

NOVEMBER 2016

# NORDKYSTENS FREMTID

KYSTTEKNISK SKITSEPROJEKT

PROJEKTNR.

A084247

DOKUMENTNR.

A084247-PD-01

VERSION

3.0

UDGIVELSESDATO

08.11.2016

BESKRIVELSE

Skitseprojekt

UDARBEJDET

CEL/MLVX/KM/  
PFKL/KBO/ERS/  
DH/OJJ

KONTROLLERET

OJJ/CEL/KBO/KM

GODKENDT

CEL



# INDHOLD

1	Introduktion	9
1.1	Generelt	9
1.2	Skitseprojektets indhold	9
1.3	Udgangspunkt for projektet	10
2	Resume	12
2.1	Indledning	12
2.2	Kystteknisk vurdering	13
2.3	Kystteknisk skitseprojekt – helhedsplan for Nordkysten	17
2.4	Sammenligning af løsningsforslag	21
2.5	Vedligeholdelsesfodring	27
2.6	Demonstrationsprojekt i Gribskov Kommune	28
2.7	Sandressourcer	29
2.8	Metode til kystfodring	30
2.9	Miljøvurdering	31
2.10	Anlægsbudget	32
3	Kystbeskyttelsesmetoder	34
3.1	Kystdynamik	34
3.2	Hård Kystbeskyttelse	46
3.3	Kystfodring	52
3.4	Eksempler på helhedsorienteret kystbeskyttelse	68
4	Myndighedernes Administrationspraksis	81
4.1	Kystdirektoratet	81
4.2	Styrelsen for Vand og Naturforvaltnings administrationspraksis	89

5	Designbasis	93
6	Dimensioneringsgrundlag	96
6.1	Vind	96
6.2	Vandstand	97
6.3	Korrelation mellem bølger og vandstand	97
6.4	Dimensionsgivende vandstand på lavt vand	104
6.5	Normalbølgeklime	104
6.6	Designbølger på dybt vand	106
6.7	Dimensionsgivende bølger på lavt vand	109
7	Kystteknisk vurdering	111
7.1	Kystteknisk beskrivelse baseret på kort	111
7.2	Historiske kysterosion	125
7.3	Kystprofiler	128
7.4	Kystteknisk beskrivelse baseret på foto	134
7.5	Forventet fremtidig kronisk erosion	193
7.6	Forventet fremtidig akut erosion	198
7.7	Overordnede kystbeskyttelsesbehov	202
7.8	Sammenfatning	209
8	Løsningsforslag	211
8.1	Kommunernes målsætning	211
8.2	Generelt	211
8.3	Fodringsstrækninger	214
8.4	Opgradering af skråningsbeskyttelser og kompensationsfodring	217
8.5	Opgradering af skråningsbeskyttelser og initialstrandfodring med 60 m <sup>3</sup> /m	222
8.6	Opgradering af skråningsbeskyttelser og initialstrandfodring med 90 m <sup>3</sup> /m	228
8.7	Vedligeholdelsesfodring	233
8.8	Konstruktioner i brydningszonen	234
8.9	Naturligt og kunstigt sandkredsløb	235
8.10	Sammenligning af løsningsforslag	246
8.11	Demonstrationsprojekt i Gribskov Kommune	252
9	Sandressourcer	254
9.1	Indledning	254
9.2	Indvindingsområder	255
9.3	Sand fra oprensninger og tilsandingsområder	266
10	Udførsel af kystfodring	268
10.1	Indvindingsmetoder	268
10.2	Sandfodringsmetoder	269

10.3	Revlefodring	271
10.4	Strandfodring	272
11	Overordnet miljøvurdering	273
11.1	Miljøvurdering - Resumé og sammenfattende konklusion	273
11.2	Generelt	274
11.3	Lovgrundlag og proces	277
11.4	Baggrund for miljøvurdering	277
11.5	Påvirkning af marin natur	278
11.6	Anbefaling til fodringstidspunkt	289
11.7	Natura 2000-områder	290
12	Budgetoverslag	303
13	Referencer	307

## BI LAG:

Bilag A: Lov om kystbeskyttelse



# 1 Introduktion

## 1.1 Generelt

Gribskov Kommune har på vegne af Halsnæs Kommune, Gribskov Kommune og Helsingør Kommune bedt rådgivergruppen: COWI, NIRAS, DHI og Hasløv & Kjærsgaard udarbejde et kystteknisk skitseprojekt for et storskala kystbeskyttelsesprojekt på Nordkysten af Sjælland.

Kommunerne ønsker med skitseprojektet at belyse de kysttekniske og lovgivningsmæssige muligheder for at gennemføre et storskala kystbeskyttelsesprojekt, som omfatter hele Nordkysten mellem Hundested og Helsingør.

## 1.2 Skitseprojektets indhold

Skitseprojektet baseres primært på tidligere udførte undersøgelser og studier.

Skitseprojektet skal helt overordnet svare på:

- > Hvilke kysttekniske løsninger, der vil være de rigtige for en samlet beskyttelse af Sjællands Nordkyst og herunder en vurdering af storskala strandfodring.
- > Vurdering af behov for forbedret kystbeskyttelse
- > Kan den nødvendige mængde sand, grus og ral findes
- > Om projektet miljømæssigt vurderes at kunne gennemføres og herunder, hvordan projektet påvirker Natura2000 områderne og den sårbare marine natur. Projektet skal således være optimeret både miljømæssigt og økonomisk
- > Det er en forudsætning for opgaveløsningen, at der arbejdes med et teknisk projekt, som vil kunne opnå tilladelse fra Kystdirektoratet (KDI)

- Projektet indeholder desuden prisoverslag for de foreslåede løsninger, som danner input til det videre arbejde med betalingsmodel mm.
- Der skal være en sammenkobling med de juridiske afklaringer, der fremgår af det seneste notat fra Horten Advokaterne - som bl.a. anbefaler, at det vurderes, om kysten kan opdeles i del-strækninger med et nogenlunde ensartet behov for kystbeskyttelse, ligesom der skal tages hensyn til, at kystbeskyttelsesloven arbejder med et beskyttelsesbehov på 25 års sigt
- Slutproduktet skal kunne anvendes som baggrund for det videre arbejde med udbud af kystbeskyttelsesprojekt for hele Nordkysten, samt detailprojektering af en del-strækning i Gribskov Kommune, der tænkes udført som et pilotprojekt

Skitseprojektet skal således beskrive et samordnet storskala kystbeskyttelsesprojekt med strandfodring som et nødvendigt element, og som kan forventes at kunne gennemføres praktisk, miljømæssigt og økonomisk, samt beskrive eventuelle andre løsningsforslag.

### 1.3 Udgangspunkt for projektet

Skitseprojektet er udarbejdet som en helhedsplan for kystbeskyttelsen langs hele nordkysten af Sjælland på en strækning på ca. 60 km mellem Hundested og Helsingør.

Helhedsplanen sigter mod at skabe den bedste kystbeskyttelse mod kronisk og akut erosion på 25 års og 50 års sigt.

Skitseforslaget er primært udformet ud fra behovet for kystbeskyttelse og kravene i **Kystbeskyttelsesloven**, § 1.

Formålet med kystbeskyttelse er at beskytte mennesker mod oversvømmelser samt ejendom mod oversvømmelser og nedbrydning fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. Dette formål varetages ved en afvejning af følgende hensyn:

- 1) Behovet for kystbeskyttelse,
- 2) økonomiske hensyn,
- 3) kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske og miljømæssige kvalitet,
- 4) kystlandskabets bevarelse og genopretning,
- 5) naturens frie udfoldelse,
- 6) rekreativ udnyttelse af kysten,
- 7) sikring af den eksisterende adgang til kysten og



- > 8) andre forhold af væsentlig betydning for kystbeskyttelse.

Forstærkning af hård kystbeskyttelse vil medføre krav fra KDI om kompensationsfodring. Tekniske løsningsforslag uden fodring er derfor ikke behandlet i skitseprojektet.

## 2 Resume

### 2.1 Indledning

#### 2.1.1 Kystbeskyttelsesindsats på Sjællands Nordkyst

Sjællands Nordkyst omfatter ca. 60 km kyst mellem Hundested Havn og Helsingør Nordhavn. Nordkysten kan generelt ikke betragtes som fri natur på grund af menneskelig indvirkning i kystens naturlige dynamik. Der er dog nogle naturlige kyststrækninger mellem Liseleje og Tisvildeleje, Heatherhill, Trillingerne, Smidstrup Strand, Dronningmølle, Hornbæk Strand og delvist langs Hornbæk Plantage. De naturlige kyststrækningerne dækker ca. 15 km.

Efter stormfloderne i begyndelse af forrige århundrede og i 1921 blev de første kystbeskyttelseskonstruktioner anlagt, dels som erosionsbeskyttelse, dels som højvandsbeskyttelse. I den forbindelse blev de første Kystbeskyttelseslag og Digelag oprettet efter Landvæsenskommissions kendelser.

Der er i dag en række private kystbeskyttelseslag, ligesom private har beskyttet deres kystgrunde.

I erkendelse af det stigende erosionsproblem, de usammenhængende og visse steder uhensigtsmæssige kystbeskyttelses anlæg og utallige henvendelser fra private om kystbeskyttelse, nedsatte de fem daværende kystkommuner (Hundested, Frederiksværk, Helsingør, Græsted-Gilleleje og Helsingør), Frederiksborg Amt og Hovedstadsrådet i 1976 "Fællesudvalget for Kystpleje og -sikring af Nordkysten".

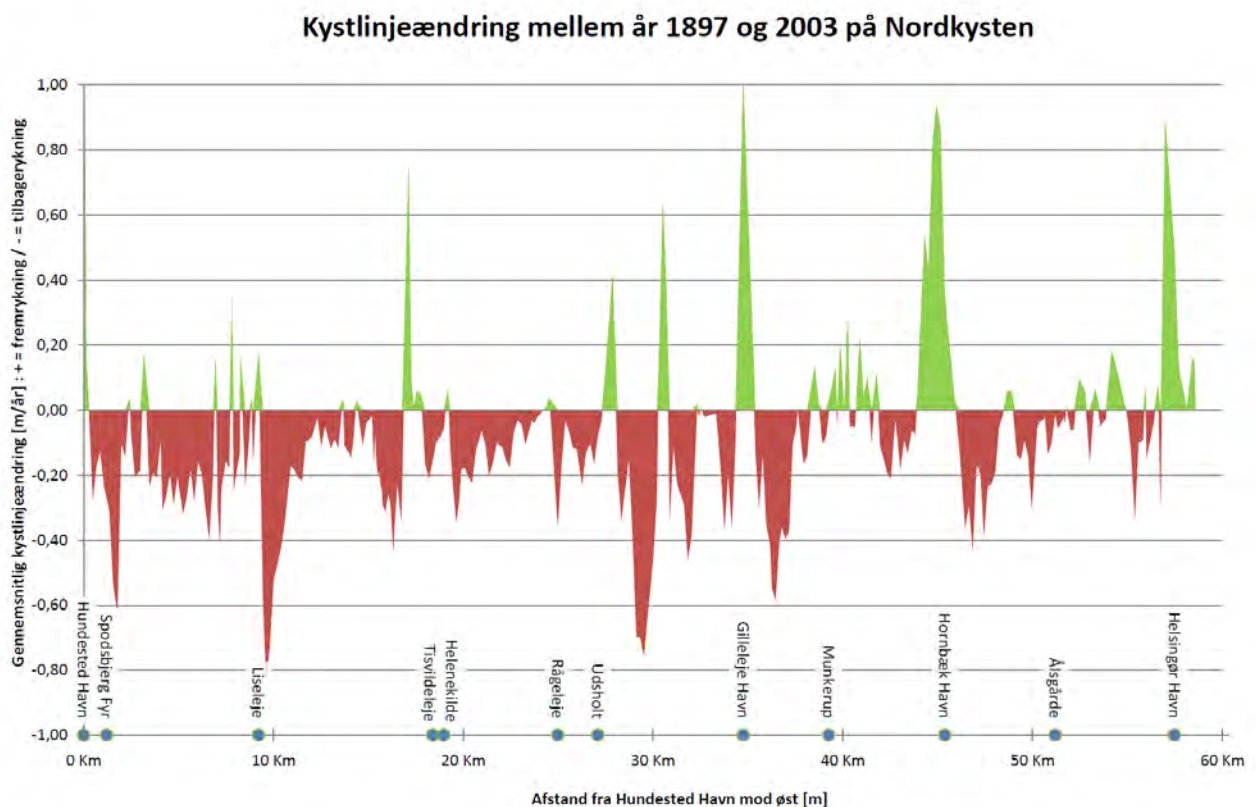
Gennem Fællesudvalgets arbejde blev det erkendt, at der var behov for en samordnet kystteknisk indsats på Nordkysten og endvidere, at Nordkysten mangler sand og ral.

Den hidtidige kystbeskyttelsesindsats på Nordkysten har primært omfattet hård kystbeskyttelse. Der er kun i enkelte tilfælde som ved Liseleje udført strandfodring på Nordkysten.

## 2.2 Kystteknisk vurdering

### 2.2.1 Erosionspres

Langs Nordkysten er en stor del af kystlinjen gennem årene rykket betydeligt tilbage primært med undtagelse af kysten vest for havnene i Gilleleje, Hornbæk og Helsingør. Denne tendens vurderes at fortsætte i fremtiden med øget hastighed bl.a. på grund af klimaændringer.



Figur 2-1 Historisk kystlinjeudvikling (m/år) mellem Hundested og Helsingør i perioden 1897 og 2003. Grøn er kystfremrykning og rød er kysttilbagerykning (erosion). Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014. Figuren viser, at kysten generelt rykker tilbage (rød) primært på nær vest for havnene (grøn).

Nordkysten er udsat for et stort erosionspres som følge af kronisk og akut erosion. Kronisk erosion er den løbende erosion, mens akut erosion sker under stormflodshændelser.

### 2.2.2 Kronisk erosion

Der er i dag generelt mangel på sand og ral langs Nordkysten som følge af, at transporten af sand og ral langs kysten (langstransporten) stiger fra Kikhavn imod Gilleleje og igen fra Gilleleje til Hornbæk og fra Hornbæk til Helsingør,

hvilket giver anledning til kronisk erosion. En af hovedårsagerne til manglen på sand **of ral** er, at havnene udgør barrierer for transporten langs Nordkysten, idet en stor del af langstransporten fanges ved havnene og derved mangler øst herfor.

Den omfattende hårde kystbeskyttelse langs Nordkysten i form af skræntfodsbeskyttelse, høfder og bølgebrydere har medført, at tilførslen af sand og ral til kysten fra skrænterne med tiden er reduceret betydeligt. I takt med at den løbende udbygning af skråningsbeskyttelserne har stabiliseret skråningerne, er der lange strækninger, hvor stranden er blevet smallere, helt forsvundet eller afløst af sten/ral-strand. Vanddybderne foran den eksisterende hårde kystbeskyttelse er herved gradvist øget. Den kroniske erosion er ikke stoppet ved etableringen af hård kystbeskyttelse, men snarere forværret, da der bliver mindre og mindre tilførsel af sand og ral fra erosion af skrænterne. Så i stedet for erosion af skrænterne fortsætter erosionen i den ubeskyttede del af kystprofilen, dvs. fra stranden og ud i vandet til ca. 5 m vanddybde. Dette resulterer i, at dybden til havbunden gradvist bliver større og større.



*Figur 2-2 Meget stejl og høj skråning og lav skråningsbeskyttelse ved Salgårdshøj*

### 2.2.3 Akut erosion

Nordkysten er også udsat for et stort erosionspres som følge af akut erosion i forbindelse med storme, hvor der er kraftig bølgepåvirkning og højvande samtidigt (stormflod). I disse situationer eroderer den øverste del af kystprofilen tilbage (bagstrand og skrænterne) og det eroderede materiale føres dels længere ud i kystprofilen og dels langs kysten.

Stormen Bodil medførte ekstraordinært langvarigt ekstremt højvande. Kombinationen af større vanddybde langs kysten og den forhøjede vandstand under stormen medførte omfattende skader på den eksisterende kystbeskyttelse og

skråningerne bagved. Stormen viste, at der er behov for vedligeholdelse af strandene og kystbeskyttelsen på Nordkysten, dels for at beskytte mod fremtidige akut erosion under stormflod, og dels for at beskytte mod den kroniske erosion.



Figur 2-3 Havstokken ved Udsholt, Gribskov Kommune, under stormen Bodil 06.12.2013

#### 2.2.4 Forstærkning af eksisterende hård kystbeskyttelse

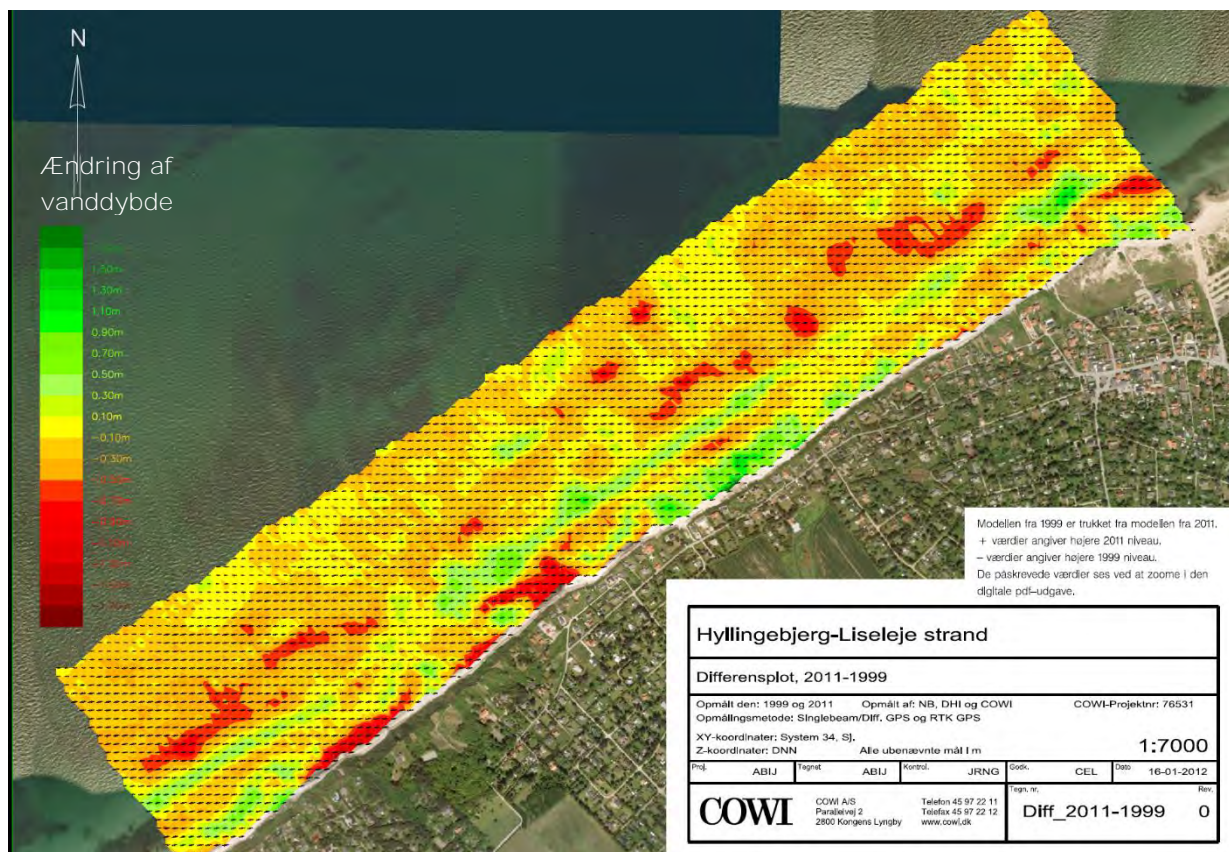
Der er mange steder langs Nordkysten gennem årene bygget hård kystbeskyttelse i form af høfder, bølgebrydere og skræntfodssikring. En del af denne hårde kystbeskyttelse blev beskadiget under stormen, Bodil d. 6/12 2013, og er siden blevet repareret og mange steder væsentligt udbygget og forhøjet. Konstruktionerne er dog oftest genopbygget med eksisterende stenmaterialer, som ofte ikke er tilstrækkelig store til at modstå nye storme, hverken i dag eller fremover, da vanddybden foran kystbeskyttelses anlæggene er øget og vil fortsætte med at forøges yderligere fremover. Derudover er mange af de eksisterende anlæg ikke høje nok som følge af den forøgede vanddybde foran.

Kystlagene administrerer typisk kyststrækninger på en halv til en hel kilometer, og hvert lag fokuserer typisk på at beskytte kystskrænten mod erosion, mens der ikke fokuseres på beskyttelse af selve stranden. Der har været en tendens til at kystbeskyttelses anlæggene på en strækning har medført øget erosionspres på nabostrækningen mod øst i og med, at tilførslen af sediment til nabostrækningen er blevet reduceret. På den måde er erosionspresset blevet flyttet langs kysten, og det er dermed blevet nødvendigt at anlægge hård kystbeskyttelse på lange strækninger.

Mange steder har man forsøgt at holde på stranden ved at opføre høfder eller kystnære bølgebrydere. Der kommer dog generelt ikke mere sand i systemet

ved, at de forskellige lag kæmper om at fange en del af den faldende mængde sand og ral, som vandrer langs kysten.

Det generelle billede er, at kysterosionen fortsætter ude i kystprofilen på trods af den hårde kystbeskyttelse, hvilket langsomt forværrer situationen efterhånden som vanddybden øges. Herved bliver bølgerne, der kan nå stranden og skræntfodsbeskyttelserne stadig større.



Figur 2-4 Ændring af vanddybden ved Liseleje over en periode på 12 år baseret på historiske opmålinger. På trods af optimeret hård kystbeskyttelse og initial strandfodring stiger vanddybden fortsat ude i kystprofilen ved Liseleje (røde og orange områder). Løbende vedligeholdelsesfodring er nødvendig for at modvirke dette.

Den aktuelle og fremtidige kroniske og akutte erosion viser sig således i stigende grad at være en fælles udfordring for grundejerne langs hele Nordkysten.

Det kan konkluderes, at det omfattende underskud af sand og ral på Nordkysten ikke kan afhjælpes med hård kystbeskyttelse.

Det er teknisk muligt af forstærke den eksisterende kystbeskyttelse ved at udbygge den hårde kystbeskyttelse for derved at opnå den ønskede beskyttelse af ejendomme og infrastruktur. Denne praksis vil dog medføre, at kysten bliver

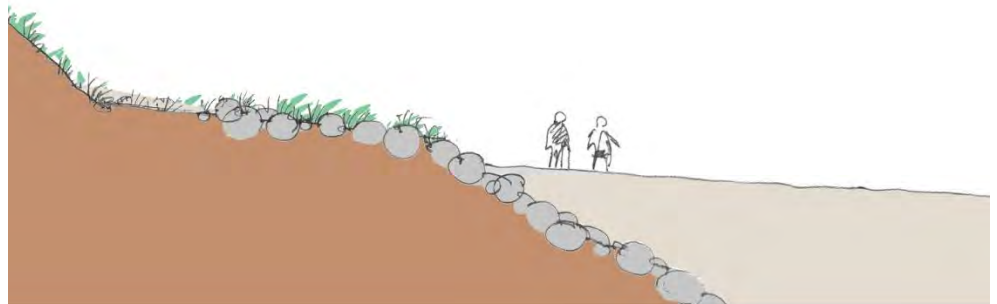
yderligere udsat i fremtiden, fordi erosionen og forstejlingen af kystprofilen vil fortsætte. Derfor er det ikke tilrådeligt at fortsætte denne praksis.

Det konkluderes, at det omfattende underskud af sand og ral på Nordkysten kræver strandfodring (sand/ral) fremover for at kunne skabe en langsigtet og tilstrækkelig beskyttelse af Nordkysten.

## 2.3 Kystteknisk skitseprojekt – helhedsplan for Nordkysten

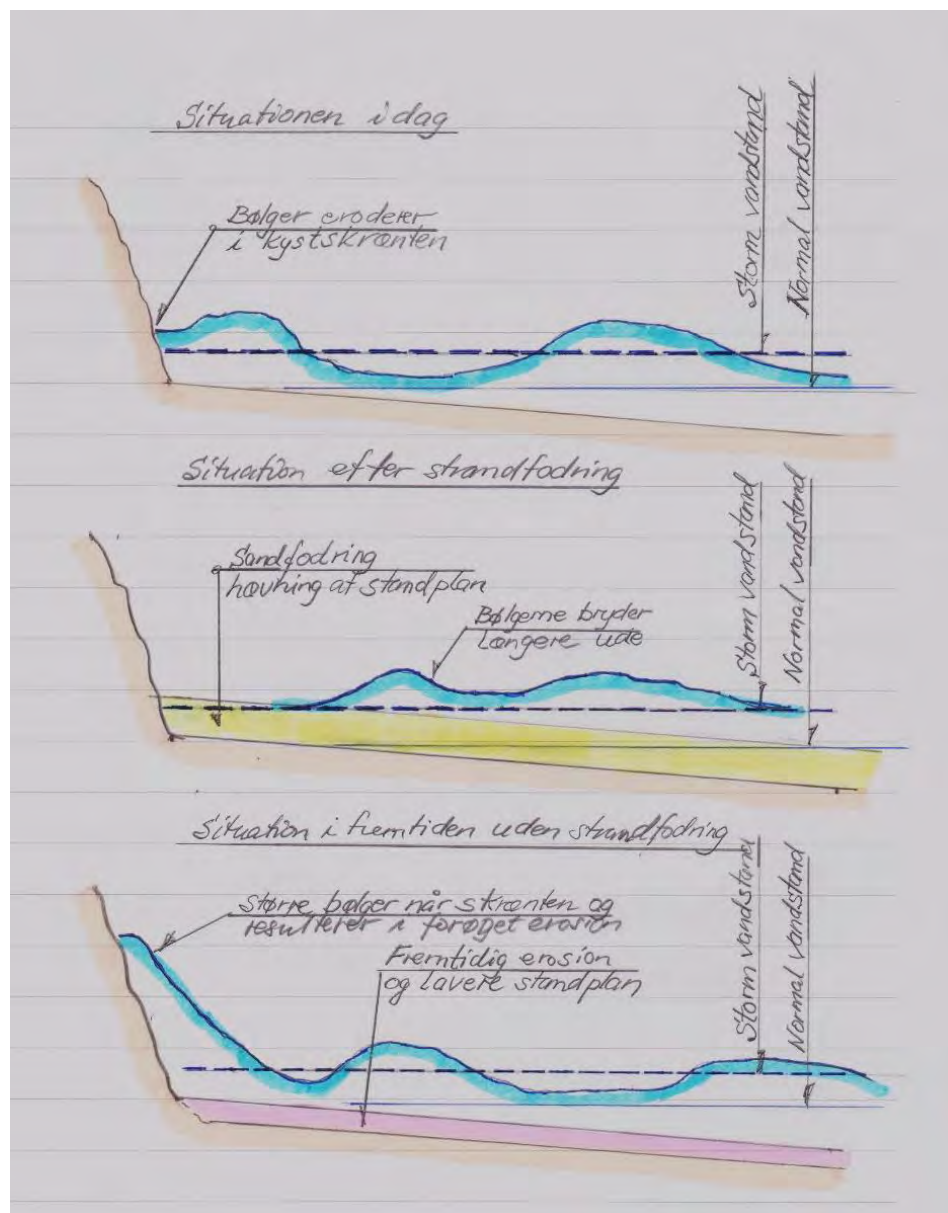
### 2.3.1 Kysttekniske principper

**Rådgiverne vurderer, at den bedste beskyttelse mod kronisk og akut erosion på Nordkysten er en kombination af strandfodring med en blanding af sand, grus og ral og skråningsbeskyttelser opbygget af sten.**



Figur 2-5 Overordnede kysttekniske principper for den foreslåede helhedsplan for kystbeskyttelsen på Nordkysten omfatter strandfodring med sand, grus og ral kombineret med skråningsbeskyttelser af sten

Strandfodring anbefales udført med sand med et betydeligt indhold af grus og ral svarende til det naturlige sediment på Nordkysten, hvilket vil forbedre virkningen og holdbarheden af fodringerne.



Figur 2-6 Strandfodring hæver stranden og beskytter den eksisterende kystbeskyttelse og skråningerne bagved ved at reducere bølgerne der rammer skræntfodsbeskyttelsen

Strandfodring udlægges ligeligt fordelt langs stranden på længere truede strækninger med ensartede forhold, hvilket forlænger og forøger effekten.

Strandfodring omfatter en betydelig initialfodring samt mindre løbende vedligeholdelsesfodringer.



Analysen af kysten har vist, at der er underskud af sand og ral langs Nordkysten, som medfører generel kronisk erosion og at kystprofilen derfor rykker tilbage ud til den aktive dybde omkring 5,0m. Vanddybden foran eksisterende konstruktioner øges herved. Fodring er den eneste form for kystbeskyttelse, som kan stabilisere hele kystprofilen, afhjælpe den kroniske erosion og styrke kystprofilen imod akut erosion langs Nordkysten.

Strandfodring opbygger en buffer foran eksisterende skråningsbeskyttelser og reducerer derved vanddybden. Strandfodring vil reducere påvirkningerne på bagvedliggende skråningsbeskyttelser og reducere vedligeholdelsesbehovet for de hårde anlæg på kort og længere sigt.

Skråningsbeskyttelserne er nødvendige for at beskytte baglandet mod akut erosion i forbindelse med stormflod, hvor der både forekommer store bølger og høj vandstand.

### 2.3.2 Fodringsstrækninger

Projektet omfatter strandfodring på ca. halvdelen af Nordkysten, men projektet vil have en gavnlig virkning langs det meste af kysten fra Hundested til Helsingør. Udlagt sand, grus og ral vil naturligt blive transporteret øst på over tid og efter et par år vil virkningen af fodringerne omfatte det meste af kysten.



Figur 2-7 Foreslåede fodringsstrækninger

Det foreslås at strandfodre over længere strækninger, hvor der generelt er en stor tæthed af bebyggelse, og hvor husene ligger tæt på havet, og der således er behov for forbedret kystbeskyttelse. De valgte fodringsstrækninger har en længde mellem 2.000 og 7.500 m. Det bemærkes, at strandfodring på kortere

strækninger ikke kan anbefales fordi dette medfører relativt stort sandtab ved enderne af fodringsstrækningerne. De foreslåede fodringsstrækninger er vist på Figur 2-7.

Disse strækninger vil blive endeligt fastlagt under detailprojektering; dog forventes kun mindre justeringer i enderne af de 7 delstrækninger og den samlede længde forventes bibeholdt.

Den initiale fodringskampagne kombineret med løbende vedligeholdelsesfodringer vil bevirke, at der kommer mere sand, grus og ral på hele Nordkysten også i mellemrummene mellem fodringsstrækningerne. Strandfodringerne fokuseres dog på de strækninger, hvor der er et stort direkte behov for at beskytte baglandet mod kronisk erosion og til dels akut erosion. De øvrige strækninger som ikke fodres direkte vil primært opleve en reduktion af den kroniske erosion.

Det vil formentlig være en fordel at initialfodringerne af de enkelte udvalgte delstrækninger starter lidt vest for den aktuelle del-strækning, idet dette vil sikre, at der i længere tid er tilstrækkeligt sand og ral i den vestlige ende af delstrækningen.

De fremtidige vedligeholdelsesfodringer vil blive planlagt efter monitoring af den aktuelle situation langs hele kysten inklusiv både de udvalgte fodringstrækninger og strækningerne ind i mellem.

### 2.3.3 Dimensionering af kystbeskyttelsen

Initialt foreslås det, at der i middel strandfodres med i størrelsesordenen 60 m<sup>3</sup>/m, og 90 m<sup>3</sup>/m på udsatte strækninger. Strandfodring bør foretages i storskala/tværkommunalt regi for at sikre en koordineret og fælles indsats. Det vil desuden kunne reducere enhedsprisen, at der fodres med større mængder.

Der skal fodres med meget store mængder, hvis strandfodring alene skal kunne beskytte mod akut erosion i forbindelse med storme. Det foreslås derfor, at strandfodring kombineres med skråningsbeskyttelser. På mange strækninger er skråningsbeskyttelser dog allerede etableret, og der udestår derfor kun en opgradering af utilstrækkelige konstruktioner.

Det foreslås, at renovere og forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser til at have en levetid på 50 år (2066) og til at kunne modstå en stormhændelse som i gennemsnit forekommer en gang på 50 år.

Alle skråningsbeskyttelser og den nederste del af skrånningen bagved foreslås dækket med sand for at stabilisere skråningerne bagved og skabe mulighed for naturlig vegetation.

### 2.3.4 Tilpasning

Uvirksomme og nedslidte konstruktioner på stranden og på strandplanet bør fjernes helt før der strandfodres. En del af de overskydende stenmaterialer kan med fordel anvendes til at forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser, hvorved nyttevirkningen af eksisterende sten kan optimeres.

Desuden anbefales det at omlægge en del af de meget små konstruktioner på stranden og i vandet til enkelte større konstruktioner for at optimere beskyttelsen af kysten.

Kystbeskyttelseskonstruktioner på stranden i form af nye bølgebrydere, høfder, rev og flak kan være relevante på udsatte strækninger, hvor sand og ral har svært ved at blive liggende i tilstrækkelig udstrækning. Det foreslås at vente en årrække med at planlægge og skitsere nye konstruktioner på stranden til man ser effekten af den initiale strandfodring. Herved kan det reelle behov afdækkes og nye konstruktioner optimeres til de lokale forhold. Herudover skal sådanne tiltag udformes således, at de kan godkendes af Kystdirektoratet.

Behovet for hård kystbeskyttelse i form af høfder, bølgebrydere og rev reduceres, når der fodres over lange strækninger. Konstruktionerne virker ved at tilbageholde en del af det sand, grus og ral, der transporteres langs stranden og opbygger derved højden af stranden.

Strandfodring medfører, at eksisterende konstruktioner får mere sand, grus og ral at arbejde med, hvorved virkningen af eksisterende konstruktioner forbedres.

## 2.4 Sammenligning af løsningsforslag

En fremskrivning af den nuværende situation på Nordkysten viser, at kysttilbagegangen (erosionspresset) vil øges uden en ændret kystbeskyttelsespraksis.

Stigende erosionspres langs Nordkysten kræver en ændret kystbeskyttelsespraksis.

Den bedst egnede beskyttelse mod kronisk og akut erosion på Nordkysten vurderes, at være strandfodring med en blanding af sand, grus og ral kombineret med skråningsbeskyttelser.

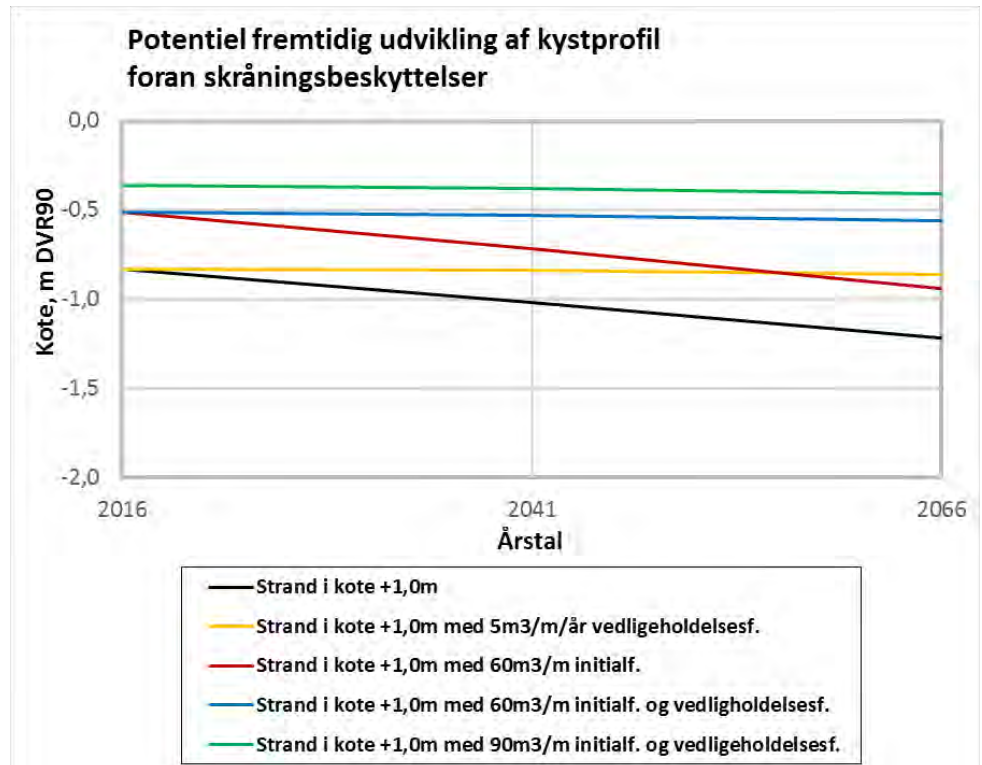
Det foreslås, at renovere og forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser til optimal standard med en levetid på 50 år og til at kunne modstå en storm som i gennemsnit forekommer 1 gang på 50 år. Eksisterende skråningsbeskyttelser bør i mange tilfælde opgraderes ved at forstærke foden og ved at forhøje konstruktionen afhængigt af de lokale forhold. Det yderste lag dæksten bør i mange tilfælde udskiftes med et lag nye større dæksten afhængigt af omfanget af fremtidig strandfodring, højden af stranden og den eksisterende kystbeskyttelse. Opbygning af kystprofilen med sand- og ralfodring vil medvirke til, at dybden foran skråningsbeskyttelserne fremover reduceres, hvorved der opnås en bedre be-

skyttelse af baglandet. Strandfodring medvirker til at styrke og beskytte de eksisterende skråningsbeskyttelser.

Der er foretaget en beregning af, hvorledes den eksisterende kystbeskyttelse fungerer på kort og lang sigt. Samme beregning er gentaget med strandfodring for at kunne vurdere virkningen af den samlede kystbeskyttelse og herunder nødvendig forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelser.

Figur 2-8 viser udviklingen af højden af stranden umiddelbart foran en typisk skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 med forventet havspejlsstigning og en storm som i gennemsnit forekommer en gang på 50 år som funktion af omfanget af fremtidig strandfodring. Det fremgår:

- 1 Den sorte kurve viser den lavest mulige kote af stranden lige foran skråningsbeskyttelsen i dag på -0,8m. Hvis der ikke strandfodres vil dybden vokse til -1,0 m i 2041 og til -1,25 m i 2066.
- 2 Den gule kurve viser situationen, hvis man i gennemsnit strandfodrer med  $5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{år}$ . Kurven viser, at man derved kan opnå, at den nuværende situation stort set stabiliseres de næste 50 år.
- 3 Den røde kurve viser, at man ved en initialfodring på  $60 \text{ m}^3/\text{m}$  kan løfte hele kystprofilet med i gennemsnit 0,3 m, men at dybden igen bliver større med tiden, hvis der ikke vedligeholdelsesstrandfodres.
- 4 Den blå kurve viser situationen, hvis det foreslåede projekt med både initialfodring på  $60 \text{ m}^3/\text{m}$  og vedligeholdelsesfodring på i gennemsnit  $5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{år}$  gennemføres. Det fremgår, at kurven nogenlunde er vandret, hvilket betyder, at man ved initialfodringen løfter hele stranden, og ved at vedligeholdelsesfodre kan fastholde denne situation.
- 5 Endelig viser den grønne kurve situationen, hvis der initialt fodres med  $90 \text{ m}^3/\text{m}$  og ved vedligehold fodres med  $5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{år}$ . Herved forstærkes kystbeskyttelsen yderligere.



Figur 2-8 Potentiel udvikling af laveste kote af stranden foran en typisk skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm som i gennemsnit forekommer en gang på 50 år som funktion af omfanget af fremtidig strandfodring

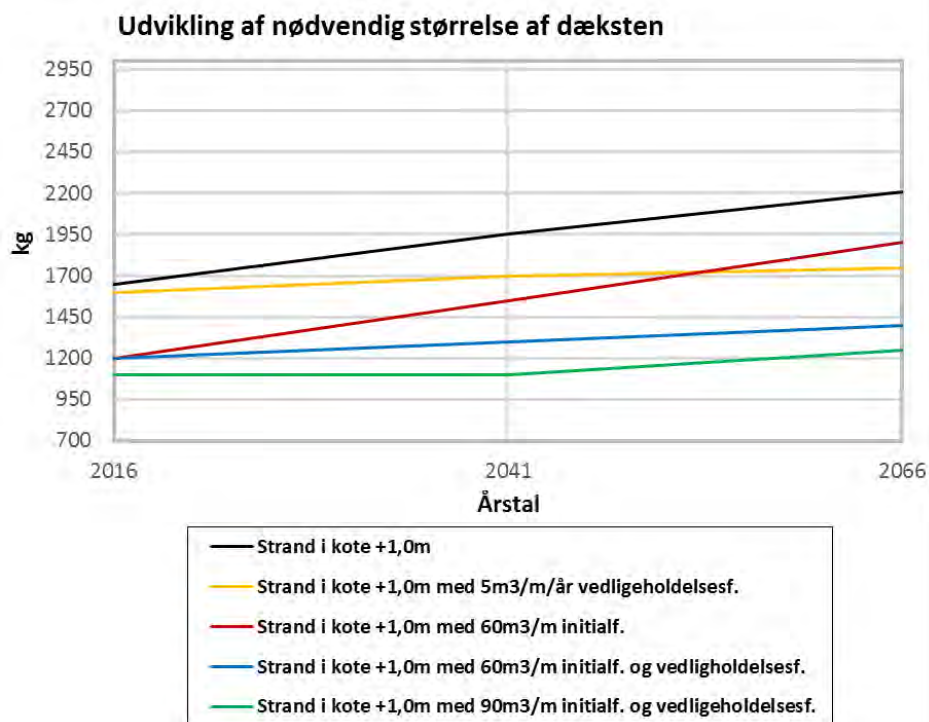
Figur 2-9 og Figur 2-10 viser parallelt som forklaret for udviklingen af højden af stranden, hvordan behovet for forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelser vil afhænge af strategien for initial- og vedligeholdelsesfodring.

Figur 2-9 viser udviklingen af nødvendig størrelse af dækstenene på skråningsbeskyttelserne.

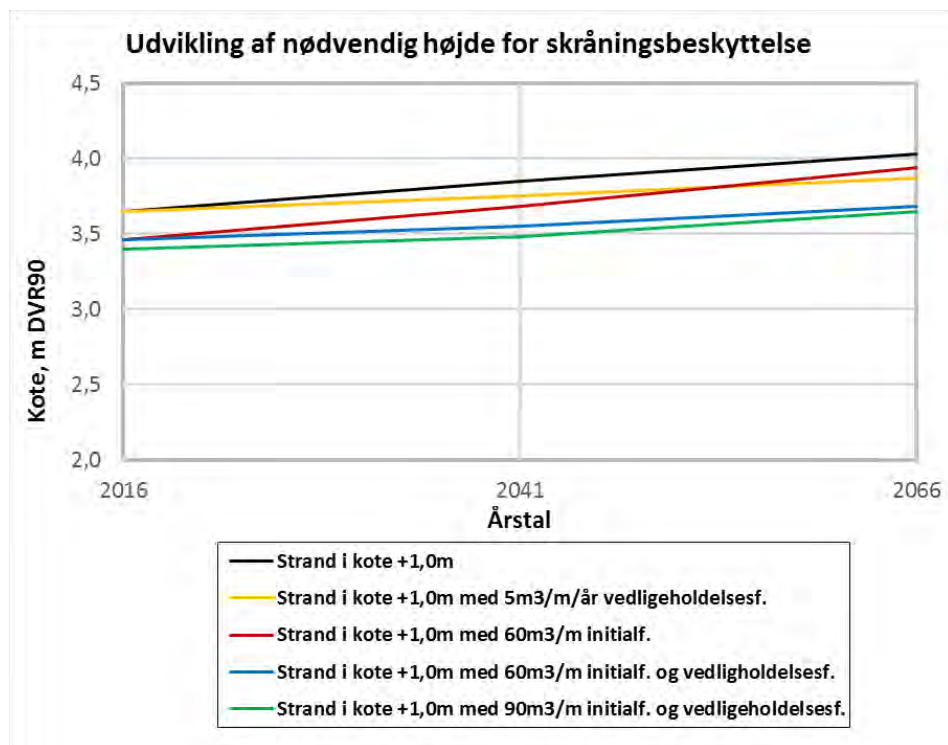
Figur 2-9 viser, at en typisk skræntfodsbeskyttelse i dag bør have dæksten på 1600 kg. Hvis der ikke strandfodres (den sorte kurve) vil kravet til stenstørrelse vokse til ca. 2200 kg om 50 år.

Ved gennemførelse af den anbefalede strategi med initialstrandfodring med 60m³/m og løbende vedligeholdelsesfodring på 5m³/m/år, vil kravet til stenstørrelsen falde til ca. 1400 kg for en typisk skråningsbeskyttelse om 50 år.

Figur 2-10 viser udviklingen i nødvendig højde af skråningsbeskyttelserne. I fremtiden vil skråningsbeskyttelserne skulle forhøjes som følge af havspejlsstigningen og omfanget af strandfodring.



Figur 2-9 Udvikling af nødvendig størrelse af dæksten for en typiske skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm som i gennemsnit forekommer en gang på 50 år som funktion omfanget af fremtidig strandfodring



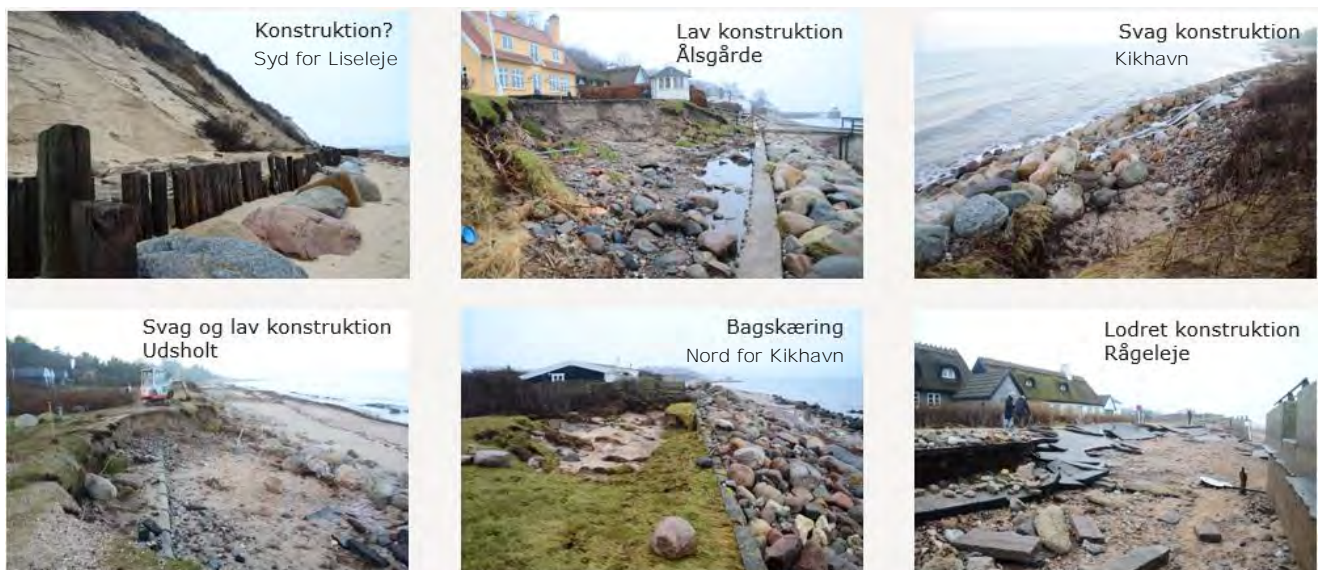
Figur 2-10 Udvikling af nødvendig højde (kronekote) af en typisk skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm som i gennemsnit forekommer en gang på 50 år som funktion omfanget af fremtidig strandfodring

Beregningerne af den akutte erosion af kystprofilen vurderes at være konservative. Den reelle akutte erosion af stranden foran eksisterende skråningsbeskyttelse forventes at være mindre end beregnet primært som følge af, at der er en delral på strandene langs Nordkysten.

Beregningerne er dog gennemført parallelt for alle scenarier, hvilket giver en klar konklusion i forhold til at sammenligne de forskellige scenarier og til at belyse løsningen for forbedring af kystbeskyttelsen på Nordkysten.

Figurerne viser klart, at hvis der ikke foretages strandfodring, vil forholdene gradvist blive væsentligt forværrede fremover. Når der strandfodres vil behovet for forstærkning af skråningsbeskyttelserne være betydeligt mindre.

Stormen Bodil medførte omfattende skader på eksisterende skråningsbeskyttelser som følge af, at højden af konstruktionerne generelt er for lav, foden ikke er tilstrækkelig stabil og dækstenene er for små. Stormen og beregningerne viser, at der er behov for at forstærke den eksisterende kystbeskyttelse både på kort og lang sigt.



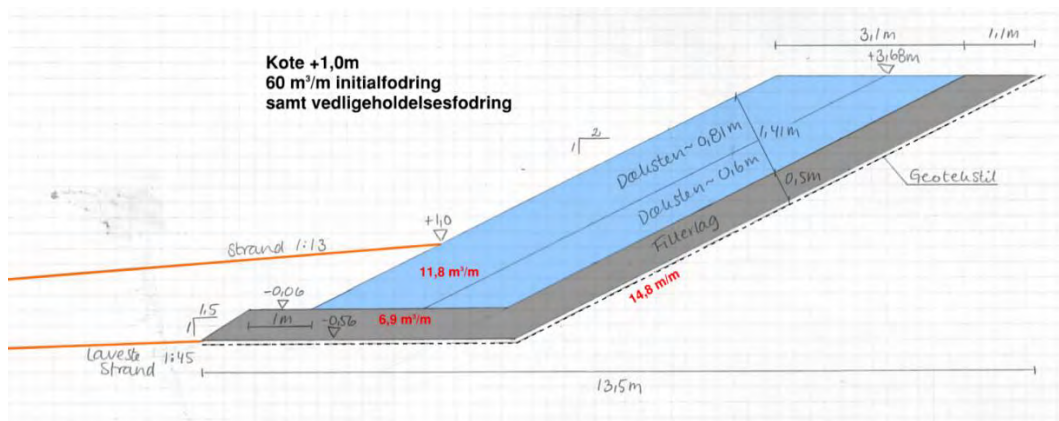
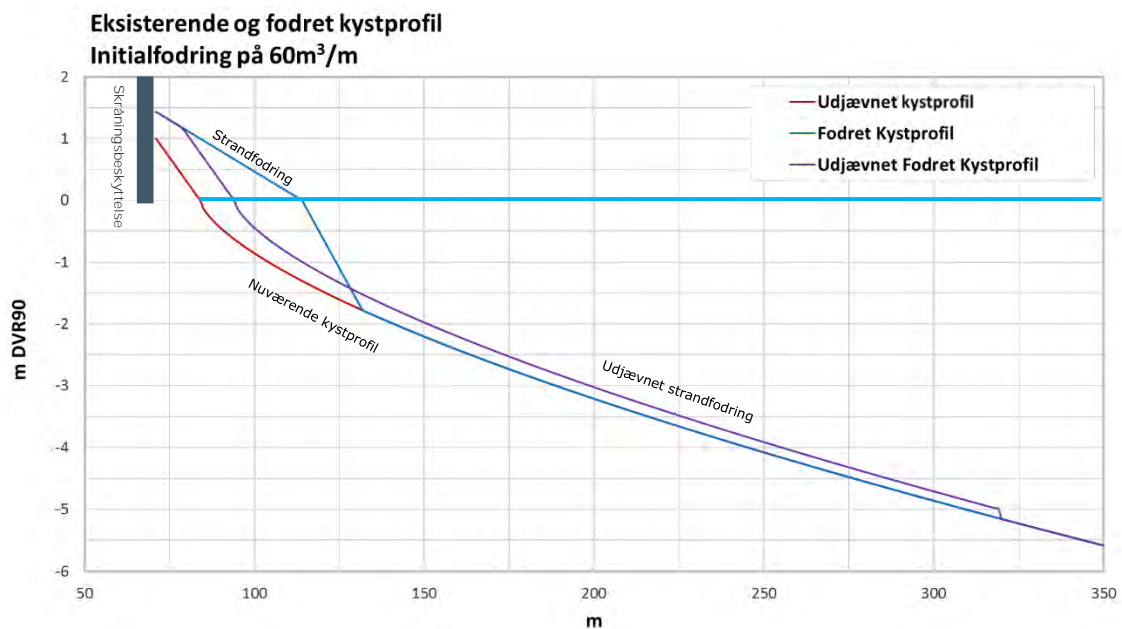
Figur 2-11 Skader på skråningsbeskyttelser i forbindelse med stormen Bodil 06.12.2013

KDI giver ikke tilladelse til, at eksisterende hård kystbeskyttelse opgraderes uden at der samtidig strandfodres. Der er en række tilfælde, hvor private grundejere har forstærket eksisterende anlæg uden at søge ny tilladelse og herunder udføre kompensationsstrandfodring. Sådanne anlæg er ulovlige.

Strandfodring med små mængder over korte strækninger vurderes ikke at være en løsning, som kan stabilisere Nordkysten og derved fremtidssikre kystbeskyttelsen.

Det foreslås at strandfodre langs cirka 28 km af Nordkysten med en blanding af sand, grus og ral. Det vurderes, at der som minimum skal foretages en initialstrandfodring på i størrelsesordenen 1.700.000 m<sup>3</sup> svarende til 60 m<sup>3</sup>/m i middel. Langs kritiske strækninger, hvor den eksisterende strand er lav anbefales det, at strandfodre med i størrelsesordenen 90 m<sup>3</sup>/m.

Figur 2-12 viser øverst det nuværende kystprofil med højden af stranden/havbunden fra skråningsbeskyttelsen ud til 5,5m vanddybde. Det blå profil viser, hvorledes strandfodringen foretages umiddelbart foran skråningsbeskyttelsen på stranden og på lavt vand. Efter bølgepåvirkning udjævnes strandfodringen over hele kystprofillet (lilla kurve) således, at højden af bunden hæves helt ud til 5,0m vanddybde svarende til den aktive zone. Den nederste figur viser en typisk optimeret skræntfodsbeskyttelse som gælder på lang sigt, når den anbefalede strategi for strandfodring gennemføres.



Figur 2-12 Optimeret kystbeskyttelse med opgraderet skråningsbeskyttelse og initialstrandfodring med 60 m<sup>3</sup>/m samt løbende vedligeholdelse



De eksisterende skråningsbeskyttelser bør opgraderes for at opnå den nødvendige skræntfodsbeskyttelse baseret på den fodringsmængde, der vælges og den deraf følgende højde af stranden.

Særligt udsatte strækninger kan med fordel beskyttes ved anlæggelse af nye og forbedrede konstruktioner på strandplanet i form af høfder, bølgebrydere, rev eller flak. Rev og flak vil ikke blokere den langsgående transport i samme omfang som bølgebrydere og høfder.

Typisk vil sådanne konstruktioner være anvendelige på strækninger nedstrøms for kystfremspring, hvor den langsgående transportkapacitet øges over en kort afstand og sand og ral derfor kan have svært ved at blive liggende i tilstrækkeligt omfang.

Det anbefales at rydde op i gamle uvirksomme konstruktioner på strandplanet før der strandfodres. Eksisterende stenmaterialer kan med fordel indbygges i eksisterende skråningsbeskyttelse for at sikre en optimal udnyttelse af materialerne.

## 2.5 Vedligeholdelsesfodring

Det udlagte sand, grus og ral vil gradvist vandre op langs kysten fra sydvest mod nordøst på den nordvestvendte strækning og fra vestnordvest imod østsydøst på den nordøstvendte strækning. Derved kommer sandet på sigt det meste af Nordkysten til gode. For at opretholde en beskyttende strand langs tæt bebyggede strækninger af Nordkysten, skal der efter den initiale strandfodring vedligeholdelsesfodres med mængder minimum svarende til den kroniske erosion samt for at modvirke den forventede havspejlsstigning.

Det er vurderet, at der samlet set skal vedligeholdelsesfodres med i størrelsesordenen 100.000 m<sup>3</sup>/år langs Nordkysten for at opretholde en beskyttende strand foran den eksisterende kystbeskyttelse for at stoppe den kroniske erosion. Derudover forventes kystprofilen at erodere tilbage som følge af den forventede fremtidige havspejlsstigning. Det vurderes, at der yderligere skal fodres med ca. 15.000 m<sup>3</sup>/år for at modvirke stigningen i havvandspejlet fremover langs de foreslåede fodringsstrækninger.

Det vurderes, at der samlet skal vedligeholdelsesstrandfodres med i størrelsesordenen 115.000 m<sup>3</sup>/år for at opretholde beskyttelsesniveauet svarende til ca. 4 m<sup>3</sup>/m/år.

I forbindelse med de første vedligeholdelsesfodringer kan det overvejes, at forstærke sand- og ralbufferen langs kysten på udsatte strækninger for at komme op i nærheden af en buffer svarende til 90 m<sup>3</sup>/m initialfodring afhængigt af de lokale forhold. Jo større sand- og ralbuffer der opbygges over årene desto mindre vil det være nødvendigt at opgradere og vedligeholde eksisterende skråningsbeskyttelser.

For at optimere vedligeholdelsesindsatsen anbefales det at udføre større vedligeholdelsesfodringerne med 2 til 3 års mellemrum. Herved fodres med større mængder, hvilket reducerer enhedsprisen som følge af færre mobiliseringer af sandsuger og rørledning mm.

Vedligeholdelsesfodringerne skal planlægges efter monitoring af situationen, og vil derfor ikke nødvendigvis blive foretaget på nøjagtig samme del-strækninger som initialfodringerne. På grund af den østgående sedimenttransport må man forvente, at vedligeholdelsesfodringerne primært skal foretages nær vest-enden af de 7 del-strækninger.

I fremtiden bør det sand, der oprenses i sejltrenden og i indsejlingerne ved Gilleleje Havn og Hornbæk Havn benyttes som strandfodring øst for havnene. Dette vil hjælpe med til at opretholde balance i sedimentbudgettet på Nordkysten og dermed styrke strandene som beskyttelse mod kronisk og akut erosion. Herudover kan det overvejes at foretage større initialoprensninger ved Gilleleje og ved Hornbæk, dels med henblik på at afhjælpe stigende tilsandings- og aflejningsproblemer ved havnene og dels for at skaffe sand til de planlagte initialfodringer.

## 2.6 Demonstrationsprojekt i Gribskov Kommune

Kysten mellem Tisvildeleje og Vincentstien foreslås som demonstrationsstrandfodringsstrækning. Strækningen ligger i Gribskov Kommune og er præget af utilstrækkelig kystbeskyttelse og et stort erosionspres som følge af underskud af sand og ral. Den udvalgte strækning fra Tisvildeleje Bølgebryderen til Vincentstien er 5.600m lang.



Figur 2-13 Pilotfodringsstrækningen mellem Tisvildeleje og Vincentstien

Strækningen er præget af mange små konstruktioner på strandplanet. De eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner er generelt utilstrækkelige både med hensyn til konstruktionernes dimensioner og deres virkemåde. Det har betydet, at stranden er smal og helt er forsvundet på flere strækninger. Desuden er der flere steder alvorlige problemer med skrænterosion, hvilket kan true bebyggelsen langs toppen af de meget høje skrænter.

Demonstrationsprojektet foreslås bygget på samme principper som anvendt på Nordfyn med stor succes. Disse principper omfatter som første prioritet storstilet strandfodring og efterfølgende monitoring. Herefter planlægges vedligeholdelsesfodringerne efter behov. På udsatte lokaliteter, hvor sand og ral i praksis viser sig at have svært ved at blive liggende i tilstrækkelig omfang kan det være nødvendigt at anlægge enkelte hårde kystbeskyttelseskonstruktioner på stranden. Dertil kommer opgradering af skræntfodsbeskyttelserne ud fra det lokale behov.

For at få en langsigtet virkning af strandfodringen, anbefales det som pilotprojekt at strandfodre på den 5.600 m lange strækning mellem Tisvildeleje Bølgebryderen og Vincentstien.

Det anbefales at udføre en initialstrandfodring svarende til  $60 \text{ m}^3/\text{m}$  eller  $335.000 \text{ m}^3$  med en blanding af sand, grus og ral.

Derudover foreslås det at vedligeholdelsesstrandfodre med  $5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{år}$  svarende til  $28.000 \text{ m}^3/\text{år}$  eller  $84.000 \text{ m}^3/3\text{år}$ .

Skråningsbeskyttelserne bør opgraderes til optimal standard til at kunne modstå en storm som i gennemsnit forekommer en gang på 50 års storm og med en levetid på 50 år (2066).

Oprydning af gamle konstruktioner på stranden bør indbygges i forstærkede skråningsbeskyttelser. Gamle konstruktioner bør samles til enkelte større konstruktioner på strandplanet.

## 2.7 Sandressourcer

Der er to kategorier af indvindingsområder, som er interessante i forbindelse med kystfodring:

- > Fællesområder, hvor danske sandsugere har indvindingsret
- > Bygherreområder, hvor bygherrer kan ansøge om retten til indvinding uanset sandsugerfirmaets nationalitet

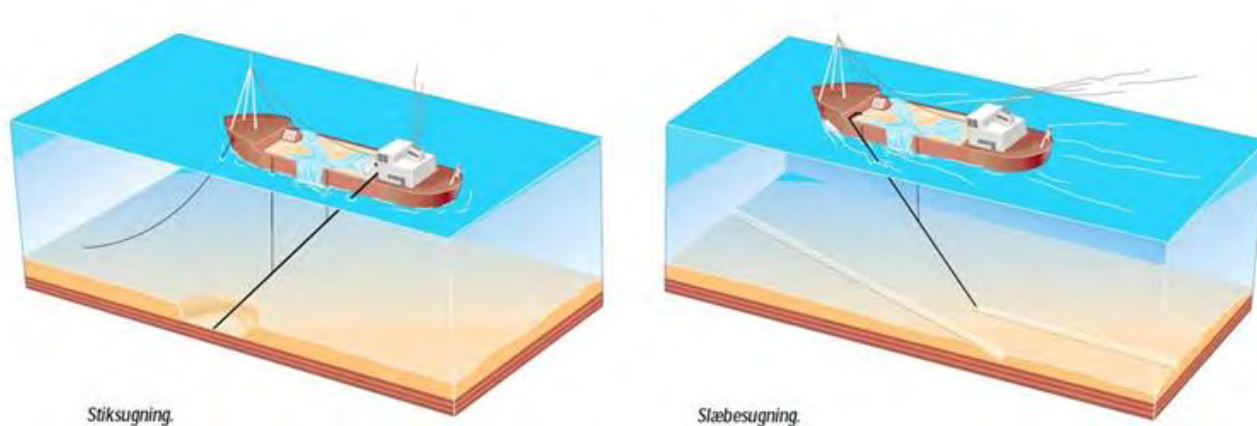
I Fællesområderne kan der årligt indvindes maksimalt ca.  $850.000 \text{ m}^3$  til kystfodring og i de reservede bygherreområder er der estimerede ressourcer af mellemkornet sand på 185 millioner  $\text{m}^3$  og 72 mio.  $\text{m}^3$  ral. Det skal under detailprojekteringen vurderes om projektet skal ansøge om eget bygherreområde.

Hvis dette bliver tilfældet, skal bygherren først opnå tilladelse til efterforskning og miljøvurdering af det ønskede interesseområde. Når disse undersøgelser er gennemført og godkendt af SVANA kan der opnås indvindingstilladelse i en år-række.

## 2.8 Metode til kystfodring

Indvindingen af sand foretages typisk som stiksugning eller slæbesugning.

Sandet indpumpes på standen ved hjælp af flydende pumpeledning, hvorfra det kan pumpes ud til siderne ved hjælp af rørledninger på stranden. Hvis det er nødvendigt kan sandet yderligere fordeles ved hjælp af entreprenørmateriel.



Figur 2-14 Sandindvinding



Figur 2-15 Indpumpning og fordeling af sand på stranden

## 2.9 Miljøvurdering

Der er foretaget en overordnet miljøvurdering for den foreslåede strandfodring. Vurderingerne er under forudsætning af, at anbefalingen til fodringstidspunktet overholdes.

Det konkluderes, at der kun forekommer mindre til ubetydelig påvirkning på de forskellige naturtyper.

Påvirkningerne ved strandfodring vurderes at være mindre end påvirkningerne i forbindelse med en almindelig storm.

Under storm flyttes der meget rundt på bundsedimentet helt ud til den aktive dybde afhængigt af den aktuelle storm og vandstand. Sedimentflytningen sker på hele kysten næsten samtidigt under en storm og udgør en langt større miljøpåvirkning end hvad der er tale om i forbindelse med en strandfodring, også taget i betragtning af, at strandfodring sker på begrænsede del-strækninger.

De årstidsbestemte profilændringer ved naturlige sandomlejringer i henholdsvis sommer- og vinterprofil indenfor den aktive zone har en større påvirkning på den marine natur end ved strandfodring og de marine naturtyper indstiller sig efter de ændrede forhold.

Anbefalingerne til strandfodringstidspunkt er baseret på de perioder på året, hvor de forskellige biologiske parametre påvirkes mindst.

Anbefalingen er, at der bør fodres i perioden; sent efterår og vinter, svarende til november til februar.

Kysten huser et meget stort antal arter, som er af betydning som føde for bl.a. fisk. For dem alle gælder det generelt, at de om vinteren er trukket ud på dybere vand, hvor de ikke udsættes for samme kraftige påvirkning af bølger. Forklaringen er, at dyrene om vinteren er mere eller mindre kuldelamme og ikke vil være i stand til at overleve i et dynamisk ustabil miljø. Dette er den biologiske begrundelse for at fodre om vinteren og derved minimere den skadelige virkning af strandfodring på kystfaunaen.

Samlet set vurderes påvirkningen på bundfauna som følge af strandfodring på de planlagte strækninger at være af mindre grad, hvis der fodres om vinteren og så langt oppe på stranden som muligt (strandfodring).

## 2.10 Anlægsbudget

På baggrund af det udarbejdede kysttekniske skitseprojekt er der udarbejdet et overslagsmæssigt budget for hele projektet. Dette budget skal kvalificeres yderligere under detailprojektfasen. Budgettet er angivet i 2016 prisniveau og eksklusiv moms.

Totalbudget for den foreslåede helhedsplan for kystbeskyttelsen langs Nordkysten omfatter:

- > **Entreprisebudget for strandfodring:**  
Denne store post i budgettet er vurderet ud fra den estimerede samlede mængde sand og ral til strandfodring på 1,7 mill. m<sup>3</sup> og under antagelse af en enhedspris på 60 kr./m<sup>3</sup> alt inklusiv. Denne pris forudsætter, at de enkelte projektfaser omfatter store fodringsmængder.

Det samme gælder vedligeholdelsesstrandfodringer, som bør foretages hvert 2. eller 3. år for at sikre, at der er tale om relativt store mængder per anstilling.

- > **Entreprisebudget for forbedring af skråningsbeskyttelser:**  
Det ligger udenfor dette skitseprojekts rammer at foretage en samlet detaljeret registrering og opgørelse over de eksisterende skråningsbeskyttelser på den ca. 60 km lange kyststrækning. Et sådant projekt er meget omfattende og vurderes ikke som nødvendigt på nuværende stade af projektet; og er ikke nødvendigt for iværksættelse af strandfodringskomponenten af projektet. Der er udregnet en typisk enhedspris per meter forstærket skræntfodssikring på ca. 6000 kr./m. Det er overslagsmæssigt vurderet, at den samlede indsats for opgradering og eventuelt i visse tilfælde ny-anlæg af skræntfodssikringer svarer til ca. 10 km forstærkede konstruktioner, og derfor er totalbudgettet på 60 mill. kr.

En vurdering af fordelingen på de enkelte del-strækninger i de tre kommuner vil kræve, at der foretages et nærmere studie af den eksisterende situation. Dette kan være enten det ovennævnte detailstudie eller eventuelt en mere overslagsmæssig gennemgang.

- > **Entreprisebudget for evt. faste konstruktioner til stabilisering af strandfodringen:**  
På særligt udsatte lokaliteter langs kysten kan der være behov for hårde kystbeskyttelseskonstruktioner til at stabilisere stranden. Erfaringen fra projektet for 13 km kystbeskyttelse på Nordfyn viser, at man i praksis kan vente med at fastlægge, hvor disse lokaliteter er til et par år efter, at man har foretaget initial-strandfodringen. Man må regne med, at disse konstruktioner i nogle tilfælde vil skulle anlægges med 100% nye materialer, mens man i andre tilfælde kan forestille sig, at diverse materialer fra eksisterende mindre konstruktioner genbruges.

- > Omkostninger:
  - kommunernes egne projektudviklingsomkostninger, administration og procesomkostninger (ikke medregnet)
  - forundersøgelser og herunder totalpejling af projektstrækningen
  - evt. udgifter til studie af status af skræntfodssikringer
  - evt. udgifter til VVM for indvinding af sand fra bygherreområder
  - Rådgiverhonorar til detailprojekt(er), udbud og tilsyn

Et skøn på disse udgifter er 3 – 4 % af anlægsomkostningerne inklusiv nødvendige forundersøgelser og pejlinger.

- > Budgettillæg:
 

Der er ikke regnet med budgettillæg, da der er mulighed for en vis variation i fodringsmængden, så det vil være muligt at operere med et rimeligt fast budget. Bygherren må vurdere denne post til eventuelle uforudsete udgifter.

Det samlede anlægsoverslag er baseret på 2016 priser og er opgjort eksklusiv moms.

<b>Nordkystens Fremtid</b>							
Kystteknisk Skitseprojekt							
Nr.	Strandfodringsstrækning	Længde (m)	Fodring (m <sup>3</sup> /m)	Samlet fodring (m <sup>3</sup> )	Enhedspris (kr/m <sup>3</sup> )	Samlet budgetpris (mill. kr)	Tid/forløb
<b>Initial Strandfodring</b>							
1	Kikhavn-Liseleje	7500	60	450000	60	27	
2	Tilsvilde-Vincentstien	5600	60	336000	60	20	
3	Rågeleje-Trillingeme	2000	60	120000	60	7	
4	Havstokken-Feriebyen	3600	60	216000	60	13	
5	Gilleleje-Nakkehoved	2000	60	120000	60	7	
6	Munkerup	2700	60	162000	60	10	
7	Ålsgårde	4700	60	282000	60	17	
Sum		28100	60	1686000	60	<b>101</b>	En gang
<b>Rådgivere - Initialstrandfodring</b>						<b>4</b>	En gang
<b>Vedligeholdelsesfodring</b>							
	Strækning ialt: 28,1 km (varierer, i middel 4m <sup>3</sup> /m/år)	28100	4	112400	60	<b>7</b>	Per år løbende
<b>Rådgivere - Vedligeholdelsesfodring</b>						<b>0.3</b>	Per år løbende
<b>Skræntfodssikring</b>							
	Reparation af Skræntfodssikring i alt 10 km med 6000 kr/m	10000			6000	<b>60</b>	I alt over næste ca. 20 år
<b>Bølgebrydere</b>							
	10 bølgebrydere; 10 stk af 1 mill kr					<b>10</b>	I alt over næste ca. 20 år

Skråningsbeskyttelserne er som udgangspunkt private anlæg og kan derfor med fordel vedligeholdes og udbygges i privat regi efter grundejernes ønsker. Strandfodring er et tiltag, som strækker sig over lange strækninger og sand, grus og ral vandrer langs kysten. Strandfodring bør derfor foretages over længere strækninger i fælles regi.

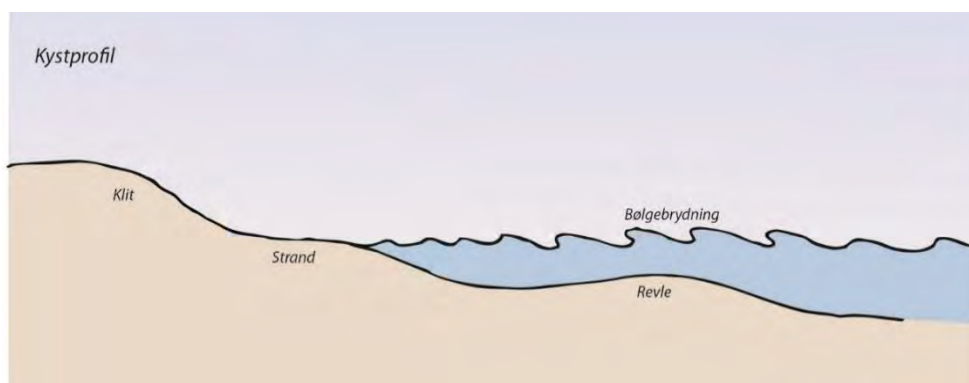
## 3 Kystbeskyttelsesmetoder

### 3.1 Kystdynamik

#### 3.1.1 Sedimenttransport

Kysten er dynamisk og de meteorologiske og morfologiske forhold helt fra yderste revle til klitrækken eller skrænt/klint toppen (profilet) er af afgørende betydning for kystudviklingen. Når bølger ruller ind på lavt vand eller bryder, hvirvles sand op fra havbunden. Ved brydning dannes en strøm som både har komponenter på tværs og på langs af kysten alt efter bølgeindfaldsvinklen. Lokale bølge- og strømforhold afgør da, hvor og hvordan sandet flyttes rundt. Bølgebrydningen medfører ligeledes en lokal forøgelse af vandspejlet på strande, den såkaldte bølgestuvning eller bølge-setup.

Størrelsen af sedimenttransporten afhænger af mange forskellige faktorer, hvoraf de vigtigste er bølgehøjde, bølgeretning, sedimentets kornstørrelse samt kystprofilets form. Jo større bølgerne er, og jo finere sedimentet er, jo mere sediment transporteres der.



Figur 3-1 Et kystprofil består af en øvre del over vandet, klit og strand, og en ydre eller nedre del under vand, nogle steder med revler omkring, hvor bølgerne bryder – andre steder uden revler.



### 3.1.2 Tværgående sedimenttransport og akut erosion

Den tværgående sedimenttransport former kystprofilen og danner eventuelle revler. Sandkyster vil inden for den aktive del af kystprofilen indstille sig med et ligevægtsprofil, der tilnærmet svarer til Dean's formel

$$d = Ax^m$$

Hvor:

- > d er dybden i afstanden x
- > x fra strandlinjen (d og x regnes i meter).
- > A er en dimensionsløs stejlehedsparameter som er en funktion af middelnørstørrelsen,  $d_{50}$  af sandet i kystprofilen
- > m er en dimensionsløs eksponent som gennemsnitligt har værdien 0.67.
- >

Tabel 3-1 Korrelation mellem middelnørstørrelse og stejlehedsparameteren A i Dean's formel.

$d_{50}$ [mm]	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.50	1.00
A	0.063	0.084	0.100	0.115	0.103	0.161	0.210

Det fremgår af Tabel 3-1, at groft sand vil indstille sig i et stejlere kystprofil end finere sand. Det skal yderligere bemærkes at ligevægtsprofilen som oftest er overlejret af revler.

Bølgerne har indflydelse på til hvilken dybde ligevægtsprofilen udvikles, dvs. den aktive del af kystprofilen hvori sedimenttransport forekommer.

Denne zone strækker sig ud til den aktive dybde,  $d_l$ :

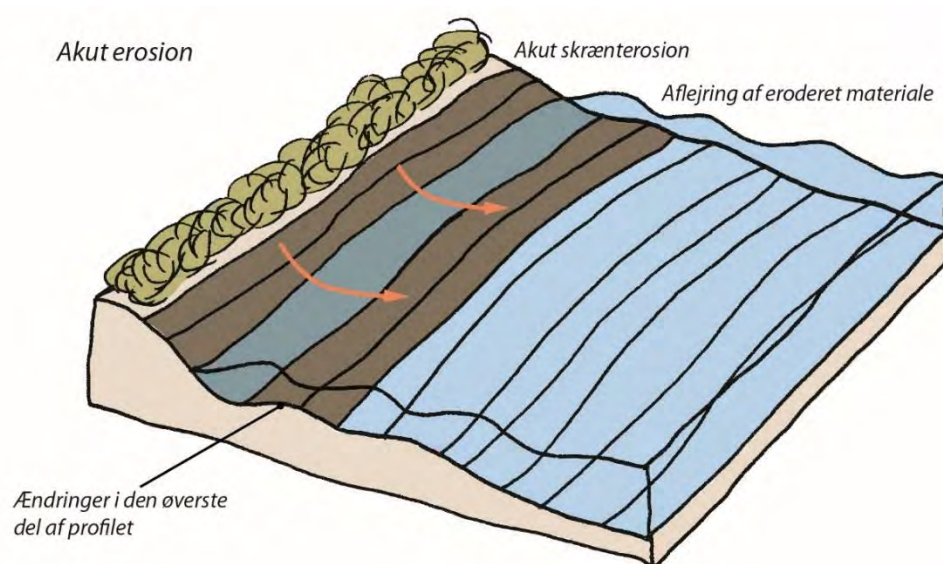
$$d_l = 2.28H_{s,12h/y} - 68.5 \frac{H_{s,12h/y}^2}{gT_s^2}$$

hvor:

- >  $H_{s,12h/y}$  er den bølgehøjde som definitions-mæssigt overskrides 12 timer per år,
- > g er tyngdeaccelerationen
- >  $T_s$  er bølgeperioden for  $H_{s,12h/y}$ .

På lokaliteter som på Nordkysten, hvor stormflodshøjvande ledsages af store bølger, kan bølgerne slå direkte ind på bagstranden og på denne måde erodere den bagerste del af stranden, klitterne og skråningerne bagved. Tværtransporten vil her medvirke til at etablere et nyt kystprofil svarende til den forhøjede vandstand. Under denne situation flyttes sedimenterne typisk fra den indre til den ydre del af kystprofilen, hvilket opleves som akut tilbagerykning af kystlinjen

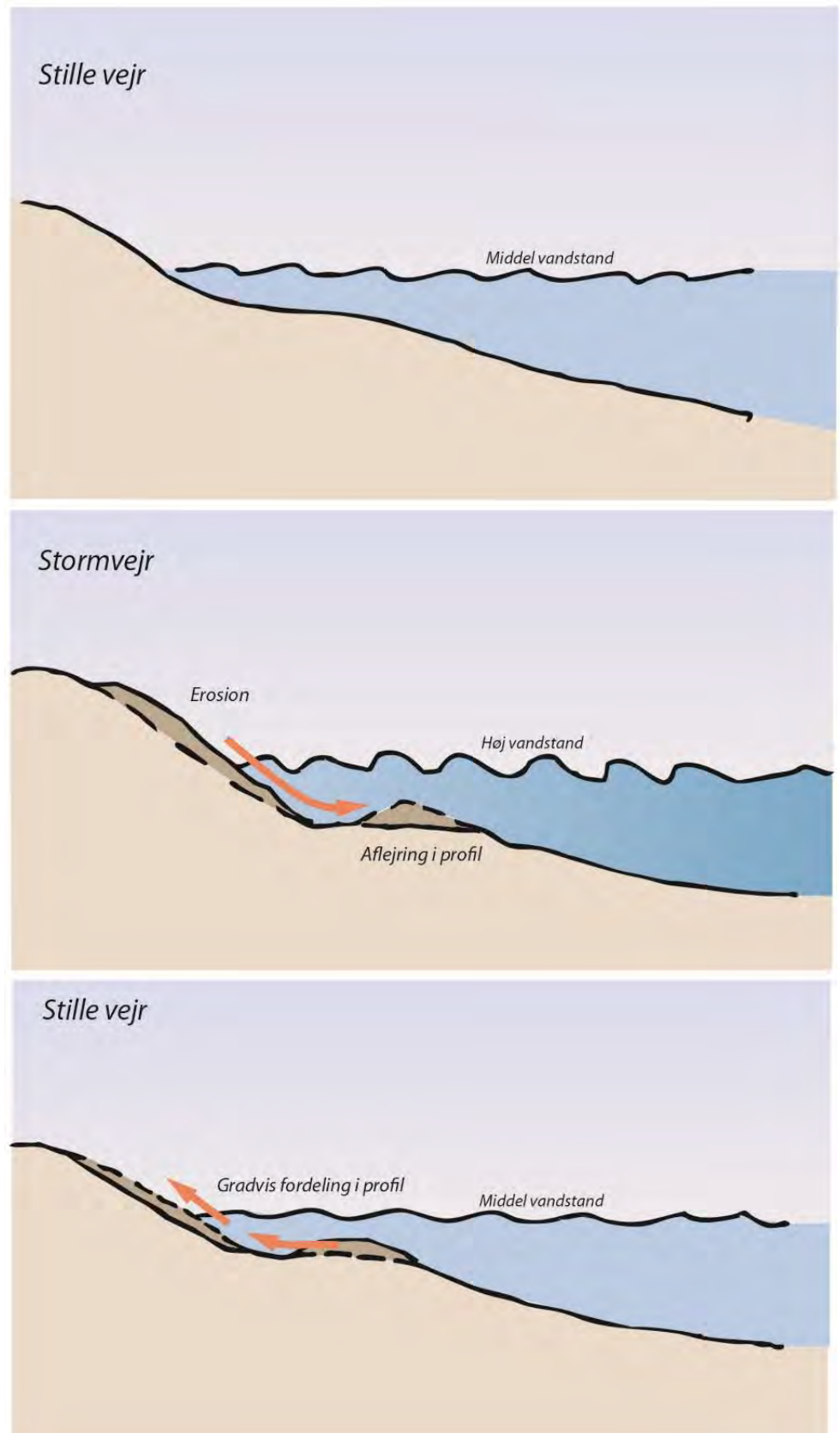
også kaldt akut erosion. Sandet forsvinder ikke, men lægger sig ude i profilet og medvirker på denne måde til at reducere bølgerne inden de når kysten. Da bølgerne er større om vinteren end om sommeren, taler man om typiske vinter- og sommerprofiler, hvor der er mest sand på stranden om sommeren.



Figur 3-2 Under akut erosion eroderes den øvre del af profilet under højvande (storm). Det eroderede materiale trækkes ud i de dybere dele af profilet. Mørk brun og mørk blå svarer til, hvor profilet er aktivt under akut erosion. Lysere blå er ikke en del af det aktive profil.

Under efterfølgende perioder med mindre bølger og normal vandstand vil tværtransporten gradvist retablere det oprindelige ligevægtsprofil ved at flytte sand fra revlerne ind på kysten. Akut erosion er således delvis en reversibel proces, men eventuel skrænterosion under stormfloden vil dog ikke gendannes.

Revler fungerer som sanddepoter og har afgørende betydning for mængden af den energi, der når helt ind på kysten. De lave vanddybder over revlen bevirker nemlig, at bølgerne bryder på revlen og dermed frigiver energi.



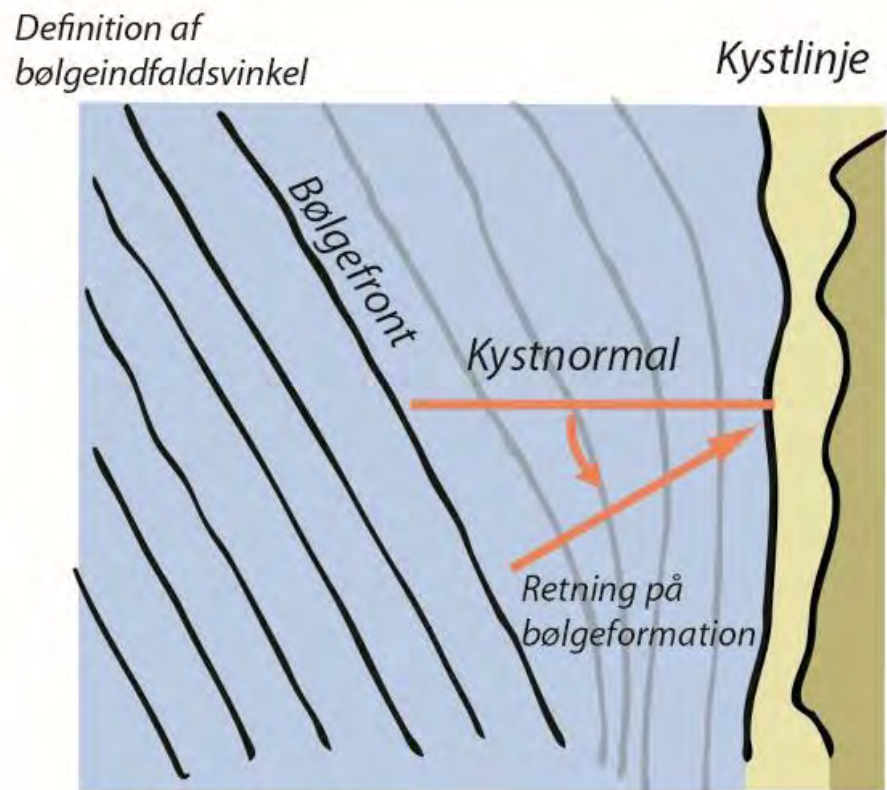
Figur 3-3 Tværtransport giver anledning til erosion under storm og opbygning under roligt vejr (vinter – henholdsvis sommerprofil)



Figur 3-4 Fotos efter Stormen Bodil d. 6.12.2013, som medførte ekstremt højvande på ca. +1,9 m langs Sjællands Nordkyst.  
Øverst: Jævnt fordelt akut erosion langs klitrækken NØ for Liseleje.  
Nederst: Skrænt-/brinkeroseion langs Nordkyststien ved Villingebæk Hage

### 3.1.3 Langsgående sedimenttransport og kronisk erosion

Sedimenttransport langs kysten forårsages af bølger som rammer kysten med en skrå vinkel. Når bølgerne bryder langs kysten driver de en strøm som løber langs med kysten. Denne strøm kan transportere det ophvirvlede sediment. Brydende bølger kan således transportere store mængder af sediment, afhængig af bølgestørrelse og bølgeretning.



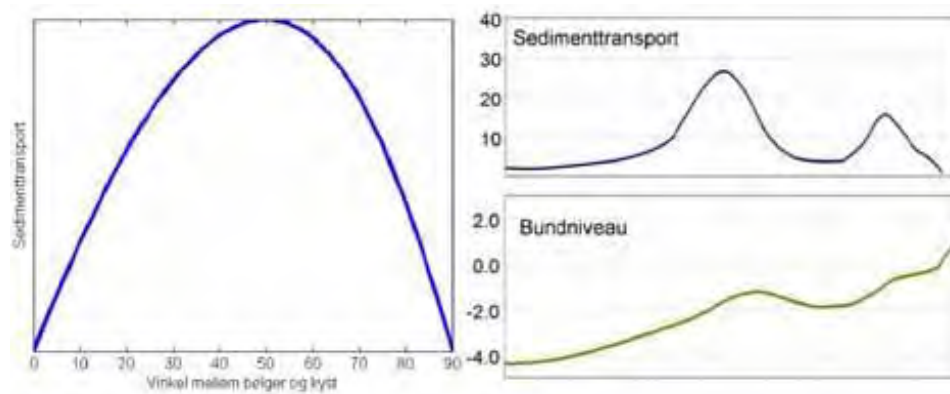
Figur 3-5: Definition af bølgefront og bølgeretning

Figur 3-6 viser sammenhængen mellem langstransporten og bølgeretning samt bundens udformning. Figuren viser, at sedimenttransporten er størst, når bølgerne nærmer sig kysten med en vinkel på omkring 50 grader. Det faktum at sedimenttransporten aftager, når vinklen mellem bølgeretningen og kystens orientering bliver større end 50 grader gør, at kystlinjen bliver ustabil.

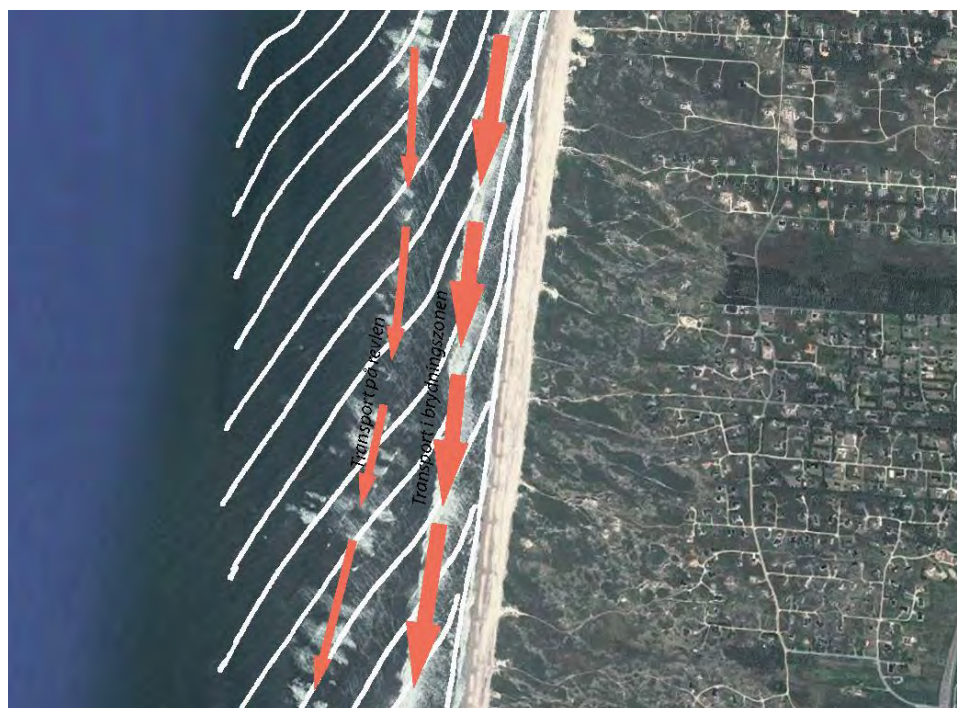
Hvis den dominerende bølgeretning er vinkelret på kysten (0 grader indfaldsvinkel) er den gennemsnitlige langstransport over tid nul. Denne orientering af kysten kaldes kystens ligevægtsorientering.

Figur 3-6 viser hvordan kystprofilen typisk ser ud langs de ubeskyttede dele af Nordkysten. De fleste steder er der en eller to revler i kystprofilen, men der er også enkelte strækninger, hvor der ikke er nogen revle. Revlerne har betydning for hvor meget bølgeenergi, der når helt ind på kysten.

Under kraftig bølgepåvirkning bryder bølgerne først på revlen og senere helt inde langs strandkanten. Den resulterende langsgående strøm og langstransport er derfor størst hen over revlen og i den kystnære del af kystprofillet.



Figur 3-6 Grafen til venstre viser hvordan langstransporten afhænger af bølgenes indfaldsvinkel på kysten. De to grafer til højre viser hvordan langstransporten er fordelt på et typisk kystprofil med én revle.

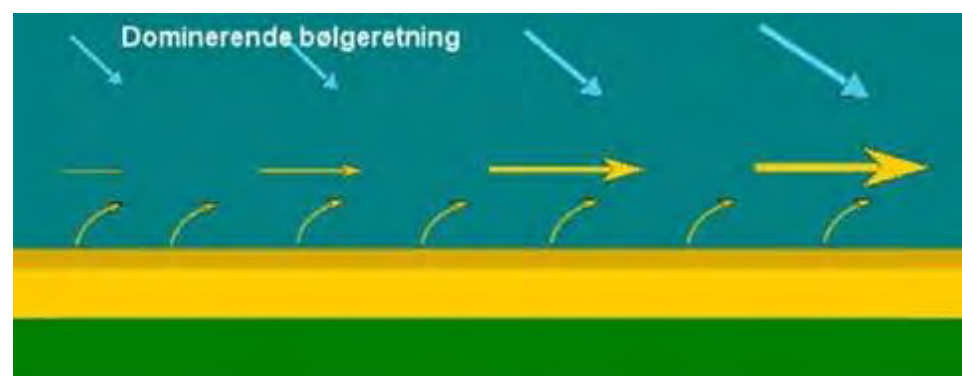


Figur 3-7 Bølger, som falder ind på en strand og driver en langsgående transport. Hvide linjer viser bølgetoppe. Orange pile indikerer langstransport retning og størrelse.

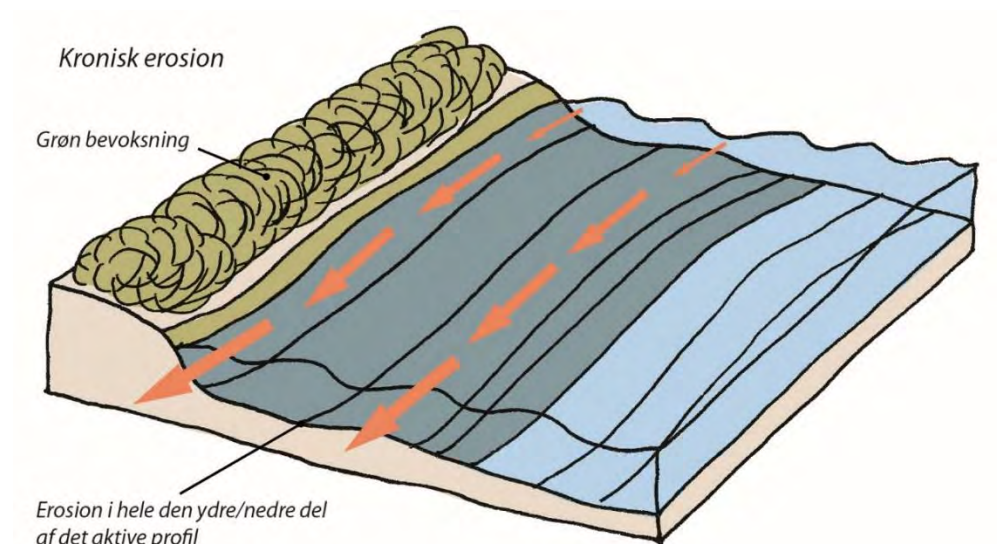
Langstransporten som er vist i Figur 3-6 svarer til et strandprofil som udelukkende består af mobilt sand. Ofte vil dele af profilet dog være dækket af gro-

vere materiale såsom grus, ral, sten eller moræneler og transporten vil i disse områder være stærkt reduceret i forhold til det, der er angivet i Figur 3-6. Ligeledes vil kystbeskyttelse såsom høfder eller bølgebrydere reducere eller helt eliminere transporten i den del af kystprofilen som dækkes af konstruktionerne.

Erosion langs en eksponeret kyststrækning som Sjællands Nordkyst forårsages som oftest af variationer i langtransporten langs med kysten. Hvis langtransporten vokser i transportens retning vil en given kyststrækning modtage mindre sediment opstrøms fra end den mister nedstrøms. Dette underskud af sediment fører til, at sediment eroderes fra kystprofilen og kystlinjen vil derfor rykke landværts. Dette kaldes kronisk erosion, se Figur 3-8.



Figur 3-8 Skitse der viser hvordan stigende langtransport forårsager kronisk erosion. Langtransporten vokser mod højre og derved fjernes sediment fra kystprofilen, hvilket medfører at kystlinjen rykker tilbage



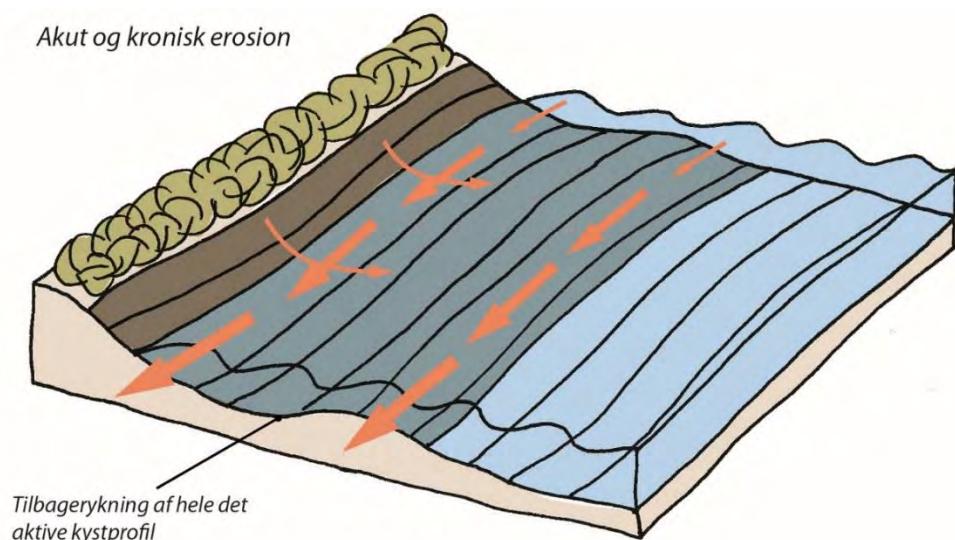
Figur 3-9 Kronisk erosion sker når langtransporten stiger i transportretningen. Der transporteres mere sediment ud af området end ind, hvilket betyder at området er under erosion. Mørk blå område viser de aktive dele af profilet. Lysere blå områder forbliver upåvirket

Erosion forekommer således på kyststrækninger, hvor den kystparallelle sedimenttransport vokser langs kysten. Naturlige årsager til at transporten vokser langs en kyststrækning er typisk variationer i bølgeforholdene eller i kystens orientering.

Hvis transporten derimod aftager langs kysten vil der på en given strækning være et overskud af sediment, hvilket giver anledning til aflejring i kystprofilen, og kystlinjen vil rykke søværts. Dette kaldes kystfremrykning eller akkumulati-on.

Ved Sjællands nordkyst ledsages store bølger typisk af højvande, hvilket gør at bølgerne i disse situationer når langt op på bagstranden. I disse tilfælde medfører tværtransporten under højvandssituationen at sediment fra bagstranden transporteres ud i kystprofilen, dvs. der opstår akut erosion. Da der ligeledes i disse situationer typisk er underskud af sand i langstransporten på kysten transporteres det af tværtransporten eroderede strandmateriale videre ned langs kysten, og er således ikke til rådighed til igen at blive transporteret ind mod stranden i roligere perioder. Således bidrager akut erosion til, at der løbende fjernes sediment fra kysten, hvilket er en medvirkende årsag til den pågående kysterrosion.

Overordnet forsvinder sandet på længere sigt helt fra projektområdets kyststrækning, idet det enten transporteres ud af området, eksempelvis ud i det strømfyldte farvand ved Helsingør Nordhavn eller det fanges ved havnene, hvor det historisk tabes fra kysten ved opbygning af opstrøms strande og sandgrunde nedstrøms for havnene. Endvidere tabes der sand ved oprensning og efterfølgende klappning på dybt vand. Ligeledes reduceres tilførslen af sand til kystzonen på de strækninger, som er beskyttet med kystbeskyttelseskonstruktioner, fordi sikringen af kysten forhindrer, at der frigives sand ved erosion af kystprofilen.



Figur 3-10 Sedimentbudget for den samlede virkning af akut og kronisk erosion.  
Mørk blå og brun områder viser de aktive dele af profilet.  
Lysere blå områder forbliver upåvirket.



### 3.1.4 Effekten af havniveaustigninger på kysten

Klimaændringerne forventes at medføre en gradvis stigning i havniveauet (middelvandstanden), hvilket hovedsageligt vil påvirke erosionspresset ved en forskydning af ligevægtsprofilen. Endvidere forekommer der landhævning, som udgør ca. 1,5 mm/år. Tidligere var dette ca. af samme størrelse som stigningen i middelvandspejlet, men det er ikke tilfældet længere.

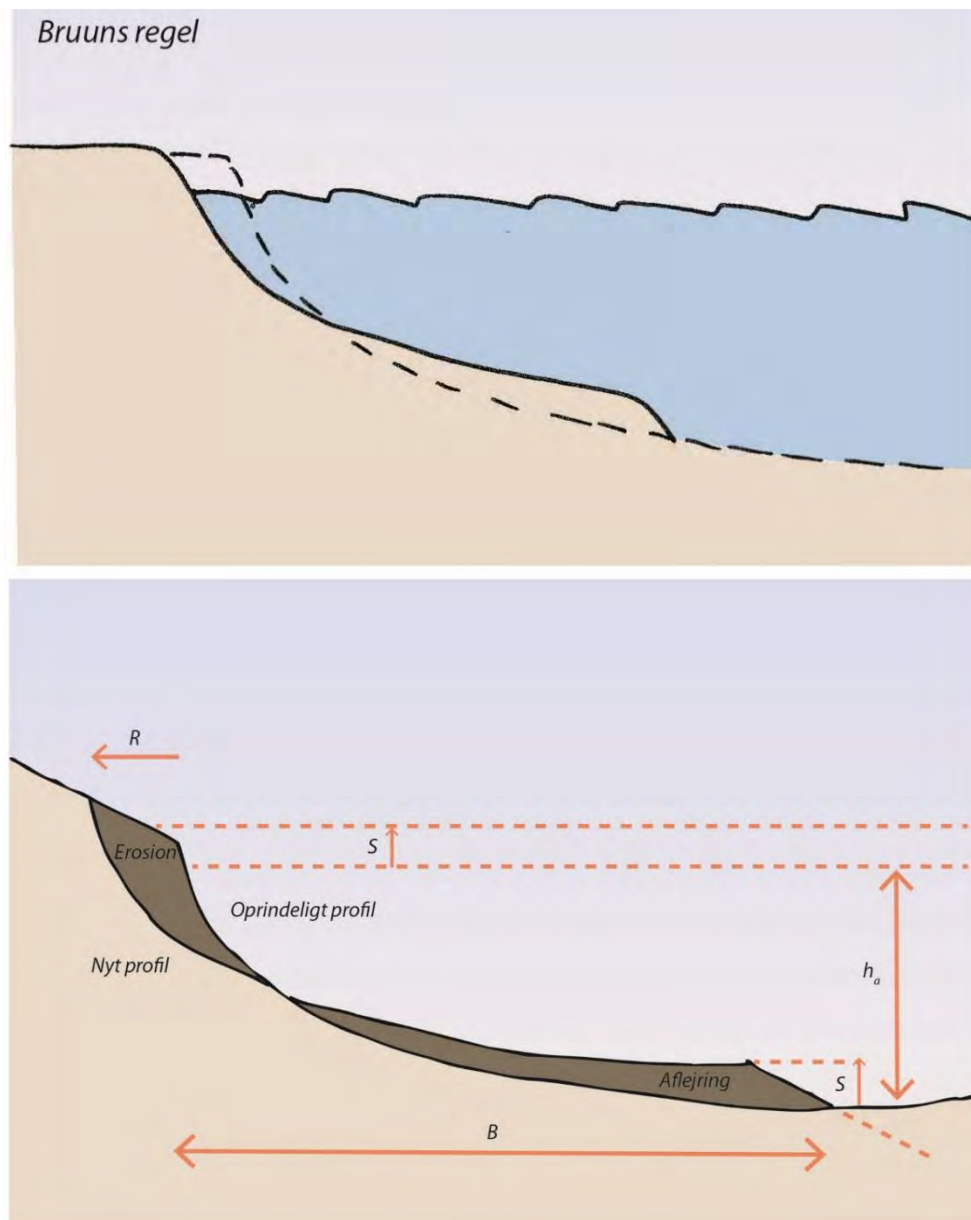
De effekter som havniveaustigningerne vil have på langstransporten og den deraf følgende erosion forventes at være af mindre betydning. Derfor vil kyststrækninger som i dag er udsat for et stort erosionspres på grund af kronisk erosion fortsat være udsatte. Ligeledes vil strækninger der i dag er stabile ikke udsættes for et større erosionspres fra kronisk erosion. Der vil dog komme et nogenlunde ensartet erosionspres på alle strækninger grundet havniveaustigningerne, som vil medføre en forskydning af ligevægtsprofilen som beskrevet under akut erosion.

