



Fremtidig kystudvikling ved Thyborøn

- En rapport om tilpasning af kystsikring ved Thyborøn som følge af klimaændringerne



Aalborg Universitet

Foråret 2010

Udarbejdet af gruppe 2-20

Forord

Det foreliggende projekt er udarbejdet af 4. semesters geografistuderende på Aalborg Universitet i foråret 2010. I året forinden var Danmark vært for Klimatopmødet i København, hvor de globale klimaændringer blev diskuteret. Resultaterne af Klimatopmødet endte ikke ud i en fælles aftale om fremtidig klimatilpasning. Dette har givet anledning til udarbejdelsen af det foreliggende projekt, hvor konsekvenserne uden klimatilpasning ønskes undersøgt. Gennem projektet påpeges vigtigheden af en fremtidig planlægning i forhold til klimaændringerne. Dette emne er relevant, da kommunerne i Danmark i de kommende år er nødsagede til at håndtere konsekvenserne af klimaændringer.

Temaet, som danner rammerne for projektet er *Landskabet – dynamik og processer*. Under dette tema fokuseres der på landskabet ved Vestkysten. Herunder analyseres de processer der, som følge af de globale klimaændringer, vil have indflydelse på kystens fremtidige udvikling. På baggrund af forudsigelser om fremtidens kystudvikling diskuteres kommende muligheder for at beskytte kysten mod naturens kræfter. Det vil nemlig inden for de næste 100 år være nødvendigt for politikere og planlæggere at sætte yderligere fokus på, hvilken form for kystbeskyttelse der vil være nødvendig, for at sikre landets mange kyster mod markante ændringer i fremtiden. Derfor er sigtet med projektet at redegøre for de naturprocesser, som historisk har medvirket til kystudviklingen på Vestkysten for dermed at forudsige de fremtidige ændringer, der vil kunne forekomme, hvis ikke kysten som i dag fortsat kystsikres.

Udarbejdelsen af projektet er sket i samarbejde med vejleder og professor Torben Larsen fra Institut for Byggeri og Anlæg. Derudover har teknisk chef for Kystdirektoratet, Per Sørensen været behjælpelig med information og data om kystudviklingen ved Thyborøn. Ligeledes har naturvejleder ved Kystcentret i Thyborøn, Peder Flansmose hjulpet med videregivelse af historiske kort over kystudviklingen i området. Denne hjælp har været af afgørende betydning for projektet, og de ovenstående skal have en særlig tak.

Yderligere viden er indsamlet på baggrund af rapporter og lærebøger, hvor kildehenvisningerne til disse findes bagerst i projektet. Kilderne er anvist efter Harvard-metoden, som i teksten angives i parentes i den løbende sætning. Bilag over data findes ligeledes bagerst i rapporten.

Billederne på forsiden er henholdsvis taget på kyststrækningen syd for Thyborøn under feltarbejde den 6. maj 2010 og fra fly af Lemvig svæveflyveklub (Lemvig Svæveflyveklub, 2007)

Indholdsfortegnelse

Fremtidig kystudvikling ved Thyborøn	4
1. Indledning.....	6
1.1 Problemfelt	7
1.2 Problemformulering	12
2. Metode.....	14
2.1 Videnskabsteori.....	14
2.1.1 Positivismen	14
2.1.2 Rationalismens metodeidealer	15
2.1.3 Fremtidsforskning.....	16
2.1.4 Anvendt videnskabssyn i projektet.....	16
2.2 Videnskabelig metode	16
2.2.1 Dataindsamling.....	17
2.2.2 Visualisering	19
2.2.3 Analyse	19
2.3 Refleksioner over anvendte metoder	19
3. De kystdynamiske processer	22
3.1 Kyst- og bølgezoner.....	22
3.2 Bølgens karakter og funktion ved kysten.....	24
3.3 Erosionsprocessen - materialets igangsættelse	26
3.4 Langsgående materialetransport	27
3.5 Vandstandsændringer.....	28
3.5.1 Meteorologiske trykforskelle og vindstuvning.....	29
3.6 Ligevægtsprofil	29
3.6.1 Den teoretiske ligevægtslinje	30
3.6.2 Bruuns regel.....	31
3.6.3 Kritik af Bruuns teori	33
4. Klimaændringernes effekt på kysten	34
4.1 Analyse af historisk kystudvikling.....	34
4.2 Sedimentsammensætningen på Thyborøn strand	37
4.3 Faktorer der indvirker på kysttilbagerykningen	41
4.3.1 Ekstrem vandstand ved Thyborøn	41
4.4 Anvendelse af Bruuns regel	42
4.5 Visualisering af vandstandsstigning.....	45

4.6 Refleksion over anvendte analysemetoder	47
5. Diskussion af den fremtidige kystudvikling	50
5.1 Behandling af resultater for kysttilbagerykning	50
5.2 Tilpasning af fremtidig kystsikring	51
6. Konklusion	54
7. De kommende kommunale og nationale udfordringer	56
Litteraturliste	58
Bilag	60
Bilag A	60
Bilag B	62

Fremtidig kystudvikling ved Thyborøn

I. Indledning

De fremtidige klimaændringer er et aktuelt emne at sætte fokus på, da de kan få konsekvenser for både natur og samfund. Klimamodellerne forudsiger en global temperaturstigning med højere vandstand i havene samt hyppigere storme som følge. Et ændret klima kan få fremtidige konsekvenser for den danske natur. Dette kan have stor betydning for områderne ved den danske vestkyst. Derfor er det af interesse for politikere og planlæggere at kunne forudsige naturens udvikling. Dette giver nemlig mulighed for at tage stilling til, hvorledes et givent landskab skal forvaltes. Dog er det en udfordring at kontrollere naturens kræfter, da naturen er under konstant forandring.

I Danmark ses nogle af de mest dramatiske ændringer af landskabet langs kysterne, da bølger eroderer, transporterer og aflejrer sediment. Kysten ændres dag for dag, time for time og er konstant under forandring. Danmarks cirka 7400 km kystlinje har gennem historien ændret både form og udstrækning ofte i et højt tempo. Grunden til at de danske kyster ændrer udseende er, at hovedbestanddelene af de materialer, som kysterne består af, er let flyttelige og eroderbare. Materialerne stammer nemlig fra glacial smeltevandsaflejringer, bestående af grus, sand og ler, som under forskellige istider er bragt hertil og aflejret. Disse sedimentaflejringer flyttes til stadighed mellem stranden og den nære del af havbunden, da havstrømme og bølger fører materialerne med sig. Processerne er dermed medvirkende til, at landet nogle steder nedbrydes og andre steder bygges op (Kappel, 1997).

Ved Vestkysten har skiftende temperaturer, ændringer i havniveau og vinden fra vest gennem årtusinder påvirket Nordsøen og sendt bølger ind mod kysten. I kollisionen mellem havet og kysten har naturens dynamiske kræfter gennem tiden været i stand til at ændre på kystlandskabet. De dynamiske naturprocesser indgår dermed i udviklingen af det geografiske kystmiljø langs Vestkysten. Disse processer har derfor en markant indvirkning på det menneskelige miljø i bebyggede områder nær kysten. I en by som Thyborøn har samspillet mellem mennesket og naturen været en realitet siden byen opstod på den nordlige spids af Harboøre Tange. Her har kystdynamiske processer været fulgt nøje for at kunne foregribe begivenheder som eksempelvis oversvømmelser af byen. I de seneste år er der kommet særligt fokus på de konsekvenser, som klimaændringerne vil kunne få for byens sikkerhed og samtidig hvilken form for kystsikring, der skal prioriteres for at beskytte byen og tangen mod oversvømmelse.

Da Vestkysten er noget af det mest dynamiske natur, der findes i Danmark, er det også her, der er særligt behov for at tage højde for ændringer i naturens udvikling. På grund af klimaændringerne er der i fremtiden behov for at tilpasse kystsikringen på udsatte strækninger som ved Thyborøn. Det foreliggende projekt sætter derfor fokus på samspillet mellem de naturlige processer, der skaber og påvirker kystlandskabet ved Thyborøn og de tiltag, der gøres for at sikre menneskelige aktiviteter. På den baggrund lægger projektet op til diskussion om de ressourcemæssige omkostninger ved de menneskelige tiltag, der som følge af en tilpasset kystsikring kan forekomme i fremtiden.

1.1 Problemfelt

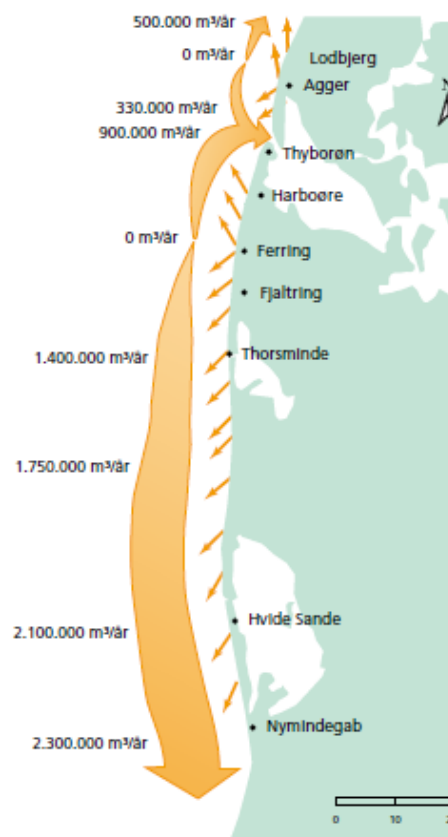
Den jyske vestkyst er et eksempel på en kyststrækning, som er under konstant påvirkning af bølger og strøm fra Nordsøen. Som det kan ses i figur 1 er kyststrækningen fra Blåvandshuk til Thyborøn en strækning, hvorpå der foregår en markant sedimenttransport. Sedimenterne stammer fra nedbrydningen af morænemassiverne ved Bovbjerg og transporteres henholdsvis nordpå og sydpå langs kysten (Kystinspektoret, 1999). Som det fremgår af Figur 1, ses et nulpunkt ved Bovbjerg lidt nord for Ferring, hvor erosion og aflejring af sedimenter her er lige store, og sedimenttransporten derved er lig nul. Herfra deler sedimenttransporten sig i både en sydgående og en nordgående retning, som er afhængig af strøm- og vindforhold.

Kyststrækningen er en såkaldt høj-energi-kyst med en langsgående materialetransport, hvilket medfører en årlig kysttilbagerykning. Derfor klassificeres kyststrækningen hovedsageligt som en tilbagerykningkyst. Her eroderes kysten af bølger, der løber skråt ind imod kysten, hvilket bevirker, at der dannes en langsgående strøm fra den yderste revle til kysten. Denne proces har skabt kysten, som den ser ud i dag; sandet er blevet transporteret op langs kysten, hvor det er aflejret i læsider af bugter og i kanaler.

På grund af sedimenttransporten har kyststrækningen fra Lodbjerg til Nymindegab en naturlig transport af sand på cirka 4 millioner kubikmeter om året. Her vil en tilbagerykning af kysten få konsekvenser dels for bebyggelse, men også for infrastrukturen nær kysten, hvis ikke erosionen bremses. En anden udfordring på netop denne kyststrækning er risikoen for vandets gennembrud af klitterne. Ved storm vil havet kunne skylle ind over klitterne og oversvømme lavtliggende landområder (Kystdirektoratet, 2008).

For at standse kysttilbagerykningen ved Vestkysten har staten siden år 1875 udført kystsikring for at beskytte menneskelige værdier mod havets kræfter. I Danmark bor cirka 43 % af befolkningen i en tre kilometer bred kystnærzone, og dette aspekt gør det nødvendigt at være særlig opmærksom på kystens ændringer (Klimatilpasning, 2009). Derved er det nemlig muligt at sikre en mængde interesser i de udsatte kystnære områder. Der bliver især udøvet beskyttelse omkring de større havne som ved Esbjerg, Hvide Sande og Thyborøn, men også i områder med bebyggelse tæt ved havet, som det er tilfældet ved Lønstrup i Nordjylland. For Vestkysten er der opstillet en handlingsplan for kystsikring, som udføres gennem en fælles aftale mellem staten, kystkommunerne og det tidligere Ringkøbing Amt.

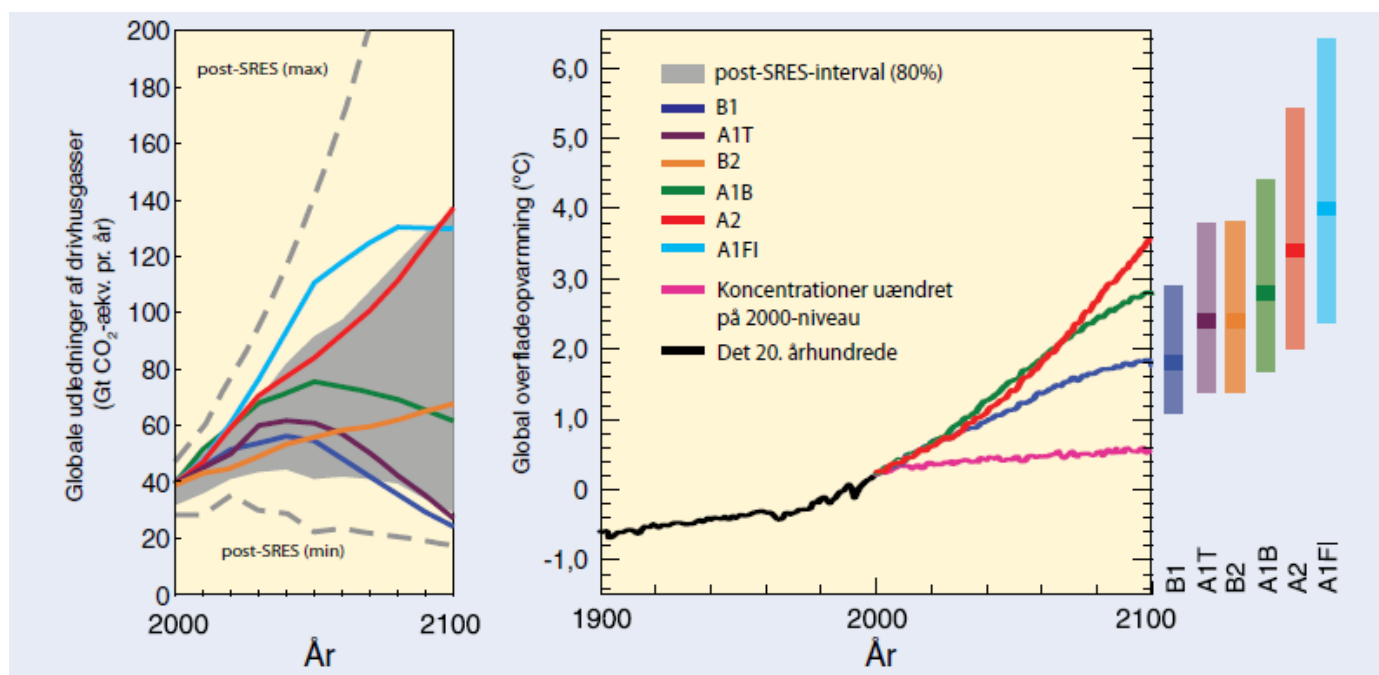
Sikringen af kysten har stået på i mange år, hvor der gennem tiden er anvendt forskellige kystsikringsmetoder. Opbygning af høfder har været en almindelig måde at kystsikre på siden slutningen af 1800-tallet. Andre former for kystsikring er bølgebrydere, diger med flere. En forholdsvis ny metode at kystsikre Vestkysten på, er kystfodring. Det siges også at være den mest effektive måde at kystsikre på, og er samtidig den metode, som tager størst hensyn til kystens naturlige udvikling.



Figur 1: Langsgående nettotransport af sediment langs Vestkysten (Kystdirektoratet, 2008).

Den hurtigtgående udvikling af den danske vestkyst er en udfordring for myndigheder og planlæggere. Det er nemlig krævende at forudsige landskabets ændringer og dertil træffe beslutninger om, hvorvidt disse ændringer skal forløbe naturligt eller begrænses ved hjælp af yderligere kystsikring. For at kunne træffe beslutninger om kystbeskyttelse på strækningen fra Lodbjerg til Nymindesgab opstilles der i den forbindelse en række scenarier for kystudviklingen, som der skal tages hensyn til (Knudsen, 2008).

Nogle af de scenarier, som tages særligt alvorligt i kystforvaltningen, er scenarierne om globale klimaændringer. Disse scenarier er baseret på observationer af klimaet over en lang årrække og sammenfattet i et antal rapporter fra Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC er et panel dannet af FN i år 1988 efter udarbejdelse af Brundtlandrapporten. Panelet sammenfatter og vurderer i dag den videnskabelige litteratur vedrørende globale klimaændringer. Med grundtanken "vores fælles fremtid" foretager panelet de nødvendige vurderinger af klimaændringernes effekter både i forhold til naturen og de samfundsøkonomiske aspekter samt diskuterer, hvorledes det er muligt at mindske klimaændringer eller tilpasse sig disse. IPCC opstiller forskellige SRES-scenarier (Special Report on Emissions Scenarios) for den eventuelle fremtidige udvikling, som baseres på forskellige antagelser om udviklingen i befolkningen, økonomisk vækst i i-lande og u-lande, energiforbrug per indbygger og teknologisystemer med mere (Brøndum, 2006). SRES-scenarierne om fremtidens klima frem til år 2100 er baseret på observationer af klimaændringerne siden de første optegnelser over globale overfladetemperaturer fra år 1850. Disse scenarier er illustreret i Figur 2 herunder:



Figur 2: Scenarier for udledning af drivhusgasser fra år 2000 til 2100 og forventet overfladeopvarmning. Scenarierne er baseret på en fortsat udvikling uden klimapolitiske tiltag på området. Den lyserøde kurve er ikke et scenarium, men illustrerer en udvikling af overfladeopvarmningen, hvis de atmosfæriske koncentrationer af drivhusgasser holdes uændret på niveau fra år 2000 (DMI, 2007).

scenarie A2 (markeret med rødt) repræsenterer en fremtidig udvikling, hvor verden fortsat er differentieret; der vil være en lavere handelsstrøm på det globale marked, relativt lav kapitalomsætning og en langsommere teknologisk udvikling, end den vi ser i dag. Tildes forudses der i dette scenarie, at en global hensyntagen til miljøet vil være lille, selvom der vil blive foretaget regionale tiltag for at beskytte miljøet (Nakicenovic, 2000).

På baggrund af de ovenstående faktorer, der er opstillet for scenarie A2, har IPCC udregnet en række konsekvenser, som klimaændringerne i dette fremtidsscenario vil kunne få. I venstre side af Figur 2 ses det af den røde kurve, at udslip af drivhusgasser vil stige markant fra år 2000 til 2100. I forlængelse af dette ses det af den røde kurve på figuren til højre, at den globale overfladeopvarmning ligeledes vil stige i perioden fra år 2000 til 2100.

De ændrede overfladetemperaturer vil have indvirkning på havets vandstand, vind og vejr. IPCC arbejder med intervaller og gennemsnit for alle estimeringer, hvor der tages højde for usikkerhedsintervaller, da beregningsmodellernes kompleksitet varierer. For scenarie A2 vil temperaturen i perioden fra år 2000 til 2100 kunne stige mellem 2,0-5,4°C, i gennemsnit 3,4°C på global skala. Dette vil i samme periode kunne medføre en havspejlsstigning på mellem 0,23-0,51 meter, i gennemsnit 0,37 meter. Temperaturændringerne er set i forhold til perioden fra år 1980 til 1999. På baggrund af temperaturstigningerne og havspejlsstigningerne spår IPCC, at verdens kyster vil blive særligt udsatte for skader som følge af oversvømmelser og uvejr. I Europa forventes det, at hyppigere oversvømmelser og kraftigere erosion ved kysterne vil forekomme på grund af øget vandstand i forbindelse med storme (DMI, 2007).

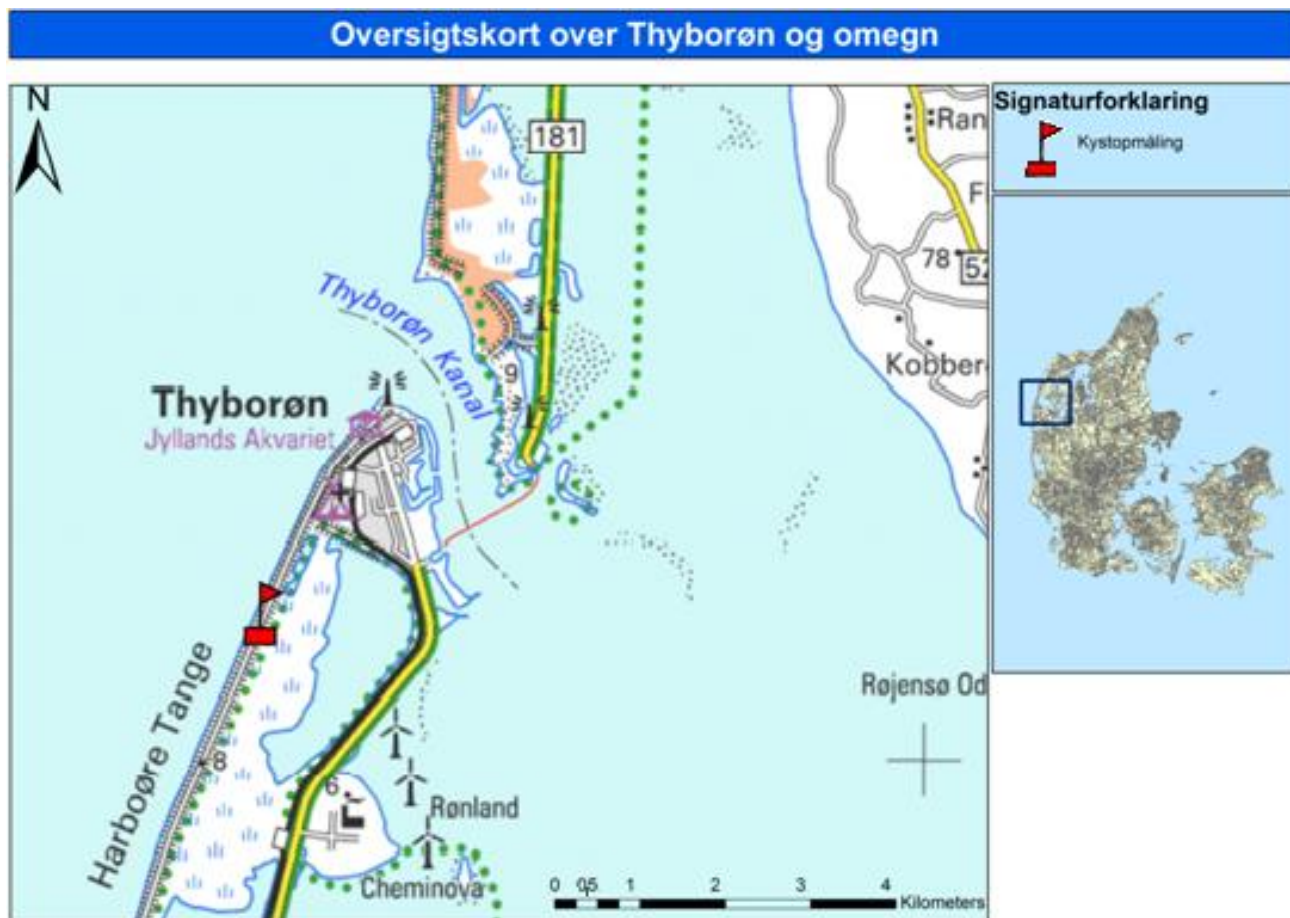
Scenarie A2 er gennem beregninger med hydrauliske modeller blevet nedskaleret til de danske forhold ved Vestkysten. Det er derved muligt for Kystdirektoratet (KDI) at tilpasse den fremtidige kystbeskyttelse til scenarie A2. Selvom IPCC vurderer, at der kan være nogen usikkerhed med den globale havspejlsstigning, og at det i den forbindelse er tilrådeligt at basere forudsigelserne på flere scenarier, er det i dette tilfælde ikke muligt, da de resterende SRES-scenarier ikke er tilpasset danske forhold (Knudsen, 2008). Intentionen var at tilpasse to scenarier til danske forhold, henholdsvis et middel højt, A2, og et middel lavt, B2. Forskellen på disse scenariers vandstandsforøgelse var imidlertid minimal og det blev derfor besluttet, at fortsætte med at nedskalere scenarie A2. Der vil derfor i dette projekt blive lagt fokus på konsekvenserne af scenarie A2, mens de resterende scenarier ikke vil få betydning for undersøgelsen.

Ifølge de forudgående forudsigelser om klimaændringerne forventes den danske vestkyst at blive påvirket henholdsvis af havspejlsstigning, hyppigere og kraftigere storme og dermed af stormfloder. Dette vil medføre en øget erosion på de i forvejen udsatte kyststrækninger og reducere den nuværende sikkerhed for gennembrud af diger og klitter, som de fleste steder på Vestkysten er 100 års middeltidshændelsen (MT) og ved Thyborøn 1000 års MT. Middeltidshændelsen angiver den gennemsnitlige årrække inden for hvilken, en given vandstand vil forventes at kunne nås eller overskrides. Resultatet vil blive en voksende tilbagerykning af kysten og derved en reducere af kystprofilen, som vil svække de eksisterende kystsikringskonstruktioner langs kysten. Derfor vurderer Kystdirektoratet, at en øget kystsikringsindsats vil blive nødvendig i fremtiden. Dette kan resultere i en øget fordringsindsats kombineret med forstærkning af høfder og diger. Hvis der derimod ikke handles i forhold til scenarie A2 forudser Kystdirektoratet, at Vestkysten på beskyttede kyststrækninger i år 2050 vil rykke 1 til 2 meter tilbage og i år 2100 være rykket 5 til 9 meter tilbage (Knudsen, 2008).

