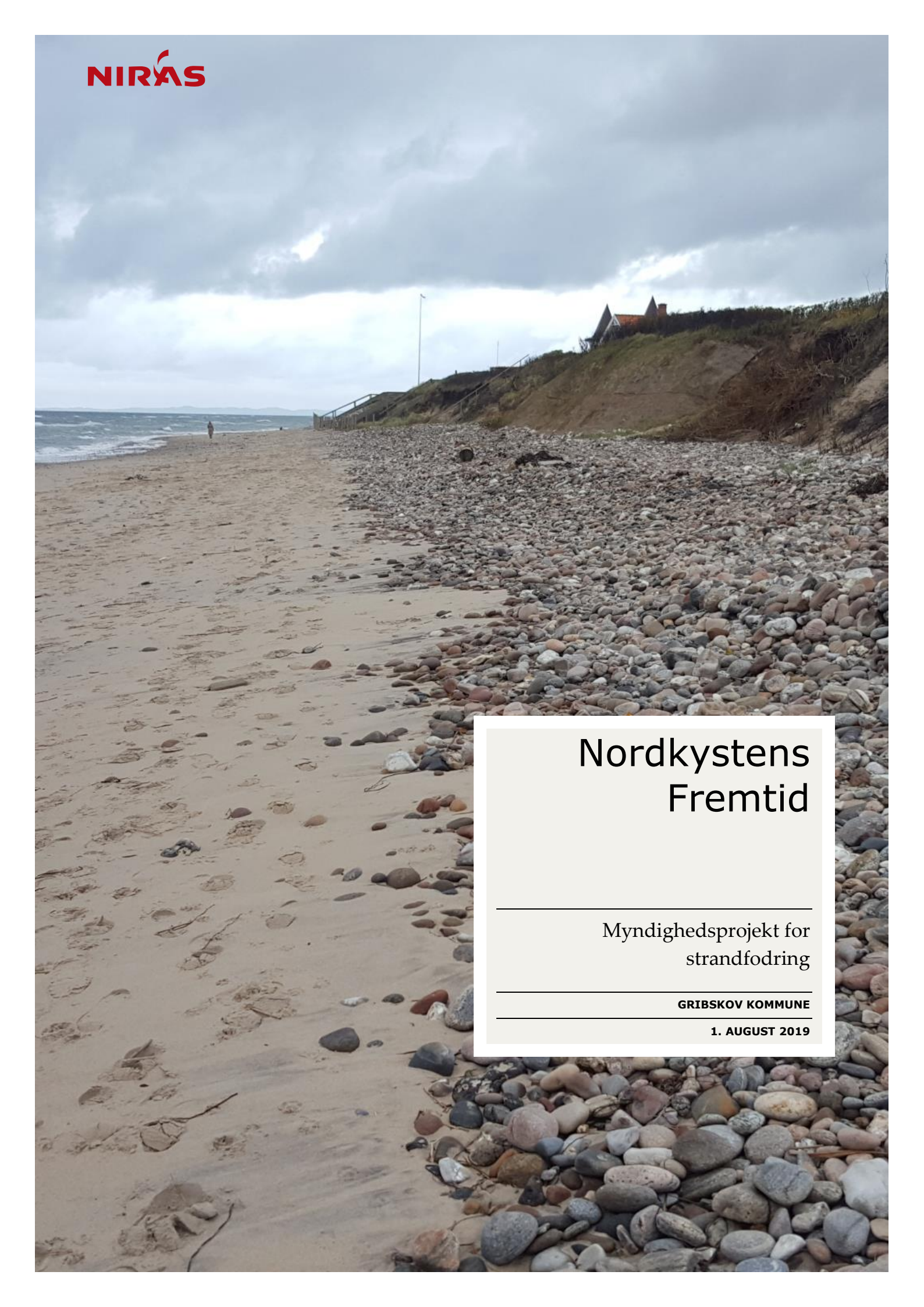




Nordkystens Fremtid

Myndighedsprojekt for
strandfodring

GRIBSKOV KOMMUNE

1. AUGUST 2019

Indhold

1	Indledning	4
2	Konklusion	5
3	Udfordringer med kystbeskyttelsen på Nordkysten	7
3.1	Kystteknisk udgangspunkt	7
3.1.1	Vandstand	7
3.2	Erosionspres	10
3.2.1	Kronisk erosion	10
3.2.2	Akut erosion	12
3.2.3	Effekten af eksisterende hård kystbeskyttelse	13
3.3	Kystteknisk vurdering	16
4	Målsætning	18
4.1	Begrundelser for målsætninger	18
4.1.1	Kysttilbagerykning	18
4.1.2	Dimensionering	18
4.1.3	Rekreativ anvendelse	19
5	Anlægsprojektet Nordkystens Fremtid	20
5.1	Materialer	21
5.1.1	Ideelt fodringsmateriale	21
5.1.2	Fodring med sand alene	24
5.2	Fodringsstrategi	25
5.2.1	Initialfodring	25
5.2.2	Vedligeholdelsesfodring	30
5.2.2.1	Kompensation for kronisk erosion og randeffekter	30
5.2.2.2	Kompensation for havspejlsstigninger	30
5.2.3	Strandfodringsmængder	31
5.3	Anlægsoverslag	34
5.3.1	Enhedspris	34
5.3.2	Samlet anlægsoverslag	37
5.4	Risici	41

6 Referencer

42

Projekt nr.: 228920
Dokument nr.: 1230753440
Version 12
Revision 1

Udarbejdet af
CHLD, KBO, MML, PFKL, KMR
Kontrolleret af KMR, KBO, CHLD
Godkendt af CHLD

1 Indledning

De tre kommuner Halsnæs, Gribskov og Helsingør har bedt rådgivergruppen NIRAS, DHI og Hasløv & Kjærsgaard udarbejde forundersøgelser, myndighedsprojekt samt miljøvurdering for et kystbeskyttelsesprojekt for hele nordkysten af Sjælland.

Formålet med projektet er at beskytte de mange værdier langs Nordkysten mod havet og herunder sommerhusområder, helårsbebyggelse og vejanlæg mm.

Rådgiverne har udarbejdet et kystteknisk projekt for den 60 km langs kyststrækning mellem Hundested og Helsingør, som primært omfatter strandfodring med sand og ral og forstærkning af skråningsbeskyttelser samt høfder, bølgebrydere, rev eller flak på udsatte strækninger, (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2019).

Nordkysten skal være beskyttet mod en 50 års hændelse (middeltidshændelse MT = 50 år) de næste 50 år (projektets levetid L = 50 år) frem til år 2070. Dette opnås ved en kombination af skråningsbeskyttelser med sten og løbende strandfodring med sand og ral, (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2019).

Myndighedsprojektet omfatter den del af det kysttekniske projekt, der vedrører strandfodring langs godt 35 km af kysten, som er bebygget og hvor der er et behov for kystbeskyttelse. Dette betyder konkret, at bagstranden hæves til +2,75m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og +2,25m øst for Gilleleje Havn langs skråningsbeskyttelserne.

Førstegangsfodringen, også kaldet initialfodringen, forventes at blive udført i 2021 og vedligeholdelsesfodringer hvert 5. år herefter.

Myndighedsprojektet er udformet med udgangspunkt i Kystbeskyttelsesloven, hvor følgende hensyn skal afvejes:

- behovet for kystbeskyttelse
- økonomiske hensyn
- kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske, natur- og miljømæssige kvalitet
- betydning for den rekreative anvendelse af kysten
- sikring af den eksisterende adgang til og langs kysten
- andre forhold af væsentlig betydning for kystbeskyttelsen

Strandfodring øger højden af stranden foran skråningerne. Når strandniveauet hæves vil bølgenes påvirkning af bagstranden og kystskrænten aftage fordi bølgehøjden reduceres ind over strandplanet. Strandfodring vil således medføre mindre pres på den hårde kystbeskyttelse og skråningerne bagved. Herudover medfører strandfodring, at der kompenseres for manglende sandmængder i kystens sedimentbudget, hvilket medfører, at den kroniske erosion bremses.

De økonomiske hensyn opfyldes ved, at behovet for at styrke og forhøje skråningsbeskyttelserne på kort så vel som på lang sigt reduceres. De samlede omkostninger til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelserne foran ejendommene i første række reduceres derved generelt set.

Samtidig giver strandfodringen en markant bredere strand og mulighed for passage langs kysten og over høfderne, hvilket ikke er muligt mange steder i dag. Adgang til stranden vil forbedres, da den forhøjede strand giver færre besværlige adgange over skråningsbeskyttelserne.

Endeligt vil kystlandskabet visuelt forbedres med bredere strande og mindre synlige skråningsbeskyttelser, hvilket vil give et mere naturligt kystlandskab.

Ud over myndighedsprojektet er der igangsat udarbejdelse af en miljøkonsekvensvurdering for strandfodringsprojektet.

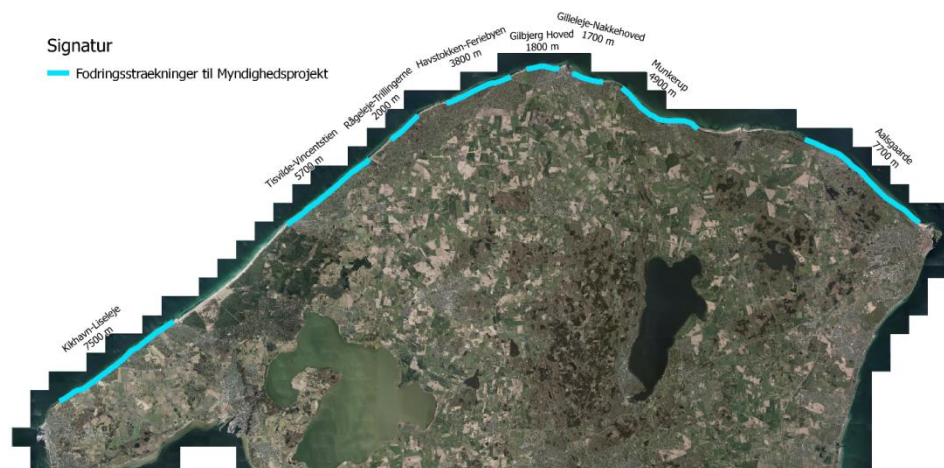
Kommunerne har også igangsat efterforskning af råstoffer til initialfodring og vedligeholdelse af strandfodringerne i 50 år.

2 Konklusion

Det kysttekniske projekt og myndighedsprojektet viser, at strandfodring er nødvendig ud for de bebyggede grunde langs Nordkysten, da de har et kystbeskyttelsesbehov.

Der ansøges om at strandfodre langs 8 længere strækninger på Nordkysten med en samlet længde på 35 km ud af 57 km. Der fodres ikke ud for større naturstrækninger, da de ikke har et kystbeskyttelsesbehov.

Figur 2.1 Forslåede fodringsstrækninger.



Strandfodringen udlægges foran skråningsbeskyttelser og skråninger op til +2,75m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og +2,25m over daglig vande øst for Gilleleje Havn i forbindelse med initialfodringerne og de løbende vedligeholdelsesfodringer hvert 5. år. Strandfodring sikrer en minimumshøjde på stranden foran skråningsbeskyttelserne på 2 m over daglig vande, som beskyttelse mod akut erosion i forbindelse med storme. I forbindelse med storme vil stranden i ekstreme tilfælde kunne erodere ned til omkring 1 m over daglig vande.

Strandfodringerne reducerer herved bølgepåvirkningen af skråningsbeskyttelser og skråninger bagved. Desuden bremser strandfodringerne den kroniske erosion forårsaget af underskud i sedimentbudgettet og klimabetingede havspejlsstigninger.

Den anbefalede strandfodring betyder, at der skal foretages en samlet initialstrandfodring på 2.400.000 m³. Herefter skal der løbende vedligeholdelsesfodres med 780.000 m³ hvert 5. år, hvorved stranden genopbygges.

Den samlede pris på initialstrandfodringen forventes at være i størrelsesorden 137,5 mio. kr. plus moms og evt. afgifter. Den samlede pris på vedligeholdelsesfodringerne forventes at være i størrelsesorden 42,4 mio. kr. plus moms og evt. afgifter hvert 5. år. Der er i de nævnte priser ikke taget højde for afværgeforanstaltninger som for eksempel i forbindelse med udløb til Kattegat og øget oprensning af havneindsejlingerne.

Vedligeholdelsesfodringerne kompenserer for tabet af sand og ral langs kysten som følge af kronisk erosion, havspejlsstigning og randeffekter ved enderne af fodringsstrækningerne.

Strandfodringsmaterialet vil gradvist spredes langs hele Nordkysten og således også reducere kysttilbagerykningen langs naturstrækninger og øvrige ejendomme ud til kysten, hvor der ikke fodres direkte.

Fodringsmaterialet svarer som udgangspunkt til det sand og ral, der er på Nordkysten i dag. Mængden af ral justeres i forhold til tilgængeligheden og prisen på ral.

Strandfodring foretages af den fælles projektorganisation: "Nordkystens Fremtid" som et fælles projekt for grundejerne langs Nordkysten under ledelse af Halsnæs Kommune, Gribskov Kommune og Helsingør Kommune.

Strandfodringerne vil forbedre kystbeskyttelseskonstruktionernes robusthed og kysttekniske virkning, samt sikre et ensartet beskyttelsesniveau langs Nordkysten.

Strandfodring vil herudover sikre passage langs kysten på de beskyttede strækninger.