På en kyst som under nuværende forhold har en stabil strand vil stigningen i havniveauet i middel forårsage en tilbagerykning af kysten som vist i Figur 3-11. Bølgeforholdene vil forsøge at danne et nyt ligevægtsprofil som svarer til det eksisterende, bortset fra at vandlinjen vil ligge højere og dermed længere ind mod land. Den resulterende kysttilbagerykning,  $\Delta x$ , kan estimeres ud fra hældningen,  $s$ , af det eksisterende kystprofil og havniveaustigningen,  $\Delta h$ , efter følgende sammenhæng:

$$\Delta x = \frac{\Delta h}{s}$$

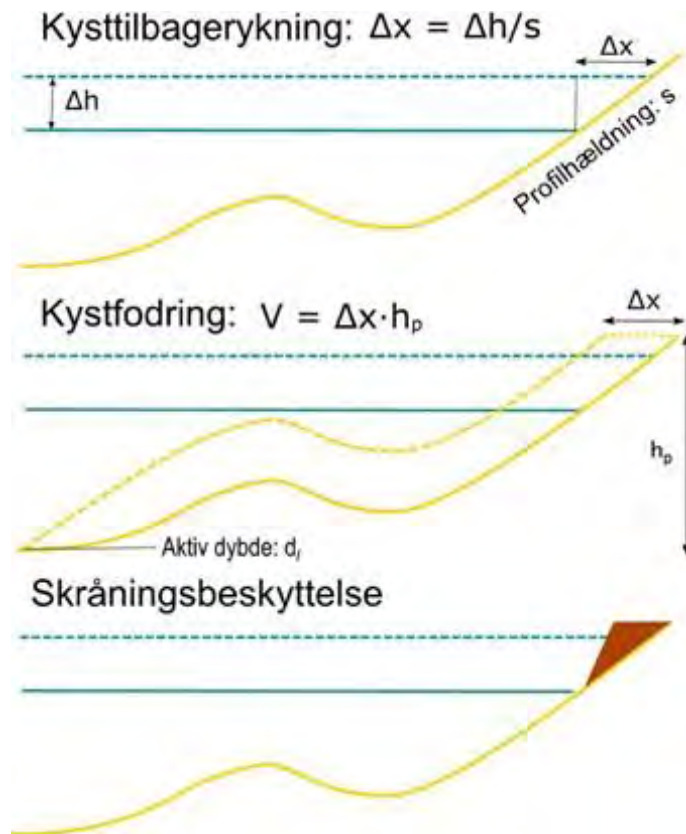
På nordkysten er den naturlige hældning af kystprofilen typisk i størrelsesorden  $s = 1/50$ . Så hvis det antages, at der vil forekomme en stigning i havniveauet på  $\Delta h = 0,5$  m vil kysten således i middel rykke ca. 25 meter tilbage for igen at være i ligevægt. Fordelt over ca. 50 år giver dette en årlig tilbagerykning på ca. 0,5 m/år.

Dette estimat er selvfølgelig meget groft og den faktiske erosionsrate vil afhænge meget af kystprofilens hældning og baglandets geologi. Estimatet af erosionspresset fra klimaforandringer kan dog benyttes til at vurdere, hvor vigtig klimaforandringer er for erosionspresset på kysten. På Nordkysten er de historiske erosionsrater af størrelsesordenen 0,5 m/år og klimaforandringer vil i den forstand give en fordobling af erosionspresset på kysten.



Figur 3-11 Bruuns regel for kysttilbagerykning.  
Øverst: Bundmaterialet omfordeles når vandet stiger.  
Nederst: Definitioner af betegnelser for flytninger,  
 $R$ : Tilbagerykning af kystlinje,  $S$ : Vandspejlsstigning,  
 $B$ : Bredde af aktivt profil,  $h_a$ : Aktiv dybde

Der er grundlæggende tre muligheder for at håndtere det øgede erosionspres som skyldes en stigende vandstand. Figur 3-12 viser en illustration af disse muligheder.



Figur 3-12: Illustration af forskellige strategier til håndtering af den øgede erosionspres fra havniveaustigninger.

**Tillad tilbagerykning:** I tilfælde af, at der ikke findes beskyttelsesværdige bygninger eller infrastruktur i baglandet er det en mulighed at lade kysten rykke tilbage under påvirkning af det øgede erosionspres. Klimaforandringerne vil i så fald forårsage en kysttilbagerykning som beskrevet ovenfor. Hvis der ud over presset fra klimaforandringer er et eksisterende erosionspres, vil dette forårsage en hurtigere kysttilbagerykning.

**Kystfordring:** Kan benyttes til at modvirke kysttilbagerykning ved at opbygge kystprofilen således, at der dannes et ligevægtsprofil svarende til den forhøjede vandstand og herved bibeholde kystlinjens initiale position.

**Hård kystbeskyttelse:** Skråningsbeskyttelse kan ligeledes benyttes til at kontrollere kysterrosionen ved fysisk at blokere for kystlinjens potentielle tilbagerykning. Denne type beskyttelse vil typiske føre til, at stranden efterhånden forsvinder foran skråningsbeskyttelsen, som gradvis vil blive mere og mere udsat.

Hvilken type kystbeskyttelse der kan benyttes til imødegåelse af havniveaustigninger for en given strækning afhænger bl.a. af baglandets karakter, af krav til kystens benyttelse og af myndighedskrav. For højtliggende bagland kan der anlægges skråningsbeskyttelse kombineret med strandfodring, medens det for et lavtliggende bagland kan være nødvendigt at forstærke/forhøje et eksisterende dige eller at opføre et nyt dige, som beskytter imod såvel kystlinjetilbagerykning som imod oversvømmelse, igen kombineret med strandfodring.

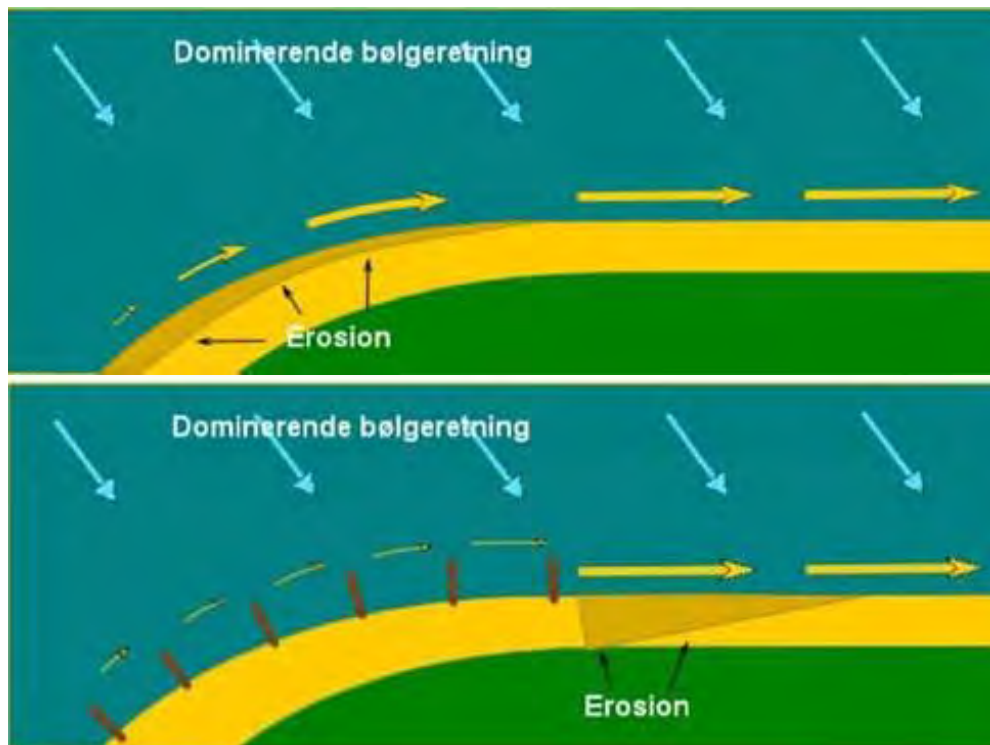
## 3.2 Hård Kystbeskyttelse

### 3.2.1 Sedimentbudget ved hård kystbeskyttelse

Hård kystbeskyttelse såsom bølgebrydere, høfder og skråningsbeskyttelse, standser ikke årsagen til erosionen, men reducerer kun erosionen i den indre beskyttede del af kystprofilen, mens erosionen fortsætter i den del af kystprofilen som ikke er beskyttet. En beskyttet kyststrækning vil derfor løbende miste sand, hvilket vil bevirke, at strandene forsvinder og at kystprofilen forstøjles. Dette medfører øget pres på kystbeskyttelseskonstruktionerne, som derfor jævnligt må forstærkes.

Konsekvensen af en reduktion af frigivelsen af sediment fra den beskyttede kyststrækning er derudover også en reduktion eller eliminering af langstransporten, hvilket medfører øget erosionspres på den tilstødende nedstrøms strækning.

Dette ses mange steder langs Nordkysten, hvor hård kystbeskyttelse måske bremser tilbagerykningen af kystlinjen langs den beskyttede strækning, men flytter erosionspresset ud på den ikke beskyttede del af kystprofilen samt til strækningen nedstrøms. Et eksempel på dette er vist i Figur 3-13, hvor den buede del af kyststrækningen er udsat for et naturligt erosionspres, da kystens orientering her ændrer sig og langstransporten derfor vokser. Den lige strækning er dog ikke udsat for erosion, da transporten her er konstant.

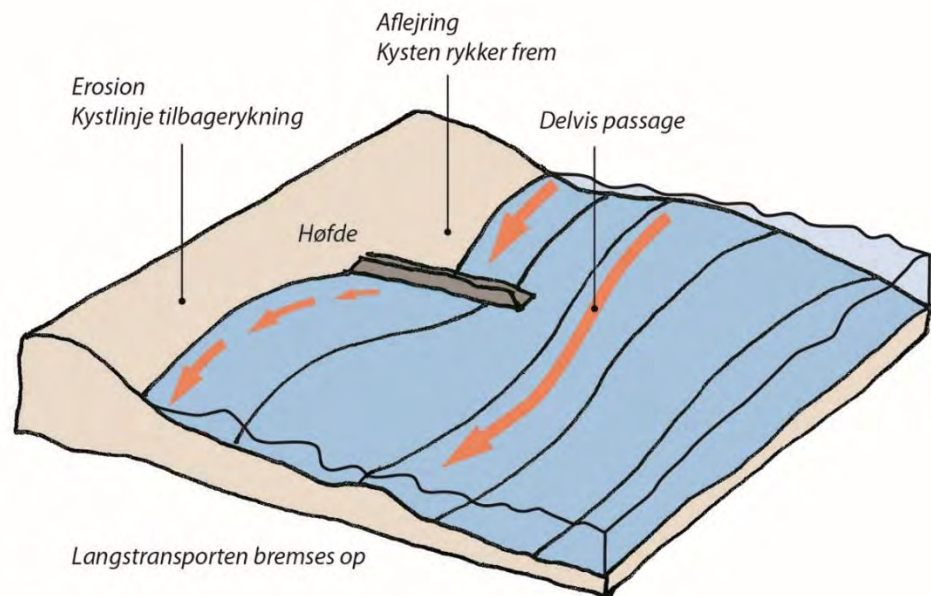


Figur 3-13: Eksempel på hvordan hård kystbeskyttelse kan flytte erosionspresset

Beskyttes den buede strækning vil tilbagerykningen af kystlinjen reduceres og ligeledes vil transporten langs denne reduceres. Dette medfører, at den første del af den lige strækning vil være udsat for erosion, da denne strækning nu tilføres mindre sand end tidligere og mindre end den mængde der føres videre. Det typiske scenarie vil da være, at der opføres mere hård kystbeskyttelse ned langs den lige kyststrækning, hvorved erosionspresset løbende forskydes i nedstrøms retning.

### 3.2.2 Høfder

Høfder er konstruktioner, som typisk udføres som en stenkastning opført fra bagstranden og vinkelret på kystlinjen ud til en vis afstand fra kysten, se Figur 3-14.



Figur 3-14 Langtransporten blokeres helt eller delvist af høfden. Sand og ral akkumuleres og kysten vokser ud tæt på høfdens opstrøms side. Langtransport skal bygges op igen til samme niveau som før høfdens, hvilket giver erosion og kysttilbagerykning tæt på høfdens nedstrøms side

Høfdens virkemåde er, at den blokerer for den del af langtransporten, som foregår mellem strandlinjen og udstrækningen af høfden. Derved fanges en del af langtransporten og sandet aflejres opstrøms for høfden i forhold til transportretningen. Virkemåden er således, at der fanges sand og ral som kompensation for eksempelvis kronisk erosion. Efterhånden som tilsandingen vokser opstrøms for høfden vil der føres mere sand forbi høfden. Høfders indvirkning på den nedstrøms strækning varierer derfor over tiden.

Det sand der fanges stabiliserer således kysten på en strækning opstrøms for konstruktionen, men dette er på bekostning af, at det samme sand og ral mang-

ler på den nedstrøms side. En hofde flytter således erosionen nedstrøms, dette kaldes læsideerosion.

En forudsætning for at en hofde virker er således, at der er en vis netto langs-transport.

Formen af tilsandingen er afhængig af hovedindfaldsvinkelen mellem bølgerne og kystnormalen. Ved bølger med en lille indfaldsvinkel dannes en lang tilsanding og ved bølger med en stor indfaldsvinkel dannes en meget kort tilsanding. Ved bølger med en meget stor indfaldsvinkel kan hofden desuden medføre, at sandet føres bort fra kysten, hvorved kysten destabiliseres.

Hofder udføres ofte over længere strækninger med en vis afstand. Denne formation kaldes en hofdegruppe eller et hofdefelt.

Hofdernes længde udgør oftest kun en fraktion af bredden af den aktive zone - typisk vil de nå ud til ca.  $\frac{1}{2}$  af den aktive dybde.

Hofderne udføres oftest så de overskylles under de dimensionsgivende forhold, topkoten er typisk ca. 80% af den dimensionsgivende vandstand.

Afstanden mellem hofderne vil afhænge af længden af hofden og af indfaldsvinkelen for de fremherskende bølger. Afstanden kan typisk sættes til 2,5 gange længden af hofden.

En hofde vil typisk reducere erosionsraten på den beskyttede del med 50% idet erosionen jo fortsætter i kystprofilen søværts for hofdeenderne og erosionsraten nedstrøms for hofden bliver derfor øget med ca. 50% af den oprindelige erosionsrate.

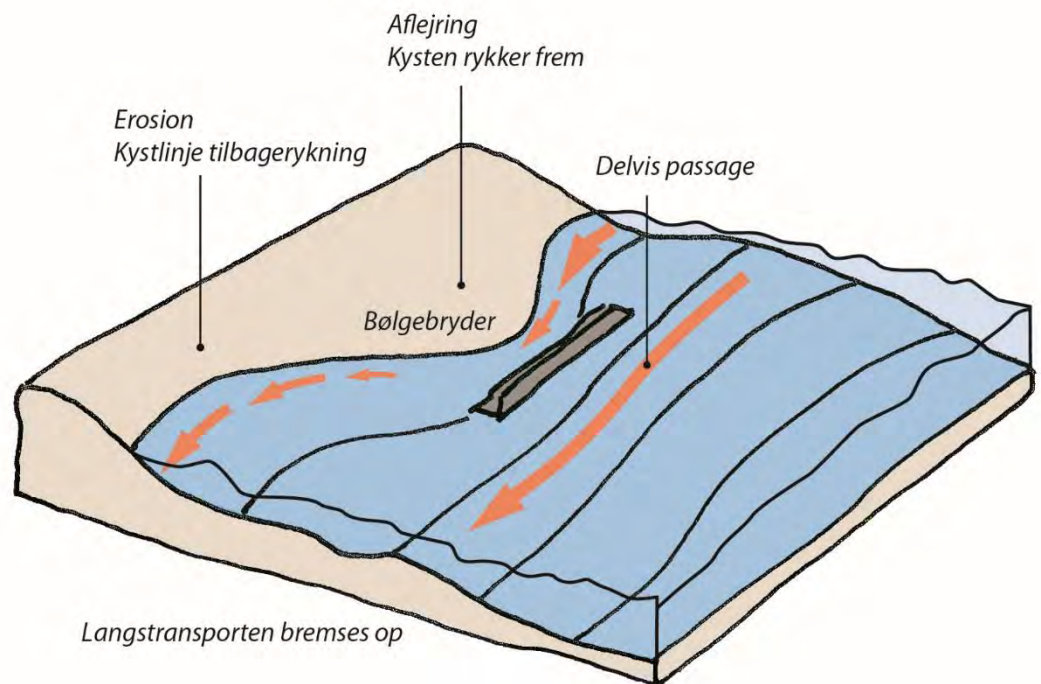
Hofder virker ikke imod akut erosion, og da erosionen ikke stoppes 100% vil kystprofilen efter et stykke tid begynde at rykke tilbage.

### 3.2.3 Bølgebrydere

Kystbeskyttelse kan udføres som en række af bølgebrydere, der ligger i en afstand fra stranden og er parallelle med kysten, se Figur 3-15.

Bølgebryderne virker ved direkte at mindske den bølgeenergi, der når ind på kysten. Bølgebrydere virker desuden ved, at langtransporten reduceres i læzonen af bølgebryderen, hvorved der samler sig sand og ral bag hver bølgebryder.

Hvis bølgebryderen er tilstrækkelig lang vil der samle sig så meget sand og ral, at bølgebryderen bliver landfast i form af en såkaldt tombolo. Tomboloen vil under normale vandstandsforhold blokeret for strøm og transport bag om bølgebryderen og den vil komme til at virke som en hofde.



Figur 3-15 Sandet samler sig bag en bølgebryder og skaber læside erosion

Typisk vil bølgebrydere blive bygget i den indre del af den aktive zone. Længden af bølgebryderne er typisk lidt mindre end deres afstand fra kysten, og mellemrummet mellem dem svarer til omkring 1½ gange længden. Højden er typiske omkring 80% af den dimensionsgivende vandstand, hvilket giver voldsom overskyl under kraftige storme.

Bølgebryderne vil således reducere langstransporten og eventuelt helt blokere den. Dette medfører akkumulation af sand bag ved bølgebryderen og på kysten opstrøms for og tilsvarende læsideerosion nedstrøms for. Erosionsraten reduceres typisk med 50% procent opstrøms for bølgebryderen og øges tilsvarende med ca. 50% nedstrøms.

Ligesom for høfder vil en række bølgebrydere skabe læsideerosion på kyststrækningen nedstrøms for, som nu får reduceret tilførslen af sand, og der må påregnes, at skulle kompenseres med fodring.

På strækninger med bølger med en indfaldsvinkel på 0 eller tæt på 0 vil bølgebrydere også have en virkning. Under sådanne forhold er den resulterende langstransport nul eller meget lille, men alligevel vil der også i det tilfælde samle sig sand bag bølgebryderen.

Grunden til dette er, at de brydende bølger medfører bølgestuvning på den eksponerede strækning udenfor bølgebryderens læzone, men i læzonen vil der ikke være nogen bølgestuvning. Der vil derfor opstå en strøm ind imod læzonen bag ved bølgebryderen. Resultatet er en cirkulationsstrøm, som trækker sandet ind

bag bølgebryderen. Dette medfører lokal akkumulation af sand bag ved bølgebryderen på bekostning af en tilsvarende erosion på begge sider af bølgebryderen.

Da bølgebryderne mindsker bølgeenergien lokalt har de en vis virkning mod akut erosion bag den enkelte bølgebryder. Mellem dem er den akutte erosion ikke mindsket væsentligt, og på grund af cirkulationsstrømmen vil det eroderede sand føres ind bag bølgebryderne, hvilket kan forsinke den efterfølgende naturlige reetablering af stranden.

I bølgebryderprojekter fyldes der ofte sand ind bag bølgebryderne. Såfremt dette ikke gøres vil den umiddelbare virkning af bølgebryderne være erosion mellem dem. Sandindfyldningen vil ligeledes reducere læsideerosionen i den tid efter etableringsfasen, hvor sandet endnu ikke har lejret sig i den nye ligevægtssituation. Det vil derfor oftest være et krav fra KDI, at der skal fyldes sand ind bag en ny bølgebryder.

I bølgebryderprojekter er det ofte et krav fra KDI, at der over årene skal kompenseres for læsideerosionen ved at fodre langs strækningen på læsiden af gruppen af bølgebrydere. Den mængde der skal fodres med, for at kompensere for bølgebrydernes læsideerosion, svarer til det sand som gruppen af bølgebrydere tilbageholder, hvilket her - jf. forklaringen af virkemåden - anslås til at være ca. 50% af den erosion, der ville have været foregået, hvor bølgebryderne er placeret.

En sådan kompensationsfodring har ikke historisk været praktiseret. Dette er en af årsagerne til, at mange af landets sandstrande er stærkt underforsynede med sand. Kravet om kompensering for læsideerosionen ved en bølgebryder gør det vanskeligt for eksempelvis en grundejerforening at administrere, da der skal fodres med jævne mellemrum. Dette taler for helhedsløsninger for længere kyststrækninger.

### 3.2.4 Rev og Flak

Stenrev er områder på havbunden dækket af små og store sten. Stenrev er dækket af vand under normale vandstandsforhold.

I kystteknisk sammenhæng er et stenrev at betragte som en neddykket bølgebryder. Revet foranlediger bølgebrydning og reducerer bølgetransmissionen så der er et mildere bølgeklima i læ af stenrevet, hvilket medfører reduceret transportkapaciteten bag stenrevet, dog ikke af samme størrelsesorden som ved en sædvanlig bølgebryder.

Stenrev kan medvirke til at hæve kystprofilet på opstrøms side og bagved.

Flak er stenrev som går ind til kysten. Flak kan medvirke til at opbygge kystprofilet på opstrøms side.

Den kysttekniske virkning af stenrev og flak afhænger af vanddybden oven over.



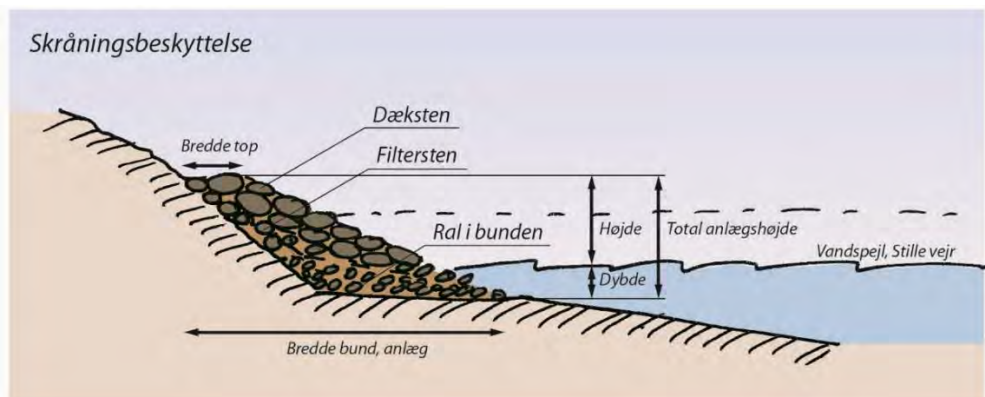


*Figur 3-16 Naturligt stenrev på Nordkysten ved Stængehage (øverst) og den ødelagte bølgebryder i Rågeleje (nederst)*

Menneskeskabte rev og flak kan med fordel kombineres med strandfodring over længere strækninger, da de ikke blokerer langtransporten i samme grad som høfder og bølgebrydere.

### 3.2.5 Skråningsbeskyttelse

En skråningsbeskyttelse er typisk opbygget af sten placeret langs kystlinjen på kyster under erosion, se Figur 3-17. Beskyttelsen anlægges typisk langs foden af en klint eller på forsiden af klitter og kan også etableres til beskyttelse af eksponerede diger.



Figur 3-17 Snittegning af skråningsbeskyttelse.

Skråningsbeskyttelser virker direkte ved at hindre erosion i bagvedliggende skrånninger. Den forhindrer frigivelse af sand fra området bag stranden og modvirker derved akut erosion. Skråningsbeskyttelsen griber ikke umiddelbart ind i transporten i den ubeskyttede del af profilet, og har derfor ikke nogen umiddelbar virkning på den langsgående sandtransport.

Såfremt kysten er udsat for kronisk erosion, vil denne derfor fortsætte, hvilket resulterer i, at kystprofilet eroderes og stranden vil blive smallere. Til sidst vil stranden foran skråningsbeskyttelse blive eroderet helt væk. Derfor må foden af en skråningsbeskyttelse, hvis denne ikke er funderet i tilstrækkelig dybde, forstærkes for at holde funderingen intakt. Skråningsbeskyttelse alene er derfor ikke velegnet som beskyttelse mod kronisk erosion, dels fordi stranden forsvinder og dels fordi skråningsbeskyttelsen over tid bliver undermineret.

Hvis beskyttelsen udformes som en tæt, stejl mur vil bølgerne blive reflekteret når de rammer muren. Refleksionen giver forøget bølgeaktivitet foran konstruktionen, som medfører kraftigere sandtransport og forøget erosionspres. Skråningsbeskyttelsen vil derfor oftest blive udført som stenkastning, som skrånere og har et stort porevolumen og hvor bølgerrefleksionen derfor er mindre.

Som kompensation mod kronisk erosion foran skråningsbeskyttelser må der påregnes jævnlige fodres med sand og ral. Det kan udføres som læside strandfodring, hvis konstruktionen forudsættes vedligeholdt jævnlige. Ofte vil det være mere fordelagtigt at fodre foran skråningsbeskyttelsen, som da hovedsageligt vil fungere mod akut erosion under særligt voldsomme storme.

### 3.3 Kystfodring

#### 3.3.1 Sedimentbudget ved kystfodring

Beskyttelse af kysten og baglandet kan udføres ved at tilføre sand og ral som kompensation for den mængde, der er eroderet bort. Fodring med sand og ral er den eneste kystbeskyttelsesmetode, der kan tilføre kysten det sediment

som mangler i sedimentbudgettet. Fodring er således nødvendig for at standse det pågående tab af sand og ral fra Nordkysten, som har ført til den nuværende situation med omfattende tab af strande og stadig større eksponering af den eksisterende hårde kystbeskyttelse og skråningerne bagved.

Fodring beskytter kysten ved at erstatte det underskud af sediment som gradienter i sedimenttransporten forårsager på kysten og som kompensation for stigningen i vandspejlet. Fodring opbygger stranden og havbunden og herved reduceres bølgepåvirkningen af skråningerne bagved.

Fodring bør foretages over længere strækninger for at sikre en effektiv beskyttelse samt for at minimere den relative størrelse af tabet til tilstødende strækninger ved enderne af fodringen. Ved korte fodringsstrækninger tabes en stor del af det fodrede sand og ral til nabostrækningerne, hvorved man vil opleve at **sandet "forsvinder" meget hurtigt fra den fodrede strækning.**

Fodringer kan udføres ud fra følgende hovedprincipper:

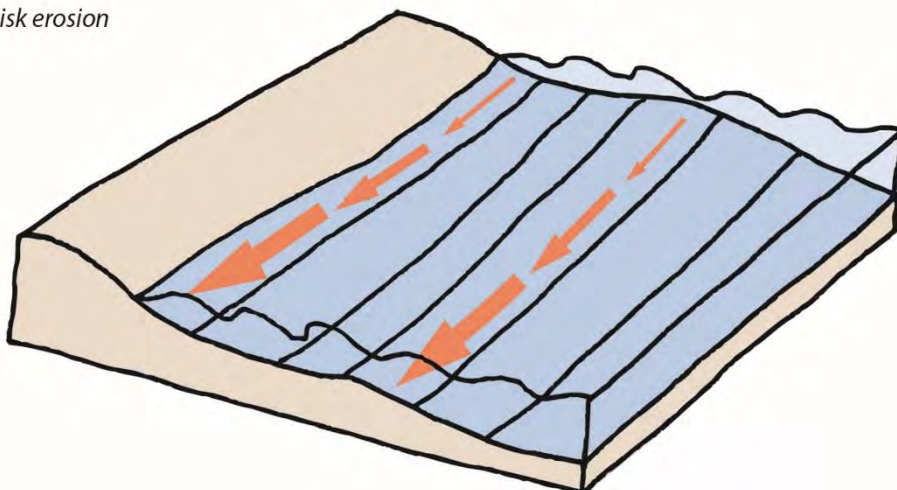
- > Jævnt fordelt fodring af hele kystprofilet over længere strækninger
- > Strandfodring af den inderste del af strandprofilet og delvis tildækning af skråningsbeskyttelser
- > Større depotfodringer (sandmotor)

"Klatfodringer" af kortere strækninger skal undgås fordi de som ovenfor beskrevet **"forsvinder" for hurtigt og derved giver fodring et dårligt ry.**

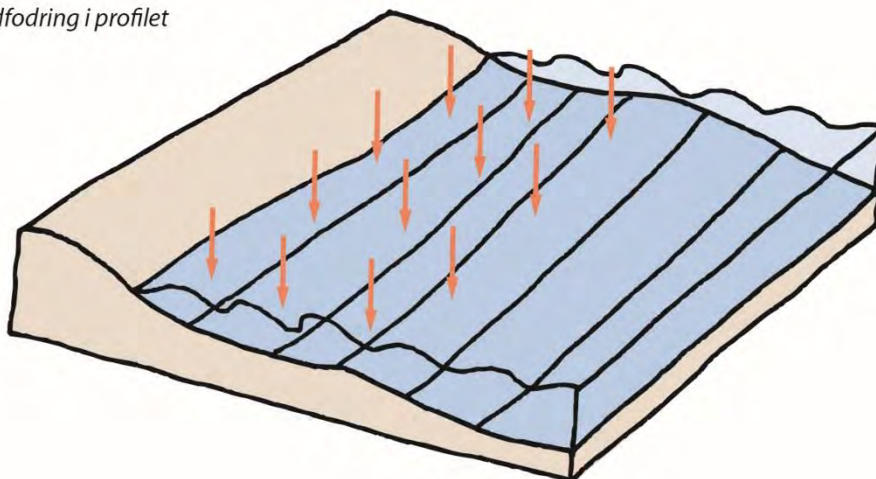
### 3.3.2 Sandfodring

Sandfodring kan anvendes som selvstændig kystbeskyttelse, hvor der med jævne mellemrum tilføres sand for at kompensere for erosionen og derved fastholde kysten. Som beskrevet ovenfor vil beskyttelse med konstruktioner ofte blive kombineret med en tilførsel af sand og ral for at fylde op mellem eller foran konstruktionerne. Regelmæssig sandfodring er også nødvendig for at afbøde læsideerosion nedstrøms for en strækning beskyttet med konstruktioner, samt for at kompensere for den reducerede tilførsel af erosionsmaterialer til kysten på beskyttede strækninger.

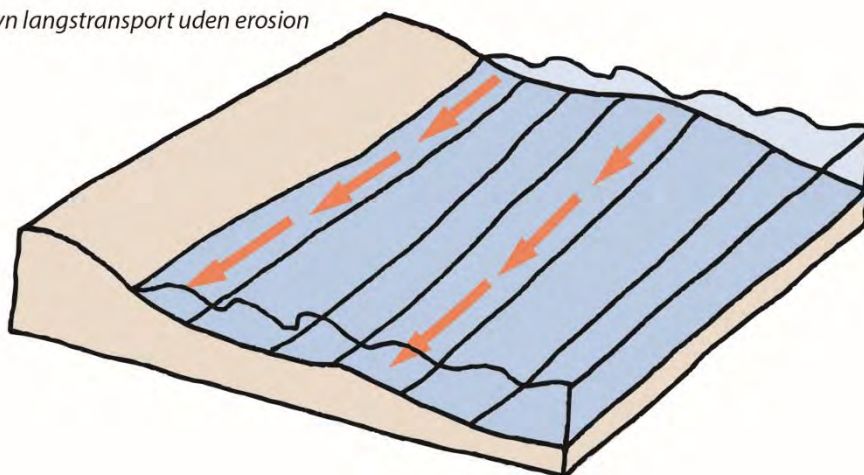
*Kronisk erosion*



*Sandfodring i profilet*



*Jævn langstransport uden erosion*



*Figur 3-18 Ved at tilføre sand i profilet (tegning i midten) som den langsgående transport tager væk (tegning øverst) vil kysten komme til at "ligne" en kyst i ligevægt, dvs. en kyst med en langsgående transport, der ikke varierer langs kysten (tegning nederst).*

I overordnede træk virker sandfodring ved at tilføre kysten det sand, som normalt eroderes over længere perioder. Det betyder, at sandfodring virker ind på den kroniske erosion.

Sandfodring kan i princippet også udføres så den virker mod akut erosion. Dette forudsætter dog, at der tilføres tilstrækkeligt med sand, der kan fungere som en buffer for den akutte erosion. Hvorvidt dette altid kan garanteres kan kun afgøres i den enkelte sag.

Når der sandfodres i et kystprofil vil det fodrede sand indstille sig i ligevægtsprofilen. Derfor skal fodringssandet helst have tilnærmelsesvis samme kornstørrelsesfordeling som det naturlige sand. Hvis der fodres med grovere sand vil man typisk kunne opnå et stejlere kystprofil end det naturlige kystprofil. Hvis der omvendt fodres med finere sand end det naturligt forekommende sand vil det fodrede sand have tendens til at blive trukket ud i profilen, idet det vil indstille sig med en fladere hældning. Derved medgår der mere sand til at opnå en bestemt strandbredde.

Sandfodring fjerner ikke årsagen til at en kyst eroderer, men sandfodring kompenserer for underskuddet af sand på en naturlig måde og sandfodring er den optimale løsningsmetode for at bevare sandstrandene og disses energidæmpende effekt i forbindelse med den globale havvandspejlsstigning. En storskala sandfodring på Nordkysten vil kunne ruste kommunernes kyststrækning i forhold til den forudsagte havspejlstigning.

Det er nødvendigt at tilføre tilstrækkeligt med sand til at hele det såkaldte aktive profil løftes op til et niveau, der svarer til stigningen i vandstanden og som kompenserer for underskuddet i sedimentbudgettet (kronisk erosion). Dette gælder såvel den del af profilen som ligger over vandlinjen som den del der ligger under vandlinjen. Under vandlinjen strækker det aktive profil sig ud til det der kaldes den aktive dybde.

Langstransporten vil løbende transportere det fodrede sand ud af den fodrede strækning grundet gradienten i langstransporten, dvs. compensation for den kroniske erosion. Hertil kommer kravet til compensation for den akutte erosion som forårsages af havspejlsstigningerne.

Derfor er det nødvendigt med kontinuerlig tilførsel af sand såfremt man vil undgå at kysten fortsat nedbrydes. Den mængde sand som tabes fra den fodrede strækning (når der ses bort fra randtab) er bestemt af hvor meget sand strækningen tilføres opstrøms fra, og hvor meget der transporteres videre nedstrøms, samt komponenten krævet for at kompensere for den akutte erosion forårsaget af havspejlsstigningen.

På kyststrækninger som i forvejen er beskyttet af hård kystbeskyttelse eller hvor store dele af kystprofilen består af groft materiale vil sandfodring give anledning til forøget sedimenttransport da en større del af profilen vil bestå af mobilt sand. Den fodrede strækning vil således levere mere sand til den nedstrøms strækning end før fodringen blev iværksat. Sandfodring kommer således ligeledes den nedstrøms strækning til gode.

Grundet den kroniske erosion er det nødvendigt løbende at vedligeholde og til tider forstærke den hårde kystbeskyttelse.

Den hårde kystbeskyttelse kan bremse tilbagerykning af kystlinjen, men ikke erosionen i profilet søværts for den hårde beskyttelse. Dette medfører, at stranden på beskyttede strækninger gradvist forsvinder, og at den hårde kystbeskyttelse bliver mere udsat med tiden.

Forstærkning af den eksisterende hårde kystbeskyttelse kan udføres på to principielt forskellige måder under forudsætning af formålet er at bibeholde den nuværende kystlinje:

- > Ved at forstærke den eksisterende hårde kystbeskyttelse med tilførsel af flere sten, f.eks. til forstærkning af foden af skråningsbeskyttelser fordi stranden er eroderet bort og til forhøjelse af konstruktionerne fordi bølgerne giver større opløb grundet den øgede vanddybde i kystprofilet foran. En sådan forstærkning af de hårde konstruktioner vil imidlertid ikke reducere den pågående erosion i kystprofilet, hvilket vil medføre, at strandene efterhånden borteroderes og yderligere forstærkning vil være påkrævet.
- > Ved at kompensere for at kysten konstant mister sand, hvilket jo fører til kysterosion, dvs. kompensere for manglen på sand i kystprofilet ved at tilføre sand og ral ved strandfodring. Strandfodring vil genopbygge kystprofilet og vil derved reducere påvirkningerne på de eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner, som således ikke vil behøve forstærkning såfremt de er korrekt udført. Strandfodring i denne forbindelse skal således opfattes som en alternativ måde til at forstærke eksisterende hård kystbeskyttelse. Det skal bemærkes at strandfodring skal foretages løbende.

Langs de beskyttede strækninger af Nordkysten er der dog typisk ikke længere et komplet ligevægtsprofil, idet kystbeskyttelsen har fastholdt kystlinjen, men ikke hele kystprofilet. Derfor skal man på sådanne strækninger først fodre op til et naturligt kystprofil, som har en naturlig strandlinje sammenfaldende med foden af kystbeskyttelsen. Hvis man herudover ønsker en beskyttende strand, skal der fodres yderligere for at parallelforskyde ligevægtsprofilet udefter til man opnår den ønskede bredde af stranden.


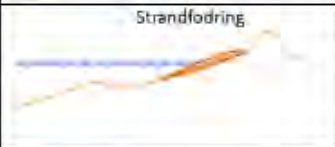


Dette forhold skal man gøre sig klart, når der diskuteres strandfodring på en kyststrækning som gennem mange år har været beskyttet med hård beskyttelse. For at opnå den ønskede styrkelse af den eksisterende kystbeskyttelse, via retablering af kystprofilet og en bredere strand, skal der derfor indledningsvist fodres med en større mængde sand end, hvis der bliver fodret langs en naturlig sandkyst, hvor formålet er at regulere kysttilbagerykningen.

### 3.3.3 Sandfodringsmetoder

Ved større sandfodringer vil sandet blive indvundet til søs med et sandsugningsfartøj og sejlet til den aktuelle kyststrækning. Sandet kan også stamme fra andre steder på kysten, hvor der naturligt akkumuleres sand, som for eksempel, hvis en havn har blokeret for langstransporten. Her kan det akkumulerede sand føres over til læsiden for at modvirke læsideerosion. Oprensset sand fra sejlløb kan også nyttiggøres til sandfodring. Mindre mængder marint sand kan evt. indvindes på land og transporteres med entreprenørmateriel.

Fodringsmaterialet skal være sand uden væsentlige mængder af fint sediment. Det skal helst være lidt grovere end det oprindelige strandsand, da finere sand lettere eroderes og er mere udsat for fygning.

Der findes i princippet 4 forskellige måder at placere sandet i kystprofilen som illustreret i Figur 3-19.

Metode	Illustration af fodring	Fodringsmetode	Virkning på kysten	Relevans for Nordkysten	Pris
<b>Klitfodring</b>		Fra land	Især imod oversvømmelse	Lille	Høj
<b>Strandfodring</b>		Fra land eller Over boven eller Strandledning fra havn el. Havledning	Moderat strandforbedring og styrkelse af kystbeskyttelse	Moderat	Moderat
<b>Revlefodring</b>		Split	Profilopbygning men ikke strandforbedring	Moderat	Lav
<b>Profilfodring</b>		Fra land og Over boven og Split	Strandforbedring, profilforstærkning og styrkelse af kystbeskyttelse	Stor	Moderat

Figur 3-19: Illustration af tekniske og økonomiske forhold i forbindelse med fordeling af fodring i kystprofilen.

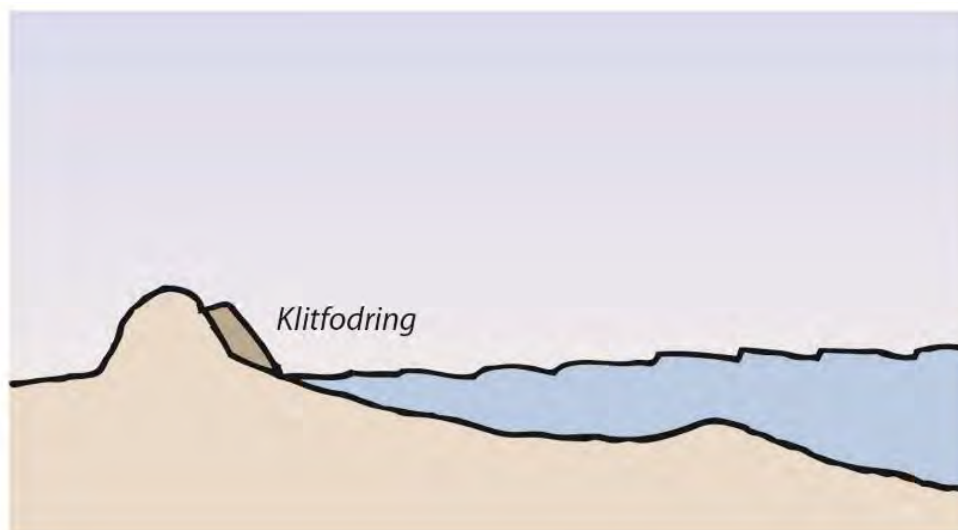
#### Fodring af bagstranden

En fodring på bagstranden forstærker den øvre del af stranden for eksempel langs klitfoden eller foran en skråningsbeskyttelse, se Figur 3-20. Sandet udgør en buffer og vil reducere erosion af en skræntfod eller gennembrud eller svigt af en beskyttelse mod oversvømmelse; men sandet vil helt eller delvist blive bort-eroderet ved akut erosion under en ekstrem hændelse. Sandet udgør ikke en del af det naturlige strandprofil, og der vil eroderes betydelige mængder med dannelse af en erosionskrænt.

Fodring af bagstranden kan udføres ved at pumpe sandet ind fra en sandsuger gennem rør til foden af klitten eller skråningen, der skal beskyttes. Det vil ofte

være nødvendigt at anvende en bulldozer eller gummiged til at få sandet op i det ønskede profil.

Klitfodring benyttes specielt, hvis klitten er en del af en naturlig beskyttelse imod oversvømmelse af lavtliggende land bag ved klitten. Klitfodring udføres med dette formål også som en forstærkning af den bagerste del af klitten.



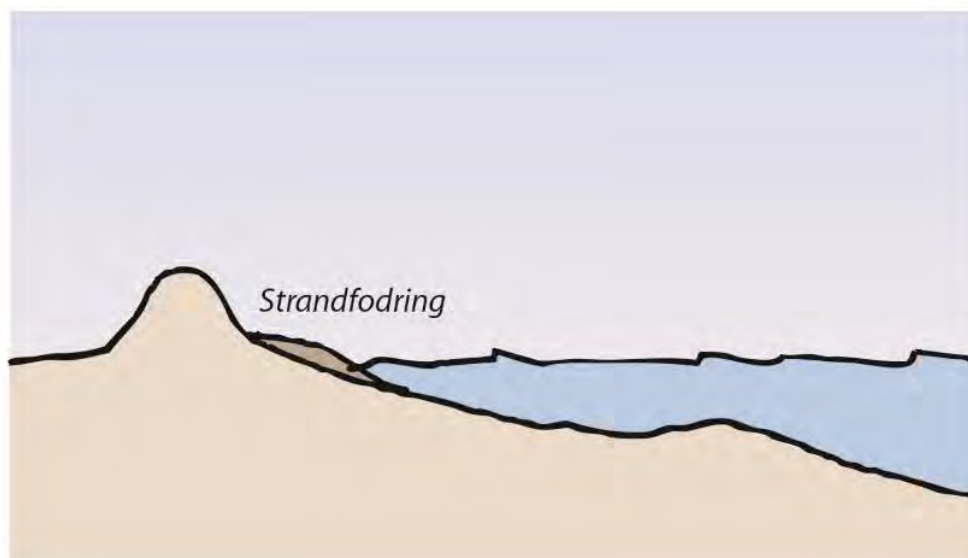
Figur 3-20 Principskitse for klitfodring

#### Strandfodring

Tilførsel af sand til strandprofilet modvirker erosion og vil også gøre stranden bredere, se Figur 3-21. Profilet er tæt på det naturlige og erosionen vil forgå som på en naturlig strand. Sandet kan pumpes ind fra en sandsuger gennem rør til og langs med stranden, hvor det fordeles med entreprenørmateriel. Mindre fodringer kan gennemføres med landbaseret entreprenørmateriel.

Strandfodring benyttes når man ønsker at øge strandens bredde og styrke den øvre del af kystprofilet. Det skal dog bemærkes, at sandet med tiden bliver udjævnet over den aktive del af kystprofilet.

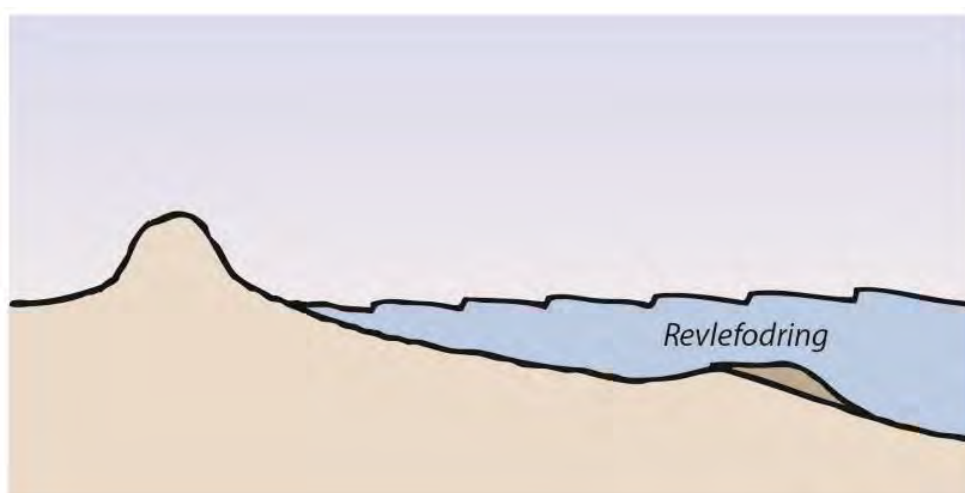




Figur 3-21 Principskitse for strandfodring

#### Revlefodring

Revlefodring er en metode, som har vundet øget udbredelse fordi den er billigere per tilført kubikmeter sand. Sandet lægges ude i kystprofilen enten på en eksisterende revle eller ved at der opbygges en ny revle, se Figur 3-22. Sandet kan klappes direkte ved at sandsugeren åbner lemme i bunden eller splitter på langs (splitbarges) eller sandsugere sejler tættere på kysten og pumper sandet ud i en stråle (Rainbowing).



Figur 3-22 Principskitse for revlefodring

Revlefodring modvirker forstøjning af profilet på grund af erosion, som det sker ud for beskyttelse med høfder og bølgebrydere; men da strandens bredde ikke

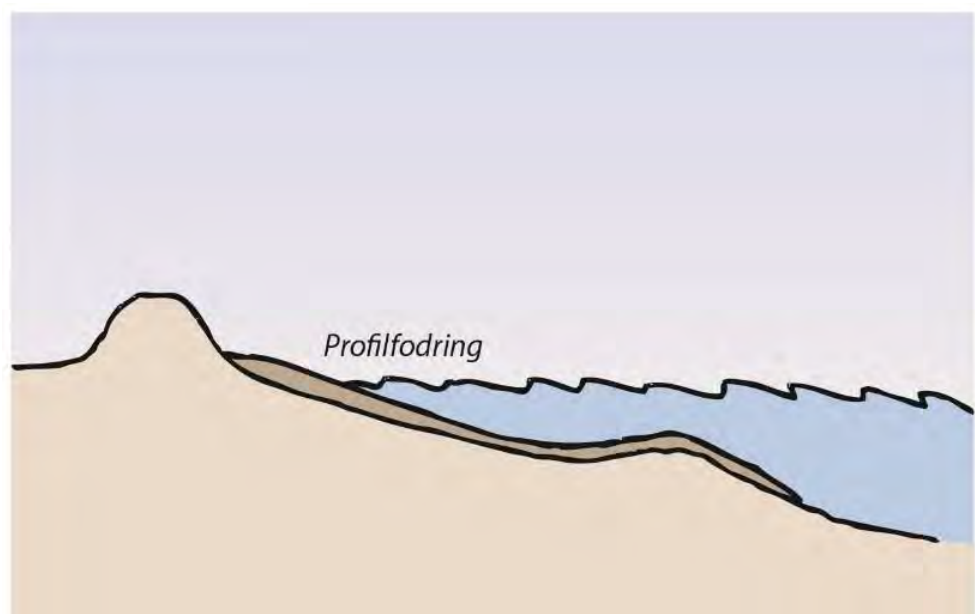
umiddelbart øges er denne metode ikke direkte effektiv mod akut erosion. Revlefodring kan udføres i kombination med strandfodring for at styrke hele profilet.

Revlefodring benyttes især hvor kystprofilet i almindelighed trænger til sand, men denne type fodring bidrager kun indirekte til opbygning af en bredere strandbred.

#### Profilfodring

Profilfodring er en kombination af strandfodring og revlefodring, hvor hele kystprofilet opbygges på en gang, se Figur 3-23.

Kombination af strandfodring og revlefodring som profilfodring medvirker til en generel styrkelse af kystprofilet såvel som til en øgning af strandens bredde.



Figur 3-23 Principskitse for profilfodring

#### Sandmængder

Mængderne der anvendes til sandfodring afspejler den aktuelle erosionsrate på den beskyttede strækning, og i hvor høj grad profilet i forvejen mangler sand på grund af mangelfuld beskyttelse og vedligeholdelse.

Sandfodring kan bruges enten som en selvstændig metode til at modvirke erosion på ubeskyttede strækninger eller som supplement til eksisterende kystbeskyttelse. Dette sker ved at modvirke de negative erosionseffekter som hårde konstruktioner påfører kysten, dels på den beskyttede strækning og dels på læsiden af den beskyttede strækning.

Dette understreger, at kystfodring er et særdeles vigtigt redskab for god kystvedligeholdelse.

I nedenstående tabel ses en oversigt over vurderede mængder af kystfordring for de fire eksponeringsgrader.

Tabel 3-2 Oversigt over sandfodring som funktion af eksponeringsgraden

Eksponering	Dybde	Topkote	Projekt- område	Initial sand- tilførsel*	Vedligeholdel- se ***
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /m)	(m <sup>3</sup> /m/år)
Lille	1,3	2,0	100	6*	0,2
Moderat	3,0	1,9	500	15*	0,5
Stor	4,0	1,9	1.000	60*	2,0
Meget stor	6,5	3,3	25.000	30**	30

\*Forudsætter at strækningen har været sikret med faste konstruktioner i lang periode ~ 30 år og at det aktive kystprofil skal genoprettes, eksempelvis Sjællands Nordkyst. Det er således fodring for at oprette 30 års underskud.

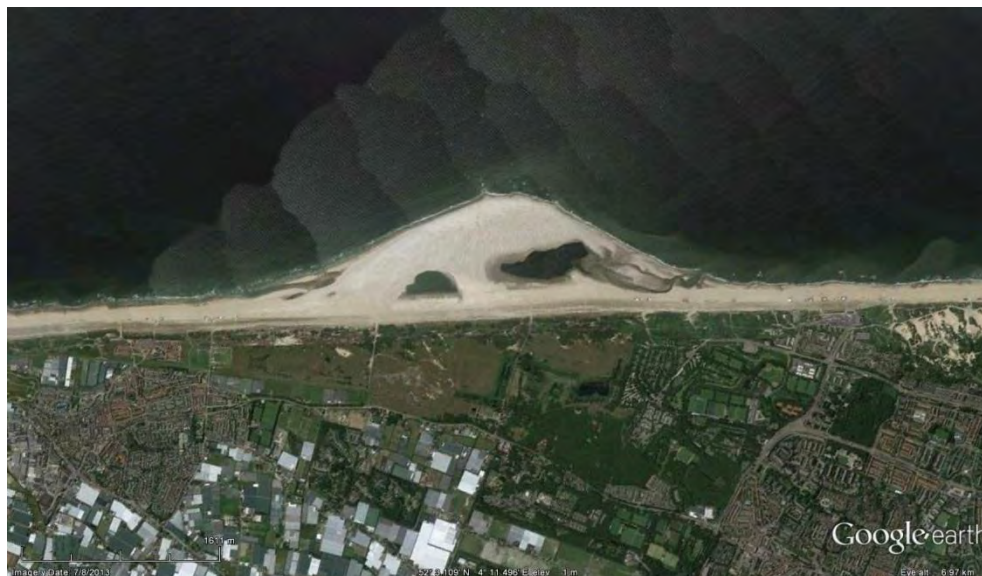
\*\*Forudsætter at kysten har været vedligeholdt med fodringer årligt, eksempelvis Vestkysten. Det er således fodring for et års underskud.

\*\*\*Vedligeholdelsesfodringsmængden er taget til præcis at modsvare erosionsraten på kysten

#### Depotfodringer

Ved en depotfodring placeres der en større mængde sand på kysten på en kortere strækning, svarende til adskillige års langtransport, se Figur 3-24. Sandet skal så fordeles langs kysten ved den naturlige transport, der gradvis vil udjævne sanddepotet og føre sandet i transportretningen.

Fordelen er, at det er de naturlige processer, der er aktive, og at miljøet i kystprofilen ikke forstyrres over længere strækninger, som det er tilfældet ved jævn tilførsel af sand med korte tidsintervaller. Sandet kan forventes at forblive i det aktive profil og depotet vil efterhånden, som sandet er fordelt over strækningen, medføre en reduktion i den kroniske erosion. Det vil dog tage mange år før sandet er jævnt fordelt over en længere strækning, og metoden vil derfor først efter nogle år kunne erstatte mere konventionelle metoder til kystbeskyttelse på de tilstødende strækninger. Metoden har den ulempe at den forårsager læsideerosion, idet den blokerer for den naturlige langtransport og der alene føres sediment fra depotet nedstrøms svarende til bølgernes transportevne på lokaliteten.



Figur 3-24 Sandmotor i Holland to år efter fodring, foto fra Google Earth.

Metoden er ikke hidtil anvendt i Danmark, men der er intet til hinder for at man kan begynde at vurdere mulighederne for at afprøve en sådan metode. Da denne kystbeskyttelsestype er en særlig indgriben i kystens dynamik og æstetiske fremtoning kræver store depotfodringer et grundigt forstudie af virkningen på den givne lokale strækning.

#### Ralfodring

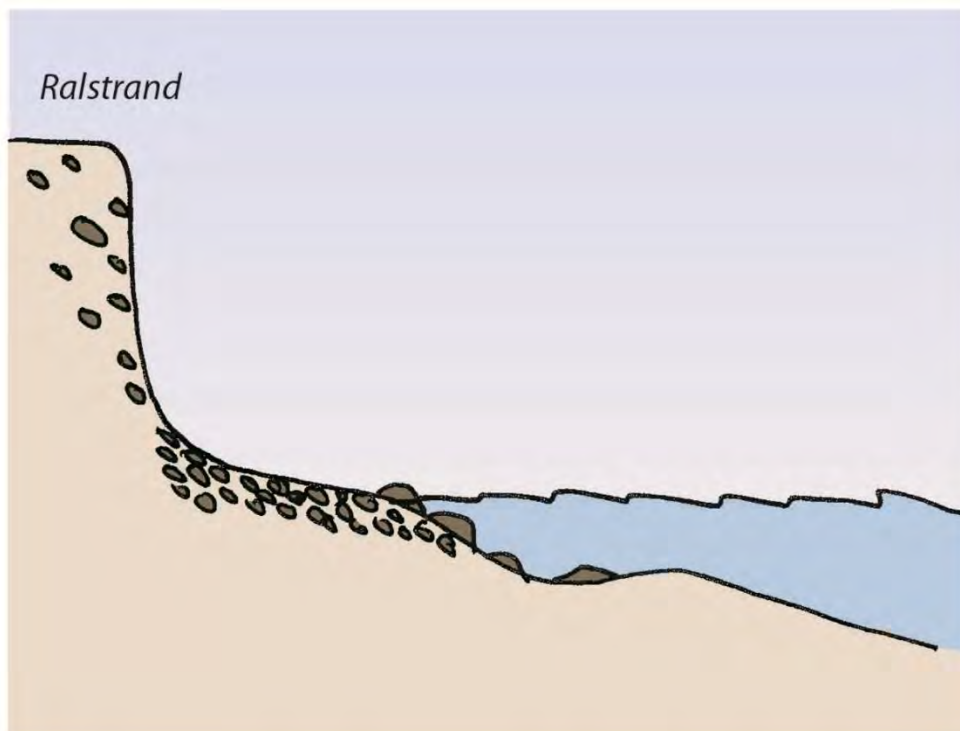
Ralfodring består i at tilføre ral til den øvre del af strandprofilen som beskyttelse imod erosion af en kystklint, se Figur 3-25. Denne type kystbeskyttelse kan opfattes som en blød skråningsbeskyttelse, der virker mere naturlig end en egentlig fast skråningsbeskyttelse.

Sten og ral forekommer naturligt på erosionskyster, hvor geologien består af moræne eller kridt, se Figur 3-26.

Ral transporteres kun i mindre grad langs kysten, mens rallens rolle i tværtransporten typisk giver anledning til, at ral transporteres landværts over stranden, hvilket medfører dannelse af højtliggende ralstrandvolde. Dette forudsætter, at der er tilstrækkelig med ral i nedbrydningsprodukterne fra moræneklinten. Sådanne ralstrandvolde udgør en naturlig beskyttelse imod moderat akut erosion.

På klintekyster, hvor der ikke er tilstrækkelige mængder af ral til, at der kan dannes ralstrandvolde, kan man beskytte imod akut erosion ved at tilføre ral langs klintfoden ved en hævnning af den naturlige ralstrandvold.

Ralfodring medfører kun ubetydelig øget erosion på nabostrækninger og ralfodring kan således udføres uden kompenserende foranstaltninger. Ralfodring er ikke en offerfodring som eksempelvis sandfodring, og ralfodring kræver derfor kun mindre vedligeholdelse.



Figur 3-25 Ralstrandvold ved erosionskyst med moræneklinter



Figur 3-26 Heatherhill, bred rullestensstrandvold, hvor der kun er begrænset erosion af skrænten

Ralfodring bør have en topkote TKR som er den dimensionsgivende vandstand  $V$  plus bølgeopløbet, som i dette tilfælde kan sættes som 40% af bølgehøjden:  
 $TKR \text{ ca. } = 0.4H + V$ , se Tabel 3-3.

Tabel 3-3 Oversigt over ralfodringsparametre som funktion af eksponeringsgraden (farvandsområder)

Eksponering	Funde- rings-dybde	Topkote	Bredde af ralfodring	Raltilførsel
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /m)
Lille, fjorde	1,0	2,4	2	2,8
Moderat, bæltter	1,5	2,9	3	4,2
Stor, Kattegat og Østersøen	1,5	3,4	4	7,6
Meget stor, Vesterhavet	3,0	6,1	6	18,6

### 3.3.4 Fodringens udvikling med tiden

#### Jævnt fordelt fodring

Fodring med sand og ral eliminerer ikke årsagen til erosionsproblemerne.

Derfor skal fodring gentages/vedligeholdes med jævne mellemrum som minimum svarende til underskuddet i sedimentbudgettet langs den pågældende kyststrækning.

Strandfodring og kystfodring vedligeholder kysten og modvirker, at der sker en tilbagerykning af kystprofilen.

Hvis man foretager fodring over en forholdsvis kort strækning, vil sand og ral hurtigt blive transporteret videre langs kysten, og blive spredt ud, og den fodrede strækning vil forholdsvis hurtigt miste det tilførte sediment.

Sedimentet forsvinder ikke fra kysten, men spredes ud over en længere strækning og virkningen vil derfor reduceres.

Fodring foretages derfor typisk jævnt fordelt over længere strækninger for at reducere erosionsraten og for at forlænge virkningen.

Hvis man fodrer over en lang strækning vil den midterste og den nedstrøms del-strækning modtage sediment fra den opstrøms del-strækning. Således vil der på en længere strækning med jævnt fordelt fodring kun forekomme erosion i den opstrøms ende, mens de strækninger, som ligger nedstrøms vil være nogenlunde stabile såfremt profilen er fodret tilstrækkeligt.

Af ovennævnte årsager er det ikke anbefalelsesværdigt at operere med for korte strækninger, idet det vil opleves at sandet hurtigt forsvinder.

Jævnt fordelt sandfodring kan benyttes på alle typer af kyster uafhængigt af bølgeindfaldsvinklen.

Kystfodring medvirker til at forstærke effekten af eksisterende hård kystbeskyttelse som høfder og bølgebrydere.

Når der fodres med sand og ral vil konstruktionerne kunne opbygge en bredere og højere strand, som øger beskyttelsen på opstrømssiden. Derudover vil fodring reducere læsideerosionen af de hårde anlæg og således også forbedre beskyttelsen på læsiden af den hårde beskyttelse.

Tekniske karakteristika, miljømæssige forhold og anbefaling for jævnt fordelt fodring:

- > Kan benyttes for alle typer bølgeklima
- > Sandfodring udføres over længere strækninger idet det holder bedre og er lettere at vedligeholde end enkeltvise fodringer over kortere strækninger
- > Lange og store fodringer medfører at genfodring skal udføres med større tidsintervaller, hvilket reducerer enhedspriserne og miljøpåvirkninger
- > Egned til styrkelse af eksisterende hård kystbeskyttelse
- > Reducerer erosion langs nedstrømsområder
- > Fodringer over lange strækninger reablerer adgang langs stranden
- > Sandstrandene og den naturlige kystdynamik reableres
- > Relativ stor generel påvirkning i byggefasen idet arbejdet foregår over lang strækning
- > Relativ mere omkostningskrævende i forhold til depotfodring

### Depotfodringer

For depotfodringer vil den påvirkede strækning typisk være af størrelsesordenen 5 gange den fodrede strækning regnet fra den opstrøms grænse af fodringsstrækningen og nedstrøms langs den ikke fodrede strækning. Bølgepåvirkningen vil starte med at erodere sandet fra depotet og fordele det nedstrøms. Dvs. at den nedstrøms del af projektområdet gradvist vil modtage sand i perioden indtil depotet er borteroderet. Herudover er måden sandet transporteres videre på afhængig af bølgeindfaldsvinklen.

Depotfodring yder ikke den samme øjeblikkelige supplerende styrkelse af eksisterende kystbeskyttelse inden for projektområdet, idet sandet jo kun gradvist transporteres til den nedstrøms del af projektområdet og ikke nødvendigvis aflejres tilstrækkelig højt i kystprofilen til at levere den ønskede styrkelse af eksisterende kystbeskyttelse. Depotfodring er bedst egnet til at imødegå pågående kysterosion langs ikke-beskyttede kyststrækninger.

På en kyststrækning med lille indfaldsvinkel vil bølgerne gradvist erodere i depotet og sandet vil blive transporteret nedstrøms langs læsiden af depotet og videre ned langs den nedstrøms kyst, hvorved denne gradvist vil blive fodret. Depotfodringen vil derfor medvirke til at stabilisere kysten nedstrøms.

På en kyststrækning med stor indfaldsvinkel vil introduktionen af depotet have tendens til at destabilisere kysten, idet sand eroderet fra depotet vil have tendens til at aflejre sig i en sandtange nedstrøms den yderste del af sanddepotet. Årsagen til dette er, at bølgerne er så skråt indfaldende, at de i begyndelsen ikke kan transportere sandet helt ind til kysten. Fordi sandet ikke føres ind imod kysten vil kyststrækningen nedstrøms for depotet blive udsat for erosion. Depotfodring på en sådan kyst vil således danne sandtanger, som igen vil skabe strandlaguner, hvilket medfører et mere varieret strandmiljø og øget biodiversitet. Afslutningen af sandtangen kan være ret brat.

Tekniske karakteristika, miljømæssige forhold og anbefaling for depotfodring:

- > Strækker sig ifølge konceptet over begrænset strækning
- > Virkningsmåde varierer med bølgeforhold
- > Yder kun styrkelse af eksisterende kystbeskyttelse for den korte strækning som depotet dækker
- > Store fodringer medfører at genfodring skal udføres med større tidsintervaller, hvilket reducerer enhedspriserne og miljøpåvirkninger
- > Medfører nedstrøms erosion ved stor bølgeindfaldsvinkel, men reducerer erosion langs nedstrøms område ved lille indfaldsvinkel
- > Retablerer ikke adgang langs kysten
- > **Introducerer nyt "kystlandskab" med naturmæssig, landskabelig og rekreativ værdi**
- > Retablerer ikke sandstrandene i samme omfang som ved jævn fodring
- > Relativ lille virkning på marin flora og fauna, idet mindre areal påvirkes ved depotfodring i forhold til jævn fodring
- > Relativ lille generel påvirkning i byggefasen idet arbejdet foregår over kort strækning
- > Relativ mindre omkostningskrævende i forhold til jævn fodring



### Valg af fodringslokalitet i relation til virkning på kysten og baglandets udnyttelse

De forskellige virkemåder for jævnt fordelt fodring og for depotfodring gør at de to typer fodringer har forskellige anvendelsesområder.

Jævnt fordelt fodring egner sig til generel retablering af strandene langs Nordkysten, og er velegnet som supplement til eksisterende kystbeskyttelse, idet fodring kan anvendes i stedet for forstærkning af eksisterende kystbeskyttelse. Dvs. at koordineret og velplanlagt jævnt fordelt fodring i forholdsvis stor skala er velegnet ud for de private strækninger.

Depotfodring egner sig bedst til etablering af naturmæssigt og rekreativt spændende enkeltlokaliteter ud for områder med god offentlig adgang og ud for feriecentre, campingpladser og lignende områder med stor offentlig interesse.

Depotfodring er velegnet til forbedring af badeforholdene på udvalgte lokaliteter langs strækninger som er præget af stenstrande. De egner sig ikke som supplement til eksisterende kystbeskyttelse ud for længere strækninger.

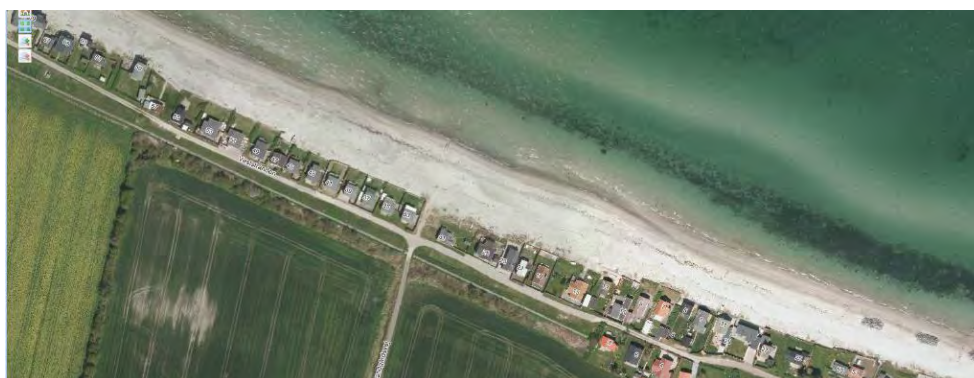
Fodringsstype/ indfaldsvinkel	Umiddelbart efter fodring	Udviklingsforløb	Kommentarer
Jævn/lille			Jævn udvikling Ingen nedstrøms erosion Sikker badning
Jævn/stor			Jævn udvikling Ingen nedstrøms erosion Sikker badning
Depot/lille			Jævn udvikling Ingen nedstrøms erosion Sikker badning
Depot/stor			Udvikling af sandtange og strandlagune Ny biodiversitet Nedstrøms erosion Stor rekreativ værdi men farlig for badning ved sandtange

Figur 3-27 Afhængighed af bølgeindfaldsvinkel for udviklingsforløb for jævn fodring og for depotfodring.

## 3.4 Eksempler på helhedsorienteret kystbeskyttelse

### 3.4.1 Strandfodring og optimering af kystbeskyttelsen på Nordfyn

På Nordfyn har Det Nordfynske Kystbeskyttelses-, Dige og Pumpelag siden 1999 gennemført stor-skala strandfodring langs en 13 km lang strækning. Projektet har været en stor succes og indeholder udover strandfodring også forstærkede skråningsbeskyttelser og nye bølgebrydere på udsatte lokaliteter.



Figur 3-28 Før (1992 øverst) og efter (2012 nederst) fotos af nordlige del af den ca. 13 km lange strandfodrede kyststrækning, mellem Egebjerggård og Eriks-håb på Nordfyn

Kysten er kendetegnet af lavtliggende strandene bebygget med sommerhuse og beskyttet mod oversvømmelse af diger. Derudover er der gennem tiden etableret omfattende hård kystbeskyttelse i form af små høfder, bølgebrydere og skråningsbeskyttelse, der efterhånden er nedslidt og mange steder utidssvarende. Den eksisterende hårde kystbeskyttelse har ikke kunnet forhindre, at sandstrandene mange steder er forsvundet, hvilket har reduceret den rekreative værdi af kysten og medført øget påvirkning af skråningsbeskyttelse og diger.

Der blev udarbejdet en overordnet kystgenopretningsplan for strækningen på Nordfyn, som primært er baseret på sandfodring for at genetablere sandstran-

dene langs sommerhusene og derved forøge den rekreative værdi af kysten og samtidig øge beskyttelsen af diger og baglandet.

Efterfølgende er der foretaget projektering, udbud og tilsyn af den initiale sandfodring på 113.000 m<sup>3</sup> i 1999, samt de løbende vedligeholdelsesfodringer på ca. 70.000 m<sup>3</sup>, der er blevet foretaget med 2-4 års mellemrum.

Strandfodringerne er generelt udført i den vestlige del af kyststrækningen, da kysterosionen var mest udpræget her, men også for at få den bedste nyttevirkning af sandfodringerne. Sandet vandrer naturligt langs kysten fra vest mod øst og kommer derved hele strækningen til gode på sigt. Derudover er der blevet foretaget sandfodringer på udsatte strækninger, hvor der som følge af kystens form er et underskud af sand.

Generelt er den eksisterende kystbeskyttelse i form af hølfer, bølgebrydere og skråningsbeskyttelse blevet bibeholdt. På få udsatte strækninger er en del af den hårde kystbeskyttelse blevet optimeret og udbygget med nye bølgebrydere og skråningsbeskyttelse for at stabilisere stranden.



*Figur 3-29 Strækning med nye bølgebrydere og skråningsbeskyttelse samt vedligeholdelses strandfodring ved Tørresø, Nordfyn*

Der er løbende foretaget inspektion af kysten, hvilket har dannet baggrund for planlægning og implementering af vedligeholdelsen af sandstrandene og optimering af den hårde kystbeskyttelse.



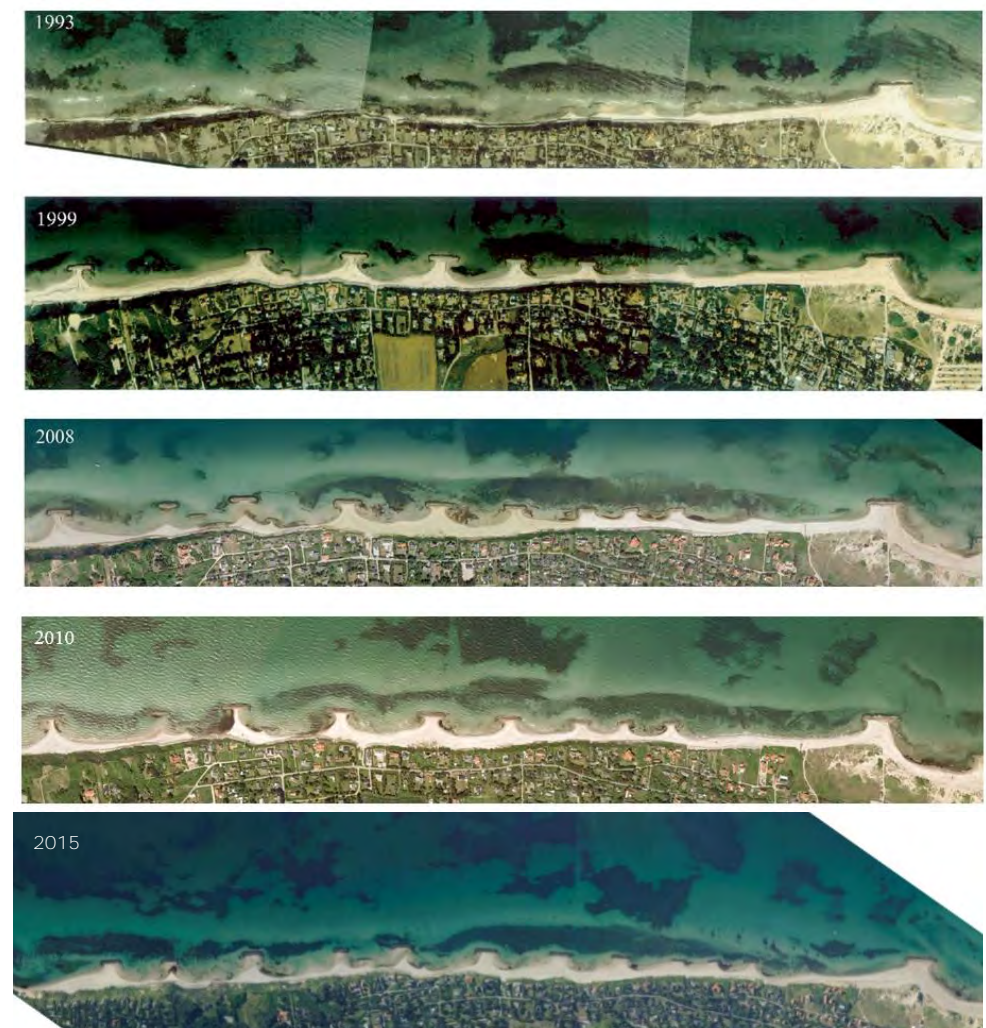
Figur 3-30 *Effekt af løbende strandfodring på Nordfyn. 1999 før fodring, maj 2012 før stormen Bodil, januar 2014 efter stormen Bodil*

Projektet har vist, at strandfodring kan genskabe sandstrandene. Sandet bliver generelt på kysten og er dermed til gavn i mange år selvom stranden ikke er stabil og sandet gradvist transporteres langs kysten. Strandfodring skal vedligeholdes, og det er nødvendigt at etablere bølgebrydere på udsatte strækninger, primært hvor kysten drejer, for at opretholde en stabil og kontinuert sandstrand.

Erfaringerne fra Nordfyn har vist, at skråningsbeskyttelser er nødvendige for at beskytte baglandet i forbindelse med ekstreme storme også selv om der foretages løbende strandfodring.

### 3.4.2 Kystbeskyttelse, Hyllingebjerg til Liseleje

Langs den 2,2 km lange projektstrækning ved Liseleje havde grundejerne i første række og forskellige kystbeskyttelseslag igennem tiden etableret utallige konstruktioner i et forsøg på at beskytte skrænterne og stranden mod erosion fra havet. Tiltagene omfattede blandt andet træhøfder, betonstøttemurer og intermiste skråningsbeskyttelser.



Figur 3-31 Kystudvikling mellem Hyllingebjerg og Liseleje efter initial strandfodring, oprydning af gammel og nedslidt kystbeskyttelse, genetablering af skråningsbeskyttelse samt anlæggelse af bølgebrydere

Generelt kunne den gamle og nedslidte kystbeskyttelse ikke modstå havets påvirkning, da kvaliteten af anlæggene var for dårlig og på grund af manglende vedligeholdelse. Stranden var generelt smal og nogle steder helt forsvundet, og kysten blev skæmmet af de mange utilstrækkelige konstruktioner.

Der blev udarbejdet kysttekniske undersøgelser for området og udviklet en helhedsplan og projekt for en ny og tidssvarende kystbeskyttelse.

Kystbeskyttelsen er optimeret ud fra kysttekniske, æstetiske, økonomiske og miljømæssige aspekter.

Det endelige kystbeskyttelsesprojekt indeholder fjernelse af alle gamle konstruktioner på stranden samt genetablering af skråningsbeskyttelsen langs kysten. Desuden indeholder projektet 9 store bølgebrydere med en individuel længde på 50 til 70 m. Stranden er blevet genetableret med omfattende strandfodring på omkring 70.000 m<sup>3</sup>.

I 2005 blev yderligere to bølgebrydere bygget mod nordøst kombineret med strandfodring.

Kystbeskyttelsen har virket efter hensigten, og der er ikke længere erosion af kystskråningerne. Desuden er stranden bevaret på den største del af strækningen.

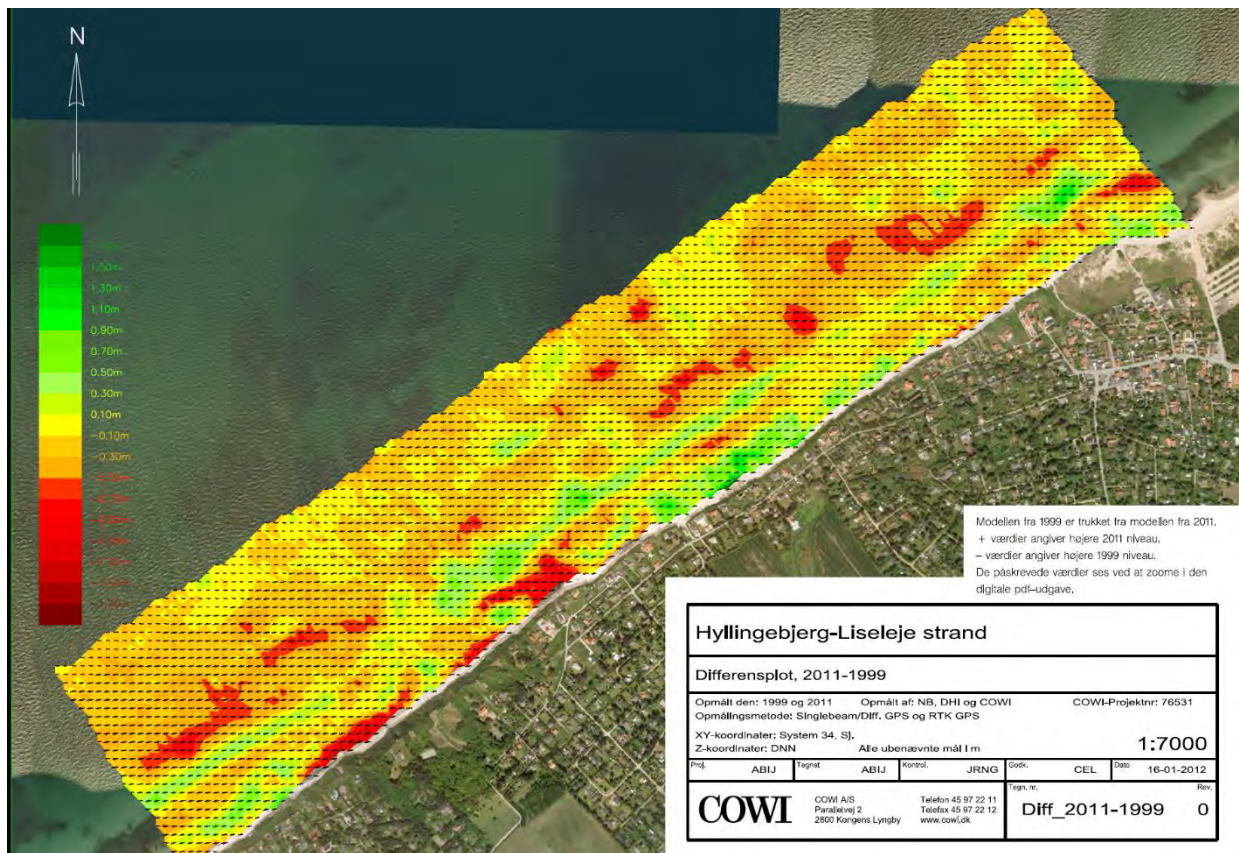
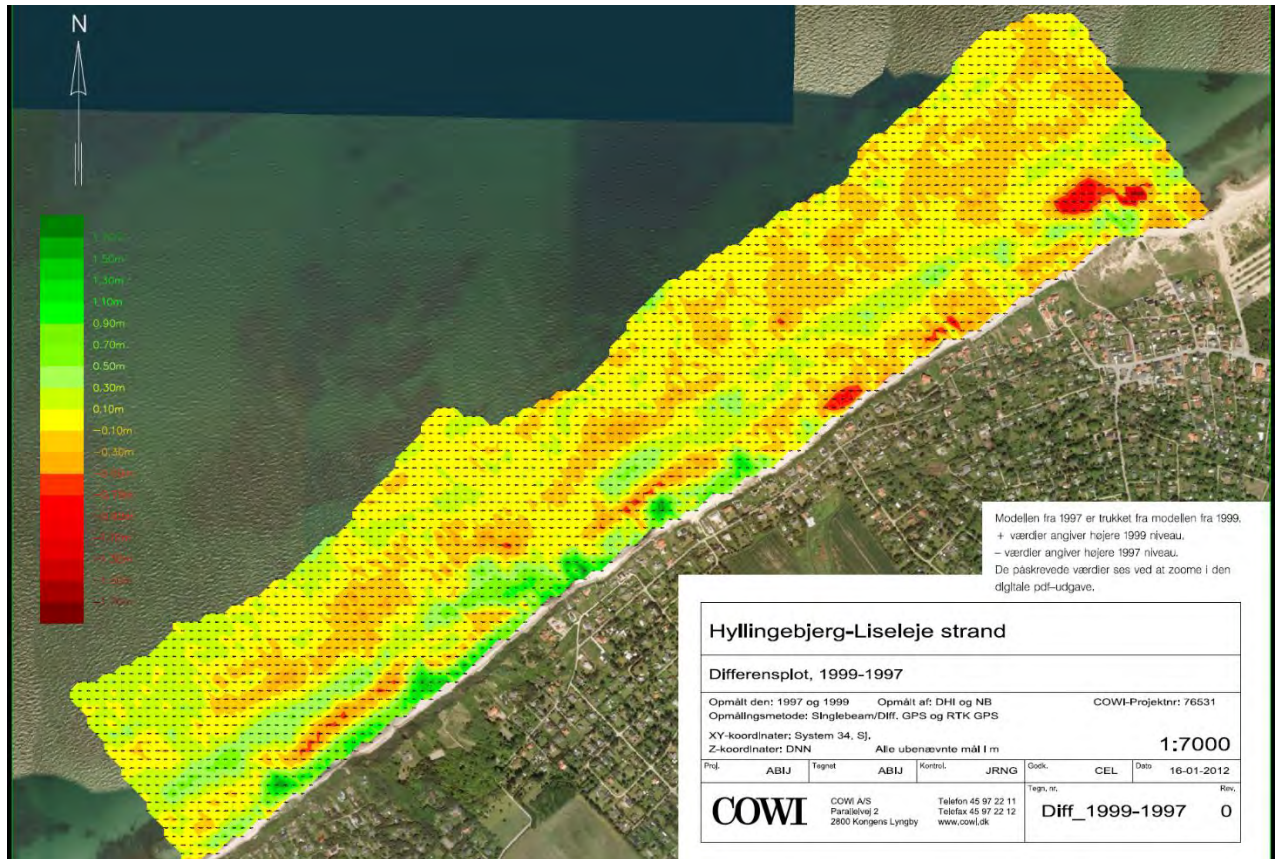
Der er dog ikke blevet foretaget de anbefalede vedligeholdelsesstrandfodringer.

Liseleje har i dag nogle af de bedste sandstrande på Nordkysten specielt langs den nordøstlige del, hvor der på trods af manglende vedligeholdelsesfodring stadig er en bred strand.



Figur 3-32 *Bred og beskyttende strand mellem Liseleje og Hyllingebjerg, som resultat af omfattende strandfodring på strækningen*

Figur 3-33 viser differenceplot af kysten ved Liseleje for perioden 1997 til 1999 før strandfodringen og 1999 til 2011 efter strandfodringen.



Figur 3-33 Differenceplot for historiske opmålinger af bathymetri og topografi ved Liseleje

Figurerne viser, at stranden blev opbygget i den sydvestlige og midterste del af projektområdet som følge af den initiale strandfodring i 1999.

Desuden er revlen langs størstedelen af strækningen og specielt i den sydvestligste del blevet større i forbindelse med, at hovedprojektet blev gennemført med sandfodring og etablering af bølgebrydere.

Den yderste del af kystprofilet langs hele kysten har dog været udsat for betydelig erosion i hele perioden på trods af etablering af kystbeskyttelse med sandfodring og bølgebrydere.

Efter at hovedprojektet blev fuldført i 1999 har der været en markant erosion af stranden i den sydvestlige del af projektområdet. Derimod er stranden i den midterste og nordøstlige del af området vokset.

Bølgebryderne i den sydvestlige del af strækningen har ikke kunne holde på sandet, medens der har været et øget tilskud af sand i den nordøstlige del.

Sandfodringen i 1999 og bølgebryderne har ikke kunne forhindre den fortsatte erosion af den yderste del af kystprofilet som følge af, at der er underskud i sedimentbalancen på kysten. Der er således identificeret erosion på op til 1m vertikalt i området mellem -2,5m og -6,5m dybdekurverne.

Erfaringerne fra Liseleje viser, at hård kystbeskyttelse med optimerede bølgebrydere og skråningsbeskyttelse ikke alene kan stabilisere kystprofilet på dybere vand. Det er ikke tilstrækkeligt at foretage initial strandfodring, da der på trods af effektiv hård kystbeskyttelse stadig tabes store mængder sand på dybere vand.

Strandfodring er nødvendig for at den hårde kystbeskyttelse skal virke optimalt, men samtidig skal strandfodring vedligeholdes løbende for at forhindre erosionen ude i kystprofilet og derved forhindre, at der sker en øget påvirkning på eksisterende hård kystbeskyttelse og skråningerne bagved.

### 3.4.3 Sandfodring – Negombo, Sri Lanka

I 1984-86 blev projektet, '**Sri Lanka Coast Erosion Master Plan**' udført. I den forbindelse blev flere projekter af høj national prioritet udvalgt til gennemførelse ved udenlandsk finansiering.

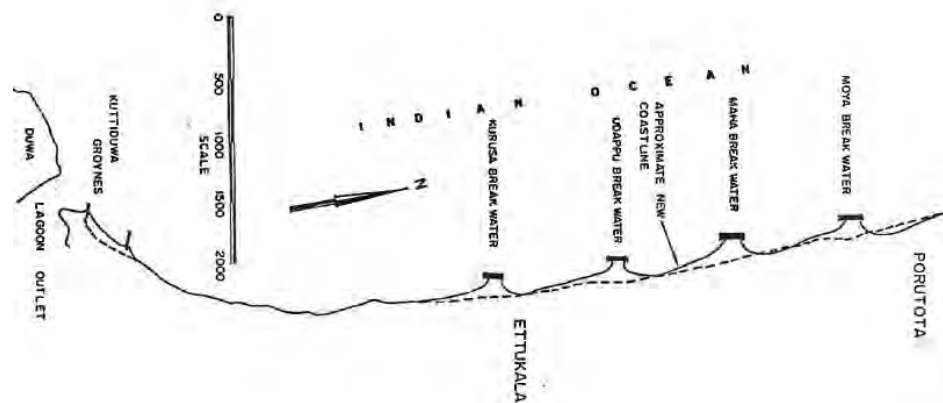
Negombo projektet er beliggende mellem Negombo Lagoon outlet og flodudløbet Maha Oya og strækker sig over 7 km kyst. Projektet fik første prioritet idet erosionen havde været 2-3 m om året i de sidste 25 år. Dette udgjorde en trussel for fiskeriet, turistindustrien og bebyggelsen i øvrigt. Langstransporten på kyststrækningen er af størrelsesorden 30.000 – 50.000 m<sup>3</sup>/år.

Udover den relativt store kroniske erosion giver tværtransporten i monsunperioden anledning til akut erosion på 6 – 10 m (40 – 60 m<sup>3</sup>/m), hvilket dog er en reversibel proces.



I erkendelse af at sandstrande af rimelige dimensioner er effektive til reduktion af bølgeenergiindfaldet samt at vedligeholdelse af strandenes dimensioner yder en væsentlig beskyttelse af baglandet blev projektet udviklet på grundlag af erfaringer og hydraulisk modellering.

En blød løsning med et væsentligt element af sandfodring er den eneste løsning, der alene kan opfylde kravene fra hovedbrugerne fiskeri og turisme.



Figur 3-34 Layout af Negombo projekt

Projektet omfatter 4 større bølgebrydere anlagt på 2,5 til 3 m vanddybde og indpumpning af 400.000 m<sup>3</sup> sand til strandfodring svarende til 60 m<sup>3</sup>/m kystlinje.

Sandet blev indvundet ud for kysten på 11 m vanddybde ved slæbesugning med et sandsugerfartøj, der kunne rumme 4.200 m<sup>3</sup>. Sandet blev herefter sejlet til en bøje på 7,5 meter vanddybde, hvorfra sandet blev pumpet via en 1,8 km lang neddykket rørledning ind på standen.

På standen blev sandet placeret over en strækning på 500 – 700 m umiddelbart opstrøms for bølgebryderne, hvorfra sandet naturligt blev fordelt af bølger og strøm.

Allerede under den første monsunperiode efter udførelsen blev sandet fordelt og tomboloer fuldt udviklet. Det blev dog nødvendigt at anlægge skråningsbeskyttelse til afdækning af den umiddelbare læside ved bølgebryderne for at beskytte baglandet i monsunperioden.

Følgende luftfoto viser kystudviklingen gennem 16 år efter udførelse af sandfodringen, hvor der ikke er blevet genfodret. Det har vist sig, at strandene i intermonsun perioden bygger yderligere op i en bredde, der er større end de faste konstruktioner betinger.

I monsunperioden yder det udførte projekt en beskyttelse, der er tilfredsstillende for brugerne af området. Princippet for projektet er senere kopieret på

strækninger på Sri Lankas sydvest kyst samt på en 15 km lang kyststrækning nord for Maha Oya flodens udløb.



Figur 3-35 Flyfoto af sandfodringsstrækningen med bølgebrydere i perioden 2001 – 2015. Øverst 2001 (inter-monsun periode), næst øverst 2005 (slutning af monsun periode), tredje øverst 2010 (inter-monsun periode) og nederst 2015

#### 3.4.4 Betydning af længde af strandfodringer

Stabiliteten af sandfodringer har bl.a. været undersøgt af ikonet indenfor sandfodring, Prof. Robert G. Dean (Dean, Robert G. (2002)). Han konkluderer:

”Hvis man sammenligner to fodringer med samme mængde fodret sand per længdeenhed udsat for samme bølgepåvirkning men med forskellig længde, så vil projektet med den længste fodring udvikle sig langsommere og holde længere end projektet med den korte fodringsstrækning. Stabiliteten af fodringen varierer med kvadratet på længden.”

Hvis man eksempelvis sammenligner fodringer med længder på henholdsvis 300 m og 3.000 m så vil fodringen på den lange strækning holde  $(3.000/300)^2 = 100$  gange så længe som fodringen på den korte strækning.

Der har for Kystdirektorater været foretaget vurderinger af, hvordan fodringer af forskellig længde udvikler sig med tiden. To profilfodringer er undersøgt på en kyst med 5 m aktiv profilhøjde og med 50 m fremrykning af strandlinjen:

- 6 300 m lang profilfodring, samlet fodring 75.000 m<sup>3</sup>
- 7 3.000 m lang profilfodring, samlet fodring 750.000 m<sup>3</sup>

Kystudviklingen i et år er simuleret med en 2D morfologisk model for et bølgeklima med  $H_s = 1,0$  m og en indfaldsvinkel på 10°. Fodringsandet havde en middeldornstørrelse på 0,2 mm.

Resultater fra simuleringer er præsenteret i Figur 3-36, hvor man ser øjeblikksbilleder fra simuleringerne af den 300 m lange profilfodring.

Det fremgår af det øverste billede, at der er store randeffekter og efter et år er fodringen blevet næsten totalt udjævnet.

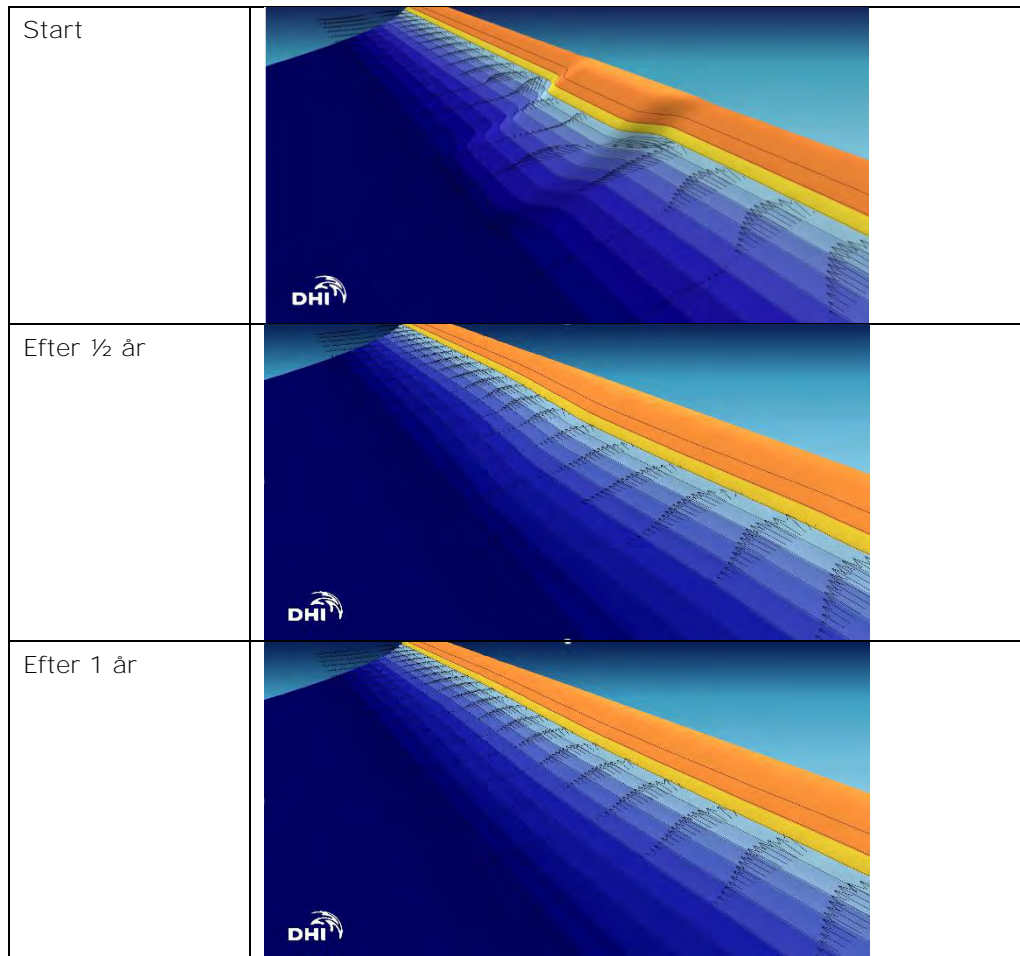
Figur 3-37 viser strandlinjens udvikling hver måned over et år for de to fodringer.

Det fremgår, at fodringen udjævnes næsten totalt efter et år for den korte fodring grundet randeffekter, men at den lange fodring over hovedparten af strækningen er stort set stabil. Den udjævning der er foregået er udelukkende sket ved enderne af fodringen. Det skal bemærkes, at der i simuleringseksemplet ikke var nogen gradient i langstransporten langs den fodrede strækning.

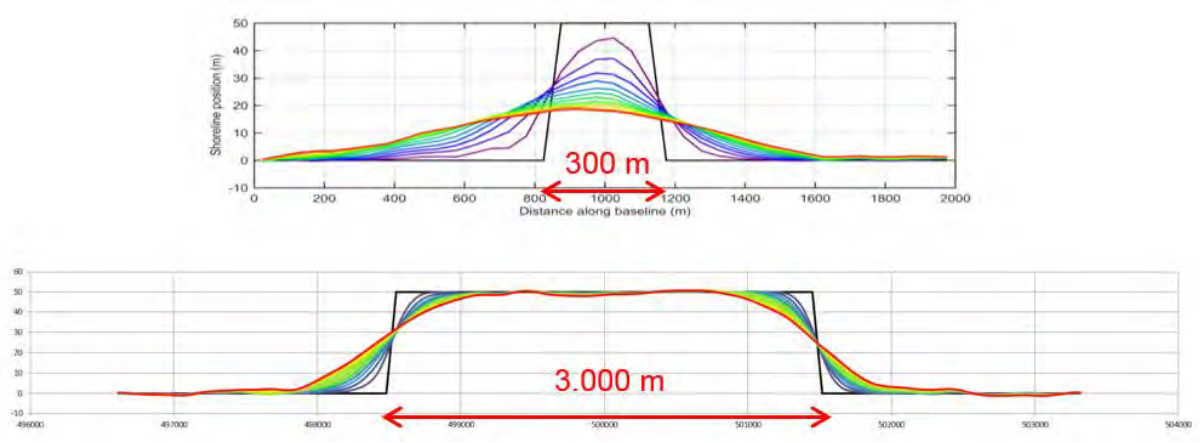
Overordnet kan det således konkluderes, at udjævning af det fodrede sand dominerer, når der fodres på korte strækninger. Det anbefales derfor udelukkende at foretage fodringer over længere sammenhængende strækninger såfremt formålet er at sikre en stabil placering af kystlinjen og derved stabilisering af den bagved liggende kystskrænt. Stabilisering af kystskrænten kræver, at fodringen er udført tilstrækkelig højt op på bagstranden således, at fodringen også virker imod akut erosion under højvande. For yderligere at sikre kystskrænten imod erosion under ekstreme hændelser, er det normal praksis at supplere kystfodring med skræntfodssikring i form af en stenkastning i tilfælde, hvor stabiliteten af skrænten er kritisk for at undgå skader på infrastruktur og bygninger.

Kystdirektoratet har siden midten af 80-erne sikret Vestkysten ved at foretage omfattende sandfodring over lange strækninger. Fodringsmængden er steget med tiden og der fodres nu årligt ca. 3 mio. m<sup>3</sup> sand langs den ca. 110 km lange strækning mellem Agger i nord og Nymindegab i syd. Dvs. af der gennemsnitligt

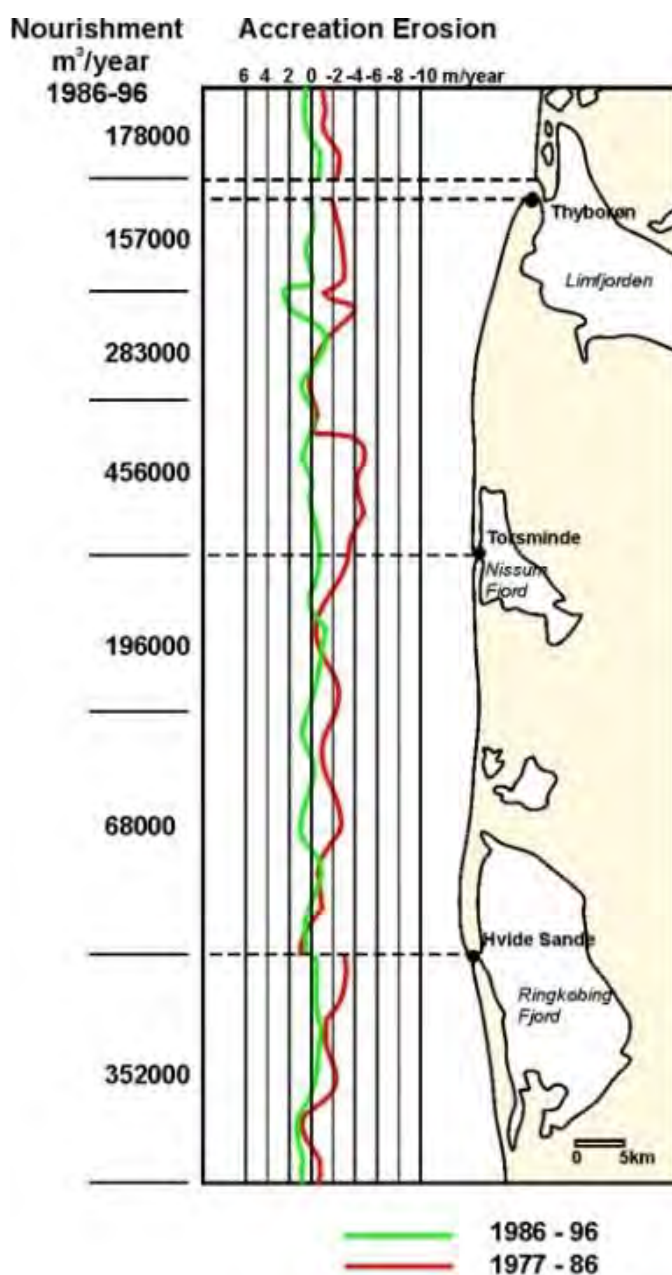
fodres med ca. 30 m<sup>3</sup>/m/år. Virkningen af denne indsats for perioden 1986 til 1996 fremgår af Figur 3-38.



Figur 3-36 2D simulering af 300 m lang profilfodring udsat for bølger med  $H_s = 1,0$  m og  $10^\circ$  indfaldsvinkel.



Figur 3-37 Resultat af strandlinjeudvikling for 300 m og 3.000 m lang profilfodring udsat for skråt indfaldende bølge i et år ( $\alpha = 10^\circ$  og  $H_s = 1$  m).



Figur 3-38 Erosion og aflejring langs kysten fra Agger til Nymindegab for perioden 1977 - 86, hvor der ikke blev foretaget sandfodring og for perioden 1986 - 96, hvor der årligt blev fodret med ca. 1,7 Mio. m³ per år

Det fremgår af figuren, at kystlinjen stort set er stabiliseret i fodringsperioden 1986 - 1996 med de foretagne fodringer. Dette er således et tydeligt bevis på at sandfodring virker såfremt der fodres over lange strækninger med tilstrækkelige mængder.

Kystfodringsindsatsen langs Vestkysten i 2015 er præsenteret i Figur 3-39. I alt blev det således planlagt af kystfodre med 2.555.000 m³ langs Vestkysten i 2015. Det bemærkes, at der "bypasses" 85.000 m³ ved Thorsminde og 190.000

m<sup>3</sup> ved Hvide Sande, dvs. i alt 275.000 m<sup>3</sup> ud af i alt 2.555.000 m<sup>3</sup> kommer fra bypass ved havnene.



Figur 3-39 Planlagt kystfodring Vestkysten i 2015, fra <http://kysterne.kyst.dk/kystfodringen-langs-den-jyske-vestkyst-2015.html>

## 4 Myndighedernes Administrationspraksis

### 4.1 Kystdirektoratet

Udførelse af kystbeskyttelse og ændringer af terrænet reguleres efter kystbeskyttelsesloven, som administreres af Kystdirektoratet (herefter KDI). Loven omfatter søterritoriet samt strandbredder og arealer, der ligger 100 m inde i land fra den sammenhængende landvegetation.

#### 4.1.1 Kystdirektoratets Kystbeskyttelsesstrategi

Kysterne benyttes året rundt til en bred vifte af formål, og er derfor værdifulde for befolkningen, kystgrundejerne, turisterne og erhvervslivet.

For at beskytte de kystnære bebyggelser og menneskeskabte værdier på kysterne, er der gennem årene etableret en del kystbeskyttelse. Noget af denne kystbeskyttelse er velfungerende, men der er imidlertid også bygget uvirksom og overflødig kystbeskyttelse, som griber unødigt ind i den naturlige dynamik og efterladeret uskønt indtryk.

Dertil kommer den kystbeskyttelse, der alene er tilpasset specifikke strækninger, typisk ud for privatejede grunde, som i mange tilfælde medføre øget erosion og andre u hensigtsmæssige konsekvenser på de nærliggende kyststrækninger.

De naturlige og uberørte kyster er flere steder under pres, og mange års erfaring viser, at ønsket om yderligere udnyttelse af kysterne vil fortsætte.

Klimaændringerne vil øge havets nedbrydende virkning på vores kyster i form af højere vandstande og kraftigere storme. Det vil øge udfordringen for den nuværende kystnære anvendelse og præge den fremtidige udvikling på kysterne.

Vores kyster skal også i fremtiden kunne rumme mange og forskelligartede interesser.

Den national kystbeskyttelsesstrategi sætter Danmarks kyster i fokus og stiller mod en koordineret, langsigtet og overordnet tilgang til forvaltning af kysterne og til kystbeskyttelse i Danmark.

Strategien bidrager til at skabe en mere helhedsorienteret udvikling på kysterne, som er nødvendig for at sikre de mange forskellige interesser langs kysterne i fremtiden – og skabe smukkere kyster i Danmark.

Kystbeskyttelsesstrategien støtter således op om **"helhedssynet"** som er nævnt i §1 i kystbeskyttelsesloven.

Klimaændringerne forventes frem gennem det 21. århundrede at medføre et øget pres på kysterne og vil derigennem øge behovet for en struktureret tilgang til planlægning af aktiviteter og bebyggelse. Derved kan der skabes balance mellem behovet for beskyttelse af menneskeskabte værdier og bevarelse af natur- og landskabsmæssige værdier.

Klimaændringerne vil nødvendiggøre løbende stillingtagen til, om nuværende kystnære aktiviteter, herunder bebyggelse, kan opretholdes i nuværende omfang og form.

