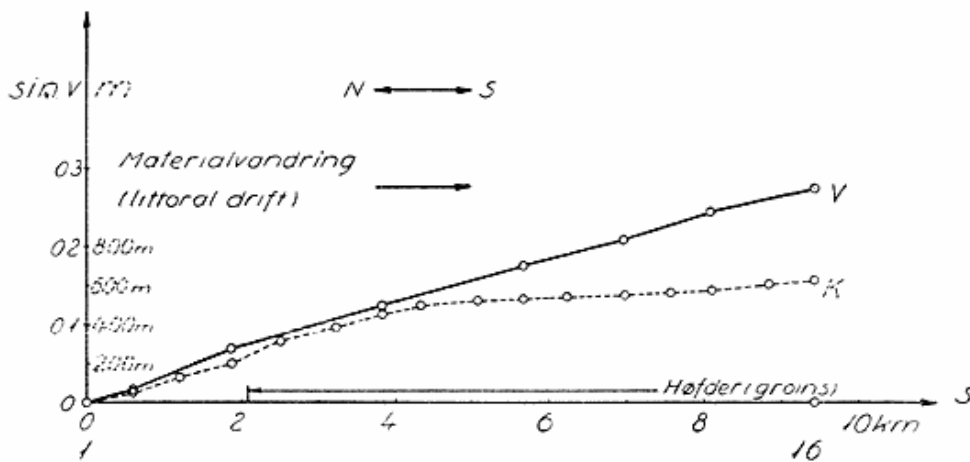


Fig. 25. Abscisse er den rektificerede Kystlinie regnet ud fra *Materialvandringss-*
nulpunktet 0 (0,0).

Den punkterede Kurve K er „*Massekurven*“ for Kysttilbagerykningen (Ordinator) imellem Punkt 1 og Punkt 16 i Tidsrummet 1921—1938.

Den fuldt optrukne Kurve V angiver *Sinus v* (Ordinator) i forskellige Punkter af Kysten, se Fig. 4.

Abcisse is the length of the coast, (0,0) is the Z-point. The curve K is an 'M-curve' for the coast's retiring landwards, periode 1921—1938, summed up in the same manner as by the M-curves (ordinates). In the curve V is shown *Sinus v*, fig. 4, at different points of the coast.

ver en Forklaring paa, at Nedbrydningen, især i de senere Aar, er kraftigst her. Kystens Krumning synes at være for stærk, og Kysten indgaar ikke i nogen naturlig *Ligevægtsform* i Forbindelse med den øvrige Tangekyst. Af Fig. 22 ses umiddelbart, at Kystens Krumningsradius er mindst her.

Det ser saaledes ud til, at *Nordre Tange* paa en Strækning af ca. 7 km regnet fra Punkt 16 og mod Nord nu har naaet en vis af *Bølgepaavirkningen* bestemt *Ligevægtsform*, hvori den nordfor beliggende Kyststrækning foreløbig ikke indgaar, men tilsyneladende er paa Vej ind i, hvilket er heldigt for Tangekystens Bestaaen. *Kanalens* Virkning synes kun at være *sekundær*; den fjerner det Materiale, som Bølgerne fører hen foran Kanalmundingen. Den Omstændighed, at Kysten er opbygget af

2 forskellige Slags Materialer, Sand ned til Kote ca. \div 6 m og Ler fra Kote ca. \div 6 m og nedefter, synes efter det foreliggende at dømme ikke at ville ændre Billedet af en vis *Stabilitet i Planformen*, der ogsaa synligt for Øjet viser sig i en ensartet Kysttilbagerykning paa selve Tangen, se Fig. 25.

Uden at komme nærmere ind paa Spørgsmaalet, vil jeg blot til Slut nævne, at Forholdene paa *Søndre Tange* er tilsvarende, idet denne dog virker noget „ældre“ i sin Udvikling. Nærmest Kanalen, hvor Kysten drejer ret kraftigt, synes Kanalstrømmen at gøre sig gældende. Kystens Stejlhed mellem 0 og 9 m-Kurven er i Almindelighed ikke tiltaget meget paa *Søndre Tange* de sidste 40 Aar.

For saavel *Nordre* som *Søndre Tange* gælder det, at *Tværprofilerne* synes at vært noget ustabile.

Virkningen af Kystbeskyttelsesværker paa en under Nedbrydning værende Kyst med Ligevægtsform.

For *Planlæggelse af Kystbeskyttelsesforanstaltninger* er det af største Betydning at vide, om den Kyst, der skal beskyttes, har antaget en eller anden *Ligevægtsform*. Dette kan maaske undersøges ved *Kortstudier*; men i Almindelighed vil det foreliggende Kortmateriale være utilstrækkeligt, eller ved *periodiske Dybdemaalinger*, hvilken Undersøgellesmetode ofte vil være baade dyr og langvarig. Dog kan der i denne Henseende drages visse Slutninger af *Kysttværprofilernes Form*.

Man bør nemlig altid søge at tilpasse Kystbeskyttelsesforanstaltningerne efter Kystens *naturlige Udviklingsmuligheder*. Findes der f. Eks. et Sted paa Kysten et Omraade, der ligger uden for den *naturlige Ligevægtsform*, og af denne Grund maaske er udsat for et stærkere Slid af de *materialførende Havkræfter* end de omgivende Partier, saa er der al mulig Grund til ligesaa godt først som sidst at indrette sig paa, at Kystbeskyttelsesværket her skal ligge mere tilbagetrukket (*Parallelværker*, herunder *Diger*), eller have kraftigere Fodfæste paa Land, d.v.s., at *Høfderne* skal bygges længere ind i Landet end ellers; til Gengæld kan man maaske afkorte paa Længden udefter i Havet.