3 Udfordringer med kystbeskyttelsen på Nordkysten

Der er en række udfordringer for den eksisterende kystbeskyttelse på Nordkysten:

- Der mangler sediment langs Nordkysten som følge af kronisk erosion. Den kroniske erosion skyldes, at der bliver fjernet mere materiale fra kystprofilen end der bliver tilført.
- Dette har efterhånden medført, at stranden er blevet smal eller er forsvundet foran skråningsbeskyttelserne mange steder.
- Kystlinjen, dvs. overgangen mellem bagstranden og kystskråningen, er langs størstedelen af Nordkysten rykket betydeligt tilbage siden man i 1920-erne begyndte at bygge huse ud til havet. Dette fænomen benævnes kysterosion.
- Hård kystbeskyttelse har været benyttet i stor stil til at stabilisere kystlinjen, dvs. til at reducere erosion af kystskråningerne. Skråningsbeskyttelser kan for en årrække beskytte imod tilbagerykning af kystlinjen, men beskytter ikke imod fortsat erosion i kystprofilen foran skråningsbeskyttelsen. Derfor forsvinder stranden gradvist på strækninger, som er beskyttet med skråningsbeskyttelse.
- Hård kystbeskyttelse har resulteret i læsideerosion, fordi beskyttelsen reducerer den mængde materiale, som tilføres kysten ved erosionen. Derved tilføres der en mindre mængde materiale via langstransporten til den nedstrøms side, hvilket øger erosionen på læsiden. Ved anvendelse af hård kystbeskyttelse bliver den kroniske erosion derved ført videre ind til naboen mod øst.
- Den igangværende kroniske kysterosion vil fortsætte og accelerere fremover som følge af havspejlsstigning.
- Kystprofilen er forstejlet på strækninger med hård kystbeskyttelse, da erosionen fortsætter på dybere vand ud til den grænse, hvor bølgerne har indvirkning på bunden. Den hårde kystbeskyttelse bliver derfor udsat for stadig større bølger.
- Strandfodring er gennemført på mindre projekter for at reducere læsideerosion, men i praksis virker strandfodring ikke optimalt på korte strækninger, som følge af randeffekt med tab af sand ved enderne.
- I takt med at vanddybden foran den hårde kystbeskyttelse øges, som følge af kronisk og akut erosion samt havspejlsstigning, vil den hårde kystbeskyttelse udsættes for stadig større bølger og vil med tiden blive undermineret.
- Hvis ikke der tilføres sediment ved strandfodring vil den hårde kystbeskyttelse skulle udbygges massivt for at modstå de stadig større bølger, som rammer konstruktionerne. Stranden vil helt forsvinde langs de strækninger, hvor der er skråningsbeskyttelser, hvilket betyder, at passage langs kysten vil blive vanskeligere eller umulig og erosionen af ubeskyttede strækninger vil accelereres yderligere.

3.1 Kystteknisk udgangspunkt

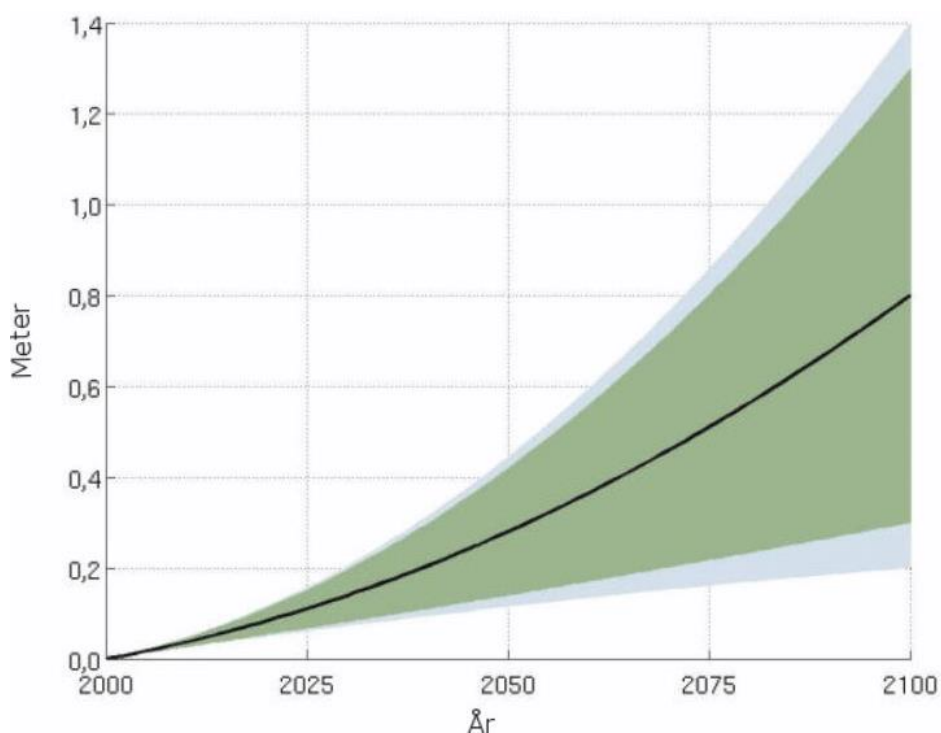
3.1.1 Vandstand

Tidevandet ved Nordkysten er omkring 20 cm, hvilket vil sige, at vandstanden varierer +/- 10 cm omkring middelvandstanden.

DMI's bud på den fremtidige havspejlsstigning er ca. +0,8 m mellem år 2000 og 2100, se Figur 3.1. Det forventes, at havspejlsstigningen vil vokse eksponentielt

med tiden, hvilket giver en havvandspejlsstigning på +37 cm mellem 2020 og 2070. Dette er et centralt estimat og er behæftet med nogen usikkerhed.

Landhævning på Nordkysten er i gennemsnit 1,5 mm/år svarende til +8 cm i 2070, hvilket reducerer den generelle havspejlsstigning.

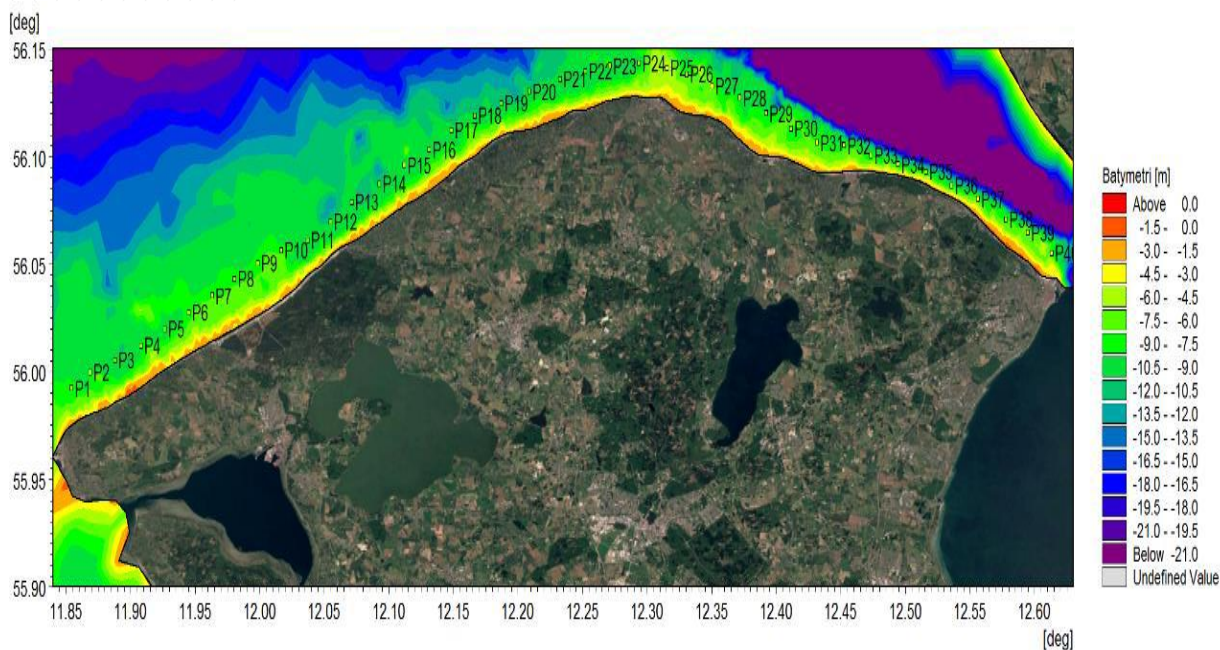


Figur 3.1 DMI's bud på havvandstandsstigninger mellem år 2000 – 2100, når der ses bort fra landhævning. Den sorte kurve viser middelværdien, mens det grønne og blå areal indikerer usikkerheden.

Ekstreme vandstande har stor betydning for kystbeskyttelsen på Nordkysten. DHI har udarbejdet ny vandstandsstatistik for Nordkysten. Statistikken tager udgangspunkt i måletidsserien fra Hornbæk Havn, som dækker 127 år.

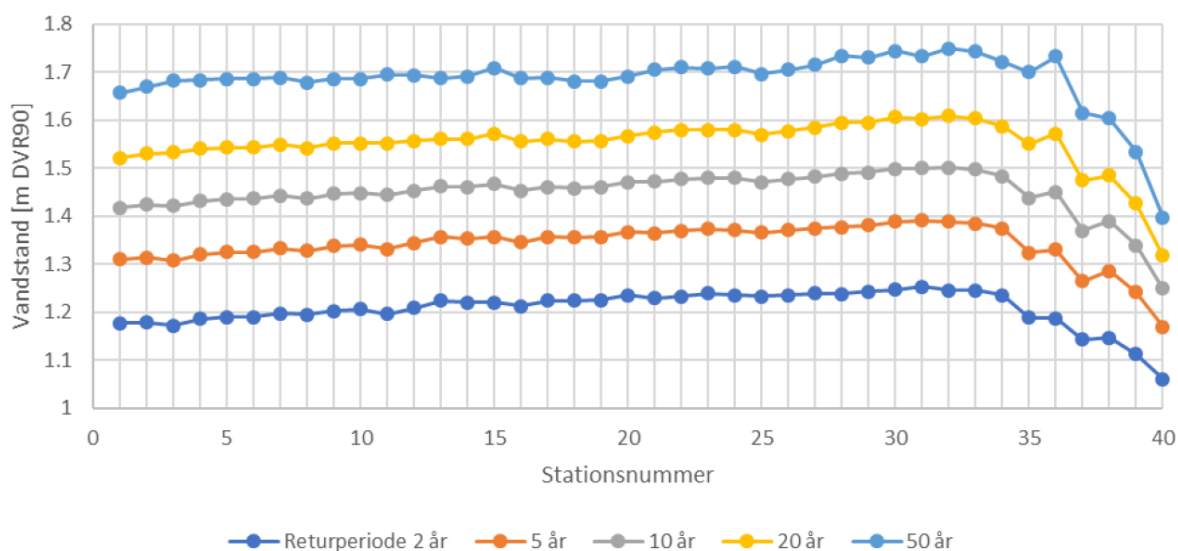
DHI har modelleret 20 års vandstande langs Nordkysten, som er benyttet til at udarbejde lokale ekstremvandstandsstatistikker, som efterfølgende er korrigeret i forhold til den mere præcise statistik fra Hornbæk Havn.

Figur 3.3 viser variationen i vandstandsstatistikken langs Nordkysten fra Hundested til Helsingør, (DHI, 2018). Ekstremvandstandene er vist med forskellige returperioder.



Figur 3.2: Placering af kystprofiler (P1 – P40) langs Nordkysten fra Hundested (tv.) til Helsingør (th.)

Nutids design vandstand langs Nordkysten



Figur 3.3: Designvandstandenes variation for returperioder på 2 år til 50 år langs Nordkysten fra Hundested (tv.) til Helsingør (th.)

Figuren viser, at en 50 års hændelse vil medføre en vandstand på Nordkysten på cirka +1,75 meter DVR90 på dybt vand ud for kysten.

Når bølgerne bryder ind over revlerne hæves vandstanden yderligere ind mod kysten som følge af bølge-setup. Bølge-setup varierer langs kysten, men er sædvanligvis i størrelsesorden 10% af bølgehøjden på dybt vand.

Den gennemsnitlige ekstremvandstand i brydningszonen med en returperiode på 50 år er ud fra beregningerne vurderet til +2,0m.

Ekstreme vandstande giver store udfordringer for grundejerne langs Nordkysten, da stranden i de fleste tilfælde er lav foran skråningerne. Bølgerne vil derfor ofte kunne ramme de hårde anlæg med stor kraft, hvilket giver skader på konstruktionerne og skråningerne bagved.

Med udgangspunkt i ovenstående figur og vurdering af det gennemsnitlige bølge-setup i brydningszonen langs kysten foreslås niveauet af bagstranden hævet til minimum +2,0 meter over middelvandstanden ved strandfodring. Dette svarer til den gennemsnitlige vandstand i brydningszonen langs Nordkysten i forbindelse med en stormflod med en returperiode på 50 år. Herved fås et ensartet beskyttelsesniveau langs hele Nordkysten.

3.2 Erosionspres

Nordkysten er udsat for et stort erosionspres som følge af kronisk og akut erosion. Kronisk erosion er den løbende erosion, som skyldes ubalance i sedimentbudgettet for sedimenttransporten langs kysten, mens akut erosion forekommer under storme med samtidig højvande og store bølger. Akut erosion forekommer ved at sandet på stranden transporteres udefter i kystprofilen under stormflod. Det er en delvis reversibel erosionsproces idet en del af sandet senere transporteres ind på stranden igen.

3.2.1 Kronisk erosion

Der er i dag generelt mangel på sand og ral langs Nordkysten som følge af, at nettotransporten af sand og ral langs kysten stiger fra Kikhavn imod Gilleleje og igen fra Gilleleje til Hornbæk og fra Hornbæk til Helsingør. Dette medfører kronisk erosion fordi, der føres mere sand og ral ud af en strækning, end der tilføres i den anden ende af strækningen.

Figur 3.4 viser den gennemsnitlige kroniske erosion mellem 1897 og 2003 langs Nordkysten.

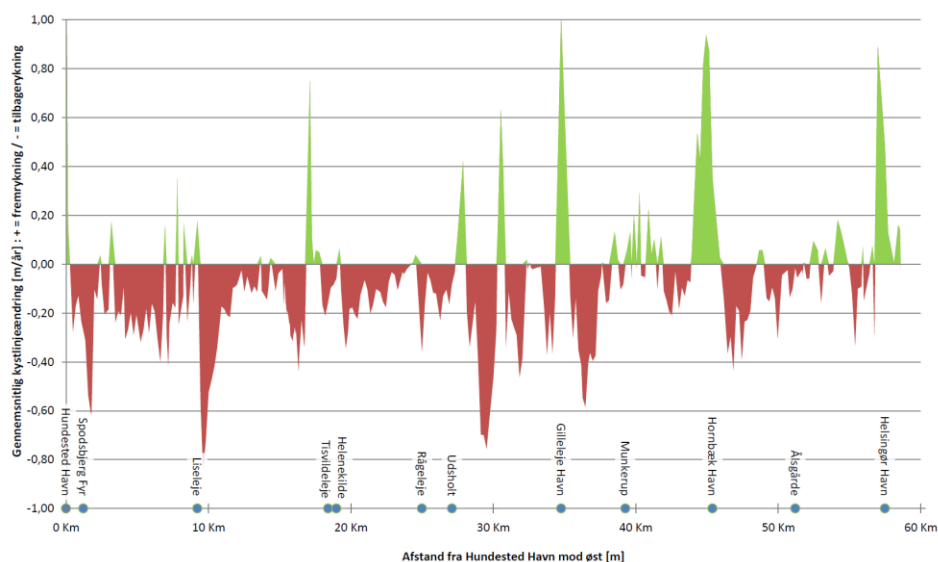
Hovedårsagen til den kroniske erosion langs Sjællands nordkyst er kystens konvekse form, stigende langstransport mod øst og et deraf følgende underskud af sand og ral langs kysten. Dette har medført behov for intensiv kystbeskyttelse. Kystbeskyttelse med hårde konstruktioner betyder yderligere reduktion i tilførsel af sand og ral fra skråningerne til sedimentbudgettet. Herudover udgør havnene barrierer for transporten af sand og ral langs Nordkysten, hvilket øger erosionen øst for.