For at understøtte en øget anvendelse af helhedsløsninger er det nødvendigt med et større samarbejde mellem de myndigheder, som administrerer aktiviteterne på kysterne. For borgerne er det vigtigt, at kontakten med myndigheden er en god oplevelse og opleves som nem.

Det skal ligeledes sikres, at kystteknisk ekspertise er tilstede og står til rådighed for alle myndigheder og borgere, så denne viden kan inddrages i beslutninger og bidrage til, at de rigtige løsninger findes.

På sigt vil en egentlig langsigtet planlægning for kysterne, som bygger på en aktiv stillingtagen til, hvad der kan beskyttes hvor og hvordan, understøtte en udvikling hen imod smukkere kyster.

#### 4.1.2 Generelt om Kystdirektoratets administrationspraksis

Generelt er det grundejeren, som har ansvar for at beskytte sin ejendom mod erosion og oversvømmelse.

Hvis en grundejer ønsker at etablere kystbeskyttelse, skal ansøgningen sendes direkte til KDI.

Når KDI har modtaget den fuldt oplyste ansøgning vurderes projektet i forhold til hensynene i kystbeskyttelseslovens formålsbestemmelse, hvor der står (se også Bilag 1):

**"§1.** Formålet med kystbeskyttelse er at beskytte mennesker mod oversvømmelser samt ejendom mod oversvømmelser og nedbrydning fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. "



KDI skal i hvert enkelt tilfælde foretage en konkret vurdering af den løsning, der ansøges om tilladelse til ud fra en række almene hensyn, som er beskrevet i lov om kystbeskyttelse:

- > Behovet for kystbeskyttelse af huse og infrastruktur inden for en tidshorison på 50 år vedrørende oversvømmelse og 25 år vedrørende erosion
- > Økonomiske hensyn og herunder værdi af det beskyttede contra udgift til beskyttelse
- > Kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske og miljømæssige kvalitet, og herunder vurdering af om anlægget fungerer til formålet, og hvordan det påvirker nabostrækningerne, samt evt. erstatningsplig
- > Kystlandskabets bevarelse og genopretning, og herunder særlige naturværdier / planlægning
- > Naturens frie udfoldelse, og herunder natur contra massivt udnyttet kyst
- > Rekreativ udnyttelse af kysten, og herunder mulighed for at etablere eller bevare strand
- > Sikring af den eksisterende adgang til kysten og herunder skal der være passage, hvis der er en strand
- > Andre forhold af væsentlig betydning for kystbeskyttelse

Hensynene står ikke i en prioriteret rækkefølge, men det er en forudsætning for en tilladelse, at der kan konstateres et behov for kystbeskyttelse på den pågældende lokalitet, da formålet med kystbeskyttelse er at beskytte mennesker og væsentlige værdier som bebyggelse og infrastruktur.

Man får ikke lov til at opføre kystbeskyttelse såfremt der ikke er væsentlige værdier, der er truet. Der gives normalt ikke tilladelse til at sikre **"naturen imod naturkræfterne"**.

Behov for erosionsbeskyttelse siges at være til stede, når væsentlige værdier som bebyggelse og infrastruktur risikerer ødelæggelse som følge af erosion inden for en kortere årrække (normal praksis er 25 år). Behovet skal vurderes både i forhold til ejendommen og i forhold til strækningen som helhed, hvor også andre faktorer som f.eks. natur kan have stor betydning.

Der er mange interesser i kystzonen, så kystbeskyttelse skal udføres med mindst mulig belastning for kysten. KDI ser derfor på om kystbeskyttelsen er teknisk optimeret, hvilket blandt andet vil sige, at anlægget vurderes at yde den fornødne beskyttelse uden at være større end nødvendigt.

For at afgøre om projektet er foreneligt med hensynet til naturen samt offentlige og privatretlige interesser, høres en række myndigheder, heriblandt kommuner og Naturstyrelsen. Endvidere orienteres en række interesseorganisa-

tioner, ejere af naboejendomme og andre, i det omfang de vil blive berørt af kystbeskyttelsen.

Ved fælles ansøgning fra en gruppe grundejere forudsættes, at der er fuld enighed om projektet, herunder hvad der skal etableres, og hvordan udgifterne skal fordeles. Strækker kystbeskyttelsen sig over flere ejendomme, skal der vedlægges en samtykkeerklæring fra alle berørte ejere.

Hvis der opstår uenighed blandt en gruppe grundejere om etablering eller renovering af kystbeskyttelse på en strækning med flere ejendomme, kan kommunen anmodes om at finde en fælles løsning. Uenigheden kan bl.a. dreje sig om anlæggets beliggenhed, udformning eller finansiering. Kommunen kan også på eget initiativ rejse en kystbeskyttelsessag. Dette forløb beskrives i kystbeskyttelseslovens Kapitel 1a, se Bilag 1.

Kommunen har mulighed for dels at pålægge, at der udføres kystbeskyttelse og dels at afgøre, hvordan udgiften dertil skal fordeles.

I sådanne sager er det kommunen, der er ansvarlig for projekt- og sagsforløb. Anmodningen om etablering eller renovering af kystbeskyttelse såfremt der ikke er enighed blandt grundejerne sendes derfor til kommunen. Dette giver kommunerne et stort ansvar for miljømæssig forsvarlig administration af kysterne, bl.a. under hensyn til punkterne 4 til 8 i §1 af Kystbeskyttelsesloven, se Bilag 1.

Når det endelige projekt foreligger, sendes det til KDI til behandling efter kystbeskyttelseslovens § 16.

Sager, der er rejst af kommunen, er ofte kendetegnet ved at omfatte længere kyststrækninger, omfatte flere grundejere og kan desuden have et element af oprydning.

KDIs administrationspraksis i forbindelse med udstedelse af tilladelse til kystbeskyttelse præsenteres i det følgende for at belyse, hvilke former for kystbeskyttelse, der kan opnås tilladelse til og hvilke krav, KDI stiller for at give tilladelse.

Afsnittet er baseret på Kystteknisk chef, Per Sørensens fremlæggelse af KDIs administrationspraksis i forbindelse med workshop vedrørende Nordkystens Fremtid 08.06.2016.

Beskrivelserne i det følgende af KDIs nuværende administrationspraksis skal opfattes som "tommelfingerregler".

Kystbeskyttelse opført før 1988 er generelt lovligt.

#### 4.1.3 Fjernelse af eksisterende kystbeskyttelse

Eksisterende kystbeskyttelse kan fjernes uden, at der skal søges tilladelse fra KDI.

Eventuel påvirkning af nabostrækninger som følge af fjernelse af eksisterende kystbeskyttelse kan ikke bevirke et erstatningsansvar.

#### 4.1.4 Beskyttelse af naturgrunde

KDI giver generelt ikke tilladelse til at etablere passiv/hård kystbeskyttelse ved ubebyggede grunde, naturgrunde og landbrugsarealer.

#### 4.1.5 Strandfodring

Der vil i de fleste tilfælde kunne opnås tilladelse til at strandfodre.

Ved rene aktive sandfodringsløsninger vil der ikke blive stillet krav om sandfodring med en vis mængde.

Strandfodring med sand eller ral kan kombineres med passive/hårde anlæg som skråningsbeskyttelser, høfder eller bølgebrydere afhængig af den pågældende lokalitet. I sådanne tilfælde vil KDI dog stille yderlige krav som beskrives i det følgende.

Strandfodring bør foretages med sediment svarende til det naturlige sediment på den pågældende strækning.

#### 4.1.6 Genopbygning af skråningsbeskyttelser

Skråningsbeskyttelser som er beskadiget kan genopbygges til den standard den var bygget med før 1988 eller som beskrevet i tilladelsen fra KDI efter 1988. Dette kræver ikke fornyet tilladelse fra KDI. Det skal kunne dokumenteres, at skråningsbeskyttelserne har været vedligeholdt.

Skråningsbeskyttelser må vedligeholdes til oprindelige dimensioner, hvis konstruktionen har været løbende vedligeholdt. Der stilles ikke krav om kompensationsfodring i dette tilfælde.

#### 4.1.7 Genopbygning af høfder og bølgebrydere

Høfder og bølgebrydere må vedligeholdes til oprindelige dimensioner, hvis konstruktionerne har været løbende vedligeholdt. Der stilles i dette tilfælde ikke krav om ny tilladelse og kompensationsfodring.

Det forudsættes, at konstruktionen har haft en markant kystteknisk effekt inden for få år. Ellers er der tale om at forstærke anlægget, hvilket kræver ny tilladelse.

#### 4.1.8 Forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelser

Eksisterende skråningsbeskyttelser kan forstærkes. Dette kræver dog tilladelse af KDI.

Ved forstærkning og renovering af skråningsbeskyttelser stilles krav om kompensationsfodring og dokumentation af behov og dimensionering.

Kompensationsfodrings størrelse svarer til den naturlige skrænterosion fra bunden af skråningsbeskyttelsen til toppen af skrånningen bagved.

#### 4.1.9 Etablering af nye skråningsbeskyttelser

Det er muligt at få tilladelse til etablering af ny skråningsbeskyttelse med sten eller lignende. Der skal dog indhentes tilladelse fra KDI.

Der skal foreligge en faglig/saglig begrundelse, fordi passiv beskyttelse kun omfordeler erosionen og skaber læsideerosion.

Ved nye passive løsninger på en strækning, kan der blive stillet krav om tilpasning af de eksisterende konstruktioner til en helhed.

Derudover stiller KDI krav om tildækningsfodring og kompensationsfodring.

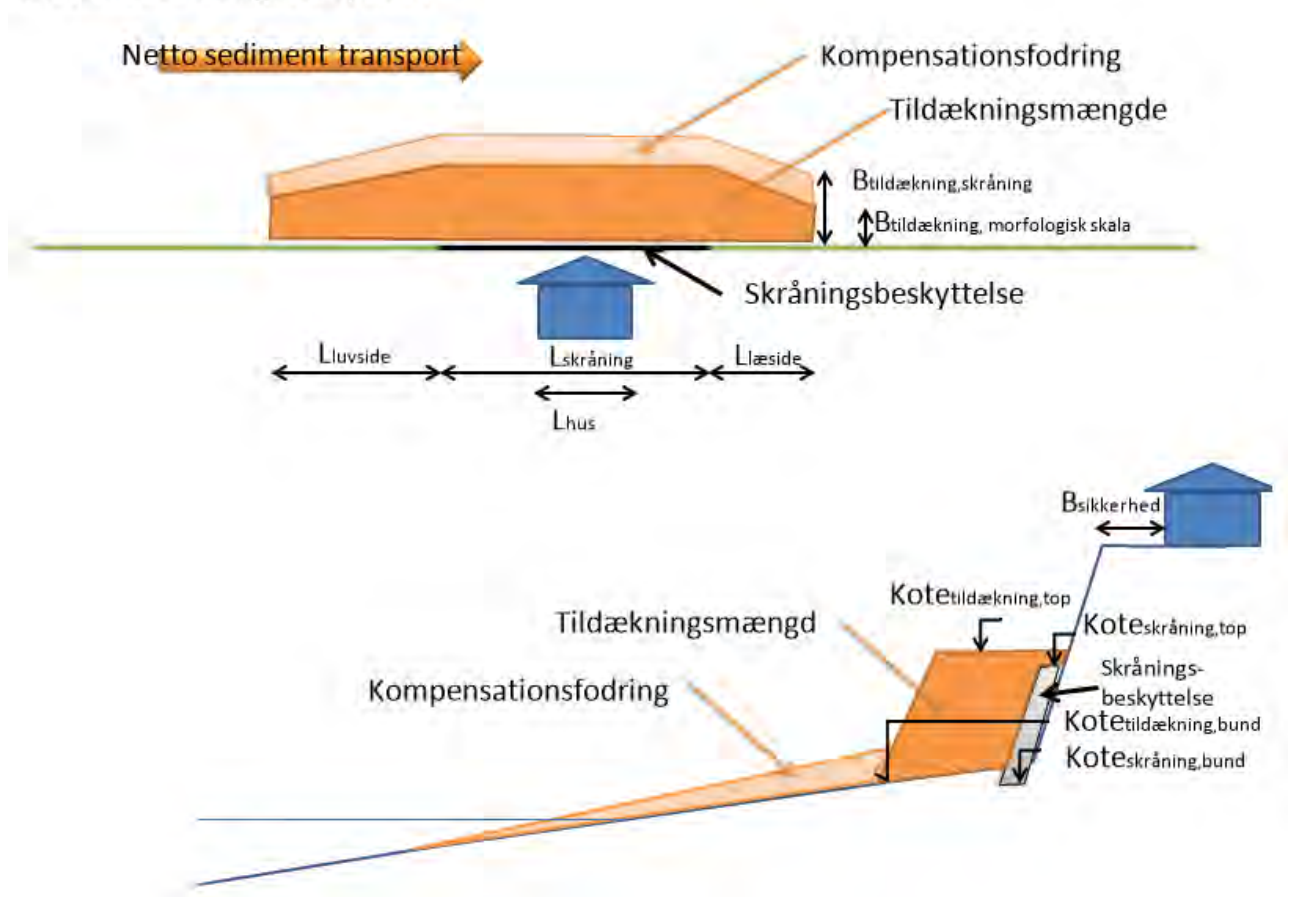
Der skal i hvert enkelt tilfælde foretages en konkret vurdering. Det følgende er tommelfingerregler, (Kystdirektoratet, 2016).

Tildækket skråningsbeskyttelse kan tillades, hvis huset er beliggende indenfor 2 gange den maksimale akutte erosion  $B_{maks\ akut\ erosion}$ . Her skal det inddrages, at akut erosion har forskellig udstrækning afhængigt af skræntens materiale.

I det følgende er den maksimale akutte erosion  $B_{maks\ akut\ erosion}$  gennemgående basis for fastlæggelse af fodringsmængder og den morfologiske skala, se Figur 4-1.

Tildækningsmængden har til hensigt at sørge for at skråningsbeskyttelsen aldrig blottes og har en negativ effekt på et eller flere af de hensyn KDI skal afveje jf. kystbeskyttelsesloven. Den sikkerhed myndigheden skal have for at dette ikke sker, er den samme som ansøger ville vælge, hvis beskyttelsen mod akut erosion udelukkende etableres som en sandbuffer.

### Tildækket skråningsbeskyttelse



Figur 4-1 Principskitse for tildækket skråningsbeskyttelse, (Kystdirektoratet, 2016)

Tildækningsbufferen skal genopbygges i forbindelse med den løbende kompensationsfodring og som minimum hvert 5 år.

Bredden af tildækningsmængden  $B_{\text{tildækning, skråning}}$  foran skråningsbeskyttelsen er mindst  $2 \cdot B_{\text{maks akut erosion}}$  såfremt der fodres mindst hvert 5. år. Bredden af tildækningsmængden i enderne  $B_{\text{tildækning, morfologisk skala}}$  er  $0,25 \cdot B_{\text{tildækning, skråning}}$ .

Af hensyn til den morfologiske skala skal  $L_{\text{lúvside}}$  være længere end  $L_{\text{læside}}$ . Tommelfingerreglen er, at  $L_{\text{lúvside}} = 2 \cdot L_{\text{læside}}$ .

$$L_{\text{lúvside}} = 10 \cdot B_{\text{maks akut erosion}}$$

Længden af skråningsbeskyttelsen  $L_{\text{skråning}}$  er to gange husets bredde  $L_{\text{hus}}$ .

Topkoten af tildækningsmængden,  $Kote_{\text{tildækning top}}$  skal være lig med eller større end topkoten af skråningsbeskyttelsen  $Kote_{\text{skråning top}}$  plus 1 meter.

Bundkoten af tildækningsmængden,  $Kote_{\text{tildækning bund}}$  skal være lig med eller mindre end bundkoten af skråningsbeskyttelsen  $Kote_{\text{skråning bund}}$ .

Kompensationsfodringen for den kroniske erosion skal foregå i hele tildækningsmængdens længde. Kompensationsfodringen skal mindst modsvare den gennemsnitlige profilerosion dvs. erosionen mellem den aktive dybde og skræntens top.

Opfyldelsen af vilkår om tildækningsmængde skal dokumenteres vha. opmåling og mængdeberegninger i tværprofiler. Der skal være et tværprofil for minimum hver  $3 * B_{maks}$  akut erosion

Opfyldelse af vilkår ved kompensationsfodring sker typisk gennem vejesedler, eller anden form for dokumentation for tilført sedimentmængde til kystprofilen.

Hvis klimaforandringer medtages i design af den passive beskyttelse, skal de også medtages i den aktive kompensationsfodring.

#### 4.1.10 Forstærkning af eksisterende høfder og bølgebrydere

I tilfælde af at eksisterende høfder og bølgebrydere er misvedligeholdte over en årrække skal der søges ny tilladelse for at kunne genopbygge eller forstærke konstruktionerne.

Ved forstærkning/renovering stilles krav om kompensationsfodring og dokumentation af behov og dimensionering.

#### 4.1.11 Etablering af nye høfder og bølgebrydere

Der skal søges tilladelse til at etablere kystbeskyttelse i form af høfder og bølgebrydere eller lignende.

Der skal foreligge en faglig/saglig begrundelse, fordi passiv beskyttelse kun omfordeler erosionen og skaber læsideerosion.

Ved nye passive løsninger på en strækning, kan der blive stillet krav om tilpasning af de eksisterende konstruktioner til en helhed.

KDI er generelt tilbageholdende med at give tilladelse til nye høfder og bølgebrydere. KDI vurderer i hvert enkelt tilfælde om der kan gives tilladelse.

I forbindelse med etablering af nye høfder og bølgebrydere vil KDI under alle omstændigheder stille krav om kompensationsfodring.

Krav til kompensationsfodring i forbindelse med nye høfder og bølgebrydere svarer til den del af den langsgående sedimenttransport, som de blokerer / fanger.

Hvis klimaforandringer medtages i design af den passive beskyttelse, skal de også medtages i den aktive kompensationsfodring.

#### 4.1.12 Naboansvar

Generelt er det grundejeren, som har ansvar for at beskytte sin ejendom mod erosion og oversvømmelse, hvilket kræver forudgående tilladelse fra KDI.

Såfremt en kystbeskyttelseskonstruktion er skyld i læsideerosion kan naboen gøre ejeren økonomisk ansvarlig for skader, som anlægget måtte påføre. Spørgsmål om erstatning afgøres af domstolene efter almindelige retsprincipper.

Såfremt en matrikel har behov for at inddrage naboens kyststrækning i forbindelse med etablering af kystbeskyttelse, skal dette begrundes/dokumenteres i en ansøgning om kystbeskyttelse og der skal indhentes samtykke fra naboen.

KDI kan også stille krav om, at en eventuel kompenserende fodring skal gå hen over en matrikelgrænse, hvis dette er nødvendigt for projektet. Dette vil også kræve samtykke fra naboerne.

Naboerne er dog ikke, på trods af samtykke, forpligtiget til medfinansiering. Dette spørgsmål afgøres indbyrdes mellem parterne.

Naboerne kan ikke stille en grundejer til ansvar i tilfælde af, at grundejeren fjerner eller mis-vedligeholder sin kystbeskyttelse og dette måtte medføre problemer for tilstødende kyststrækninger.

I de tilfælde, hvor der foreligger en tilladelse til kystbeskyttelse, som omfatter flere grundejere er alle grunderejerne dog forpligtet til at vedligeholde egne anlæg.

## 4.2 Styrelsen for Vand og Naturforvaltnings administrationspraksis

Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning (herefter SVANA) er myndighed på råstofindvinding på havet og naturbeskyttelse.

### 4.2.1 Indvinding af sand til kystfodring

Råstofindvinding på havet er reguleret af råstofloven og der kræves tilladelse efter lovens §20. Indvindingen kan ske fra tre typer af råstofindvindingsområder:

- Auktionsområder, som typisk udnyttes af entreprenører der ved auktion har erhvervet sig eneret til indvinding i området
- Fællesområder, hvor alle kan opnå tilladelse til råstofindvinding
- Bygherreområder, som udlægges af bygherrer til indvinding af store råstofmængder f.eks. i forbindelse med større kystbeskyttelsesprojekter.

Der skal betales vederlag til staten for de indvundne råstoffer, da råstofferne på havbunden tilhører staten. For visse råstoffer betales der dog ikke vederlag, f.eks. råstoffer som bruges til kystbeskyttelse, der udføres efter tilladelse fra transportministeren, jf. § 16, stk. 1, i lov om kystbeskyttelse, jf. § 16, stk. 1, i lov om kystbeskyttelse.

Det anbefales, at der som udgangspunkt tages kontakt til SVANA for en indledende sondering af mulighederne for råstofindvinding. Typisk vil der ikke være tilstrækkelige råstofmængder i fællesområderne til et projekt af denne størrelsesorden. Råstofferne skal derfor enten erhverves via en entreprenør, der besidder et aktionsområde, mod betaling eller ved udlægning af et bygherreområde. Et eksempel på et stort anlægsprojekt, som har indvundet råstoffer fra et bygherreområde, er udvidelsen af Københavns Nordhavn.

Udlægning af et bygherreområde er en flertrinsraket: Først skal der opnås tilladelse til efterforskning af råstoffer i et eller flere potentielle råstofindvindingsområder. Dernæst skal efterforskningen udføres og der skal foretages miljøundersøgelser. Hvis der findes egnede råstoffer og resultatet af miljøundersøgelserne er positive, så kan der søges om tilladelse til indvinding af råstoffer i et bygherreområde. I området vil bygherren have eneret på indvindingen af råstoffer. For indvinding af store mængder sand, vil der skulle udfærdiges en VVM-undersøgelse.

#### 4.2.2 Oprensning af sand ved havneindsejlinger

Havbundsmateriale oprenset i havneindsejlinger klappes normalt på dertil godkendt klappads i henhold til Bekendtgørelse nr. 32 af 7.1.2011 om dumpning af optaget havbundsmateriale (klapning). Miljøministeriet har udsendt en vejledning om klapning: Vejledning fra By- og Landskabsstyrelsen (nu SVANA), Dumpning af optaget havbundsmateriale – klapning.

I henhold til klapbekendtgørelsen og klapvejledningen omfatter tilladelse til klapning normalt bortskaffelse af havbundsmaterialer på en godkendt klappads, men myndighederne ser positivt på eventuelle muligheder for at havbundsmaterialet genanvendes på land eller nyttiggøres kystnært som kystfodring.

Praksis er, at SVANA giver tilladelse til klapning på egnede klappadser, men SVANA kan ikke stille krav om kystnært nyttiggørelse (bypass). Hvis sandet er egnet, kan det overvejes at nyttiggøre det, men det vil altid være havnenes oprensingsbehov, der er styrende for planlægningen.

For at sandet kan nyttiggøres til kystfodring kræver det at nogle anmoder om at nyttiggøre sandet til kystfodring. KDI kan ikke under den nuværende lovgivning stille krav om kystnær nyttiggørelse, men kan kun give tilladelse til at det kan udføres som svar på en ansøgning om at få lov til at kystbeskytte ved anvendelse af kystfodring.



### 4.2.3 Råstofloven, nyttiggørelse af oprenset sand

Nyttiggørelse af oprenset sand på havområdet kræver tilladelse fra Naturstyrelsen, medens nyttiggørelse af sand indvundet på land (afgravning på stranden eller i klitten) kræver tilladelse fra kommunalbestyrelserne.

Naturstyrelsen skal ansøges om tilladelse til nyttiggørelse af det oprensede havnesediment, jævnfør **"Bekendtgørelse af lov om råstoffer (Råstofloven)**, LBK nr. 950 af 24/09/2009. § 20 stk. 3) lyder:

*Tilladelse til efterforskning eller indvinding af sand til større opfyldningsopgaver, til kystbeskyttelse og til nyttiggørelse af oprensings- og uddybningsmateriale kan efter ansøgning meddeles til bygherren.*

*Ifølge §20a gælder følgende stk. 2) og 3):*

*Stk. 2. Tilladelse efter § 20 kan ikke gives i områder med en vanddybde på mindre end 6 m.*

*Stk. 3. Miljøministeren kan, for så vidt angår indvinding i områder med en vanddybde på mindre end 6 m, gøre undtagelse fra bestemmelsen i stk. 2, når en værdifuld råstofforekomst kan indvindes, uden at indvindingen er i konflikt med væsentlige kulturarvs- og naturmæssige værdier.*

sidstnævnte st. 3) kommer i anvendelse ved oprensning af sand nær indsejlingerne til Gilleleje Havn og Hornbæk Havn.

### 4.2.4 Strandbeskyttelseslinjen

I henhold til Naturbeskyttelseslovens §15 må der ikke foretages ændring i tilstanden af strandbredder eller af andre arealer, der ligger mellem strandbredden og strandbeskyttelseslinjen. Der må ikke etableres hegn, placeres campingvogne og lignende, og der må ikke foretages udstykning, matrikulering eller arealoverførsel, hvorved der fastlægges skel.

Der skal i forbindelse med projektet søges om dispensation fra strandbeskyttelseslinjen. Kystdirektoratet administrerer reglerne og skal give dispensationen.

Naturpleje i form af sandflugtsdæmpende foranstaltninger, som eksempelvis udlægning af granris, samt afgravning af sand på stranden med henblik på at fastholde kystlinjens placering, er også omfattet af naturbeskyttelseslovens §15. Der vil normalt blive givet tilladelse til sådanne aktiviteter, hvor det er relevant/påkrævet.

Uddrag fra lovtæksten:

***§15. Der må ikke foretages ændring i tilstanden af strandbredder eller af andre arealer, der ligger mellem strandbredden og strandbeskyttelseslinjen. Der må ikke etableres hegn, placeres campingvogne og lignende, og der må ikke foretages udstykning, matrikulering eller arealoverførsel, hvorved der fastlægges skel.***

*Stk. 2. Strandbeskyttelseslinjen er fastlagt ved miljøministerens bestemmelse efter de hidtil gældende regler.*

*Stk. 3. Strandbeskyttelseslinjen er registreret i matriklen og noteret i tingbogen.*

*Stk. 4. Forbuddet i stk. 1 gælder ikke for:*

- 1) landbrugsmæssig drift bortset fra tilplantning,*
- 2) genplantning af skovarealer og beplantning i eksisterende haver,*
- 3) sædvanlig hegning på jordbrugsejendomme,*
- 4) bestående forsvarsanlæg, der anvendes til forsvarsfor- mål,*
- 5) havneanlæg og de arealer, der ved lokalplan er udlagt til havneformål,*
- 6) mindre vedligeholdelsesarbejder på bygninger, herunder udskiftning af vinduer og tage m.v., når bygningshøj- den ikke derved forøges eller kun forøges i ubetydeligt omfang,*

*byggeri, der er erhvervsmæssigt nødvendigt for den pågældende ejendoms drift som landbrugs- eller skov- brugsejendom eller for udøvelsen af fiskerierhvervet, og som opføres i umiddelbar tilknytning til eksisterende bygninger. Der kræves dog miljøministerens tilladelse, for så vidt angår de nævnte bygningers nærmere beliggenhed og ydre udformning, og*

- 8) kyststrækninger, der er klitfredede, jf. §§ 8 og 9.*

*Stk. 5. Miljøministeren kan fastsætte regler om, at stk. 1 ikke skal gælde for nærmere angivne arter af anlæg, der tillige vedrører søterritoriet. Tilsvarende gælder for diger, høfder, bølgebrydere og andre anlæg, som kræver tilladelse i henhold til lov om kystbeskyttelse.*

#### 4.2.5 Kombination af kystfodring med havnenes behov for oprensning og bortskaffelse af det oprensede sand

Der er ikke lovhjemmel i havmiljøloven og reglerne vedrørende klappning til at tvinge havnene til at bringe sandet ind på kysten efter oprensning.

KDI har ganske vist igennem mange år selv praktiseret dette princip ved Thorsminde og Hvide Sande samt ved Grådyb. Det er sket på baggrund af en oprindelig gensidig forståelse mellem havnene og KDI om, at det er den mest hensigtsmæssige måde at håndtere det oprensede sand på, idet sandet jo er en del af kystens sandbudget og således "tilhører" kysten.

Administrationen af denne praksis er gennem de seneste ca. 10 år lettet ved at KDI administrerer kysten såvel som havneindsejlingerne. Men dette sammenfald af ansvarlig myndighed for havne og de tilstødende kyster er kun gældende for Vestkysten. Den anvendte praksis med bypass af sand til den nedstrøms kyst kan imidlertid inspirere til en hensigtsmæssig administration af bypass ved havne på sandtransportkyster, som ved Hornbæk og Gilleleje på Nordkysten.

## 5 Designbasis

Indledningsvist skal designforudsætningerne for kystbeskyttelsen fastlægges.

Kystbeskyttelseskonstruktioner projekteres ud fra de bølge- og vandstandsforhold, som konstruktioner skal kunne modstå uden at blive beskadiget betydeligt og uden, at der sker skade bag konstruktionerne. Derudover er geotekniske forhold vigtige at tage i regning og herunder, hvilke sedimenter, der ligger på stranden.

Bygherren skal tage stilling til, hvor stærk kystbeskyttelsen skal være. Dette udtrykkes ved anlæggets levetid og hvor kraftig en storm anlægget skal kunne modstå.

Levetiden af kystbeskyttelsen siger noget om, hvor lang tid ud i fremtiden beskyttelsen skal kunne holde, når den udsættes for naturkræfter som bølger, vandstandsstigninger og erosion af stranden. Levetiden af kystbeskyttelsen er en vigtig designparameter, som følge af klimaændringer som vil medføre, at vandstanden stiger fremover.

Styrken af den stormhændelse kystbeskyttelsen skal kunne modstå uden at der sker omfattende skader udtrykkes ved en returperiode,  $T_d$ . Returperioden siger noget om, hvor lang tid der typisk går mellem at sådanne storme forekommer. Designvandstand og designbølgehøjde beregnes ud fra statistisk baseret på analyse af tidsserier.

Sandsynligheden for at designstormhændelsen indtræffer i løbet af kystbeskyttelsens levetid og at der herved sker skade på kystbeskyttelsen eller bagland, udtrykkes ved risikoen,  $R$ . Relationen mellem returperiode, levetid og risiko for skade er beskrevet med følgende udtryk.

$$R = 1 - (1 - 1 / T_d)^L$$

Den acceptable risiko,  $R$  som funktion af levetid,  $L$  og returperiode,  $T_d$  er vist i Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Sandsynlighed,  $R$  [%] for at en stormhændelse med en given returperiode,  $T_d$  [år] indtræffer i kystbeskyttelsens levetid,  $L$  [år].

Levetid (L) i år	Returperiode ( $T_d$ ) i år							
	5	10	30	50	100	500	1000	10000
1	20	10	3	2	1	0	0	0
5	67	41	16	10	5	1	0	0
10	89	65	29	18	10	2	1	0
30	100	96	64	45	26	6	3	0
50	100	99	82	64	39	10	5	0
100	100	100	97	87	63	18	10	1
200	100	100	100	98	87	33	18	2
500	100	100	100	100	99	63	39	5

Den acceptable sandsynlighed for, at designstormhændelsen forekommer indenfor anlæggets levetid er afhængig af, hvad der skal beskyttes og værdien af det som beskyttes.

Kystbeskyttelseskonstruktioner skal vedligeholdes med tiden afhængigt af, hvilke forudsætninger, der er gjort i forbindelse med projekteringen og hvordan kystudviklingen og havspejlsstigningen kommer til at foregå. Typisk er kystbeskyttelseskonstruktioner af sten forholdsvis lette at vedligeholde. Omvendt er det ikke muligt at øge størrelsen af de tilførte sten, når først de er lagt og derfor skal konstruktionerne have en vis styrke fra starten af.

På Nordkysten anbefales at projektere kystbeskyttelseskonstruktioner for en returperiode  $T_d = 50$  år.

Typisk projekteres kystbeskyttelseskonstruktioner med en levetid på 25 til 50 år.

Strandfodring er dynamisk og vil i mange tilfælde gradvist eroderes bort. I forbindelse med strandfodring er løbende vedligeholdelse således en vigtig del af projekteringen. Derudover projekteres strandfodring ud fra de samme betragtninger som konstruktioner i forhold til levetid og hvor kraftig en storm kystbeskyttelsen skal kunne modstå.

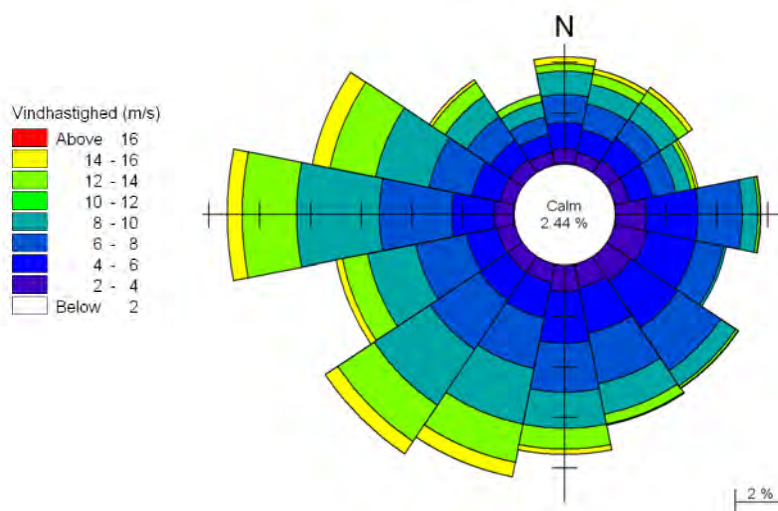
Strandfodring har typisk en kort levetid på 2-10 år, da sandet vandrer langs kysten. Det er derfor vigtigt, at strandfodring projekteres med fokus på, at reducere vedligeholdelsesbehovet. Tidligere blev der ofte anvendt konstruktioner som bølgebrydere til at stabilisere sandet og derved reducere vedligeholdelsesbehovet. Dette kan dog medføre læsideerosion og en forøgelse af kysterosionen nedstrøms. En anden metode til at forlænge virkningen af sandfodringen er at fodre

på længere strækninger, hvorved erosionshastigheden reduceres og levetiden af strandfodringen øges. Således stiger tidsintervallet imellem vedligeholdelsesfodringer og mobiliseringsomkostningerne reduceres.

## 6 Dimensioneringsgrundlag

### 6.1 Vind

Figur 6-1 viser en vindrose for vindklimaet på Anholt baseret på data fra DMI. Stationen på Anholt vurderes at give et godt billede af vindklimaet i den sydlige del af Kattegat. Vinddata er bestemt som 10-min middelvind målt hver time i 10 m's højde over terræn i perioden 20/05-1993 til 07/07-2008.



Figur 6-1 Vindrose for Anholt baseret på data fra DMI

Vindrosen viser, at vinden oftest er fra retning SSV til VNV i den sydlige del af Kattegat. Det er også fra disse retninger de kraftigste vinde optræder.

## 6.2 Vandstand

### 6.2.1 Karakteristiske Vandstandsforhold

Tabel 6-1 viser en oversigt over karakteristiske vandstandsforhold i projektområdet baseret på Den Danske Havnelods (Geodatastyrelsen, 2016).

*Tabel 6-1 Oversigt over karakteristiske vandstandsforhold ved de 4 havne i projektområdet (Geodatastyrelsen, 2016).*

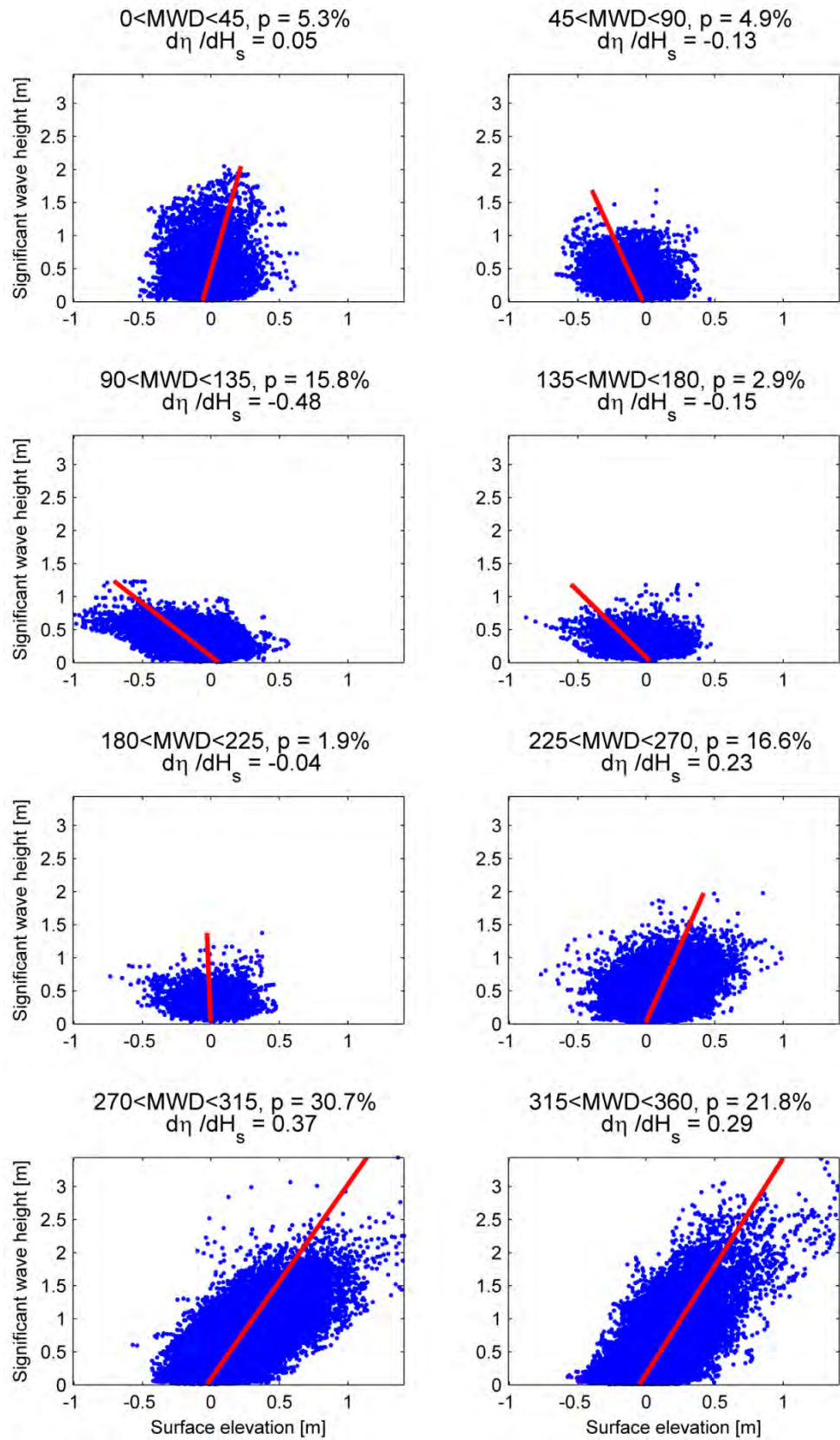
	Forskel mellem Middelhøjvande og Middellavvande [m]	Højeste højvande [m]		Laveste lavvande [m]			
		N	NV	S	SØ	Ø-SØ	Ø
Hundested	0,6		+1,4			-0,8	
Gilleleje	0,5		+2,0		-1,5		
Hornbæk	0,2		+1,2				-1,0
Helsingør	0,2	+1,5		-1,2			

## 6.3 Korrelation mellem bølger og vandstand

Bølge- og vandstandsforholdene er direkte styret af vindforholdene i den sydlige del af Kattegat. Figur 6-2 viser forholdet mellem simulerede bølger og vandstand for forskellige vindretninger.

I forbindelse med kraftige vinde fra retninger mellem vest og nord ses en positiv korrelation med store bølger og forhøjet vandstand ved Nordkysten. Nordkysten er således udsat for et betydeligt pres fra akut erosion.

Omvendt vil kraftig vind fra sydøst medføre lavvande langs Nordkysten.

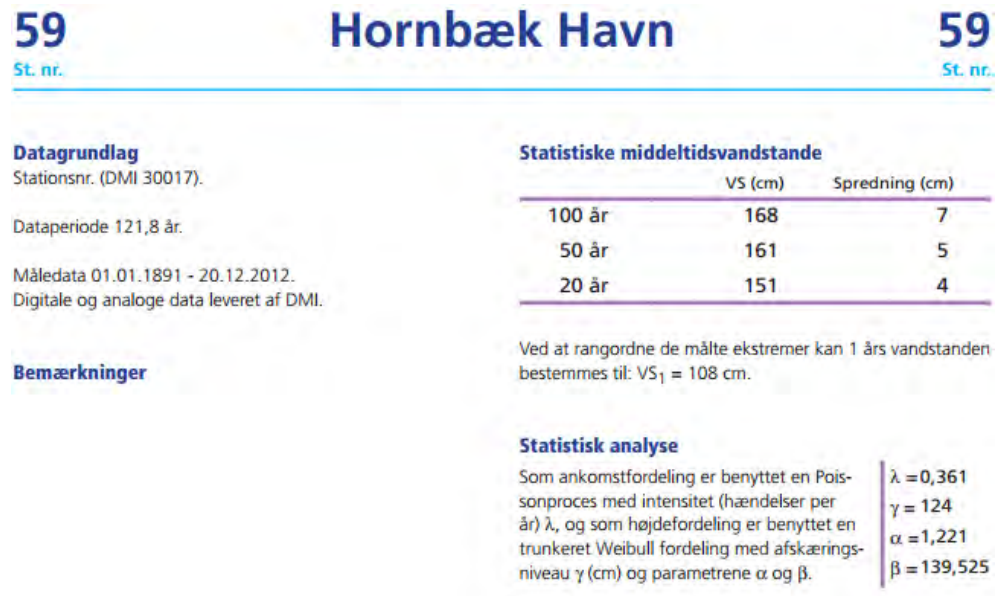


Figur 6-2 Scatterdiagrammer som viser sammenhængen mellem bølgehøjde og vandstand ud for Gilleleje for forskellige bølgeretninger

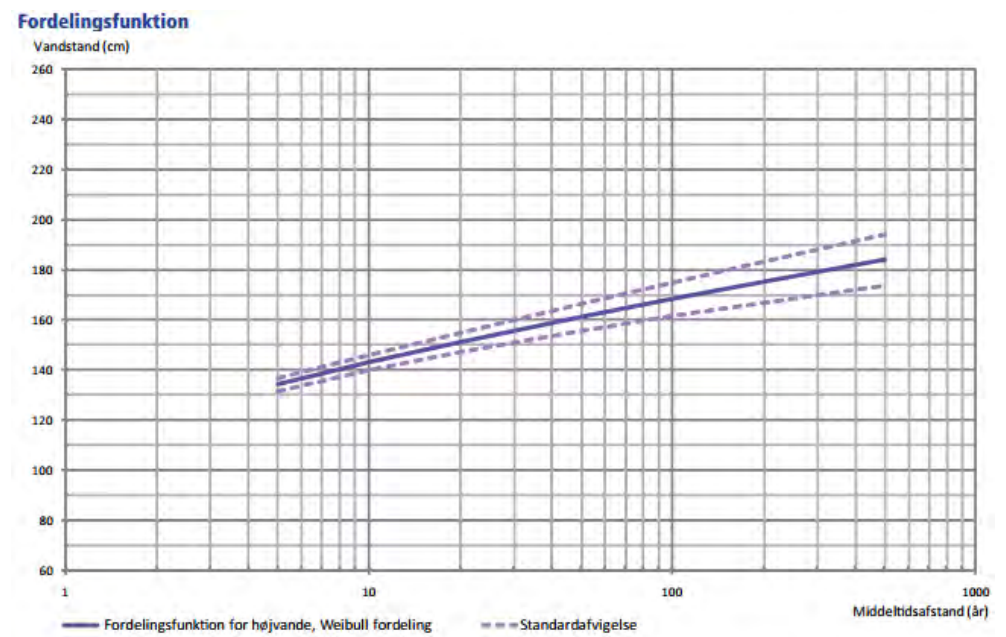


### 6.3.1 Ekstrem vandstand på dybt vand

Ekstrem højvande på dybt vand langs Nordkysten er bestemt af KDI baseret på 121 års vandstandsmålinger (1891-2012) fra målestation i Hornbæk Havn, se Figur 6-3 og Figur 6-4.

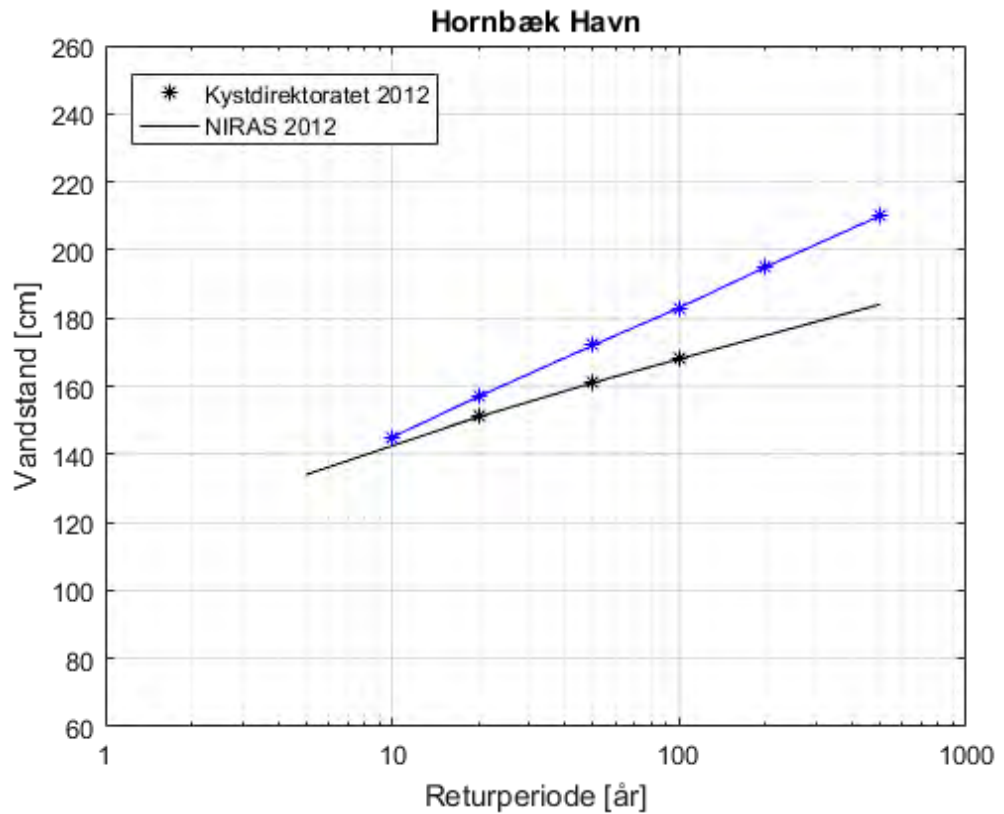


Figur 6-3 Højvandsstatistik for Hornbæk Havn (Kystdirektoratet, 2013).



Figur 6-4 Graf af højvandsstatistik for Hornbæk Havn (Kystdirektoratet, 2013).

NIRAS har siden opdateret denne statistik ved at forlænge den anvendte dataperiode, se Figur 6-5. Set i lyset af de senere års stormhændelser anvendes denne statistik som dimensioneringsgrundlag.



Figur 6-5 Højvandsstatistik for Hornbæk Havn, (NIRAS, 2016).

Tabel 6-2 Højvandsstatistik for Hornbæk havn for udvalgte returperioder, (NIRAS, 2016).

Returperiode [år]	10	20	50	100	200	500
Ekstremværdi [m]	+1,45	+1,57	+1,72	+1,83	+1,95	+2,10
Spredning [m]	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11

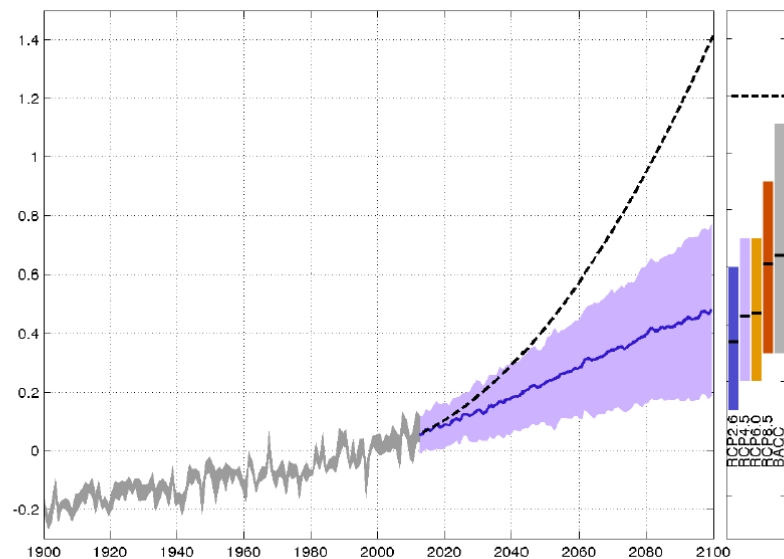
Ekstremvandstanden på dybt vand ved Hornbæk for storme med en returperiode på 50-år er beregnet til +1,72 m DVR90, se Tabel 6-2.

Til sammenligning gav stormen Bodil 06 december 2013 en maksimal vandstand på cirka +1,9 m DVR90 i Hornbæk Havn, hvilket er den højeste vandstand, der er målt i Hornbæk Havn.

### 6.3.2 Eustatisk Havspejlsstigning

Ved fastlæggelse af designvandstanden, skal der tages højde for den forventede vandstandsstigning som følge af global opvarmning inden for konstruktionens levetid.

Figur 6-6 og Tabel 6-3 viser den seneste fremskrivning af den globale havspejlsstigning baseret på IPCCs rapport fra 2013, (Danmarks Klimacenter, 2014). De forskellige scenarier refererer til forskellige forudsætninger vedrørende fremtidig udledning af CO<sub>2</sub> og temperaturstigning.



Figur 9: Den absolutte middelvandstand ved Danmark i meter for årene 1900-2100. Den grå skygge for år 1900-2012 viser den observerede årlige middelvandstand ved danske vandstandsmålere, korrigeret for landhævning. Den blå streg for år 2012-2100 viser IPCC's bedste estimat af middelvandstanden i Nordsøen for RCP4.5 scenariet, og skyggen angiver usikkerheden for dette scenarie. Den stiplede linje angiver DMI's estimat af en øvre grænse for vandstandsstigninger til brug for usikkerhedsberegninger. I højre side af figuren vises middelværdi og usikkerheder for de fire IPCC scenarier samt for BACC's vurdering af A1B scenariet for perioden 2081-2100. Den stiplede linje viser DMI's øvre bud for denne periode.

Figur 6-6 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark, (Danmarks Klimacenter, 2014)

Tabel 6-3 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark, (Danmarks Klimacenter, 2014)

Ændringer i middelvandstand [meter]	Globalt middel	Danmark	Kilde
RCP2.6	0,40 (0,26 – 0,54)	0,34 (0,1 – 0,6)	IPCC AR5
RCP4.5	0,47 (0,32 – 0,62)	0,43 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP6.0	0,47 (0,33 – 0,62)	0,44 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP8.5	0,62 (0,45 – 0,81)	0,61 (0,3 – 0,9)	IPCC AR5
A1B	0,52 (0,36 – 0,69)	-	IPCC AR5
A1B – BACC	-	0,64 (0,3 – 1,1)	BACC2 (2014, in press)
DMI's øvre bud	-	1,2	DMI

Tabel 6: Absolut middelvandstandsstigning globalt og for Danmark, 1986-2005 til 2081-2100 [m]. DMI's øvre bud er til brug for usikkerhedsestimater. Kilde: AR5, BACC og DMI.

Tabel 6-3 viser, at middelvandstanden i Danmark i perioden 2081-2100 forventes at stige 43 cm, eller med usikkerhed, 70 cm i forhold til perioden 1986-2005 ud fra middelscenariet, RCP4.5.

Om 25 år forventes havspejlsniveauet at stige med +23 cm og om 50 år med +34 cm for et middelscenarie (RCP4.5) i forhold til middelvandstanden i 1990 (DVR90). Til sammenligningen er vandstanden i dag (2016) steget med +12 cm i forhold til DVR90.

DMI vurderer, at den øvre grænse for havspejlsstigningen er +1,2 m frem mod år 2100. Dette er dog noget over forudsigelserne for IPCCs estimat, jævnfør Tabel 6-3.

Figur 6-6 og Tabel 6-3 viser, at der er stor usikkerhed på estimaterne og dermed størrelsen af den globale havspejlsstigning i fremtiden.

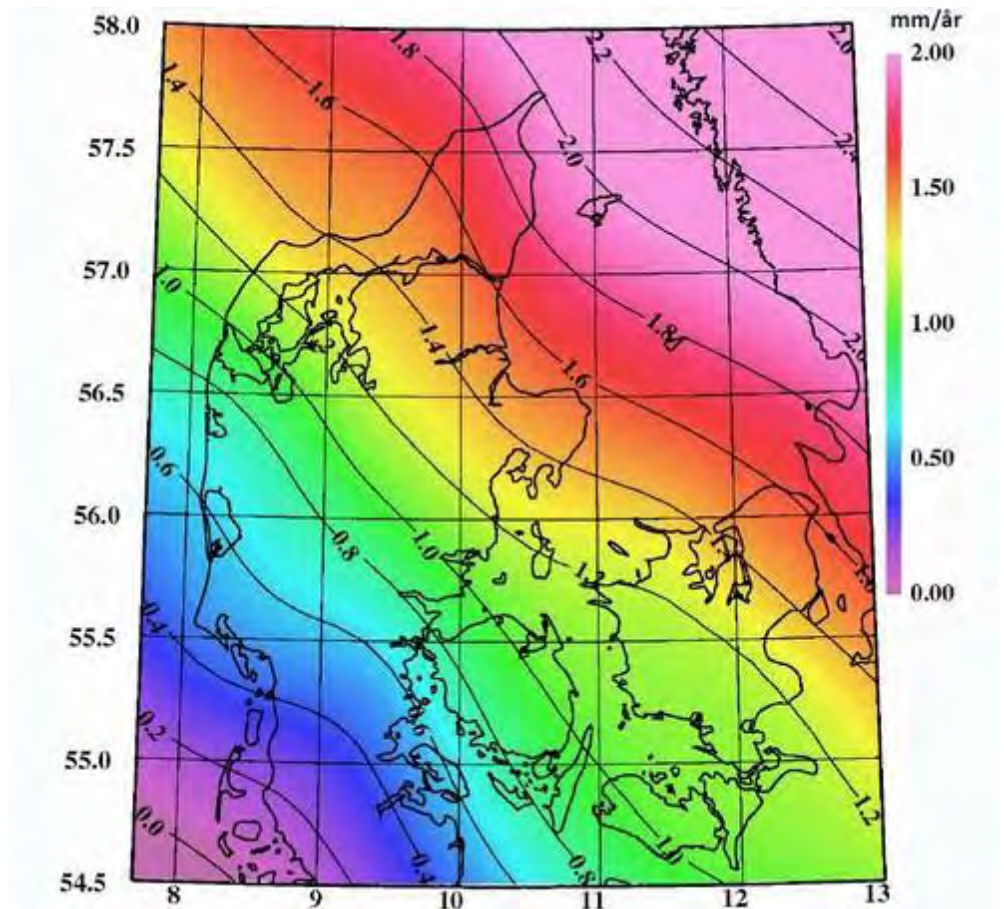
Havspejlet forventes at stige yderligere efter år 2100.

### 6.3.3 Isostatisk landhævning

Ud over den eustatiske havspejlsstigning har isostatisk landbevægelser også betydning for fremtidens vandstand ved Nordkysten af Sjælland.

Figur 6-7 viser et kort med den seneste opgørelse af de relative landændringer i Danmark. Generelt sker der en relativ landhævning i Danmark, som ud fra figuren vurderes at være i størrelsesordenen 1,5 mm/år på Nordkysten af Sjælland.

Dette betyder, at den relative landhævning om 25 og 50 år på Nordkysten er henholdsvis ca. +8 cm og +11 cm i forhold til DVR90. Til sammenligning har der siden 1990 været en landhævning på cirka +4 cm indtil 2016.



Figur 6-7 Isostatisk landhævning i Danmark. Nøjagtighed 0,2 mm/år, (Knudsen et al., 2016).

#### 6.3.4 Designvandstand på dybt vand

På baggrund af de statistiske ekstremvandstande, den generelle vandstandsstigning og landhævning beregnes designvandstanden på dybt vand for en 50 års stormhændelse, som indtræffer i dag og om 25 år og om 50 år, se Tabel 6-4.

De angivne designvandstande gælder for dybt vand ud for kysten og indeholder ikke lokalt vind-setup og bølge-setup langs kysten.

Tabel 6-4 Dimensionsgivende vandstand på dybt vand ved Nordkysten af Sjælland  
50 års stormhændelse, som indtræffer i dag  
50 års stormhændelse, som indtræffer om 25 år  
50 års stormhændelse, som indtræffer om 50 år

Dimensionsgivende vandstand på dybt vand	50 års vandstand i dag (2016)	50 års vandstand om 25 år (2041)	50 års vandstand om 50 år (2066)
Ekstremvandstand, (Kystdirektoratet, 2013), m DVR90	+1,72	+1,72	+1,72
Global havspejlsstigning, (Danmarks Klimacenter, 2014), m	+0,12	+0,23	+0,34
Landhævning, (Knudsen <i>et al.</i> , 2016), m	-0,04	-0,08	-0,11
Dimensionsgivende vandstand på dybt vand, m DVR90	+1,80	+1,87	+1,95

## 6.4 Dimensionsgivende vandstand på lavt vand

Bølge-setup, helt inde ved strandlinjen, som følge af bølgebrydning, er normalt i størrelsesordenen 10-15 % af den signifikante bølgehøjde på dybt vand, hvilket skal medregnes i forbindelse med bestemmelse af designvandstanden.

Derudover er der et mindre bidrag fra vindstuvning på lavt vand inde under kysten.

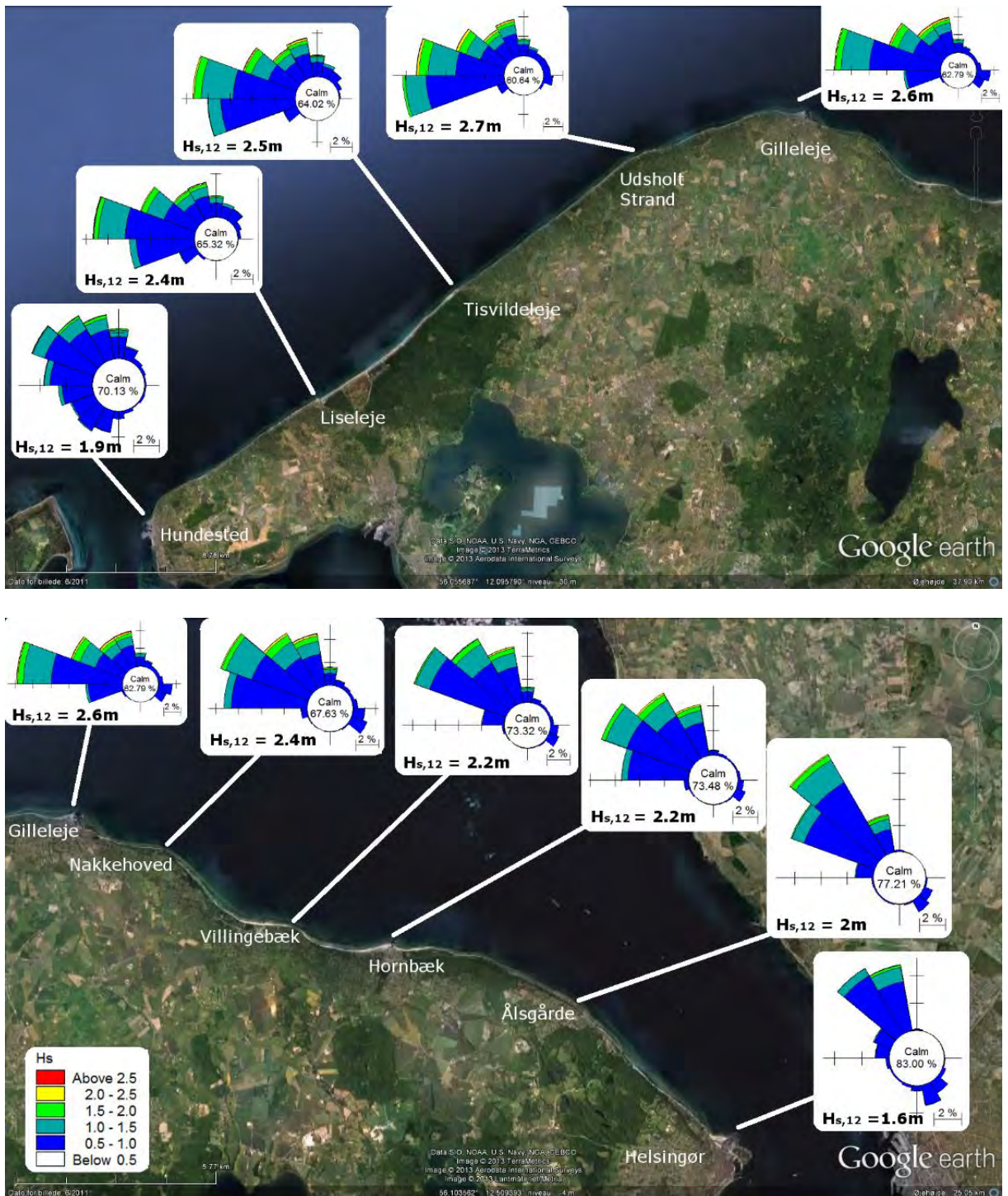
## 6.5 Normalbølgeklime

Bølgeforholdene i Kattegat er modelleret med MIKE 21 SW (Spectral Wave). Figur 6-8 viser 10 bølgeroser udtrukket på dybt vand langs Nordkysten (DHI & Hasløv & Kjærsgaard, 2013).

Bølgerne kommer oftest fra vestlige og nordvestlige retninger.

Nordkysten kan generelt klassificeres som moderat eksponeret. Kysten mellem Udsholt og Gilleleje har et relativt lang frit stræk mod Vest og Nord og er derfor eksponeret for de største bølger.

Øst for Gilleleje drejer kysten mod en nordøstlig orientering og er derfor mere beskyttet i forhold til bølger fra vestlige retninger.



Figur 6-8 Bølgeroser og  $H_{s,12}$  langs kysten mellem Hundested og Gilleleje (øverst) og mellem Gilleleje og Helsingør (nederst) (DHI & Hasløv & Kjærsgaard, 2013)

Den aktive dybde indikerer, hvor langt ud i kystprofilen den kystparallelle sediment transport foregår. I forbindelse med kraftige storme kan sandet dog i nogle tilfælde transporteres ud på dybere vand.

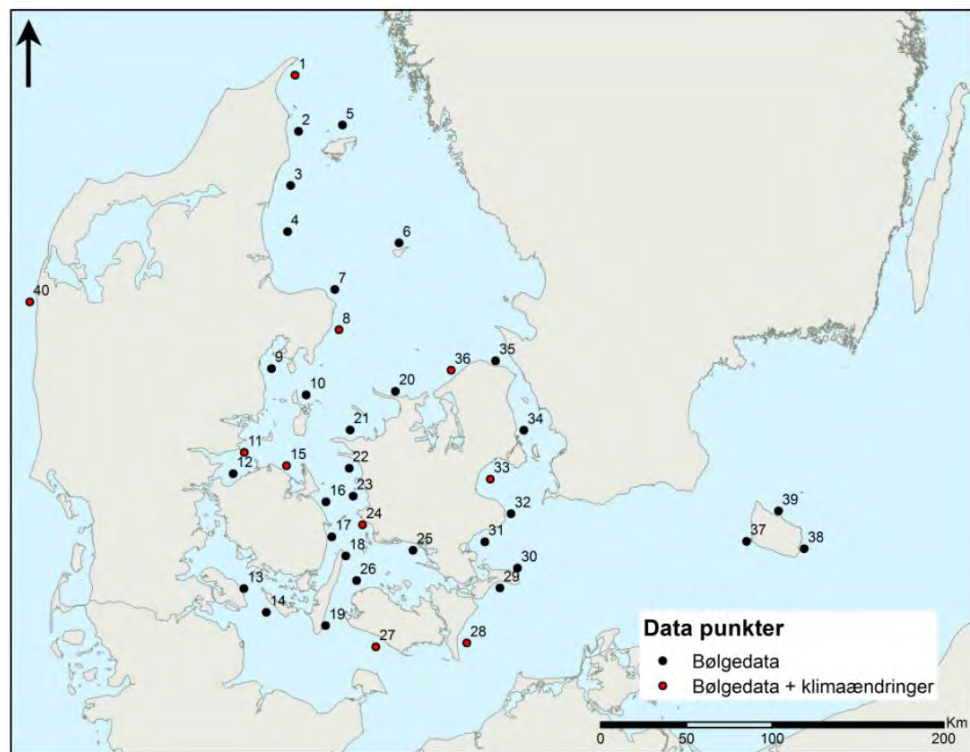
På basis af Figur 6-8 er de aktive dybder for strækningen omkring Helene Kilde ved Tisvildeleje og Rågeleje samt Ålsgårde beregnet, se Tabel 6-5.

Tabel 6-5 Beregnede aktiv dybde for udvalgte lokaliteter, (DHI, 2013)

	Helene Kilde/Rågeleje	Ålsgårde
Signifikant Bølgehøjde: $H_{s12}$ , m	2,6	2,2
Bølgeperiode: $T_p$ , s	6,9	6,6
Aktive dybde: $h_c$ , m	4,95	3,93

## 6.6 Designbølger på dybt vand

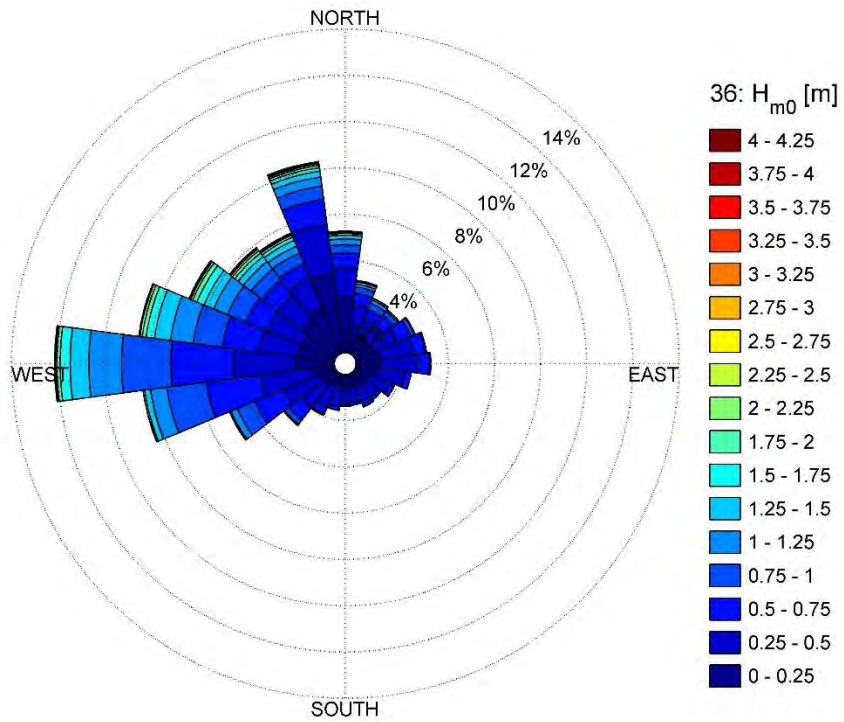
Bølgeforholdene er studeret mere indgående på 40 lokaliteter i de indre farvande, se Figur 6-9 (DHI, 2012).



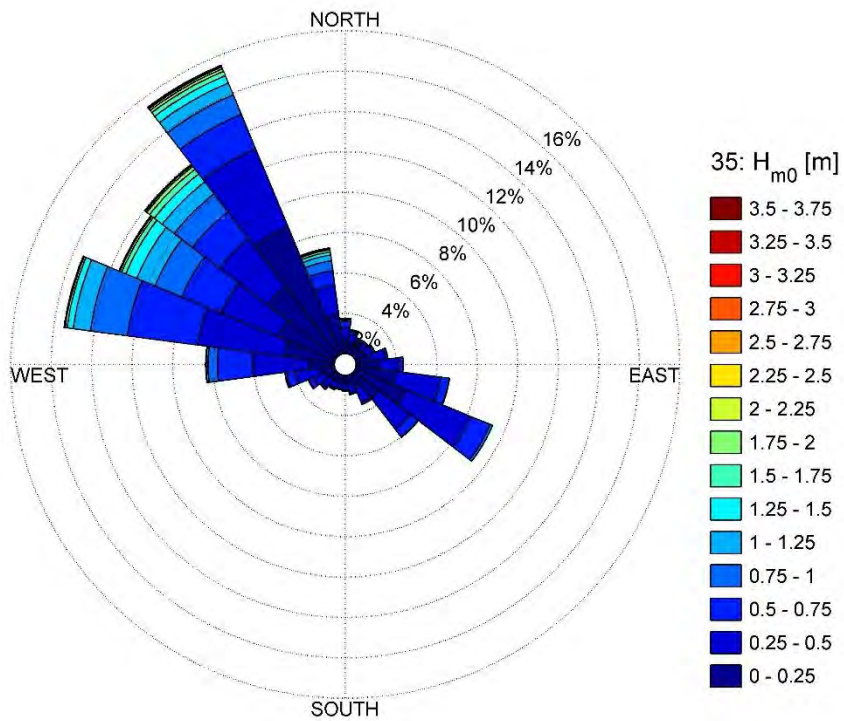
Figur 6-9 Oversigt over modellerede bølgeklimaer

Figur 6-10 og Figur 6-11 viser bølgeroserne ved Tisvildeleje (Punkt 36) og Villin-gebæk (Punkt 35) på hhv. 11,6 m og 22,6 m dybde.



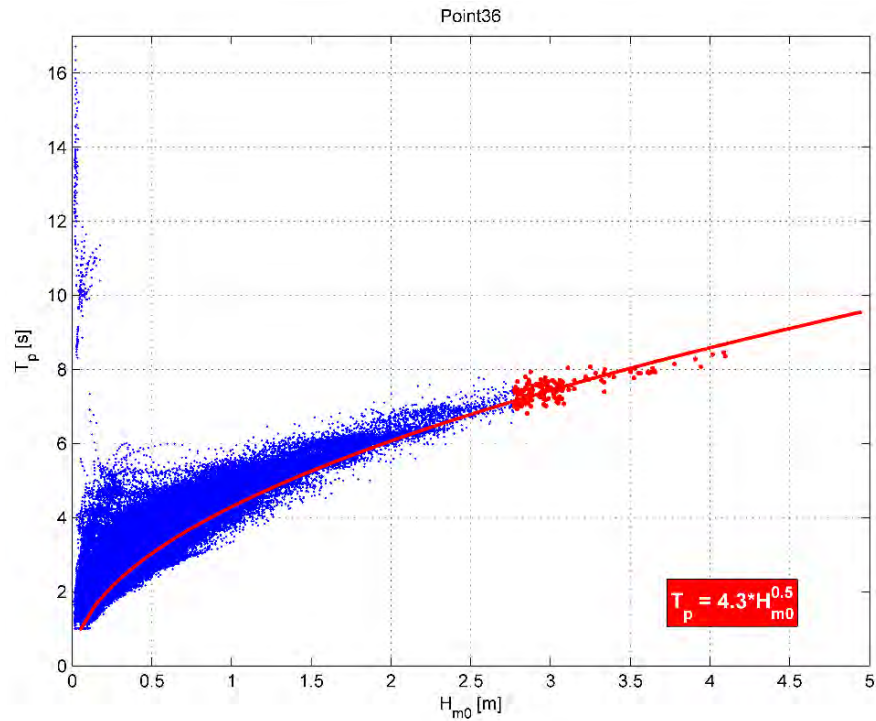


Figur 6-10 Bølgerose ud for Tisvildeleje (Punkt 36) på 11,6 m dybde

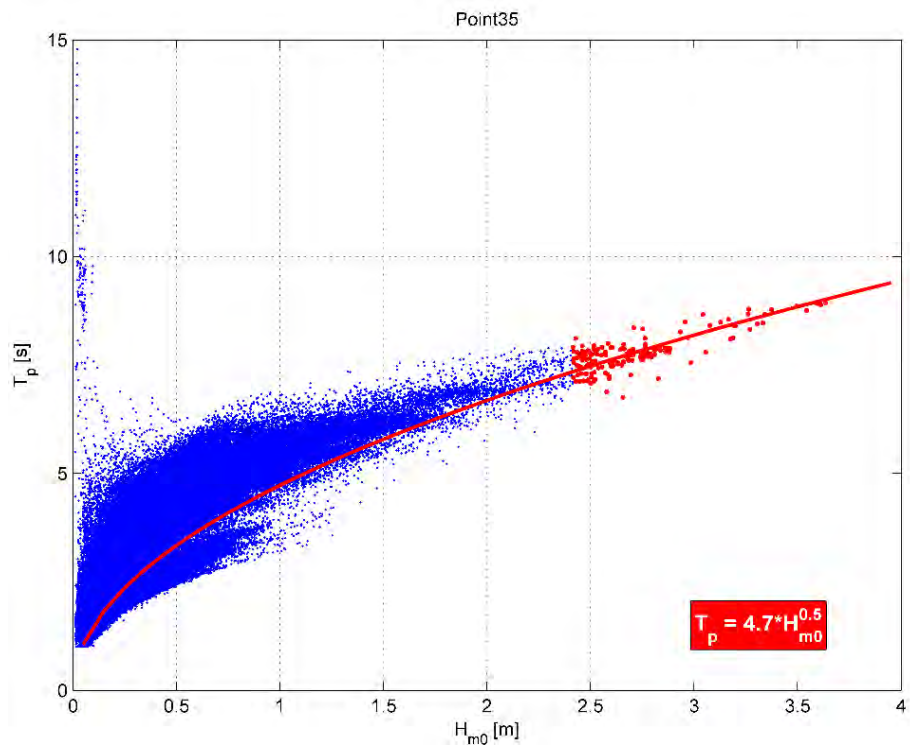


Figur 6-11 Bølgerose ud for Villingebæk (Punkt 35) på 22,6 m dybde.

Relationer mellem bølgehøjde og bølgeperiode baseret på modellerede bølgedata ud for Tisvildeleje (Punkt 36) og Villingebæk (Punkt 35) er vist i Figur 6-12 og Figur 6-13, (DHI, 2012).



Figur 6-12 Scatterplot med relation mellem bølgehøjde og bølgeperiode ved Tisvildeleje (Punkt 36)



Figur 6-13 Scatterplot med relation mellem bølgehøjde og bølgeperiode ved Villingebæk (Punkt 35).

Den resulterende designbølgehøjde for alle retninger på dybt vand ved Tisvildeleje er vist i Tabel 6-6, (DHI, 2012).

Tabel 6-6 *Dimensionsgivende bølger på dybt vand for en storm med en returperiode på 50 år ved Tisvildeleje (Punkt 36).*

Returperiode år	50	50	50
Årstal	2016	2041	2066
Bølgehøjde på dybt vand, Hs, m	4,2	4,2	4,2
Bølgeperiode, Tp, s	8,8	8,8	8,8
Vandstand på dybt vand uden bølge-setup, m DVR90	+1,80	+1,87	+1,95
Bølge-setup, m	0,42	0,42	0,42
Vandstand på lavt vand med bølge-setup til beregning af bølgeoverskyl, m DVR90	+2,22	+2,29	+2,37

Tabel 6-7 *Dimensionsgivende bølger på dybt vand for en storm med en returperiode på 50 år ved Villingebæk (Punkt 35).*

Returperiode år	50	50	50
Årstal	2016	2041	2066
Bølgehøjde på dybt vand, Hs, m	3,7	3,7	3,7
Bølgeperiode, Tp, s	9,1	9,1	9,1
Vandstand på dybt vand uden bølge-setup, m DVR90	+1,80	+1,87	+1,95
Bølge-setup, m	0,37	0,37	0,37
Vandstand på lavt vand med bølge-setup til beregning af bølgeoverskyl, m DVR90	+2,17	+2,24	+2,32

## 6.7 Dimensionsgivende bølger på lavt vand

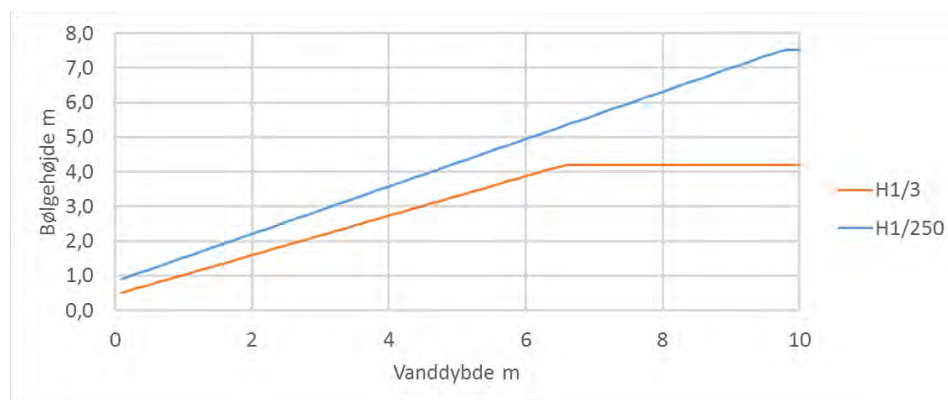
Bølgerne begrænses af vanddybden på lavt vand og bryder derfor ind mod kysten.

Godas formel er benyttet til at transformere bølgerne fra dybt vand ind på lavt vand for at kunne estimere bølgehøjden foran kystbeskyttelsen.

Figur 7-18 viser kystprofilen ved Helenekilde opmålt af KDI i 2011. Dette profil benyttes som udgangspunkt.

Den gennemsnitlige hældning af kystprofillet ved Helenekilde er bestemt til 1:45 mellem vandlinjen og den aktive dybde (-5,0 m), hvilket benyttes i beregningen af bølgerne i brydningszonen foran kystbeskyttelsen i henhold til Godas formel.

Figur 6-14 viser designbølgeforholdene på lavt vand ved Helenekilde for en storm med en returperiode på 50 år afhængigt af vanddybden.



Figur 6-14 Design bølgeforhold på lavt vand ved Helenekilde for en storm med en returperiode på 50 år

## 7 Kystteknisk vurdering

### 7.1 Kystteknisk beskrivelse baseret på kort

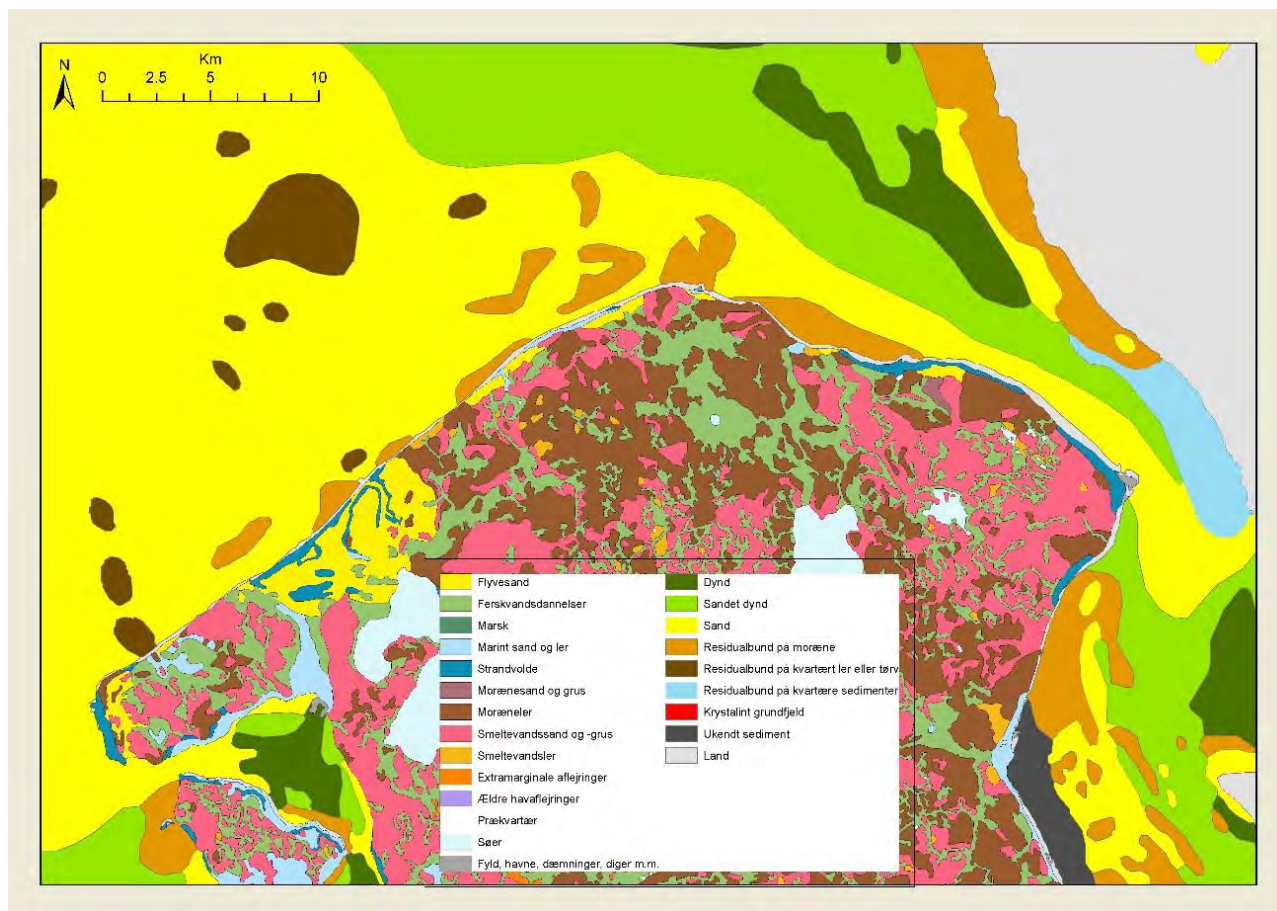
#### 7.1.1 Geomorfologiske forhold

Nordkysten omfatter forskellige geologiske landskabstyper, men er præget af morænepartier aflejret af gletschere under sidste istid og marine aflejringer fra stenalderen, som er aflejret under forhold, hvor havniveauet var højere end det er i dag, se Figur 7-1.

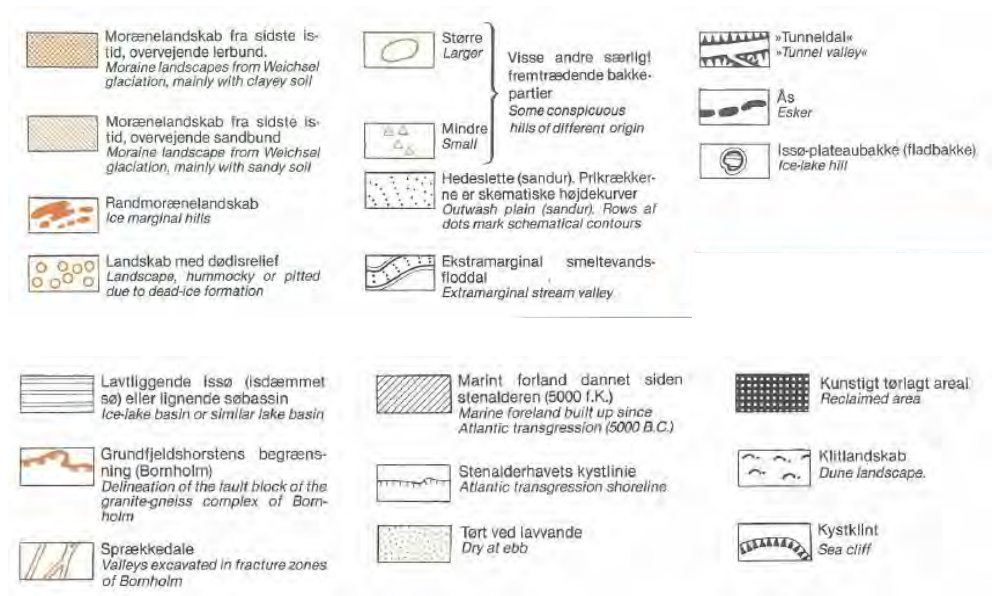
De kraftige påvirkninger på den nordvestvendte kyststrækning har bevirket, at denne strækning er blevet stærkt udjævnet med tiden og den fremstår i dag som sektioner af næsten retlinede kyststrækninger, en såkaldt udligningskyst, **jævnfør Per Smed's Landskabskort præsenteret i Figur 7-2.**

De hårde morænepartier fra istiden fremstår som svagt fremskudte partier med høje og stejle erosionsskrænter, eksempelvis Vejby Strand eller som mere markante fremskudte partier, eksempelvis Gilbjerg Hoved. Den nordøstvendte strækning mellem Gilleleje og Helsingør er ikke helt så eksponeret og fremstår derfor mindre udjævnet. Ud for moræneklinterne består den kystnære del af profilet oftest af stenede strande og nedbrydningsflak med residual-bund, se Figur 7-1, som er opstået efterhånden som de finere partikler er blevet udvasket (ler og silt) eller transporteret langs kysten (sand).

På disse strækninger er kysten således en klintekyst med stenet strand og relativt hårdt bagland. De oprindelige bugter mellem morænepartierne er blevet udfyldt med nedbrydningsprodukter fra de tilstødende strækninger i form af sand, grus og ral, såkaldt marint forland, som senere er blevet dækket af flyvesand, hvorved der er dannet klitter, se Figur 7-2. Denne geologiske udviklingshistorie indikerer, at Nordkysten har været udsat for erosion gennem årtusinder.



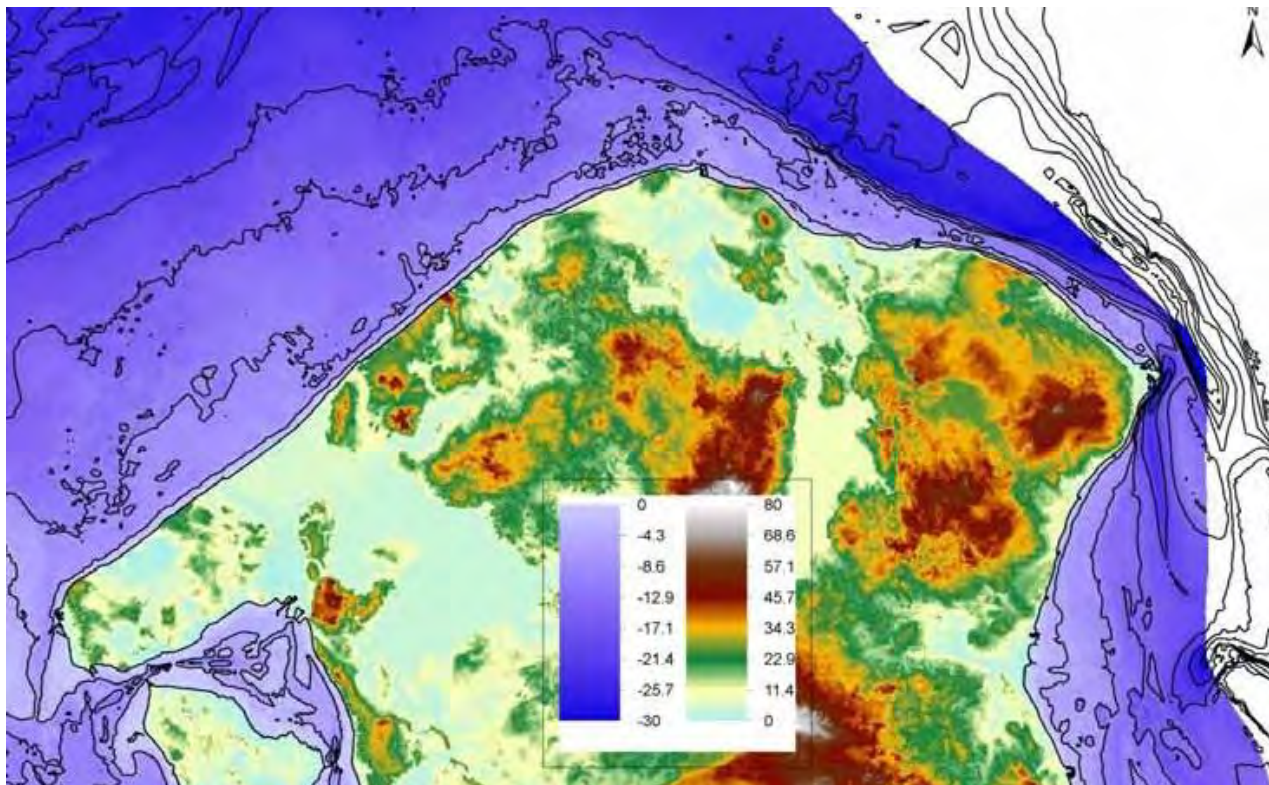
Figur 7-1 Udsnit af Jordartskort for Danmark (GEUS) dækkende Nordsjælland kombineret med udsnit af Havbundssedimenter omkring Danmark (GEUS) dækkende det sydlige Kattegat. Venstre signaturforklaring dækker land og højre dækker vand



Figur 7-2 Landskabskort over Nordsjælland, Per Smed

Den geologiske udviklingshistorie kommer også til udtryk gennem højde og dybdeforhold, som det fremgår af Figur 7-3. Det ses, at der er høje morænepartier tæt på kysten ved Spodsbjerg, Hyllingebjerg, Tisvildeleje til Vejby, Udsholt Stand, Gilbjerg Hoved, Nakkehoved og Hornbæk Plantage til Hellebæk.

Der er et markant lavvandet nedbrydningsflak ud for den vestlige del af den nordvestvendte kyststrækning samt på strækningen mellem Gilleleje og Hornbæk.



Figur 7-3 Dybdeforhold i havet og højdeforhold på land.

Strandene langs Sjællands nordkyst består således af forskellige fraktioner af nedbrydningsprodukter fra den stadig pågående kysterosion. På visse kyststrækninger består stranden således overvejende af sand, men på andre strækninger dominerer de grovere fraktioner, så som grus, ral og sten. Der er større partier af havbunden ud for morænepartierne, hvor bunden kan karakteriseres som residual-bund, jævnfør Figur 7-1, dvs. nederoderet moræne med spredte forekomster af ral og sten og pletter med grus og sand.

De mest prominente klinter findes mellem Hald Strand og Hyllingebjerg, mellem Tisvildeleje og Heatherhill samt ved Gilbjerg Hoved og Nakkehoved.

De marine aflejringer ligger som svagt markerede bugter mellem de hårde morænepartier nogle steder overlejret med klitter, som eksempelvis strækningen mellem Liseleje og Tisvildeleje; hvorigennem havet var forbundet med Arresø i den tidlige del af stenalderen.

De bedste naturlige sandstrande findes mellem Liseleje og Tisvildeleje og ved Dronningmølle, hertil kommer strandene mellem Hyllingebjerg og Liseleje, som fastholdes af en serie bølgebrydere og Julebæk Strand, som støttes af en serie høfder, og sluttelig strandene, som støtter sig op ad havnene, dvs. Hornbæk Strand, Gilleleje Vest Strand og Gummistranden ved Helsingør. Hertil er der en del helt lokale strandsektioner mellem diverse mindre høfder og bølgebrydere.

Der er også geologiske marine aflejringer langs kysten ved Liseleje, Rågeleje, Udsholt og Tinkerup, hvor der findes marint forland med rullestensstrandvold foran de gamle moræneklinter.



Der er typisk en eller i nogle tilfælde to sandrevler i kystprofilen langs Nordkysten; men mange steder består kystprofilen af residualbund med varierende overlejring af sandrevler.

Erosion af kystprofilen, herunder erosion af kystklinterne, af klitterne, af standene og af strandplanet, udgør den eneste naturlige kilde til sand langs Sjællands Nordkyst. Dvs. at alle sandstrandene består af nedbrydningsprodukter fra den pågående kysterosion. Når kysten beskyttes imod erosion ved anlægning af hårde kystbeskyttelses anlæg, så som høfder, bølgebrydere og skråningsbeskyttelse, så reduceres mængden af nedbrydningsprodukter (sand) hvilket medfører, at strandene efterhånden forsvinder og der bliver dybere ud for kystbeskyttelses anlæggene.

### 7.1.2 Eksisterende anlæg og kystbeskyttelse

Der er gennem tiderne opført et stort antal kystbeskyttelseskonstruktioner i form af bølgebrydere, høfder og skråningsbeskyttelser langs de bebyggede dele af Nordkysten, samt to korte diger til beskyttelse af det lavtliggende område NØ for Kikhavn, jævnfør Figur 7-4 og Figur 7-5.

Årsagen er, at kysten ofte er udsat for betydelig bølgepåvirkning både under normale forhold og i forbindelse med storme.

Der er stor kronisk erosion som følge af en betydelig gradient i langstransporten mod nordøst og øst og dels af stor akut erosion med bølger og højvande under storm fra retninger mellem vest og nord.

Denne erosion har altid pågået langs Nordkysten og de omfattende kystbeskyttelsesarbejder er følgelig gennemført for at beskytte de stærkt udbyggede sommerhusområder og for at beskytte eksisterende infrastruktur langs projekts-trækningen, se Figur 7-6.

Et eksempel på udbygning af sommerhusområderne er illustreret i Figur 7-7.

Ud over sommerhusområderne er der flere steder sammenhængende helårsbebyggelse i f.eks. i Gilleleje by og langs den østligste del af strækningen i Helsingør Kommune.

Havnene har stor betydning for sedimenttransporten langs kysten. Projektstrækningen er overordnet set afgrænset af de to havne, Hundested Havn i vest og Helsingør Nordhavn i øst. Derudover er der også større havne i Gilleleje og i Hornbæk. Havnene i Gilleleje og i Hornbæk er opført for mere end 100 år siden og har stor udstrækning i forhold til bredden af transportzonen.

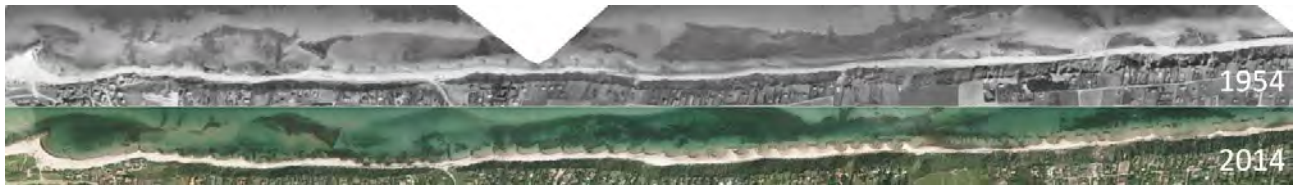
Derudover blev der i begyndelsen af 1900-tallet på den nordvestvendte projektstrækning bygget tre store bølgebrydere, ved hhv. Liseleje, Tisvildeleje, Rågeleje og i 1950-erne er Munkerup-bølgebryderen anlagt. Bølgebryderne er anlagt for at skabe læ for fiskerne. Bag Tisvilde-bølgebryderen blev der sågar i **1940'erne anlagt en anløbsbro på indersiden.**



Figur 7-4 Kort over eksisterende kystbeskyttelse på Nordkysten. Brun, grøn og røde markeringer angiver henholdsvis hølfer, bølgebrydere og skråningsbeskyttelse. Kilde: KDI



Figur 7-5 Højvandsbeskyttelse i form af ler-dige beskyttet mod erosion med skråningsbeskyttelse, Kikhavn



Figur 7-6 Tisvilde kystlinje i 1954 og 2014 – kystbeskyttelsen er forlænget fra Tjørnebrovej i 1954 til Markvænget 3,5 km nedstrøms i 2014. Luftfotos fra COWI DDO-land



Figur 7-7 Udbygning af sommerhusområdet Hyllingebjerg til Liseleje, 1954 til 2014. Luftfotos fra COWI DDO-land

Bølgebryderne har fanget en del sand og ral på opstrøms side og blev landfaste gennem dannelse af tomboloer bagved. Efterfølgende har bølgebryderne medført omfattende luvsidetilsanding og tilsvarende læsideerosion, der forlænger erosionsproblematikken længere nede af kysten. Denne erosion er gennem tiderne imødegået lokalt ved anlæg af forskellige kystbeskyttelsesforanstaltninger (høfder, palisadevæg, skråningsbeskyttelse, bølgebrydere), se Figur 7-6.

Liseleje og Tisvildeleje bølgebryderne har i mange år været helt sandet til og medfører derfor kun en mindre blokering af langtransporten. Der er dog øst for begge bølgebrydere et stort indhak i kystlinjen. Dette skyldes dels den historiske læsideerosion og dels, at områderne øst for anlæggene fortsat er udsat for den naturlige erosion i modsætning til luvsideområderne (kaldet falsk læsideerosion), som er stabiliseret af bølgebryderne.

Rågeleje bølgebryderen er kollapsede og har i dag en topkote umiddelbart under daglig vande. Den kysttekniske påvirkning er derfor reduceret, men det lavvandede stenflak, som udgør resterne af bølgebryderen, har dog en markant betydning for kysten på begge sider af konstruktionen.

De private grundejere har i stor udstrækning anlagt skråningsbeskyttelser langs foden af deres skrånninger for at beskytte deres ejendom mod kronisk og akut erosion. Skråningsbeskyttelserne er effektive til at beskytte skråningerne, men

forhindre samtidig frigivelse af sedimenter til kysten. Skråningsbeskyttelserne medvirker således til at accelerere kysttilbagerykningen og eksporterer erosionspresset videre op langs kysten. Skråningsbeskyttelser beskytter ikke mod erosion i kystprofilen foran.

I forbindelse med stormen Bodil skete der omfattende skader på de eksisterende skråningsbeskyttelser, som følge af den forøgede vanddybde foran og den høje vandstand.

En betydelig del af de eksisterende skråningsbeskyttelser er efterfølgende blevet genopbygget og i en lang række tilfælde forstærket.

### 7.1.3 Kystlinjeforløb og ligevægtsorientering

Ligevægtsorienteringen af kystlinjen viser, hvilken orientering kysten skal have for at den årlige langstransport er nul på et givent sted. Ligevægtsorienteringen er også et udtryk for retningen af den resulterende bølgepåvirkning, eller den dominerende bølgeretning.

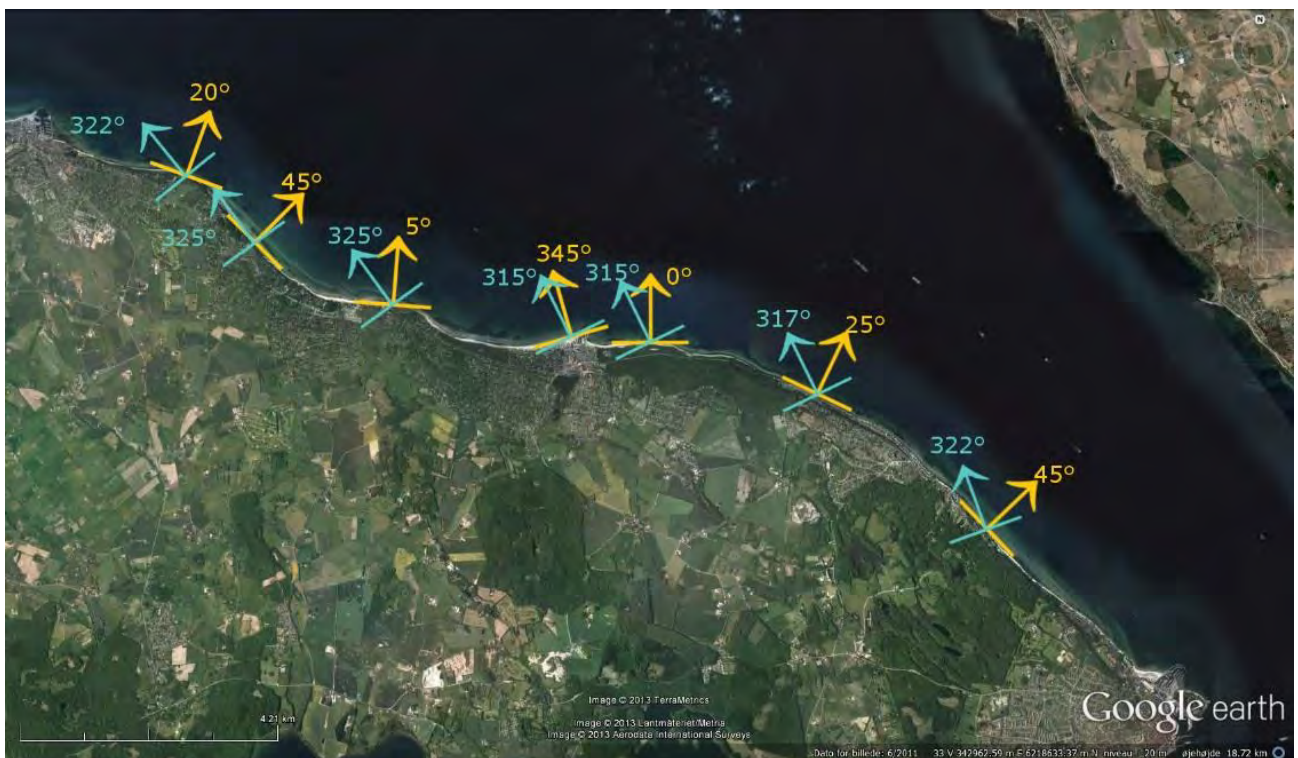
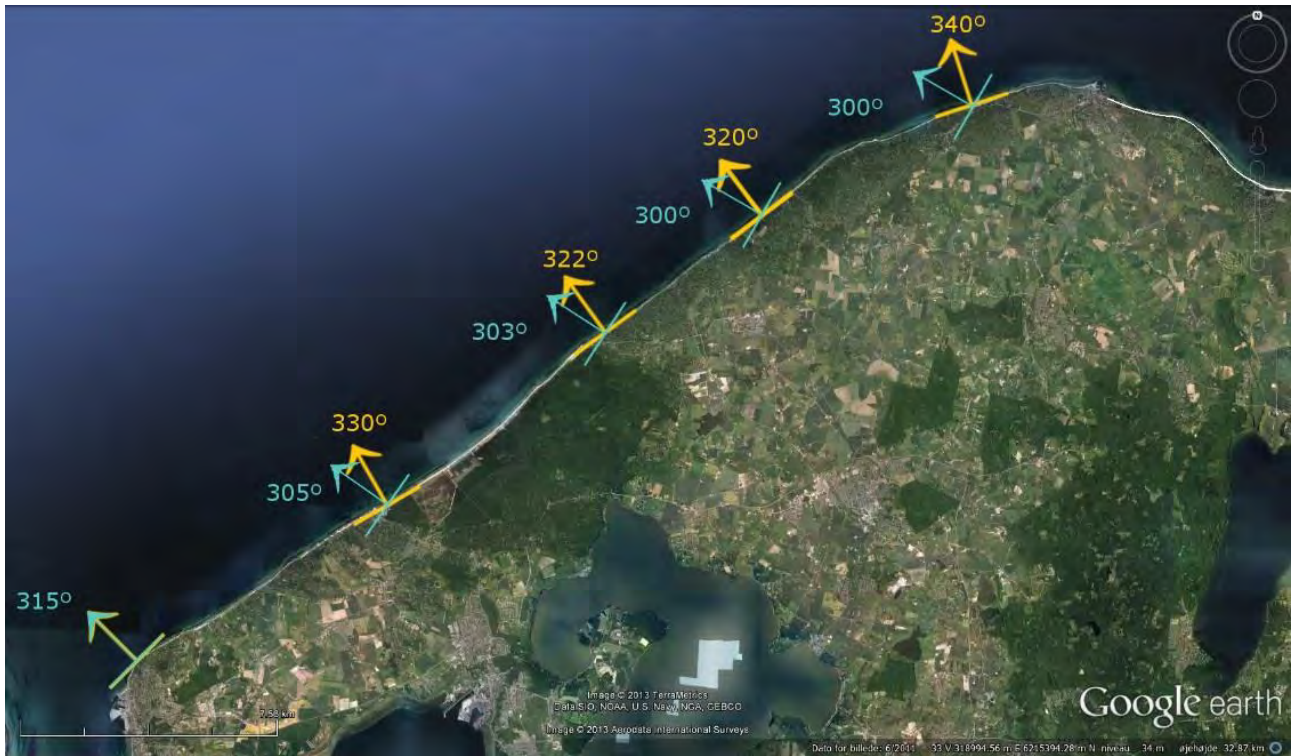
Forskellen mellem kystens nuværende orientering og ligevægtsorienteringen, kaldet hovedindfaldsvinklen, er et udtryk for hvor langt kysten befinder sig fra ligevægtsorienteringen. Denne parameter siger noget om, hvordan en tilsanding ved en havn eller ved en hofde/bølgebryder vil udvikle sig. En lille indfaldsvinkel vil medføre en lang tilsanding og en stor indfaldsvinkel vil medføre en kort tilsanding.

