



Nordkystens Fremtid

Myndighedsprojekt for
strandfodring

GRIBSKOV KOMMUNE

30. OKTOBER 2020

Indhold

1	Indledning	4
2	Konklusion	5
3	Udfordringer med kystbeskyttelsen på Nordkysten	9
4	Kystteknisk udgangspunkt	10
4.1	Vandstand	10
4.2	Erosionspres	12
4.2.1	Kronisk erosion	12
4.2.2	Akut erosion	14
4.2.3	Effekten af eksisterende hård kystbeskyttelse	15
4.3	Kystteknisk vurdering	19
5	Målsætning	20
5.1	Begrundelser for målsætning	20
5.1.1	Kysttilbagerykning	20
5.1.2	Dimensionering	21
5.1.3	Tilstandsvurdering	22
5.1.4	Rekreativ anvendelse	23
6	Anlægsprojektet Nordkystens Fremtid	24
6.1	Strandfodringsmateriale	25
6.2	Fodringsstrategi	27
6.2.1	Initial fodring	27
6.2.2	Vedligeholdelsesfodring	30
6.2.2.1	Kompensation for kronisk erosion og randeffekter	31
6.2.2.2	Kompensation for havspejlsstigninger	32
6.3	Visualiseringer	32
6.4	Sand- og ralfodringsmængder	36
6.5	Anlægsoverslag	44
6.5.1	Enhedspris for sand	44
6.5.2	Enhedspris for ral	46
6.5.3	Samlet anlægsoverslag for sandfodring og ralfodring	46

6.6	Risici	50
7	Referencer	51

Projekt nr.: 228920
Dokument nr.: 1230753440
Version 2

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

1 Indledning

Halsnæs Kommune, Gribskov Kommune og Helsingør Kommune 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, 2020).

Formålet med det kysttekniske projekt er, at 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, 2020).

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 med sand og ral til +2,5m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og +2,0m øst for Gilleleje Havn langs skråningsbeskyttelserne.

Langs profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk udføres initialfodring og vedligeholdelsesfodring udelukkende med ral, da strækningerne er beliggende ved markante pynter på kysten, hvor gradienten i langstransporten og dermed den kroniske erosion er størst. Desuden reducerer ralfodringerne den potentielle skadevirkning på Natura 2000 område Nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten og herunder på udpegningsgrundlaget stenrev. Højden af ralstrandene opbygges til +1,75m over dagligt vande.

Førstegangfodringen, også kaldet initialfodringen, forventes at blive udført i 2022 og vedligeholdelsesfodringer cirka hvert 5. år herefter.

Halsnæs Kommune ønsker at udføre strandfodringen i Halsnæs Kommune i perioden fra oktober 2022 til april 2023 med sand fra det vestlige indvindingsområde.

Helsingør Kommune og Gribskov Kommune forventer at udføre strandfodringen i Gribskov Kommune og Helsingør Kommune i perioden fra oktober 2023 til udgangen af 2024 med sand fra det østlige indvindingsområde.

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 sand- og ralmængder 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 udarbejdet miljøkonsekvensvurdering for strandfodringsprojektet (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Miljøkonsekvensvurdering, 2020).

Strandfodringerne udføres som sandfodring og ralfodring med udgangspunkt i den naturlige sedimentsammensætning på den enkelte strækning og fokuserer på at reducere den potentielle skadevirkning på Natura 2000 område Nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten og herunder på udpegningsgrundlagene stenrev og sandbanke.

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

2 Konklusion

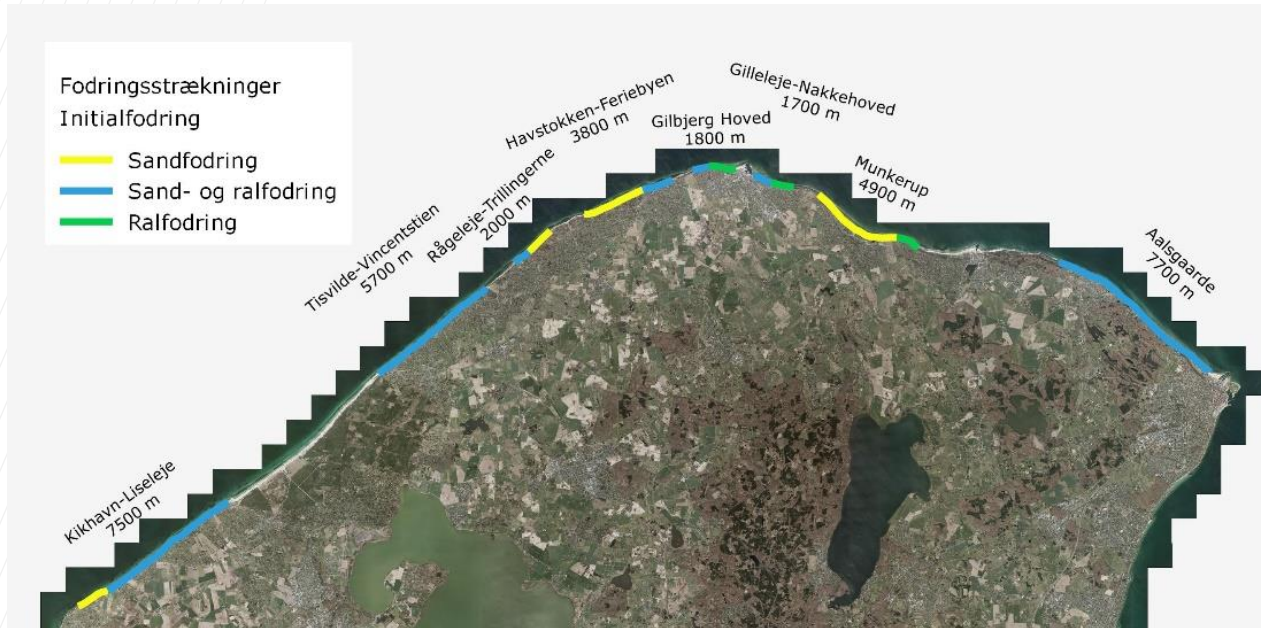
Det kysttekniske projekt og myndighedsprojektet viser, at strandfodring er nødvendig ud for bebyggede grunde langs Nordkysten, da de har et kystbeskyttelsesbehov. Strandfodringerne reducerer bølgepåvirkningen af skråningsbeskyttelser og skråninger bagved.

Der ansøges om at strandfodre med sand og eller ral langs 8 længere strækninger på Nordkysten med en samlet længde på 35 km ud af 57 km, se Figur 2.1 og Figur 2.2. Der fodres ikke ud for større naturstrækninger, da der ikke er behov for kystbeskyttelse.

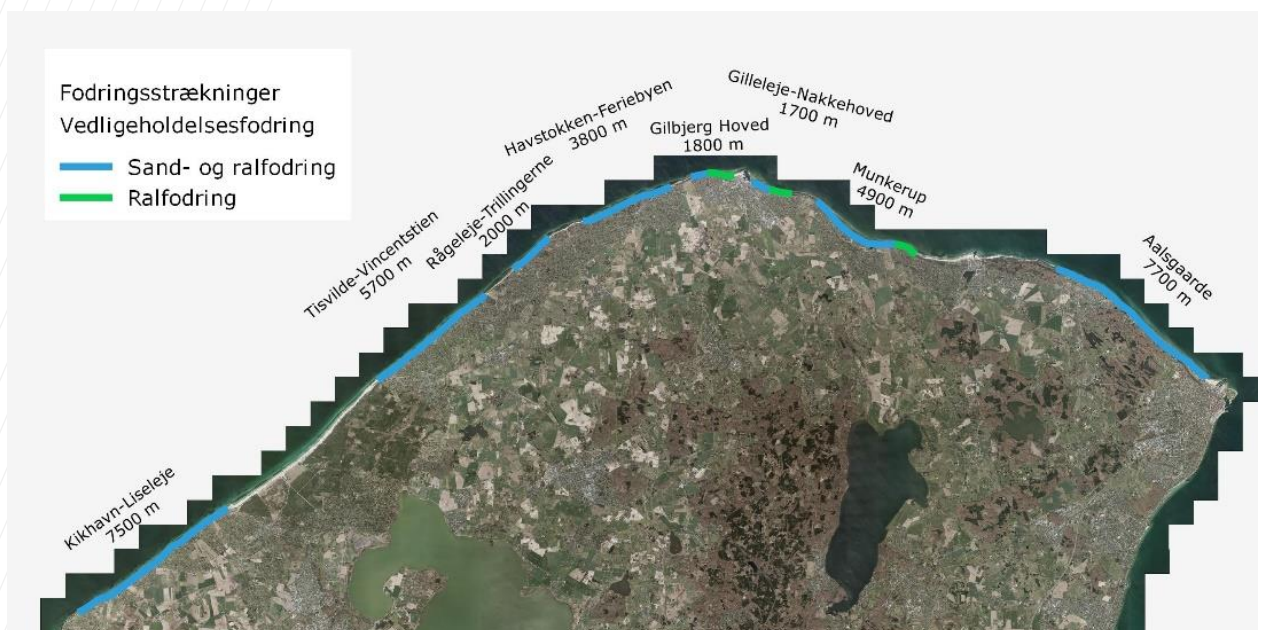
Det anbefales, at strandfodringerne udføres med en kombination af sand ($0,35 \text{ mm} < d_{50} < 0,6 \text{ mm}$) og ral (20-150 mm).

Strandfodring med sand og ral udlægges foran skråningsbeskyttelser og skråninger op til +2,5m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og +2,0m over daglig vande øst for Gilleleje Havn i forbindelse med initialfodringerne og de løbende vedligeholdelsesfodringer hvert 5. år.

Langs profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk udføres initialfodring og vedligeholdelsesfodring udelukkende med ral, da strækningerne er beliggende ved markante pynter på kysten, hvor gradienten i langtransporten og dermed den kroniske erosion er størst. Ralfodringerne udføres desuden for, at reducere påvirkningen af kystnære stenrev indenfor Natura 2000 område Nr. 195. Højden af ralstrandene opbygges til +1,75m over dagligt vande.



Figur 2.1 Initialfodring



Figur 2.2 Vedligeholdelsesfodring

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

- Den overordnede målsætning for strandfodring i forbindelse med Nordkystens Fremtid er, at der langs udpegede fodringsstrækninger generelt er en beskyttelse foran skrænter og skråningsbeskyttelser svarende til minimum +2,0 m sandstrand i forhold til middelvandstanden før en dimensionsgivende stormhændelse, eller tilsvarende beskyttelsesniveau med ral svarende til minimum +1,2 m.
- Opbygning af sand- og ralstrand sker ved strandfodring med sand og eller ral, der tilpasses hver enkelt fodringsstrækning således, at der ikke vil ske forringelse af den nuværende strandkvalitet.
- Strandens højde udbygges med sand og eller ral i takt med havspejlsstigningen, hvorved beskyttelsesniveauet opretholdes.
- Strandfodringerne skal stoppe tilbagerykning af stranden på fodringsstrækningerne ud for den bebyggede del af Nordkysten.
- Strandfodringerne skaber en gennemsnitlig strandbredde på 10-30 meter, som sikrer passage langs kysten.
- Strandfodringerne skal sikre en langsigtet og helhedsorienteret beskyttelse af Nordkysten.
- Strandfodringerne tilpasses for at reducere den potentielle skadevirkning på Natura 2000 område Nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten og herunder på udpegingsgrundlagene stenrev og sandbanke.

Strandfodring med sand og ral består af en initialfodring og efterfølgende vedligeholdelsesfodringer hvert 5. år.

- Initialfodring udføres med 5m³/m ral til minimum +1,2m for at sikre mod akut erosion de steder, der kun er sandstrand i dag.
- Sandfodring udføres til +1,5m foran skråningsbeskyttelserne mod akut erosion og for at skabe passage langs kysten.
- Herover udlægges sand til vedligeholdelse op til +2,5m vest for Gilleleje og +2,0m øst for Gilleleje.
- Sandstranden forudsættes at have en hældning på 1 på 15.
- Højden af ralstrandene øges til +1,5m de steder, der kun fodres med ral. Herover udlægges ral til vedligeholdelse op til +1,75m over dagligt vande.
- Ralstranden forudsættes at have en hældning på 1 på 10.
- Vedligeholdelsesfodring udføres med sand mod kronisk erosion og havspejlsstigning og randeffekter langs alle strækninger undtagen profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk, hvor initialfodring og vedligeholdelsesfodring udelukkende består af ral.
- Vedligeholdelsesfodring udføres med ral over inderste 10 m af stranden svarende til havspejlsstigningen langs hele kysten.

Den foreslåede strandfodring medfører, at der skal foretages en samlet initialfodring med cirka 1.500.000 m³ sand og cirka 150.000 m³ ral.

Det samlede anlægsoverslag for initialstrandfodringen forventes at være i størrelsesorden 135 mio. kr. plus moms.

Herefter skal der løbende vedligeholdelsesfodres med cirka 670.000 m³ sand og cirka 17.000 m³ ral cirka hvert 5. år.

Det samlede anlægsoverslag for vedligeholdelsesfodringerne forventes at være i størrelsesorden 42 mio. kr. plus moms cirka hvert 5. år.

Der er i de nævnte anlægsoverslag 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.

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 kystskrånningen, 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 kystskrånningerne. 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 kyst, 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. Strandene 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.

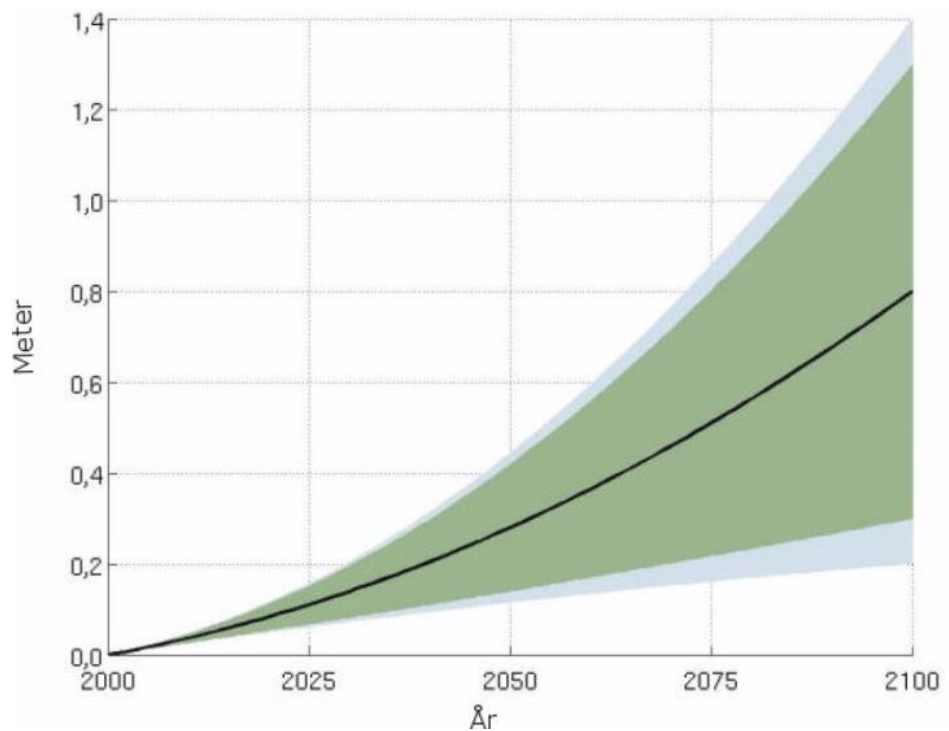
4 Kystteknisk grundlag

4.1 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 4.1. 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.