Almindeligt kan man sige, at det ved Hjælp af et Kystbeskyttelsesværk *ikke* er muligt ganske at *vende en Udvikling* — højst kan dette finde Sted i et kortere Tidsrum. Derimod kan man hjælpe og evt. fremskynde Naturens egen Tendens til at skabe mere *stabile Former*. Det vil som Regel altid være billigere og

bedre at søge at følge *Naturen Udvikling* end at prøve paa at sætte sig op imod den.

Den nedenforstaaende kortfattede *teoretiske* Behandling af *Kystbeskyttelsesværkers* Virkning paa Kyster med *Ligevægtsform* henholder sig udelukkende til de omtalte 4 *Tilfælde*, 1a og 2a med *tvungen Ligevægtsform*, 1b og 2b med *fri Ligevægtsform*, da de kombinerede Tilfældes Mangfoldighed er stor. De omtalte Kyststrækninger regnes i Almindelighed bestaaende af Sand og Grus.

Kystbeskyttelsesværkerne kan være *Parallelværker* (*Spunsvægge, Glacis'er, Diger* m. v.) eller *Værker*, der løber vinkelret eller skraat ud fra Kystlinien (*Høfder, Moler*).

Tilfældene 1 a og 2 a.

Kyststrækninger af denne Art kan ikke nedbrydes, naar de udelukkende er opbygget af Sand og Grus. Bestaar de helt eller delvis af Ler, vil de kunne nedbrydes, og den eneste Maade, hvorpaa man kan forhindre Leret i at forsvinde ud af *Materialvandringssomraadet*, er ved Bygning af et *Parallelværk* langs hele Kysten, som er i Stand til at forhindre Leret i at blive skyllet ud, d.v.s., at *Parallelværket* maa udformes som en tæt *Spunsvæg* og føres ned til (eller af Hensyn til Stabiliteten ned under) den Dybde, hvortil Angrebet paa Bunden finder Sted. Paa denne Maade kan man, men maaske først efter uhyre Bekostninger, fremstille en modstandsdygtig *kunstig* Kystlinie.

Høfdebygning paa en saadan Kyst vil antagelig kun have ringe eller ingen Indflydelse, da *Høfderne* sikkert ikke vil kunne forhindre eller blot hæmme Opslæmningen af Leret og den tværgaaende Bevægelse af det opslæmmede Materiale.

Tilfælde 2 a med *begrænset* Udstrækning af Kystlinien er behandlet nedenfor i Tilslutning til Omtalen af *Tilfælde 2b*.

Tilfælde 1 b.

1. *Parallelværker.*

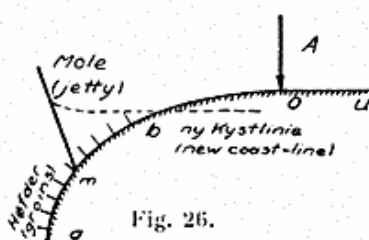
Et *Parallelværk* langs hele Kysten vil danne den nye Kystlinie og for saa vidt standse Kystens Tilbagerykning; men *Parallelværket* vil ikke kunne paavirke Bortskæringen paa *Landgrunden*. Man kan i hvert Tilfælde vanskeligt tænke sig, at et *Parallelværks* Virkeomraade skulde strække sig ret langt ud i Havet. Er *Parallelværket* derfor ikke ført ned under den Dybde, hvor Materialet paavirkes af *Havkræfterne*, maa det en skønne Dag rykkes tilbage, ellers falder det ned. Er *Parallel-*

værkets Længde begrænset — bestaar det som f. Eks. ved *Klitmøller* af et Skibsvrag — vil det paa det Sted, hvor det er bygget, en Tid kunne skabe et fremragende Parti af Kysten. Dette Parti vil dog blive mere og mere instabilt ved den omkringliggende Kysts almindelige Tilbagerykning. Tilsidst vil Forbindelsen imellem *Parallelværket* og den øvrige Kyst brydes — dette skete ved *Klitmøller* — og *Parallelværket* vil, hvis det da ellers kan holde dertil, komme til at ligge frit i Havet med et Strømløb mellem sig og Kysten.

Hvis der ikke sker Bortskæring af Kystens *Landgrund*, eller der her er Ligevægt imellem Tilførsel og Fjernelse af Materiale, medens Kysten over Vandfladeniveauet (Kystklinten) under Storm og Højvande nedbrydes (vaskes ud) af Bølgerne, der trækker Materiale ud paa dybere Vand, kan Kysten beskyttes af *Parallelværker* af forskellig Art og Konstruktion som *Spunsvægge* af Træ eller Jernbeton, *Glacis'er* af Natursten eller Beton, eller *Mure* af Grovbeton, som det er anvendt flere Steder i Udlandet, ikke mindst i *England*. Det er dog en Forudsætning, at *Landgrundens* Stabilitet ikke er betinget i Tilførsel af Nedbrydningsmaterialer inde fra Kysten. Det maa tillige nævnes, at *Parallelværker* (*Spunsvægge*, *Glacis'er*, *Mure*) ofte har den uheldige Virkning, at de bevirker en Sænkning af de foran beliggende Partier af *Strandbredden* eller *Landgrunden*. De bør derfor i Almindelighed beskyttes ved Udlægning af et Bundsikringslag, saaledes at Udskaering af Bunden som Følge af Bølgers og Strøms Virke undgaas.

