

Kystplan for
Hjørring
Kommune

Kystteknisk rapport

HJØRRING KOMMUNE

27. AUGUST 2019

Indhold

1	Indledning	6
2	Resume	7
2.1	Kystteknisk baggrund	7
2.2	Kystteknisk vurdering	8
2.3	Kystplan	9
3	Kystinspektion	10
4	Met-ocean data	30
4.1	Vandstand	30
4.1.1	Normal vandstand	30
4.1.2	Ekstrem vandstand	30
4.1.3	Eustatisk havspejlsstigning	31
4.1.4	Isostatisk landhævning	33
4.1.5	Designvandstand på dybt vand	34
4.2	Bølger	35
5	Geologi	36
5.1	Generelt	36
5.2	Lønstrup Klint	37
5.3	Hirtshals Kystskrænt	37
5.4	Sandfraktion fra erosionsbidrag	38
6	Historisk kystudvikling	38
6.1	Kystanalyser	38
7	Sedimentbudget	40
7.1	Sedimentbudget baseret på kystanalyse	40
7.2	Overordnet sedimentbudget ud fra tidligere undersøgelser	42
7.3	Transport-, tilsandings- og bypass-forhold omkring	46
7.4	Hirtshals Havn	46
8	Lovgivning	48
8.1	Kystbeskyttelsesloven	48
8.1.1	Kommunale fællesprojekter (jf. kapitel 1a)	50

8.1.1.1	Indhentning af udtalelse fra Kystdirektoratet	50
8.1.1.2	Udtalelse og afgørelse om gennemførelse af kystbeskyttelsessagen	50
8.1.1.3	Udarbejdelse af myndighedsprojekt	51
8.1.1.4	Høring af konkret projekt	51
8.1.1.5	Afgørelse	51
8.1.1.6	Andre forhold	51
8.2	Miljøvurderingsloven	51
8.2.1	Miljøvurderingsproces	52
8.2.1.1	1. offentlighedsfase (idéfase)	52
8.2.1.2	Afgrænsning af miljøkonsekvensrapport	52
8.2.1.3	Miljøkonsekvensrapporten	53
8.2.1.4	Udkast til tilladelse jf. miljøvurderingslovens § 25 (tidligere VVM-tilladelse)	53
8.2.1.5	2. offentlighedsfase	53
8.2.1.6	Afgørelse	53
8.2.1.7	Kystbeskyttelsesloven og § 25-tilladelse	53
8.2.1.8	Offentliggørelsen af afgørelsen og klagefrist	54
8.3	Internationale naturbeskyttelsesområder	54
8.3.1.1	Miljøvurderingspligt og fravigelsesprocedure	55
8.3.2	Bilag IV-arter	56
8.4	Anden relevant lovgivning	57
8.4.1	Råstofloven	57
8.4.1.1	Nyttiggørelse af rene havbundsmaterialer	57
9	Hjørring Kommunes administrationspraksis	58
9.1	Fjernelse af eksisterende kystbeskyttelse	58
9.2	Fodring	58
9.3	Genopbygning af skråningsbeskyttelser	58
9.4	Genopbygning af høfder og bølgebrydere	58
9.5	Forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelser	59
9.6	Etablering af nye skråningsbeskyttelser	59
9.7	Forstærkning af eksisterende høfder og bølgebrydere	59
9.8	Etablering af nye høfder og bølgebrydere	59
9.9	Naboansvar	60
10	Kystplan	61
10.1	Kystplan sydvest for Løkken Mole	62
10.2	Kystplan mellem Løkken Mole og Nørre Lyngby	63
10.3	Kystplan mellem Nørre Lyngby og Mårup Kirke	65
10.4	Kystplan mellem Lønstrup og Nørlev Strand	68
10.5	Kystplan mellem Nørlev Strand og Hirtshals	70

10.6	Kystplan mellem Hirtshals og Kjul Strand	72
10.7	Kystplan mellem Kjul Strand og Tversted	73
10.8	Nedkørsler	74
10.9	Sandfodringsprojekt	74
11	Referencer	76
12	Bilag A Kystbeskyttelsesmetoder	77
12.1	Kystdynamik	77
12.1.1	Sedimenttransport	77
12.1.2	Tværgående sedimenttransport og akut erosion	77
12.1.3	Langsgående sedimenttransport og kronisk erosion	81
12.1.4	Effekten af havniveaustigninger på kysten	84
12.2	Hård Kystbeskyttelse	87
12.2.1	Sedimentbudget ved hård kystbeskyttelse	87
12.2.2	Høfder	88
12.2.3	Bølgebrydere	89
12.2.4	Rev og Flak	91
12.2.5	Skråningsbeskyttelse	92
12.2.6	Vedligeholdelse af hård kystbeskyttelse	94
12.3	Kystfodring	94
12.3.1	Sedimentbudget ved kystfodring	94
12.3.2	Sandfodring	95
12.3.3	Sandfodringsmetoder	97
12.3.3.1	Fodring af bagstranden	98
12.3.3.2	Strandfodring	99
12.3.3.3	Revlefodring	99
12.3.3.4	Profilfodring	100
12.3.3.5	Sandmængder	101
12.3.3.6	Depotfodringer	101
12.3.3.7	Ralfodring	102
12.3.4	Fodringens udvikling med tiden	103
12.3.4.1	Jævnt fordelt fodring	103
12.3.4.2	Depotfodringer	105
12.3.4.3	Valg af fodringslokalitet i relation til virkning på kysten og baglandets udnyttelse	105
13	Bilag B Eksempler på helhedsorienteret kystbeskyttelse	107
13.1	Strandfodring og optimering af kystbeskyttelsen på Nordfyn	107
13.2	Kystbeskyttelse, Hyllingebjerg til Liseleje	110
13.3	Sandfodring – Negombo, Sri Lanka	113
13.4	Betydning af længde af strandfodringer	115

14	Bilag C Historisk kystudvikling	120
15	Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning	121
16	Bilag E Kystplan	122
17	Bilag F Natura 2000	123

Projekt nr.: 10404137
Dokument nr.: 1232430102
Version 2
Revision 2

Udarbejdet af
CHLD,KMR,MML,EMSN,MLV,KRB
Kontrolleret af
KMR,MLV,PFKL,KBO,ALM
Godkendt af CHLD

1 Indledning

Hjørring Kommune har bedt NIRAS udarbejde en kystplan for kommunen.

Kysten i Hjørring Kommune er 51 km lang og starter lige syd for Løkken, løber over Hirtshals og ender lidt nord for Tversted.

Kystplanen er baseret på eksisterende tilgængeligt kystteknisk materiale udleveret af Kommunen i forbindelse med projektet.

Kystplanen beskriver de overordnede forhold langs kysten, som har betydning for, hvorledes Kommunen kan administrere de kysttekniske udfordringer.

Følgende forhold er belyst i kystplanen:

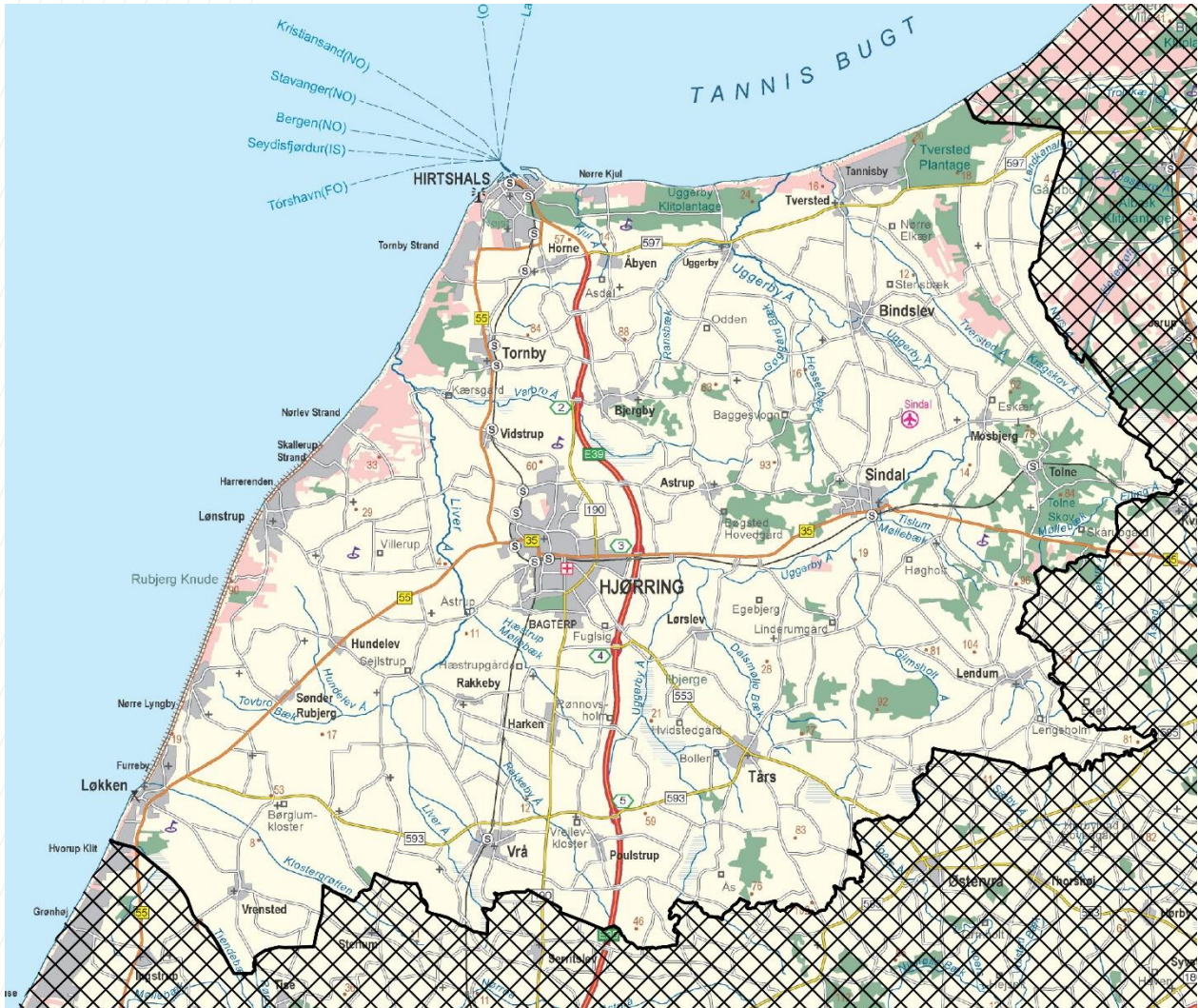
- Resume
- Kystteknisk vurdering
- Kystteknisk beskrivelse af kysten
- Bølger og vandstande
- Geologi
- Historisk kystudvikling
- Sedimentbudget
- Oversigt af kystbeskyttelsesloven og relateret miljølovgivning
- Kystteknisk administrationspraksis
- Kystplan for delstrækninger
- Beskrivelse af kystbeskyttelsesmetoder
- Beskrivelse af andre projekter med strandfodring

Kystplanen er udarbejdet uden at tage hensyn til fremtidige havspejlsstigninger. Effekten af havspejlsstigning kan indeholdes i en senere opdatering af kystplanen.

2 Resume

2.1 Kystteknisk baggrund

Kysten i Hjørring Kommune strækker sig fra Løkken i syd, over det markante knæk i kystlinjen ved Hirtshals og forbi Tversted mod nordøst. Kysten syd for Hirtshals er orienteret imod VNV, mens kysten øst for Hirtshals er orienteret imod nord, se oversigtskort på Figur 2.1.



Figur 2.1 Oversigtskort over kysten i Hjørring Kommune

De fremherskende bølger fra vestlige retninger medfører en netto langstransport imod nordnordøst på strækningen syd for Hirtshals og imod øst på strækningen øst for Hirtshals.

Den kystparallelle sedimenttransport stiger generelt fra sydvest mod nordøst mellem Løkken og Hirtshals og fra Hirtshals til Tversted.

Den stigende transportkapacitet i transportens retning langs kysten resulterer i kronisk erosion.

Kysten er herudover udsat for akut erosion i forbindelse med stormflod og store bølger.

På kyststrækningen er der forskellige kysttekniske anlæg, som påvirker kystens sedimentbudgettet og skaber læsideerosion, og herunder kystbeskyttelses anlægene ved Løkken og ved Lønstrup samt molen i Løkken og ikke mindst havnen i Hirtshals.

Oprensning i havneindsejlingen til Hirtshals Havn og klappning samt bypass af det oprensede sediment påvirker i særlig grad sedimentbudgettet langs kysten.

Derudover strandfodres der på flere strækninger ved Løkken, Lønstrup og Nørlev Strand, hvilket reducerer den kroniske erosion lidt.

Den kroniske og den akutte erosion af kysten øges i fremtiden som følge af havspejlsstigning.

2.2 Kystteknisk vurdering

Løkken Mole skaber læsideerosion nordøst for molen op mod Furreby, som har medført, at der har været behov for at anlægge hård kystbeskyttelse foran truede ejendomme i Løkken.

Der foretages nu strandfodring foran de nye skråningsbeskyttelser. Sandet hentes syd for Løkken Mole og afhjælper derfor ikke det overordnede underskud i sedimentbudgettet og er derfor ikke en optimal løsning.

Hele kysten fra Løkken til Lønstrup er under erosion og frigiver store mængder sand og ler. Det er dog kun sandet, som indgår i sedimentbudgettet. Ler og silt mistes ud på dybt vand.

Generelt er der få truede ejendomme på strækningen mellem Løkken og Lønstrup, men der er behov for kystbeskyttelse ved Furreby og Nørre Lyngby for at beskytte truede ejendomme.

Det anbefales, at strandfodre på længere strækninger, hvor der er eller anlægges hård kystbeskyttelse fremover for at forhindre, at stranden forsvinder foran konstruktionerne, som følge af kronisk erosion.

Der er også behov for yderligere kystbeskyttelse på strækningen fra sydvest for Lønstrup til nordøst for Nørlev Strand.

Generelt er der et stort underskud i sedimentbudgettet fra Lønstrup op forbi Nørlev Strand, som bør afhjælpes med massiv og koordineret fodring.

Kysten fra Liver Å op til Hirtshals er nogenlunde stabil og der er derfor ikke på nuværende tidspunkt behov for kystbeskyttelse.

Hirtshals Havn fanger størstedelen af langstransporten i sejlrenden og indsejlingen. Dette materiale oprenses og benyttes til fodring mellem Lønstrup og Nørlev Strand samt kystnært øst for havnen.

Det anbefales, at alt oprenset sand i fremtiden benyttes til fodring på strategisk udvalgte strækninger langs kysten for på den måde at indgå i sedimentbudgettet

og hjælpe med til at reducere kysterosionen i området og forbedre kystbeskyttelsen ud for truede ejendomme.

Kjul Strand er det eneste sted øst for havnen, hvor der er et behov for at stabilisere kysten foran truede huse. Der er ikke truede ejendomme øst for Kjul Strand, som kan komme i fare som følge af den naturlige kroniske erosion.

2.3 Kystplan

Der er behov for kystbeskyttelse ud for truede ejendomme langs en række kyststrækninger i Hjørring Kommune, se Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning.

Generelt anbefales det at anlægge skråningsbeskyttelser af sten kombineret med fodring på strækninger med truede ejendomme for at beskytte baglandet mod kronisk og akut erosion og samtidig vedligeholde stranden og forhindre læsideerosion, se Bilag E Kystplan.

Derudover kan der på den særligt udsatte strækning ved og nordøst for Lønstrup være behov for at anlægge høfder, bølgebrydere eller lignende for at genskabe stranden. Nye konstruktioner skal kombineres med omfattende strandfodring. Det kan ikke anbefales at anlægge høfder og bølgebrydere eller lignende andre steder på kysten, da dette kan medføre læsideerosion, se Bilag E Kystplan.

Fodring bør udføres over længere sammenhængende strækninger og med store mængder for at virke optimalt, se Bilag E Kystplan.

Det anbefales at lade den naturlige kysterosion fortsætte på de strækninger, hvor der ikke er et behov for at beskytte ejendomme. Herved sikres det størst mulige naturlige bidrag til sedimentbalancen langs kysten og herved reduceres den kroniske erosion langs strækninger med truede ejendomme, se Bilag E Kystplan.

Kystmiljøet er meget barsk i Hjørring Kommune. Anvendte løsninger bør derfor opbygges af traditionelle og robuste materialer som sten, ral og sand for at sikre langtidsholdbare løsninger, der både beskytter baglandet og de rekreative værdier i kommunen.

Anlæggelse af hård kystbeskyttelse bør holdes på et minimum for at beskytte det naturlige kystlandskab og de rekreative værdier.

Der bør fodres med importeret sand ved Løkken for at reducere læsideerosionen nordøst for Løkken Mole og herved bevare stranden. Det foreslås, at der indhentes tilladelse til indvinding af sand på dybt vand i nærheden af Løkken. Dette kan sikre en minimal enhedspris på sandet.

Der bør ikke fjernes sand fra stranden ved Løkken, da der er et underskud i sedimentbalancen langs kysten nordøst for Løkken Mole.

Oprensat sand fra indsejlingen til Hirtshals Havn bør benyttes som fodring langs kysten omkring Lønstrup og i mindre grad ved Kjul Strand.

Sand kan med fordel indvindes på stranden syd for vestmolen ved Hirtshals Havn, og benyttes til strandfodring i kommunen.

Strandfodring anbefales på de strækninger, hvor det ønskes at opretholde eller skabe en bred og attraktiv strand til beskyttelse af skråningsbeskyttelser og skrånninger. En del af fodringerne kan udføres som revlefodring, som er billigere. Revlefodring medvirker til at reducere underskuddet i sedimentbudgettet, men bør kun udføres med store mængder for at opnå en optimal virkning. Revlefodring er mindre effektiv til at beskytte baglandet end strandfodring ved benyttelse af samme sandmængder i de to metoder.

3 Kystinspektion

NIRAS og Hjørring Kommune har afholdt opstartsmøde og kystinspektion af karakteristiske lokaliteter 28.02.2019.

Her blev de kysttekniske udfordringer og øvrige hensyn, som skal afvejes på de enkelte strækninger diskuteret.

Ud fra opstartsmødet og kystinspektionen har NIRAS udarbejdet en kystteknisk beskrivelse af kysten, som er suppleret med analyser af luftfoto og eksisterende studier.

Figur 3.1 viser ophalerpladsen i Løkken. Der er en række fiskebåde, som trækkes på land i læ bag Løkken Mole. Der er dog få aktiv erhvervsfisker tilbage. De øvrige fiskebåde benyttes af fritidsfiskere. Løkken Mole har stor turistmæssig betydning for byen, som er en velbesøgt turistattraktion. Molen benyttes desuden som udsigtsplatform og til lystfiskeri og skaber desuden gode bølgeforhold for surfere.



Figur 3.1 Ophalerpladsen ved Løkken Mole

Figur 3.2 viser den historiske kystudvikling omkring Løkken Mole.

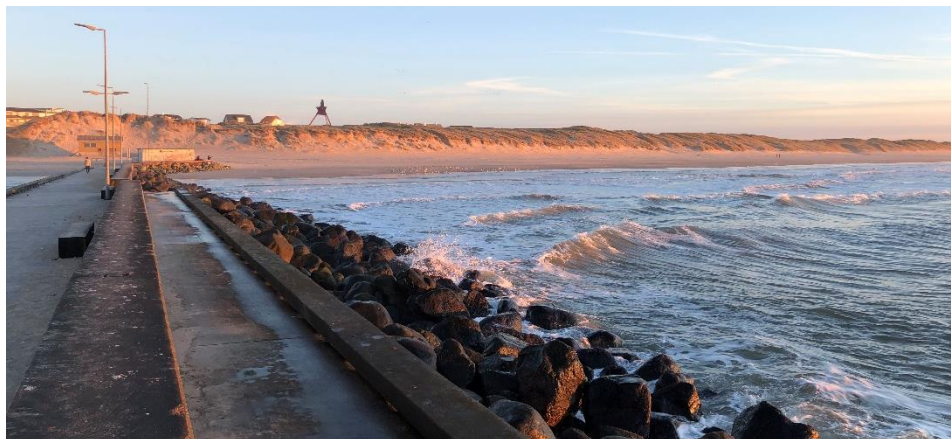
Figur 3.3 viser den brede strand sydvest for Løkken Mole. Molen blokerer delvist for den nordøst rettede langstransport og har derved bevirket en opbygning af stranden sydvest for molen. Der er brede og høje klitter langs kysten, som dog er udsat for akut erosion i forbindelse med kraftige vinterstorme. Strandens sydvest for molen er stort set stabil. Strandens har en stor rekreativ værdi og kvalitet i kraft af det rene strandsand, der kendetegner kysten her.

Figur 3.4 viser, at der er mange badehuse på stranden sydvest for molen om sommeren.

Figur 3.5 til Figur 3.9 viser stranden nordøst for Løkken Mole. Molen har medført markant læsideerosion på denne strækning, som har betydet, at strand og kystlinje er rykket tilbage.



Figur 3.2: Historisk kystudvikling omkring Løkken Mole, Bilag C



Figur 3.3 Bred strand sydvest for Løkken Mole, vinter 2019



Figur 3.4 Bred strand med badehuse sydvest for Løkken Mole, sommer 2019



Figur 3.5 Stranden ved og nordøst for ophalerpladsen ved Løkken Mole

Molen giver læ for fiskerbådene og er derfor vigtig for fiskerne, men også for byens turister. Stranden har generelt en god kvalitet, men der er flere steder blottede lerbænke på stranden og på lavt vand, hvilket reducerer den rekreative kvalitet lokalt.

Figur 3.6 viser den markante læsideerosion nordøst for Løkken Mole.



Figur 3.6 Stranden ved og nordøst for ophalerpladsen ved Løkken Mole, vinter 2019

Figur 3.7 viser, at der også er mange badehuse på stranden nordøst for Løkken Mole om sommeren.



Figur 3.7 Stranden med badehuse ved og nordøst for ophalerpladsen ved Løkken Mole, sommer 2019

De mange badehuse i Løkken er nu truet af kysterrosionen og højvande i sommerhalvåret.

Redningshuset i Løkken er nu truet af kysttilbagerykning og man har derfor valgt at anlægge kystbeskyttelse foran i form af en spunsvæg, se Figur 3.8. Spunsvæggen er dog blevet bagskåret og konstruktionen vil derfor skulle forstærkes og vedligeholdes løbende. Der er desuden en nedkørsel til stranden nordøst herfor, som også skal vedligeholdes løbende for at forhindre underminering.



Figur 3.8 Strand ved redningshuset i Løkken

Løkken Mole har også skabt læsideerosion langs sommerhusene i den nordlige del af Løkken, se Figur 3.9. Her har nogle grundejere fået tilladelse til at anlægge skråningsbeskyttelse foran deres ejendomme, som nu ligger tæt på skrænten. Sommerhusejerne er nu forpligtiget til at strandfodre foran deres skråningsbeskyttelser for at beskytte stranden, der ellers er i fare for at forsvinde med tiden som følge af kronisk erosion. Der strandfordres årligt i alt med ca. 6.000m³ foran ejendommene nord for Løkken Mole.



Figur 3.9 Strand nordøst for redningshuset i Løkken

Sandet til strandfodring indvindes sydvest for Løkken Mole, hvor stranden naturligt bygger på, se Figur 3.3. Der er tilladelse til bypass af 30.000m³/år fra området sydvest for molen.

Den kronisk erosion vil ikke blive afhjulpet ved bypass af sandet, da der ikke tilføres ekstra sand til sedimentbudgettet, men sandet blot flyttes lokalt. Den anvendte metode til strandfodring er derfor ikke optimal.

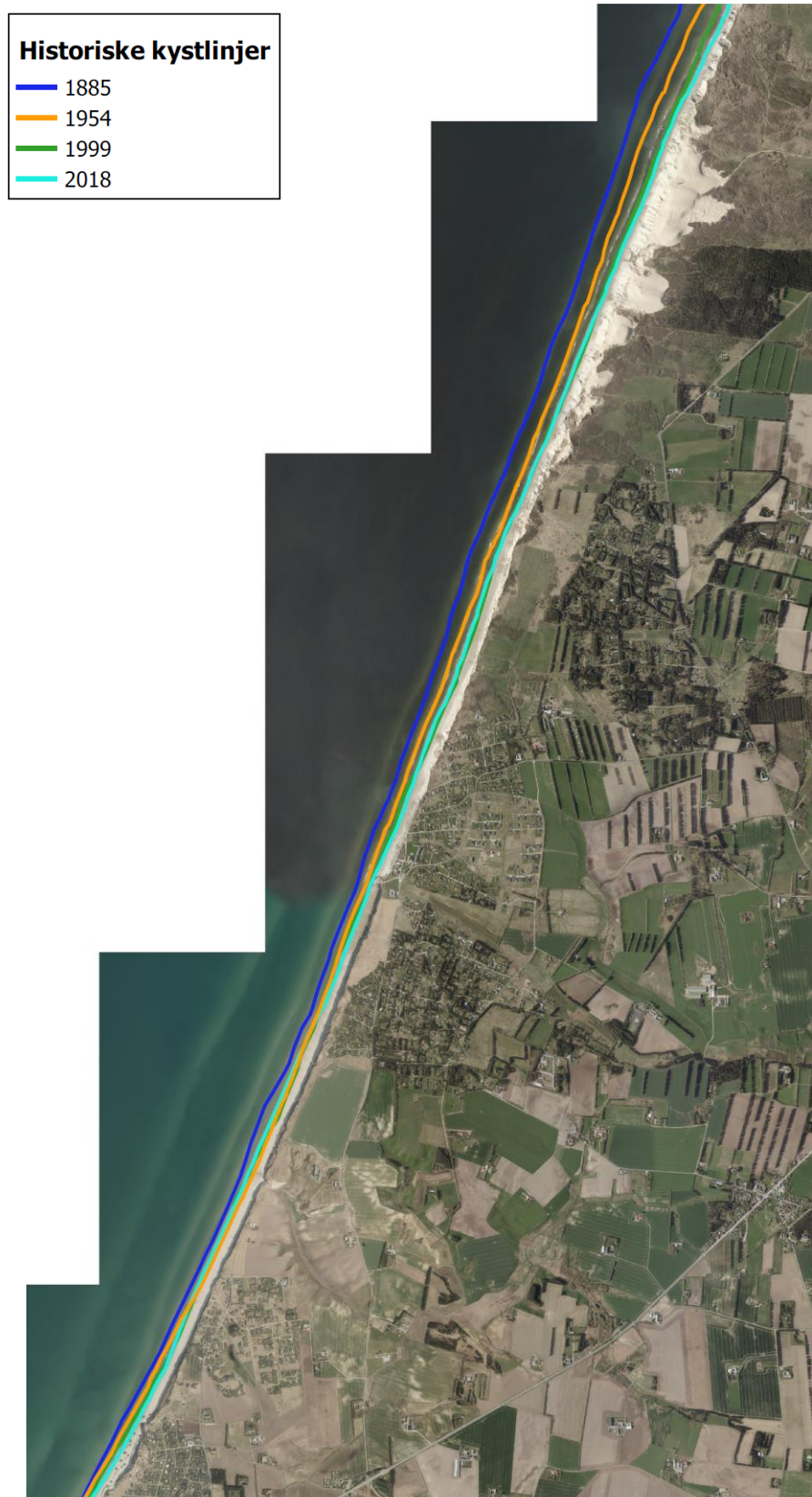
Kysten ved Nørre Lyngby er rykket tilbage over årene.

Figur 3.11 viser den historiske kystlinjeudvikling mellem Løkken over Nørre Lyngby og Rubjerg Knude til Lønstrup.

Der er i dag høje skrænter ud til kysten på begge sider af Nørre Lyngby, se Figur 3.10 og Figur 3.12. Der er en stejl nedkørsel til stranden ved Nørre Lyngby, som løbende må forstærkes for at forhindre underminering og bagskæring som følge af kronisk erosion. Der har tidligere ikke været anlagt kystbeskyttelse ved Nørre Lyngby bortset fra ved nedkørslen. Det har betydet, at der er gået ejendomme tabt gennem tiden i Nørre Lyngby. Klinterne ved Nørre Lyngby er lerholdige og der er betydelig udstrømning af grundvand. Disse forhold reducerer den rekreative værdi af stranden på denne strækning, som kan være fugtig og blød nogle steder, se Figur 3.10.



Figur 3.10 Strand syd for nedkørslen ved Nørre Lyngby



Figur 3.11: Historisk kystudvikling mellem Løkken over Nørre Lyngby og Rubjerg Knude til Mårup Kirke, Bilag C

Figur 3.12 viser kysten nord for nedkørslen i Nørre Lyngby. Nedkørslen bremser efterhånden en del af langstransporten og skaber derved på sigt læsideerosion nord for.



Figur 3.12 Strand nord for nedkørslen ved Nørre Lyngby

Grundejerne forsøger sig nu med at etablere skråningsbeskyttelse med Ground Plug, som består af neg af pilegrene, som graves ned i stranden og derved skaber terrasser i forskellige niveauer. Som en del af kystbeskyttelsen fodres der desuden på den beskyttede strækning.

Den høje klint ved Nørre Lyngby forstætter forbi Rubjerg Knude og Mårup Kirke til Lønstrup, se Figur 3.13, Figur 3.14 og Afsnit 5.2.



Figur 3.13 Kysten syd for Mårup Kirke



Figur 3.14 Kysten nordøst for Mårup Kirke

Stranden er smal og leret på denne strækning og har generelt ikke den store rekreative værdi. Klinten på hele strækningen mellem Løkken og Lønstrup frigiver store mængder sediment til kysten i form af ler og sand som følge af kronisk og akut erosion. Det er dog kun sandet, der vil indgå i kystens sedimentbudget, mens leret udvaskes og forsvinder ud på dybt vand, se Afsnit 5.4.

Mårup Kirke er opgivet og gradvist nedrevet i perioden 2008-2015 og kirkegården forsvinder nu gradvist ud over kanten som følge af erosion. Der er ingen truede ejendomme mellem Mårup Kirke og Nørre Lyngby.

Kysterrosionen langs Rubjerg Knude er så fremskreden, at fyret nu ligger tæt på klinten. Det er derfor besluttet at flytte fyret tilbage for at bevare den unikke turistattraktion, se Figur 3.13. Fyret fungerer i dag udelukkende som udkigstårn.

Sommerhusene ligger tæt på klinten sydvest for Lønstrup, se Figur 3.15.



Figur 3.15 Kystskrænt ved truede sommerhuse sydvest for Lønstrup

Der er en strækning, som er ubeskyttet og hvor de yderste huse nu er i overhængende farer for at styrte i havet. Der er flere grundejere, som allerede har måtte opgive deres ejendomme og der er nogle, der ligger meget tæt på kanten. Klinten er en del udpegningsgrundlaget for Natura-2000 området og det har derfor ikke været muligt at få tilladelse til at beskytte kystklinten. Grundejerne har forsøgt sig med flere forskellige ulovlige tiltag for at beskytte deres ejendomme og herunder udlægning af sten, beton, halmballer og sand. Disse tiltag har dog ikke afhjulpet situationen, som i dag stadig er uafklaret.

Figur 3.16 viser den historiske kystudvikling ved Lønstrup. Figuren viser den omfattende kysterosion syd for Lønstrup og den hårde kystbeskyttelse ved og nordøst for pynten ved Lønstrup, samt læsideerosionen nordøst for høfderne ved Skallerup Seaside Resort.

Figur 3.17 til Figur 3.20 viser kystbeskyttelses anlægget rundt om pynten ved Lønstrup, som blev anlagt efter en voldsom storm i 1981, med henblik på at beskytte Lønstrup og ophalerpladsen.

Anlægget består af skråningsbeskyttelser og bølgebrydere, som nu suppleres med strandfodring på omkring 30.000m³/år. Målsætningen for strandfodringen er at udligne underskuddet i den kystnære del af sedimentbudgettet indenfor bølgebryderne. Sandet transporteres til Lønstrup med lastbiler fra stranden sydvest for Hirtshals Havn. Strandfodringen udlægges før turistsæsonen for at genskabe stranden nordøst for landingspladsen samt sydvest for pynten, se Figur 3.17 og Figur 3.20. Strandfodringerne er dog langt fra nok til at dække det samlede underskud i sedimentbudgettet og erosionen fortsætter derfor omkring Lønstrup. Dette betyder, at vanddybden stiger foran konstruktionerne rundt om pynten.

Kystbeskyttelses anlægget bliver vedligeholdt af Hjørring Kommune. I 2015 blev der anlagt ny betonsti ud til enden af høfden nordøst for landingspladsen, se Figur 3.19. Den øgede vanddybde foran og dermed større bølgepåvirkning medfører, at konstruktionerne i stigende grad bliver beskadiget under storme. Den større vanddybde langs kysten medfører også, at sandet udlagt på strandene trækkes ud på dybere vand, når stormene sætter ind om efteråret.