Den omfattende hårde kystbeskyttelse langs Nordkysten i form af skræntfodsbeskyttelser, høfder og bølgebrydere har medført, at tilførslen af sand og ral til kysten fra skrænterne med tiden er reduceret betydeligt. I takt med den løbende udbygning af skråningsbeskyttelserne har stabiliseret skråningerne, er der lange strækninger, hvor stranden er blevet smallere, helt forsvundet eller afløst af ralstrand. Vanddybderne foran den eksisterende hårde kystbeskyttelse er herved gradvist øget.

Figur 3.5 giver et mål for den kroniske erosion langs hvert af fodringsområderne under antagelse af, at den kroniske erosion beregnes som forskellen imellem langstransporten i et profil ved den vestlige ende af fodringsområdet og langs-

transporten i et profil ved den østlige ende af fodringsområdet, (DHI, 2018). Erosionen er angivet som $\text{m}^3/\text{år}/\text{m}$, der skal forstås som tabet af sand per løbende meter langs med den fodrede kyststrækning.

Kystlinjeændring mellem år 1897 og 2003 på Nordkysten



Figur 3.4 Historisk kystlinjeudvikling ($\text{m}/\text{år}$) 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) på nær vest for havnene og vest for større kystkonstruktioner (bølgebrydere i Liseleje og Tisvildeleje) (grøn)

Erosionsrater



Figur 3.5 Modelleret kronisk erosion i hvert af fodringsområderne for eksisterende kyst. Positiv nettotransport er mod øst. Erosion svarer til tab af sand.

Den aktuelle kroniske erosion ligger typisk omkring $3 \text{ m}^3/\text{år}/\text{m}$ vest for Gilleleje. Dog er den kroniske erosion ved Gilbjerg hoved markant større og skyldes, at kysten her har et markant knæk i orienteringen, hvorved ændringen i langstransporten stiger. Fodringsområdet Rågeleje-Trillingerne er ifølge beregningerne ikke under mærkbar erosion. Variationen i erosionspresset er stort for fodringsområderne øst for Gilleleje og noget mindre vest for Gilleleje.

Den kroniske erosion kan ikke stoppes ved etableringen af hård kystbeskyttelse alene. Erosionen fortsætter i den ubeskyttede del af kystprofilen fra de hårde anlæg ud til den aktive dybde, der på Nordkysten ligger mellem 2,5 m ved Ålsgårde og 4,5 m ved Udsholt, (DHI, 2018).

Dette resulterer i, at dybderne ud for kysten gradvist bliver større og større og kystprofilen herved forstejles.

Langstransporten af sandet vil hovedsagelig foregå på revlerne inden for den aktive dybde. Tillige vil den finere del af sedimentet blive trukket længere ud fra kysten.

En del af sandet vil aflejres opstrøms for Liseleje bølgebryderen, Tisvilde bølgebryderen, Gilleleje og Hornbæk havne og molen i Helsingør lystbådehavn. Sandet føres videre til Juels Grund, Lappegrunden i tragten og en del passere forbi pynten ved Kronborg for slutteligt at blive aflejret på Disken.

Figur 3.6 Stejl og høj skråning og lav skråningsbeskyttelse ved Salgårdshøj. Der er ingen strand foran skråningsbeskyttelsen.



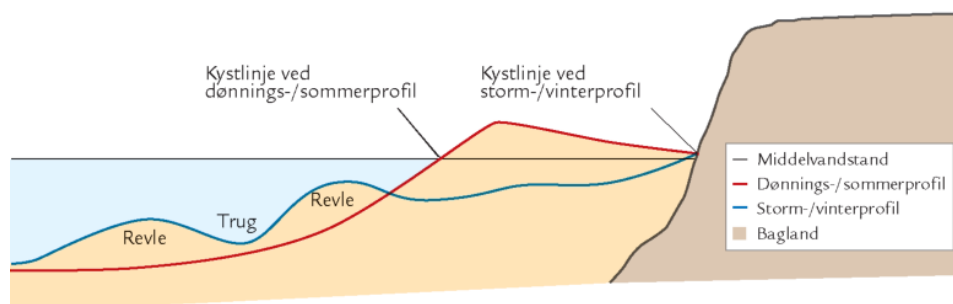
3.2.2 Akut erosion

Nordkysten er også udsat for erosionspres som følge af akut erosion i forbindelse med storme, hvor der er kraftig bølgepåvirkning og højvande. I disse situationer eroderer stranden ned og materialet føres længere ud i kystprofilen og langs kysten, se Figur 3.7.

Stormen Bodil 6. december 2013 er vurderet til at have en returperiode på omkring 250 år og medførte langvarigt ekstremt højvande. Kombinationen af store

bølger og høj 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 fremtidig akut erosion under stormflod, og for at imødegå den kroniske erosion.

Figur 3.7 Principskitse af akut erosion



Figur 3.8 Akut erosion af skrånningen ved Havstokken, Udsholt, Gribskov Kommune, under stormen Bodil 06.12.2013



3.2.3 Effekten af eksisterende hård kystbeskyttelse

NIRAS har udarbejdet tilstandsvurdering af eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner langs Nordkysten baseret på data indsamlet i forbindelse med kystinspektionerne, (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2019).

Indledningsvist er det vurderet om kystbeskyttelseskonstruktionerne vil kunne modstå en dimensionsgivende stormhændelse med en returperiode på 50 år i dag, om 25 og 50 år. Beregningerne af konstruktionerne tager højde for fremtidig kronisk og akut erosion samt havspejlsstigning.

Denne returperiode er valgt ud fra en afvejning af størrelsen af konstruktionerne og pris i forhold til de potentielle skaders omfang. Det vurderes, at være forholdsvis billigt og let at reparere skråningsbeskyttelser i tilfælde af, at der opstår skader.

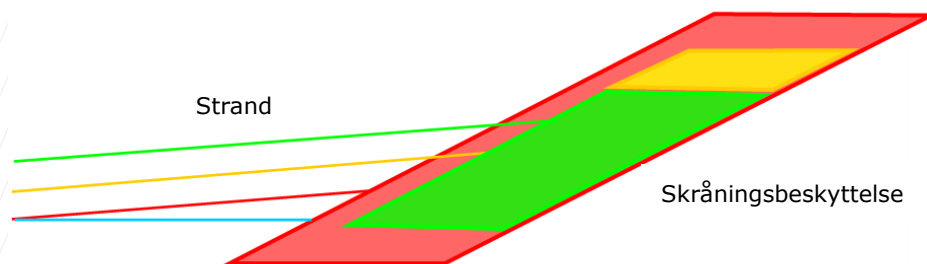
Kystbeskyttelse blev tidligere typisk projekteret til at kunne modstå en storm med en returperiode på 20 - 30 år.

Konstruktionerne er desuden vurderet i forhold til, om de vil kunne opgraderes til det fastlagte beskyttelsesniveau ved udbygning og eller forhøjelse, eller om konstruktionerne bør genopbygges fra bunden. Beregningerne er beskrevet nærmere i det kysttekniske projekt, (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2019).

Tilstandsvurderingen visualiseres med følgende farveskala, se også Figur 3.9:

- Grøn - Vurderet at opfylde dimensioneringsforudsætningerne.
- Gul - Vurderet at opfylde dimensioneringsforudsætningerne efter forhøjelse.
- Rød - Vurderet at skulle genopbygges med større dæksten.
- Sort - Ikke vurderet

Figur 3.9 Principskitse for tilstandsvurdering af skråningsbeskyttelse som funktion af højden af stranden foran



Langs Nordkysten er der registreret i alt 38,3 km konstruktioner, se Tabel 3.1. Af disse er der udført tilstandsvurdering på i alt 25,6 km. Der er ikke udført tilstandsvurdering på højvandsmure, betonhøfder og utilgængelige bølgebrydere, hvor stenstørrelsen ikke kunne registreres.

Der er ikke udført tilstandsvurdering på de skråningsbeskyttelser, som blot består af enkelte rækker sten placeret på stranden, pæleværker, palisadevægge, gabioner o. lign. Sådanne konstruktioner kan som udgangspunkt ikke anbefales som kystbeskyttelse på Nordkysten, da de ikke opfylder dimensioneringskriterierne for hård beskyttelse og bør derfor fjernes og erstattes af mere effektive og robuste løsninger.

Figur 3.10 viser, at 60 % af de vurderede skråningsbeskyttelser målt ud fra længde er vurderet til Rød tilstand med eksisterende terrænforhold i dag. 19 % vurderes med Gul tilstand og kun 21 % til Grøn tilstand i dag.

Allerede i år 2045 vil 92 % af alle skråningsbeskyttelser ikke opfylde dimensioneringskriterierne og vurderes uden strandfodring, at skulle genopbygges med større dæksten for at kunne modstå den øgede bølgepåvirkning.

Tabel 3.1: Samlet længde af registreret konstruktioner, hvor der er udført tilstandsvurdering.

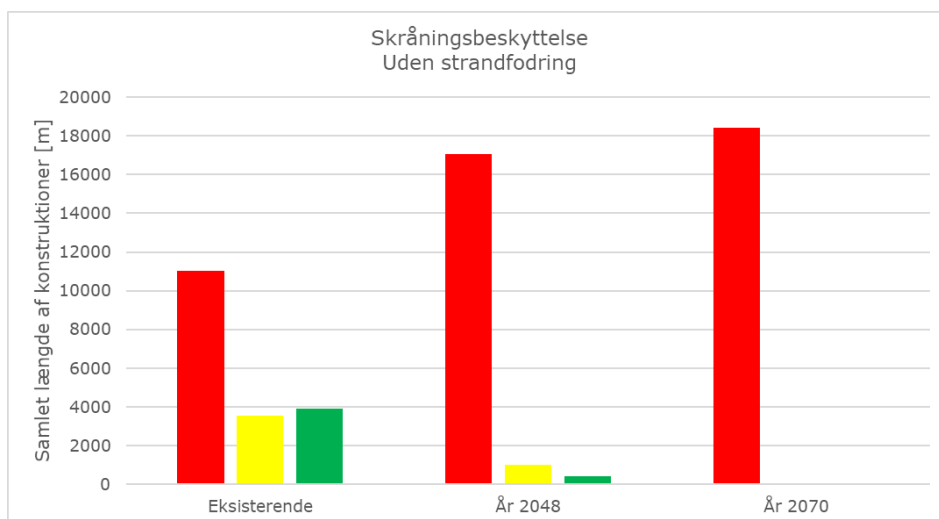
	Total længde	Længde med tilstandsvurdering
	[m]	[m]
Skråningsbeskyttelse	22.930	18.500
Højvandsmure	4.630	20
Bølgebrydere	5.860	4.050
T-høfder	240	150
Høfder	4.060	2.880
Total	38.330	25.600

Figur 3.10 Tilstandsvurdering af skråningsbeskyttelser, hvis der ikke udføres strandfodring.

Grøn: Vurderet at opfylde forudsætningerne

Gul: Vurderet at opfylde forudsætningerne efter forhøjelse.

Rød: Vurderet at skulle genopbygges med større dæksten.



I 2070 vurderes alle nuværende skråningsbeskyttelser at skulle genopbygges med større dæksten for at kunne opfylde designkriterierne.

86 % af de vurderede bølgebrydere vurderes ikke at opfylde dimensioneringsforudsætningerne i dag, hvilket primært skyldes utilstrækkelige stenstørrelser, se Figur 3.11. Dette billede ændres kun minimalt frem mod 2070.

Samtlige vurderede høfder vurderes ikke at opfylde dimensioneringsforudsætningerne hverken i dag eller de næste 50 år, se Figur 3.12.

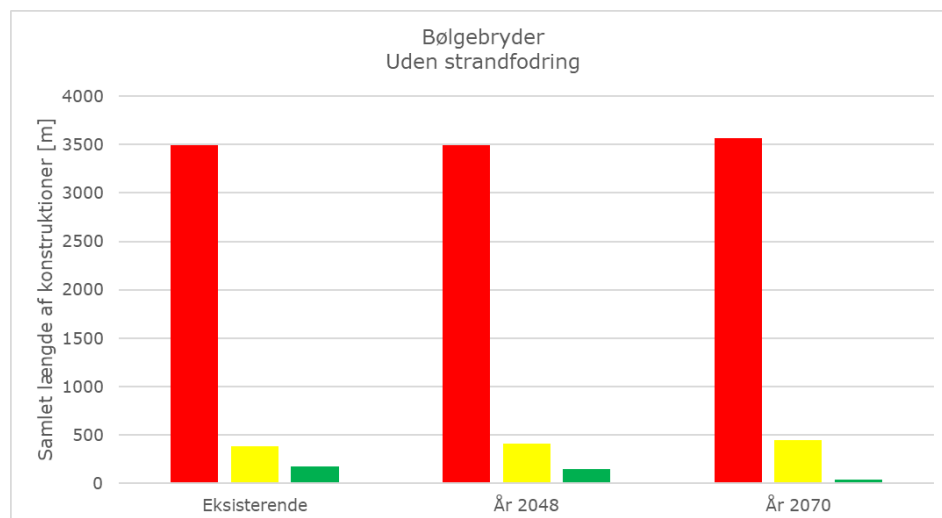
Eksisterende hård kystbeskyttelse langs Nordkysten er generelt hverken tilstrækkelig til at beskytte mod en stormflod med en returperiode på 50 år i dag eller om 50 år, hvilket er det anbefalede dimensioneringskriterie for hård kystbeskyttelse.

Figur 3.11 Tilstandsvurdering af bølgebrydere, hvis der ikke udføres strandfodring.

Grøn: Vurderet at opfylde forudsætningerne

Gul: Vurderet at opfylde forudsætningerne efter forhøjelse.

Rød: Vurderet at skulle genopbygges med større dæksten.

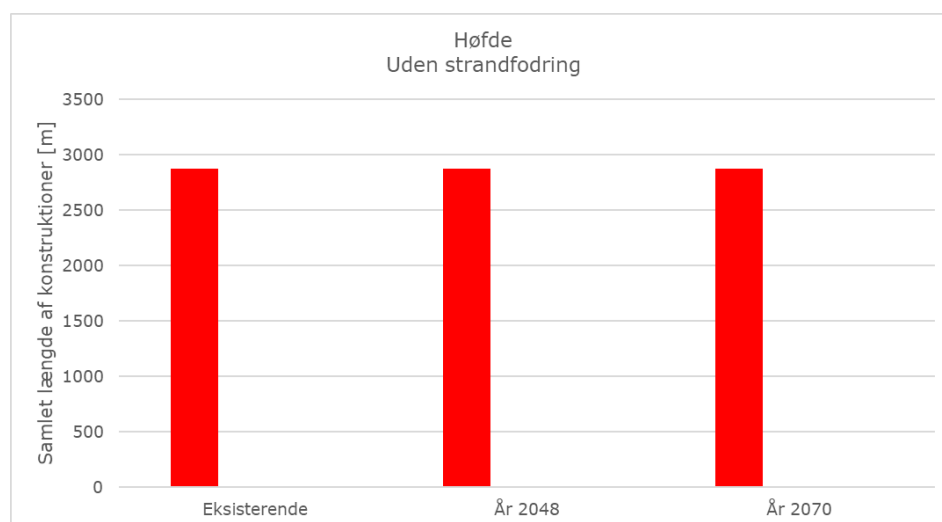


Figur 3.12 Tilstandsvurdering af hølde, hvis der ikke udføres strandfodring.