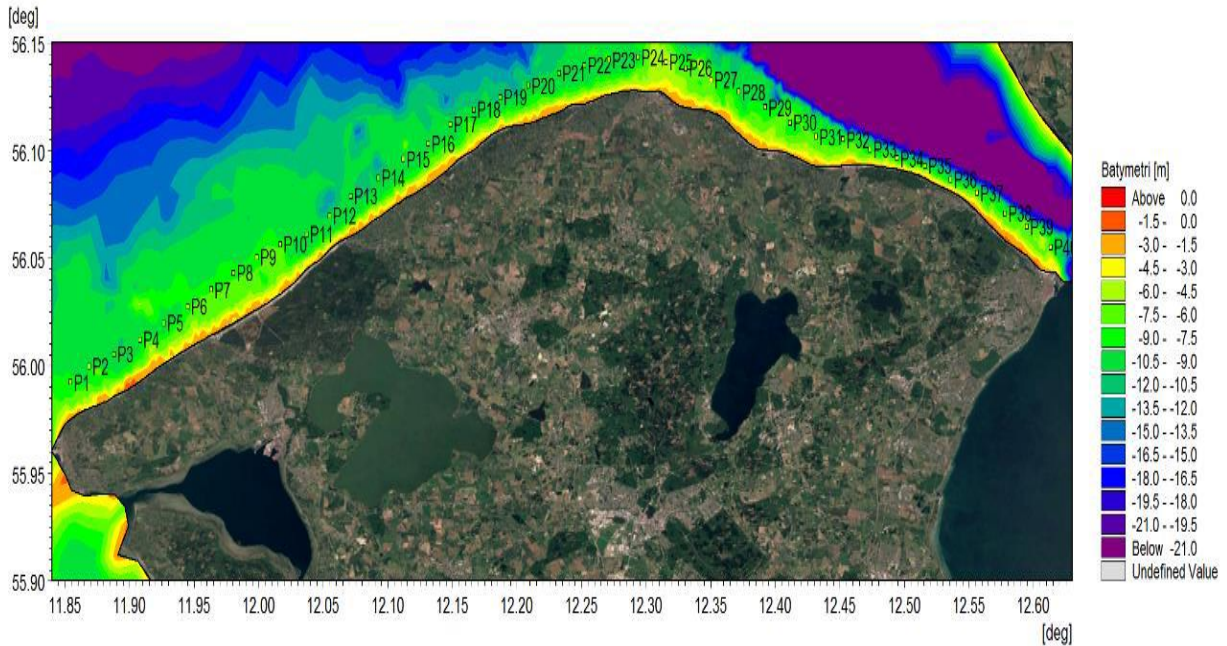


Figur 4.1 DMI's bud på havvandstandsstigninger mellem år 2000 – 2100, når der ses bort fra landhævning. Den sorte kurve viser middelværdien, mens det grønne og blå areal indikerer usikkerheden.

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.

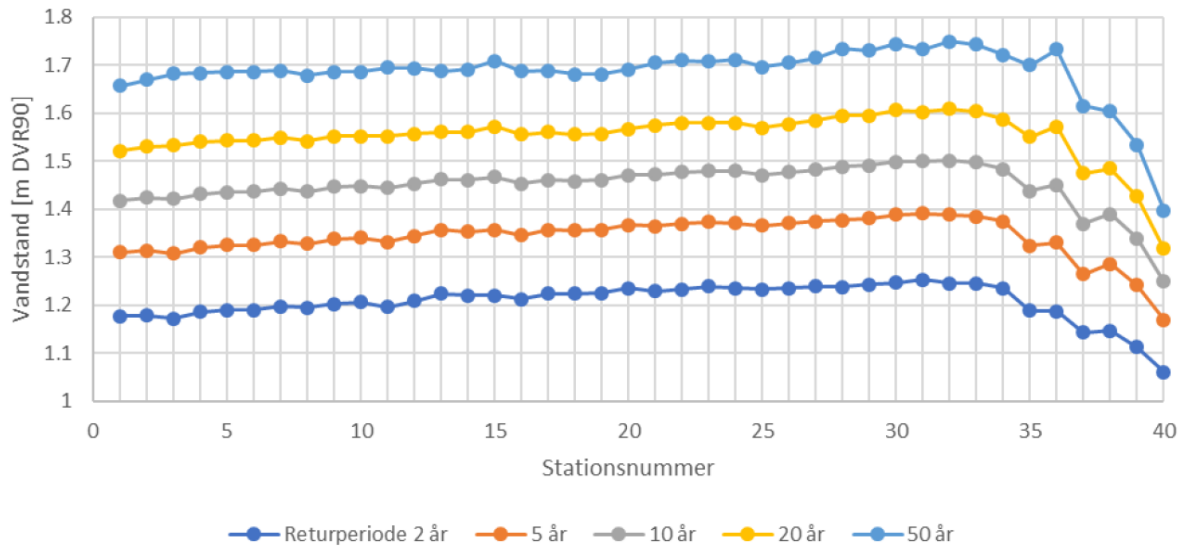
DHI har modelleret 20 års vandstande langs Nordkysten, som er benyttet til at udarbejde lokale ekstremvandstandsstatistikker, som efterfølgende er korrigeret i forhold til den mere præcise statistik fra Hornbæk Havn.

Figur 4.3 viser variationen i vandstandsstatistikken langs Nordkysten fra Hundested til Helsingør, (DHI, 2018). Ekstremvandstandene er vist med forskellige returperioder.



Figur 4.2: Placering af kystprofiler (P1 – P40) langs Nordkysten fra Hundested (tv.) til Helsingør (th.)

Nutids design vandstand langs Nordkysten



Figur 4.3: 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 i dag 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 i dag 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.

4.2 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.

4.2.1 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.

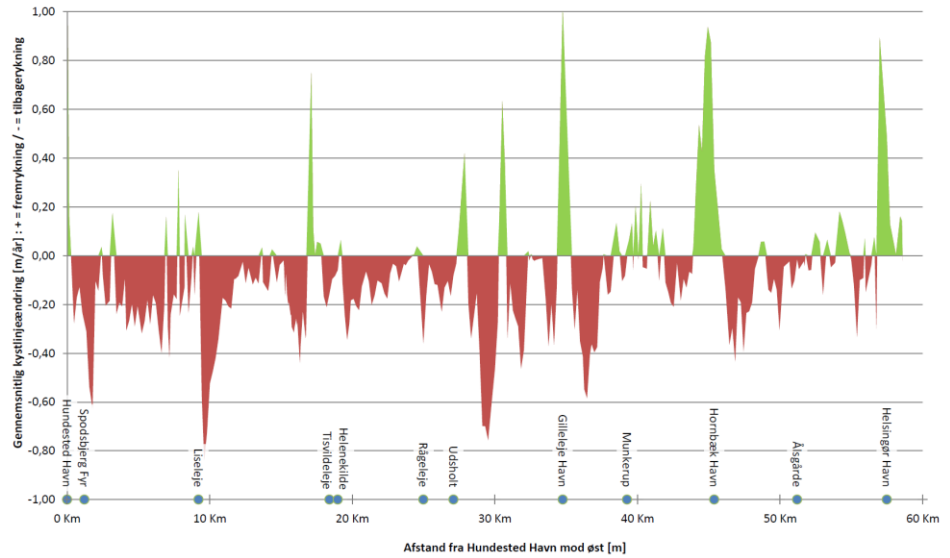
Figur 4.4 viser den gennemsnitlige kroniske erosion mellem 1897 og 2003 langs Nordkysten.

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

Kystlinjeændring mellem år 1897 og 2003 på Nordkysten



Figur 4.4 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) på nær vest for havnene og vest for større kystkonstruktioner (bølgebrydere i Liseleje og Tisvildeleje) (grøn)

Erosionsrater



Figur 4.5 Modelleret kronisk erosion i hvert af fodringsområderne for eksisterende kyst. Erosion svarer til tab af sand.

Den 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 langstransporten stiger. Fodrings-

området 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 cirka 2,5m ved Ålsgårde og cirka 4,5m 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 Havn og Hornbæk Havn og molen ved 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 4.6 Stejl og høj skråning og lav skråningsbeskyttelse ved Salgårdshøj. Der er ingen strand foran skråningsbeskyttelsen.

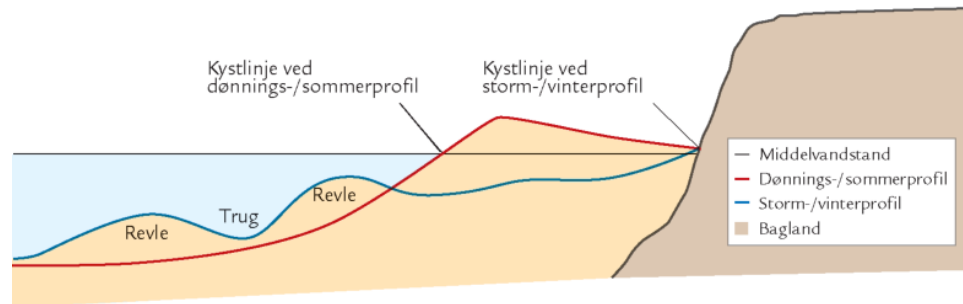


4.2.2 Akut erosion

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 sandet føres længere ud i kystprofilen og langs kysten, se Figur 4.7.

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 4.7 Principskitse af akut erosion



Figur 4.8 Akut erosion af skrånningen ved Havstokken, Udsholt, Gribskov Kommune, under stormen Bodil 06.12.2013



Ral transporteres typisk landværts under storm og der vil derfor ofte ikke forekomme nævneværdig akut erosion af ralstrande foran skråningsbeskyttelserne.

4.2.3 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, 2020).

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.

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, 2020).

Beregningerne af konstruktionerne tager højde for fremtidig kronisk og akut erosion samt havspejlsstigning.

Den akutte erosion beregnes med udgangspunkt i den fastlagte højde af stranden foran konstruktionerne før en storm.

Den akutte erosion er beregnet for sand med numerisk modellering for en række forskellige højder af stranden foran konstruktionerne (DHI, 2018).

Modelresultaterne er benyttet til at fastlægge den endelige minimumshøjde af stranden foran kystbeskyttelseskonstruktionerne samt den dimensionsgivende bølgehøjde og designvandstand, se Afsnit 3.2.5.4.

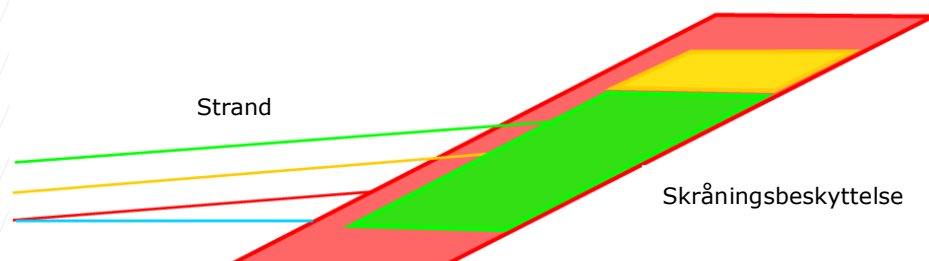
Den akutte erosion er ikke inkluderet i beregninger i tilfælde af, at der er betydelige mængder ral på stranden.

For eksisterende forhold antages, at der er ral på stranden foran skråningsbeskyttelserne sydvest for pynten ved Kikhavn og nordøst for Heatherhill til Helsingør. Desuden antages, at der er sand på stranden mellem pynten ved Kikhavn og Heatherhill.

Tilstandsvurderingen visualiseres med følgende farveskala, se også Figur 4.9:

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

Figur 4.9 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 4.1. 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 4.10 viser, at 80 % af de vurderede skråningsbeskyttelser målt ud fra længde er vurderet til Rød tilstand med eksisterende terrænforhold. 15 % vurderes med Gul tilstand og kun 5 % til Grøn tilstand i dag.

Allerede i år 2045 vil 95 % af alle skråningsbeskyttelser ikke opfylde dimensioneringskriterierne og vurderes uden strandfodring, at skulle genopbygges med større dæksten for at kunne modstå den øgede bølgepåvirkning.

Tabel 4.1: Samlet længde af registreret konstruktioner, hvor der er udført tilstandsvurdering.

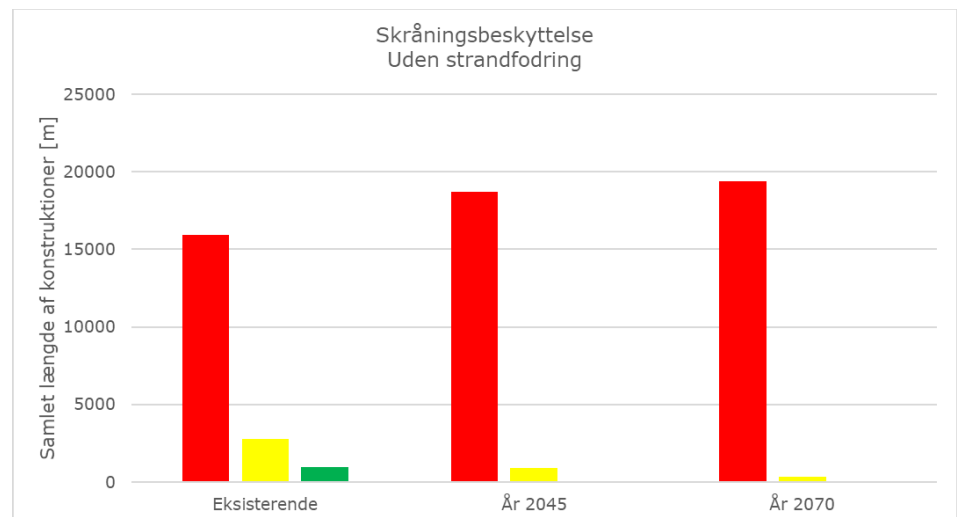
	Total længde	Længde med tilstandsvurdering
	[m]	[m]
Skråningsbeskyttelse	22.930	19.700
Højvandsmure	4.630	20
Bølgebrydere	5.860	3.600
T-høfder	240	150
Høfder	4.060	3.100
Total	38.330	26.570

Figur 4.10 Tilstandsvurdering af skråningsbeskyttelser, hvis der ikke udføres strandfodring.

Grøn: Vurderet at opfylde forudsætningerne

Gul: Vurderet at opfylde forudsætningerne efter forøgelse.

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.

87 % af de vurderede bølgebrydere vurderes ikke at opfylde dimensioneringsforudsætningerne i dag, hvilket primært skyldes utilstrækkelige stenstørrelser, se Figur 4.11. 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 4.12.

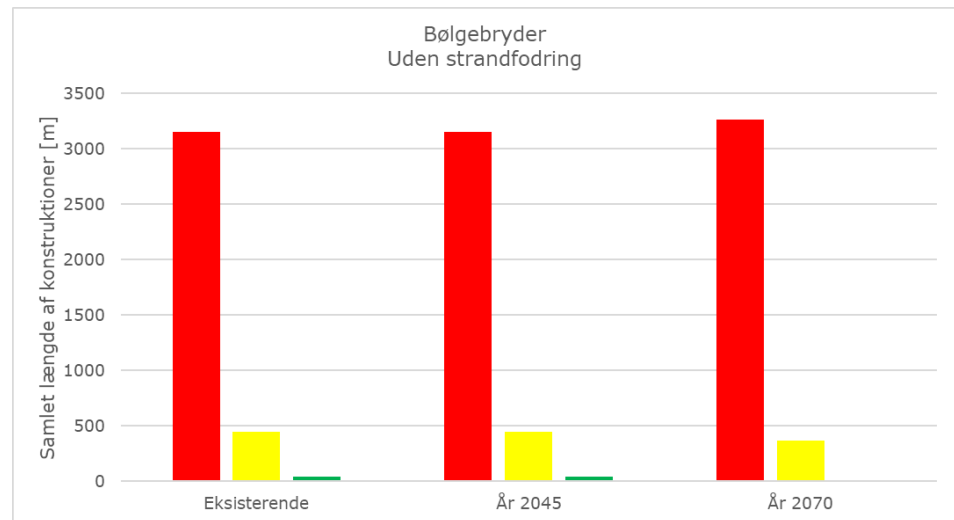
Eksisterende hård kystbeskyttelse langs Nordkysten er generelt hverken tilstrækkelig til at beskytte mod en stormflod med en returperiode på 50 år i dag eller om 50 år, hvilket er det anbefalede dimensioneringskriterie for hård kystbeskyttelse.

Figur 4.11 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.