Figur 3.16: Historisk kystudvikling omkring Lønstrup, Bilag C



Figur 3.17 Kystbeskyttelse sydvest for pynten ved Lønstrup



Figur 3.18 Kystbeskyttelse ved pynten ved Lønstrup

Stranden er forsvundet ved landingspladsen, se Figur 3.19. Det er derfor sjældent muligt at trække både op ved landingspladsen.



Figur 3.19 Kystbeskyttelse ved ophalerpladsen i Lønstrup.

Figur 3.20 viser kysten nordøst for landingspladsen, hvor stranden genetableres med strandfodring før turistsæsonen. Billedet er taget i vinteren 2019 og viser, at stranden er eroderet bort på dette tidspunkt.



Figur 3.20 Kystbeskyttelse nord for ophalerpladsen ved Lønstrup

Skråningsbeskyttelserne fortsætter nordøst for Lønstrup op til umiddelbart sydvest for Skallerup Seaside Resort, se Figur 3.21. Strandens eroderet bort på stort set hele strækningen og skråningsbeskyttelserne bliver derfor udsat for stor bølgepåvirkning.

Grundejerforeningerne vedligeholder løbende konstruktionerne, der bliver beskadiget i større grad efterhånden som vanddybden øges foran skråningsbeskyttel-

serne. Strækningen er dels udsat for læsideerosion nordøst for pynten ved Lønstrup, men er også udsat for kronisk erosion fordi orienteringen af kysten drejer med uret nordøst for Lønstrup og langstransporten derfor stiger.



Figur 3.21 Kystbeskyttelse ved Harerenden i Lønstrup

Der ligger i dag 4 høfder ved Skallerup Seaside Resort, som har medvirket til at skabe læsideerosion nordøst for op mod Nørlev Strand, se Figur 3.22 og Figur 3.23. Kommunen ønsker at reducere læsideerosionen. Høfderne hjælper dog med at stabilisere stranden ved Skallerup Seaside Resort og umiddelbart sydvest for. Kysten forventes at rykke betydeligt tilbage, hvis høfderne uden videre fjernes. En mere skånsom fremgangsmåde er at tilpasse høfderne og nøjes med at fjerne enkelte af konstruktionerne for ikke at skabe problemer for Skallerup Seaside Resort og grundejerne mod sydvest.



Figur 3.22 Høfder sydvest for Skallerup Seaside Resort, Stormen Urd 26.12.2016



Figur 3.23 Læsideerosion nordøst for høfderne ved Skallerup Seaside Resort, Stormen Urd 26.12.2016

Der er gennem de senere år forsvundet en del sommerhuse ved Nørlev Strand som følge af kysttilbagerykning.

Der er nu etableret nye 2 skråningsbeskyttelser ud for sommerhusene nordøst for Skallerup Seaside Resort og ved Nørlev Strand, se Figur 3.24 og Figur 3.25.

De nye skråningsbeskyttelser suppleres med revlefodring på 31.000m³/år. Sandet til fodringerne kommer fra oprensning af indsejlingen til Hirtshals Havn og lægges på revlerne lokalt ud for de nye konstruktioner. På denne måde genbruges sandet og grundejerne kan få billigere sandfodring, da de kun skal betale for den ekstra sejlafstand i forhold til afstanden til klappladsen, hvor størstedelen af sandet fra oprensningen i indsejlingen til Hirtshals Havn tidligere blev klappet. Det er en god løsning overordnet set, da der tilføres sand til en del af kysten, hvor der er underskud i sedimentbalancen. På den anden side vil sandet gøre mere gavn på kysten generelt, hvis det blev lagt på stranden foran skråningsbeskyttelserne mod syd-vest op til og med pynten ved Lønstrup. Herved kunne der opbygges en ny rekreativ og beskyttende strand foran de udsatte konstruktioner ved Lønstrup og Harerenden og sandet kunne få en længerevarende virkning på den udsatte strækning op mod Nørlev Strand i og med, at sandet gradvist vandrer langs kysten mod nordøst.



Figur 3.24 Ny skråningsbeskyttelse sydvest for nedkørslen ved Nørlev Strand

Nordøst for Nørlev Strand ændre kysten gradvist orientering mod vestnordvest, se Figur 3.25. Dette medfører, at langtransporten reduceres og den kroniske erosion ophører således, at kysten er nogenlunde stabil. Der er således ikke behov for hård kystbeskyttelse på denne strækning. De naturlige klitter beskytter baglandet mod akut erosion.

Stranden har generelt en god kvalitet fra Skallerup Seaside Resort op til Hirtshals.



Figur 3.25 Ny kystbeskyttelse nordøst for nedkørslen ved Nørlev Strand og ændring i orientering af kystlinjen

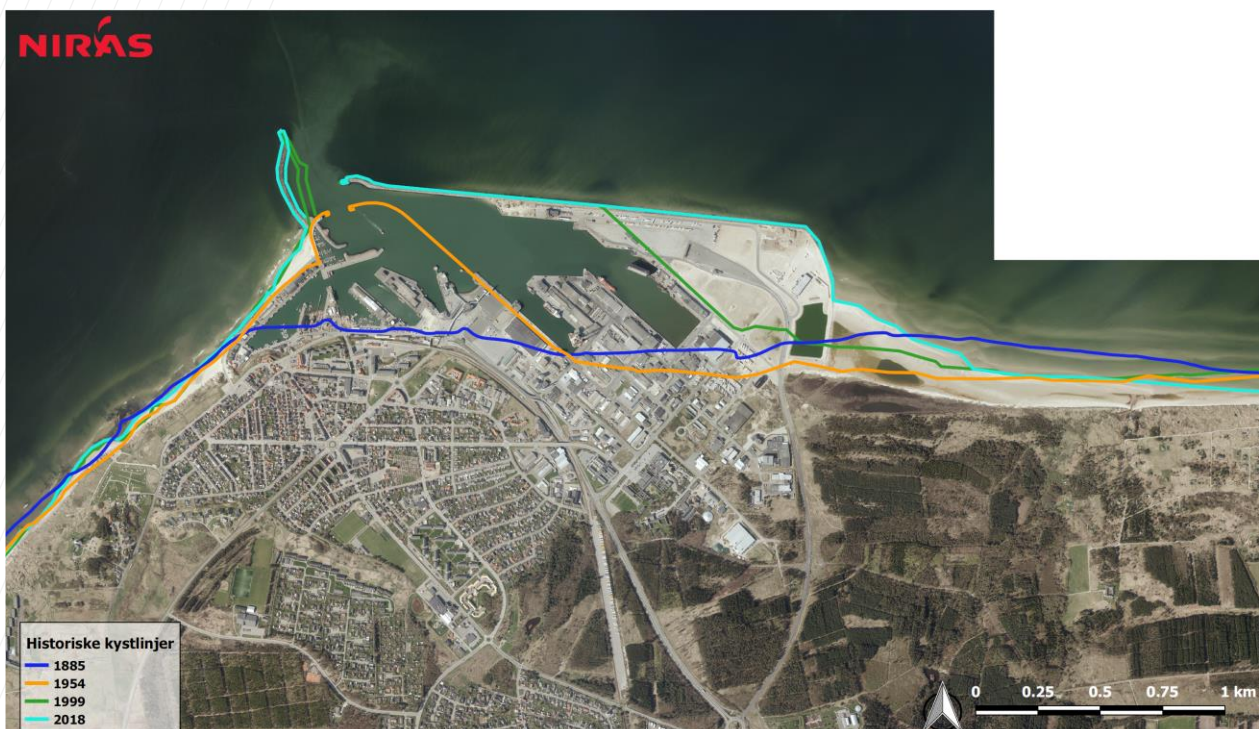
Umiddelbart syd for Hirtshals Havn er der en kort strækning med klinter og stenflak ud for kysten, som er relativ modstandsdygtig i forhold til kronisk erosion, se Figur 3.27 og Afsnit 5.3.

Havnen er anlagt på den naturlige pynt ved Hirtshals, hvor den naturlige vanddybde er størst tættest på kysten. Udbygningen af Hirtshals Havn fremgår af Figur 3.26.

Den første havn på pynten ved Hirtshals stod færdig i 1929, og siden er havnen udvidet i flere omgange, som det fremgår af konturlinjerne af havnen præsenteret i Figur 3.26. Først i 1970'erne gik man bort fra den strømlinede havnemunding, idet der blev opført en forlænget dækmole vest for indsejlingen for at skabe mere læ i indsejlingsområdet til den stigende trafik på havnen. Efter at denne mole blev bygget har der stort set ikke været noget naturligt bypass af sand forbi havnen. Havnen er også løbende udbygget imod øst for at skabe mere plads og i dag strækker havnen sig over 2 km øst for indsejlingen.

Molerne ved havnen har skabt en strand og en lille bugt mod sydvest, se Figur 3.27 og Figur 3.28.

Strandens kvalitet langs klinten ved Hirtshals er reduceret lokalt som følge af udvaskede sten.



Figur 3.26: Udbygning af Hirtshals Havn belyst ved kystlinjeanalyse for perioden 1885-2018, Bilag C

Stranden umiddelbart sydvest for havnen bliver afgravet for at skaffe sand til strandfodring ved Lønstrup. Stranden genskabes hurtigt naturligt, da molerne blokerer for en del af langstransporten. Opgravning af sand på stranden kan medvirke til at reducere tilsandingen af indsejlingen til havnen og er derfor en god

måde at skaffe sand til strandfodring. Der benyttes lastbiler til bortkørsel af sandet da lokaliteten er forholdsvist let tilgængelig.

Der er gravet kystdræn ned i en del af stranden, som benyttes til at skaffe rent saltvand til Nordsømuseumet.



Figur 3.27 Kysten syd for Hirtshals Havn



Figur 3.28 Strand op mod den vestlige mole ved Hirtshals Havn

Figur 3.29 viser den flade kyst øst for Hirtshals Havn. Kysten umiddelbart øst for havnen er rykket frem efter de seneste udvidelser af havnen, da havnen skaber læ for bølgerne fra vest.



Figur 3.29 Strand øst for Hirtshals Havn

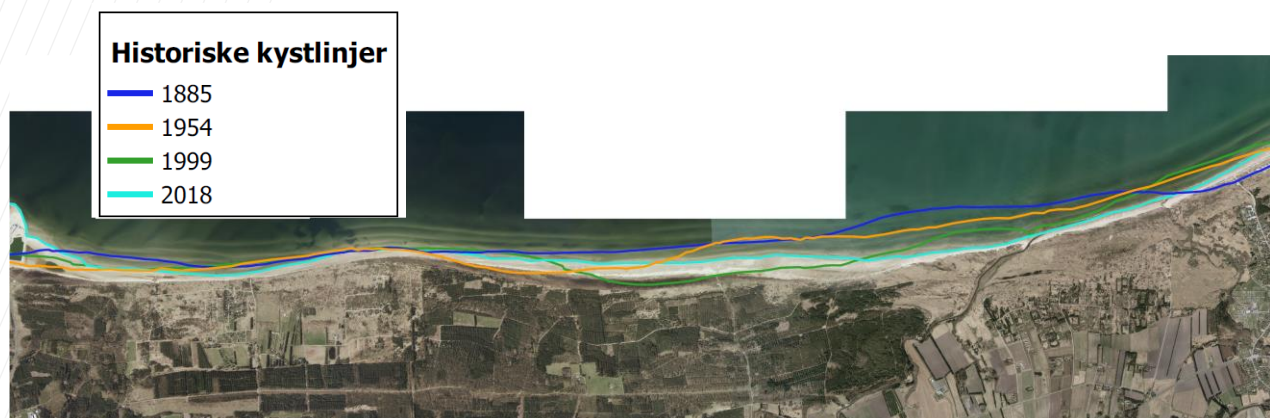
Længere mod øst ved Kjøl Strand rykker kysten tilbage som følge af kronisk erosion og læsideerosion øst for havnen, se Figur 3.30. Grundejerne forsøger sig med fyr-ris til at stabilisere klitfoden, men virkningen ser ud til at være utilstrækkelig.



Figur 3.30 Stranden ved Kjøl øst for nedkørslen

Kysten øst for Hirtshals Havn er stort set naturlig uden hård kystbeskyttelse.

Figur 3.31 viser den naturlige kystudvikling af stranden øst for Hirtshals op forbi Tversted.



Figur 3.31: Historisk kystudvikling mellem Hirtshals og Tversted, Bilag C

Strandlinjen har et bølget forløb, som kaldes sandbølger. Sandbølgerne vandrer langs kysten fra havnen mod øst. Sandbølgerne betyder, at stranden i nogle perioder vokser frem og i andre perioder eroderer tilbage.

Sandbølgerne skyldes, at bølgerne ud for kysten generelt har et meget skråt indfald på stranden. Langtransporten stiger derfor nogle steder og falder andre steder, fordi mindre fluktuationer i kystlinjen forstærkes grundet de specielle transportforhold. Denne dynamik medfører, at sandbølgerne forstærkes på den del af kysten, som vender mod nord. Længere mod øst op mod Tversted ændres kystens generelle orientering mod nordvest og bølgerne indfaldsvinkel reduceres derfor. Dette medfører, at sandbølgerne gradvist udviskes og stranden får et mere lige forløb.

Figur 3.32 og Figur 3.33 viser stranden ved Tversted, hvor der er spor af erosion i klitterne, som skyldes en kombination af kronisk og akut erosion.

Der er ingen truede ejendomme på strækningen øst for nedkørslen til Kjul Strand.

Stranden har generelt en god kvalitet øst for Hirtshals Havn op til Tversted.



Figur 3.32 Strand vest for nedkørslen ved Tversted



Figur 3.33 Strand øst for nedkørslen ved Tversted

4 Met-ocean data

4.1 Vandstand

4.1.1 Normal vandstand

Ifølge Den Danske Havnelods er forskellen mellem middelspringtidshøjvande og middelspringtidslavvande ca. 0,3 m i Hirtshals Havn, (Geodatastyrelsen, 2019).

4.1.2 Ekstrem vandstand

Vestlige storme kan give indtil 1,5m højvande og østlige storme indtil 1m lavvande ud for kysten.

Følgende figurer viser Kystdirektoratets højvandstatistikker for Hirtshals Havn på dybt vand uden for bølgebrydningszonen, se Figur 4.1, (Kystdirektoratet, Højvandsstatistikker, 2017).

Figuren viser, at vandstanden ud for kysten ved Hirtshals er +141 cm over middelvandstanden for en 50 års stormhændelse.

Figur 4.1 viser, at der er flere tilfælde, hvor stormvandstanden har været tæt på +141 cm over middelvandspejlet svarende til en 50 års storm.

4.1.3 Eustatisk havspejlsstigning

Vandstanden i verdenshavene forventes at stige i fremtiden som følge af global opvarmning.

Kystplanen er udarbejdet uden at tage hensyn til fremtidige havspejlsstigninger.

Effekten af global havspejlsstigning kan medtages i en senere opdatering af kystplanen. Havspejlsstigningen er dog medtaget i nedenstående vurdering af designvandstanden på dybt vand.

De forventede vandstandsstigninger er vurderet af DMI på baggrund af IPCCs seneste klimarapport, se Tabel 4-1 og Figur 4.2, (Danmarks Klimacenter, 2014).

De forskellige scenarier i Tabel 4-1 refererer til forskellige forudsætninger vedrørende fremtidig udledning af CO₂ og temperaturstigning.

I forbindelse med almindelige kystprojekter, hvor der ikke er stor risiko for alvorlige skader og tab af menneskeliv i forbindelse med stormflod, og hvor det er forholdsvis let senere at forstærke konstruktionerne anbefaler NIRAS at benytte IPCCs bedste middelestimat.

Figur 4.2 viser, at middelvandstanden i Danmark om 20 år forventes at være forøget med +21 cm, om 50 år med +34 cm og om 100 år med +57 cm for et middelscenarie (RCP4,5) i forhold til 1990. Der er dog en betydelig usikkerhed på estimerne.

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

Hirtshals Havn

21

Datablad

Hændelse [år]	20	50	100
Vandstand [cm]	136	141	144

Stationsnummer: DMI 20047/20049; KDI 1400/1411
 Måleperiode: 01.01.1966 - 01.01.2017
 Datalængden: 51 år

Datagrundlag for ekstremanalyse

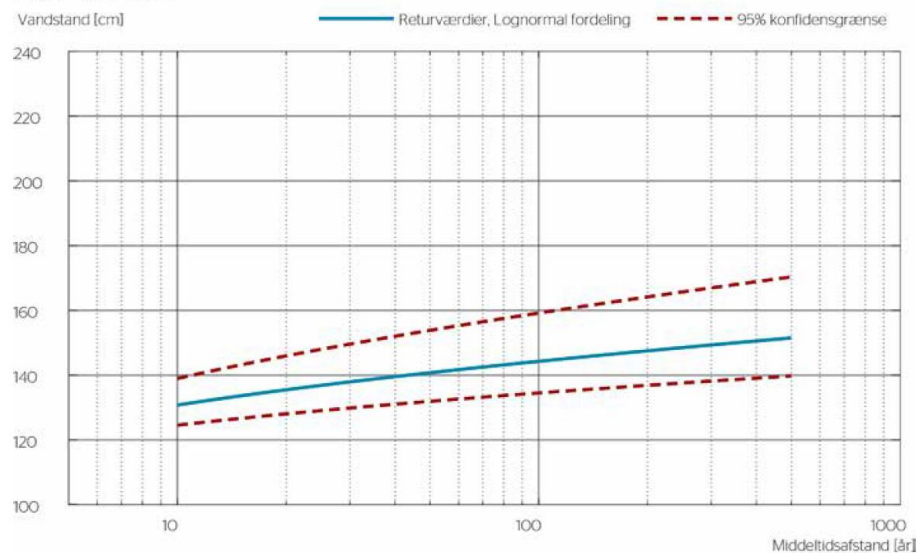
Afskæringsniveau [cm]: 106
 Detrending faktor ift. middelvandstand i 2017 [cm]: 2,7

Bemærkninger:

Ingen.

**Middeltidshændelser**

Vandstand [cm]

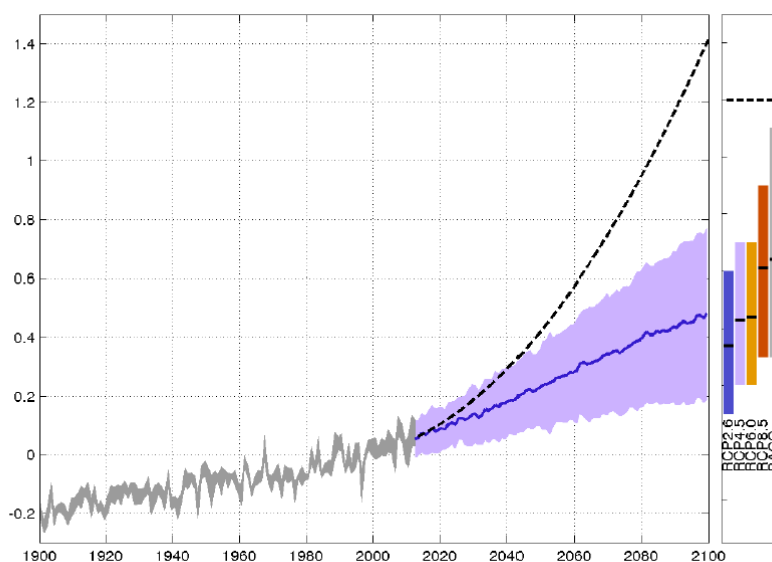
**Højeste registrerede vandstande i cm [trendfri]**

27. februar 1990	140	16. oktober 1987	129	20. december 1991	120	16. december 1982	114
25. november 1981	139	1. marts 2008	127	11. januar 1993	120	30. november 2015	113
6. november 1985	139	24. februar 1967	124	14. februar 1989	117	13. november 1973	113
6. december 2013	132	9. januar 2005	121	19. oktober 1970	114	12. januar 2007	112
30. oktober 2000	130	4. december 1999	121	19. november 1982	114	20. december 1993	111

Figur 4.1 Kystdirektoratets højvandsstatistik fra 2017 for Hirtshals Havn, (Kystdirektoratet, Højvandsstatistikker, 2017)

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

Tabel 4-1 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark, 1986-2005 til 2018-2100, (Danmarks Klimacenter, 2014)



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

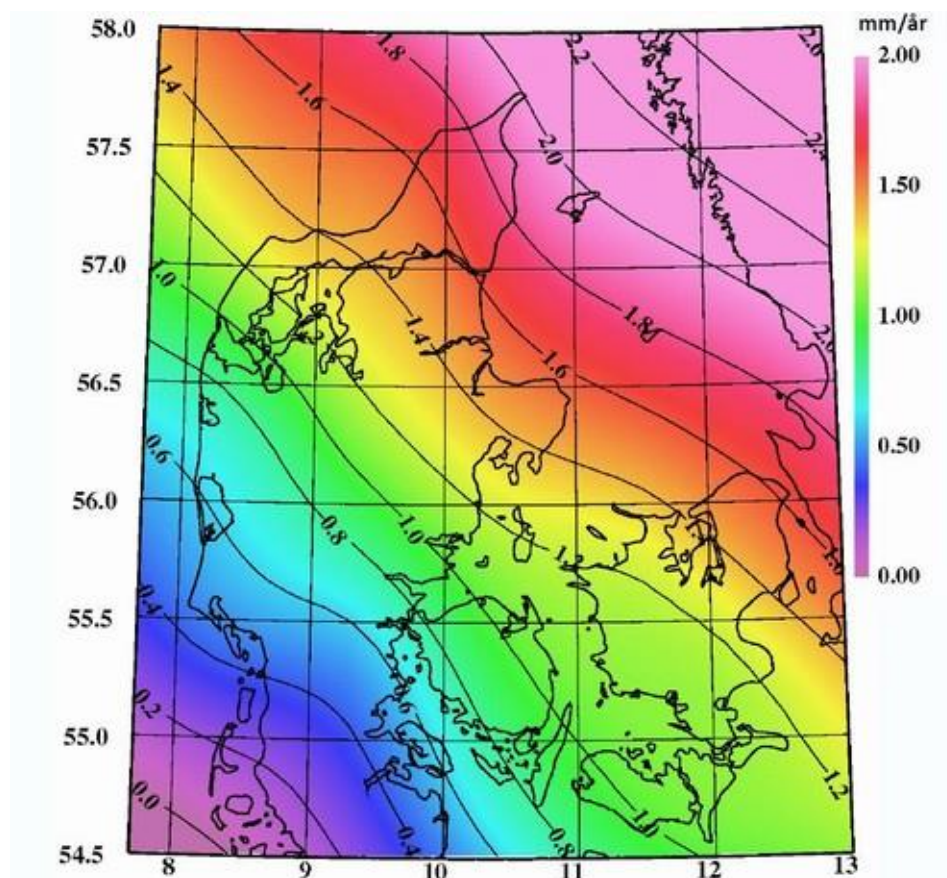
Figur 4.2 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark, (Danmarks Klimacenter, 2014)

4.1.4 Isostatisk landhævning

I forbindelse med beregning af den absolute havspejlsstigning, skal der også tages højde for, at der er sket landhævning i Danmark siden sidste istid og at dette stadig foregår.

Den årlige landhævning er vist på Figur 4.3, som for området ved Lønstrup er 1,65mm/år og 1,6-1,8mm/år i Hjørring Kommune overordnet set, (Knudsen, 2016).

Dette giver en landhævning i Lønstrup på 8cm de næste 20 år, 12cm de næste 50 år og 21cm de næste 100 år i forhold til 1990. Landhævningen skal modregnes den fremtidige globale havspejlsstigning som følge af klimaændringer.



Figur 4.3 Isostatisk landhævning i Danmark, KDI, DMI, DTU Space, (Knudsen, 2016)

4.1.5 Designvandstand på dybt vand

På baggrund af overstående er designvandstanden på dybt vand ud for Hirtshals Havn præsenteret i Tabel 4-2.

Hirtshals Havn	20 års vandstand i år 2020, cm DVR90	50 års vandstand i år 2070, cm DVR90	100 års vandstand i år 2120, cm DVR90
Ekstremvandstand	+136	+141	+144
Havspejlsstigning	+21	+34	+57
Landhævning	-8	-12	-21
Designvandstand	+149	+163	+180

Tabel 4-2 Designvandstand ved Hirtshals Havn uden for bølgebrydningszonen

Derudover skal der tages højde for bølge-setup og vind-stuvning, der er lokale-vandstandsvariationer langs stranden, som fremkommer i forbindelse med bølgebrydning og kraftig pålandsvind.

Bølge-setup kan være i størrelsesordenen op til 10-15 % af bølgehøjden udenfor brydningszonen.

I forbindelse med konkrete projekter anbefales det, at der udarbejdes numeriske modelberegninger af vandstand, bølgeforhold og erosion af stranden.

4.2 Bølger

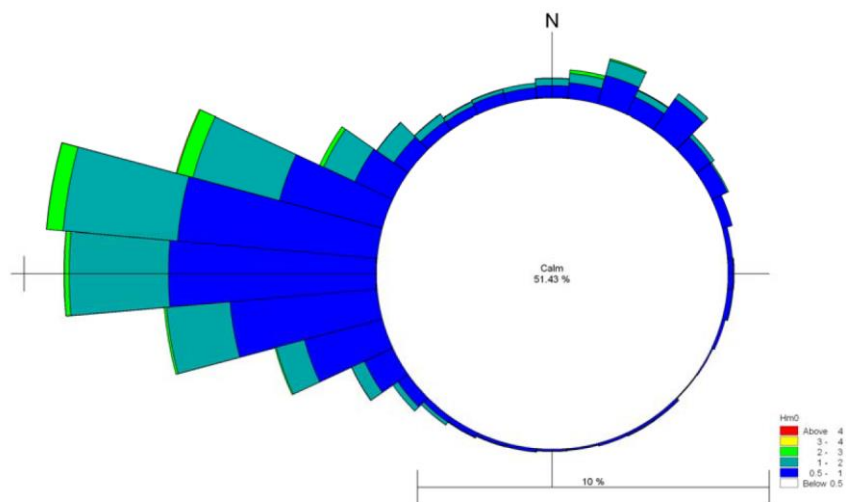
De overordnede bølge-forhold langs hele Vestkysten er tidligere beregnet af DHI på vegne af Kystdirektoratet, (DHI, Sedimentbudget Vestkysten. Bølgestatistikker for Vestkysten, 2000). Beregningerne blev udført ved anvendelse af numeriske modeller, som blev kalibreret med bølgemålinger ved Fjaltring. Der blev benyttet data fra perioden 1992 til 1996 til beregningerne. Resultaterne i form af bølgeforhold langs hele Vestkysten er præsenteret i Figur 4.4.



Figur 4.4: Bølgeforhold for hele Vestkysten

Analysen viser, at bølgerne langs Vestkysten, dvs. syd for Thyborøn, er domineret af bølger fra retninger omkring vestnordvest. Efterhånden som man kommer længere imod nordøst, på strækningen fra Thyborøn over Hanstholm og Hirtshals til Grenen, drejer den fremherskende bølgeretning imod uret. Den fremherskende bølgeretning ved Lønstrup og Hirtshals er omkring vest til vestsydvest. Denne drejning i de fremherskende bølgeretninger skyldes læ fra Sydnorge for bølger dannet i Atlanten og i Skagerrak.

I forbindelse med tidligere undersøgelser af kystsikringen ved Lønstrup, er der på grundlag af ovennævnte data udtrykt bølgeforhold ud for Lønstrup, (DHI, Kystsikring og udvikling ved Lønstrup, 2006). Disse data er præsenteret i Figur 4.5



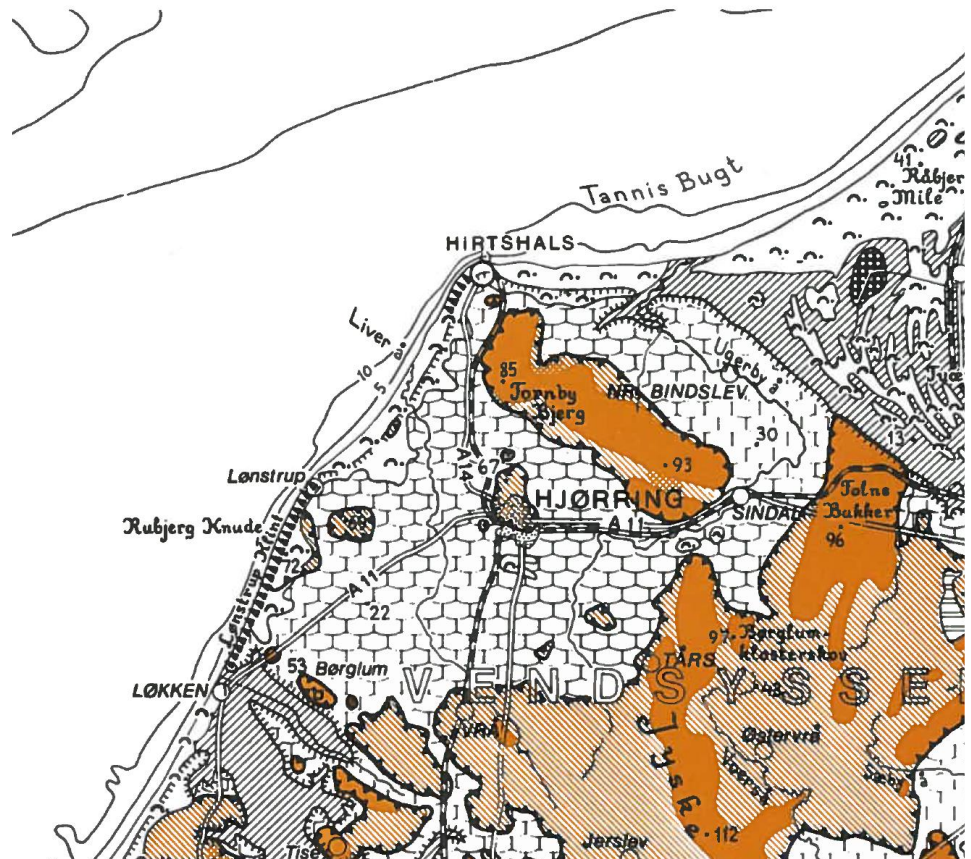
Figur 4.5: Bølgeklimatekst for Lønstrup på 20 m vanddybde baseret på 5 års beregnet tidsserie af bølgehøjde, -retning og -periode. H_{m0} er den signifikante bølgehøjde, som er beregnet ud fra energien i bølgerne, (DHI, Kystsikring og udvikling ved Lønstrup, 2006).

5 Geologi

5.1 Generelt

Kysten i Hjørring Kommune veksler mellem lave klit- og strandlandskaber og høje klinter bestående af en vekslende geologi af marine og glaciale aflejringer, se Figur 5.1.

Området er i høj grad påvirket af de landhævninger, der fulgte den sidste istid, hvor vandspejlet har stået op til 10-12 m højere end i dag. Vandspejlet har flere steder efterladt marine aflejringer af vekslende sand og ler, samt gamle kystklinter langt inde i dagens landskab. Under selv istiderne er der aflejret store mængder smeltevandssand og -ler i området, mens overfladenære aflejringer af moræneler er sjældne. Aflejringer stammer fra flere is-fremstød i Weichsel istiden, hvor den maksimale is-udstrækning bredte sig til hovedopholdslinjen omtrent 100 km imod syd.



Figur 5.1 Udsnit af landskabskort (Per Smed)

5.2 Lønstrup Klint

Lønstrup Klint er bemærkelsesværdig ved sin blotte størrelse. Klinten strækker sig over 15 km fra Løkken i syd over Rubjerg Knude til Lønstrup i nord. Kystskrænten rejser sig mere end 70 m over havet ved Rubjerg Knude og er overlejret af yderligere 20 m flyvesand, som udgør en markant vandrende sandmile. Det aktive kystprofil giver et unikt indblik i den geologiske opbygning af Vendsyssels landskabstyper.

Lønstrup Klinten består af mere end 100 flager, der er skubbet op foran isranden, da den pressede sig frem mod hovedopholdslinjen i syd. Flagerne består primært af smeltevandsand og lerede is-sø sedimenter afsat foran isen selv. Til sidst fortsatte is-fremstødet over stakken af flager og eroderede det der i dag er toppen af klinten. I den sydlige ende er der aflejret sedimenter fra yoldia-ishavet, der dækkede landskabet efter isen havde trukket sig tilbage.

5.3 Hirtshals Kystskrænt

Nærmer man sig Hirtshals langs kysten fra syd, vil man opleve, at den ellers uforstyrrede sandstrand bliver dækket af store sten, mens kysten igen rejser sig over havet. Her er man nået til Hirtshals kystskrænt, der primært består af yoldia-ler og er det eneste sted, hvor den ældre del er blottet i større grad. Over leret er der strøget store sten og blokke. Disse er vasket ud af moræneler af yoldia-havet og her vaskes de igen ud på stranden og danner en naturlig kystbeskyttelse. Stenene

fungere som ledeblokke og stammer fra Norge og vest-Sverige. Især de vulkanske rhombeporfyre, der stammer fra Oslo-egnen er særligt karakteristiske og relativt hyppige.