Grøn: Vurderet at opfylde forudsætningerne

Gul: Vurderet at opfylde forudsætningerne efter forhøjelse.

Rød: Vurderet at skulle genopbygges med større dæksten.



3.3 Kystteknisk vurdering

Der er mange steder langs Nordkysten gennem årene bygget hård kystbeskyttelse i form af hølde, bølgebrydere og skråningsbeskyttelser. Den hårde kystbeskyttelse bliver løbende repareret, 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 øges fremover. Derudover er mange af de eksisterende anlæg ikke høje nok som følge af den forøgede vanddybde foran og havspejlsstigning.

Kystlagene administrerer typisk kyststrækninger på ½ til 2½ kilometer. De fleste kystlag fokuserer typisk på at beskytte kystskrænten mod erosion, mens der ikke i lige så høj grad fokuseres på beskyttelse af selve stranden, som jo er en vigtig del af konstruktionernes stabilitet. Kystbeskyttelses anlæggene har medført øget erosionspres på nabostrækningerne mod øst, fordi tilførslen af sediment til nabostrækningerne 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 nedstrøms for de først opførte anlæg.

Mange steder har man forsøgt at holde på stranden ved at opføre hofder eller kystnære bølgebrydere. Der kommer dog ikke mere sand og ral i systemet ved, at de forskellige lag eller private grundejere 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 kystbeskyttelseskonstruktionerne stadig større.

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 omfattende underskud af sand og ral på Nordkysten kan ikke afhjælpes med hård kystbeskyttelse, da sikringer på en del af kysten resulterer i reduceret tilførsel af erosionsmaterialer og dermed accelereret erosion øst for.

Det er teknisk muligt at 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 i fremtiden bliver yderligere udsat for erosion og forstøjning af kystprofilen vil fortsætte, strandene vil forsvinde og færdsel langs kysten vil blive umuliggjort. Derfor er det ikke tilrådeligt at fortsætte denne praksis.

Konklusion:

- En helhedsbeskyttelse af Nordkysten kan ikke opnås ved hård kystbeskyttelse alene pga. enkeltprojekters indvirkning på nabogrunde.
- Adgang langs kysten kan ikke sikres ved fortsat hård beskyttelse og kystlandskabet vil ændres markant med større kysttekniske anlæg alene.
- Det omfattende underskud af sand og ral på Nordkysten kræver strandfodring (sand og ral) fremover for at kunne skabe en langsigtet og tilstrækkelig beskyttelse af Nordkysten med en fastholdt strandlinje.

4 Målsætning

Følgende konkrete målsætninger er opstillet for strandfodringerne, der udføres langs Nordkysten under Nordkystens Fremtid:

- Den overordnede målsætning for strandfodringen i forbindelse med Nordkystens Fremtid er, at der for de udpegede fodringsstrækninger altid er strand op til minimum +2,0 m i forhold til middelvandstanden foran skrænter og skråningsbeskyttelserne før en dimensionsgivende stormhændelse.
- Strandens højde udbygges i takt med havspejlsstigningen, hvorved beskyttelsesniveauet opretholdes.
- Strandfodringerne vil stoppe tilbagerykning af kystlinjen ud for den bebyggede del af Nordkysten.
- Strandfodringerne skaber en gennemsnitlig strandbredde på 20-30 meter, som sikrer passage langs kysten.
- Strandfodringerne bidrager til en langsigtet og helhedsorienteret beskyttelse af Nordkysten.

4.1 Begrundelser for målsætninger

Formålet med strandfodring er at øge højden af stranden foran skråningsbeskyttelserne. Herved reduceres behovet for at styrke og forhøje skråningsbeskyttelserne væsentligt på kort så vel som på lang sigt. Desuden genetableres muligheden for passage langs kysten, hvilket i dag ikke er muligt langs flere kyststrækninger.

4.1.1 Kysttilbagerykning

Initialfodringen medfører, at der opbygges en kontinuert og bred strand langs Nordkysten.

Vedligeholdelsesfodringerne sikrer, at stranden opbygges i takt med stigende havvandspejl, hvorved fremtidig kysttilbagerykning bremses.

Der kan være udsatte strækninger, hvor fodringsmaterialerne har svært ved at blive liggende og det derfor kan overvejes:

- at øge mængden af ral i fodringsmaterialet
- at anlægge bølgebrydere, høfder, rev eller flak for at stabilisere kysten og fodringsmaterialet

Det anbefales at vente med sådanne tiltag indtil efter nogle år, hvor det aktuelle behov har vist sig efter, at initialstrandfodringen er udført.

Omfanget af akut erosion vil variere meget afhængigt af de aktuelt forekommende vejrforhold.

4.1.2 Dimensionering

Med udgangspunkt i Figur 3.3, der viser vandstande langs Nordkysten ved forskellige hændelser og en vurdering af det gennemsnitlige bølge-setup i brydningszonen langs kysten foreslås niveauet af bagstranden foran eksisterende skråningsbeskyttelser hævet til minimum 2,0 meter over daglig vande med strandfodring svarende til en ekstrem vandstand med en returperiode på 50 år. Herved fås et ensartet beskyttelsesniveau langs den del af Nordkysten, hvor der ligger ejendomme ud til kysten, som har et beskyttelsesbehov.

Den forhøjede strand vil hjælpe med at beskytte skråningsbeskyttelser og skråninger mod akut erosion under storme.

Stranden genopbygges og vedligeholdes hvert 5 år, hvorved beskyttelsen mod akut og kronisk erosion opretholdes.

Vedligeholdelsesfodringerne og initialfodringen foran skråningsbeskyttelser og skråninger udføres op til +2,75m over daglig vande vest for Gilleje Havn og +2,25m over daglig vande øst for Gilleje Havn. Herved sikres, at der altid er sand og ral nok i strandprofilen til at opfylde målsætningen svarende til en minimumshøjde på stranden på +2,0m over daglig vande som beskyttelse mod storme.

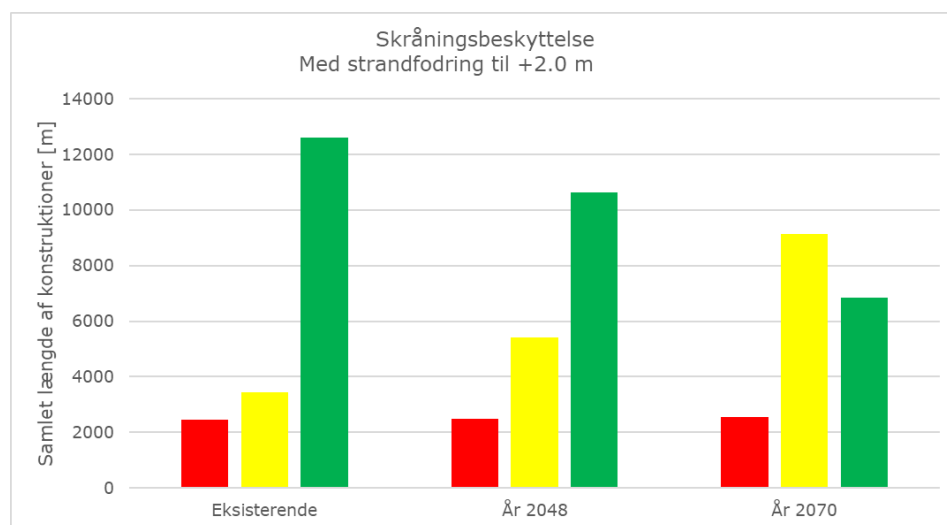
Strandfodring vil generelt give besparelser på den nødvendige udbygning af eksisterende skråningsbeskyttelser, da mange anlæg går fra at være røde og skulle genopbygges uden strandfodring til at blive gule med strandfodring, hvor de primært skal forhøjes, se Figur 4.1 og Figur 3.10, hvor tilstanden for skråningsbeskyttelse uden strandfodring er vist.

Figur 4.1 Tilstandsvurdering af skråningsbeskyttelser ved en strandfodring til minimum +2,0 m over daglig vande. Strandfodringen forudsættes vedligeholdt og udbygget for at fastholde vanddybden foran konstruktionerne.

Grøn: Vurderet at opfylde forudsætningerne

Gul: Vurderet at opfylde forudsætningerne efter forhøjelse.

Rød: Vurderet at skulle genopbygges med større dæksten.



4.1.3 Rekreativ anvendelse

I dag er der ikke passage langs ca. 1/3 af den bebyggede del af Nordkysten.

Formålet med strandfodringsprojektet er at øge beskyttelsen af skråningerne og ejendommene ud til kysten.

Derudover vil strandfodringerne give en markant bredere strand, som vil reetablere mulighederne for passage langs kysten. Samtidig bliver adgangen til stranden lettere, da hele stranden hæves. Disse forhold er et krav til kystbeskyttelsen ifølge Lov om Kystbeskyttelse.

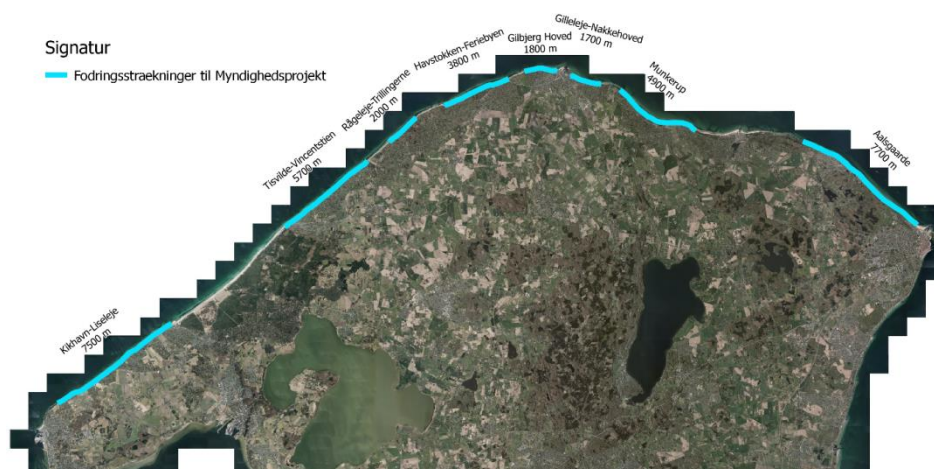
Efter strandfodring vurderes den gennemsnitlige bredde af stranden at blive minimum omkring 20 meter.

5 Anlægsprojektet Nordkystens Fremtid

Strandfodringsprojektet Nordkystens Fremtid er et resultat af grundigt forarbejde for at skabe en robust kystbeskyttelse på Sjællands nordkyst.

- Strandfodring er den eneste form for kystbeskyttelse, der kan beskytte en naturlig kyststrækning på lang sigt, som er udsat for kronisk erosion.
- Strandfodring vil øge virkningen og robustheden af eksisterende hård kystbeskyttelse.
- Strandfodringen skaber en buffer mod kysterosion ved søværts fremrykning af strandlinjen og forhøjelse af stranden.
- Strandfodringen sikrer mulighed for passage langs kysten foran eksisterende hård kystbeskyttelse.
- Strandfodring udføres på alle de strækninger, hvor der er bebyggelse ud til kysten, og hvor der er et kystbeskyttelsesbehov, se Figur 5.1. Strandfodringen omfatter derfor stort set hele den bebyggede del af Nordkysten.
- Fodringsmaterialet udlægges på stranden med en hældning på 1:15 svarende til den naturlige gennemsnitshældning af stranden på Nordkysten i dag.
- Fodringsmaterialet foran skråningsbeskyttelser og skråninger udlægges som udgangspunkt op til +2,75m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og op til +2,25m øst for Gilleleje Havn. Herved sikres, at der altid er sand og ral i strandprofilen svarende til en strand minimum 2,0 m over middelvandstanden langs skråningsbeskyttelserne før storme. Sand og ral udlægges med et jævnt forløb langs kysten uanset fremskudte konstruktioner, hvor højden af stranden kan være lavere lokalt.
- Strandfodringerne udføres over lange sammenhængende strækninger for at minimere tab fra fodringsområderne til tilstødende områder grundet udjævning ved enderne.
- Der vil løbende være behov for at tilføre sand og ral for at kompensere for kronisk erosion og havspejlsstigning.
- Vedligeholdelsesfodringer påregnes at finde sted hvert 5. år for at kompensere for naturligt tab af sand og ral på langs og på tværs af kysten og for at kompensere for havspejlsstigninger de næste 50 år.

Figur 5.1 Forslåede fodringsstrækninger.



Hele Nordkysten vil på sigt få glæde af strandfodringerne, som gradvist spredes langs hele kysten også til de strækninger, der ikke fodres.

5.1 Materialer

5.1.1 Ideelt fodringsmateriale

Den foreslåede strandfodring består i at tilføre en passende mængde sand og ral.

Materialet indvindes på dybt vand ud for kysten med sandsuger. Det vurderes, at sand og ral indvundet på dybt vand er den billigste form for materiale, der kan tilføres kysten, som kompensation for den erosion som foregår.

Der er en række krav til strandfodringsmaterialets gradering, som specificeres i det følgende.

Det primære krav er, at det tilførte materiale skal forstærke stranden for derigennem at bidrage til beskyttelse af ejendomme og infrastruktur ud til kysten. Dette medfører et krav om, at graderingen af fodringsmaterialet skal være så stabilt som muligt. Dette opnås ved grovkornet fodringsmateriale. Samtidig skal fodringsmaterialet af kystdynamiske og miljømæssige årsager have en gradering, som er tæt på graderingen af det nuværende sediment på stranden.

Analyserne af graderingen af de aktive havbunds- og strandmaterialer i de nuværende kystprofiler viser, at sedimenterne består af fint sand på revlerne og mellemkornet sand med et varierende indhold af ral i havstokken og på stranden.