Regeringen fremlagde i år 2008 en strategi, som skal tilpasse en række forhold til klimaændringerne i Danmark. Her pointeres det, at den fremtidige kystbeskyttelsesindsats vil kræve kendskab til omfanget af klimaændringerne og til de konsekvenser, de vil medføre (Energistyrelsen, 2008). Der er primært behov for at sætte fokus på de fremtidige risikoområder blandt andet bebyggede områder langs Vestkysten.

Kystdirektoratet holder nøje øje med udviklingen af de kystdynamiske processer ved eksempelvis Thyborøn, da dette område vurderes som et fremtidigt risikoområde. Thyborøn er en by med cirka 2500

indbyggere og ligger på den nordlige spids af Harboøre Tange. Byen er omkranset af diger, som beskytter mod havets kræfter og sikrer mod erosion (Kommune, 2009). Thyborøn er særlig udsat, da den er beliggende med vand på tre sider, som det kan ses på oversigtskortet nedenfor:



Figur 3: Oversigtskort over den nordlige del af Harboøre Tange med Thyborøn på spidsen samt den sydlige spids af Agger Tange (Copyright, Kort & Matrikelstyrelsen G 24-98).

Limfjorden løber i dag tværs gennem Jylland og deler landet i to dele. Det har den dog ikke altid gjort. En boring fra Agger Tange viser, at faunaen på Limfjordstangerne ændredes markant omkring 750 år før vor tidsregning og kan vidne om, at tangerne dengang var lukket om Nissum Bredning og afskar fjorden fra havet mod vest. Tangerne overskyldedes dog igen af havet og forblev åbne indtil omkring år 1100. I perioden fra år 1500 til 1700-tallet blev sandtangerne ved Thyborøn ofte gennembrudt af havet grundet klimaændringerne i forbindelse med "Den lille istid". I den periode sank havniveauet, men samtidig hærgede kraftige vinde kysten og erosionen af kysten var markant. De tre byer Toft, Bolm og Nabe, som lå på Agger Tange, forsvandt endeligt i havet omkring år 1766. I dag ligger byerne på bunden af havet cirka halvanden kilometer fra land og vidner om den markante tilbagerykning af kysten, forsaget af tidligere klimaændringer (Leth, 2003).

Op gennem den sidste halvdel af 1700-tallet var Limfjorden mod vest hovedsageligt lukket, og det var muligt, i det nordvestlige Jylland, at køre fra Ribe til Thisted over sandtangen ved Thyborøn. Tangen blev en meget benyttet færdselsåre for handelsfolk, men ved en stormflod i 1862 var bølgerne fra Vesterhavet så kraftige, at de skyllede ind over klitterne på sandtangen nord for Thyborøn og skabte en endelig kanal fra Limfjorden og ud til havet. Kanalen bliver i dag kaldt Thyborøn Kanal og deler Jylland med Harboøre Tange i syd og Agger Tange i nord. Med denne stormflod blev den kystgeografi ved Thyborøn, vi kender i dag, skabt.

Som konsekvens af gennembruddet af klitterne ved Thyborøn blev kysten på begge tanger udsat for kraftig erosion. Strømhastigheden fra Vesterhavet og ind gennem Thyborøn Kanal er i dag på 6 knob (3 meter per sekund) og er dermed en af de kraftigste strømme i de danske farvande (Miljøministeriet, 2003). Denne kraft førte sandet fra kysterne med havstrømme ind i den åbne kanal, hvor sedimenterne aflejredes på tangernes læsider (Naturstyrelsen, 2010). Kanalen virkede derved som et dræn for sedimenttransporten og erosionen var så kraftig, at kysten rykkede tilbage med cirka 15 meter årligt. For at beskytte tangerne og Thyborøn fra nedbrydning af havet, måtte kysten beskyttes. Derfor blev det af staten besluttet, at kanalen skulle holdes kunstigt åben, og der blev derfor i perioden fra år 1875 til 1892 anlagt høfder af beton og granit langs stranden. Høfderne kunne mindske tilbagerykningen af kysten til kun cirka to meter om året. Hvis ikke kysten bliver beskyttet ville Agger Tange og Harboøre Tange sandsynligvis lukke sammen om Nisum Bredning og kun åbne op for gennemstrømning mellem hav og fjord af og til (Miljøministeriet, 2003).

I 1970'erne holdt Kystdirektoratet inde med at bygge nye høfder ved Thyborøn, da disse ikke kunne standse erosionen af kysten helt, og begyndte i stedet for at beskytte kysten ved hjælp af kystfodring. Denne form for kystbeskyttelse, er siden år 1983 blevet anvendt, som en samlet kystbeskyttelsesindsats på Vestkysten, hvor kystfordringen på stranden ved Thyborøn har standset tilbagerykningen af kysten. Klimaændringerne vil, som set tidligere, få konsekvenser for kystudviklingen ved Thyborøn, og det vil medføre et behov for en fremtidig forbedring af kystbeskyttelsen på Vestkysten. I yderste tilfælde vil det være nødvendigt at foretage en prioritering af, hvilke områder, der skal beskyttes.

1.2 Problemformulering

Idet Danmark er omkranset af cirka 7400 kilometer dynamisk kystlinje, er kystsikring et emne, der fra regeringens side bør sættes ekstra fokus på i forbindelse med de fremtidige klimaændringer, for at undgå problemer med erosion af kysten eller oversvømmelse på udsatte strækninger.

Problemet på kyststrækningen ved Thyborøn er, at klimaændringerne vil resultere i, at de kystdynamiske processer i fremtiden vil accelerere og påvirke menneskelige værdier i og omkring byen. Hvis ikke der foretages en indgriben vil naturens kræfter dominere. Ved Harboøre Tange forudses det på baggrund af historien, at klimaændringerne vil øge kysttilbagerykningen, og at havspejlsstigninger eventuelt vil resultere i oversvømmelse af Thyborøn. Det vil derfor være nødvendigt at tilpasse kystfodringen for at bevare området. På baggrund af dette problem opstilles følgende hypotese:

De fremtidige havspejlsstigninger som følge af klimaændringerne vil i år 2050 og 2100 øge risikoen for oversvømmelse af Thyborøn, men ved at tilpasse den fremtidige kystfodring på Vestkysten vil det være muligt at sikre byen mod oversvømmelse.

Det er med dette projekt formålet at skabe fokus på området, og på baggrund af den historiske kystudvikling ved Thyborøn at kunne forudse de naturlige ændringer, der givetvis vil kunne ske med kystprofilen i fremtiden. På baggrund af undersøgelsen vil muligheder for fremtidig kystsikring diskuteres, med det formål at vurdere, hvorledes sikringen kan tilpasses klimaændringerne, og hvor mange ressourcer, der skal til for at opretholde kysten, som den ser ud i dag.

Problemformuleringen ønskes besvaret ud fra et positivistisk videnskabssyn, hvor hypotesen gennem hypotetisk deduktiv metode søges bekræftet. Ligeledes analyseres den historiske profil- og kystlinjeudvikling med henblik på at sammenligne disse med teori om kysttilbagerykning. Resultatet af dette projekt vil kunne give en grov vurdering af, hvilke ændringer der vil ske med kystprofilen ved Thyborøn som konsekvens af klimaændringerne. Dermed lægges der op til diskussion af de muligheder, der er for fremtidig kystsikring på udsatte kyststrækninger som ved Thyborøn samt, hvilke ressourcer det i fremtiden vil kræve at kontrollere kystmiljøet.

2. Metode

I det følgende redegøres der for, hvorledes problemformuleringen metodisk ønskes besvaret. Som det første præsenteres det videnskabssyn, som er styrende for de metodeidealer, der i projektet anvendes, og dernæst præsenteres de anvendte måle- og analysemetoder.

2.1 Videnskabsteori

Dette afsnit omhandler det videnskabssyn, der ligger til grund for den udførte videnskabelige undersøgelse. Idet det foreliggende projekt beskæftiger sig med fremtidsforskning diskuteres denne metode løbende gennem afsnittet. Selvom det kan diskuteres om der er tale om et naturvidenskabeligt projekt, ønskes problemformuleringen besvaret ud fra neutrale og objektive metoder. Derfor baseres den videnskabelige proces på en kombination af rationalismens og empirismens metodeidealer. Disse to klassiske epistemologier forsøger at minimere observatørens subjektivitet, og dækker tilsammen over betegnelsen *positivisme*.

2.1.1 Positivism

Positivismen er en filosofisk retning udviklet, særligt af Auguste Comte (1798-1857), i 1800-tallet. Den positivistiske videnskabsteori hævder, at der forefindes en verden uden for subjekt. Ifølge den positivistiske tankegang skal ethvert forhold i naturen beskrives og forklares gennem årsagsforbindelser ud fra en metodisk indsamling af data. Videnskabeligt arbejde skal således begrænses til *det positive*, det vil sige det, som er givet og observerbart. Auguste Comte mener, at det er muligt at foretage den rationelle forudsigelse, kaldet "prévision rationelle", ved at opstille generelle love for kendte observationer. Han fremlægger altså en filosofi, som afslører, at via erfaring om det der *er*, gøres det muligt at forudsige det, der vil *blive*. Med sådanne rationelle forudsigelser er det muligt at foretage indgreb i naturen og derved ændre den (Skjervheim, 2010).

I den moderne videnskabsteori har positivismen fået navnet *logisk positivisme*. Denne variant opstod i 1920'erne med Wienerkredsen, som bestod af en række filosoffer og videnskabsmænd, hvis mål var at formulere et grundlag for en streng videnskabelig udforskning af verden. Ifølge den logiske positivisme var idealet en objektiv videnskab med matematik og fysik som forbillede, og som byggede på logik og empiri. Således skulle alle videnskabelige problemer løses gennem logisk analyse og/eller empirisk udforskning af verden. Ved en videnskabelig undersøgelse er der ifølge positivismen nogle idealer og metodiske retningslinjer, som gør sig gældende i den videnskabelige stræben efter objektivitet. Her er det første nøgleord *målbarhed*. For at opnå en nuanceret erkendelse af virkeligheden er det nødvendigt med en kvantificering af det objekt, der ligger til grund for undersøgelsen. Udgangspunktet er således at måle det, der kan måles. Det der ikke kan måles, skal derfor gøres målbart. Dette gøres ofte gennem en *analyse* af objektet, hvor det opsplittes i de mindste komponenter, som efterfølgende studeres nøje. Herefter er det muligt gennem *syntese* at se sammenhængen mellem de enkelte dele af objektet.

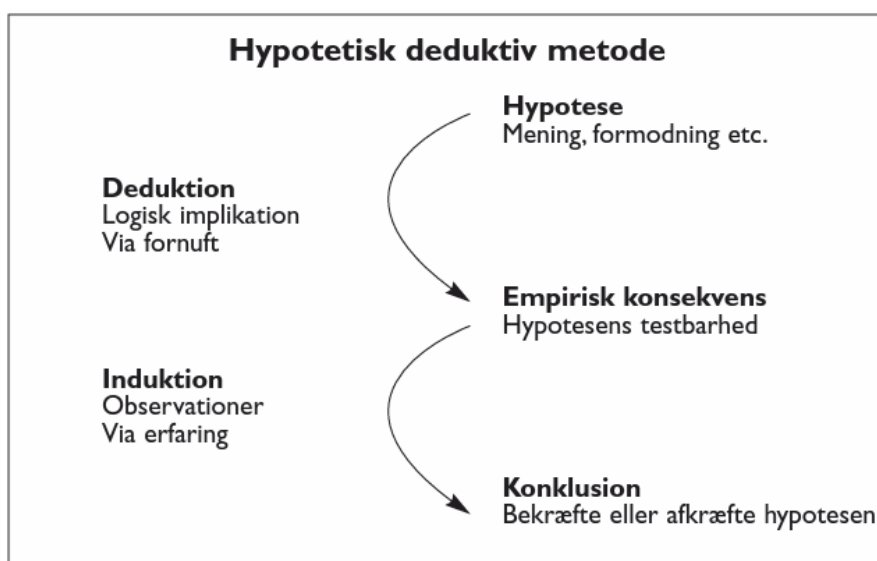
Det er imidlertid ikke nok for videnskaben blot at beskrive den umiddelbare tilsynekomst af objektet. Først gennem analysen kan der findes frem til den egentlige natur/virkelighed, som fungerer efter nøje afstemte matematiske love. Dette er grundlæggende for en mekanisk naturopfattelse, som netop søger at finde frem til de lovmæssigheder, der kendetegner ethvert naturobjekt. Det er derfor nødvendigt at vide, hvad der netop kendetegner disse lovmæssigheder. Naturen kan i den sammenhæng beskrives som en række tandhjul, hvor det ene tandhjul er årsag til, at et andet tandhjul drejer rundt og så videre. Der er altså tale om en årsagssammenhæng, et kausalt forhold, hvor målet er at finde den generelle årsag til det undersøgte fænomen. For endelig at opnå objektivitet på baggrund af det naturvidenskabeli-

ge ideal, skal resultatet kunne verificeres af andre forskere. Der opnås derfor kun objektivitet ved, at det videnskabelige resultat efterprøves gentagne gange, på forskellige tidspunkter, et andet sted og af andre personer (Birkler, 2005).

2.1.2 Rationalismens metodeidealer

Den deduktive metode tager udgangspunkt i hypoteser baseret på allerede eksisterende veldokumenteret teori. Der tages således udgangspunkt i noget alment gældende, som gennem deduktion gøres specifikt. Gennem indsamling af empiriske data undersøges det, om den opstillede hypotese kan verificeres. For at teste hypotesen udvælges en metode, hvorigennem der indsamles testdata. Det er derfor af vigtighed, at den empiri, der indsamles, er velbegrundet. Hvis resultatet af testen passer ind i en samlet forståelse, kan der ud fra hypotesen opstilles en lovmæssighed. Det er ikke muligt gennem den deduktive metode at komme frem til ny videnskabelig viden, men blot bekræfte allerede eksisterende viden ved at opstille og teste hypoteser. Dermed kan en hypotese betragtes som pålidelig ved at se på dens grad af bekræftelse. Den deduktive begrundelsesform bygger således på en logisk slutning af noget målbart (Birkler, 2005).

Den mest anvendte metode inden for videnskaben er den hypotetisk deduktive metode. Denne metode opnår begrundelse via falsifikation. Første led i anvendelsen af denne metode består i at deducere sig frem til den empiriske konsekvens af den opstillede hypotese for således at gøre hypotesen testbar. Konsekvenserne kaldes empiriske, da det skal være muligt at erfare, hvorvidt hypotesen er sand eller falsk. Herefter kan den empiriske konsekvens efterprøves empirisk. Dette gøres gennem induktion, idet det induktivt kan observeres eller på anden måde erfares, om hypotesen er sand eller falsk (Birkler, 2005). Den hypotetisk deduktive metode ses skematisk opstillet i figur 4:



Figur 4: Den hypotetisk deduktive metode opstillet skematisk som en proces indeholdende både deduktion og induktion (Birkler, 2005, s. 74).

Som nævnt søger den hypotetisk deduktive metode begrundelse via falsifikation. Dermed er det ikke målet at finde frem til, om hypotesen er sand men derimod at undersøge, hvordan hypotesen kan være falsk. Begrundelsen herfor blev givet af en af videnskabens store skikkelser, Karl Popper (1902-1994). Der kan ud fra hans pointe gives følgende eksempel: Hvis det under flere aftenture kan observeres, at der er skyfrit ved fuldmåne, kan følgende hypotese opstilles: "Der er altid skyfrit ved fuldmåne". Hypotesen bekræftes, da det viser sig at være skyfrit, hver gang fuldmånen iagttages. Denne fremgangsmåde

er imidlertid forkert. Når der fokuseres på at verificere hypotesen, overses hypotesens falsificerbarhed. Havde fokus været at finde ud af, hvordan hypotesen kan være falsk, var resultatet selvfølgelig blevet, at der sagtens kan være fuldmåne, når det er overskyet, men at den her blot vil være skjult for øjet. Ved at falsificere hypoteser er det muligt at nå frem til stærkere teorier, da den i processen hele tiden vil blive udsat for tilbagevisninger. Den eneste måde hvormed det er muligt at lære af erfaringer er således gennem fejltagelser.

Popper hævder desuden at kunne løse induktionsproblemet ved at finde hypotesers falsificerbarhed. Induktionsproblemet siger, at det ikke er muligt, at skabe sikker viden gennem verifikation, da det ikke kan bevises, om den næste observation vil stride mod de foregående. Popper opløser problemet ved at sige, at det aldrig vil være muligt at løse dette problem. Dermed sagt, at det aldrig vil være muligt at verificere en hypotese. Den eneste vej til sikker viden er ved at forsøge at gøre hypotesen falsk (Birkler, 2005).

2.1.3 Fremtidsforskning

Ligesom i de nævnte metodeidealer fokuseres der også i fremtidsforskning på objektivitet. Metoderne i fremtidsforskning indeholder uden undtagelse kvantificering af den information, der skal vurderes, da det gør informationen målbar. Det er en forudsætning for, at informationen kan underlægges statistiske analyser og dermed give fornuftige resultater. Selvom fremtidsforskning i dag ikke eksisterer som en selvstændig videnskab, anvendes metoden af mange virksomheder og institutioner rundt om i verden, som jævnligt foretager forudsigelsesaktiviteter. Som eksempel kan nævnes metrologiske institutter, som forudsiger vejret hver dag eller virksomheder, som forsøger at forudsige markedets udvikling. Alle er de interesserede i at nå så tæt på virkeligheden som muligt (Knudsholt, 2008). Problemet er, at det ikke er muligt at falsificere forudsigelserne før de indtræffer, som netop, ifølge Popper, er målet for den hypotetisk deduktive metode. Dermed er det ikke muligt at konkludere, om en forudsigelse er sand, selvom den eventuelt sammenlignes med en lignende forudsigelse.

Professor ved Universitetet i Oslo Svein Sjøberg mener, at en sund videnskabelig teori også skal formå at forudsige nye fænomener ved virkeligheden. Derfor mener han, at naturvidenskab og fremtidsforskning har det til fælles, at disse retninger begge forsøger at tilnærme en potentiel udvikling under givne omstændigheder, det som Auguste Comte kalder for den rationelle forudsigelse (Knudsholt, 2008).

2.1.4 Anvendt videnskabssyn i projektet

Da resultaterne i dette projekt hviler på fremtidsforskning, er det ikke muligt at nå frem til et endeligt resultat, og deraf falsificere eller verificere hypotesen. Det er dog muligt at beskrive det historiske og nutidige naturfænomen og, på baggrund af den foreliggende empiri, at tilnærme sig en forudsigelse af det fremtidige scenarie. Dette gøres ud fra et henholdsvis empirisk og hypotetisk vidensgrundlag, hvor empiriske og rationalistiske metodeidealer forsøges kombineret. Herigennem er det målet på baggrund af generelle love at opstille nogle rationelle forudsigelser om det givne naturfænomen for derved at være i stand til at vurdere de ændringer af naturen, som skal foretages i fremtiden.

2.2 Videnskabelig metode

På baggrund af undersøgelsens videnskabssyn, beskrives de anvendte videnskabelige metoder i det følgende. Der skelnes mellem den naturgeografiske metode, som søger forståelse af et givent naturfænomen og de metoder, hvormed data indsamles og analyseres.

Naturgeografien beskæftiger sig med mennesket set i forhold til naturen og omverdenen. Ved at studere de naturlige processer, der skaber og påvirker landskabet, opnås der gennem projektet forståelse for de dele, som danner grundlag for menneskelig aktivitet.

Inden for naturvidenskaben anvendes der som oftest kvantitative metoder til indsamling og analyse af data. Her er det primære sigte at årsagsforklare de fænomener, der gøres til genstand for undersøgelsen. På den måde er det muligt at generalisere og dermed at forudsige lignende fænomener (Andersen, 2003). I dette projekt tages der udgangspunkt i eksisterende teori om et givent fænomen, som der deraf afledes en hypotese fra. Hypotesen er en påstand om faktiske forhold, og for at afprøve hypotesens holdbarhed, sammenlignes den med empiriske data. Dette kan forsigtigt kaldes "den videnskabelige metode" eller nærmere den hypotetisk deduktive metode (Andersen, 2003).

Der findes mange naturvidenskabelige metoder, som alle har til fælles systematisk at udføre og analysere observationer (Schmidt, 2007). I projektet arbejdes der trinvist på at analysere den historiske udvikling via den hypotetisk deduktive metode. Da det ikke er muligt at falsificere hypotesen anvendes induktion til at sandsynliggøre hypotesen, men denne bekræftes ikke. Den hypotetisk deduktive metode søger på baggrund af empiri at forklare den naturvidenskabelige problemstilling, for dermed at kunne tilnærme sig forudsigelser om fremtidige problemstillinger.

Problemformuleringen besvares altså gennem naturgeografiske metoder, med henblik på at give et indblik i de væsentligste faktorer, der har en effekt på de kystdynamiske processer ved Thyborøn. Der lægges vægt på at undersøge kystprofilens sandsynlige udvikling over en fremtidig hundred års periode, hvorefter det vurderes, hvorledes det er muligt at påvirke denne udvikling.

For at opnå viden inden for problemfeltet, bliver der med de nævnte naturgeografiske metoder indsamlet nødvendige data og empiri, som videre visualiseres og analyseres. I det følgende gennemgås de anvendte metoder til henholdsvis dataindsamling, visualisering og analyse.

2.2.1 Dataindsamling

Dataindsamlingen skal danne grundlag for begrundelsen af den opstillede hypotese med henblik på at besvare denne. Betegnelsen *data* stammer fra det latinske begreb *datum*, som betyder "det givne" og anvendes til benævnelse af det råmateriale, som benyttes til videnskabelig analyse. Afhængig af formålet med dataene, kan der enten/både anvendes kvalitative eller kvantitative data (Andersen, 2003). I dette projekt indsamles kvantitative data i form af tal og kort til anvendelse ved udregning og senere analyse. Data i form af empiri anvendes ligeledes i projektet. *Empiri* er afledt af det græske ord *emperia*, der betyder "erfaring". Af dette gælder, at empiriske data også kan kaldes erfaringsbaserede observationer. Det er disse observationer, som hvis de er gjort af andre, kaldes sekundær empiri og modsat, hvis de gøres af forskeren selv, kaldes primær empiri (Andersen, 2003).

Empiri

For at opnå en almen viden inden for projektets problemfelt, indsamles sekundær empiri i form af faglitteratur og rapporter. Sekundær empiri skal i denne sammenhæng forstås som foreliggende observationer, som indsamles for at danne forståelse for problemstillingen for dernæst at kunne udforme en hypotese.

Den anvendte sekundære empiri er hovedsageligt indsamlet via Kystdirektoratets hjemmeside og IPCC. Hos Kystdirektoratet findes der blandt andet rapporter og artikler om kystsikring ved Vestkysten, som giver en generel forståelse for, hvad kystsikring er, og om det er tilstrækkeligt at kystfodre med de me-

toder, der anvendes i dag, når der i fremtiden skal tages højde for klimaændringerne. I rapporter fra IPCC er de forventede klimascenarier og deres mulige konsekvenser for verdens kyster beskrevet.

Data

Ved et ekspertinterview med Per Sørensen, teknisk chef for Kystdirektoratet i Lemvig, indsamles der viden om de kystdynamiske processer ved Thyborøn, hvorved der opnås en indsigt i de metoder, som anvendes til beregning af kysttilbagerykning ved Vestkysten. Her anbefales en bestemt rapport *Klimaændringers effekt på kysten*, hvori der findes formler for beregning af kysttilbagerykning. Disse formler vil i projektet anvendes til bestemmelse af kystprofillets tilbagerykning ved hævet havspejl og ekstrem højvande. Der skal ved beregningerne af kysttilbagerykningen derfor tages højde for den samlede vand-spejls hævnning, der kan forekomme ved Thyborøn som følge af klimaændringerne. De primære data for hævet havspejl ved Vestkysten indsamles fra DMI og data for ekstrem højvande indsamles fra Kystdirektoratet.

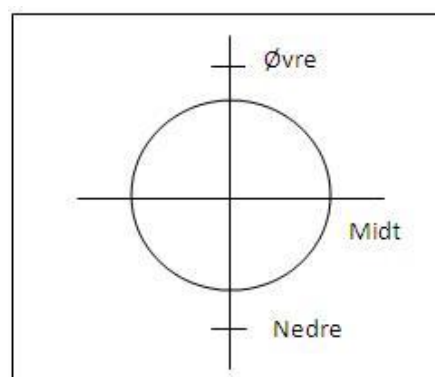
Hos Kystdirektoratet indsamles endvidere historiske kystprofiler for området, som giver viden om den historiske udvikling, der har været i kystprofilen for årene 1874, 1925, 1954, og år 2009. Denne viden suppleres med et tilhørende ortofoto fra Kort- og Matrikelstyrelsen, hvor ældre kystlinjer er optegnet. Dermed er det muligt at se en udvikling i kystlinjen over en hundred års periode.

For at kunne sammenligne de historiske kystprofiler med det nuværende kystprofil, foretages der ved feltarbejde opmåling af kystprofilen ved hjælp af et nivelleringsinstrument. Formålet med profilopmålingen er at opnå indsigt i de feltmetoder, som ligger til grund for produktion af data. Der ønskes at foretage en sammenligning mellem det opmålte kystprofil og de historiske profilopmålinger, for at få indsigt i de variationer data kan indeholde. Grundet ressourcemæssige årsager, er det ikke muligt, at foretage profilopmåling i vandet og dermed kan kystprofillets udvikling ikke sammenlignes med de historiske som ønsket.