5.4 Sandfraktion fra erosionsbidrag

Erosion af kystprofilen og klinterne giver årligt et betydeligt bidrag til sedimenttransporten langs kysten. Det er dog alene sandfraktionen, der giver et reelt bidrag til sedimentbudgettet. Derfor er der korrigeret for bortvaskning af silt- og lerfraktionerne i beregningen af netto transportens størrelse baseret på det borteroderede aktive kystprofil. Geologien i klinterne er varierende og kompleks og består af både sandede og lerede aflejringer.

Til vurdering af sandindholdet i det eroderede materiale, er der brugt data fra følgende kilder:

- Jordartskortet (GEUS)
- Den digitale terrænmodel, DTM (GST)
- Skråfotos (GST)
- Litteratur

Bestemmelsen af sandfraktionen følger klassifikationen af jordarten. Indholdet af sand i de forskellige jordarter er vurderet til følgende på baggrund af erfaringsmæssige typetal; moræneler 50%, marint ler/silt 20%, smeltevandssand 100%, marint sand 100%, flyvesand 100%.

Det samlede sandindhold for repræsentative kystsnit er vurderet ved en systematisk gennemgang af kysten. Langs den flade kyst er jordarten bestemt fra jordartskortet. Ved klinterne var jordartskortet utilstrækkeligt, og en sammenstilling af geomorfologien (DTM og skråfotos) og geologisk tilgængeligt litteratur blev benyttet.

Af de repræsentative kystsniets sandindhold blev der dannet en model for sandindholdet langs hele kyststrækning ved lineær interpolation.

Det bemærkes, at der er kortere strækninger (specielt Rubjerg Knude) med aktiv sandfygning, hvor sandflugt ind i landet indvirker negativt på sandbudgettet. Det vurderes dog, at tabet i denne sammenhæng er negligerbart da strækningen langs Rubjerg Knude blot er 1,5 km.

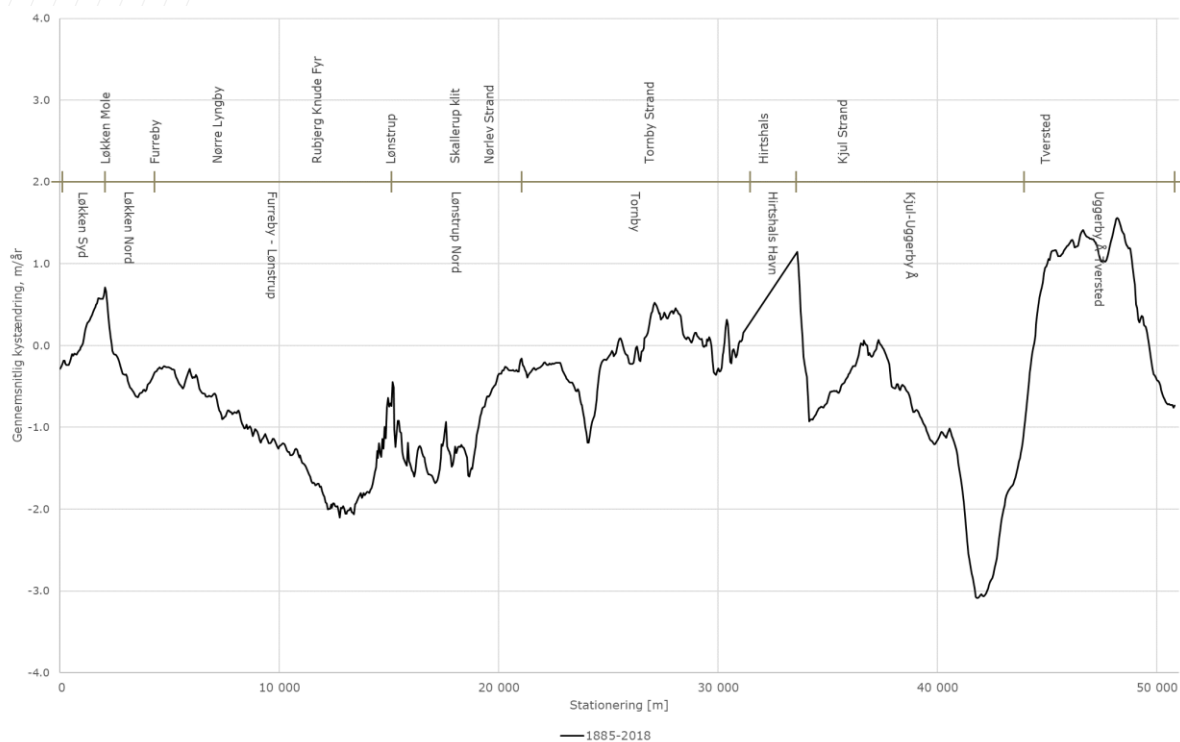
6 Historisk kystudvikling

6.1 Kystanalyser

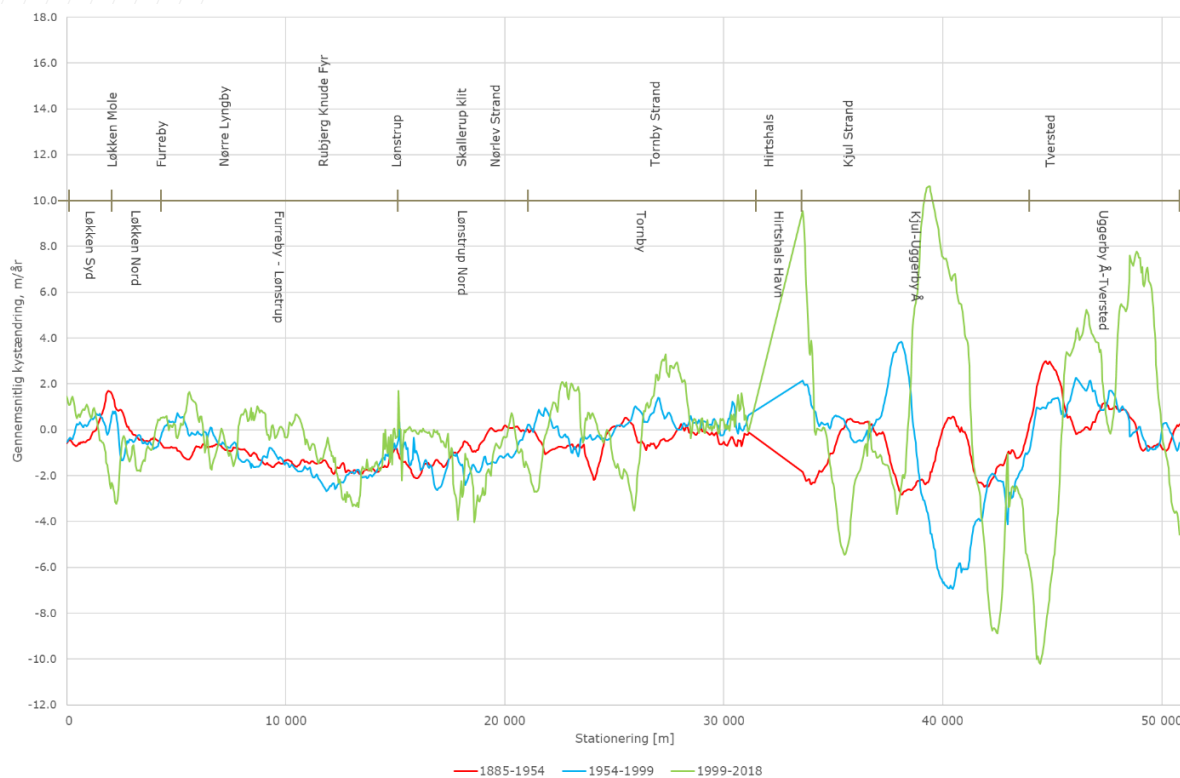
NIRAS har udarbejdet analyser af den historiske kystudvikling langs kysten i Hjørring Kommune. Analyserne tager udgangspunkt i historiske og recente vandlinjer og herunder luftfoto og kort fra 1885, 1954, 1999 og 2018. Analyserne er desuden vist i Bilag C.

Figur 6.1 viser den historiske vandlinjeudvikling mellem Løkken og Tversted mellem 1885 og 2018.

Figur 6.2 viser den historiske udvikling af vandlinjen mellem Løkken og Tversted mellem 1885 og 1954, 1954 og 1999, 1999 og 2018.



Figur 6.1 Historisk udvikling af vandlinjen langs kysten mellem Løkken og Tversted mellem 1885 og 2018, Bilag C



Figur 6.2 Historisk udvikling af vandlinjen langs kysten mellem Løkken og Tversted mellem 1885 og 1954, 1954 og 1999, 1999 og 2018, Bilag C

Figurerne viser, at kysterrosionen stiger fra Løkken op til et maksimum på i størrelsesordenen 2-3m/år omkring Rubjerg Knude og derefter aftager op mod Liver Å. Vandlinjen eroderer langsommere tilbage lokalt ved Lønstrup som følge af den hårde kystbeskyttelse. Erosionen ude i kystprofilen forventes at være større. Mellem Liver Å og Hirtshals er kysten nogenlunde stabil. Øst for Hirtshals er kysten generelt ustabil og rykker nogle steder frem og nogle steder tilbage med en hastighed på helt op til 10m/år.

7 Sedimentbudget

Sedimentbudget for kysten i Hjørring Kommune beskrives i det følgende, baseret på tidligere undersøgelser, som sammenholdes med resultaterne af den historiske kystudvikling.

7.1 Sedimentbudget baseret på kystanalyse

Analysen af den historiske udvikling af vandlinjen er benyttet til at beregne sedimentbudgettet for kysten i Hjørring Kommune.

Volumenberegningerne er foretaget ud fra den historiske kystudvikling og højden af det aktive kystprofil fra toppen af klitten / skråningen ud til den aktive dybde. Den aktive dybde er vurderet til 7m indenfor, hvilken størstedelen af den kystparallelle sedimenttransport foregår.

Figur 7.1 viser den årlige volumenændring af kystprofilen langs kysten.

Erosion og aflejring er opgivet i $m^3/m/år$. Figuren viser både totale volumenændringer og volumenændring korrigeret for tab af ler og silt til dybt vand. Det er kun sandfraktionen, der indgår i det samlede sedimentbudget for kysten.

Figuren viser, at der eroderes omkring $15 m^3/m/år$ sand nord for Løkken mole.

Figuren viser også, at der eroderes op til $100 m^3/m/år$ ved Rubjerg Knude, hvoraf cirka $80m^3/m/år$ indgår i kystens sedimentbudget.

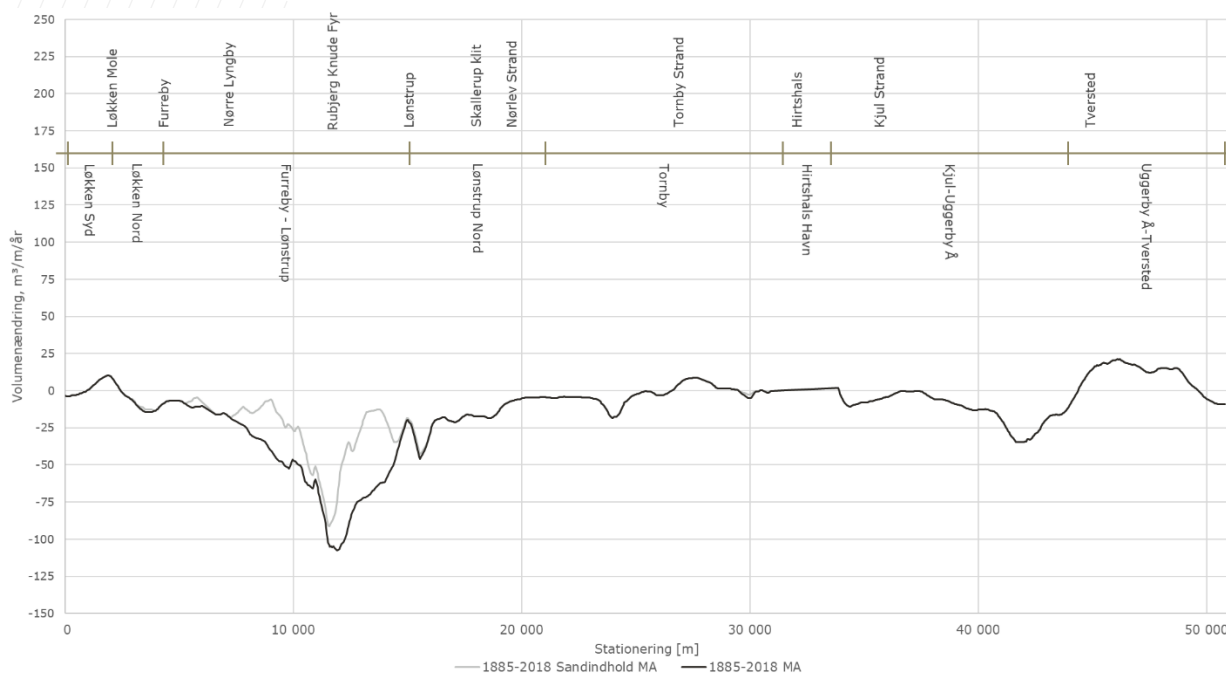
Erosionen langs den relativt ubeskyttede del af kysten fra Skallerup Seaside Resort op mod Nørlev Strand er i størrelsesordenen $25 m^3/m/år$.

Figur 7.2 viser akkumuleret volumenændringer langs kysten fra sydvest mod nordøst.

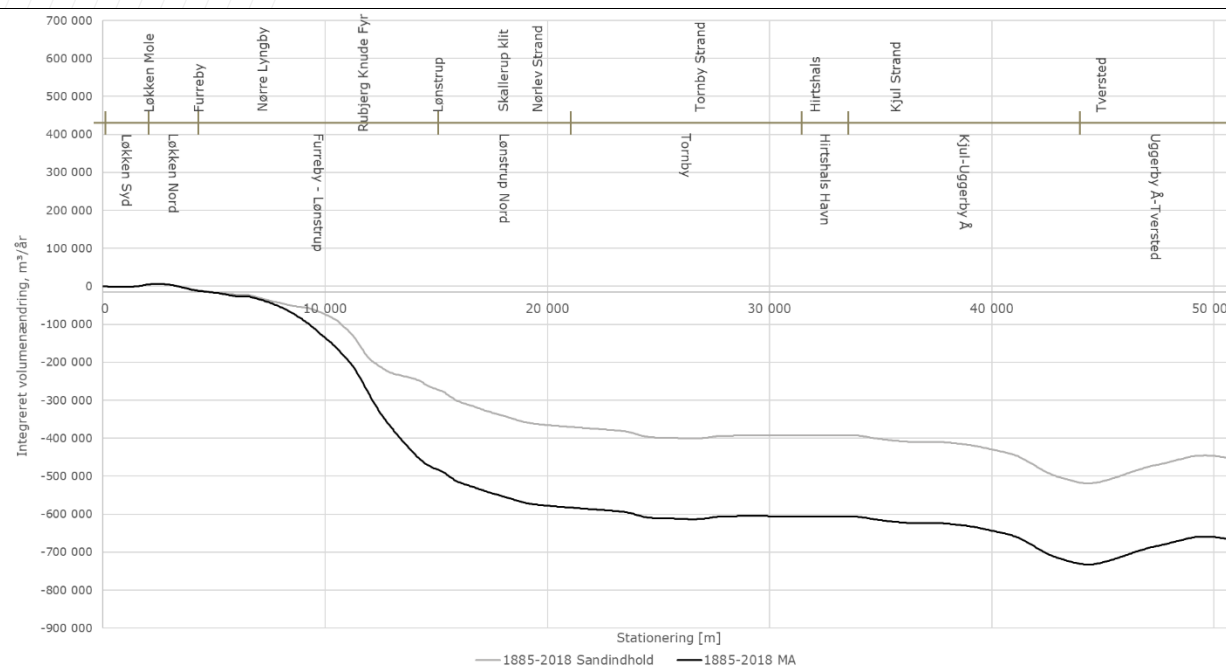
Analysen viser, at kysten mellem Løkken og Hirtshals eroderer tilbage med en samlet mængde på i størrelsesordenen $600.000 m^3/år$.

Ud af denne samlede mængde indgår dog kun i størrelsesordenen $400.000m^3/år$ i sedimentbudgettet, resten forsvinder ud på dybt vand svarende til i størrelsesordenen $200.000 m^3/år$.

Mellem Hirtshals Havn og Tversted eroderes, der yderligere i størrelsesordenen $125.000 m^3/år$.



Figur 7.1 Årlige volumenændring langs kysten i Hjørring i Kommune. Positive værdier (+) angiver kystfremrykning. Negative værdier (-) angiver en kysterosion. Løbende gennemsnit over 11x50m=550m



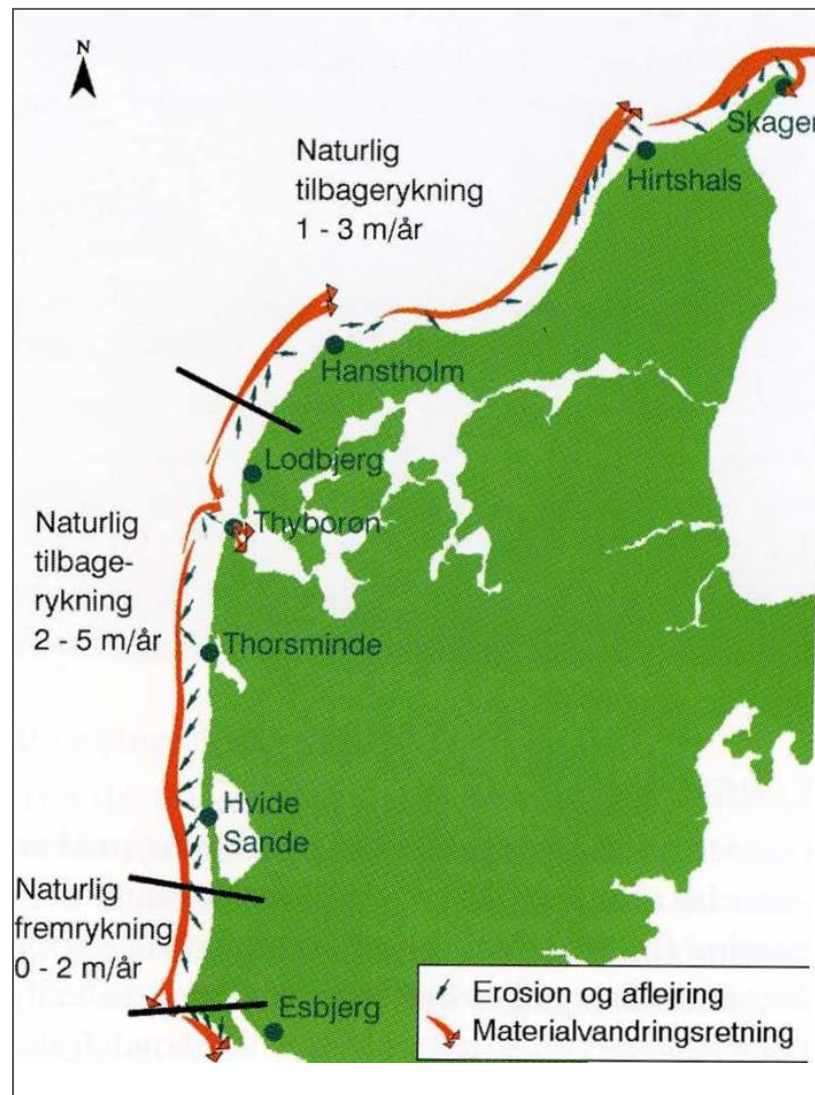
Figur 7.2 Akkumuleret årlige volumenændring beregnet fra syd mod nord. Løbende gennemsnit over 11x50m=550m

7.2 Overordnet sedimentbudget ud fra tidligere undersøgelser

Kystdirektoratet har udarbejdet et overordnet sedimentbudget for hele Vestkysten på basis af ovennævnte bølgeanalyser og på basis af historiske kystlinjændringer, (DHI, Sedimentbudget Vestkysten. Bølgestatistikker for Vestkysten, 2000), (DHI, Sedimentbudget Vestkysten, 2000). Kystdirektoratets overordnede sedimentbudget for hele Vestkysten er præsenteret i Figur 7.3.

Figuren viser, at transporten er stigende fra syd for Lønstrup og op imod Hirtshals Havn. Dette betyder, at der på en given delstrækning tilføres mindre sediment end der føres væk. Strækninger med stigende nettotransport i transportens retning er derfor udsat for kronisk erosion.

Ved Hirtshals Havn går stort set alt det sand, der transporteres op langs kysten, tabt som tilsanding i indsejlingen til Hirtshals Havn.



Figur 7.3: Overordnet sedimentbudget for hele Vestkysten

Umiddelbart øst for Hirtshals Havn er der læ for de fremherskende bølger fra vestlige retninger, hvilket betyder, at transporten her lokalt er imod vest. Det har bevirket tilsanding i hjørnet umiddelbart øst for havneudbygningen.

Længere imod øst, ind i Tannis Bugten, kommer kysten ud af læområdet fra havnen og bølgeeksponeringen tiltager igen, også fordi kystorienteringen begynder at dreje imod vest omkring Tversted.

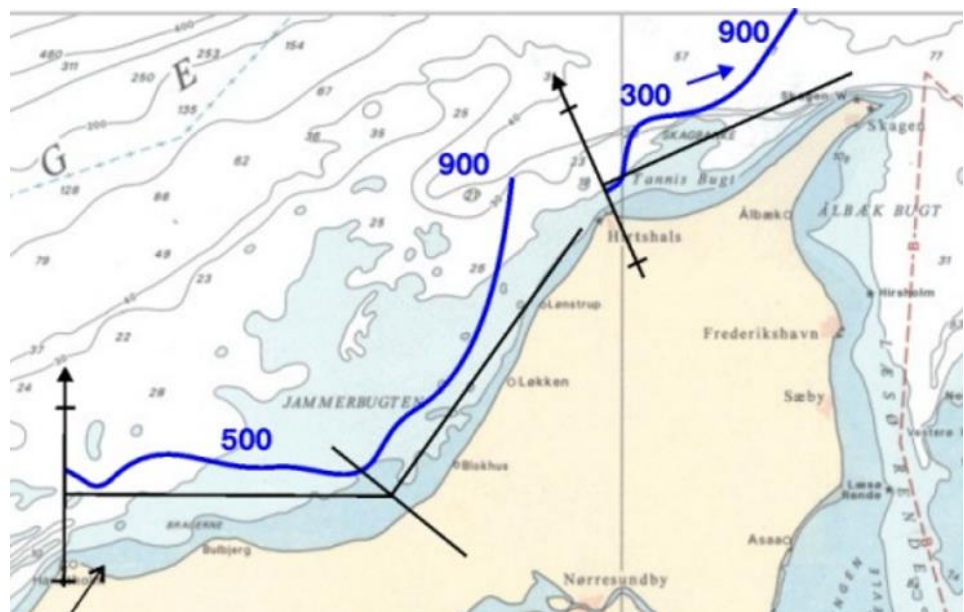
På den nordvendte strækning er bølgeindfaldet meget skråt i forhold til kystorienteringen og bølgeeksponeringen er stigende imod øst. Der tilføres ikke denne kyststrækning meget sand fra vest fordi det meste sand som tilføres til området ved Hirtshals Havn fanges i indsejlingen til havnen.

Kystdirektorater har ligeledes analyseret transport og kystforholdene omkring Hirtshals Havn, (Kystdirektoratet, Analyse af sedimenttransport ved Hirtshals Havn, 2018).

Ovennævnte analyser antyder følgende forhold for stabiliteten af kyststrækningen øst for Hirtshals Havn:

- Strækningen er generelt ustabil grundet det meget skrå bølgeindfald, hvilket betyder, at der er en tendens til dannelse af sandbølger langs kysten, som bevæger sig imod øst
- Generelt er der manglende sandtilførsel fra vest og stigende transportkapacitet imod øst. Den vestlige del af strækningen er stabil eller endog under fremrykning, grundet bølgelæ af havnen og knækket i kystlinjen. Den østlige del af strækningen, der hvor transportkapaciteten er stigende imod øst, er generelt udsat for erosion. Erosionen aftager dog igen der, hvor kystorienteringen ændrer sig imod uret.

Herudover har DHI/KDI udarbejdet et mere detaljeret regionalt sedimentbudget for projektområdet baseret på analyse af historiske kystlinjer, jævnfør sedimentbudgettet præsenteret i Figur 7.4.



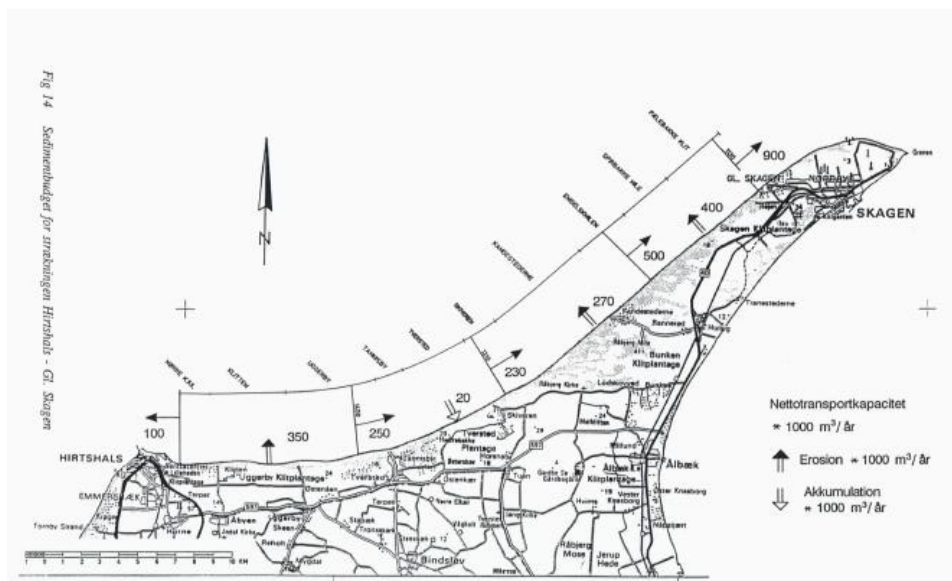
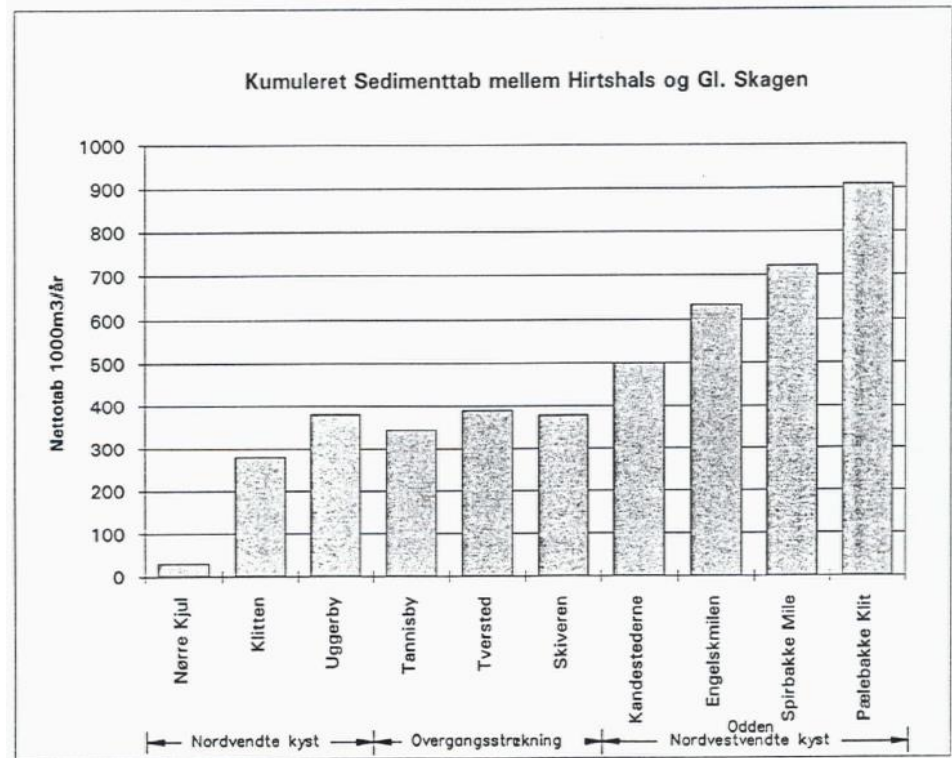
Figur 7.4: Regionalt sedimentbudget udført ud fra analyse af historiske kystlinjer

Der fremgår de samme karakteristika af dette regionale sedimentbudget, som beskrevet for Vestkyst-budgettet præsenteret i Figur 7.3.

Der er stigende nordøst-gående nettotransport på strækningen sydvest for Hirtshals Havn og stigende østgående nettotransport på strækningen øst for Hirtshals Havn på de første ca. 10 km til den østlige afslutning af Uggerby Klitplantage. Herefter flader transportkapaciteten ud og går over til at være svagt aftagende op forbi Tversted Plantage. Dog er transporten lokalt vestgående i hjørnet umiddelbart øst for havneudbygningen.

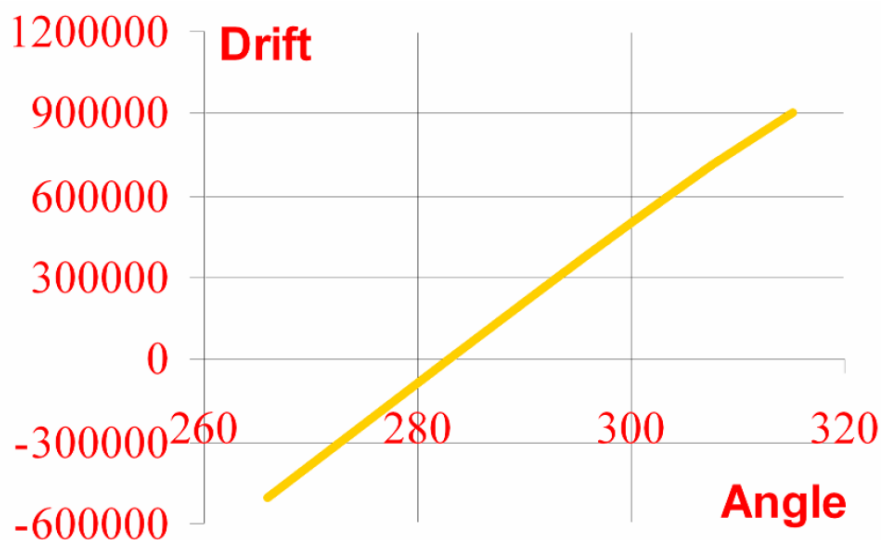
Disse forhold svarer nøje til resultatet af undersøgelsen af kysten mellem Hirtshals og Gl. Skagen, som blev foretaget i perioden 1992 -1994 i rapporten udarbejdet af DHI i 1994, (DHI, Kysten Nordøst for Hirtshals, Samlerapport, Kystudvikling, sediment-transport og strandfodring, 1994). Det sedimenttransportbudget, som blev udledt dengang, er præsenteret i Figur 7.5.

Blokdiagrammet øverst i Figur 7.5 angiver ikke umiddelbart nettotransporten, idet der er et transportnulpunkt mellem Nørre Kjul og Klitten. Retningen af nettotransporten er østgående øst for dette og vestgående vest for dette. Dette skyldes lævirkningen fra havnen for vestlige bølger i området tættest på havnen. Sedimentomsætningen præsenteret i Figur 7.5 omfatter ikke de komplicerede forhold tæt på Hirtshals Havn, men udelukkende forholdene på kyststrækningen øst for havnen. Ved sammenligning med nederste del af Figur 7.5 fremgår det således, at der tabes 100.000 m³/år fra kysten øst for havnen til området ud for havnen. Disse 100.000 m³/år indgår i omsætningen omkring havnen sammen med de ca. 900.000 m³/år, som tilføres fra kysten sydvest for havnen. I alt tilføres området omkring havnen således ca. 1.000.000 m³/år, se også Afsnit 7.3.



Figur 7.5: Øverst: Kumuleret sedimenttab mellem Hirtshals og Gl. Skagen. Nederst: Sedimentbudget inddelt i karakteristiske strækninger mellem Hirtshals Havn - Gl. Skagen, (DHI, Kysten Nordøst for Hirtshals, Samlerapport, Kystudvikling, sediment-transport og strandfodring, 1994).