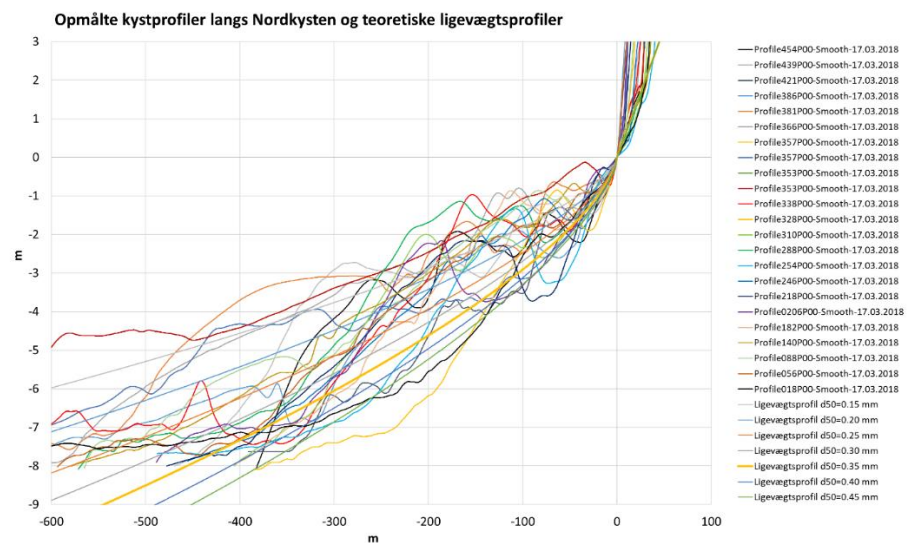
Stabiliteten af strandfodringen øges jo grovere fodringsmaterialet er, og jo større indholdet af ral er.

Den ideelle gradering af fodringsmaterialet vil medvirke til, at der vil etablere sig et relativt stejlt og stabilt strandprofil, dvs. at sand og ral vil forstærke stranden foran skråningsbeskyttelserne. Herved reduceres kravet til styrke og højde af skråningsbeskyttelserne bagved.

Figur 5.2 viser en sammenligning af opmålte kystprofiler langs Nordkysten og teoretiske ligevægtsprofiler for en række forskellige kornstørrelser af sand. Det fodringssand der anvendes, skal have en kornstørrelse, som betinger, at ligevægtsprofilen er stejlere end det eksisterende kystprofil. Herved reduceres tabet af sand ud på dybere vand, og beskyttelsen af skråningsbeskyttelser og skråninger vil øges. Figuren viser, at middelnkornstørrelsen af fodringssandet skal være grovere end $d_{50} > 0,35 \text{ mm}$ (fed orange kurve), hvilket også svarer til gennemsnittet af de sandprøver, der er indsamlet på stranden, (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2019).

Figur 5.2 Sammenligning af udvalgte opmålte kystprofiler langs Nordkysten og teoretiske ligevægtsprofiler med forskellige middelnkornstørrelser.

X-aksen angiver afstanden søværts for strandlinjen og Y-aksen angiver højden i DVR90



Disse forhold medfører følgende anbefaling til middelnkornstørrelsen d_{50} af den del af fodringsmaterialet, som består af sand:

- $0,35 \text{ mm} < d_{50} < 0,6 \text{ mm}$.

Herudover er der et krav til sorteringen af sandfraktionen af fodringsmaterialet. Det anbefales, at sandet skal være sorteret til velsorteret, hvilket udtrykkes ved uensformighedsstallet U :

- $1,5 < U < 3,0$, hvor $U = d_{60}/d_{10}$

Dette svarer til sorteringen af det naturligt forekommende sand på strandene langs Nordkysten i dag.

Indholdet af silt og finere fraktioner skal være minimalt for at sikre god dræning af stranden og dermed en attraktiv overflade samt for at minimere tab af sediment til dybt vand:

- indholdet af korn med $d < 0,06 \text{ mm}$ skal være mindre end ca. 2%.

Sandet skal være af marin oprindelse, hvilket indirekte sikrer, at sandet passer ind i det eksisterende miljø. Fodringsmaterialet skal være uden indhold af organisk materiale.

Det anbefales herudover, at der skal være et rimelig indhold af ral i fodringsmaterialet, fordi det styrker det nye kystprofil og fordi dette også forekommer på de eksisterende strande langs Nordkysten. Det anbefales, at indholdet af ral skal være:

- Indhold af ral ($20 \text{ mm} < d_{50} < 100 \text{ mm}$) skal være større end 10 % og mindre end 40 % af den samlede fodringsmængde på de enkelte fodringsstrækninger.

Det tilstræbes at tilpasse ralindholdet til det naturlige ralindhold på de givne lokaliteter. Figur 5.3 viser en foreløbig vurdering af indholdet af ral i fodringsmaterialet på de enkelte fodringsstrækninger.

Fodringsstrækninger til Myndighedsprojekt



Figur 5.3 Foreløbig vurdering af ideelt indhold af ral i fodringsmaterialet for hver fodringsstrækning

Figur 5.4 viser et billede af en naturlig strand sydvest for Rågeleje, som består af sand og ral i princippet svarende til den ideelle gradering af strandfodringsmaterialet. Det bemærkes, at rallen typisk vil finde sig på den bagerste del af strandprofilen, hvilket skyldes, at de større fraktioner skubbes landværts under storm og højvande. Dette er heldigt i relation til rallens beskyttende virkning på bagvedliggende skråningsbeskyttelse eller kystskrænt, samt i relation til rekreativ udnyttelse af stranden. Sådan vil en tilført blanding af sand og ral også leje sig med tiden.

Figur 5.4 Eksempel på strand ved Rågeleje som består af sand og ral.



5.1.2 Fodring med sand alene

Der er foretaget en screening af mulige råstofområder ud for Nordkysten.

Resultaterne af undersøgelsen viser, at der ikke er fundet potentielle råstofområder med ral. Der er identificeret sandressourcer med den specificerede gradering.

Det er derfor sandsynligt, at Nordkystens Fremtid skal gennemføres baseret på sand alene, da alternative ralressource med stor sandsynlighed vil være betydelig dyrere end de vurderede enhedspriser på sand fra lokale marine ressourceområder.

Modelleringsarbejdet og myndighedsprojektet er gennemført for Nordkystens Fremtid ud fra antagelse om den udarbejdede sandgraderingsspecifikation, og at der udelukkende strandfodres med sand.

Der er sandrevler lange størstedelen af Nordkysten, hvor hovedparten af den kystparallelle sedimenttransport foregår.

Der vil være en forøget transport af sand langs stranden som følge af, at der fodres med sand alene. Den modellerede transport indikerer størrelsen heraf. I beregningerne af vedligeholdelsesbehovet er der taget højde for den faktiske sandtransport.

Der er enkelte lokaliteter, hvor der vil forekomme øget mobilitet af fodringsmaterialet som følge af, at der udelukkende fodres med sand.

Det vil primært være omkring pynter, hvor sandet vil have svært ved at blive liggende i det beregnede profil.

Som en del af det kysttekniske projekt anbefaler rådgiverne, at der på sigt anlægges konstruktioner til at stabilisere stranden på disse udsatte strækninger, hvor sandet har svært ved at blive liggende, eller at der tilføres ekstra ral til disse strækninger.

Rådgiverne anbefaler, at man ser tiden an før der anlægges flere konstruktioner til at stabilisere stranden, eller før der tilføres ekstra ral, på de udsatte lokaliteter.

Fodringsstrækningen ved Gilbjerg Hoved er konveks og ligger umiddelbart opstrøms for Gilleleje Havn. I tilfælde af, at der udelukkende fodres med sand her vurderes det at kunne medføre forøget tilsanding af indsejlingen til havnen og forøget tab af strand i forhold til, hvis der fodres med et betydeligt indhold af ral.

Det kunne derfor overvejes at fodre med en mindre mængde sand her og/eller på sigt at anlægge konstruktioner til at stabilisere strandfodringen og/eller tilføre ekstra ral.

Generelt konkluderes det, at myndighedsprojektet vil have den beregnede effekt i forhold til den kroniske erosion, når der strandfodres udelukkende med sand, men at modstandsdygtigheden imod akut erosion under stormflodsforhold vil være reduceret i forhold til, hvis der også fodres med sand og ral.

Sandfodringens beskyttende virkning mod akut erosion vil svare til beregningerne præsenteret i det kysttekniske projekt, myndighedsprojektet og i cost-effective-ness analysen, (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2019) og (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Cost-effectiveness analyse af kystbeskyttelse på Nordkysten, 2019).

Såfremt det videre i råstofeftersforskningen viser sig, at der alligevel kan tilvebringes større mængder af ral anbefaler rådgiverne, at der fodres med et ralindhold svarende til det naturlige indhold på de enkelte fodringsstrækninger. Herved indarbejdes en ekstra beskyttelse af baglandet og kystens naturlige udseende bevares.

5.2 Fodringsstrategi

Strandfodring består af en initialfodring, hvor der udlægges sand og ral på stranden op imod skråningsbeskyttelser og skrænter.

Derudover vedligeholdelsesfodres hvert 5. år for at kompensere for erosion langs kysten og vandstandsstigningerne de næste 50 år.

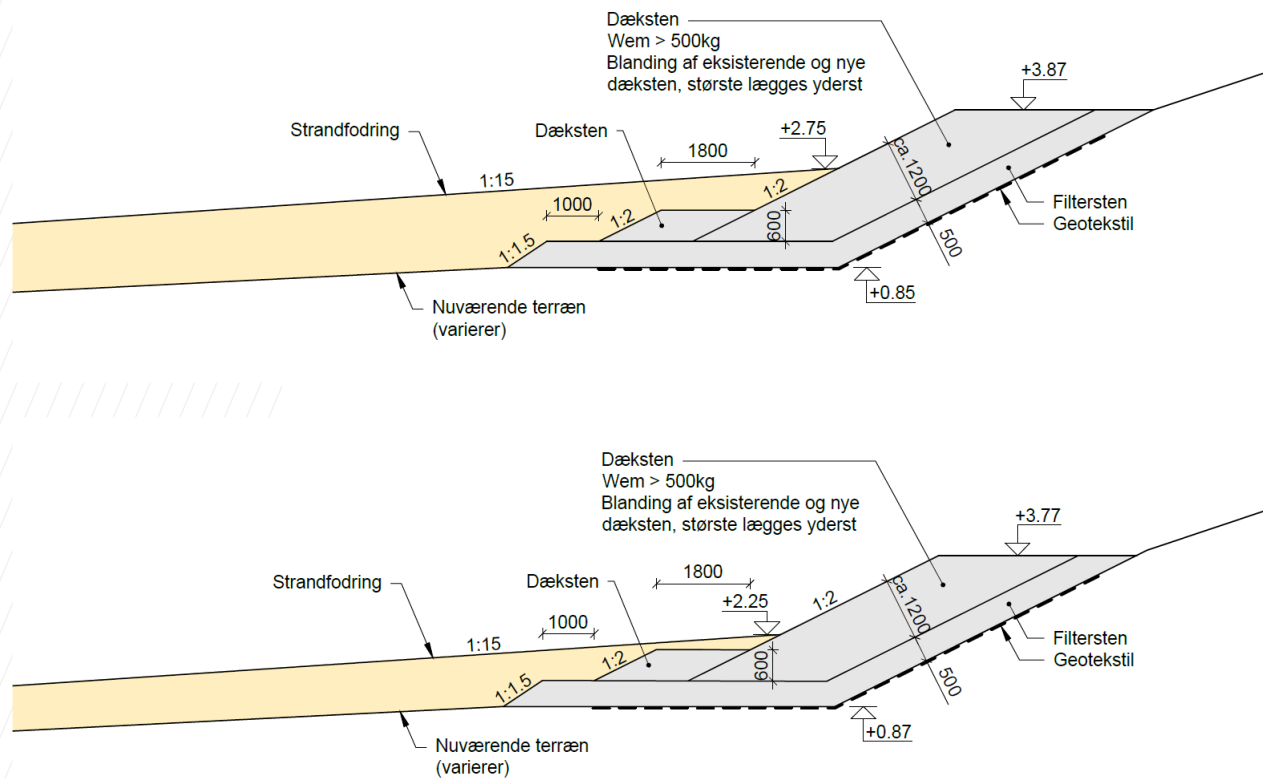
5.2.1 Initialfodring

Sand og ral pumpes ud på stranden foran eksisterende skråningsbeskyttelser og skrånninger, se Figur 5.5.

Herefter etableres et forstrandsprofil med en hældning på 1:15 fra toppen af strandfodringen til eksisterende strandprofil. Det nye strandprofil dækker i nogle tilfælde eksisterende høfder og bølgebrydere helt eller delvist.

Figur 5.6, Figur 5.7 og Figur 5.8 viser visualiseringer af eksisterende forhold, initialfodring og stormprofil ved Hald Strand, vest for Feriebyen i Smitstrup og i Ålsgårde.

Strandprofilet opbygges med udgangspunkt i eksisterende skråningsbeskyttelser således, at fodringsprofilet har den nødvendige højde. Det foreslås, at strandfodre op til en ensartet højde langs de udpegede fodringsstrækninger.



Figur 5.5 Principskitser af udlagt strandfodring foran skråningsbeskyttelser vest for Gilleleje Havn (øverst) og øst for Gilleleje Havn (nederst)

Initialfodringen udlægges foran skråningsbeskyttelser og skråninger op til +2,75m DVR90 langs fodringsstrækningerne vest for Gilleleje Havn og op til +2,25m DVR90 øst for Gilleleje Havn.

Stranden forventes dog at være lavere lokalt foran fremskudte skråningsbeskyttelser, da stranden har et jævnet forløb langs kysten.

I forbindelse med storme vil der gradvist ske erosion og omlejring af fodringsmaterialet, hvorved der dannes en lille erosionsbrink i det fodrede profil. Med en hældning af bagstranden på 1:15 vil højden af erosionsbrinken være begrænset, hvilket er en fordel i forhold til at sikre generel adgang til og langs kysten.

Det sand der eroderes fra stranden spredes ud over hele kystprofilet og stabiliserer herved hele kystprofilet også udenfor fodringsstrækningerne. Derudover vil sandet forbedre adgangen langs kysten og øge den rekreative værdi af stranden.

Fodringmaterialet vil forbedre beskyttelsen af eksisterende skråningsbeskyttelser og skråninger bagved betydeligt.



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 03, Hald Strand v/Kirkevej

eksisterende forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 03, Hald Strand v/Kirkevej

herdige forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 03, Hald Strand v/Kirkevej

herdige forhold, stormflod

Figur 5.6 Visualiseringer af strand og forstærkning af skråningsbeskyttelser ved Hald Strand. Øverst: eksisterende forhold, midten: efter initialfodring, nederst: efter designstorm



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 08, Feriebyen

eksisterende forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 08, Feriebyen

hverdags forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 08, Feriebyen

hverdags forhold, stormflod

Figur 5.7 Visualiseringer af strand og forstærkning af skråningsbeskyttelser ved Smidstrup, vest for Feriebyen. Øverst: eksisterende forhold, midten: efter initialfodring, nederst: efter designstorm



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 12, Ålgårde v/ Blockvej

eksisterende forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 12, Ålgårde v/ Blockvej

fremtidige forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 12, Ålgårde v/ Blockvej

fremtidige forhold, stormprognose

Figur 5.8 Visualiseringer af strand og forstærkning af skråningsbeskyttelser ved Ålgårde. Øverst: eksisterende forhold, midten: efter initialfodring, nederst: efter designstorm

5.2.2 Vedligeholdelsesfodring

Det anbefales at vedligeholdelsesfodre med 5 års interval for at kompensere for kronisk erosion, randeffekter og havspejlsstigninger.