Opmåling af kystprofil

En del af den aktive kystprofil fra klittop til vandkant opmåles på stranden ved Thyborøn. Profilet opmåles i en linje vinkelret på kystlinjen med et nivelleringsinstrument. Nivelleringen kræver en forsøgsopstilling på stranden, hvor nivelleringsinstrumentet bringes i vatter og derefter opstilles mellem to pløkke. Gennem okularet på nivelleringsinstrumentet sigtes der vandret, som illustreret på figur 5:

Det er muligt at aflæse tre målinger henholdsvis en øvre, en i midten og en nedre. Højden aflæses på et lodret stadie, som anbringes ved hver pløk. For at tjekke nøjagtigheden af de aflæste værdier tages gennemsnittet af den øvre og den nedre måling. Derved fås den midterste aflæsning. Hvis målingen afviger mere end 5 mm fra gennemsnittet, er det nødvendigt at tage målingen om og dermed minimere fejlkilder (Pedersen, 2010). Dette er vigtigt, da afstanden fra nivelleringsinstrumentet til hvert målepunkt udregnes i decimeter ved at trække den nedre måling fra den øvre. I denne udregning kan 5 mm unøjagtighed i højden resultere i en 5 dm unøjagtighed i strandprofillets længde. For at kunne angive koordinaterne i forhold til DVR90 afstemmes de målte koter i forhold til den aktuelle vandstand på opmålingstidspunktet. Denne vandstand registreres af en vandstandsmåler i Thyborøn, hvorefter dataene kan findes hos DMI.



Figur 5: Aflæsning af stadiet i okularet.

Feltforsøget indebærer også udtagning af sedimentprøver langs kystprofilet med det formål at kunne beskrive kystens sedimentsammensætning. Der indsamles fire prøver fordelt langs kystprofilet, hvorefter disse tørres med henblik på at foretage en sigteanalyse. Med denne viden er det nemlig muligt at diskutere, hvilken betydning sedimentsammensætningen har for kysttyper, den langsgående transport og hvorledes sedimenterne aflejres eller eroderes.

De primære data, som indsamles i dette projekt anvendes i forbindelse med analysen med det formål at besvare problemformuleringen. For at kunne visualisere de indsamlede data foretages der en systematisering af både empirien og datene.

2.2.2 Visualisering

Visualiseringen af data er anvendelig til at opstille, udvælge og præcisere de data, som skal gøres til genstand for analysen. Ligeledes er metoden anvendelig til at fravælge de data, som ikke er nødvendige for besvarelse af problemformuleringen.

De indsamlede data, som skal anvendes ved beregning af kystprofilets tilbagerykning visualiseres i en tabel over anvendte data. Ved en sådan systematisering gøres dataene overskuelige og lettilgængelige. Ligeledes visualiseres den opmålte kystprofil ved Thyborøn i en graf, hvor højden på profilet kan aflæses som funktion af afstanden.

Den opmålte kystprofil sammenlignes med historiske kystprofiler. Derfor visualiseres disse i en grafisk tidsserie, hvormed det er let at sammenligne profilerne ved siden af hinanden. Yderligere visualiseres kystlinjens historiske udvikling ved hjælp af Geografisk Informationssystem (GIS), hvor forskellige kystlinjer indtegnes på et ortofoto over kysten i dag. Derved er det overskueligt at sammenligne udviklingen for de sidste 100 år.

2.2.3 Analyse

Analysen af kvantitative data og empiri foretages med det formål at finde relationer og sammenhænge mellem de visualiserede komponenter. Derfor opsplittes helheden op i enkeltdele, hvorved disses relationer til hinanden lettere kan undersøges (Andersen, 2003). Dette giver slutteligt mulighed for at opnå forståelse for det undersøgte problem set i sin helhed.

For at kunne analysere konsekvenserne for kystens udvikling, som følge af ændrede klimatiske forhold, udregnes tilbagerykningen af kysten ved brug af Bruuns regel for et ligevægtsprofil. Hermed opnås der viden om den potentielle tilbagerykning, som kystprofilet vil kunne få i henholdsvis år 2050 og 2100, hvis ikke kystens udvikling standses. For at opnå et geografisk overblik over kystudviklingen anvendes GIS til visualisering af den samlede havspejlsstigning i form af et hul-kort. Dette skal give et indblik i, hvor udbredte konsekvenserne af klimaændringerne vil kunne være for Harboøre Tange i fremtiden. Endvidere beregnes den sedimentvolumen, som vil forsvinde langs kysten på grund af erosion i de respektive årstal. Dette kan give en indikation af, hvor stort behovet for fremtidig kystfodring vil være på strækningen ud for Thyborøn.

2.3 Refleksioner over anvendte metoder

Da den hypotetisk deduktive metode i sin natur søger at forklare et givent fænomen, må det fremhæves, at metoden i dette projekt ikke anvendes til fulde. Her er målet at kunne forklare de kystdynamiske processer historisk set og deraf udlede logiske slutninger, som vil kunne resultere i en tilnærmet forudsigelse af en fremtidig kystudvikling. Det skal i den forbindelse nævnes, at der hos IPCC foreligger empiri, hvor forklaringerne til de globale klimaændringer er formuleret. Kildekritisk vurderes forklaringerne

valide, men der tages i projektet ikke stilling til, om der kan være andre forklaringer på, hvad klimaændringerne skyldes.

Projektet søger at besvare problemformuleringen ud fra en hypotese, hvor målet er at forstå de naturlige processer, der skaber og påvirker landskabet. Det er imidlertid ikke muligt at falsificere hypotesen, da der som sagt er tale om fremtidige forudsigelser, som først kan falsificeres, når hændelserne er indtruffet. Dog er det muligt via den positivistiske tilgang at opstille rationelle forudsigelser ud fra allerede eksisterende observationer og teori med det mål at nå så tæt på en sand forudsigelse som muligt under givne omstændigheder. Formuleringprocessen af hypotesen er i den hypotetisk deduktive metode nedtonet, da metoden mere lægger fokus på begrundelsen af hypotesen.

Der tages ved valg af metode højde for de ressourcer, der er til rådighed gennem projektforløbet. Derudover tages der hensyn til de tidsmæssige rammer, der er afsat for projektet. Dette resulterer blandt andet i, at det ved opmåling af kystprofilet ikke er muligt at medtage den del af kystprofilet, som ligger under vand. Hvis der havde været yderligere ressourcer til rådighed kunne den aktive del af profilet ud til 6 meters dybde opmåles ved hjælp af pejlebåde og avanceret GPS-udstyr, som det Kystdirektoratet i dag benytter til opmåling af kystprofiler. Kystdirektoratet er ligeledes i besiddelse af avancerede computermodeller, som kan beregne kysterosion med mange forskellige faktorer taget i betragtning.

Det er ved udarbejdelse af dette projekt ikke muligt at beregne komplekse tilfælde. Derimod er det muligt at forsimple virkeligheden og udregne kysttilbagegangen ved Thyborøn ud fra Bruuns regel. Da der ved Thyborøns kyst foregår en langsgående transport af sediment er anvendelsen af ligevægtsprofilet med det forbehold, at virkeligheden ser anderledes ud. Dette giver derfor visse fejlkilder. Dog kan det diskuteres, om disse fejlkilder vil have en væsentlig indvirkning på forudsigelsen af kysttilbagegangen.

3. De kystdynamiske processer

I det følgende afsnit gennemgås den nødvendige teori om kystdynamiske processer, som danner basis for analysen og den tilhørende diskussion. Som det første beskrives opdelingen af kystzoner, bølgenes dynamik og, hvorledes disse medvirker til kysterosion. Derefter beskrives transporten af erosionsmateriale langs en kyst. Videre beskrives vandstandsændringernes effekt på kysten, og der redegøres for udviklingen af et kystprofil i ligevægt. Her vil en simpel geometrisk model af kysttilbagerykning som følge af stigende vandstand blive præsenteret. Endeligt reflekteres der over den teoretiske models validitet, baseret på kritik fra forskellige forskere.

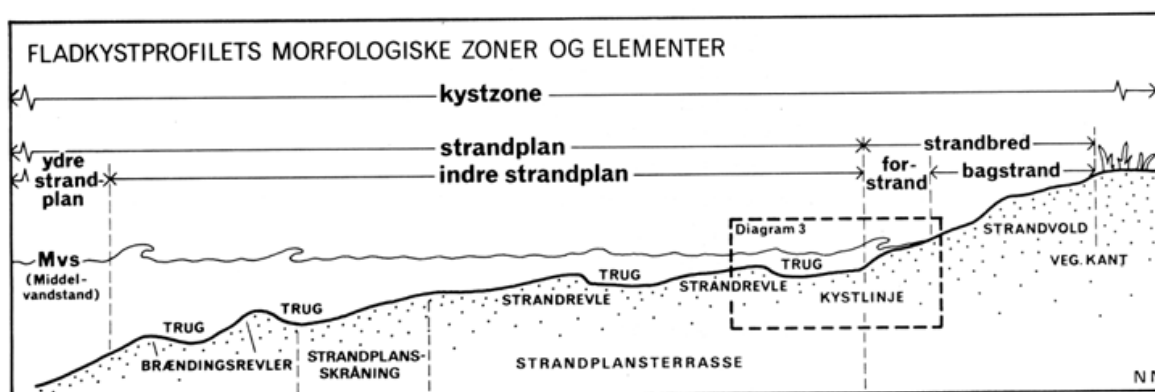
De følgende afsnit er inspireret af faglitteratur som *Kystmorforlogi* (1978) af Jørgen og Niels Nielsen og *Introducing physical geography* (2006) af Alan og Arthur Strahler til hjælp af beskrivelsen af bølger og deres igangsættelse af sedimenttransport i kystmiljøet. Figurerne er hentet fra disse to bøger samt fra Kystdirektoratets hjemmeside.

3.1 Kyst- og bølgezoner

Kystzonen er et dynamisk miljø, som konstant ændres af kystdynamiske processer. Bølger er en af disse dynamiske processer, der med en enorm kraft, er i stand til at nedbryde, transportere og aflejre sedimenter langs kystlinjen. Kystlinjens udformning er således et resultat af en række processer, der aldrig hører op. Erosion omfatter alle geologiske processer, hvor der sker en nedbrydning og en bortslibning af jordoverfladen. De geologiske kræfter, som forårsager en sådan erodering er rendende vand, som et vandløb, bølgeslag, vind og gletsjere. Erosion forekommer i høj grad ved kysten, der er under konstant påvirkning af især vand og vind. Erosionsprocessen, der foregår ved en kyst, skyldes en ubalance i forsyning og eksport af løs materiale fra en bestemt kystprofil. Ved erosion langs kysten foregår der en slibning af materiale på kysten, når bølgerne slår frem og tilbage. Kysterosion findes hovedsageligt på steder, hvor der er stærk vind, høje bølger, højt tidevand og kraftige strømforhold.

Kystmorfologien har som funktion at beskrive de processer, der finder sted i det område, eller den kystzone, som påvirkes af marine kræfter. Da der sker forskellige processer i hele området, opdeles kysten i forskellige zoner, så det vides, hvilke områder på kysten, der er tale om.

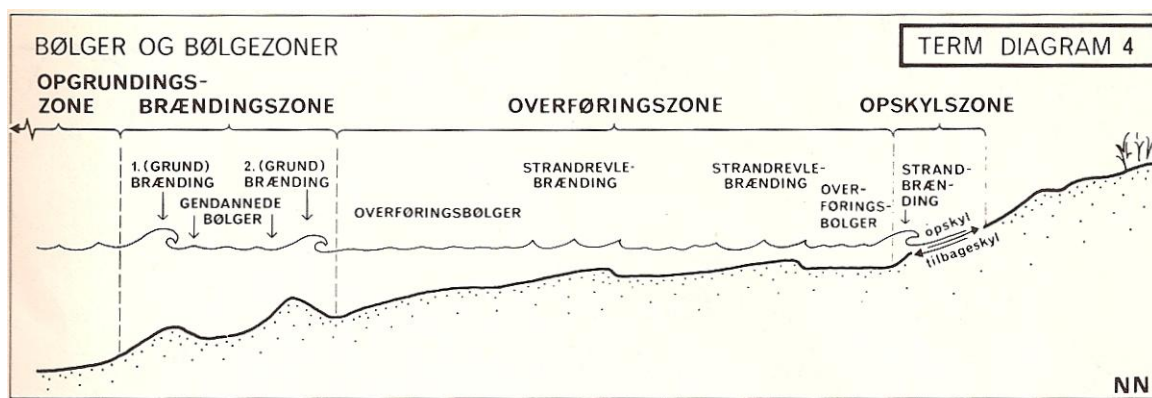
Det kan være svært at definere kystzonen, men en simpel definition er; stedet hvor hav møder land. Kystzonernes udformning er afhængig af, hvilken kysttype der er tale om. Kysterne kan inddeles i to hovedkysttyper, henholdsvis en stejlkyst og en fladkyst afhængig af, hvor stejlt de møder havet, og hvilket materiale de består af. De fleste kyster langs Vestkysten er fladkyster, som er kendetegnet ved at det geologiske udgangsprofil er fladt. Kysten består af en forstrand, en bagstrand med eller uden en strandvold og et strandplan med flere revler, som det ses på figur 6. Denne type kyst er meget dynamisk, da den konstant er under forandring. Er der roligt vejr transporteres sandet mod land og aflejres på strandplanet, hvorved kysten bygges bredere. Er der storm, vil strandbredden blive eroderet, og materialet vil føres udad og videre opbygge revler længere ude i havet. En undertype af fladkysten er en strandvoldskyst. Denne type kyst er karakteriseret ved, at strandvolden indeholder ral og sten, som er dannet af aflejringer af grove sedimenter fra bølgerne, der befinder sig mellem brændingszonen og klitten (Nielsen & Nielsen, 1978). Den følgende figur viser de forskellige zoner for en fladkystprofil:



Figur 6: Figuren viser de forskellige termer for en fladkystprofil (Nielsen & Nielsen, 1978).

Kystzonen starter med strandplanet, hvor der findes et indre og ydre plan. Det ydre strandplan starter længst ude i kystzonen, hvor bølgerne rammer havbunden og ender, hvor den ydre brændingsrevle starter. Disse revler består af ophobet sand, som ligger parallelt med kysten, hvor det indre strandplan starter. Her deles planet i strandplansskråning og strandplansterrasse. Strandplansskråningen ligger længere søværts end strandplansterrassen, med en skråning på 4-6 %. Strandplansterrassen er længere kystværst, og har en skråning på 1-2 %. I dette område findes der strandrevler med en asymmetrisk form. Mellem hver strandrevle findes der sænkninger som kaldes trug. Efter det sidste trug, slutter strandplanet, og forstranden begynder. Denne grænse kaldes kystlinjen, og skråningen bliver her stejle-re. Videre kommer bagstranden, som kun påvirkes af bølger ved storm eller højt tidevand. Der kan derfor forekomme en beskeden bevoksning på bagstranden. Bagstranden og forstranden kaldes tilsammen for strandbredden. Bagstranden er en strandvold der findes i to varianter; sandstrandvold eller en rullestenstrandvold. Som navnerne tilsiger, er en sandstrandvold hovedsagligt opbygget af sand, mens en rullestenstrandvold er opbygget af grove sedimenter som ral og sten (Nielsen & Nielsen, 1978).

Da bølgerne strækker sig over forskellige zoner, er det nødvendigt at forklare disse bølgezoner.



Figur 7: Figuren viser de forskellige termer, der findes i bølgezonen (Nielsen & Nielsen, 1978).

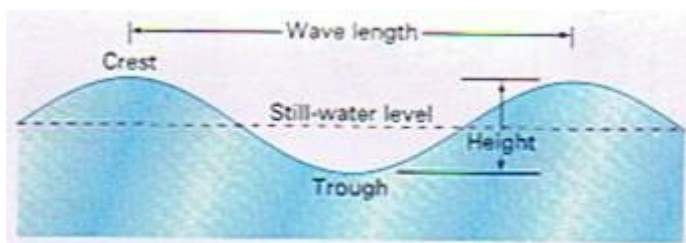
Længst fra kysten starter opgrundingszonen, hvor bølgerne for første gang påvirkes af havbunden. Dette er en dynamisk zone, hvor bølgernes størrelse varierer. Næste zone er brændingszonen, hvor den første revlebrænding starter. Det er i dette område, bølgerne bryder som følge af den stigende havbund. Her opstår grundbrændingen, som er brænding af bølger på lavt vand. Når bølgerne brydes, bevæger de sig videre ind i overføringszonen som er området fra grundbrændingen til strandbrændingen. Her kaldes bølgerne overføringsbølger, hvor vandpartiklerne i bølgerne kun forskydes i bølgeformens for-

plantningsretning. I overføringszonen dannes strandrevlebrændingen. Dette er en sekundær brænding over en strandrevle. Zonen, der vanddækkes og tørlægges af opskyl og tilbageskyl, kaldes opskylzonen (Nielsen & Nielsen, 1978).

3.2 Bølgens karakter og funktion ved kysten

Den styrende kraft, der former kysten, er som tidligere nævnt bølger i bevægelse. Energien i bølger flytter sedimentpartikler og vand, når bølgerne slår ind mod opskylzonen. Bølgerne, der ruller ind mod land, eroderer kystlinjens materiale, hvorved der skabes en tilbagerykkingskyst, hvor kystlinjen flytter sig mod land. Kystformernes udviklingsforløb styres af forholdet mellem strandplanets gradient og bølgerne, som påvirker kysten forskelligt. En bestemt bølgeparameter vil ændre strandplanets gradient og samtidig vil den ændrede gradient have indvirkning på bølgenes parametre. Dermed ændres de bølge-dannede strømme i hastighed og retning. Videre kan dette skabe forandringer i vandstanden, hvormed bølge- og strømforholdene igen ændres. Men for at forstå bølgens påvirkning på kysten, er det først og fremmest nødvendigt at forklare bølgens parametre og karakter, som det simpelt er illustreret i figur 8:

Bølger er et kendt fænomen, der regelmæssigt bevæger et objekt opad og nedad på vandoverfladen. Bølger har en bølgedal og en bølgetop, hvor bølgehøjden er den vertikale længde mellem bølgetop og -dal. Bølgelængde er den horisontale længde mellem to bølgetoppe eller to bølgedale. Bølgen flytter sig i en retning forover, hvor en bølgeperiode er tiden i sekunder, det tager en bølgetop eller bølgedal



Figur 8: Bølgeterminologi der viser bølgetop (eng. crest), bølgedal (eng. trough), bølgelængde (eng. wave length) og bølgehøjde (eng. height) (Strahler & Strahler, 2006).

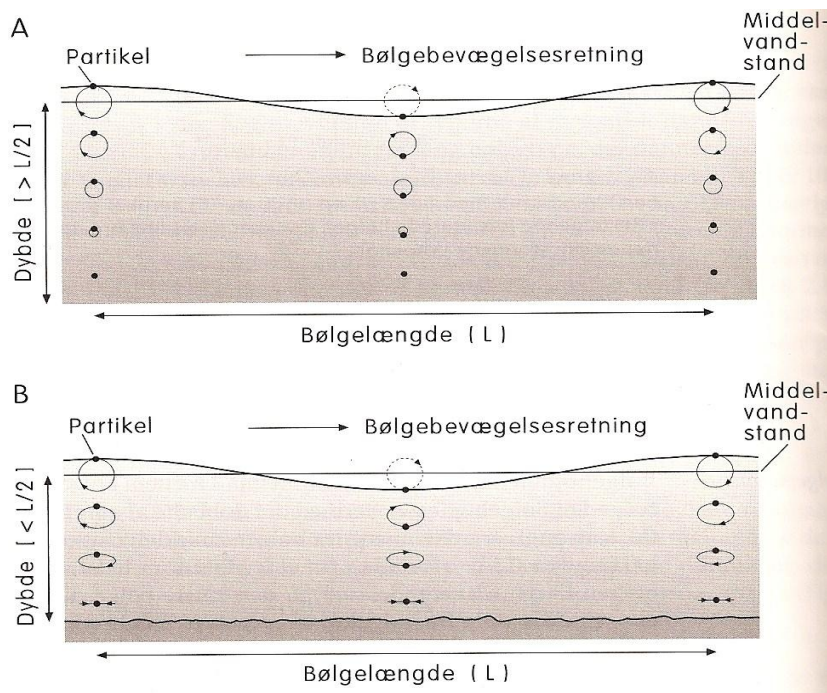
at passerer samme sted. Havets bølger skabes af vind, der overfører energi fra atmosfæren til havoverfladen med en mekanisme, der involverer både friktion af luftens bevægelse på havoverfladen og direkte tryk fra vinden på bølgerne. Bølgenes størrelse afhænger dels af vindens hastighed og varighed, men også af vanddybden. Det er således muligt at opdele bølgerne i to hovedtyper:

- Kapillarbølge; små, uregelmæssige bølger, der opstår, når en stillestående vandoverflade udsættes for en kortvarig vindpåvirkning. Hvis vinden stopper, aftager bølgebevægelsen.
- Tyngdebølge; fortsætter vinden med at blæse på kapillarbølgerne, omdannes bølgerne til tyngdebølger eller vindbølger. Dette er en langvarig bølge, der tager tid om at falde til ro.

Disse vindskabte bølger er eksempler på *svingende bølger* (eng. oscillatory waves) og ses illustreret på figur 9. Her ses bølgens bevægelse på henholdsvis dybt og lavt vand. På dybt vand vil denne type bølger få små vandpartikler til at fuldstændiggøre en vertikal cirkulær bane med en passage af hver bølgelængde. Partiklerne flytter sig forover for hver bølgetop, nedover når bølgetoppen passerer, bagover i bølgedalen og opad, når næste bølgetop nærmer sig. Ved havoverfladen på dybt vand har banen den samme diameter, som bølgehøjden, men dybere nede aftager størrelsen af partikelbanen. Ved grundere vand er den dybeste partikelbane mindre end ved havoverfladen, men partikelbanen bliver her presset mere sammen på grund af bundfriktion. Dette fører til, at partikelbevægelsen bliver horisontal, hvilket medfører en ændring i bølgeformen.

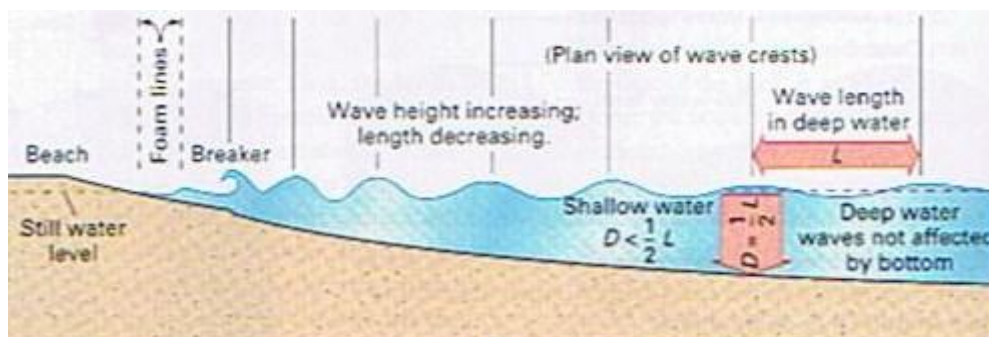
Partikelhastigheden i bølgedalen mindskes på grund af havbundsfriktion, mens hastigheden i bølgetoppen øges. Den forandres dermed til en asymmetrisk bølge, hvor vandpartiklernes hastighed i bølgetoppen bliver kortvarig, kraftig og kystværts (retning mod land), mens den i bølgedalen bliver længerevarende, svag og søværts (retning mod havet) (Nielsen & Nielsen, 1978).

Bølgens kraft, er afhængig af størrelsen og stejlheden på bølgen, hvor stærke bølger med stor bevægelse kan skylle store mængder af vand mod stranden. Denne proces skaber højere vandstande lokalt og frembringer lokale strømme af vand, der er på vej tilbage ud i havet.



Figur 9: Vandpartiklernes bane i en bølge på henholdsvis dybt og lavt vand (Lund-Hansen & Christiansen, 1994).

På figur 10 ses det, at bølgen ændres, når den er på vej mod kysten, da den her løber over en stigende havbund:



Figur 10: Bølgens udvikling fra dybt til lavt vand. Dybvandsbølger har ingen effekt på bunden, men da bølgen nærmer sig grundtvand, hvor dyden er mindre end bølgens bølgelængde opstår der friktion mellem bølge og bund. Dette fører til en stigning af bølgehøjden og en mindskning i bølgelængden. Til sidst vil bølgehøjden nå et punkt, hvor bølgen vil bryde (Strahler & Strahler, 2006).