Bølgedataene blev i DHIs rapport fra 2006 benyttet til at beregne netto langs-transporten i Lønstrup området, som funktion af kystorienteringen, (DHI, Kystsikring og udvikling ved Lønstrup, 2006). Kystorienteringen er defineret som retningen af kystnormalen, altså den retning man ser i, hvis man står på en kyst og ser direkte ud over havet vinkelret på kystlinjen. Korrelation mellem kystorientering og netto langstransport er præsenteret i Figur 7.6 for kysten ved Lønstrup.



Figur 7.6: Korrelation mellem gennemsnitlig årlig netto langstransport ($m^3/m/\text{år}$) og kystorientering (positive værdier angiver nordgående transport).

Kysten ved Lønstrup slår et knæk hen over kystfrespringet. Sydvest for Lønstrup er kystorienteringen ca. 300° og nordøst for er den ca. 315° . Ved aflæsning på kurven i Figur 7.6 ses det således, at den nordøst-gående netto langstransport øges hen over kystfrespringet ved Lønstrup fra ca. $500.000 m^3/\text{år}$ på strækningen sydvest for Lønstrup til ca. $900.000 m^3/\text{år}$ på strækningen nordøst for Lønstrup. Dette medfører et kraftigt erosionspres på kyststrækningen nordøst for Lønstrup, mens erosionspresset mellem Løkken og Lønstrup er betydelig mindre.

7.3 Transport-, tilsandings- og bypass-forhold omkring

7.4 Hirtshals Havn

Der er ikke i nærværende studie foretaget simuleringer af transport- og aflejringsforhold omkring Hirtshals Havn. Der er i stedet foretaget vurderinger af forholdene omkring havnen på basis af en generel forståelse af bølge-, strøm- og transportforhold, samt på basis af oplysninger om havneudbygninger og data om oprensninger i indsejlingen til havnen og om bypass/klapning af det oprensede sand. Disse forhold fører til en overordnet forklaring om, hvad der foregår omkring havnen er illustreret i Figur 7.7.



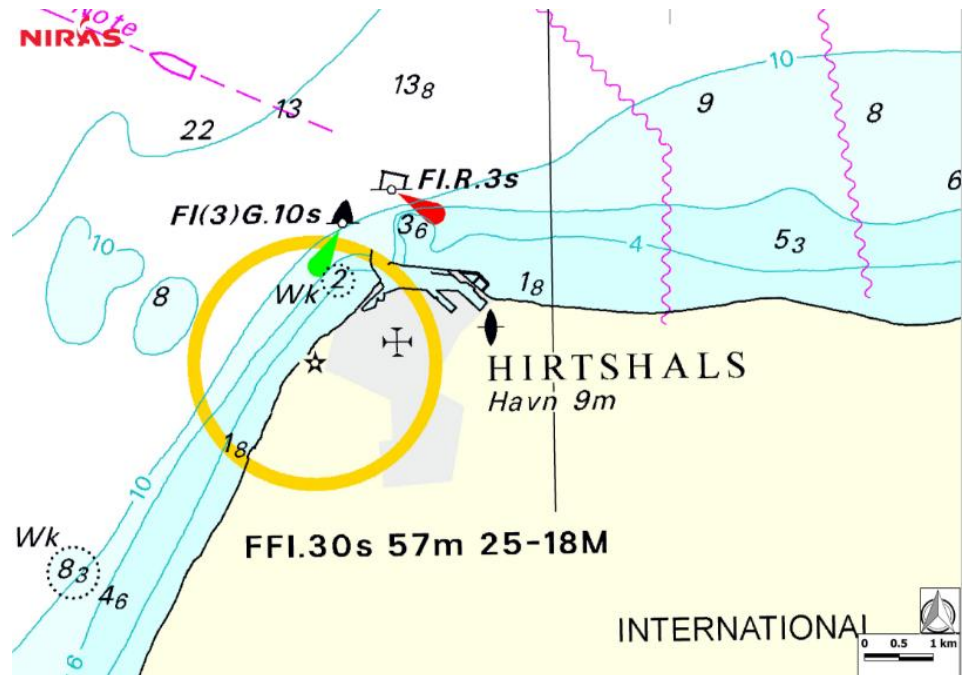
Figur 7.7 Sedimentations forhold ved Hirtshals Havn

Forholdene omkring havnen kan beskrives som følger:

- Der tilføres havneområdet ca. 1.000.000 m³/år fra kysten sydvest for havnen. Der aflejres ikke yderligere sand langs stranden sydvest for havnens vestlige mole ud over de cirka 30.000m³, der graves bort hvert år og benyttes som strandfodring i Lønstrup.
- Der føres således ca. 1.000.000 m³/år forbi det vestlige molehoved, hvor strømhastigheden aftager og drejer imod øst, samtidig med at dybden tiltager ved overgangen til det vedligeholdte indsejlingsområde. Herved reduceres transportkapaciteten og en stor del af det tilførte sand aflejres i indsejlingen, hvor der løbende oprensnes 400.000 – 700.000 m³/år. Skønsmæssigt vil ca. 300.000 m³/år føres videre imod østnordøst og aflejres på i det lavvandede område øst for indsejlingen, se Figur 7.8.
- Der tilføres herudover ca. 100.000 m³/år til området ud for havnen fra kysten øst for havnen. Dette materiale omsættes, dels som tab til aflejningsområdet på dybt vand nordøst for havnen, dels som aflejring på det lavvandede område øst for indsejlingen til havnen og dels som tab i form af klappet oprensingsmateriale fra indsejlingen.
- Det vurderes herudover, at en mindre mængde sand bypasser havnen som østgående transport på det lavvandede område nord for havnen.
- I nyere tid er en del af sandet fra oprensningen af indsejlingen tilført kysten øst for havnen.
- Desuden sejles en del af det oprensede sand fra indsejlingen nu til Lønstrup og Nørlev Strand og benyttes som revlefodring.

Det kan konkluderes, at der ved naturlige processer stort set ikke transporteres sand forbi havnen fra kysten sydvest for havnen til kysten øst for havnen. Det eneste sand, der tilføres denne kyststrækning er det sand som tilføres kysten ved

klapning af oprenset sand på lavt vand ud for kyststrækningen mellem Hirtshals Havn og Kjul.



Figur 7.8: Søkort over området omkring Hirtshals Havn

8 Lovgivning

Kystbeskyttelsesprojekter er omfattet af en række lovgivninger, der indbyrdes indvirker på hinanden.

8.1 Kystbeskyttelsesloven

1. februar 2018 trådte en ny lov om kystbeskyttelse¹ i kraft.

Siden 1. september 2018 har kommunerne været myndighed på kystbeskyttelses-sager, hvor det førhen var Kystdirektoratet. Kystdirektoratet er stadig myndighed for kystbeskyttelsesforanstaltninger, hvor staten er bygherre.

Formålet med lovændringerne er at gøre sagsbehandlingen nemmere for den enkelte grundejer og at sikre, at når kommunen træffer afgørelse efter kystbeskyttelsesloven så inkluderer og erstatter denne tilladelser og dispensationer fra en række andre lovgivninger.

Det er kommunalbestyrelsen, der skal give tilladelse til etablering kystbeskyttelse. Med kystbeskyttelse menes kystbeskyttelsesanstalt eller tiltag, som har til formål

¹ Bekendtgørelse af lov nr. 57 af 21. januar 2019 om kystbeskyttelse m.v.

at reducere risikoen for oversvømmelse eller erosion af kysten. Anlæggene kan både etableres i vandet og på land.

Som udgangspunkt er det grundejerens eget ansvar at sikre sin ejendom mod oversvømmelse og erosion fra havet og denne står derfor selv med den økonomiske udgift. Hvis en grundejer ønsker at etablere kystbeskyttelse, skal ansøgningen sendes direkte til kommunen.

Den kommune, hvor kystbeskyttelsesforanstaltningen hovedsageligt har effekt skal behandle ansøgningen og har pligt til at høre nabokommuner, hvor kystbeskyttelsesforanstaltningerne eventuelt også måtte have virkning.

Når kommunen har modtaget den fuldt oplyste ansøgning vurderes projektet i forhold til hensynene i kystbeskyttelseslovens formålsbestemmelse, hvor der står:

”§ 1 Formålet med kystbeskyttelse er at beskytte mennesker og ejendom ved at reducere risikoen for oversvømmelser eller kystnedbrydning fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet”.

Kommunen skal i hvert enkelt sag afveje følgende hensyn jf. kystbeskyttelseslovens § 1:

- Behovet for kystbeskyttelse.
- Økonomiske hensyn ved projekter omfattet af kapitel 1a.
- Kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske og natur- og miljømæssige kvalitet.
- Rekreativ udnyttelse af kysten.
- Sikring af den eksisterende adgang til og langs kysten.
- Andre forhold.

Hensynene står ikke i en prioriteret rækkefølge. Såfremt der ikke er andre hensyn, der taler imod, kan der gives tilladelse til kystbeskyttelse. Der skal ikke tages hensyn til om kystbeskyttelsesløsningen er teknisk optimeret.

Behovet for kystbeskyttelse vurderes ud fra en risikobetragtning.

Fast ejendom omfatter udover bebyggelse og infrastruktur også ubebyggede grunde, landbrugsjorder, haver, boldbaner m.m.

Kommunen skal både behandle kommunale fællesprojekter (tidligere også kaldet kapitel 1a-projekter), hvor kystbeskyttelsesprojektet er igangsat af kommunen eller projekter, som ønskes iværksat af en gruppe grundejere og øvrige kystbeskyttelsesprojekter, hvor en enkelt eller flere grundejere er enige om udformning og finansiering af et kystbeskyttelsesprojekt.

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

Hvis der opstår uenighed blandt en gruppe grundejere om etablering eller renovering af kystbeskyttelse på en strækning med flere ejendomme, kan kommunen anmodes om at finde en fælles løsning (kommunalt fællesprojekt). Uenigheden kan bl.a. dreje sig om anlæggets beliggenhed, udformning eller finansiering. Kommu-

nen har i sådanne sager mulighed for dels at pålægge, at der udføres kystbeskyttelse og dels at afgøre, hvordan udgiften dertil skal fordeles. I sådanne sager er det kommunen, der er ansvarlig for projekt- og sagsforløb.

For at optimere behandlingen af kystbeskyttelsessager inkluderes følgende lovgivninger i en afgørelse efter kystbeskyttelsesloven § 3:

- Naturbeskyttelseslovens bygge- og beskyttelseslinjer §§ 16 – 19 (sø- og å-beskyttelseslinje, skovbyggelinje, fortidsmindebeskyttelseslinje, kirkebyggelinje)
- Naturbeskyttelseslovens bestemmelser om klitfredning og strandbeskyttelseslinjen §§ 8 og 15
- Beskyttede naturtyper, jf. naturbeskyttelseslovens § 3
- Dispensation fra fredskovspligt og skovloven § 28 om beskyttet natur Dispensation fra fredninger, herunder vildtreservater
- Afgørelser efter vandløbsloven. Her er inklusionen dog valgfri

Hertil kommer, at det er muligt at indarbejde tilladelse jf. miljøvurderingslovens § 25 (tidligere VVM-tilladelse) i den endelige tilladelse om kystbeskyttelse jf. § 16 - § 16b (se afsnit om miljøvurderingsloven).

Den inkluderede lovgivning kan ikke tilsidesættes, men skal inkluderes. Dette betyder, at hensynet til de andre lovmæssige forhold, som inkluderes i kystbeskyttelsesloven skal indgå i den samlede vurdering jf. lovens § 1. I afgørelsen om kystbeskyttelse kan der således stilles vilkår, der varetager de hensyn, som de inkluderede regler varetager. En tilladelse efter kystbeskyttelseslovens § 3 skal desuden indeholde oplysninger om, hvilke afgørelser efter anden lovgivning, tilladelsen erstatter. Kommunen er i forvejen myndighed på de lovforhold, der er inkluderet i kystbeskyttelsesloven og forholdene behandles ikke yderligere i indeværende rapport, men der henvises til kommunens eksisterende praksis på områderne.

8.1.1 Kommunale fællesprojekter (jf. kapitel 1a)

I det tilfælde at der er uenighed blandt en gruppe grundejere om etablering eller renovering af kystbeskyttelse på en strækning med flere ejendomme, kan kommunen på anmodning fra borgeren rejse en kystbeskyttelsessag. Kommunen kan også på eget initiativ rejse en kystbeskyttelsessag. Forløbet er beskrevet i kystbeskyttelseslovens kapitel 1a.

8.1.1.1 Indhentning af udtalelse fra Kystdirektoratet

Kommunen indhenter en udtagelse fra kystdirektoratet om, hvorvidt der er behov for kystbeskyttelse på den ønskede strækning. Dette indledende trin er obligatorisk.

Samtidigt med indhentelsen af udtalelsen fra kystdirektoratet anbefales det, at kommunen indhenter udtalelser fra ejerne af berørte ejendomme. Dette er valgfrit og afhænger af projektets størrelse og omfang.

8.1.1.2 Udtalelse og afgørelse om gennemførelse af kystbeskyttelsessagen

Kommunalbestyrelsen træffer på baggrund af Kystdirektoratets udtalelse og evt. borgerudtalelser afgørelse om, hvorvidt projektet skal fremmes (jf. lovens § 2 stk.1).

Hvis det afgøres ikke at fremme projektet underrettes de borgere, der har anmodet om igangsættelsen af processen. Denne afgørelse kan påklages.

Hvis der træffes beslutning om at fremme projektet, underrettes de ejere af fast ejendom, som vil opnå beskyttelse eller anden fordel ved projektet. Denne afgørelse kan ikke påklages, da det ikke er en endelig afgørelse, men et procestrin.

8.1.1.3 *Udarbejdelse af myndighedsprojekt*

Forud for en konkret ansøgning udarbejdes en projektbeskrivelse, jf. kystbeskyttelseslovens § 4. Som oftest er det kommunen selv, der er bygherre og indgiver ansøgningen, men det kan også være et etableret kystbeskyttelseslag af borgere.

Tidsplan med f.eks. borgermøder, proces jf. miljøvurderingsloven, høringer m.m. offentliggøres på kommunens hjemmeside jf. lovens § 2a stk. 3.

8.1.1.4 *Høring af konkret projekt*

Det færdige projekt sendes i høring hos alle, som kan blive pålagt bidragspligt samt ejere af naboejendomme og interessenter i minimum 4 uger. Høringsmaterialet skal bestå af projektbeskrivelse og en redegørelse for, hvilke foranstaltninger, der skal gennemføres, og hvilke udgifter der skal afholdes, og hvordan de skal fordeles. Det anbefales, at der afholdes informationsmøder i høringsfasen således, at der kan uddybes og besvares spørgsmål.

8.1.1.5 *Afgørelse*

Efter afslutningen af høringen træffer kommunalbestyrelsen på baggrund af indkomne høringssvar afgørelse om det konkrete kystbeskyttelsesprojekt, jf. lovens § 3.

Det er muligt at foretage mindre ændringer af projektet som følge af høringen. Er der tale om væsentlige ændringer, som berører andre end de, der har foranlediget ændringen, kan afgørelsen ikke træffes, før de øvrige berørte parter er blevet hørt igen. Der skal også foretages en ny høring, hvis der udarbejdes et nyt projekt.

Afgørelsen skal skriftligt meddeles ejere af naboejendomme og klageberettigede personer samt berørte myndigheder. Desuden skal den offentliggøres på kommunens hjemmeside.

8.1.1.6 *Andre forhold*

Det anbefales, at man sideløbende med overstående proces igangsætter en proces jf. miljøvurderingsloven og habitatbekendtgørelsen (se afsnit 8.2 og 8.3). Dette skal begrundes i, at der kan foretages fælles høringsrunder og træffes fælles afgørelse med kun én klagefrist.

8.2 **Miljøvurderingsloven**

Miljøvurderingsloven² har til formål at sikre et højt miljøbeskyttelsesniveau ved gennemførelse af projekter med henblik på at fremme bæredygtig udvikling, ved at udføre miljøvurdering af projekter, som kan få væsentlig indvirkning på miljøet.

Jf. miljøvurderingsloven skal miljøbegrebet fortolkes i dets brede forstand og miljøvurderingen skal derfor omfatte følgende emner; befolkningen, menneskers sundhed, biodiversiteten (f.eks. fauna og flora), jordarealer (f.eks. inddragelse af arealer), jordbund (f.eks. organisk stof, erosion, komprimering og arealbefæstelse), vand (f.eks. hydromorfologiske forandringer, kvantitet og kvalitet), luft,

² Bekendtgørelse af lov nr. 1225 af 25. oktober 2018 om miljøvurdering af planer og programmer og af konkrete projekter (VVM)

klima (f.eks. drivhusgasemissioner, virkninger, der er relevante for tilpasning), materielle goder, kulturarven, herunder de arkitektoniske og arkæologiske aspekter, og landskab.

Loven anvendes på projekter omfattet af lovens bilag 1 og 2, og alle kystbeskyttelsesprojekter er omfattet af miljøvurderingslovens § 16 om screeningsafgørelse, jf. lovens bilag 2, punkt 10 k) "Kystanlæg til modvirkning af erosion og maritime vandbygningskonstruktioner, der kan ændre kystlinjerne, som f.eks. skråningsbeskyttelser, strandhøfder og diger, dæmninger, moler, bølgebrydere og andre konstruktioner til beskyttelse mod havet bortset fra vedligeholdelse og genopførelse af sådanne anlæg."

For alle kystbeskyttelsesprojekter skal bygherren skriftligt ansøge kommunen (der er myndighed i denne type sager) om tilladelse til projektet, ved at redegøre for hvorvidt projektet antages at kunne medføre væsentlig indvirkning på miljøet. Ansøgningen skal ske ved brug af ansøgningsskemaet i bilag 1 i miljøvurderingsbekendtgørelsen³ (tidligere VVM-ansøgning).

På baggrund af bygherres fremsendte ansøgning gennemfører Kommunen en miljøscreening og træffer afgørelse om, om projektet vurderes at være omfattet af miljøvurderingspligt.

Det anbefales, at andre berørte myndigheder høres om myndighedsafgørelsen om miljøvurderingspligt eller ej i minimum 2 uger, hvorefter afgørelsen kan offentliggøres. Der er lovmæssigt 4 ugers klagefrist fra afgørelsens offentliggørelse, og det anbefales, at bygherre venter med at igangsætte anlægsarbejdet til klagefristen er udløbet.

8.2.1 Miljøvurderingsproces

Hvis myndigheden (kommunen) vurderer, at projektet kan påvirke miljøet væsentligt er projektet omfattet af krav om miljøvurdering og der igangsættes en proces. Bygherre udarbejder i processen en miljøkonsekvensrapport.

8.2.1.1 1. offentlighedsfase (idéfase)

Ved en indledende høring indkalder kommunen idéer og forslag fra offentligheden og evt. berørte myndigheder, som skal benyttes til at foretage en afgrænsning af miljøvurderingens omfang. Høringsperioden skal som minimum vare 14 dage.

8.2.1.2 Afgrænsning af miljøkonsekvensrapport

På baggrund af indkomne høringssvar og bemærkninger udarbejder kommunen et afgrænsningsnotat, der beskriver de forhold bygherrer skal fremlægge i miljøkonsekvensrapporten.

Bygherre eller dennes rådgiver kan med fordel udarbejde et udkast til afgrænsningsnotatet, men det er kommunen der afgør, hvad der skal fremlægges i miljøkonsekvensrapporten.

³ Bekendtgørelse nr. 121 af 4. februar 2019 om samordning af miljøvurderinger og digital selvbetjening m.v. for planer, programmer og konkrete projekter omfattet af lov om miljøvurdering af planer og programmer og konkrete projekter (VVM)

8.2.1.3 *Miljøkonsekvensrapporten*

Bygherre eller dennes rådgiver udarbejder på baggrund af afgrænsningsnotatet miljøkonsekvensrapporten. Rapporten skal udover de forhold, som indgår i afgrænsningsnotatet indeholde oplysninger jf. miljøvurderingsloven § 20 og bilag 7.

Typisk indeholder miljøkonsekvensrapporten følgende hovedafsnit:

- Et ikke-teknisk resumé
- Projektbeskrivelse
- Mulige alternativer og reference-scenarie
- Eksisterende forhold (miljøtilstand)
- Vurdering af projektets påvirkning på miljøet
- Afværgende foranstaltninger, der kan forhindre eller reducere en evt. skadelig påvirkning
- Kumulative påvirkninger

8.2.1.4 *Udkast til tilladelse jf. miljøvurderingslovens § 25 (tidligere VVM-tilladelse)*

På baggrund af byherres ansøgning og miljøkonsekvensrapporten træffer kommunen afgørelse om tilladelse jf. miljøvurderingslovens § 25 (også kaldet "§ 25-tilladelse" eller tidligere "VVM-tilladelse"). Kommunen udarbejder herefter et udkast til en § 25-tilladelse.

8.2.1.5 *2. offentlighedsfase*

Den færdige miljøkonsekvensrapport og udkast til § 25-tilladelsen sendes i høring hos offentligheden, berørte myndigheder og evt. berørte nabostater. Høringsfristen for 2. offentlighedsfase er minimum 8 uger og bør afsættes med behørig hensyn til ferier, omfang m.m.

Høringen kan offentliggøres på kommunens hjemmeside.

Partsbegrebet indenfor miljøvurdering er det samme som i forvaltningsloven, og der kan derfor være behov for at udarbejdede særskilte dokumenter i forhold til høring af parter i en evt. sag.

8.2.1.6 *Afgørelse*

Efter høringsfristens udløb træffer kommunen på baggrund af miljøkonsekvensrapporten og evt. supplerende oplysninger og indkomne høringssvar afgørelse om tilladelse. Afgørelsen skal begrunde jf. miljøvurderingslovens § 27 stk. 1.

Miljøvurderingslovens definition af en tilladelse giver mulighed for, at § 25-tilladelsen helt eller delvis kan erstattes af tilladelser givet i henhold til anden lovgivning. Miljøvurderingsbekendtgørelsens § 10 beskriver, hvilke tilladelser, der kan erstatte en § 25-tilladelse.

8.2.1.7 *Kystbeskyttelsesloven og § 25-tilladelse*

Jf. miljøvurderingsbekendtgørelsens § 10 kan en tilladelse efter § 3, §16a og § 16b i kystbeskyttelsesloven helt erstatte en § 25-tilladelse.

Det er kun selve tilladelsen, der helt eller delvist erstattes, mens processen for miljøvurderingen fortsat vil være omfattet af miljøvurderingslovens bestemmelser.

Ansøgning om kystbeskyttelse jf. kystbeskyttelsesloven § 3 kan med fordel udarbejdes sideløbende med miljøkonsekvensrapporten, således at den lovpligtige 8 ugers høringsfase også omfatter høringen af ansøgning om kystbeskyttelse.

8.2.1.8 Offentliggørelsen af afgørelsen og klagefrist

Den endelige offentliggørelse af afgørelsen kan udelukkende ske digitalt på myndighedens hjemmeside. I det tilfælde at kommunen er myndighed indberetter kommunalbestyrelsen den færdige afgørelse og miljøkonsekvensrapporten til Plan-data.dk.

Da der er 4 ugers klagefrist fra offentliggørelsen af tilladelsen anbefales det, at bygherre afventer projektets påbegyndelse til fristen er udløbet.

8.3 Internationale naturbeskyttelsesområder

EU har vedtaget to naturbeskyttelsesdirektiver, som pålægger EU's medlemslande at bevare en række arter og naturtyper, der er sjældne, truede eller karakteristiske for EU-landene:

- Habitatdirektivet⁴ har til formål at beskytte arter og naturtyper, der er karakteristiske, truede, sårbare eller sjældne i EU. Hvert EU-land skal udpege områder, der kan fungere som sikre levesteder for de naturtyper og arter, som er opført på habitatdirektivets bilag I og II. Disse områder betegnes habitatområder. Habitatdirektivet omfatter derudover en generel beskyttelse af de arter, som er opført på direktivets bilag IV (de såkaldte bilag IV-arter). Beskyttelsen af bilag IV-arterne gælder også uden for habitatområderne.
- Fuglebeskyttelsesdirektivet⁵ har til formål at beskytte levesteder og rasteområder for fugle, som er sjældne, truede eller følsomme over for ændringer af levesteder i EU. Hvert EU-land skal udpege områder for at beskytte fugle, der er omfattet af fuglebeskyttelsesdirektivet. Disse områder benævnes fuglebeskyttelsesområder.

Natura 2000 er betegnelsen for det internationale netværk af habitatområder og fuglebeskyttelsesområder i EU, se Bilag F. Områderne er udpeget for at bevare og beskytte naturtyper og vilde dyre- og plantearter, som er sjældne, truede eller karakteristiske for EU-landene. Habitatdirektivet har til formål at fremme biodiversiteten i medlemsstaterne ved at definere en fælles ramme for beskyttelsen af arter og naturtyper, der er af betydning for EU. Dette sker hovedsageligt gennem udpegning af særlige bevaringsområder, de såkaldte habitatområder. I habitatområderne skal der sikres eller genoprettes en gunstig bevaringsstatus for de arter eller naturtyper, som området er udpeget for.

I Danmark udgør *habitatbekendtgørelsen*⁶ en væsentlig del af implementeringen af habitatdirektivet og fuglebeskyttelsesdirektivet. Habitatbekendtgørelsen har blandt andet til formål at udpege internationale naturbeskyttelsesområder (Natura 2000-områder) og fastsætte regler for administrationen af disse områder. Desuden fastsættes regler for beskyttelse af de såkaldte bilag IV-arter. Implementeringen af

⁴ Rådets direktiv 92/43/EØF af 21. maj 1992 om bevaring af naturtyper samt vilde dyr og planter

⁵ Rådets direktiv 79/409/EØF af 2. april 1979 om beskyttelse af vilde fugle

⁶ Bekendtgørelse nr. 1595 af 6. december 2018 om udpegning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter.

habitat- og fuglebeskyttelsesdirektivet er i forhold til kystbeskyttelsesprojekter sket i *kysthabitatbekendtgørelsen*⁷.

Ifølge *kysthabitatbekendtgørelsen* skal der foretages en Natura 2000-vurdering af, om projektet i sig selv eller i forbindelse med andre planer og projekter, kan påvirke et Natura 2000-område væsentligt. Hvis det vurderes, at projektet ikke vil påvirke Natura 2000-områder væsentligt (på baggrund af en væsentlighedsvurdering) kan det gennemføres efter indhentning af de nødvendige øvrige tilladelser. Hvis det vurderes, at projektet kan påvirke et Natura 2000-område væsentligt, skal der foretages en nærmere konsekvensvurdering af projektets påvirkninger på Natura 2000-området under hensyntagen til bevaringsmålsætningen for det pågældende område.

I Hjørring Kommune er der fire Natura 2000-områder, der alle udgør en del af kyststrækningen i kommunen, se Bilag F.

- Natura 2000-område nr. 1 Skagen Gren
- Natura 2000-område nr. 5 Uggerby Klitplantage og Uggerby Å's udløb
- Natura 2000-område nr. 6 Kærsgård Strand, Vandplasken og Liver Å
- Natura 2000-område nr. 7 Rubjerg Knude og Lønstrup Klint

8.3.1.1 *Miljøvurderingspligt og fravigelsesprocedure*

Projekter som vurderes at kunne påvirke et Natura 2000-område i en sådan grad, at det forudsætter en *nærmere konsekvensvurdering* jf. *kysthabitatbekendtgørelsen*, antages som udgangspunkt at kunne påvirke miljøet væsentligt og vil derfor automatisk være miljøvurderingspligtige jf. Miljøvurderingsloven (se afsnit 8.2). Dette gælder ikke for projekter, hvor en væsentlig påvirkning allerede kan afvises i den væsentlighedsvurdering.

Myndigheden, som i kystbeskyttelsessager er kommunen, kan først godkende et projekt, når denne har sikret sig, at projektet ikke påvirker Natura 2000-områdets integritet. Hvis det ikke kan afvises at et projekt medfører skade på områdets integritet, kan der ikke meddeles tilladelse til projektet uden at gennemføre en fravigelsesprocedure. Kommunen kan efter bestemmelserne i § 6 i *kysthabitatbekendtgørelsen* fravige beskyttelsen, hvis der foreligger bydende nødvendige hensyn til væsentlige samfundsinteresser, og hvis der ikke findes en alternativ løsning. Fravigelsen forudsætter, at der træffes de nødvendige kompensationsforanstaltninger for at sikre, at sammenhængen i det internationale naturbeskyttelsesområde bevares. EU-kommissionen skal underrettes om, hvilke kompensationsforanstaltninger der træffes. Før der træffes afgørelse om fravigelse skal kommunen indhente en udtalelse fra miljøministeren (Miljø- og Fødevareministeriet). Hvis den kompenserende foranstaltning indeholder udpegning af nyt Natura 2000 område, skal der rettes henvendelse til Staten og EU-kommissionen for godkendelse.

Det anbefales at gennemføre Natura 2000-væsentlighedsvurdering og evt. nærmere konsekvensvurdering så tidligt som muligt i processen, da udfaldet af denne vurdering kan medføre væsentlige ændringer af projektet eller helt stoppe det.

⁷ Bekendtgørelse nr. 1062 af 21. august 2018 om administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter for så vidt angår kystbeskyttelsesforanstaltninger samt etablering og udvidelse af visse anlæg på søterritoriet

8.3.2 Bilag IV-arter

Habitatdirektivets bilag IV indeholder en liste over udvalgte arter, som medlemslandene er forpligtet til at beskytte, både inden for og uden for Natura 2000-områderne. Disse arter betegnes bilag IV-arter.

I henhold til § 7 i kysthabitatbekendtgørelsen kan der ikke gives tilladelse, dispensation, godkendelse mv., hvis det ansøgte kan:

1. *beskadige eller ødelægge yngle- eller rasteområder i det naturlige udbredelsesområde for de dyrearter, der er optaget i habitatdirektivets bilag IV, litra a), eller*
2. *ødelægge de plantearter, som er optaget i habitatdirektivets bilag IV, litra b) i alle livsstadier.*

Det skal derfor sikres, at det ansøgte projekt ikke beskadiger eller ødelægger yngle- og rasteområder for bilag IV-arter i arternes naturlige udbredelsesområder.

Ifølge vejledningen til habitatbekendtgørelsen er en af forudsætningerne for vurderingen af påvirkninger af bilag IV-arter, at den økologiske funktionalitet af et yngle- eller rasteområde for den pågældende bilag IV-art opretholdes på mindst samme niveau som hidtil (Naturstyrelsen, 2011). Yngle- og rasteområder kan bestå af flere lokaliteter, der tjener som levesteder for den samme bestand. Nogle arter er organiseret i delbestande, som står i forbindelse med hinanden gennem udvandring og indvandring, og som benytter et netværk af levesteder over tid og rum (eksempelvis padder og flagermus). Netværket kan ses som et samlet yngle- eller rasteområde for samlingen af delbestande, som står i forbindelse med hinanden.

I henhold til § 8 i kysthabitatbekendtgørelsen vil det i særlige tilfælde være muligt at fravige beskyttelsen af bilag IV-arter, hvis fravigelsen ikke hindrer, at den pågældende bestands bevaringsstatus opretholdes i dens naturlige udbredelsesområde, og der ikke findes andre tilfredsstillende løsninger. Fravigelse kan blandt andet ske i de situationer, hvor det ansøgte har til formål at forhindre alvorlig skade, navnlig på afgrøder, besætning, skove, fiskeri, vand og andre former for ejendom, eller sikre hensyn til den offentlige sundhed og sikkerhed eller af andre bydende nødvendige hensyn til væsentlige samfundsinteresser, herunder af social og økonomisk art, og hensyn til væsentlige gavnlige virkninger på miljøet. En beslutning om at fravige beskyttelsen træffes i tilfælde om kystbeskyttelsessager af kommunalbestyrelsen efter høring af miljø- og fødevareministeren, og kommunalbestyrelsen skal meddele beslutningen om fravigelsen til miljø- og fødevareministeren med henblik på information af Europa-Kommissionen.

Det anbefales ligesom for Natura 2000-områderne, at der tidligt i processen foretages en vurdering af forholdene vedrørende bilag IV-arterne.

8.4 Anden relevant lovgivning

8.4.1 Råstofloven

Indvinding af materialer til kystbeskyttelse er reguleret i råstofloven⁸ og indvinding på havet kræver tilladelse efter lovens § 20. Miljøstyrelsen er myndighed på råstofindvindingen og varetager ansøgninger. Jf. lovens § 20 kan der søges om tilladelse til at indvinde i tre typer af områder:

- Fællesområder, som er udlagte af staten (ca. 80 stk.) og hvor alle kan opnå tilladelse til råstofindvinding
- Auktionsområder, som typisk udnyttes af entreprenører, der ved auktion har erhvervet sig eneret til indvinding i området
- Bygherreområder, som udlægges af bygherrer til indvinding af store råstofmængder f.eks. i forbindelse med større kystbeskyttelsesprojekter.