Diger anvendes til Beskyttelse af lavere Arealer mod Gennembrud af Havet med deraf følgende Oversvømmelser. De egner sig især til det vigende Forsvar, idet deres Modstandsdygtighed imod direkte Angreb af Havet ikke er stor. Ofte kombineres *Digebygning* dog med Bygning af et *Glacis*, ved at den mod Havet vendende Digeskraaning beklædes med et mere modstandsdygtigt Materiale som Natursten eller Beton i mange konstruktive Variationer, jfr. de *hollandske Diger*.

2. Høfder (Moler).



Hvis man bygger *Høfder* i hele *Ligevægtsformens* Udstrækning — fra a til o paa Fig. 26 — vil dette betyde, at *Materialvandringen* hæmmes i et Omfang, der er afhængigt af, hvor langt *Høfderne* bygges ud og af *Høfdernes* Højde. Udenfor *Høfderne* fortsætter

Bortskæringen i sædvanligt Omfang, maaske med Undtagelse af det nærmeste Omraade lige uden for *Høfderne*, hvor noget af det Materiale, der tidligere vandrede længere inde, nu tvinges ud; denne Tværtransport af Materialet virker dog ogsaa forsinkende paa Kystnedbrydningen.

Ved den ovenfor omtalte Udvikling bliver Kysten efterhaanden stejlere, fordi det kun er Nedbrydningen i selve Kystlinie-Omraadet, der hæmmes. Man kunde vel ogsaa vanskeligt tænke sig, at Kysten paa Grund af *Høfdebygningen* skulde give sig til at vokse uden for *Høfderne*. Den forhaandenværende *Ligevægtsform uden Høfder* synes saaledes ogsaa at være en *Ligevægtsform med Høfder*. Ved at bygge *Høfder* over hele *Ligevægtsformen* har man altsaa opnaaet at svække Nedbrydningen i et vist Omraade langs Land; men er *Høfdernes* Længde ringe i Forhold til Afstanden fra Kystlinien og ud til den Dybde, hvortil Bortskæring finder Sted, vil det forstaas, at det, man opnaar, er at gøre Kysten stejl, idet Bortskæringen af *Landgrunden* vil fortsætte, jfr. *Eks. II*. For at raade Bod herpaa, kan der enten tilføres Kysten Materiale til Erstatning for det, der forsvinder, eller ogsaa maa Bunden beskyttes mod fortsat Bortskæring ved Udlægning af et ikke eroderbart Beskyttelseslag, hvilket i Almindelighed ikke vil være økonomisk overkommeligt. Det kan imidlertid ogsaa tænkes — og det er sandsynligvis praktisk Tilfældet ved mange af vore Morænekyster — at Bunden efterhaanden beskytter sig selv, idet det mere erosionsbestandige Materiale eller det Materiale, der vanskeligere vandrer bort eller opskæmmes, lidt efter lidt ophobes paa den under Bortskæring værende Bund og derved beskytter denne. En Udvidelse af *Ligevægtsformen* vil ogsaa kunne nedsætte Nedbrydningshastigheden. Derimod kan man, hvad amerikanske Undersøgelser (Beach Erosion Board) synes at vise, i Almindelighed ikke regne med, at der vil kunne tilføres Materiale fra Havbunden uden for *Landgrunden* til Stabilisering af *Landgrund* og *Strand*.

Er det ikke muligt ad kunstig eller naturlig Vej at faa Bortskæringen af Havbunden uden for *Høfderne* hæmmet eller standset, er Udviklingen betænkelig. Der er dog ingen Grund til at tro, at *Materialvandringen* langs Kysten skal tiltage kvantitativt, fordi Kysten bliver stejl — tværtimod. Derimod kan der næppe være Tvivl om, at en *Stejlkyst* i Almindelighed er *mindre stabil* end en *Fladkyst* og paa denne Maade farligere for det bagved liggende Land.

Nøjes man med at bygge *Høfder* paa den yderste Del af *Lige-*

vægtsformen — imellem a og b paa Fig. 26 — vil Nedbrydningen mellem a og b i Begyndelsen være mindre end Nedbrydningen mellem b og o. Kystlinien rykker eventuelt ud til i Nærheden af *Høfdernes* Yderende mellem a og b, idet Materialet her staves op og tvinges til at foretage en tværgaaende og forsinkende Bevægelse, hvis Betydning man maaske er tilbøjelig til at undervurdere.

Mellem b og o og udover o mod u fortsætter Tilbagerykningen, men med aftagende Hastighed, efterhaanden som nævnte Strækning nedbrydes og nærmer sig til en Retning vinkelret paa *Paavirkningsretningen*. Tilførselen af Materiale fra Strækning b-o-u til det med *Høfder* forsynede Omraade a-b formindskes saantidig hermed lidt efter lidt, saaledes at Tilbagerykningen af a-b efter en vis Tid sandsynligvis atter vokser. Vil man derfor fastholde dette Omraade eller dog udsætte dets Nedbrydning længst muligt, bliver man før eller senere nødt til at bygge en *Mole* ved a eller et Sted mellem a og b, f. Eks. ved m, Fig. 26, hvis det særlig er Strækningen m-b, man ønsker stabiliseret.