Når dybden er mindre end den halve bølgelængde, rammer bølgen bunden og reguleres til mere sammenhængende bølger. Bølgetoppene indsnævres, mens bølgedalene bliver bredere. Under bølgetoppene vil der dannes en kortvarig indgående og kraftig strøm, mens det modsatte vil ske under bølgedalene. Energien i bølgen vil blive mere koncentreret på grund af den korte bølgelængde. Forholdet mellem bølgens højde og bølgens stejlhed vil øges, mens noget af energien samtidig vil gå tabt ved friktionen mod bunden. Udviklingen af en asymmetrisk bølge er væsentlig for sedimenttransporten. Uden denne udvikling ville strandene ikke eksistere, da der ikke ville være nogle mekanismer, der kunne transportere sand og grus til kysten (Masselink, 2008). Endelig vil bølgen nå en ustabilitet ved, at den bliver for stejl, idet bølgetoppen bevæger sig fremover, og vil til sidst bryde. Når bølgen brydes skabes en kraftig strøm, der forårsager en bevægelse af sand og grus ind mod land. Når denne kraft har skyllet vandet

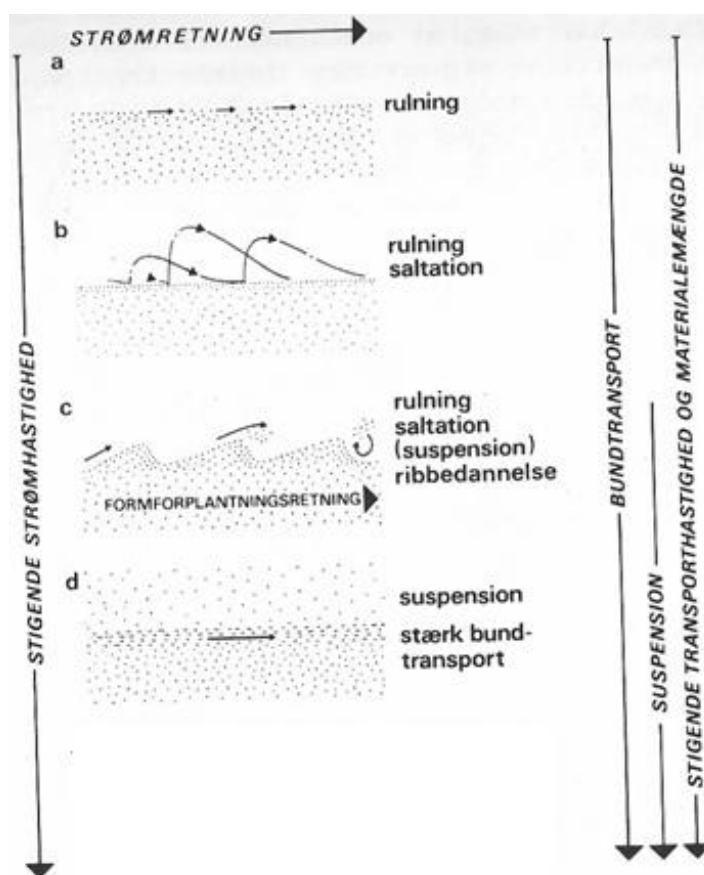
mod hældningen på stranden, vil en tilbagestrømning trække sand og grus med sig ud i havet og starte erosionsprocessen langs kystlinjen. Kraften af flere ton havvand, der bevæger sig op og ned ad stranden, er i stand til at flytte enorme mængder sedimenter fra kystlinjen. Således skabes der en erosion, hvor kystlinjen trækker sig tilbage mod land. Under disse forhold er det typisk for en kyst at danne bratte skråninger under havoverfladen.

3.3 Erosionsprocessen - materialets igangsættelse

I Danmark indeholder materialerne på strandene for det meste aflejringer af glacial- og glaciofluvial oprindelse. Dette er aflejringer, der blev dannet under istiden under en gletsjer, samt aflejringer der blev dannet af smeltevand fra gletsjere. Materialet på en strand igangsættes, når strømningens hastighed skaber en friktion mod sedimentpartiklernes øverste dele. Graden af friktionen er afhængig af bundens ruhed, som afhænger af sedimenternes kornstørrelse. Der sker en forskydningsspænding, en tangential kraft, der opstår ved friktion mellem to legemer, hvor friktionen mellem strømmen og bunden påvirker de enkelte sedimentkorn. Hvis forskydningsspændingen overstiger kræfterne, der holder kornene på plads, sættes kornene i bevægelse. Der skal en vis strømhastighed til for at sætte kornene i bevægelse, og den kaldes den *kritiske erosionshastighed*, og aftager med kornets størrelse. Den følgende figur viser, hvordan sedimenter igangsættes ved hjælp af strømninger under vandet.

Den første kornbevægelse vil være en rulning i et tilfældigt mønster på grund af den turbulente strømhastighed. Dette ses i 11a. Efterhånden som strømhastigheden stiger, vil der ske en *saltation*, som betyder, at sedimentpartiklerne udfører en hoppende eller en springende bevægelse fra havbunden. Denne transport, der indeholder rulning og saltation, kaldes *bundtransport*, og er afbilledet i figur 11b. Årsagen til den turbulente strøm er, at der opstår en trykforskel mellem strømmen og bunden, som fører til en dannelse af hvirvler. Endvidere sker der en dannelse af *ribber*, som følge af den turbulente strøm. Da bølgerne flytter materialet frem og tilbage, får ribberne en symmetrisk form. Hvis hastigheden øges, kan enkelte korn blive drevet højt op mod vandoverfladen, hvor de vil flyde i længere tid. Dermed er sedimentpartiklerne bragt i *suspension*, 11d. Hvis strømhastigheden bliver for stor, vil ribberne gå i opløsning og hele "bunden" vil være i bevægelse. Da vil en stor mængde af materialet være i suspension nærmere bunden, så det vil være umuligt at se den

klare grænse mellem vand og bund. Det sker sjældent, at vandpartiklerne, i det marine miljø når den hastighed, der kræves, for at få sedimentpartiklerne i suspension. Suspension af materialet i det marine miljø skabes i bølgernes brændingsområde, som videre danner store turbulente strømme. Transporten af materialet fra ribberne samt bølgebrændingen, der danner suspension, er af stor betydning for



Figur 11: Schematisk fremstilling af materialets igangsættelse under stigende strømhastigheder (Nielsen & Nielsen, 1978).

strandplanets samlede materialetransport. Dette gør, at de relativt svage bølgestrømme kan transportere det allerede igangsatte materiale.

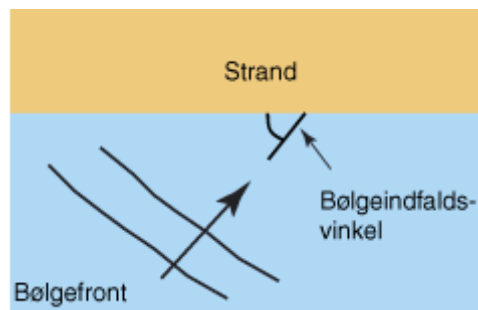
Sedimenter inddeles i forskellige kornstørrelser: sten, ral, grus, sand, silt og ler. Kornstørrelser og deres fordelinger er interessante at studere, da der er en sammenhæng mellem vandets energiindhold og den kornstørrelse, der kan sættes i bevægelse. Vandets energiindhold omfatter i denne sammenhæng både den hastighed, vandet strømmer med men også overfladebølger, der påvirker havbunden i mere lavvandede områder. Ved at foretage en kornstørrelsesanalyse, er det muligt at sige noget om vandets energiindhold, som sedimentet er aflejret under. Et højt energiindhold i vandet er i stand til at bevæge grovere sedimenter, da det finkornede materiale, silt og ler, føres bort af strømmen, mens lavt energiindhold giver finkornede sedimentaflejringer. En kornstørrelsesanalyse viser også, om området er udsat for erosion eller sedimentation. I en prøve, hvor grove sedimenter dominerer, kan dette karakteriseres som et område under erosion. Viser en prøve dominans af finkornede sedimenter, kan dette karakteriseres som et område med sedimentation. Kornstørrelser er altså en faktor, som har indvirkning på transport af sediment langs en kyst (Nielsen & Nielsen, 1978).

3.4 Langsgående materialetransport

I overføringszonen (jf. figur 7) mister bølgen energi, når den brydes, hvor overførelsen af energi danner strømme langs kysten og dermed sedimenttransport. Disse kystnære strømme er i stand til at transportere store mængder sedimenter. Materialet, som transporteres af bølgerne langs kystlinjen og stranden, kaldes *strand drift* (eng. beach drift). Samtidig sker der en transport af sedimenter uden for kysten, hvor bølgestrømme går parallelt med kysten i overføringszonen. Disse strømme kaldes *bølgestrømme* (eng. longshore current) og dannes, når en bølge nærmer sig kystlinjen med en vinkel forskellig fra 90 grader. Bølgestrømmenes intensitet er afhængig af energiniveauet i bølgen og vinklen, som bølgen rammer med. Vinden har også en effekt på bølgestrømmene, som kan blive relativt stærke, når vinden blæser med stiv kuling i samme retning som bølgestrømmene. Derfor opstår de stærkeste strømme under storm. Når vind og bølger har gunstige forhold, kan bølgestrømme bære sand langs havbunden. Denne proces kaldes *langkyst drift* (eng. longshore drift).

Strand drift, som er en bevægelse af sandpartikler langs kystlinjen og langkyst drift, som er en bevægelse af sandpartikler uden for kysten, samarbejder om at flytte partikler i samme retning som en given pålandsvind. Denne samlede proces kaldes *langsgående materialetransport* og er forårsaget af en kystparallel strøm. Denne proces sker såfremt bølgernes indfaldsvinkel er forskellig fra vinkelret på kystlinjen, se figur 12 (Strahler & Strahler, 2006).

For at den langsgående materialetransport kan finde sted, må tre faktorer være gældende. For det første skal der være en bølgestrøm. Den er til for at materialet kan bevæge sig parallelt med kysten. For det andet skal der være bølger, som kan ændre bølgefronten, når de løber ind på lavt vand. Bølgefronterne rammer stranden med en skæv indfaldsvinkel. Den sidste gældende faktor er, at strandplanet skal være svagt hældende.

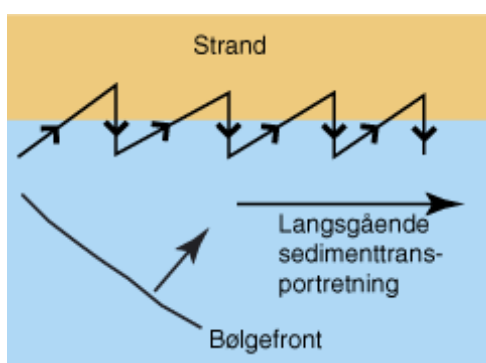


Figur 12: Figuren viser bølgens indfaldsvinkel, når den nærmer sig kysten (Kystdirektortatet, 2010).

Denne kystparallelle transport af sedimenter sker hovedsagelig i to zoner;

- Opskylszonen
- Brændingszonen på det indre strandplan

Sedimenttransporten i opskylszonen er, som før nævnt, strand drift. Den finder sted, hvor bølgerne falder skævt ind på kysten. Materialet følger bølgerens indfaldsvinkel op på stranden, hvor tilbageskyllet trækker sedimenterne ud i havet vinkelret fra kysten. Der dannes en siksak bevægelse fra op- og tilbageskyllet, som flytter sedimenterne længere op langs kysten. Når tilbageskyllet møder det næste opskyl, sker der et energitab, der giver udslag i en turbulens, som endvidere fører materialet i suspension. Vandmassen bliver løftet og føres op ad forstranden ved hjælp af opskyllet, der til sidst vil aftage og videre aflejre materialet på forstranden. Tilbageskyllet trækker sig ned langs gradienten, som er vinkelret på kystlinjen. Her vil nogle sedimenter følge med tilbage til strandbrændingen, men blive placeret i en forskudt position i forhold til udgangspunktet, som det er visualiseret i figur 13.



Figur 13: Figuren viser bevægelsen af sedimenter langs kysten med bølgestrømmen og med stranddriften (Kystdirektortatet , 2010).

Materialetransport på det indre strandplan, sker i overføringszonen. Transporten her er forårsaget af en kombination af ensrettede bølgestrømme og skiftende bevægelser af vandpartiklerne under bølgens forplantning. Sedimenterne bringes i suspension på grund af den turbulente overføringsbølge, (jf. figur 7 om bølgezoner). Når sedimenterne falder mod bunden, bliver de flyttet søværts, men samtidig i bølgestrømmens retning. Nogle sedimenter når ikke at falde til bunden, før en ny bølgetop flytter sedimenterne kystværst igen. Denne dynamiske transportproces gør, at de fine sedimenter flytter sig i spiralformede baner langs kysten. Mens de grovere sedimenter, der ikke kommer i suspension, vil rulle langs kysten i en siksak bevægelse.

Som det ses på figur 13 kommer bølgefronten skråt ind på kysten. Denne proces kaldes bølgerrefraktion og forårsager en bøjning af bølgefronterne. Processen opstår ved, at den del af bølgefronten, der befinder sig på lavt vand, bevæger sig langsomt i forhold til den del af bølgen, der er på dybere vand. Derved bremses bølgefronten på den mindste vanddybde stærkest. Gradvist sker der en udvikling af bølgen, hvor den omorganiserer sig således, at den bliver parallel med bundens konturer. Bølgerrefraktion skaber en serie af bølger mod kystlinjen med en relativ lille vinkel mellem bølgefronten og forstranden, uafhængig af vindretning. Der sker altså en afbøjning af bølgefronten. Bølgerrefraktion er en vigtig proces for kystens formudvikling, der netop finder sted, når bølgen når ind på lavt vand.

Samlet set kan den langsgående materialetransport transportere så store mængder sedimenter, at processen kan have en væsentlig effekt på kystens morfologi og kystlinjens udvikling.

3.5 Vandstandsændringer

Vandstanden i havet varierer dag for dag. Disse variationer er styret af flere faktorer, blandt andet tidevandet, der påvirker vandstanden dagligt. En anden faktor, der forårsager vandstandsændringer er storm. I forbindelse med en kraftig storm, vil vandstanden stige på grund af kraftige bølger. Begge disse faktorer spiller en rolle i forhold til tilbagerykningen af kysten.

For at forstå begrebet vandstandsændring er det nødvendigt at kaste et kort blik på landets geologiske udvikling. Fra overgangen mellem de seneste istider Saale og Weichsel og den nuværende varmeperiode

de Postglaciale tider, har Danmark gennemgået markante landskabsmæssige forandringer. I takt med, at isen smeltede bort, forekom der en såkaldt *eustatisk havspejlsstigning*, som følge af smeltevand. Samtidig hævede landet sig i takt med, at isen forsvandt, da trykket lettedes fra fastlandet. Denne proces kaldes *isostatisk landhævning*, og er i modsætning til eustatisk havspejlsstigning en langsom proces, fordi det tager lang tid for landmasser at tilpasse sig ændrede belastningsforhold. Summen af isostasi og eustasi giver altså den relative havspejlsstigning. Vandstandssændringer i havet er altså bestemt af forholdet mellem de eustatiske- og de isostatisk processer, som forløber uafhængigt af hinanden og med forskellige hastigheder (Brøndum, 2006).

3.5.1 Meteorologiske trykforskelle og vindstuvning

I atmosfæren skabes vind når et højtryk bevæger sig mod et lavtryksområde. Herved dannes kraftige vinde, som er med til at ændre vandstanden. Der sker altså en ændring i vandstanden som følge af meteorologiske trykforskelle. Havniveauet vil stige med cirka 1 cm, når trykket falder 1 hPa. Grunden er at vandet udvider sig under lavt tryk. Gennemsnitlig er lufttrykket på 1013 hPa, mens lufttrykket i stormvejr kan falde fra 970 til 980 hPa, hvilket kan øge vandstanden med 0,3 til 0,4 m.

En anden faktor, der får vandstanden til at stige under storm, er vindstuvning. Når vinden blæser over en vandoverflade, skaber den en stigning i vandstanden i den ene side, og lav vandstand på den anden side af vandområdet. Dette sker, da der skabes en friktion mod vandoverfladen, der gør at vinden "skubber" vandet foran sig og ind mod kysten. Når vandet bremses af kysten, stiger vandstanden, når vinden støver vandet op langs stranden. Blæser vinden langvarigt med en konstant hastighed og retning fortsætter stuvningen, indtil havoverfladen opnår en gradient, hvor tyngdekraftens påvirkning af den hævede vandmasse modsvares af vindtrykket. Det vil resultere i, at bølgenes vedvarende transport af vand ved vandoverfladen vil kompenseres af udadgående bundstrøm efter, at en ligevægtsgradient er indstillet.

Vindstuvningen kan forstærkes, hvis der samtidig er meteorologisk trykforskel. Her vil fænomenet være størst i de områder, hvor vanddybden er lavest, da vandet vil få problemer med at trække sig tilbage til havet (Kystdirektoratet, 2010).

Ved Vestkysten vil vandstanden stige, når der er stormflod, da den dominerende vindretning er vestlig vind. Det skal dermed forstås, at vindstuvningsfænomenet og de meteorologiske trykforskelle er kortvarige vandstandsændringer.

3.6 Ligevægtsprofil

Materialetransport vinkelret på kysten medfører en sortering af strandplanets sedimenter, og derfor forekommer kystens udseende forskelligt afhængigt af årstiderne. Som tidligere nævnt, kaldes dette strand drift. Det var den italienske kysttekniker P. Cornaglias, som i 1887 fremlagde denne teori, der kaldes *neutralinje-hypotesen*.

Når en bølge bevæger sig fra dybere til lavere vand, går den fra at være en symmetrisk bølge til at blive en asymmetrisk bølge. Vandpartikelhastigheden går fra at være svag og langvarig til hurtig og kortvarig. Nærmere kystlinjen øges hældningen på strandplanet, hvilket er årsagen til øget tyngdeacceleration, som sammen med vandpartikelhastigheden påvirker sedimentpartiklerne. På grund af hældningen, som skaber større tyngdekraft, reduceres den indgående kraft, mens den udgående bliver større. Hastigheden for den søværts bevægelse af sedimentpartiklen vil være større, end hastigheden for den kystværts bevægelse. Dette er også afhængigt af sedimentpartiklens størrelse og dermed igangsætningshastighed. Er igangsætningshastigheden relativt større, vil den kystværts bevægelse være større

af en sedimentpartikel på denne størrelse. Der findes ligeledes sedimentpartikler, der bevæger sig lige meget kystværts som søværts, og dermed er nettobevægelsen lig med nul. Dette kaldes *kornstørrelsens neutrallinje*. Jo større bølgeasymmetrien er, jo tættere på kysten ligger neutrallinjen. Sandkorn, der ligger kystværts for sin neutrallinje, bliver transporteret ind mod land, som følge af den øgende bølgeasymmetri. Modsat vil sandkornet, der ligger søværts for neutrallinjen, transporteres væk fra land (Nielsen & Nielsen, 1978).

3.6.1 Den teoretiske ligevægtslinje

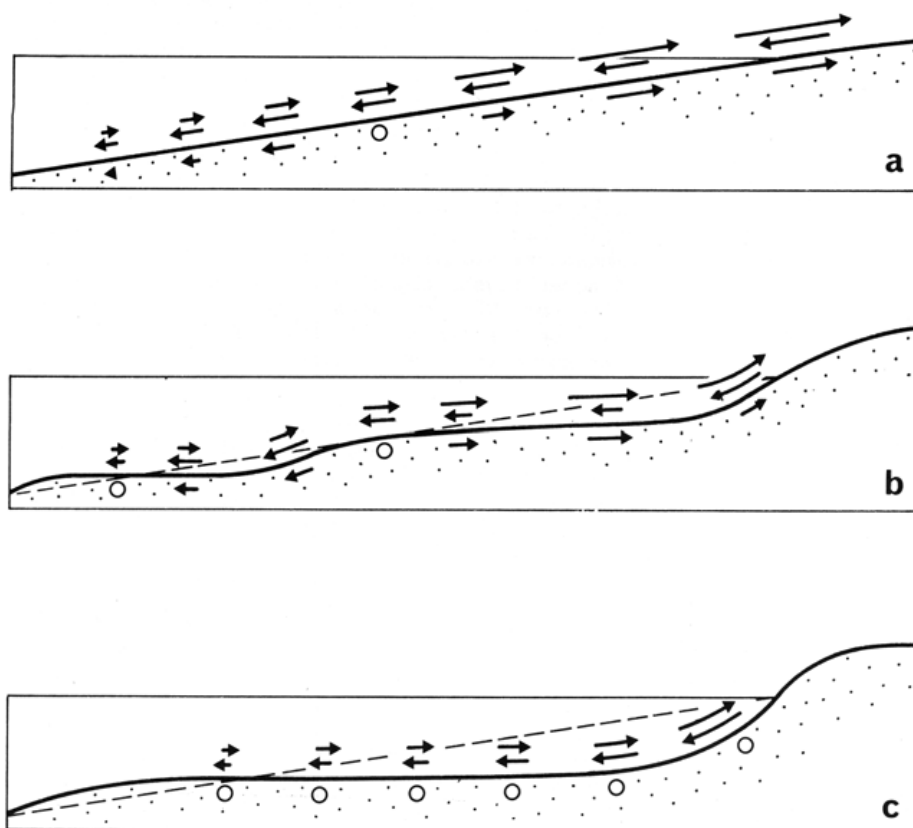
Teorien om neutrallinjen har videre dannet grundlag for den forenklede, teoretiske *ligevægtsprofil*. Der er visse forudsætninger der skal opfyldes for, at et ligevægtsprofil kan opstå;

- En ensrettet bølgepåvirkning, som er konstant med hensyn til bølgehøjde, -længde og -periode
- Forplantningsretningen for bølgen er vinkelret på kysten
- Konstant hældning på strandplanet
- Samme kornstørrelse, der ikke bringes i suspension
- Ikke foregå brænding
- Konstant vandstand

Ligevægtsprofilet er en teoretisk profil, der ikke forekommer naturligt, da forudsætningerne aldrig kan opfyldes i naturen.

På følgende figur vises strandplanets hældning, hvor størstedelen er under vand, og sedimentpartiklernes bevægelsesretning. Den rette linje der skal forestille strandplanet, kaldes *initialhældningen*. På figur 14a, viser pilene over havbunden de forskellige størrelser og retninger på sedimenterne. Pilene viser forskellige længder, hvor de længste pile har størst bevægelse. Pilene under havbunden viser den resulterende bevægelse på sandkornene. Midt på profilet kan der ses to pile med samme størrelse. Her bevæger sedimenterne sig lige meget kystværst som søværts, så den resulterende bevægelse er lig med nul. Dette er dermed neutrallinjen. Det kan ses på figur 14a, at sedimentpartiklerne bevæger sig mindre, jo længere søværts de befinder sig, på grund af den mindre asymmetriske bølge (Nielsen & Nielsen, 1978).

På figur 14b ses udviklingen efter en vis tid. Her er der blevet dannet to neutrallinjer, da nettobevægelsen af sedimenterne er lig med nul. Samtidig er der sket en forandring i profilets udseende, hvor bevægelseshastigheden nu har dannet indbuede bakker. Erosionen forårsager de forskellige gradienter, der er anderledes end den originale initialhældning. Sedimenterne, der er fjernet, er aflejret på bunden eller over vandkanten, da kraften i bølgerne var for lille til at igangsætte kornstørrelserne. Til venstre for det oprindelige neutralpunkt, er der opstået en større hældning. Dermed øges den udgående materialetransport på grund af tyngdekraften. Der sker en større erosion på strandplanet, hvor der til sidst vil være en nettobevægelse af materialet lig med nul, overalt. En ligevægtsprofil er dannet, se figur 14c:



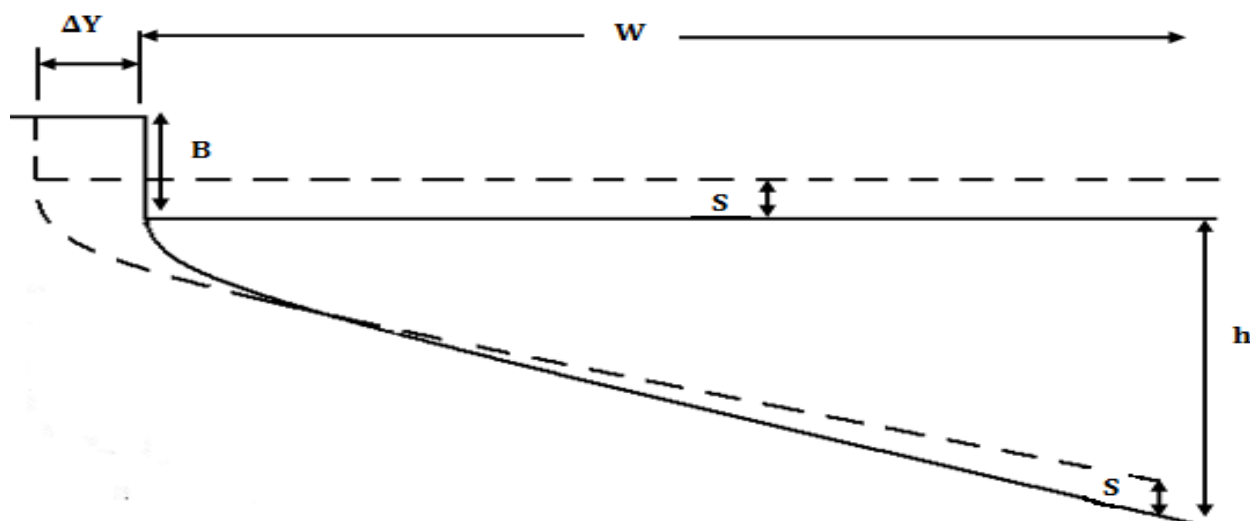
Figur 14: Ændringer af teoretisk kystprofil. Profilet går fra at være en initialhældning, til en ligevægtsprofil (Nielsen & Nielsen, 1978).

Om initialhældningen er lille, flad eller stejl, vil ligevægtsprofilet altid udformes lige, men kystlinjen vil forskydes. Er gradienten stejl, vil neutralpunktet ligge tæt på land. Resultatet vil være en tilbagerykkende kystlinje. Er gradienten flad, ligger det oprindelige neutralpunkt langt fra kystlinjen, og resultatet vil være som figur 14b, fra neutralpunktet til land.

På baggrund af ovenstående er det muligt at opstille en enkel, teoretisk formel som følge af kystrespons på grund af en øget vandstand.

3.6.2 Bruuns regel

Der findes en sammenhæng mellem stigende vandstand og øget tilbagerykning af kysten. En forøgelse af vandstanden vil skabe erosion af kysten, og en øgning i kysttilbagerykning. Denne sammenhæng gælder for et kystprofil, der er i ligevægt. Det vil sige, at den langsgående sedimenttransport er lig med nul. Der findes en formel til at beregne denne tilbagerykning på et ligevægtsprofil, som kaldes *Bruuns regel* og er illustreret i figur 15:



Figur 15: Definitionsskitse af kysttilbagerykning ved øget vandstand. Den hele linje repræsenterer det nuværende kystprofil i ligevægt, mens den stiplede linje repræsenterer det nye ligevægtsprofil, der bliver dannet.