Der skal betales vederlag til staten for de indvundne råstoffer, da råstofferne på havbunden tilhører staten. For visse råstoffer betales der dog ikke vederlag, f.eks. råstoffer som bruges til kystbeskyttelse, jf. § 22a, stk. 4 i råstofloven.

Det anbefales, at der som udgangspunkt tages kontakt til miljøstyrelsen for en indledende sondering af mulighederne for råstofindvinding. Typisk vil der ikke være tilstrækkelige råstofmængder i fællesområderne til projekter af stor størrelse. Råstofferne skal derfor enten erhverves mod betaling via en entreprenør, der besidder et aktionsområde, eller ved udlægning af et bygherreområde.

Udlægning af et bygherreområde er en flertrinsraket: Først skal der opnås tilladelse til efterforskning af råstoffer i et eller flere potentielle råstofindvindingsområder jf. bekendtgørelse nr.1680 af 17. december 2018 om efterforskning og indvinding af råstoffer fra søterritoriet og kontinentalsoklen. Dernæst skal efterforskningen udføres og der skal foretages miljøundersøgelser. Hvis der findes egnede råstoffer og resultatet af miljøundersøgelserne er positive, så kan der søges om tilladelse til indvinding af råstoffer i et bygherreområde. I området vil bygherren have eneret på indvindingen af råstoffer. Indvinding af store mængder sand er opført på miljøvurderingslovens bilag I punkt 28) "råstofindvinding på søterritoriet og kontinentalsoklen af mængder over 10.000 m³ om året eller 50.000 m³ i alt i andre områder end de i nr. 27 nævnte, hvor der ikke tidligere er tilladt råstofindvinding på basis af konkrete feltundersøgelser af miljøet, og er derfor omfattet af krav om miljøvurdering."

8.4.1.1 *Nyttiggørelse af rene havbundsmaterialer*

Opravet rent havbundsmateriale fra f.eks. anlægsarbejder eller oprensninger/udbygninger af sejlrender kan genplaceres jf. bekendtgørelse om bypass, nyttiggørelse og klappning af optaget havbundsmateriale⁹. Genplacering af uddybnings- og oprensningmateriale fra havbunden skal foretages efter følgende hierarki:

- 1) Bypass (videreførelse af materialer nedstrøms på kysten).
- 2) Nyttiggørelse.
- 3) Klappning.

⁸ Lovbekendtgørelse nr. 124 af 26. januar 2017 om råstoffer

⁹ Bekendtgørelse nr. 950 af 27. juni 2016 om bypass, nyttiggørelse og klappning af optaget havbundsmateriale.

Ved nyttiggørelse af oprensings- og uddybningsmaterialer fra havbunden til kystbeskyttelsesforanstaltninger skal der ikke betales vederlag til staten for det nyttiggjorte materiale jf. Råstoflovens § 22a. Nyttiggørelse kræver tilladelse jf. kystbeskyttelseslovens § 16b og råstoflovens § 20b fra Miljø- og fødevareministeriet.

9 Hjørring Kommunes administrationspraksis

9.1 Fjernelse af eksisterende kystbeskyttelse

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

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

9.2 Fodring

Der vil i de fleste tilfælde kunne opnås tilladelse til at fodre med sand.

Ved rene aktive fodringsløsninger vil der ikke blive stillet krav om fodring med en vis mængde.

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

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

Strandfodring skal holdes tilplantet med Hjelme for at reducere sandfygning.

9.3 Genopbygning af skråningsbeskyttelser

Skråningsbeskyttelser som er beskadiget kan genopbygges til den standard den var bygget med før 1988 eller som beskrevet i tilladelsen efter 1988. Dette kræver ikke fornyet tilladelse fra kommunen.

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

9.4 Genopbygning af høfder og bølgebrydere

Høfder og bølgebrydere som er beskadiget kan genopbygges til den standard de var bygget med før 1988 eller som beskrevet i tilladelsen efter 1988. De må vedligeholdes til oprindelige dimensioner, hvis konstruktionerne har været løbende vedligeholdet. Der stilles i dette tilfælde ikke krav om ny tilladelse og kompensationsfodring.

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

9.5 Forstærkning af eksisterende skråningsbeskyttelser

Eksisterende skråningsbeskyttelser med markant kystteknisk effekt kan forstærkes. Dette kræver dog tilladelse af kommunen.

Ved forstærkning og reovering af skråningsbeskyttelser stilles ikke krav om kompensationsfodring.

9.6 Etablering af nye skråningsbeskyttelser

Det er muligt at få tilladelse til etablering af ny skråningsbeskyttelse med sten eller lignende på strækninger med truede ejendomme.

Ved anlæggelse af nye skråningsbeskyttelse stilles krav om kompensationsfodring svarende til den kroniske erosion på lokaliteten.

Kompensationsfodringen skal foregå i hele skråningsbeskyttelses længde.

Kompensationsfodringen skal mindst modsvare den gennemsnitlige profilerosion dvs. erosionen mellem den aktive dybde og skræntens top.

Nye skråningsbeskyttelser skal som minimum holdes sanddækket i sommerhalvåret og tilplantet med Hjelme.

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

9.7 Forstærkning af eksisterende høfder og bølgebrydere

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

Ved forstærkning og reovering stilles krav om kompensationsfodring.

Kompensationsfodringen skal mindst modsvare den gennemsnitlige profilerosion dvs. erosionen mellem den aktive dybde og skræntens top.

Kompensationsfodringen skal desuden modsvarer den mængde konstruktionen tilbageholder således, at læsideerosion undgås.

Hvis klimaforandringer medtages i design af konstruktionerne, skal de også medtages i kompensationsfodringen.

9.8 Etablering af nye høfder og bølgebrydere

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

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

Ved anlæggelse af nye høfder, bølgebrydere og lignende stilles krav om kompensationsfodring.

Kompensationsfodringen skal mindst modsvare den gennemsnitlige profilerosion dvs. erosionen mellem den aktive dybde og skræntens top.

Kompensationsfodringen skal desuden modsvarer den mængde konstruktionen tilbageholder således, at læsideerosion undgås.

Hvis klimaforandringer medtages i design af konstruktionerne, skal de også medtages i kompensationsfodringen.

9.9 Naboansvar

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

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

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

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

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

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

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

10 Kystplan

NIRAS har ud fra de kysttekniske analyser og vurderinger, samt øvrige hensyn diskuteret med Hjørring Kommune, udarbejdet en kystplan for kommunens kyst.

Kystplanen deler kysten op i karakteristiske delstrækninger med lokale anbefalinger til mulige tilladelige kystbeskyttelsestiltag, se Bilag E Kystplan.

Kystplanen er udarbejdet for følgende delstrækninger:

- Løkken sydvest for molen
- Løkken Mole til Nørre Lyngby
- Nørre Lyngby til Mårup Kirke
- Mårup Kirke til Nørlev Strand
- Nørlev Strand til Hirtshals Havn
- Hirtshals Havn til Kjøl Strand
- Kjøl Strand til Tversted

Generelt anbefales det at anlægge skråningsbeskyttelser af sten foran truede ejendomme. Skråningsbeskyttelser af sten er meget effektive til at beskytte baglandet mod erosion under selv kraftige storme.

Ejendommene vurderes at være truede af erosion, når der er mindre end 50 år kronisk erosion fra huset til skrænttoppen eller 70 m, se Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning.

Skråningsbeskyttelser skal kombineres med fodring over længere strækninger for at forhindre, at stranden foran konstruktionerne forsvinder og læsideerosion som følge af underskud i sedimentbudgettet. Det bør tilstræbes, at der laves længere samlede strandfodringer for at optimere den kysttekniske virkning og holdbarhed.

Kystens naturlige udvikling fortsætter på de strækninger, hvor der ikke er truede ejendomme. Herved sikres, at der sker naturlig tilførsel af sand til kysten i størst mulig omfang. Herved kan der med tiden opstå et let bølget forløb af kysten mellem de hårde anlæg, hvor kysten fastholdes.

På de mest udsatte strækninger kan det være nødvendigt at anlægge strandhøfder eller strandbølgebrydere eller lignende for at kunne skabe en beskyttende og rekreativ strand foran skråningsbeskyttelserne. Sådanne konstruktioner skal kombineres med massiv strandfodring for ikke at skabe læsideerosion. Konstruktionerne skal udføres under hensyntagen til badesikkerhed.

Kystmiljøet er meget barsk i Hjørring Kommune. Anvendte løsninger bør derfor opbygges af traditionelle og robuste materialer som sten, ral og sand for at sikre langtidsholdbare løsninger, der både beskytter baglandet og de rekreative værdier i kommunen. For at sikre en så naturlig kyst som muligt, skal anlæggelse af hård kystbeskyttelse reduceres i antal og udstrækning så meget som muligt.

Strandfodring bør tilplantes med Hjelme for at reducere sandfygning.

10.1 Kystplan sydvest for Løkken Mole

Figur 10.1 viser kystplanen for strækningen sydvest for Løkken Mole.



Figur 10.1 Kystplan for strækningen sydvest for Løkken Mole, Bilag E

Der bør ikke anlægges kystbeskyttelse sydvest for Løkken Mole, da der ikke er truede ejendomme på denne strækning, se Figur 10.2 og Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning og Bilag E Kystplan samt Bilag F Natura 2000.

Indvinding af sand på stranden sydvest for Løkken Mole bør indstilles, da bypass af sand ikke afhjælper den kroniske erosion i området.

Indvinding af sand på stranden kan sænke strandens højde og derved øge risikoen for, at badehuse bliver ødelagt om sommeren.



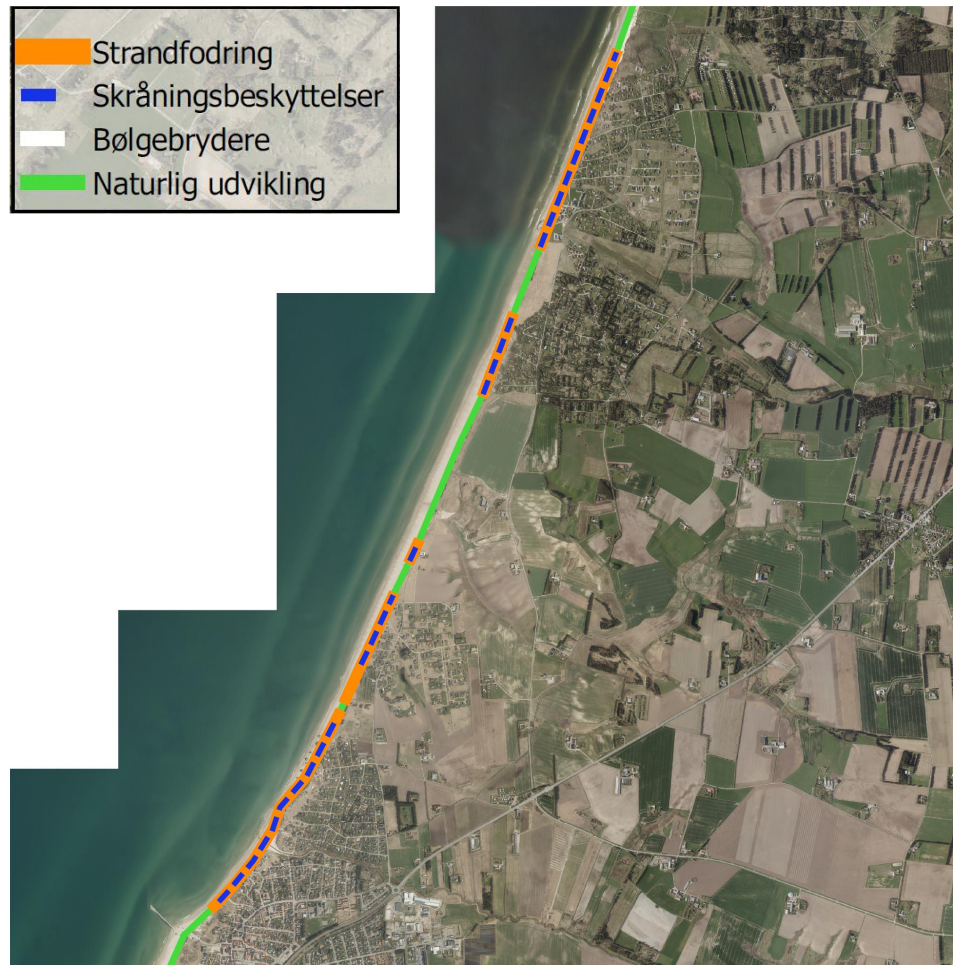
Figur 10.2 Fremskrivning af kronisk erosion i 50 år (blå) og 70m zone fra toppen af skråningen (grøn) sydvest for Løkken Mole, Bilag D

10.2 Kystplan mellem Løkken Mole og Nørre Lyngby

Figur 10.3 viser kystplanen for strækningen mellem Løkken Mole og Nørre Lyngby.

Der kan med fordel anlægges skråningsbeskyttelser af sten foran truede ejendomme for at beskytte mod akut erosion, se Figur 10.4 og Figur 10.3, Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning og Bilag E Kystplan, samt Bilag F Natura 2000.

Strækninger med skråningsbeskyttelse skal kombineres med strandfodring for at bevare stranden og beskytte skråningsbeskyttelser og skråninger bagved samt forhindre læsideerosion.



Figur 10.3 Kystplan for strækningen mellem Løkken Mole og Nørre Lyngby, Bilag E

Strandfodringerne bør foretages over længere sammenhængende strækninger for at sikre optimal kystteknisk virkning og holdbarhed.

Kun ved fodring med importeret sand kan den kroniske erosion afhjælpes nordøst for Løkken Mole.

Der bør ikke fjernes sand fra stranden ved Løkken, da der er et underskud i sedimentbalancen langs kysten nordøst for Løkken Mole.



Figur 10.4 Fremskrivning af kronisk erosion i 50 år (blå) og 70m zone fra toppen af skråningen (grøn) mellem Løkken Mole og Nørre Lyngby, Bilag D

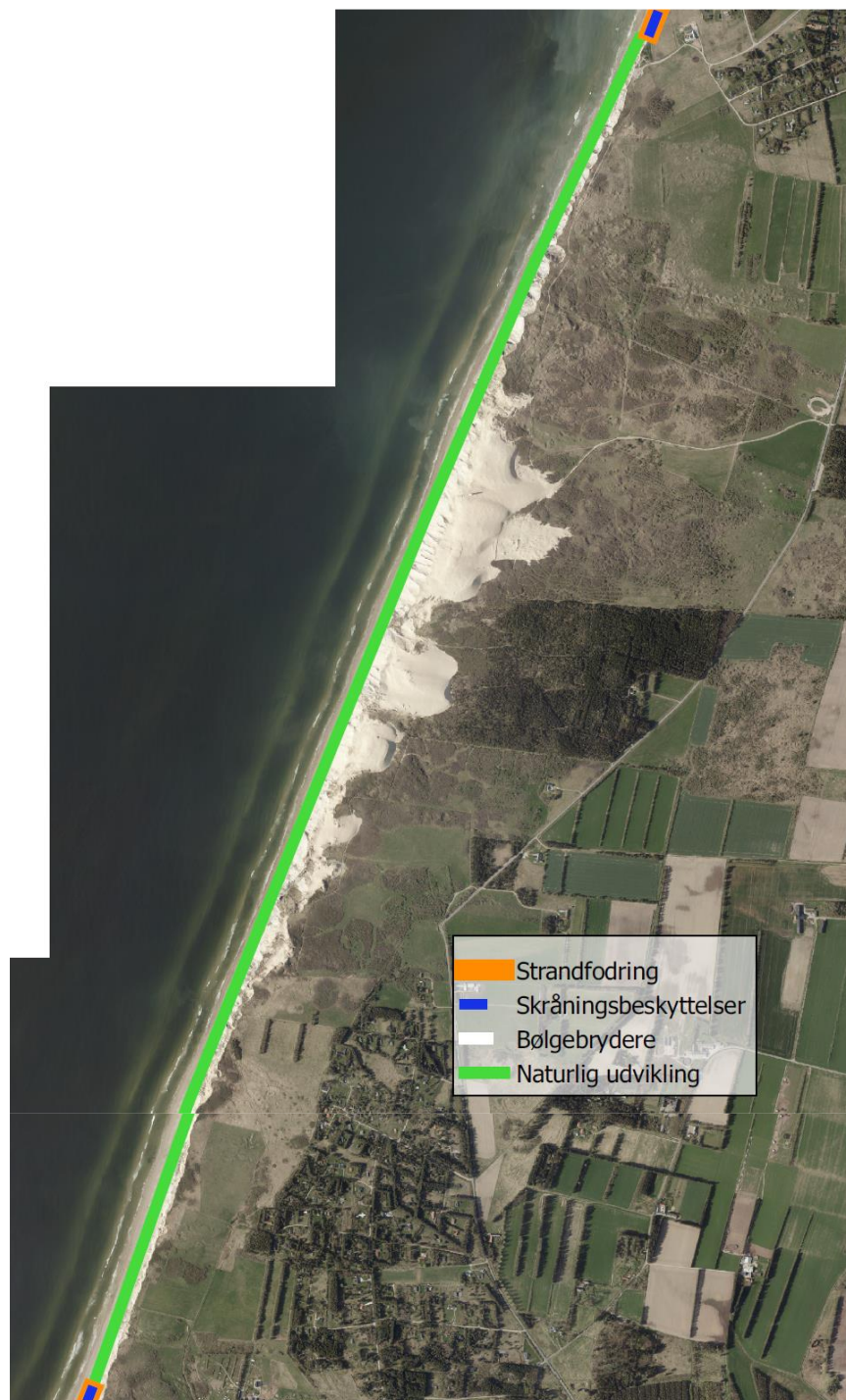
10.3 Kystplan mellem Nørre Lyngby og Mårup Kirke

Figur 10.5 viser kystplanen for strækningen mellem Nørre Lyngby og Mårup Kirke.

Der er ingen truede ejendomme ud til kysten mellem Nørre Lyngby og Mårup Kirke, se Figur 10.6 og Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning.

Kysten eroderer tilbage og bidrager hermed med store mængder sand til sedimentbudgettet.

Der bør ikke anlægges kystbeskyttelse på strækningen for at bevare det naturlige kystlandskab, se Bilag E Kystplan og Bilag F Natura 2000.



Figur 10.5 Kystplan for strækningen mellem Nørre Lyngby og Mårup Kirke, Bilag E

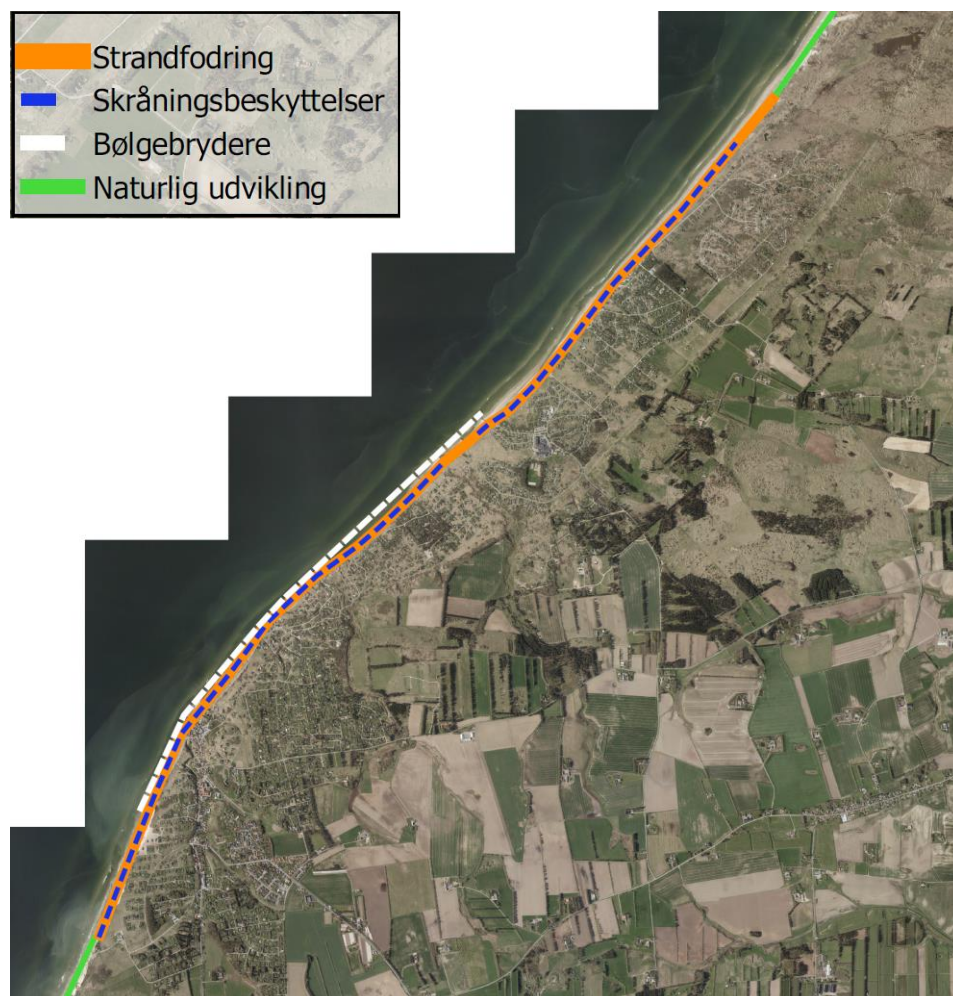
- Indikativ kystlinje om 50 år
- 70 m afstand fra klittop
- Bygninger



Figur 10.6 Fremskrivning af kronisk erosion i 50 år (blå) og 70m zone fra toppen af skråningen (grøn) mellem Nørre Lyngby og Lønstrup, Bilag D

10.4 Kystplan mellem Lønstrup og Nørlev Strand

Figur 10.7 viser kystplanen for strækningen mellem Lønstrup og Nørlev Strand.



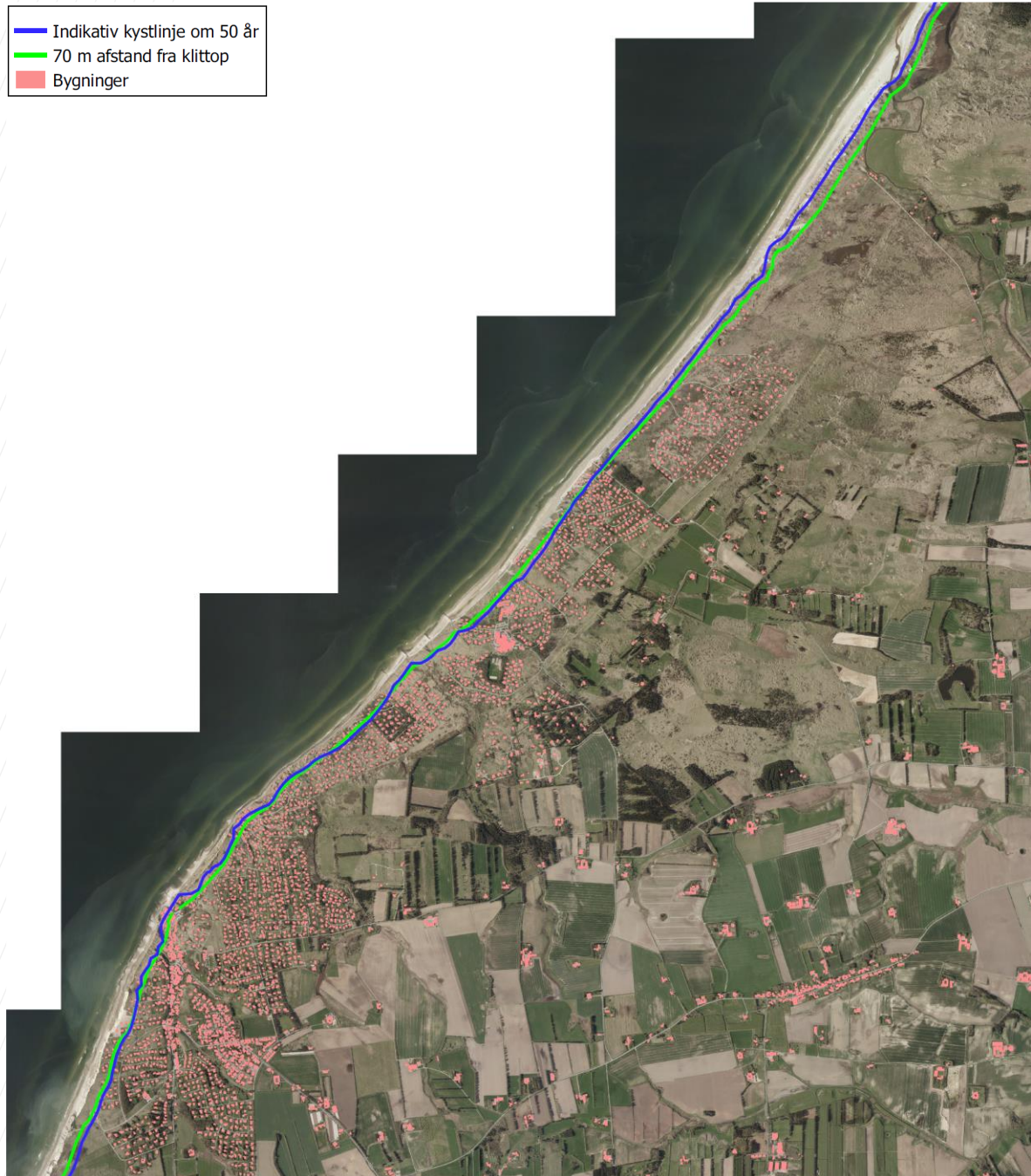
Figur 10.7 Kystplan for strækningen mellem Lønstrup og Nørlev Strand, Bilag E

Der er behov for yderligere kystbeskyttelse på strækningen fra Mårup Kirke til nordøst for Nørlev Strand, se Figur 10.8 og Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning.

Generelt anbefales det at anlægge skråningsbeskyttelser af sten kombineret med fodring på strækninger med truede ejendomme for at beskytte baglandet mod kronisk og akut erosion og samtidig vedligeholde stranden og forhindre læsideerosion, se Bilag E Kystplan og Bilag F Natura 2000. Der ligger dog et Natura 2000 område sydvest for Lønstrup, som indskrænker mulighederne for at etablere kystbeskyttelse langs klinten, se Bilag F Natura 2000.

Derudover kan der på den særligt udsatte strækning ved og nordøst for Lønstrup være behov for at anlægge høfder, bølgebrydere eller lignende for at genskabe

stranden. Nye konstruktioner skal kombineres med omfattende strandfodring for at forhindre læsideerosion.



Figur 10.8 Fremskrivning af kronisk erosion i 50 år (blå) og 70m zone fra toppen af skråningen (grøn) mellem Lønstrup og Nørlev Strand, Bilag D

Generelt er der et stort underskud i sedimentbudgettet fra Lønstrup op forbi Nørlev Strand, som bør afhjælpes med massiv og koordineret fodring.

Strandfodring med sand fra Hirtshals Havn anbefales som den bedste løsning på strækningen. Strandfodring kan evt. kombineres med revlefodring ved Lønstrup, men effekten af revlefodring forventes at være mindre end strandfodring.

Fodringerne bør foretages over længere sammenhængende strækninger for at sikre optimal kystteknisk virkning og holdbarhed.

10.5 Kystplan mellem Nørlev Strand og Hirtshals

Figur 10.9 viser kystplanen for strækningen mellem Nørlev Strand og Hirtshals.



Figur 10.9 Kystplan for strækningen mellem Nørlev Strand og Hirtshals, Bilag E

Kysten fra Liver Å op til Hirtshals Havn er nogenlunde stabil og der er derfor ikke på nuværende tidspunkt behov for kystbeskyttelse, se Figur 10.10 og Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning.

Der bør ikke anlægges kystbeskyttelse på strækningen for at bevare det naturlige kystlandskab, se Bilag E Kystplan og Bilag F Natura 2000.

Hirtshals Havn fanger størstedelen af langstransporten i sejlbunden og indsejlingen.



Figur 10.10 Fremskrivning af kronisk erosion i 50 år (blå) og 70m zone fra toppen af skråningen (grøn) mellem Nørlev Strand og Hirtshals, Bilag D

Det anbefales, at alt oprenset sand i fremtiden benyttes til fodring på strategisk udvalgte strækninger langs kysten for på den måde at indgå i sedimentbudgettet og hjælpe med til at reducere kysterosionen i området og forbedre kystbeskyttelsen ud for truede ejendomme.

Sand kan med fordel indvindes på stranden syd for vestmolen ved Hirtshals Havn, som kan benyttes til strandfodring i kommunen.

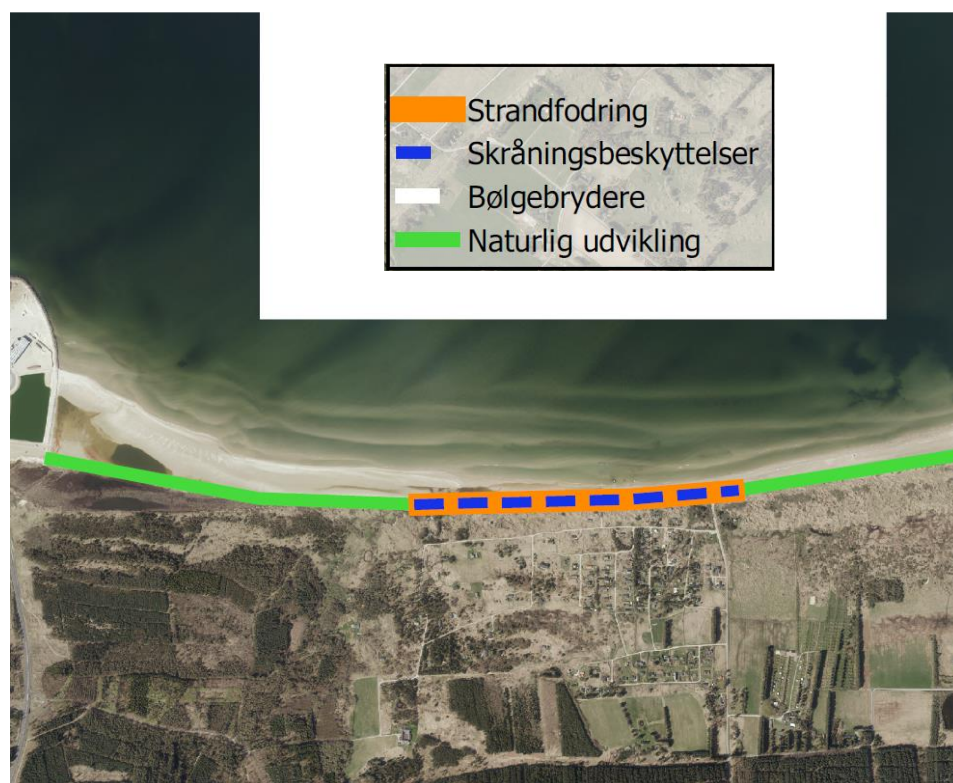
10.6 Kystplan mellem Hirtshals og Kjul Strand

Figur 10.11 viser kystplanen for strækningen mellem Hirtshals og Kjul Strand.

Kjul Strand er det eneste sted øst for havnen, hvor der er et behov for at stabilisere kysten foran truede huse, se Figur 10.12 og Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning. Der er ikke truede ejendomme øst for Kjul Strand, som kan komme i fare som følge af den naturlige kroniske erosion.

I første omgang foreslås det at revlefodre ud for denne strækning eller strandfodre foran truede ejendomme.

På sigt kan det vise sig at blive nødvendigt at anlægge skråningsbeskyttelser foran truede huse, se Bilag E Kystplan og Bilag F Natura 2000. Konstruktionerne bør holdes på et minimum. Nye konstruktioner skal kombineres med fodring.



Figur 10.11 Kystplan for strækningen mellem Hirtshals og Kjul Strand, Bilag E



Figur 10.12 Fremskrivning af kronisk erosion i 50 år (blå) og 70m zone fra toppen af skrånningen (grøn) mellem Hirtshals og Kjul Strand, Bilag D

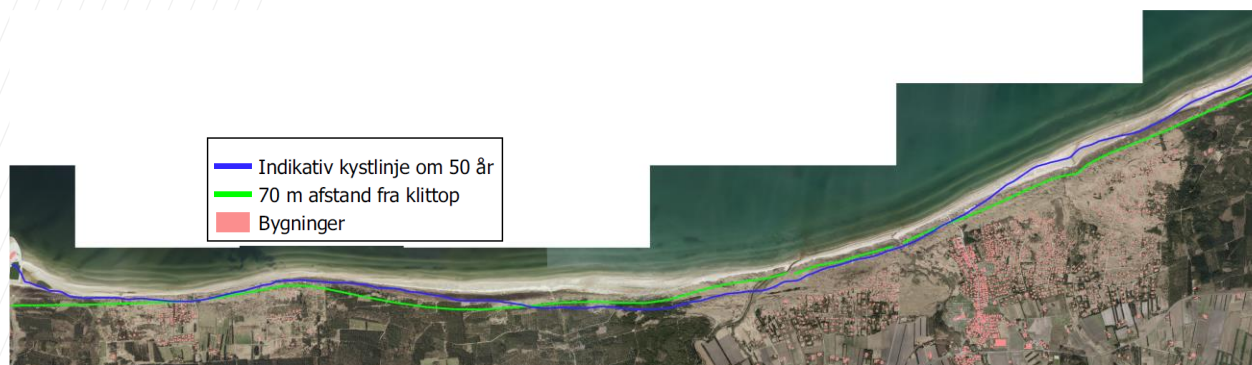
10.7 Kystplan mellem Kjul Strand og Tversted

Figur 10.13 viser kystplanen for strækningen Kjul Strand og Tversted.