Vedligeholdelsesfodringerne tilfører samme mængde sediment hver gang total set.

Fodringshøjden langs skråningsbeskyttelserne hæves i takt med havspejlsstigningen.

Som udgangspunkt vedligeholdelsesfodres op til +2,75m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og +2,25m over daglig vande øst for Gilleleje Havn.

5.2.2.1 *Kompensation for kronisk erosion og randeffekter*

Størrelsen af vedligeholdelsesfodringerne vil lokalt være afhængig af omfanget af kronisk og akut erosion samt udjævning, som er pågået siden sidste fodring.

Udformningen af vedligeholdelsesfodringerne planlægges således, at stranden ikke bliver lavere end den specificerede minimumshøjde på +2,0 m over daglig vande foran skråningsbeskyttelserne i løbet af fodringens planlagte levetid på 5 år.

Daglige påvirkninger af kysten medfører, at fodringmaterialet spredes langs kysten, dvs. at fodringmaterialet også tilføres ikke fodrede nabostrækninger. Hermed sikres, at skræntfodsbeskyttelser, bølgebryder og høfder ikke medfører øget erosion langs nabostrækninger. Det betyder også, at strandfodringsprojektet vil reducere kysttilbagerykningen på ubeskyttede strækninger.

Vedligeholdelsesfodringerne foretages efter løbende opmåling af kysten for at sikre et ensartet sikringsniveau langs kysten i projektets levetid.

Der vil være et løbende tab af sand og ral langs kysten fra de fodrede strækninger som følge af gradienter i langstransporten.

Som udgangspunkt vedligeholdelsesfodres i den vestlige del af de enkelte fodringsstrækninger for at øge værdien af fodringerne, da der løbende tabes sand og ral mod øst.

Der kan forekomme delstrækninger, der eroderer hurtigere tilbage og som derfor skal have en større del af vedligeholdelsesfodringerne. På de mest udsatte strækninger kan det blive nødvendigt, at grundejerne forstærker eller anlægger nye bølgebrydere, høfder, rev eller flak for at den målsatte minimumshøjde af stranden kan opretholdes, se også Afsnit 4.1.1.

5.2.2.2 *Kompensation for havspejlsstigninger*

I projektet indregnes effekten af de forventede globale havspejlsstigninger frem mod år 2070.

Det foreslås, at kystprofillets højde gradvist hæves fremover i takt med de konstaterede havspejlsstigningerne. Det medfører, at der løbende skal vedligeholdelsesfodres med et ekstra bidrag til at øge højden af hele det aktive kystprofil.

Udgiften til opbygningen af kystprofilen med strandfodring kan spredes over årene samtidig med, at fodringsindsatsen optimeres i forhold til de mest udsatte strækninger og for at sikre, at der sker en ensartet opbygning af sand og ral på stranden langs kysten.

5.2.3 Strandfodringsmængder

I det kysttekniske projekt er der gennemført en omfattende analyse af kystprofilerne, som sammen med en detaljeret tilstandsvurdering af eksisterende konstruktioner med og uden strandfodring viser, at der opnås et godt kystteknisk kompromis mellem strandfodringsmængde og tilstanden af eksisterende konstruktioner ved at opretholde en minimumshøjde af stranden på +2,0m over daglig vande foran skråningsbeskyttelserne, (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2019).

Analysen af kystprofilerne har vist, at der er stor variation i den nødvendige strandfodringsmængde langs kysten, se Figur 5.9.

Når vedligeholdelsesfodringen inkluderes skal der strandfodres op til +2,75m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og op til +2,25m over daglig vande øst for Gilleleje Havn.

Dette medfører en initial strandbredde på i størrelsesorden 30 - 40 m fra strandlinjen til skråningsbeskyttelsen, hvilket har en positiv effekt på muligheden for passage langs kysten, og herudover reetableres det naturlige strandmiljø og den rekreative anvendelse af stranden øges. Hensyntagen til disse sekundære forhold er et krav til kystbeskyttelse ifølge Lov om Kystbeskyttelse.

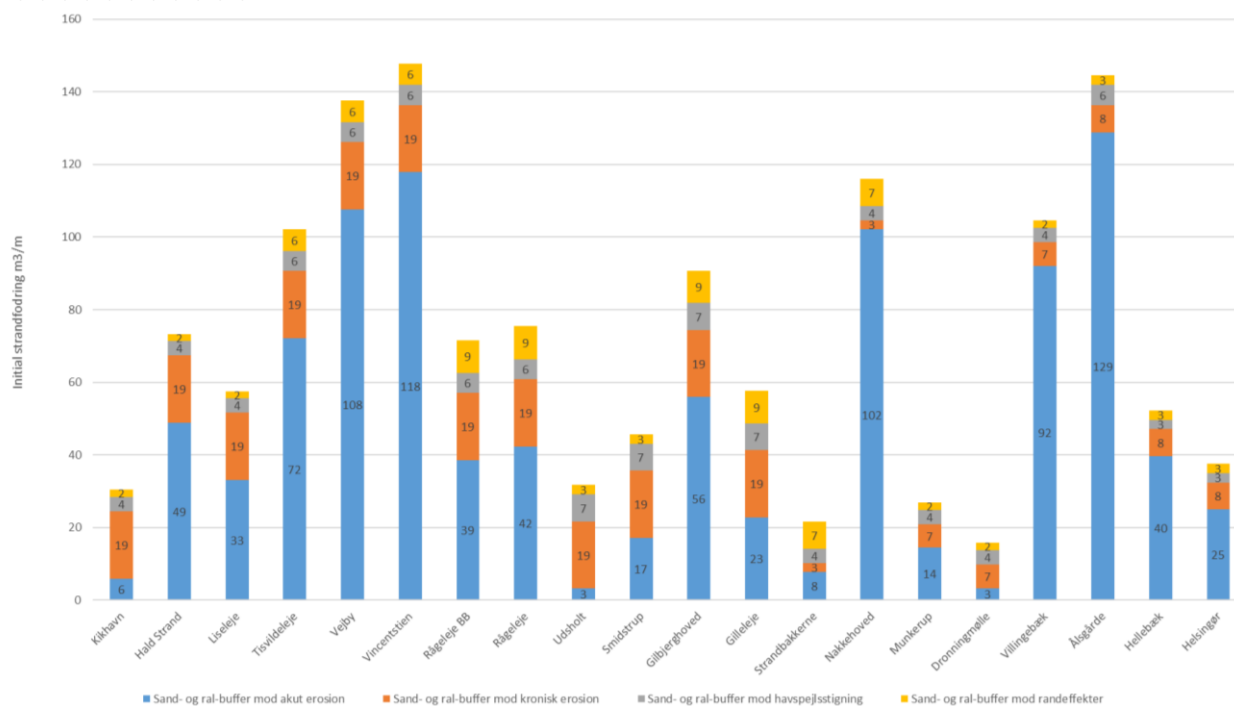
Strandfodring skal vedligeholdes for at opretholde den ønskede beskyttelse langs fodringsstrækningerne, da der løbende sker en omlægning af sand og ral langs og på tværs af kysten.

Initialfodring og vedligeholdelsesfodring består af både sand og ral.

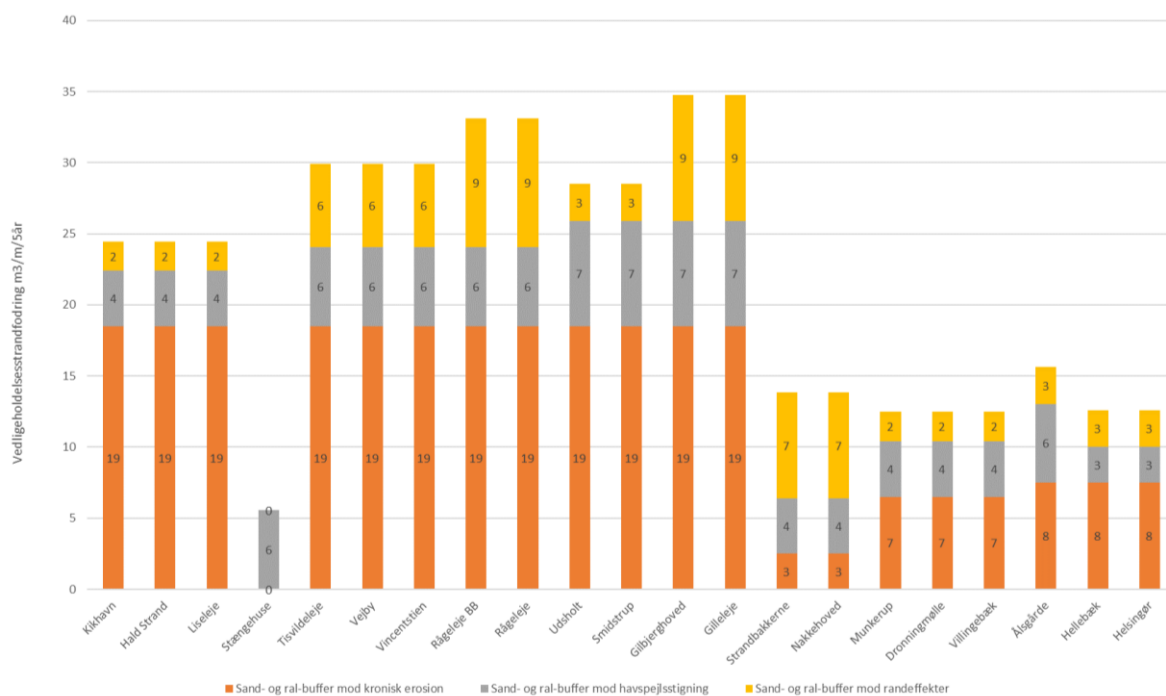
Figur 5.9 viser fordelingen af fodringsmængder, som initialstrandfodringen består af for hvert enkelt kystprofil. Figuren viser, at initialfodringen varierer mellem 15 og 150 m³/m.

Figur 5.10 viser fordelingen af fodringsmængder, som vedligeholdelsesfodringen består af for hvert enkelt kystprofil. Figuren viser, at vedligeholdelsesfodringen varierer mellem 13 og 35 m³/m/5 år.

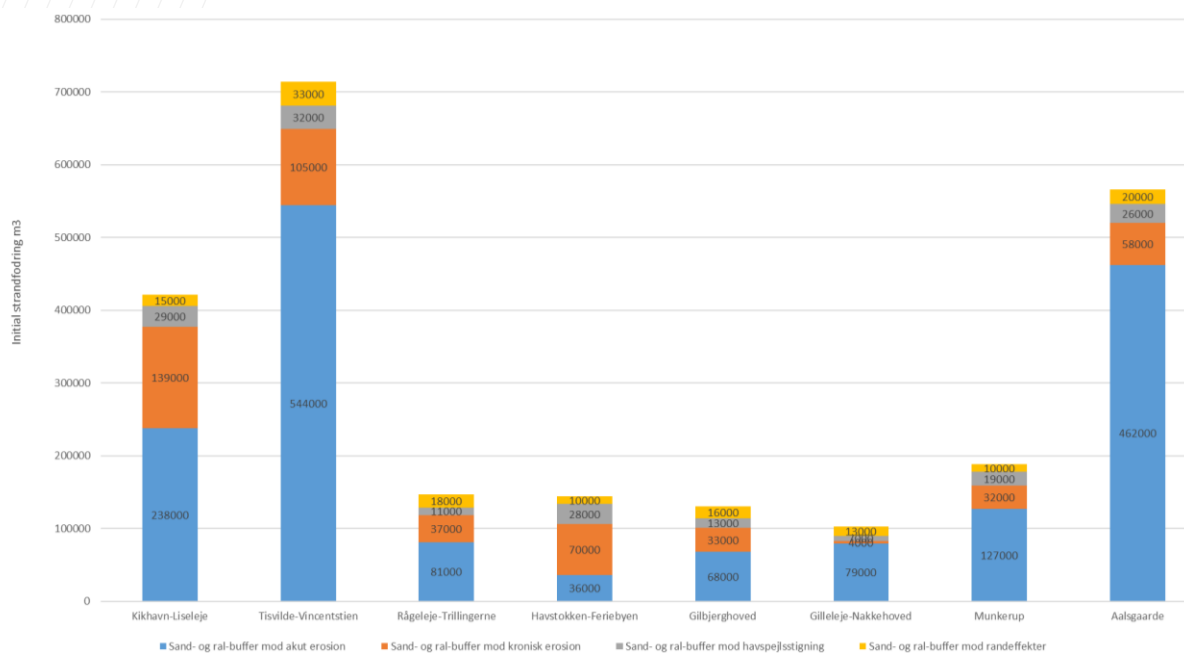
Figur 5.11 viser fordelingen af fodringsmængder, som initialstrandfodringen består af for hver enkelt fodringsstrækning. Figuren viser, at initialfodringen varierer mellem 100.000 og 700.000 m³.



Figur 5.9 Variation af initial strandfodringsmængder med sand og ral langs Nordkysten. Strandfodring op til +2,75m DVR90 vest for Gilleleje Havn og op til +2,25m DVR90 øst for Gilleleje Havn.

