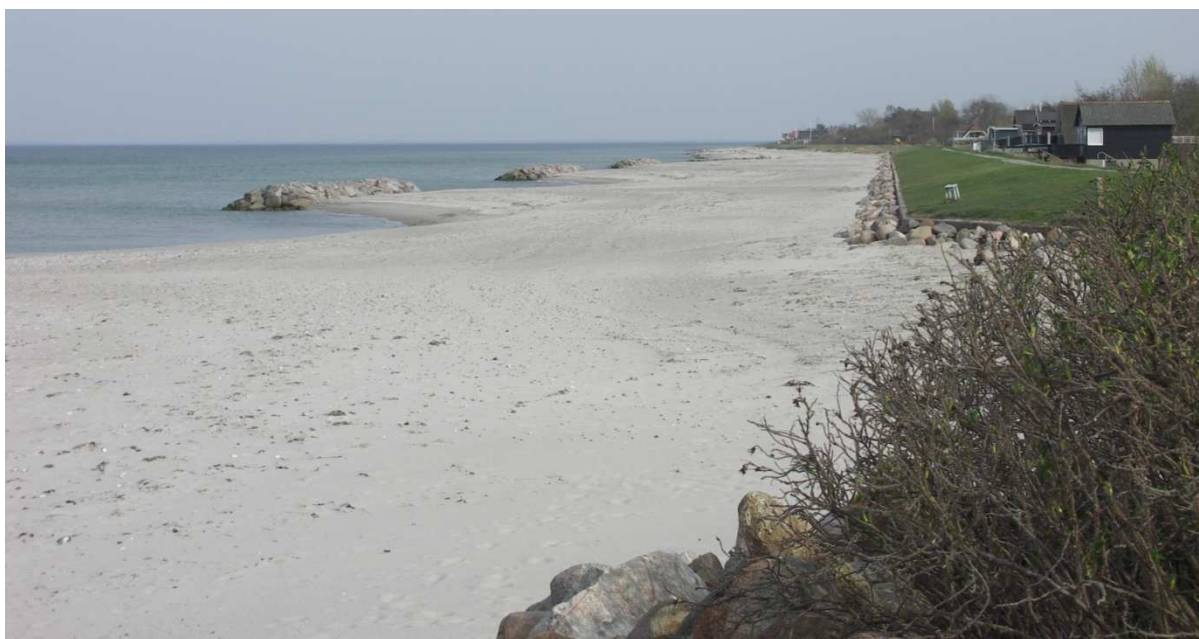


Kystdirektoratet

Evaluering af sandfodring på Nordfyn

Statusrapport

Januar 2011



COWI

Kystdirektoratet

Evaluering af sandfodring på Nordfyn

Statusrapport

Januar 2011

Dokument nr. P-73329-PR-01
Revision nr. 1
Udgivelsesdato 19. januar 2011

Udarbejdet CEL
Kontrolleret OJJ
Godkendt CEL

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	2
2	Kystteknisk undersøgelse 1998	4
3	Strandfodring på Nordfyn	8
4	Kystteknisk gennemgang	10
5	Anlægsomkostninger	54
6	Kystteknisk evaluering og sammenfatning	57
6.1	Anlægsarbejder	57
6.2	Historisk kystudvikling	57
6.3	Storme	61
6.4	Kystfremspring	61
6.5	Sandfodringer	62
6.6	Konstruktioner	62
6.7	Anlægsomkostninger	63
7	Referencer	65
8	Appendiks 1 - Tegninger	66

1 Introduktion

Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag står for kystbeskyttelsen på Nordfyn på den 12 km lange strækning fra Egebjerggård til Erikshåb.

I 1999 blev den første sandfodring på Nordfyn udført. Sandfodringsprojektet startede i 1998 med udarbejdelsen af en kystteknisk vurdering af strækningen og forslag til fremtidig plan for kystbeskyttelse. COWI var rådgiver for dette arbejde. Planen omfattede først og fremmest sandfodring i stedet for bygning af faste anlæg, som havde været benyttet indtil 1999. Senere har man valgt at supplere med enkelte faste anlæg i form af bølgebrydere, hvor COWI også har været rådgiver. Udover sandfodringsprojekter er foretaget omfattende re-etablering af skråningsbeskyttelser efter stormen i 2006.