Figur 10.13 Kystplan for strækningen mellem Kjul Strand og Tversted, Bilag E

Der er ikke truede ejendomme øst for Kjul Strand, som kan komme i fare som følge af den naturlige kroniske erosion, se Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning.



Figur 10.14 Fremskrivning af kronisk erosion i 50 år (blå) og 70m zone fra toppen af skrånningen (grøn) mellem Kjul Strand og Tversted, Bilag D

Der bør ikke anlægges kystbeskyttelse på strækningen for at bevare det naturlige kystlandskab, se Bilag E Kystplan og Bilag F Natura 2000.

10.8 Nedkørsler

Hjørring Kommune er ansvarlig for et antal nedkørsler til strandene. Disse har særligt stor betydning i badesæsonen, hvor strandene besøges af mange gæster. Det er ikke muligt at etablere tilstrækkelige parkeringspladser i baglandet, til at imødekomme behovet i badesæsonen, hvorfor kørende adgang til strandene har stor betydning for den rekreative udnyttelse af strandene.

Flere af disse nedkørsler ødelægges ved højt vandshændelser og det er forbundet med store omkostninger, såfremt nedkørslerne skal holdes fuldt funktionsdygtige til enhver tid. Særligt nedkørslen ved Nordre Strandvej, Løkken og Nørlev Strandvej, Nørlev er udsatte.

Hjørring Kommune vil sikre, at nedkørslerne holdes funktionsdygtige i sommerhalvåret.

10.9 Sandfodringsprojekt

Hjørring kommune har taget initiativ til et større sandfodringsprojekt. Projektet har til formål at samle alle grundejerforeninger langs kommunens erosionsudsatte kyst, for at disse i fællesskab skal rejse kapital til kystbeskyttelse. Kystbeskyttelsesloven fastsætter, at det er den enkelte lodsejer (eller grundejerforening), der skal stå for kystbeskyttelsen. Den generelle erosionsudfordring på Hjørring kommunes kyster er af en sådan størrelsesorden, at det er en nødvendighed, at lods ejere langs længere strækninger står sammen om at rejse den nødvendige kapital. Den enkelte grundejerforening kan alene reelt ikke gøre en forskel. Det vil kræve massiv sandfodring, hvis man skal bringe kysterosionen i ro. På sigt er det målsætningen, at projektet skal udligne det sandtab, der er på kommunens kyster (ca. 400.000 m³ årligt).

Projektet kan få sand fra oprensningen af indsejlingen til Hirtshals Havn imod alene at betale for mer-sejltiden. Det oprensede sand nyttiggøres til kystbeskyttelsesformål, idet det føres tilbage til de strækninger, hvor erosionen sker.

På dette stadie fungerer projektet ved frivillighed. Kystbeskyttelsesloven Kapitel 1a vurderes på dette tidspunkt ikke at kunne bidrage positivt til løsningen af den generelle erosionsudfordring.

Der deltager ca. et dusin grundejerforeninger på en 7½ km strækning omkring Lønstrup. Senest har grundejerforeninger i Nr. Lyngby også ønsket at deltage i projektet.

Hjørring Kommunes har besluttet, at støtte projektet ved at matche lodsejernes bidrag i forholdet 1:1. Det har længe synes realistisk, at også Staten ønskede at støtte projektet. Særligt i lyset af konklusionerne i Kystanalysen, (Kystdirektoratet, Kystanalyse, 2016). Staten har dog besluttet, at man ikke ønsker at støtte projektet økonomisk på dette tidspunkt.

Tilladelser til nyttiggørelse af oprenset sediment fra indsejlingen til Hirtshals Havn og tilladelser til sandfodring på søterritoriet er blevet påklaget, hvilket vanskeliggør arbejdet.

Hjørring Kommune vurderer, at projektet pt. er den eneste realiske løsning på at håndtere den generelle erosionsudfordring egnen står overfor.

11 Referencer

- Danmarksklimacenter. (2014). *Fremtidig klimaforandringer i Danmark. Rapport nr.6.*
- DHI. (1994). *Kysten Nordøst for Hirtshals, Samlerapport, Kystudvikling, sedimenttransport og strandfodring.*
- DHI. (2000). *Sedimentbudget Vestkysten.*
- DHI. (2000). *Sedimentbudget Vestkysten. Bølgestatistikker for Vestkysten.*
- DHI. (2006). *Kystsikring og udvikling ved Lønstrup.*
- Geodatastyrelsen. (2019). *Den danske havnelods.*
- Helledie, C. (2011). *Beach Nourishment at the Inner Danish Waters.* Coastal Management. ICE.
- Knudsen, P. A. (2016). *An uplift model for Denmark .*
- Kystdirektoratet. (2016). *Kystanalyse.*
- Kystdirektoratet. (2016). *Kystdirektoratets administrationspraksis ved tildækket skråningsbeskyttelse.*
- Kystdirektoratet. (2017). *Højvandsstatistikker .*
- Kystdirektoratet. (2018). *Analyse af sedimenttransport ved Hirtshals Havn.*
- Larsen, G. (2006). *Naturen i Danmark: Geologien, 3. udgave.* Gyldendal .
- Miljø- og Fødevarerministeriet. (21. 08 2018). BEK nr. 1062 om administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter for så vidt angår kystbeskyttelsesforanstaltninger samt etablering og udvidelse af visse anlæg på søterritoriet.
- Miljø- og Fødevarerministeriet. (06. 12 2018). BEK nr. 1595 om udpegning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter.
- Naturstyrelsen. (2011). Vejledning til bekendtgørelse nr. 408 af 1. maj 2007 om udpegning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter. Miljøministeriet.
- Pedersen, S. (2006). *Strukturer og dynamisk udvikling af Rubjerg Knude Glaciale tektoniske Kompleks, Vendsyssel, Danmark. Geologisk Tidsskrift 2006, hæfte 1, 46 pp.*
- Rådets direktiv nr. 79/409/1979. (u.d.). Rådets direktiv 79/409/EØF af 2. april 1979 om beskyttelse af vilde fugle.

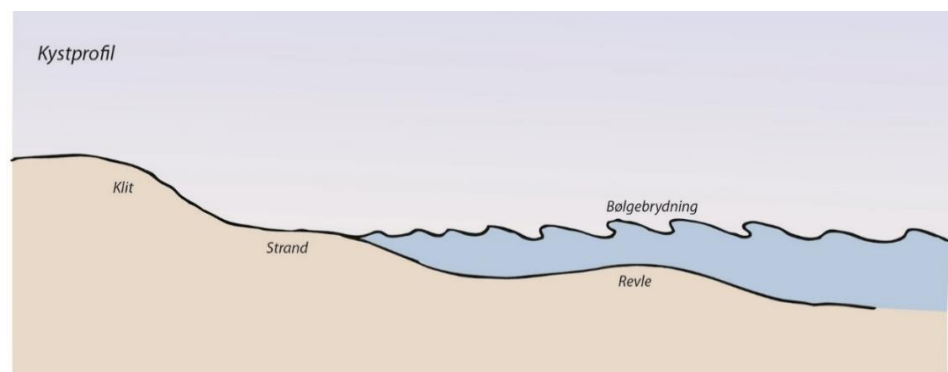
12 Bilag A Kystbeskyttelsesmetoder

12.1 Kystdynamik

12.1.1 Sedimenttransport

Kysten er dynamisk og de morfologiske forhold fra yderste revle til skrænttoppen har afgørende betydning for kystudviklingen. Når bølger ruller ind på lavt vand og bryder, hvirvles sand op fra havbunden. Ved brydning dannes en strøm, som både har komponenter på tværs og på langs af kysten alt efter bølgeindfaldsvinklen. Lokale bølge- og strømforhold afgør da, hvor og hvordan sandet flyttes rundt. Bølgebrydningen medfører også lokal forøgelse af vandspejlet på strande.

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



Figur 12.1: Et kystprofil består af en øvre del over vandet (klit og strand) og en nedre del under vandet (revler og trug), hvor bølgerne bryder.

12.1.2 Tværgående sedimenttransport og akut erosion

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

$$d = Ax^m$$

Hvor:

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

Tabel 12-1 viser, at groft sand vil indstille sig i et stejlere kystprofil end finere sand. Det skal yderligere bemærkes, at ligevægtsprofilet som oftest er overlejret af revler.

Tabel 12-1 Korrelation mellem middeldornstørrelse og stejhedsparemeteren A i Dean's formel.

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

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

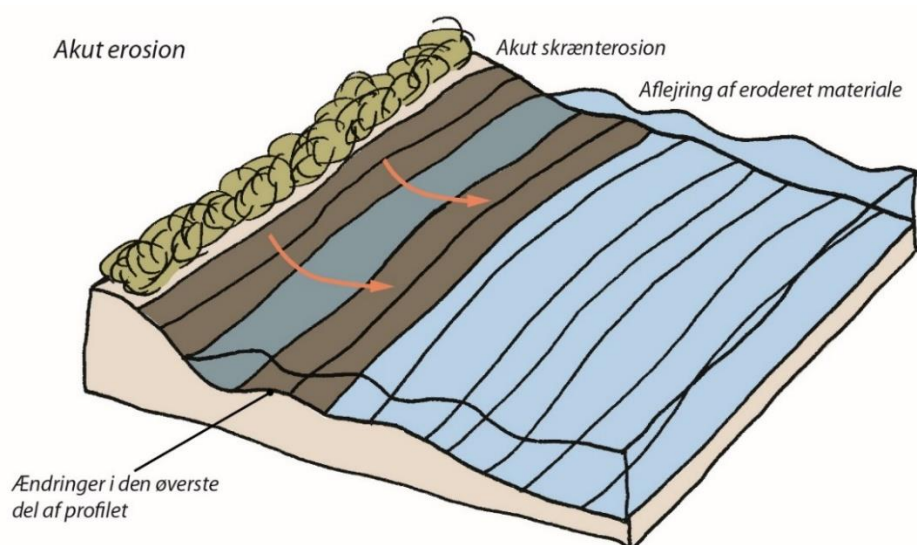
Denne zone strækker sig ud til den aktive dybde, d_l :

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

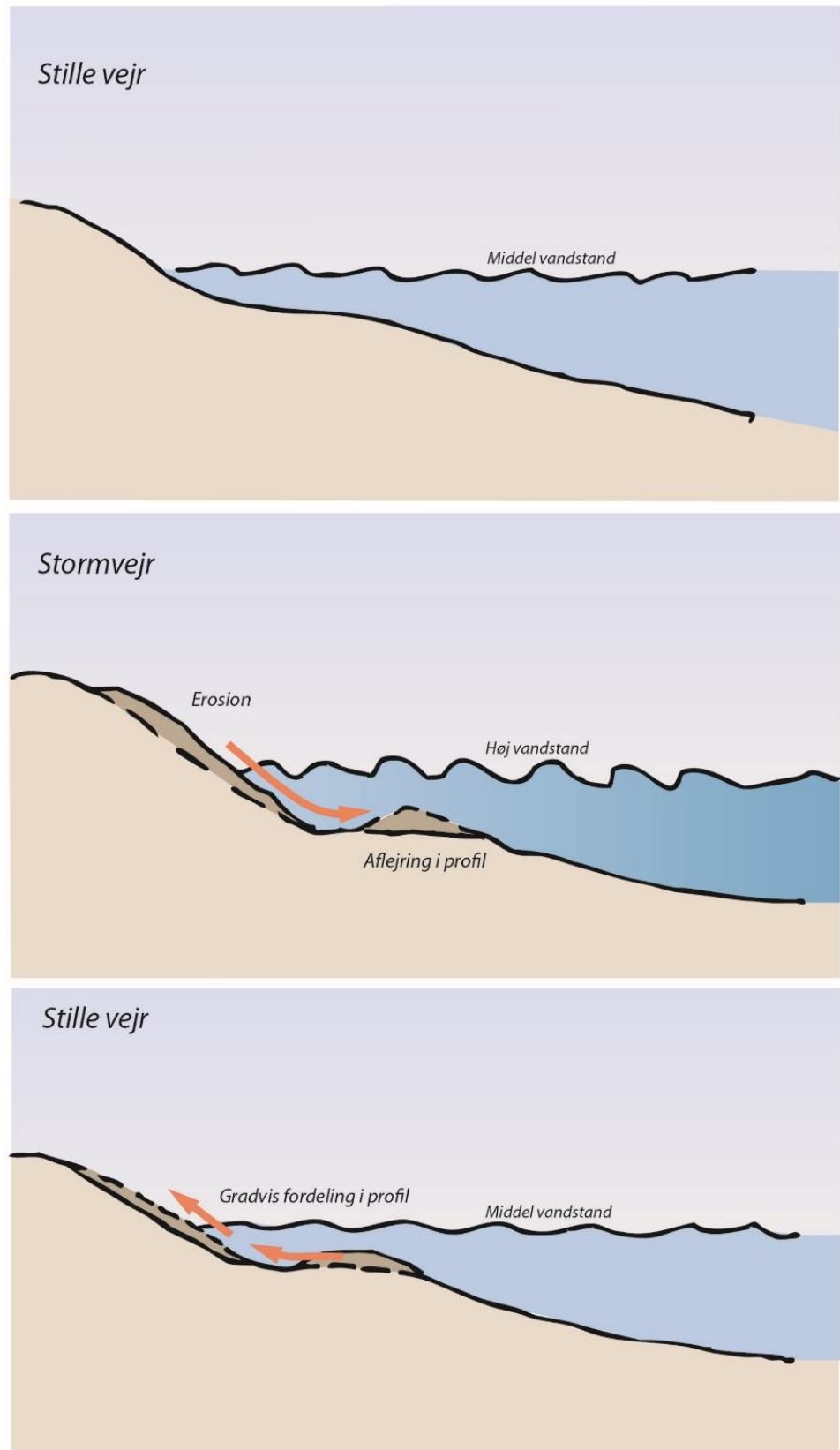
hvor:

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

I Hjørring Kommune ledsages stormflod ofte af store bølger. Herved kan bølgerne erodere den bagerste del af stranden, klitterne og skråningerne bagved. Tværtransporten vil her medvirke til at etablere et nyt kystprofil svarende til den forhøjede vandstand. Under denne situation flyttes sedimenterne typisk fra den indre til den ydre del af kystprofilen, hvilket opleves som akut tilbagerykning af kystlinjen også kaldt akut erosion, se Figur 12.2 og Figur 12.3.



Figur 12.2: Under akut erosion eroderes den øvre del af profilet under højvande (storm). Det erode-rede materiale trækkes ud i de dybere dele af profilet. Mørk brun og mørk blå svarer til, hvor profilet er aktivt under akut erosion. Lysere blå er ikke en del af det aktive profil.



Figur 12.3 Tværtransport giver anledning til erosion under storm og opbygning under roligt vejr (vinterprofil og sommerprofil)

Sandet forsvinder ikke, men lægger sig ude i profilet og medvirker på denne måde til at reducere bølgerne inden de når kysten. Finere sedimenter tabes dog ud på dybt vand og går derved tabt. Da bølgerne er større om vinteren end om sommeren, taler man om typiske vinter- og sommerprofiler, hvor der er mest sand på stranden om sommeren.

Under efterfølgende perioder med mindre bølger og normal vandstand vil tværtransporten gradvist retablere det oprindelige ligevægtsprofil ved at flytte sand fra revlerne ind på kysten, se Figur 12.3. Akut erosion er således delvis en reversibel proces, men eventuel skrænterosion under stormfloden vil dog ikke gendannes, se Figur 12.4.



Figur 12.4: Fotos efter Stormen Bodil 06.12.2013, som medførte ekstremt højvande på ca. +1,9 m langs Sjællands nordkyst.
Øverst: Jævnt fordelt akut erosion langs klitrækken nordøst for Liseleje.
Nederst: Skrænterosion langs Nordkyststien ved Villingebæk Hage

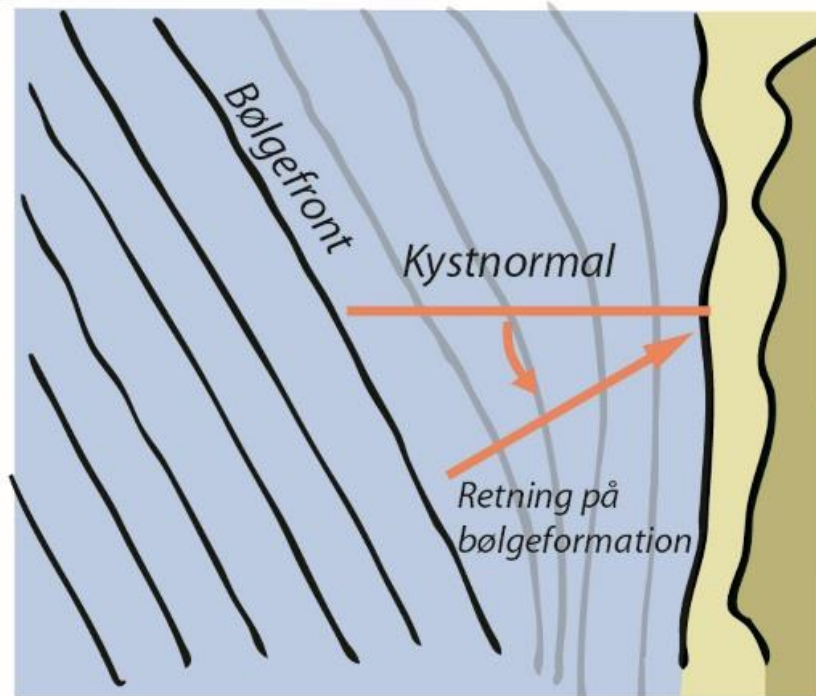
Revler fungerer som sanddepoter og har afgørende betydning for mængden af energi, der når helt ind på stranden. De lave vanddybder over revlen bevirker, at bølgerne bryder på revlen og dermed frigiver energi.

12.1.3 Langsgående sedimenttransport og kronisk erosion

Sedimenttransport langs kysten forårsages af bølger, som rammer kysten med en skrå vinkel, se Figur 12.5. Når bølgerne bryder langs kysten driver de en strøm, som løber langs kysten. Denne strøm kan transportere det ophvirvlede sediment. Brydende bølger kan således transportere store mængder af sediment, afhængig af bølgestørrelse og bølgeretning.

Definition af
bølgeindfaldsvinkel

Kystlinje



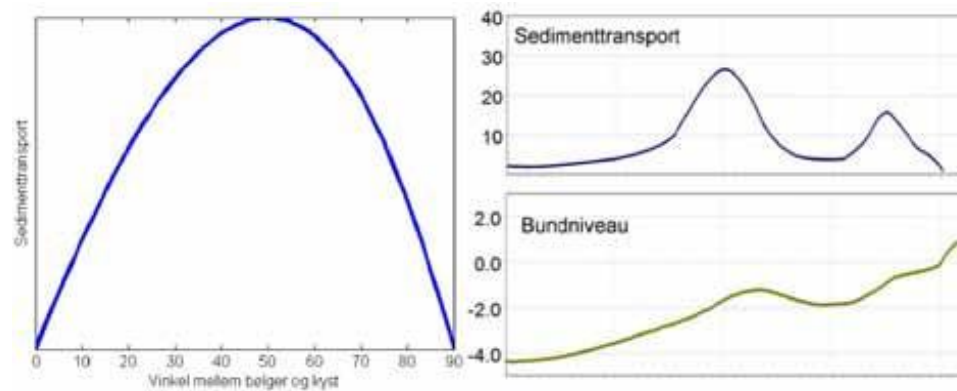
Figur 12.5: Definition af bølgefront og bølgeretning

Figur 12.6 viser sammenhængen mellem langstransporten og bølgeretning samt bundens udformning. Figuren viser, at sedimenttransporten er størst, når bølgerne nærmer sig kysten med en vinkel på omkring 50 grader. Det faktum, at sedimenttransporten aftager, når vinklen mellem bølgeretningen og kystens orientering bliver større end 50 grader gør, at strandlinjen bliver ustabil.

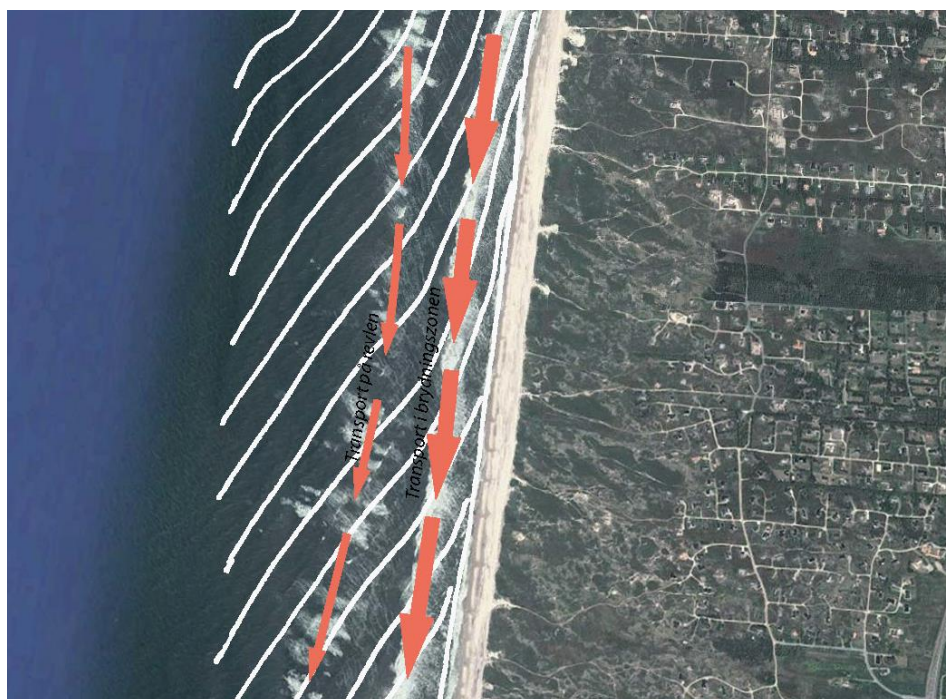
Hvis den dominerende bølgeretning er vinkelret på kysten (0 grader indfaldsvinkel) er den gennemsnitlige langstransport over tid nul. Denne orientering af kysten kaldes kystens ligevægtsorientering.

Figur 12.6 og Figur 12.7 viser, hvordan kystprofilen typisk ser ud langs de ubeskyttede dele af kysten. De fleste steder er der revler i kystprofilen. Revlerne har betydning for, hvor meget bølgeenergi, der når helt ind på kysten.

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



Figur 12.6: Grafen til venstre viser, hvordan langstransporten afhænger af bølgenes indfaldsvinkel på kysten. De to grafer til højre viser, hvordan langstransporten er fordelt på et typisk kystprofil med én revle.

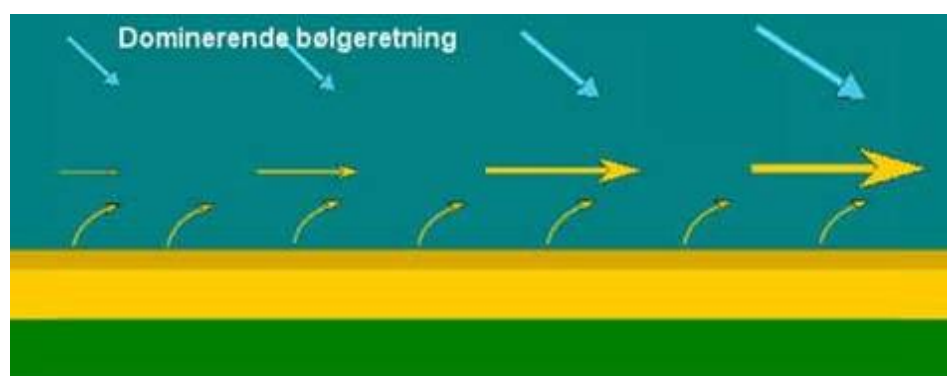


Figur 12.7: Bølger, som falder ind på en strand og driver en langsgående transport. Hvide linjer viser bølgetoppe. Orange pile indikerer langstransport retning og størrelse.

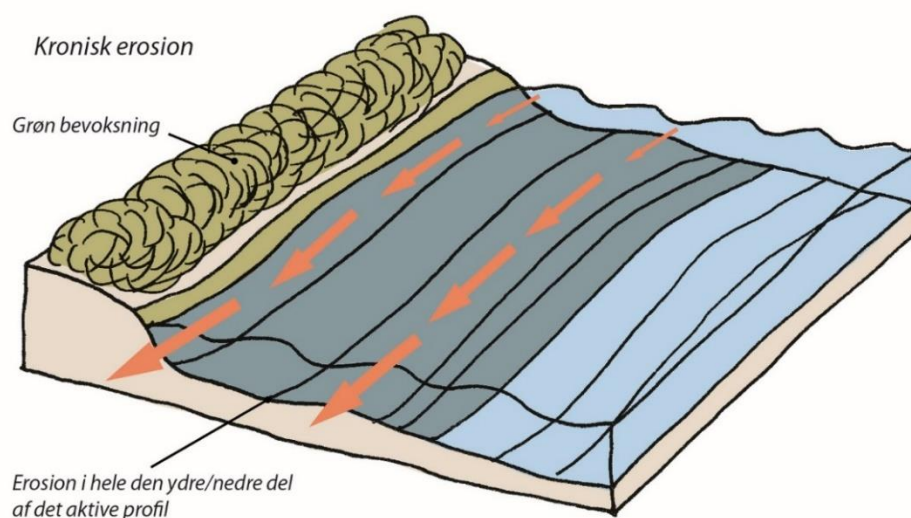
Langstransporten som er vist i Figur 12.6 svarer til et strandprofil, som udelukkende består af mobilt sand. Ofte vil dele af profilet dog være dækket af grovere materiale såsom grus, ral, sten eller ler og transporten vil i disse områder være

stærkt reduceret i forhold til det, der er angivet i Figur 12.6. Ligeledes vil kystbeskyttelse såsom høfder eller bølgebrydere reducere eller helt eliminere transporten i den del af kystprofilen, der dækkes af konstruktionerne.

Erosion langs en eksponeret kyststrækning forårsages som oftest af variationer i langtransporten langs med kysten. Hvis langtransporten vokser i transportens retning vil en given kyststrækning modtage mindre sediment opstrøms fra end den mister nedstrøms. Dette underskud af sediment fører til, at sediment eroderes fra kystprofilen og kystlinjen vil derfor rykke landværts. Dette kaldes kronisk erosion, se Figur 12.8 og Figur 12.9.



Figur 12.8: Skitse der viser, hvordan stigende langtransport forårsager kronisk erosion. Langs-transporten vokser mod højre og derved fjernes sediment fra kystprofilen, hvilket medfører, at kystlinjen rykker tilbage



Figur 12.9 Kronisk erosion sker når langtransporten stiger i transportretningen. Der transporteres mere sediment ud af området end ind, hvilket betyder, at området er under erosion. Mørk blå område viser de aktive dele af profilet. Lysere blå områder forbliver upåvirket

Erosion forekommer således på kyststrækninger, hvor den kystparallelle sedimenttransport vokser langs kysten. Naturlige årsager til at transporten vokser

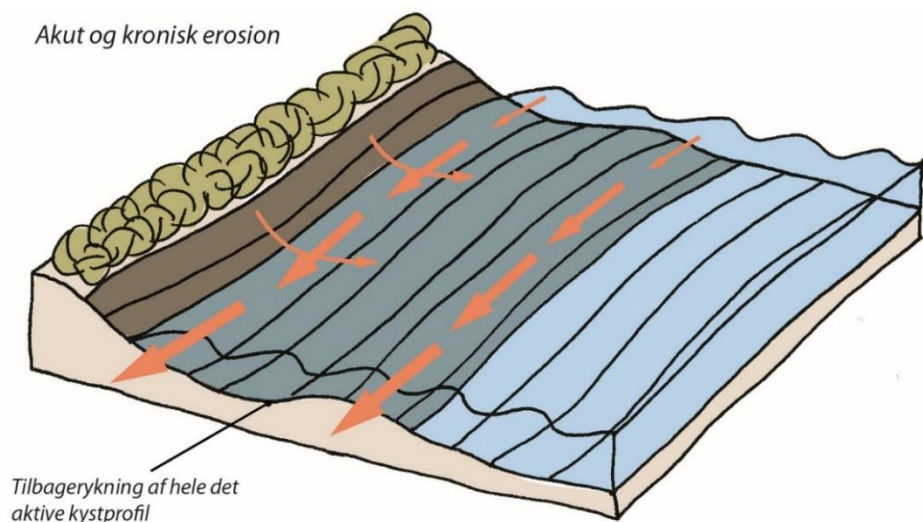
langs en kyststrækning er typisk variationer i bølgeførholdene eller i kystens orientering.

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

I Hjørring Kommune ledsages store bølger ofte af højvande, hvilket gør, at bølgerne i disse situationer når langt op på bagstranden. Herved medfører tværtransporten, at sediment fra bagstranden transporteres ud i kystprofilen, dvs. der opstår akut erosion. Da der ligeledes i disse situationer typisk er underskud af sand i langstransporten på kysten transporteres strandmaterialet videre ned langs kysten, og er således ikke til rådighed til igen at blive transporteret ind mod stranden i roligere perioder. Således bidrager akut erosion til, at der løbende fjernes sediment fra kysten, hvilket er en medvirkende årsag til kysterosionen, se Figur 12.10.

Overordnet forsvinder sandet på længere sigt helt fra projektområdet når det fanges ved Hirtshals Havn, hvor det traditionelt er blevet oprenset og efterfølgende klappet på dybt vand.

Ligeledes reduceres tilførslen af sand til kystzonen på de strækninger, som er beskyttet med kystbeskyttelseskonstruktioner, fordi sikringen af kysten forhindrer, at der frigives samme mængde sand ved erosion af den øverste del af kystprofilen.



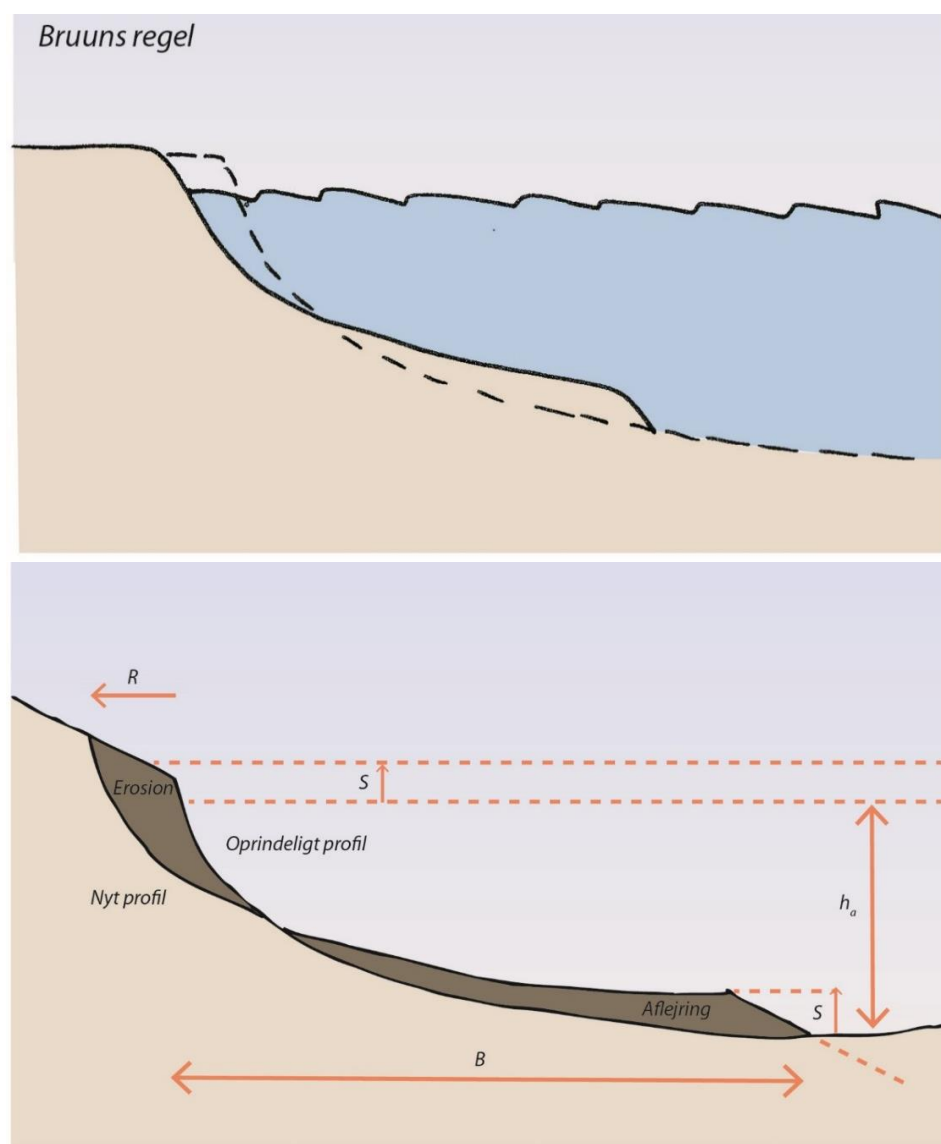
Figur 12.10: Sedimentbudget for den samlede virkning af akut og kronisk erosion. Mørk blå og brun områder viser de aktive dele af profilet. Lysere blå områder forbliver upåvirket.