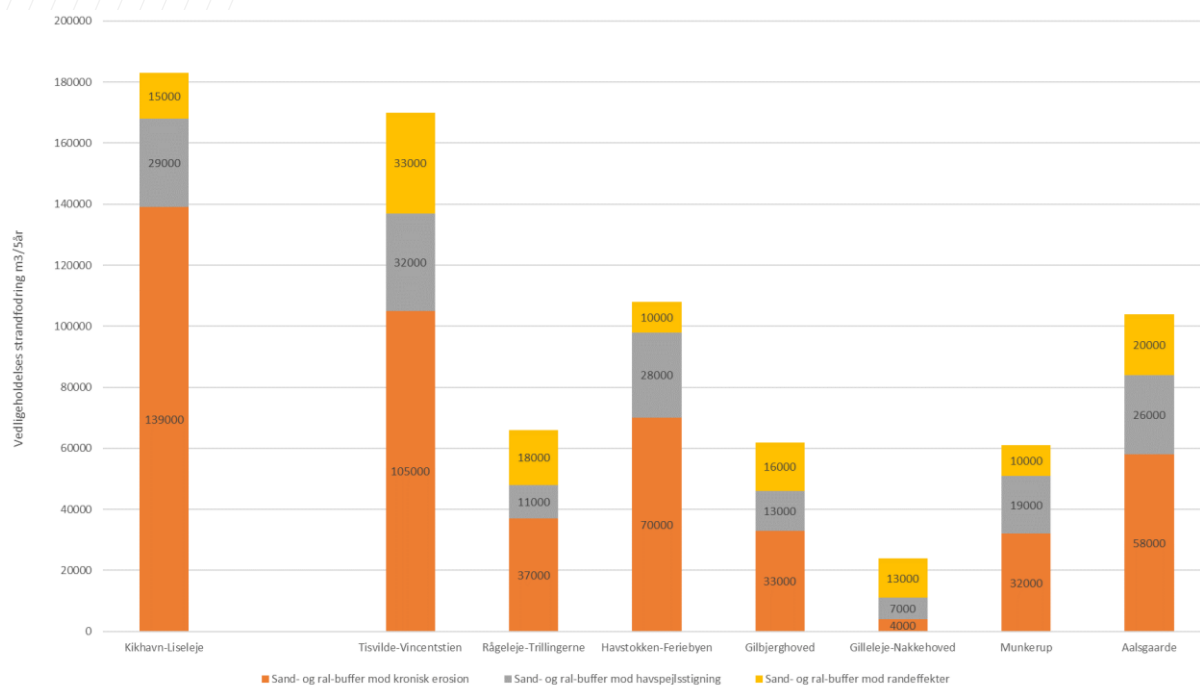


Figur 5.10 Variation af vedligeholdelsesstrandfodringsmængder med sand og ral langs Nordkysten. Strandfodring op til +2,75m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og op til +2,25m over daglig vande øst for Gilleleje Havn.



Figur 5.11 Initial strandfodningsmængder med sand og ral for hver fodringsstrækning. Strandfodring op til +2,75m DVR90 vest for Gilleleje Havn og op til +2,25m DVR90 øst for Gilleleje Havn.

Figur 5.12 viser de enkelte delmængder vedligeholdelsesfodringen består af for hver enkelt fodringsstrækning. Vedligeholdelsesfodringen varierer mellem 25.000 og 180.000 m³/5 år.



Figur 5.12 Vedligeholdelsesstrandfodningsmængder med sand og ral for hver fodringsstrækning. Strandfodring op til +2,75m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og op til +2,25m over daglig vande øst for Gilleleje Havn.

Tabel 5.1 viser den samlede opgørelse af initialfodring og vedligeholdelsesfodring med sand og ral for de enkelte fodringsstrækninger.

		Kikhavn-Liseleje	Tisvilde-Vincentstien	Rågeleje-Trillingerne	Havstokken-Feriebyen	Gilbjergshoved	Gilleleje-Nakkehoved	Munkerup	Aalsgaarde	I alt
Strandfodringsmængder										
Sand- og ral-buffer mod akut erosion	m ³	238.000	544.000	81.000	36.000	68.000	79.000	127.000	462.000	
Sand- og ral-buffer mod kronisk erosion	m ³ /5år	139.000	105.000	37.000	70.000	33.000	4.000	32.000	58.000	
Sand- og ral-buffer mod havspejlsstigning	m ³ /5år	29.000	32.000	11.000	28.000	13.000	7.000	19.000	26.000	
Sand- og ral-buffer mod randeffekter	m ³ /5år	15.000	33.000	18.000	10.000	16.000	13.000	10.000	20.000	
Initialfodring	m ³	421.000	714.000	147.000	144.000	130.000	103.000	188.000	566.000	2.400.000
Vedligeholdelsesfodring	m ³ /5år	183.000	170.000	66.000	108.000	62.000	24.000	61.000	104.000	780.000

Tabel 5.1 Initialfodring og vedligeholdelsesfodring med sand og ral for fodringsstrækninger

Samlet set er initialfodringen på 2.400.000 m³.

Der foretages herefter vedligeholdelsesfodring hvert 5. år med en samlet mængde på 780.000 m³/5år.

Sand og ral vil generelt vandre langs kysten på revlerne og i opskylszonen fra vest mod øst.

En del af sandet vil aflejres opstrøms for Gilleleje Havn og Hornbæk Havn samt opstrøms for molen ved Helsingør Lystbådehavn og en del passere forbi pynten ved Kronborg for slutteligt at blive aflejret på Disken. Herudover vil der aflejres en del sand ved de store bølgebrydere ved Liseleje og Tisvildeleje.

En del af sandet, der trækkes ud i kystprofilen, vil aflejres på Lappegrund, som det er foregået hidindtil.

Der har gennem tiderne været indvundet væsentlige sandmængder fra såvel Lappegrund som Disken. Disse aktiviteter er nu stoppet eller på vej til at blive det.

Det vurderes, at intet af sandet, hverken i anlægs- eller driftsfasen vil passere sejlrunden ned gennem Øresund og der vil derfor ikke aflejres sand i svensk territorial farvand.

5.3 Anlægsoverslag

5.3.1 Enhedspris

Kystdirektoratets nøgletal for strandfodring svinger mellem 50-53 Kr./m³, jf. Tabel 5.2. Dette nøgletal er inklusiv sejlads op til 10-20 Km og inklusiv usikkerhed på 20%. Uden usikkerhed er nøgletallet 40-43 Kr./m³, hvilket stemmer overens med erfaringerne fra en række andre strandfodringsprojekter i Danmark.

Tabel 5.2: Enhedspriser for strandfodring på Vestkysten, Kr./m³. Anlægsoverslag pr. år for vedligeholdelsesfodring på Vestkysten 2014-2018. Kilde: Kystdirektoratet (2013) Bilag til Fællesaftale 2014-2018, side 17.

Mængder og udgifter pr. år 2014-18	Strandfodring		Strandnær fodring		Revlefodring		Udgift
	m ³	kr./m ³	m ³	kr./m ³	m ³	kr./m ³	
<i>Hovedstrækning</i>							
Agger Tange	59.000	53,00	89.000	43,00			6,9
Harboøre Tange	64.000	52,00	96.000	43,00			7,5
Vrist - Ferring	88.000	52,00	132.000	43,00			10,3
Bovbjerg Klint							0
Trans - Thorsminde	148.000	52,00			222.000	32,00	14,8
Thorsminde – Husby Klitplantage*	85.000	0					0
Husby Klitplantage - Søndervig	79.000	53,00			119.000	32,00	8,0
Ndr. Holmsland Tange	40.000	50,00			61.000	31,00	3,9
Sdr. Holmsland Tange*	239.000	14,00/74,00			358.000	54,00	25,6
I alt 1.879.000 m³/år	802.000	-	317.000	-	760.000	-	77,0

* Oprensningssand fra indsejlingerne ved Thorsminde og Hvide Sande indgår i mængderne

I skitseprojektet i Nordkystens Fremtid er der benyttet et nøgletal på 50 Kr./m³ plus moms, der har medregnet usikkerhed og sejlaftand op til en vis afstand.

I nuværende anlægsoverslag er nøgletallet ændret til 45 Kr./m³ plus moms for fastmål, der er uden usikkerhed og med sejlads op til 15 Km.

Fast mål er betegnelsen for sandet, når det ligger på havbunden eller på stranden – altså i naturligt lejret form. Når sandet suges op i skibet og bringes til fodringsområdet, er det ikke naturligt lejret mere og fylder derfor omkring 10% mere – det kaldes skibsmål. Man afregner normalt i skibsmål selvom det beregnede fodringsbehov er i fast mål. Omregningen fra fast mål til sejlsmål bevirker, at enhedsprisen stiger til 49,5 kr./m³ (45 Kr. + 10%).

Dertil kan man lægge +/- 5 til 10% usikkerhed på det samlede budget for at imødekomme uforudsete udgifter. Det er ikke gjort i disse beregninger. Først efter budafgivelse fra entreprenøren, kendes den endelige enhedspris.

Omregningen fra fast mål til sejlsmål og 10% usikkerhed svarer til Kystdirektoratets 20% samlet usikkerhed på budgetterede sandmængder i fastmål.

Der er undersøgt 2 indvindingsområder, som tilsyneladende indeholder tilstrækkeligt store mængder egnet sand til strandfodring på Nordkysten og som derfor benyttes i anlægsoverslaget, se Figur 5.13.

Her er indvindingsområderne delt i et vestligt Område A (Prøvelokalitet NA) og et Område Øst (Prøvelokalitet NE), se Figur 5.13.

Sejlaftanden varierer efter placering af indvindingsområderne i forhold til strandfodringsområderne. Som det fremgår af Figur 5.13 er der generelt længere sejlaftand til den østlige del af Sjællands nordkyst end til den vestlige del grundet placeringen af de 2 indvindingsområder.

Sejlaftandene er opdelt i en kystnær del og en sejlads-del for dybder over 10 m. Den kystnære del håndteres ofte ved hjælp af en flydeledning, hvori sandet bliver pumpet ind til stranden. Mange steder langs Nordkysten skal man langt ud fra kysten, for at finde dybder over 10 m, hvilket betyder at flydeledningen flere steder skal være relativt lang.

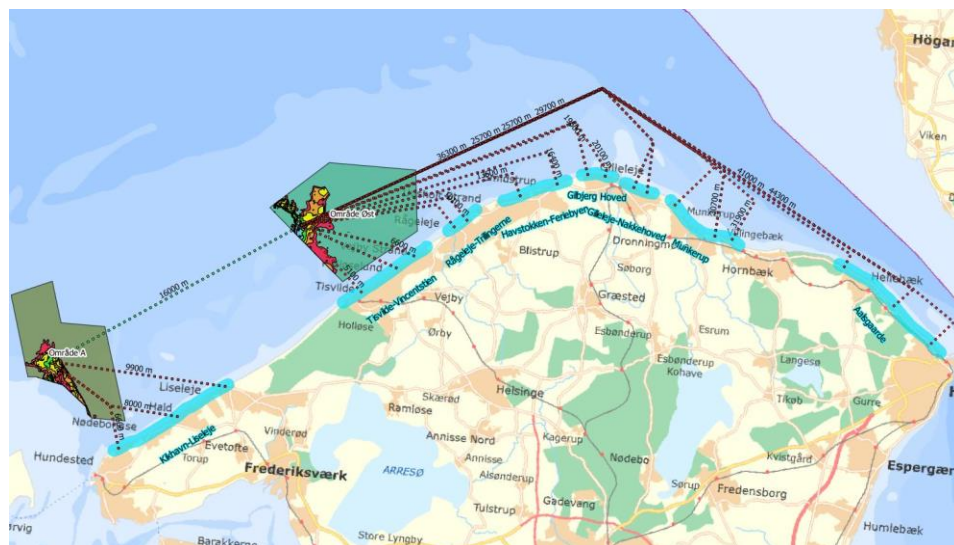
Større sandsugerskibe – kapacitet 6.000 m^3 – har en fuldlasten dybgang på 7 m og vil anduve på vanddybder på 8-10 m. Som det fremgår af Figur 5.13, udgør Gilleleje Flak en lavtliggende forhindring for sejlads med større skibe, så sejlruterne er lagt lige nord for kompasafmærkningsbøjen nord for dette flak.

Da sejlafstandene er så store for særligt den østligste del af fodringsområdet, kan det sandsynligvis ikke betale sig at benytte mindre sandsugningsfartøjer, der derved har mindre dybgang, men også mindre lastekapacitet og derfor skal sejle flere gange.

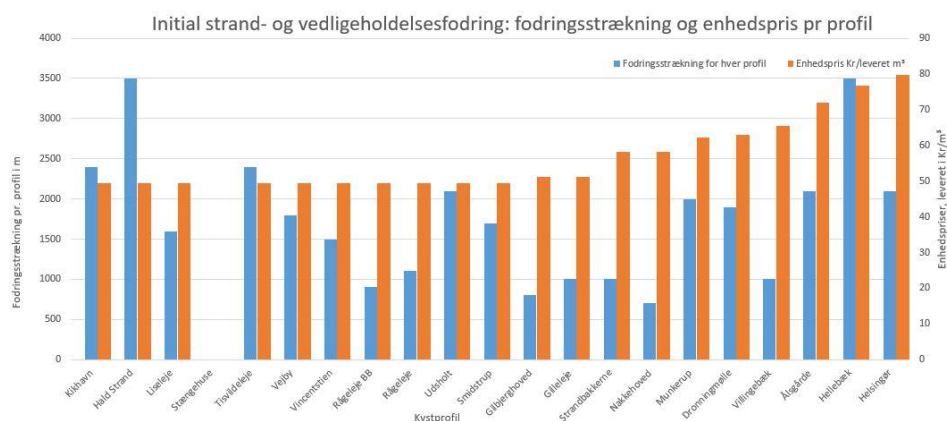
Sejlafstandene er estimeret til at variere fra 5 Km til 45 Km. For sejlafstande over 15 Km beregnes hver kubikmeter sand i sejlmaal at koste 1 Kr./Km ekstra.

Derved stiger enhedsprisen fra 49,5 kr./ m^3 alene grundet den ekstra sejlafstand op til 80 kr./ m^3 i den østligste del af projektområdet, se Figur 5.13, Figur 5.14 og Figur 5.15. De ekstra sejlomkostninger udgør omkring 13% af det samlede budget.

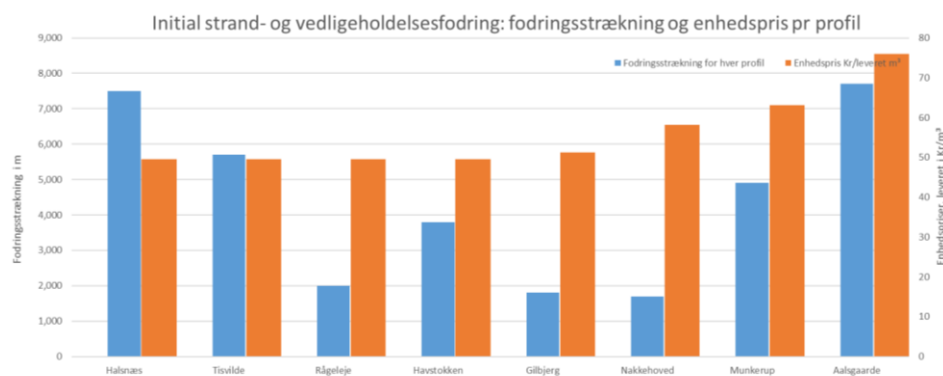
Figur 5.13 Indvindingsområders placering med sejlafstande (stiplede linjer med afstand i m) til de analyserede kystprofiler i fodringsområderne (turkis markering)



Figur 5.14 Fodringsstrækningslængder for hvert profil til venstre og enhedspriser med sejl-tillæg for hvert profil til højre.