Kystdirektoratet (KDI) har indgået aftale med COWI om at udarbejde en evalueringsrapport for sandfodringerne på Nordfyn til brug for udvikling af fodringsdesign i forskningsprojektet COADAPT. Projektets formål er at beskrive udvikling og effekt af storskala sandfodring i de indre danske farvande og ved hjælp af den indsamlede erfaring kunne danne basis for fremtidig vurdering af tilsvarende projekter på andre lokaliteter i indre danske farvande.

Evalueringsrapporten beskriver først projektet fra 1998 og forudsætningerne, og derefter, hvor og hvornår der er strandfodret på Nordfyn. Desuden gennemgås, hvilke nye kystbeskyttelseskonstruktioner, der er blevet anlagt for at stabilisere sandstranden. Skråningsbeskyttelser og mindre omlægninger af høfder og bølgebrydere er ikke indeholdt i evalueringen.

Der er blevet foretaget en kystmorfologisk GIS-analyse af en række historiske og nye luftfoto af kysten på Nordfyn for at dokumentere kystudviklingen og herunder effekten af sandfodringerne. Luftfotoene er stillet til rådighed af COWI udelukkende til nærvarende studie.

COWI har udført en række visuelle inspektioner af kyststrækningen fra Egebjerggård til Erikshåb gennem de sidste godt 10 år og herunder 1999, 2000, 2001, 2003, 2004, 2006 og 2008. Som del af projektet blev kysten mellem Egebjerggård og Erikshåb inspiceret igen den 29. april 2010 af kystingeniør/kystgeograf Christian Helledie. Billederne fra inspektionen er sammenlignet med fotos fra tidligere inspektioner for at dokumentere sandfodringens virkning.

Vandstanden varierer på de forskellige billeder fra inspektionerne, men også på de analyserede luftfotos. Det bevirker, at der er nogen usikkerhed forbundet med at sammenligne bredden af stranden ud fra billeder og flyfotos.

På baggrund af de kysttekniske analyser og fotos er der udarbejdet en evaluering af, hvorledes henfaldet af sandfodringerne er foregået og hvor sedimentet bevæger sig hen.

Rapporten indeholder desuden en kort analyse af anlægsøkonomien på et overordnet plan baseret på data udleveret af det Nordfynske Kystsikrings, dige og pumpelag.

Rapporten afsluttes med en opsummering af de vigtigste konklusioner, der kan udledes af projektet til dato.

2 Kystteknisk undersøgelse 1998

Baggrunden for COWIs udarbejdelse af den kysttekniske undersøgelse for kyststrækningen mellem Skovmose og Erikshåb i 1998 var:

- 1 Kysttilbagerykning langs dele af projektstrækningen
- 2 Mange af de faste kystsikringsanlæg var beskadiget
- 3 Bekymring for bølgeoverskyl af diger og oversvømmelse bagved og herunder digebrud.

Den kysttekniske undersøgelse sigtede mod at opstille en langsigtet handlingsplan for tiltag til forbedring af situationen på projektstrækningen.