En kyst med en lille hovedindfaldsvinkel kan stabiliseres ved anlægning af en serie hofder eller bølgebrydere med forholdsvis stor afstand, fordi hver konstruktion kan stabilisere en lang strækning, som ved Liseleje.

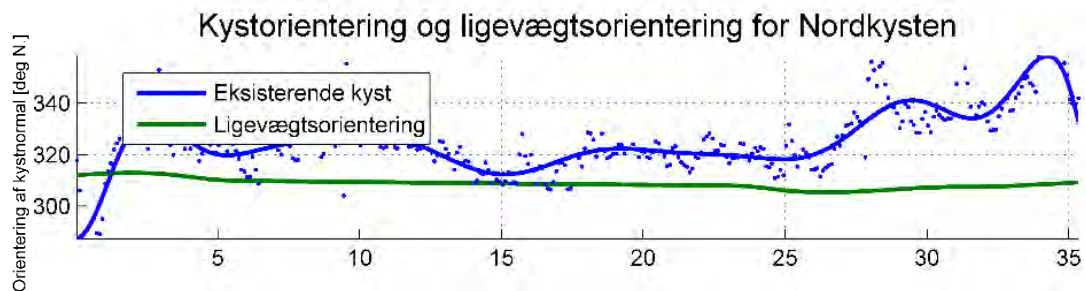
En kyst med en stor hovedindfaldsvinkel egner sig ikke til beskyttelse med hofder eller bølgebrydere, fordi hver konstruktion kun kan stabilisere en forholdsvis kort strækning. Denne form for sektionsvis beskyttelse af kysten påføre den nedstrøms kyst et øget erosionspres.

Nordkysten er i teknisk forstand en forholdsvis jævnt tilbagerykkende udligningskyst med svag guirlande form som skyldes, at de større morænepartier er forholdsvis modstandsdygtige overfor erosion, og derfor udgør mere eller mindre fremskudte partier, hvorved "guirlandekysten" opstår. Som udligningskyst vil kysten sektionsvis nærme sig et lineært forløb, hvor materiale bliver eroderet fra de fremskudte partier og aflejret i tilstødende "bugter". Orienteringen på kysten vil samtidig nærme sig den dominerende bølgeretning, men denne situation vil dog næppe indtræffe indenfor en overskuelig tidshorisont.

Bølgeforhold og ligevægtsorienteringerne for projektstrækningen er vist i Figur 7-8, (DHI & Hasløv & Kjærsgaard, 2013). En oversigt over kystens orientering og ligevægtsorienteringen langs den nordvestvendte kyststrækning er skitseret i Figur 7-9, (DHI, 2013). Som følge af beregningernes overslagsmæssige karakter, skal de beregnede bølgeindfaldsvinkler opfattes som størrelsesordener.



Figur 7-8 Nordkystens nuværende orientering (gule pile) samt kystens ligevægtsorientering (blå pile). Kystens ligevægtsorientering svarer til den dominerende bølgeretning



Figur 7-9 Orientering af den tilnærmede kystlinje vist sammen med ligevægtsorienteringen mellem Hundested til Gilleleje

Fra Spodsbjerg til Hundested drejer kysten ca. 30° (fra 315° til 285°). Fra Spodsbjerg til Udsholt er kystorienteringen svagt varierende, mellem 315° og 330°. Fra Udsholt Strand til Gilleleje drejer kysten med ca. 60° (fra 320° til 20°). Langs den østlige del af kyststrækningen, mellem Nakkehoved og Helsingør, varierer kystorienteringen fra 20° ved Nakkehoved over 345° vest for Hornbæk over 0° ved Hornbæk Plantage til ca. 45° ned imod Helsingør. Langs denne østlige del af projektstrækningen er kysten således langt fra at være udlignet.

Det fremgår at der er et nulpunkt ved Spodsbjerg. Vest herfor er ligevægtsorienteringen mere nordlig end kystorienteringen, hvilket betyder, at nettotransporten er imod sydvest på denne strækning. Øst for Spodsbjerg og op til Udsholt er forskellen mellem kystorienteringen og ligevægtsorienteringen i middel ca. 10° (varierer mellem ca. 2° og ca. 20°), men på denne strækning er kystorienteringen mere nordlig end ligevægtsorienteringen, hvilket bevirker at nettotransporten er imod NØ. Ved Udsholt vokser vinklen fra ca. 10° til ca. 50° og nettotransporten er derfor imod NØ og stigende.

Overordnet set har den nordvestvendte kyststrækning et konvekst forløb med toppunkt ved Gilbjerg Hoved vest for Gilleleje Havn. Især den vestlige del af projektstrækningen er allerede udlignet i et sent stadie med en overordnet meget lige kyst og med en lille vinkel mellem kystorienteringen og ligevægtsorienteringen.

Fra Udsholt Strand til Gilleleje drejer kysten med ca. 60 grader (fra 320-20 grader) og herefter til ca. 40-50 grader omend med et meget bugtet forløb. Indimellem er kystorientering også 0 grader. Langs den østlige del af projektstrækningen er kysten altså langt fra udlignet.

Bølgeindfaldsvinklen øges generelt fra vest mod øst mellem Stængehuse og Gilbjerg Hoved. Bølgeindfaldsvinkelen er størst ved Børstrup Hage og Munkerup, som er de to områder, hvor kystorientering er mest østvendt og mindst ved Stængehuse, Tisvilde og Rågeleje, som er de områder, hvor kystorientering er mest vestvendt.

#### 7.1.4 Langtransport

Størrelsen og retningen af netto langtransporten afhænger af størrelsen af hovedbølgeindfaldsvinklen og bølgehøjden. Retningen af nettotransporten bestemmes af forskellen mellem kystorienteringen og ligevægtsorienteringen.

Kystorienteringen bestemmes af kystens naturlige form og af størrelse og form af diverse kystkonstruktioner (høfder, bølgebrydere og havne). Lokale ændringer i kystorienteringen skaber gradienter i langtransporten. Derved skabes erosions og aflejringsområder.

Transportkapaciteten er den potentielle langtransport man kan beregne ud fra kystens orientering og bølgeklimate, hvis det antages, at kystprofilen udelukkende består af sand og at der desuden ses bort fra eventuel kystbeskyttelse og dække af sten på havbund og strand, som måtte reducere transporten.

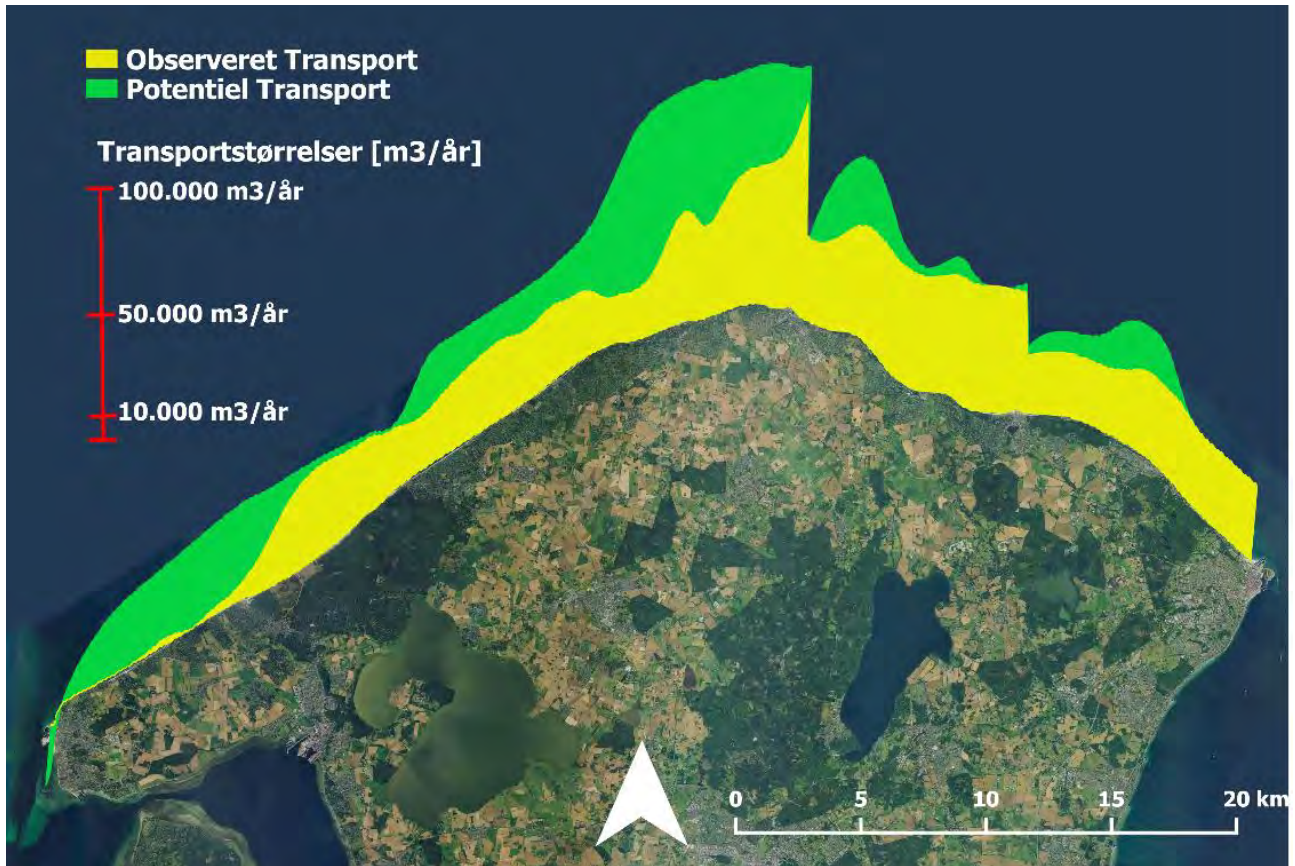
Den eneste kilde til sand som transporteres langs kysten er det sand som tilføres kysten, når denne eroderes. Kystbeskyttelsen på Nordsjællands kyst har reduceret skræntfoderosionen afhængigt af hvor virksom kystbeskyttelsen er. Der frigives derfor stadigt mindre sand til kystens sedimentbudget, hvilket giver ekstra underskud i sedimentbudgettet i forhold til den gradient, der allerede var i transportkapaciteten.

Imidlertid påvirker bølger og højvande stadig kystprofilen, hvilket bevirker, at erosionen fortsætter på den ubeskyttede del af kystprofilen, dvs. på stranden og strandplanet. Dette bevirker, at strandene efterhånden er forsvundet på de beskyttede strækninger, og der bliver til stadig dybere ud for de beskyttede strækninger. Disse processer har stået på i næsten 100 år og derfor er der et stort sandunderskud langs Nordkysten. Denne generelle sandmangel forstærker kysterrosionen på de strækninger, som ikke er beskyttet.

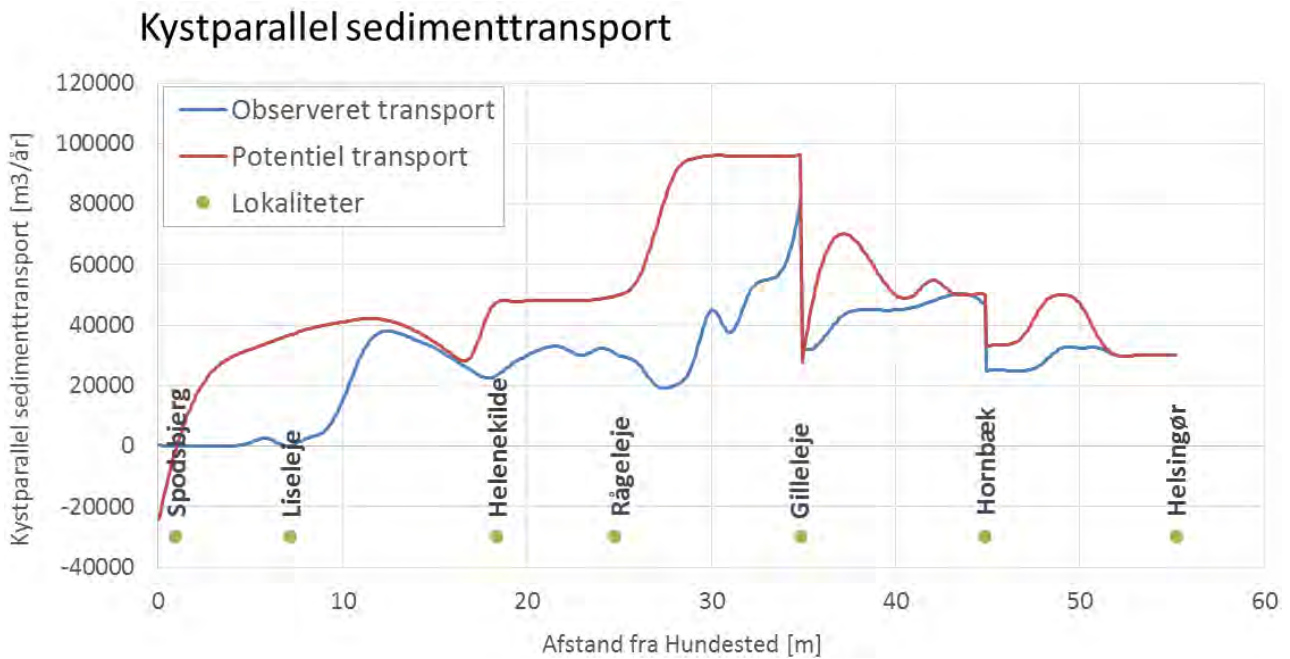
Den faktiske nettotransport langs kysten er mindre end transportkapaciteten på grund af tilstedeværelsen af hårde geologiske formationer langs kysten og grundet den opførte kystbeskyttelse. Den faktiske (historiske) nettotransport langs kysten er beregnet ud fra historiske kystlinjændringer, jævnfør (DHI, 2013). Ligesom beregningen af transportkapaciteten er denne beregning behæftet med stor usikkerhed og den tager blandt andet ikke hensyn til erosion af den ydre del af kystprofilen langs strækninger, der er beskyttet af hård kystbeskyttelse

De beregnede transportkapaciteter (potentiell transport) og de faktiske (observerede) transporter langs kysten er præsenteret i Figur 7-10 og Figur 7-11.

Langtransportkapaciteten vil altså oftest være væsentligt større end den faktiske transport, som finder sted langs kysten. I forbindelse med et sandfodringsprojekt, hvor en stor del af kystprofilen dækkes af sand, vil den faktiske transport dog stige og lægge sig tættere op af den fulde transportkapacitet. Det er især i den kystnære del af kystprofilen, at den faktiske transport vil øges.



Figur 7-10 Netto langtransport mellem Hundested og Helsingør.  
Observeret transport (gul) og potentiel transport (grøn).  
Positiv transport angiver transport i østlig retning



Figur 7-11 Netto langtransport mellem Hundested og Helsingør. Observeret (blå) og potentielle (rød) langtransport. Positiv transport angiver transport i østlig retning.



Den potentielle transport, eller transportkapaciteten, giver nyttig information om den naturlige sedimenttransport langs kysten og dermed, hvilke strækninger, der fra naturens hånd er udsat for erosion. Desuden giver transportkapaciteten et øvre estimat på, hvor stor sedimenttransporten vil være efter en eventuel større strandfodring.

#### Sedimenttransport vest for Gilleleje

Ved Spodsbjerg svarer kystens aktuelle orientering til ligevægtsorienteringen, men i takt med at kysten længere mod øst drejer mere mod nord og den dominerende bølgeretning drejer mod vest, øges hovedindfaldsvinklen op langs kysten imod Gilleleje. Analysen af sedimentbudgettet i basisrapporten fra 1978 viste også, at der er nulpunkt i langstransporten på Spodsbjerg.

Mod Hundested ender størstedelen af langstransporten som aflejring nord for Hundested Havn (Trekanten) og som tilsanding i havneindsejlingen. Før havnen blev bygget endte sandet på fjordgrundene længere imod syd.

Fra Spodsbjerg vokser netto langstransporten til mellem 50.000 og 70.000 m<sup>3</sup>/år (aktuel transport) mod nordøst ved Gilleleje, hvor den opnår sit maksimum, se Figur 7-11.

Denne stigning i transporten skyldes dels ændringen i bølgefórholdene langs kysten og dels ændringen i kystens orientering. Figur 6-8 viser, at bølgehøjden vokser langs kysten fra Hundested til Gilleleje og at de fremherskende bølger bliver mere vestlige langs strækningen, hvorved hovedindfaldsvinklen vokser.

De mest markante stigninger i den potentielle transport ses der, hvor kystens orientering ændrer sig over korte strækninger, hvilket på strækningen vest for Gilleleje er ved Spodsbjerg, ved Tisvildeleje og ved Udsholt. Disse markante stigninger i den potentielle transport medfører et stort naturligt erosionspres.

Figur 7-10 viser, at netto transportkapaciteten lokalt vokser kraftigt fra Spodsbjerg til Stængehus, omkring Helenekilde og fra Udsholt til Gilbjerg Hoved. På den vestlige del af strækningen foregår der både transport imod NØ og SV, med NØ som den dominerende retning. På strækningen øst for Udsholt er transporten næsten udelukkende imod NØ.

Det bemærkes, at hovedindfaldsvinkelen er mindre end 40 grader for hele kysten vest for Gilbjerg Hoved, og kysten har derfor ikke tendens til at blive ustabil. Dog er der ved det markante knæk i kystlinjen ved Udsholt tendens til at der dannes vandrende sandbuler i kystlinjen.

Kyststrækningen fra Gilbjerg Hoved til Gilleleje Havn har en meget stor hovedindfaldsvinkel på ca. 76°, se Figur 7-9. Dette medfører de specielle tilsandingsforhold ved Gilleleje, hvor den store indfaldsvinkel medfører en meget kort sandansamling vest for Gilleleje Havn. En del sand føres derfor videre imod indsejlingen, hvor det medfører tilsanding, men en del sand føres også forbi havnen, hvor der aflejres på sandgrunden øst for havnen. Noget af det aflejrrede sand føres af bølgerne imod SØ og tilføres kysten ved Strandbakkerne.

Den aktuelle transport er som forventet kraftigt påvirket af den eksisterende kystbeskyttelse, hvilket ses af at den aktuelle transport langs store dele af kysten er væsentligt lavere end den potentielle transport. Det er kun ved den ubeskyttede strækning mellem Liseleje og Tisvildeleje, at den aktuelle transport svarer til den potentielle.

#### Sedimenttransport øst for Gilleleje

Langstransporten langs kysten mellem Gilleleje og Helsingør er generelt mindre end den er vest for Gilleleje, hvilket dels skyldes at kysten her er delvist beskyttet mod vestlige bølger og dels, at bølgerne de fleste steder rammer kysten med en stor indfaldsvinkel, jævnfør Figur 7-10.

Det er usikkert, hvor meget sand der vandrer uden om Gilleleje Havn og når ind til kysten, men transportkapaciteten stiger betydeligt på strækningen fra Gilleleje Havn ned imod Nakkehoved. Dette medfører, at kysten på denne strækning er udsat for kraftigt erosionspres. En medvirkende årsag til erosionen på strækningen hen imod Nakkehoved er, at der oprenses i størrelsesordenen 15.000 m<sup>3</sup>/år i indsejlingen til Gilleleje Havn. Det meste af dette sand klappes på 4 m vand, hvor det sandsynligvis bliver liggende for størstedelens vedkommende. Det ville være hensigtsmæssigt at sandet blev bypasset til selve stranden eller til det indre strandplan.

Transportkapaciteten ved Nakkehoved er af størrelsesordenen 70.000 m<sup>3</sup>/år og aftager ned imod Hornbæk til ca. 50.000 m<sup>3</sup>/år, se Figur 7-11. Den aktuelle transport er dog svagt stigende på denne strækning, bortset fra ud for Dronningmølle og på Hornbæk Strand. Disse to strande er derfor stabile, mens resten af strækningen er udsat for moderat erosion.

Ved Hornbæk Havn oprenses gennemsnitligt ca. 10.000 m<sup>3</sup>/år og der afgraves ca. 20.000 m<sup>3</sup>/år fra Hornbæk Strand (vest for havnen) samt fra det grunde område øst for havnen. Heraf klappes 10.000 m<sup>3</sup>/år kystnært ud for Hornbæk Plantage og 15.000 m<sup>3</sup>/år fodres på stranden øst for havnen. De resterende 5.000 m<sup>3</sup>/år nyttiggøres til strandfodring ved Julebæk Strand og Hellebæk Strand.

Transportkapaciteten stiger kraftigt ud for Hornbæk Plantage, som derfor er udsat for stort erosionspres. Fra Hornbæk Plantage falder transportkapaciteten ned imod Ålsgårde til omkring 30.000 m<sup>3</sup>/år, men den aktuelle transport er dog betydelig mindre på denne strækning, hvilket betyder, at denne strækning er udsat for erosion.

Fra Ålsgårde og ned til Gummistranden nord for Helsingør kommer bølgerne meget skråt ind imod kysten med en hovedindfaldsvinklen af størrelsesordenen 70° til 80°. Dette medfører en forholdsvis konstant transport (såvel transportkapacitet som aktuel transport) på omkring 30.000 m<sup>3</sup>/år langs denne strækning. Denne kyststrækning skulle derfor i teorien være stabil i forhold til kronisk erosion, men grundet de meget skråt indfaldende bølger er der langs denne strækning tendens til at der dannes grunde områder og undulationer i kystlinjen, hvorved kysten vil blive opfattet som ustabil.

Disse fænomener kan tydeligt identificeres på luftfotos, da kystprofilen er meget fladt; og man kan derfor se, at sandbunden strækker sig langt ud fra land. Dette gælder således for strækningen fra Ålsgårde til Gummistranden NV for Helsingør, men lignende forhold findes ud for Munkerup øst for Nakkehoved.

Det største erosionspres findes på de tre kystfremspring ved Nakkehoved, Villingebæk Hage og Hornbæk Plantage. Erosionspresset på Nakkehoved og Hornbæk plantage skyldes til dels kystens drejning og dels den begrænsede passage af sand forbi Gilleleje Havn og Hornbæk Havn.

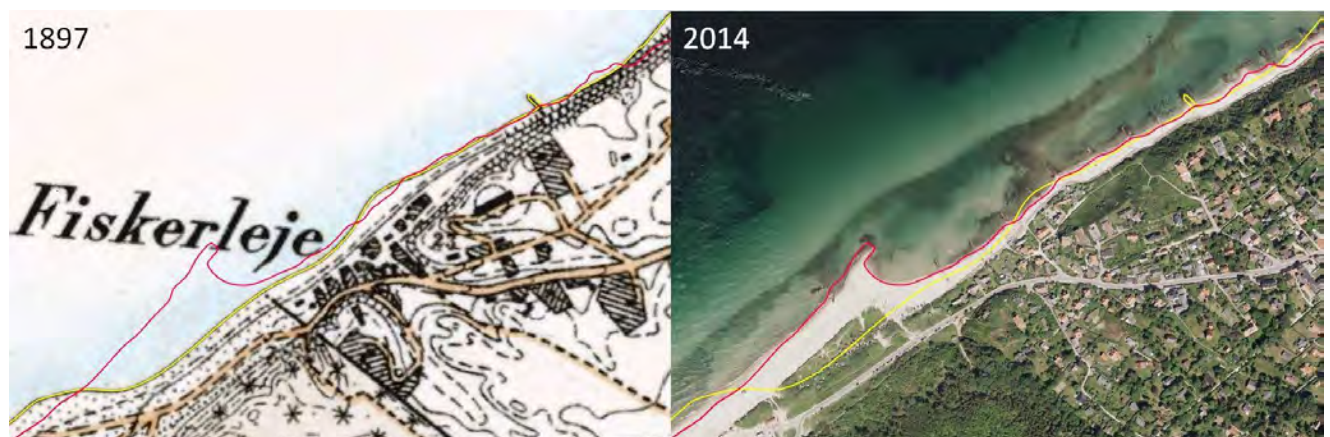
På baggrund af beregningerne vurderes den samlede erosion af kysten øst for Gilleleje at være i størrelsesorden 15.000 til 25.000 m<sup>3</sup>/år.

Vest for Helsingør Nordhavn er der en sandakkumulation, som udgør den såkaldte Gummistrand. Transportforholdene i dette område er komplicerede dels grundet den store bølgeindfaldsvinkel og dels grundet indsnævringen af farvandet i tværsnittet Helsingør – Helsingborg. Dette medfører, at der ved storm fra vest og nordvest forekommer en meget kraftig østgående strøm rundt om Nordhavns nordlige hjørne. Denne strøm fører sandsynligvis sandet, som tilføres dette område via langtransporten, rundt om hjørnet og ud på dybt vand eller videre rundt om Kronborgpynten. Denne mekanisme bekræftes af, at der ikke er nogen tilsanding i indsejlingen til Helsingør Nordhavn.

## 7.2 Historiske kysterosion

Til bestemmelse af kystens udvikling over lang tid er der blandt andet benyttet data fra Københavns Universitet, som har foretaget en analyse af den historiske kysttilbagerykning langs alle danske kyster og herunder Nordkysten af Sjælland, (Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014).

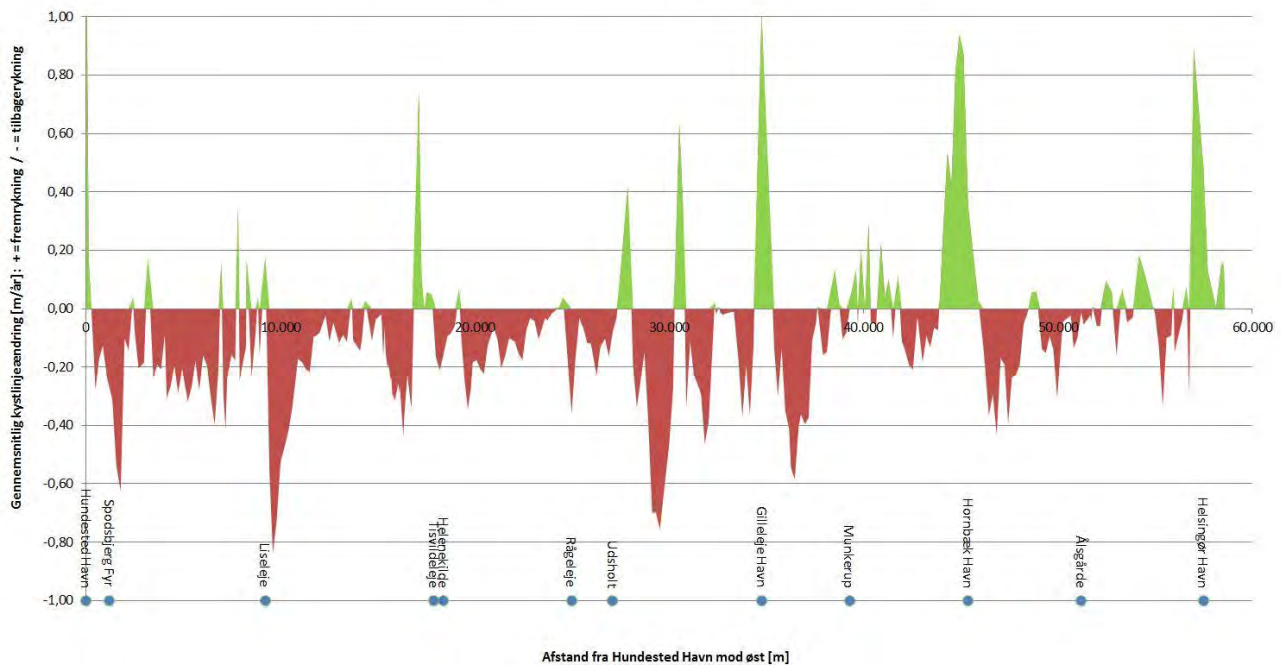
Figur 7-12 viser et eksempel på lokal frem- og tilbagerykning af kystlinjen mellem 1897 og 2014 ved Tisvildeleje baseret på data fra Københavns Universitet.



Figur 7-12 Historisk kystudvikling ved Tisvildeleje Bølgebryderen. Gul: 1897 og Rød: 2014

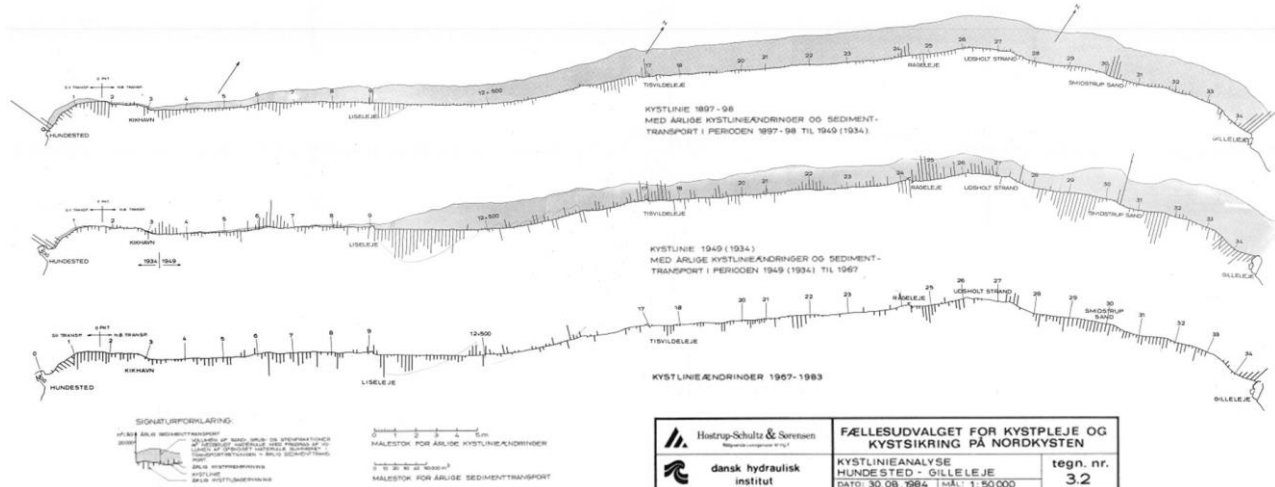
Figur 7-13 viser regional frem- og tilbagerykning af kystlinjen mellem 1897 og 2003 langs Nordkysten mellem Hundested og Helsingør. Afstanden er målt langs kysten fra Hundested.

Kystlinjeændring mellem år 1897 og 2003 på Nordkysten



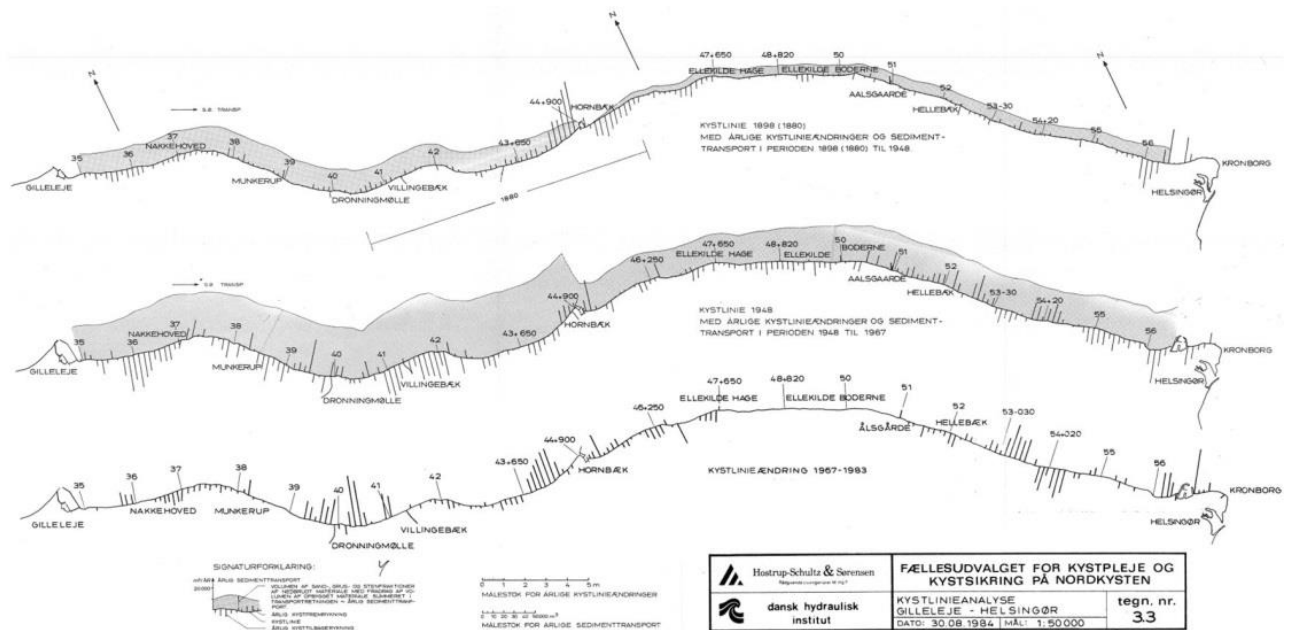
Figur 7-13 Historisk kystlinjeudvikling mellem Hundested og Helsingør i perioden 1897 og 2003 Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

Figur 7-14 viser kystlinjeudvikling over kortere perioder for den vestlige del af Nordkysten for perioderne 1897/1898 til 1934/1949, 1934/1949 til 1967 og 1967 til 1983, (Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring af Nordkysten, 1984).



Figur 7-14 Kystlinjeændringer og sedimenttransport for vestlige del af Nordkysten i perioden 1897 – 1983. (Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring af Nordkysten, 1984)

Tilsvarende viser Figur 7-15 kystudviklingen langs den østlige del af Nordkysten.



Figur 7-15 Kystlinjeændringer og sedimenttransport for østlige del af Nordkysten i perioden 1897 – 1983. (Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring af Nordkysten, 1984)

Kystlinjetilbagerykning over længere tid betegnes "kronisk erosion" og er morfologisk et resultat af både bølgenes påvirkning af kysten, geologien og eksisterende kystbeskyttelse.

Der er mange usikkerheder forbundet med bestemmelse af den historiske kysterosion. De opgivne erosionsrater skal opfattes som et minimum.

Analyserne dækker en lang periode, hvilket reducerer usikkerheden på placeringen af kystlinjen på de anvendte kort og luftfoto.

Kysten er de sidste 150 år mange steder forsøgt stabiliseret med hård kystbeskyttelse som skråningsbeskyttelser, høfder og bølgebrydere. Dette har flere steder medført, at stranden er vokset opstrøms, men forsvundet nedstrøms for konstruktionerne.

Kystlinjen fikses langs skråningsbeskyttelserne, men kysterosionen fortsætter ude i profilet, hvilket giver en usikkerhed på de faktiske erosionsrater langs de beskyttede strækninger.

Desuden sker der typisk en forstøjning af kystprofilet langs strækninger med høfder og bølgebrydere, når der ikke samtidig udføres strandfodring. Dette skyldes, at sådanne konstruktioner typisk kun dækker den inderste del af det aktive profil og erosionen fortsætter længere ude i profilet.

Sedimentet langs strandene er gradvist blevet grovere efterhånden som kysten er blevet stabiliseret med skråningsbeskyttelse, hvilket reducerer frigivelsen af finere fraktioner og herunder sand til den litorale zone. Dette vil sammen med den hårde kystbeskyttelse medvirke til, at erosionsraten formodes at være reduceret gennem de senere årtier.

Variationen i kysterosionen skyldes, foruden tilstedeværelsen af hårde konstruktioner, at de hårde morænepartier eroderer langsommere end de blødere strækninger.

Tabel 7-1 viser den gennemsnitlige årlige tilbagerykning af vandlinjen ved en række kystprofiler som analyseres yderligere i det følgende afsnit. Den viste kysttilbagerykning er baseret på perioden mellem 1897 og 2015.

Tabel 7-1 Gennemsnitlig årlig kysttilbagerykning ud for lokaliteter med genopmålte kystprofiler

	Liseleje	Helenekilde	Rågeleje	Udsholt	Gilbjerg Hoved
Gennemsnitlig kysttilbagerykning i perioden 1897-2015 (m/år)	0,37	0,23	0,36	0,08	0

Analysen af kystudviklingen langs Nordkysten de sidste godt 100 år viser, at den årlige kysttilbagerykning i gennemsnit er i størrelsesorden 0,25m/år. Der er betydelig variation i kystudviklingen langs Nordkysten. Der er dog kun betydelig fremrykning af kysten vest for Gilleleje Havn og Hornbæk Havn, mens den øvrige del af kysten rykker tilbage.

### 7.3 Kystprofiler

Kystdirektoratet har foretaget opmåling af en række kystprofiler langs Nordkysten af Sjælland i 2011. Derudover er der en række aktuelle opmålinger af hele kystprofilen vest for Liseleje, som er stillet til rådighed af Hyllingebjerg-Liseleje Kystbeskyttelseslaug.

Figur 7-16 viser en oversigt over nyere opmålinger langs Nordkysten af Sjælland.

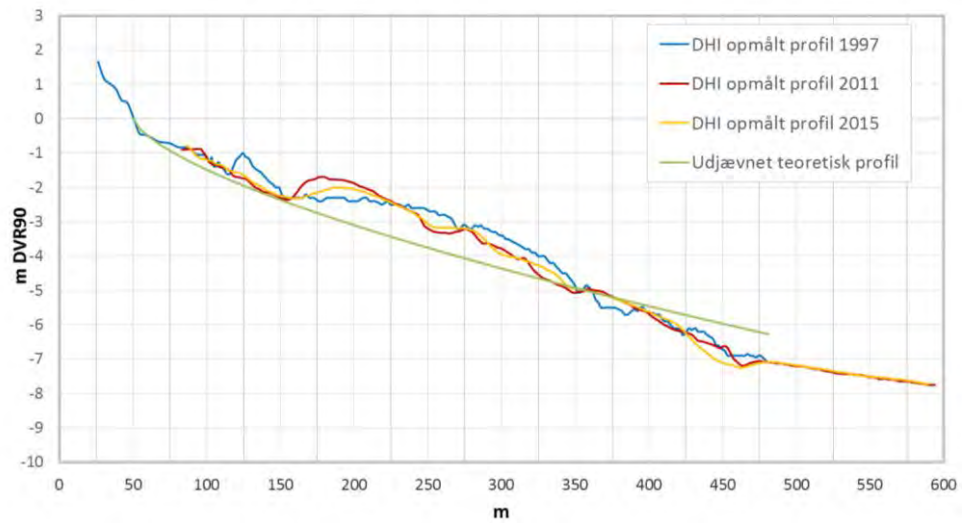
Der er i forbindelse med de oprindelige Nordkyst-rapporter foretaget opmålinger af kystprofiler langs hele Nordkysten, (Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring af Nordkysten, 1984). Det har dog ikke været muligt at sammenligne nye og gamle profiler, da de gamle profiler ikke er georefereret.



Figur 7-16 Oversigt over nyere opmålinger af kystprofilen langs Nordkysten

Figur 7-17 til Figur 7-22 viser typiske kystprofiler ved udvalgte lokaliteter langs Nordkysten. Figurerne viser, at der typisk er en revle på kystprofilerne langs nordkysten. Revlerne er typisk opbygget af sand.

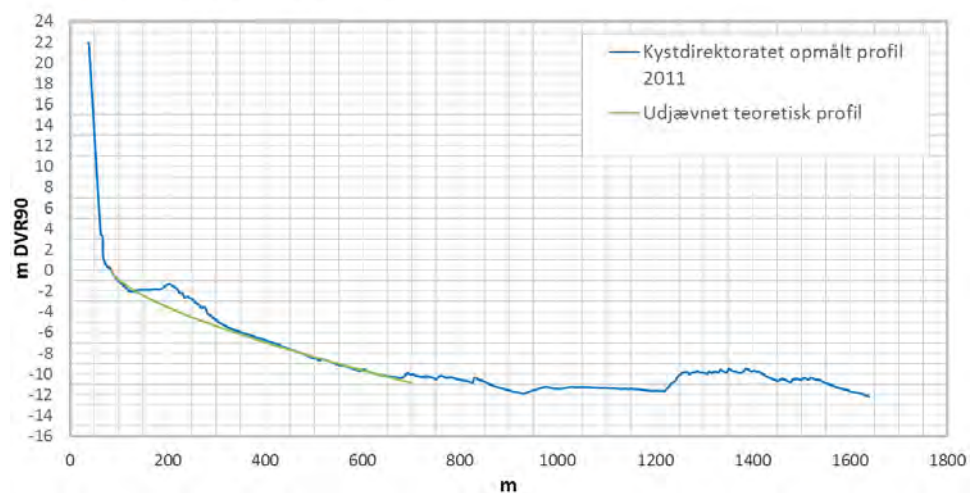
### Kystprofiler ved Hyllingebjerg/Liseleje



Figur 7-17 Profilmålinger ved Hyllingebjerg-Liseleje. Middelkornstørrelsen for det udjævnede teoretiske profil svarer til  $d_{50}=0,23$  mm (Dean's koefficient:  $A=0,11$ )

Analyse af profilerne har vist, at den gennemsnitlige hældning af stranden mellem kote 0,0m og cirka +1,5m DVR90 er 1: 13. Hældningen af kystprofillet mellem 0,0m DVR90 og den aktive dybde svarende til -5,0m DVR90 er gennemsnitlig på 1: 45.

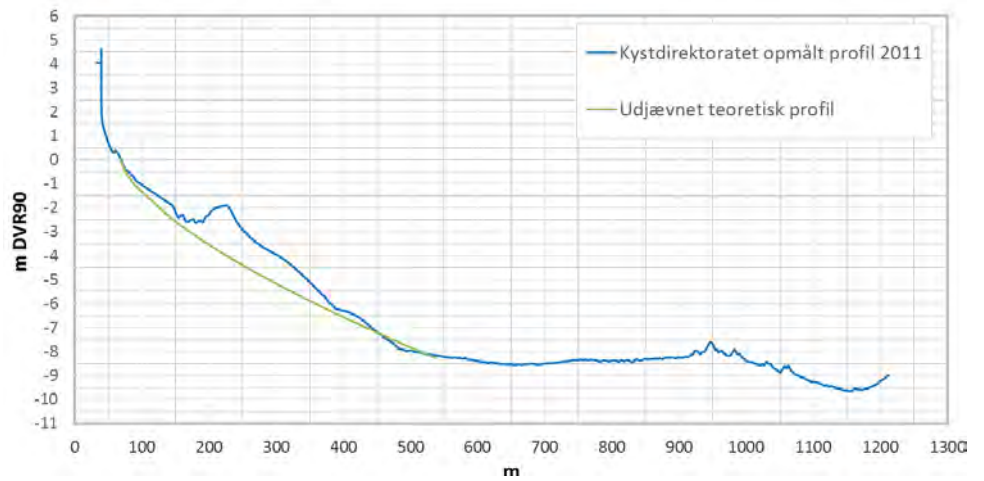
### Kystprofil ved Helene Kilde



Figur 7-18 Profilmålinger fra KDI for Helene Kilde. Middelkornstørrelsen for det udjævnede teoretiske profil svarer til  $d_{50}=0,43$  mm (Dean's koefficient:  $A=0,15$ )

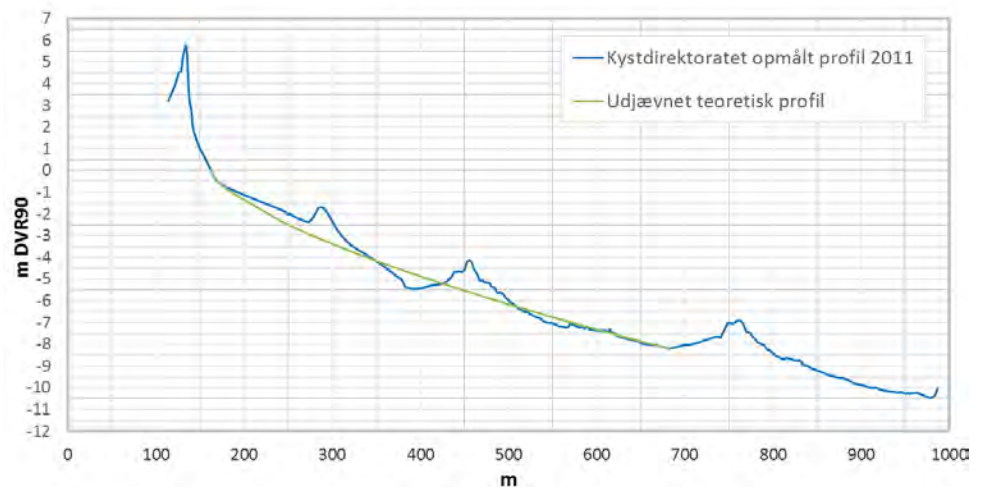


### Kystprofil ved Rågeleje



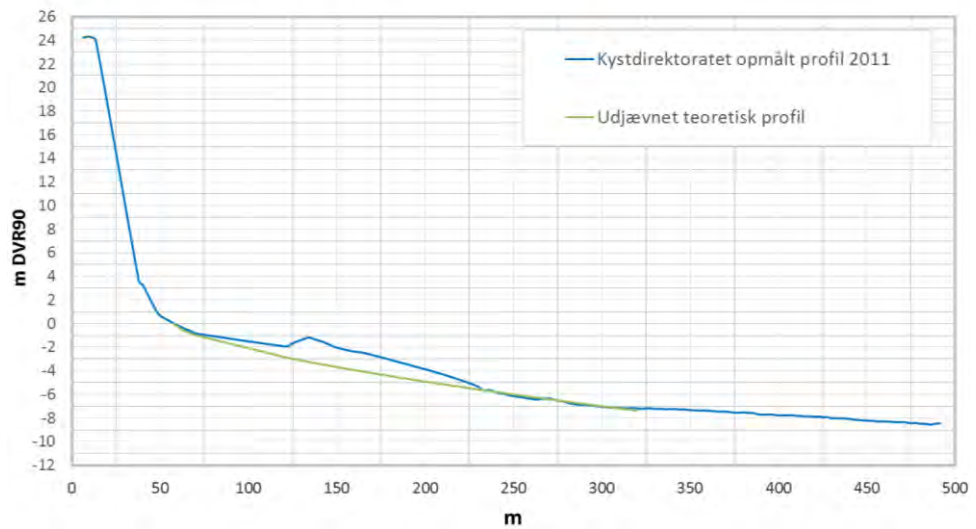
Figur 7-19 Profilopmålinger fra KDI for Rågeleje. Middelkornstørrelsen for det udjævnede teoretiske profil svarer til  $d_{50}=0,36$  mm (Dean's koefficient:  $A=0,137$ )

### Kystprofil ved Udsholt Strand



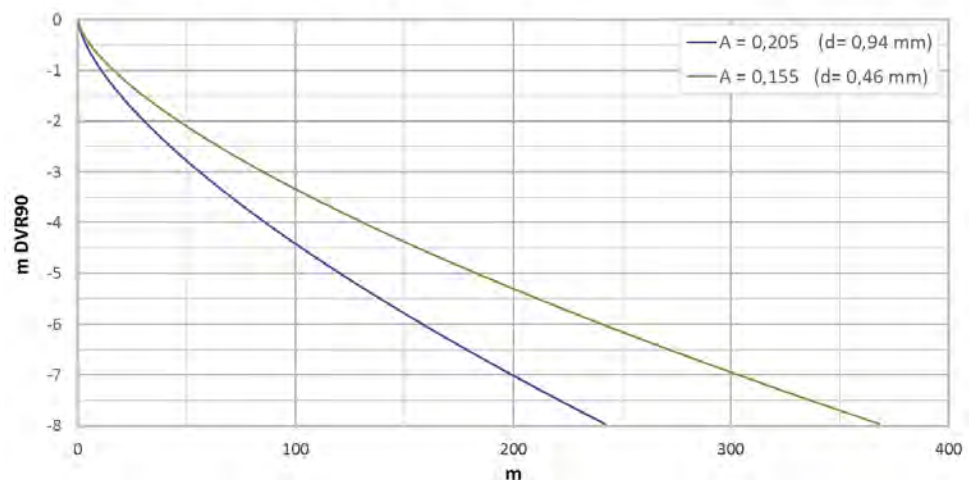
Figur 7-20 Profilopmålinger fra KDI for Udsholt Strand. Middelkornstørrelsen for det udjævnede teoretiske profil svarer til  $d_{50}=0,31$  mm (Dean's koefficient:  $A=0,127$ )

### Kystprofil ved Gilbjerg Hoved



Figur 7-21 Profilmålinger fra KDI for Gilbjerg Hoved. Middelkornstørrelsen for det udjævnede teoretiske profil svarer til  $d_{50}=0,66$  mm (Dean's koefficient:  $A=0,18$ ).

### Udjævnet Teoretisk Profil ved Ålsgårde



Figur 7-22 Typiske teoretiske kystprofiler ved Ålsgårde. Middelkornstørrelsen for de udjævnede teoretiske profiler svarer til  $d_{50} = 0,46$  mm (Grøn) og  $d_{50} = 0,94$  mm (Lilla) (Dean's koefficient: hhv.  $A = 0,155$  og  $A = 0,205$ ).

De opmålte kystprofiler er sammenlignet med teoretiske ligevægtsprofiler for at bestemme den karakteristiske middelkornstørrelse af sedimentet i de enkelte kystprofiler.

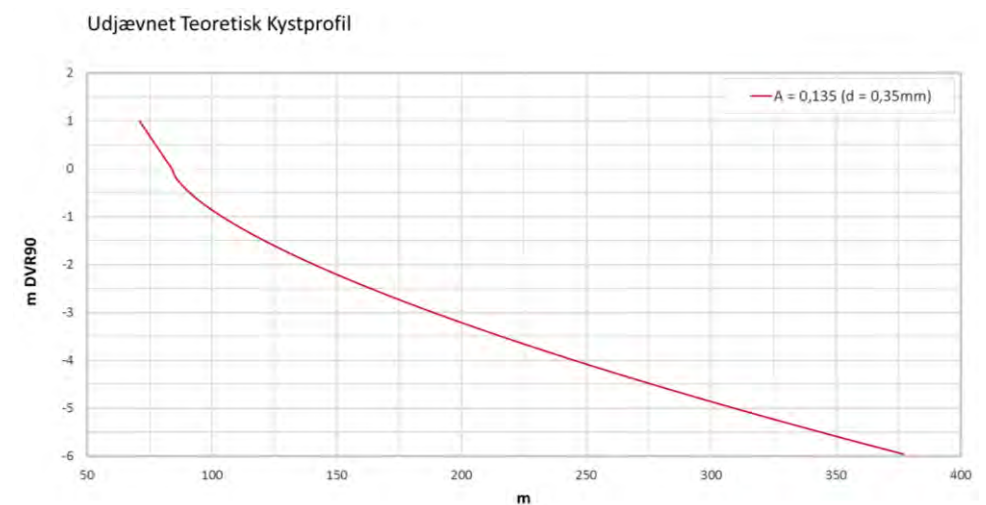
Den karakteristiske middelkornstørrelse benyttes til at vurdere, hvilket sedimentgradering, der som minimum vil egne sig som strandfodring langs Nordkysten.

Analyse af profilerne viser, at den gennemsnitlige karakteristiske middeldornstørrelse langs Nordkysten er,  $d_{50}=0,35\text{mm}$ . Den karakteristiske middeldornstørrelse ligger mellem 0,2mm ved Liseleje og 0,9mm ved Ålsgårde.

De eksisterende kystprofiler er generelt tilstrækkeligt flade til at strandfodring vil have en betydelig positiv effekt i forhold til at beskytte kysten fremover.

Figur 7-23 viser det gennemsnitlige udjævnede teoretiske kystprofil for Nordkysten baseret på de tilgængelige opmålingsdata svarende til en middeldornstørrelse på  $d_{50}=0,35\text{mm}$  og en hældning af forstranden på 1: 13.

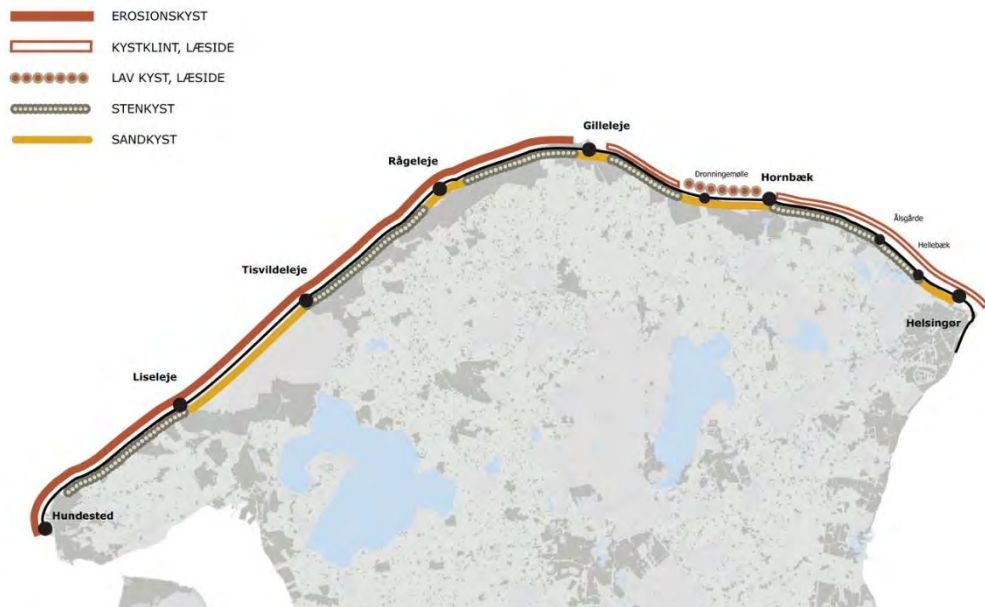
Det karakteristiske udjævnede teoretiske kystprofil er benyttet i beregningerne i det følgende. Det udjævnede teoretiske kystprofil indeholder ikke revler. Der vil typisk være en dominerende sandrevle langs Nordkysten. Beregningerne i skitseprojektet fokuserer på mængdebetragtinger og revlernes tilstedeværelse vurderes derfor at være af sekundær betydning. Derudover varierer revlernes placering typisk i forhold til vejrforholdene og har mindre betydning i forbindelse med storme, hvor det typisk er vandstanden og vanddybden foran skråningerne, som har afgørende betydning for kystbeskyttelsen og bølgerne umiddelbart foran.



Figur 7-23 Karakteristisk udjævnet teoretisk kystprofil for Nordkysten. Middeldornstørrelsen svarer til  $d_{50}=0,35\text{ mm}$  (Dean's koefficient:  $A=0,135$ )

## 7.4 Kystteknisk beskrivelse baseret på foto

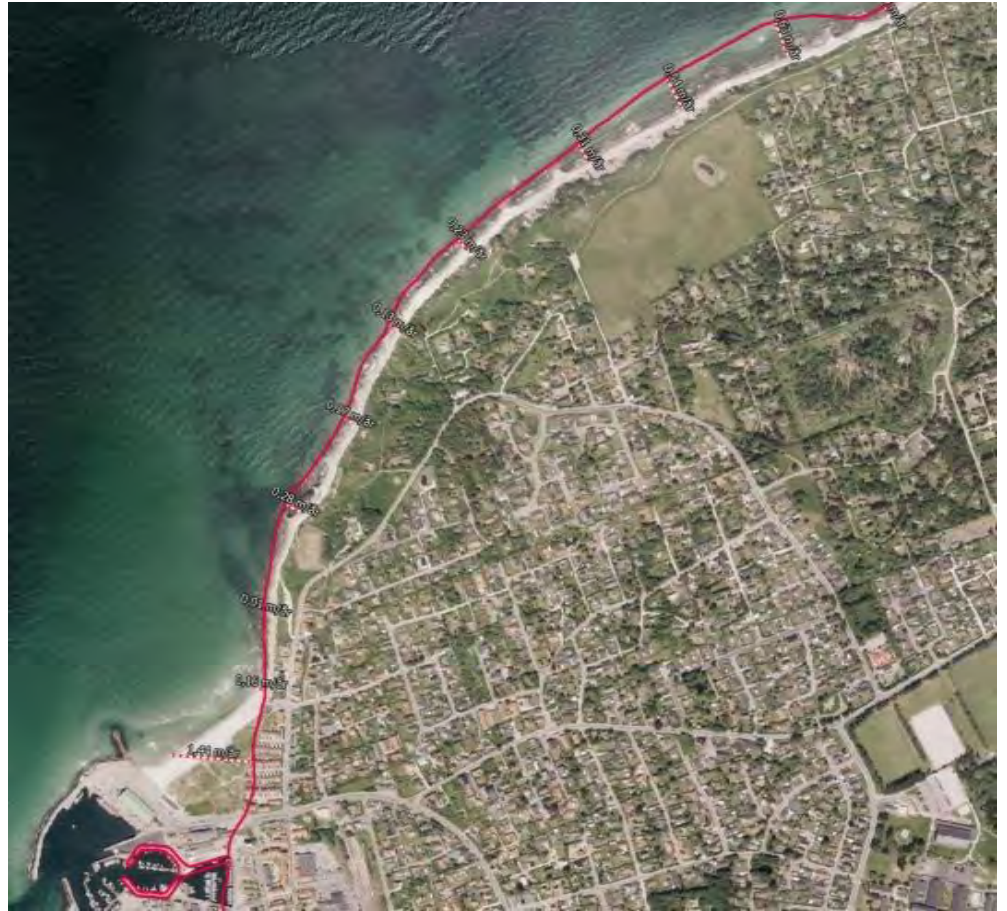
Overordnet deles beskrivelsen af kysten baseret på fotos op ud fra en række relevante karakteristika som geologi, kystorientering, historisk kysterosion, relief, eksisterende kystbeskyttelse og arealanvendelse i baglandet. Figur 7-24 viser en oversigt over Nordkysten.



Figur 7-24 Nordkysten af Sjælland

### 7.4.1 Hundested til Kikhavn

Strækningen fra Hundested til Kikhavn er overordnet kendetegnet af kystkliner med en gennemsnitlig erosionsrate på omkring 30 cm/år, se Figur 7-25.



Figur 7-25 Flyfoto med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjændring i perioden i m/år.

Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

På strækningen er netto langstransporten sydvestgående.

Sandet aflejres ved Trekanten, hvor hovedparten fastholdes af en sandfanger bygget ud fra havnemolen, se Figur 7-26.

Strækningen fra Skansen mod Spodsbjerg Fyr er tidligere i forrige århundrede beskyttet med betonhøfder. I 1990-erne er kystbeskyttelsen udbygget i henhold til projekt udviklet under Fællesudvalget, se Figur 7-27.

Skansen er beskyttet ved hård stenskråning, oprindelige høfder er forlænget ved stenhøfder, der er anlagt bølgebrydere og strandfodret med ral.

Spodsbjerg klinten er delvis beskyttet ved ralfodring langs klintfoden og dykket bølgebryder (stenrev), idet der ikke kunne opnås tilladelse til en kraftig sikring af den aktive klint her.

Klinten ved Spodsbjerg leverer sand til kysten nordøst herfor.

En fremtidig kystbeskyttelse på strækningen kunne være med ralfodring.



Figur 7-26 Hundested Havn og Trekanten nord for Hundested Havn



Figur 7-27 Kystklint fra Spodsbjerg Fyr mod NØ

Der er omfattende kystbeskyttelse med både bølgebrydere og skræntsikringer ved Kikhavn, se Figur 7-28. Til trods for dette er der stort set ingen sand på strækningen og tilsyneladende ret dybt tæt på kysten.



Figur 7-28 Kysten ved Kikhavn

#### 7.4.2 Kikhavn til Liseleje

Kyststrækningen fra Kikhavns vestligste afgrænsning ved Linesvej til den vestligste bølgebryder i Liseleje er kendetegnet ved sedimenttransport-nulpunkt ved Knuden i Kikhavn, og ved at kysten generelt er befæstet med hård kystbeskyttelse af varierende type, størrelse og tilstand på hele strækningen. Kysten er under generel tilbagevækst, som det fremgår af Figur 7-29.

Der er skråningsbeskyttelse og palisadevæg på stort set hele strækningen og mange steder er der også bølgebrydere eller høfder.

For at bølgebrydere skal kunne virke optimalt, skal de kunne fange sand og rål. På denne del af Nordkysten er der generelt ikke sand nok til rådighed i den aktive kystzone til, at bølgebryderne virker optimalt.

Strækningen er også kendetegnet ved områder med kystdiger, der beskytter lavtliggende landområder mod høj vandstand, se Figur 7-5.

#### Kikhavn til Galgebjerg

Som for mange andre kystlag på Nordkysten blev Kikhavn stiftet ved landvæsenkommisjons kendelse efter den store storm i 1921. Siden er kystbeskyttelsen langs strækningen blevet udbygget og vedligeholdt. I dag er der i alt 23 bølgebrydere, diger og sammenhængende skråningsbeskyttelse, se Figur 7-30 og Figur 7-31.



Figur 7-29 Strækningen mellem Kikhavn til Liseleje med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år.  
Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014



Figur 7-30 Kikhavn vest for Knuden ved Landingen





Figur 7-31 Kikhavn øst for Knuden med bølgebryder, skråningsbeskyttelse og lerdige

#### Galgebjerg til Nødebohuse

Stranden ved Gråstenvej er relativt bred landværts for de 5 bølgebrydere, hvorefter stranden mindskes mod øst ved Galgebjerg. Ved Nødebohuse er der kombineret lerdige med skråningsbeskyttelse, højvandssluse og bølgebrydere for at undgå indtrængning af vand til baglandet.

#### Nødebohuse til Hyllingebjerg

Strækningen er karakteriseret af mere eller mindre eroderede kystskrænter, hvor vegetationen lejlighedsvis mangler. Kystbeskyttelsesniveauet varierer meget i størrelse og virkning. Den primære beskyttelse består af skråningsbeskyttelse afløst lejlighedsvis af palisadevægsbeskyttelse.

Langs strækningen er der enkelte bølgebrydere og nogle høfder, men ingen samlede kombinerede kystbeskyttelses anlæg over længere strækninger.

De strækninger som har dårlig virkende kystbeskyttelse virker som sandkilde i forbindelse med storme.

Under stormen Bodil blev store mængder sand og materialer fra bl.a. dette område eroderet fra skrænterne.

De efterfølgende år har dette erosionsmateriale genetableret stranden på nogle dele af strækningen, se Figur 7-32.



Figur 7-32 Klintevej og stranden set fra havet med erosionsprægede skrænter og kystbeskyttelse. Kilde: Google Earth 7/2/2015

#### Hyllingebjerg og Liseleje

Kystbeskyttelsen er blevet totalt saneret mellem Hyllingebjerg og Liseleje i 1999, se Figur 7-33. Kystbeskyttelsen består af 9 store bølgebrydere og skråningsbeskyttelse langs hele strækningen. Derudover er der blevet strandfodret i 1999, se afsnit 713.4.2.



Figur 7-33 Kysten mellem Hyllingebjerg og Liseleje

Den gamle bølgebryder ved Liseleje holder på kysten foran Liseleje, men har samtidigt skabt en kraftig læsideerosion øst for bølgebryderen, se Figur 7-34.



Figur 7-34 Liseleje Bølgebryderen

### 7.4.3 Liseleje til Tisvildeleje

Strækningen mellem Liseleje og Tisvildeleje er en kystslette med høje klitter og bred strand. Strækningen var Danmarks første sandflugtsplantage. Kyststrækningen ligger i Natura 2000-område og er uden kystbeskyttelse, se Figur 7-36.

Kysttilbagerykningshastigheden er i middel på omkring 20 cm/år, se Figur 7-35.

Mellem Stængehuse og Tisvildeleje eroderede stranden og klitterne kraftigt tilbage i forbindelse med stormen Bodil, se Figur 7-37. Dette frigav et stort tilskud til sedimentbudgettet på Nordkysten, som efterfølgende vandrer langs kysten mod nordøst.

Der er fortsat efter Bodil en bred sand- og ralstrand på strækningen.



Figur 7-35 Liseleje til Tisvildeleje med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjændring i perioden i m/år. Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

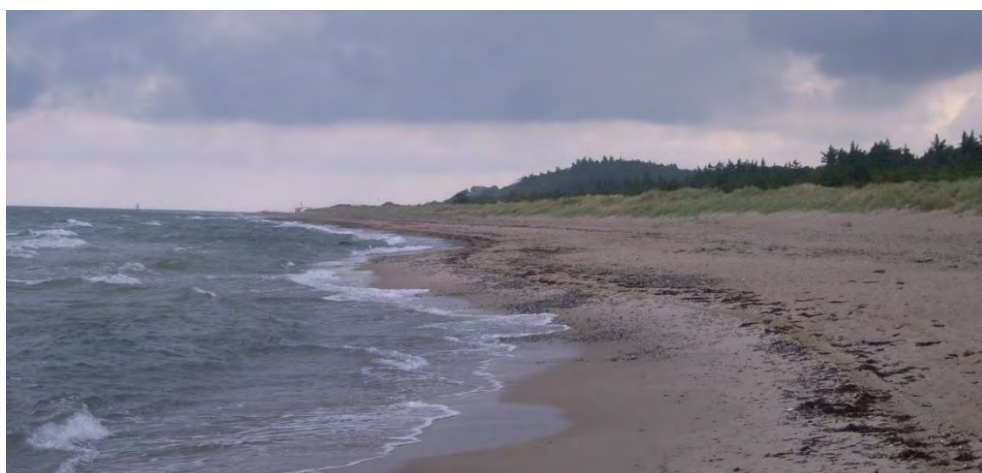


Figur 7-36 Naturlig sand- og ralstrand ved Stængehuse, 2009



Figur 7-37 *Erosion af strand og klitter ved Stængehuse under stormen Bodil.  
 Foto S. Agerlund, Naturstyrelsen*

Ved Stængehage er der et lille fremspring på kysten, som skyldes et lavvandet stenrev ud for stranden, se Figur 3-16. Øst for Stængehage er stranden smalle og klitterne ser ud til at erodere lidt fra tid til anden som følge af læsideerosion øst for kystfrespringet, se Figur 7-38.



Figur 7-38 *Bred attraktiv strand sydvest for Tisvilde, 2009*

I forbindelse med Bodil blev klitten foran den store parkeringsplads i Tisvildeleje næsten eroderet væk, hvilket gør parkeringspladsen sårbar over for nye kraftige stormhændelser, se Figur 7-39.



Figur 7-39 Bred attraktiv sandstrand ved den store parkeringsplads i Tisvildeleje efter stormen Bodil

#### 7.4.4 Tisvildeleje til Vejby strand

Figur 7-40 viser kysten mellem Tisvildeleje og Vincentstien, som generelt eroderer tilbage.

Figur 7-41 viser den gamle bølgebryder ved Tisvildeleje med karakteristisk luvside-aflejring og læside-erosion. Ved Tisvildeleje Bølgebryderen ændrer kysten desuden orientering.

Figur 7-42 viser kysten og de høje skråninger nordøst for Tisvildeleje. Der er etableret omfattende kystbeskyttelse på hele strækningen mellem Tisvildeleje og Markvænget sydvest for Vincentstien for at beskytte ejendommene langs skrånningen.



Figur 7-40 Flyfoto af kysten mellem Tisvildeleje til Vejby Strand, med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjændring i perioden i m/år. Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014



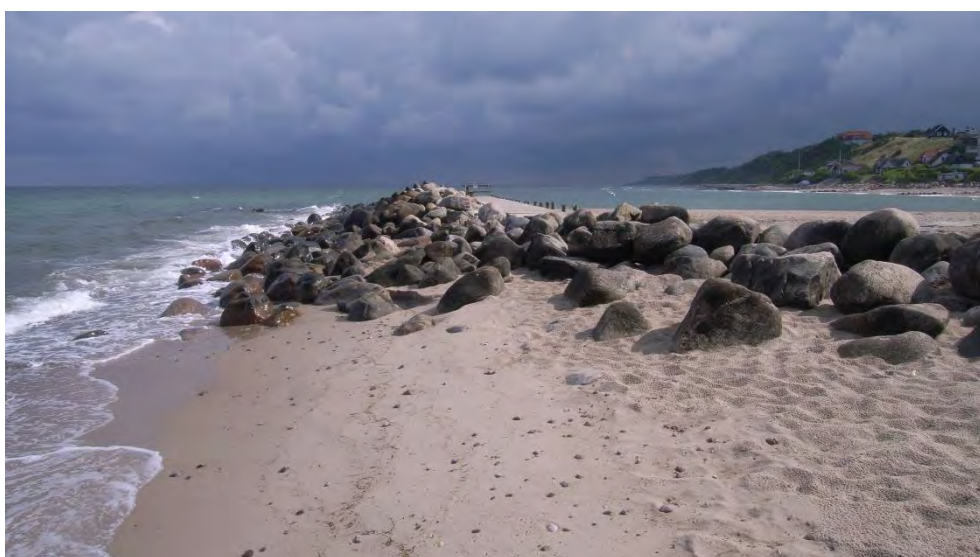
Figur 7-41 Kysten omkring den gamle bølgebryder i Tisvildeleje



Figur 7-42 Kysten mellem Tisvildeleje og Vejby Strand

Bølgebryderen ved Tisvildeleje blev beskadiget under Bodil.

Bølgebryderen er delvist dækket af sand, som vandrer op langs kysten fra syd-vest, se Figur 7-43. Dette viser, at der er betydelige mængder sand som passerer uden om konstruktionen og videre op langs kysten.



Figur 7-43 Bølgebryderen ved Tisvildeleje, 2009



Der er mange små kystbeskyttelseskonstruktioner nordøst for Tisvildeleje, se Figur 7-44 til Figur 7-54.

Konstruktionerne er blevet opført gennem tiden for at imødegå læsideerosion nordøst for Tisvildeleje bølgebryderen og underskuddet i sedimentbudgettet på strækningen.

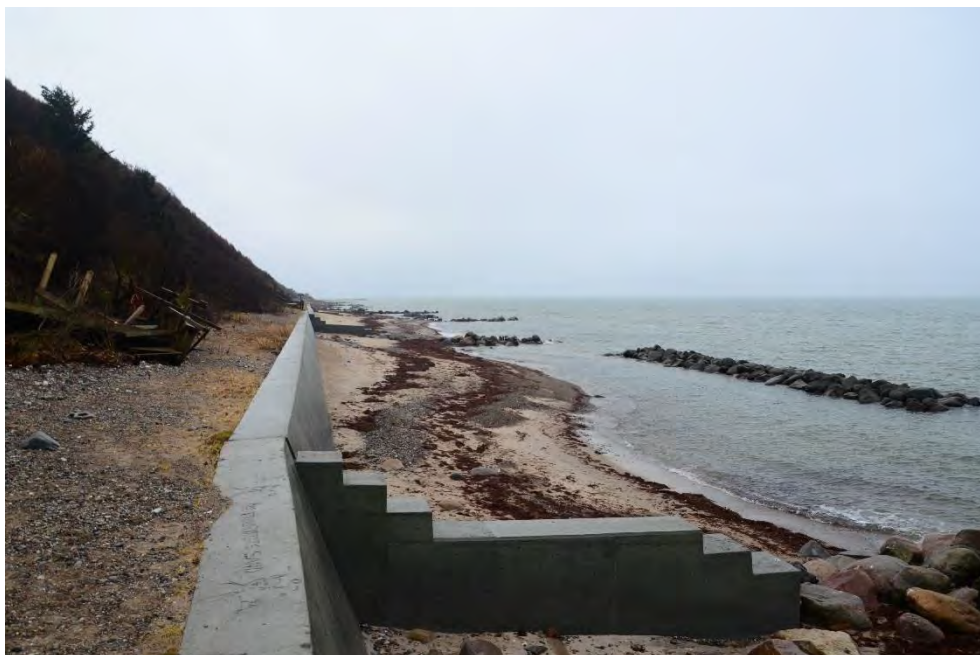


Figur 7-44 Nedslidte høfder ved Tisvilde, 2009

På strækningen mellem Tisvildeleje og Helene Kilde er stranden flere steder forsvundet foran den store lodrette betonmur, som er bygget for at beskytte skråningerne bagved, se Figur 7-45. Den lodrette mur reflekterer bølgerne og øger derved erosionen af stranden foran. Den lodrette mur øger desuden bølgeoverskyllet i forhold til tilsvarende stenkonstruktioner, se Figur 7-46.



Figur 7-45 Stor betonmur langs foden af skråning øst for Tisvilde, 2009



Figur 7-46 Stor betonmur langs foden af skrånning øst for Tisvilde, efter Bodil 2013

Øst for Helene Kilde er der etableret et høfdefelt foran skråningsbeskyttelsen, se Figur 7-47. Høfderne er forholdsvis store og har en god indbyrdes afstand. Dette medfører, at de virker kystteknisk fornuftigt og der er en bred sandstrand på det meste af strækningen.



Figur 7-47 Velfungerende høfdefelt øst for Helene Kilde, 2009

Øst for høfdefeltet ved Nordre Strandvej er der etableret et felt af små bølgebrydere, som også har en fornuftig kystteknisk virkning. Bølgebryderne fastholder en strand foran skråningsbeskyttelserne, se Figur 7-48.



Figur 7-48 Bølgebryderfelt ved Nordre Strandvej, 2009

De små bølgebrydere ender ved Kaprifolievej, hvor stranden er forsvundet og skråningen er udsat for erosion i en sådan grad, at den svage skråningsbeskyttelse af pæle er ødelagt, se Figur 7-49.



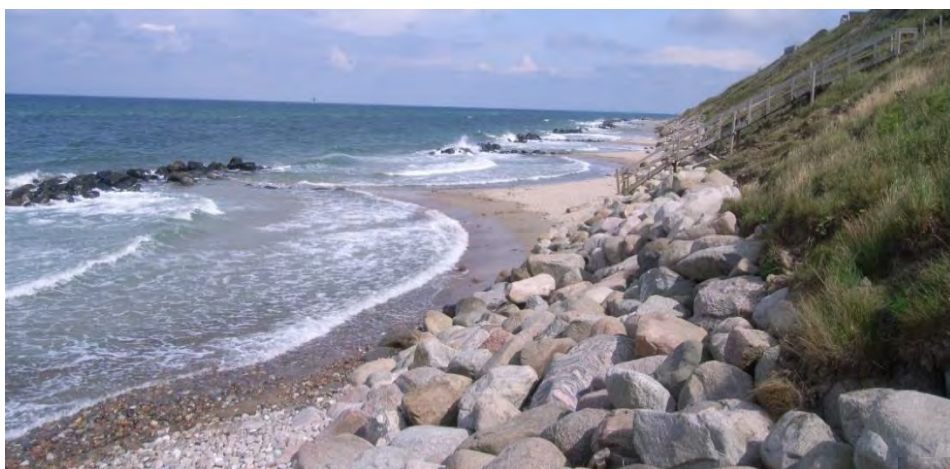
Figur 7-49 Nedslidt og uvirksom skråningsbeskyttelse ved Kaprifolievej, 2016

Klinterne er høje og stejle ved Violvej og Kystvej. Der er her etableret kraftige skråningsbeskyttelser for at beskytte husene langs toppen af klinten. Husene ligger mange steder faretruende tæt på skrænten, se Figur 7-50. Stranden er forsvundet, da de små bølgebrydere ikke fungerer kystteknisk optimalt, og der ikke er nok sand og ral på strækningen.



Figur 7-50 Kraftig skråningsbeskyttelse ved Kystvej, hvor stranden er forsvundet, 2009

Situationen fortsætter langs størstedelen af Kystvej, hvor stranden er meget smal og mange steder helt forsvundet mellem effektive skråningsbeskyttelser og små utilstrækkelige bølgebrydere, se Figur 7-51.



Figur 7-51 Kraftig skråningsbeskyttelse ved Kystvej (Mågevej), hvor stranden er forsvundet, 2009

Ved Svalevej er erosionen af stranden så fremskredet, at skråningsbeskyttelsen ikke kan beskytte klinten, som er skredet ud og står helt blottet for vegetation, se Figur 7-52.



Figur 7-52 *Stranden ved Svalevej er eroderet bort og skråningen er under kraftig erosion på trods af skråningsbeskyttelse, 2009*

Den omfattende hårde kystbeskyttelse nordøst for Tisvildeleje ender ved Markvænget, se Figur 7-53. Det har medført omfattende læsideerosion langs Vincentstien op mod Heatherhill, se Figur 7-54.



Figur 7-53 *Vejby Strand med Vincentstien, Heatherhill og kysten til Rågeleje*



*Figur 7-54 Adgangsvej til stranden ved Markvænget. Kysten er beskyttet af skråningsbeskyttelse og bølgebrydere, men stranden er næsten forsvundet, 2009*

Figur 7-54 til Figur 7-56 viser forholdene før og efter Bodil ved Markvænget.



*Figur 7-55 Adgangsvej til stranden ved Markvænget blev beskadiget af stormen Bodil*

Den eksisterende hårde kystbeskyttelse blev udsat for voldsom påvirkning under stormen som følge af den store vanddybde foran. Der skete således stor skade på konstruktionerne som efterfølgende er genopbygget. Det bemærkes, at det

eksisterende stenmateriale er benyttet til at genopbygge konstruktionerne i vid udstrækning. Stormen viste, at stenene er for små og der er derfor risiko for, at konstruktionerne bliver beskadiget igen, når der kommer en kraftig storm næste gang.



Figur 7-56 Adgangsvej til stranden ved Markvænget blev beskadiget af stormen Bodil



Figur 7-57 Ny-renoverede skråningsbeskyttelse og adgangsvej til stranden ved Markvænget, 2016

Efter Markvænget er der en lang ubeskyttet strækning langs Vincentstien, som i høj grad er påvirket af læsideerosion fra den hård kystbeskyttelse sydvest herfor, se Figur 7-58.

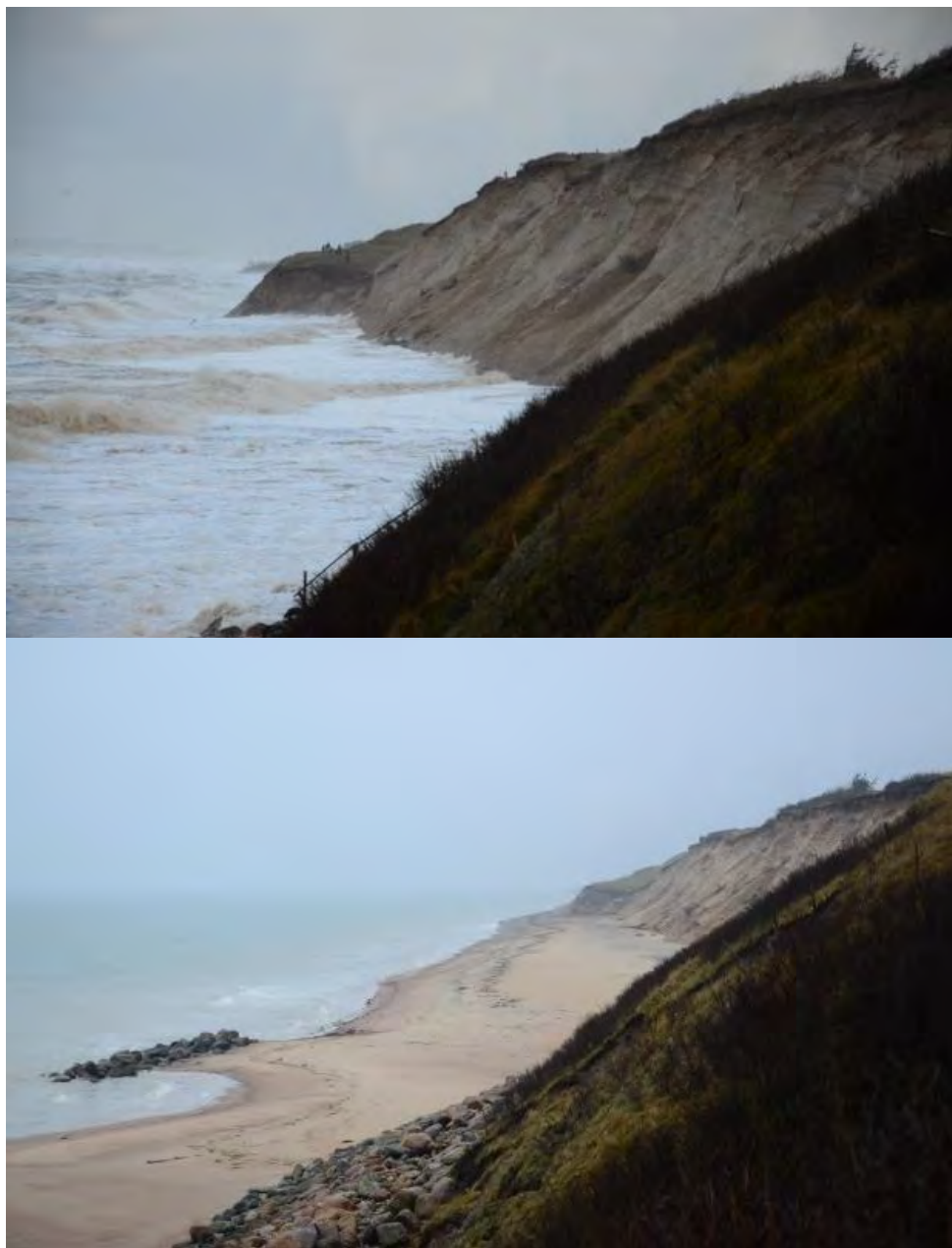
Figur 7-59 viser den kraftige kysttilbagerykning af den ubeskyttede skråning i forbindelse med stormen Bodil, som tog mellem 5 og 10 m af skrænten på denne udsatte strækning.

Sammenlignes Figur 7-59 og Figur 7-58 ses, at den brede strand, som blev skabt af Bodil nu er eroderet væk som følge af læsideerosionen på strækningen.



Figur 7-58 *Fremskreden læsideerosion langs Vincentstien øst for bølgebryderne. Vincentstien er i dag forsvundet, 2016. Foto: Jesper Lund*





Figur 7-59 *Vincentstien mod Heatherhill under (øverst) og efter (nederst) stormen Bodil 06. 12. 2013. Nederst ses en bred strand som følge af kraftig tilbage-rykning af skrænten*

#### 7.4.5 Heatherhill til Rågeleje

Figur 7-60, Figur 7-61 og Figur 7-62 viser kysten mellem Heatherhill og Rågeleje.

Fra Heatherhill er der en strækning ned mod Rågeleje, hvor der ikke er bebyggelse langs klinten. Det betyder, at kysten har udviklet sig naturligt, og der er derfor ikke er nævneværdige kystbeskyttelseskonstruktioner på strækningen. Klinterne er i stedet beskyttet af en bred naturlig rullestensstrandvold med en højde på op til kote +2,0 til +2,5m, se Figur 7-63. Der er kun i begrænset omfang tegn på erosion af skræningen på strækningen ned mod Strandbjerggård.



Figur 7-60 Flyfoto mellem Heatherhill og Rågeleje med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år.  
Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014



Figur 7-61 Kysten fra Heatherhill til Rågeleje med bred ralstrand



*Figur 7-62 Kysten omkring den gamle bølgebryder i Rågeleje, som nu ligger som et stenrev under daglig vande. Luvside-aflejring mod sydvest og læside-erosion mod nord-øst*



*Figur 7-63 Bred naturlig rullestensstrandvold ved Heatherhill beskytter mod erosion af skrænten, 2009*

Ud for Strandbjerggård Camping er der en række gamle høfder, som har medvirket til at stabilisere strandvoldene nordøst for Heatherhill, se Figur 7-64. Stranden er opbygget af rullesten og der er et bredt bagland.



Figur 7-64 Bred rullestensstrand med nedslidte hølfer ved Strandbjerggård, 2009

Bebyggelsen ligger tilbagetrukket ned mod Rågeleje og er således ikke direkte truet af erosion, men der er dog sket en del erosion i den lave skrænt under stormen, Bodil.

Sydvest for Rågeleje ændrer kysten gradvist orientering, som følge af luvsideindsandingen ved Rågeleje Bølgebryderen. Det betyder, at stranden naturligt er mere sandet, se Figur 7-65. Derfor er der dannet et smalt kystfremspring af sand i læ bag bølgebryderen, se Figur 7-66.



Figur 7-65 Bred rullestensstrand vest for Rågeleje, 2009



Figur 7-66 Resterne af bølgebryderen ved Rågeleje ligger i dag som et lavvandet rev, 2009

#### 7.4.6 Rågeleje til Trillingerne

Figur 7-67 og Figur 7-68 viser kysten mellem Rågeleje Bølgebryderen og Trillingerne.



Figur 7-67 Kysten mellem Rågeleje til Trillingerne med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år.  
 Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014.

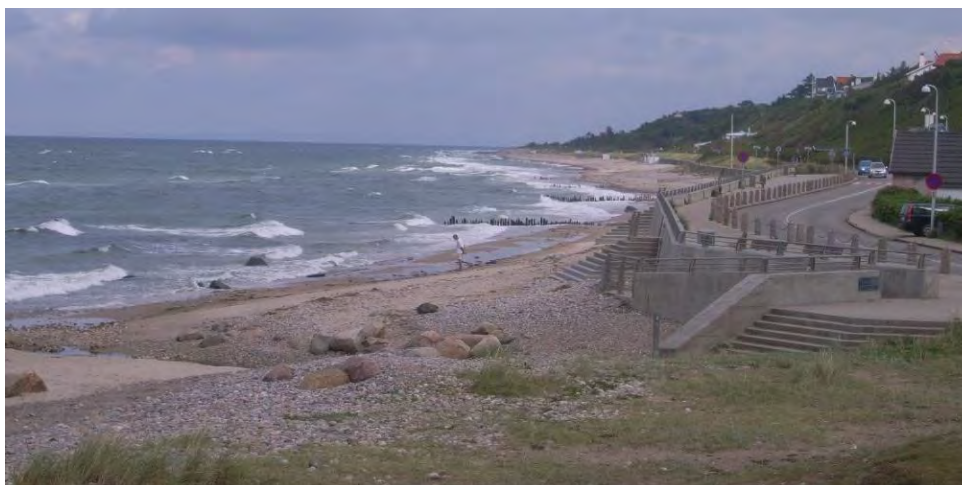


Figur 7-68 Rågeleje Strandvej set fra Helsingevej mod Trillingerne

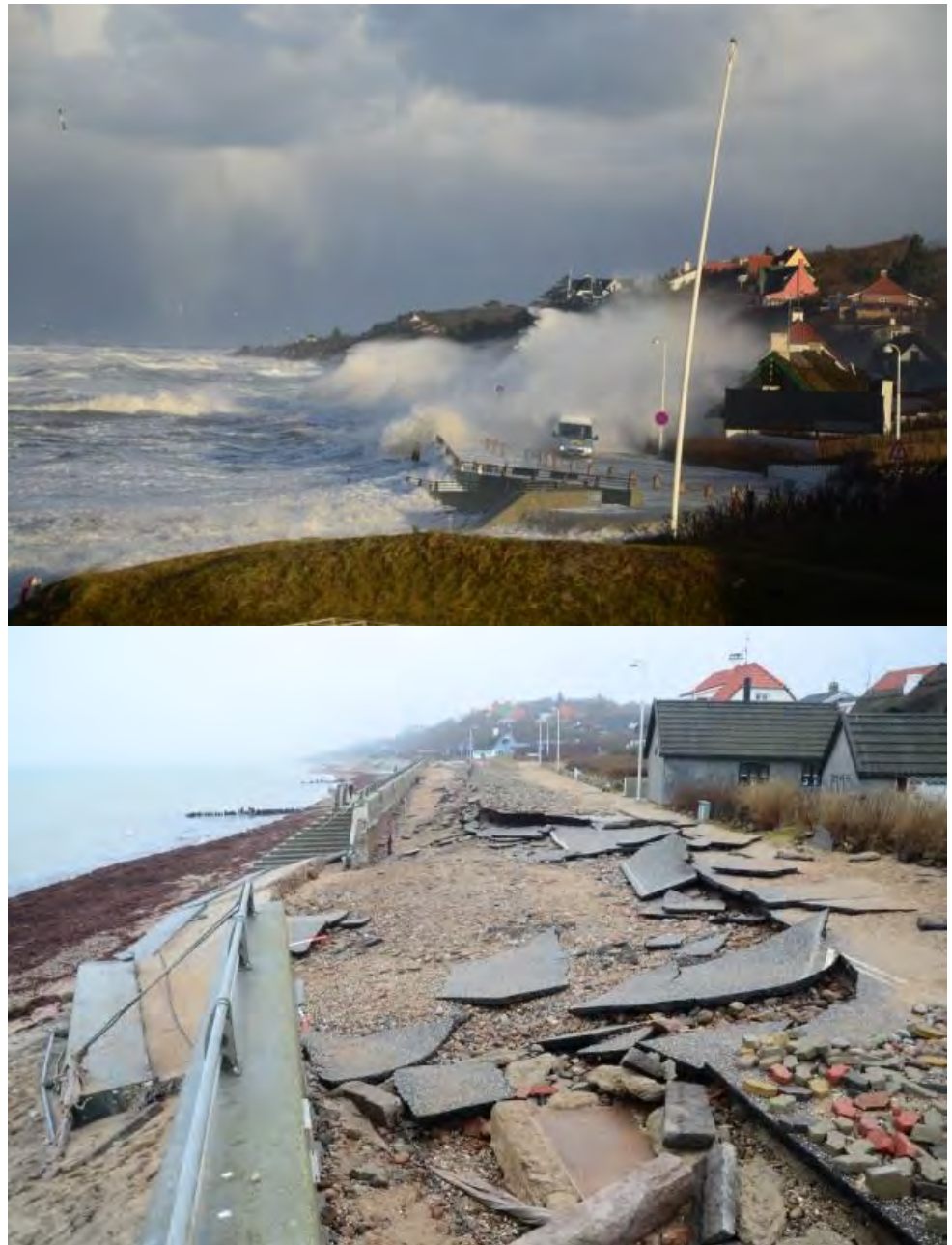
Kysten langs Rågeleje Strandvej består af groft sand og ral.

Læsideerosionen fra bølgebryderen har medført, at det har været nødvendigt at opføre en stor betonmur langs strandvejen, se Figur 7-69. Læsideerosionen er dog i dag ikke så stor som tidligere, da bølgebryderen er faldet sammen.

Under Bodil blev betonmuren og strandvejen kraftigt beskadiget som følge af stor vanddybde foran og kraftig bølgeoverskyl, se Figur 7-70. Betonmuren og vejen er efterfølgende blevet repareret.



Figur 7-69 Stor betonmur langs kystvejen i Rågeleje, 2009



*Figur 7-70 Rågeleje Strandvej under (øverst) og efter (nederst) stormen Bodil 06.12.2013.  
Stormen medførte omfattende skader på betonmuren og vejen*

Læsideerosionen som følge af Rågeleje Bølgebryderen fortsætter mod nordøst, hvor der er etableret en nyere gruppe træhøfder ud mod Trillingerne, se Figur 7-71. Stranden er bredere centralt på strækningen.



Figur 7-71 Ral og sandstrand langs Rågeleje Strandvej, 2009

Kystfremspringet ved Trillingerne er mere erosionsresistent og sandstranden afløses her af ralstrand i takt med, at vanddybden ud for kysten øges og kysten ændrer orientering.

Denne strækning har været udsat for erosion, og der er derfor etableret en ny kraftig fremskudt skråningsbeskyttelse langs strandvejen i dens østlige ende. Imidlertid har skråningsbeskyttelsen betydet, at stranden er næsten forsvundet ud for Rågeleje Strandpark og vanddybden er forholdsvis stor foran, se Figur 7-72.



Figur 7-72 Stor ny fremskudt skråningsbeskyttelse ved Rågeleje Strandpark



### 7.4.7 Trillingerne til Havstokken

Figur 7-73 og Figur 7-74 viser kyststrækningen mellem Trillingerne og Havstokken.

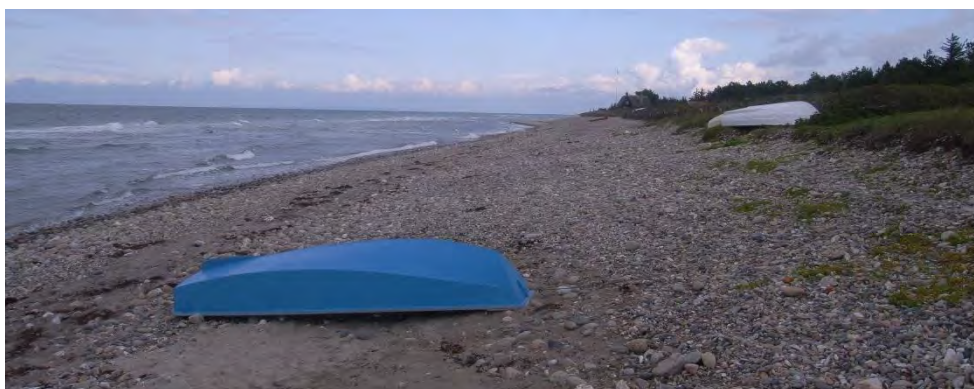


Figur 7-73 Strækningen Trillingerne til Havstokken med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år.  
 Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014



Figur 7-74 Kysten mellem Trillingerne og Havstokken

Kysten er domineret af en række mindre kystfrespring med ral og en række svagt markerede bugter ind imellem. Umiddelbart øst for Trillingerne er der en naturlig ralstrand, som beskytter kystgrundene mod erosion, se Figur 7-75 og Figur 7-76. Der er kun få mindre kystbeskyttelseskonstruktioner på strækningen ned mod Kampenhaus, hvor der er et større kystfrespring, se Figur 7-77.



Figur 7-75 Rullestensstrand øst for pynten ved Trillingerne, 2009



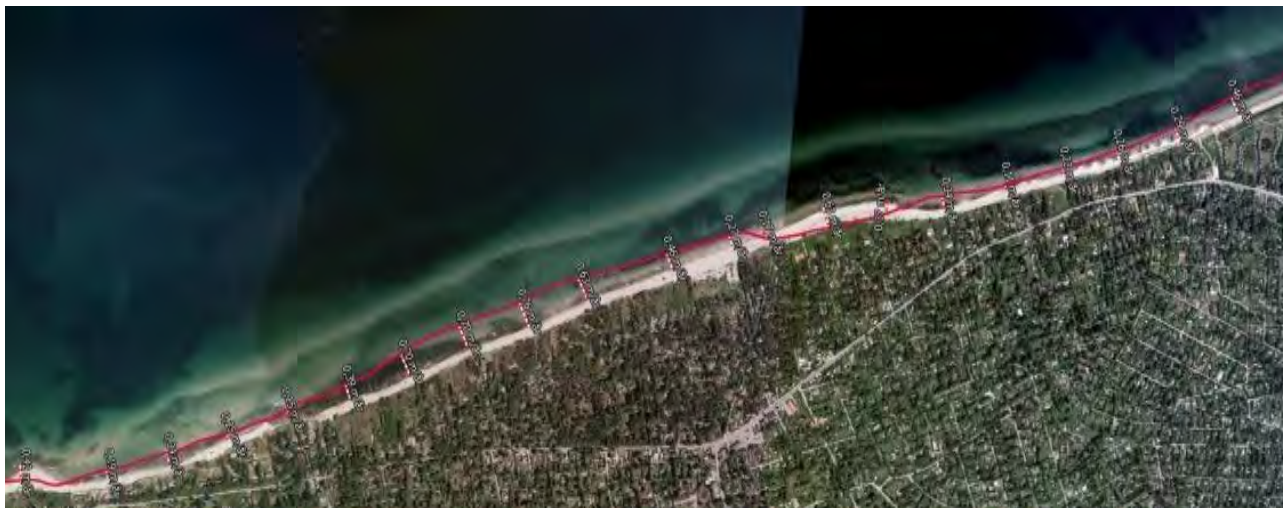
Figur 7-76 Rullestensstrand ved Argusvej og A.P. Møller-grunden, 2009



Figur 7-77 Kystfrespringet ved Kampenhaus, 2009

### 7.4.8 Havstokken til Feriebyen

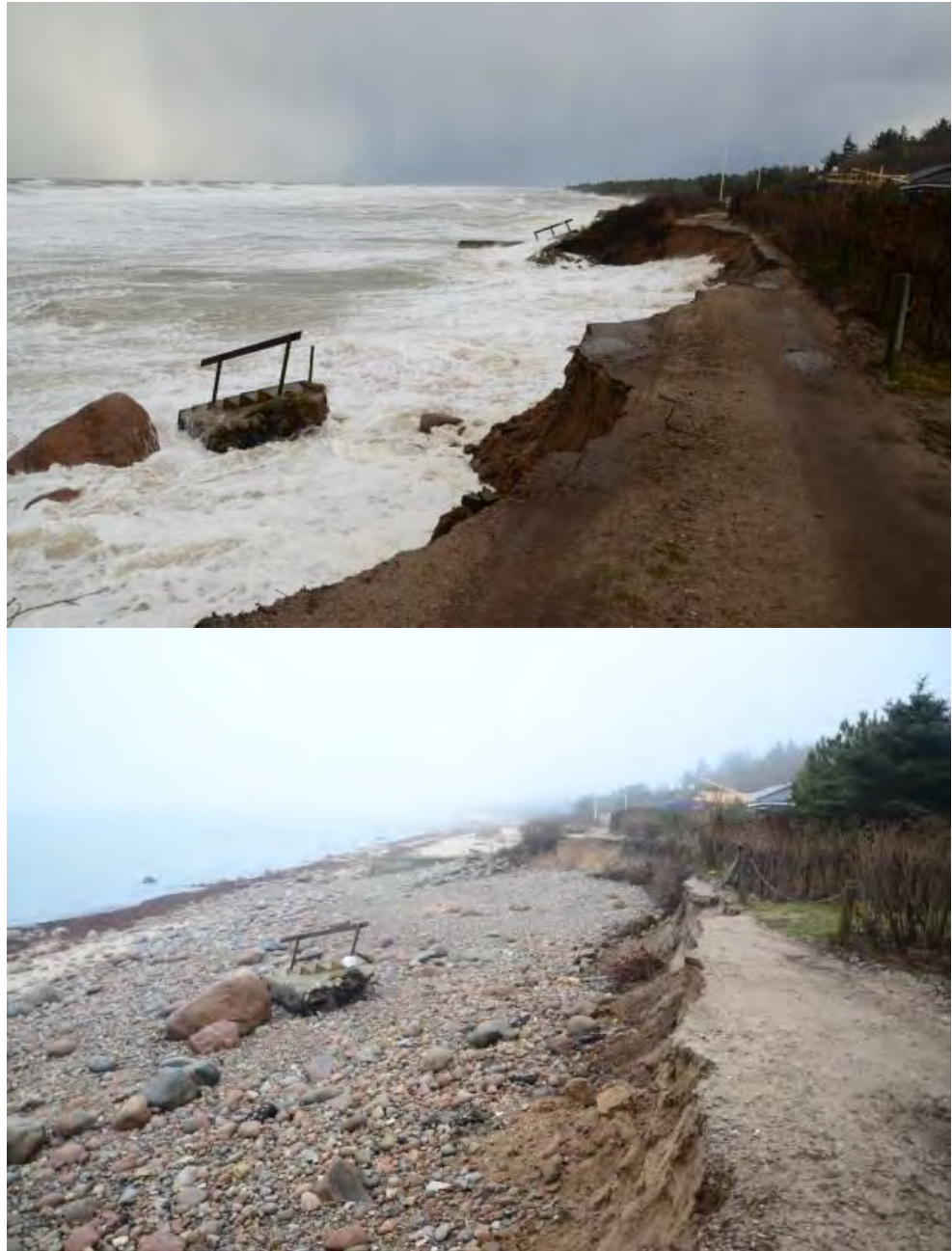
Figur 7-78 viser kysten fra Havstokken til Feriebyen.



Figur 7-78 Kysten mellem Havstokken til Feriebyen med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år.

Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

Øst for kystfremspringet ved Kampenhaug er stranden typisk dækket af ral med sand ind imellem. Der flere steder store massive skråningsbeskyttelser som ved Havstokken, hvor stormen Bodil ødelagde den hævede grusvej og eroderede op til ca. 8 m af skråningen, se Figur 7-79.



*Figur 7-79 Havstokken under (øverst) og efter (nederst) stormen Bodil 06.12.2013.*



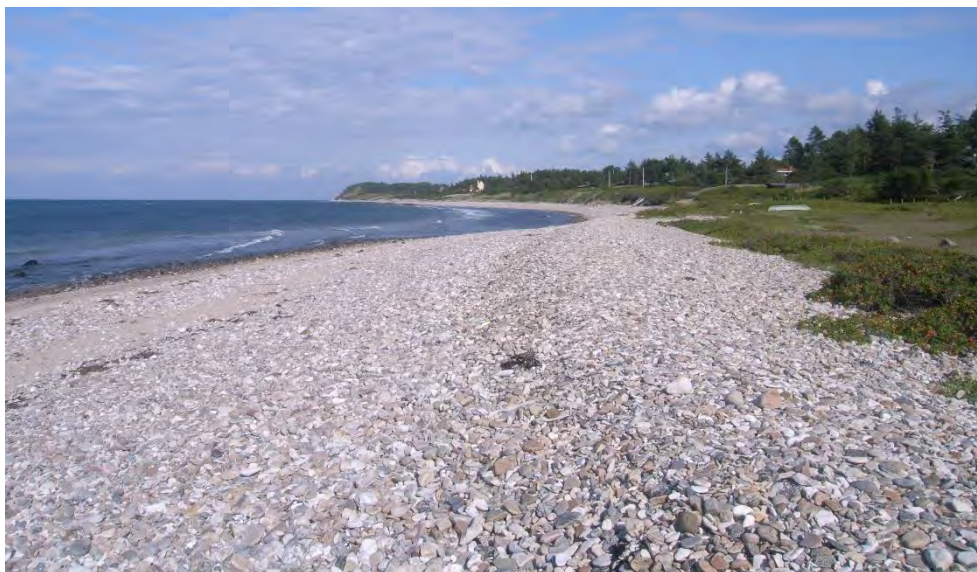
Figur 7-80 Skråningsbeskyttelse og bølgebryder ved Strandbakkevej

På kyststrækningen mellem Mejsevej og Mørbærvej er der på nuværende tidspunkt næsten ingen hård kystbeskyttelse. Der er mindre erosion af bagstranden, men husene i første række ligger generelt tilbagetrukket, hvilket betyder, at der ikke er fare for bebyggelsen i nær fremtid.



Figur 7-81 Naturlig ral og sandstrand ved Rylevej

Øst for parkeringspladsen ved Smidstrup Søvej findes en trekantet strandvoldsformation på en strækning på ca. 500m, som langsomt vandrer mod nordøst, Figur 7-82. Denne naturlige kystform beskytter baglandet mod erosion og har skabt et bredt forland, som er dækket af vegetation.



Figur 7-82 Bred rullestensstrandvold ved kystfremspringet ved Fagerhøjvej, 2009

På strækningen mellem Tinkerup Strand og Gilbjerg Ferieby har der været erosion af stranden, som sandsynligvis skyldes den store strandvoldsformation vest herfor, som blokerer en del af den kystparallelle materialevandring. Her er etableret en række bølgebrydere, som har skabt en række smalle sand- og ralstrande ind imellem, se Figur 7-83 og Figur 7-84.



Figur 7-83 Smal sandstrand bag bølgebryderne ved Tinkerup Strandvej



*Figur 7-84 Smal sandstrand bag bølgebryderne ved Tinkerup Strandvej under stormen Bodil og i 2016*

#### 7.4.9 Feriebyen til Gilleleje Havn

Figur 7-85 viser kysten mellem Feriebyen og Gilleleje Havn.

Øst for Feriebyen er der en naturlig ralstrand foran de høje klinter ved Gilbjerg Hoved, der ligger som et prominent forbjerg centralt på strækningen. Klinteren er i den vestligste ende udsat for erosion, og der er således friske skred langs bagstranden, hvor vegetation og sedimenter skrider ned på stranden og eroderes bort af bølgerne i forbindelse med ekstreme højvande og bølgepåvirkning, se Figur 7-86.