Tilbagerykningen (Δy) findes som:

$$\Delta y = -S \times \left(\frac{W}{h+B} \right)$$

Hvor

Δy er den tilbagerykning der sker

S er den samlede havspejlsstigning

W er søværts længdens grænse for den nuværende profil

B er højden fra klittop til vandkant

h er dybden for det nuværende profil, kaldet "afslutningsdybde" (eng. closure depth)

Som det ses på figur 15, vil en given vandstandsstigning medføre en tilsvarende kysthævning. Materialet, der eroderes fra strand og klit, vil blive transporteret og aflejret langs strandplanet under vandet, hvor størstedelen aflejres søværts. Dette gør, at der vil forekomme en tilbagerykning (Dean, 1991).

I 1962 fremlagde den danske ingeniør Per Bruun denne teori. Hans arbejde bestod blandt andet i at analysere danske og amerikanske kystprofiler. Teorien blev udviklet for at beskrive de processer, der sker ved en kyst med bløde sedimenter, som sand og silt, når vandstanden stiger. Bruuns teori fortæller, at når et ligevægtsprofil er udviklet, sker der en kystværts flytning af strandprofilet, da den øverste del af profilet eroderes væk. Materialet, som eroderes fra det øverste strandprofil, har det samme volumen som materialet, der aflejres på bunden, ikke langt fra kysten (Dean, 1991). Dette kan ses på figur 15. Materialet holdes inden for et sedimenthegn, som befinder sig på en dybde, hvor flytningen af sediment stopper. Denne dybde, "Afslutningsdybden" (h), kan variere afhængig af lokalitet. Afslutningsdybden er baseret på en antagelse om, at sandtransporten ved kysten kun foregår med bølger, og at sediment hegn holder materialet inden for grænsen, således at der ikke mistes noget materiale under aflejringen.

Stigningen på bunden, som er et resultat af det aflejrede materiale, er lig med stigningen på den nye vandstand. Der vil derfor altid være den samme vanddybde i det område. Som følge deraf, vil der dannes et nyt ligevægtsprofil, som er lig med det gamle profil. Forskellen er, at kysten her trækker sig mere mod land.

Som tidligere nævnt forekommer ligevægtsprofilet ikke i naturen. Ligevægtsprofilet af en kyst er en central teori til rationelle planlægninger af ingeniørarbejde inden for kystforvaltning og anvendes også til at forklare de kystnære processer. Ved hjælp af denne teori er det muligt for kystforvaltningen at beregne den fremtidige erosion, der vil skabe en tilbagerykning af kysten, for dermed at kunne bestemme den passende metode til at beskytte kysten.

Da formlen ikke tager højde for den langsgående transport, gøres det klart, at dette er en relativt forsimplet model. Formlen beregner ofte en mindre tilbagerykning af kysten, end der kan måles i virkeligheden. Inden for kystforvaltningen anvendes modellen stadig, men anvendelsen af mere avancerede computerbaserede modeller tages mere i brug, da disse også tager hensyn til den langsgående sedimenttransport.

3.6.3 Kritik af Bruuns teori

Bruuns regel er en simpel model, og derfor er der stor diskussion blandt forskere om Bruuns formel er valid. Forskeren Maurice Schwartz foretog et laboratorieforsøg og et feltforsøg for at teste reglens validitet. I feltforsøget, blev variationer mellem maksimal og minimalt tidevand benyttet som en kortsigtet model af vandstandsstigning på to forskellige kystprofiler i USA. I laboratorieforsøget blev der benyttet en bølgesimulator, som blev koordineret med kystens opmålinger. Kombinationen af felt- og laboratoriedata opstillet af Schwartz, kunne endeligt bekræfte Bruuns forudsigelse af øgt erosion som følge af stigende vandstand.

To forskere ved navn J. A. G. Cooper og O. H. Pilkey skrev i år 2004 en artikel, der kritiserede Bruuns teori. De sagde, at Bruuns regel ingen forudsætning har for at forudsige kystprofilets udvikling under en stigende vandstand. Disse to forskere hævder, at antagelserne for at reglen kan opfyldes er for restriktive til, at de eksisterer i naturen. At reglen undgår mange vigtige variabler og den er afhængig af udgående og fejlagtige forhold. Antagelsen om, at den langsgående materialetransport er lig med nul, er et eksempel på en restriktiv antagelse, som sjældent findes ved en kyst. Videre kritiserer forskerne antagelsen om, at det kun er bølger, der transporterer sedimenter samt den "lukkende dybde" (eng. closure depth). Senere forskning viser, at der findes strømme langs bunden, der flytter sedimenter. Disse strømme, kan dannes ved tidevand og storm. Bølgestrømmene og tidevandsstrømmene har en effekt på sedimenttransporten. I følge teorien om sedimenthegnet, der ligger på havbunden, kan hegnet ikke stoppe sedimenter i at komme inden for eller uden for dette område, da der ikke antages at være sten til stede. Her har strømmene, der findes på bunden, en virkning på flytningen af sedimenterne både kystværts og søværts. Specielt viser senere forskning, at under storm trænger bølgerne dybere, og flytter dermed sedimenterne længere søværts fra den "lukkende dybde" (Cooper, 2004).

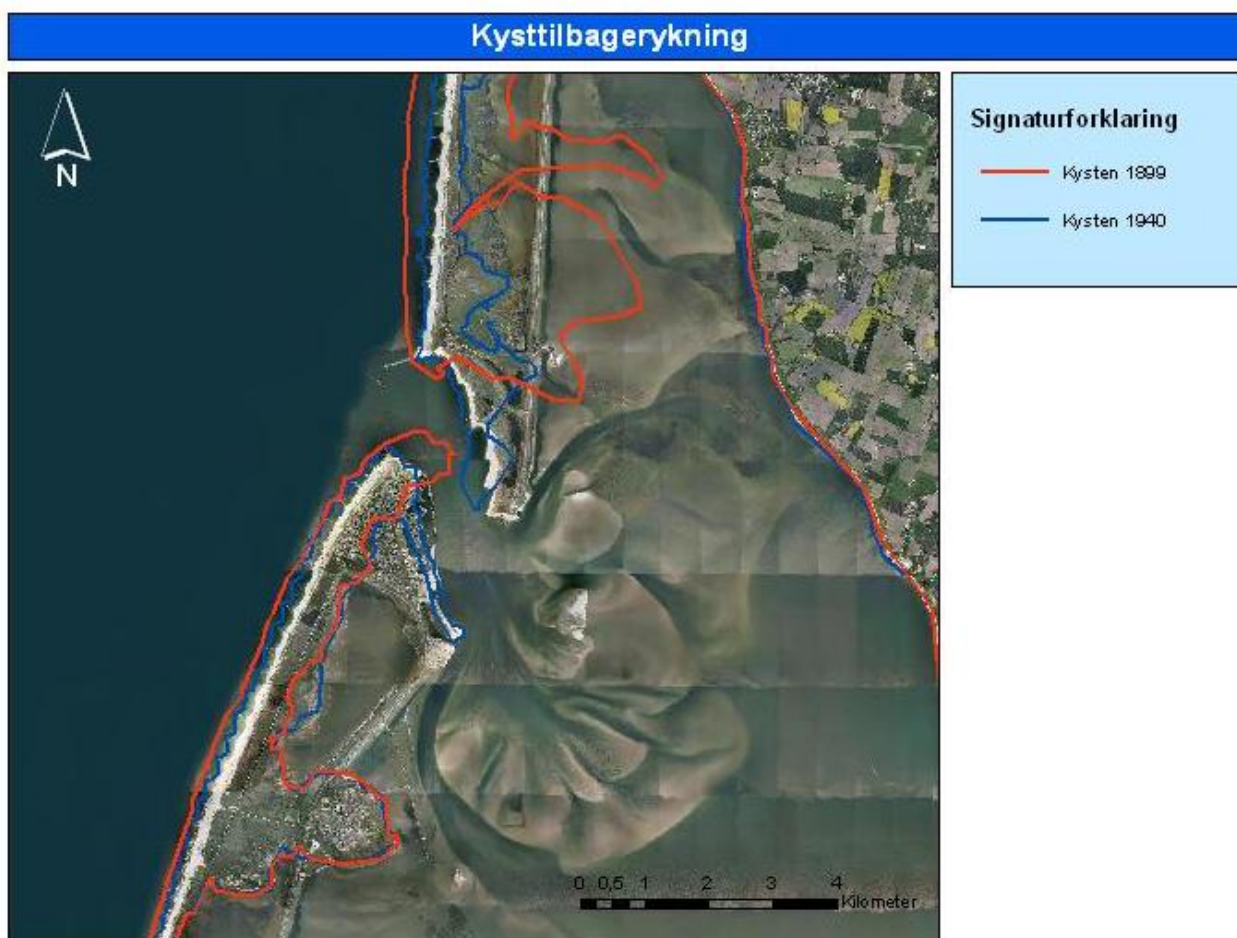
Flere forskere har vist, at Bruuns regel ikke er den mest præcise metode til beregning af kysttilbage-rykning. Til trods for dette, fortsætter anvendelsen af reglen i et udbredt omfang.

4. Klimaændringernes effekt på kysten

Følgende afsnit er en analyse og gennemgang af de faktorer, der har betydning for udviklingen af kysten ved Thyborøn. Som det første analyseres kystlinjens historiske udvikling. Med udgangspunkt i feltundersøgelsen, foretaget på stranden syd for Thyborøn sammenholdes det nuværende kystprofil efterfølgende med tidligere kystprofiler, for dermed at kunne se udviklingen af kysten. Der redegøres ligeledes for sedimentsammensætningen på stranden og dennes betydning for de processer, der påvirker stranden. Efterfølgende opstilles beregningerne af de fremtidige ændringer af kystprofilet, hvortil Bruuns regel anvendes. Ligeledes beregnes sedimentvolumen for den strækning der eroderes. Slutteligt præsenteres resultatet, hvortil der følger en visualisering af kystprofilændringerne for henholdsvis nu, år 2050 og år 2100.

4.1 Analyse af historisk kystudvikling

Kystlinjen, som strækker sig fra Thyborøn og sydover til Bovbjerg, har frem til slutningen af 1800-tallet, hvor de første høfder blev anlagt, været udsat for megen erosion. Den dramatiske udvikling af kysten er et resultat af den førromtalte langsgående sedimenttransport. Høfderne samt sandfodring, der foretages langs kysten, er i dag medvirkende til at bremse erosionen af kysten. På figur 16, ses den markante udvikling af kysten ved Thyborøn:

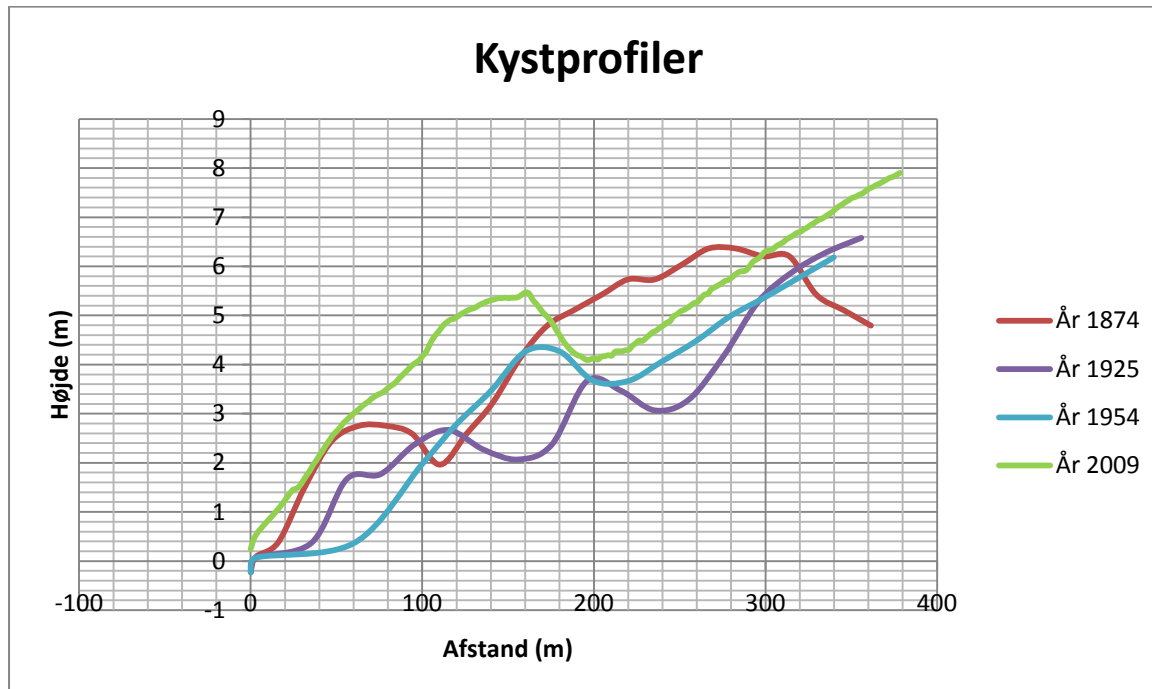


Figur 16: Ortofoto af tangerne, samt optegnet kystlinje for hhv. år 1899 og år 1940 (Copyright, Kort & Matrikelstyrelsen G 24-98).

På figuren ses tilbagerykningen af kysten ved Harboøre Tange og Agger Tange. De to optegninger viser henholdsvis kystlinjen i år 1899 og år 1940, mens ortofotoet er fra år 2008 og repræsenterer den nuværende kyst.

På billedet ses altså en markant tilbagerykning af kysten inden for de sidste 200 år. Den røde kystlinje for år 1899 viser en større og mere åben kanal mellem tangerne. Samtidig viser den røde optegning også bredere tanger og et mere synligt landområde inde i Limfjorden. Optegning for år 1940 (blå streg) viser en tilbagerykning af kysten, men også væsentlig smallere tanger end kysten fra år 1899. Yderligere ses det, at det synlige landområde fra år 1899, nu er oversvømmet. Kanalåbningen har ændret form ved at blive mere aflang, idet der sker aflejring af sedimenter på fjordsiden af tangen. Dette ses af, at den blå optegning, på begge sider af kanalen, er blevet mere aflange og løber ind i Limfjorden. Af ortofotoet fra år 2008 ses det forholdsvist nye udseende af tangerne. Kysten rykker stadig længere tilbage i forhold til de to optegnede kystlinjer. Agger Tange er ikke nær så eroderet, som det ses af kystoptegningen fra år 1940, men der sker stadig en tilbagerykning af kysten. Åbningen mellem tangerne er til stadighed voksende, og har altså ændret sig fra at være et gennembrud fra en stormflod til at blive en lang og snoet kanal ind i Limfjorden. Samtidig ses det tydeligt på ortofotoet, hvordan sedimenterne aflejres inde i fjorden. Dette kan også være en af grundene til, at Harboøre Tange ser ud til at være vokset.

Ved at sammenligne kystprofilen fra i dag med tidligere opmålinger, er det muligt at visualisere kystens udvikling og dermed forudse den fremtidige udvikling. Her sammenlignes der med profilopmålinger foretaget i henholdsvis år 1874, 1925, 1954 og år 2009. På figur 17 er der vist en række kystprofiler, der ligeledes vidner om en dynamisk kyst under konstant forandring:



Figur 17: Kystprofilens udvikling fra år 1874 til år 2009.

Af kystprofilerne fremgår det, at især sandet har været påvirket af stor bevægelse. Da profilet ikke fortæller noget om, hvor land og hav mødes, men kun højde og afstand af et profil, antages det, at jo tættere profilet ligger på højden 0, jo længere vil havet trække sig op mod land. Efter bruddet på tangerne i

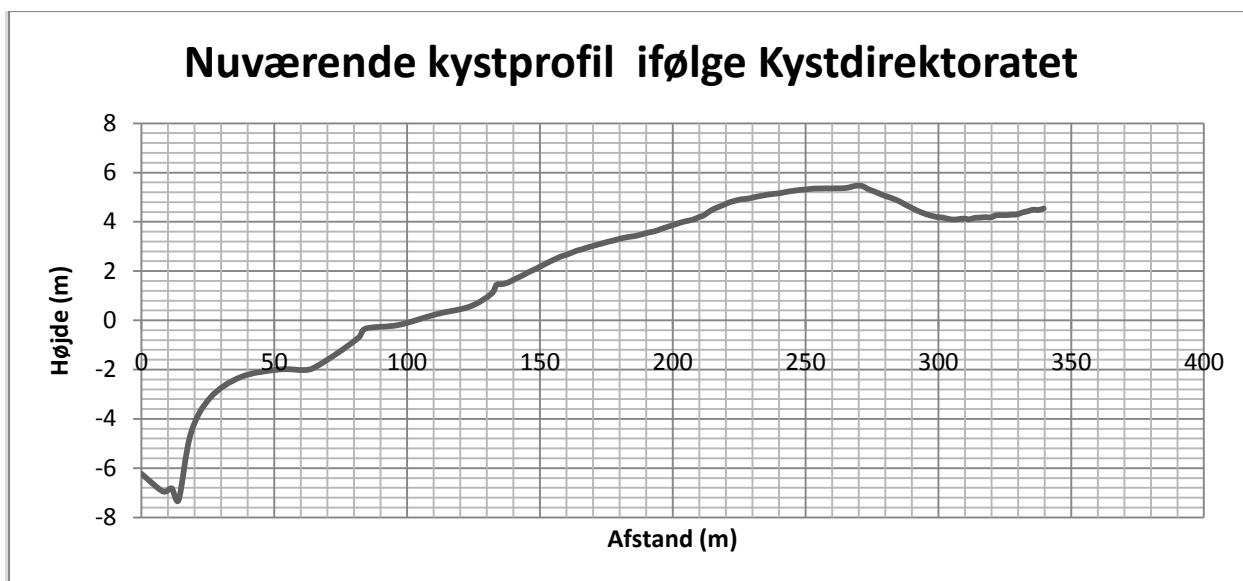
1862 blev kysten udsat for tilbagemykning på grund af større erosion (Kystinspektoratet, 1999). Som følge af dette, kan det ses, at kystprofilen fra 1874 starter fladt og går over i en stejl klit. Herefter ses der af profilerne for år 1925 og 1954 en kraftig tilbagemykning, hvorimod kystprofilen 2009 viser en fremrykning af kysten. Her kan det antages at kystfodring siden 1970'erne har påvirket profilen.

Kystens udseende i dag er udelukkende et resultat af den omfattende kystsikring af strækningen. På grund af sandfodringen sker der ikke en tilbagemykning af kysten, hvilket har skabt de brede sandstrande. I dag er kysten ved Thyborøn en typisk fladkyst bestående af et kystnært område, hvor bølgerne bryder, en sandstrand og en klitbarriere. Den svage hældning, som ses på billede 1 kendetegner ligeledes en fladkyst. Billedet viser en typisk strandvoldsfladkyst, som har områder med ral og sten, mellem brændingszonen og klitten, men domineres af finkornet sand. Det kan også ses på den svage hældning, at dette er en fladkyst. En fladkyst er netop en meget dynamisk kyst, da de tre områder er under konstant forandring på grund af vindens, vandstandens og bølgernes påvirkning. Billede 1 viser bagstranden som er en sandstrandvold, og den stejle klit, som begge viser tydelige spor efter vandets påvirkning. Sandstrandvolden er, som navnet tilsiger, en markant større mængde sand på volden end der er rullesten. I forhold til klittens afstand fra vandet er dette en strand, der oplever en stor vandstandsstigning ved højvande, som opstår under storm. Dermed yder klitten en stor beskyttelse for det bagvedliggende landområde.



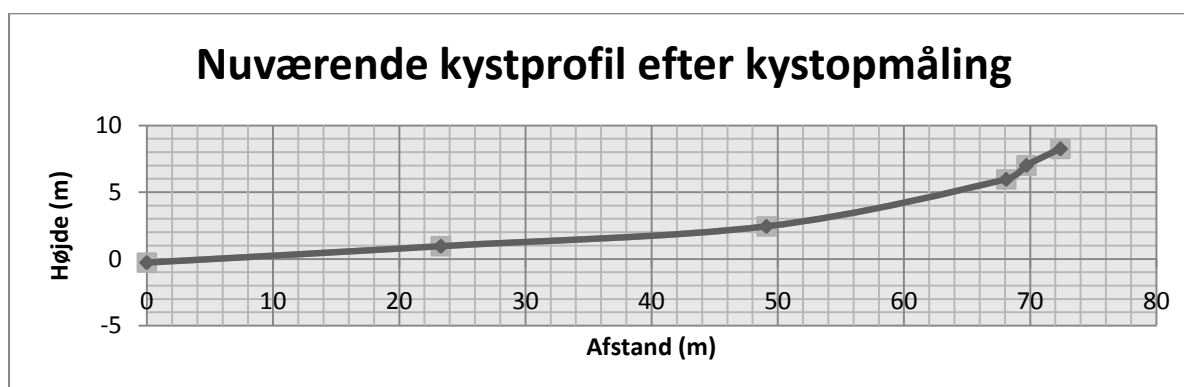
Billede 1: Kysten ved Thyborøn, som er en typisk fladkyst.

Selvom kystprofilen, som ses af billedet er en fladkyst, har den del af det aktive profil, som ligger under havets overflade en anden hældningsgradient som ses af det nuværende kystprofil:



Figur 18: Nuværende kystprofil ved Thyborøn opmålt af KDI ved hofde 50.

Dette er forårsaget af den langsgående transport, som for enden af hofderne fører sedimenter bort fra profilet. Dette medfører, at profilet med tiden bliver stejlere, og derfor har brug for kunstig sandtilførsel, for at opretholde ligevægt.



Figur 19: Kystprofil opmålt mellem hofde 49 og 50 ved Thyborøn på stranden syd for Thyborøn.

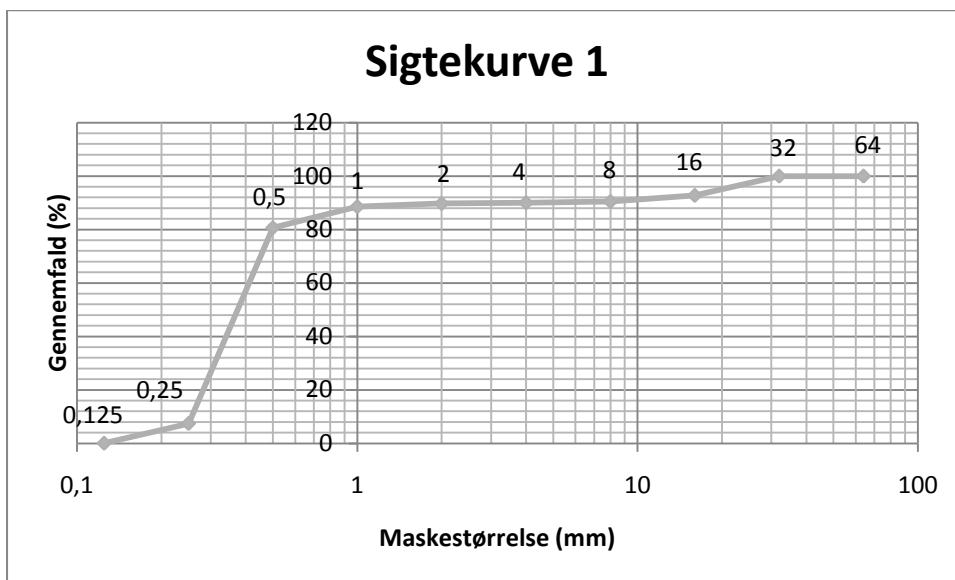
Profilet fra kystopmålingen er ikke opmålt ved samme tværsnit, som kystprofilet fra KDI. Dette fremgår af den markante forskel der er både mellem kystprofilernes længde og højde. Kystprofilet fra KDI anvendes til den videre analyse af kysttilbagerykningen, da dette profil omfatter et minimum af det aktive kystprofil, målt fra klittop til 6 meters dybde. For at forstå hvorledes et kystprofilet udvikles, beskrives sedimentsammensætningen i det følgende afsnit.

4.2 Sedimentsammensætningen på Thyborøn strand

For at beskrive sedimentaflejringerne langs kystprofilet er resultaterne af sedimentprøverne visualiseret i henholdsvis sigtekurver samt et diagram over fordelingen af kornstørrelserne for de fire prøver. For at kunne sammenligne prøverne fra kystprofilet er fordelingen af kornstørrelserne i hver prøve opsat i søjler. Således kan den procentvise fordeling af kornstørrelserne sammenlignes. Dette giver et samlet billede af kystens sedimentaflejringer og lægger senere i afsnittet op til en diskussion af de kystdynamiske processer, som forårsager variationen i sedimentaflejringerne.