I Praksis er det ikke sikkert, at man vil kunne nøjes med at bygge *Høfder* paa en kortere Strækning af *Ligevægtsformen* som ovenfor beskrevet, idet økonomiske Interesser m. v., der knytter sig til Omraadet b-o-u, kan bevirke, at man i længst mulig Tid ønsker at fastholde Kysten her og derfor ikke kan tillade, at Strækningen ikke beskyttes, for at Kysten skal dreje hen i den gunstigere Retning vinkelret paa *Paavirkningsretningen*.

Hvis man bygger en *Mole* ved Punkt m paa Kyststrækningen a-o (Fig. 26), der iøvrigt ikke tænkes udstyret med *Høfder*, vil der i Trekanten mellem *Molen* og Land i *Molens* Luvside (*Ankomstsiden for Materialet*) samles Materiale. Bygges *Molen* et Stykke uden for den Dybde, hvor Materiale — der regnes med at Kysten er en Sandkyst — fjernes eller bevæger sig under Indflydelse af de *materialførende Havkræfter*, og gøres den saa høj, at Søen med dens Indhold af Materiale ikke kan slaa over den, vil Kysten ved Aflejringer i *Molens* Luvside efterhaanden rette sig mere og mere ud. Materialet til Udfyldning af Trekanten imellem *Molen* og Kysten nedbrydes paa Strækningen b-o-u. Under denne Udvikling er det muligt, at *Molen* maa forlænges, da det vandrende Materiale paa Grund af Udrykningen i *Molens* Luvside ellers igen i betragtelig Mængde paany vil kunne passere uden om denne. Det er ikke nødvendigt, at *Molen* straks udbygges i den Længde, som man regner med skal være den endelige; men *Molen* skal til enhver Tid være ført et passende

Stykke længere ud end Tilsandingen i dens Luvside. Over dette Problem kan der ved Hjælp af *Massekurve*-Ordinaten i Punkt m m. v. anstilles Betragtninger af praktisk Værdi.

Til sidst vil Kysten have drejet sig saa meget, at dens Retning er blevet vinkelret paa *Paavirkningsretningen*, d.v.s., at Kysten er blevet et *Materialvandringssnulpunktsomraade*, der ikke *teoretisk* kan afgive Materiale, hvorved Kyststrækningen er beskyttet. I Praksis, hvor *Paavirkningen A* næsten altid er sammensat af flere Vektorer, vil man med en „tilstrækkelig lang“ *Mole*, d.v.s. en *Mole*, der er „lidt længere“ end den ovenfor omtalte, alt efter *A*'s vektorielle Sammensætning (Kystlinien vil nemlig i dette Tilfælde indstille sig efter en krum Kurve i *Molens* Luvside — se Fig. 26) opnaa, at Materialet tilsidst kun afgives i Retningen $o-u$, hvorefter den til et Minimum nedsatte Kysttilbagerykning imellem m og o vil følge Tilbagerykningen imellem o og u .

Saa fremt man ikke bygger *Molen* „lang nok“, vil Materialet, naar det trekantede Omraade i *Molens* Luvside er helt eller delvis udfyldt, igen passere forbi *Molen*; men efterhaanden som Kyststrækningen $b-o-u$ rykker tilbage i aftagende Mængde, indtil *Molen* tilsidst af sig selv bliver „lang nok“. Af det ovenforstaaende vil det fremgaa, at *Molens* Retning af kystsikringsmæssige Grunde, saa vidt det er muligt, skal være parallel med *Paavirkningsretningen* (eller den *materialeførende Kraft*).

Saa teoretisk som ovenfor kan man vel sjældent i Praksis bedømme Udviklingen. Ofte vil Strømme, herunder Idvande, ogsaa øve bestemmende Indflydelse paa Udviklingen, og der vil kunne ske en Afgang af Materiale langs *Molens* Yderside og udenom denne som Følge af Opstuvning med tilhørende Strøm, der skyldes Vinde fra Luvsiden. Dette Materiale vil ofte aflejres i Form af Puller paa Læsiden af *Molens* Yderende. Med Hensyn til Valget af *Moleretning* vil andre praktiske Hensyn kunne spille en Rolle. Er det f. Eks. en Lagune, hvis *Havkanal* og *Tanger* skal stabiliseres, vil Ønsket om Fremskaffelse af en god Skyllestrøm, der kan holde Løbet imellem *Molerne* fri for Tilsanding, kunne øve Indflydelse. I andre Tilfælde kan det være Ønsket om Tilvejebringelse af et roligt Bassin inden for *Molerne*, som skal tilfredsstilles.

Tilfælde 2 b.

1. Parallelværker.

Hvad der er sagt om *Parallelværker* vedrørende *Tilfældet 1 b*, gælder ogsaa *Tilfældet 2 b*.

2. Høfder (Moler).

Udviklingen ved *Høfdebyggeri* over *hele Ligevægtsformen* eller over *en Del* af denne vil forme sig analogt med *Tilfælde 1 b*.

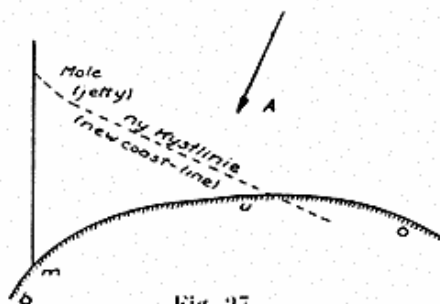


Fig. 27.