12.1.4 Effekten af havniveaustigninger på kysten

Klimaændringerne forventes at medføre en gradvis stigning i havniveauet (middelvandstanden). Dette vil påvirke erosionspresset på kysten ved en forskydning af ligevægtsprofilen. Endvidere forekommer der landhævning.

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

På en kyst som under nuværende forhold har en stabil strand vil stigningen i havniveauet i middel forårsage en tilbagerykning af kysten som vist i Figur 12.11.

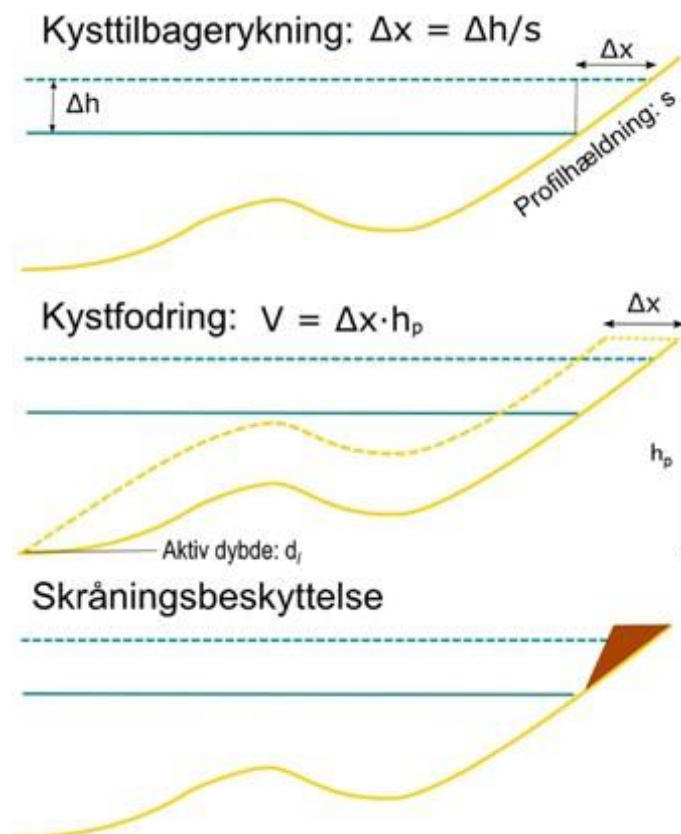


Figur 12.11: Bruuns regel for kysttilbagerykning.
Øverst: Bundmaterialet omfordeles, når vandet stiger.
Nederst: Definitioner af betegnelser for flytninger,
R: Tilbagerykning af kystlinje, S: Vandspejlsstigning,
B: Bredde af aktivt profil, h_a : Aktiv dybde

Bølgeforholdene vil forsøge at danne et nyt ligevægtsprofil, der svarer til det eksisterende, bortset fra at vandlinjen vil ligge højere og dermed længere ind mod land. Den resulterende kysttilbagerykning, Δx , kan estimeres ud fra hældningen, s , af det eksisterende kystprofil og havniveaustigningen, Δh , efter følgende sammenhæng:

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

Der er grundlæggende tre muligheder for at håndtere det øgede erosionspres, som skyldes en stigende vandstand. Figur 12.12 viser en illustration af disse muligheder.



Figur 12.12: Illustration af forskellige strategier til håndtering af den øgede erosionspres fra havniveaustigninger.

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

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

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

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

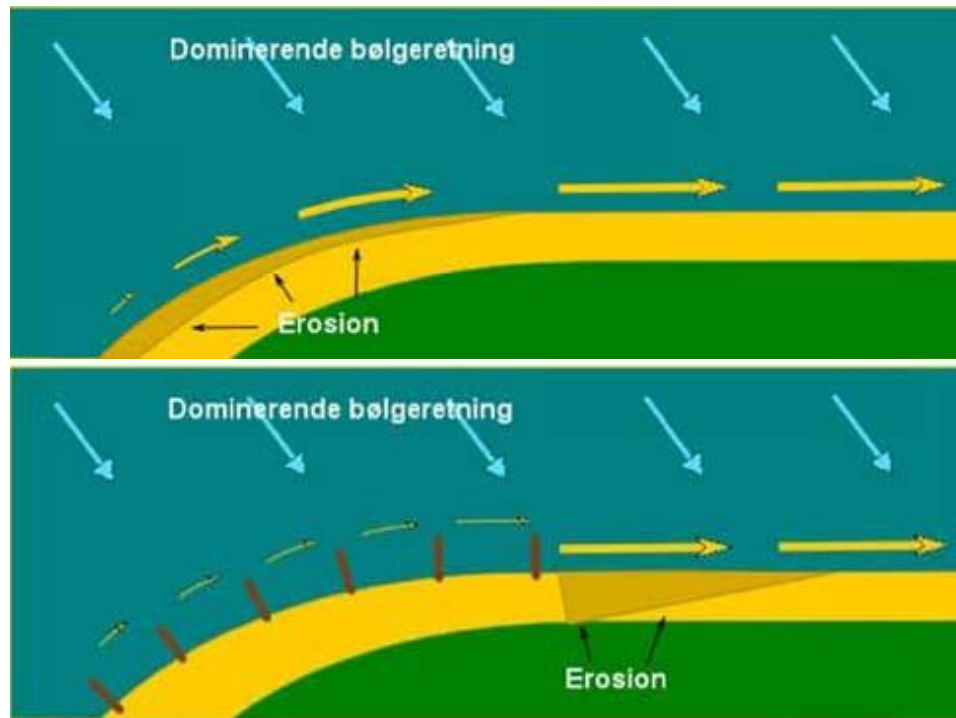
12.2 Hård Kystbeskyttelse

12.2.1 Sedimentbudget ved hård kystbeskyttelse

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

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

Dette ses flere steder langs kysten, hvor hård kystbeskyttelse måske bremser tilbagerykningen af kystlinjen langs den beskyttede strækning, men flytter erosionspreset ud på den ikke beskyttede del af kystprofilet samt til strækningen nedstrøms. Et eksempel på dette er vist i Figur 12.13, hvor den buede del af kyststrækningen er udsat for et naturligt erosionspres, da kystens orientering her ændrer sig og langstransporten derfor vokser. Den lige strækning er dog ikke udsat for erosion, da transporten her er konstant.



Figur 12.13: Eksempel på hvordan hård kystbeskyttelse kan flytte erosionspresset

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

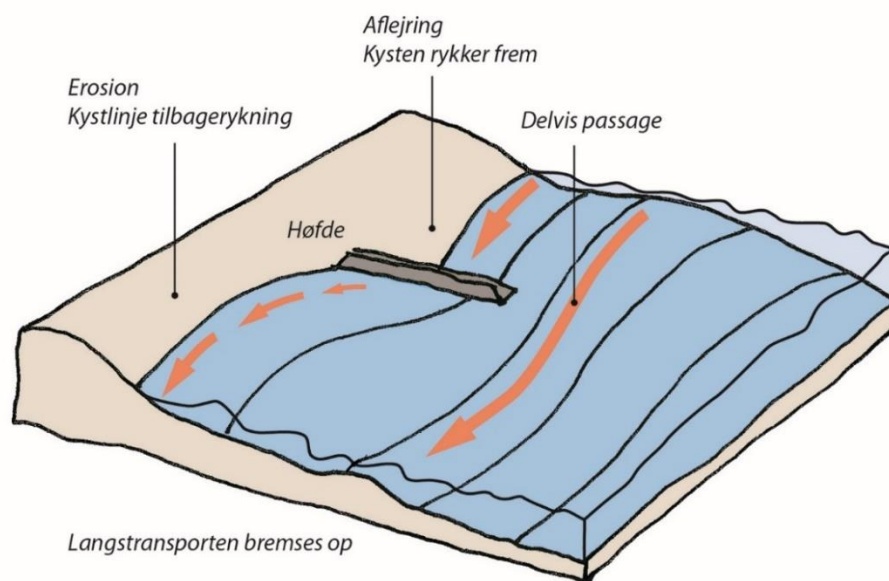
12.2.2 Høfder

Høfder er konstruktioner, som typisk udføres som en stenkastning opført fra bagstranden og vinkelret på kystlinjen ud til en vis afstand fra kysten, se Figur 12.14.

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

Det sand der fanges stabiliserer således kysten på en strækning opstrøms for konstruktionen, men dette er på bekostning af, at det samme sand og ral mangler på den nedstrøms side. En høfde flytter således erosionen nedstrøms, dette kaldes **læsideerosion**.

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



Figur 12.14: Langstransporten blokeres helt eller delvist af høfden. Sand og ral akkumuleres og kysten vokser ud tæt på høfdens opstrøms side. Langstransport skal bygges op igen til samme niveau som før høfden, hvilket giver erosion og kysttilbagerykning tæt på høfdens nedstrøms side

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

Høfder udføres ofte over længere strækninger med en vis afstand. Denne formation kaldes en høfdegruppe eller et høfdefelt.

Høfdernes længde udgør oftest kun en fraktion af bredden af den aktive zone.

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

Afstanden mellem høfderne vil afhænge af længden af høfden og af indfaldsvinklen for de fremherskende bølger. Afstanden kan typisk sættes til 2,5 gange længden af høfden.

En høfde vil typisk kun reducere erosionsraten på den beskyttede del idet erosionen jo fortsætter i kystprofilen søværts for høfdeenderne og erosionsraten nedstrøms for høfden bliver derfor øget.

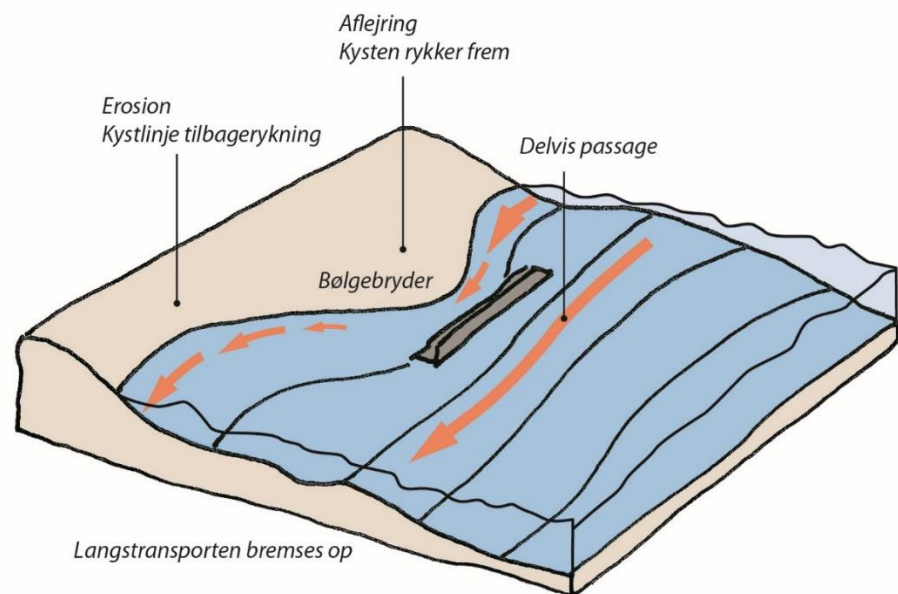
Høfder virker ikke imod akut erosion, og da erosionen ikke stoppes 100% vil kystprofilen efter et stykke tid begynde at rykke tilbage.

12.2.3 Bølgebrydere

Kystbeskyttelse kan udføres som en række af bølgebrydere, der ligger i en afstand fra stranden og er parallelle med kysten, se Figur 12.15.

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

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



Figur 12.15: Sandet samler sig bag en bølgebryder og skaber læsideerosion

Typisk vil bølgebrydere blive bygget i den indre del af den aktive zone. Længden af bølgebryderne er typisk lidt mindre end deres afstand fra kysten, og mellemrummet mellem dem svarer til omkring $1\frac{1}{2}$ gange længden. Højden er typiske omkring 80% af den dimensionsgivende vandstand, hvilket giver voldsom overskyl under kraftige storme.

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

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

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

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

ved bølgebryderen. Resultatet er en cirkulationsstrøm, som trækker sandet ind bag bølgebryderen. Dette medfører lokal akkumulation af sand bag ved bølgebryderen på bekostning af en tilsvarende erosion på begge sider af bølgebryderen.

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

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

I bølgebryderprojekter er det ofte et krav fra myndighederne, at der over årene skal kompenseres for læsideerosionen ved at fodre langs strækningen på læsiden af gruppen af bølgebrydere. Den mængde der skal fodres med, for at kompensere for bølgebrydernes læsideerosion, svarer til det sand som gruppen af bølgebrydere tilbageholder.

12.2.4 Rev og Flak

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

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

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

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

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

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



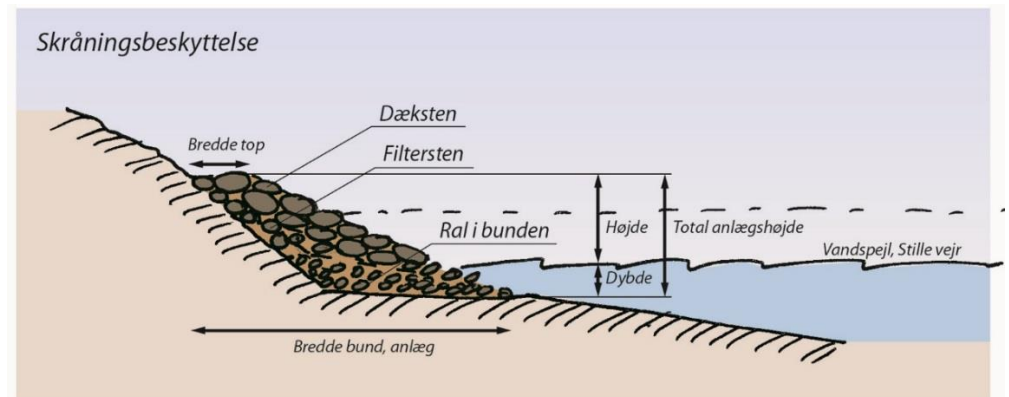
Figur 12.16: Naturligt stenrev på Nordkysten ved Stængehage (øverst) og den ødelagte bølgebryder i Rågeleje (nederst)

12.2.5 Skråningsbeskyttelse

En skråningsbeskyttelse er typisk opbygget af sten placeret langs kystlinjen på kyster under erosion, se Figur 12.17. Beskyttelsen anlægges typisk langs foden af en klint eller på forsiden af klitter og kan også etableres til beskyttelse af eksponerede diger.

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

Såfremt kysten er udsat for kronisk erosion, vil denne derfor fortsætte, hvilket resulterer i, at kystprofilet eroderes og stranden vil blive smallere. Til sidst vil stranden foran skråningsbeskyttelse blive eroderet helt væk.

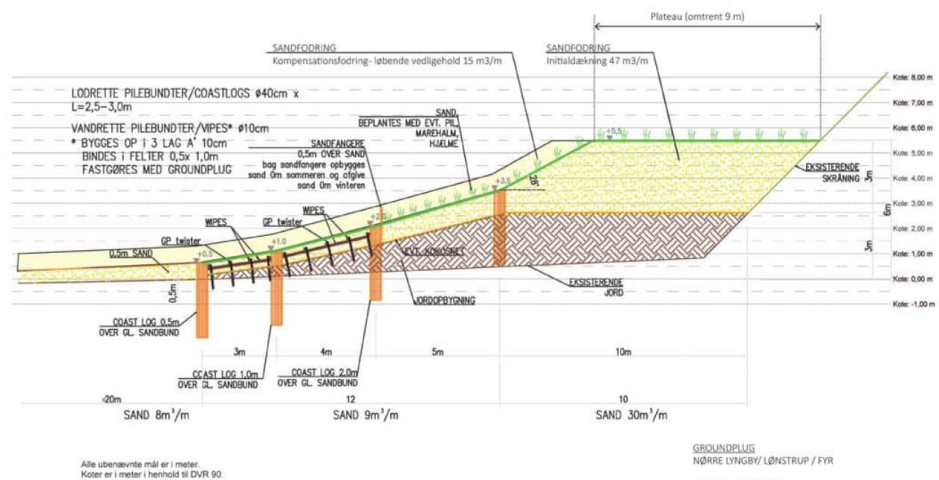


Figur 12.17: Snittegning af skråningsbeskyttelse med sten.

Derfor må foden af en skråningsbeskyttelse, hvis denne ikke er funderet i tilstrækkelig dybde, forstærkes for at holde funderingen intakt. Skråningsbeskyttelse alene er derfor ikke velegnet som beskyttelse mod kronisk erosion, dels fordi stranden forsvinder og dels fordi skråningsbeskyttelsen over tid bliver undermineret.

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

Der er også eksempler med skråningsbeskyttelser udført med neg af pilegrene (Ground Ploug). Negene af pilegrene graves ned i stranden i rækker og skaber derved en række lave terrasser, som skal hjælpe med til at beskytte skråningerne bagved, se Figur 12.18.



Figur 12.18: Snittegning af skråningsbeskyttelse med Ground Plug.

Holdbarheden af pilene er endnu ikke dokumenteret. Desuden er højden af anlægget typisk mindre end skråningsbeskyttelser af sten.

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

12.2.6 Vedligeholdelse af hård kystbeskyttelse

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

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

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

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

12.3 Kystfodring

12.3.1 Sedimentbudget ved kystfodring

Beskyttelse af kysten og baglandet kan udføres ved at tilføre sand og ral som kompensation for den mængde, der er eroderet bort. Fodring med sand og ral er den eneste kystbeskyttelsesmetode, der kan tilføre kysten det sediment, som mangler i sedimentbudgettet. Fodring er således nødvendig for at standse det pågående tab af sand og ral, som har ført til den nuværende situation med tab af strand og stadig større eksponering af eksisterende hårde kystbeskyttelse og skråningerne bagved.

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

Fodring bør foretages over længere strækninger for at sikre en effektiv beskyttelse samt for at minimere den relative størrelse af tabet til tilstødende strækninger ved

enderne af fodringen. Ved korte fodringsstrækninger tabes en stor del af det fodrede sand og ral til nabostrækningerne, hvorved man vil opleve at sandet "forsvinder" meget hurtigt fra den fodrede strækning.

Fodringer kan udføres ud fra følgende hovedprincipper:

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

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

12.3.2 Sandfodring

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

I overordnede træk virker sandfodring ved at tilføre kysten det sand, som normalt eroderes over længere perioder. Det betyder, at sandfodring virker ind på den kroniske erosion, se Figur 12.19.

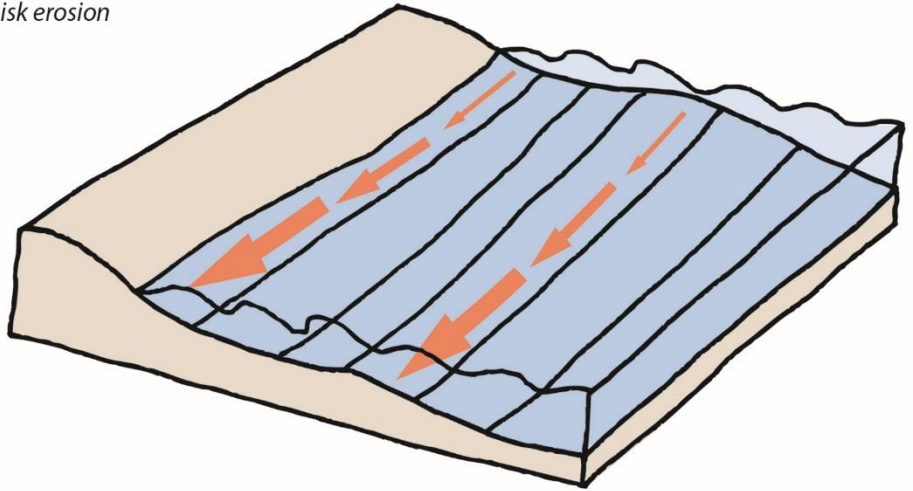
Sandfodring kan i princippet også udføres så den virker mod akut erosion. Dette forudsætter dog, at der tilføres tilstrækkeligt med sand, der kan fungere som en buffer for den akutte erosion. Hvorvidt dette kan garanteres kan kun afgøres i den enkelte sag.

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

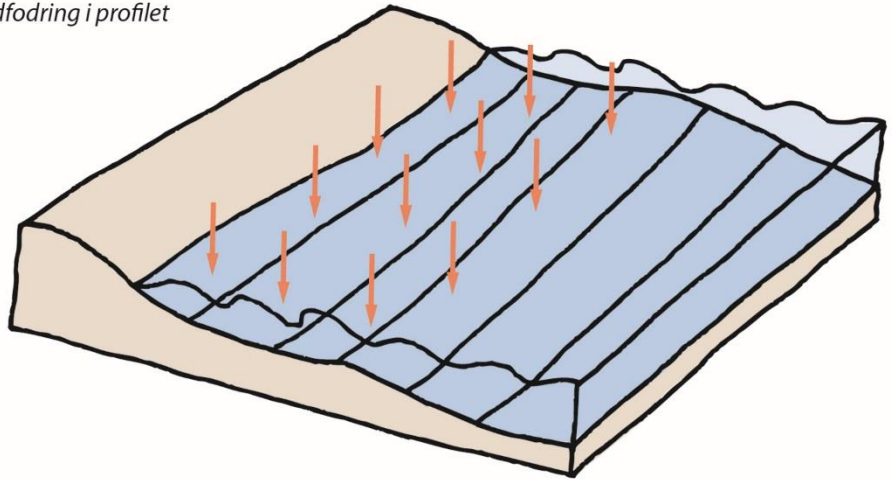
Sandfodring fjerner ikke årsagen til, at en kyst eroderer, men sandfodring kompenserer for underskuddet af sand på en naturlig måde. Sandfodring er den optimale løsningsmetode for at bevare sandstrandene og disses energidæmpende effekt i forbindelse med den globale havvandspejlsstigning.

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

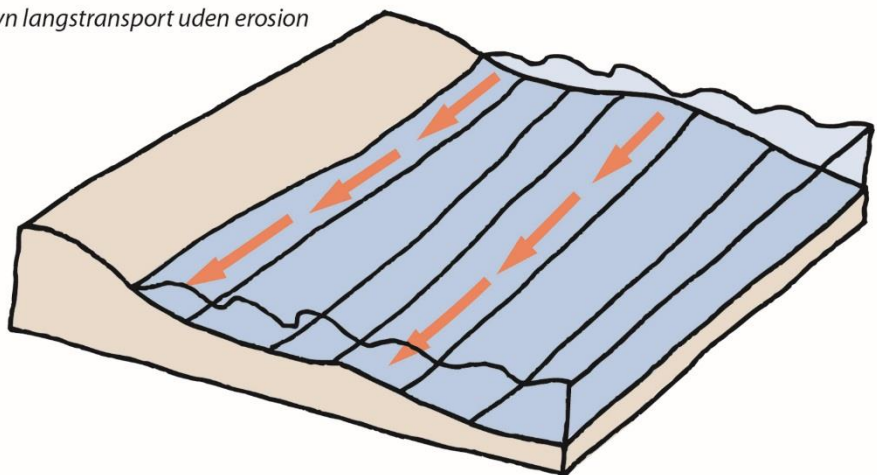
Kronisk erosion



Sandfodring i profilet



Jævn langtransport uden erosion



Figur 12.19: Ved at tilføre sand i profilet (tegning i midten) som den langsgående transport tager væk (tegning øverst) vil kysten komme til at "ligne" en kyst i ligevægt, dvs. en kyst med en langsgående transport, der ikke varierer langs kysten (tegning nederst).

Langstransporten vil løbende transportere det fodrede sand ud af den fodrede strækning grundet gradienten i langstransporten. Hertil kommer den akutte erosion og erosion som følge af havspejlsstigningerne.

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

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

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

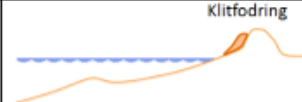
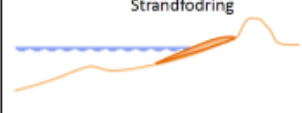
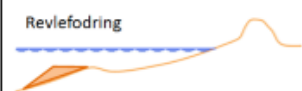

Det forhold skal man gøre sig klart, når der diskuteres strandfodring på en kyststrækning, som gennem mange år har været beskyttet med hård beskyttelse. For at opnå den ønskede styrkelse af den eksisterende kystbeskyttelse, via retablering af kystprofilen og en bredere strand, skal der derfor indledningsvist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

12.3.3 Sandfodringsmetoder

Ved større sandfodringer vil sandet blive indvundet til søs med et sandsugningsfartøj og sejlet til den aktuelle kyststrækning. Sandet kan også stamme fra andre steder på kysten, hvor der naturligt akkumuleres sand, som for eksempel umiddelbart sydvest for Hirtshals Havn. Oprensat sand fra sejlløb kan også nyttiggøres til sandfodring. Mindre mængder marint sand kan evt. indvindes på land og transporteres med entreprenørmateriel.

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

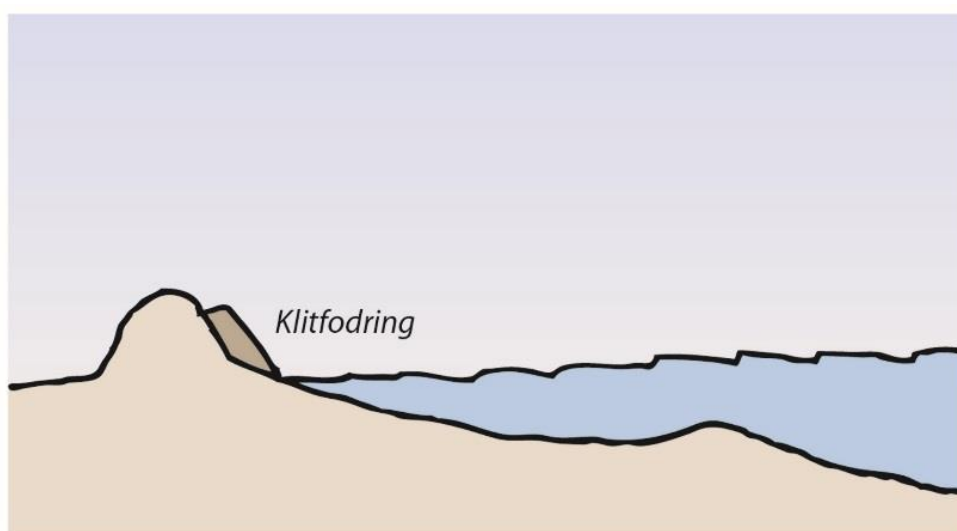
Der findes i princippet 4 forskellige måder at placere sandet i kystprofilen som illustreret i Figur 12.20.

Metode	Illustration af fodring	Fodringsmetode	Virkning på kysten
Klitfodring		Fra land	Især imod oversvømmelse
Strandfodring		Fra land eller Over boven eller Strandlejning fra havn el. Havledning	Moderat strandforbedring og styrkelse af kystbeskyttelse
Revlefodring		Split	Profilopbygning men ikke strandforbedring
Profilfodring		Fra land og Over boven og Split	Strandforbedring, profilforstærkning og styrkelse af kystbeskyttelse

Figur 12.20: Illustration af tekniske forhold i forbindelse med fordeling af fodring i kystprofilen.

12.3.3.1 Fodring af bagstranden

En fodring på bagstranden forstærker den øvre del af stranden for eksempel langs klitfoden eller foran en skråningsbeskyttelse, se Figur 12.21. Sandet udgør en buffer og vil reducere erosion af en skråntfod eller gennembrud eller svigt af en beskyttelse mod oversvømmelse; men sandet vil helt eller delvist blive bortroderet ved akut erosion under en ekstrem hændelse. Sandet udgør ikke en del af det naturlige strandprofil, og der vil eroderes betydelige mængder med dannelse af en erosionskrænt.



Figur 12.21 Principskitse for klitfodring

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

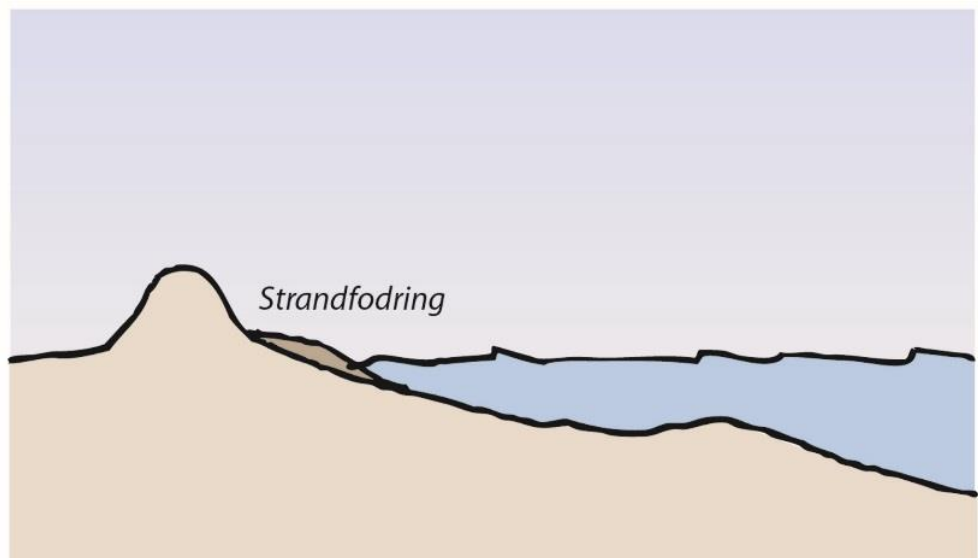
være nødvendigt at anvende en bulldozer eller gummiged til at få sandet op i det ønskede profil.

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

12.3.3.2 Strandfodring

Tilførsel af sand til strandprofilet modvirker erosion og vil også gøre stranden bredere, se Figur 12.22. Profilet er tæt på det naturlige og erosionen vil forgå som på en naturlig strand. Sandet kan pumpes ind fra en sandsuger gennem rør til og langs med stranden, hvor det fordeles med entreprenørmateriel. Mindre fodringer kan gennemføres med landbaseret entreprenørmateriel.

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

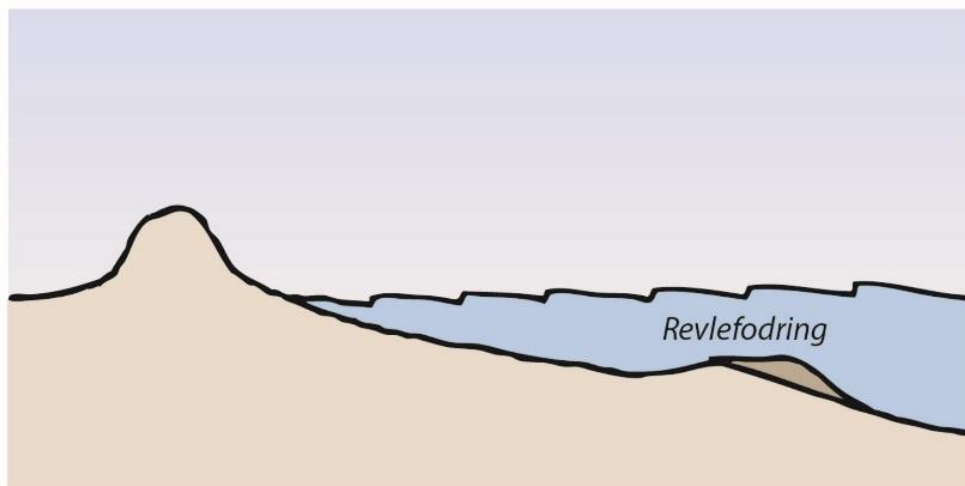


Figur 12.22 Principskitse for strandfodring

12.3.3.3 Revlefodring

Revlefodring er en metode, som har vundet øget udbredelse fordi den er billigere per tilført kubikmeter sand. Sandet lægges ude i kystprofilet enten på en eksisterende revle eller ved, at der opbygges en ny revle, se Figur 12.23. Sandet kan klappes direkte ved at sandsugeren åbner lemme i bunden eller splitter på langs (splitbarges) eller sandsugere sejler tættere på kysten og pumper sandet ud i en stråle (Rainbowing).