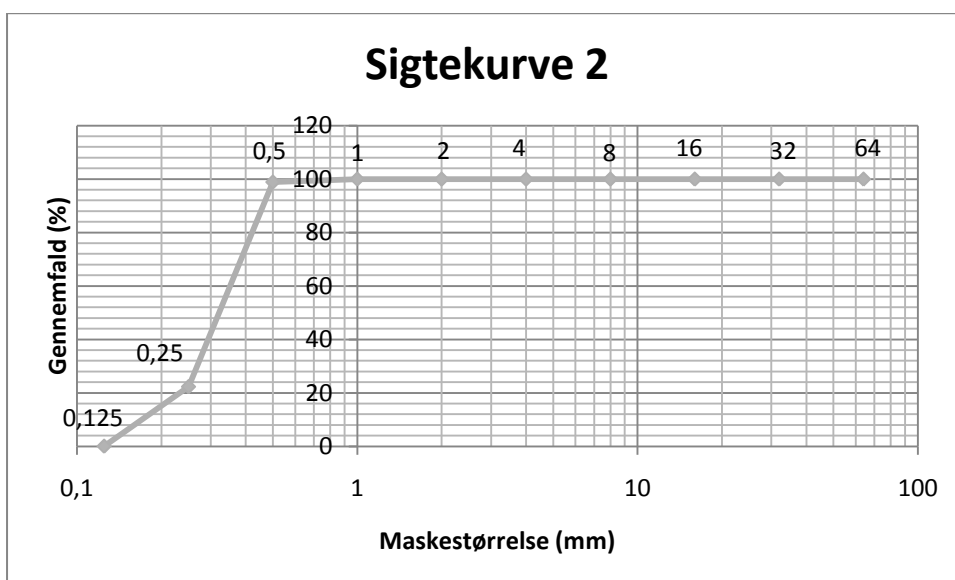
De fire prøver, som herunder behandles, er udvalgt, da de repræsenterer de tydeligste aflejningsbælter på kysten. Sigtekurverne viser gennemfaldsprocenten for hver prøve som funktion af maskestørrelserne målt i millimeter. Med disse opnås et indblik i prøvernes kornstørrelsessammensætning.

Prøve 1 er taget ved vandkanten, hvor bølgerne slår ind mod stranden. Prøven giver dermed et indblik i kornstørrelsessammensætningen i brændingen, hvor sedimentaflejringerne ændres konstant.



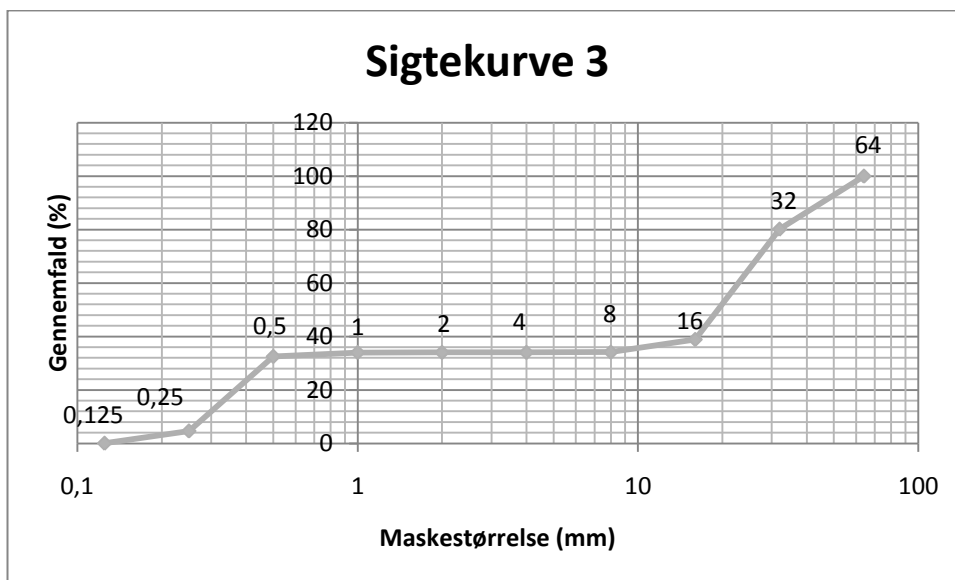
Figur 20: Sigtekurve for Prøve 1.

På figur 20 ses det procentvise gennemfald af sedimenterne i sigtestablen. For hvert punkt er der angivet maskestørrelse, og hvor mange procent af prøven, der er faldet igennem. Sigtekurven viser, at prøven indeholder en større del af fine kornstørrelser, da over 80 % af prøven er faldet gennem sigte 0,5. Den dominerende kornstørrelse er altså på 0,25 mm, hvor gennemfaldet kun er cirka 7 %.



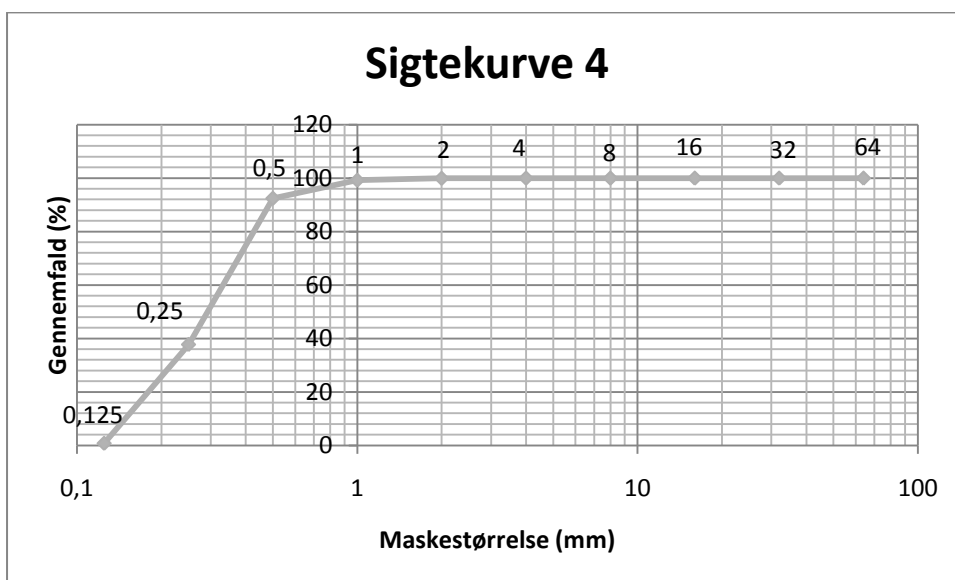
Figur 21: Sigtekurve for Prøve 2.

Prøve 2 er taget mellem vandkanten og et stenbælte langs stranden. For denne prøve viser sigtekurven, at prøven er af endnu finere sedimenter end Prøve 1. Da det største gennemfald sker ved maskestørrelserne fra 0,5 til 64 mm. Hele 22 % af prøven falder gennem maskestørrelsen på 0,25 mm.



Figur 22: Sigtekurve for Prøve 3.

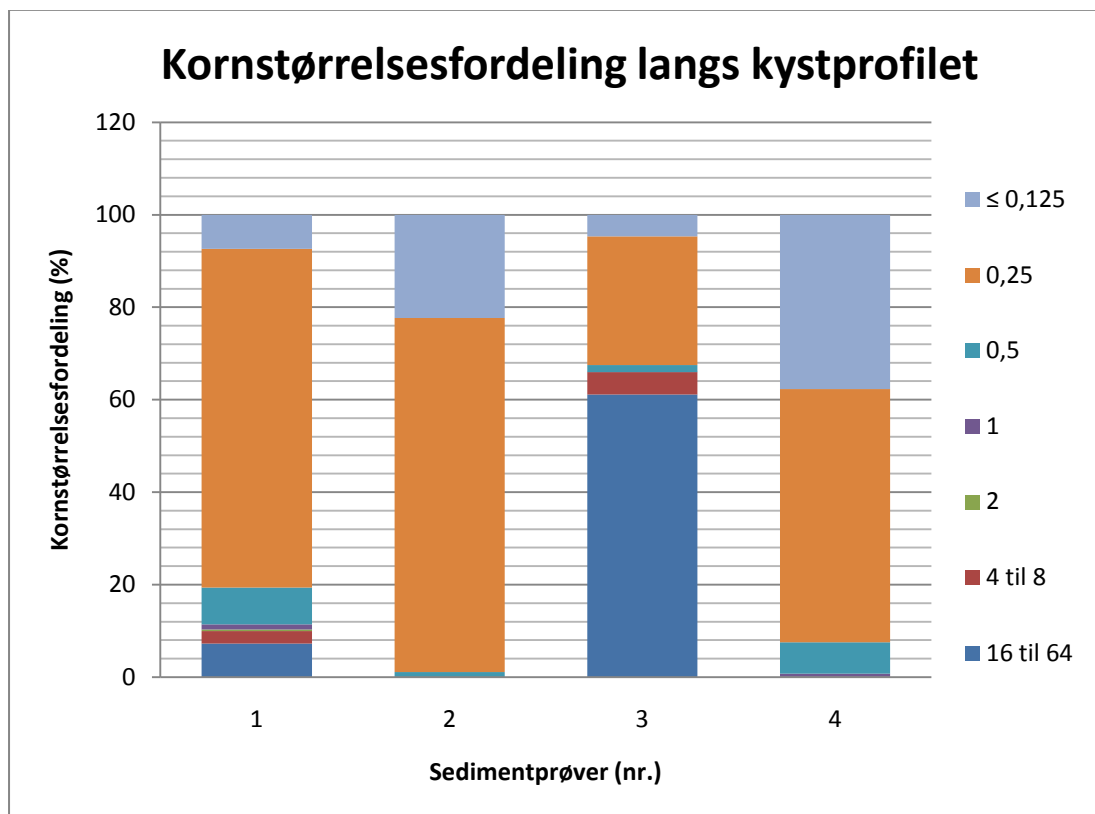
Prøve 3 er taget i stenbæltet langs stranden. Her viser sigtekurven, at prøven er af blandede kornstørrelser. Det ses, da prøven indeholder både meget fine og meget grove sedimenter. Ca. 80 % af prøven falder gennem maskestørrelsen 32 mm, mens gennemfaldet fra 0,5 mm til 16 mm er konstant. Til sidst ses der i prøven et gennemfald fra 0,25 mm på 4,7 %.



Figur 23: Sigtekurve for Prøve 4.

Prøve 4 er taget for foden af klitten, som bærer præg af erosion fra vind og vand. Sigtekurven viser, at prøven indeholder fine kornstørrelser, da gennemfaldsprocenten er på næsten 100 % for maskestørrelserne fra 0,5 mm til 64 mm. Herefter falder der ca. 38 % gennem 0,25 mm og lægger sig på 0,125 mm.

Ved at opstille et diagram, som viser de fire prøvers procentvise kornstørrelsesfordeling, ses det tydeligt, hvordan forskellige sedimentstørrelser er fordelt ved Thyborøn strand.



Figur 24: Diagram for kornstørrelsesfordelingen langs kystprofillet.

Ved at sammenligne søjlernes procentvise kornstørrelsesfordelinger, gives der i figur 24 billeder af, at sedimenterne aflejres forskelligt langs kystprofillet. Her ses det tydeligt, at Prøve 1, Prøve 2 og Prøve 4 ligner hinanden med en stor procentvis andel af kornstørrelser mellem 0,125 og 0,25 mm. Prøve 3 skiller sig ud fra de andre prøver ved hovedsageligt at bestå af kornstørrelser fra 16 til 64 mm og 0,25 mm.

Ud fra diagrammet ses det, at Thyborøn strand er en meget finkornet strand på det givne sted. Stranden er domineret af fine sedimenter, og dette viser billedet. Dette understøttes også af figur 1 i problemfeltet, hvor der ses en langsgående sedimenttransport, der bevæger sig nord for Bovbjerg og nordpå langs kysten. Størstedelen af den nordgående sedimenttransport aflejres ved Thyborøn og inde i Thyborøn Kanal.

Det fremgår også tydeligt af billede 1, at de grove sedimenter er aflejret i opskylszonen, mens de fine sedimenter er blevet ført med tilbage. Billedet er taget, da vandet har trukket sig tilbage, så det er muligt at se opskylszonen blottet. Kysten ved Thyborøn betegnes som en tidevandsløs kyst, da tidevandet kun når en højde på 0,5 meter. Der ses også en tidligere opskylszone længere inde på stranden bestående af grovere sedimenter. På grund af sedimenternes størrelse er det muligt at antage, at disse er aflejret efter storm. Dette kan antages, da vandet, og dermed også opskylszonen, vil stå højere under storm, men også fordi det vil kræve kraftige bølger at flytte de grove sedimenter. Placeringen af aflejringer fortæller derved noget om vandstanden på den pågældende kyst, hvor den her vil nå op til klitten under storm.

Der er mange faktorer der spiller ind ved Thyborøn strand, og virkeligheden stemmer ikke helt overens med teorien. I tilfældet ved Thyborøn fungerer høfderne som et hjælpemiddel mod den kraftige erosion langs kysten, idet de bremser bølgernes hastighed, hvorved fine sedimenter aflejres mellem høfderne. Samtidig opstår der let en cirkulationsstrømning mellem høfderne, som trækker sand med ud igen, hvorefter det videre indgår i den langsgående transport (Kystinspektoret, 1999). Som nævnt tidligere, stammer de finkornede sedimenter hovedsageligt fra morænemassivet ved Bovbjerg. Disse eroderede sedimenter udgør en stor del af materialet i den langsgående sedimenttransport, som i mindre grad aflejres langs Vestkysten. Da kysten ved Thyborøn er en høj-energi-kyst transporteres og eroderes de fine sedimenter i højere grad, end de aflejres. Derved kan teorien om, at der langs en finkornet fladkyst ofte forekommer sedimentation, ikke overføres til Vestkysten. Derimod ses der markante beviser på, at kysten eroderes og rykker tilbage, som følge af de specifikke faktorer, der påvirker Vestkysten.

4.3 Faktorer der indvirker på kysttilbagerykningen

Af forrige afsnit fremgår det, at sedimentsammensætningen på stranden har stor betydning for kystens udvikling. Dette afsnit vil gøre rede for den ekstreme vandstand, og hvorfor disse netop er vigtige faktorer at medregne i forbindelse med det fremtidige scenarie for kysten ved Thyborøn. I beregninger indgår tidevandet ikke som en faktor, da kysten ved Thyborøn, ifølge international skala, kategoriseres som en tidevandsløs kyst, idet det kun varierer med 0,5 meter (Nielsen & Nielsen, 1978). Tidevandet er derfor omfattet af den ekstreme vandstand.

4.3.1 Ekstrem vandstand ved Thyborøn

Ved ekstrem vandstand er der tale om en ekstraordinær vandstand, der kun sjældent forekommer, og som er forårsaget af særlige vind- og vejrforhold. Det er altovervejende vinden, der bidrager til den ekstreme vandstand. Langs den jyske vestkyst er bidraget fra vinden særligt stort, da den her kan blæse over store afstande over Nordsøen.

Når der opstilles statistikker for ekstrem vandstand, er det kun den højeste vandstand under en storm, der registreres som ekstremvandstanden for den pågældende storm. Da det er vanskeligt at afgøre, hvornår en storm begynder og slutter, er der anvendt følgende definition: *Såfremt vandstanden har været over det tærskelniveau, der definerer en stormvandstand på lokaliteten, en eller flere gange i løbet af tre på hinanden følgende tidevande (ca. 36 timer), er det kun den højest målte vandstand i denne periode, der defineres som ekstremvandstanden fra denne storm* (Kystdirektoratet, 2007, s. 11).

Herunder følger en gennemgang af de data, der medtages i beregningen af den fremtidige øgede vandstand. Der tages udgangspunkt i rapporten *Højvandsstandsstatistikker 2007*, hvori der er opstillet statistikker for den forventede højvandstand ved Thyborøn. Herfra anvendes der tal for 50 års hændelsen, som angiver vandstanden, der statistisk set vil nås eller overgås på lokaliteten inden for en 50-årig periode. Det fremgår her, at 50 års hændelsen er et højvande på 251 cm ved Thyborøn (Kystdirektoratet, 2007). Dette tal sammenholdes med den procentvise øgede vandstand for Nordsøen, der er taget fra KDIs rapport *Klimaændringernes effekt på kysten*. Her vil der, ifølge scenarie A2, langs vestkysten i fremtiden forekomme en forøgelse af højvande i forhold til tal fra år 2005, som ses opstillet i nedenstående tabel.

År	Fremtidigt højvande (%)	Nutidigt højvande (cm)	Fremtidigt højvande (cm)
2050	4,60	251	262,55
2100	13,90	251	285,89

Tabel 1: Den fremtidige maksimale vandstand ved Thyborøn for scenarie A2.

Tallene viser den maksimale vandstand, der forventes opnået eller overgået med 50 års mellemrum i perioden fra år 2005 til 2050 og fra år 2005 til 2100.

Der medtages desuden data for den lokale vandspejlsstigning, men da der ikke findes tal for den lokale vandspejlsstigning ved Thyborøn, anvendes dataene for Thorsminde. Disse data vurderes som gyldige, da området omkring Thorsminde er meget lig området ved Thyborøn, og fordi de to lokaliteter er beliggende tæt ved hinanden. Der er, på baggrund af scenarie A2, beregnet den lokale havspejlsstigning for enkelte lokaliteter, som ses opstillet i tabel 2 herefter:

Havspejlsstigning angivet i cm		Scenarier	
		A2	B2
Det lokale bidrag til den globale vandspejlsstigning angivet i parentes			
Hirtshals, 2005-2100	(÷15÷4)	+ 20	+ 14
Thorsminde, 2005-2100	(÷15+9)	+ 33	+ 27
Esbjerg, 2005-2100	(÷15+11)	+ 35	+ 29
Højer, 2005-2100	(÷15+11)	+ 35	+ 29
Thorsminde, 2005-2050	0,5•(÷15+9)	+ 10	+ 10
Thorsminde, 2005-2025	0,25•(÷15+9)	+ 3	+ 3

Tabel 2: Den lokale havspejlsstigning ved Thorsminde markeret med rødt (Jensen, 2008).

Statistikker over ekstreme vandstande danner grundlag for bestemmelsen af især højden af kystbeskyttelseskonstruktioner på de danske kyster. For at kunne sikre de danske kyster bedst muligt er det derfor af stor vigtighed at kunne forudse de fremtidige ekstreme vandstande (Kystdirektoratet, 2007). For kysten ved Thyborøn er dette særligt relevant, da kysten her netop beskyttes af høfder og diger, som skal kunne modstå en ekstrem vandstand. Det har ligeledes stor betydning i forhold til at beregne den fremtidige sandfodring langs kysten. Derfor anvendes der i projektet kun data for den ekstreme vandstand i beregningerne.

4.4 Anvendelse af Bruuns regel

I dette afsnit gennemgås de forskellige faktorer, der indgår i beregningerne af kysttilbagerykningen efter Bruuns regel. Der er ved beregningerne taget højde for, at den langsgående sedimenttransport vil være konstant over en given tidsperiode. I det følgende gives der en forklaring på de data, som anvendes i ligningen for kysttilbagerykning:

$$\Delta y = -S \times \left(\frac{W}{h+B} \right)$$

W står for længden på det nuværende profil og findes ved at foretage en kystopmåling. Her måles afstanden fra klitten og den længde, der er til en vanddybde på 6 meter. Kystopmålingen for det område, projektet beskæftiger sig med, er foretaget af Kystdirektoratet, som videre har sendt GPS-koordinaterne via mail. Længden på kystprofilen (W) er fundet ved aflæsning af de indtegnede koordinater i et koordinatsystem. Højden fra klittoppen til vandkanten (B) er fundet på samme måde som W.

Den samlede lokale vandstandsstigning (S) for kysten ved Thyborøn er fundet ved at summere de faktorer, der medvirker til en øget vandstand. Faktorerne beskrives herunder:

- Lokal havspejlsstigning på 10 cm for år 2050 og 33 cm for år 2100, som er forårsaget af de globale klimaændringer (jf. afsnit 4.3.1).
- Ekstrem højvandstand i år 2050 på 262,546 cm og 285,889 cm i år 2100 (jf. afsnit 4.3.1). Dette sker på grund af en antagelse om flere ekstremvinde, der regionalt er med til at skabe vindstuvning (jf. afsnit om vandstandsændringer).

Højdefaktoren (h) er en fast konstant, afhængig af de lokale forudsætninger for "afslutningsdybden" (jf. afsnit 3.6.2). Da KDI opmåler kystprofilen fra en vanddybde på 6 meter, er der kun muligt at beregne med en højdefaktor (h) på 600 cm.

For at opsummere ovenstående er tallene, som videre anvendes i beregningen af kysttilbagerykningen, opstillet i nedenstående tabeller:

Fremtidsscenario for år 2050 (ifølge scenarie A2):

Fremtidig ekstrem højvande (cm)	262,55
Fremtidig havspejlsstigning (cm)	10
(S) Samlet vandspejlsstigning (cm)	272,55
(h) Højdefaktor (cm)	600
(W) Længden af kystprofilen (cm)	28017,3
(B) Højden fra klittop til vandkanten (cm)	547

Fremtidsscenario for år 2100 (ifølge scenarie A2):

Fremtidig ekstrem højvande (cm)	285,89
Fremtidig havspejlsstigning (cm)	33
(S) Samlet vandspejlsstigning (cm)	318,89
(h) Højdefaktor (cm)	600
(W) Længden af kystprofilen (cm)	28017,3
(B) Højden fra klittop til vandkanten (cm)	547

Da alle faktorer er kendte, er det nu muligt at beskrive sammengængen mellem den samlede øgede vandstand og øget tilbagerykning af kysten. Ved at summere førnævnte ekstreme højvande og lokal havspejlsstigning beregnes den fremtidige kysttilbagerykning ud fra det nuværende kystprofil ved Thyborøn.

Herunder findes tilbagerykningen (Δy) for årene 2050 og 2100:

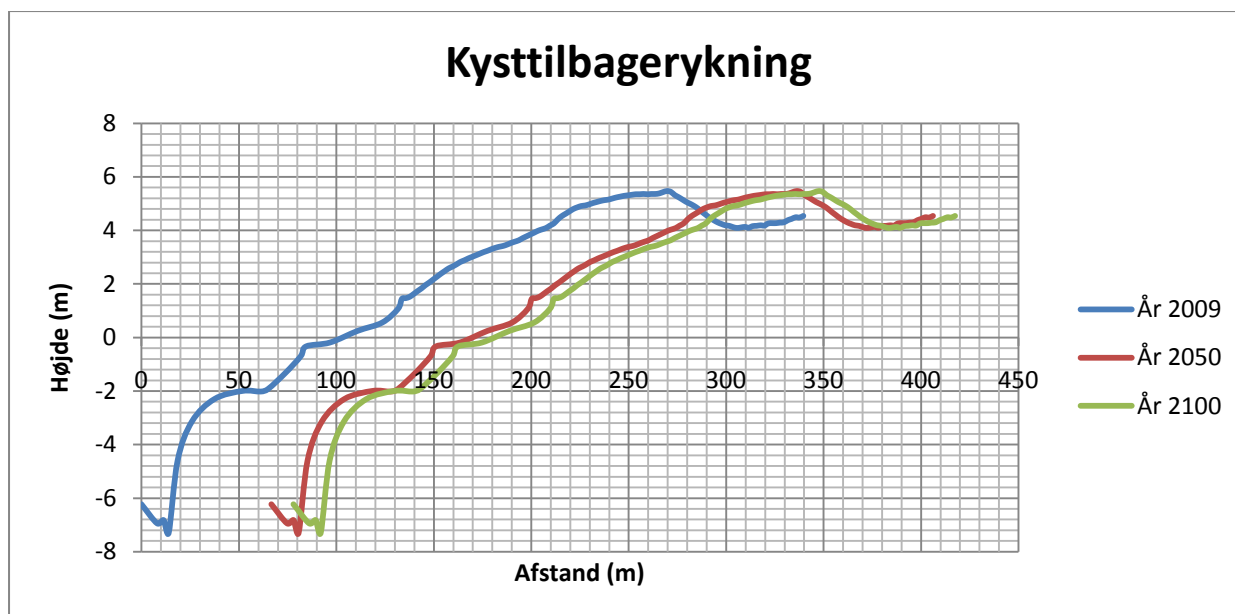
$$\Delta y_{2050} = -272,55 \text{ cm} \times \left(\frac{28017,3 \text{ cm}}{600 \text{ cm} + 547 \text{ cm}} \right)$$

$$\Delta y_{2050} = -6657,4 \text{ cm} = \underline{\underline{-66,57 \text{ m}}}$$

$$\Delta y_{2100} = -318,89 \text{ cm} \times \left(\frac{28017,3 \text{ cm}}{600 \text{ cm} + 547 \text{ cm}} \right)$$

$$\Delta y_{2100} = -7789,4 \text{ cm} = \underline{\underline{-77,89 \text{ m}}}$$

Resultaterne viser, at der er i år 2050 er tale om en tilbagerykning på 66,57 meter og i år 2100 en tilbagerykning på 77,89 meter. Nedenfor ses det nuværende kystprofil sammenlignet med de fremtidige ændringer i profilet.



Figur 25: Udviklingen af kystprofilen fra 2009 til 2050 og 2100.

Den markante tilbagerykning af kysten er et resultat af en naturlig udvikling af kysten, hvor der ikke kystfodres. Af figur 17 fremgik det, at der i de ældre profilopmålinger forekom en stor omrokning af sedimenter i kystens udvikling. Dette forudses også i fremtiden. Figur 25 viser kysttilbagerykningen, men ikke hvordan sandet vil fordele sig i profilet. Derved kan der kun gisnes om tilbagerykningen og udseendet af den fremtidige kyst.