Ved *Molebyggeri* er Forholdet noget anderledes. Her vil Kysten i *Molens Luvside* (se Fig. 27) i Trit med *Molens Forlængelse* kunne vedblive at rykke ud, indtil den (teoretisk) staar vinkelret paa *Paavirkningsretningen*. Materialet til Udfyldningen fremkommer ved Nedbrydning af Omraadet u-o, hvor o er et fjernere

paa Kysten beliggende *Materialvandringssnulpunkt*. Det kan saaledes blive en dyr Fornøjelse, hvis man ganske vil forhindre Materialet i at undvige forbi *Molen*; men dette er selvfølgelig heller ikke nødvendigt. Med en kortere *Mole* opnaar man et lignende Resultat; men man maa saa finde sig i, at Materialet en skønne Dag, naar Trekanten i *Molens Luvside* er helt eller delvis udfyldt, igen passerer forbi *Molen* og derved gaar tabt for Kysten.

Af det ovenforstaaende vil det forstaas, at det vil være en meget betænkelig Sag at bygge en Havn forholdsvis fjernt fra et *Materialvandringssnulpunkt*, da Havnen vil være stærkt udsat for Tilsanding. Hermed være ikke sagt, at en Havn, der bygges i et *Materialvandringssnulpunktsomraade*, ikke vil være udsat for Tilsanding; men der vil være mindre Mulighed for, at Anlægget sander til, ved at Kystlinien vandrer ud forbi Molehovederne, saa Havnen drukner i Sand, som det f. Eks. er hændt med nogle engelske og italienske Havne, og som vi maaske paa lignende Maade risikerer det her i Landet ved vore Vestkysthavne i Form af en Hævning af *Landgrunden* ved Tilsanding i Farvandet omkring Havnen (*Hirtshals*).

Hvad der er sagt ovenfor vedr. *Tilfælde 2 b* gælder ogsaa *Tilfælde 2 a* med *begrænset* Udstrækning af Kystlinien.

Hvis *Landgrunden* bestaar af Ler, vil Lerpartiklerne kunne forsvinde ud af det egentlige *Materialvandringssomraade*, og Nedbrydningen vil kunne fortsætte under alle Omstændigheder.

Skadelig Indflydelse af Høfde- eller Molebyggeri.

Ved saavel *Høfdebyggeri* som *Molebyggeri* maa man have sin Opmærksomhed henvendt paa *Høfdegruppens* eller *Molens Læside*, hvor de skadelige Virkninger af det foretagne Indgreb i

Naturens Orden vil optræde i Form af øget Nedbrydning. Denne Nedbrydning er ofte ejendommeligt derved, at Kystliniens Indrykning foregaar hurtigere end Dybdekurvernes, saaledes at der dannes et Fladvande eller et grundet Omraade foran Kysten. Dette skyldes øjensynlig, at de *materialførende Havkræfter* ikke hurtigt nok er i Stand til at fjerne det Materiale, som bliver nedbrudt af Kysten o. D. V. (Kystklinten). Det nævnte Materiale aflejres da midlertidig uden for Kystlinien, jfr. Forholdene Syd for Højdegruppen ved *Bøbjærg* og Sydvest for Højdegruppen Sydvest for *Skagens Havn*, se Fig. 18. I det hele taget danner der sig foran Kyster, der er under stærk Nedbrydning, ofte Ophobninger af nedbrudt Materiale, hvorved *Landgrunden* hæves, og Kystens Stejlhed aftager i Omraadet langs Land. Man maa af denne Grund ikke lade sig forlede til at tro, at der herved er sket en Vending i Udviklingen eller blot en Forandring i Bortskæringsintensiteten. Dette vil først mange Aars fortsatte Maalinger kunne fortælle noget om.

Planlæggelse af Kystbeskyttelsesforanstaltninger.

I Tilslutning til det ovenfor omtalte vedr. Kystbeskyttelsesforanstaltninger kan det ikke stærkt nok fremhæves, at man ved Projektering af Kystbeskyttelsesværker først bør foretage indgaaende Studier over *Kystudviklingen*, herunder *Materialvandringsundersøgelser*, og udstrække disse Undersøgelser ikke blot til den Kyststrækning, som det er Hensigten at beskytte, men til lige over saa stort et Omraade paa begge Sider af denne som muligt. For saadanne Undersøgelser sætter økonomiske Hensyn og den til Raadighed staaende Tid sædvanligvis snævre Grænser; men Spørgsmaalet er, om det ikke i det lange Løb alligevel betaler sig at ofre Tid og Penge paa Undersøgelser, hvorved større Indsigt i *Materialvandringsproblemet* til Brug ved Projekteringen af Kystbeskyttelsesværkerne vil kunne opnaas; thi det maa være lige saa lidt tilfredsstillende at anbringe en hensigtsmæssig Kystbeskyttelseskonstruktion et mere eller mindre tilfældigt Sted som at bygge en Bro eller en Vej et Sted, hvor der ikke er udført Jordbundsundersøgelser. I Almindelighed ofres der af de projekterende Ingeniører m. v. alt for lidt eller slet intet paa Forundersøgelser.