Figur 7-87 *Smal stenstrand beskyttet af små bølgebrydere og skråningsbeskyttelse ved Gilbjergstien, 2009*

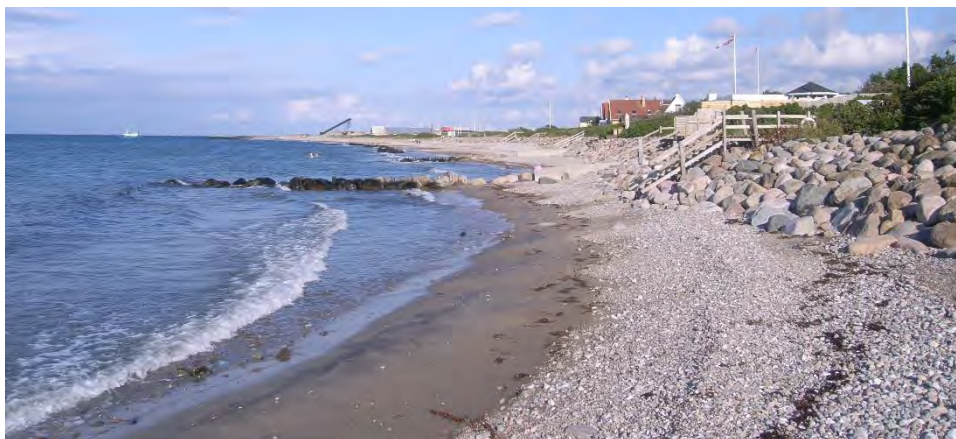
Ved Børstrup Hage er der blevet etableret et lavvandet stenflak langs stranden. Stenflakket bryder og refrakterer bølgerne således, at de bliver mindre og mere parallelle med kystlinjen. Stenflakket har derved skabt en relativ ensartet bred ral- og sandstrand. Dette betyder, at passage og ophold foran strandgrundene er muligt langs hele strækningen på trods af, at der er en stor bølgeindfaldsvinkel langs kysten.



Figur 7-88 *Stenflak med ral og sandstrand ved Børstrup Hage, 2009*

Øst for stenflakket er stranden smal og flere steder næsten forsvundet mellem de små høfder.

Figur 7-90 viser kysten på begge sider af Gilleleje Havn med luvside-aflejring og læside-erosion.

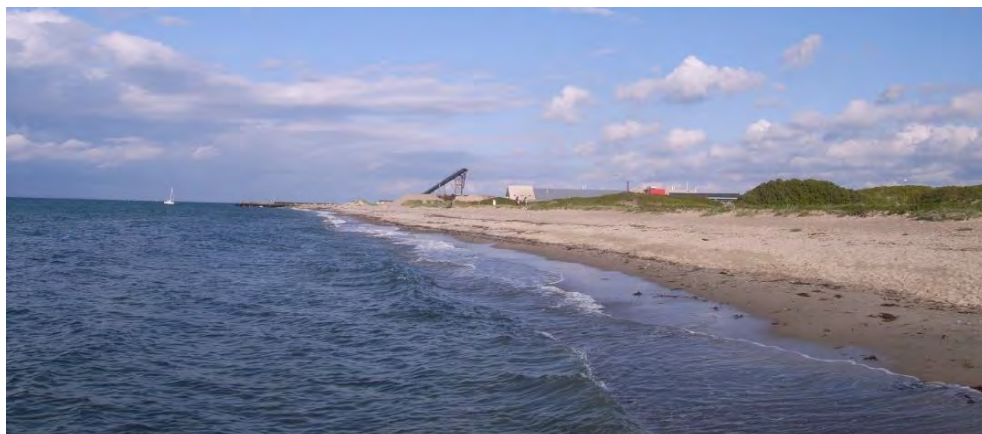


Figur 7-89 Kysten øst for stenflakket ved Børstrup Hage er beskyttet af små hølfer og kraftige skråningsbeskyttelser og stranden er meget smal, 2009



Figur 7-90 Gilleleje Havn og stranden opbygget vest herfor

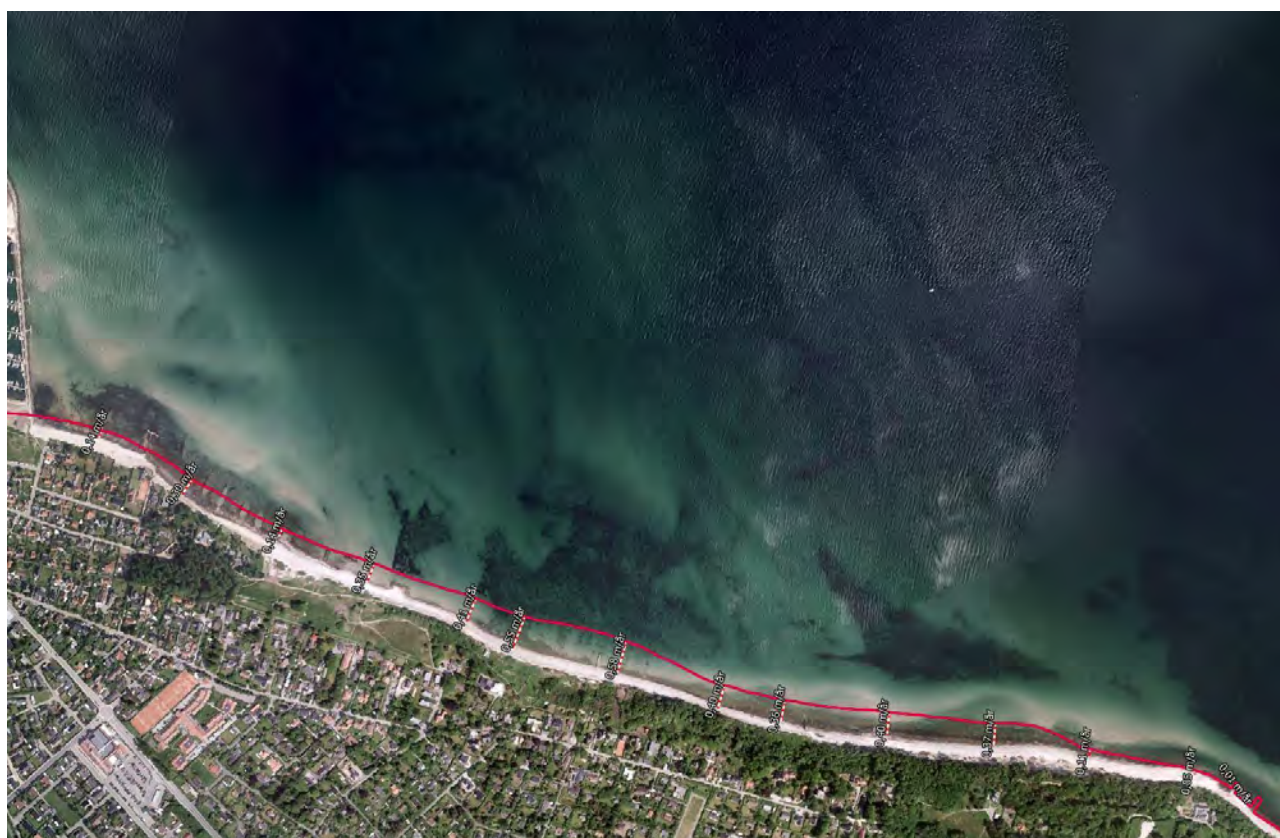
Vest for Gilleleje Havn har luvsidaeaflejringerne skabt en bred ral og sandstrand. Den del af stranden, som ligger nærmest havnen benyttes i dag kommercielt til indvinding af ral og grus. En del af det sand der vandrer langs kysten aflejres på stranden vest for havnen, og resten vandrer ud i sejlrenden. Kun en mindre del af transporten vurderes naturligt at vandre forbi havnen.



Figur 7-91 Bred sandstrand vest for Gilleleje Havn, 2009

#### 7.4.10 Gilleleje Havn til Nakkehoved

Figur 7-92 viser kysten øst for Gilleleje Havn.



Figur 7-92 Kysten mellem Gilleleje Havn og Nakkehoved med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år. Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

Øst for Gilleleje Havn er kysten rykket tilbage på grund af læsideerosion, som skyldes, at havnen delvist blokerer den kystparallelle materialevandring. Strand og strandplan er præget af erosion og mangel på sand. Øst for havnen er et bredt lavvandet flak. Strømmen foran kysten og dermed flakket vil naturligt forsøge at udligne havnens fremspring på kysten og har overlejtret den yderste del af flakket med en revle. Denne leder det sand, som under kraftige storme transporteres uden om havnen tilbage til stranden øst herfor, hvor den hæfter på kysten ved Strandbakkerne.

Der foretages årligt oprensning af indsejlingen ved Gilleleje Havn. Der er gennem tiderne givet tilladelse til oprensning af 15.000 m<sup>3</sup>/år, og i 2016 en to-årig tilladelse til 50.000 m<sup>3</sup>/år. Havnen har tilladelse til nyttiggørelse af sandet og dumper det på nuværende tidspunkt på 4 m vand øst for havnen. Der er desuden givet tilladelse til indvinding af ral og sten på stranden vest for Gilleleje Havn. Der indvindes årligt mellem 800 og 1200 m<sup>3</sup>.

Der udføres også løbende sandfodringer umiddelbart øst for havnen samt ved strandbakkerne for at opretholde en attraktiv sandstrand om sommeren. Som udgangspunkt er den naturlige strand mellem havnen og Strandbakkerne dog smal og stenet, når/hvis der ikke sandfodres.

Det er normalt forholdsvis små mængder sand, der udlægges ved Strandbakkerne, hvilket hurtigt kan forsvinde i forbindelse med kraftig pålandsvind, da bølgeindfaldsvinklen generelt er stor.



Figur 7-93 Smal strand med mange små nedslidte konstruktioner øst for Gilleleje Havn (inden sandfodring blev foretaget), 2009



Figur 7-94 Et tyndt lag sandfodring dækker midt på sommeren stenstranden ved Strandbakkerne, 2009

Øst for Strandbakkerne er der en kraftig skråningsbeskyttelse, som beskytter skråningerne mod erosion, men som samtidig har betydet, at stranden helt er forsvundet. Denne skråningsbeskyttelse blev kraftigt beskadiget under Bodil. Det er i dag ikke muligt at gå langs kysten fra Strandbakkerne til Nakkehoved Fyr. Fra Strandbakkerne til Nakkehoved er stranden og strandplanet præget af store sten, der er dog sandrevler længere ude i profilet.



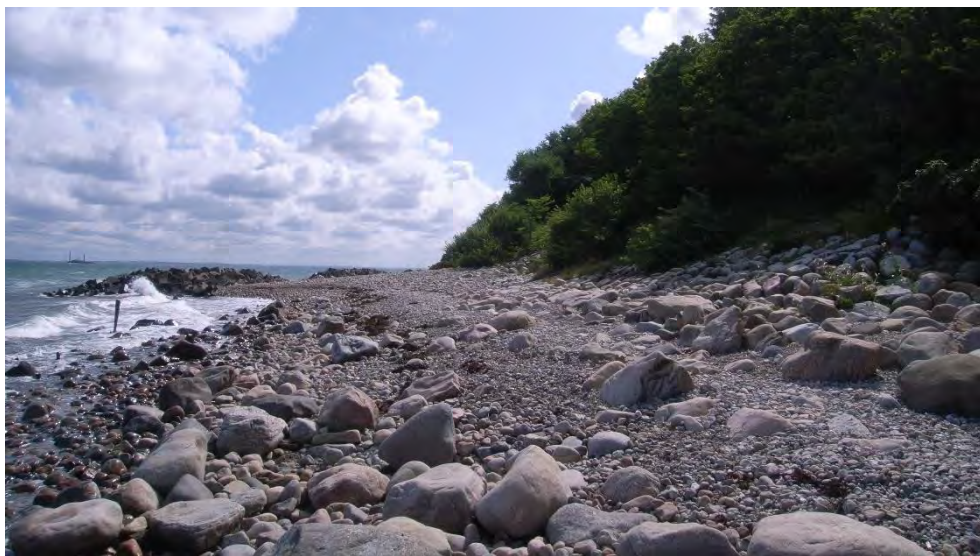
Figur 7-95 Kraftig skråningsbeskyttelse uden strand øst for Strandbakkerne, 2009



Figur 7-96 Naturlig kyst med erosion af skrænten ved Nakkehoved, 2009

Vest for Nakkehoved Fyr er skrænterne ubeskyttede og derfor udsat for erosion. Klinterne står uden vegetation nogle steder. Stranden er mod øst dækket af ral, men bliver gradvist mere stenet ud mod fyret. Der er kun få huse i nærheden af klinten, som derfor får lov til at udvikle sig naturligt.

Ved Nakkehoved Fyr er der etableret to bølgebrydere med betonblokke. Den vestligste har opbygget en tombolo af ral og beskytter således til dels ralstranden vest herfor. Der er etableret en flad skråningsbeskyttelse ved bølgebryderne, som medvirker til at stabilisere skrænten.



Figur 7-97 Bølgebrydere og skråningsbeskyttelse ved Nakkehoved Fyr, 2009

Ved Nakkehoved Fyr er vanddybden stor inde under land samtidig med, at bølgerne generelt har skråt indfald. Der er derfor næsten ingen sand på stranden rundt om pynten. Efter Bodil er der dog (midlertidigt) kommet sand tilbage omkring Nakkehoved.

#### 7.4.11 Munkerup

Figur 7-98 viser kysten ved Munkerup.



Figur 7-98 Kysten ved Munkerup med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjændring i m/år. Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

Kysten ændrer orientering på strækningen, hvilket afspejles i det sediment der findes på stranden.

Øst for Nakkehoved er stranden naturligt dækket af store sten, som er vasket ud fra klinterne. Strækningen er svært fremkommelig. Den omfattende naturlige stenbrolægning af stranden beskytter naturligt skråningerne mod erosion. Der er næsten ingen menneskeskabt kystbeskyttelse på strækningen.



Figur 7-99 Naturlig stenstrand øst for Nakkehoved Fyr, 2009



Figur 7-100 Små nedslidte træhøfder og ralstrand ved Jacobslystvej, 2009

Ved Jacobslystvej kan man finde rester af en række gamle sten- og træhøfder. Høfderne vedligeholdes generelt ikke, men de største stenhøfder har stadig en mindre effekt på strandvolden langs kysten.

Munkerupgård bølgebryderen er aldrig blevet landfast i form af en tombolo, men har dog skabt en lille salient (bule på kysten) af sand bagved. Generelt, er stranden opbygget med en høj rullestensstrandvold.





Figur 7-101 *Små nedslidte træhøfder og ralstrand samt den store bølgebryder ved Munkerup Gård, 2009*

Ved Munkerup er der anlagt en række effektive stenhøfder, som i betydelig omfang medvirker til at stabilisere den brede rullestensstrandvold, se Figur 7-103. Denne beskytter også skråninger som på enkelte strækninger også er beskyttet med skråningsbeskyttelse. Der er desuden mindre områder med sand og vanddybden er forholdsvis beskednen.



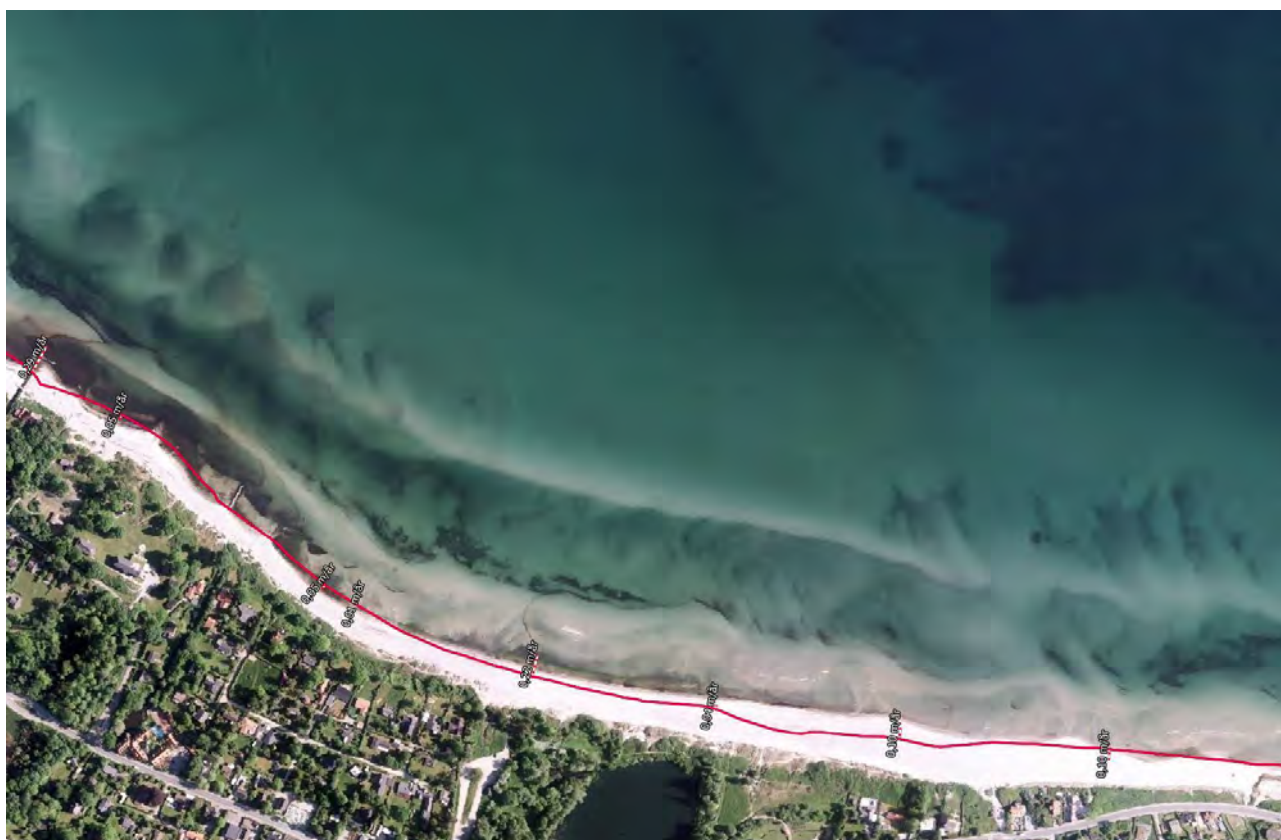
Figur 7-102 *Velfungerende stenhøfder og ralstrand ved Munkerup, 2009*



Figur 7-103 Ralstrand ved Munkerup, 2009

#### 7.4.12 Dronningmølle

Figur 7-104 og Figur 7-105 viser kysten ved Dronningmølle.



Figur 7-104 Dronningmølle med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år. Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014



*Figur 7-105 Kysten ved Dronningmølle*



*Figur 7-106 Vestlig del af sandstrand ved Dronningmølle, 2009*

Fra Esrum Ås udløb ved Hulerød og ned til Dronningmølle bliver ralstranden gradvist afløst af en bred attraktiv sandstrand. Sandstranden er relativt stabil ved Dronningmølle og der findes klitter langs bagstranden hen forbi Pandehave Å's udløb.



Figur 7-107 Vestlig del af sandstrand ved Dronningmølle, 2009

Øst for Pandehave Å's udløb bliver stranden gradvist smallere og der er etableret skråningsbeskyttelse langs den offentlige sti, som løber foran strandgrundene.



Figur 7-108 Østlig del af sandstrand ved Dronningmølle, 2009

#### 7.4.13 Villingebæk

Figur 7-109 viser kysten ved Villingebæk.



Figur 7-109 Kysten ved Villingebæk Hage med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år. Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

Ved Villingebæk Hage ændrer kysten orientering og fremstår som et lokalt forbjerg, hvor der har været relativt stor erosion. For at imødegå yderligere erosionen er der en sammenhængende skråningsbeskyttelse og i alt 14 høfder rundt om pynten. Anlægget er retableret efter omfattende beskadigelse i forbindelse med stormen Bodil.

Visse steder er stranden meget smal lige vest for Hagen, hvor vandet går næsten ind til skråningsbeskyttelsen. Lidt længere mod øst er der et bredt lavvandet abrasionsflak med mange sten i ralstørrelse.

For at sikre adgang langs kysten er der landværts for skråningsbeskyttelsen anlagt en offentlig sti.



Figur 7-110 Ny-renoveret stenhøfder og skråningsbeskyttelse med ralstrand foran og Nordkyststien ved Villingebæk Hage, 2016



Figur 7-111 Abrasionsflak med mange ralsten ved Villingebæk Hage



Figur 7-112 Nordkyststien giver mulighed for adgang langs kysten for gående og cyklister på hele strækningen ved Villingebæk Hage, 2016

#### 7.4.14 Villingebæk til Hornbæk

Figur 7-113 viser kysten mellem Villingebæk Hage og Hornbæk Havn.



Figur 7-113 Kysten mellem Villingebæk og Hornbæk Havn med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år. Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014

Kyststrækningen fra Villingebæk Hage til Hornbæk Havn betegnes som akkumulationsområde med aflejring af sand fra vest og med væsentlig luvsideaflejring ved Hornbæk Havn.

Lejlighedsvis bliver der bypasset sand fra vestsiden af Hornbæk Havn til stranden øst for havnen og Julebæk Strand, fordi sandakkumulationen og klittilvæksten bliver for dominerende i lokalområdet og for havnen.



Figur 7-114 Sandstrand og lavvandet bugt ved Horneby Sand mellem Villingebæk Hage og Hornbæk Havn





Hornbæk Havn blokerer delvist den naturlige sedimenttransport mod øst, og der er derfor en stor tilsanding vest for havnen, og en tilsvarende erosion øst herfor. Ved indsejlingen til Hornbæk Havn oprenses årligt i størrelsesordenen 14.000 m<sup>3</sup>.

Øst for havnen har sandet svært ved at bevæge sig helt ind på kysten, hvilket skaber et underskud af sand og erosion på læsiden af havnen.

Dette er medvirkende til, at der ved storme sker markant erosion langs kysten øst for havnen. Under stormen Bodil skete der en kraftig kysttilbagerykning langs Hornbæk Plantage, som for en stor dels vedkommende er ubeskyttet.



*Figur 7-117 Erosion af kysten øst for Hornbæk under stormen Bodil*

Der er en del sand i profilet og på revlen langs Hornbæk Plantage, men stort set ingen sand på stranden, der er meget stenet.

Figur 7-118 viser kysten langs Hornbæk Plantage.

Mellem Skibstrup/Ellekilde og Ålsgårde er der en beskyttet stenkyst med sandrevler. Denne strækning er præget af sandmangel og er tæt bebygget. Strækningen er beskyttet med tætliggende høfder og bølgebrydere samt skråningsbeskyttelser.

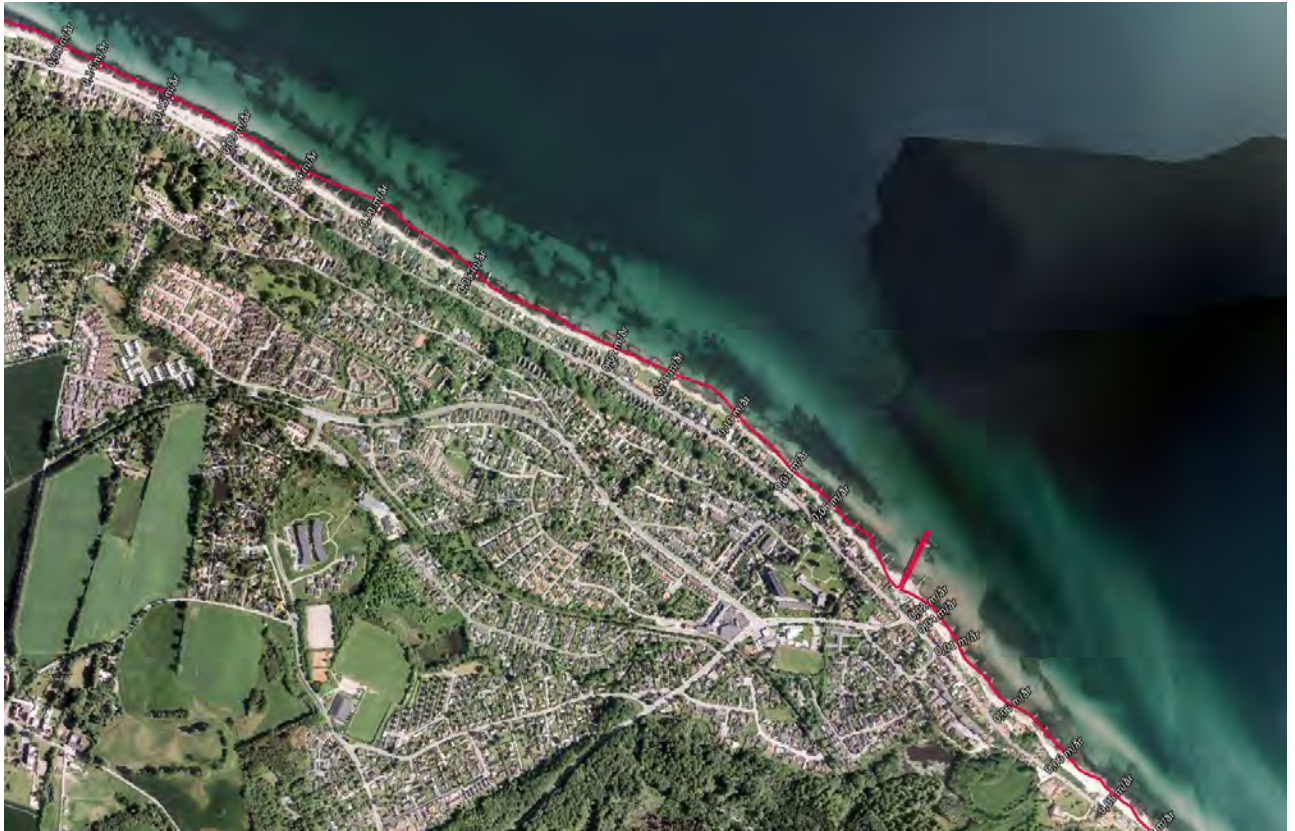
#### 7.4.16 Ålsgårde

Figur 7-119 viser kysten ved Ålsgårde.

Den 2,3 km lange kyststrækning, der administreres af Ålgårde Kystsikringslag, er gennem tiderne beskyttet med hårde kystbeskyttelse og herunder stenskråninger og betonmure.



*Figur 7-118 Kysten langs Hornbæk Plantage*



Figur 7-119 Kysten ved Ålsgårde med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år.  
Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014



Foto 7-139 Typisk skråningsbeskyttelse ved Ålsgårde med betonmur og stenskråning foran

Tidligere var der træhøfder på strækningen, som dog senere er erstattet af stenhøfder og bølgebrydere.



*Figur 7-120 Ålsgårde kystlag - Typisk beskyttelse på strækningen*

I 1980-erne blev det samlede anlæg repareret og udvidet efter tilladelse fra Kystdirektoratet.

Efter Bodil, hvor anlæggene led betydelige skader, er der foretaget en gennemgribende reparation indenfor de foreliggende tilladelser.

Ved lettere forhøjet vandstand er det ikke muligt tørskoet at færdes langs kystlinjen, da stranden er forsvundet på en del af strækningen. Passage vanskeliggøres tillige af de mange bade- og bådebroer der er anlagt.

På luvstrækningen ved Langebro forekommer en smallere strandbred med ral- og sand materialer.



Figur 7-121 Ålsgårde vest for Langebro

#### 7.4.17 Ålsgårde til Helsingør

Figur 7-122 og Figur 7-123 viser kysten fra Ålsgårde til Helsingør.

Øst for Ålsgaarde ved Hellebæk er der fortsat en smal stenet strand og omfattende hård kystbeskyttelse. Strandplanet bliver gradvist mere sandet ned imod Julebæk Strand. Hellebæk strand kan karakteriseres som en stenkyst med sandrevler.

Julebæk strand er derimod en sandkyst med sandbanker og stenområder i varierende omfang. Her er en smal sandstrand med lidt ral beskyttet med tætliggende høfder. Såvel strand som strandplan består af sand og er en årrække fodret med ca. 4.000 m<sup>3</sup> /år med sand fra Hornbæk Strand.

Fra Hellebæk til Marienlyst er bunden præget af nord-sydgående revler.

Fra Højstrupgård til Marienlyst overgår kysten igen til at være beskyttet stenkyst, men stadig med sand revler langs kysten.



Figur 7-122 Kysten mellem Ålgårde og Helsingør med nuværende kystlinje og rød linje markerer kystlinje i 1897 samt kystlinjeændring i perioden i m/år.  
Kilde: Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T., 2014



Figur 7-123 Kysten fra Ålgårde til Helsingør

Fra Marienlyst er kysten præget af den omfattende tilsanding NV for Helsingør Nordhavn ved Gummistranden. Såvel strand som strandplan består af sand. Navnet Gummistranden stammer fra 1930'erne, hvor Tretorns Gummifabrik lå på dette sted.



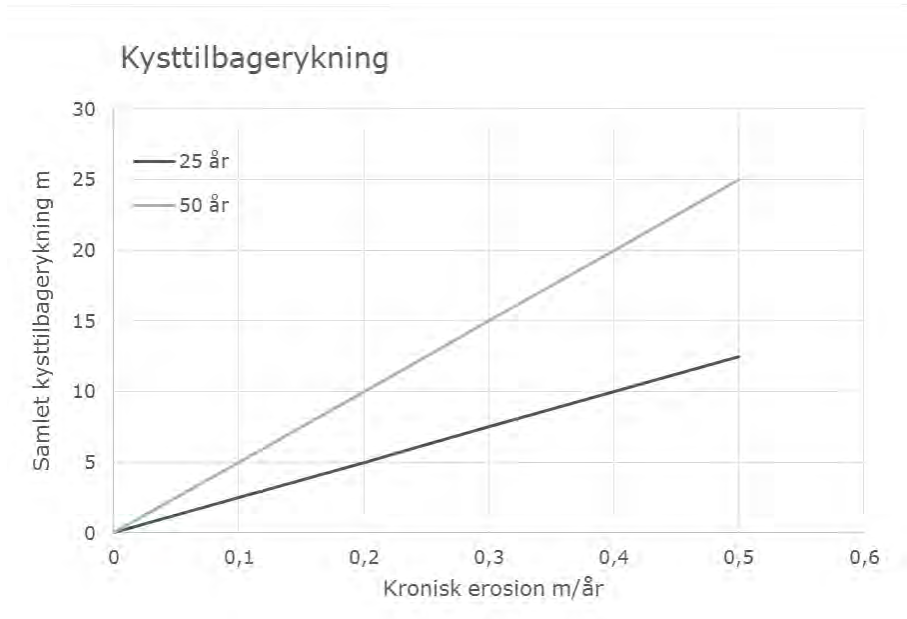
Figur 7-124 Helsingør med Nordhavnen, Gummistranden og Marienlyst

## 7.5 Forventet fremtidig kronisk erosion

De historiske kroniske erosionsrater er bestemt ud fra kystudviklingen over en lang periode mellem 1897 og 2003, se Figur 7-12. Analysen af den historiske kysterosion har vist, at der er en generel kronisk erosion langs Nordkysten.

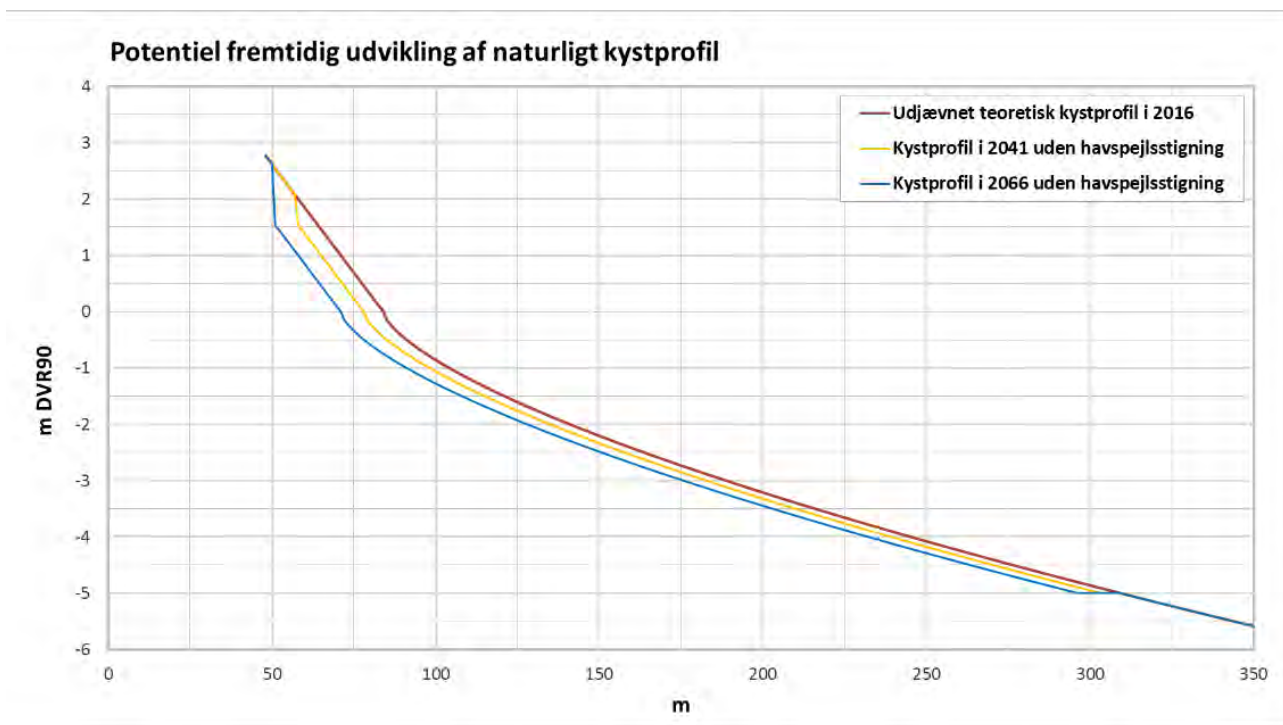
På trods af de listede usikkerheder foreslås det at benytte de estimerede historiske kroniske erosionsrater til at beskrive den fremtidige kroniske erosion langs Nordkysten. Figur 7-125 viser en fremskrivning af den historiske erosion de næste 25 og 50 år for forskellige kroniske erosionsrater.

Ud fra en gennemsnitsbetragtning vurderes det teoretisk, at Nordkysten i middel vil rykke tilbage med i størrelsesordenen 0,25m/år svarende til 6 m på 25 år og 13 m på 50 år, se Figur 7-125. Dette er en teoretisk betragtning, idet kysten tidligere nemmere kunne rykke tilbage end i dag, hvor der er så mange konstruktioner på kysten.



Figur 7-125 Fremtidig typisk kronisk erosion af kystprofilet på Nordkysten

Figur 7-126 viser tilbagerykningen af et naturligt og ubeskyttet udjævnet kystprofil på Nordkysten. Profilet vist på Figur 7-23 er benyttet som udgangspunkt for analysen. Den kroniske erosion foregår i hele kystprofilet fra toppen af skrånningen ud til den aktive dybde omkring -5,0m DVR90.

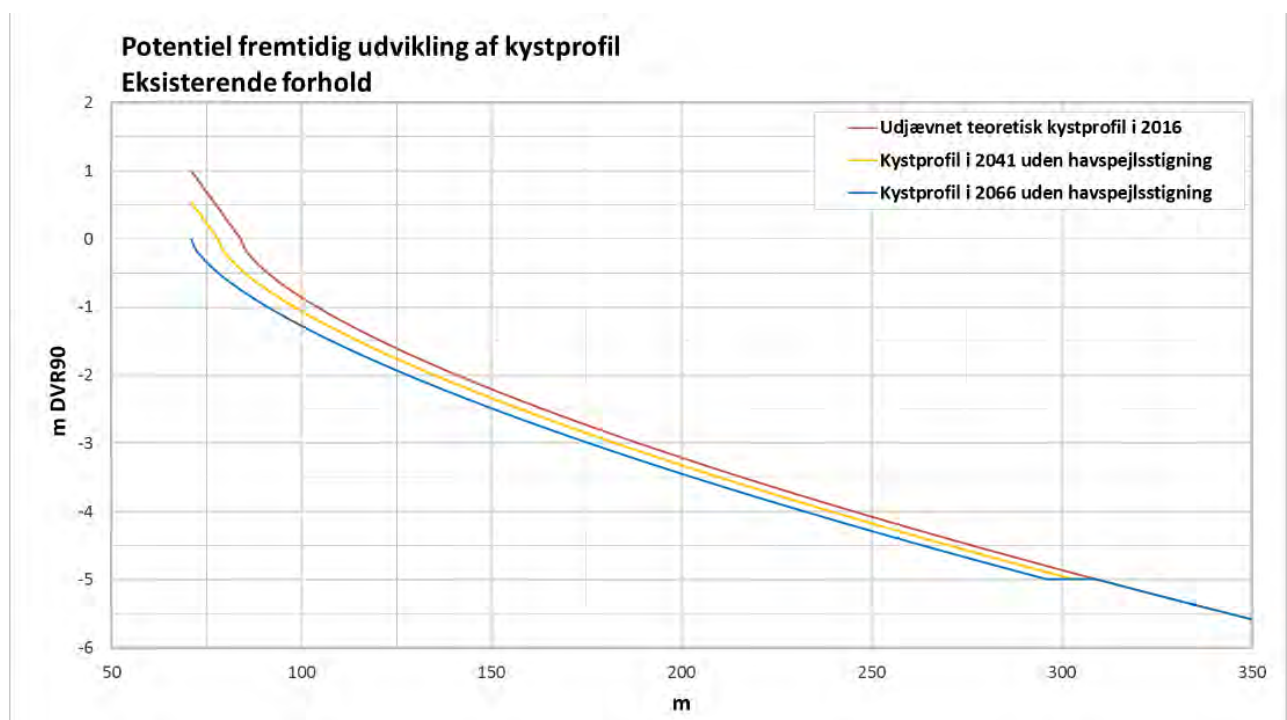


Figur 7-126 Fremtidig typisk kronisk erosion af naturligt kystprofil på Nordkysten svarende til 0,25m/år i år 2041 og 2066



Figur 7-126 viser, hvorledes kysten ved Melby Overdrev kan tænkes at udvikle sig de næste 25 og 50 år som følge af kronisk erosion uden yderligere beskyttelse. De store klitter vil give et betydeligt bidrag som en naturlig strandfodring i den kystnære zone. Sandet vil bidrage til sedimentbudgettet på Nordkysten øst for Tisvildeleje. Dette bidrag er dog ikke nok til at forhindre yderligere erosion langs kysten mod nordøst.

Figur 7-127 viser tilbagerykningen af et karakteristiske kystprofil på Nordkysten med strand op til kote +1,0m DVR90 foran en eksisterende skråningsbeskyttelse som følge af kronisk erosion.

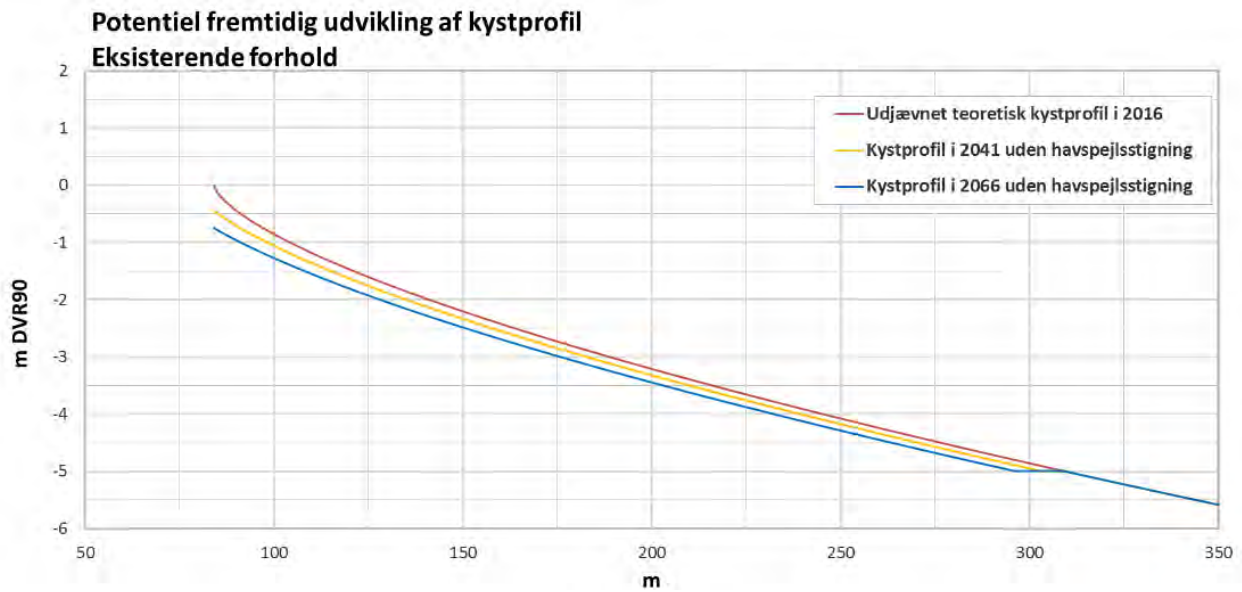


Figur 7-127 Fremtidig kronisk erosion af kystprofil med strand op til kote +1,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse svarende til 0,25m/år i år 2041 og 2066

Figur 7-128 viser tilbagerykningen af et karakteristiske kystprofil på Nordkysten med strand op til kote +0,0m DVR90 foran en eksisterende skråningsbeskyttelse som følge af kronisk erosion.

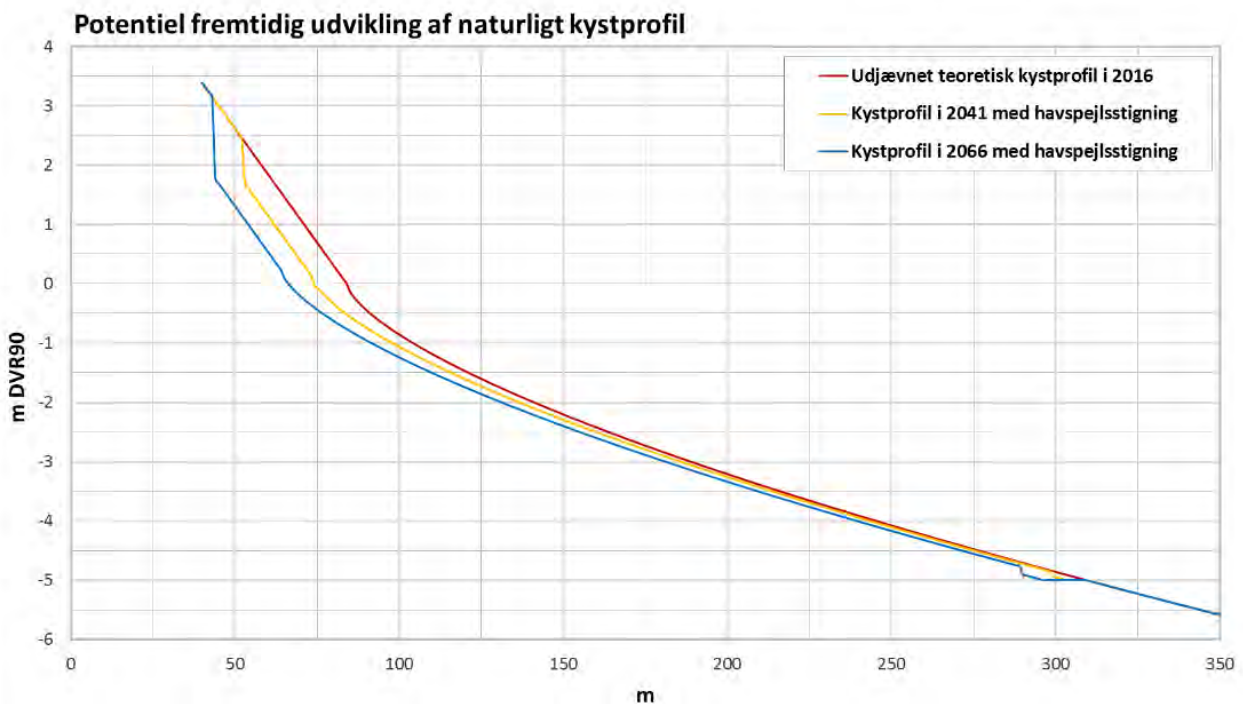
På de strækninger, hvor der er etableret skråningsbeskyttelse for at beskytte husene, vil stranden foran den eksisterende beskyttelse gradvist forsvinde og vanddybden foran bliver større efterhånden som kystprofilet fra skråningsbeskyttelsen ud til den aktive dybde omkring -5,0m DVR90 eroderer tilbage som følge af den kroniske erosion.

Ud over den kroniske erosion vil kystprofilet erodere tilbage som følge af den forventede havspejlsstigning, se Tabel 6-4.

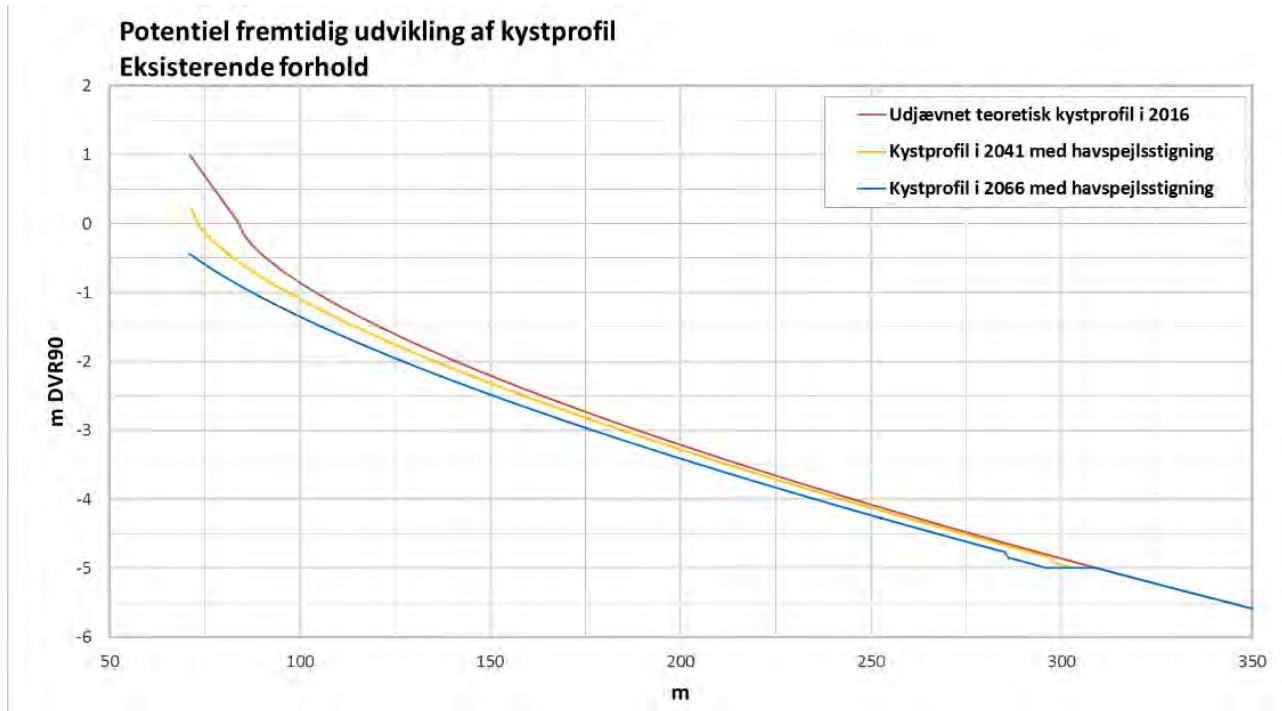


Figur 7-128 Fremtidig kronisk erosion af kystprofil med strand op til kote +0,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse svarende til 0,25m/år i år 2041 og 2066

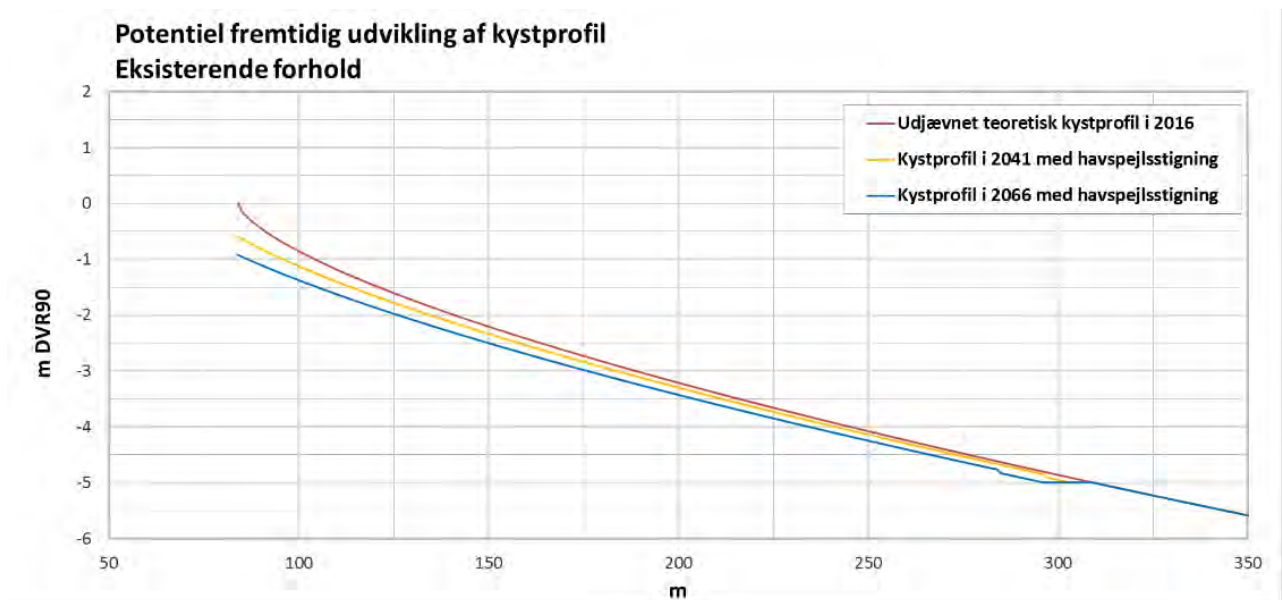
Figur 7-129 til Figur 7-131 viser den forventede kystudvikling, når den fremtidige havspejlsstigning tages med i beregningen ud over den fremtidige kroniske erosion. Effekten af havspejlsstigningen er beregnet ud fra Bruuns regel.



Figur 7-129 Fremtidig typisk kronisk erosion af naturligt kystprofil på Nordkysten svarende til 0,25m/år i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning



Figur 7-130 Fremtidig kronisk erosion af kystprofil med strand op til kote +1,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse svarende til 0,25m/år i år 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning



Figur 7-131 Fremtidig kronisk erosion af kystprofil med strand op til kote +0,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse svarende til 0,25m/år i år 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning

På strækninger uden skråningsbeskyttelse rykker hele kystprofilen tilbage som følge af kronisk erosion og havspejlsstigning, se Figur 7-129. Strandenes bredde

bevares dog ved denne naturlige kystudvikling. Dette er ikke en acceptabel situation de fleste steder, hvor der er huse tæt på kysten, da husene herved med tiden trues af erosion.

Figur 7-130 og Figur 7-131 viser, at kystprofilen foran skråningsbeskyttelser rykker yderligere tilbage som følge af kronisk erosion og den forventede havspejlsstigning.

Vanddybden vil fremover stige foran eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner og herunder skråningsbeskyttelser som følge af kronisk erosion og den forventede havspejlsstigning. Dette vil medføre, at strandene gradvist forsvinder på lange strækninger. Dette er allerede tilfældet mange steder på Nordkysten i dag.

Erosion som følge af kronisk erosion og havspejlsstigning skyldes underskud i sedimentbudgettet langs Nordkysten.

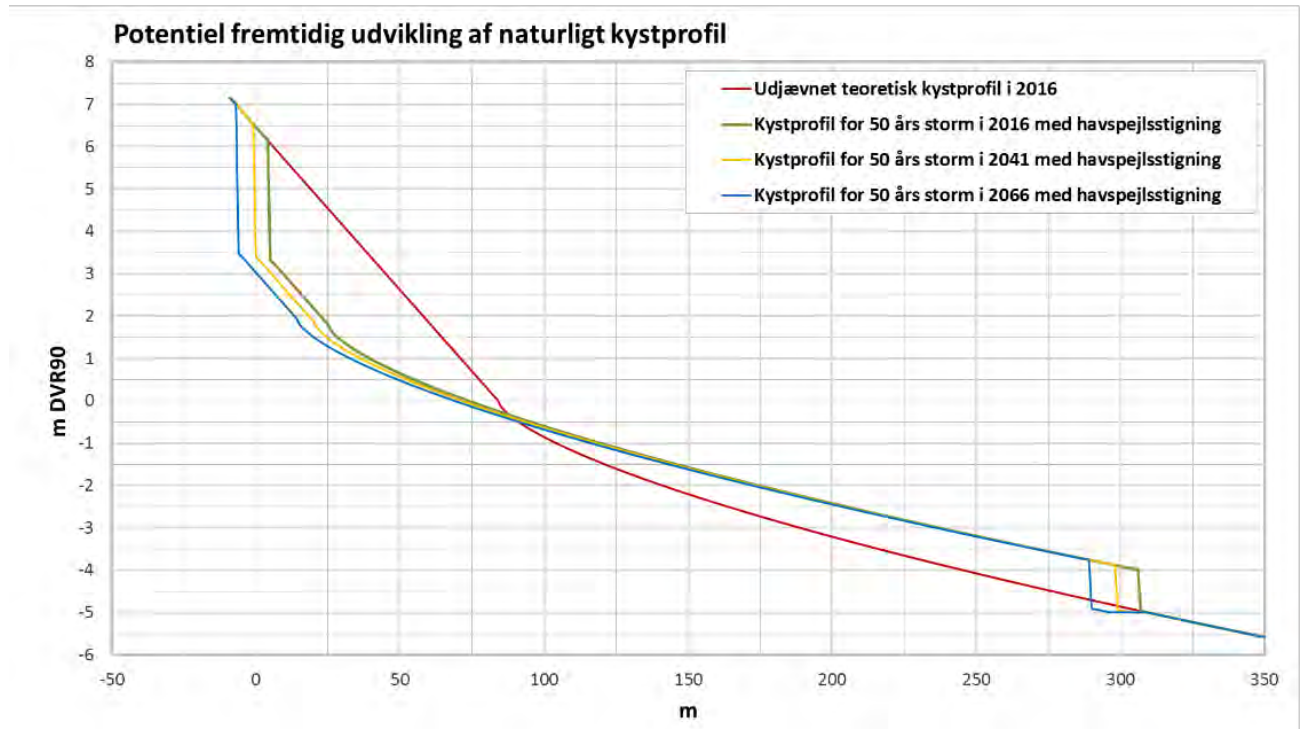
## 7.6 Forventet fremtidig akut erosion

Udover den fremtidige kroniske erosion som følge af et generelt underskud i sedimentbalancen på Nordkysten og den forventede havspejlsstigning vil fremtidige kraftige storme også kunne medføre yderligere kysttilbagerykning.

Den akutte erosion i forbindelse med storme er en delvist reversibel proces. I denne sammenhæng betyder det, at en stor del af det sediment, der eroderes fra stranden i forbindelse med storme vil komme ind på stranden igen i den følgende tid. Den eksisterende kystbeskyttelse og skråningerne bagved vil dog blive påvirket af den mest kritiske situation under stormen. Stormskader på eksisterende kystbeskyttelse og bagvedliggende skråninger er ikke reversibel. Det er derfor vigtigt at forebygge for at forhindre sådanne skader, da det er dyrt at genopbygge bagefter.

Stormen Bodil medførte omfattende skader på eksisterende kystbeskyttelse og skråningerne bagved.

Figur 7-132 viser den potentielle samlede kroniske og akutte erosion af et naturligt ubeskyttet strandprofil i forbindelse med en storm med en returperiode på 50 år i år 2016, 2044 og 2066 med havspejlsstigning.

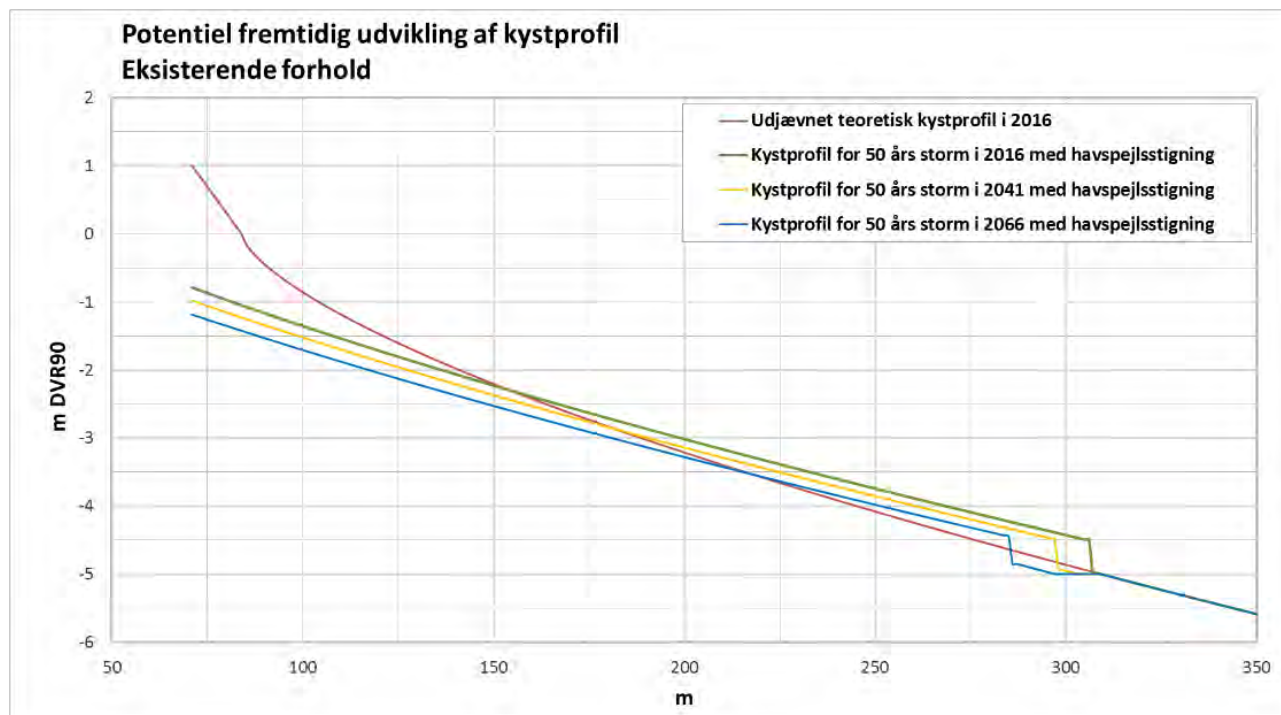


Figur 7-132 Fremtidig kronisk erosion af naturligt kystprofil på 0,25m/år i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

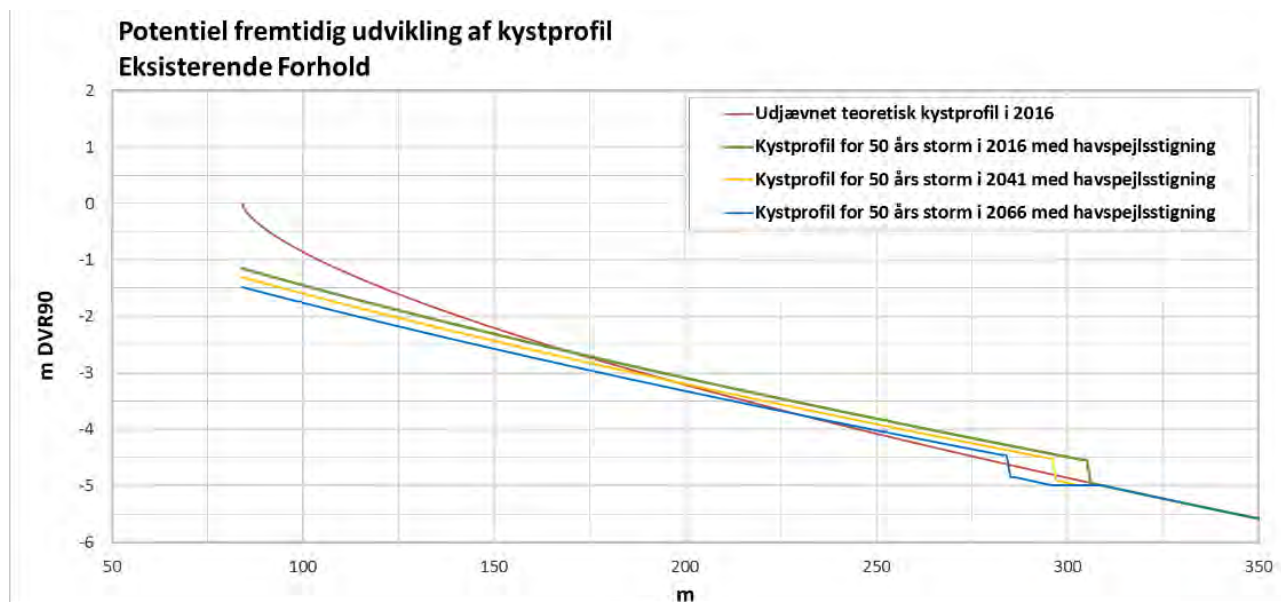
Den akutte erosion er beregnet ud fra Bruuns regel anvendt for stormens maksimale vandstand på dybt vand, se Tabel 6-4 og Tabel 6-6. Det antages, at ligevægtsprofilen udvikles ud til den aktive dybde, se Tabel 6-5.

Beregningsen er konservativ, da det ikke er givet, at stormen varer længe nok til, at ligevægtsprofilen kan nå at blive udviklet. Stormen Bodil viste dog, at der kan forekomme kraftige storme med en meget lang varighed. Beregningen tager ikke højde for forskel i sediment på tværs af kysten. Dette er også konservativt forstået på den måde, at en ralstrand vil reducere den potentielle erosion af stranden i forhold til det beregnede. Beregningerne er dog foretaget ens for alle scenarier og forskellen i resultaterne afspejler den faktiske udvikling som følge af storm, omend de estimerede erosionsdybder er konservative. De fleste strande langs nordkysten består af en blanding af sand og ral.

Figur 7-132 viser den potentielle samlede kroniske og akutte erosion af et strandprofil med en maksimal højde på henholdsvis +1,0m og 0,0m foran en eksisterende skråningsbeskyttelse i forbindelse med en storm med en returperiode på 50 år i år 2016, 2044 og 2066 med havspejlsstigning.

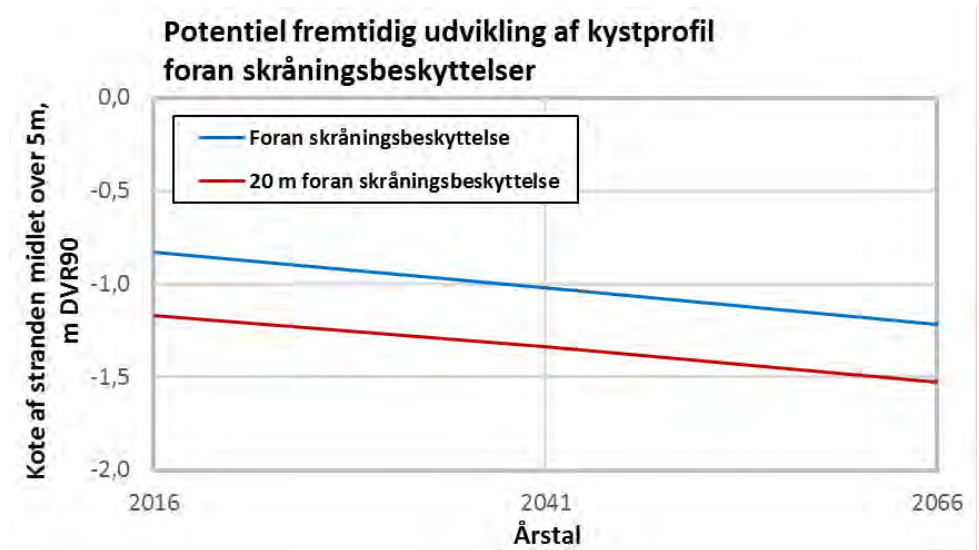


Figur 7-133 Fremtidig kronisk erosion af kystprofil på 0,25m/år med strand op til kote +1,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

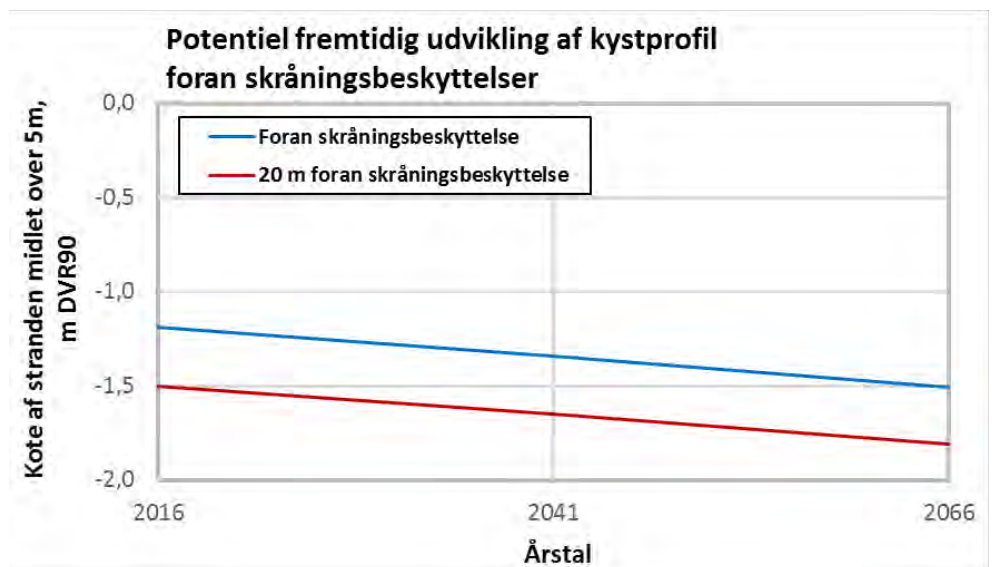


Figur 7-134 Fremtidig kronisk erosion af kystprofil på 0,25m/år med strand op til kote +0,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

Figur 7-135 og Figur 7-136 viser en opsummering af analysen af den potentielle kystudvikling foran eksisterende skråningsbeskyttelser i år 2016, 2044 og 2066.



Figur 7-135 Potentiel kronisk og akut erosion af stranden umiddelbart foran eksisterende skråningsbeskyttelse i kote +1,0m samt 20 m foran i år 2016, 2044 og 2066 for en storm med en returperiode på 50 år



Figur 7-136 Potentiel kronisk og akut erosion af stranden umiddelbart foran eksisterende skråningsbeskyttelse i kote +0,0m samt 20 m foran i år 2016, 2044 og 2066 for en storm med en returperiode på 50 år

Analysen viser, at vanddybden stiger foran eksisterende kystbeskyttelser og herunder skråningsbeskyttelser i forbindelse med storme.

Den maksimale potentielle vanddybde foran eksisterende anlæg vil således øges fremover i takt med den generelle kroniske erosion, som yderligere forstærkes af den forventede havspejlsstigning.

Dette medfører, at bølgepåvirkningen på eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner og bagvedliggende skråninger vil øges fremover.

## 7.7 Overordnede kystbeskyttelsesbehov

Analysen af den potentielle kroniske og akutte erosion af naturlige ubeskyttede kyststrækninger samt kyststrækninger, der er beskyttet af eksisterende skråningsbeskyttelser har vist, at presset på eksisterende beskyttelsesanlæg og skråninger vil stige fremover.

Stormen Bodil viste, at den eksisterende kystbeskyttelse ikke var tilstrækkelig til at modstå meget kraftige storme. De eksisterende skråningsbeskyttelser er typisk for lave til at beskytte skråningerne mod meget højt højvande under storme. Dette problem vil forstærkes fremover efterhånden som kystprofilen rykker tilbage og vandstanden stiger.

Derudover er de eksisterende dæksten i skråningsbeskyttelserne ofte for små til at være stabile selv i forbindelse med kraftige storme i dag. Dette problem vil forstærkes i fremtiden, efterhånden som kystprofilen rykker tilbage, og vanddybden foran eksisterende anlæg øges.

Der er i forbindelse med dette skitseprojekt ikke foretaget en detaljeret gennemgang af den eksisterende kystbeskyttelse langs Nordkysten, da dette er meget omfattende.

Der er i stedet foretaget en teoretisk gennemregning af den nødvendige kystbeskyttelse, og hvorledes behovet for forstærkning af eksisterende anlæg stiger fremover i takt med, at vanddybden langs eksisterende anlæg stiger.

Indledningsvist beregnes den nødvendige dækstensstørrelse af kystbeskyttelseskonstruktionerne baseret på de beregnede vanddybder i år 2016, 2041 og 2066. Dækstenene er beregnet med Hudsons formel med en stabilitetskoefficient på  $K_D=2,0$  svarende til begyndelse skade. Bølg højden på lavt vand er bestemt 20 m foran konstruktionen ud fra Godas formel (Goda, 1985).

Tabel 7-2 og Tabel 7-3 viser beregningen af de nødvendige dæksten.

Figur 7-137 viser udviklingen af den nødvendige størrelse af dækstene de næste 25 og 50 år.

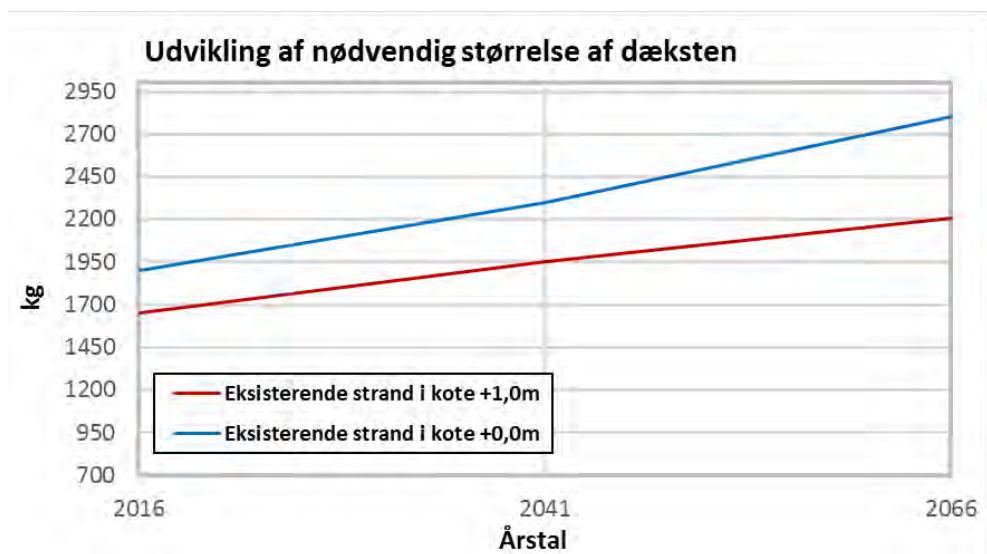


		0 år / 2016 + 50 års storm	25 år / 2041 + 50 års storm	50 år / 2066 + 50 års storm
Design Water Level (m)	$h_{dwl}$	2,22	2,29	2,37
Bedlevel in front of Structure (m)	$h$	-1,17	-1,34	-1,53
Water Depth in front of Structure (m)	$d$	3,39	3,63	3,90
Mean Wave Period (s)	$T_m$	6,7	6,7	6,7
Significant Wave Height in front of Structure (m)	$H_s$	2,17	2,30	2,40
<b>Input Parameters</b>				
Mean Weight (kg)	$W_{em}$	1650	1950	2210
Armour Slope	$cot\alpha$	2,00	2,00	2,00
Permeability Factor	$P$	0,25	0,25	0,25
Rock Density (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$	2680	2680	2680
Seawater Density (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_w$	1025	1025	1025
<b>Derived Parameters</b>				
Wave Height, 2% (m)	$H_{2\%}$	2,57	2,73	2,86
Nominal Diameter (m)	$D_{n50}$	0,851	0,899	0,938
Relative Density	$D$	1,61	1,61	1,61
Wave Steepness	$s_m$	0,031	0,033	0,034
Surf Similarity Parameter	$x_m$	2,8	2,8	2,7
Critical Surf Similarity	$x_{mc}$	4,0	4,0	4,0
Number of Waves	$N$	3000	3000	3000
<b>The Van der Meer Formula</b>				
Damage Level Shallow Water	$S_d$	1,2	1,1	1,1
Damage Level Deep Water	$S_d$	2,8	2,6	2,5
<b>Hudson</b>				
Stability Coefficient	$K_D$	2,0	2,0	2,0

Tabel 7-2 Nødvendig størrelse af dæksten for skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +1,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

		0 år / 2016 + 50 års storm	25 år / 2041 + 50 års storm	50 år / 2066 + 50 års storm
Design Water Level (m)	$h_{dwl}$	2,22	2,29	2,37
Bedlevel in front of Structure (m)	$h$	-1,50	-1,65	-1,81
Water Depth in front of Structure (m)	$d$	3,72	3,94	4,18
Mean Wave Period (s)	$T_m$	6,7	6,7	6,7
Significant Wave Height in front of Structure (m)	$H_s$	2,30	2,42	2,60
<b>Input Parameters</b>				
Mean Weight (kg)	$W_{em}$	1900	2300	2800
Armour Slope	$cota$	2,00	2,00	2,00
Permeability Factor	$P$	0,25	0,25	0,25
Rock Density (kg/m <sup>3</sup> )	$\Gamma_s$	2680	2680	2680
Seawater Density (kg/m <sup>3</sup> )	$\Gamma_w$	1025	1025	1025
<b>Derived Parameters</b>				
Wave Height, 2% (m)	$H_{2\%}$	2,74	2,89	3,09
Nominal Diameter (m)	$D_{n50}$	0,892	0,950	1,015
Relative Density	$D$	1,61	1,61	1,61
Wave Steepness	$s_m$	0,033	0,034	0,037
Surf Similarity Parameter	$x_m$	2,8	2,7	2,6
Critical Surf Similarity	$x_{mc}$	4,0	4,0	4,0
Number of Waves	$N$	3000	3000	3000
<b>The Van der Meer Formula</b>				
Damage Level Shallow Water	$S_d$	1,2	1,1	1,0
Damage Level Deep Water	$S_d$	2,8	2,4	2,3
<b>Hudson</b>				
Stability Coefficient	$K_D$	2,0	2,0	2,0

Tabel 7-3 Nødvendig størrelse af dæksten for skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +0,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år



Figur 7-137 Udvikling af nødvendig størrelse af dæksten for skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +0,0m og +1,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

Erfaring har vist at dækstene benyttede til opbygning af eksisterende skråningsbeskyttelser langs Nordkysten historisk typisk er på cirka 700kg. Dog ser man mange steder efter Bodil, at reparationer er foretaget med større dæksten.

Beregningerne viser, at dækstenene i de eksisterende skråningsbeskyttelser typisk er for små til at modstå en designstorm med en returperiode på 50 år i 2016. Det må derfor forventes, at der vil ske omfattende skader på de eksisterende skråningsbeskyttelser og andre stenkonstruktioner i forbindelse med fremtidige kraftige storme.

**Den fremtidige kystudvikling vil medføre, at vanddybden foran eksisterende konstruktioner stiger. Skaderne på eksisterende anlæg forventes derfor at øges betydeligt i fremtiden.**

Den nødvendige højde af skråningsbeskyttelserne langs Nordkysten er beregnet ud fra (Hebsgaard *et al.*, 1998). Der er benyttet et overskyls-kriterium på 20 l/s/m i forbindelse med en storm med en returperiode på 50 år i 2016, 2044 og 2066. Dette svarer til begyndende skade på skråningen bagved, (CIRIA/CUR, 2007).

Tabel 7-4 og Tabel 7-5 viser beregningen af den nødvendige højde af eksisterende skråningsbeskyttelser.

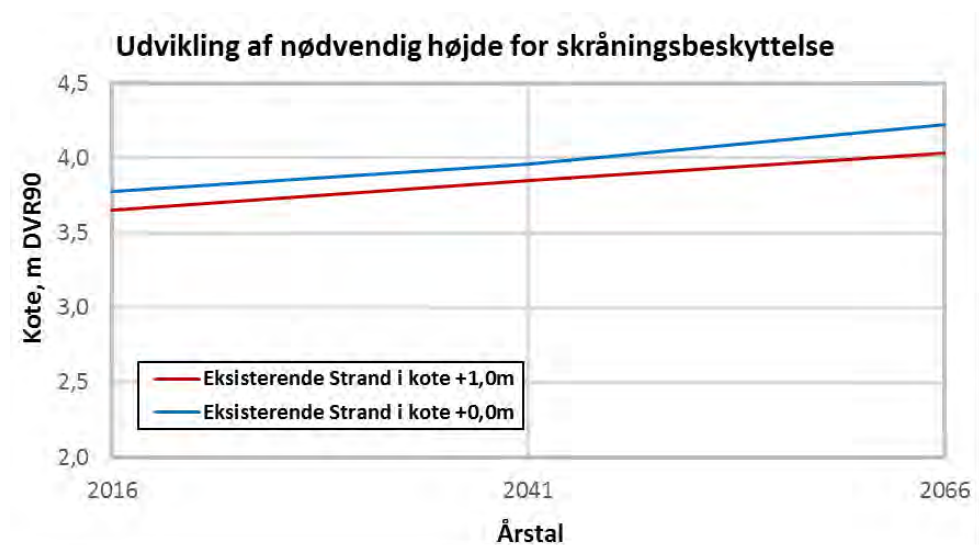
		0 år/2016 + 50 års storm	25 år/2041 + 50 års storm	50 år/2066 + 50 års storm
<b>Input Parameters</b>				
Nominal Diameter (m)	$D_{n50}$	0,85	0,90	0,94
Crest Width (m)	$b$	4,92	5,14	5,30
Crest Elevation (m)	CE	3,65	3,85	4,03
Water Level (m)	WL	2,22	2,29	2,37
Crest freeboard (m)	$R_c$	1,4	1,6	1,7
Armour Slope	cota	2,00	2,00	2,00
Wave direction (°)	$q$	0,0	0,0	0,0
Bed Level (m)	$h_m$	-1,17	-1,34	-1,53
Significant Wave Height (m)	$H_s$	2,17	2,30	2,40
Mean Wave Period	$T_m$	6,7	6,7	6,7
<b>Derived Parameters</b>				
Peak Wave Period (s)	$T_p$	8,8	8,8	8,8
Wave Steepness	$s_p$	0,018	0,019	0,020
<b>Overtopping Formula</b>				
<b>Hebsgaard, Slot and Juhl (1998)</b>				
Roughness factor	$r$	0,65	0,65	0,65
Crest parameter	$k_1$	-0,3	-0,3	-0,3
Crest parameter	$k_2$	-1,6	-1,6	-1,6
Average Overtopping (l/s/m)	$q$	20	20	20

Tabel 7-4 Nødvendig højde af skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +1,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

		0 år/2016 + 50 års storm	25 år/2041 + 50 års storm	50 år/2066 + 50 års storm
<b>Input Parameters</b>				
Nominal Diameter (m)	$D_{n50}$	0,89	0,95	1,01
Crest Width (m)	b	5,10	5,37	5,63
Crest Elevation (m)	CE	3,78	3,96	4,22
Water Level (m)	WL	2,22	2,29	2,37
Crest freeboard (m)	$R_c$	1,6	1,7	1,9
Armour Slope	cota	2,00	2,00	2,00
Wave direction (°)	q	0,0	0,0	0,0
<b>Derived Parameters</b>				
Bed Level (m)	$h_m$	-1,50	-1,65	-1,81
Significant Wave Height (m)	$H_s$	2,30	2,42	2,60
Mean Wave Period	$T_m$	6,7	6,7	6,7
<b>Derived Parameters</b>				
Peak Wave Period (s)	$T_p$	8,8	8,8	8,8
Wave Steepness	$s_p$	0,019	0,020	0,022
<b>Overtopping Formula</b>				
<b>Hebsgaard, Slot and Juhl (1998)</b>				
Roughness factor	r	0,65	0,65	0,65
Crest parameter	$k_1$	-0,3	-0,3	-0,3
Crest parameter	$k_2$	-1,6	-1,6	-1,6
Average Overtopping (l/s/m)	q	20	20	20

Tabel 7-5 Nødvendig højde af skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +0,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

Figur 7-138 viser udviklingen af den nødvendige højde af skråningsbeskyttelserne de næste 25 og 50 år.

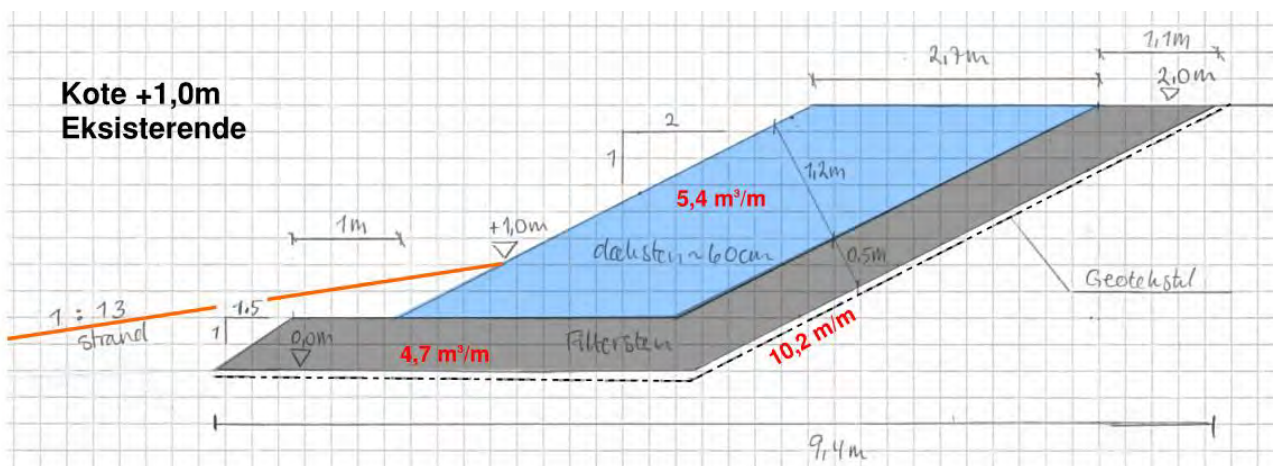


Figur 7-138 Udvikling af nødvendig højde af skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +0,0m og +1,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år

Beregningerne viser, at den nødvendige højde af skråningsbeskyttelserne stiger fremover for at kunne beskytte skråningerne bagved mod bølgeoverskyl i forbindelse med storme.

Der er meget stor forskel på højderne af de eksisterende skråningsbeskyttelser langs Nordkysten. Der er mange eksempler på grundejere, som kun har tilladelse til skråningsbeskyttelse med topkote på +2,0m DVR90 eller +3,0m DVR90.

Figur 7-139 og Figur 7-140 viser eksempler på typiske skråningsbeskyttelser som de ser ud i dag. Der er mange eksempler på konstruktioner, som er udført med en dårligere kvalitet eller er misvedligeholdt.



Figur 7-139 Eksisterende typisk skråningsbeskyttelse med strand i kote +1,0m foran og en topkote på +2,0m DVR90

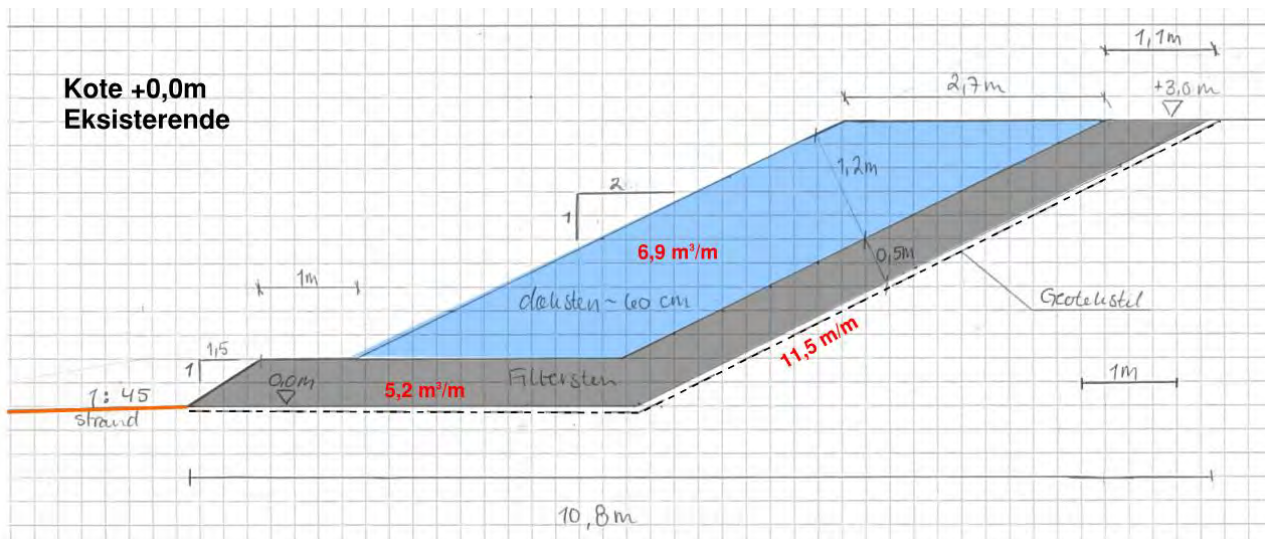
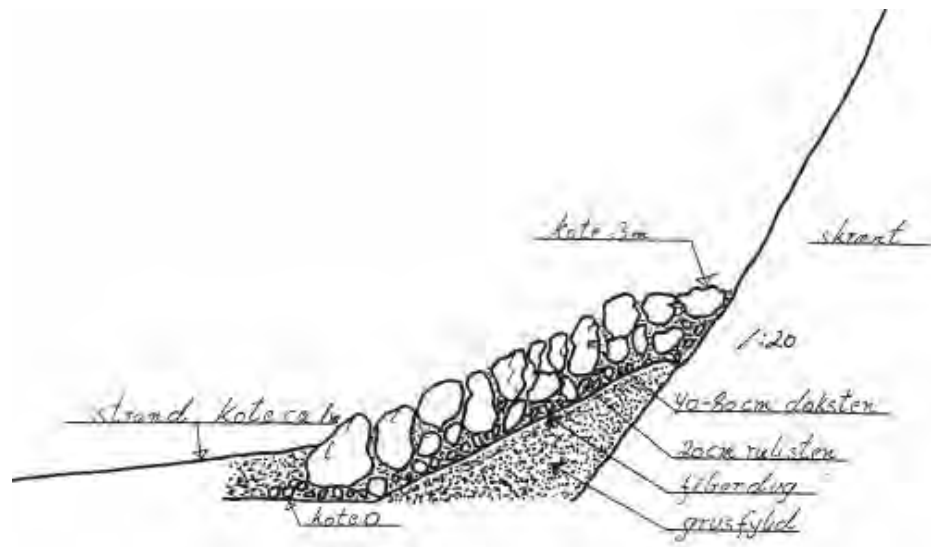
Beregningerne viser, at de eksisterende anlæg ofte er for lave til at beskytte mod storme både i dag og fremover.

Stormen Bodil viste, at dimensionerne af de oprindelige kystbeskyttelses anlæg samt størrelsen af eksisterende dæksten ikke er tilstrækkelige til at beskytte baglandet hverken i dag eller fremover.

En stor del af den eksisterende kystbeskyttelse langs Nordkysten, som blev beskadiget af stormen Bodil er efterfølgende blevet genopbygget.

Den eksisterende kystbeskyttelse må kun genopbygges til den oprindelige standard og dimensioner uden, at der skal søges ny tilladelse.

Der er mange eksempler på, at de genopbyggede skråningsbeskyttelser er forhøjet og forstærket uden, at der er søgt ny tilladelse. Disse anlæg er principelt ulovlige. KDI arbejder målrettet på at gennemgå hvilke anlæg, der skal søges ny tilladelse til.



Figur 7-140 Eksisterende typisk skråningsbeskyttelse med strand i kote +0,0m foran og en topkote på +3,0m DVR90

Når man tager udgangspunkt i KDIs administrationspraksis, er det ikke muligt at opgradere eksisterende skråningsbeskyttelse til at kunne beskytte mod fremtidige storme uden at der samtidig strandfodres.

Umiddelbart er det ikke muligt at få tilladelse til at beskytte naturområder som Melby Overdrev og Hornbæk Plantage med hård kystbeskyttelse i henhold til KDIs administrationspraksis. Det vurderes dog heller ikke at være nødvendigt at beskytte længere ubebyggede kyststrækninger, hvor der ikke er truede huse og infrastruktur langs kysten. De ubeskyttede kyststrækninger forventes at erodere tilbage i fremtiden. Dette vil bidrage positivt til sedimentbalancen langs Nordkysten.

## 7.8 Sammenfatning

En stor del af Nordkysten er rykket betydeligt tilbage gennem mange år og denne tendens vurderes at fortsætte i fremtiden og med øget hastighed.

Nordkysten er udsat for et stort erosionspres som følge af kronisk og akut erosion.

Der er underskud i sedimentbudgettet langs Nordkysten, hvor langstransporten stiger fra Kikhavn imod Gilleleje og igen fra Gilleleje til Hornbæk og fra Hornbæk til Helsingør, hvilket giver anledning til kronisk erosion. Havnene udgør desuden barrierer for sandtransporten langs Nordkysten, idet transporten delvist afbrydes ved havnene.

Den omfattende hårde kystbeskyttelse har medført, at tilførslen af sediment til kysten er reduceret betydeligt med tiden. I takt med at skråningsbeskyttelserne har stabiliseret skrænterne, er der lange strækninger, hvor stranden er blevet smallere, helt forsvundet eller afløst af ral/sten-strand. Vanddybden foran eksisterende kystbeskyttelse er gradvist øget, da den kroniske erosion fortsætter upåvirket ude i kystprofilet. En stor del af den eksisterende hårde kystbeskyttelse fungerer ikke kystteknisk optimalt og er mange steder nedslidt.

Nordkysten er også udsat for et stort erosionspres som følge af akuterrosion i forbindelse med storme, hvor der er kraftig bølgepåvirkning og højvande. I disse situationer eroderer den øverste del af kystprofilet tilbage (bagstrand og skrænten) og det eroderede materiale føres dels længere ud i kystprofilet og dels langs kysten.

Stormen Bodil medførte ekstraordinært højvande. Kombinationen af større vanddybde langs kysten og den forhøjede vandstand under stormen medførte omfattende skader på den eksisterende kystbeskyttelse og skråningerne bagved. Stormen viste, at der er behov for vedligeholdelse af strandene og kystbeskyttelsen på Nordkysten for at beskytte mod fremtidige storme.

En del af den hårde kystbeskyttelse er væsentligt udbygget og forhøjet efter stormen Bodil. Konstruktionerne er dog oftest genopbygget med eksisterende stenmaterialer, som ikke er tilstrækkelig store til at modstå nye storme både i dag og fremover, da vanddybden langs kysten er steget og vil stige yderligere fremover. Derudover er mange af de eksisterende anlæg ikke høje nok som følge af den øgede vanddybde foran.

Kystlagene administrerer typisk en kyststrækning på en halv til to kilometer, som det enkelte lag fokuserer på at beskytte. Der har været en tendens til at kystbeskyttelses anlæggene på en strækning har medført øget erosionspres på nabostrækningen i og med, at tilførslen af sediment til nabostrækningen er blevet reduceret. På den måde er erosionspresset blevet flyttet langs kysten og det har været nødvendigt at anlægge hård kystbeskyttelse på lange strækninger.

Der kommer ikke mere sand ved, at man i de forskellige lag kæmper om at holde på en del af en nedadgående sand ressource.

Det generelle billede er, at kysterosionen fortsætter ude i kystprofilet på trods af den hårde kystbeskyttelse, hvilket forværrer situationen fremover efterhånden som vanddybden stiger.

Den aktuelle og fremtidige kroniske og akutte erosion viser sig således i stigende grad at være en fælles udfordring for grundejerne langs Nordkysten i og med, at vanddybden langs Nordkysten stiger.

Det omfattende underskud i sedimentbudgettet på Nordkysten kan ikke afhjælpes med hård kystbeskyttelse.

Det er ikke muligt at forstærke den eksisterende hårde kystbeskyttelse til den nødvendige standard uden, at der samtidig strandfodres, da KDI i dette tilfælde kræver kompensationsstrandfodring.



## 8 Løsningsforslag

### 8.1 Kommunernes målsætning

Kommunerne ønsker med skitseprojektet at belyse de kysttekniske muligheder for at gennemføre et storskala kystbeskyttelsesprojekt mellem Hundested og Helsingør. Dette omfatter strandfodring som et nødvendigt element, der kan gennemføres praktisk, miljømæssigt og økonomisk. Projektet skal også beskrive eventuelle andre løsningsforslag. Det er en forudsætning, at løsningsforslaget vil kunne opnå tilladelse fra Kystdirektoratet.

Skitseprojektet skal anvendes som baggrund for det videre arbejde med udbud af kystbeskyttelsesprojekt for hele Nordkysten, samt detailprojektering af en del-strækning i Gribskov Kommune, der tænkes udført som et pilotprojekt. Projektet skal desuden indeholde prisoverslag for de foreslåede løsninger, som danner input til det videre arbejde med betalingsmodellen.

### 8.2 Generelt

Skitseprojektet er udarbejdet som en helhedsplan for kystbeskyttelsen langs hele nordkysten af Sjælland på en strækning på lidt under 60km mellem Hundested og Helsingør.

Helhedsplanen sigter mod at skabe den bedste kystbeskyttelse mod kronisk og akut erosion på 25 og 50 års sigt.

Skitseforslaget indeholder ikke vurdering af rekreative aspekter.

Forstærkning af hård kystbeskyttelse vil medføre krav fra KDI om kompensationsfodring. Tekniske løsningsforslag uden fodring vil derfor ikke blive behandlet i skitseprojektet.

Den bedst egnede beskyttelse mod kronisk og akut erosion på Nordkysten vurderes at være en kombination af skråningsbeskyttelser opbygget af sten og strandfodring med en blanding af sand, grus og ral.

Strandfodring anbefales udført med sand med et betydeligt indhold af grus og ral svarende til det naturlige sediment på Nordkysten, hvilket vil forbedre virkningen af fodringerne ud fra et kystteknisk udgangspunkt.

Strandfodring udlægges ligeligt fordelt langs stranden på længere truede strækninger med ensartede forhold, hvilket forlænger og forøger effekten.

Strandfodring omfatter en betydelig initialfodring samt mindre løbende vedligeholdelsesfodringer.

Analysen af kysten har vist, at der er underskud i sedimentbudgettet langs Nordkysten, som medfører generel kronisk erosion og at kystprofilen derfor rykker tilbage ud til den aktive dybde omkring -5,0m. Vanddybden foran eksisterende konstruktioner stiger herved. Fodring er den eneste form for kystbeskyttelse, som kan stabilisere hele kystprofilen og afhjælpe den kroniske erosion langs Nordkysten.

Strandfodring opbygger en buffer foran eksisterende skråningsbeskyttelser og øger herved højden af stranden. Strandfodring vil forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser og reducere vedligeholdelsesbehovet for de hårde anlæg på kort og længere sigt.

Det foreslås at strandfodre over længere strækninger, hvor der generelt er en stor tæthed af bebyggelse, og hvor husene ligger tæt på havet, og der således er behov for forbedret kystbeskyttelse. Fodringsstrækningerne er mellem 2.000 og 7.500 m for at forbedre virkningen af fodringerne. De foreslåede fodringsstrækninger er vist på Figur 8-1.



Figur 8-1 Foreslåede fodringsstrækninger

Initialt foreslås det, at der strandfodres med i størrelsesorden 60-90 m<sup>3</sup>/m. Dette vurderes nærmere i det følgende. Strandfodring bør foretages i regionalt regi for at sikre en koordineret og fælles indsats. Det vil desuden kunne reducere enhedsprisen, at der fodres med større mængder.

Der skal fodres med meget store mængder, hvis fodring alene skal kunne beskytte mod akut erosion i forbindelse med storme. Det foreslås derfor, at strandfodring kombineres med skråningsbeskyttelser af sten.

Der er i dag skråningsbeskyttelse langs en stor del af Nordkysten. De enkelte kystlag bør gennemgå og renovere deres skråningsbeskyttelser og andet hård kystbeskyttelse før den initiale strandfodring udføres. Alternativt kan de enkelte grundejere forstærke deres hårde kystbeskyttelse hen ad vejen.

Det foreslås, at renovere og forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser til optimal standard for en 50 års stormhændelse om 50 år.

Alle skråningsbeskyttelser og den nederste del af skråningen bagved dækkes med sand for at stabilisere skråningerne. Bagstranden sås til med marehalm over kote ca. +1,75m DVR90.

Uvirksomme og nedslidte konstruktioner på stranden og i vandet bør fjernes helt før der strandfodres. Alternativt kan de enkelte grundejere optimere deres hårde kystbeskyttelse hen ad vejen. En del af de overskydende stenmaterialer kan med fordel anvendes til at forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser, hvorved nyttevirkningen af eksisterende sten kan optimeres.

Desuden anbefales det på sigt at omlægge en del af de meget små konstruktioner på stranden og i vandet til enkelte større konstruktioner for at optimere beskyttelsen af kysten.

Kystbeskyttelseskonstruktioner på stranden i form af nye bølgebrydere, høfder, rev og flak foreslås på udsatte strækninger, hvor sandet har svært ved at blive liggende i tilstrækkelig udstrækning. Det foreslås at vente med at anlægge nye konstruktioner på stranden til man ser effekten af den initiale strandfodring. Herved kan det reelle behov afdækkes og nye konstruktioner optimeres til de lokale forhold.

Behovet for hård kystbeskyttelse i form af høfder, bølgebrydere rev og flak reduceres,

når der fodres over lange strækninger. Konstruktionerne virker ved at tilbageholde en del af det sand og ral, der transporteres langs stranden og derved opbygger højden af stranden. Strandfodring vil medføre, at eksisterende konstruktioner får mere sand og ral at arbejde med, hvorved virkningen af eksisterende konstruktioner forbedres.

## 8.3 Fodringsstrækninger

Strandfodring er ikke stationært, men sand og ral vil vandre langs kysten typisk fra sydvest mod nordøst og øst langs Nordkysten.

Der tabes sand fra kysten ved havnene på Nordkysten og ved Gilleleje Flak og Helsingør Flak.

De hårde fremstående morænepartier langs kysten er til dels beskyttet naturligt af stenstrande og kystprofilen er ofte stejlt med dybt vand inde under land. Naturligt vil der ikke være sandstrande på sådanne strækninger. Det vil blive meget dyrt at skabe beskyttende strande på de mest udsatte strækninger på Nordkysten, som for eksempel Gilbjerg Hoved og Nakkehoved. Skitseprojektet indeholder derfor ikke forslag til strandfodring langs disse strækninger.

Strandfodring er velegnet langs de svagt markerede bugter på kysten, hvor erosion har skabt en betydelig kysttilbagerykning, og strandene derved er forsvundet gennem tiden. Kystprofilen er ofte fladere her, og der er mange små høfder og bølgebrydere. Strandfodring vil derfor kunne forøge beskyttelsen af baglandet.

Strandfodringen skal planlægges således, at der ikke skabes unødigt forøgelse af oprensning ved havnene samt, at der ikke skabes problemer som følge af afblæsning ind i land.

Det foreslås at strandfodre over længere strækninger, hvor der generelt er en stor tæthed af bebyggelse, og hvor husene ligger tæt på havet, og der således er behov for forbedret kystbeskyttelse. Fodringsstrækningerne er mellem 2.000 og 7.500 m for at forbedre virkningen af fodringerne. De foreslåede fodringsstrækninger er vist på Figur 8-1:

- 1) Kikhavn til Liseleje ca. 7.500m
- 2) Tisvilde til Vincentstien ca. 5.600m  
(Foreslås som pilotstrandfodringsstrækning)
- 3) Rågeleje til Trillingerne ca. 2.000m
- 4) Havstokken til feriebyen ca. 3.900m (deles evt. op i 2 delstrækninger)
- 5) Gilleleje til Nakkehoved ca. 2.000m
- 6) Munkerup ca. 2.700m
- 7) Ålsgårde ca. 4.700m

De foreslåede fodringsstrækninger omfatter cirka 28.100 m i alt og altså cirka halvdelen af den samlede kyststrækning mellem Hundested og Helsingør.

### 8.3.1 Kikhavn til Liseleje ca. 7500m

Retningen af nettotransporten skifter et sted omkring Kikhavn. Sydvest for Kikhavn er der en nettotransport mod Hundested og nordøst for er der en nettotransport mod nordøst. Dette resulterer i et stort erosionspres på hele kyststrækningen mod Liseleje i takt med, at den kystparallelle sedimenttransportkapacitet stiger.

Der er anlagt omfattende hård kystbeskyttelse langs hele strækningen. Erosionen er nu så fremskreden, at stranden er forsvundet på længere strækninger og eksisterende kystbeskyttelse er udsat for betydelig bølgepåvirkning.

Det anbefales at strandfodre på hele strækningen mellem Kikhavn og Liseleje Bølgebryderen for at øge beskyttelsen af de eksisterende hårde anlæg og skråningerne bagved. Der er meget høje skråninger på denne strækning som er følsomme for yderligere erosion langs skråningsfoden.

### 8.3.2 Tisvildeleje til Vincentstien ca. 5600m

Strækningen fra Tisvildeleje Bølgebryderen til Vincentstien har et forholdsvist lige forløb og bølgeforholdene er ensartede. Den potentielle kystparallelle transport er nogenlunde konstant langs strækningen.

Erosionen her skyldes hovedsageligt den store bølgebryder ved Tisvildeleje, som har skabt læsideerosion og et generelt underskud i sedimentbudgettet. Efterfølgende er der gradvist etableret kystbeskyttelse nordøst for Tisvildeleje Bølgebryderen, hvilket har flyttet erosionsproblemet op langs kysten.

Strækningen er præget af mange små konstruktioner i vandet. De eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner er generelt utilstrækkelige både med hensyn til konstruktionernes dimensioner og indbyrdes afstand. Det har betydet, at stranden er smal og helt er forsvundet på flere strækninger, og der er alvorlige problemer med skrænterosion, hvilket kan true bebyggelsen langs toppen af de meget høje skrænter.

For at få en langsigtet virkning af sandfordringen, anbefales det at strandfodre mellem Tisvildeleje Bølgebryderen og Vincentstien over en strækning på cirka 5600m.

Den hårde kystbeskyttelse langs kysten bør gennemgås og saneres i nødvendig omfang for kunne stabilisere stranden og de meget høje skråninger bagved bedst muligt.

Strækningen ligger i Gribskov Kommune og er præget af utilstrækkelig kystbeskyttelse og et stort erosionspres som følge af underskud i sedimentbudgettet.

Strækningen foreslås som pilotstrandfodringsstrækning.

### 8.3.3 Rågeleje til Trillingerne ca. 2000m

Rågeleje Bølgebryderen har gennem tiden medført betydelig læsideerosion, der i dag truer stabiliteten af den store betonmur langs kystvejen. En del af betonmuren kollapsede i forbindelse med stormen Bodil og er efterfølgende genopbygget.

Der er behov for at styrke stranden foran betonmuren og kystvejen mellem Rågeleje Bølgebryderen og Trillingerne for at forhindre fremtidige skader langs kystvejen.

Det anbefales at strandfodre mellem Rågeleje til Trillingerne på hele strækningen, hvor kystvejen ligger ud til havet.

De eksisterende nedslidte træhøfder umiddelbart øst for Rågeleje bør fjernes, da de ingen kystteknisk funktion har og desuden skæmmer stranden.

### 8.3.4 Havstokken til feriebyen ca. 3600m

Øst for kystfremspringet ved Havstokken ligger der en lang række nedslidte og mere eller mindre virkningsløse konstruktioner ude i vandet og på stranden. Der er flere skråningsbeskyttelser på strækningen med svingende kvalitet og stranden foran er smal og lav.

De eksisterende konstruktioner på stranden og i vandet bør saneres og for en dels vedkommende fjernes.

Det foreslås at strandfodre på strækningen for at øge beskyttelsen af den eksisterende hårde kystbeskyttelse og baglandet.

Strækningen kan evt. deles op i to, da der ikke er behov for yderligere kystbeskyttelse ved kystfremspringet sydvest for Mårbærvej.

### 8.3.5 Gilleleje til Nakkehoved ca. 2000m

Kysten umiddelbart øst for Gilleleje Havn er relativt beskyttet mod de fremherskende bølger fra V-NV på grund af havnen og det lavvandede område dannet af sand, der passerer havnen. Dette gælder ned til Strandbakkerne, hvor revlen kommer ind til kysten.

Strækningen har derfor kun oplevet moderat erosion over de seneste 50 år, men er dog udsat for akut erosion og er derfor beskyttet.