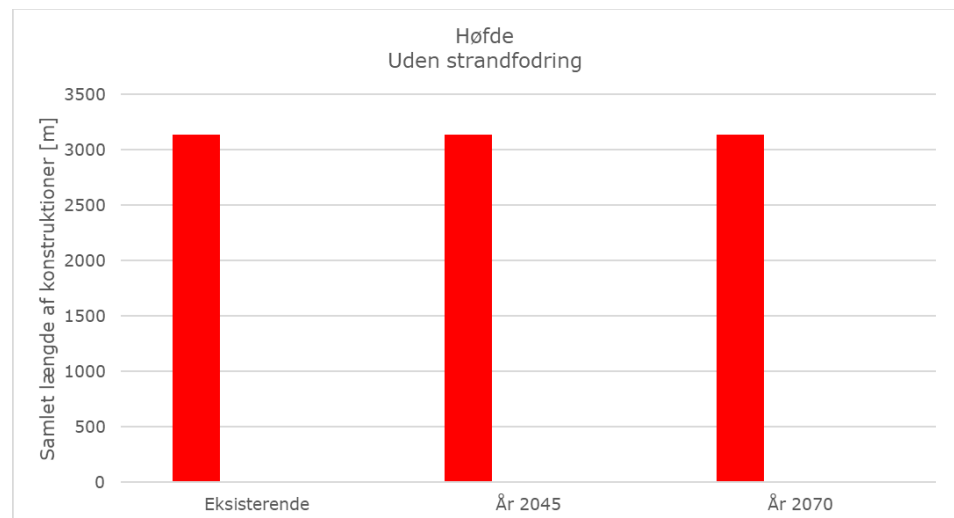


Figur 4.12 Tilstandsvurdering af høfder, hvis der ikke udføres strandfodring.

Grøn: Vurderet at opfylde forudsætningerne

Gul: Vurderet at opfylde forudsætningerne efter forhøjelse.

Rød: Vurderet at skulle genopbygges med større dæksten.



4.3 Kystteknisk vurdering

Der er mange steder langs Nordkysten gennem årene bygget hård kystbeskyttelse i form af høfder, 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 høfder 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 kysterrosionen 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 alene ved fortsat hård beskyttelse og kystlandskabet vil ændres markant med større kysttekniske anlæg.
- Det omfattende underskud af sand og ral på Nordkysten kræver strandfodring med sand og ral fremover for at kunne skabe en langsigtet og tilstrækkelig beskyttelse af Nordkysten med en fastholdt strandlinje.

5 Målsætning

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

- Den overordnede målsætning for strandfodring i forbindelse med Nordkystens Fremtid er, at der langs udpegede fodringsstrækninger generelt er en beskyttelse foran skrænter og skråningsbeskyttelser svarende til minimum +2,0 m sandstrand i forhold til middelvandstanden før en dimensionsgivende stormhændelse, eller tilsvarende beskyttelsesniveau med ral svarende til minimum +1,2 m.
- Opbygning af sand- og ralstrand sker ved strandfodring med sand og eller ral, der tilpasses hver enkelt fodringsstrækning således, at der ikke vil ske forringelse af den nuværende strandkvalitet.
- Strandens højde udbygges med sand og eller ral i takt med havspejlsstigningen, hvorved beskyttelsesniveauet opretholdes.
- Strandfodringerne skal stoppe tilbagerykning af stranden på fodringsstrækningerne ud for den bebyggede del af Nordkysten.
- Strandfodringerne skaber en gennemsnitlig strandbredde på 10-30 meter, som sikrer passage langs kysten.
- Strandfodringerne skal sikre en langsigtet og helhedsorienteret beskyttelse af Nordkysten.
- Strandfodringerne tilpasses for at reducere den potentielle skadevirkning på Natura 2000 område Nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten og herunder på udpegingsgrundlagene stenrev og sandbanke.

5.1 Begrundelser for målsætning

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.

5.1.1 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 fodre med ral
- at anlægge bølgebrydere, hølfer, rev eller flak for at stabilisere kysten og fodringsmaterialet

Det anbefales at vente nogle år efter initialfodringen med at anlægge sådanne nye konstruktioner indtil det aktuelle behov har vist sig.

Omfanget af akut erosion vil variere meget afhængigt af de aktuelt forekommende vejrforhold og mængden af ral på stranden.

Der fodres med en mindre mængde ral for at reducere den potentielle akutte erosion på strækninger domineret af sand.

Der fodres udelukkende ral ved udsatte pynter og herunder langs profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk for at reducere den kroniske erosion og for at reducere tildækningen af kystnære stenrev indenfor Nature 2000 Område Nr. 195 Gilleleje Flak og Tragten.

5.1.2 Dimensionering

Den overordnede målsætning for strandfodring i forbindelse med Nordkystens Fremtid er, at der langs udpegede fodringsstrækninger generelt er en beskyttelse foran skrænter og skråningsbeskyttelser svarende til minimum +2,0 m sandstrand i forhold til middelvandstanden før en dimensionsgivende stormhændelse, eller tilsvarende beskyttelsesniveau med ral svarende til minimum +1,2 m.

Strandhøjden på +2,0m svarer nogenlunde til vandstanden langs stranden under en stormflod med en returperiode på 50 år, når der samtidig tages højde for bølge set-up, se Figur 4.3.

Ral transporteres typisk landværts under storm og der vil derfor ofte ikke forekomme nævneværdig akut erosion af ralstrande foran skråningsbeskyttelserne.

Det er derfor fordelagtigt at inkludere ralfodring som en del af Nordkystens Fremtid for at øge beskyttelsen af skråningsbeskyttelserne.

Ral er dog betydeligt dyrere end sand. Ral koster typisk omkring 330 kr./m³ plus moms i forhold til sand, der typisk koster omkring 50 kr./m³ plus moms.

Derudover er det mere besværligt at færdes langs en ralstrand, som derved har en mindre rekreativ værdi end en sandstrand.

Strandfodringen langs Nordkysten er derfor optimeret i forhold til at indeholde en vis mængde ral de steder, der ikke er så meget ral i dag.

Den akutte erosion af en sandstrand med en initialhøjde på +2,0m foran en skråningsbeskyttelse er modelleret til cirka 1,1m vest og øst for Gilleleje for en 50 års stormhændelse således, at strandniveauet efter stormen er omkring +0,9m over dagligt vande.

En ralfodring med tilsvarende beskyttelse mod en 50 års stormhændelse skal derfor kunne sikre en minimumstrandhøjde under en storm svarende til cirka +0,9m over dagligt vande vest og øst for Gilleleje foran en skråningsbeskyttelse.

Ralstranden er typisk stejlere end sandstranden, men også mere permeabel. Dette har betydning for bølgenes opløb og brydning på det øvre strandprofil, og dermed for, hvor store bølgerne kan blive foran skråningsbeskyttelserne. Dette forhold er ikke vurderet nærmere i denne fase.

Resultaterne af modelleringen af akut erosion af sandstranden viser, at den højeste del af strandprofilen ligger et stykke foran foden af skråningsbeskyttelsen efter stormen (DHI, 2018).

For at tage højde for, at sandstrandens højeste punkt under en storm ligger lidt foran skråningsbeskyttelsen og, at ralstranden er stejlere end sandstranden foretages beregningerne ud fra en antagelse om, at højden af ralstranden er +1,2m over dagligt vand foran skråningsbeskyttelserne svarende til beskyttelse med sand op til +2,0m.

Strandfodringsprojektet er optimeret således, at der langs alle fodringsstrækninger er ral op til minimum +1,2m foran skråningsbeskyttelserne for at beskytte mod akut erosion.

For at reducere prisen er der lagt et loft ind på ralfodringens størrelse på maksimalt 5 m³/m de steder, der fodres med sand og ral.

For at reducere den samlede anlægspris er højden af sandfodring foran skråningsbeskyttelserne reduceret til et minimumsniveau på +1,5m over dagligt vand. Det er således kombinationen af sandfodring og ralfodring, der giver en samlet beskyttelse af skråningsbeskyttelserne svarende til +2,0m sand alene.

Initialfodringen og efterfølgende vedligeholdelsesfodringer udføres med sand op til +2,5m over daglig vand vest for Gilleje Havn og +2,0m over daglig vand øst for Gilleje Havn foran skråningsbeskyttelserne for at inkludere bidraget til vedligeholdelse, der løbende skal genopbygges. Herved dækkes ralfodringen med sand.

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

Langs profilstrækningerne Gilleje, Nakkehoved og Villingebæk udføres initialfodring og vedligeholdelsesfodring udelukkende med ral, da strækningerne er beliggende ved markante pynter på kysten, hvor gradienten i langstransporten og dermed den koniske erosion er størst. Ralfodringerne på de udsatte strækninger vil reducere den potentielle skadevirkning på Natura 2000 område Nr. 195 Gilleje Flak og Tragten og herunder på udpegningsgrundlaget stenrev.

Højden af ralstrandene øges til +1,5m de steder, der kun fodres med ral. Herover udlægges ral til vedligeholdelse op til +1,75m over dagligt vand.

5.1.3 Tilstandsvurdering

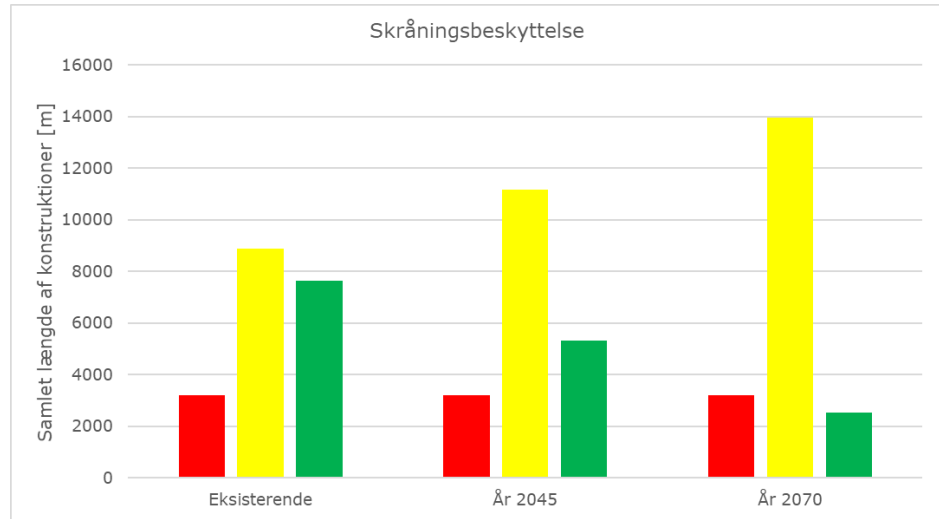
Strandfodring vil generelt give besparelser på den nødvendige udbygning af eksisterende skråningsbeskyttelser, da mange anlæg går fra at være røde og skulle genopbygges uden strandfodring til at blive gule med strandfodring, hvor de primært skal forhøjes, se Figur 5.1 og Figur 4.10, hvor tilstanden for skråningsbeskyttelse uden strandfodring er vist.

Figur 5.1 Tilstandsvurdering af skråningsbeskyttelser ved en strandfodring svarende til sandstrand i minimum +2,0m over daglig vande eller ralstrand i minimum +1,2m 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.



5.1.4 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 10-30m.

6 Anlægsprojektet Nordkystens Fremtid

Strandfodringsprojektet Nordkystens Fremtid er et resultat af grundigt forarbejde for at skabe en robust kystbeskyttelse på Sjællands nordkyst. Projektet er baseret på følgende retningslinjer:

- 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 6.3. Strandfodringen omfatter derfor stort set hele den bebyggede del af Nordkysten.
- Fodringsmaterialet udlægges på stranden med en hældning på 1:15 for sand og 1:10 for ral svarende til den naturlige gennemsnitshældning af stranden på Nordkysten i dag.
- Sandfodring udlægges foran skråningsbeskyttelser og skråninger som udgangspunkt op til +2,5m over daglig vande vest for Gilleleje Havn og op til +2,0m øst for Gilleleje Havn.
- Ralfodring ved profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk udlægges som udgangspunkt op til +1,75m over dagligt vande.
- 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.

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

6.1 Strandfodringsmateriale

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

Materialet indvindes ideelt set 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 compensation for den erosion som foregår. Alternativt kan der tilføres ral fra grusgrave, hvilket dog forventes at være dyrere.

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.

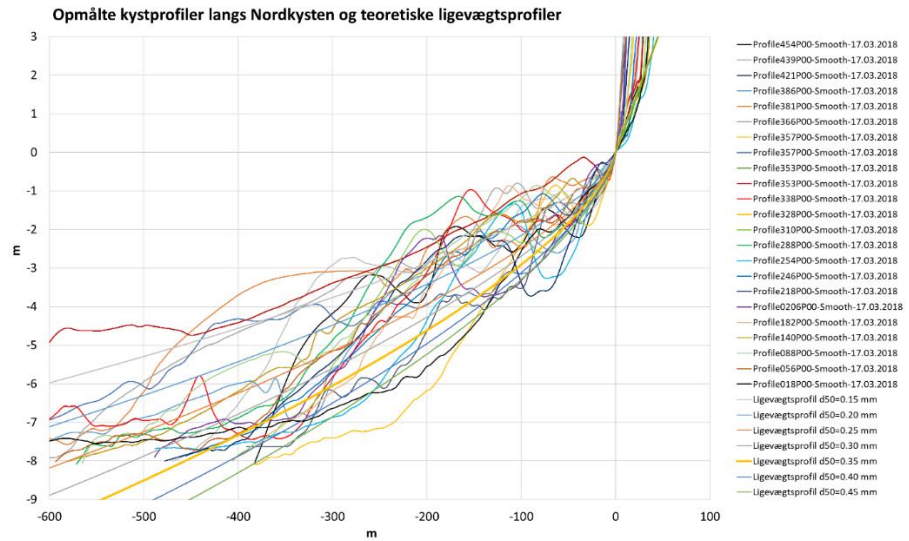
Analyserne af graderingen af de aktive havbunds- og strandmaterialer i de nuværende kystprofiler viser, at sedimenterne består af fint sand på revlerne og mellemkornet sand med et varierende indhold af ral i havstokken og på stranden.

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 6.1 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 øges. Figuren viser, at middelkornstørrelsen 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, se Figur 6.1 (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt, 2020).

Figur 6.1 Sammenligning af udvalgte opmålte kystprofiler langs Nordkysten og teoretiske ligevægtsprofiler med forskellige middeldornstørrelser. X-aksen angiver afstanden søværts for strandlinjen og Y-aksen angiver højden i DVR90



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

- $0,35 \text{ mm} < d_{50} < 0,60 \text{ mm}$.

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

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 ($20 \text{ mm} < d < 150 \text{ mm}$) i fodringsmaterialet, fordi det styrker det nye kystprofil og fordi dette også forekommer på de eksisterende strande langs Nordkysten. Alternativt skal der tilføres ral separat fra indvindingsområde eller grusgrav.

Det tilstræbes at tilpasse ralindholdet i fodringsmaterialet til det naturlige ralindhold på de givne lokaliteter.

Figur 6.2 viser et billede af den naturlige strand sydvest for Rågeleje, som består af sand og ral i princippet svarende til den ideelle gradering af strandfodringsmaterialet.

Figur 6.2 Eksempel på strand ved Rågeleje som består af sand og ral.



Det bemærkes, at rallen typisk vil befinde 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, samt i relation til rekreativ udnyttelse af stranden. Sådan vil en tilført blanding af sand og ral også lejre sig med tiden.

For at reducere den akutte erosion strandfodres med ral alle de steder, der ikke er ral langs skråningsbeskyttelserne i dag.

Desuden strandfodres med ral alene på udsatte pynter, hvor der er en stor gradient i den kystparallelle sedimenttransport og herved et stort erosionspres for at reducere tabet langs kysten og herunder langs profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk, hvor initialfodring og vedligeholdelsesfodring udelukkende består af ral.

Ralfodringerne udføres desuden for, at reducere påvirkningen af kystnære stenrev indenfor Natura 2000 område Nr. 195.