Med Hensyn til Forudbestemmelse af en Kystudvikling er der herefter 2 Veje at gaa. Enten kan *Erfaringsmaterialet* fra lignende Tilfælde benyttes, og det er den hidtil mest brugte Fremgangsmaade, eller ogsaa kan man foretage *Laboratorieforsøg*

med *Modeller*. Hvor meget man kan vente sig af *Laboratorieforsøg*, og hvor meget man tør stole paa disse, er et Spørgsmaal. Det stærkt nedsatte Maalestoksforhold skaber mange Problemer, og det hævdes, at de mere komplicerede Processer — og hertil maa regnes praktisk talt alle *Materialvandringsforeteelser* ved *Havkyster* — i hvert Fald ikke giver tillidvækkende Resultater. Det naturlige er da, at man søger sig egnede Forsøgssteder i *Naturen* og studerer Problemerne her, saadan som det fra geografisk Side her i Landet har fundet Udtryk i Oprettelsen af *Skallingen-Laboratoriet* og i U.S.A. i *Beach Erosion Boards* Undersøgelser.

I denne Forbindelse er der Grund til at fremhæve den *kvantitative Undersøgelsesmetodes* Værdi paa Grund af dens Nøjagtighed. Paa *Skallingen-Laboratoriet* er den anvendt ved Bestemmelse af *Sedimenttransporten* i Flod- og Ebbestrømme og ved Bestemmelse af *Sedimentpaalejringen* i Marsken; af *Beach Erosion Board* er den bl. a. benyttet ved Forsøg paa Bestemmelse af den af *Bølger* og *Strøm* foraarsagede *Materialtransport* langs Kysten, samt ved Bestemmelse af den aflejrede Sandmængde i Luvsiden af *Moler*, f. Eks. *Jamaica Bay Jetty (Rockaway Inlet)*.

Den af Geologer og Geografer foretagne Kystudforskning har ogsaa stor teknisk Interesse, idet den forsøger at forstaa og forklare Udviklingen. Fra et teknisk Synspunkt vil man maaske være knapt saa interesseret i Fordybelse i enkelte Kystomraaders Særpræg som i Fremskaffelse af et stort, men dog paalideligt Overblik, der kan finde teknisk Anvendelse. Det vilde saaledes være af stor teknisk Interesse at faa nogle af de i materialvandringsmæssig Henseende særlig interessante Kyster undersøgt nærmere, f. Eks. *den jyske Vestkyst*, Kysten mellem *Ska-gen* og *Hals* og *Nordsjællands Kyst*. Et saadant Arbejde, hvilende paa omfattende Opmaalinger vil maaske kunne gennemføres nu, naar de nye tekniske Hjælpemidler til Dybdemaaling og Stedbestemmelse tages i Brug.

LITTERATUR:

- Beach Erosion Board: Interim Report.* Office of the Chief of Engineers, U. S. Army, Washington, 1933.
Beach Erosion Board: Manual of Procedure in Beach Erosion Studies. Washington, 1939.
Palle Bruun: Bølgers og Strøms Evne til at transportere Materiale. Ingeniøren, 1909.

- Axel Jessen: Stenalderhavets Udbredelse i det nordlige Jylland.* København, 1920.
- D. W. Johnson: Shore Processes and Shoreline Development,* New York, 1919.
- H. Gry: Das Wattenmeer bei Skallingen. Quantitative Untersuchungen über den Sinkstofftransport durch Gezeitenströmungen.* København, 1942.
- J. Munch-Petersen: Materialwanderungen längs Meeresküsten ohne Ebbe und Flut.* Leningrad, 1933.
- J. Munch-Petersen: Über Materialwanderung an Meeresküsten, Insbesondere an den Küsten des Baltischen Meeres,* Helsinki, 1936.
- E. R. Matthews: Coast Erosion and Protection,* London, 1918.
- Niels Nielsen: Eine Methode zur exakten Sedimentationsmessung. Studien über die Marschbildung auf der Halbinsel Skallingen.* København, 1935.
- Axel Schou: Det marine Forland.* København, 1945. *English Summary.*
- G. Schönweller: Bølgebevægelse og Materialvandring.* København, 1935.
- Sv. Svendsen: Materialvandring og Kystsikring. Ingeniøren* Nr. 22/1946.
- Thyborøn-Kommissionen: Thyborøn-Kommissionen's Betænkning.* København, 1942.
- P. Vedel: Øhavsprincippets Teori.* København, 1903.
- XVth Internationale Congress of Navigation, Venice, 1931. Rapporterne* Nr. 72 (*Coen Cagli*), 73 (*Schmidt og Heiser*), 74 (*Verschoore*), 75 (*Coderch*), 76 (*Leppik*), 77 (*Spencer Smith*), 78 (*Kauffmann*), 79 (*Pala og d'Arrigo*).

SUMMARY:

Forms of Equilibrium of Coasts with a Littoral Drift.

A coast with a form of equilibrium assumes congruent or uniform forms throughout its development. A special case is the state of equilibrium, in which case the position of the coastline is always the same.

The material-carrying sea-forces are the waves and the streams. Other forces of nature are here left out of consideration.

Waves and streams endeavour to form stable coast-forms. Case 1 a, fig. 1, is absolutely theoretical, a straight endless coast. The coast is only attacked by waves, the action A, fig. 1. The action is the same at all points, and is always perpendicular to the coast, which is consisting of the same sort of material anywhere. If the coast consists of only sand and gravel, it cannot be eroded, and takes up a form of equilibrium. If there are streams, the coast may be eroded.