Stranden er generelt stenet og der er i mindre skala blevet udført strandfodring her.

Kysten fra Strandbakkerne og østpå til Nakkehoved Fyr ligger ikke i læ af havnen og er udsat for et betydeligt erosionspres, da bølgepåvirkningen og transportkapaciteten vokser mod øst.

En strandfodring mellem Gilleleje Havn og Strandbakkerne vil reducere erosionspresset på strækningen og øge beskyttelsen i forbindelse med storme.

Den relativt store eksponering af Nakkehoved, samt at kysten er konveks betyder, at strandfodring ikke er en optimal løsning langs den stenede kyst rundt om Nakkehoved.

### 8.3.6 Munkerup ca. 2700m

Det anbefales at strandfodre ved Munkerup på en 2700m lang strækning for at øge beskyttelsen af kysten.

Sedimenttransportkapaciteten vurderes at være stor som følge af store bølgeindfaldsvinkel på strækningen, hvilket betyder, at tabet af sand langs kysten må forventes at være betydeligt. Omvendt er den inderste del af kystprofilen forholdsvis fladt ved Munkerup, hvilket kan medvirke til at reducere den kystparallelle materialevandring.

### 8.3.7 Ålsgårde ca. 4700m

Husene ligger tæt på vandet i Ålsgårde. Der er mange hårde kystbeskyttelseskonstruktioner på denne strækning, hvilket vidner om et stort erosionspres.

De eksisterende konstruktioner på stranden mangler sand og ral for at virke optimalt og mange af de eksisterende skråningsbeskyttelser er for lave.

Der er behov for at strandfodre på denne strækning for at forstærke den eksisterende kystbeskyttelse langs den tætbebyggede strækning.

ojj hertil:

## 8.4 Opgradering af skråningsbeskyttelser og kompensationsfodring

En stor del af de eksisterende skråningsbeskyttelser blev beskadiget i forbindelse med stormen Bodil. De mange skader viser, at den eksisterende kystbeskyttelse ofte er opbygget af sten, som er for små til at modstå kraftige storme. Desuden er konstruktionerne ofte for lave til at beskytte baglandet mod bølgeoverskyl både i dag og fremover.

Et nærliggende forslag til forbedring af kystbeskyttelsen langs Nordkysten er at forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser til at kunne modstå fremtidige storme.

Beregningerne har vist, at der generelt skal større dæksten til for sikre konstruktionerne i tilstrækkelig grad. Dette kan ske ved, at det yderste lag dæksten i eksisterende skråningsbeskyttelser erstattes af større dæksten. Mindre dæk-

sten kan benyttes til at forhøje konstruktionerne samt til at anlægge en tå som forhindrer underminering.

I forbindelse med forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelser skal der søges ny tilladelse hos KDI, som vil stille krav om løbende kompensationsfodring.

KDI fastlægger generelt kompensationsfodringen svarende til erosionen fra foden af skråningsbeskyttelsen til toppen af skråningen. Der er høje skrænter langs en stor del af Nordkysten med højder op til 45 m. Som en gennemsnitsbetragtning vurderes skråningerne at være i størrelsesorden 15-20m høje. Derudover er den en årlig gennemsnitlige erosionsrate vurderet til 0,25m/år. Den totale kompensationsfodringsmængde vurderes derfor i middel at være omkring 5 m<sup>3</sup>/m/år.

Det er formentlig ikke alle grundejerne, der ønsker at forstærke deres skråningsbeskyttelser.

Effekten af små strandfodringer på korte strækninger her og der er lille, da sandet hurtigt spredes ud langs kysten. Desuden er fodringsmængden for lille til at have en reel effekt i forhold til at reducere bølgehøjden der når skråningerne under storm og højvande.

Kompensationsstrandfodringerne kan dog være med til at forhindre, at der sker en yderligere forstøjning af kystprofilet og forhindre, at bølgepåvirkningen på eksisterende anlæg øges i nær fremtid.

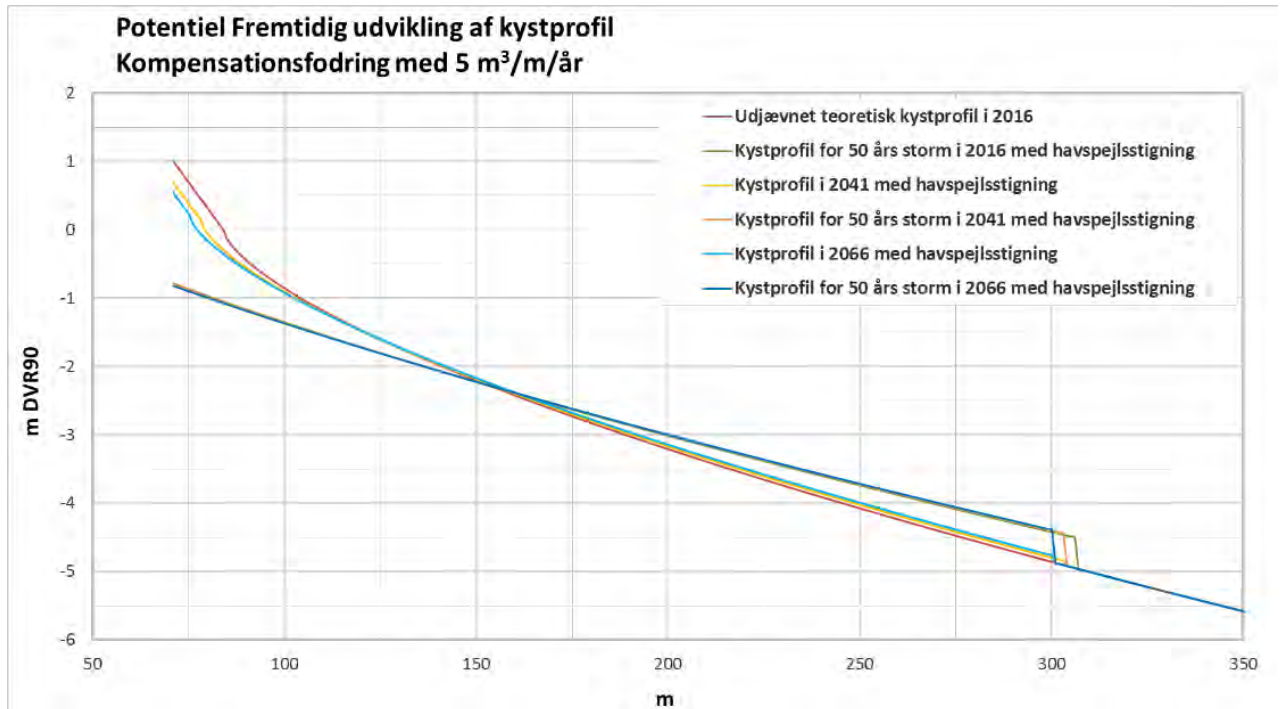
Genopbyggede skråningsbeskyttelser bør flyttes så langt tilbage på stranden som muligt for at øge strandbredden og derved øge stabiliteten af konstruktionerne. Desuden bør genopbyggede konstruktioner konstrueres med et effektivt filterlag med filtersten og geotekstil, som kan forhindre udvaskning af sediment fra skråningerne.

Figur 8-2 og Figur 8-3 viser den fremtidige potentielle kystudvikling foran forstærkede skråningsbeskyttelser med en nuværende strandkote på +1,0m og +0,0m DVR90 foran med kompensationsstrandfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år. Kompensationsstrandfodringen antages at modsvare den kroniske erosion set over længere strækninger. Der sker således ikke yderligere kysttilbagerykning som følge af kronisk erosion.

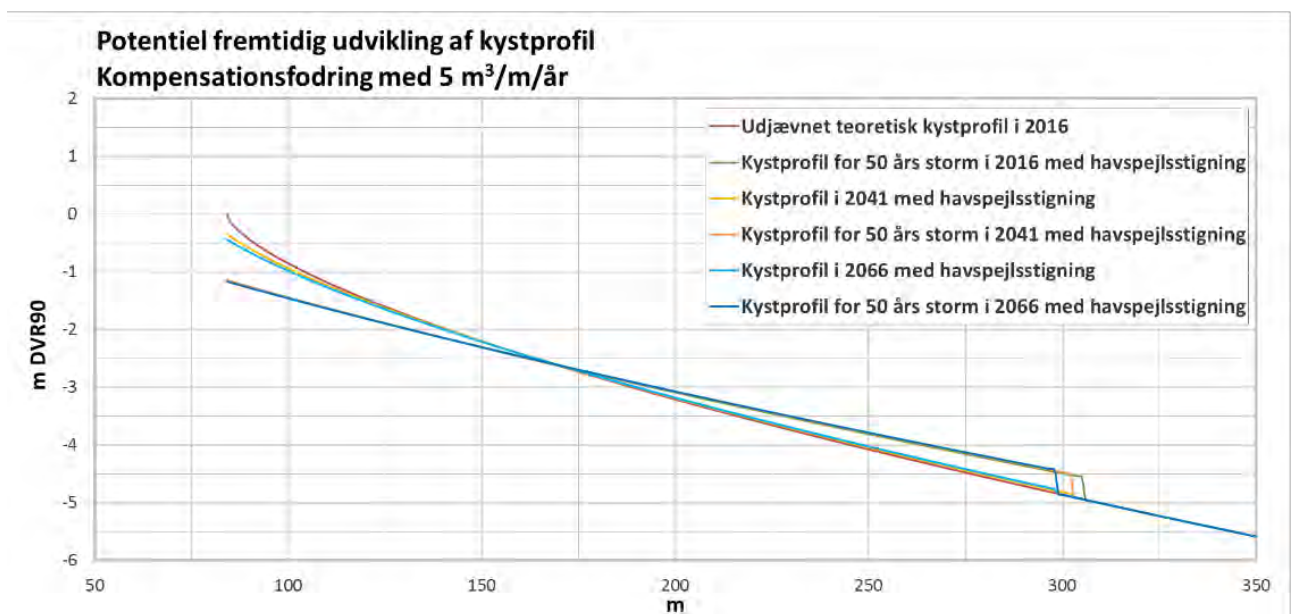
Figur 8-4 viser udviklingen af nødvendig størrelse af dækstenene med kompensationsfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion.

Figur 8-5 viser udviklingen af nødvendig højde af skråningsbeskyttelserne med kompensationsfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion.

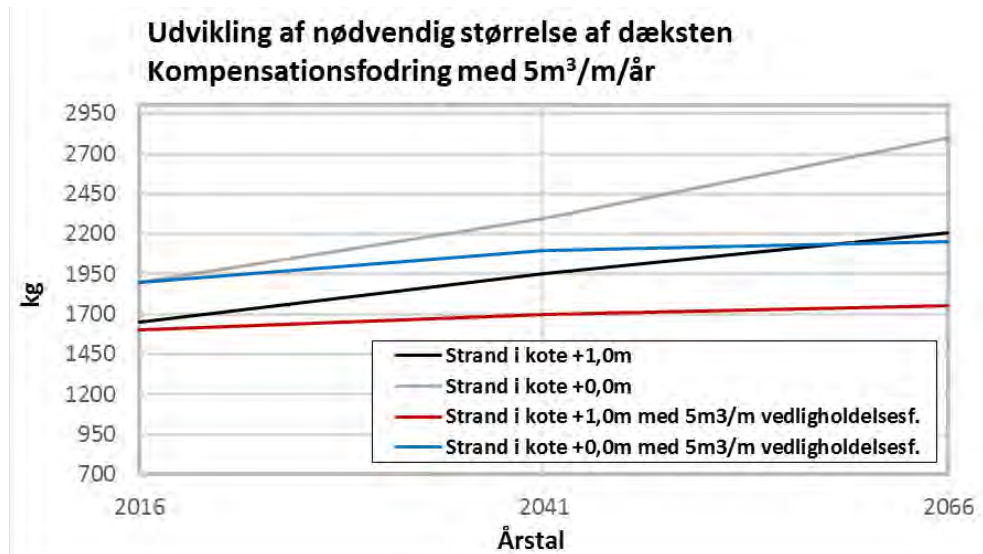




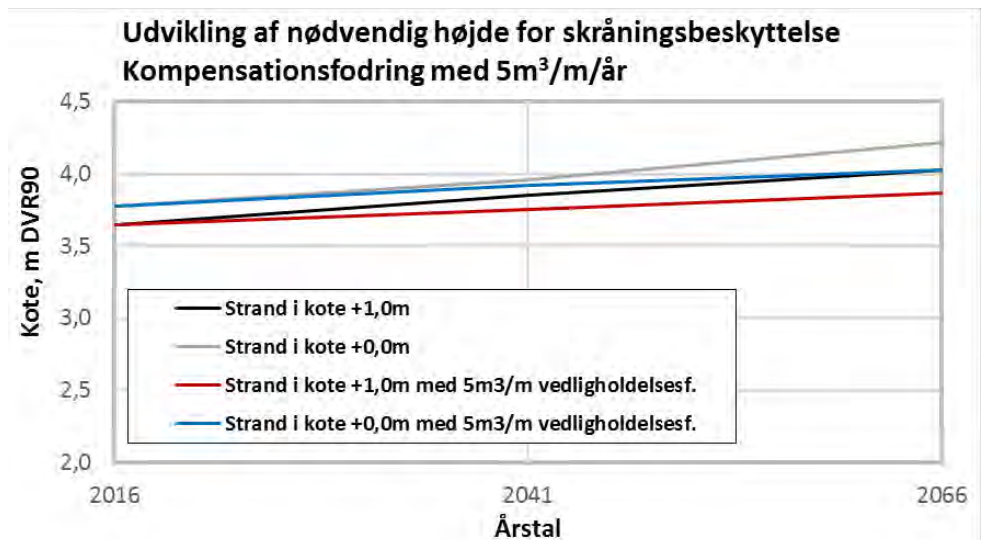
Figur 8-2 Fremtidig potentiel kystudvikling med strand op til kote +1,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år og kompensationsstrandfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion



Figur 8-3 Fremtidig potentiel kystudvikling med strand op til kote +0,0m foran eksisterende skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år og kompensationsstrandfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion

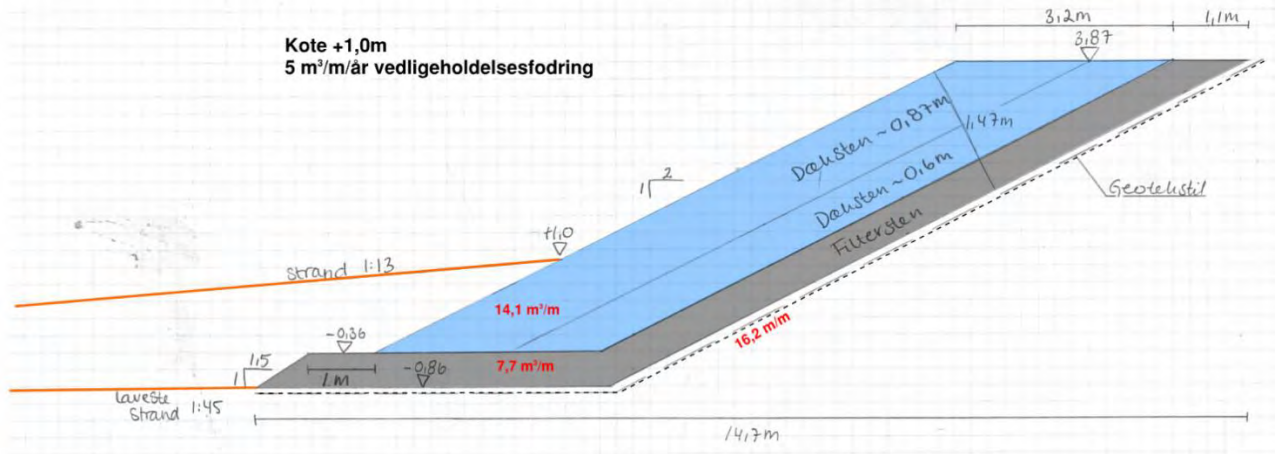


Figur 8-4 Udvikling af nødvendig størrelse af dæksten for skråningsbeskyttelser i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år med kompensationsstrandfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion



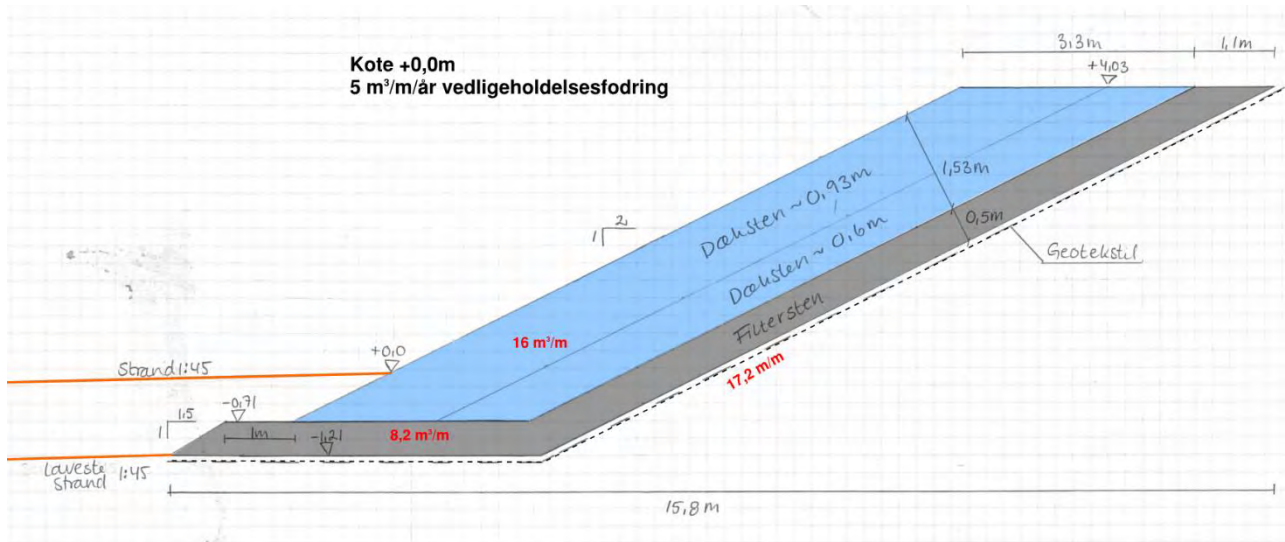
Figur 8-5 Udvikling af nødvendig højde af skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år med kompensationsstrandfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion

Figur 8-6 viser den nødvendige kystbeskyttelse med skråningsbeskyttelse og kompensationsstrandfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år svarende til den kroniske erosion for eksisterende situation med strand i kote +1,0m.



Figur 8-6 Skråningsbeskyttelse med strand i kote +1,0m foran og kompensationsfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion

Figur 8-7 viser den nødvendige kystbeskyttelse med skråningsbeskyttelse og kompensationsstrandfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år svarende til den kroniske erosion for eksisterende situation med strand i kote +0,0m.



Figur 8-7 Skråningsbeskyttelse med strand i kote +0,0m foran og kompensationsfodring på 5 m<sup>3</sup>/m/år modsvarende den kroniske erosion

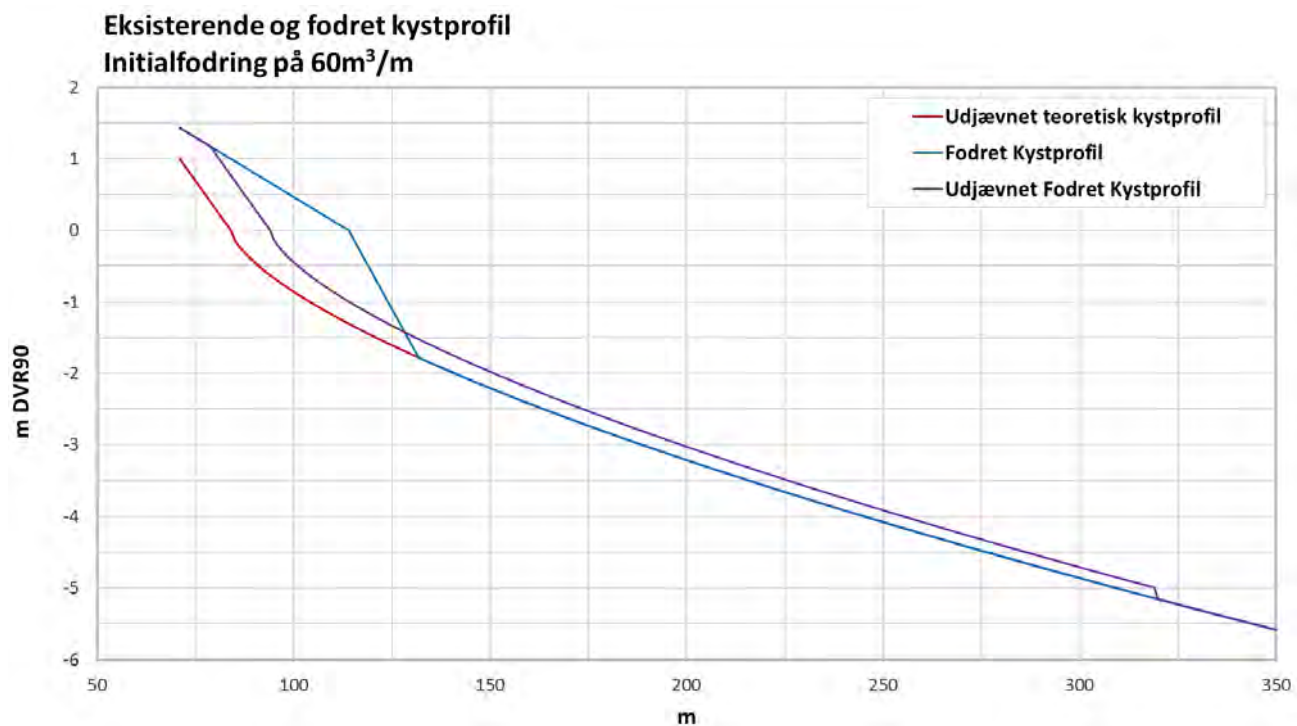
Figurerne viser, at der er behov for omfattende forstærkning af skråningsbeskyttelserne, når der kun fodres med 5 m<sup>3</sup>/m/år, som antages at modsvare den kroniske erosion og KDIs minimumskrav, se Figur 7-139, Figur 7-140, Figur 8-6 og Figur 8-7.

Fodring med små mængder over korte strækninger vurderes ikke at være en løsning som på sigt kan stabilisere kysten og derved fremtidssikre kystbeskyttelsen langs Nordkysten.

## 8.5 Opgradering af skråningsbeskyttelser og initialstrandfodring med 60 m<sup>3</sup>/m

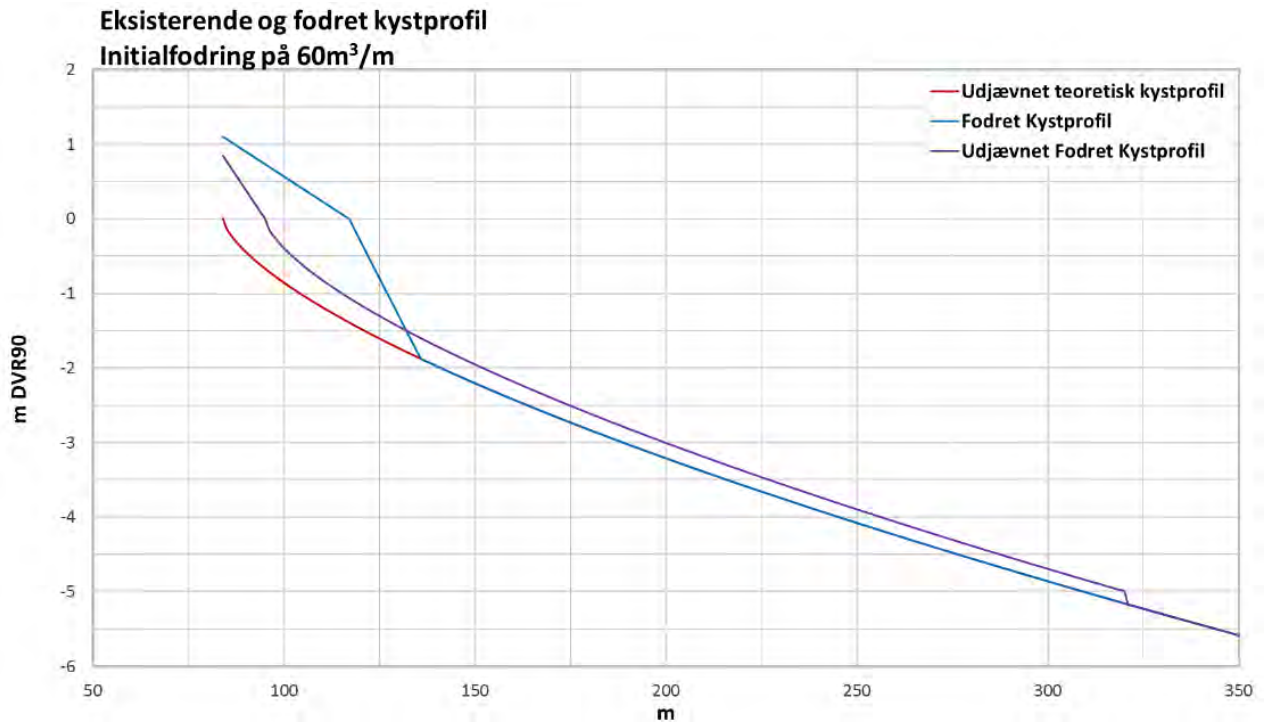
Kysten har tabt store mængder sand gennem tiden og der er således brug for en stor initialfodring for at genskabe strandene og øge beskyttelsen af de eksisterende kystbeskyttelses anlæg og skråningerne bagved.

Indledningsvist foreslås det, at der fodres med i størrelsesorden 60 m<sup>3</sup>/m. Strandfodring foretages langs foden af eksisterende skråninger med en blanding af sand, grus og ral. Det antages, at hældningen af fodningsmaterialet på stranden er 1:30 over vandet og 1:10 under vandet. Når fodringen er foretaget vil der indstille sig et nyt ligevægtsprofil, se Figur 8-8 og Figur 8-9.



Figur 8-8 Før og efter initial strandfodring med 60 m<sup>3</sup>/m foran skråningsbeskyttelse med foranliggende strand i kote +1,0 m

Det udlagte sand og ral vil gradvist vandre op langs kysten fra sydvest mod nordøst og derved komme hele kysten til gode. Det betyder, at strandfodringen skal vedligeholdes fremover. Vedligeholdelsen per år er dog kun en brøkdel af den initiale fodring. Vedligeholdelsesbehovet vurderes nærmere i det følgende afsnit.



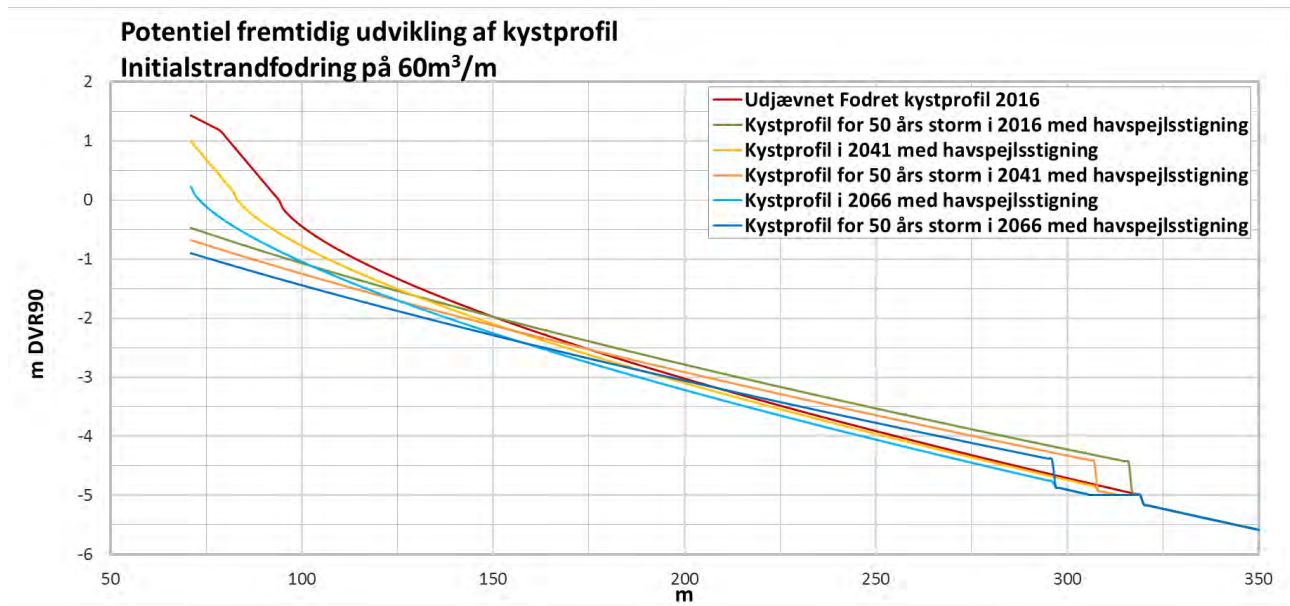
Figur 8-9 Før og efter initial strandfodring med 60 m<sup>3</sup>/m foran skråningsbeskyttelse med foranliggende strand i kote +0,0 m

Når der strandfodres, vil den fremtidige kysterosion bremses eller endda udbygge stranden. Opbygningen af kystprofilen med sand- og ralfodring vil medvirke til, at dybden foran skråningsbeskyttelserne reduceres fremover, og derved opnås en bedre beskyttelse af baglandet. Strandfodring medvirker til at styrke og beskytte de eksisterende skråningsbeskyttelser. Desuden vil behovet for udbygning og forstærkning af skråningsbeskyttelserne reduceres. Strandfodring vil medføre, at eksisterende høfder og bølgebrydere får mere sand og ral at arbejde med, hvorved virkningen af konstruktionerne forbedres.

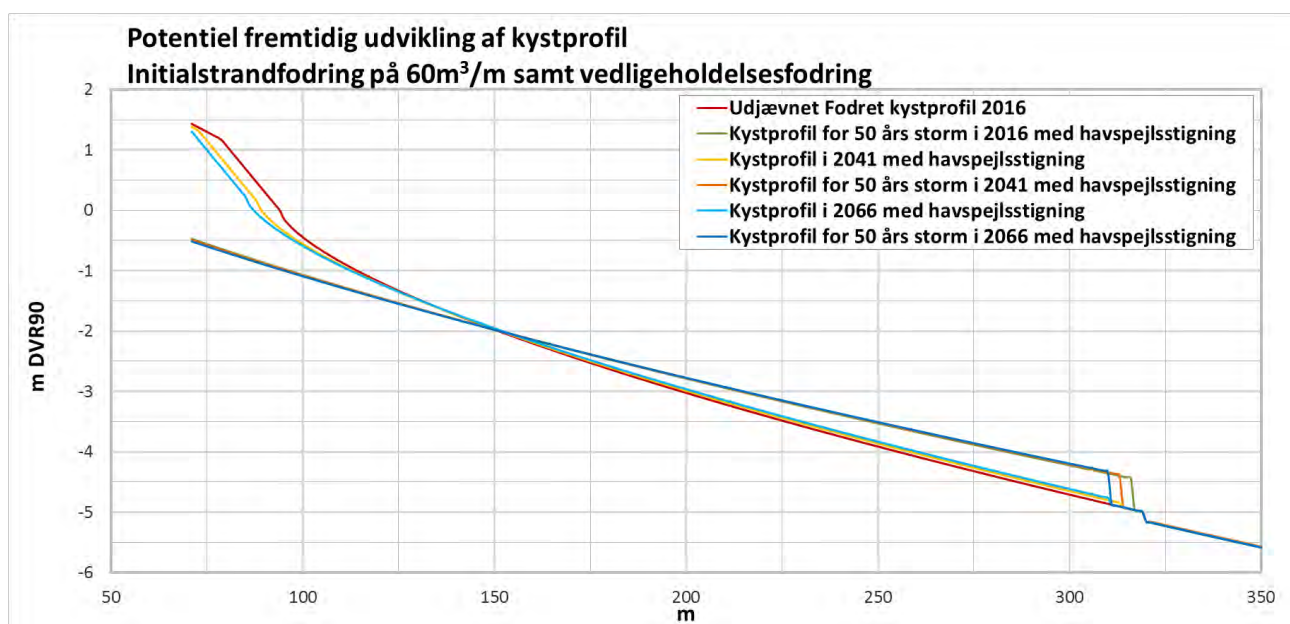
Udover initial strandfodring med 60 m<sup>3</sup>/m foreslås det, at grundejerne renoverer og forstærker deres skråningsbeskyttelser til optimal standard for en 50 års hændelse om 50 år på de strækninger, der er med under et regionalt strandfodringsprojekt. Alle skråningsbeskyttelser dækkes med sand også op ad skrånningen ovenover for at stabilisere skråningerne bagved. Bagstranden sås til med marehalm over kote +1,75m.

Der bør foretages oprydning af gamle konstruktioner på stranden. Stenene kan med fordel indbygges i forstærkede skråningsbeskyttelser. Den hårde kystbeskyttelse anbefales renoveret af de private kystbeskyttelseslag, som ejer konstruktionerne.

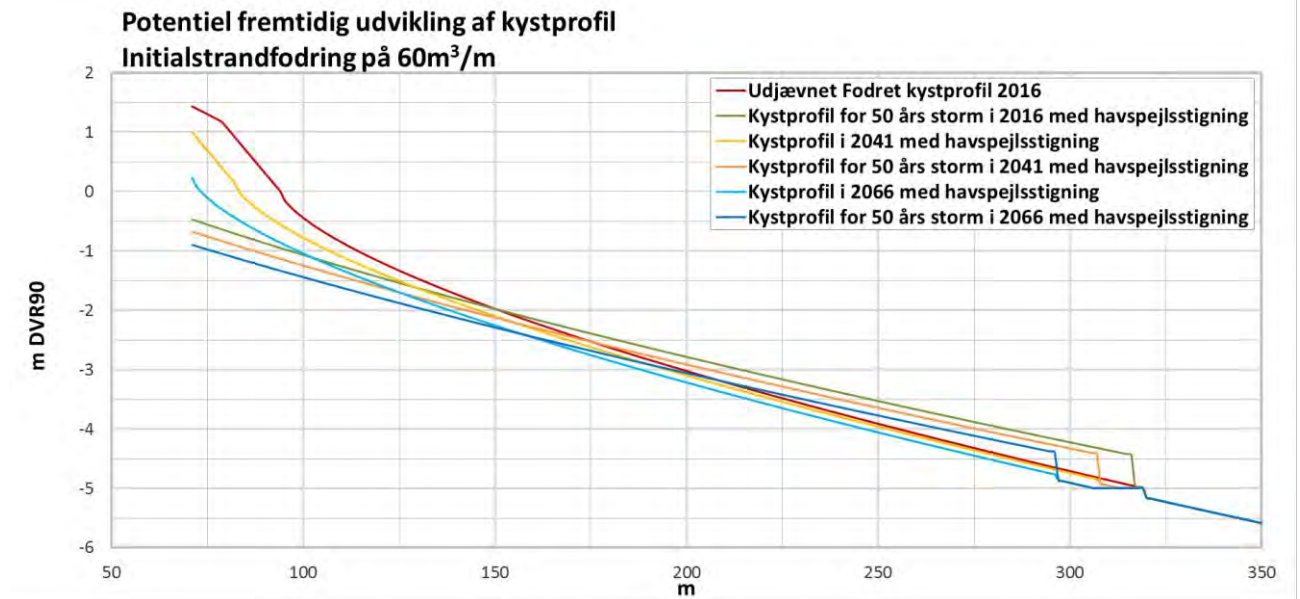
Figur 8-10 til Figur 8-13 viser den potentielle kystudvikling foran eksisterende skråningsbeskyttelser med initialfodring på 60 m<sup>3</sup>/m med og uden løbende vedligeholdelsesfodring.



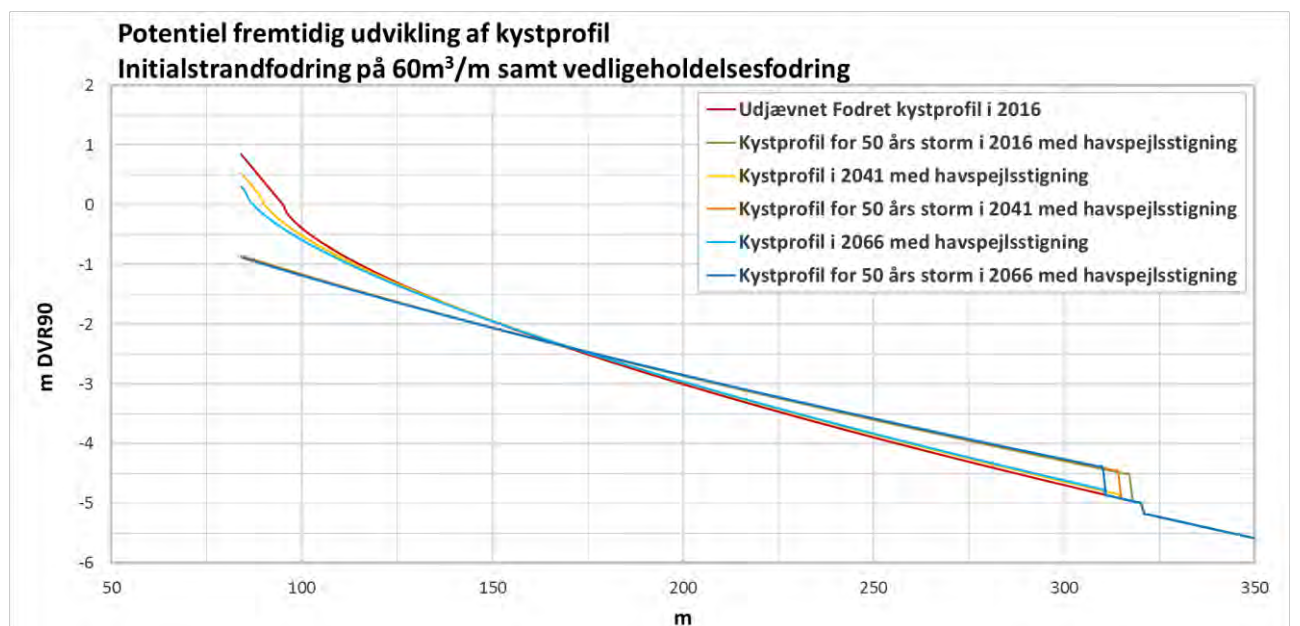
Figur 8-10 Udvikling af kystprofil foran skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +1,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 60 m<sup>3</sup>/m



Figur 8-11 Udvikling af kystprofil foran skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +1,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 60 m<sup>3</sup>/m og løbende vedligeholdelsesfodring

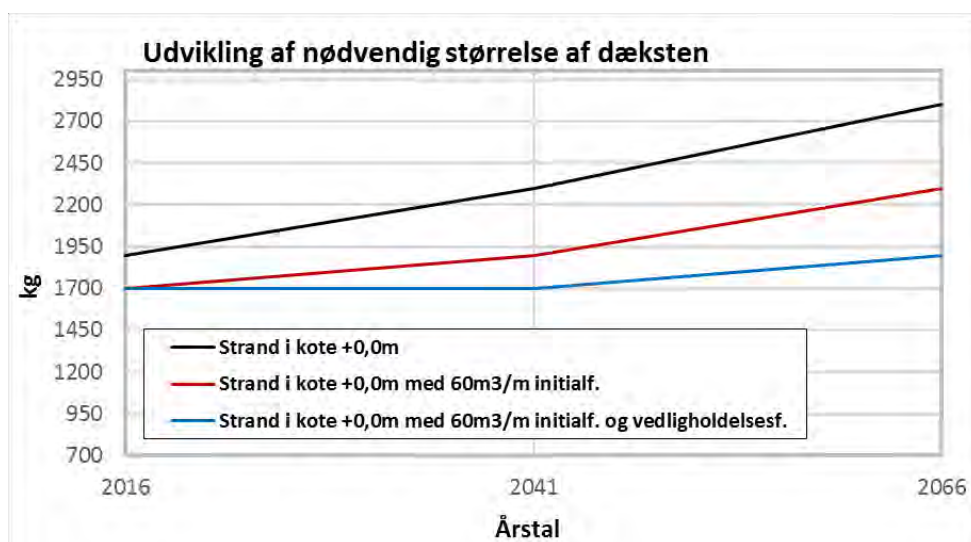
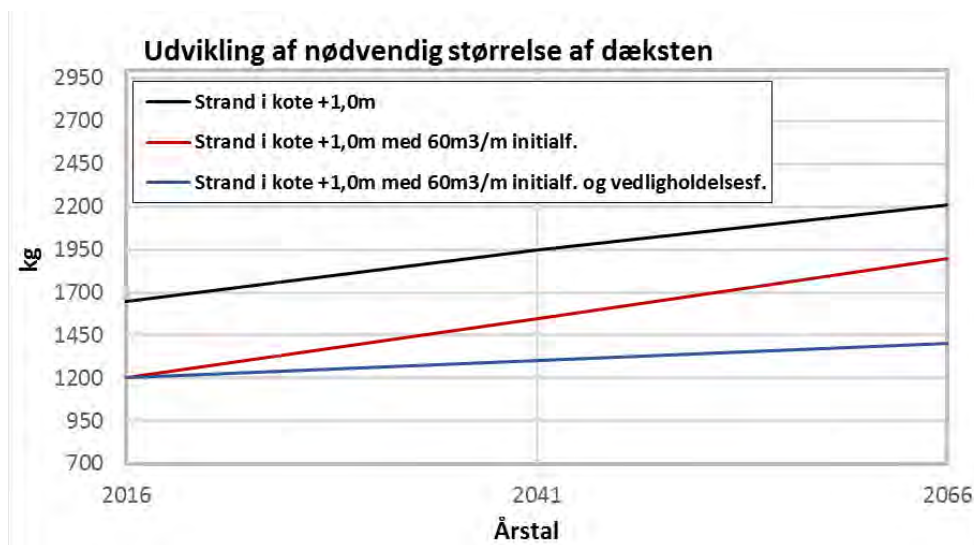


Figur 8-12 Udvikling af kystprofil foran skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +0,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 60 m<sup>3</sup>/m



Figur 8-13 Udvikling af kystprofil foran skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +0,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 60 m<sup>3</sup>/m og løbende vedligeholdelsesfodring

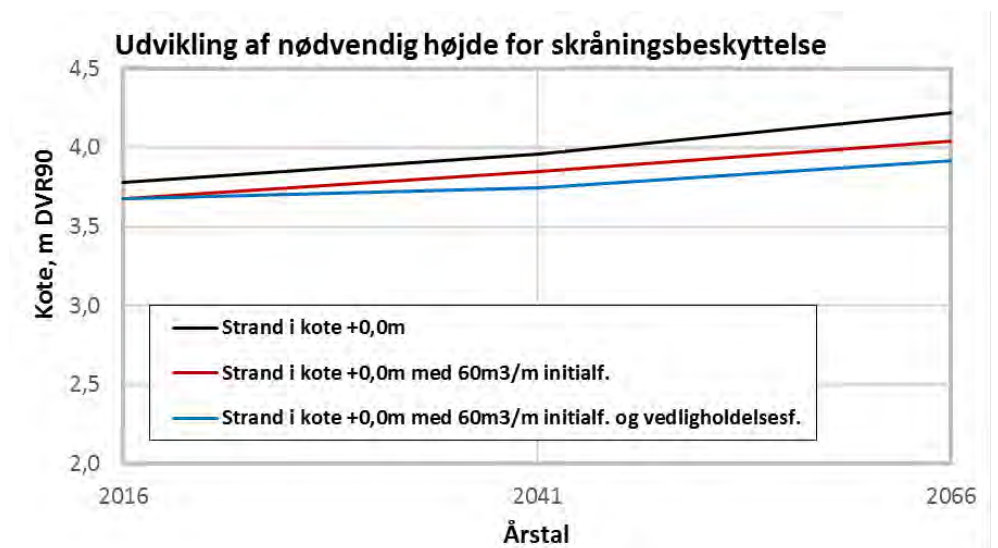
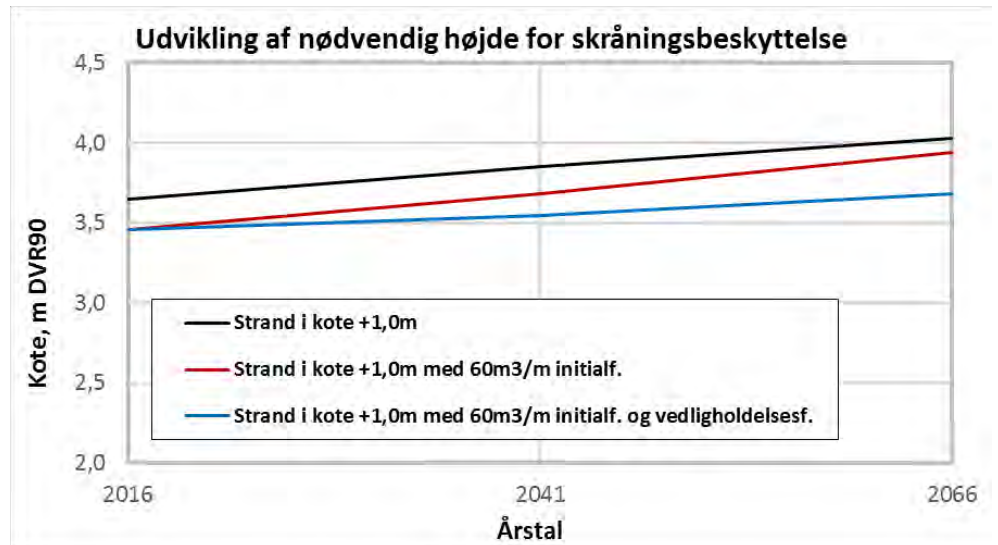
Figur 8-14 viser udviklingen af nødvendig størrelse af dækstenene med initialfodring på 60 m<sup>3</sup>/m med og uden løbende vedligeholdelsesfodring.



Figur 8-14 Udvikling af nødvendig størrelse af dæksten for skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 60 m<sup>3</sup>/m med og uden løbende vedligeholdelsesfodring

Figur 8-15 viser udviklingen af nødvendig højde af skråningsbeskyttelserne med initialfodring på 60 m<sup>3</sup>/m med og uden løbende vedligeholdelsesfodring.



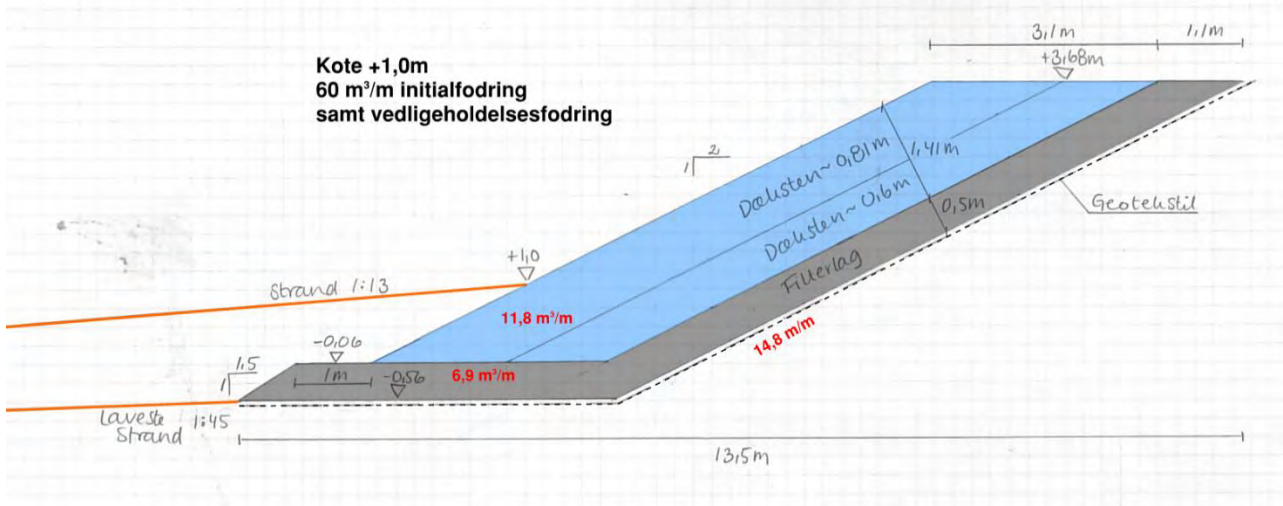


Figur 8-15 Udvikling af nødvendig højde af skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 60 m<sup>3</sup>/m med og uden løbende vedligeholdelsesfodring

Figurerne viser, at strandfodring vil reducere behovet for forstærkning af den eksisterende kystbeskyttelse fremover.

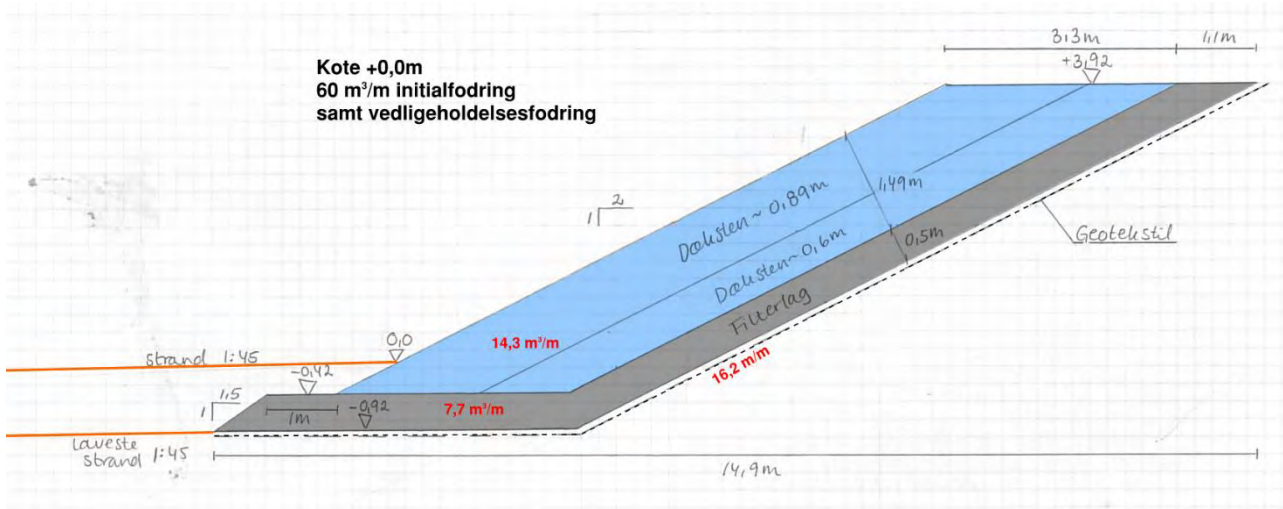
Figurerne viser desuden, at det er nødvendigt at vedligeholde kystprofilen med løbende vedligeholdelsesstrandfodringer for at opretholde kystbeskyttelsen set i lyset af den kroniske erosion og de forventede havspejlsstigninger. Vedligeholdelsesbehovet vurderes nærmere i følgende afsnit.

Figur 8-16 viser den nødvendige kystbeskyttelse med skråningsbeskyttelse og strandfodring på 60 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelsesfodring for den eksisterende situation med strand i kote +1,0m.



Figur 8-16 Skråningsbeskyttelse med strandfodring på 60 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelse for den eksisterende situation med strand i kote +1,0m

Figur 8-17 viser den nødvendige kystbeskyttelse med skråningsbeskyttelse og strandfodring på 60 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelsesfodring for den eksisterende situation med strand i kote +0,0m i dag.

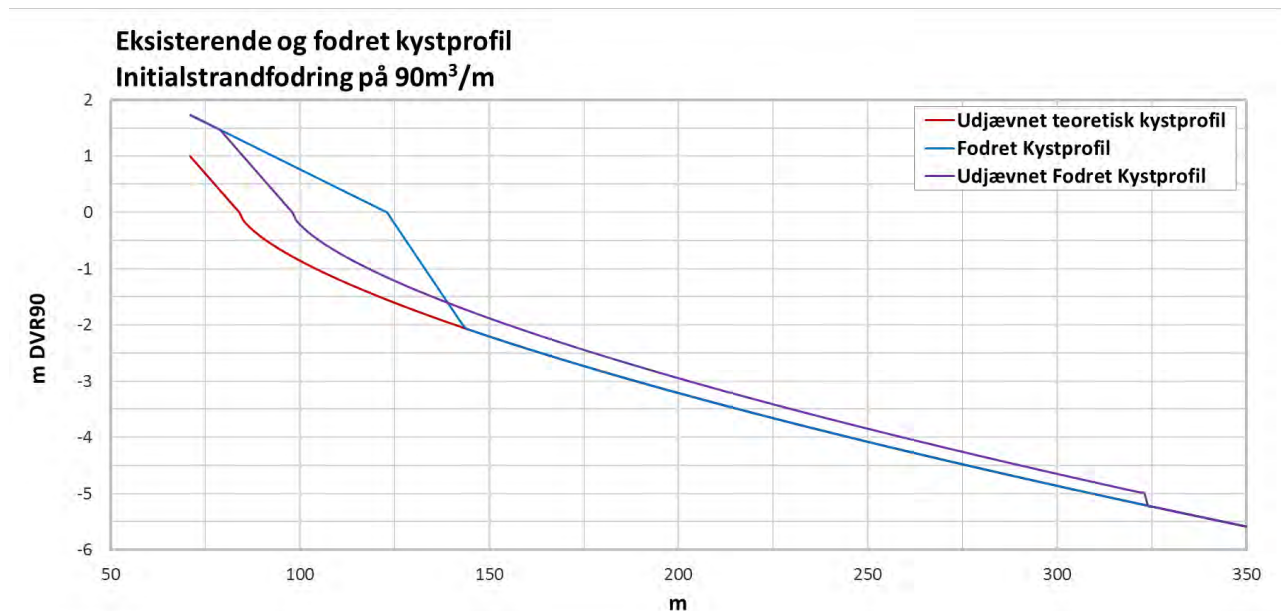


Figur 8-17 Skråningsbeskyttelse med strandfodring på 60 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelse for den eksisterende situation med strand i kote +0,0m

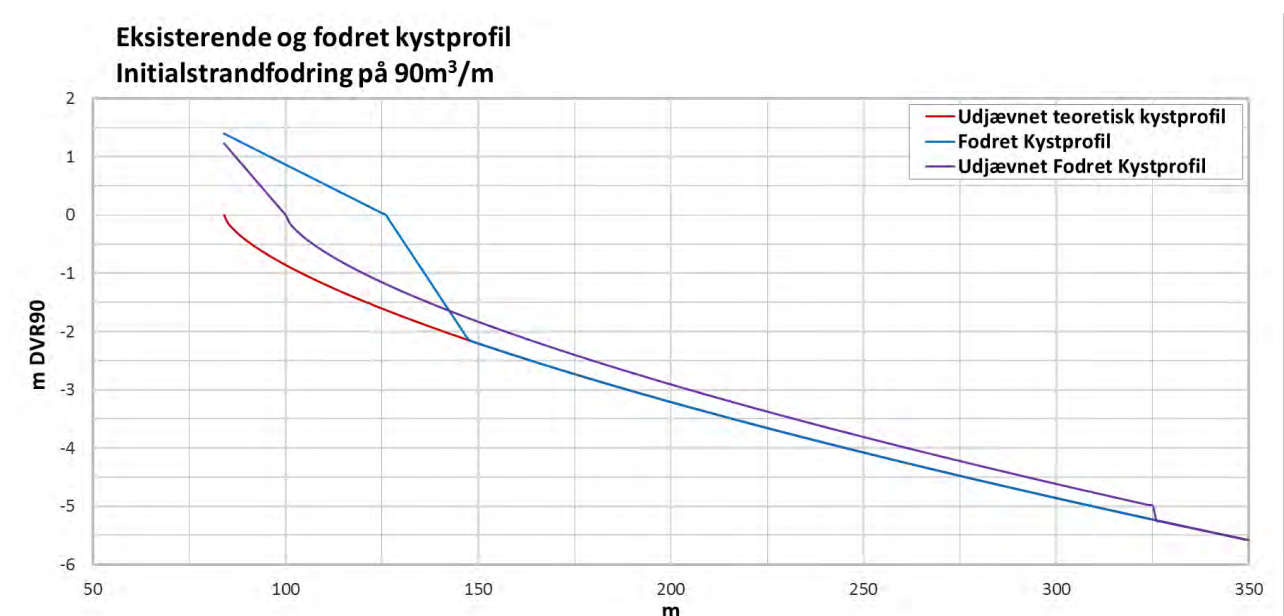
## 8.6 Opgradering af skråningsbeskyttelser og initialstrandfodring med 90 m<sup>3</sup>/m

Kysten har tabt store mængder sand gennem tiden, og der er således brug for en stor initialfodring for at genskabe strandene og øge beskyttelsen af de eksisterende kystbeskyttelses anlæg og skråningerne bagved. For at øge beskyttelsen foreslås det, at der fodres med i størrelsesorden 90 m<sup>3</sup>/m på udsatte strækninger.

Strandfodring foretages langs foden af eksisterende skrånninger. Det antages at hældningen af fodringsmaterialet er 1:30 over vandet og 1:10 under vandet. Når fodringen er foretaget vil der indstille sig et nyt ligevægtsprofil, se Figur 8-18 og Figur 8-19.



Figur 8-18 Før og efter initialstrandfodring med 90 m<sup>3</sup>/m foran skråningsbeskyttelse med foranliggende strand i kote +1,0 m



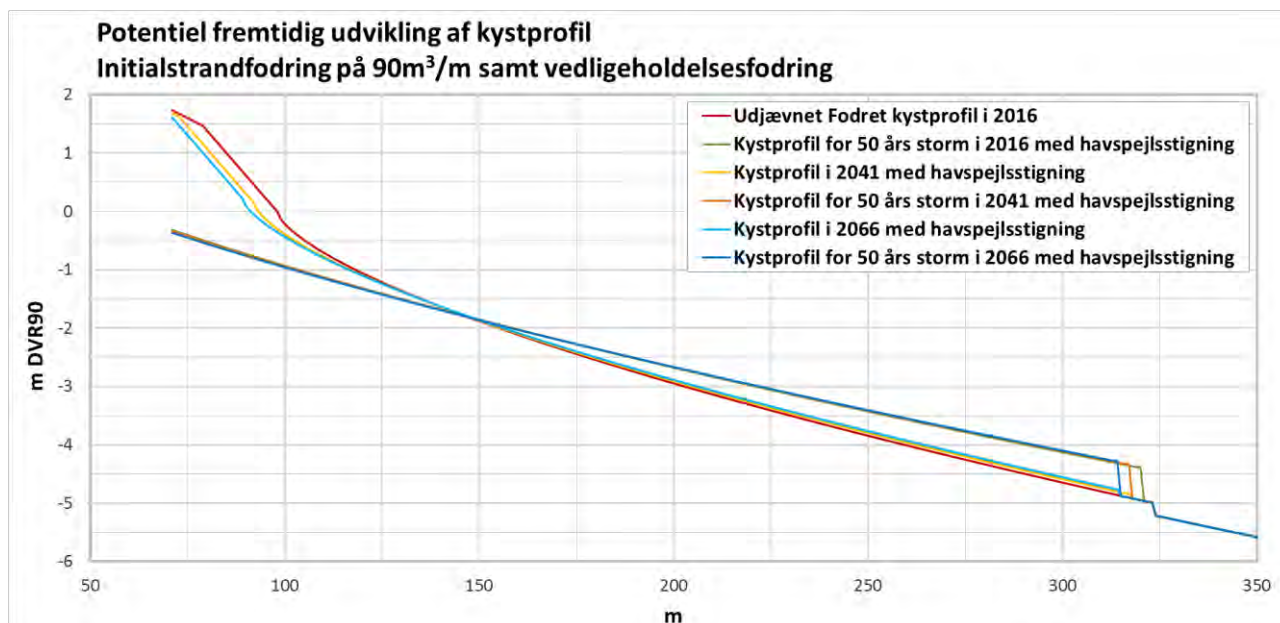
Figur 8-19 Før og efter initialstrandfodring med 90 m<sup>3</sup>/m foran skråningsbeskyttelse med foranliggende strand i kote +0,0 m

Det udlagte sand og ral vil gradvist vandre op langs kysten fra sydvest mod nordøst og derved komme hele kysten til gode. Det betyder dog, at strandfodringen skal vedligeholdes fremover. Vedligeholdelsen er dog kun en brøkdel af den initiale fodring. Vedligeholdelsesbehovet vurderes nærmere i det følgende afsnit.

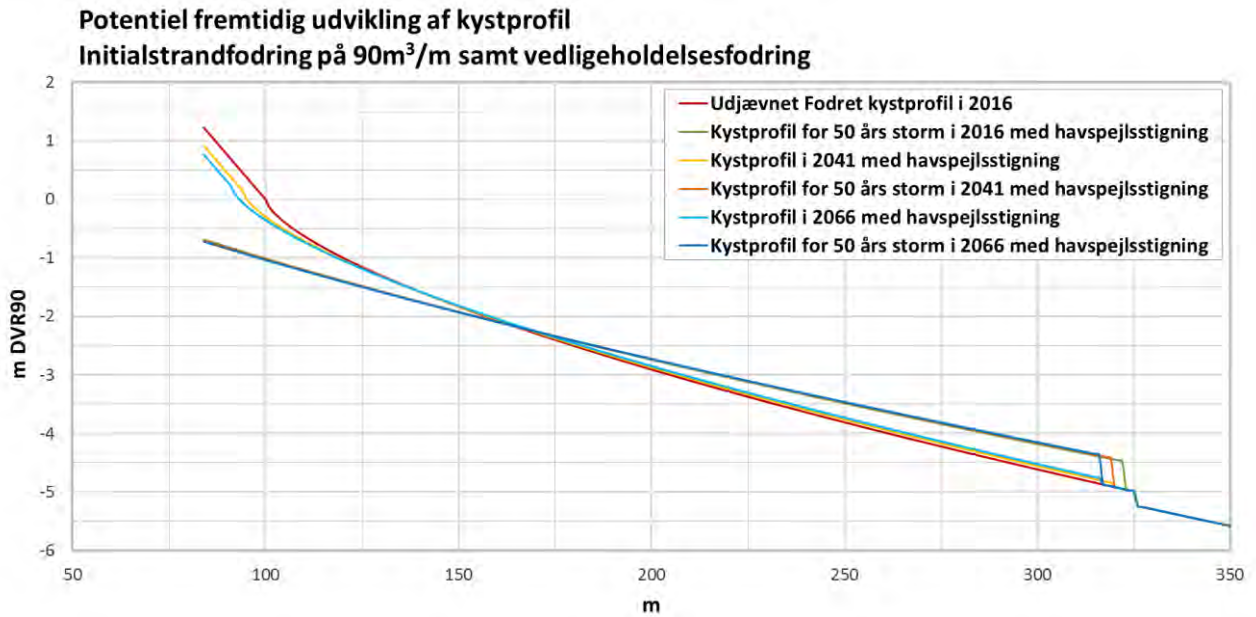
Udover initial strandfodring med  $90 \text{ m}^3/\text{m}$  foreslås det, at grundejerne renoverer og forstærker deres skråningsbeskyttelser til optimal standard for en 50 års hændelse om 50 år på de strækninger, der er med under et regionalt strandfodringsprojekt. Alle skråningsbeskyttelser dækkes med sand også op ad skrånningen ovenover for at stabilisere skråningerne bagved. Bagstranden sås til med marehalm over kote  $+1,75\text{m}$ .

Der bør foretages oprydning af gamle konstruktioner på stranden. Stenene kan med fordel indbygges i forstærkede skråningsbeskyttelser. Den hårde kystbeskyttelse anbefales renoveret af de private kystbeskyttelseslag, som ejer konstruktionerne.

Figur 8-20 og Figur 8-21 viser den potentielle kystudvikling foran eksisterende skråningsbeskyttelser med initialfodring på  $90 \text{ m}^3/\text{m}$  med løbende vedligeholdelsesfodring.

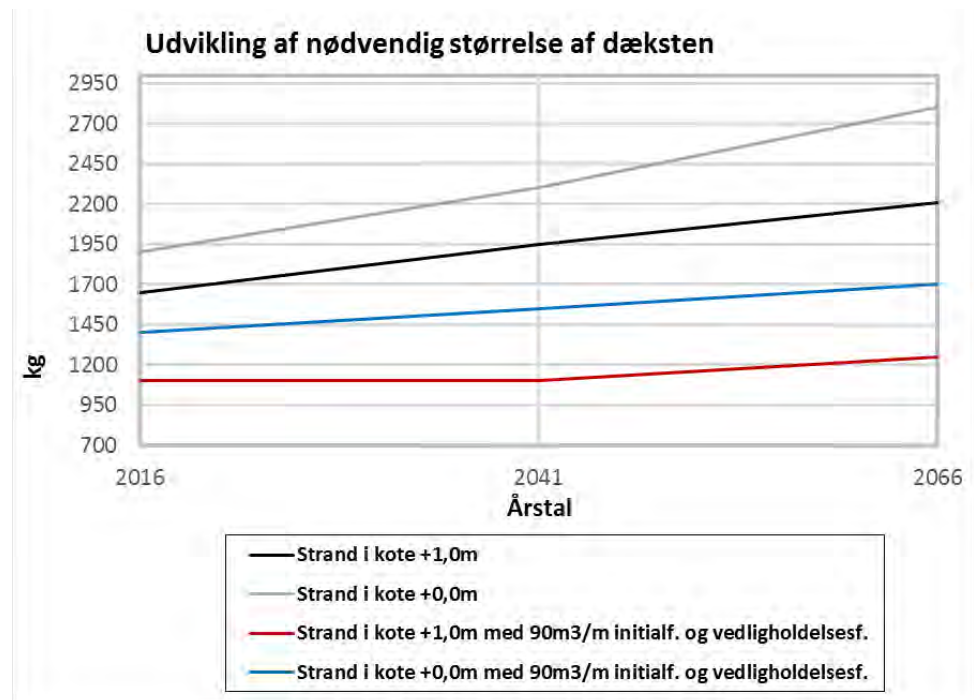


Figur 8-20 Udvikling af kystprofil foran skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote  $+1,0\text{m}$  foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med  $90 \text{ m}^3/\text{m}$  med løbende vedligeholdelsesfodring



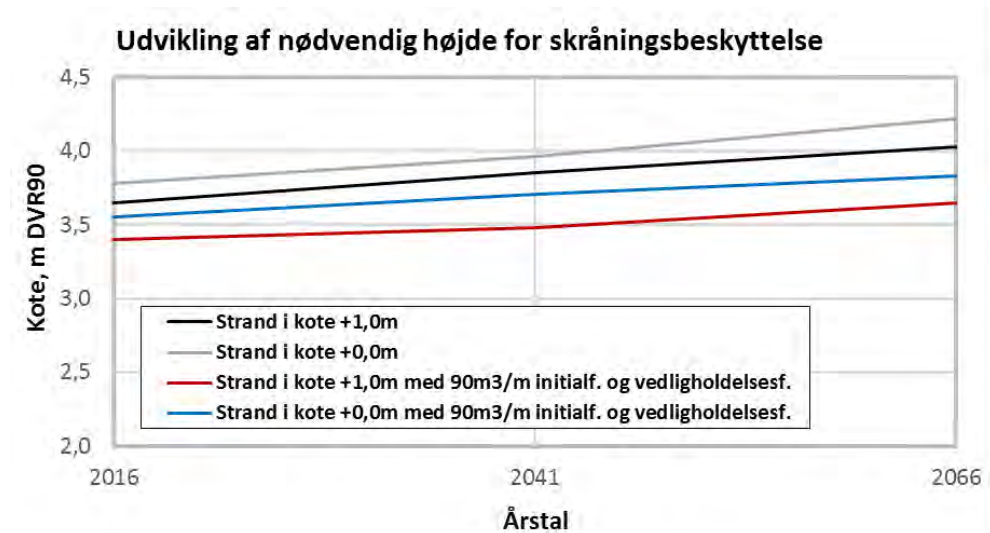
Figur 8-21 Udvikling af kystprofil foran skråningsbeskyttelse med nuværende strand op til kote +0,0m foran i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 90 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelsesfodring

Figur 8-22 viser udviklingen af nødvendig størrelse af dækstenene med initialfodring på 90 m<sup>3</sup>/m med og uden løbende vedligeholdelsesfodring.



Figur 8-22 Udvikling af nødvendig størrelse af dæksten for skråningsbeskyttelser i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 90 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelsesfodring

Figur 8-23 viser udviklingen af nødvendig højde af skråningsbeskyttelserne med initialfodring på 90 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelsesfodring.



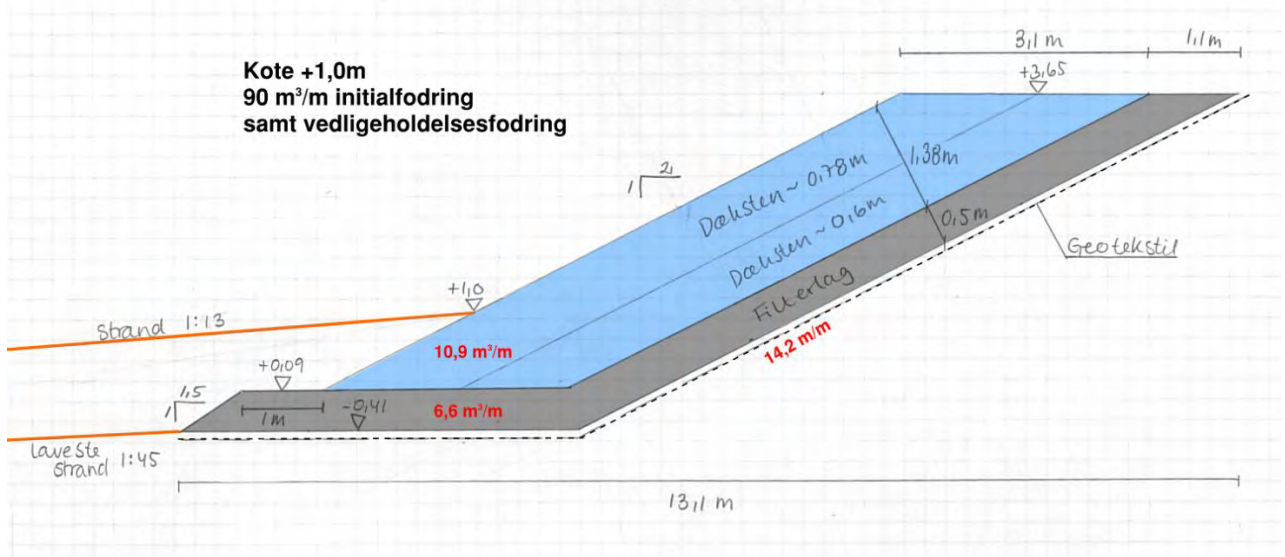
Figur 8-23 Udvikling af nødvendig højde af skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år, når der strandfodres med 90 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelsesfodring

Figurerne viser, at strandfodring forbedrer kystbeskyttelsen betydeligt i forhold til at lade stå til. Styrken af den eksisterende kystbeskyttelse kan opretholdes på et mere sikkert niveau, når der fodres med 90 m<sup>3</sup>/m og der samtidig foretages den nødvendige løbende vedligeholdelsesfodring.

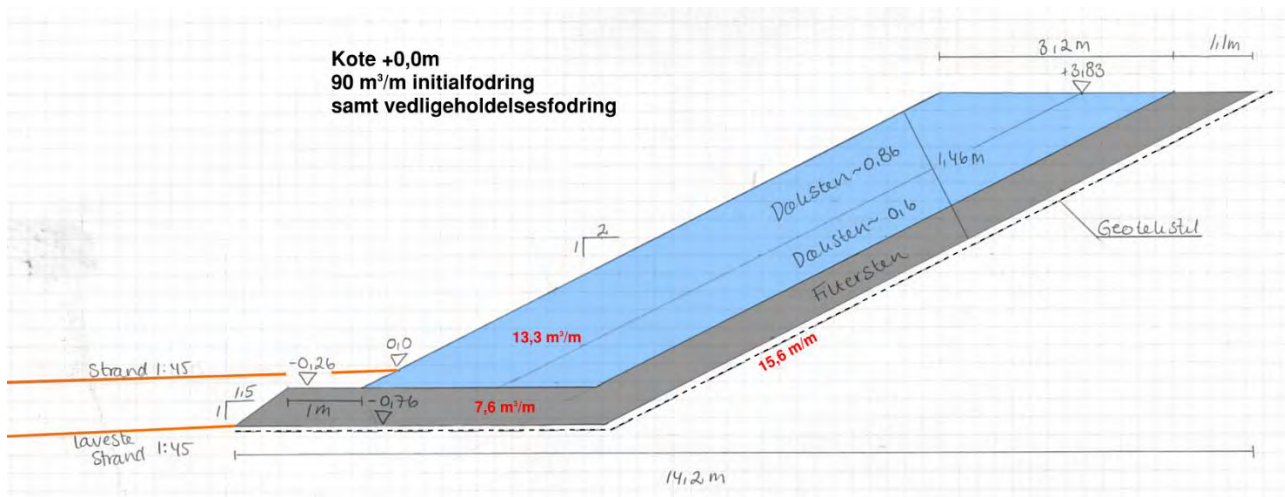
Der er strækninger langs Nordkysten, hvor situationen er så kritisk, at der bør fodres med i størrelsesorden 90 m<sup>3</sup>/m for at sikre tilstrækkelig kystbeskyttelse fremover.

Figur 8-24 viser den nødvendige kystbeskyttelse med skråningsbeskyttelse og strandfodring på 90 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelsesfodring for den eksisterende situation med strand i kote +1,0m i dag.

Figur 8-24 viser den nødvendige kystbeskyttelse med skråningsbeskyttelse og strandfodring på 90 m<sup>3</sup> /m med løbende vedligeholdelsesfodring for den eksisterende situation med strand i kote +0,0m i dag.



Figur 8-24 Skråningsbeskyttelse med strandfodring på 90 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelse



Figur 8-25 Skråningsbeskyttelse med strandfodring på 90 m<sup>3</sup>/m med løbende vedligeholdelse

## 8.7 Vedligeholdelsesfodring

Strandfodring er ikke stationært, men sand og ral vandrer langs kysten fra vest mod øst langs Nordkysten.

For at opretholde en beskyttende strand langs tæt bebyggede strækninger af Nordkysten, skal der efter den initiale strandfodring vedligeholdelsesfodres med mængder svarende til den kroniske erosion og for at modvirke den forventede havspejlsstigning.

Fra Spodsbjerg vokser netto langtransporten fra 0 til mellem 50.000 og 70.000 m<sup>3</sup>/år (aktuel transport) mod nordøst ved Gilleleje, se Figur 7-11. Derudover vurderes den samlede erosion af kysten øst for Gilleleje at være i størrelsesordenen 15.000 til 25.000 m<sup>3</sup>/år.

Det vurderes, at der samlet set skal vedligeholdelsesstrandfodres med i størrelsesordenen 100.000 m<sup>3</sup>/år langs Nordkysten for at opretholde en beskyttende strand foran den eksisterende kystbeskyttelse for at stoppe den kroniske erosion.

Derudover forventes kystprofilen at erodere tilbage som følge af den forventede fremtidige havspejlsstigning, som figurerne af den fremtidige udvikling af kystprofilerne har vist.

Den nuværende stigning i vandstøjet er på ca. 3,5 mm/år. Derfra skal fratrækkes 1,5 mm/år som følge af landhævning. Den resulterende stigning i vandspejlet er således på 2 mm/år. Det aktive profil ud til 5 m vanddybde er ca. 250 m bredt. Derfor skal der ca.  $250 \cdot 0,002 = 0,5$  m<sup>3</sup>/m/år til i kompensation for erosion som følge af havspejlsstigning. Dette svarer til ca. 15.000 m<sup>3</sup>/år for at modvirke stigningen i havvandspejlet fremover langs de foreslåede fodringsstrækninger.

Det foreslås at strandfodre langs cirka 28 km af Nordkysten. Det vurderes, at der skal strandfodres med i størrelsesordenen 115.000 m<sup>3</sup>/år langs Nordkysten for at opretholde beskyttelsesniveauet, svarende til cirka 4 m<sup>3</sup>/m/år.

For at optimere vedligeholdelsesindsatsen anbefales det at udføre større vedligeholdelsesfodringerne med 2 til 3 år mellemrum for at kunne reducere mobiliseringsomkostningerne og derved fodre med større mængder ad gangen.

Vedligeholdelsesfodringerne foretages i den østlige del af hver enkelt fodringsstrækning for at forøge og forlænge levetiden af fodringerne samt de strækninger som ellers har det største behov.

I fremtiden bør det sand, der oprenses i sejlrenden ved Gilleleje Havn og Hornbæk Havn benyttes som strandfodring øst for havnene. Dette vil hjælpe med til at opretholde balance i sedimentbudgettet på Nordkysten, og dermed styrke strandene som beskyttelse mod kronisk og akut erosion. Sandets kredsløb beskrives mere i det følgende.

## 8.8 Konstruktioner i brydningszonen

Erfaring fra kystbeskyttelsesprojektet på Nordfyn har vist, at der på trods af strandfodring kan være strækninger, hvor fodringmaterialet har svært ved at blive liggende i tilstrækkelig udstrækning til at beskytte kysten.

Udsatte strækninger kan med fordel beskyttes ved anlæggelse af nye og forbedrede konstruktioner på strandplanet i form af høfder, bølgebrydere, rev eller



flak. Rev og flak vil ikke blokere den langsgående transport i samme omfang som bølgebrydere og høfder.

Typisk vil sådanne konstruktioner være anvendelige på strækninger nedstrøms for kystfremspring, hvor den langsgående transportkapacitet øges over en kort afstand og sand og ral derfor kan have svært ved at blive liggende i tilstrækkeligt omfang.

Konstruktionerne vil kunne reducere vedligeholdelsesbehovet lokalt og sikre en mere ensartet beskyttelse langs kysten.

Nye større konstruktioner på strandplanet skal under alle omstændigheder kombineres med løbende vedligeholdelsesfodring for at forhindre læsideerosion.

Gamle konstruktioner på strandplanet kan med fordel samles til enkelte større konstruktioner, når der samtidig strandfodres over længere strækninger.

Indledningsvist anbefales det ikke at anlægge nye høfder, bølgebrydere, rev og flak til at stabilisere stranden. Dette kan komme på et senere tidspunkt, når strandfodringen er foretaget og det faktiske behov kan identificeres og herunder, hvor sand og ral har svært ved at blive liggende i tilstrækkelig omfang.

Det kan dog være en god ide at rydde op i gamle konstruktioner på strandplanet før der strandfodres. Eksisterende stenmaterialer kan med fordel indbygges i eksisterende skråningsbeskyttelser for at sikre en optimal udnyttelse af materialerne.

## 8.9 Naturligt og kunstigt sandkredsløb

### 8.9.1 Den naturlige transport

Som beskrevet i afsnit 7 foregår der en naturlig transport af sand langs kysten hovedsagelig drevet af bølgepåvirkningen af sedimenterne i kystprofilet. Disse processer resulterer i den såkaldte netto langstransport, som er den gennemsnitlige årlige transport langs kysten, samt i tværtransport hovedsagelig under storm. Gradienter i langstransporten fører til kronisk erosion mens søvæerts tværtransport under stormflod medfører akut erosion. Dette er de naturlige processer, som fører til erosion langs kysterne.

Langstransporten varierer dels naturligt langs kysten grundet ændringer i bølgeforhold og ændringer orienteringen af kysten, men langstransporten er også under indflydelse af diverse kystbeskyttelseskonstruktioner, som høfder, bølgebrydere og skråningsbeskyttelse, men er især influeret af havnene.

## 8.9.2 Sandkredsløb på strækninger med kystbeskyttelse

### Høfder og bølgebrydere

Høfder og bølgebrydere fanger sand fra langstransporten, hvorved den opstrøms strækning sikres imod erosion, men de medfører ligeledes læsideerosion, dvs. at erosionsproblemet flyttes nedstrøms. Disse konstruktioner er opført i stort omfang langs Nordkysten, men Kystdirektoratet giver ikke længere tilladelse til denne type konstruktioner med mindre de indgår i et større helhedsorienteret projekt. Retablering af det naturlige sandkredsløb på strækninger, som er beskyttet med denne type konstruktioner, kan bl.a. ske ved at fjerne de mest u hensigtsmæssige af konstruktionerne i forbindelse med en overgang til kystbeskyttelse via kystfodring. De historiske bølgebrydere ved Liseleje og Rågeleje har dog en så markant indvirkning på de strandforhold, som mange i dag opfatter som naturlige, at det næppe kan komme på tale at fjerne disse konstruktioner. Derimod kunne disse markante lokaliteter yderligere udvikles og optimeres, således at deres påvirkning af kysten minimeres.

### Skråningsbeskyttelse

Strækninger beskyttet med skråningsbeskyttelse griber også ind i det naturlige sandkredsløb, idet de hindrer frigivelse af sand til sedimentbudgettet langs kysten ved at beskytte kystskrænterne imod erosion. Denne virkning kan elimineres på to forskellige måder:

- > Ved at fjerne skråningsbeskyttelserne. Dette er dog ikke realistisk fordi netop disse konstruktioner sikrer en stor mængde huse og vejstrækninger.
- > Ved at kompensere for den manglende tilførsel af sand fra nedbrydning af klinterne med kompensationsfodring. Det er nu praksis, at der stilles krav om en sådan kompensationsfodring når der gives tilladelse til skråningsbeskyttelse af Kystdirektoratet, herunder også i forbindelse med forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelse.

I forbindelse med nærværende projekt, som jo overordnet omhandler opgradering og fremtidssikring af den eksisterende kystbeskyttelse langs Nordkysten, vil der blive stillet krav om en sådan kompensationsfodring. Der vil herudover blive stillet krav om tildækning af kystbeskyttelseskonstruktionerne med naturligt sediment i de tilfælde, hvor der etableres nye skråningsbeskyttelser.

## 8.9.3 Sandkredsløb ved havnene

Nordkysten er i nærværende sammenhæng defineret som strækningen mellem Hundested Havn og Helsingør Havn. Der er i princippet således fire havne på Nordkysten, hvoraf havnene ved Hundested og Helsingør er beliggende således, at de markerer afslutningen af den sedimentcelle, som udgøres af Nordkysten, mens Gilleleje Havn og Hornbæk Havn er beliggende inde på selve kyststrækningen. Havnene ved Hundested og Helsingør medfører luvsidetsanding, henholdsvis i form af **"Trekanten"** nord Hundested Havn og **"Gummistranden"** nordvest for Helsingør Nordhavn, mens den læsideerosion de måtte medføre er beliggende udenfor Nordkysten.

De største problemer i relation til sandaflejringer ved havnene og tilsanding i havnemundingerne, og dermed også i relation til påvirkninger af sedimentbudgettet, forekommer ved havnene i Gilleleje og Hornbæk. Derfor er sedimentmekanismene ved disse havne analyseret særskilt og resultaterne præsenteret i Tabel 8-1 og Tabel 8-2, (DHI & Hasløv & Kjærsgaard, 2013).

*Tabel 8-1 Sedimentmekanismer for Gilleleje Havn som det er praktiseret de sidste mange år. Kursiv: Tabt for kystens sedimentbudget*

Område	Fænomen	Størrelse og mængder	Klappes kystnært/ på strand Ø for havn	Nyttiggøres/ klappes på dybt vand
Udenfor havneområde	Bølgeindfaldsvinkel	~80°		
	Form af sandakkumulation vest for havn	Kort		
	Sandtilførsel til området fra vest	65.000 m <sup>3</sup> /år		
Tilsandingsområde vest for havn	Aflejring vest for havn	10.000 m <sup>3</sup> /år		
	Afgraves på Veststrand	4.000 m <sup>3</sup> /år		
	Resulterende aflejring på Veststrand	<i>6.000 m<sup>3</sup>/år</i>		<i>4.000 m<sup>3</sup>/år</i>
Transporteres forbi havn	Transporteres forbi vestlige bølgebryder	55.000 m <sup>3</sup> /år		
Indsejling og aflejringsområde øst for havn	Aflejres og oprenses i indsejling	15.000 m <sup>3</sup> /år	15.000 m <sup>3</sup> /år	
	Oprenses i bassiner	1.500 m <sup>3</sup> /år		<i>1.500 m<sup>3</sup>/år</i>
	Aflejring øst for havn	<i>13.500 m<sup>3</sup>/år</i>		
	Transport videre langs kyst	25.000 m <sup>3</sup> /år		
Total budget omkring havn	Samlede aflejringer omkring havn	<i>19.500 m<sup>3</sup>/år</i>		
	Nyttiggøres/dybt vand			<i>5.500 m<sup>3</sup>/år</i>
	Samlet bypass (naturlig + kystnær klappning)	40.000 m <sup>3</sup> /år		
	Resulterende under-skud i sedimentbudget	25.000 m <sup>3</sup> /år		

Tabel 8-2 Sedimentmekanismer for Hornbæk Havn som det er praktiseret siden ca. 2008. Kursiv: Tabt for kystens sedimentbudget

Område	Fænomen	Størrelse og mængder	Klappes kystnært/ på strand Ø for havn	Nyttiggøres/ klappes på dybt vand
Udenfor havneområde	Bølgeindfaldsvinkel	~30°		
	Form af sandakkumulation vest for havn	Lang		
	Sandtilførsel til området fra vest	50.000 m <sup>3</sup> /år		
Tilsandingsområde vest for havn	Aflejring vest for havn	30.000 m <sup>3</sup> /år		
	Afgraves på Veststrand	15.000 m <sup>3</sup> /år	10.000 m <sup>3</sup> /år	5.000 m <sup>3</sup> /år
	Resulterende aflejring på Veststrand	15.000 m <sup>3</sup> /år		
Transporteres forbi havn	Transporteres forbi vestlige bølgebryder	20.000 m <sup>3</sup> /år		
Indsejling og aflejningsområde øst for havn	Aflejres og oprenses i indsejling	10.000 m <sup>3</sup> /år	10.000 m <sup>3</sup> /år	
	Afgraves øst for havn	5.000 m <sup>3</sup> /år	5.000 m <sup>3</sup> /år	
	Resulterende aflejring øst for havn	5.000 m <sup>3</sup> /år		
Total budget omkring havn	Samlede aflejringer omkring havn	20.000 m <sup>3</sup> /år		
	Nyttiggøres			5.000 m <sup>3</sup> /år
	Samlet kunstig bypass		25.000 m <sup>3</sup> /år	
	Resulterende underskud i sedimentbudget	25.000 m <sup>3</sup> /år		

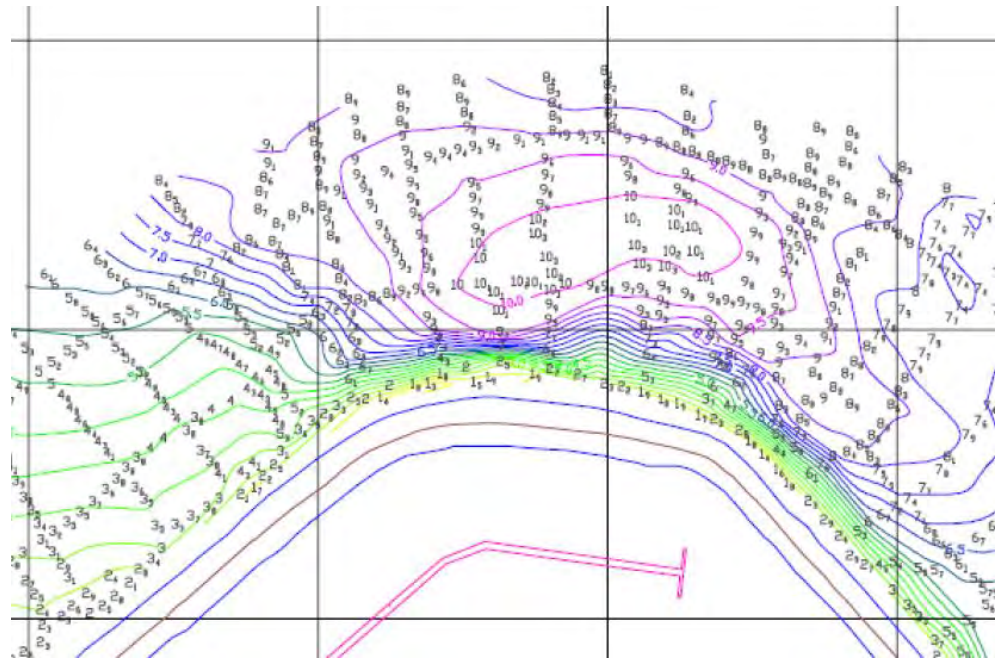
Det fremgår, at der forekommer et resulterende underskud på ca. 25.000 m<sup>3</sup>/år ved såvel Gilleleje Havn som ved Hornbæk Havn, og det på trods af en del tiltag med at optimere havneudformningerne og med at "bypasse" sand fra oprensninger og afgravninger. Underskuddene i sedimentbudgettet ved havnene skyldes følgende forhold i prioriteret rækkefølge:

- > Aflejringer vest og øst for havnene på strandplan, på strand og i klitter
- > Klapping på dybt vand
- > Nyttiggørelse i form af overførsel til strande udenfor nærområderne, nyttiggørelse til andre ikke kystrelaterede formål

En reduktion af havnenes negative virkning på sedimentbudgettet kunne foregå ved, at det sand som aflejres omkring havnene løbende blev oprenset og "bypass" til nærliggende strande. I Gilleleje foregår den største aflejring øst for

havnen, mens det i Hornbæk foregår vest for havnen. Dette skyldes hovedsagelig den store indfaldsvinkel i Gilleleje og den moderate indfaldsvinkel i Hornbæk.

Helsingør Nordhavn er beliggende som en del af afgrænsningen af den smalle overgang mellem Kattegat og Øresund, benævnt Tragten, og der er derfor ofte meget kraftig strøm rundt om det nordlige hjørne af Nordhavnen, hvilket har medført en stor udskæring i bunden på dette sted som illustreret i Figur 8-26.



Figur 8-26 Pejleplan ud for Hjørnet af Helsingør Nordhavn, udført 06.12.2007

Det ses tydeligt, at der er en stor udskæring i bunden nord for hjørnet af Nordhavnen helt ned til en vanddybde på 10 m i forhold til en vanddybde på ca. 5 m i tilstødende områder. Det vurderes, at dette er årsagen til, at Nordstranden ikke har udviklet sig yderligere ud langs nordmolen. Når sand tilføres Nordstranden fra kysten længere mod NV ved storm fra NV, vil dette blive ført ud over skrænten og ned i erosionshullet, og derfra vil det blive spredt ud over området SØ for huller af den kraftige sydøstgående strøm, som forekommer i disse situationer. Der er derfor ikke nogen tilsanding i indsejlingen til Nordhavnen.

Ved Hundested har den sydvestgående nettotransport syd for Spødsbjerg pynnten medført, at der har aflejret sig sand nord for havnen. Det aflejrte sand har medført, **at stranden "Trekanten" er opstået. Der har været en tendens til at sandet førtes videre imod sydvest ud langs havnemolen og medførte tilsanding i indsejlingen til havnen, men der er for en del år siden (før 1995) opført en høfde for at begrænse denne sandtransport, se Figur 8-27. Det oplyses fra Hundested Havn, at der over de sidste 10 år kun er oprenset ca. 1000 m<sup>3</sup> sand per år i havneindsejlingen. De begrænsede tilsandingsmængder skyldes dels høfden, men**

nok overvejende at den faktiske langtransport til området er meget begrænset grundet kystbeskyttelsen rund om Spodsbjerg pynten.



Figur 8-27. Området nord for Hundested Havn 2015, bemærk stranden "Trekanten" og hofden på nordhjørnet af havnen. Fra Google Earth

#### 8.9.4 Forslag til optimeret bypass ved havnene

Såvel Gilleleje Havn som Hornbæk Havn er i dag udformet stort set optimalt som såkaldte "bypass"-havne. De er udført med næsten symmetriske og strøm-linede ydermoler, hvilket medfører minimal tilsanding i indsejlingerne og maksimal naturlig bypass. Som beskrevet i underafsnit 8.9.3 sker der alligevel en vis tilsanding i havneindsejlingerne, som for nærværende håndteres fornuftigt med oprensning og klappning kystnært nedstrøms for havnene eller ved afgravning og deponering på de nedstrøms strande. Men som ligeledes beskrevet sker der en stadig aflejring omkring havnene, som medfører, at havnene har tiltagende vanskeligheder med at vedligeholde indsejlingerne og aflejringerne medfører herudover, at de nedstrøms kyster mangler sand.

Tilsvarende forhold, blot i større målestok, har man ved Vestkysthavnene i Thorsminde og Hvide Sande. Hvide Sande Havns udformning minder meget om Hornbæk Havn. Den løsning man har valgt i Hvide Sande kan derfor overføres til **Hornbæk**, og til dels også til Gilleleje. I Hvide Sande besluttede man at "grave havnen fri for sand" ved at afgrave en stor del af sandaflejringerne, som gennem

tiderne har aflejret sig nord for denne havn for derved at fremme bypass havnens evne til at give optimalt naturligt "bypass".

På grundlag af havnenes situationer med hensyn til sandaflejring vest for havnene, tilsanding i indsejlingerne og sandaflejring på grunde områder øst for havnene, diskuteres i det følgende mulige tiltag for afgravning/uddybning i tilsandingsområderne langs strandene vest for havnene, for oprensning i havneindsejlingerne og for afgravning/uddybning på de grunde området øst for havnene. Når man diskuterer afgravning og oprensning må man ligeledes diskutere, hvor det afgravede/oprensede sand kan deponeres/klappes, idet dette er en integreret del af oprensningsprocessen og fordi det overordnede formål er at identificere kombinerede løsninger for havnenes tilsandingsproblemer og for kysterens mangel på sand.

Problemerne ved oprensning i indsejlingerne til Gilleleje og Hornbæk havne og på tilstødende lavvandede tilsandingsområder er, at det er nogle relativt små oprensningsmængder og små besejlingsdybder der er tale om i forhold til anvendelse af almindeligt forekommende størrelse af effektive sandsugere. Den billigste løsning per m<sup>3</sup> er at anvende en sandsuger i stedet for oprensning med kran udstyret med grab eller med gravemaskine, som er den normale procedure ved oprensning i indsejlinger til små havne. Herudover er det kritisk for prisen for en optimal operation, at sandet kan placeres direkte på den ønskede position (på stranden) med begrænset ekstra håndtering.

Der er i princippet følgende mulige oprensnings- og deponeringsmetoder:

1. Oprensning i indsejlingen med kran udstyret med grab (i det følgende benævnt grab). Grabben kan være placeret på en ponton eller på et skib med lastrum. I tilfældet med grab på ponton placeres det opgravede sand på en lastpram som sejles til depot i havn for losning. I tilfælde af grab på skib sejler skibet typisk til depot i havn for losning eller klapper sandet på klapplads ved split eller udgravning.
2. Oprensning i indsejling med gravemaskine som kan være placeret på en ponton eller på et skib med lastrum. I tilfælde af gravemaskine på ponton placeres det opgravede sand på en lastpram som sejles til depot i havn for losning. I tilfælde af gravemaskine på skib sejler skibet typisk til depot i havn for losning, udlosser det på stranden eller klapper sandet på klapplads ved split eller udgravning.
3. Større reservoir oprensning i indsejling og tilstødende områder med slæbesuger med lastrum. Denne metode giver mulighed for deponering af sand ved split metoden eller ved pumpning fra lastrum. Sandet kan typisk deponeres på mindst 5 forskellige måder:
  - a. Der udpumpes fra anlægsplads i havn via midlertidig eller permanent ledning til nedstrøms strand. Fordelen ved denne metode er at udpumpning på stranden er uafhængig af vejrforholdene, vejrafhængigheden er derfor kun afhængig af de begrænsende forhold under lastning.

- b. Via havledning til strand på udvalgt strandfodringslokalitet.
  - c. Udpumpning over boven til strand på udvalgt strandfodringslokalitet, dette kræver dog et stejlt kystprofil.
  - d. Der sejles til klappads hvor sandet klappes ved splitning eller udpumpning (revlefodring).
  - e. Der udpumpes til depot i havn til anden nyttiggørelse
4. Fast installation af pumpe på opstrøms side af havn med ledning under indsejling til udpumpning på nedstrøms strand. Denne metode er forholdsvis uflexibel og kræver stor investering. Desuden er det oftest nødvendigt med supplerende oprensning med andet udstyr.
  5. Afgravning med gravemaskine fra land. Sandet kan enten køres med lastbiler på vejnettet, som vil medføre meget trafik med tunge køretøjer i bymæssig bebyggelse. Alternativt kan sandet transporteres med dumpere langs stranden til udvalgt strandfodringslokalitet. Sandet kan ligeledes nyttiggøres til andre formål, men går da tabt i forhold til kystens sedimentbudget

På grundlag af ovennævnte muligheder er der i det følgende givet anbefalinger til oprensninger og bypass ved Gilleleje Havn og Hornbæk Havn på to forskellige niveauer som begge medfører bedre drift- og besejlingsforhold for havnene og bedre bypass forhold. Det skal bemærkes, at løsningerne med at fortsætte som hidtil ikke er medtaget, idet denne praksis medfører væsentlige påvirkninger på kystens sedimentbudget. Der kan herudover opnås en synergivirkning ved at foretage oprensningen ved de to havne med samme fartøj som en del af en fælles operation, hvor det oprensede sand benyttes til udvalgte strandfodringsprojekter. Herved kan enhedsprisen for oprensningen i begge havne minimeres.

Den tilstræbte besejlingsdybde er 3,5 m i Gilleleje Havn og 2,5 m i Hornbæk Havn, se Figur 8-28. Disse dybder er i underkanten af, hvad en slæbesuger kan operere på, idet den mindste tilgængelige kommercielle slæbesuger kræver en vanddybde på minimum 3 - 4 m. Med henblik på at kunne benytte denne type sandsuger, som skønnes at være den optimale oprensningsmetode mht. at opnå den mindste pris per m<sup>3</sup> oprenset sand, må sandsugerne derfor uddybe et område ud for havnene til minimumsdybden 3 -4 m. Dette krav til minimums oprensningsdybde kan kombineres med oprensningsmetode 3 nævnt ovenfor, hvor der oprenses over et større område end blot i indsejlingen. Der etableres således reservoirs vest for indsejlingerne og ud for strandene vest for havnene, samt på de grunde områder øst for indsejlingerne således, at det ikke vil være nødvendigt at oprense hvert år. Dette vil være bekvemt og økonomisk for havnene.

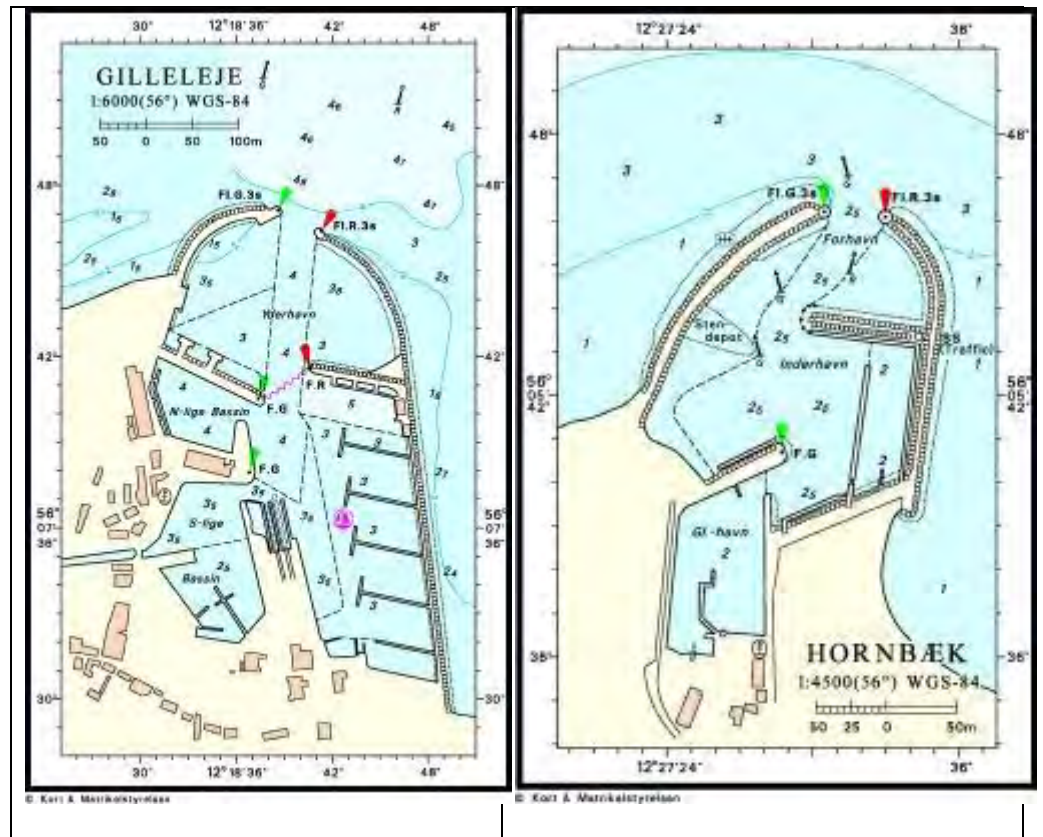
### Oprensningsalternativer for Gilleleje Havn

#### Alternativ 1, Gilleleje Havn

Fortsæt oprensninger og afgravninger som hidtil men foretag indpumpning af oprenset sand på stranden mellem havnen og Strandbakkerne. Dette vil øge højden af stranden, men de overordnede "bypass" forhold vil ikke blive ændret.

Årlig afgravning af sand fra Veststranden fortsættes og sandet udnyttes kommercielt.





Figur 8-28 Søkort for Gilleleje og Hornbæk havne.  
Bemærk af målestoksforholdet er forskelligt for de to havne

### Alternativ 2, Gilleleje Havn

For Gilleleje Havn foreslås oprenset mellem dybderne 2 m og 5 m til dybder fra 5 m yderst i området aftagende til 4 m tættest på kysten/havnen, jævnfør Figur 8-29. Det skitserede område er skønsmæssigt 200.000 m<sup>2</sup>. Den oprensede mængde udgør totalt omtrentlig 200.000 m<sup>3</sup> hvoraf ca. 100.000 m<sup>3</sup> indgår i pilotprojektet for strandfodring ved strandbakkerne, og de resterende ca. 100.000 m<sup>3</sup> er til rådighed for strandfodring på andre lokaliteter. Det vurderes, at en sådan oprensning vil reducere oprensningsbehovet i indsejlingen væsentligt over en 3-5 årig periode, hvorefter tilsandingen vil tiltage igen.

Oprensningsområdets udstrækning samt størrelser af areal og volumen skal verificeres, når der foreligger pejlinger af området.

Årlig afgravning af sand fra Veststranden fortsættes og sandet udnyttes kommercielt.

Forhavnen i Gilleleje er stor nok til, at en sandsuger med en omtrentlig længde af 60 m kan operere i forhavnen, dvs. oprensning eller lægge til ved en anlægsplads for udpumpning til strand øst for via rørledning.



Figur 8-29 Gilleleje Havn med skitseret reservoir oprensingsområde for Alternativ 2.

### Oprensningalternativer for Hornbæk Havn

#### Alternativ 1, Hornbæk Havn

Alternativ 1 omfatter en middelstor oprensning og etablering af reservoir med slæbesuger omkring Hornbæk Havn, samt afgravning af sand fra Veststranden. Reservoiret etableres mellem dybderne 2 m og 4,5 m til dybder fra 4,5 m yderst i området aftagende til 3,5 m tættest på kysten/havnen, jævnfør Figur 8-30. Det skitserede område er skønsmæssigt 100.000 m<sup>2</sup>. Den oprensede mængde udgør omtrentlig 75.000 m<sup>3</sup>. I alt oprensnes og afgraves ca. 150.000 m<sup>3</sup> sand som herefter indgår i strandfodring. Herefter vedligeholdelse af strandens nye tilbagetrukne position ved årlige afgravninger og mindre vedligeholdelsesoprensning af i alt ca. 20.000 m<sup>3</sup>/år.

Reservoir områdets udstrækning samt størrelser af areal og volumen skal dog verificeres, når der foreligger pejlinger af området.



Figur 8-30 Hornbæk Havn med skitseret reservoir oprensingsområde.

Forhavnen i Hornbæk er for lille til at en sandsuger med en længde på ca. 60 m kan udføre oprensning og der er heller ikke plads til, at der kan etableres en anlægsplads til udpumpning via rørledning til standen øst for havnen.