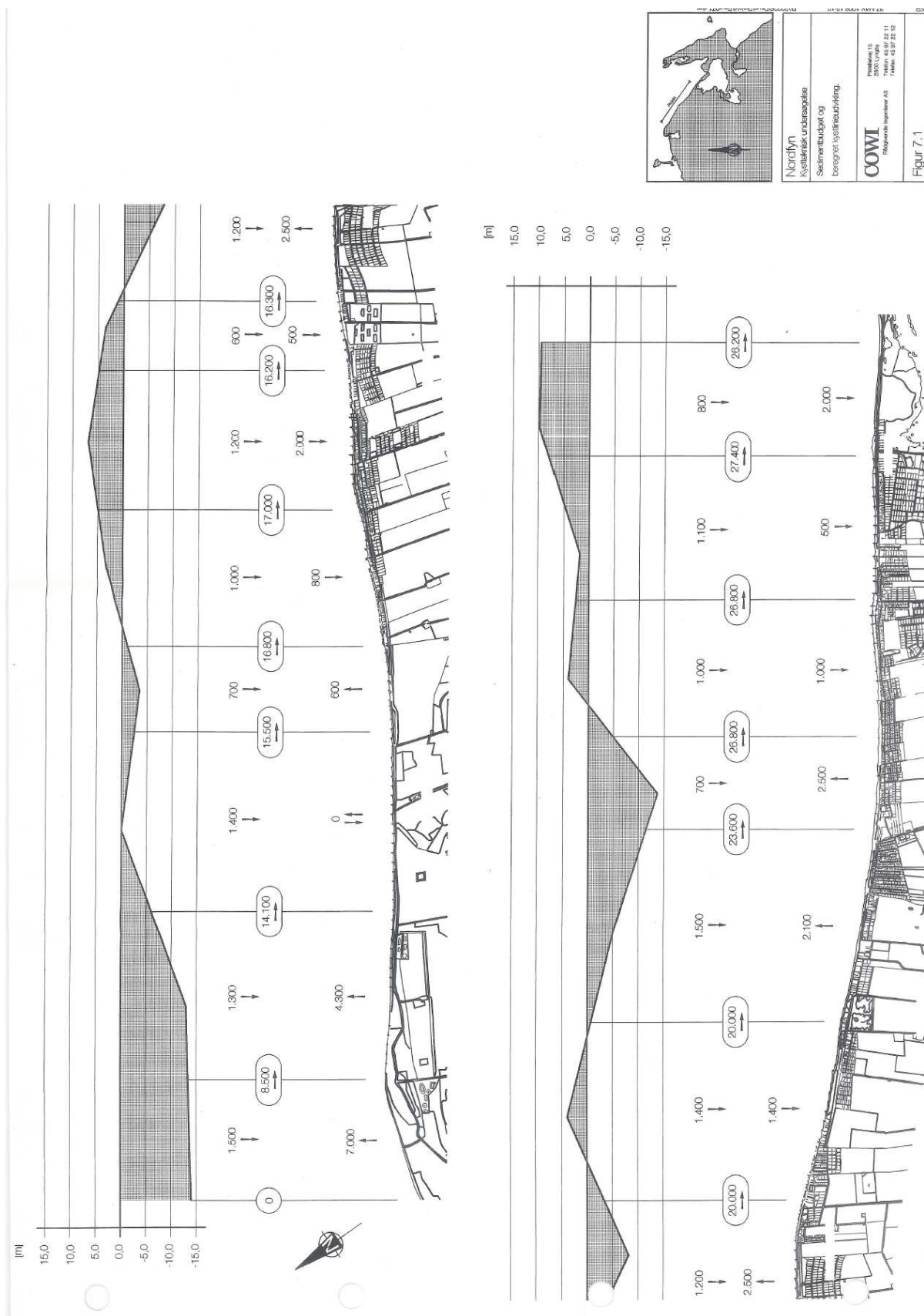
Der blev i forbindelse med studiet foretaget en række forundersøgelser og herunder:

- 4 Bathymetrisk og topografisk opmåling
- 5 Overslagsmæssig tilstandsvurdering af alle konstruktioner
- 6 Opmålinger af digekoter

Området med sommerhusene er generelt gammel havbund og således lavtliggende med en kote på +0,5m til +1,5m DNN og derfor beskyttet af diger. Dige-koten er typisk +3,0m DNN, men ved Hasmark kun +2,7m DNN.

Kysthydrauliske beregninger har vist, at 50 års bølgen på dybt vand er $H_s=3,0\text{m}$ og den tilsvarende vandstand blev opgjort til +1,35m DNN på dybt vand og +1,55m DNN langs kysten.

Den kystparallelle nettotransport blev estimeret ud fra det normale bølgeklima, ref. /1/. Analyserne viste, at nettotransporten er fra nordvest mod sydøst, se Figur 2.1. Ved Skovmose blev nettotransporten opgjort til $8000\text{m}^3/\text{år}$, medens transporten ved Kristiansminde var $20000\text{m}^3/\text{år}$ og $26000\text{m}^3/\text{år}$ ved Erikshåb.