In case 2 a, fig. 2, is shown another theoretical case. A inclines to the coast, otherwise assumptions as of 1 a — no streams etc. If the coast consists of sand and gravel, it cannot be eroded. Provided that the coastline is limited from d to c, the coast may be eroded. The erosion will be greatest at d and will decrease towards c. The direction of the coast will turn up against the wind.

In case 1 b, fig. 3, is shown a coastline of limited length, otherwise assumptions as of 1 a. If the direction of A diverges from 90° to the coastline, or if the corners at a or b are not absolutely sharp, see fig. 3, the erosion will begin.

On page 37 is shown a mathematical computation of the form which the coast will take up at a and b. According to the theory of Munch-Petersen the relation between the littoral drift and the angle of incidence of the waves can be illustrated by a Sinus-curve. This theory of dependence is here supposed to be reliable. The terminologies 'zero-point of littoral drift' and 'the masscurve of littoral drift' are here used. A 'zero-point of littoral drift' ('Z-point') is the point of a coast, where the resulting littoral drift carried to account with signs corresponding to the direction of the drift is equal to 0. In fig. 4 o is a Z-point. 'The mass-curve of littoral drift' ('M-curve'), fig. 5, is the curve which will be forthcoming where in a right-angled co-ordinatesystem the length of the coast from the Z-point is left as abscisse, and as ordinate the quantity of the material (sand, gravel etc.) which in a periode is eroded from the coast between the Z-point and the regarded point. The Z-point has the co-ordinates (0,0). From the coast s is eroded $B \text{ m}^3$ material. The angle of gradient of the tangent, $\frac{dB}{ds}$, is equal to the erosion per meter of the coast. When the M-curve is a straight line, $\frac{dB}{ds}$ is constant, i.e. the eroded quantity per meter of the coast is the same at all points, which again means that the coast keeps up its form.

In fig. 6 is shown a coastline where $\frac{dB}{ds}$ is constant. The coast is attacked by the wave-action A. A is perpendicular to the coast in the Z-point o. The coast consists of the same sort of material, containing sand and gravel. The eroded material can pass free at any point. From fig. 6 you have, with reference to the above-mentioned, for the point (x, y), distance of which measured from o in the coastline is s: $k \cdot s = A \cdot \sin v$; k is a constant.

The computations page 37 give the results III and IV page 38.

You see that all forms of equilibrium are uniform. Table 1 is computed with $\frac{A}{k} = L = 1$. The table can be used for construction any form of case 1 b. Fig. 7 shows the computed form for $\frac{A}{k} = L = 6,4 \cdot 10^{-5}$.

Case 2 b, fig. 9, A inclines to the coastline. The form developing is case 1 b for the angles $(90 - \beta)^\circ$ to 90° .

Eksamples: Their position in Denmark are shown in plate 1, fig. 11 to 17 case 1 b, fig. 18 case 2 b, fig. 20 and 21 cliff-shorelines of the Litorina-sea. The Z-point generally is appointed by the theory of Munch-Petersen.

Fig. 22, Limfjords-Tangerne (the Limfjord-barriers) shows a practical eksempel of the use of M-curves. The Limfjord-barriers separate Limfjorden (Nissum Bredning) from the North Sea. The existing open channel, Thyboron Kanal, between the sea and Nissum Bredning is formed by bar-breach in 1862. Several channels have existed before, for i.

Agger channel, see fig. 22, closed by nature in 1875. compare the development of the coast of New Jersey, U.S.A. On account of trading interests, fishing and shipping, the state of Denmark has maintained the channel by extensive protecting and regulating works (groins and dikes), see fig. 22. Last by law of 14. August 1946 is enacted to stabilise the coast and the channel by constructing 2 big jetties, one on each side of the channel, and a new solid dike about 2 km from the sea. The dike will be built across the channel as a dam with sluices. As regards the project (92 million Kr.), see article in *Shore and Beach, Journal of American Shore Preservation Association, Number one, April 1946*. Fig. 23 and 24 show M-curves for the erosion of the North Limfjord-barrier. The eroded quantity is computed on the basis of 16 sounded profiles between the points 1 and 16, fig. 22. The examined (sounded) areas (depths) of the sea-bottom are stated in fig. 23 and 24. Newer soundings show that erosion of the bottom also takes place in greater depths. The curves A_3 , B_3 , and C_3 suggest a certain maturity and stability of the coast as to the plan-form. All of the 3 curves show the greatest steepness to the north, which may mean that the northern coast is not naturally connected with the southern coast. The curve B_3 is nearly parallel to the s-axis in the middle, which may be owing to a transverse transport of material seawards from the coast, the coast being here very steep. The curve K , fig. 25, is an 'M-curve' for the coast's retiring landwards, summed up in the same manner as by the M-curves. Note the likeness to the curves A_3 , B_3 , and C_3 . The curve V , fig. 25, shows Sinus v , fig. 4, at different points of the coast. You will see that V is so to say a straight line at the same length where A_3 , B_3 , C_3 , and K are nearly straight.