#### Alternativ 2, Hornbæk Havn

Stor oprensning med slæbesuger af sand omkring Hornbæk Havn, mest vest for havnen. Derudover afgravning af sand fra Veststranden og reduktion af klitten vest for havnen. I alt et volumen på ca. 450.000 m<sup>3</sup>. Herefter vedligeholdelse af strandens nye tilbagetrukne position ved årlige afgravninger og mindre vedligeholdelsesoprensning af i alt ca. 20.000 m<sup>3</sup>/år. Det oprensede sand benyttes som en del af de strandfodringer som indgår i skitseprojektet for forstærkning af strandene langs Nordsjællands kyst.

#### Oprensninger ved Hundested Havn

En tilsvarende oprensning af et reservoir, som anbefalet for Gilleleje Havn og Hornbæk Havn, kan bringes i anvendelse ved Hundested, men den meget begrænsede tilsanding i indsejlingen til Hundested Havn retfærdiggør ikke, at der iværksættes en større oprensning.

#### Oprensninger ved Helsingør Nordhavn

Der er ikke tilsanding i indsejlingen til Helsingør Nordhavn og Gummistranden er nogenlunde stabil, derfor er det ikke relevant at foretage oprensning eller at etablere et reservoir ved Nordhavnen.

#### Generelle kommentarer vedrørende genanvendelse af det oprensede sand

De oprensede sandmængder fra etablering af reservoirerne vil hovedsagelig bestå af sand med et vist indhold af grus og ral, dette er dog ikke nærmere undersøgt i nærværende sammenhæng. Det oprensede materiale vil være egnet som tilskud til de planlagte nærliggende strandfodringer og sandet vil derfor igen indgå i kystens sedimentbudget. De sandmængder som fremkommer ved etablering af reservoirs kan eventuelt indgå i en sandbørs, hvorunder havnen og interesserede aftagere af sandet kan indgå overenskomst til nyttiggørelse af sandet til sandfodring.

Det sand som afgraves i klitterne vest for Hornbæk Havn vil være fint sand, idet det er sand som er aflejret i klitterne ved afblæsning fra stranden. Dette sand er for fint til at være effektivt som strandfodring, men det kan benyttes til afdækning af skråningsbeskyttelser i den øvre del af kystprofilen.

#### Fordele ved koordineret indsats

Samarbejdet mellem havnen og lokale kystbeskyttelseslag er en fordel for begge parter.

De vigtigste interessenter omkring "havnesandet" er havnene som leverandør af sandet, kystbeskyttelseslag og kommunerne som grundejer samt Naturstyrelsen og KDI, som skal give tilladelser til oprensning, nyttiggørelse og strandfodring. Kommunerne har en vigtig rolle som koordinator for kystbeskyttelses-

projekterne, herunder ansvar for at forestå fordelingen af udgifterne blandt kystgrundejerne. Det vil kræve betydelig administrativ indsats og flersidigt samarbejde at gennemføre disse tiltag.

## 8.10 Sammenligning af løsningsforslag

Den bedst egnede beskyttelse mod kronisk og akut erosion på Nordkysten vurderes at være en kombination af skråningsbeskyttelser opbygget af sten og strandfodring med en blanding af sand og ral.

Det foreslås, at renovere og forstærke eksisterende skråningsbeskyttelser til optimal standard for en 50 års hændelse om 50 år. Eksisterende skråningsbeskyttelser bør bygges højere og dybere. Det yderste lag dæksten bør i mange tilfælde udskiftes med et lag nye større dæksten afhængigt af omfanget af fremtidig strandfodring, højden af stranden og den eksisterende kystbeskyttelse.

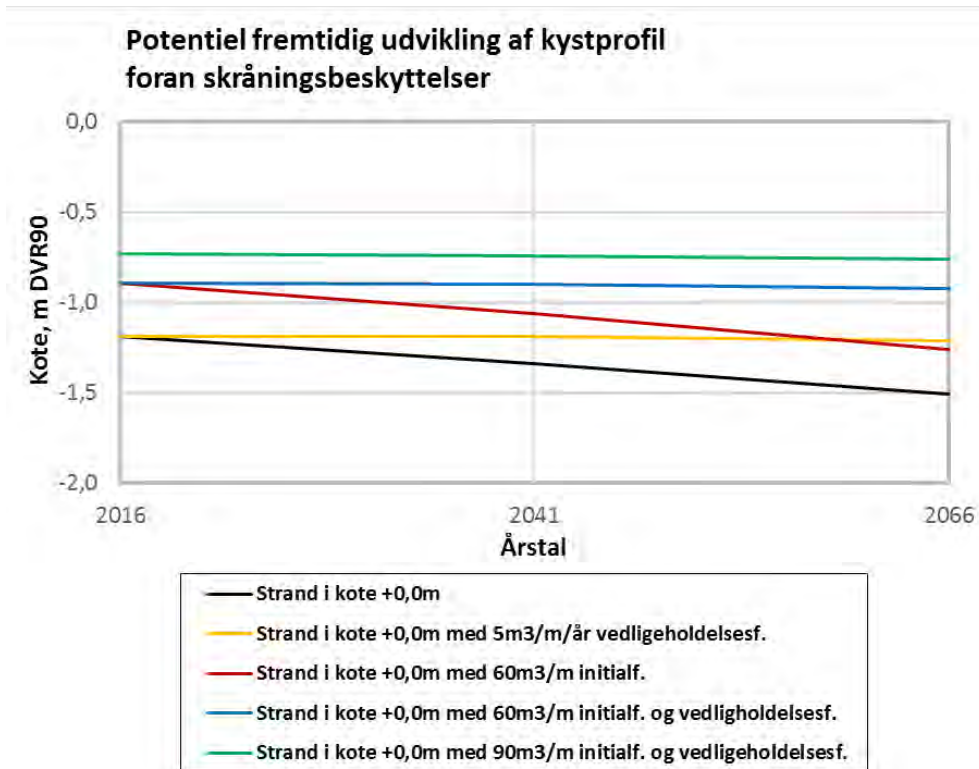
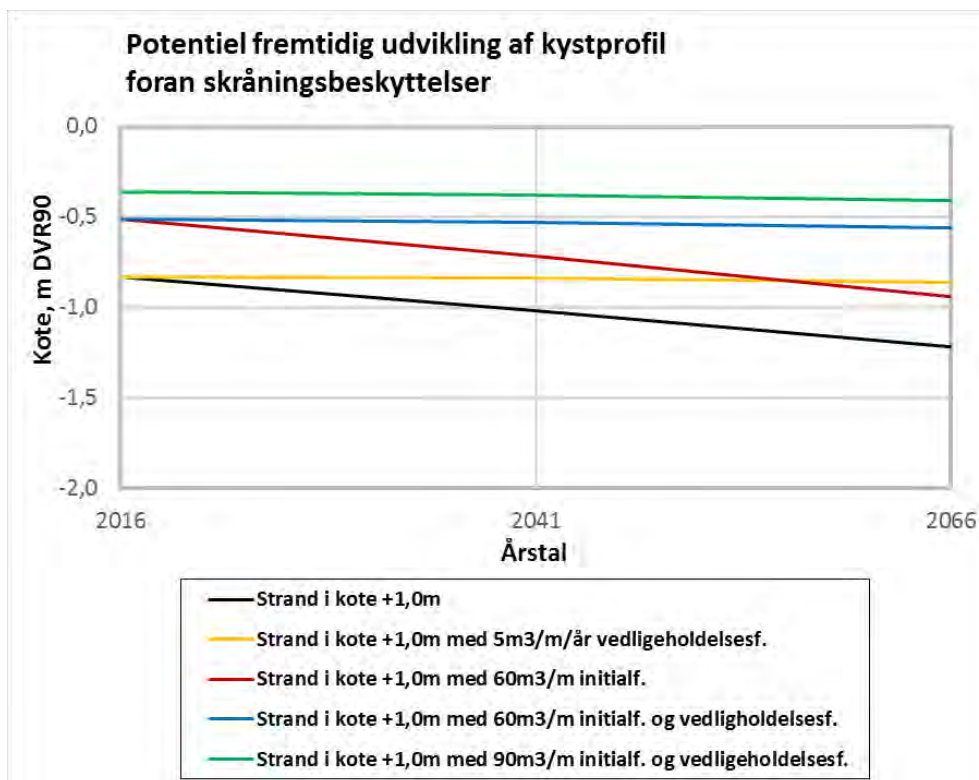
Opbygningen af kystprofilet med sand- og ralfodring vil medvirke til, at dybden foran skråningsbeskyttelserne reduceres fremover, og derved opnås en bedre beskyttelse af baglandet. Strandfodring medvirker til at styrke og beskytte de eksisterende skråningsbeskyttelser.

Figur 8-31 viser en sammenligning af den potentielle udvikling af laveste kote af stranden foran skråningsbeskyttelser i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år som funktion af omfanget af fremtidig strandfodring.

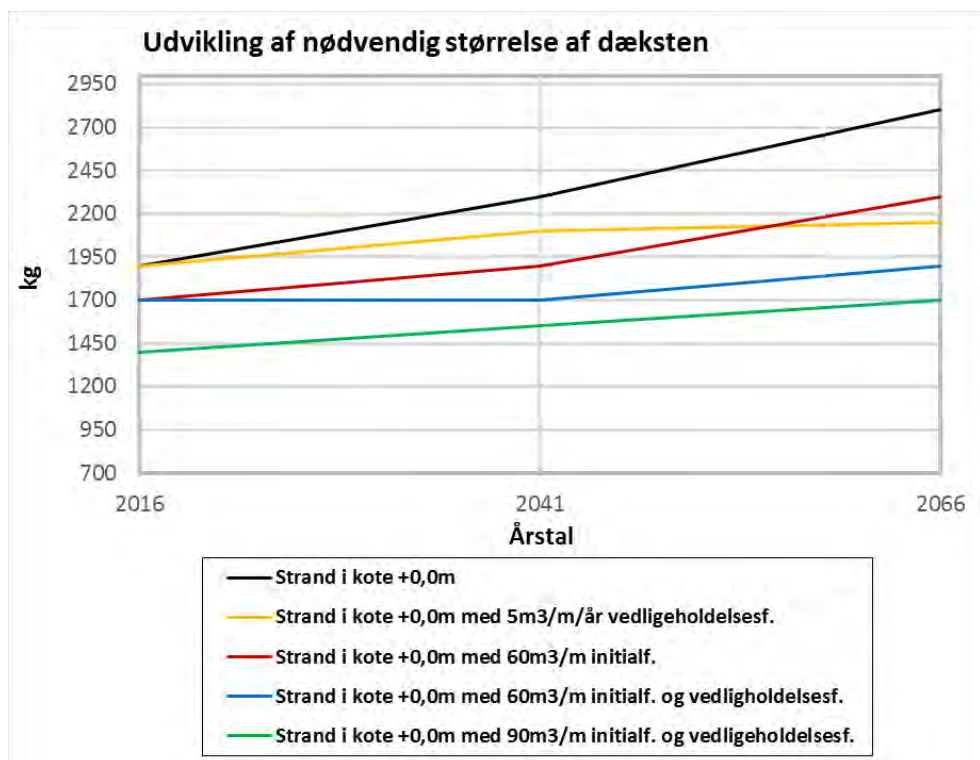
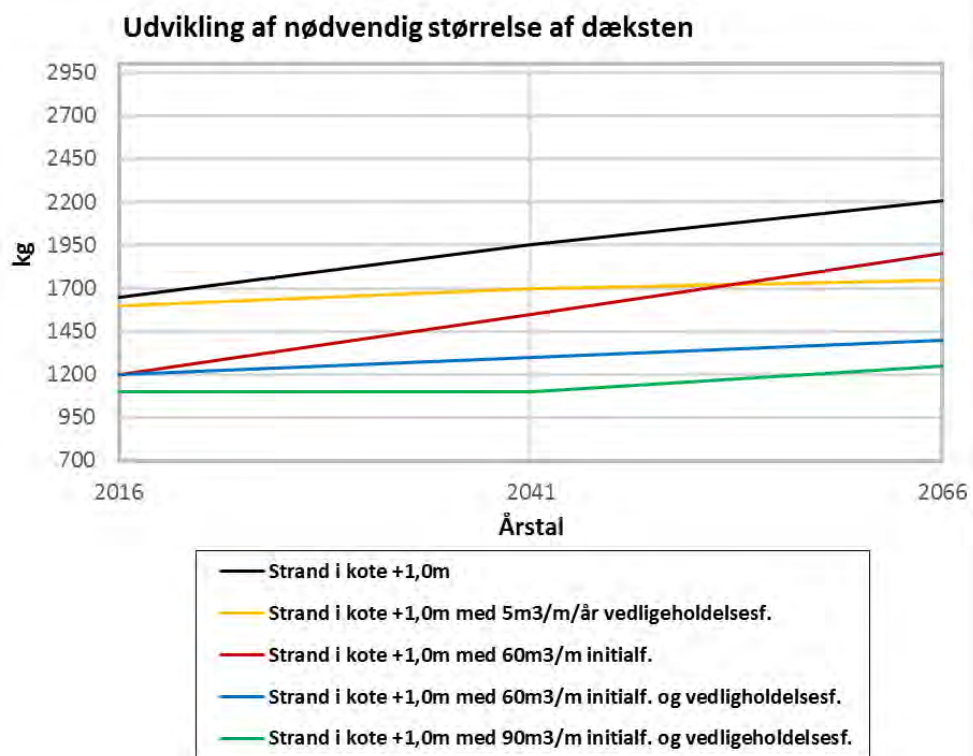
Figur 8-32 og Figur 8-33 viser en sammenligning af behovet for forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelser som funktion omfanget af fremtidig strandfodring.

Beregningerne af den akutte erosion af kystprofilet vurderes at være konservative. Den reelle akutte erosion af stranden foran eksisterende skråningsbeskyttelse forventes at være mindre end beregnet primært som følge af, at der er en del ral på strandene langs Nordkysten. Den anvendte simple beregningsmetode baseret på Bruuns Regel og et udjævnet ligevægtsprofil kan ikke fuldt ud tage højde for variation i kornstørrelserne på tværs af kystprofilet i forbindelse med storme.

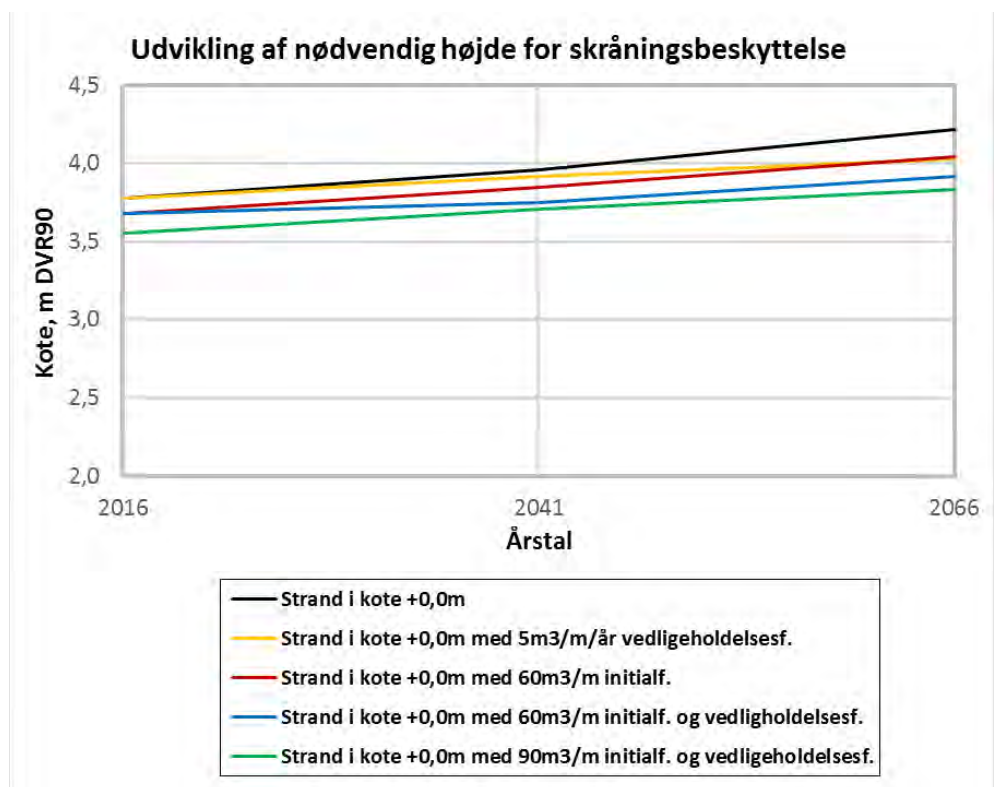
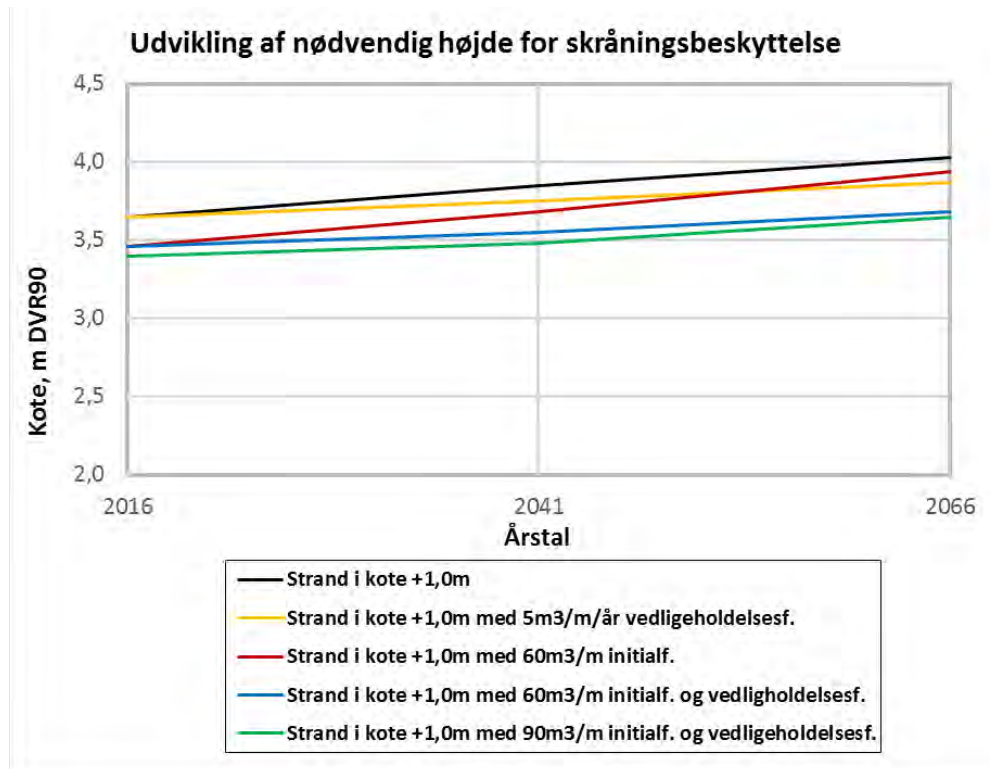
Beregningerne er dog gennemført parallelt for alle scenarier, hvilket giver en klar konklusion i forhold til at sammenligne de forskellige scenarier og til at belyse løsningen for forbedring af kystbeskyttelsen på Nordkysten.



Figur 8-31 Potentiel udvikling af lavest kote af stranden foran skråningsbeskyttelser i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år som funktion omfanget af fremtidig strandfodring



Figur 8-32 Udvikling af nødvendig størrelse af dæksten for skråningsbeskyttelser i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år som funktion omfanget af fremtidig strandfodring



Figur 8-33 Udvikling af nødvendig højde af skråningsbeskyttelse i år 2016, 2041 og 2066 samt effekt af forventet havspejlsstigning og en storm med en returperiode på 50 år som funktion omfanget af fremtidig strandfodring

Stormen Bodil medførte omfattende skader på eksisterende skråningsbeskyttelser som følge af, at højden af konstruktionerne generelt er for lav og dækstenerne er for små. Stormen og beregningerne viser, at der er behov for at forstærke den eksisterende kystbeskyttelse både på kort og lang sigt.

KDI giver ikke tilladelse til, at eksisterende hård kystbeskyttelse opgraderes uden at der samtidig strandfodres. Der er en række tilfælde, hvor private grundejere har forstærket eksisterende anlæg uden at søge ny tilladelse og herunder udføre kompensationsstrandfodring. Sådanne anlæg er ulovlige.

Strandfodring med små mængder over korte strækninger vurderes ikke at være en løsning, som kan stabilisere Nordkysten og derved fremtidssikre kystbeskyttelsen.

For at øge kystbeskyttelsen foreslås det, at der som minimum foretages en initialstrandfodring på i størrelsesordenen  $60 \text{ m}^3/\text{m}$  langs fodringsstrækningerne på Nordkysten.

Langs enkelte kritiske strækninger, hvor den eksisterende strand er lav anbefales det, at strandfodre med i størrelsesordenen  $90 \text{ m}^3/\text{m}$ .

De eksisterende skråningsbeskyttelser kan opgraderes efter behov og ønske fra de enkelte grundejere baseret på den fodringsmængde, der vælges og den deraf følgende højde af stranden.

Det foreslås at strandfodre langs cirka 28 km af Nordkysten med en blanding af sand, grus og ral. Det vurderes, at der som minimum skal foretages en initialstrandfodring på i størrelsesordenen  $1.700.000 \text{ m}^3$ , i middel svarende til  $60 \text{ m}^3/\text{m}$ .

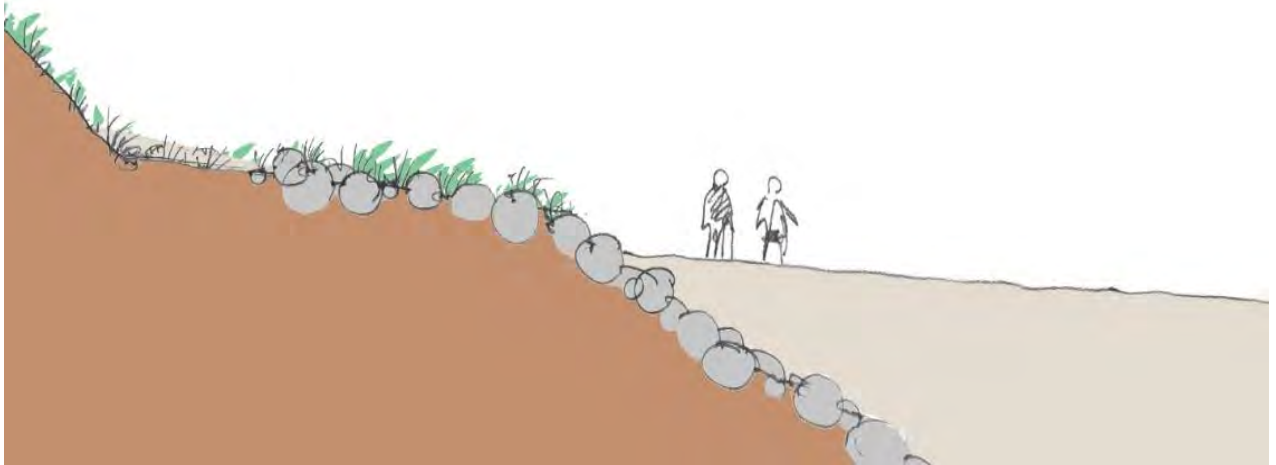
Udsatte strækninger kan med fordel beskyttes med anlæggelse af nye og forbedrede konstruktioner på strandplanet i form af hølde, bølgebrydere, rev eller flak. Rev og flak vil ikke blokere den langsgående transport i samme omfang som bølgebrydere og hølde.

Typisk vil sådanne konstruktioner være anvendelige på strækninger nedstrøms for kystfremspring, hvor den langsgående transportkapacitet øges over en kort afstand og sand og ral derfor kan have svært ved at blive liggende i tilstrækkeligt omfang.

Det anbefales at rydde op i gamle konstruktioner på strandplanet før der strandfodres. Eksisterende stenmaterialer kan med fordel indbygges i eksisterende skråningsbeskyttelser for at sikre en optimal udnyttelse af materialerne.

Det udlagte sand og ral vil gradvist vandre op langs kysten fra sydvest mod nordøst og derved komme hele kysten til gode. For at opretholde en beskyttende strand langs tæt bebyggede strækninger af Nordkysten, skal der efter den initiale strandfodring vedligeholdelsesfodres med mængder minimum svarende til den kroniske erosion og for at modvirke den forventede havspejlsstigning.





Figur 8-34 Visualiseringer af skråningsbeskyttelse med strandfodring

Det vurderes, at der samlet set skal vedligeholdelsesstrandfodres med i størrelsesordenen 100.000 m<sup>3</sup>/år langs Nordkysten for at opretholde en beskyttende strand foran den eksisterende kystbeskyttelse for at stoppe den kroniske erosion.

Derudover forventes kystprofilen at erodere tilbage som følge af den forventede fremtidige havspejlsstigning. Det vurderes, at der skal fodres med ca. 15.000 m<sup>3</sup>/år for at modvirke stigningen i havvandspejlet fremover langs de foreslåede fodringsstrækninger. Dette gælder for den nuværende stigningsrate af vandspejlet, og vil blive større når/hvis stigningsraten bliver større.

Det foreslås at vedligeholdelsesstrandfodre langs cirka 28 km af Nordkysten med en blanding af sand, grus og ral. Det vurderes, at der skal vedligeholdelsesstrandfodres med i størrelsesordenen 115.000 m<sup>3</sup>/år for at opretholde beskyttelsesniveauet, svarende til ca. 4 m<sup>3</sup>/m/år.

I forbindelse med de første vedligeholdelsesfodringer kan det overvejes, at forstærke sand- og ralbufferen langs kysten på udsatte strækninger for at komme op i nærheden af en buffer svarende til 90 m<sup>3</sup>/m initialfodring eller mere afhængigt af de lokale forhold. Jo større sandbuffer der opbygges over årene desto mindre vil det være nødvendigt at opgradere og vedligeholde eksisterende skråningsbeskyttelser.

For at optimere vedligeholdelsesindsatsen anbefales det at udføre større vedligeholdelsesfodringerne med 2 til 3 år mellemrum. Herved fodres med større mængder, hvilket kan reducere enhedsprisen som følge af færre mobiliseringer af sandsuger og rørledning mm.

I fremtiden bør det sand, der oprenses i sejltrenden ved Gilleleje Havn og Hornbæk Havn benyttes som strandfodring øst for havnene. Dette vil hjælpe med til at opretholde balance i sedimentbudgettet på Nordkysten og dermed styrke strandene som beskyttelse mod kronisk og akut erosion.

## 8.11 Demonstrationsprojekt i Gribskov Kommune

Kysten mellem Tisvildeleje og Vincentstien foreslås som demonstrationsstrandfodringsstrækning. Strækningen ligger i Gribskov Kommune og er præget af utilstrækkelig kystbeskyttelse og et stort erosionspres som følge af underskud i sedimentbudgettet.

Strækningen fra Tisvildeleje Bølgebryderen til Vincentstien er **5600m lang** og har et forholdsvist lige forløb og bølgeforholdene er ensartede. Den potentielle kystparallelle transport er nogenlunde konstant langs strækningen.

Erosionen her skyldes hovedsageligt den store bølgebryder ved Tisvildeleje som har skabt læsideerosion og underskud i sedimentbudgettet. Efterfølgende er der gradvist etableret kystbeskyttelse nordøst for Tisvildeleje Bølgebryderen, hvilket har flyttet erosionsproblemet op langs kysten.

Strækningen er præget af mange små konstruktioner i vandet. De eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner er generelt utilstrækkelige både med hensyn til konstruktionernes dimensioner og indbyrdes afstand. Det har betydet, at stranden er smal og helt er forsvundet på flere strækninger, og der er alvorlige pro-

blemer med skrænterosion, hvilket kan true bebyggelsen langs toppen af de meget høje skrænter.

Demonstrationsprojektet foreslås bygget på samme principper som anvendt på Nordfyn med stor succes.

For at få en langsigtet virkning af strandfodringen, anbefales det at strandfodre på en lang strækning mellem Tisvildeleje Bølgebryderen og Vincentstien.

Det anbefales at udføre en initialstrandfodring svarende til 60 m<sup>3</sup>/m eller 335.000 m<sup>3</sup> med en blanding af sand, grus og ral.

Derudover foreslås det at vedligeholdelsesstrandfodre med 5 m<sup>3</sup>/m/år svarende til 28.000 m<sup>3</sup>/år eller 84.000 m<sup>3</sup>/3år.

Grundejerne bør renovere og forstærke deres skråningsbeskyttelser til optimal standard for 50 års hændelse om 50 år.

Skråningsbeskyttelserne dækkes med sand også op ad skråningen ovenover for at stabilisere skråningerne bedst muligt.

Oprydning af gamle konstruktioner på stranden kan indbygges i forstærkede skråningsbeskyttelser. Gamle konstruktioner kan samles til enkelte større konstruktioner på strandplanet.

Indledningsvist anbefales det ikke at anlægge nye høfder, bølgebrydere, rev eller flak til at stabilisere stranden. Dette kan komme på et senere tidspunkt, når strandfodringen er foretaget og det faktiske behov kan identificeres og herunder, hvor sand og ral har svært ved at blive liggende i tilstrækkeligt omfang.

## 9 Sandressourcer

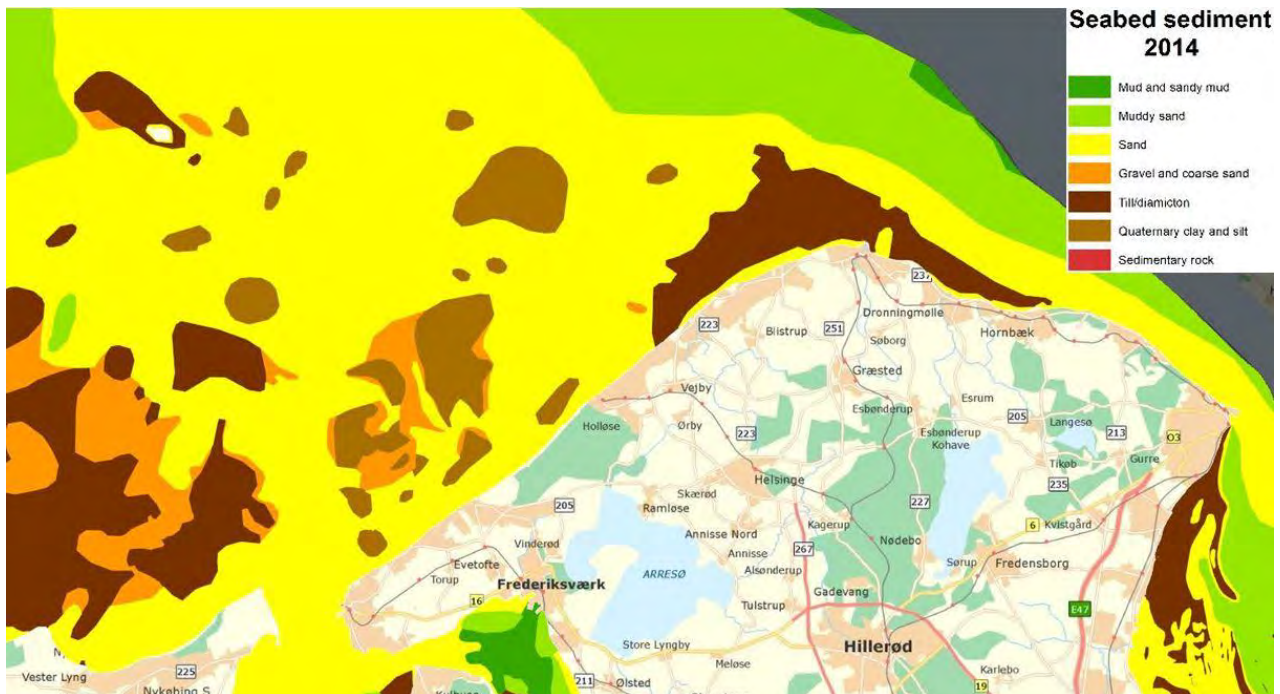
### 9.1 Indledning

Ved kystfodring varierer behovet for sand fra indvindingsområder meget efter formålet. I den initiale fase, hvor kysten skal tilføres store mængder sand, er der behov for, at der er adgang til et indvindingsområde med store mægtigheder af sand i den rette kornstørrelsesfordeling tilgængeligt på havbunden.

Ved regelmæssig genfodring af sand i mindre mængder, kan der benyttes mindre kildeområder og f.eks. medtages overskydende sand fra oprensning af havneløb.

Den danske stat har fået foretaget marin råstofkortlægning af overfladesedimenter og råstofressourcer på havoverfladen til brug for bl.a. anlægsarbejder og kystfodring.

I havområdet "Sydlige Kattegat", tæt på Nordkysten, er der senest foretaget marine råstofundersøgelser i Hesselø Bugt og Lysegrund. Ud fra flere marine råstofkortlægninger, har GEUS udviklet en marin råstofdatabase for staten og har tolket overfladesedimenter i havområdet tæt på Nordkysten, se Figur 9-1.



Figur 9-1 Havbundssedimentkort for sydlige Kattegat  
Kilde: GEUS, Marin råstofdatabase som GIS

Overordnet er der, ifølge Figur 9-1, store mængder af sand til rådighed til sand-indvinding. Der er dog begrænsninger på hvor og hvor store mængder sand, der kan indvindes fra Sydlige Kattegat.

## 9.2 Indvindingsområder

Lovgivningsmæssigt skal der ansøges hos Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning (SVANA) om tilladelse til indvinding af sand, grus og ral på havet i henhold til Råstoflovens §20, inden indvinding kan igangsættes.

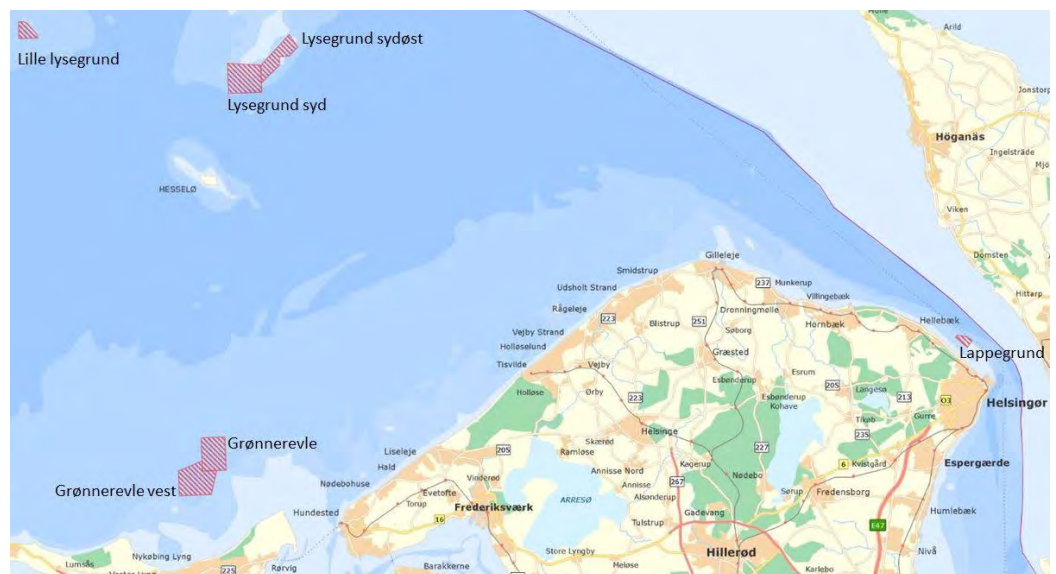
Her er der overordnet tre måder at søge indvindingstilladelser på, afhængigt af behovet og ansøgers funktion.

- Fællesområdetilladelser
- Auktionsområdetilladelser
- Bygherreområdetilladelser

### 9.2.1 Fællesområder

Fællesområder benyttes typisk til mindre indvindinger, hvor både danske entreprenører, bygherrer og andre, som udgangspunkt, samtidig kan ansøge om indvinding. Selvom disse områder er udpeget af SVANA, kan der stilles krav til, at området genopmåles og der foretages biologisk screening inden, der kan opnås tilladelse.

Udpegede fællesområder nær Sjællands nordkyst er vist i Figur 9-2.



Figur 9-2 Placering af fællesområder nær kystfodringsområdet på Sjællands nordkyst.

Kilde: SVANA MiljøGIS - Råstofindvinding på havet

Det er ikke alle fællesområder, der kan benyttes til kystfodring, fordi kvalitetsmaterialer primært skal benyttes til anlægsarbejder. For Nordkystens kystfodring er der mulighed for maksimalt at indvinde 850.000 m<sup>3</sup> sand til kystfodring om året, se Tabel 9-1.

Tabel 9-1 Tilgængelige sandmængder i fællesområder i sydlige Kattegat, der forventes egnet til kystfodring

Kilde: Miljø- og Fødevareministeriet, MILJØGIS - Råstofindvinding på havet (august 2016)

Områdebetegnelse	Områdenr.	Samlet tilladt mængde [m <sup>3</sup> ]	Restmængde juli 2016 [m <sup>3</sup> ]	Årlig maksimal mængde til kystfodring [m <sup>3</sup> ]
Lysegrund syd	530-BA	420.000	329.000	84.000
Grønnerevle vest	536-BA	2.000.000	1.883.000	500.000
Grønnerevle	536-AA	810.000	577.00	200.000
Lappegrund	532-AA	330.000	221.000	66.000
I ALT:		3.560.000	3.010.000	850.000

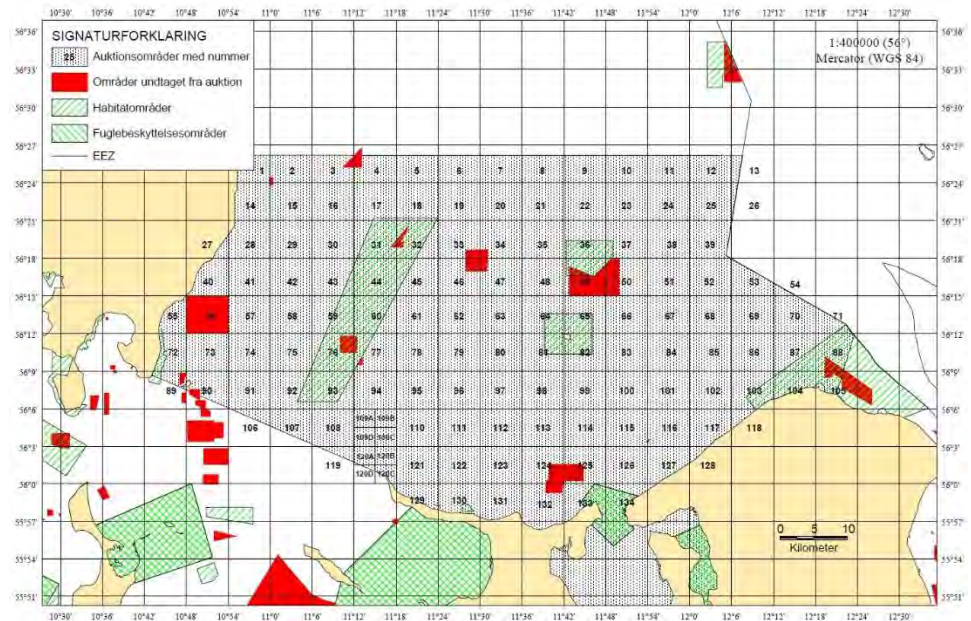
Ved sandindvinding i ovenstående fællesområder til kystfodring på de definerede strækninger vurderes det, at man skal medtage sejlafstand for indvindingsfartøjer fra indvindingsområde til fodringsstrækning i intervallet fra 2 Km (afstand: Lappegrund-Ålsgårde sandfodringsstrækning) til 63 Km (afstand: Grønnerevle vest – Ålsgårde sandfodringsstrækning).

### 9.2.2 Auktionsområder

Private virksomheder har mulighed for at opnå eneret til efterforskning og indvinding af råstoffer i et havområde ved at byde på en auktion, som staten afholder, heraf navnet auktionsområder.

Der skal foreligge resultater fra udført efterforskning og miljøvurdering af de bydende virksomheder for det ønskede indvindingsområde, før der kan gives tilladelse til indvinding hos virksomheden.

For sydlige Kattegat er seneste auktion foretaget i 2013, hvor interesseområder er angivet i form af numre, se Figur 9-3. Hvert arealnummer har et omtrentligt areal på omkring 60 Km<sup>2</sup>.



**Farvand 21. Kattegat omkring Hesselø** Auktion april 2013

Figur 9-3 Auktionsområder med numre for havområdet Kattegat omkring Hesselø  
Kilde: Råstofindvinding, auktionsområder (SVANA)

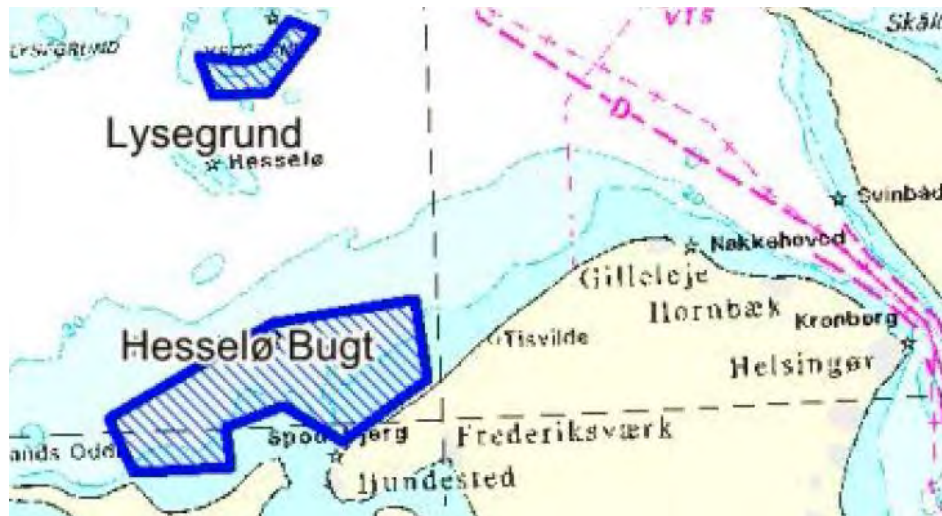
I denne sammenhæng er auktionsområder næppe relevant, da indvinding der- ved skal gives til ét registreret firma.

### 9.2.3 Bygherreområder

Bygherreområder benyttes til projekter, som kræver store råstoftilførsler som kystfodring og oftest, hvor bygherre skal kunne have adgang til samme råstof- kvalitet uanset valg af entreprenør. Offentlige bygherrer som KDI og By & Havn I/S har fået indvindingstilladelser i bygherreområder. Bygherren får efter tilla- delse fra SVANA eneret på indvindingslokaliteten i en årrække.

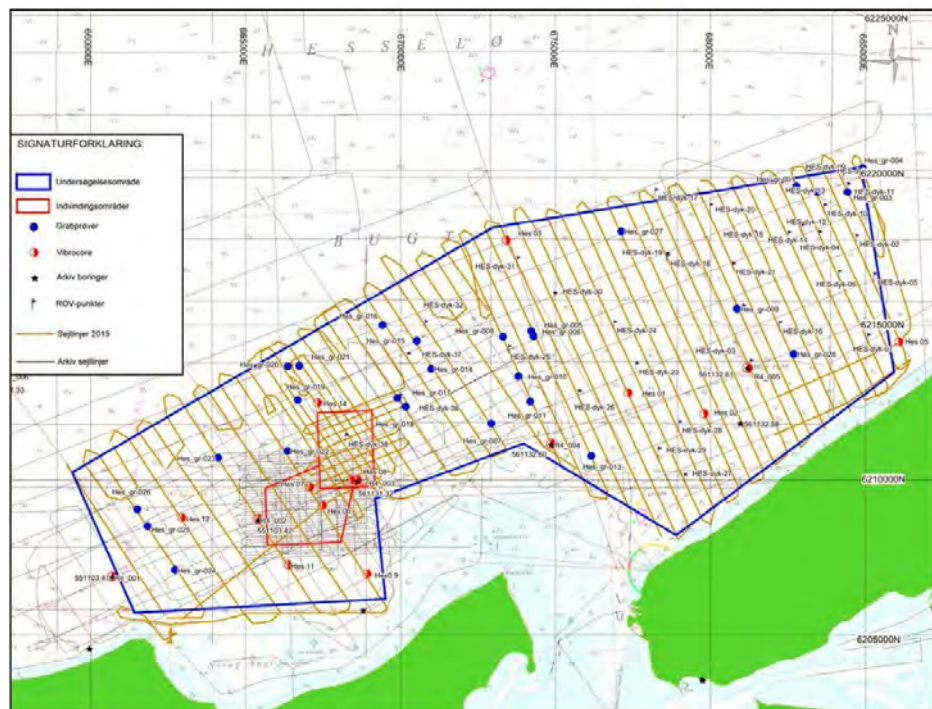
Der kan opnås tilladelse til efterforskning og indvinding hos SVANA i en ønsket område uden forudgående auktion. Når råstofbehovet og råstofsammensætning- en til kystfodringen er defineret, kan havområder nær kystfodringsstrækningen screenes for råstoffet. Dette sker med resultater fra de marine råstofefterforsk- ninger, der allerede er foretaget i nærområdet og valg af mulig bygherreområde kan defineres.

For havområdet ud for Nordkysten er der for staten foretaget marin råstofkort- lægning af GEUS senest i 2012 og 2015. I 2015 er der, grundet sejlafstand, særligt to efterforskningsområder der har interesse for sandindvinding til kyst- fodring på Nordkysten – Hesselø Bugt og Lysegrund, se Figur 9-4.



Figur 9-4 Oversigt over marine råstofeftersøgnsområder nær Nordkysten i 2015-undersøgelsen. Kilde: GEUS, 2016

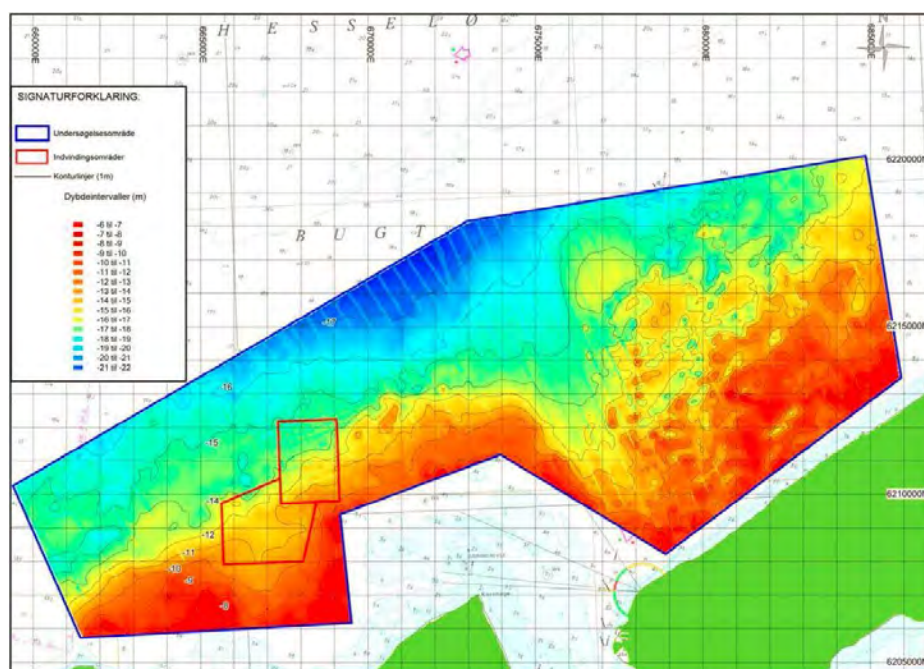
Hesselø Bugt dækker barre-området fra Isefjordens udløb og råstofeftersøgningen medtog både multibeam-bathymetri målinger fra havoverfladen, seismiske undersøgelser, grabprøver med Haps, boreprøver med Vibrocore samt visuel inspektion med ubemandet ubåd (ROV), se Figur 9-5.



Figur 9-5 Marin råstofeftersøgning i Hesselø Bugt med sejllinjer, positioner for prøver samt fællesindvindingsområder Kilde: GEUS, 2016

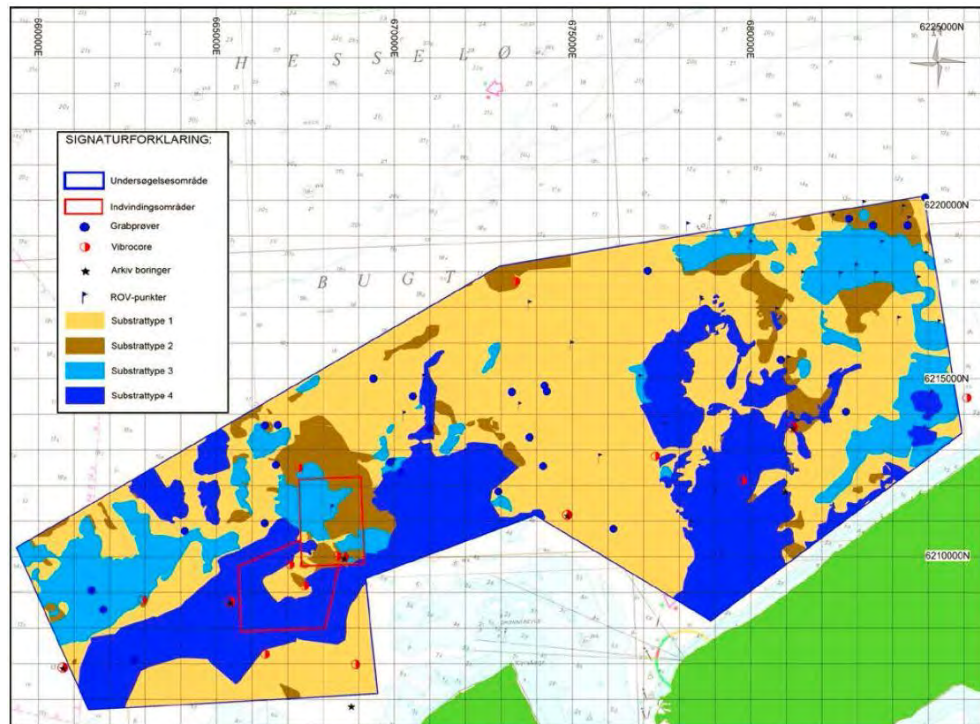


Af disse undersøgelser er der fremkommet en række nye informationer om området. På dybdekortet, se Figur 9-6, er der et lokalt dybtliggende område lige øst for Isefjordens udmunding, som er vist med en karakteristisk vifteformet barre-signatur. Området er domineret af højtliggende flakområder tættest på kysten, hvor vanddybderne mange steder er under 6 meter.



Figur 9-6 Dybdekort af havoverfladen (bathymetri) i Hesselø Bugt. Kilde: GEUS, 2016

For at lette råstofkortlægningen, er ressourcebeskrivelsen inddelt i 4 substrattyper, se Figur 9-7.

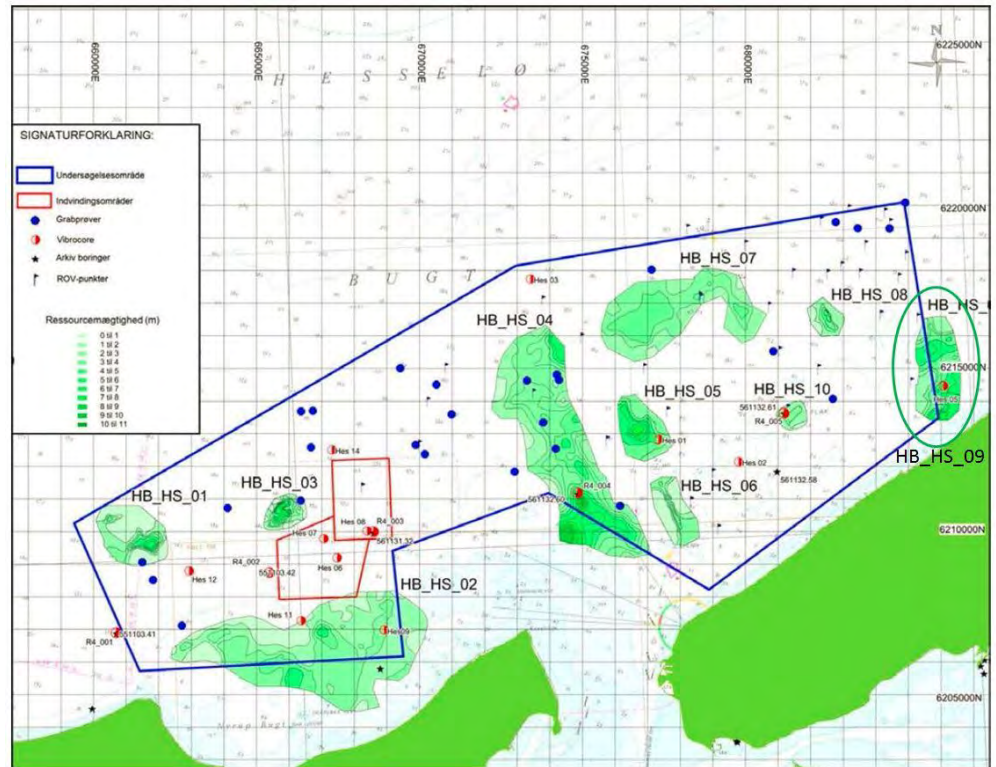


Figur 9-7 Substratyper og efterforsknings-positionering. Kilde: GEUS, 2016

De 4 substratyper er:

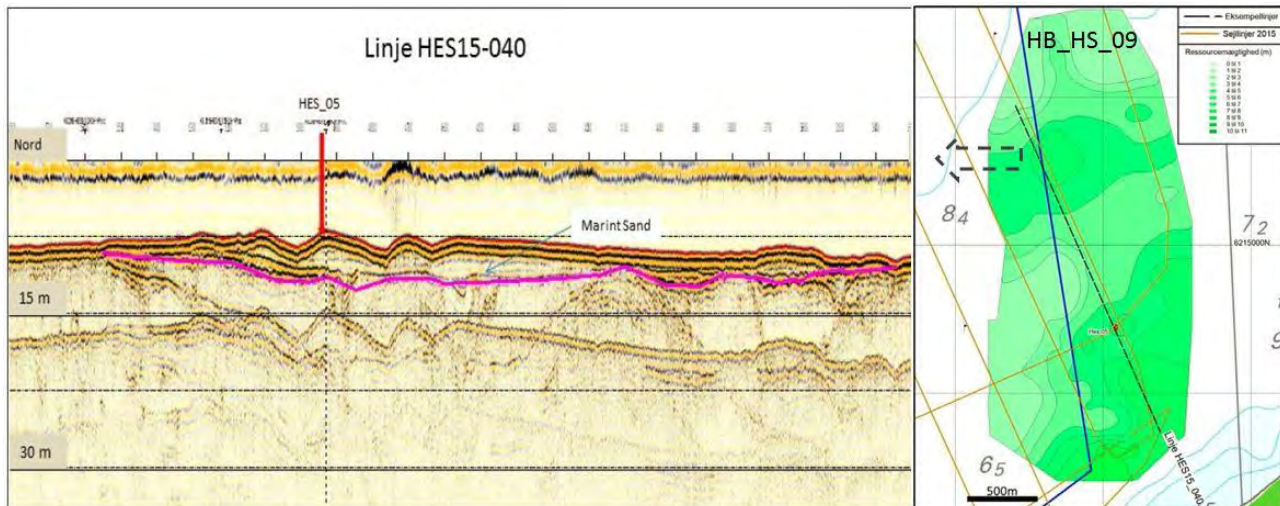
- Substrattype 1: sand/silt - sand (0,06- 2,0 mm) med varierende indslag af skaller og grus.
- Substrattype 2: sand, grus og småsten – groft sand med grus (2-20 mm) og småsten (2-10 cm) samt enkelte spredte store sten (>10 cm). Denne substrattype vurderes bedst egnet til kystfodring.
- Substrattype 3: sand, grus, småsten samt bestrøning (1-25%) med sten (>10 cm) – som substrattype 2, men med større antal sten – altid i ét lag.
- Substrattype 4: sten dækkende ca. 25-100% - stenrev med sten >10 cm med varierende indslag af sand, grus og småsten. Biogene rev og kalkrev kan forekomme. Stenene kan forekomme i ét lag eller som egentlig stenrev, der rejser sig over omkringliggende bund med sten i flere lag (huledannende).

Ud fra efterforskningsresultaterne, har GEUS udarbejdet et overblik over holo-cæne marine ressourcer i Hesselø Bugt, se Figur 9-8.



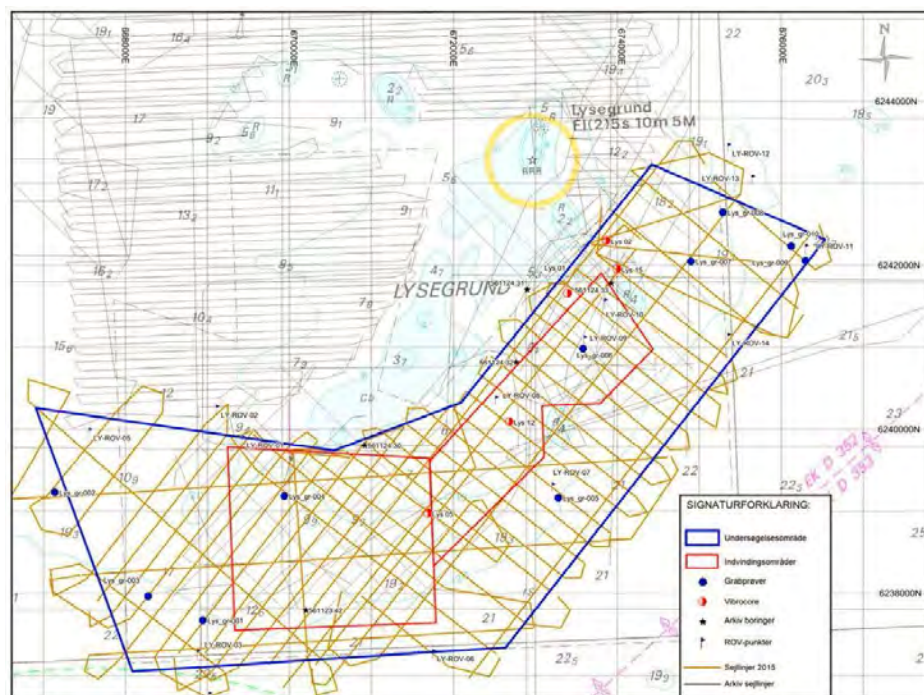
Figur 9-8 Marine holocæne ressourcer i Hesselø Bugt med grøn cirkel om fokuslokalitet  
 Kilde: GEUS, 2016

Fokuslokalitet HB\_HS\_09 viser et eksempel på et lille ressourceområde, der er placeret tæt på kystfodringsområderne. Her viser seismiske undersøgelser kombineret med boreprøver, at der er beregnet et samlet volumen af forekomsten på 14,4 mio. m<sup>3</sup> af overvejende fint sand, hvoraf den estimerede indvindelige råstofmængde er på 10,6 mio. m<sup>3</sup>, idet der efterlades 1 m ressource i området efter indvinding, se Figur 9-9 (GEUS, 2016).



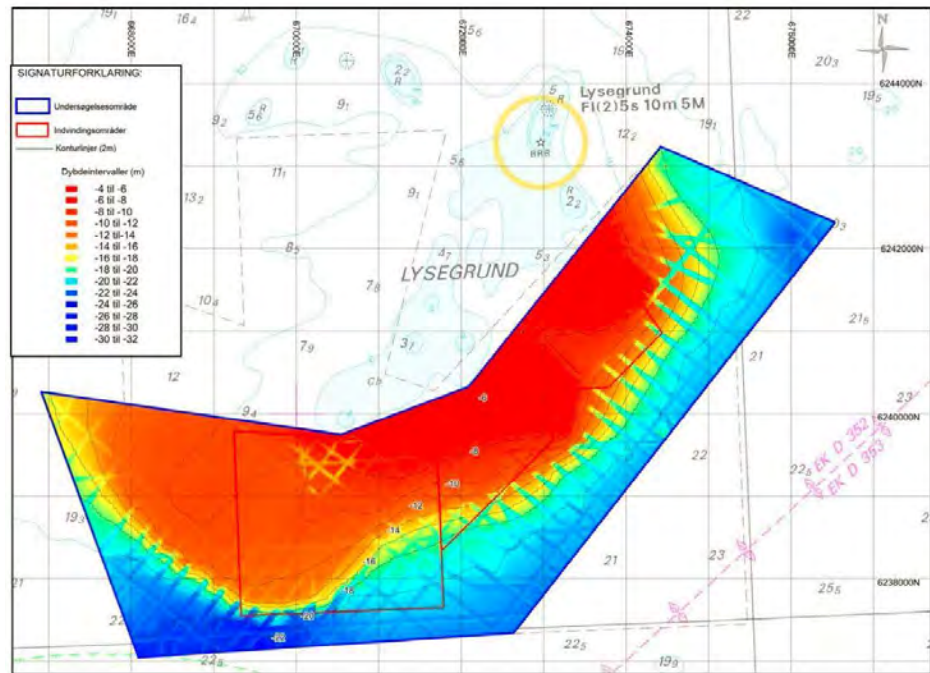
Figur 9-9 Fokuslokalitet med ressourcekort og seismisk tolkning. Kilde: GEUS, 2016

I Lysegrund råstofundersøgellesområde dominerer de nuværende fællesområder, Lysegrund Syd og Lysegrund Sydøst det marine kortlægningsområde for GEUS-efterforskningen i 2015. Som det fremgår af Figur 9-10, er området udvidet særligt mod vest og nordøst i forhold til eksisterende fællesområder, se Figur 9-10. Der er benyttet samme undersøgelsesmetoder som for Hesselø Bugt.



Figur 9-10 Lysegrund undersøgelsesområde med sejllinjer, multibeam-dybdemålinger, grabprøver, boreprøver, fællesområder og visuel inspektionslokaliteter. Kilde: GEUS, 2016

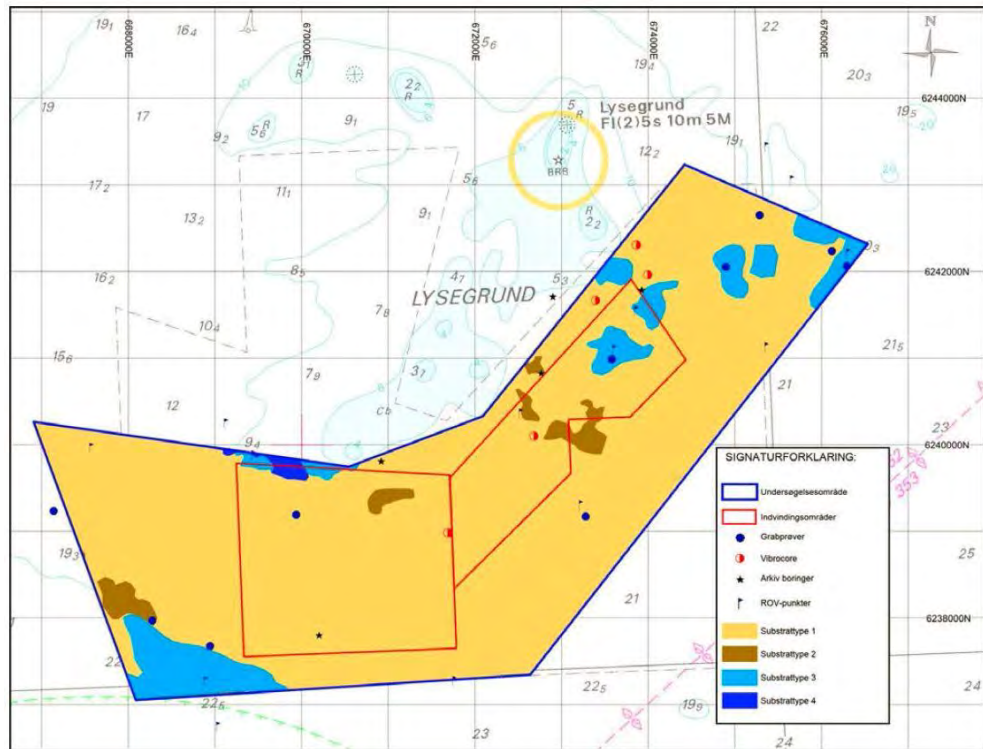
Med baggrund i Geodatastyrelsens eksisterende dybde data og med GEUS nyopmålte multibeam-dybde data overlægret, ses det centrale flakområde mod nord med dybder under 6 m og den generelt stigende vanddybde mod syd, se Figur 9-11.



Figur 9-11 Dybdekort af havoverfladen (bathymetri) i Lysegrund.  
 Bemærk forskel i gridning fra søopmåling fra Geodatastyrelsen og målte multibeam-dybde data fra GEUS (stregsignatur). Kilde: GEUS, 2016

De substrattyper, der er fundet på baggrund af råstofundersøgelsen i Lysegrund viser, at der overvejende er substrattype 1 – sand til rådighed i og udenfor de eksisterende fællesområder (med rød farve), se Figur 9-12.

Her ses det også, af der overordnet af GEUS er vurderet relativt få og små områder med substrattype 2 i undersøgelsesområdet, se Figur 9-12.



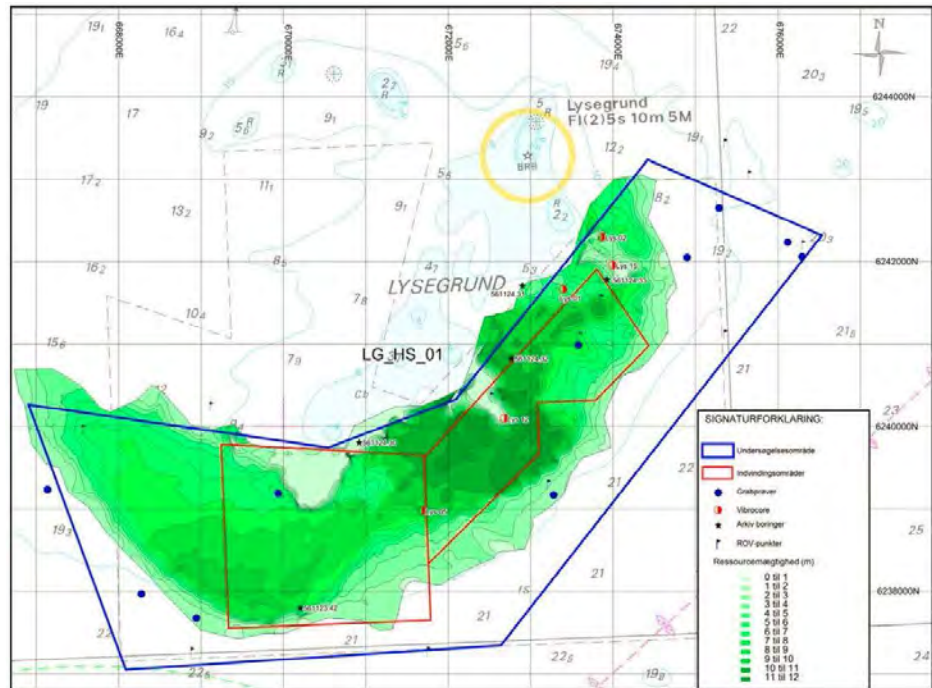
Figur 9-12 Bundsubstrattyper i Lysegrund. Kilde: GEUS, 2016

Det resulterende ressourcekort for den marine holocæne sand- og grusforekomst i Lysegrund undersøgelsesområde er vist på Figur 9-13. Ifølge GEUS består ressourcen af: **".. primært af velsorteret mellemkornet sand med mindre mængde af groft sand, grus og ral.."** (GEUS, 2016: pp 246).

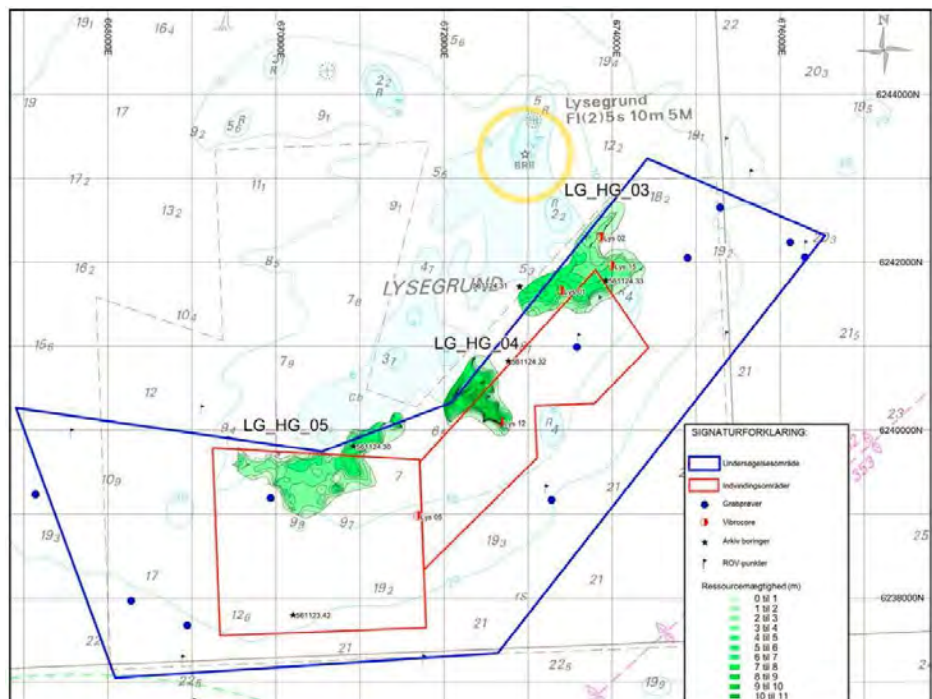
Samlet er sand/grus-aflejringsressourcen i LG\_HS\_01 estimeret til, at den indvindelige råstofmængde er på 181 mio. m<sup>3</sup>, se Figur 9-13.

Det resulterende ressourcekort for den marine holocæne grus og ralforekomst i Lysegrund undersøgelsesområde er opdelt i tre områder, LG\_HG\_03, LG\_HG\_04, LG\_HG\_05, se Figur 9-14.

Samlet er der estimeret brutto-råstofmængder i henholdsvis LG\_HG\_03, LG\_HG\_04 og LG\_HG\_05 svarende til 6,4 mio. m<sup>3</sup>; 3,5 mio. m<sup>3</sup> og 4,4 mio. m<sup>3</sup>.



Figur 9-13 Udstrækning og tykkelse af sandressourceområde LG\_HS1  
 Kilde: GEUS, 2016



Figur 9-14 Udstrækning og tykkelse af kortlagte holocæne marine grus og ralressourcer  
 Kilde: GEUS, 2016

Som det fremgår af Tabel 9-2, er der i seneste råstofundersøgelse af ressourceområder nær Nordkysten (jf. GEUS, 2016) samlet estimeret påviselige og sandsynlige sand, grus og ral-forekomster for 416 mio. m<sup>3</sup>.

Ud fra denne ressourceoversigt for de to indvindingsområder, er der udvalgt et sandindvindingsområde for mellemkornet sand og for grus/ral for begge områder, der anbefales som mulige bygherreområder til brug for kystfodring med både sand og grus/ral.

Hvis det viser sig, at der kun er brug for få mængder grus/ral i den initiale kystfodring, kan de fællesområder, der udgør en delmængde af de anbefalede interesseområder for grus/ral benyttes.

Tabel 9-2 Samlet oversigt over påviste og sandsynlige ressourcer i mio. m<sup>3</sup> i Hesselø Bugt og Lysegrund med anbefalede kystfodringsressourcer i grå farve  
Kilde: GEUS, 2016

Område	Ressource-sted	Sikkerhed	Type	Volumen i mio. m <sup>3</sup>	Fin sand (F)	Fin/mellem (F/M)	Mellem sand (M)	Sand med grus (M/G)	Grus og ral (G/R)
Hesselø Bugt	HB_DG1	Påvist	Glasial	51					51
	HB_HS10	Påvist	Hol marint	1		1			
	HB_HS5	Påvist	Hol marint	3		3			
	HB_HS9	Påvist	Hol marint	14		14			
	HB_TS1	Påvist	Senglacial	4			4		
	HB_HS1	Sandsynlig	Hol marint	2		2			
	HB_HS2	Sandsynlig	Hol marint	38		38			
	HB_HS3	Sandsynlig	Hol marint	3		3			
	HB_HS4	Sandsynlig	Hol marint	65		65			
	HB_HS6	Sandsynlig	Hol marint	9		9			
	HB_HS7	Sandsynlig	Hol marint	22		22			
HB_HS8	Sandsynlig	Hol marint	2		2				
Lysegrund	LG_HG4	Påvist	Hol marint	4					4
	LG_HG5	Påvist	Hol marint	4					4
	LG_HS1	Påvist	Hol marint	181			181		
	LG_HG2	Sandsynlig	Hol marint	7					7
	LG_HG3	Sandsynlig	Hol marint	6					6
<b>I ALT:</b>				<b>416</b>	<b>0</b>	<b>159</b>	<b>185</b>	<b>0</b>	<b>72</b>

### 9.3 Sand fra oprensninger og tilsandingsområder

Det fremgår af afsnit 8.9.3, at der pågår en del kunstig bypass ved både Gilleleje Havn og ved Hornbæk Havn i form af at oprensning fra indsejlingerne deponeres kystnært og at der overføres sand fra afgravninger af tilsandingsområderne omkring havnene til de nedstrøms kyster. På trods af disse indsatser fanges der stadig en del sand som sandaflejringer omkring havnene. Ved Hornbæk Havn er det specielt vest for havnen, at der akkumuleres sand på strandplanet, på stranden og i klitterne, mens der ved Gilleleje Havn hovedsagelig pågår tilsanding på sandgrunden øst for havnen.

Med henblik på yderligere at minimere havnenes negative virkninger på kystens sedimentbudgettet kunne det overvejes at oprense/afgrave sand fra tilsandingsområderne omkring havnene og benytte dette sand til fodring af tilstødende



kyststrækninger. Dette ville ligeledes medvirke til at reducere de negative virkninger for havnene i form af fastholdelse af de nødvendige dybdeforhold omkring indsejlingerne, reduceret tilsanding i indsejlingerne og reduceret sandfygning.

Såfremt de eksisterende bypass mængder ved havnene suppleres med eventuelle fremtidige afgravninger omkring havnene, vil dette medføre følgende virkninger på havnene og for kystens sedimentbudget:

- > Havnene: Effektiv styring af tilstrækkelige dybder ved havnene, sikre besejlingsforhold og minimering af gener fra sandfygning
- > Kysternes sedimentbudget: Stort set fuld reduktion af havnenes negative virkning på kysternes sedimentbudget.

Afgravningerne kan evt. inddeles i større engangsafgravninger, hvor de afgravede sandmængder kan benyttes som tilskud til større kystfodringer, og i løbende afgravninger, hvor de afgravede mængder kan benyttes som tilskud til den løbende vedligeholdelse af de kystfodrede strækninger.

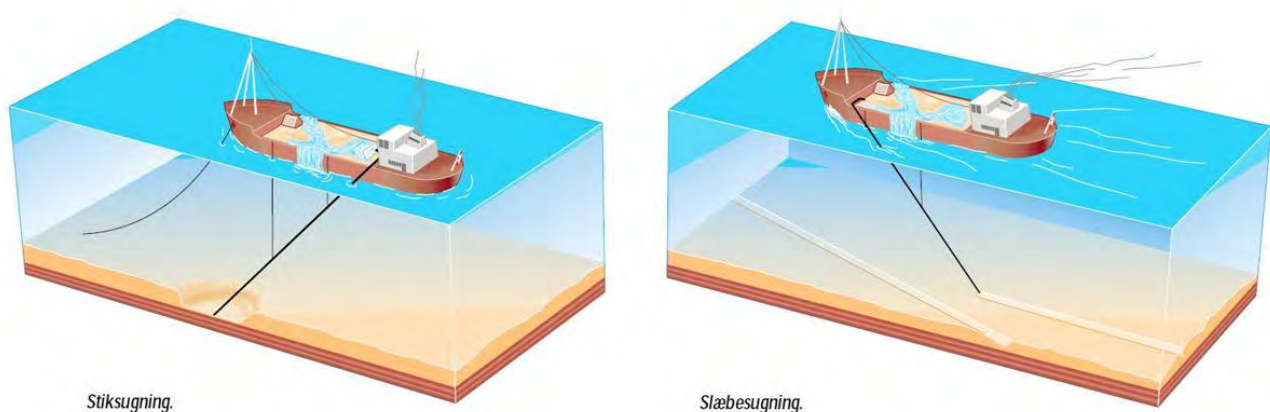
Lovgivningsmæssigt er det nu muligt at **"hjælpe" sandet fra havneområdet tilbage** til kystens aktive sandtransportzone, se BEK nr. 950 af 27/06/2016 (Bekendtgørelse om bypass, nyttiggørelse og klappning af optaget havbundsmateriale). Dette benyttes allerede i den nuværende situation ved Gilleleje Havn og ved Hornbæk Havn.

## 10 Udførelse af kystfodring

Dette afsnit præsenterer tekniske metoder og procedurer for sandindvinding, transport af sand og indpumpning samt fordeling af sand og ral på stranden.

### 10.1 Indvindingsmetoder

Når der skal bruges sand til kystfodring, kan man enten vælge at tage det fra grusgrave etc. inde på land eller suge det op fra havbunden langt fra kysten. Det billigste og mest logiske råstofindvindingsområde er på havbunden. Når sandet skal indvindes fra havbunden, benyttes oftest stiksugning eller slæbesugning, se Figur 10-1.



Figur 10-1 Illustration af stiksugning og slæbesugning. Kilde: GEUS, 1998

Som det fremgår af Figur 10-1, er stiksugning immobil punktsugning, der fjerner sand i en zone rundt om suget. Slæbesugning foregår derimod ved, at en sugefod for enden af en sugeslange slæbes henover havbunden og derved dækker et større geografisk område.

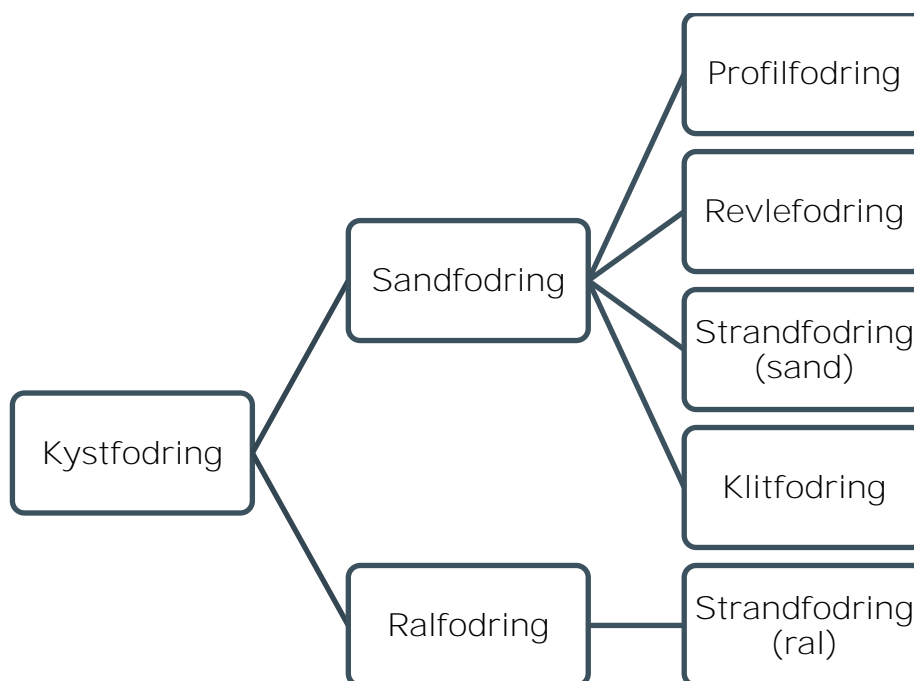
Sandsugning medfører, at den øverste del af havbunden fjernes og de bunddyr, der lever i sandet går til grunde. For at bibeholde et muligt levegrundlag, efterlades der minimum 1 m sandlag på havbunden for, at de omkringlevende bunddyr hurtigt kan re-kolonisere indvindingsområdet.

Erfaringsmæssigt fra miljøundersøgelser fra 1995 og frem af sandindvinding i Nordsøen til kystfodring på Vestkysten er den samlede konklusion, at under sandindvinding-forløbet er der et lokalt tab af bunddyr og lokalt afgrænsede gener som sedimentspild af finkornet materiale, støjgener fra sandpumperen, mulig påvirkning af områdets fugleliv i forbindelse med potentielt oliespild, samt almindelig forstyrrelse af visse fiskearter (KDI, 2009).

Den længerevarende påvirkning af miljøet er vurderet meget lille, eftersom alle påvirkede dyrearter genetablere sig i lokalområdet og i løbet af nogle år er der ingen eller kun få biologiske tegn på, at der har fundet sandindvinding sted (KDI, 2009).

## 10.2 Sandfodringsmetoder

Når det indvundne sand fra indvindingsområdet er sejlet ind til kystfodringslokaliteten, kan det udlægges på kysten på forskellig måde. På nedenstående figur er kystfodring præciseret efter om det er sand (silt, finsand, sand eller grus) efter ral, der fodres med, se Figur 10-2.



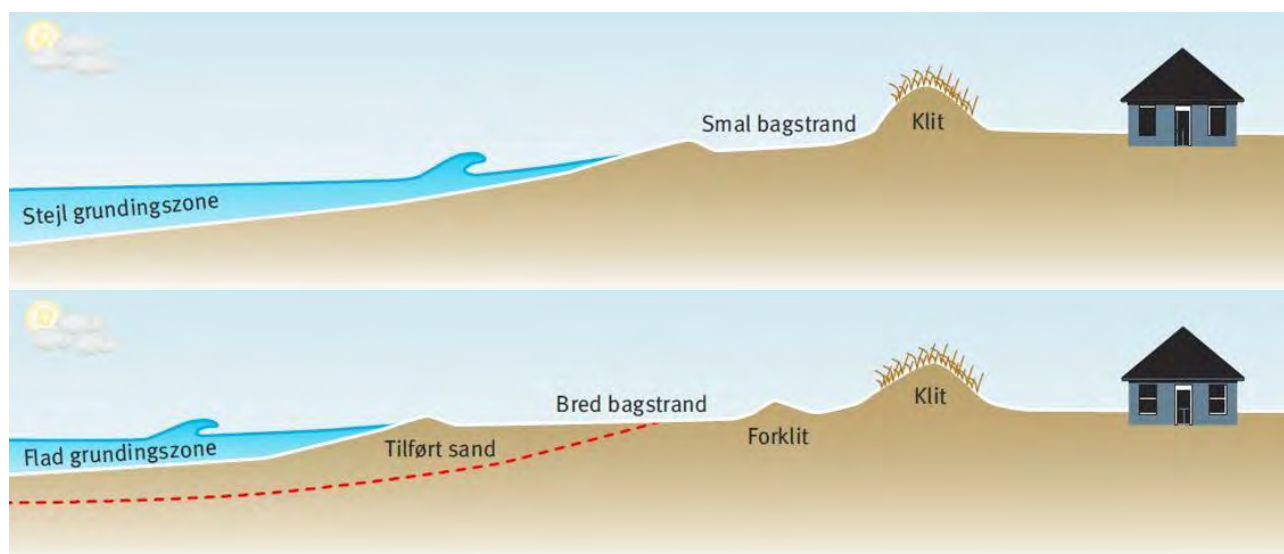
Figur 10-2 Kystfodringsmetoder for sand og ral med angivelse af det lokale fodringsområde på kysten

Det fremgår også af Figur 10-2, at man kan præcisere, hvor på kysten sandet fodres. Hvis man f.eks. taler om strandfodring med sand, så bliver indvindings-

sandet placeret på selve stranden, landværts for kystlinjen og havværts for klitens vegetationslinje.

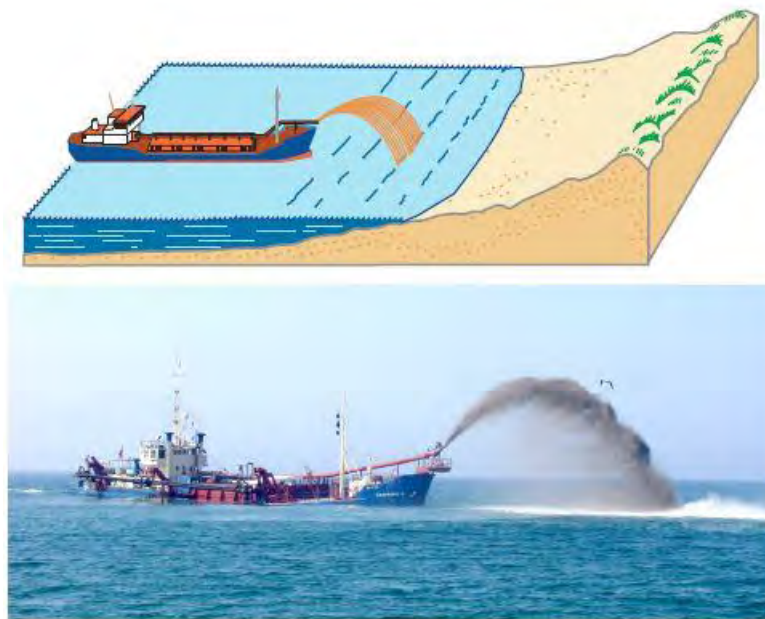
### 10.2.1 Profilfodring

Når formålet med kystfodringen er, at det meste af kystprofilet får sandtilførsel og at kystlinjen rykkes havværts, er profilfodring ofte den bedste løsning, se Figur 10-3.



Figur 10-3 Profilfodring med fremrykning af kystlinjen. Kilde: GEUS/KDI, 2016

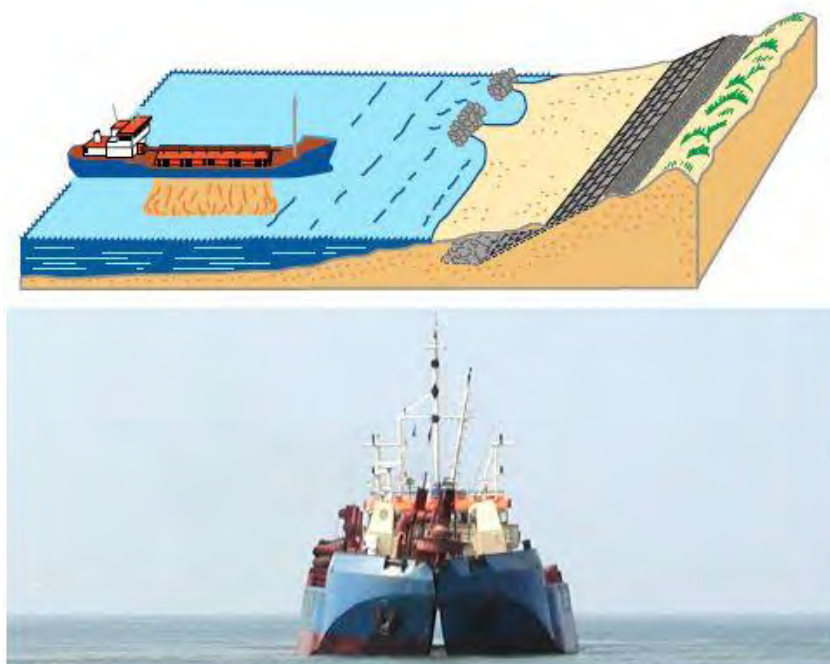
Denne fodringsform kan udføres med såkaldt rainbowing, hvor indvindingsfartøjet pumper sandblandet vand ud over stævnen på skibet, se Figur 10-4. Profilfodring kan også udføres med splitpram eller rørledning og entreprenørmaskiner.



Figur 10-4 Rainbowing til profilfodring ud på den kystnære havbund. Kilde: KDI, 2015

### 10.3 Revlefodring

Når den vanddækkede del af stranden ved revlerne skal have tilført sand, kalder man det revlefodring. Hvor revlerne er tilpas dybtliggende, kan en splitpram anvendes til revlefodring, se Figur 10-5.



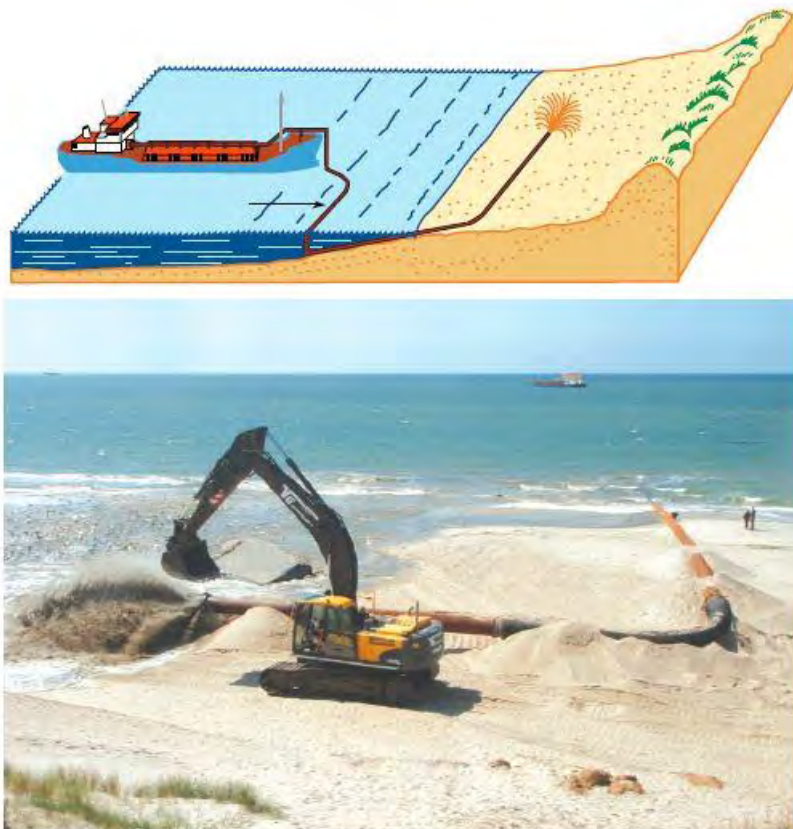
Figur 10-5 Revlefodring med splitpram, der åbnes langskibs. Kilde: KDI, 2015

## 10.4 Strandfodring

Når sandet skal fra indvindingsfartøjet og ind på stranden, er det oftest nødvendigt med en flydende rørledning og entreprenørmateriel. Her kobles skibet til rørledningen havværts for revlerne og sandet blandes med vand og transporteres via rørledningen ind på stranden. Her strømmer vand/sand-blandingen ud på stranden og vandet løber tilbage til havet, mens sandet bliver liggende på stranden, se Figur 10-6. Det er også muligt at koble rørledninger på så sandet kan transporteres ud til begge sider hvor fra den flydende rørledning går i land.

Enten kan sandet fordeles direkte ved udpumpning eller ved, at entreprenørmateriel fordeler sandet på stranden, så det bliver placeret som projekteret. Hvis sandet skal placeres op af f.eks. en skråningsbeskyttelse eller på havværts side af eksisterende klitter (klitfodring) benyttes bulldozere, gravemaskiner og dumpere.

Ved strandfodring med ral, bliver ralmaterialet typisk fragtet fra indvindingsområdet til nærliggende havn med skib og derefter fragtet med dumpere og lastbil til stranden, hvor der skal foretages ralfodring.



Figur 10-6 Strandfodring med indvindingsfartøj tilkøbet rørledning, der pumper sandet ind på stranden til videre fordeling. Kilde: KDI, 2015.

## 11 Overordnet miljøvurdering

### 11.1 Miljøvurdering - Resumé og sammenfattende konklusion

Strandfodring af Nordkysten er omfattet af kystbeskyttelseslovens regler, og det vurderes, at myndighederne forud for en tilladelse vil kræve, at der udarbejdes en VVM-redegørelse (Vurdering af Virkninger på Miljøet) samt en konsekvensvurdering af projektets indvirkning på særligt beskyttede naturtyper og arter.

Der er foretaget en overordnet vurdering af strandfodringens påvirkning på en række naturparametre. Vurderingen er foretaget på baggrund af eksisterende viden.

Strandfodringen vil ske på stranden og på den vanddækkede del af stranden i den naturlige sandtransportzone til maksimalt 2 m dybde. Der vurderes at skulle foretages vedligeholdelsesfodring hvert 2-3 år. Fodringssedimentet er naturlige og rene materialer, som indvindes fra marine råstofområder. For at sikre et stabilt strandprofil fodres der med sand, grus med det naturlige tilslag af ral, som er en del af den naturligt store variation af sedimenttyper i området. Fodringen planlægges til at foregå i perioden november – februar af hensyn til efterårsgyldende sild.

I henhold til råstofloven skal der udføres en særskilt miljøvurdering for råstofindvindingen, og der kan kun gives tilladelse til indvindingen, hvis myndighederne vurderer, at der ikke vil ske en væsentlig miljøpåvirkning. Bemærk at effekterne af råstofindvindingen indgår ikke i nedenstående.

Samlet set vurderes strandfodringens påvirkning på de marine naturforhold, at være mindre end den naturlige påvirkning under en storm på kysten. Dette skyldes en række forhold herunder at:

- strandfodringen lægges til rette, så den foregår skånsomt for naturen og kun på udvalgte – mindre sårbare – delstrækninger. Dette giver naturen mulighed for hurtigt at reetablere sig.

- naturtyperne i området er tilpasset dels et kystprofil, der veksler mellem sommer og vinter, og dels den kraftige omlejring af bundsedimentet langs hele kysten under storm.
- for at minimere påvirkningen på habitatnaturtyper og anden værdifuld terrestrisk natur knyttet til klitområder udføres strandfodringen foran klit, forklit og anden natur med vegetation (hvor dette er relevant)

I henhold til habitatbekendtgørelsen skal der sandsynligvis foretages en vurdering af projektets påvirkning på de Natura 2000-områder, som potentielt set kan blive påvirket af projektet. Der findes en række Natura 2000-områder – fortrinsvist habitatområder og fuglebeskyttelsesområder - langs Nordkysten. Nogle områder er beliggende på land, andre er marine.

Der er foretaget en foreløbig vurdering af strandfodringens påvirkning på Natura 2000-områderne. Vurderingen er foretaget på grundlag af eksisterende viden.

Den foreløbige vurdering er, at strandfodring formentlig vil have en positiv effekt på beskyttede klitnaturtyper. Det kan dog ikke på det foreliggende grundlag endeligt konkluderes, hvordan strandfodringen vil indvirke på Natura 2000-områderne. Myndighederne forventes derfor at stille krav om udfærdigelse af en egentlig konsekvensvurdering i henhold til habitatbekendtgørelserne. En konsekvensvurdering er en detaljeret vurdering af projektets mulige effekter på beskyttede naturtyper og arter, og det vil i den forbindelse formentlig være nødvendigt at udføre feltundersøgelser f.eks. til registrering af udbredelsen og tilstanden af beskyttede habitatnaturtyper mv.

Strandfodringens virkning på de forskellige naturparametre herunder på Natura 2000-beskyttede naturtyper er summeret i nedenstående tabel.

## 11.2 Generelt

Dette afsnit præsenterer en overordnet vurdering af påvirkningerne på miljøet med fokus på sandfodring. Denne vurdering er ret detaljeret. Det er her vigtigt at fremføre, at miljøpåvirkningerne i det kystnære område ved sandfodring, som planlagt, er væsentligt mindre end de naturlige påvirkninger under storme på kysten. Under storme flyttes der meget rundt på bundsedimentet, og i hele **kystzonen helt ud til afslutningen af den aktive kystzone ("closure depth")** er der sand i suspension og omlejring. Closure depth afhænger af den aktuelle storm og vandstand. Storme sker således samtidigt på hele kysten, og udgør en langt større miljøpåvirkning end hvad der er tale om ved strandfodring, der sker på en begrænset delstrækning.

Sandfodring bør primært ske i vinterhalvåret, hvor de kraftigste storme også forekommer, men kan også ske i sommerhalvåret. Under kraftige storme sker der, udover at store mængder sediment bringes i suspension, også store omlejring af bundsedimenterne, som det kendes fra forskellen mellem typiske sommer og vinterprofiler. Det naturlige havmiljø er altså vant til sådanne kraftige



påvirkninger, og de forskellige naturtyper er i stand til at tilpasse sig de naturlige sedimentomlejninger.

*Tabel 11-1 Overordnet vurdering af sandfodringens påvirkning på naturforholdene i anlægsfasen og i driftsfasen*

Marin natur	Påvirkning fra strandfodringen	Påvirkning af strandfodringen på lang sigt
	Anlægsfase	Driftsfase
Bundvegetation (ålegræs og makroalger)	Mindre	Ubetydelig
Bundfauna	Mindre	Ubetydelig
Fisk	Ubetydelig*	Ubetydelig
Fugle (yngle og trækfugle)	Ubetydelig*	Ingen
Sæler	Ubetydelig*	Ingen
Marsvin	Ubetydelig*	Ingen
Naturtypen Sandbanke	Ubetydelig, Naturtypen vil blive styrket men bundfauna vil blive kortvarigt mindre påvirket*	Ingen
Naturtypen rev	Mindre	Mindre påvirkning på rev i sandtransportzonen.
Naturtypen forstrand og forklit	Ubetydelig, Naturtypen vil blive styrket, nogen forklit-vegetation kan dog blive kortvarigt påvirket.	Ingen-Positiv
Hvidklit	Ingen	Ingen-Positiv
Grønsværsklit	Ingen	Ingen, hvis sikres at sandfodringen ikke påvirker denne.

Dette skitseprojekt anbefaler syv kyststrækninger til strandfodring langs Nordkysten, hvor strandfodring er optimeret i forhold til behovet, se Figur 11-1.



Figur 11-1 Anbefalede strandfodringsstrækninger langs Nordkysten

Dette kapitel omfatter en overordnet miljøvurdering af projektets påvirkning på marin natur og relevant kystnatur, herunder hvordan den foreslåede metode påvirker de nærliggende Natura 2000-områder og deres udpegningsgrundlag, samt anden sårbar marin natur, se Figur 11-3.

Det beskrives, hvornår på året det er bedst at sandindvinde og strandfodre for at tage mest mulig hensyn til naturparametrene samt, hvordan der kan tages hensyn til de udpegede arter og naturtyper i Natura 2000-områderne. Vurderingen skal danne udgangspunkt for en nærmere konsekvensvurdering i forhold til habitatdirektivet og VVM-reglerne i forbindelse med ansøgning om tilladelse til projektet. Foruden Natura 2000-områder forekommer adskillige fredninger på strækningen fra Hundested til Helsingør. Disse fredninger er generelt udpeget for at beskytte offentlighedens adgang, udsigt til kysten og landskabsoplevelse, og formålet med fredningerne er således ikke i konflikt med et strandfodringsprojekt. Fredede områder indgår derfor ikke i den overordnede miljøvurdering, men bør undersøges nærmere i forbindelse med ansøgning om tilladelse til projektet.

Beskyttede naturtyper efter §3 i Naturbeskyttelsesloven langs strækningerne, hvor der skal strandfodres omfatter de terrestriske naturtyper overdrev og hede

og omfatter ikke selve strandplanet, hvor der fodres. §3 naturtyper er derfor ikke behandlet yderligere i forbindelse med denne overordnede miljøvurdering.

Det bemærkes, at den overordnede miljøvurdering omfatter fordringens indvirkning på omgivelserne og Natura 2000-områder. Vurderingen omfatter ikke effekter af marin råstofindvinding, idet der udarbejdes en særskilt miljøvurdering for dette i henhold til råstoflovens regler.

## 11.3 Lovgrundlag og proces

### 11.3.1 VVM og natura 2000-konsekvensvurdering

Strandfodring på Nordkysten af Sjælland vil være omfattet af lovbekendtgørelse nr. 15 af 08/01/2016 om kystbeskyttelse, da strandfodring kan påvirke miljøet både på kysten og i havet. Projektet skal VVM-anmeldes og VVM-myndigheden vurderer gennem en VVM-screening, om der forventes væsentlige miljøpåvirkninger, og om der derfor skal udføres en VVM-undersøgelse af projektet jf. bekendtgørelse nr. 579 af 29/05/2013 om miljømæssig vurdering af visse anlæg og foranstaltninger på søterritoriet og bekendtgørelse nr. 1832 af 16/12/2015 om vurdering af visse offentlige og private anlægs virkning på miljøet (VVM) i medfør af lov om planlægning.

Formålet med VVM-processen er, at belyse de miljømæssige konsekvenser af projektet. For at minimere eventuelle væsentlige påvirkninger kan der i VVM-redegørelsen blive foreslået afværgeforanstaltninger og overvågningstiltag.

Gennemførelse af en VVM-proces med indkaldelse af ideer og forslag, udarbejdelse af en VVM-redegørelse samt den efterfølgende offentlige høring vil typisk tage 1-2 år.

### 11.3.2 Natura 2000-konsekvensvurdering

Strandfodring på Nordkysten kan potentielt påvirke nogle af de nærliggende Natura-2000-områder, og der skal derfor som udgangspunkt udarbejdes Natura 2000-konsekvensvurderinger for disse områder i henhold til bekendtgørelse nr. 874 af 02/09/2008 om administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter for så vidt angår anlæg og udvidelse af havne og kystbeskyttelsesforanstaltninger samt etablering og udvidelse af visse anlæg på søterritoriet (også benævnt habitatbekendtgørelsen).

## 11.4 Baggrund for miljøvurdering

Strandfodring vil blive udført med sand, gus og ral hentet fra marine råstofindvindingsområder. Strandfodringen vil omfatte fodring på selve stranden og ud på strandplanet (den vanddækkede del af stranden). Strandfodringen vil blive foretaget på stranden foran evt. klitter og skrænter til en samlet bredde på

maksimalt ca. 30 m. På smalle strande vil det derfor være nødvendigt at strandfodre ude på strandplanet, mens det på brede strande ikke vil være nødvendigt af fodre på havværts side af kystlinjen. Strandfodringen foran evt. klitter og op til evt. forklit vil kunne påvirke forklitten i mindre grad, se Figur 3-24.

Strandfodringen vil berøre strandplanet på dybder mellem ca. 0-2 m. Vedligeholdelsesfodring forventes nødvendig ca. hvert 2-3. år afhængigt af omfang af initialfodringen, storme og erosion på de forskellige strækninger.

Formålet med strandfodringen er at opnå den mest naturlige kystbeskyttelse med så lidt indvirkning på miljøet som muligt.

#### Retningslinjer for gennemførelse af strandfodring

Strandfodring udføres efter følgende retningslinjer for at mindske påvirkningen på natur i forbindelse med fodringen på de syv strækninger langs Nordkysten:

- Der strandfodres udelukkende på stranden og tæt på kysten i den naturlige sandtransportzone langs Nordkysten (ca. 0-30 m fra kystlinjen og havværts ud i vandet) og maksimalt ud til ca. 2 m dybde.
- Strandfodringen udføres foran evt. forklit, klit eller anden natur med vegetation, så habitatnaturtyper og anden værdifuld terrestrisk natur ikke påvirkes af fodringen. Forklit kan blive påvirket i mindre grad, da strandfodringen lægges op til denne.
- Der sandfodres på syv del-strækninger, og det giver naturen mulighed for hurtig genetablering af evt. tabte dyr og planter fra nærliggende bestande langs kysten.
- Sedimentet der anvendes til fodring vil være en blanding af sand, grus og ral svarende til det naturlige sediment langs Nordkysten.

## 11.5 Påvirkning af marin natur

Dette afsnit omfatter en gennemgang af strandfodringens påvirkning på marine, biologiske parametre og de relevante dominerende marine og terrestriske kystnaturtyper.

### 11.5.1 Metode for vurdering og forbehold

Denne overordnede miljøvurdering er baseret på overordnet eksisterende viden omkring marin natur og kystnatur og den naturlige kystdynamik langs Nordkysten.

Hvis myndighederne i forbindelse med ansøgning om tilladelse til projektet stiller krav om udfærdigelse af VVM-reddegørelse og/eller konsekvensvurdering, bør der udføres en detaljeret miljøvurdering baseret på feltundersøgelser af de eksisterende forhold på de kyststrækninger, hvor der skal strandfodres. Feltundersøgelser på fodringsstrækningerne, skal klarlægge udbredelsen af marin natur og

evt. kyst natur, herunder særligt sårbar marin natur i påvirkningsområdet for fodringsaktiviteterne, både for selve sandfodringsarealet og de omgivende arealer, der vil blive påvirket af suspenderet sediment og sandtransport.