Figur 5.15 Fodringsstrækningslængder til venstre og enhedspriser med sejltillæg for hver fodringsstrækning til højre.



5.3.2 Samlet anlægsoverslag

Den samlede pris for initialstrandfodringen vurderes ud fra analysen at være på 137,5 million kr. plus moms.

Den samlede pris for vedligeholdelsesstrandfodringen vurderes ud fra analysen at være på 42,4 million kr. plus moms pr. 5 år.

Tabel 5.3 viser opgørelse af anlægsoverslaget samlet set og for de enkelte fodringsstrækninger, se desuden (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Cost-effectiveness analyse af kystbeskyttelse på Nordkysten, 2019).

Fodringsstrækning	Kikhavn-Liseleje	Tisvilde-Vincentstien	Rågeleje-Trillingerne	Havstikken-Feriebyen	Gilleleje	Gilleleje-Nakkehoved	Munkerup	Aalsgård	Samlet pris
Længde af fodringsstrækning, m	7500	5700	2000	3800	1800	1700	4900	7700	
Initialfodring, kr.	20.900.000	35.400.000	7.300.000	7.100.000	6.700.000	6.000.000	12.100.000	42.200.000	137.500.000
Vedligeholdelsesfodring, kr.	9.100.000	8.400.000	3.300.000	5.400.000	3.200.000	1.400.000	3.900.000	7.900.000	42.400.000

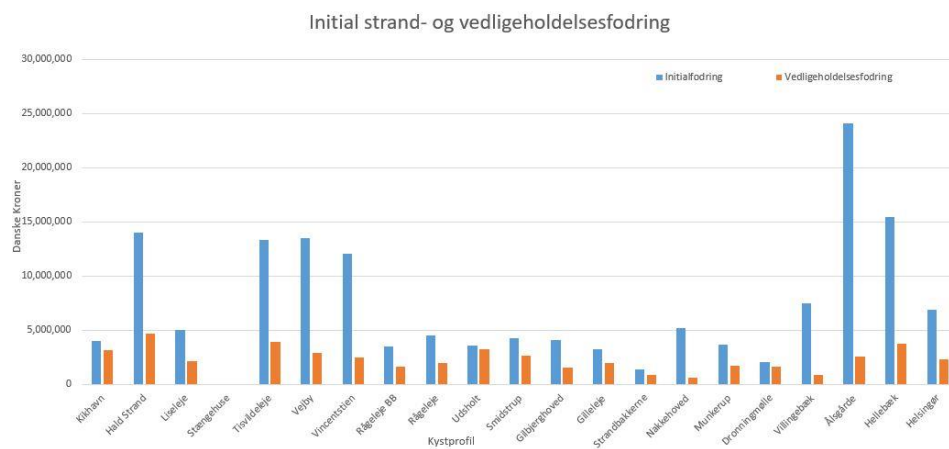
Tabel 5.3 Anlægsoverslag for initialfodring og vedligeholdelsesfodring med sand og ral for fodringsstrækninger

Anlægsoverslagene er præsenteret uden usikkerhed og eksklusiv moms.

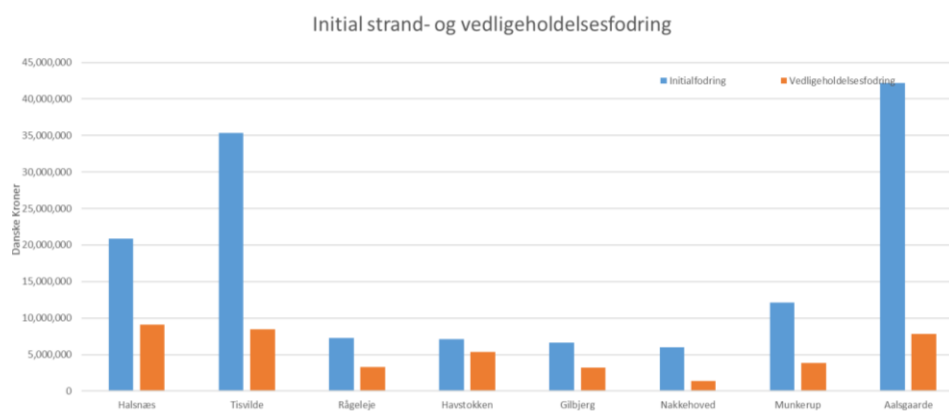
For det samlede anlægsoverslag er der stor variation mellem de enkelte kystprofiler, se Figur 5.16. Der er også stor variation i omkostningerne mellem de enkelte fodringsstrækninger, se Figur 5.17. Generelt er Ålsgårde dyrest at fodre, mens Gilleleje-Nakkehoved er billigst.

Andelen af sejltillæg stiger mod øst, se Figur 5.18 og Figur 5.19.

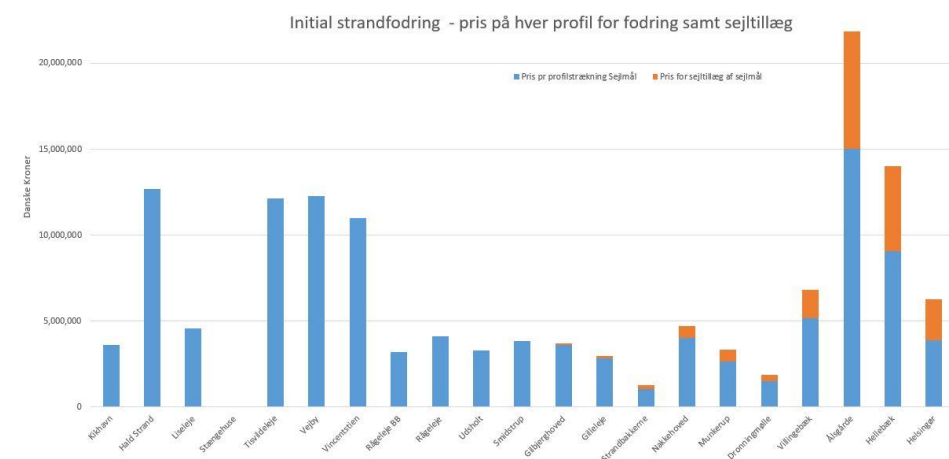
Figur 5.16 Samlede estimerede anlægsoverslag fordelt på profilstrækninger for initial- og vedligeholdelsesfodring hvert 5. år. Priser er vist eksklusiv moms.



Figur 5.17 Samlede estimerede anlægsoverslag fordelt på fodringsstrækninger for initial- og vedligeholdelsesfodring hvert 5. år. Priser er vist eksklusiv moms.



Figur 5.18 Samlede estimerede anlægsoverslag fordelt på profilstrækninger for initialfodring med sejltillæg. Priser er vist eksklusiv moms.



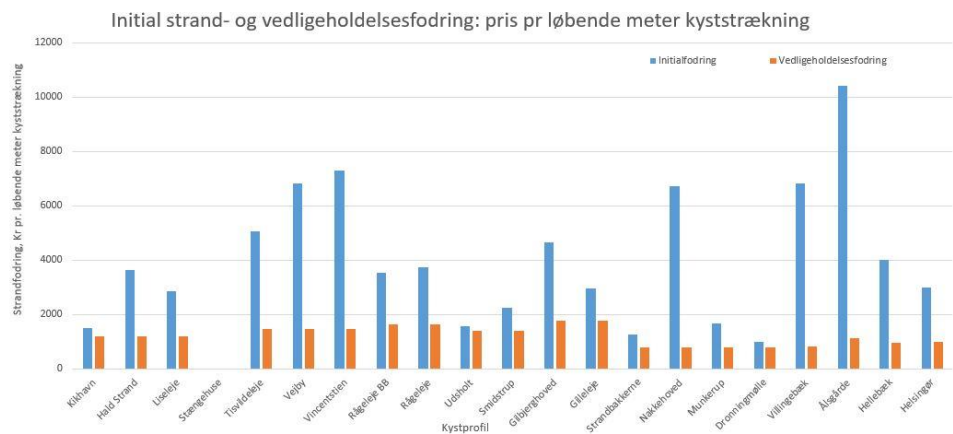
Figur 5.19 Samlede estimerede anlægsoverslag fordelt på fodringsstrækninger for initialfodring med sejltillæg. Priser er vist eksklusiv moms.



Figur 5.20 og Tabel 5.4 viser variationen af fodringsprisen per løbende meter for hvert af de beregnede kystprofiler.

Figur 5.21 og Tabel 5.5 viser variationen af fodringsprisen per løbende meter for hvert af de beregnede fodringsstrækninger.

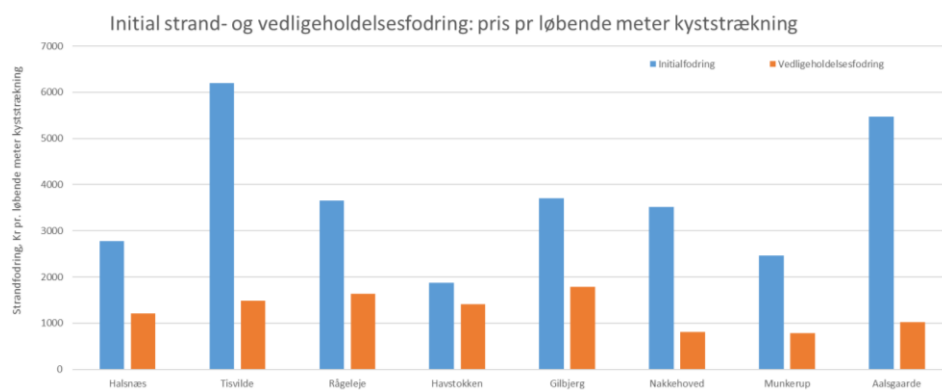
Figur 5.20 Samlede estimerede anlægsoverslag pr. løbende meter kystlinje fordelt på profilstrækninger for initial- og vedligeholdelsesfodring hvert 5. år. Priser er vist eksklusiv moms.



Tabel 5.4: Enhedspriser for initialfodring og vedligeholdelsesfodring pr. løbende meter kyst for hvert kystprofil.

Fodringsprofil	Enhedspris, Initialfodring [kr./lbm.]	Enhedspris, Vedligeholdelsesfodring [kr./lbm./5år]
Kikhavn	1.504	1.209
Hald Strand	3.630	1.209
Liseleje	2.850	1.209
Stængehuse	0	0
Tisvildeleje	5.053	1.481
Vejby	6.809	1.481
Vincentstien	7.314	1.481
Rågeleje BB	3.547	1.639
Rågeleje	3.734	1.639
Udsholt	1.569	1.411
Smidstrup	2.259	1.411
Gilbjerghoved	4.640	1.779
Gilleleje	2.953	1.783
Strandbakkerne	1.254	805
Nakkehoved	6.738	803
Munkerup	1.676	777
Dronningmølle	996	787
Villingebæk	6.834	816
Ålsgårde	10.413	1.126
Hellebæk	4.005	966
Helsingør	2.995	1.006

Figur 5.21 Samlede estimerede anlægsoverslag pr. løbende meter kystlinje fordelt på fodringsstrækninger for initial- og vedligeholdelsesfodring hvert 5. år. Priser er vist eksklusiv moms.



Tabel 5.5: Enhedspriser for initialfodring og vedligeholdelsesfodring pr. løbende meter kyst fordelt på hver fodringsstrækning.

Fodringsstrækning	Enhedspris, Initialfodring [kr./lbm.]	Enhedspris, Vedligeholdelsesfodring [kr./lbm./5år]
Halsnæs	2.783	1.209
Tisvilde	6.202	1.481
Rågeleje	3.650	1.639
Havstokken	1.878	1.411
Gilbjerg	3.703	1.782
Nakkehoved	3.512	804
Munkerup	2.465	789
Aalsgaarde	5.477	1.020

5.4 Risici

Der kan være delstrækninger, som eroderer hurtigere tilbage og som derfor skal have en større del af vedligeholdelsesfodringerne. På de mest udsatte strækninger kan det blive nødvendigt, at grundejerne forstærker eller anlægger nye bølgebrydere, høfder, rev eller flak for at den målsatte minimumshøjde af stranden før storm kan opretholdes.

Strandfodringen vil kunne øge tilsandingen af havnene langs Nordkysten, herunder specielt Gilleleje Havn og Hornbæk Havn.

Strandfodringerne vil kunne medføre midlertidigt reduceret afstrømning fra udløbene langs Nordkysten i og med, at højden på stranden øges.

Sandflugt minimeres ved anvendelse af forholdsvis groft sand. Der kan evt. plantes marehalm på bagstranden, hvis sandfygning ønskes reduceret.

Tilstrækkelige fodringsmængder i den specificerede gradering og materialesammensætning er ikke tilstede i de efterforskede råstofressourceområder.

Der er en variation i kystprofilerne langs kysten, som kan betyde at de estimerede mængder må opdateres i detailprojektet.

6 Referencer

- CIRIA, CUR, CETMEF. (2007 (reprinted 2012)). *The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)*. C683, CIRIA, London.
- COWI. (2016). *Nordkystens Fremtid. Kystteknisk Skitseprojekt*.
- DHI. (2018). *Nordkystens Fremtid. Forundersøgelser, Bathymetrisk opmåling og bestemmelse af sandlag*.
- DHI. (2018). *Nordkystens Fremtid. Forundersøgelser, Sedimentprøver fra havbunden*.
- DHI. (2018). *Nordkystens Fremtid. Myndighedsprojekt, Numerisk modellering*.
- DHI, Hasløv & Kjærsgaard. (2013). *Genanvendelse af havnesand fra Gilleleje og Hornbæk Havne*. Gribskov Kommune: Helsingør Kommune.
- Drønen, N., Sørensen, P., Deigaard, R., Kristensen, S., & Ries, O. (2017). A model based study of sand nourishment decay. *Coastal Dynamics 2017*. Helsingør.
- EurOtop. (2016). *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures*.
- Jensen, O. J. (1984). *A Monograph on Rubble Mound Breakwaters*.
- Kystdirektoratet. (2001). *Lave Bølgebrydere*.
- NIRAS. (2018). *Nordkystens Fremtid. Forundersøgelser, Bathymetrisk survey på lavt vand*.
- NIRAS. (2018). *Nordkystens Fremtid. Forundersøgelser, Geologisk og getoteknisk desk study*.
- NIRAS. (2018). *Nordkystens Fremtid. Forundersøgelser, Sedimentprøver på land*.
- NIRAS. (2018). *Nordkystens Fremtid. Forundersøgelser, Tilstandsvurdering af kystbeskyttelse, Hundested - Helsingør*.
- NIRAS. (2018). *Nordkystens Fremtid. Forundersøgelser, Topografisk survey*.
- NIRAS. (2019). *Nordkystens Fremtid. Cost-effectiveness analyse af kystbeskyttelse på Nordkysten*.
- NIRAS. (2019). *Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt*.