In fig. 26 and 27 are shown the results of the construction of a jetty on coasts of the type 1 b and 2 b. You read out of the figures that construction of harbours on coasts with a strong littoral drift and far away from a Z-point ought to be avoided.

med *Modeller*. Hvor meget man kan vente sig af *Laboratorieforsøg*, og hvor meget man tør stole paa disse, er et Spørgsmaal. Det stærkt nedsatte Maalestoksforhold skaber mange Problemer, og det hævdes, at de mere komplicerede Processer — og hertil maa regnes praktisk talt alle *Materialvandringsforeteelser* ved *Havkyster* — i hvert Fald ikke giver tillidvækkende Resultater. Det naturlige er da, at man søger sig egnede Forsøgssteder i *Naturen* og studerer Problemerne her, saadan som det fra geografisk Side her i Landet har fundet Udtryk i Oprettelsen af *Skallingen-Laboratoriet* og i U.S.A. i *Beach Erosion Boards* Undersøgelser.

I denne Forbindelse er der Grund til at fremhæve den *kvantitative Undersøgelsesmetodes* Værdi paa Grund af dens Nøjagtighed. Paa *Skallingen-Laboratoriet* er den anvendt ved Bestemmelse af *Sedimenttransporten* i Flod- og Ebbestrømme og ved Bestemmelse af *Sedimentpaalejringen* i Marsken; af *Beach Erosion Board* er den bl. a. benyttet ved Forsøg paa Bestemmelse af den af *Bølger* og *Strøm* foraarsagede *Materialtransport* langs Kysten, samt ved Bestemmelse af den aflejrede Sandmængde i Luvsiden af *Moler*, f. Eks. *Jamaica Bay Jetty (Rockaway Inlet)*.

Den af Geologer og Geografer foretagne Kystudforskning har ogsaa stor teknisk Interesse, idet den forsøger at forstaa og forklare Udviklingen. Fra et teknisk Synspunkt vil man maaske være knapt saa interesseret i Fordybelse i enkelte Kystomraaders Særpræg som i Fremskaffelse af et stort, men dog paalideligt Overblik, der kan finde teknisk Anvendelse. Det vilde saaledes være af stor teknisk Interesse at faa nogle af de i materialvandringsmæssig Henseende særlig interessante Kyster undersøgt nærmere, f. Eks. *den jyske Vestkyst*, Kysten mellem *Ska-gen* og *Hals* og *Nordsjællands Kyst*. Et saadant Arbejde, hvilende paa omfattende Opmaalinger vil maaske kunne gennemføres nu, naar de nye tekniske Hjælpemidler til Dybdemaaling og Stedbestemmelse tages i Brug.

LITTERATUR:

- Beach Erosion Board: Interim Report.* Office of the Chief of Engineers, U. S. Army, Washington, 1933.
Beach Erosion Board: Manual of Procedure in Beach Erosion Studies. Washington, 1939.
Palle Bruun: Bølgers og Strøms Evne til at transportere Materiale. Ingeniøren, 1909.

- Axel Jessen: Stenalderhavets Udbredelse i det nordlige Jylland.* København, 1920.
- D. W. Johnson: Shore Processes and Shoreline Development,* New York, 1919.
- H. Gry: Das Wattenmeer bei Skallingen. Quantitative Untersuchungen über den Sinkstofftransport durch Gezeitenströmungen.* København, 1942.
- J. Munch-Petersen: Materialwanderungen längs Meeresküsten ohne Ebbe und Flut.* Leningrad, 1933.
- J. Munch-Petersen: Über Materialwanderung an Meeresküsten, Insbesondere an den Küsten des Baltischen Meeres,* Helsinki, 1936.
- E. R. Matthews: Coast Erosion and Protection,* London, 1918.
- Niels Nielsen: Eine Methode zur exakten Sedimentationsmessung. Studien über die Marschbildung auf der Halbinsel Skallingen.* København, 1935.
- Axel Schou: Det marine Forland.* København, 1945. *English Summary.*
- G. Schönweller: Bølgebevægelse og Materialvandring.* København, 1935.
- Sv. Svendsen: Materialvandring og Kystsikring. Ingeniøren* Nr. 22/1946.
- Thyborøn-Kommissionen: Thyborøn-Kommissionen's Betænkning.* København, 1942.
- P. Vedel: Øhavsprincippets Teori.* København, 1903.
- XVth Internationale Congress of Navigation, Venice, 1931. Rapporterne* Nr. 72 (*Coen Cagli*), 73 (*Schmidt og Heiser*), 74 (*Verschoore*), 75 (*Coderch*), 76 (*Leppik*), 77 (*Spencer Smith*), 78 (*Kauffmann*), 79 (*Pala og d'Arrigo*).

SUMMARY:

Forms of Equilibrium of Coasts with a Littoral Drift.

A coast with a form of equilibrium assumes congruent or uniform forms throughout its development. A special case is the state of equilibrium, in which case the position of the coastline is always the same.

The material-carrying sea-forces are the waves and the streams. Other forces of nature are here left out of consideration.

Waves and streams endeavour to form stable coast-forms. Case 1 a, fig. 1, is absolutely theoretical, a straight endless coast. The coast is only attacked by waves, the action A, fig. 1. The action is the same at all points, and is always perpendicular to the coast, which is consisting of the same sort of material anywhere. If the coast consists of only sand and gravel, it cannot be eroded, and takes up a form of equilibrium. If there are streams, the coast may be eroded.

In case 2 a, fig. 2, is shown another theoretical case. A inclines to the coast, otherwise assumptions as of 1 a — no streams etc. If the coast consists of sand and gravel, it cannot be eroded. Provided that the coastline is limited from d to c, the coast may be eroded. The erosion will be greatest at d and will decrease towards c. The direction of the coast will turn up against the wind.