Den overordnede miljøvurdering i dette kapitel er foretaget på baggrund af den generelle viden om de marine forhold, kystnaturtyper og kystdynamikken på Nordkysten. Der er ikke foretaget en specifik vurdering for hver enkelt fodringsstrækning, da der ikke foreligger specifikke undersøgelser af den marine natur på disse strækninger. Den overordnede vurdering forventes dog at være dækkende for alle strækninger med mindre man ved feltundersøgelser finder særligt sårbar natur, som der må foretages yderligere foranstaltninger for at beskytte.

### 11.5.2 Overordnet vurdering for marine, biologiske parametre

Dette afsnit omfatter en gennemgang af strandfodringens påvirkning på marine, biologiske parametre.

På kyststrækningen, hvor der strandfodres, vil den marine natur kunne blive dækket med sand og suspenderet sediment, det vil midlertidigt medføre forringet sigtbarhed, øget næringsfrigivelse og reduceret filtration for nogle bundfaunaarter. Påvirkningen vil afhænge af, hvor lang tid fodringen tager, fodringstrykkelsen, sandtransporten og hvilke plante-, dyregrupper og arter, der findes i området. En evt. påvirkning af forklitten afhænger af, hvor tæt op til forklitten, der fodres og i hvilken højde. Der vil kun blive fodret op til den kystvendte del af evt. forklit.

Det bemærkes, at indvinding af sand til fodring foregår i marine råstofvindingsområder udpeget af staten. Det er Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning (SVANA), som meddeler tilladelse til indvinding (se afsnit 14 om indvindingsområder). Ved udpegning af marine råstofvindingsområder gennemføres en miljøvurdering, hvorfor vurdering af miljøeffekten af råstofindvinding ikke indgår i denne rapport.

#### Næringsfrigivelse og fytoplankton

Strandfodring kan medføre øget frigivelse af næringsstoffer såsom kvælstof og fosfor afhængigt af sandets indhold af næringsstoffer. Tungmetaller og andre miljøfarlige stoffer bindes dårligt i sand og vurderes ikke at blive et problem. Generelt er sands indhold af næringsstoffer lavt og vurderes ikke at medføre påvirkninger på kystmiljøet og evt. opblomstring af planktonalger.

Det vurderes på denne baggrund, at strandfodring ikke vil medføre ændringer i vandkvaliteten i området og derfor ikke vil hindre opfyldning af målsætningerne i vandområdeplanen for vandområderne langs Nordkysten.

#### Bundflora

Bundflora på lavt vand ved Nordkysten omfatter makroalger (tang), - hvor der er hårdt substrat som algerne kan sidde fast på, - og ålegræs. Makroalger er udbredt i området særligt på dybder over 4 m udenfor sandtransportzonen. Åle-

græssets udbredelse er begrænset af eksponeringen af kysten for vind og vejr set i forhold til forekomsten i de indre danske farvande. Ålegræs forekommer ved Nordkysten i meget begrænset omfang generelt på dybder over 2 m og fortrinsvis øst for Gilleleje (Sand Jensen (red), 2006).

Bundplanter såsom makroalger (tang) og ålegræs tåler ikke overdækning med tykke sedimentlag. Undersøgelser har vist en dødelighed på omkring 70 % ved 4-8 cm pålejring (Mills & Fonseca, 2003). En konservativ antagelse er, at til-dækning med et sedimentlag med en tykkelse på ca. 2 cm kan have en hæmmende effekt på blomsterplanters vækst. Strandfodring kan derfor medføre tab af de bundfloraarter, der overdækkes langs stranden.

Makroalgerne tæt på kysten består generelt af almindelige arter i Danmark. Makroalgerne har brug for hårdt substrat at sidde fast på, og de vil derfor forsvinde, i det omfang de blotlagte sten på havbunden overdækkes med sand. I det omfang der er sten tilbage, vil makroalgerne hurtigt kunne genetablere sig fra de omkringliggende områder. Da det kun er en lille del af hårdbundsarealet og makroalgebestanden i området, der overdækkes af strandfodringen, og da den påvirkede hårdbund til dels er fremkommet pga. menneskelig indgriben i sandtransporten langs Nordkysten vurderes påvirkningen af bundfloraen i området at være af mindre grad.

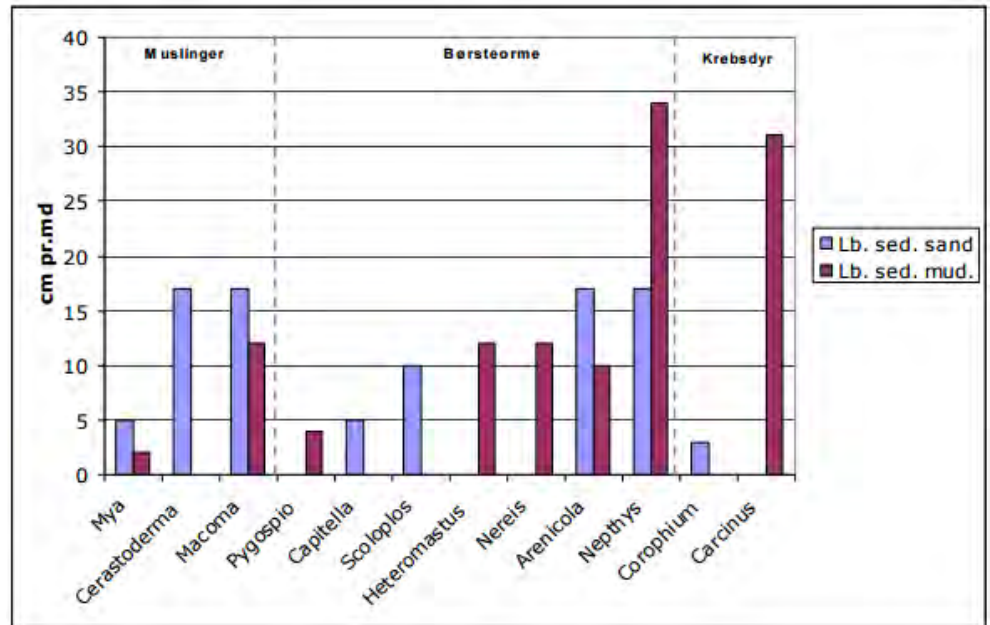
Ålegræs forekommer dog i meget begrænset omfang langs den eksponerede del af Nordkysten og slet ikke på strækninger, der er domineret af sten, ral og grus. Ålegræs vurderes derfor at blive påvirket i ubetydelig grad af overdækning med sand i forbindelse med strandfodring på strækningerne på Nordkysten.

Øget suspenderet sediment i vandsøjlen vil forekomme meget lokalt omkring strandfodringen, da den foretages fra stranden og havværts i en kort periode i størrelsesorden (mindre end en uge lokalt pr. strækning). Forekomsten af øget suspenderet sediment vurderes derfor at være ubetydelig for bundflora i området.

### Bundfauna

Den naturlige bundfauna på lavt vand langs Nordkysten tilhører macoma-samfundet (lavtvandssamfundet), som er udbredt langs kysten i de indre danske farvande (Olesen et al, 2011). Sedimentforholdene langs Nordkysten er generelt meget dynamiske med skiftende sanddække på kyststrækninger fra fx sanddække om sommeren til en delvis ralstrand om vinteren (f.eks. ved Stængehus). De typiske bundfaunaarter i området er således tilpasset et dynamisk kysthabitat, og mange af disse bundfaunaarter tåler derfor en høj grad af overdækning og periodisk forøgede sandkoncentrationer i vandet, se Figur 11-2.

Et større studie af overdækningseffekter på forskellige bundfaunaarter konkluderer, at med undtagelse af blåmusling, sandmusling, østers (*Ostrea* spp.), søanemone (*Sagartia* spp.) og nogle søstjerner vil de fleste bundfaunaarter ikke være væsentligt påvirkede ved overdækning, så længe sedimentlaget er under 20-30 cm (Essink, 1999). Hårdbundsfauna vil være mindre tolerant overfor overdækning med sand.



Figur 11-2 Tålegrensener for forskellige bundfaunaarter ved deponering af henholdsvis sand og mudder over en periode. Den løbende sedimentation (Lb. Henviser til en situation, hvor der løbende deponeres materiale over tid (enhed cm pr måned) (Vejdirektoratet, 2010), baseret på (Essink, 1999)

Strandfodringen vil have en varighed på under en uge pr. strækning og vurderes derfor ubetydelig for bundfaunaen i området.

Mange bundlevende dyr har pelagiske æg- eller larvestadier, som flyder med strømmen og vil forsøge at etablere sig i nye områder. Rekoloniseringen af gravende bunddyr i et forstyrret/opgravet område vil derfor foregå relativt hurtigt, og de første arter vil genetablere sig allerede i sommermånederne, ved gravning og sedimentpild i vinter/foråret inden maj (Hygum, B., 1993) (Støttrup et al., 2007).

Samlet set forventes biomassen, artsdiversiteten og individantallet at falde umiddelbart efter sandfodringen (overdækningen) på projektstrækningerne. Herefter vil der ske en genkolonisering bl.a. fra dybere og nærliggende områder og i løbet af en midlertidig periode på 2-4 år forventes artsantal, biomasse og individantal at være tilbage på det oprindelige niveau (Dalfsen og Essink 2001). Bundfaunaen vil således kunne nå at genetablere sig i området inden en evt. genfodring, der forventes nødvendig efter ca. 2-3 år afhængigt af erosionen på de enkelte strækninger.

De bølgeeksponerede sandsedimenter langs kysten har stor betydning i sommerhalvåret for rekruttering af et stort antal fiskerimæssigt vigtige arter, da det velsorterede fine sand på revler og sandflader er levested for særlig mange, meget små organismer, der i fødestørrelse er nødvendige for fiskelarverne, når de bundfælder og vokser op på bundfladerne i sommertiden indtil, de forlader kysten som 0-gruppefisk i efteråret.

Primærproduktionen er her fastkittede kiselalger i revner og sprækker på de fine sandkorn, som i perioder er i konstant bevægelse i den belyste zone, hvorefter de deponeres i tykkere lag, for senere igen at vende tilbage til den belyste zone til fortsat fotosyntese.

Et eksempel på første led i en vigtig fødekæde er en nøgleart, som den lille bundlevende tangloppe *Bathyporeia pilosa*, som er i stand til at afraspe diatomerne på sandkornene. Biotopen er de eksponerede revler med veliltet sand fra 0- **10 cm's dybde, hvor den findes i meget store tal ofte mere end 60.000 pr. m<sup>2</sup>**. Om natten svømmer arten og er derfor til rådighed for de små fisks fouragering.

Kysten huser på samme biotoper et meget stort antal arter, som er af betydning for bl.a. fisk, og for dem alle sammen gælder det generelt, at de om vinteren er trukket ud på dybere vand, hvor de ikke udsættes for samme kraftige bearbejdning af bølgerne. Forklaringen er, at dyrene om vinteren er mere eller mindre kuldelamme og ikke vil være i stand til at overleve i et dynamisk ustabil miljø.

Dette er den biologiske begrundelse for at fodre om vinteren for at minimere den skadelige virkning af strandfodring på kystfaunaen og så i øvrigt fodre så langt op på stranden som muligt.

Samlet set vurderes påvirkningen på bundfauna som følge af strandfodring på de planlagte strækninger vil være af mindre grad, hvis der fodres om vinteren, og så langt oppe på stranden som muligt.

## Fisk

En fiskeundersøgelse i 2000 i Hornbæk Bugt viste, at de vigtigste fangster i området udgøres af torsk, sild (*Clupea harengus*) og hvilling (*Merlangius merlangus*) samt havkarusse (*Ctenolabrus reupestris*). Der fanges også sej (*Pollachius virens*), hestemakrel (*Trachurus trachurus*), tunge (*Solea solea*) og ålekvalbe (*Zoarces viviparus*) i bugten. Øresundssamarbejdet oplyser, at der desuden er bestande af rødspætte (*Pleuronectes platessa*) og skrubbe (*Platichthys flesus*) (Fiskeøkologisk Laboratorium, 2000).

Fisk vil blive påvirket ved overdækning af hårbundshabitater tæt på kysten med blødbund afhængigt af årstiden og strandfodringsmetoden. Fisk og fiskeyngel har mulighed for at forlade området, mens der strandfodres. Evt. gydede fiskeæg på strækningen, som overdækkes, forventes at gå til. Strandfodring vil derfor på kort sigt have en påvirkning på fiskebestanden tæt på land, afhængigt af fodringstidspunktet.

Området er vigtigt som opvækstområde for fladfisk (Warner et al., 2012) og det vurderes derfor, at projektet kan medføre en væsentlig påvirkning på fladfiskeynglen i området. Studier foretaget af bl.a. Danmarks Fiskeriundersøgelser (nu DTU Aqua), har vist, at fladfiskeyngel kan blive negativt påvirket ved strandfodring fortrinsvis pga. en reduktion i bundfaunaen og dermed et reduceret fødeudbud efter strandfodring (Danmarks Fiskeriundersøgelser, 2007). Et reduceret fødeudbud vil medføre, at ynglen søger til andre områder for at finde føde



(Danmarks Fiskeriundersøgelser, 2007) og at bestanden derved falder midlertidigt i det strandfodrede område. Det anbefales derfor af Danmarks Fiskeriundersøgelser, at fodringen ophører, når temperaturen kommer over 10 grader og først genoptages den efterfølgende januar (Danmarks Fiskeriundersøgelser, 2007).

Udover de ovennævnte arter findes der en mindre, lokal bestand af efterårsgyldende sild langs den nordsjællandske kyst især ud for Hornbæk og Gilleleje (Worsøe et al, 2003). For at minimere påvirkningen på fiskeynglen anbefales det, at strandfodring foregår i sent efterår eller om vinteren (november-marts). Strandfodres der udenfor gyde- og yngelopvækstsæsonen, vurderes påvirkning på fisk at være af mindre grad.

Det bemærkes, at strandfodring på længere sigt kan være en fordel for fisk i området, idet lavvandede sandområder langs kysten er vigtige opvækstområder for mange fiskearter (Warner et al., 2012).

### Fugle

Der findes ikke særligt beskyttede områder for fugle på fodringsstrækningerne. Fugle i området og trækfugle, som passerer forår og efterår, vurderes at kunne fortrække til andre områder, hvis de forstyrres af strandfodring.

Forstyrrelsen fra fodringsaktiviteten vil være begrænset til strandområdet foran evt. klitter og skrænter, hvor der normalt forekommer en del forstyrrelse fra den rekreative brug af strandområderne langs Nordkysten. Forstyrrelsen fra strandfodringen er kortvarig (<1 måned) og begrænset, og vurderes at påvirke fugle i området i ubetydelig til mindre grad.

### Havpattedyr

Havpattedyrenes fødesøgning og fødesøgningsområder vurderes generelt ikke at blive påvirket af projektet, da fodringen foregår tæt på land (0-2 m), og dyrene kan fortrække til andre uforstyrrede områder.

Dyrenes fødesøgning vil heller ikke blive påvirket af øget koncentration af suspenderet sediment som følge af strandfodring, da påvirkningen sker lokalt og sæler og marsvin enten dels kan søge væk og dels har evnen til at søge føde ved begrænsede lysforhold i vandet.

Spættet sæl yngler ved Hesselø ud for Nordkysten. Både spættet sæl og gråsæl er på udpegningsgrundlaget for Natura 2000-område nr. 128 Hesselø med omgivende Hav, der ligger i Kattegat ca. 30 km nord for Hundested (Miljøministeriet, 2011). Den voksende bestand af spættet sæl har medført observation af en del unger på stranden langs Nordkysten om sommeren bl.a. ved Liseleje, Rågeleje og Tisvildeleje (Naturstyrelsen, 2014).

Gråsæl forekommer kun sjældent, og der er ingen dokumentation for, at arten har ynglet på Hesselø (Miljøministeriet, 2011). Sæler er særligt følsomme i yngleperioden (juni-juli) og i den efterfølgende pelsfældningsperiode (august-september) (Miljøministeriet, 2005). Strandfodring i spættet sæls yngleperiode

kan derfor medføre påvirkning på enkelte sæler og unger i yngleperioden, og strandfodring anbefales derfor foretaget uden for sommersæsonen (juni-juli), se nedenstående om anbefalinger til fodringstidspunkt.

Ved strandfodring udenfor sælernes yngleperiode (juni – juli) vurderes projektet ikke at påvirke sælernes yngle og rastepladser væsentligt ved Nordkysten.

Marsvin er på habitatdirektivets bilag IV. I henhold til reglerne skal det sikres, at bilag IV-arter ikke forsætligt forstyrres i deres naturlige udbredelsesområde eller arternes yngle- og rasteområde beskadiges eller ødelægges. Forudsætningen for dette er, at den økologiske funktionalitet af et yngle- eller rasteområde for bilag IV-arter opretholdes på mindst samme niveau som hidtil.

Marsvin forekommer langs Nordkysten hele året dog i størst antal om sommeren og fortrinsvis på dybere vand (Teilmann et al, 2008). Marsvin er særligt følsomme over for forstyrrelser i forbindelse med parrings- og kælvningssæsonen i perioden maj til august.

Strandfodringen fra stranden max ud til 2 m dybde vurderes at foregå så langt fra hovedforekomsten af marsvin ud for Gilleleje i Natura 2000-område nr. 195 **“Gilleleje flak og Tragten”**, at der vil være en ubetydelig påvirkning på marsvin, marsvinenes yngle og rasteområde og områdets økologiske funktionalitet.

### 11.5.3 Overordnet vurdering for naturtyper

Nedenfor er der foretaget en foreløbig vurdering af strandfodringens påvirkning på habitatnaturtyper på udpegningsgrundlaget i Natura 2000-områder, dvs. rev (1170), sandbanker (1110) og forstrand og begyndende klitdannelser (2110) - benævnt forklit i øvrig tekst, - hvidklit (2120) og grønsværsklit (2130).

Udover ovennævnte naturtyper findes der biogene rev, dvs. ældre, artsrige muslingebanker i området. Biogene rev er ikke kortlagt langs Nordkysten, og strandfodringens påvirkning på disse kan derfor ikke vurderes på det nuværende grundlag.

Strandfodring vil blive udført havværts for evt. vegetation, klitter, skrænter og anden værdifuld terrestrisk natur, såsom §3 beskyttet natur, hvorfor det ikke er relevant at vurdere påvirkningen på anden terrestrisk kystnatur end ovennævnte.

Sandet fra strandfodring vil med tiden blive transporteret langs Nordkysten mod øst og vil på denne måde påvirke de kyststrækninger, der ikke fodres direkte. Denne transport vil dog ske langsomt, som en del af den naturlige sandtransport i området og vurderes at have en ubetydelig påvirkning på den omkringliggende marine natur i området. Transport af sand fra de fodrede strækninger mod øst til andre områder kan styrke bl.a. klitnaturen i områder langs Nordkysten, som pt. trues af manglende sandtilførsel på nogle strækninger.

### Rev (Habitatnaturtype 1170)

Rev er områder, hvor havbunden rager op og har stenet eller anden hård bund. Revet kan eventuelt være blottet ved ebbe eller fralandsvind. Revene huser ofte en stor forekomst af forskellige dyre- og plantesamfund. Stenrev er typisk karakteriseret ved forekomst af alger, som hæfter sig på stenene, bl.a. blæretang på de mindre vanddybder og rødalger på de større vanddybder. Herudover er der typisk forekomst af muslinger. Stenrevene tiltrækker desuden en del fisk, bl.a. ørreder.

Under rev-betegnelsen hører ligeledes strandplanstypen stenet abrasionsflak eller residualbund, som forekommer, hvor moræneformationer er under erosion. Langs kyster som kommer ind under denne klassifikation, forekommer der også oftest en bræmme, som er domineret af sandtransport og forekomst af sandrevler langs kysten.

Sjællands nordkyst har en del strækninger, som kommer ind under denne sammensatte kysttype. Strandfodring langs en sådan type kyst vil have en virkning på den meget kystnære del af strandplanet og stranden, hvor denne er domineret af sten.

Det vurderes, at den rigeste flora og fauna på disse sammensatte kyster befinder sig udenfor sandtransportzonen, hvilket typisk vil være på vanddybder større end 4 til 6 m. Strandfodring langs denne type kyster vil derfor kun have en mindre virkning på rev-delen af kysten, mens strandfodring vil have en gavnlig virkning via stabilisering af kysten samt dannelse af bl.a. klitnaturtyper på land.

### Sandbanker (Habitatnaturtype 1110)

Naturtypen omfatter sandbanker, som konstant er dækket af vand på dybder fra vandlinjen ned til 20 meters dybde. Sandbanker er hævet over den omgivende bund, så der opstår en banke. De kan være uden bevoksning eller bevokset med ålegræs, typisk på dybder større end ca. 4-6 m langs Nordkysten.

Sandbanker kan træffes tæt på kysten i forbindelse med f.eks. revledannelser eller som mere permanente banker længere fra kysten. Ind under denne kategori hører således revleområder langs kysterne. Sandet på sandbankerne er hjemsted for forskellige arter af blødbundsfauna og evt. ålegræs i områder med mindre strøm- og bølgepåvirkning.

Strandfodring på denne type kyster vil typisk foregå på mindre dybder end der, hvor ålegræsset forekommer, og strandfodring vil derfor ikke påvirke ålegræsset i nævneværdig grad. Bunddyr kan dog blive dækket med sand ved strandfodring, men det fodrede sand hurtigt vil blive re-koloniseret med disse bunddyr (se afsnit 11.5.2 ovenfor). Strandfodring vil derfor påvirke naturtypen sandbanker i mindre grad.

### Forstrand, forklit og begyndende klitdannelser (Habitatnaturtype 2110)

Naturtypen består typisk af vindribber, strandvolde, hævede sandflader på den øvre strand eller forklitter ved foden af klitter. Denne naturtype findes langs ky-

ster, der i særlig grad er udsat for havets og vindens kræfter, eksempelvis langs Nordsjællands kyst.

Vegetationen på stranden er typisk strandkvik, marehalm, strand- arve og hjælme. Denne naturtype er meget dynamisk, da havet fjerner og tilfører materiale til forklitten løbende over året. Vegetationen er således også dynamisk og vil relativt hurtigt kunne reetablere sig efter overdækning eller fjernelse.

Strandfodring på denne type strande vil typisk øge mængden af sand og vil derfor styrke kysttypen, som kan være presset grundet mangel på sand, som langs Nordkysten er forårsaget af kystbeskyttelse og sandtab ved havnene.

#### Hvide klitter og vandremiler (Habitatnaturtyper 2120)

Habitatnaturtypen 2120 Hvide klitter og vandremiler er klitter hvorfra der fortsat sker en fygning af sand på grund af et sparsomt dække af vegetation. Ofte er det de yderste rækker af klitter langs kysterne med en typisk bevoksning af hjælme eller marehalm, men også de vandremiler, der udgår herfra, hører ind under naturtypen.

Den konstante sandflugt fører til, at der aflejres sandtunger i læsiden, som gør klitten lys at se på og giver den navnet den hvide klit (Naturstyrelsen, 2016). Hvidklit er en meget dynamisk naturtype hvor både klit og vegetation påvirkes kraftigt af vind og vejr over året.

Strandfodring i områder med hvidklit og sandtilførsel fra fodring opstrøms for naturtypen vurderes fortrinsvis at styrke hvidklitten, da denne er afhængig af løbende tilførsel af sand, en tilførsel som på strækninger pt. kan være truet af den reducerede tilførsel af sand langs Nordkysten.

#### Stabile kystklitter med urtevegetation, "grønsværsklit" (Habitatnaturtype 2130)

Stabile klitter bag den hvide klit, som har et mere eller mindre lukket dække af græsser og urter, ofte med partier af enårige arter, mosser og larver (Naturstyrelsen, 2016). Denne naturtyper vurderes ikke umiddelbart at blive påvirket af strandfodring, idet der udelukkende fodres foran klitter og grønsværsklitter.

Det skal dog sikres, at strandfodring ikke udføres i en højde, der medfører risiko for sandfygning og overdækning af grønsværsklit i væsentlig grad. Grønsværsklit vurderes ikke påvirket eller evt. positivt påvirket af evt. øget sandaflejring i Natura 2000-områderne som følge af øget sandtransport fra opstrøms fodringsstrækninger, idet klitnaturtypen i nogle områder er presset af manglende sandtilførsel.

#### 11.5.4 Sammenfattende vurdering

Strandfodrings virkning på de forskellige naturparametre er summeret i nedenstående Tabel 11-2. Vurderingen er foretaget under forudsætning af, at de listede forudsætninger i baggrundsafsnittet (afsnit 11.4) og det anbefalede fodringstidspunkt (november-februar) overholdes (se afsnit 11.6).

Påvirkningerne er, som anført i indledningen, mindre end de naturlige påvirkninger under storm på kysten, hvor der flyttes meget rundt på bundsedimentet helt ud til den aktive dybde, afhængig af den aktuelle storm og vandstand. Dette sker på hele kysten næsten samtidigt under en storm, og udgør en langt større miljøpåvirkning end hvad der er tale om ved strandfodring, der sker på en begrænset delstrækning, og som udføres om vinteren. Endvidere er de forskellige naturtyper under påvirkningerne i det vekslende kystprofil henholdsvis om sommeren og vinteren (sommer- og vinterprofiler) i stand til at tilpasse sig sedimentomlejringerne.

Tabel 11-2 Overordnet vurdering af strandfodringens påvirkning på den marine natur og relevante habitatnaturtyper i anlægsfasen og i driftsfasen. \* Vurdering under forudsætning af, at anbefalingen til fodringstidspunktet overholdes.

Marin natur	Påvirkning fra Strandfodringen	Påvirkning af sandfodringen på lang sigt
	Anlægsfase	Driftsfase
Bundvegetation (ålegræs og makroalger)	Mindre	Ubetydelig
Bundfauna	Mindre	Ubetydelig
Fisk	Ubetydelig*	Ubetydelig
Fugle (yngle og trækfugle)	Ubetydelig*	Ingen
Sæler	Ubetydelig*	Ingen
Marsvin	Ubetydelig*	Ingen
Naturtypen Sandbanke	Ubetydelig, Naturtypen vil blive styrket men bundfauna vil blive kortvarigt mindre påvirket*	Ingen
Naturtypen rev	Mindre	Mindre påvirkning på rev i sandtransportzonen.
Naturtypen forstrand og forklit	Ubetydelig, Naturtypen vil blive styrket, nogen forklit-vegetation kan dog blive kortvarigt påvirket.	Ingen-Positiv
Hvidklit	Ingen	Ingen-Positiv
Grønsværsklit	Ingen	Ingen, hvis sikres at sandfodringen ikke påvirker denne.

## 11.6 Anbefaling til fodringstidspunkt

Anbefalingerne til strandfodringstidspunkt er baseret på de perioder på året, hvor de forskellige biologiske parametre påvirkes mindst.

Tabel 11-3 Anbefalet strandfodringstidspunkt på baggrund af perioden med mindst påvirkning på de marine naturforhold i området.  
Rød=anbefales ikke, Orange=kan overvejes, Grøn=anbefalet periode.

Biologisk parameter	Forår (mar april maj)	Sommer (juni juli au- gust)	Efterår (sept. okt. nov.)	Vinter (dec jan feb)
Næringsfrigivelse og fytoplankton opblomstring	Grøn	Orange	Orange	Grøn
Ålegræs	Grøn	Rød	Rød	Grøn
Makroalger (Tang)	Grøn	Rød	Rød	Grøn
Bundfauna (larvespredning og settling)	Grøn	Rød	Rød	Grøn
Fisk (gyde og opvækstområde)	Grøn	Rød	Rød	Grøn
Fugle	Rød	Rød	Grøn	Grøn
Sæler (yngle og fældningsperioder)	Grøn	Rød	Grøn	Grøn
Marsvin (forekomstperiode)	Grøn	Orange	Grøn	Grøn

Kystmiljøet er mest sårbart overfor næringsfrigivelse efter forårsopblomstringen af fytoplankton og i sommerperioden, hvor fytoplanktonets vækst begrænses af lavere næringskoncentrationer.

Den vigtigste vækstsæson for ålegræs og makroalger er i perioden april-september (Sand Jensen (red), 2006).

De fleste bunddyr har deres maksimale reproduktionsperiode i sent forår og sommermånederne maj-juli. Strandfodringstidspunktet er derfor vigtigt i for-

hold til, hvor hurtigt bundfaunaen begynder at genetablere sig i området, og derfor for varigheden af påvirkningen. Ved strandfodring om foråret inden maj måned kan det forventes, at bundfaunaen påbegynder genetableringen allerede i de efterfølgende sommermåneder (Danmarks fiskeriundersøgelser 2007).

Sandområder langs kysten er vigtige gyde- og opvækstområder for mange forskellige fiskearter, såsom rødspætte (opvækst, (Worsøe et al., 2003)), sild og hvilling (Warner et al., 2012). Nogle arter gyder forår, efterår eller vinter. De fleste gyder dog forår til efterår (Warner et al., 2012).

Fugle i Danmark yngler generelt i forårs til sommerperioden fra marts til august og trækker i forår og efteråret (Pihl og Christensen, 2014). Fugle trækker mest over Gilleleje og Nordkysten i perioden marts til juli (DOF-databasen, 2016).

Spættet sæl kan have unger liggende på strandene på Nordkysten i yngleperioden juni-juli, og strandfodring anbefales derfor ikke på dette tidspunkt.

Marsvin forekommer i området hele året, dog i størst antal i sommerperioden.

Samlet set vil strandfodring på de syv strækninger medføre mindst påvirkninger for de marine naturforhold i sent efterår og vinterperioden (november-februar), og strandfodring anbefales derfor foretaget i denne periode.

## 11.7 Natura 2000-områder

I det følgende gives en oversigt over de forskellige Natura 2000-områder langs kysten mellem Hundested og Helsingør (Figur 11-3), som potentielt kan blive påvirket af strandfodring på de syv strækninger, se Figur 11-1. Desuden gives en foreløbig vurdering af påvirkning af strandfodring på Natura 2000-områderne. Den foreløbige vurdering er baseret på eksisterende viden.

Som det fremgår af det følgende vil strandfodring kunne påvirke de nærmest beliggende Natura 2000-områders habitatnaturtyper. For klitnaturtyperne vil påvirkningen formentlig være positiv. Som følge af den mulige påvirkning på de beskyttede naturtyperne er det sandsynligt, at myndighederne stiller krav om, at der skal foretages en Natura 2000-konsekvensvurdering for de nedennævnte områder i henhold til bekendtgørelse nr. 874 af 02/09/2008 om administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter for så vidt angår anlæg og udvidelse af havne og kystbeskyttelsesforanstaltninger samt etablering og udvidelse af visse anlæg på søterritoriet.

En konsekvensvurdering er en detaljeret vurdering af strandfodrings påvirkning på beskyttet natur og arter. I denne forbindelse kan det være nødvendigt at udføre feltundersøgelser for at registrere den nøjagtige udbredelse og tilstand af de beskyttede naturforhold.

Natura 2000-områderne omfatter fortrinsvis Habitatområder og nogle steder også Fuglebeskyttelsesområder, se Figur 11-3.





Figur 11-3 Oversigt over Natura 2000-områder på strækningen mellem Hundested og Helsingør, som potentielt kan påvirkes af strandfodring. Habitatområder (grøn skravering) og Fuglebeskyttelsesområder (lilla skravering) er angivet på figuren.

### 11.7.1 Havet og kysten mellem Hundested og Rørvig

Området er beskyttet som Natura 2000-område nr. 153 og udgøres af Habitatområde nr. H134 og Fuglebeskyttelsesområde F102. Området indeholder både terrestriske og marine habitatnaturtyper, se Figur 11-4. Udpegningsgrundlaget for Habitatområde H134 er vist i Tabel 11-4 og på Figur 11-4.

Der er store marine værdier i området i kraft af de udstrakte lavvandede områder med sandbanker, kystlaguner, bugter og vige. Disse arealer rummer vidtstrakte flader med ålegræs og blåmuslinger. Det marine område med sandbanker er af stor betydning for edderfugle og andre dykænder, der særligt i isvintre samles i store koncentrationer. De mest dominerende naturtyper på land er grå/grøn klit og klithede. Klitheden er udviklet på de højest beliggende arealer, mens grønsværklitten dominerer arealerne nærmest kysten (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016).

Der foregår en betydelig erosion langs Nordkysten, hvor sandbanker vandrer mod syd ind i Isefjorden og videre langs Isefjordskysten. Klitdannelserne er fremtrædende i såvel istidslandskabet som i det marine forland (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016).

Udpegningsgrundlag for Habitatområde nr. 134		
Naturtyper:	Sandbanke (1110)	Lagune* (1150)
	Bugt (1160)	Strandvold med enårige planter (1210)
	Strandvold med flerårige planter (1220)	Strandeng (1330)
	Forklit (2110)	Hvid klit (2120)
	Grå/grøn klit (2130)	Klithede* (2140)
	Klitlavning (2190)	Enebærklit* (2250)
	Kransnålalge-sø (3140)	Tidvis våd eng (6410)
	Avneknippemose* (7210)	Rigkær (7230)
Arter:	Mygblomst (1903)	

Udpegningsgrundlag for Fuglebeskyttelsesområde nr. 102		
Fugle:	edderfugl (T)	hvinand (T)
	toppet skallesluger (T)	stor skallesluger (T)
	mosehornugle (T)	

Tabel 11-4 Udpegningsgrundlag for Habitatområde H134 og Fuglebeskyttelsesområde F102 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016).  
\* angiver prioriterede habitatnaturtyper. Grågrøn klit er også prioriteret.



Figur 11-4 Teoretisk kortlægning af marine naturtyper i Habitatområde H134. Arealfordelingen af de marine naturtyper er baseret på en teoretisk kortlægning fra 2004 opdateret frem til 2011 på baggrund af specifikke projekter (Miljøministeriet, Naturstyrelsen, 2013).

Strandfodringen på strækningen Kikhavn-Liseleje berører stranden og kysten med kystbeskyttelse på en mindre strækning i den nordøstlige del af Natura 2000-området, se Figur 11-5.

Der er ikke udpeget habitatnaturtyper på strækningen, hvor der sandfodres, se Figur 11-5.



Figur 11-5 Strandfodring på strandplan og kystnært i Natura 2000-område nr. 153.

### 11.7.2 Hesselø med omkringliggende stenrev

Området er beskyttet som Natura 2000-område nr. 128 og udgøres af Habitatområde nr. H112. Udpegningsgrundlaget er vist i

Tabel 11-5. Hesselø ligger i Kattegat ca. 30 km nord for Hundested. I udpegningsgrundlaget indgår bl.a. to marine naturtyper (1110 sandbanke og 1170 rev) samt arterne spættet sæl og gråsæl. Stenrevene ved Hesselø rummer en meget artsrig vegetation med en frodig algesammensætning. Der er ligeledes en meget artsrig bundfauna på de lavvandede sandbanker på havbunden omkring Hesselø (Naturstyrelsen, 2011).

112 Hesselø med omliggende stenrev	1364	Gråsæl ( <i>Halichoerus grypus</i> )
	1365	Spættet sæl ( <i>Phoca vitulina</i> )
	1110	Sandbanker med lavvandet vedvarende dække af havvand
	1150	* Kystlaguner og strandsøer
	1170	Rev
	1210	Enårig vegetation på stenede strandvolde
	1220	Flerårig vegetation på stenede strande
	1330	Strandenge
	2130	* Stabile kystklitter med urteagtig vegetation (grå klit og grønsværklit)
	3150	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks
	6210	Overdrev og krat på mere eller mindre kalkholdig bund (* vigtige orkidélokalteter)
	6230	* Artsrige overdrev eller græsheder på mere eller mindre sur bund
	6410	Tidvis våde enge på mager eller kalkrig bund, ofte med blåtop
	7230	Rigkær

Tabel 11-5. Udpegningsgrundlag for Habitatområde 112 (Naturstyrelsen, 2013). \* angiver prioriterede habitatnaturtyper

På Hesseløs nordvestrev yngler en bestand på ca. 1.000 spættede sæler. Bestanden af spættet sæl er Europas største. Gråsæl forekommer kun sjældent, og der er ingen dokumentation for, at arten har ynglet på Hesselø. Der findes meget få gråsæler i Danmark, og Hesselø må derfor betragtes som en vigtig lokalitet, der med tiden potentielt kan udvikle en fast bestand (Naturstyrelsen, 2011).

Strandfodring langs kysten vil ikke påvirke Habitatområde H112 direkte, idet påvirkning fra suspenderet sediment og sedimentation vil være lokal omkring strandfordringsaktiviteten. Sandtransporten langs kysten vil fortrinsvis være begrænset til den kystnære sandtransportzone og vil således heller ikke påvirke habitatnaturtypen 1170 rev, 1110 sandbanke og sæler omkring Hesselø. Fødegrundlaget for fisk vil kortvarigt reduceres på de strandfodrede strækninger på dybder fra 0-2 m, men forventes at genetablere sig relativt hurtigt. Strandfodring vil ske tæt på land og forventes ikke at påvirke fiskebestanden væsentligt, idet strandfodring forventes at ske i sent efterår og vinter (se afsnit 11.6), efter den vigtigste gyde og opvækstsæson for fisk i området. Fødegrundlaget for sæler vurderes derfor ikke påvirket i væsentlig grad.

Spættet sæl yngler ved Hesselø ud for Nordkysten, og den voksende bestand har medført observation af en del unger på stranden langs Nordkysten om sommeren bl.a. ved Liseleje, Rågeleje og Tisvildeleje (Naturstyrelsen, 2014). Strandfodring i spættet sæls yngleperiode kan derfor medføre påvirkning på enkelte sæler og unger i yngleperioden, og strandfodring anbefales derfor foretaget uden for sommersæsonen (juni-juli), se afsnit omkring anbefaling til fodringstidspunkt.

Ved strandfodring udenfor sælernes yngleperiode vurderes projektet ikke, at påvirke sæler på udpegningsgrundlaget i Habitatområde H112 væsentligt.

### 11.7.3 Tisvilde Hegn og Melby Overdrev

Området er beskyttet som Natura 2000-område nr. 135 og udgøres af Habitatområde nr. H119. Udpegningsgrundlaget er vist i Tabel 11-6. Området ligger direkte ud til Kattegat med en kyststrækning på 8 km mellem Liseleje og Tisvildeleje.

Natura 2000-området er udpeget for at beskytte en række arter og naturtyper primært en række typer af kystklitter og skovnaturtyper. Området rummer eksempelvis hvid klit, grå/grøn klit, klithede, skovklit, stilkegeskov, bøgeskov på morbund og skovbevokset tørvemose. Det kystmæssige i beskyttelsen går på klitsystemet, men dækker ikke områder ud i havet.

119	Tisvilde Hegn og Melby Overdrev	1042	Stor kærguldsmed ( <i>Leucorhina pectoralis</i> )
		1166	Stor vandsalamander ( <i>Triturus cristatus cristatus</i> )
		2110	Forstrand og begyndende klitdannelser
		2120	Hvide klitter og vandremiler
		2130	* Stabile kystklitter med urteagtig vegetation (grå klit og grønsværklit)
		2140	* Kystklitter med dværgbuskvegetation (klithede)
		2160	Kystklitter med havtorn
		2180	Kystklitter med selvsåede bestande af hjemmehørende træarter
		2190	Fugtige klitlavninger
		2250	* Kystklitter med enebær
		3130	Ret næringsfattige søer og vandhuller med små amfibiske planter ved bredder
		3140	Kalkrige søer og vandhuller med kransalger
		3150	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks
		3160	Brunvandede søer og vandhuller
		7220	* Kilder og væld med kalkholdigt (hårdt) vand
		9110	Bøgeskove på morbund uden kristtorn
		9130	Bøgeskove på muldbund
		9160	Egeskove og blandskove på mere eller mindre rig jordbund
		9190	Stilkegeskove og -krat på mager sur bund
		91D0	* Skovbevoksede tørvemoser
91E0	* Elle- og askeskove ved vandløb, søer og væld		

Tabel 11-6. Udpegningsgrundlag for Habitatområde 119 (Naturstyrelsen, 2013).  
\* angiver prioriterede habitatnaturtyper'

Strandfodring udføres uden for Natura 2000-området, som derfor ikke påvirkes direkte af projektet.

Sandet fra fodringen vil indgå i den naturlige sandtransport langs Nordkysten, og det vurderes, at påvirkningen på klitnaturtyperne (naturtyperne 2110 forstrand og begyndende klitdannelser, 2120 hvide klitter og vandremiler, 2130 Grågrøn klit\* (Naturstyrelsen, 2013)) formodentligt vil være positiv, idet den øgede sandtilførsel formodentligt vil styrke klitnaturen i området. Klitnaturens tilstand og evt. påvirkning fra øget tilførsel af sand til området bør undersøges og vurderes nærmere i en konsekvensvurdering i henhold til habitatbekendtgørelsens regler.



Figur 11-6 Strandfodring på strækningerne Kikhavn – Liseleje og Tisvilde-Vincentstien og Natura 2000-område nr. 135.

#### 11.7.4 Gilbjerg Hoved

Området er beskyttet som Natura 2000-område nr. 129 og omfatter Habitatområde H113. Udpegningsgrundlaget for Habitatområdet er vist i Tabel 11-7.

Natura 2000-området Gilbjerg Hoved ligger ud til Kattegatkysten 2 km vest for Gilleleje. Selve Gilbjerg Hoved er en 30 m høj, stejl, svagt eroderet moræneklint mod kysten, Figur 11-7.



Figur 11-7 Skrænt og ralstrand ved Gilbjerg Hoved (Naturstyrelsen, 2016)

Skrænten er nordvendt og derfor stedvist fugtig og mosrig. Neden for skrænten findes mod vest små arealer af klitnatur og ralstrand (Naturstyrelsen, 2016).

Området omfatter udpegning af naturtypen kystklinter som særlig beskyttelsesværdig. Desuden er der udpeget habitatnaturtyper som hvid klit, grågrøn klit, strandvolde og skovklit, se Tabel 11-7.

<b>113</b> Gilbjerg Hoved	1166	Stor vandsalamander ( <i>Triturus cristatus cristatus</i> )
	1230	Klinter eller klipper ved kysten
	2130	* Stabile kystklitter med urteagtig vegetation (grå klit og grønsværklit)
	3130	Ret næringsfattige søer og vandhuller med små amfibiske planter ved bredder
	3150	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks
	6210	Overdrev og krat på mere eller mindre kalkholdig bund (* vigtige orkidelokaliteter)
	6230	* Artsrige overdrev eller græsheder på mere eller mindre sur bund
	7230	Rigkær

Tabel 11-7. Udpegningsgrundlag for Habitatområde 113 (Naturstyrelsen, 2013).  
 \* angiver prioriterede habitatnaturtyper

Da der ikke knytter sig direkte fredningsbestemmelser til de marine områder, vil det i relation til strandfodring være relevant at vurdere virkningen på specielt kystklinten, strandvoldene og klitnatur. Umiddelbart vurderes det, at strandfodring delvis vil overdække ralstrandvoldene, og strandfodring vil herudover have stabiliserende virkning på kystklinten og klitnatur. Disse virkninger af strandfodring påvirker således udpegningsgrundlaget for Natura 2000-området positivt.



Figur 11-8 Gilbjerg Hoved, græs og kystområdet. Fodringsstrækningen Havstokken-Feriebyen ses til venstre i billedet. Natura 2000-området berøres ikke direkte.

### 11.7.5 Teglstrup Hegn og Hammermølle Skov

Området er beskyttet som Natura 2000-område nr. 130 og omfatter Habitatområde H114. Udpegningsgrundlaget for Habitatområdet er vis i Tabel 11-8.

Nr	Habitatområde	Kode	Udpegningsgrundlag
114	Teglstrup Hegn og Hammermølle Skov	1042	Stor kærguldsmed (Leucorrhina pectoralis)
		1084	* Eremit (Osmoderma eremita)
		1166	Stor vandsalamander (Triturus cristatus cristatus)
		1386	Grøn buxbaumia (Buxbaumia viridis)
		1936	Stellas mosskorpion (Anthrenochernes stellae)
		2130	* Stabile kystklitter med urteagtig vegetation (grå klit og grønsværklit)
		3130	Ret næringsfattige søer og vandhuller med små amfibiske planter ved bredder
		3140	Kalkrige søer og vandhuller med kransnålalger
		3150	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks
		3160	Brunvandede søer og vandhuller
		4030	Tørre dværgbusksamfund (heder)
		6230	* Artsrige overdrev eller græsheder på mere eller mindre sur bund
		6430	Bræmmer med høje urter langs vandløb eller skyggende skovbryr
		7110	* Aktive højmoser
		7140	Hængesæk og andre kærsamfund dannet flydende i vand
		7220	* Kilder og væld med kalkholdigt (hårdt) vand
		7220	* Kilder og væld med kalkholdigt (hårdt) vand
		7230	Riggær
		9110	Bøgeskove på morbund uden kristorn
		9130	Bøgeskove på muldbund
		9160	Egeskove og blandskove på mere eller mindre rig jordbund
9190	Stilkegeskove og -krat på mager sur bund		
91D0	* Skovbevoksede tørvemoser		
91E0	* Elle- og askeskove ved vandløb, søer og væld		

Tabel 11-8. Udpegningsgrundlag for Habitatområde H114 (Naturstyrelsen, 2013).

\* angiver prioriterede habitatnaturtyper

Naturmæssigt er området rigt og varieret. Det domineres af en varieret skov med gamle træer og bevoksninger en del steder. Det rummer også ganske mange søer, foruden åbne arealer med både næringsrige og meget næringsfattige moser. I området indgår desuden et stort åbent, tidligere dyrket, men nu overdrevslignende område i Hellebæk Kohave. Kohaven græsses af kreaturer og omfatter tillige dele af skoven.

Den sydøstlige del af området dækker dele af stranden og et enkelt område er udpeget som habitatnaturtypen 2130 Grågrøn klit, som er særligt beskyttet som prioriteret habitatnaturtype, se Figur 11-9, gul markering ved strand.

Strandfodring vil ikke berøre Natura 2000-området arealmæssigt. Strandfodring på strækninger nordvest for området vil medføre øget sandtransport og sandaflejring langs kysten mod sydøst og formodentligt ind i Natura 2000-området. Sandaflejring i området med grågrøn klit vil formodentligt have en stabiliserende virkning på klitterne her, hvilket kan medføre en positiv påvirkning på habitatnaturtypen i Natura 2000-området. Strandfodringen skal tilpasses, så den ikke ligger for tæt på den grågrønne klit og medfører risiko for tilfygning af vegetationen med sand. De øvrige terrestriske habitatnaturtyper i området ligger så langt fra stranden, at de ikke vurderes at blive påvirket af projektet.





Figur 11-9. Oversigt over Natura 2000-området ved Teglstrup Hegn og Hammermølle Skov. Gult område er habitatnaturtypen grågrøn klit (2130) landværts for strandplanet. Aflang grøn markering langs kysten er sandfodringsstrækningen Ålsgårde

### 11.7.6 Gilleleje Flak og Tragten

Området er beskyttet som Natura 2000-område nr. 195 og omfatter Habitatområde H171. Udpegningsgrundlaget for Habitatområdet er vist i Tabel 11-9.

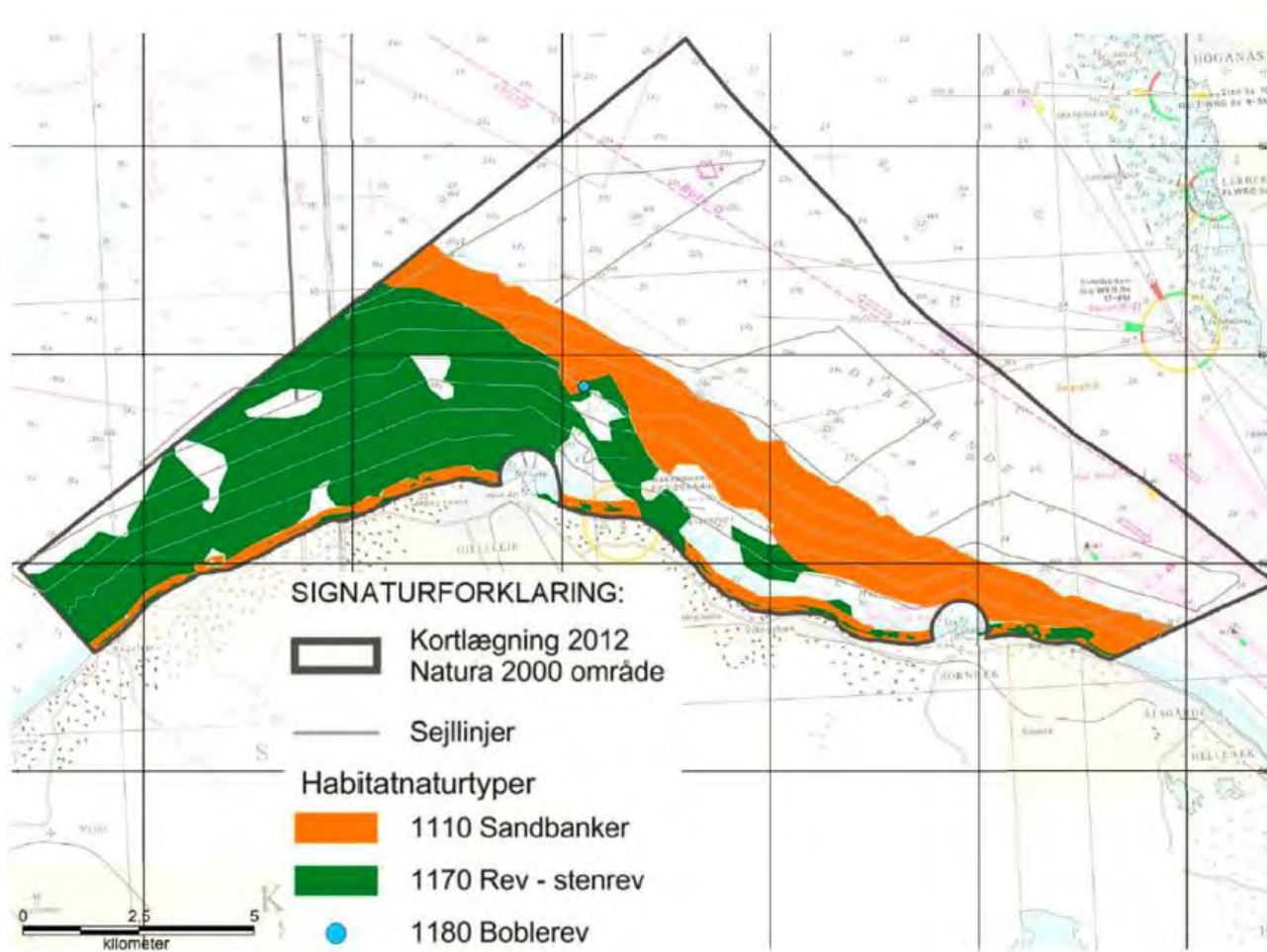
Gilleleje Flak og Tragten er udpeget som Habitatområde H171, og er et større sammenhængende stenrevsområde på 152 km<sup>2</sup> beliggende ud for Gilleleje og langs kysten mod øst og vest. Den østlige del af området – også kaldet Tragten – er et vigtigt område for marsvin især i sommerperioden.

Udpegningsgrundlaget er 1170 stenrev, 1110 Sandbanker med vedvarende dække af havvand og 1351 Marsvin, se Tabel 11-9 og Figur 11-10. Stenrev er generelt karakteriseret ved forekomst af alger, som hæfter sig på stenene, bl.a. blæretang på de mindre vanddybder og rødalger på de større vanddybder. Herudover er der typisk forekomst af muslinger. Marsvin forekommer generelt på større vanddybde i området. Sandbanker med vedvarende dække af havvand (1110) findes i sandtransportzonen tættest på land og på dybere vand i den østlige del af Habitatområdet, Figur 11-10.

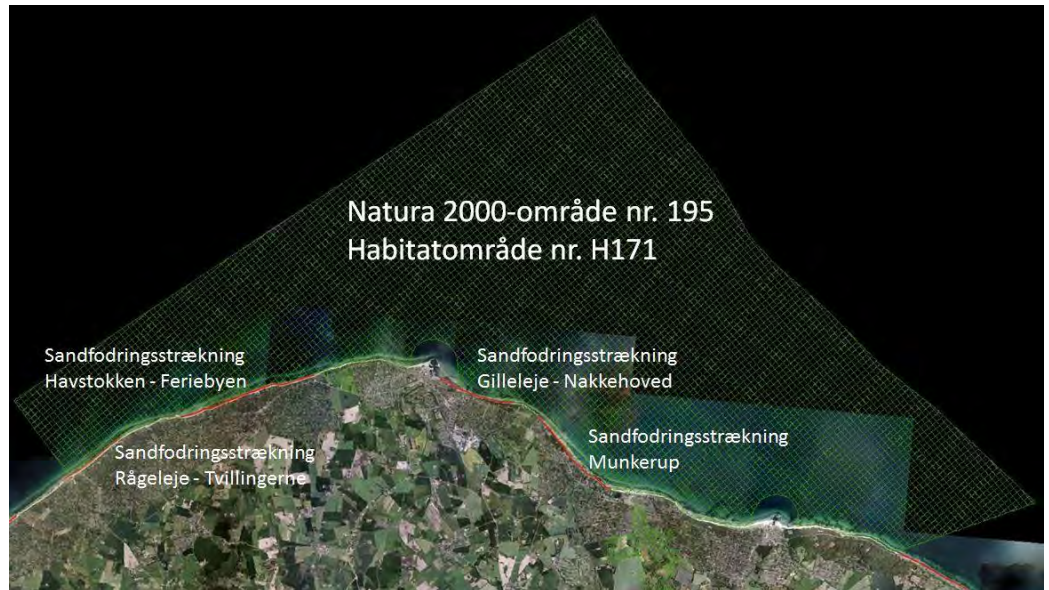
En kortlægning i området i 2012 verificerede desuden forekomsten af mindst et boblerev i området ud for Gilleleje Havn (Miljøministeriet, Naturstyrelsen, Orbicon & GEUS, 2012), Figur 11-10.

171 Gilleleje Flak og Tragten	1351 Marsvin ( <i>Phocoena phocoena</i> )
	1110 Sandbanker med lavvandet vedvarende dække af havvand
	1170 Rev

Tabel 11-9. Udpegningsgrundlaget for Habitatområde H171 (Naturstyrelsen, 2013).



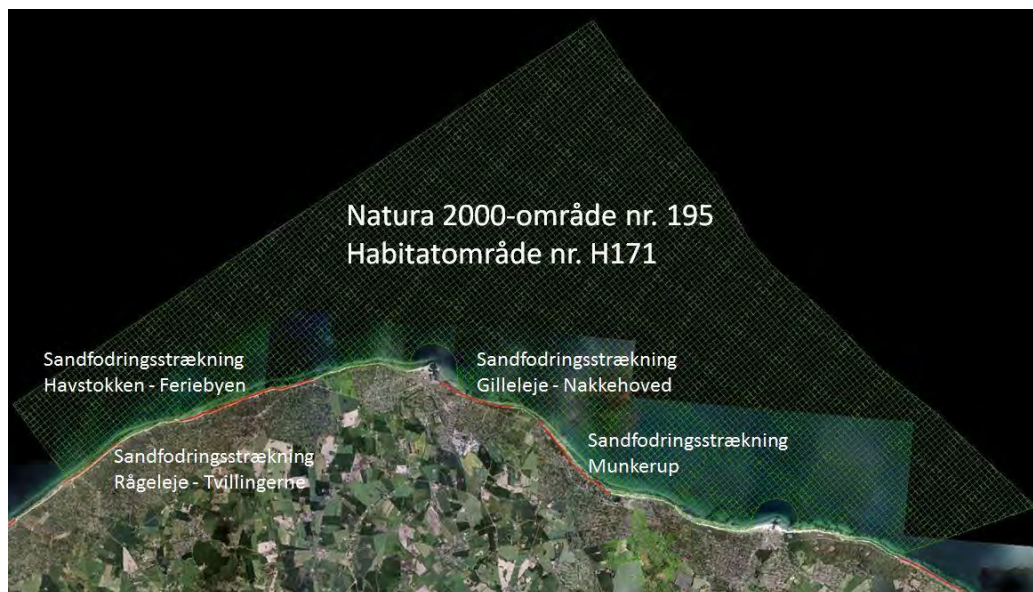
Figur 11-10 Habitatområde H171 med angivelse af habitatnaturtyperne Sandbanker (1110) og Rev (1170) og placering af et verificeret boblerev i området (Miljøministeriet, Naturstyrelsen, Orbicon & GEUS, 2012).



Figur 11-11 Dette skitseprojekt foreslår strandfodring på flere strækninger langs kysten i Habitatområde H171

Selve strandfodringen på strækningerne Rågeleje-Trillingerne, Havstokken-Feriebyen, Gilleleje-Nakkehoved og Munkerup vil være koncentreret på strandplanet foran evt. klit og vegetation og ud i kystprofilen på lavt vand (0-2 m). Dette vil påvirke habitatnaturtypen 1110 sandbanker og nogle steder 1170 Rev, Figur 11-10.

Herudover forventes strandfodring flere steder på Nordkysten at øge sandtransporten generelt langs kysten mod Gilleleje. Modellering har vist, at sandtransporten ved Gilleleje afbøjes ud i Natura 2000-området pga. Gilleleje Havn. Strandfodring i større omfang på kysten kan derfor medføre, at en større mængde sand vil blive ført ud over revene i habitatområdet. Øget sandtransport ud over habitatnaturtypen rev (1170) vil kunne overdække og skade makroalger og dyr på revene afhængigt af omfanget af sandoverdækningen.



Figur 11-11 *Strandfodring på strækningerne Rågeleje-Trillingerne, Havstokken-Feriebyen, Gilleleje-Nakkehoved og Munkerup langs kysten i Natura 2000-område nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten*

## 12 Budgetoverslag

På baggrund af det udarbejdede kysttekniske skitseprojekt er der udarbejdet et overslagsmæssigt budget for hele projektet. Dette budget skal kvalificeres yderligere under detailprojektfasen. Budgettet er angivet i 2016 prisniveau og eksklusiv moms baseret på følgende enhedspriser.

Tabel 12-1 Estimerede enhedspriser for sand og materialer til konstruktioner

Enhedspriser	
Dæksten	700 DKK/m <sup>3</sup>
Filtersten	400 DKK/m <sup>3</sup>
Geotekstil	40 DKK/m <sup>2</sup>
Sand	60 DKK/m <sup>3</sup>

Totalbudget for den foreslåede helhedsplan for kystbeskyttelsen langs Nordkysten omfatter:

- > Entreprisebudget for strandfodring:  
Denne store post i budgettet er vurderet ud fra den estimerede samlede mængde sand og ral til strandfodring på 1,7 mill. m<sup>3</sup> og under antagelse af en enhedspris på 60 kr./m<sup>3</sup> alt inklusiv. Denne pris forudsætter, at de enkelte projektfaser omfatter store fodringsmængder.

Det samme gælder vedligeholdelsesstrandfodringer, som bør foretages hvert 2. eller 3. år for at sikre, at der er tale om relativt store mængder per anstilling.

Tabel 12-2 Overslagspriser på strandfodring for forskellige foreslåede løsningsmuligheder

Strandfodring	DKK/m
5 m <sup>3</sup> /m/år vedligeh.f.	300
60 m <sup>3</sup> /m initialf.	3600
90 m <sup>3</sup> /m initialf.	5400
4 m <sup>3</sup> /m/år vedligeh.f.	240

- > **Entreprisebudget for forbedring af skråningsbeskyttelser:**  
 Det ligger udenfor dette skitseprojekts rammer at foretage en samlet detaljeret registrering og opgørelse over de eksisterende skråningsbeskyttelser på den ca. 60 km lange kyststrækning. Et sådant projekt er meget omfattende og vurderes ikke som nødvendigt på nuværende stadi af projektet; og er ikke nødvendigt for iværksættelse af strandfodringskomponenten af projektet. Der er udregnet en typisk enhedspris per meter forstærket skræntfodssikring på ca. 6000 kr./m. Det er overslagsmæssigt vurderet, at den samlede indsats for opgradering og eventuelt i visse tilfælde ny-anlæg af skræntfodssikringer svarer til ca. 10 km forstærkede konstruktioner, og derfor er totalbudgettet på 60 mill. kr.

Tabel 12-3 Overslagspriser på opgradering af skråningsbeskyttelse for forskellige foreslåede løsningsforslag

Skråningsbeskyttelser		Dæksten		Filtersten		Geotekstil		Sum	Opgradering
		700 DKK/m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /m	DKK/m	400 DKK/m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /m	DKK/m	40 DKK/m <sup>2</sup> m/m	DKK/m	DKK/m	DKK/m
<b>Strand i kote +1,0 m</b>	Eksisterende	5,4	3.780	4,7	1.880	10,2	408	6.100	
	5 m <sup>3</sup> /m/år vedligeh.f.	14,1	9.870	7,7	3.080	16,2	648	13.600	7.500
	60 m <sup>3</sup> /m initialf. og vedligeh.f.	11,8	8.260	6,9	2.760	14,8	592	11.600	5.500
	90 m <sup>3</sup> /m initialf. og vedligeh.f.	10,9	7.630	6,6	2.640	14,2	568	10.800	4.700
<b>Strand i kote +0,0 m</b>	Eksisterende	6,9	4.830	5,2	2.080	11,5	460	7.400	
	5 m <sup>3</sup> /m/år vedligeh.f.	16,0	11.200	8,2	3.280	17,2	688	15.200	7.800
	60 m <sup>3</sup> /m initialf. og vedligeh.f.	14,3	10.010	7,7	3.080	16,2	648	13.700	6.300
	90 m <sup>3</sup> /m initialf. og vedligeh.f.	13,3	9.310	7,6	3.040	15,6	624	13.000	5.600

En vurdering af fordelingen på de enkelte del-strækninger i de tre kommuner vil kræve, at der foretages et nærmere studie af den eksisterende situation. Dette kan være enten det ovennævnte detailstudie eller eventuelt en mere overslagsmæssig gennemgang.

- > **Entreprisebudget for evt. faste konstruktioner til stabilisering af strandfodringen:**  
 På særligt udsatte lokaliteter langs kysten kan der være behov for hårde kystbeskyttelseskonstruktioner til at stabilisere stranden. Erfaringen fra projektet for 13 km kystbeskyttelse på Nordfyn viser, at man i praksis kan vente med at fastlægge, hvor disse lokaliteter er til et par år efter, at man har foretaget initial-strandfodringen. Man må regne med, at disse konstruktioner i nogle tilfælde vil skulle anlægges med 100% nye materialer, mens man i andre tilfælde kan forestille sig, at diverse materialer fra eksisterende mindre konstruktioner genbruges.
- > **Omkostninger:**
  - kommunernes egne projektudviklingsomkostninger, administration og procesomkostninger (ikke medregnet)
  - forundersøgelser og herunder totalpejling af projektstrækningen
  - evt. udgifter til studie af status af skræntfodssikringer
  - evt. udgifter til VVM for indvinding af sand fra bygherreamråder

- Rådgiverhonorar til detailprojekt(er), udbud og tilsyn

Et skøn på disse udgifter er 3 – 4 % af anlægsomkostningerne inklusiv nødvendige forundersøgelser og pejlinger.

> Budgettillæg:

Der er ikke regnet med budgettillæg, da der er mulighed for en vis variation i fodringsmængden, så det vil være muligt at operere med et rimeligt fast budget. Bygherren må vurdere denne post til eventuelle uforudsete udgifter.

Det samlede anlægsoverslag er baseret på 2016 priser og er opgjort eksklusiv moms.

Nordkystens Fremtid							
Kystteknisk Skitseprojekt							
Nr.	Strandfodringsstrækning	Længde (m)	Fodring (m <sup>3</sup> /m)	Samlet fodring (m <sup>3</sup> )	Enhedspris (kr/m <sup>3</sup> )	Samlet budgetpris (mill. kr)	Tid/forløb
<b>Initial Strandfodring</b>							
1	Kikhavn-Liseleje	7500	60	450000	60	27	
2	Tilsvilde-Vincentstien	5600	60	336000	60	20	
3	Rågeleje-Trillingeme	2000	60	120000	60	7	
4	Havstokken-Feriebyen	3600	60	216000	60	13	
5	Gilleleje-Nakkehoved	2000	60	120000	60	7	
6	Munkerup	2700	60	162000	60	10	
7	Ålsgårde	4700	60	282000	60	17	
Sum		28100	60	1686000	60	<b>101</b>	En gang
<b>Rådgivere - Initialstrandfodring</b>						<b>4</b>	En gang
<b>Vedligeholdelsesfodring</b>							
	Strækning ialt: 28,1 km (varierer, i middel 4m <sup>3</sup> /m/år)	28100	4	112400	60	<b>7</b>	Per år løbende
<b>Rådgivere - Vedligeholdelsesfodring</b>						<b>0.3</b>	Per år løbende
<b>Skræntfodssikring</b>							
	Reparation af Skræntfodssikring i alt 10 km med 6000 kr/m	10000			6000	<b>60</b>	I alt over næste ca. 20 år
<b>Bølgebrydere</b>							
	10 bølgebrydere; 10 stk af 1 mill kr					<b>10</b>	I alt over næste ca. 20 år

Skråningsbeskyttelserne er som udgangspunkt private anlæg og kan derfor med fordel vedligeholdes og udbygges i privat regi efter grundejernes ønsker.

Strandfodring er et tiltag, som strækker sig over lange strækninger og sand og ral vandrer langs kysten. Strandfodring bør derfor foretages over længere strækninger i fælles regi.

Budgetoverslag for en foreslået pilotstrækning i Gribskov Kommune:

- > Omkostningerne for strandfodring på den 5,6 km lange strækning mellem Tisvildeleje og Vincentstien er opgjort til ca. 20 mill. kr.
- > For vedligehold af strandfodringen er regnet med 5 m<sup>3</sup>/m/år svarende til 28000 m<sup>3</sup>/år. Med en enhedspris på 60 kr/m<sup>3</sup> giver det en estimeret pris på ca. 1,7 mill. kr/år.

Dertil kan komme opgradering af skråningsbeskyttelser og muligheden for udbygning med enkelte store konstruktioner (bølgebrydere / rev). Det bør aftales om disse projektelementer også skal inkluderes tidligt i pilotprojektet i Gribskov Kommune.



## 13 Referencer

CIRIA/CUR (2007)

*The Rock Manual - The use of rock in hydraulic engineering*

COWI (2009)

*Sandfodring på Nordkysten - Skitseprojekt, for Gribskov Kommune*

COWI (2012)

*Optimering af kystbeskyttelse ved Hyllingebjerg og Liseleje - Helhedsplan og opmåling, for Hyllingeberg-Liseleje Kystbeskyttelseslaug*

COWI (2015)

*Sandfanger vest for Gilleleje Havn - Konceptstudie, for Gribskov kommune*

Danmarks Fiskeriundersøgelser (2007)

*Kystfodring og kystøkologi, Evaluering af revlefodring ud for Fjaltring, DFU-rapport 171-07*

Danmarks Klimacenter (2014)

*Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Rapport nr. 6 2014*

Dean, R. (2003)

*Beach Nourishment: Theory and Practice*

DHI (2012)

*Bølgeklima for 40 lokaliteter i danske farvande med vurdering af klimaeffekter for udvalgte lokaliteter, for Kystdirektoratet*

DHI (2013)

*Erosionsatlas - Metodeudvikling og Pilotprojekt for Sjællands Nordkyst, for Kystdirektoratet*

DHI and Hasløv & Kjærsgaard (2013)

*Genanvendelse af Havnesand fra Gilleleje og Hornbæk havne*

DHI and Hasløv & Kjærsgaard (2015)

*Kystdynamik og Kystbeskyttelse, for Kystdirektoratet*

- DOF-databasen (2016)  
*<http://dofbasen.dk/IBA/lokalitet.php?lokid=126>*
- Essink (1999)  
*Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management*
- Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring af Nordkysten (1984)  
*Nordkysten - Basisrapport*
- Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring, p. N. (1978)  
*Nordkysten - Kystpleje og kystsikring: Basisrapport - Tegninger*
- Fiskeøkologisk Laboratorium (2000)  
*Fiskeundersøgelser i Fjorde og kystnære, marine områder. Udredning*
- Geodatastyrelsen (2016)  
*<http://www.danskehavnelods.dk/>*
- Goda, Y. (1985)  
*Random Seas and Design of Maritime Structures*
- Hasløv & Kjærsgaard (2015)  
*Nordkystens Fremtid - Skitseprojekt*
- Hebsgaard, M., Sloth, P. and Juhl, J. (1998)  
*Wave Overtopping of Rubble Mound Breakwater, Proc. of the International Conference on Coastal Engineering (ICCE '98)*
- Helledie, C. (2011)  
*Beach Nourishment at the Inner Danish Waters, Coastal Management 2011, ICE*
- Horten Advokatpartnerselskab (2016)  
*Kystsikring på Nordkysten - Bidragsfordeling og risikovurdering*
- Hygum, B. (1993)  
*Miljøpåvirkninger ved ral- og sandsugning. Et litteraturstudie om de biologiske effekter af råstofindvinding i havet*
- Jensen, O. J. (1984)  
*A Monograph on Rubble Mound Breakwaters, DHI*
- Kabuth, A.K., Kroon, A., Pedersen, J.T. (2014)  
*Multidecadal shoreline changes in Denmark; Journal of Coastal Research*
- Knudsen, P., Abbas Khan, S., Engsager, K. S. and Sorensen, C. (2016)  
*An uplift model for Denmark - and work ahead*
- Komar, P. D. (1998)  
*Beach processes and sedimentation, Prentice Hall*

- Kystdirektoratet (2011)  
*Kystbeskyttelsesstrategi - En strategisk indsats for smukkere kyster*
- .
- Kystdirektoratet (2013)  
*Højvandsstatistikker 2012*
- .
- Kystdirektoratet (2016)  
*Kystdirektoratets administrationspraksis ved tildækket skråningsbeskyttelse*
- .
- Mangor, K., DHI Water & Environment (2004)  
*Shoreline Management Guidelines*
- .
- Miljø- og Fødevareministeriet (2016)  
*Natura 2000-plan 2016-2021, Havet og kysten mellem Hundested og Rørvig, Natura 2000-område nr. 153, Høbitatområde H134, Fuglebeskyttelsesområde F102*
- .
- Miljøministeriet, Naturstyrelsen, Orbicon & GEUS (2012)  
*Marin kortlægning, Kortlægning af sandbanker og rev i 30 kystnære, marine Natura 2000-områder*
- .
- Miljøministeriet, Naturstyrelsen (2013)  
*Natura 2000-basisanalyse 2016-2021, Havet og kysten mellem hundested og Rørvig, Natura 2000-område nr. 153, Habitatområde H134, Fuglebeskyttelsesområde F102*
- .
- Miljøministeriet (2005)  
*Forvaltningsplan for spættet sæl (*Phoca vitulina*) og gråsæl (*Halichoerus grypus*) i Danmark*
- .
- Miljøministeriet (2011)  
*Natura 2000-plan 2010-2015. Hesselø med omliggende stenrev. Natura 2000-område nr. 128. Habitatområde H112*
- .
- Mills & Fonseca (2003)  
*Mortality and productivity of eelgrass *Zostera marina* under conditions of experimental burial with two sediment types*
- .
- Naturstyrelsen (2011)  
*Resume af Natura 2000 plan 2010-2015. Hesselø med omkringliggende stenrev. Natura 2000-område nr. 128, Habitatområde 112*
- .
- Naturstyrelsen (2013)  
*Oversigt over Habitatområdernes udpegningsgrundlag 31/12 2012*
- .
- Naturstyrelsen (2013)  
*Oversigt over Habitatområdernes udpegningsgrundlag 31/12 2012*
- .
- Naturstyrelsen (2014)  
*Sælunger på nordkysten*
- .

Naturstyrelsen (2016)

<http://naturstyrelsen.dk>

Nicolaisen, W. and Kanneworf, E. (1969)

*On the burrowing and feeding habits of the amphipods Bathyporeia pilosa lindström and Bathyporeia sarsi watkin*

Nicolaisen, W. and Kanneworf, E. (1983)

*Annual variations in vertical distribution and density of Bathyporeia sarsi watkin at Julebæk (North Sealand, Denmark), Ophelia nr. 22*

NI RAS (2016)

*Høfvandsstatistik for Isefjord og Roskilde Fjord*

Olesen et al (2011)

*Øresunds unikke dyreliv er truet, Aktuel Naturvidenskab 2*

Pihl og Christensen (2014)

*Pihl S, Christensen TK. Oversigt over danske fugles yngle- og forårstræktider, Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi*

Sand Jensen (red) (2006)

*Naturen i Danmark, Havet, Gyldendahl*

Silvester, R. (1999)

*Coastal stabilisation, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*

Støttrup et al. (2007)

*Kystfodring og kystøkologi, Evaluering af revlefodring ud for Fjaltring. Danmarks Fiskeriundersøgelser, DFU-rapport 171-07*

Teilmann et al (2008)

*High density areas for harbour porpoises in Danish waters. National Environmental Research Institute, University of Aarhus, NERI Technical Report No. 657*

Vejdirektoratet (2010)

*Ny fjordforbindelse ved Frederikssund, VVM-redegørelse. Miljøvurdering del 3. Rapport 353\_Miljø\_del 3*

Warner et al. (2012)

*Fiskebestandenes struktur, Fagligt baggrundsnotat til den danske implementering af EU's havstrategidirektiv*

Worsøe et al (2003)

*Gydning og gydeområder*

## Bilag A

### Lov om kystbeskyttelse

LBK nr 15 af 08/01/2016 (Gældende) Udskriftsdato: 30. maj 2016  
Ministerium: Miljø- og Fødevareministeriet  
Journalnummer: Miljø- og Fødevareministeriet,  
Kystdirektoratet, j.nr. 15/01261  
Senere ændringer til forskriften  
Ingen

#### Bekendtgørelse af lov om kystbeskyttelse

Herved bekendtgøres lov om kystbeskyttelse, jf. lovbekendtgørelse nr. 267 af 11. marts 2009, med de ændringer, der følger af § 159 i lov nr. 1520 af 27. december 2014 og § 2 i lov nr. 178 af 24. februar 2015.

Den bekendtgjorte lovtekst vedrørende § 18 og § 18 a træder i kraft på det tidspunkt, miljø- og fødevareministeren fastsætter, jf. § 4, stk. 2, i lov nr. 178 af 24. februar 2015 ændring af lov om råstoffer, lov om kystbeskyttelse og lov om havstrategi (Ændringer af auktionsordningen og andre regler om indvinding af råstoffer på havet som følge af regeringens konkurrencepolitiske udspil og evaluering af råstofloven, ændringer som følge af overførelse af kystbeskyttelsesloven til Miljøministeriet og præcisering af gennemførelse af havstrategirammedirektivet m.v.).

#### Kapitel 1

##### Formål

§ 1. Formålet med kystbeskyttelse er at beskytte mennesker mod oversvømmelser samt ejendom mod oversvømmelser og nedbrydning fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. Dette formål varetages ved en afvejning af følgende hensyn:

- 1) Behovet for kystbeskyttelse,
- 2) økonomiske hensyn,
- 3) kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske og miljømæssige kvalitet,
- 4) kystlandskabets bevarelse og genopretning,
- 5) naturens frie udfoldelse,
- 6) rekreativ udnyttelse af kysten,
- 7) sikring af den eksisterende adgang til kysten og
- 8) andre forhold af væsentlig betydning for kystbeskyttelse.

Stk. 2. Miljø- og fødevareministeren fastsætter regler eller træffer bestemmelser med henblik på at gennemføre eller anvende internationale konventioner og EU-regler om forhold, der er omfattet af denne lov, herunder forordninger, direktiver og beslutninger om naturbeskyttelse på kyster og søterritoriet. Miljø- og fødevareministeren fastsætter desuden regler om meddelelse af påbud og forbud og om oplysningspligter, hvis sådanne regler er nødvendige for at gennemføre eller anvende internationale konventioner og EUregler om forhold, der er omfattet af denne lov.

## Kapitel 1 a

Kommuners kompetence i forbindelse med kystbeskyttelsesforanstaltninger

§ 1 a. Kommunalbestyrelsen kan bestemme, at der ved en kyst skal udføres anlæg eller træffes andre foranstaltninger til beskyttelse af flere ejendomme mod oversvømmelse eller den nedbrydende virkning fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet (kystbeskyttelsesforanstaltninger).

Stk. 2. En anmodning om etablering af kystbeskyttelse efter stk. 1 indgives skriftligt til kommunalbestyrelsen med en begrundelse for projektet og med en oversigt over de ejendomme, der foreslås inddraget i beskyttelsen.

Stk. 3. Kommunalbestyrelsen kan selv iværksætte eller pålægge ansøgeren eller et lag, jf. § 7, at iværksætte forundersøgelser og skitseprojektering af kystbeskyttelsesforanstaltningerne.

§ 2. Kommunalbestyrelsen indhenter en udtalelse fra Kystdirektoratet om de foreslåede kystbeskyttelsesforanstaltninger samt en udtalelse fra de grundejere, der kan blive pålagt bidragspligt i henhold til § 3, stk. 5.

Stk. 2. Bestemmer kommunalbestyrelsen på dette grundlag, at sagen ikke skal fremmes, sendes skriftlig og begrundet meddelelse herom til ansøgeren, jf. § 1 a, stk. 2, og til de hørte grundejere.

§ 3. Hvis kommunalbestyrelsen beslutter at fremme sagen, skal den afholde et møde med de grundejere, der kan blive pålagt bidragspligt i henhold til stk. 5.

Stk. 2. Kystdirektoratet kan efter kommunalbestyrelsens anmodning bistå som sagkyndig under sagens videre behandling.

Stk. 3. Grundejerne og eventuelt en anden kommune, jf. stk. 6, indkaldes skriftligt til mødet med mindst 4 ugers varsel. Indkaldelse til mødet sker tillige ved meddelelse i et eller flere stedlige blade samt til de i området registrerede grundejerforeninger med samme varsel.

Stk. 4. Indkaldelsen til mødet skal indeholde en redegørelse for planerne om kystbeskyttelse, herunder et overslag over udgifterne og forslag til disses fordeling.

Stk. 5. Bidrag kan pålægges grundejere, der opnår beskyttelse ved foranstaltningen, eller som i øvrigt opnår en fordel derved. Det enkelte bidrags størrelse fastsættes af kommunalbestyrelsen.

Stk. 6. Hvis en kommune bidrager med et beløb ud over, hvad der måtte være pålagt kommunen i henhold til stk. 5, kan miljø- og fødevareministeren efter indstilling fra kommunen pålægge en anden kommune, der er berørt af kystbeskyttelsesforanstaltningen, at bidrage med indtil samme beløb. Bestemmelsen i 1. pkt. finder anvendelse på både anlægsudgifter, driftsudgifter og andre udgifter.

§ 4. På mødet skal kommunalbestyrelsen nærmere redegøre for, hvilke foranstaltninger der påregnes gennemført, herunder de med projektet forbundne anlægs- og driftsudgifter, forslag til bidragsfordeling og sagens gennemførelse.

§ 5. Hvis kommunalbestyrelsen efter det i § 3 nævnte møde beslutter, at sagen ikke skal fremmes, skal begrundet meddelelse herom sendes til de grundejere, der var indkaldt til mødet, og meddelelsen skal tillige offentliggøres i de blade, hvori indkaldelsen blev annonceret.

Stk. 2. Hvis kommunalbestyrelsen beslutter at fremme sagen, underrettes de grundejere, der var indkaldt til mødet, skriftligt herom. Underretningen skal indeholde en redegørelse for kommunalbestyrelsens bestemmelse om, hvilke foranstaltninger der skal gennemføres, herunder at kystbeskyttelsesforanstaltningen ikke kan gennemføres uden tilladelse fra miljø- og fødevareministeren efter lovens § 16 eller § 16 a. Redegørelsen skal endvidere indeholde oplysning om,

hvordan og af hvem kystbeskyttelsesforanstaltningerne skal udføres, samt hvorledes udgifterne skal afholdes, herunder udgifterne til:

- 1) Sagens forberedelse, forundersøgelser, projektering, udførelse og tilsyn.
- 2) Drift, vedligeholdelse og andre løbende foranstaltninger.
- 3) Ekspropriation.
- 4) Finansiering.

Stk. 3. Kommunalbestyrelsen kan gennemføre mindre ændringer i forhold til det forelagte projekt uden afholdelse af nyt møde, hvis grundejere, der berøres af ændringerne, har haft mulighed for at udtale sig.

§ 6. Kommunalbestyrelsen kan træffe beslutning om ekspropriation til gennemførelse af kystbeskyttelsesforanstaltninger.

Stk. 2. Kommunalbestyrelsen kan beslutte at ekspropriere arealer med en offentlig myndighed eller et lag som fremtidig ejer, hvis det af hensyn til kystens pleje eller kystbeskyttelsen må anses for at være af væsentlig betydning, at myndigheden eller laget, jf. § 7, stk. 1, har ejendomsret til strandbredden, for landet foran et dige eller en kyststrækning, hvor der ikke findes sammenhængende grønsvær eller anden sammenhængende landvegetation.

Stk. 3. Ved ekspropriation i henhold til stk. 1 og 2 finder §§ 98-122 i lov om offentlige veje tilsvarende anvendelse, idet kommunalbestyrelsen træder i stedet for vejbestyrelsen.

§ 7. Kommunalbestyrelsen kan beslutte, at der under kommunalbestyrelsens tilsyn oprettes et digelag, kystbeskyttelseslag eller kystbeskyttelseslag, som de bidragydende ejere skal være medlem af.

Stk. 2. Kommunalbestyrelsen udfærdiger en vedtægt for laget. Den skal indeholde regler for lagets styrelse og udførelsen af lagets opgaver, herunder vedligeholdelse af udførte anlæg og udførelse af løbende foranstaltninger.

Stk. 3. Forslag til vedtægt sendes til lagets medlemmer. Beslutning om vedtægtens endelige indhold kan tidligst træffes 4 uger efter, at forslaget er afsendt.

§ 8. Kommunalbestyrelsen lader for lagets regning vedtægten tinglyse på de ejendomme, der hører til laget.

Stk. 2. Hvis en ejendom under laget udstykkes eller i øvrigt afgiver areal, fordele kommunalbestyrelsen efter anmodning det bidrag, der påhviler ejendommen. Det påhviler ejerne at sørge for berigtigelse af tingbogen.

§ 9. Kommunalbestyrelsen bestemmer, hvorledes midlerne til kystbeskyttelsesforanstaltningerne skal tilvejebringes, herunder, om der skal optages lån, om lån skal garanteres af kommunen, og om kommunen midlertidigt skal afholde udgiften.

§ 10. Miljø- og fødevareministeren kan bestemme, at en sag, der har betydning for en kyststrækning i flere kommuner, henvises til behandling i kommunalbestyrelsen.

## Kapitel 2

### Kystbeskyttelsens opretholdelse

§ 11. Kapitel 1 a finder tilsvarende anvendelse på ændring og nedlæggelse eller ophør af allerede bestående eller besluttede kystbeskyttelsesforanstaltninger.

Stk. 2. Kommunalbestyrelsen kan ændre en udgiftsfordeling, herunder en udgiftsfordeling, der er fastlagt inden lovens ikrafttræden. §§ 2-5 finder tilsvarende anvendelse.

§ 12. Et lag eller et medlem af et lag kan forelægge kommunalbestyrelsen spørgsmål om fortolkning af lagets vedtægt eller spørgsmål om den måde, hvorpå laget forvaltes.

Stk. 2. Kommunalbestyrelsen kan pålægge et lags bestyrelse at sørge for, at bestemte foranstaltninger, som det påhviler laget at lade udføre, bringes til udførelse. Hvis pålægget ikke efterkommes, kan kommunalbestyrelsen lade foranstaltningerne udføre for lagets regning.

§ 13. Hvert år inden den 1. oktober fastsætter kommunalbestyrelsen, hvilke bidrag de enkelte bidragspligtige ejendomme skal udrede til kommunalbestyrelsen eller laget. Kommunalbestyrelsen indkræver bidragene.

Bidragene tillægges udpantningsret. For bidragene haves pante- og fortrinsret i ejendommen som for kommunale ejendomsskatter.

Stk. 2. De pålignede beløb indbetales til kommunen efter de for kommunal grundskyld og dækningsafgift gældende regler, jf. lov om beskatning til kommunerne af faste ejendomme.

§ 14. Ejere af omliggende arealer skal tåle, at arealerne benyttes i nødvendigt omfang i forbindelse med forundersøgelser, tilsyn, vedligeholdelsesarbejder og andre foranstaltninger i forbindelse med kystbeskyttelse. Personer, der benytter arealer i forbindelse med disse opgaver, skal efter anmodning vise legitimation og redegøre for formålet med tilstedeværelsen.

Stk. 2. Stk. 1 gælder ligeledes forundersøgelser og tilsyn vedrørende de i § 16 a nævnte anlæg, indretninger m.v.

Stk. 3. Forvoldes der under benyttelsen efter stk. 1 eller 2 skade på en ejendom, skal der ydes erstatning herfor. I mangel af forlig fastsættes erstatningen af taksationsmyndighederne efter lov om offentlige veje.

§ 15. Retten til at optage husdyr, jf. lov om mark- og vejfred, kan på diger og kyststrækninger, på hvilke der i henhold til denne lov eller tidligere love er truffet beslutning om kystbeskyttelsesforanstaltninger, også udøves af medlemmer af et lags bestyrelse eller af kommunalbestyrelsen.

### Kapitel 3

#### Reguleringsbestemmelser

§ 16. På strandbredder og andre kyststrækninger, hvor der ikke findes sammenhængende grønsvær eller anden sammenhængende landvegetation, samt på arealer, der ligger inden for en afstand af 100 m fra, hvor denne vegetation begynder, må der kun efter tilladelse fra miljø- og fødevareministeren

- 1) udføres kystbeskyttelsesforanstaltninger og andre faste anlæg, som også etableres på søterritoriet, eller
- 2) graves, bores, pumpes, suges eller foretages nogen form for terrænændring.

Stk. 2. Bestemmelsen i stk. 1 omfatter ikke havnearealer og foranstaltninger

- 1) i henhold til lov om råstoffer eller
- 2) til dæmpning af sandflugt.

Stk. 3. Der kan i forbindelse med meddelelse af tilladelse efter stk. 1 stilles vilkår, herunder om sikkerhedsstillelse for udgifter til fjernelse af de nævnte anlæg, vedligeholdelse og godkendelse af overdragelse m.v.

§ 16 a. På søterritoriet må der kun efter tilladelse fra miljø- og fødevareministeren

- 1) foretages inddæmning eller opfyldning,
- 2) udføres anlæg eller anbringes faste eller forankrede indretninger eller genstande,
- 3) anbringes fartøjer, der agtes anvendt til andet end sejlads, eller
- 4) foretages uddybning eller gravning.

Stk. 2. Stk. 1 gælder ikke for anlæg m.v. på søterritoriet, der er etableret efter anden lovgivning.



Stk. 3. Der kan i forbindelse med meddelelse af tilladelse efter stk. 1 stilles vilkår, herunder om sikkerhedsstillelse for udgifter til fjernelse af de nævnte anlæg, vedligeholdelse og godkendelse af overdragelse m.v.

§ 16 b. På søterritoriet og på strandbredder og andre kyststrækninger, hvor der ikke findes sammenhængende landvegetation, kan der efter tilladelse fra miljø- og fødevareministeren foretages

- 1) videreførelse ved bypass nedstrøms på kysten af sediment, som er ophobet som følge af et fast anlæg, en sejlrende, et havnebassin el.lign., eller
- 2) nyttiggørelse af oprensings- og uddybningsmaterialer, jf. § 20 c i lov om råstoffer, i form af kystbeskyttelse i henhold til en tilladelse efter § 16, stk. 1, nr. 1, eller etablering af anlæg eller opfyldning i henhold til en tilladelse efter § 16 a, stk. 1, nr. 1 eller 2.

Stk. 2. Miljø- og fødevareministeren kan stille vilkår for tilladelser udstedt i medfør af stk. 1.

Stk. 3. Tilladelse efter stk. 1, nr. 2, til nyttiggørelse kan afslås, hvis det vurderes, at de pågældende sedimenter bør videreføres som omhandlet i stk. 1, nr. 1.

Ansøgning om tilladelse til nyttiggørelse i henhold til stk. 1, nr. 2, kan i så fald anses som ansøgning om tilladelse til videreførelse i henhold til stk. 1, nr. 1.

Stk. 4. Ansøgning om tilladelse til dumpning i henhold til § 26 i lov om beskyttelse af havmiljøet eller om nyttiggørelse i henhold til § 20 b i lov om råstoffer kan, hvis det vurderes, at de pågældende sedimenter bør videreføres som omhandlet i stk. 1, nr. 1, anses som ansøgning herom. Ansøgning om tilladelse til dumpning i henhold til § 26 i lov om beskyttelse af havmiljøet kan, hvis 1. pkt. ikke finder anvendelse og materialet er egnet til nyttiggørelse, anses som ansøgning om tilladelse til nyttiggørelse i henhold til stk. 1, nr. 2.

Stk. 5. Miljø- og fødevareministeren fastsætter nærmere regler om krav til ansøgning om tilladelse efter

stk. 1, herunder om, hvilke oplysninger ansøgeren skal tilvejebringe, og om, at ansøgning skal gives digitalt, herunder om anvendelse af bestemte it-systemer, særlige digitale formater, skemaer og digital signatur.

Ministerens fastsætter nærmere regler om behandling af ansøgninger og meddelelse af tilladelse efter

stk. 1, herunder om høring af offentligheden, herunder at offentlig høring kan ske udelukkende digitalt, om inddragelse af andre myndigheder og om behandlingen af sagerne i øvrigt.

Stk. 6. Miljø- og fødevareministeren kan fastsætte regler om, at den, der foretager videreførelse eller nyttiggørelse, skal give oplysninger herom, bl.a. om beliggenhed, art og mængde af de sedimenter, der videreføres eller nyttiggøres, om anvendelsen heraf og om, at oplysningerne skal gives digitalt, herunder om anvendelse af bestemte it-systemer, særlige digitale formater, skemaer og digital signatur.

§ 16 c. Ansøgninger om tilladelser og afgørelser efter § 16, stk. 1, og §§ 16 a og 16 b skal skriftligt meddeles ejere af naboejendomme. Ansøgningerne og afgørelserne skal offentliggøres på Kystdirektoratets hjemmeside, hvis de er af væsentlig betydning eller har almindelig offentlig interesse. Offentliggørelsen skal ske, samtidig med at ansøgningen sendes i høring og tilladelsen meddeles ansøgeren.

Stk. 2. Vilkår for tilladelse efter § 16, stk. 1, og § 16 a kan tinglyses på ejendommen for ejerens regning.

§ 17. Miljø- og fødevareministeren kan i kystbeskyttelsesøjemed udfærdige regler om begrænsning i færdsel på og brug af forstranden, strandbredder og kystbeskyttelsesanlæg.

Stk. 2. Kommunalbestyrelsen kan for den enkelte kyststrækning eller for det enkelte anlæg til kystbeskyttelse fastsætte nærmere bestemmelser om færdsel og brug. Hvis bestemmelserne indebærer ekspropriation, finder § 6, stk. 3, tilsvarende anvendelse.

Stk. 3. Bestemmelser udfærdiget i henhold til stk. 2 bekendtgøres i et eller flere stedlige blade samt ved opslag på stedet.

Stk. 4. I forbindelse med Søfartsstyrelsens godkendelse af sejlads med hurtigfærger kan miljø- og fødevareministeren af hensyn til beskyttelsen af kyster samt sikkerheden for diger og anlæg på søterritoriet fastsætte nærmere vilkår for sejladsen med hensyn til fart, maksimal bølgepåvirkning, ruteforløb m.v. Vilkårene kan ændres, hvis der, efter at sejladsen er påbegyndt, viser sig uforudsete skader på kysten.

#### Kapitel 4

##### Klage

§ 18. Kommunalbestyrelsens afgørelser efter loven kan påklages til Natur- og Miljøklagenævnet som sammensat efter § 5, stk. 1, nr. 2, i lov om Natur- og Miljøklagenævnet. Kommunalbestyrelsens afgørelser efter § 2, stk. 2, kan dog kun påklages, for så vidt angår retlige spørgsmål.

Stk. 2. Afgørelser efter §§ 16, 16 a og 16 b, der er truffet af miljø- og fødevareministeren eller efter bemyndigelse fra miljø- og fødevareministeren, jf. § 19, stk. 1, kan påklages til Natur- og Miljøklagenævnet som sammensat efter § 5, stk. 1, nr. 2, i lov om Natur- og Miljøklagenævnet, for så vidt angår retlige forhold.

Stk. 3. Miljø- og fødevareministeren kan fastsætte regler om klage over afgørelser truffet af kommunalbestyrelsen eller miljø- og fødevareministeren efter regler udstedt i medfør af loven. Miljø- og fødevareministeren kan herunder bestemme, at sådanne afgørelser kan påklages til Natur- og Miljøklagenævnet, eller at sådanne afgørelser ikke kan påklages til anden administrativ myndighed. § 18 a. Kommunalbestyrelsens afgørelser efter loven kan påklages af den, afgørelsen er rettet til, og af enhver, der har en væsentlig individuel interesse i sagen, samt af Danmarks Naturfredningsforening, Friluftsrådet, Grundejernes Landsorganisation og Fritidshusejernes Landsforening.

Stk. 2. Miljø- og fødevareministerens afgørelser efter lovens §§ 16, 16 a og 16 b kan påklages af afgørelsens adressat og enhver, der har en væsentlig individuel interesse i sagen, samt af landsdækkende foreninger og organisationer, der som hovedformål har beskyttelse af natur og miljø eller varetagelse af væsentlige brugerinteresser inden for arealanvendelsen, på betingelse af

1) at foreningen eller organisationen har vedtægter eller love, som dokumenterer dens formål, og

2) at foreningen eller organisationen kan dokumentere, at den repræsenterer mindst 100 medlemmer.

Stk. 3. Fristen for at klage efter stk. 1 og 2 er 4 uger fra den dag, hvor afgørelsen er meddelt den pågældende eller offentliggjort.

Stk. 4. Klage til Natur- og Miljøklagenævnet indgives skriftligt til den myndighed, der har truffet afgørelsen, ved anvendelse af digital selvbetjening, jf. dog § 18 b, stk. 2-4, i lov om Natur- og Miljøklagenævnet.

Endvidere skal efterfølgende kommunikation om klagesagen ske ved anvendelse af digital selvbetjening.

En klage anses for indgivet, når den er tilgængelig for myndigheden. Myndigheden skal, hvis den vil fastholde afgørelsen, snarest og som udgangspunkt ikke senere end 3 uger efter klagefristens udløb videresende klagen til Natur- og Miljøklagenævnet. Klagen skal ved videresendelsen være ledsaget af den påklagede afgørelse, de dokumenter, der er indgået i sagens bedømmelse, og en udtalelse fra myndigheden med myndighedens bemærkninger til sagen og de anførte klagepunkter.

Stk. 5. Videresender myndigheden klagen til Natur- og Miljøklagenævnet, sender den samtidig en kopi af sin udtalelse til de i klagesagen involverede med en frist for at afgive bemærkninger til Natur- og Miljøklagenævnet på 3 uger fra modtagelsen.

Stk. 6. Myndigheden skal straks underrette Natur- og Miljøklagenævnet, hvis den, efter at klagen er videresendt til nævnet, inddrages i forhandlinger med adressaten for afgørelsen og klageren om tilpasninger af det ansøgte projekt, der er af betydning for klagen. Natur- og Miljøklagenævnet kan sætte behandlingen af sagen i bero, indtil forhandlingerne er afsluttet. Myndigheden underretter nævnet om resultatet af forhandlingerne, når de er afsluttet.

Stk. 7. Myndighedens videresendelse af klage til og efterfølgende kommunikation om klagesagen med Natur- og Miljøklagenævnet skal ske ved anvendelse af digital selvbetjening. Det samme gælder sager, hvor klage ikke er indgivet ved anvendelse af digital selvbetjening, men hvor Natur- og Miljøklagenævnet har truffet afgørelse om, at klagen ikke afvises.

Stk. 8. Indgives en klage ikke ved anvendelse af digital selvbetjening, skal myndigheden snarest videresende klagen til Natur- og Miljøklagenævnet. I sådanne tilfælde finder stk. 4, 4. og 5. pkt., og stk. 5 ikke anvendelse.

Stk. 9. Rettidig klage har opsættende virkning. Dog kan den myndighed, der har truffet afgørelsen, bestemme, at uopsættelige reparations- og afværgeforanstaltninger skal iværksættes uanset rettidig klage.

Stk. 10. En afgørelse i henhold til § 6 kan ikke indbringes for domstolene, før afgørelsen har været prøvet i henhold til § 18, stk. 1.

Stk. 11. Miljø- og fødevareministeren kan fastsætte regler om, at andre lignende interesseorganisationer end de i stk. 1 anførte tillige kan påklage afgørelser efter stk. 1.

§ 19. Overlader miljø- og fødevareministeren sine beføjelser til at træffe afgørelser efter loven eller efter bestemmelser fastsat efter loven til en institution under ministeriet, kan ministeren fastsætte regler om adgangen til at klage over afgørelserne, herunder om, at afgørelserne ikke kan indbringes for højere administrativ myndighed. Ministeren kan ligeledes fastsætte bestemmelser om interesseorganisationers adgang til at klage over afgørelser efter loven eller efter bestemmelser fastsat efter loven, som er truffet af en institution under ministeriet.

Stk. 2. Miljø- og fødevareministeren kan bemyndige kommunalbestyrelser til at udøve ministerens beføjelser efter § 16 a.

## Kapitel 5

Påbud, straf, ikrafttræden m.v.

§ 19 a. Miljø- og fødevareministeren kan meddele påbud om

1) at fjerne en kystbeskyttelsesforanstaltning og andre faste anlæg, som også er etableret på søterritoriet, og som vedkommende har udført i strid med § 16, stk. 1, nr. 1, eller

2) at retablere forholdene efter en gravning, boring, pumpning, sugning eller terrænændring, som vedkommende har udført i strid med bestemmelsen i § 16, stk. 1, nr. 2.

§ 19 b. Miljø- og fødevareministeren kan meddele påbud om

1) at fjerne en inddæmning, en opfyldning, et anlæg, en indretning, en genstand eller et fartøj, som vedkommende har foretaget, udført eller anbragt i strid med § 16 a, eller

2) at retablere forholdene efter en uddybning eller gravning, som vedkommende har foretaget i strid med

§ 16 a.

§ 19 c. Miljø- og fødevareministeren kan, hvis det ikke er muligt at meddele nogen et påbud i medfør af

§ 19 a eller § 19 b, meddele den til enhver tid værende ejer af en fast ejendom påbud om at berigtige ulovligt etablerede kystbeskyttelsesforanstaltninger, anlæg, indretninger m.v., som nævnt i § 16, stk. 1, og

§ 16 a.

Stk. 2. Myndigheden kan lade et påbud tinglyse på ejendommen. Når forholdet er berigtiget, skal myndigheden lade påbuddet aflyse fra tingbogen. Udgifter til tinglysning afholdes for ejerens regning.

§ 19 d. Når der ved dom i medfør af retsplejelovens § 997, stk. 3, er meddelt påbud om at efterkomme et i medfør af §§ 19 a-c meddelt påbud, og påbuddet i dommen ikke efterkommes rettidigt, og inddrivelse af tvangsbøder ikke kan antages at føre til, at påbuddet efterkommes, kan miljø- og fødevareministeren foretage det nødvendige til forholdets berigtigelse for den forpligtedes regning. Stk. 2. Der er udpantningsret for udgifter, som myndighederne afholder efter stk. 1, § 16 c, § 19 c, stk.

2, og § 19 e.

Stk. 3. Betales de i stk. 2 nævnte udgifter ikke rettidigt, kan der tillægges renter i overensstemmelse med renteloven.

§ 19 e. Miljø- og fødevareministeren eller en kommunalbestyrelse kan meddele ejeren af et vrag påbud om fjerne det, hvis vraget skønnes at kunne frembyde fare for kysten eller for et kystbeskyttelsesanlæg.

Efterkommes påbuddet ikke, kan ministeren eller kommunalbestyrelsen lade vraget fjerne for ejerens regning, hvis det er nødvendigt for at afværge en nærliggende fare. Er øjeblikkelig indgriben påkrævet, kan ministeren eller kommunalbestyrelsen lade vraget fjerne for ejerens regning uden forudgående påbud til ejeren.

Stk. 2. Bestemmelsen i stk. 1 finder tilsvarende anvendelse på andre genstande, der er anbragt på søterritoriet eller strandbredden uden tilladelse fra Kystdirektoratet.

§ 20. Med bøde straffes den, der

1) overtræder § 16, stk. 1,

2) overtræder § 16 a,

3) overtræder § 16 b, stk. 1,

4) tilsidesætter vilkår i en tilladelse efter § 16, stk. 1, § 16 a og § 16 b, stk. 2, eller vilkår fastsat efter §

17, stk. 4, eller

5) undlader at efterkomme påbud efter §§ 19 a-c og 19 e.

Stk. 2. I forskrifter, der udstedes i henhold til loven, kan der fastsættes straf af bøde for overtrædelse af bestemmelser i forskrifterne.

Stk. 3. Der kan pålægges selskaber m.v. (juridiske personer) strafansvar efter reglerne i straffelovens 5. kapitel.

§ 21. Følgende love og bestemmelser ophæves:

- 1) Lov nr. 53 af 10. april 1874 om diger til beskyttelse mod oversvømmelse fra havet.
- 2) § 8 i lov nr. 85 af 30. april 1909 om tillæg til strandingsloven af 10. april 1895.
- 3) Lov nr. 235 af 12. juni 1922 om kystbeskyttelses anlæg.
- 4) § 7, stk. 4, i lov om råstoffer, jf. lovbekendtgørelse nr. 617 af 24. september 1987.

§ 22. Miljø- og fødevareministeren kan bestemme, at regler i love om bestemte digeanlæg afløses af regler i denne lov.

Stk. 2. Miljø- og fødevareministerens beføjelser vedrørende valg af bestyrelsesmedlemmer i henhold til følgende love:

- 1) lov nr. 92 af 30. april 1909 om Anlæg af et Havdige fra Vester Vedsted til Store Darum i Ribe Amt,
- 2) lov nr. 196 af 10. maj 1922 om Anlæg af et Havdige fra Vester Vedsted i Ribe Amt til Søndernæs i Tønder Amt og
- 3) lov nr. 77 af 29. marts 1924 om Forhøjelse af Diget på Manø og af Diget fra Vester Vedsted til Store Darum samt Anlæg af Havdiger på Rømø og fra Store Darum til Tjæreborg Bakker
- 4) overføres til de i digelaget interesserede i overensstemmelse med den fremgangsmåde, der er angivet i lovene.

§ 23. Sager, der er indbragt for en landvæsensret inden den 1. juli 1988, fær-digbehandles efter de hidtil gældende regler.

§ 24. (Ophævet)

§ 25. (Udelades)

§ 26. Loven træder i kraft den 1. juli 1988.

§ 27. Loven gælder ikke for Færøerne og Grønland.

Lov nr. 1520 af 27. december 2014 om offentlige veje m.v.) 1) indeholder følgende ikrafttrædelsesbestemmelse:

§ 139. Loven træder i kraft den 1. juli 2015, jf. dog stk. 2.

Stk. 2. Kapitel 8 og § 90, stk. 4, træder i kraft dagen efter bekendtgørelsen i Lovtidende.

Lov nr. 178 af 24. februar 2015 (Ændringer af auktionsordningen og andre regler om indvinding af råstoffer på havet som følge af regeringens konkurrencepolitiske udspil og evaluering af råstofloven, ændringer som følge af overførelse af kystbeskyttelsesloven til Miljøministeriet og præcisering af gennemførelse af havstrategirammedirektivet m.v.) 2) indeholder følgende ikrafttrædelsesbestemmelse:

§ 4

Stk. 1. Loven træder i kraft den 1. juli 2015, jf. dog stk. 2.

Stk. 2. Miljøministeren fastsætter tidspunktet for ikrafttræden af § 2, nr. 4. Miljø- og Fødevareministeriet, den 8. januar 2016

EVA KJER HANSEN

/ Hans Erik Cutoi-Toft

1) Lovændringen vedrører § 6, stk. 3.

2) Lovændringen vedrører § 16, stk. 3, § 16 b, § 17, stk. 1, 2. pkt., § 18, § 19 d, stk. 2, § 20, stk. 1, og § 20, stk. 1, nr. 3.