6.2 Fodringsstrategi

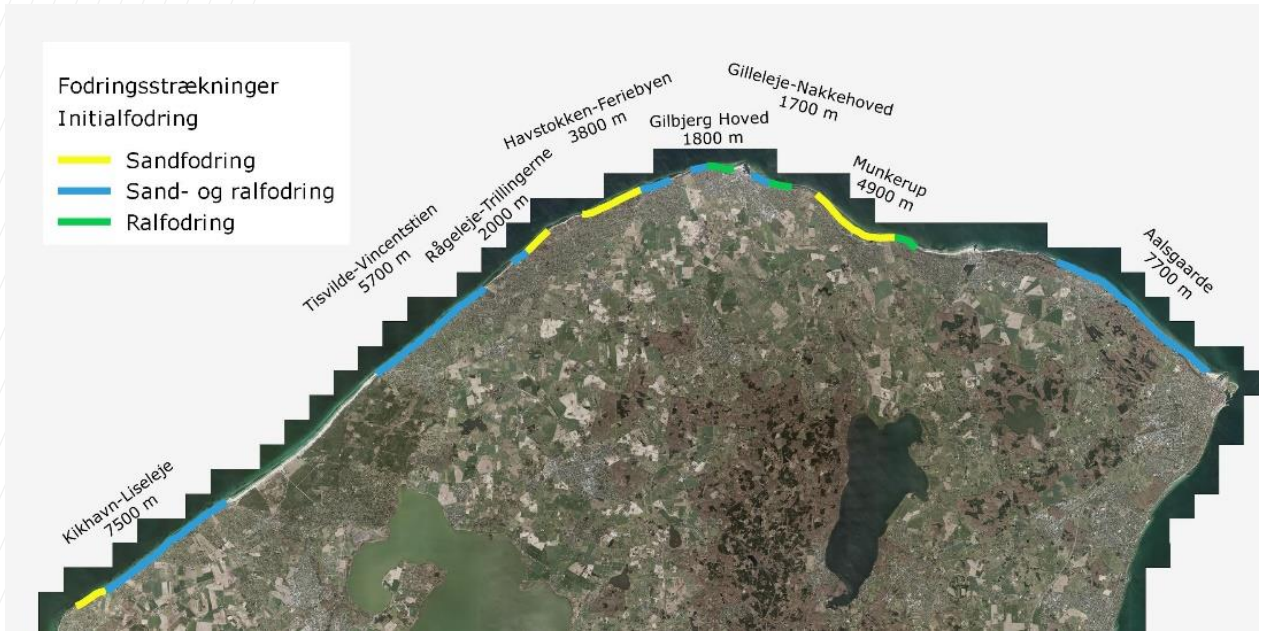
Strandfodring består af en initialfodring, hvor der udlægges sand og eller ral på stranden op imod skråningsbeskyttelser og skrænter.

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

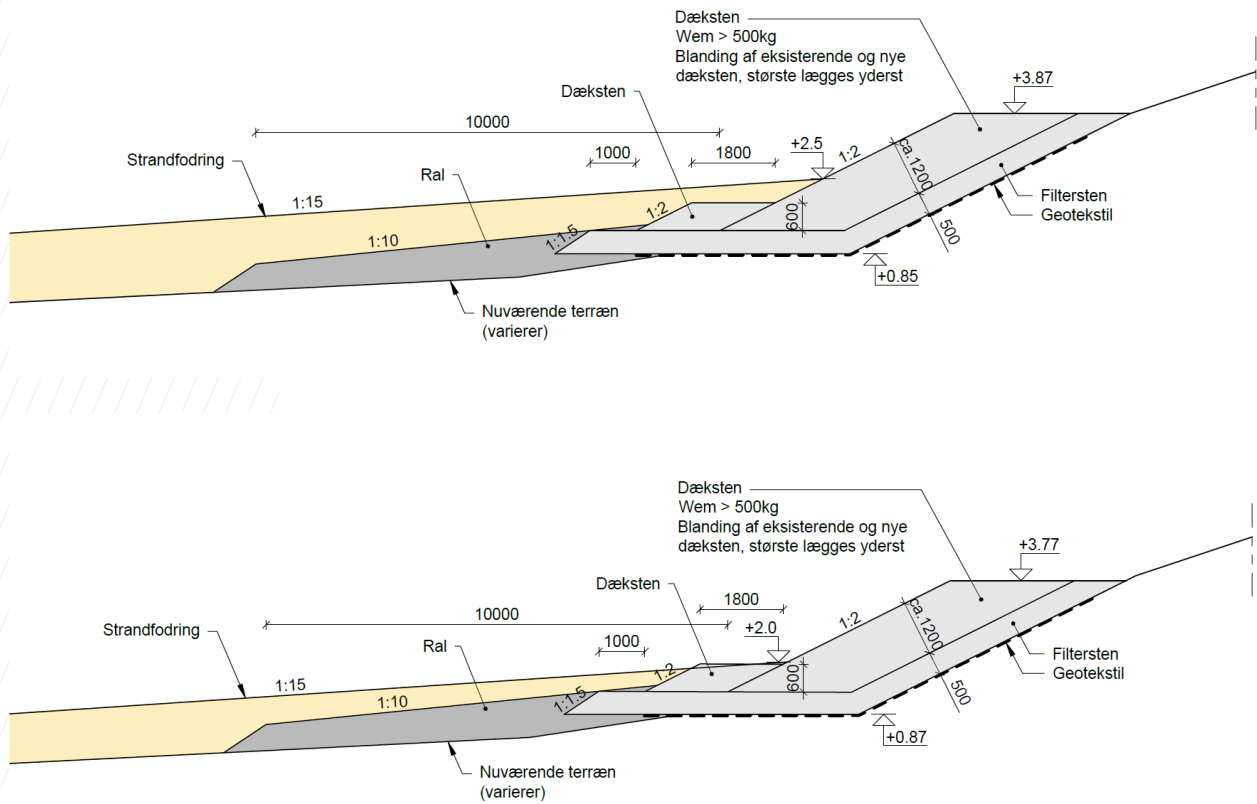
6.2.1 Initial fodring

Figur 6.3 viser et oversigtskort af initialfodringen med sand og eller ral.

Strandprofilen opbygges med udgangspunkt i eksisterende skråningsbeskyttelser således, at fodringsprofilen har den målsatte højde for sandfodring og eller ralfodring vest og øst for Gilleleje, se Figur 6.4 og Figur 6.5.



Figur 6.3 Initialfodring



Figur 6.4 Principskitser af udlagt sandfodring og ralfodring foran skråningsbeskyttelser vest for Gilleleje Havn (øverst) og øst for Gilleleje Havn (nederst)

Initialfodring udføres med $5\text{m}^3/\text{m}$ ral til minimum $+1,2\text{m}$ for at sikre mod akut erosion de steder, der kun er sandstrand i dag. Rallen udlægges på bagstranden umiddelbart foran skråningsbeskyttelserne, hvorved stranden styrkes mest muligt.

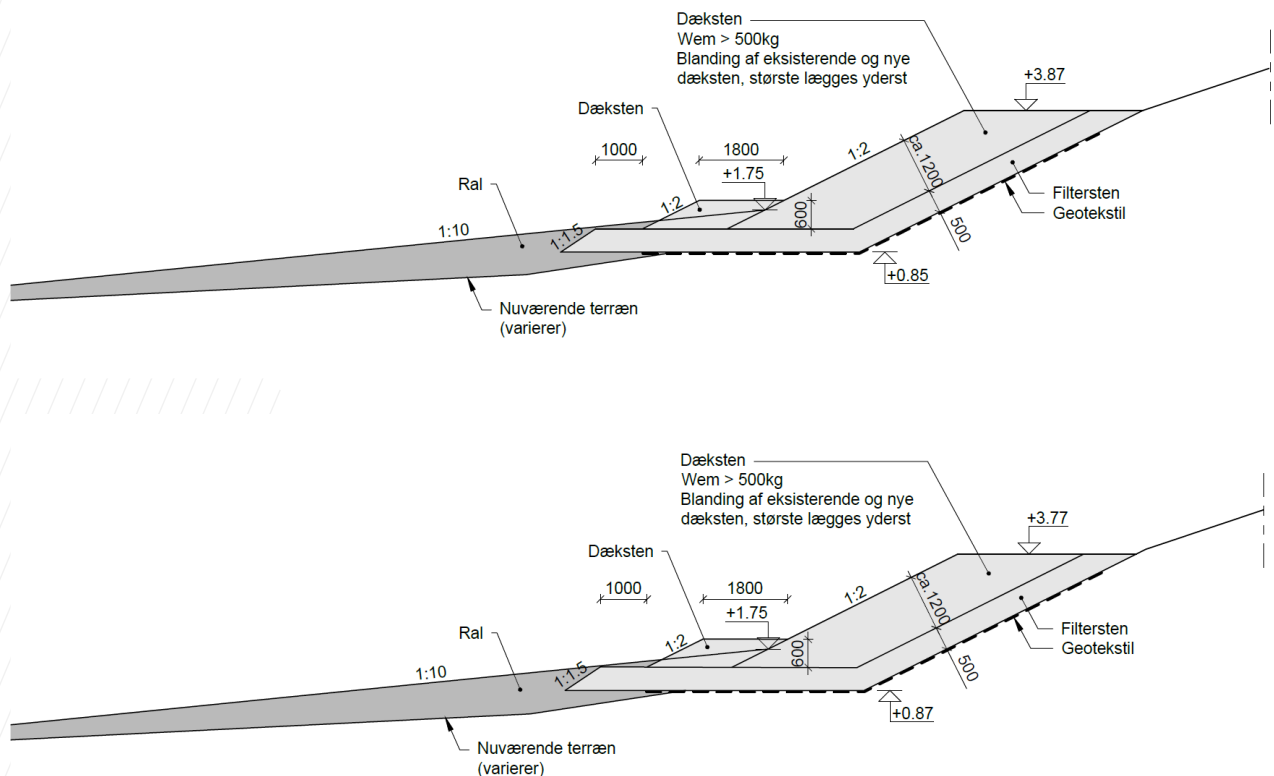
Herefter etableres et forstrandsprofil med sand med en hældning på 1:15 fra toppen af strandfodringen til eksisterende strandprofil.

Det foreslås, at strandfodre op til en ensartet højde på de udpegede fodringsstrækninger. Stranden forventes dog at være lavere lokalt foran fremskudte skråningsbeskyttelser, da stranden har et udjævnet forløb langs kysten.

Sandfodring udføres til $+1,5\text{m}$ foran skråningsbeskyttelserne mod akut erosion og for at skabe passage langs kysten.

Herover udlægges sand til vedligeholdelse op til $+2,5\text{m}$ vest for Gilleleje og $+2,0\text{m}$ øst for Gilleleje.

Det nye strandprofil dækker i nogle tilfælde eksisterende høfder og bølgebrydere helt eller delvist.



Figur 6.5 Principskitser af udlagt ralfodring foran skråningsbeskyttelser vest for Gilleleje Havn (øverst) og øst for Gilleleje Havn (nederst)

Langs profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk udføres initialfodring og vedligeholdelsesfodring udelukkende med ral, da strækningerne er beliggende ved markante pynter på kysten, hvor gradienten i langstransporten og dermed den koniske erosion er størst.

Højden af ralstrandene øges til +1,5m de steder, der kun fodres med ral. Herover udlægges ral til vedligeholdelse op til +1,75m over dagligt vande.

Ralstranden etableres med hældning på 1 på 10.

I forbindelse med storme vil der ske erosion af fodringsmaterialet og derved kan der skabes en lille skrænt. Med en hældning på 1:15 vil højden af klinten være begrænset, hvilket er en fordel i forhold til at sikre generel adgang til og langs kysten.

Når fodringsmaterialet koncentrerer på den bagerste del af stranden vil den del af fodringsmaterialet, der består af ral gradvist forstærke stranden efterhånden som sandet udvaskes.

Det sand der eroderes fra bagstranden spredes ud over hele kystprofilet og stabilisere herved hele kystprofilet også udenfor strækninger med hård kystbeskyttelse. Derudover vil sandet forbedre adgangen langs kysten og øge den rekreative værdi af stranden.

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

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

6.2.2 Vedligeholdelsesfodring

Der udføres vedligeholdelsesfodringer cirka hvert 5. år for at opretholde beskyttelsesniveauet langs kysten.

Figur 6.6 viser et oversigtskort af vedligeholdelsesfodringerne med sand og eller ral.

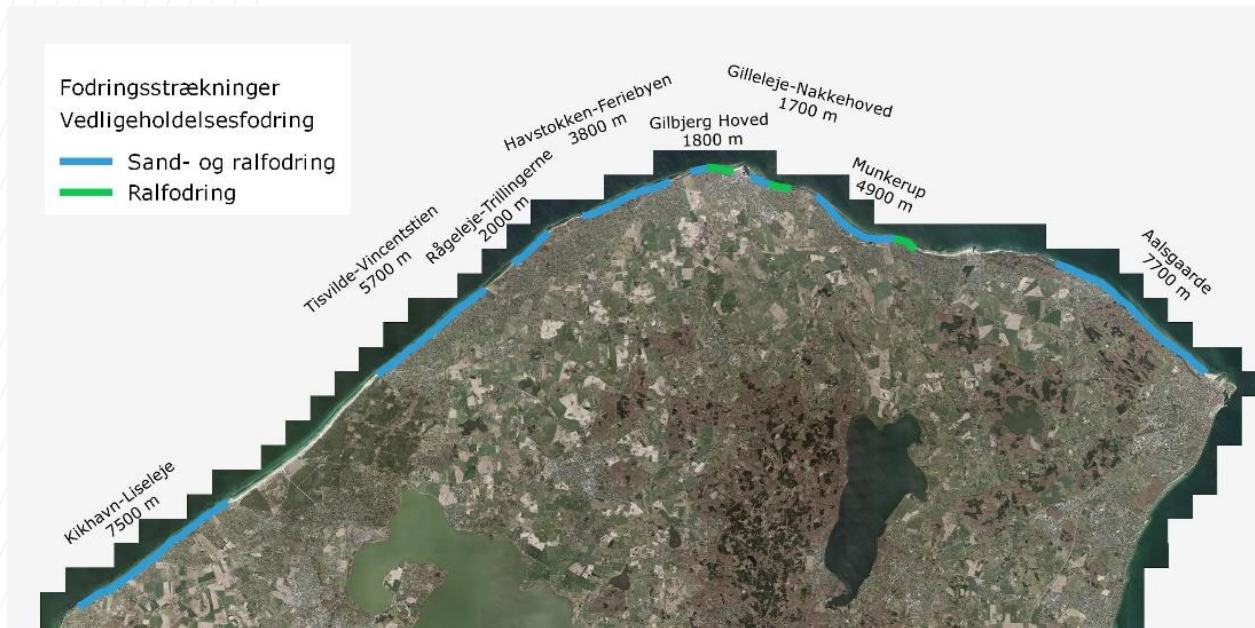
Fodringshøjden langs skråningsbeskyttelserne hæves i takt med havspejlsstigningen.

Vedligeholdelsesfodringerne tilfører samme mængde sediment hver gang total set for de enkelte fodringsstrækninger.

Vedligeholdelsesfodring udføres med sand mod kronisk erosion og havspejlsstigning og randeffekter langs alle strækninger undtagen profilstrækningerne Gilleleje, Nakkehoved og Villingebæk, hvor initialfodring og vedligeholdelsesfodring udelukkende består af ral.

Vedligeholdelsesfodring udføres med ral over inderste 10 m af stranden svarende til havspejlsstigningen langs hele kysten.

Sandfodring modregnes den mængde ral, der fodres med i profilet.



Figur 6.6 Vedligeholdelsesfodring

Strandfodringerne sikre en langsigtet og helhedsorienteret beskyttelse af Nordkysten.

6.2.2.1 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.

Vedligeholdelsesfodringerne planlægges således, at den kroniske erosion ikke medfører, at stranden bliver lavere end den målsatte minimumshøjde foran skråningsbeskyttelserne i løbet af fodringens 5-årige levetid i størst mulig omfang.

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

Vedligeholdelsesfodringerne indeholder et bidrag som kompensation for tab af fodringsmateriale som følge af randeffekter.

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

Der vil være et løbende tab af sand og ral langs kysten fra de fodrede strækninger som følge af nettotransporten mod øst. Sandet vil udvaskes hurtigere end rallen. Med tiden vil der ske en opbygning af bagstranden med ral.

Den naturlige sorteringen af sedimentet langs kysten skal medregnes i planlægningen af vedligeholdelsesfodringerne for på den måde at opretholde et ensartet beskyttelsesniveau langs hele kysten.