Revlefodring modvirker forstøjning af profilet på grund af erosion, som det sker ud for beskyttelse med høfder og bølgebrydere; men da strandens bredde ikke umiddelbart øges er denne metode ikke direkte effektiv mod akut erosion. Revlefodring kan udføres i kombination med strandfodring for at styrke hele profilet.



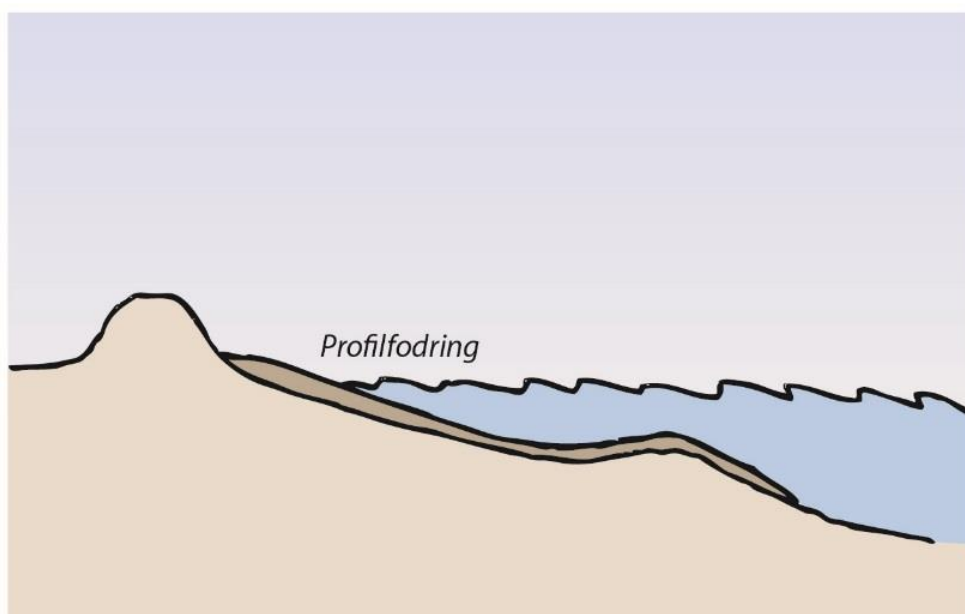
Figur 12.23 Principskitse for revlefodring

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

12.3.3.4 Profilfodring

Profilfodring er en kombination af strandfodring og revlefodring, hvor hele kystprofilet opbygges på en gang, se Figur 12.24.

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



Figur 12.24 Principskitse for profilfodring

12.3.3.5 Sandmængder

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

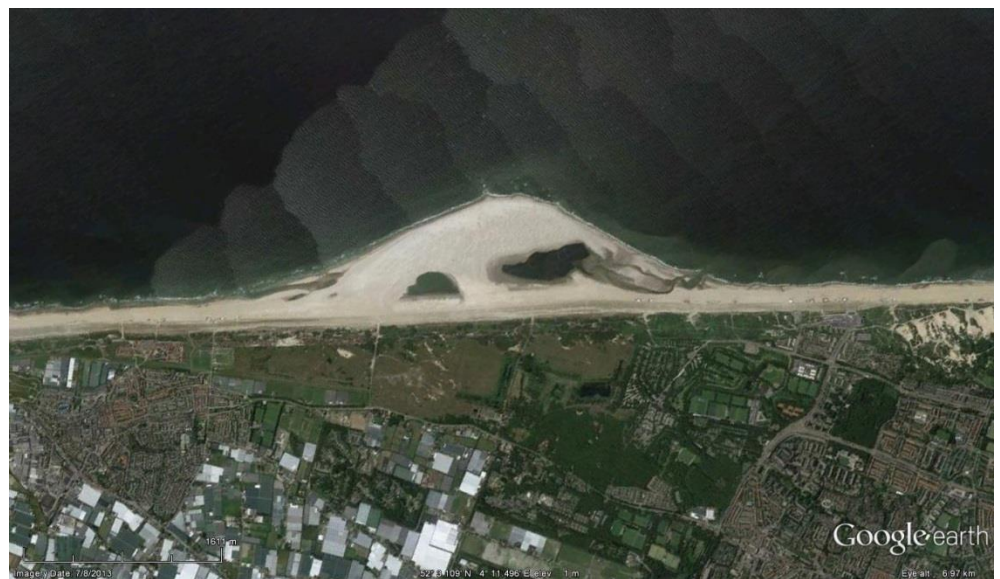
Sandfodring kan bruges enten som en selvstændig metode til at modvirke erosion på ubeskyttede strækninger eller som supplement til eksisterende kystbeskyttelse. Dette sker ved at modvirke de negative erosionseffekter som hårde konstruktioner påfører kysten, dels på den beskyttede strækning og dels på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

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

12.3.3.6 Depotfodringer

Ved en depotfodring placeres der en større mængde sand på kysten på en kortere strækning, svarende til adskillige års langstransport, se Figur 12.25. Sandet skal så fordeles langs kysten ved den naturlige transport, der gradvis vil udjævne sanddepotet og føre sandet i transportretningen.

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



Figur 12.25: Sandmotor i Holland to år efter fodring, foto fra Google Earth.

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

12.3.3.7 Ralfodring

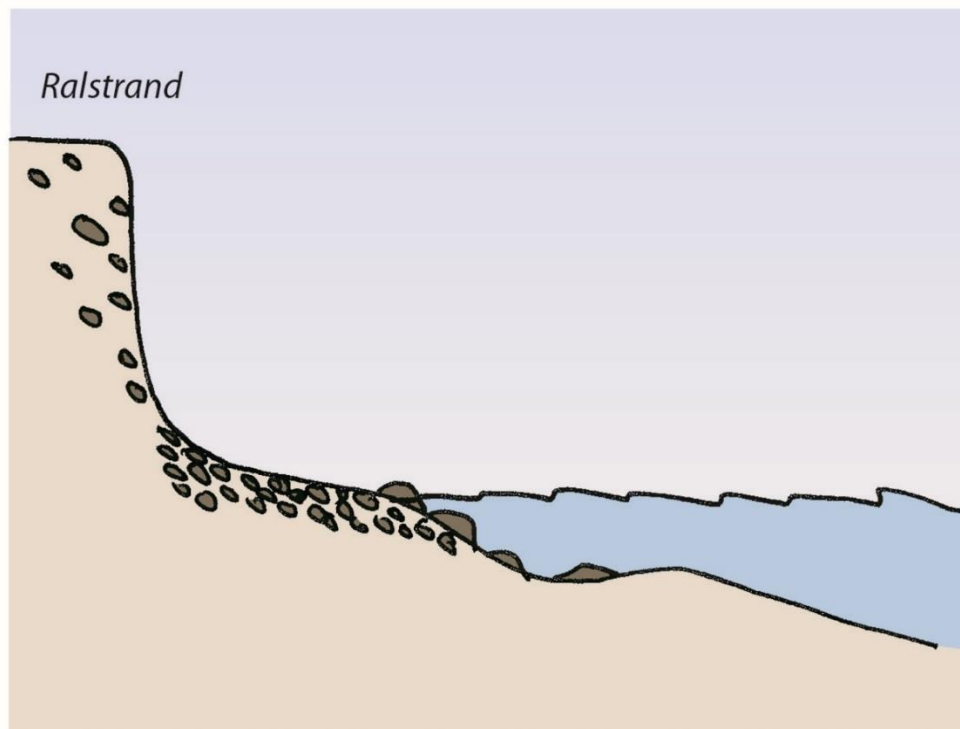
Ralfodring består i at tilføre ral til den øvre del af strandprofilet som beskyttelse imod erosion af en kystklint, se Figur 12.26. Denne type kystbeskyttelse kan opfattes som en blød skråningsbeskyttelse, der virker mere naturlig end en egentlig fast skråningsbeskyttelse.

Sten og ral forekommer naturligt på erosionskyster, hvor geologien består af moræne eller kridt, se Figur 12.27.

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

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

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



Figur 12.26: Ralstrandvold ved erosionskyst med moræneklinter



Figur 12.27: Heatherhill syd for Rågeleje med bred rullestensstrandvold, hvor der kun er begrænset erosion af skrænten

12.3.4 Fodringens udvikling med tiden

12.3.4.1 Jævnt fordelt fodring

Fodring med sand og ral eliminerer ikke årsagen til erosionsproblemerne.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12.3.4.2 Depotfodringer

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

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

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

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

Tekniske karakteristika, miljømæssige forhold og anbefaling for depotfodring:

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

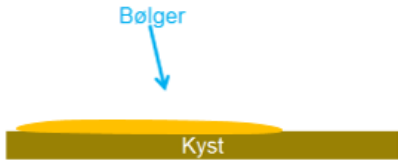
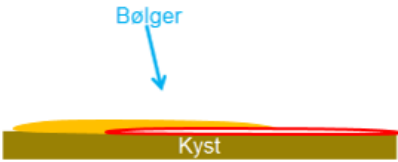
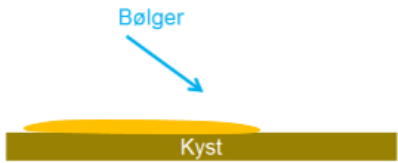

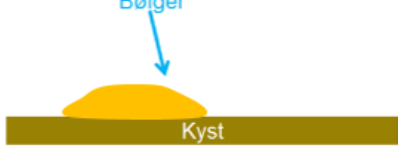
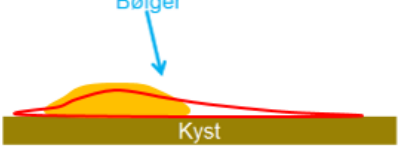

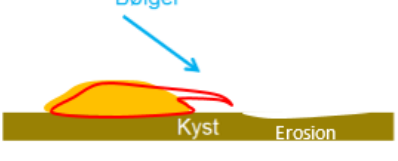
12.3.4.3 Valg af fodringslokaltet i relation til virkning på kysten og baglandets udnyttelse

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

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

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

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

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

Figur 12.28: Afhængighed af bølgeindfaldsvinkel for udviklingsforløb for jævn fodring og for depotfodring.

13 Bilag B Eksempler på helhedsorienteret kystbeskyttelse

13.1 Strandfodring og optimering af kystbeskyttelsen på Nordfyn

På Nordfyn har Det Nordfynske Kystbeskyttelses-, Dige og Pumpelag siden 1999 gennemført stor-skala strandfodring langs en 13 km lang strækning, (Helledie, 2011). Projektet har været en stor succes og indeholder udover strandfodring også forstærkede skråningsbeskyttelser og nye bølgebrydere på udsatte lokaliteter.



Figur 13.1: Før (1992 øverst) og efter (2012 nederst) fotos af nordlige del af den ca. 13 km lange strandfodrede kyststrækning, mellem Egebjerggård og Erikshåb på Nordfyn

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

Der blev udarbejdet en overordnet kystgenopretningsplan for strækningen på Nordfyn, som primært er baseret på sandfodring for at genetablere sandstrandene langs sommerhusene og derved forøge den rekreative værdi af kysten og samtidig øge beskyttelsen af diger og baglandet.

Efterfølgende er der foretaget projektering, udbud og tilsyn af den initiale sandfodring på 113.000 m³ i 1999, samt de løbende vedligeholdelsesfodringer på ca. 70.000 m³, der er blevet foretaget med 2-4 års mellemrum.

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

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



Figur 13.2: Strækning med nye bølgebrydere og skråningsbeskyttelse samt vedligeholdelsesstrandfodring ved Tørresø, Nordfyn

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

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

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

før strandfodring i 1999



23. Maj 2012



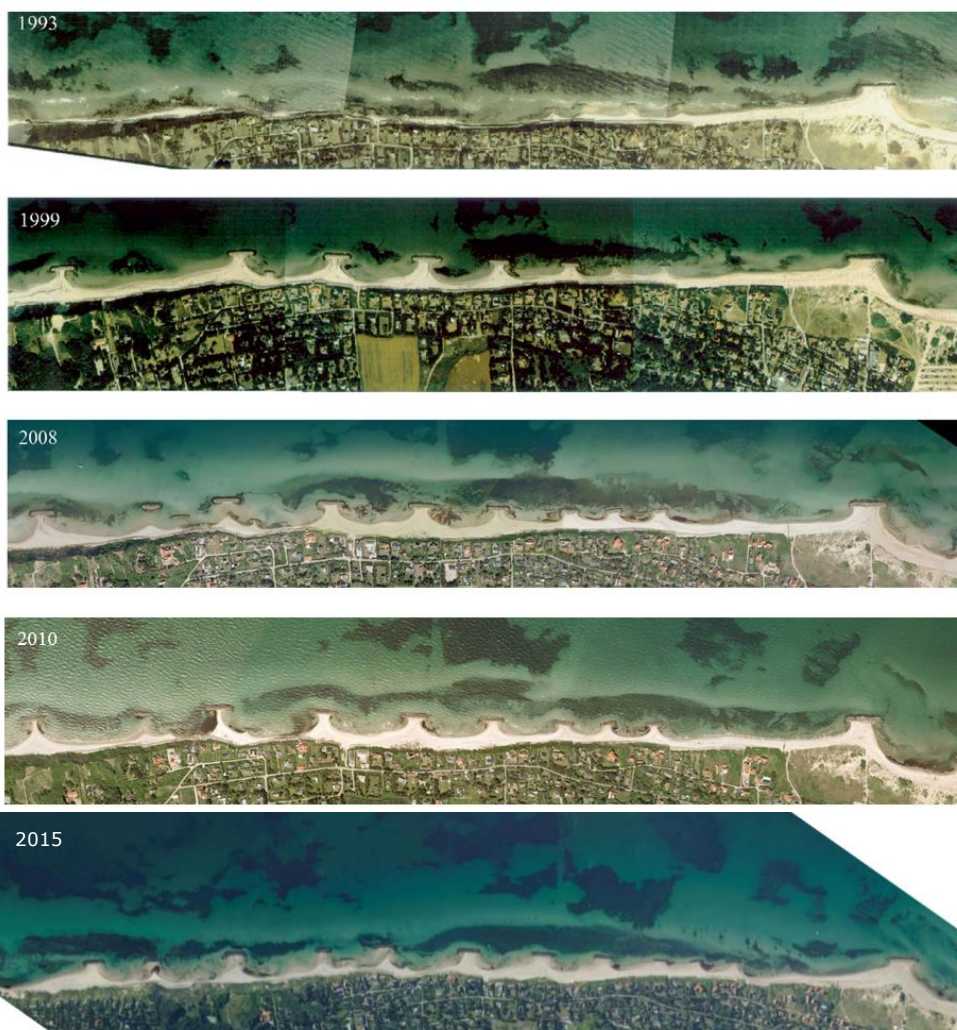
25 jan. 2014



Figur 13.3: Effekt af løbende strandfodring på Nordfyn. 1999 før fodring, maj 2012 før stormen Bodil, januar 2014 efter stormen Bodil

13.2 Kystbeskyttelse, Hyllingebjerg til Liseleje

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



Figur 13.4: Kystudvikling mellem Hyllingebjerg og Liseleje efter initial strandfodring, oprydning af gammel og nedslidt kystbeskyttelse, genetablering af skråningsbeskyttelse samt anlæggelse af bølgebrydere

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

Der blev udarbejdet kysttekniske undersøgelser for området og udviklet en helhedsplan og projekt for en ny og tidssvarende kystbeskyttelse, (Helledie, 2011).

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

Det endelige kystbeskyttelsesprojekt indeholder fjernelse af alle gamle konstruktioner på stranden samt genetablering af skråningsbeskyttelsen langs kysten. Desuden indeholder projektet 9 store bølgebrydere med en individuel længde på 50 til 70 m. Stranden er blevet genetableret med omfattende strandfodring på omkring 70.000 m³.

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

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

Der er dog ikke blevet foretaget de anbefalede vedligeholdelsesstrandfodringer.

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



Figur 13.5: Bred og beskyttende strand mellem Liseleje og Hyllingebjerg, som resultat af omfattende strandfodring på strækningen

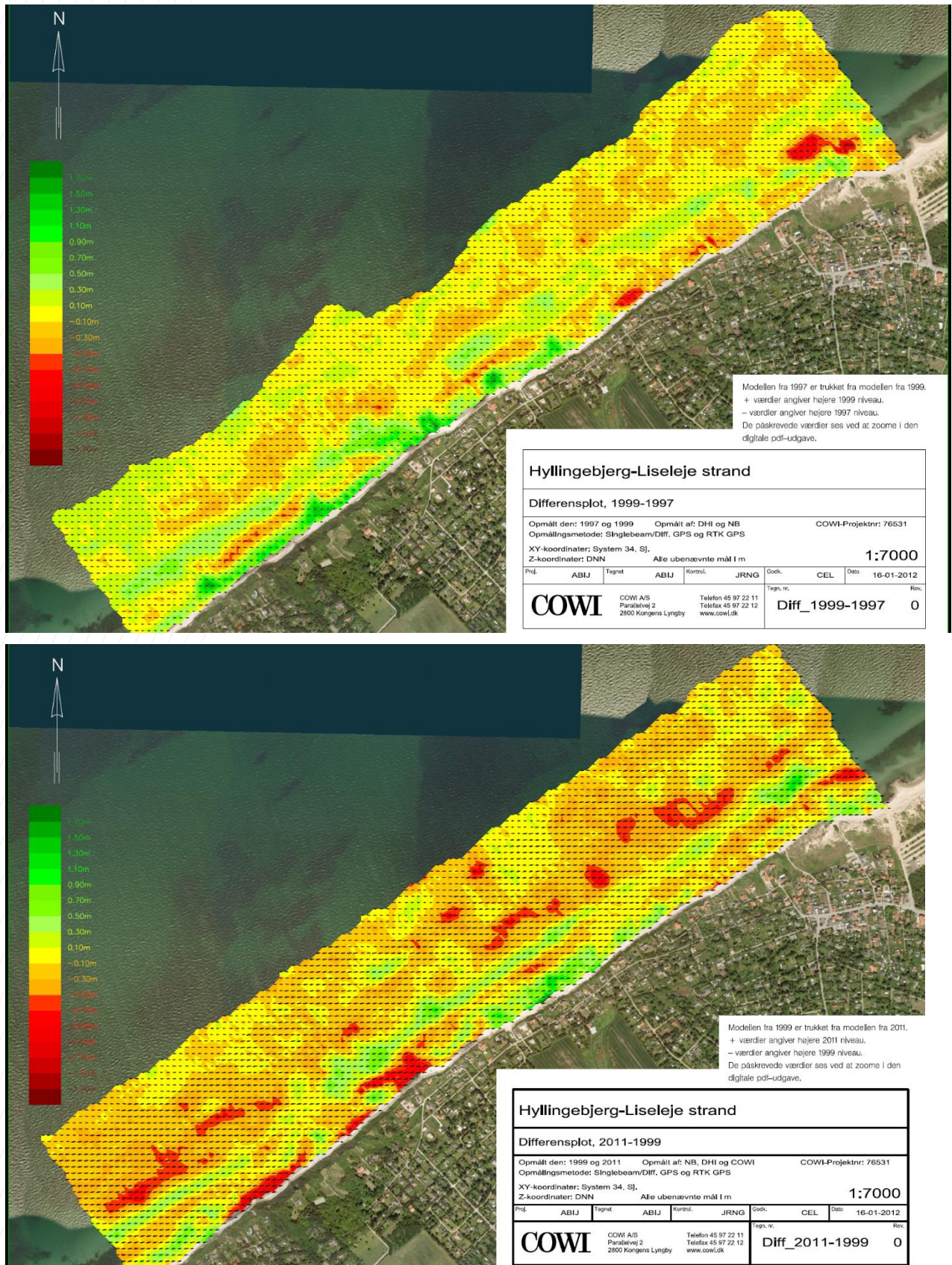
Figur 13.6 viser differenceplot af kysten ved Liseleje for perioden 1997 til 1999 før strandfodringen og 1999 til 2011 efter strandfodringen.

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

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

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

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



Figur 13.6: Differenceplot for historiske opmålinger af bathymetri og topografi ved Liseleje

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

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

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

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

13.3 Sandfodring – Negombo, Sri Lanka

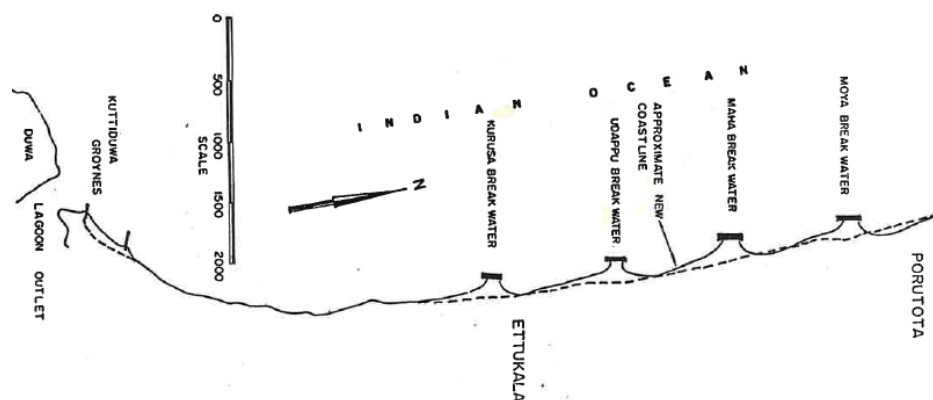
I 1984-86 blev projektet, 'Sri Lanka Coast Erosion Master Plan' udført. I den forbindelse blev flere projekter af høj national prioritet udvalgt til gennemførelse ved udenlandsk finansiering.

Negombo projektet er beliggende mellem Negombo Lagoon outlet og flodudløbet Maha Oya og strækker sig over 7 km kyst. Projektet fik første prioritet idet erosionen havde været 2-3 m om året i de sidste 25 år. Dette udgjorde en trussel for fiskeriet, turistindustrien og bebyggelsen i øvrigt. Langtransporten på kyststrækningen er af størrelsesorden 30.000 – 50.000 m³/år.

Udover den relativt store kroniske erosion giver tværtransporten i monsunperioden anledning til akut erosion på 6 – 10 m (40 – 60 m³/m), hvilket dog er en reversibel proces.

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

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



Figur 13.7: Layout af Negombo projekt

Projektet omfatter 4 større bølgebrydere anlagt på 2,5 til 3 m vanddybde og indpumpning af 400.000 m³ sand til strandfodring svarende til 60 m³/m kystlinje.

Sandet blev indvundet ud for kysten på 11 m vanddybde ved slæbesugning med et sandsugerfartøj, der kunne rumme 4.200 m³. Sandet blev herefter sejlet til en bølge på 7,5 meter vanddybde, hvorfra sandet blev pumpet via en 1,8 km lang neddykket rørledning ind på standen.

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

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

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

I monsunperioden yder det udførte projekt en beskyttelse, der er tilfredsstillende for brugerne af området. Princippet for projektet er senere kopieret på strækninger på Sri Lankas sydvest kyst samt på en 15 km lang kyststrækning nord for Maha Oya flodens udløb.



Figur 13.8: Flyfoto af sandfodringsstrækningen med bølgebrydere i perioden 2001 – 2015. Øverst 2001 (inter-monsoon periode), næst øverst 2005 (slutning af monsoon periode), tredje øverst 2010 (inter-monsoon periode) og nederst 2015

13.4 Betydning af længde af strandfodringer

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

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

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

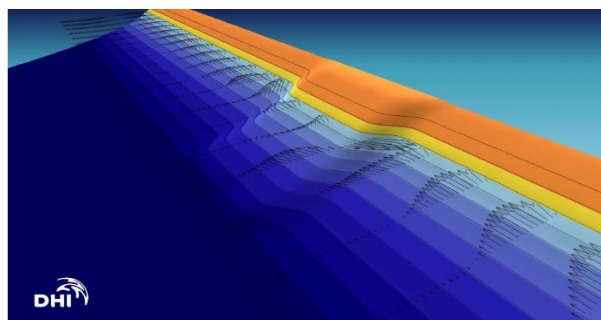
Der har for Kystdirektoratet været foretaget vurderinger af, hvordan fodringer af forskellig længde udvikler sig med tiden. To profilfodringer er undersøgt på en kyst med 5 m aktiv profilhøjde og med 50 m fremrykning af strandlinjen:

3. 300 m lang profilfodring, samlet fodring 75.000 m³
4. 3.000 m lang profilfodring, samlet fodring 750.000 m³

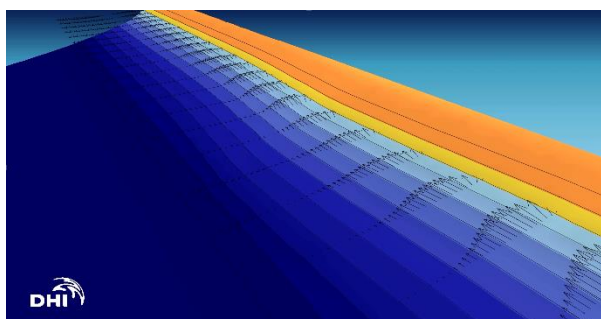
Kystudviklingen i et år er simuleret med en 2D morfologisk model for et bølgeklima med $H_s = 1,0$ m og en indfaldsvinkel på 10° . Fodringssandet havde en middelnørrelse på 0,2 mm.

Resultater fra simuleringer er præsenteret i Figur 13.9, hvor man ser øjeblikbilleder fra simuleringerne af den 300 m lange profilfodring.

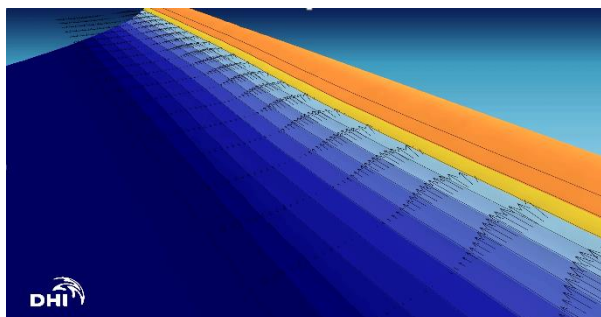
Start



Efter ½ år



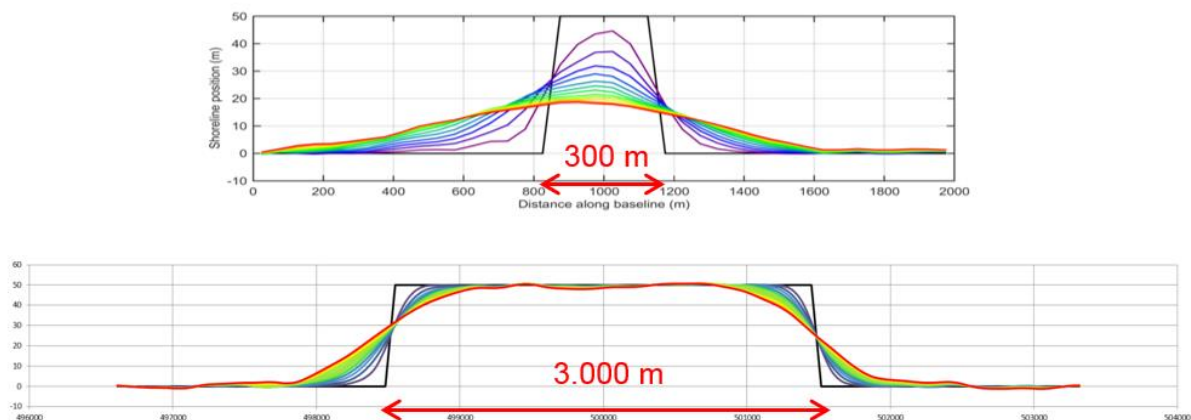
Efter 1 år



Figur 13.9: 2D simulering af 300 m lang profilfodring udsat for bølger med $H_s = 1,0$ m og 10° indfaldsvinkel.

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

Figur 13.10 viser strandlinjens udvikling hver måned over et år for de to fodringer.

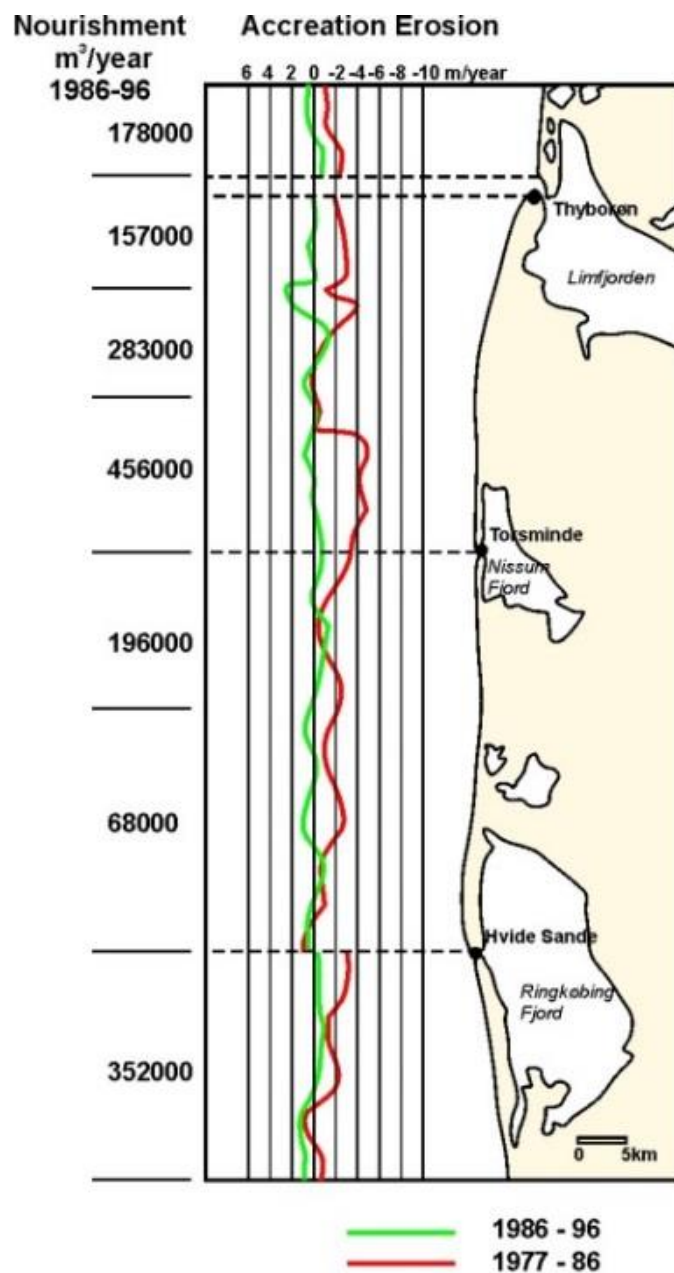


Figur 13.10: Resultat af strandlinjeudvikling for 300 m og 3.000 m lang profilfodring udsat for skråt indfaldende bølge i et år ($\alpha = 10^\circ$ og $H_s = 1$ m).

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

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

Kystdirektoratet har siden midten af 80-erne beskyttet Vestkysten ved at foretage omfattende sandfodring over lange strækninger. Fodringsmængden er steget med tiden og der fodres nu årligt ca. 3 mio. m^3 sand langs den ca. 110 km lange strækning mellem Agger i nord og Nymindegab i syd. Dvs. af der gennemsnitligt fodres med ca. $30 m^3/m^2/år$. Virkningen af denne indsats for perioden 1986 til 1996 fremgår af Figur 13.11.



Figur 13.11: Erosion og aflejring langs kysten fra Agger til Nymindegab for perioden 1977 - 86, hvor der ikke blev foretaget sandfodring og for perioden 1986 - 96, hvor der årligt blev fodret med ca. 1,7 Mio. m³ per år

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

Kystfodringsindsatsen langs Vestkysten i 2015 er præsenteret i Figur 13.12. I alt blev det således planlagt af kystfodre med 2.555.000 m³ langs Vestkysten i 2015. Det bemærkes, at der "bypasses" 85.000 m³ ved Thorsminde og 190.000 m³ ved

Hvide Sande, dvs. i alt 275.000 m³ ud af i alt 2.555.000 m³ kommer fra bypass ved havnene.



Figur 13.12: Planlagt kystfodring Vestkysten i 2015, fra <http://kysterne.kyst.dk/kystfodringen-langs-den-jyske-vestkyst-2015.html>

14 Bilag C Historisk kystudvikling

15 Bilag D Fremskrivning af historisk kystudvikling uden havspejlsstigning

16 Bilag E Kystplan

17 Bilag F Natura 2000