Beregning af sedimentvolumen

Til bestemmelse af sedimentvolumen, der eroderes i de næste 40 og 90 år, anvendes differencen mellem det nuværende og de fremtidige profiler. Dette gøres ved at finde arealet mellem de tre grafer, som ses i figur 25. På grafen ses en antydning af en forhøjning på syv meters dybde. Her antages det, at denne forhøjning er en begyndelse på en sandbanke. Dette medberegnes i arealet. Da kystprofilernes vanddybde ikke når ned til 10-15 m, som er området, hvor sedimenttransporten standser, er det ikke muligt at beregne dette volumen. Det samlede resultat af sedimentvolumen vil derfor være relativt mindre end det ville være i virkeligheden. Volumen udregnes ved at multiplicere arealet med den afstand, hvor kystfodring foregår på Harboøre Tange. Denne afstand er fundet ved hjælp af Google Earth. Afstanden af strækningen er målt til 9160 m. Resultaterne af beregning af sedimentvolumen er, som følger:

$$\text{Areal}(40 \text{ år}) = 795,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen}(40 \text{ år}) = 7.284.490 \text{ m}^3$$

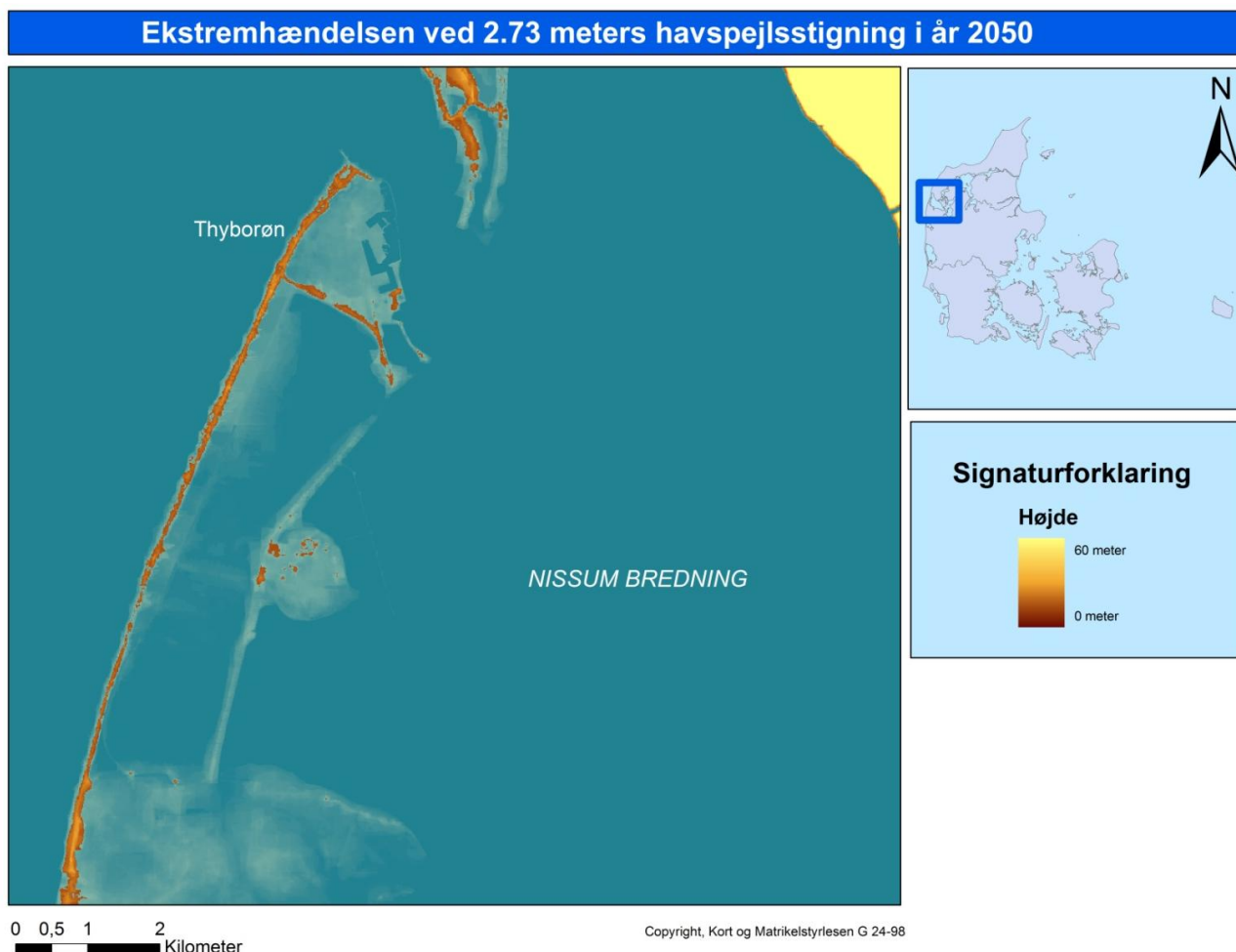
$$\text{Areal}(90 \text{ år}) = 899,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen}(90 \text{ år}) = 8.239.420 \text{ m}^3$$

Det beregnede sedimentvolumen er et udtryk for, hvor meget sand der eroderes fra kysten. Resultatet viser, at der årligt eroderes $182.112 \text{ m}^3/\text{år}$ frem til år 2050 og $205.985 \text{ m}^3/\text{år}$ frem til år 2100. I beregningerne af volumen, er der ikke taget højde for den langsgående sedimenttransport, som på kyststrækningen ved Harboøre Tange er på $900.000 \text{ m}^3/\text{år}$. Hvis dette tal antages at være gældende for den fremtidige kystudvikling, vil der frem til år 2050 være en erosion på $1.082.112 \text{ m}^3/\text{år}$, mens erosionen frem til år 2100 vil være på $1.105.985 \text{ m}^3/\text{år}$.

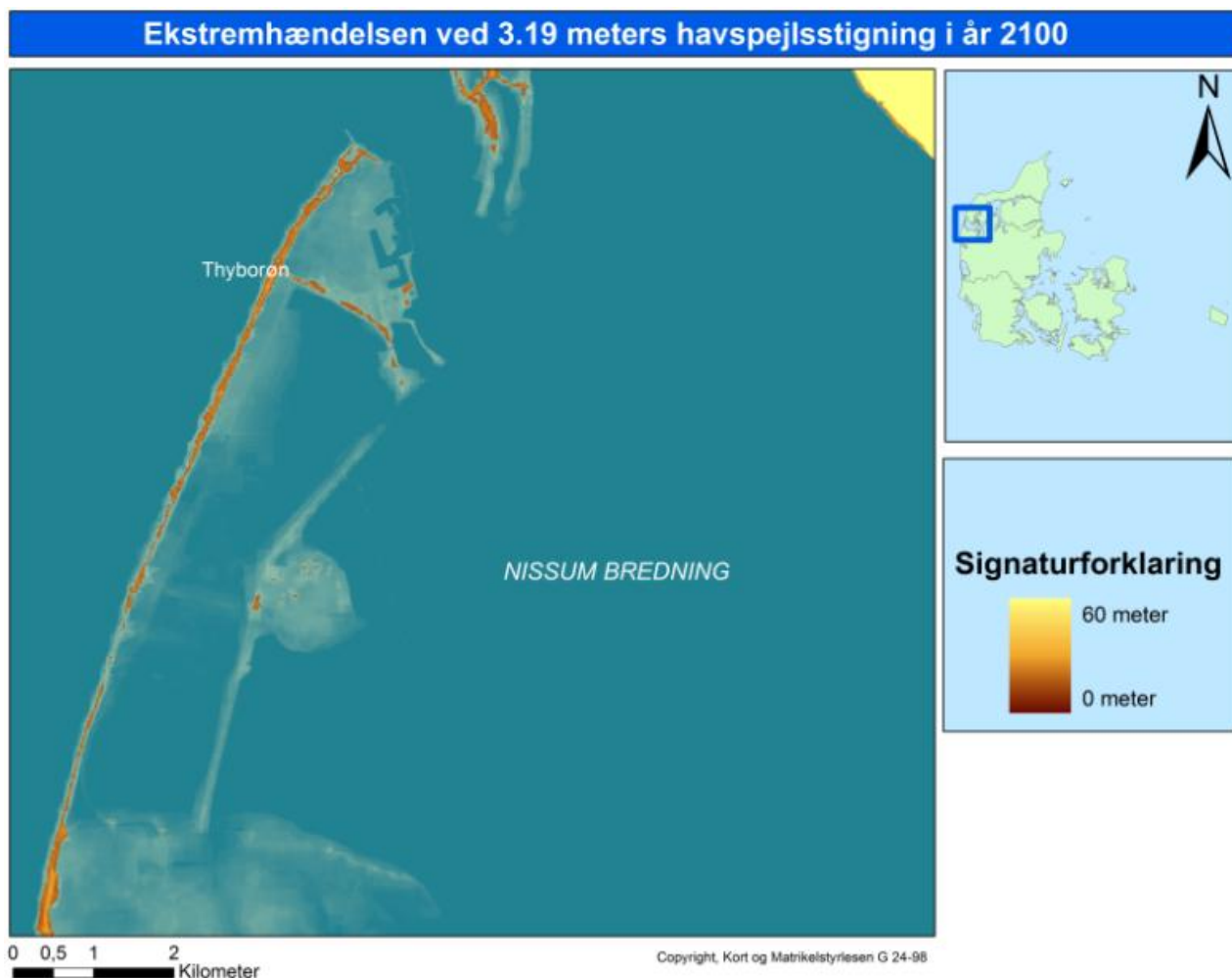
4.5 Visualisering af vandstandsstigning

På baggrund af beregningerne af den maksimale vandstandsstigning, som følge af global opvarmning, er konsekvenserne for Thyborøn for år 2050 og 2100 visualiseret i hul-kortene herunder. På kortene ses de nuværende landområder utydeligt, mens det tydeligt er markeret hvilke områder, der for de respektive år ville ligge uden for oversvømmelsesrisiko. Scenarierne skal dermed forstås som ekstremhændelser, hvor landområderne under vand vil kunne oversvømme som følge af ekstrem vandstand. Dermed er kortene ikke et billede på, hvor meget land, der vil undergå en endelig oversvømmelse.



Figur 26: Fremstilling af ekstremhændelsen ved 2,73 meters havspejlsstigning i år 2050.

Af figur 26 ses det, at kun nogle få områder på Harboøre Tange vil være sikret i mod ekstrem stormflod på 2,73 meter i år 2050. Der er kun tale om de højeste punkter i klitterne langs Vestkysten og ved enkelte diger. Den forskel der vil være mellem ekstremhændelsen for år 2050 og 2100 ser ikke markant ud. I år 2100 er det ligeledes ved de højeste punkter på tangen, at landet vil være sikret mod oversvømmelse af en ekstrem vandstand på 3,19 meter. Dog ses det af figur 27, at klitterne på den sydlige del af tangen vil være udsatte for vandets gennembrud, da de ligger forholdsvis lavt i terrænet.



Figur 27: Fremstilling af ekstremhændelsen ved 3,19 meters havspejlsstigning i år 2100.

Til sammen giver hul-kortene et indblik i, hvor udsat den lavtliggende tange kan være i forhold til oversvømmelse. Det ses tydeligt, at klitterne ved Vestkysten udgør en markant barriere imod havets indtrængen, men at der ikke forekommer nogen former for beskyttelse af kysten ud til Nissum Bredning, som kan beskytte mod de ekstreme vandstande. Dette kan give problemer i forhold til at standse vandets indtrængen fra denne side. Mest alarmerende er det, at Thyborøn ud fra de udførte beregninger vil være udsat for en total oversvømmelse, hvis ekstremhændelsen skulle indtræffe i fremtiden.

Dette er sandsynligt, da vandstandsændringer som følge af vindstuvning er et almindeligt og ofte kompliceret fænomen. Årsagen hertil er, at den fremherskende vindretning (vestlig) presser store mængder vand ind fra Nordsøen. Samtidig med vindens opståen, falder vandstanden i østvendte kyster og i den østlige del af Limfjorden. De store mængder vand fra Nordsøen resulterer senere til en generel vandstandsstigning. Samtidigt med de store mængder vand fra Nordsøen og den langvarige vind, forekommer der i Limfjorden en kraftig vandstigning presset fra vest til øst, ved mødet med Thyborøn Kanal bliver modstanden dog reduceret lidt. Den store mængde vand kan i dette tilfælde kun ledes en vej, nemlig gennem Limfjorden og ud i Kattegat. Derved ophobes der store mængder vand i Limfjorden, som ikke kan kontrolleres. Samtidig skaber vinden også kraftige strømme gennem fjorden.

Samlet set kan det, ud fra foreliggende analyse om ekstrem vandstand og af Bruuns regel forudses, at Thyborøn i fremtiden vil være markant udsat for oversvømmelse. Derudover forudses den naturlige fremtidige kystudvikling for Thyborøn kyst som værende tilbagerykkende med ca. 66,57 meter frem til år 2050 og 77,89 meter i år 2100. En sådan tilbagerykning vil få store konsekvenser for det bagvedliggende landområde, da klitten, som yder beskyttelse, vil mindskes. Tilbagerykningen vil ligeledes betyde, at høfderne langs kysten vil være ude af stand til at yde beskyttelse af kysten, da de vil blive oversvømmet.

4.6 Refleksion over anvendte analysemetoder

Selvom anvendelsen af Bruuns regel har været omdiskuteret blandt forskere, *har* metoden vundet indpas i forbindelse med kystforvaltning. Metoden er i sin enkelthed nyttig til at give et skøn over en fremtidig kysttilbagerykning for et kystprofil i ligevægt. Dog forholder virkeligheden sig ofte anderledes end teorien foreskriver, og derfor bliver der i det følgende reflekteret over metodens anvendelighed til besvarelse af problemformuleringen. Yderligere foretages der en kritisk vurdering af, hvorledes de yderligere komponenter i analysen eventuelt kunne være anvendt og hvilke metoder, der kræver særlig opmærksomhed.

For at kunne besvare problemformuleringen er det nødvendigt at kunne forudsige kystens udvikling ved Thyborøn et helt århundrede frem. Til det er anvendelsen af Bruuns regel egnet. Med denne simple metode er det ikke muligt at beregne en præcis udvikling, da reglen ikke tager højde for den langsgående transport og sedimentsammensætningen. Resultaterne vil derfor se anderledes ud, hvis disse faktorer medtages, men spørgsmålet er, om forskellen på resultaterne vil have betydning for besvarelsen af problemformuleringen. Med dette for øje vurderes det, at resultatet ikke giver et anderledes billede af den fremtidige kystudvikling, hvis den langsgående transport medregnes. Beregningerne er foretaget på en speciel kyststrækning, som muliggør en øget erosion, som følge af kyststrækningens beliggenhed nær Thyborøn Kanal. Til at stoppe den markante erosion ligger høfderne vinkelret fra kysten og mindsker dermed den langsgående sedimenttransport. Hvis disse fjernes, vil udviklingen af kysten ændres markant og givetvis tilnærme sig den historiske udvikling med en tilbagerykning på cirka 15 meter årligt.

Det er interessant netop at sammenligne den historiske kystudvikling med den hypotetiske fremtidige udvikling. Dette gøres henholdsvis i form af kystprofiler og visualisering af ældre kystlinjer. Selvom det ved disse sammenligninger er muligt at iagttage en historisk kystudvikling er det vigtigt at have for øje, at der kan være faktorer, som spiller ind på udformningen af kystlandskabet, som gør at det kan være svært at sammenligne. Det giver for eksempel et forkert billede af et kystprofils naturlige udvikling, hvis der kystfodres på stranden. Dog giver muligheden for sammenligning en indikation om, at kysten udvikles hele tiden og med det for øje, er der truffet et valg, om at foretage en grov vurdering af situationen ved Thyborøn. Til dette er anvendelsen af Bruuns teori om ligevægtsprofilet en optimal løsning. Da det er svært at foretage fremskrivninger af en dynamisk kystudvikling præcist, er det bedre at erkende, at forudsigelsen kun er tilnærmet under givne omstændigheder. Da vil der være mulighed for at tage forbehold for en form for fejlmargen med hensyn til resultaterne.

På grund af manglende data over det nuværende kystprofil, nærmere bestemt et dybere profil, foretages der ligeledes et skøn over den fremtidige fodringsmængde. Det er svært at antage, hvorledes profilet vil tage sig ud på dybere vand, og derfor er resultatet kun vejledende.

I forbindelse med analysen af hul-kortet er det ligeledes nødvendigt, at tage sine forbehold. Den illustrerede havspejlshævning er baseret på et maksimum-scenarie, som kan forekomme under ekstremt

højvande forårsaget af storm. Det skal også tages i betragtning, at hul-korterne ikke medtager kystfodring i perioden.

Det må vurderes, at de anvendte analysemetoder har formået at bidrage til besvarelsen af problemformulering. Med yderligere ressourcer kunne det dog have været optimalt at foretage beregninger af kysttilbagerykningen for et antal kystprofiler. Med et gennemsnit over sådanne resultater vil det være muligt at give et mere generelt billede af den samlede kystlinjes udvikling i fremtiden. Det er i dette tilfælde dog stadigvæk muligt at foretage en generalisering af kystens samlede udvikling ud fra et enkelt kystprofil, da fladkysten ved Thyborøn er af ensartet udformning.

5. Diskussion af den fremtidige kystudvikling

I dette afsnit vil resultaterne for beregningerne af Bruuns regel, sedimentvolumen og hul-korterne blive diskuteret. Ved at sammenligne resultaterne med Kystdirektoratets forudsigelser diskuteres konsekvenserne, som disse resultater eventuelt vil have for fremtidens kystsikring ved Thyborøn.

5.1 Behandling af resultater for kysttilbagerykning

KDI skriver i rapporten *Klimaændringernes effekt på kysten 2008*, at uden kystfodring vil kysten ved Thyborøn flytte sig tilbage med ca. 1-2 m/år frem til år 2050, mens der frem til år 2100 forudses en tilbagerykning på 5-9 m/år. Det er taget i betragtning, at KDI fortsætter kystfodringen med uændret indsats i denne periode. De foreliggende resultater på baggrund af denne undersøgelse viser, at der i år 2050 kan forventes en tilbagerykning af kysten ved Thyborøn på 66,57 m, og frem til år 2100, kan en samlet tilbagerykning på 77,89 m forventes. Dette er en tilbagerykning på 1,7 m/år frem til år 2050, og 0,9 m/år frem til 2100. Forudsigelsen fra KDI for år 2050 stemmer overens med vores resultat for år 2050, men for år 2100 viser de udførte beregninger en mindre tilbagerykning. For at få det mest rigtige billede af kystens tilbagerykning over en lang tidsperiode, ville det være hensigtsmæssigt at foretage beregninger for kysttilbagerykningen årligt, da kysten ofte ændrer udseende. Vandstandsstigningen kommer ikke pludseligt, men har en gradvis stigning på få cm per år. Dermed vil kystprofilen også ændre sig hvert år i forhold til vandstanden. Men da dette er et fremtidsscenario, er det umuligt at beregne den fremtidige årlige profiludvikling.

En anden faktor, KDI har medtaget i sine beregninger, er bølgehøjde. KDI forudsiger, at der vil blive højere bølger i forbindelse med større intensitet af vind og hyppigere storm, som følge af klimaændringerne. Derfor vil bølgehøjde og bølgeperiode vokse, således at bølgehøjden under en storm vil stige med 2 % og 5 % for henholdsvis år 2050 og 2100. Dette vil påvirke både erosion og den langsgående sedimenttransport, idet kapaciteten af denne vil øges.

KDI har tidligere anvendt Bruuns regel til at beregne tilbagerykningen, men i dag foretages disse beregninger af komplekse computermødel, hvor de også har mulighed for at medregne den langsgående sedimenttransport. Da der i det foreliggende projekt ikke har været adgang til sådanne ressourcer, bærer resultaterne præg heraf.

Den stigende vandstand, som følge af klimaændringerne, vil hæve kystprofilen. Dette kan medføre en risiko for oversvømmelse af de nuværende konstruktioner der beskytter kysten ved Thyborøn, hvilket vil øge belastningen af disse. De konstruktioner, der findes langs kysten i området, er hovedsageligt høfder og diger. Bølgeslag vil kunne påvirke høfdernes konstruktion direkte, og tilbagerykningen vil kunne medføre sætninger i konstruktionen og i værste fald føre til at konstruktionen vil kollapse. Vandstandsstigningen kan også fremme den langsgående sedimenttransport, således høfdernes virkning reduceres. Høfderne bør derfor forlænges og forhøjes i takt med den stigende vandstand. Den stigende vandstand vil ikke have lige så stor betydning for klitterne, som den har for høfderne. En mulig påvirkning af klitterne, vil være den øgede bølgehøjde, som følge af klimaændringerne. Her kan bølgerne blive så store, at de vil overskygge klitterne.

Endeligt skal det nævnes, at dette scenario er et maksimumscenario, hvor beregningerne, der er foretaget, er baseret på den højeste globale overfladeopvarmning. Det bedste ville være, at komme frem til en middelværdi ved hjælp af et minimumscenario, men da A2 scenariet er det eneste scenario, der er nedskaleret til danske forhold, er dette ikke muligt. KDI har forsøgt at nedskalere scenario B2, som et mid-

delscenarie, men forskellen mellem de to scenarier har vist sig at være minimal, og derfor er dette scenarie ikke medtaget. Yderligere er det ekstreme højvande medtaget som en faktor til samlet havspejlsstigning, da dette er nødvendigt for en fremtidig planlægning. Det er nemlig nødvendigt, at tilpasse kystsikringen til den maksimale kystændring, for at kunne opretholde en sikkerhed ved Thyborøn på 1000 MT.

Det er vanskeligt at påvise de foreliggende beregningers resultat, da dette er et fremtidsscenario. Kystprofilen vil hæves, som følge af den stigende vandstand, men tilbagerykningen for henholdsvis år 2050 og 2100, vil være beskeden, set i forhold til den gennemsnitlige tilbagerykning på 15 m/år i 1800'erne og frem til 1875, da kysten fik anlagt høfder.

Der er gennem kommunikation med Kort- og Matrikelstyrelsen blevet oplyst endnu en faktor, som vil kunne have stor indvirkning på området. Denne faktor indebærer, at landet sætter sig i området ved Thyborøn. Det vil sige, at materialet som Thyborøn er anlagt på, presser sig sammen og synker. Dette er en ny undersøgelse, som ikke er offentliggjort endnu, og er derfor ikke mulig at medtage som faktor i beregningerne. Eksperter antyder, at dette er en væsentlig faktor, når det gælder Thyborøns fremtid, da landsætning ikke kun indvirker på kysttilbagerykningen, men også på det bagvedliggende område inde i fjorden. Denne problemstilling er i dag fremlagt for Lemvig kommune, som herefter skal vurdere den fremtidige udvikling for området.

5.2 Tilpasning af fremtidig kystsikring

Der er ingen tvivl om, at Thyborøn er en udsat kystby, som i fremtiden vil blive berørt af klimaændringerne. Dog giver den foreliggende undersøgelse et billede af, at kysttilbagerykningen som konsekvens af en samlet vandstandsstigning, vil være mulig at standse ved at tilpasse kystfodringen. Den øgede havspejlsstigning, som i år 2050 og 2100 forudses, overskrider nemlig ikke de forudsigelser om en tilbagerykning, som Kystdirektoratet i dag tilrettelægger kystfodringen ud fra. Dog skal det nævnes, at en hævnning af kystprofilen vil resultere i øgede muligheder for oversvømmelse af de naturlige klitter langs stranden. Derfor kan det i fremtiden være nødvendigt at forstærke klitterne ved for eksempel at øge deres gennemsnitlige højde svarende til havspejlsændringerne. Ligeledes er det ved fremtidens kystfodring nødvendigt at overveje det aktive kystprofils stabilitet. Det er nemlig en realitet, at kystfodring medvirker til opretholdelse af et givent kystprofil, men samtidig øges erosionen af profilen yderligere uden for kystfodringszonen. Det skal forstås således, at havbunden efter 6 meters dybde, som ikke fodres jævnlige undergraves af havstrømme og øger gradienten på havbunden. Denne kunstige udvikling øger bølgedannelsen tæt ved kysten, da vandet bliver dybere. Derfor kan det være nødvendigt i fremtiden at ændre den dybde, hvortil der kystfodres, for at forhindre denne udvikling.

Ligeledes vil en ændring af den fremtidige kystfodring være nødvendig. Resultatet af den beregnende sedimentvolumen kan anvendes til at forudsige den fremtidige kystfodring, da det er rimeligt at antage, at det eroderede materiale skal erstattes af nyt sand. Men det kan diskuteres, hvorvidt det er præcise tal for den fremtidige kystfodring, da beregninger kun er baseret på enkelte faktorer i forhold til den fremtidige kystudvikling. Sammenholdt med KDIs tal for kystfodring, hvor der i år 2009 og 2010 sammenlagt blev kystfodret med 1.157.000 m³ sand langs Harboøre tange, hvilket giver en årlig sandfodring på 563.500 m³, er de opnåede resultater for den fremtidige årlige kystfodring langt mindre. Det kan derfor antages, at resultatet ville blive højere, hvis den langsgående sedimenttransport medtages.

Det forventes ligeledes, at der på grund af manglende profiloplysninger for det aktive profil skal lægges en yderligere mængde til. Med de nævnte tilpasninger af den fremtidige kystfodring på Vestkysten er det ikke urealistisk, at Kystdirektoratet forudser en øget gennemsnitlig fodringsindsats på 18 % i perioden fra år 2025 til 2050 (Jensen, 2008). Dermed vurderes det ud fra de opnåede resultater, at der med en tilpasning af fodringsindsatsen på kysten ikke er brug for yderligere kystsikringstiltag. Dog vil det som tidligere nævnt være nødvendigt at forstærke de nuværende høfder langs kysten, så disse fortsat vil kunne yde beskyttelse mod den langsgående transport.