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 vil dog ske en uensartet opbygning af ral, hvis der udelukkende fodres i den vestlige ende af fodringsstrækningerne hver gang. Da det anbefales at fodre med et materiale med betydeligt indhold af ral skal vedligeholdelsesfodringerne optimeres fra gang til gang for at sikre, at der sker en ensartet opbygning af stranden med ral fremover.

Der kan også 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 kan opretholdes.

6.2.2.2 *Kompensation for havspejlsstigninger*

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

Strandens højde udbygges med sand og eller ral i takt med havspejlsstigningen, hvorved beskyttelsesniveauet opretholdes.

Det medfører, at der løbende skal vedligeholdelsesfodres med et ekstra sandbidrag til at øge højden af hele det aktive kystprofil.

Vedligeholdelsesfodring udføres med ral over inderste 10 m af stranden svarende til havspejlsstigningen langs hele kysten.

I og med at klimatilpasningen sker løbende reduceres den initiale fodring til et minimum.

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 ral på stranden langs kysten.

6.3 Visualiseringer

Figur 6.7, Figur 6.8 og Figur 6.9 viser visualiseringer af eksisterende forhold, initialfodring og stormprofil ved Hald Strand, vest for Feriebyen i Smidstrup og i Ålsgårde.

Visualiseringerne viser forholdene, når der udelukkende strandfodres med sand.

Visualiseringerne viser initialfodringen, hvor der udlægges sand 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.

Opdaterede visualiseringer er inkluderet i Miljøkonsekvensrapporten med opdateret fodringsmateriale og højder af strandprofilen (NIRAS, Nordkystens Fremtid. Miljøkonsekvensvurdering. , 2020).



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, stormvækst

Figur 6.7 Visualiseringer af strand og forstærkning af skråningsbeskyttelser ved Hald Strand. Øverst: eksisterende forhold, midten: efter initialsandfodring, nederst: efter designstorm



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 08, Feriebyen

eksisterende forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 08, Feriebyen

heridags forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 08, Feriebyen

heridags forhold, stormtrok

Figur 6.8 Visualiseringer af strand og forstærkning af skråningsbeskyttelser ved Smidstrup, vest for Feriebyen. Øverst: eksisterende forhold, midten: efter initialsandfodring, nederst: efter designstorm



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 12, Ålsgårde v/ Blockvej

eksisterende forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 12, Ålsgårde v/ Blockvej

fremtidige forhold



Nordkystens Fremtid, visualisering 01.07.2019

Standpunkt 12, Ålsgårde v/ Blockvej

fremtidige forhold, stormport

Figur 6.9 Visualiseringer af strand og forstærkning af skråningsbeskyttelser ved Ålsgårde. Øverst: eksisterende forhold, midten: efter initialsandfodring, nederst: efter designstorm

6.4 Sand- og ralfodringsmængder

Strandfodringen er optimeret til at inkludere sand og ral som beskrevet i Afsnit 6.2:

- Initialfodring udføres med $5\text{m}^3/\text{m}$ ral til minimum $+1,2\text{m}$ for at sikre mod akut erosion de steder, der kun er sandstrand i dag.
- Sandfodring udføres til $+1,5\text{m}$ foran skråningsbeskyttelserne mod akut erosion og for at skabe passage langs kysten.
- Herover udlægges sand til vedligeholdelse op til $+2,5\text{m}$ vest for Gilleleje og $+2,0\text{m}$ øst for Gilleleje.
- Højden af ralstrandene øges til $+1,5\text{m}$ de steder, der kun fodres med ral. Herover udlægges ral til vedligeholdelse op til $+1,75\text{m}$ over dagligt vande.

Beregningerne af fodringsmængderne for de 21 anvendte kystprofiler er herefter opdateret og præsenteres i det følgende.

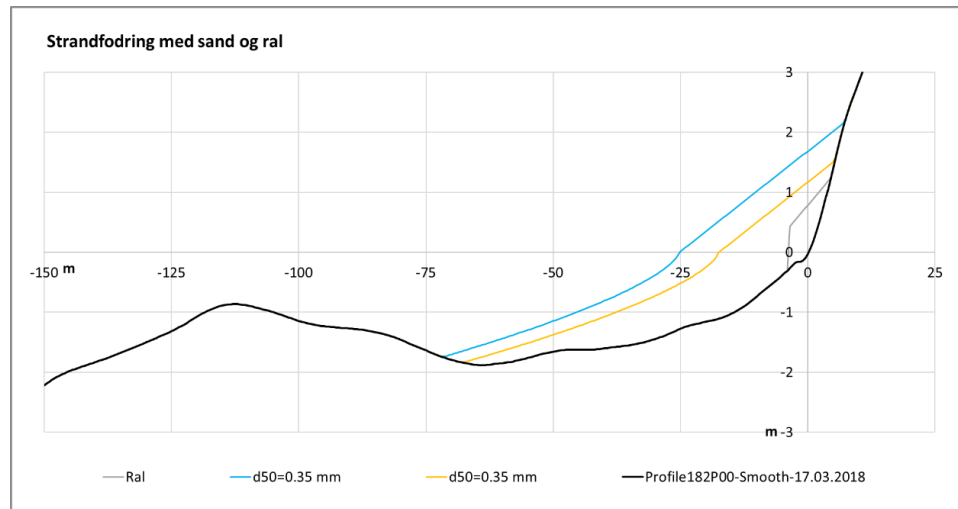
Beregningerne i det følgende er baseret på fodring med sand med en middeldornstørrelse på $d_{50}=0,35$ mm, hvilket er konservativt i forhold til, hvis der fodres med grovere sand.

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

Vedligeholdelsesbehovet varierer fra strækning til strækning som følge af:

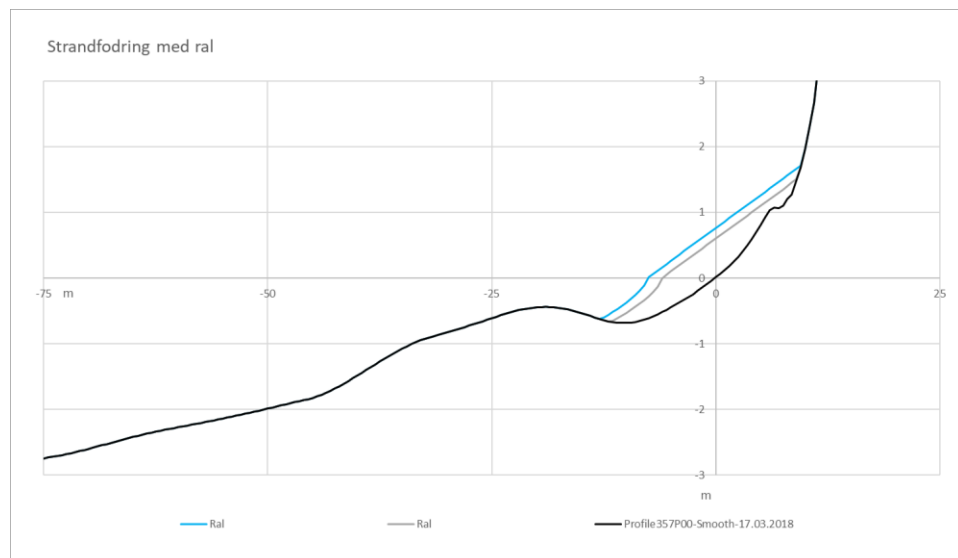
- Kroniske erosion
- Havspejlsstigning og aktiv dybde
- Randeffecter ved enderne af fodringsstrækningerne
- Akut erosion

Figur 6.10 viser et eksempel på strandfodring med sand og ral ved Tisvildeleje, som fodringsmængderne er beregnet ud fra.



Figur 6.10 Strandfodring med sand og ral foran skråningsbeskyttelse ved Tisvildeleje.
 Grå: Ralfodring på $5\text{ m}^3/\text{m}$
 Orange: Sandfodring op til +1,5m mod akut erosion
 Blå: Sandfodring op til +2,5m mod akut erosion og vedligeholdelse

Figur 6.11 viser eksempel på strandfodring med ral ved Nakkehoved, som fodringmængderne er beregnet ud fra.



Figur 6.11 Ralfodring foran skråningsbeskyttelserne ved Nakkehoved.
 Grå: Ralfodring op til +1,5m mod akut erosion
 Blå: Ralfodring op til +1,75 mod akut erosion og vedligeholdelse

Tabel 6.1 og Tabel 6.2 viser størrelsen af initialfodring og vedligeholdelsesfodring med sand og ral samlet set og for de enkelte fodringsstrækninger indenfor Natura 2000 Område nr. 195.

		Kikhavn-Liseleje	Tisvilde-Vincentstien	Rågeleje-Trillingerne	Havstokken-Feriebyen	Gilbjergghoved	Gilleleje-Nakkehoved	Munkerup	Aalsgaard	I alt
Sandfodringsmængder										
Sandbuffer mod akut erosion	m ³	107,000	365,000	52,000	2,000	27,000	0	11,000	269,000	
Sandbuffer mod kronisk erosion	m ³ /5år	139,000	105,000	37,000	70,000	15,000	3,000	25,000	58,000	
Sandbuffer mod havspejlsstigning	m ³ /5år	26,000	29,000	10,000	26,000	6,000	3,000	14,000	22,000	
Sandbuffer mod randeffekter	m ³ /5år	10,000	25,000	14,000	7,000	7,000	1,000	4,000	13,000	
Initialfodring	m ³	282,000	524,000	113,000	105,000	55,000	7,000	54,000	362,000	1,500,000
Vedligeholdelsesfodring	m ³ /5år	175,000	159,000	61,000	103,000	28,000	7,000	43,000	93,000	670,000
Initialfodring	m ³			113,000	105,000	55,000	7,000	54,000		330,000
Vedligeholdelsesfodring	m ³ /5år			61,000	103,000	28,000	7,000	43,000		240,000

Tabel 6.1 Mængder af initialfodring og vedligeholdelsesfodring med **sand** per 5 år langs fodringsstrækningerne indenfor Natura 2000 Område nr. 195 og hele Nordkysten

		Kikhavn-Liseleje	Tisvilde-Vincentstien	Rågeleje-Trillingerne	Havstokken-Feriebyen	Gilbjergghoved	Gilleleje-Nakkehoved	Munkerup	Aalsgaard	I alt
Ralfodringsmængder										
Ralbuffer mod akut erosion	m ³	25,300	28,500	4,500	8,500	9,000	10,700	13,700	38,500	139,000
Ralbuffer mod kronisk erosion	m ³ /5år	0	0	0	0	2,500	2,500	1,400	0	6,000
Ralbuffer mod havspejlsstigning	m ³ /5år	2,200	1,700	600	1,100	500	500	1,400	2,200	10,000
Ralbuffer mod randeffekter	m ³ /5år	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Initialfodring	m ³	27,500	30,100	5,100	9,600	12,000	13,700	16,500	40,700	155,000
Vedligeholdelsesfodring	m ³ /5år	2,200	1,700	600	1,100	3,000	3,000	2,800	2,200	17,000
Initialfodring	m ³			5,100	9,600	12,000	13,700	16,500		57,000
Vedligeholdelsesfodring	m ³ /5år			600	1,100	3,000	3,000	2,800		11,000

Tabel 6.2 Mængder af initialfodring og vedligeholdelsesfodring med **ral** per 5 år langs fodringsstrækningerne indenfor Natura 2000 Område nr. 195

Beregningerne viser, at der skal initialfodres med i størrelsesorden 1.500.000 m³ sand langs hele Nordkysten og herunder i størrelsesorden 330.000 m³ i Natura 2000 Område nr. 195.

Beregningerne viser, at der skal vedligeholdelsesfodres med i størrelsesorden 670.000 m³/5år sand langs hele Nordkysten og herunder i størrelsesorden 240.000 m³/5år i Natura 2000 Område nr. 195.

Beregningerne viser, at der skal initialfodres med i størrelsesorden 150.000 m³ ral langs hele Nordkysten og herunder i størrelsesorden 57.000 m³ i Natura 2000 Område nr. 195.

Beregningerne viser, at der skal vedligeholdelsesfodres med i størrelsesorden 17.000 m³/5år ral langs hele Nordkysten og i herunder størrelsesorden 11.000 m³/5år i Natura 2000 Område nr. 195.

Figur 6.12 og Figur 6.13 viser fordelingen af fodringsmængder med henholdsvis sand og ral, som initialstrandfodringen består af for hvert enkelt kystprofil.

Figuren viser, at initialfodringen varierer mellem 0 og ca. 120 m³/m sand og mellem 0,3 og ca. 15 m³/m ral.

Figur 6.14 og Figur 6.15 viser fordelingen af fodringsmængder med henholdsvis sand og ral, som vedligeholdelsesfodringerne består af for hvert enkelt kystprofil.

Figuren viser, at vedligeholdelsesfodringen varierer mellem 0 og ca. 35 m³/m/5år sand og mellem 0,3 og ca. 4 m³/m/5år ral.

Figur 6.16 og Figur 6.17 viser fordelingen af fodringsmængder for henholdsvis sand og ral, som initialstrandfodringen består af for hver enkelt fodringsstrækning.

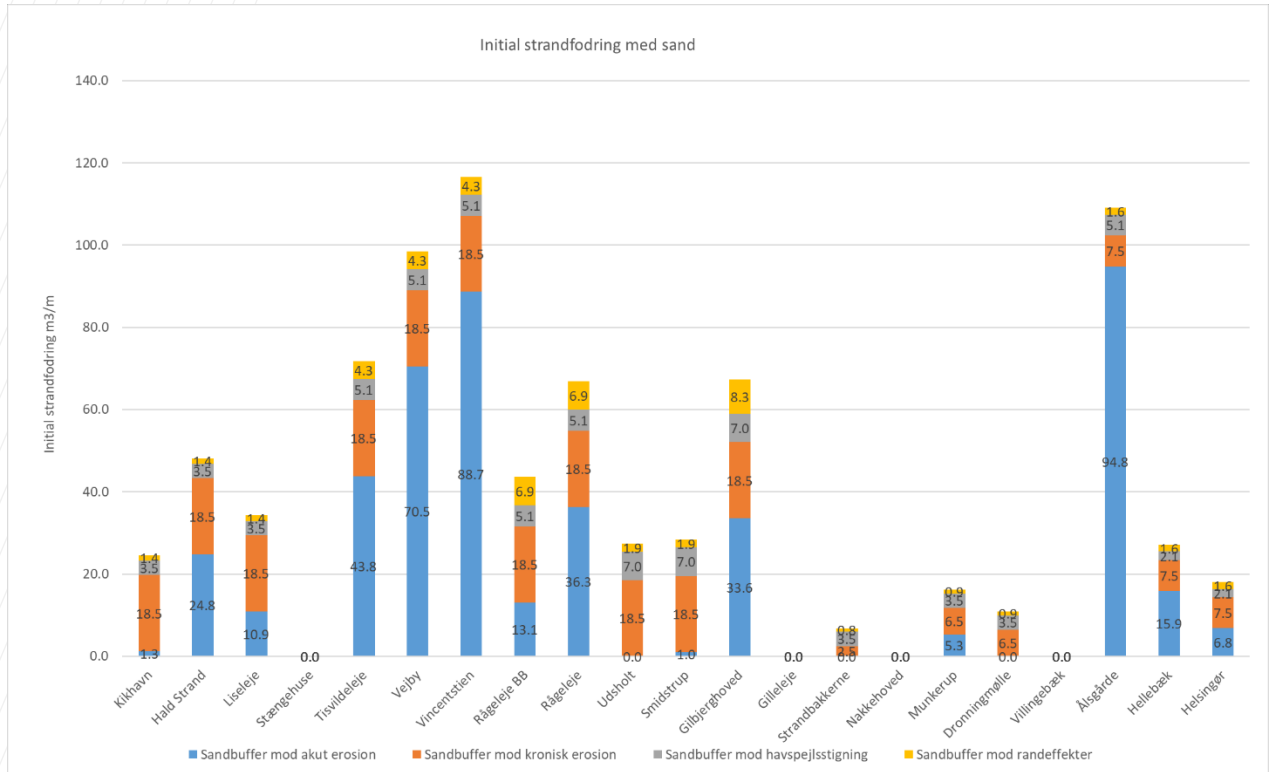
Figureerne viser, at initialfodringen varierer mellem 10.000 og 500.000 m³ sand.

Figureerne viser, at initialfodringen varierer mellem 5.000 og 40.000 m³ ral.

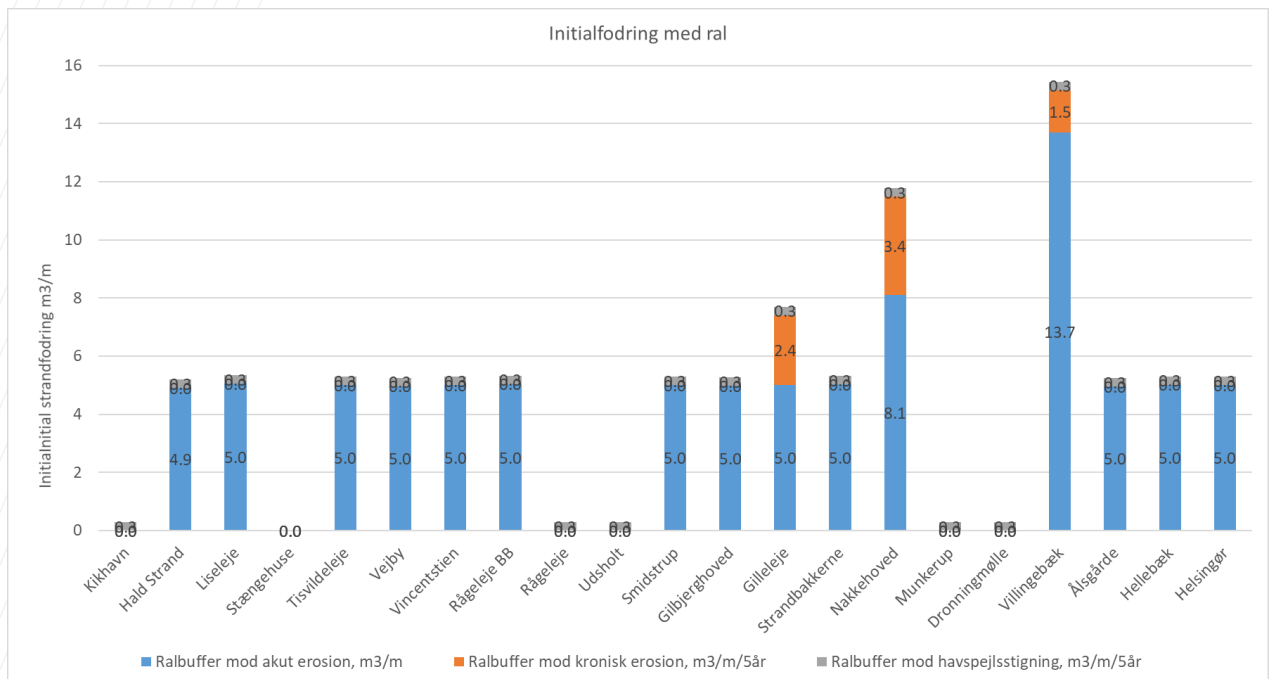
Figur 6.18 og Figur 6.19 viser de enkelte delmængder af henholdsvis sand og ral vedligeholdelsesfodringen består af for hver enkelt fodringsstrækning.

Vedligeholdelsesfodringen varierer mellem 10.000 og 175.000 m³/5 år sand.

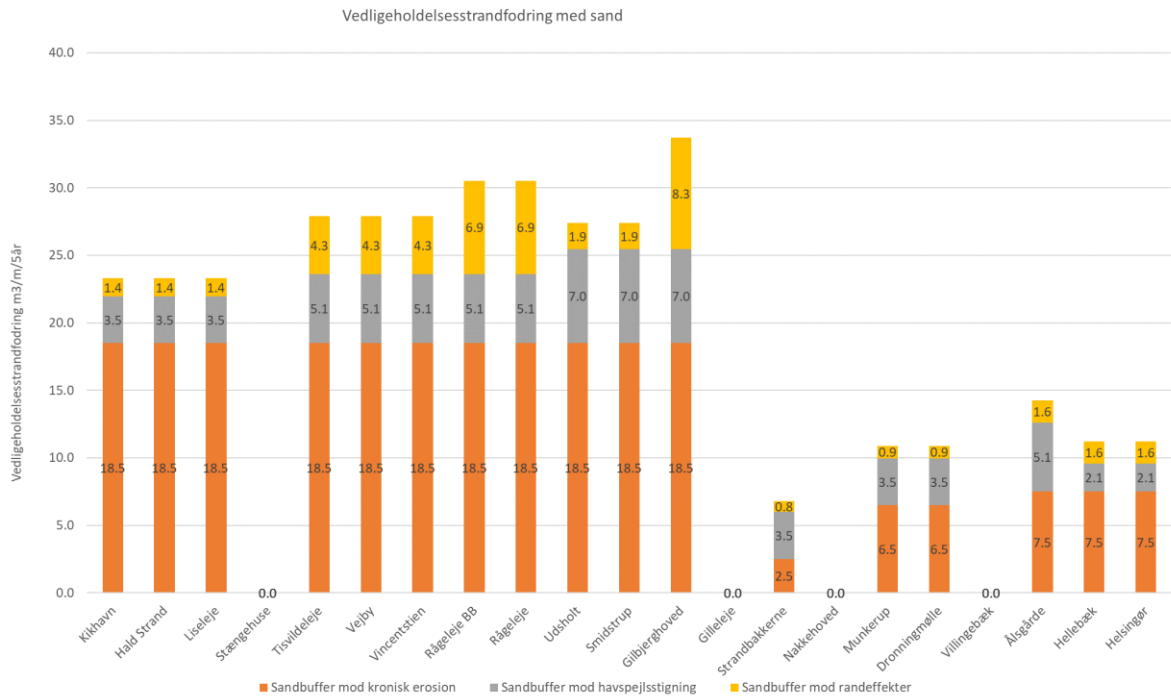
Vedligeholdelsesfodringen varierer mellem 500 og 3.000m³/5 år ral.



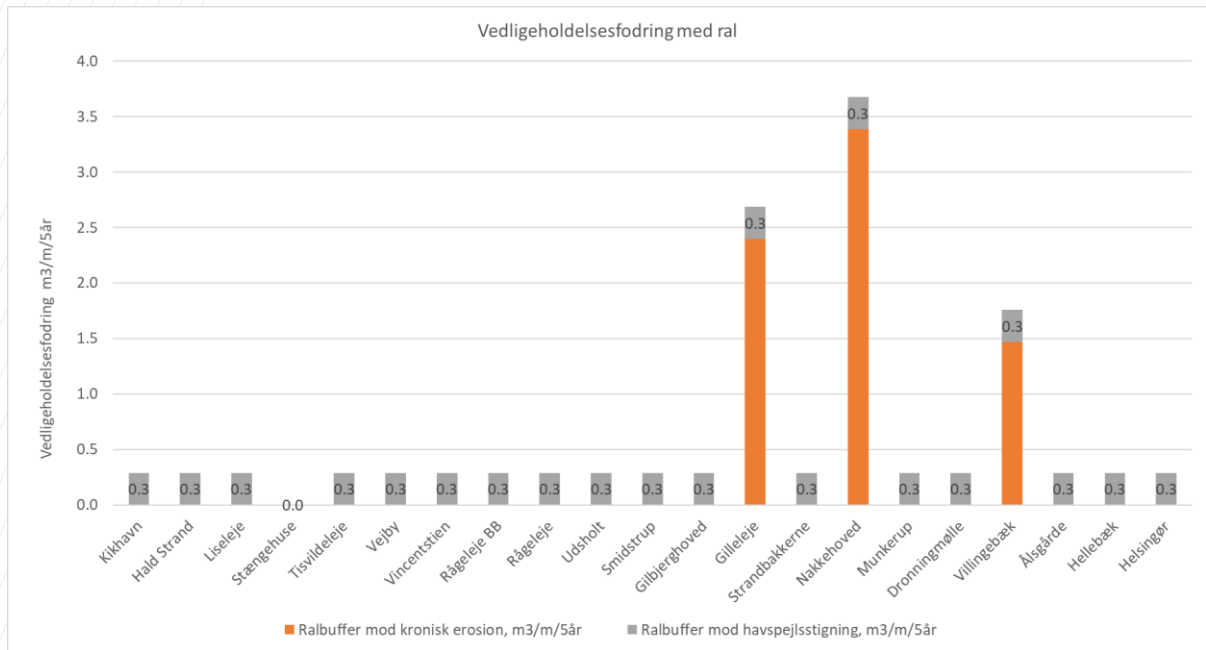
Figur 6.12 Variation af initial strandfodningsmængder med sand for hver kystprofil.



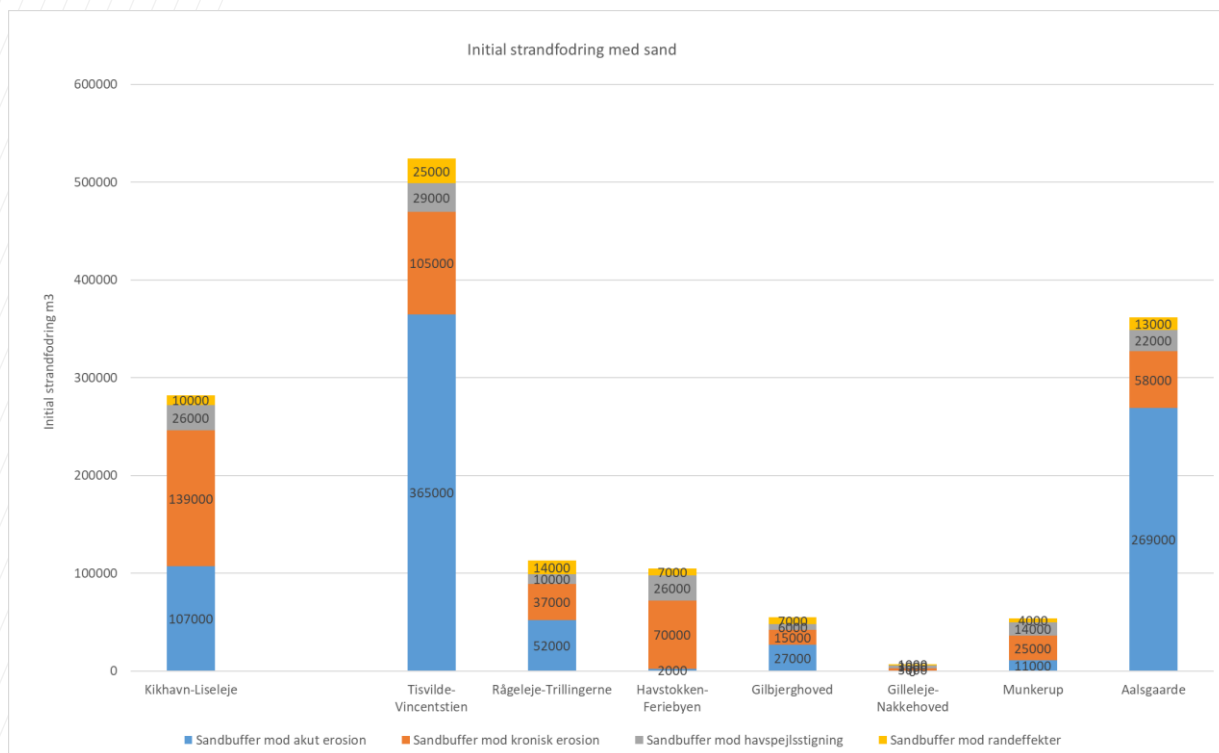
Figur 6.13 Variation af initial strandfodningsmængder med ral for hver kystprofil.



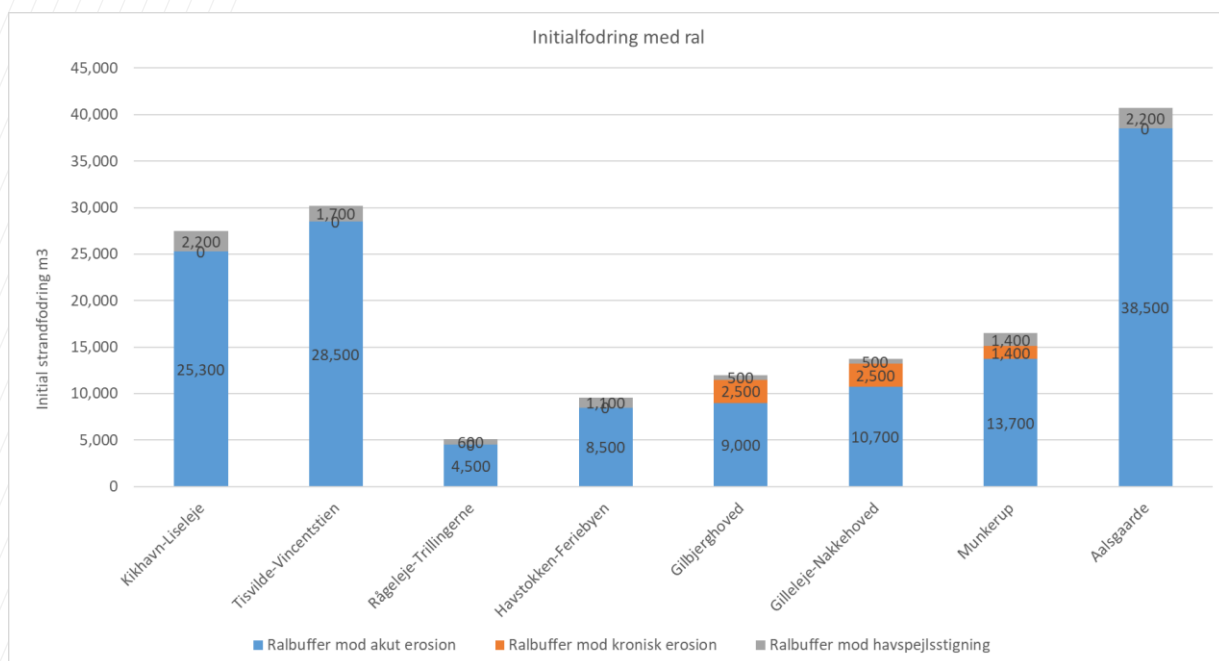
Figur 6.14 Variation af vedligeholdelsesstrandfodringsmængder med sand for hver kystprofil.



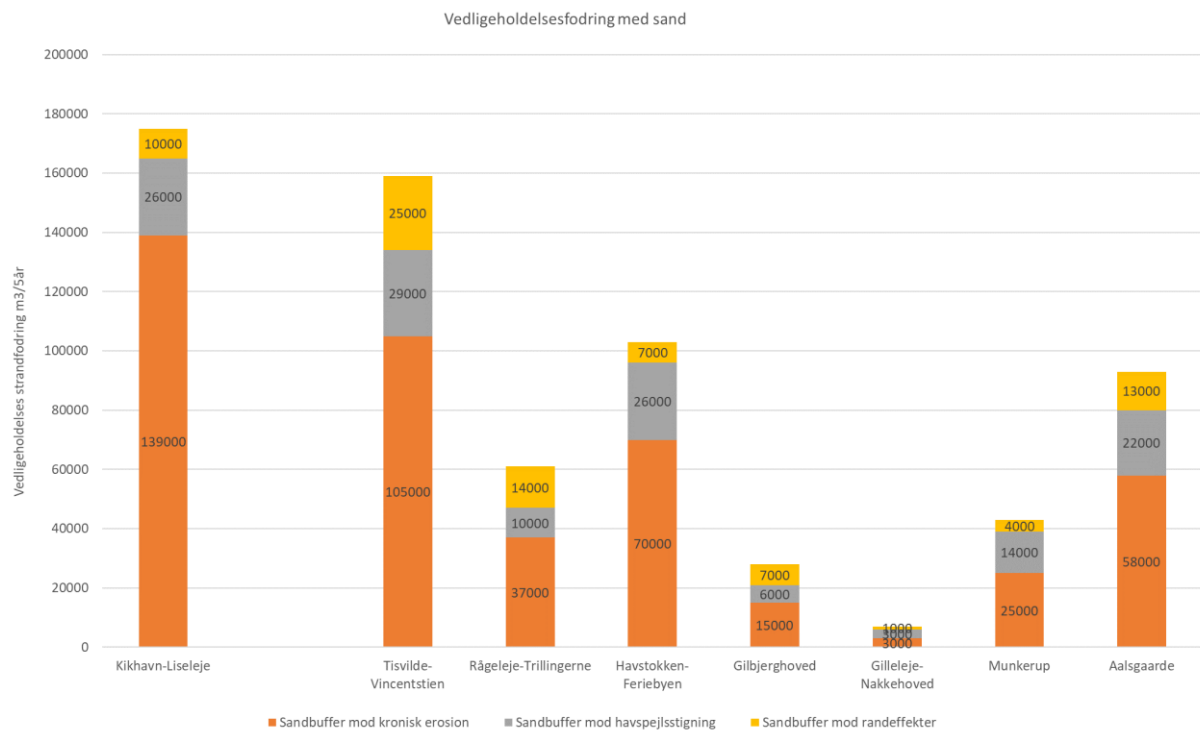
Figur 6.15 Variation af vedligeholdelsesstrandfodringsmængder med ral for hver kystprofil.