Som noget andet viser undersøgelsen, at den samlede havspejlsstigning vil have konsekvenser for andre forhold end kysttilbagerykningen. Da arealerne bag klitterne på Harboøre Tange ligger lavt, er området særligt udsat i forbindelse med oversvømmelse. En oversvømmelse af det bagvedliggende land vil være et resultat af vindstuvning i Nissum Bredning som følge af storm. Vandet som ved storm stuves sammen i fjorden vil dermed skylle ind over tangerne og oversvømme arealerne bag klitterne. Det vil være en markant ændring af landskabet, hvis denne udvikling skal standses. Her vil det ikke være en løsning at kystfodre den indre kyststrækning. Derimod kan en løsning være at lade Thyborøn omkranses af yderligere diger, som vil kunne hindre oversvømmelser ved storm. Dette er dog næppe en løsning, da det kan resultere i ødannelse og derved yderligere erosion fra alle sider. Dermed er der begrænset muligheder for at sikre byen mod fremtidens dynamiske kystprocesser. Hvis det skal være muligt, at undgå oversvømmelse af området, er den eneste løsning eventuelt at lukke Thyborøn Kanal. Med et slusesystem vil det derved være muligt at kontrollere tilførslen af vand i fjorden og eliminere følgerne af klimaændringerne. Denne løsning har været diskuteret siden 1942, da Kystdirektoratet allerede dengang forudså, at Limfjordstangerne på lang sigt ikke ville kunne modstå stormfloder (Beck, 2009). Siden denne løsning i fremtiden vil være af særlig betydning for udviklingen ved Thyborøn, er det værd at genoverveje muligheden. Det er dog vigtigt, at der tages højde for den historiske udvikling af tangerne. Erfaringer viser nemlig, som ved gennembruddet af tangerne i år 1862, at havets kræfter er i stand til at gennembryde diger på tangerne. Det viser dermed blot, at naturens processer er svære at kontrollere. Derfor er det vigtigt i den fremtidige planlægning af kystsikringen at forstå naturen, for derudfra at træffe beslutninger om kunstigt at beskytte området.

For at opsummere de aktuelle resultater af den foreliggende rapport kan det fremhæves, at de globale klimaændringer vil få lokale konsekvenser for den jyske vestkyst og særligt i området ved Thyborøn. Da der her sker en markant kysterosion, vil konsekvenserne af en øget havsspejlsstigning få iøjefaldende konsekvenser for kystudviklingen i området. Thyborøn vil som følge heraf risikere at oversvømme i så høj en grad, at der er brug for yderligere kystsikring af byen i fremtiden. Det er ikke nok at tilpasse den nuværende kystfodring på Vestkysten, da konsekvenserne af stuvning i Limfjorden vil kunne oversvømme området fra fjordsiden. Derfor bliver den fremtidige udfordring, at sikre Thyborøn mod oversvømmelse både fra havet og fra fjorden. Hvis ikke der gøres en indsats for at beskytte byen og Harboøre Tange vil kysten i år 2100 være rykket 77,89 m tilbage som konsekvens af kysterosionen. I yderste tilfælde vil Thyborøn kunne ende som en by i havet ligesom byerne Toft, Bolm og Nabe, som forsvandt i havet omkring år 1766. Dette scenarie er dog yderst tvivlsomt, da der er mange interesser i at beskytte Thyborøn, for i fremtiden at bibeholde havnen og de værdier, som findes i byen. Opgaven er derfor i den nærmeste fremtid, at træffe beslutninger om, hvorledes Thyborøn skal sikres mod havets kræfter om både 50 og 100 år.

Den fremtidige kystsikring er ikke kun et økonomisk spørgsmål, men også et spørgsmål om ressourcer. Kystsikring i form af sandfodring, kræver at der er sand til rådighed. Sandet skal lokaliseres, transporteres og uddeles, hvilket kræver et større planlægningsarbejde. Dette kræver allerede i dag avanceret teknologi, i form af specialbyggede både. Teknologien udvikler sig hele tiden og derved kan der i

fremtiden sagtens opstå nye metoder, hvorpå der kan kystsikres, som både er økonomisk og arbejdsmæssigt fordelagtigt.

At opsætte forudsigelser om fremtiden er forbundet med en række usikkerheder. Derfor skal resultaterne i dette projekt anvendes vejledende til indikation af, hvorledes kystudviklingen vil kunne forløbe under nogle givne omstændigheder. Som tidligere nævnt er de foreliggende fremtidsscenerier for kystens udvikling baseret på maksimale fremtidshændelser og vil derfor kunne se anderledes ud, hvis der tages hensyn til andre faktorer. Det kan dog konkluderes, at der med de klimaændringer, som finder sted i dag, i fremtiden *vil* ske en ændring af de naturlige processer, som former kystlandskabet. Deraf er det også nødvendigt, at der på samme måde foretages ændringer af eksempelvis kystsikringen. Med dette projekt er det op til politikere og planlæggere, hvilken form for kystsikring, der i fremtiden vælges at satse på.

6. Konklusion

Formålet med projektet er at skabe fokus omkring den fremtidige sikring af de danske kyster i forhold til de fremtidige klimaændringer. Der er gennem projektet fokuseret på kysten ved Thyborøn, da klimaændringerne vil få stor betydning for, hvorledes byen i fremtiden skal sikres.

Der er i projektet valgt et videnskabssyn, som er styrende for metodevalget. Projektet arbejder ud fra et positivistisk videnskabssyn, da der er tale om en objektiv undersøgelse. Målet med metoden er derfor at undersøge delelementer af en større kompleks sammenhæng. Hertil anvendes den hypotetisk deduktive metode som videnskabelig metode. Denne metode arbejder ud fra en hypotese opstillet på baggrund af allerede kendt viden. Den opstillede hypotese testes empirisk for at kunne falsificere den. Ved at falsificere hypotesen kan det undersøges, hvad der gjorde den falsk. Dermed kan der opstilles en ny hypotese, som medtager de ikke medregnede faktorer. Gennem denne proces er det muligt at tilnærme sig den fremtidige virkelighed. Denne metode er derfor særligt anvendelig, når det omhandler klimaændringerne, hvor det netop er vigtigt i forhold til planlægningen at kunne opstille præcise scenarier, som indeholder mange faktorer

Da undersøgelsesområdet ved Thyborøn omfatter komplekse processer, søger projektet gennem analysen at opsplitte de betydende faktorer for at undersøge den enkelte faktors betydning i forhold til kysttilbagevækningen. Den teoretiske baggrund for analysen blev valgt ud fra, hvilke faktorer der ønskedes medtaget i beregningerne. Teorien indeholdt derfor en gennemgang af de kystmorfologiske processer ved Thyborøn, der er styrende for den historiske og fremtidige kystudvikling. På grund af den stigende vandstand, som følge af klimaændringerne var målet med projektet at finde den fremtidige kysttilbagevækning. Det blev derfor valgt at anvende Bruuns regel til beregningerne, da denne anvendes udbredt inden for kystforvaltning. Da der er tale om en undersøgelse af et dynamisk kystmiljø, var det ikke muligt at opstille et scenarie med alle faktorerne. Da Bruuns regel ikke tager højde for den langsgående sedimenttransport, antages det i projektet at denne er konstant. Det er muligt at foretage denne antagelse, da høfderne bremser den langsgående transport af sedimenter.

Ved Thyborøn står mennesker over for den opgave at skulle kontrollere en naturlig proces, som hvis den fik lov, ville erodere kysten, hvilket ville føre til en oversvømmelse af byen. Det er en proces som er umulig at standse, og derfor er det en konstant kamp at bremse den. Da Thyborøn er et særligt område, som er omkranset af vand på flere sider, viser det sig, på baggrund af foreliggende beregninger, at det ikke er muligt at redde Thyborøn ved at anvende kystfodring alene. Der vil ske en tilbagevækning af kysten, som er mulig at standse ved fortsat at kystfodre på strækningen. En tilpasning af kystfodringen på den ydre kyst vil dog ikke være tilstrækkelig til at opretholde en 1000 års MT ved Thyborøn. Resultaterne viser nemlig, at der i forbindelse med klimaændringerne vil forekomme højere vandstand og hyppigere og kraftigere storme. Disse faktorer vil i fremtiden skabe en kraftigere stuvning af vandet i Thyborøn Kanal i forbindelse med storm. Derved vil byen kunne oversvømmes fra den indre kyst, og samtidig vil stuvningen betyde, at vandet kan gennembryde det beskyttende dige. For at imødegå de fremtidige klimaændringer skal Thyborøn derfor sikres både på den ydre og indre kyst. En sikring af den indre kyst vil være i form af konstruktionen af en dæmning omkring Thyborøn, eller en mulig lukning af Thyborøn Kanal. Opførelsen af en dæmning vil have store økonomiske omkostninger og kræve megen planlægning. En lukning af kanalen vil standse stuvningen af vand i forbindelse med storm, og derved sikre Harboøre Tange mod vandets gennembrud inde fra fjorden. Det problematiske ved denne løsning er, at der givetvis vil ske et gennembrud af Limfjordstangerne et andet sted, som det har vist sig

op gennem historien. Derved vil en lukning af kanalen ikke kunne løse problemet, men blot flytte det til et andet sted på kysten.

Hvis de foreliggende forudsigelser vil finde sted i fremtiden, er det ud fra projektets beregninger muligt at falsificere den opstillede hypotese. Det kan på den baggrund konkluderes, at det ikke er tilstrækkeligt med en tilpasset kystfodring ved Vestkysten for om 100 år at kunne redde Thyborøn fra oversvømmelse. Det er derimod nødvendigt at foretage kystsikring langs Harboøre Tanges indre kyst, da der her vil opstå et problem med hensyn til stuvning. Da dette projekt opstiller et fremtidsscenario er det ikke muligt at foretage en endelig konklusion. Det er kun muligt at sandsynliggøre om hypotesen er sand eller falsk. Kun ud fra beregninger og opstillinger af scenarier kan der gisnes om klimaændringernes påvirkning af kysten. Projektet kan derfor kun tilnærme sig en forudsigelse af det fremtidige scenarie på baggrund af historiske observationer og beregninger af klimaændringernes effekt på kysten. Dermed er det i realiteten ikke muligt at falsificere hypotesen før omfanget af klimaændringerne kendes.

Det kan slutteligt konkluderes, at den fremtidige kystsikring af Thyborøn er forbundet med en række udfordringer i forhold til planlægningen og omkostningerne af kystsikringen. Der kan i fremtiden blive tale om en meget lokal planlægning af kystsikringen ved vestkysten, da kystudviklingen er forskellig langs kysten. Thyborøn er et særligt område, hvor der på grund af kanalen skal tages specielle hensyn. Planlægningen af kystsikringen skal derfor dels tage hensyn til de kystdynamiske processer, men også til de specifikke processer, der knytter sig til det pågældende område.

Det fremtidige spørgsmål bliver derfor, om beslutningstagere er villige til at betale den økonomiske pris, det vil kræve at sikre området, men også hvorvidt det overhovedet bliver muligt at kontrollere de fremtidige kystdynamiske processer, som vil opstå i forbindelse med klimaændringerne

7. De kommende kommunale og nationale udfordringer

I regeringens strategi for klimatilpasning skriver tidligere Klima- og energiminister, Connie Hedegaard, at Danmark i fremtiden skal sørge for at tilpasse sig klimaændringerne i alle sektorer. Dette skal gøres ved omhyggelig planlægning på baggrund af den viden, der er tilgængelig på området. Det er derfor vigtigt, at tænke eksisterende viden om klimaændringerne ind i fremtidig planlægning af naturforvaltningen, for fortsat at være på højkant med naturens forandringer. Connie Hedegaard forudser ligeledes, at tilpasningen kun kan ske, hvis der handles i tide ud fra et bredt samarbejde dels mellem stat og kommuner, men også mellem borgere, erhvervsliv, planlæggere og byggesektoren (Regeringen, 2008). Denne vision er derfor af stor betydning for fremtidens Danmark, men realiteten er en anden. Ingeniøren skriver i artiklen *Kommunalpolitikere skal stemme om klimascenarier* den 19. marts 2010, at kommunerne står over for en stor udfordring, nemlig at foretage de rette valg i forbindelse med planlægningen. En af udfordringerne er, hvilke klimascenarier det er tilrådeligt at følge. Her anbefaler IPCC, at der tages stilling til fremtiden ud fra flere forskellige scenarier, således at der kritisk kan tages stilling til nødvendigheden af naturforvaltningen. Dermed er det nødvendigt i fremtiden at nedskalere andre SRES-scenarier til danske forhold. En anden udfordring er, hvorledes kommuner skal sikre sig 50 eller 100 år ud i fremtiden. Lektor Susanne Nielsen fra DTU, som forsker i fremtidens implementering af klimahensyn i politik, mener, at kommunerne skal satse på at træffe langsigtede beslutninger, men det er dog vigtigt, at der stadig indsamles ny viden på området. Det er betydningsfuldt, når der er tale om fremtidig planlægning, at denne foretages løbende. Det er nemlig usikkert, hvorledes eksempelvis 50- og 100 års forudsigelser vil kunne ændres som funktion af ændringer i både naturen og samfundet. Det kan derfor ikke entydigt konkluderes, hvordan kommunerne skal planlægge frem i tiden.

I samme udgave af Ingeniøren skrives der i artiklen *Klimarådgivere: Den værste frygt er ikke slem nok*, at IPCCs A2 scenarie ikke er det værste scenarie, som kan forventes i fremtiden. Flere klimaekspertter fra Danmarks to største rådgivende ingeniørfirmaer, Cowi og Rambøll, mener, at situationen ser værre ud end forventet. A2 scenariet benyttes af disse ingeniørfirmaer som middel-scenarium i stedet for som ekstrem-scenarium. Alt tyder på, at A2 scenariet kan finde sted tidligere end forventet, hvis ikke der gøres noget ved problemet nu. Dette fremhæver kraftigt behovet for, at planlægning og fælles interesser når til enighed om bevarelse af landskabet, så den problemløsende fase kan træde i kraft. Planlægning bør prioriteres, så kommunerne og regeringen er forberedt på det værste og eventuelt værre endnu.

Langs kysten ved Thyborøn viser det sig, at der er hårdt brug for planlægning af fremtidens kystsikring. Her vil klimaændringerne som tidligere nævnt kunne få iøjensfaldende konsekvenser for kystens udvikling. Det må formodes, at den markante udvikling af kysten vil blive krævende at standse med de kystfodringsmetoder, som anvendes i dag. Derfor er det et spørgsmål om økonomisk prioritering fra regeringens side, der i fremtiden vil kunne afgøre, om der eventuelt skal findes andre metoder til sikring af kysten. Sammen med den udfordring, som kysterrosionen vil give, vil der ifølge regeringens tilpasningsstrategi også blive andre fokusområder at tage hensyn til som følge af klimaændringerne. Her er der blandt andet tale om fremtidig arealanvendelse i forhold til byggeri, anlægning af veje og kloakker og hensyntagen til fremtidig vand- og energiforsyning. Det er derfor vigtigt, at gøre det klart, at der ligger en prioriteringsopgave forude, og at de fremtidige forudsigelser af kystændringerne ved Thyborøn er nødvendige at tage stilling til. Selvom det som tidligere nævnt er vigtigt med en langsigtet planlægning, er det ligeledes nødvendigt at tilpasse planerne løbende, da mange faktorer kan have indvirkning på udviklingen af den dynamiske natur.

Litteraturliste

- Andersen, I. (2003). Kvalitative og kvantitative metoder. I I. Andersen, *Den skinbarlige virkelighed* (s. 30-31, 41-42). Frederiksberg C: Samfundslitteratur.
- Beck, T. L. (2009). *Stormflodsvandstande i Limfjorden ved lukning af Thyborøn Kanal*. Lemvig: Havnecon Consulting A/S.
- Birkler, J. (2005). *Videnskabsteori*. København: Munksgaard Danmark.
- Brøndum, P. (2006). Det dynamiske landskab - geomorfologi. I T. Andersen, *Geografihåndbogen* (s. 87-157). Århus C: Gads Forlag.
- Cooper, J. o. (22. juli 2004). Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, s. 157-171.
- Dean, R. G. (1991). Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications . I Winter, *Coastal Research* (s. 53-60). USA: Coastal Education & Research Foundation Inc.
- DMI. (11. februar 2009). *Fremtidens klima*. Hentede 17. marts 2010 fra DMI:
http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/fremtidens_klima-2/ipcc.htm
- DMI. (2007). *Klimaændringer 2007: Synteserapport Sammendrag for beslutningstagere*. Det mellemstatslige panel om klimaændringer.
- Energistyrelsen. (2008). *Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark*. København K: Regeringen.
- Jensen, J. o. (2008). *Klimaændringers effekt på kysten*. Kystdirektoratet.
- Kappel, V. (1997). *Danmarks kyster*. Aalborg: Politikens Forlag A/S.
- Klimatilpasning. (16. september 2009). *Havstigning*. Hentede 10. marts 2010 fra Klimatilpasning:
www.klimatilpasning.dk/da-dk/plan/havstigning/sider/forside.aspx
- Knudsen, J. J. (2008). *Klimaændringers effekt på kysten*. Kystdirektoratet.
- Knudsholt, L. R. (2008). *Teknologi og forudsigelser*. Roskilde: Roskilde Universitet.
- Kommune, L. (24. marts 2009). *Kommunefakta*. Hentede 30. april 2010 fra Lemvig Kommune:
<http://www.lemvig.dk/Kommunefakta.aspx?ID=172>
- Kystdirektoratet. (2007). *Højvandsstatistik 2007*. Transportministeriet.
- Kystdirektoratet. (5. marts 2010). *Kystbeskyttelse ved Thyborøn*. Hentede 5. marts 2010 fra Kystdirektoratet: <http://www.kyst.dk/sw444.asp>
- Kystdirektoratet. (2008). *Vestkysten 2008*. Lemvig: Kystdirektoratet.
- Kystdirektortatet* . (15. marts 2010). Hentede 20. marts 2010 fra Sedimenttransport:
<http://borgere.kyst.dk/boelgeenergi.html>
- Kystinspektoret. (1999). *Thyborøn 25 års eftersyn*. Kystinspektoret.

- Langergaard, L. L. (2006). *Viden, videnskab og virkelighed*. Frederiksberg: Forlaget Samfundslitteratur.
- Lemvig. (7. marts 2007). *Luftfotos*. Hentede 17. maj 2010 fra Lemvig:
<http://www.lemvig.com/luftfotos.htm>
- Leth, J. O. (2003). *Nordsøen efter istiden - udforskningen af Jyske Rev*. GEUS.
- Lund-Hansen, L. C., & Christiansen, C. (1994). Tidevand og andre vandstandsændringer. I *Basisbog i fysisk-biologisk oceanografi* (s. 30-38). København: GEC Gads Forlag.
- Masselink, G. (2008). Coasts. I J. Holden, *An introduction to physical geography and the environment* (s. 470-478). Essex, England: Pearson Education Limited.
- Miljøministeriet. (2003). *Kystlandskabet- Udpegning af Danmarks Nationale Interesseområder indenfor Geologi, geomorfologi og kystdynamik*. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen.
- Nakicenovic, N. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Naturstyrelsen, S. o. (22. februar 2010). *Harboøre Agger Tange*. Hentede 6. marts 2010 fra Skov og natur: <http://www.skovognatur.dk/Udgivelser/Foldere/Reservater/harbo.htm>
- Nielsen, J., & Nielsen, N. (1978). *Kystmorfologi*. Skive: Skive Folkeblads Bogtrykkeri.
- Pedersen, T. L. (2010). Nivellering. *Naturgeografiske felt- og analysemetoder*, Appendiks 3.
- Regeringen. (2008). *Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark*. Regeringen.
- Schmidt, H. J. (12. juni 2007). *Den naturvidenskabelige metode*. Hentede 4. maj 2010 fra EMU Danmarks undervisningsportal:
http://www.emu.dk/gsk/fag/fys/ckf/fase1/1aot/videnskabeligt_arbejde/den_videnskabelige_arbejds metode/index.html
- Skjervheim, H. (2010). *Auguste Comte*. Hentede 30. april 2010 fra Leksikon for det 21. århundrede:
<http://www.leksikon.org/art.php?n=491>
- Strahler, A., & Strahler, A. (2006). Landforms made by waves and wind. I *Introducing physical geography* (s. 597-614). Hoboken: John Wiley & Sons.

Bilag

Bilag A

Sedimentprøver

Prøve 1:							
	Sigte (mm)	Skål + sigterest (g)	Skål (g)	Sigterest (g)	Gennemfald	Gennemfald %	Sigterest %
	Første vejning	294	4,7	289,3	289,3		
Grovsigtning	64	0	4,7	0	289,3	100	0
	32	0	4,7	0	289,3	100	0
	16	25,7	4,7	21	268,3	92,77316736	7,261410788
Finsigtning	8	11,3	4,7	6,6	261,7	90,49100968	2,282157676
	4	6	4,7	1,3	260,4	90,04149378	0,449515906
	2	5,6	4,7	0,9	259,5	89,73029046	0,31120332
	1	8	4,7	3,3	256,2	88,58921162	1,141078838
	0,5	27,6	4,7	22,9	233,3	80,67081604	7,918395574
	0,25	216,5	4,7	211,8	21,5	7,434301521	73,23651452
	0,125	26,1	4,7	21,4	0,1	0,034578147	7,399723375
	Bund	0		0	0	0	
	Sum			289,2			100

Prøve 2:							
	Sigte (mm)	Skål + sigterest (g)	Skål (g)	Sigterest (g)	Gennemfald	Gennemfald %	Sigterest %
	Første vejning	232,9	4,4	228,5			
Grovsigtning	64		4,4	0	228,5	100	0
	32		4,4	0	228,5	100	0
	16		4,4	0	228,5	100	0
Finsigtning	8		4,4	0	228,5	100	0
	4		4,4	0	228,5	100	0
	2		4,4	0	228,5	100	0
	1	4,4	4,4	0	228,5	100	0
	0,5	6,9	4,4	2,5	226	98,9059081	1,094091904
	0,25	179,4	4,4	175	51	22,31947484	76,58643326
	0,125	55,3	4,4	50,9	0,1	0,043763676	22,27571116
	Bund	4,5	4,4	0,1	0	0	0,043763676
	Sum			228,5			100

Prøve 3:							
	Sigte (mm)	Skål + sigterest (g)	Skål (g)	Sigterest (g)	Gennemfald	Gennemfald %	Sigterest %
	Første vejning	1272,8	10,4	1262,4			
Grovsigtning	64	0	10,4	0	1262,2	100	0
	32	260,9	10,4	250,5	1011,7	80,16005071	19,84787259
	16	531,4	10,4	521	490,7	38,87964504	41,28040567
Finsigtning	8	70,1	10,4	59,7	431	34,14943348	4,730211552
	4	11,7	10,4	1,3	429,7	34,04643055	0,103002932
	2	0	10,4	0	429,7	34,04643055	0
	1	10,7	10,4	0,3	429,4	34,02266064	0,023769907
	0,5	29,1	10,4	18,7	410,7	32,54100309	1,481657555
	0,25	362,4	10,4	352	58,7	4,650978528	27,89002456
	0,125	68,4	10,4	58	0,7	0,055463117	4,595515411
	Bund	11	10,4	0,6	0,1	0,007923302	0,047539815
	Sum			1262,1			100

Prøve 4:							
	Sigte (mm)	Skål + sigterest (g)	Skål (g)	Sigterest (g)	Gennemfald	Gennemfald %	Sigterest %
	Første vejning	262,6	4,7	257,9			
Grovsigtning	63	0	4,7	0	257,9	100	0
	31,5	0	4,7	0	257,9	100	0
	16	0	4,7	0	257,9	100	0
Finsigtning	8	0	4,7	0	257,9	100	0
	4	0	4,7	0	257,9	100	0
	2	4,9	4,7	0,2	257,7	99,92245056	0,077549438
	1	6,5	4,7	1,8	255,9	99,22450562	0,69794494
	0,5	22,2	4,7	17,5	238,4	92,43892982	6,785575805
	0,25	145,8	4,7	141,1	97,3	37,72780147	54,71112834
	0,125	100,1	4,7	95,4	1,9	0,736719659	36,99108181
	Bund	6,6	4,7	1,9	0	0	0,736719659
	Sum			257,9			

Bilag B**Kystprofilopmåling**

Opstilling 1					
Pløk	Øvre	Midt	Nedre	Klokkeslæt	Pælhøjde
D top	3121	3073	3028	12:48	167
D bund	3289	3240	3187	12:47	
E	2238	2200	2161	12:44	
F	1111	1070	1032	12:38	
G	810	782	760	12:33	

Opstilling 2					
Pløk	Øvre	Midt	Nedre	Klokkeslæt	Pælhøjde
D top	48	29	11	13:38	93
D bund	140	122	104	13:37	
C top	3455	3375	3302	13:41	349
C bund	3808	3724	3642	13:40	

Opstilling 3					
Pløk	Øvre	Midt	Nedre	Klokkeslæt	Pælhøjde
A top	2875	2730	2584	14:05	425
A bund	3302	3155	3000	13:56	
B	1526	1502	1468	13:50	
C top	444	344	244	13:47	348
C bund	792	692	592	13:48	

Klokkeslæt er noteret, således det er muligt, ud fra DMI vandstandsmåler, at få højden på vandstanden på det givne tidspunkt og dermed tilpasse målepunkterne i forhold til differencen.

Afstand fra nivelleringsinstrument til Pløk

L=Ø-N					
Opstilling 1		Opstilling 2		Opstilling 3	
D (m)	9,3	D (m)	3,7	A (m)	29,1
E (m)	7,7	C (m)	15,3	B (m)	5,8
F (m)	5			C (m)	20

Afstand		cm				(cm)
AB (m)	23,3	2330	FA (cm)	7240	AB	2330
BC	25,8	2580	FB (cm)	4910	BC	2580
CD	19	1900	FC (cm)	2330	CD	1900
DE	1,6	160	FD (cm)	430	DE	160
EF	2,7	270	FE (cm)	160	EF	270
ΔL (m)	72,4					7240

Højde		
$\Delta H = M_A - M_B$		cm
AB (mm)	1653	165,3
BC (mm)	810	81
CD (mm)	3528	352,8
DE (mm)	1040	104
EF (mm)	1418	141,8
ΔH (mm)	8449	844,9