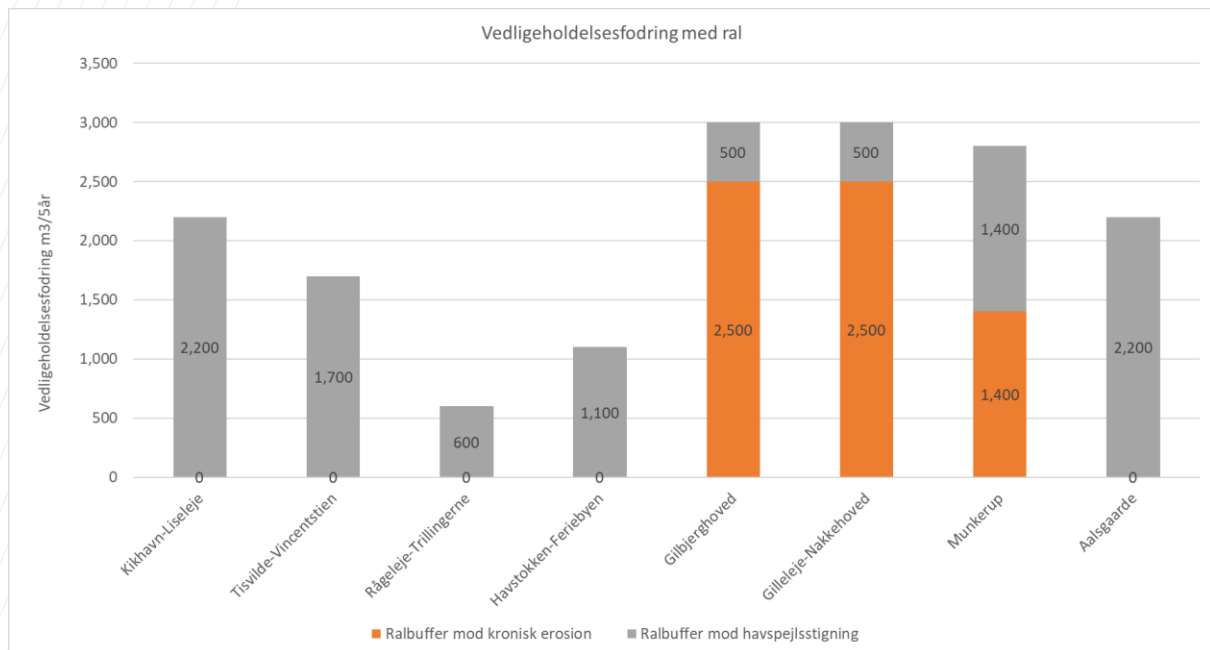
Figur 6.16 Initial strandfodringsmængder med sand for hver fodringsstrækning.



Figur 6.17 Initial strandfodringsmængder med ral for hver fodringsstrækning.



Figur 6.18 Vedligeholdelsesstrandfodringsmængder med sand for hver fodringsstrækning.



Figur 6.19 Vedligeholdelsesstrandfodringsmængder med ral for hver fodringsstrækning.

6.5 Anlægsoverslag

6.5.1 Enhedspris for sand

Kystdirektoratets nøgletal for strandfodring svinger mellem 50-53 Kr./m³, jf. Tabel 6.3. 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 6.3: Enhedspriser for strandfodring på Vestkysten, Kr./m³. Anlægsoverslag for årlig vedligeholdelsesfodring på Vestkysten 2014-2018. Kilde: Kystdirektoratet (2013) Bilag til Fællesaftale 2014-2018.

Mængder og udgifter pr. år 2014-18	Strandfodring		Strandnær fodring		Revlefodring		Udgift mio. kr./år
	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 inkluderer usikkerhed og sejlafstand op til en vis afstand, (COWI, 2016).

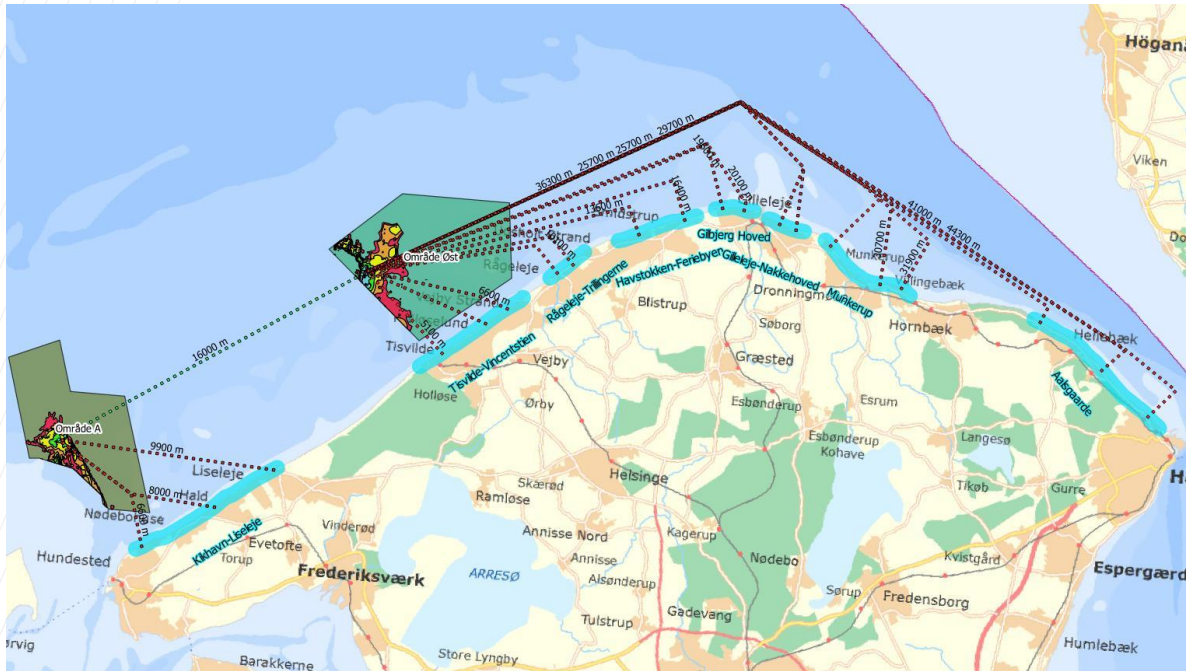
I nuværende anlægsoverslag er nøgletallet ændret til 45 Kr./m³ plus moms for fastmål, der er uden usikkerhed og med sejlads op til 15 Km.

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 skibsmål 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.

Der er undersøgt 2 sandindvindingsområder, som tilsyneladende indeholder tilstrækkeligt store mængder egnet sand til strandfodring på Nordkysten og som derfor benyttes i anlægsoverslaget, se Figur 6.20.

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



Figur 6.20 Sandindvindingsområders placering med sejlfafstande (stiplede linjer med afstand i m) til de analyserede kystprofiler i fodringsområderne (turkis markering)

Sejlfafstanden varierer efter placering af sandindvindingsområderne i forhold til strandfodringsområderne. Som det fremgår af Figur 6.20 er der generelt længere sejlfafstand til den østlige del af Sjællands nordkyst end til den vestlige del grundet placeringen af de 2 indvindingsområder.

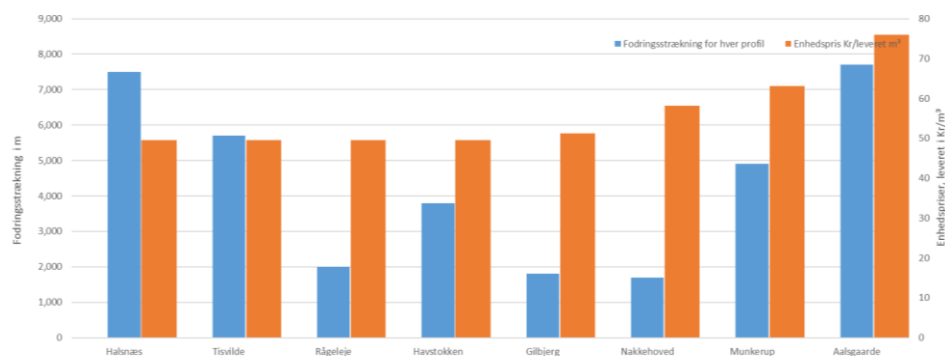
Sejlfafstandene er opdelt i en kystnær del og en sejlad-del for dybder over 10 m. Den kystnære del håndteres ofte ved hjælp af en flydeledning, hvori sandet bliver pumpet ind til stranden. Mange steder langs Nordkysten skal man langt ud fra kysten, for at finde dybder over 10 m, hvilket betyder at flydeledningen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

Større sandsugerskibe – kapacitet 6.000 m³ - har en fuldlasten dybgang på 7 m og vil anduve på vanddybder på 8-10 m. Som det fremgår af Figur 6.20, udgør Gilleleje Flak en lavtliggende forhindring for sejlad med større skibe, så sejlruterne er lagt lige nord for kompasafmærkningsbøjen nord for dette flak.

Da sejlfafstandene 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.

Sejlfafstandene er estimeret til at variere fra 5 Km til 45 km. For sejlfafstande over 15 km beregnes hver kubikmeter sand i skibsmål at koste 1 Kr./km ekstra.

Derved stiger enhedsprisen fra 49,5 kr./m³ alene grundet den ekstra sejlfafstand op til 80 kr./m³ i den østligste del af projektområdet, se Figur 6.21.



Figur 6.21 Længder af fodringsstrækninger til venstre og enhedspriser med sejltillæg for hver fodringsstrækning til højre.

6.5.2 Enhedspris for ral

Det antages, at prisen for ral er 330 kr./m³ plus moms baseret på tidligere erfaringer fra anlægsarbejder på Nordkysten i det tilfælde, at der benyttes grusgrave på land.

6.5.3 Samlet anlægsoverslag for sandfodring og ralfodring

Tabel 6.4 viser anlægsoverslaget for strandfodring med sand og ral samlet set og for de enkelte fodringsstrækninger indenfor Natura 2000 Område Nr. 195.

Anlægsoverslaget er præsenteret uden usikkerhed og eksklusiv moms.

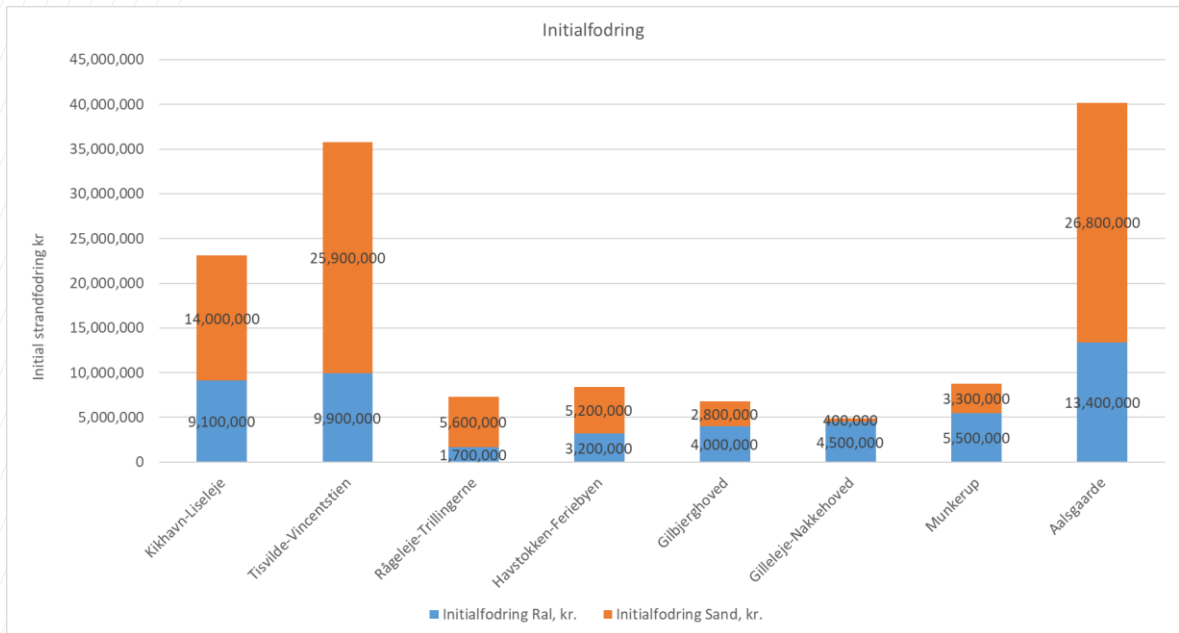
	Kikhavn-Liseleje	Tissvide-Vincentsstien	Rågeleje-Trillingerne	Havstokken-Feriebyen	Gilbjerg	Gilleleje-Nakkehoved	Munkeup	Aalgaarde	Samlet pris
Fodringsstrækning									
Initialfodring Ral, kr.	9,100,000	9,900,000	1,700,000	3,200,000	4,000,000	4,500,000	5,500,000	13,400,000	51,300,000
Initialfodring Sand, kr.	14,000,000	25,900,000	5,600,000	5,200,000	2,800,000	400,000	3,300,000	26,800,000	84,000,000
Initialfodring Ral og Sand, kr	23,100,000	35,800,000	7,300,000	8,400,000	6,800,000	4,900,000	8,800,000	40,200,000	135,300,000
Vedligeholdelsesfodring Ral, kr./5år	700,000	500,000	200,000	400,000	1,000,000	1,000,000	900,000	700,000	5,500,000
Vedligeholdelsesfodring Sand, kr./5år	8,700,000	7,900,000	3,000,000	5,200,000	1,400,000	400,000	2,700,000	7,100,000	36,200,000
Vedligeholdelsesfodring Ral og Sand, kr./5år	9,400,000	8,400,000	3,200,000	5,600,000	2,400,000	1,400,000	3,600,000	7,800,000	41,800,000
Initialfodring Ral, kr.			1,700,000	3,200,000	4,000,000	4,500,000	5,500,000		18,900,000
Initialfodring Sand, kr.			5,600,000	5,200,000	2,800,000	400,000	3,300,000		17,300,000
Initialfodring Ral og Sand, kr			7,300,000	8,400,000	6,800,000	4,900,000	8,800,000		36,200,000
Vedligeholdelsesfodring Ral, kr./5år			200,000	400,000	1,000,000	1,000,000	900,000		3,500,000
Vedligeholdelsesfodring Sand, kr./5år			3,000,000	5,200,000	1,400,000	400,000	2,700,000		12,700,000
Vedligeholdelsesfodring Ral og Sand, kr./5år			3,200,000	5,600,000	2,400,000	1,400,000	3,600,000		16,200,000

Tabel 6.4 Anlægsoverslag for initialfodring og vedligeholdelsesfodring med sand og ral per 5 år langs fodringsstrækningerne indenfor Natura 2000 Område Nr. 195 og for hele Nordkysten

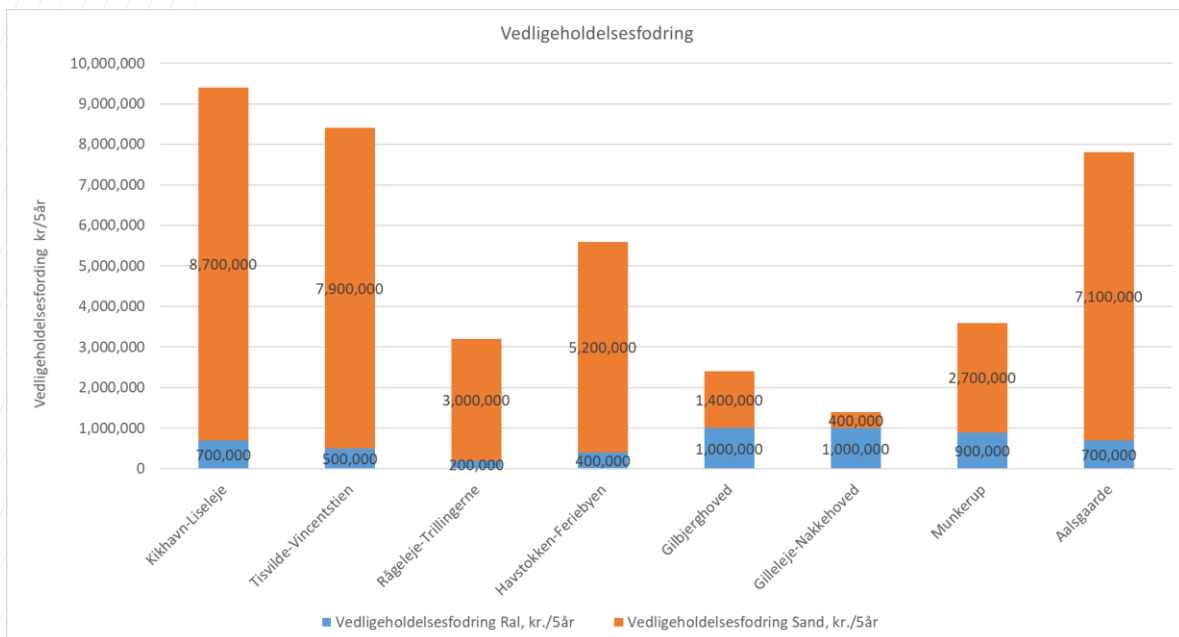
Det samlede anlægsoverslag for initialstrandfodringen med sand og ral vurderes ud fra analysen at være på ca. 135 million kr. plus moms.

Det samlede anlægsoverslag for vedligeholdelsesstrandfodringen vurderes ud fra analysen at være på ca. 42 million kr. plus moms pr. 5 år.

Figur 6.22 og Figur 6.23 viser anlægsoverslaget på henholdsvis initialfodring og vedligeholdelsesfodring grafisk for de enkelte fodringsstrækninger for sand og ral.

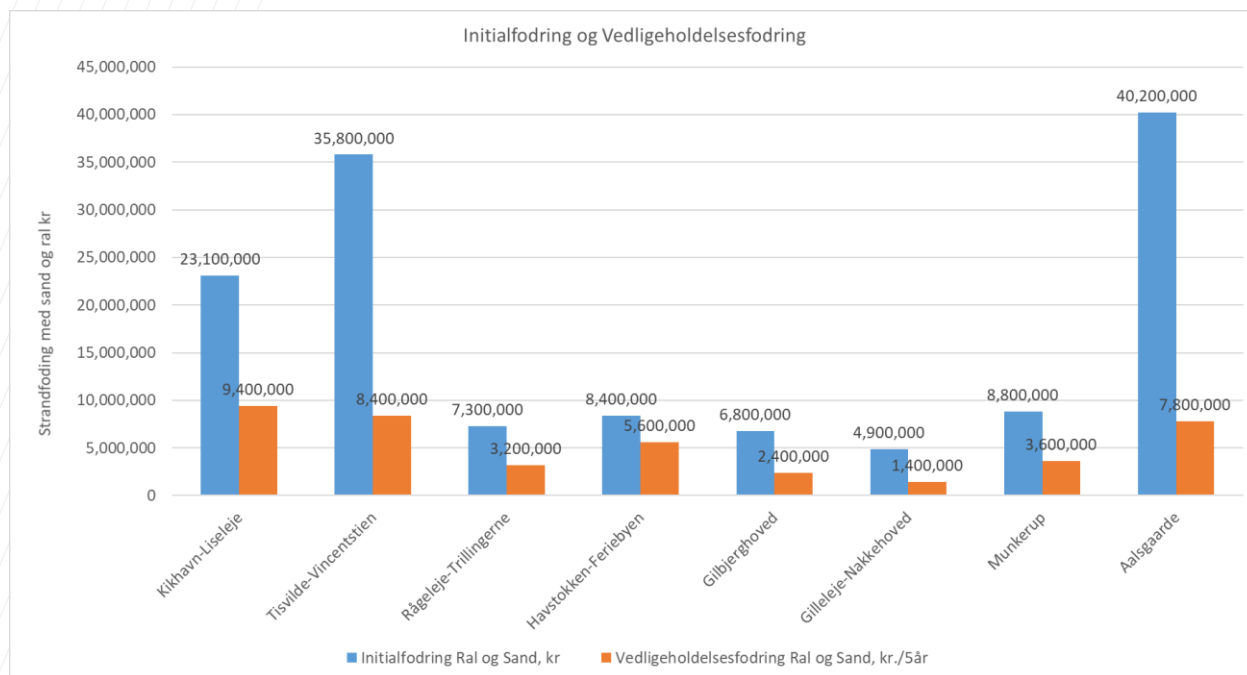


Figur 6.22 Anlægsoverslag for sand og ral fordelt på fodringsstrækninger for initialfodring. Anlægsoverslag er vist eksklusiv moms.



Figur 6.23 Anlægsoverslag for sand og ral fordelt på fodringsstrækninger for vedligeholdelsesfodring. Anlægsoverslag er vist eksklusiv moms.

Figur 6.24 viser en sammenligning af anlægsoverslag for initialfodring og vedligeholdelsesfodring for de enkelte fodringsstrækninger.



Figur 6.24 Anlægsoverslag for sand og ral fordelt på fodringsstrækninger for initialfodring og vedligeholdelsesfodring. Anlægsoverslag er vist eksklusiv moms.

Figur 6.25 og Figur 6.26 viser variationen af anlægsoverslaget per løbende meter kystlinje for hver fodringsstrækning for sand og ral for henholdsvis initialfodring og vedligeholdelsesfodring.

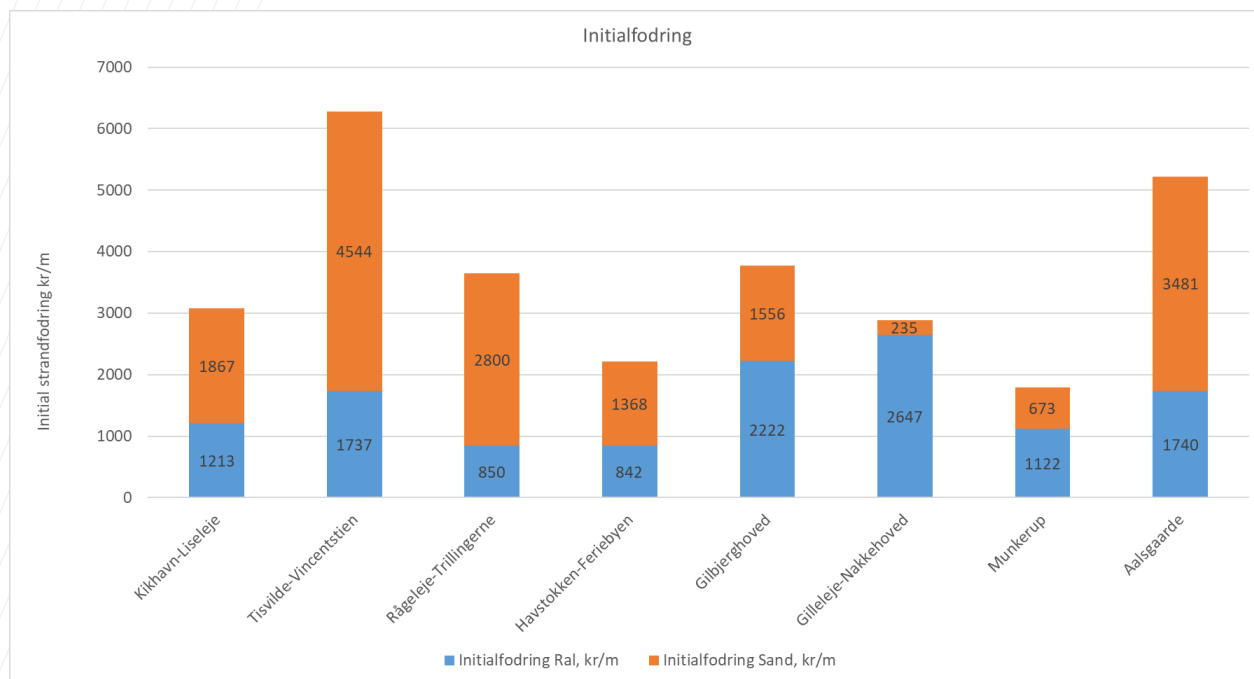
Figur 6.27 viser variationen i det samlede anlægsoverslag for sand og ral per løbende meter kystlinje for hver fodringsstrækning for henholdsvis initialfodring og vedligeholdelsesfodring.

Anlægsomkostningerne varierer fra den ene fodringsstrækning til den anden.

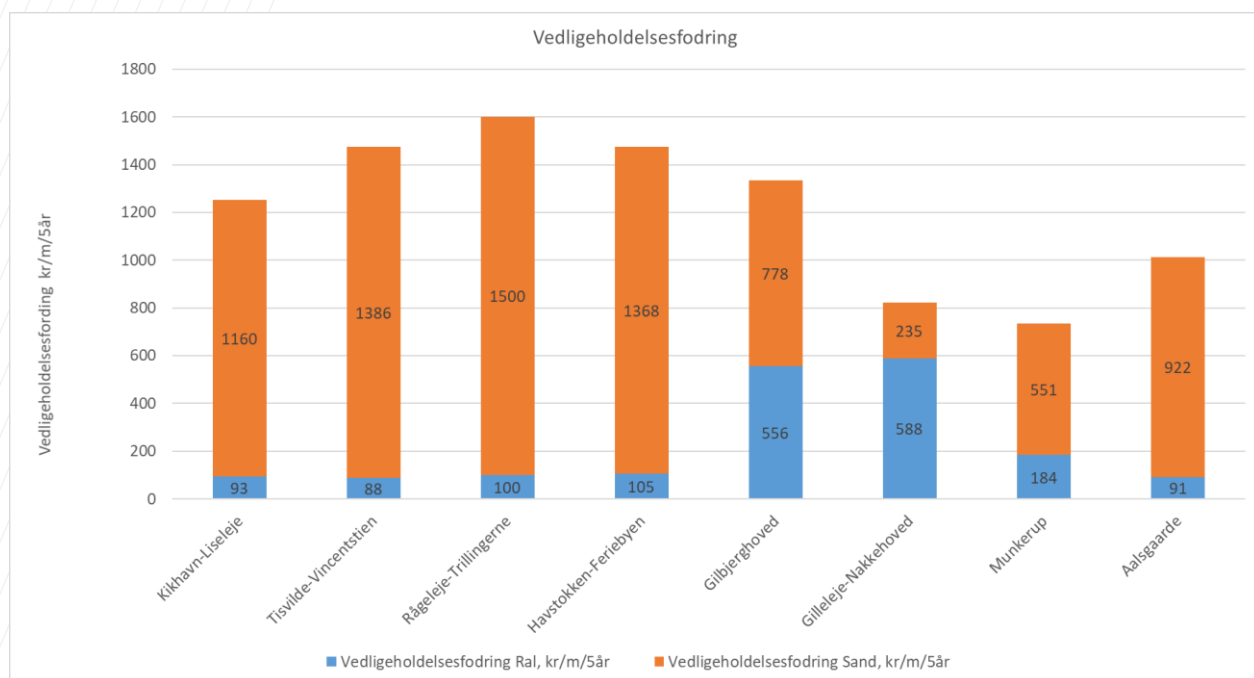
Initialfodringen ligger mellem 1800 kr./m plus moms ved Munkerup til 6300kr/m plus moms mellem Tisvildeleje og Vincentstien.

Vedligeholdelsesfordringerne ligger mellem 735kr/m plus moms ved Munkerup til 1600kr/m plus moms mellem Rågeleje og Trillingerne.

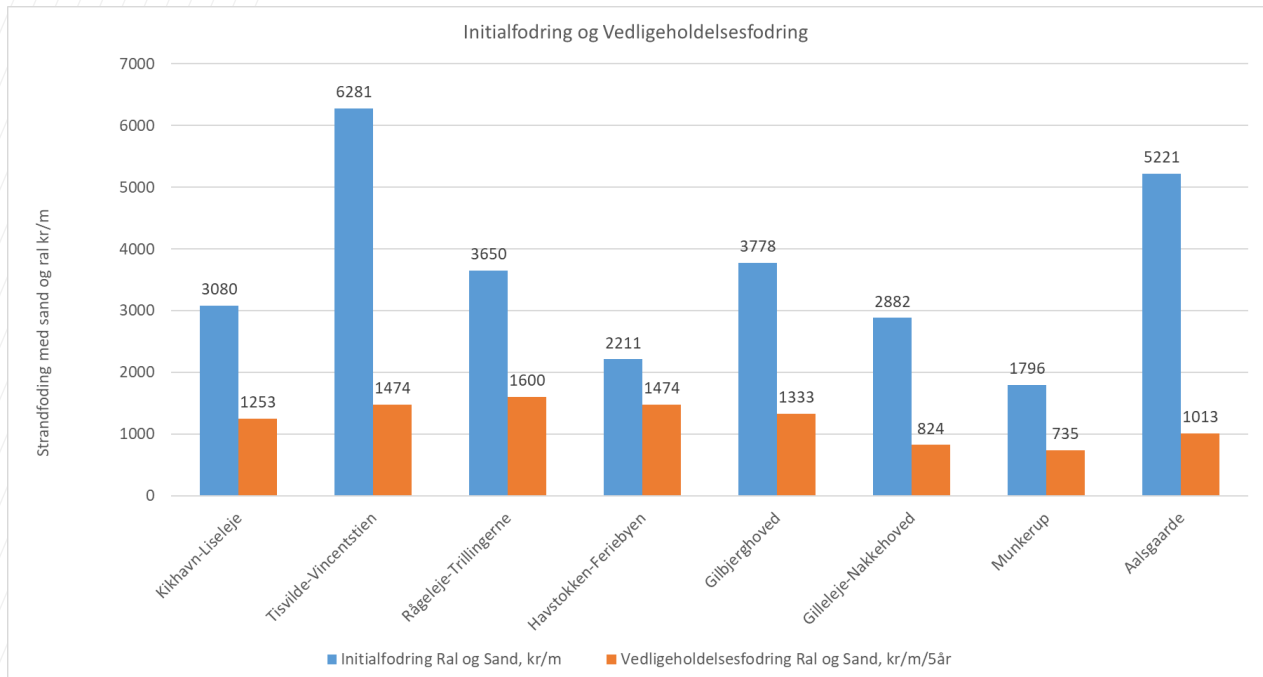
Vedligeholdelsesomkostningerne er generelt større vest for Gilleleje end øst for Gilleleje som følge af forskellig bølgeklime.



Figur 6.25 Anlægsoverslag pr. løbende meter kystlinje fordelt på fodringsstrækninger for initialfodring med sand og ral. Anlægsoverslag er vist eksklusiv moms.



Figur 6.26 Anlægsoverslag pr. løbende meter kystlinje fordelt på fodringsstrækninger for vedligeholdelsesfodring hvert 5. år med sand og ral. Anlægsoverslag er vist eksklusiv moms.



Figur 6.27 Anlægsoverslag pr. løbende meter kystlinje fordelt på fodringsstrækninger for initial- og vedligeholdelsesfodring hvert 5. år med sand og ral. Anlægsoverslag er vist eksklusiv moms.

6.6 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.

7 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. (2020). *Nordkystens Fremtid. Cost-effectiveness analyse af kystbeskyttelse på Nordkysten*.
- NIRAS. (2020). *Nordkystens Fremtid. Kystteknisk projekt*.
- NIRAS. (2020). *Nordkystens Fremtid. Miljøkonsekvensvurdering*.
- NIRAS. (2020). *Nordkystens Fremtid. Myndighedsprojekt for strandfodring*.