Figur 2.1 Sediment budget for nordkysten af Fyn, m³/år, ref. /1/

Sedimenttransportraterne betyder, at der fjernes ca. $18000\text{m}^3/\text{år}$ sand mere end der tilføres naturligt på strækningen. Det blev vurderet, at der forsvinder $12000\text{m}^3/\text{år}$ fra strækningen vest for Kristiansminde og $6000\text{m}^3/\text{år}$ fra strækningen øst for Kristiansminde ned til Erikshåb.

Der var derfor behov for at erstatte det underskud af sand, der opstår som følge af gradienten i den kystparallelle transport. Dette underskud kan kun erstattes ved hjælp af sandfodring.

Hovedparten af høfderne på kysten blev bygget i 1945 til 1952 og mange er beskadiget. Høfderne kan ikke i sig selv forhindre at kysten rykker tilbage, men kan medvirke til at nedsætte hastigheden, hvormed kysten eroderer tilbage.

De nedslidte konstruktioner vurderes generelt at have en signifikant kystbeskyttende virkning, da stranden flere steder er bred nok. Problemet med de nedslidte konstruktioner vurderes derfor primært at være æstetisk.

I forbindelse med udarbejdelsen af handlingsplanerne for kystbeskyttelsen på Nordfyn blev der især lagt vægt på følgende krav:

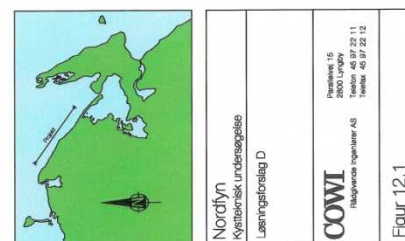
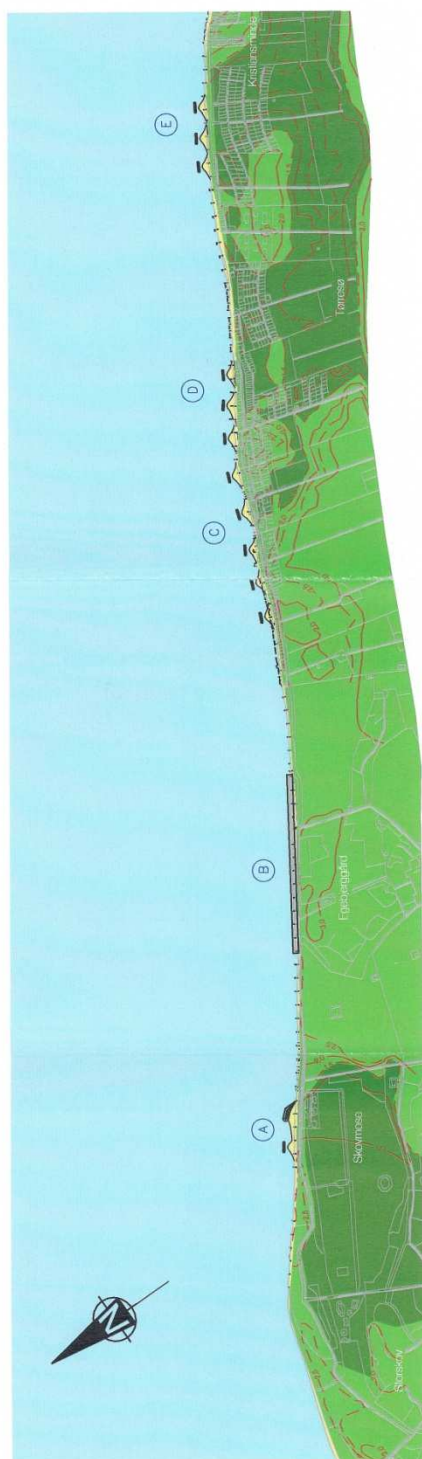
- 7 Nedsætte risiko for økonomisk tab
- 8 Bedre rekreative muligheder
- 9 Æstetik
- 10 Langsigtet strategi

Der blev herudfra udarbejdet en række planer for kystbeskyttelsen på Nordfyn, som både indeholdt renovering af de faste kystbeskyttelseskonstruktioner og sandfodring. Minimumsløsningen er at fodre med $18000\text{m}^3/\text{år}$ for at erstatte det naturlige tab af sand.

Den anbefalede handlingsplan tog hensyn til de forventede økonomiske ressourcer og indbefattede 37 millioner kr. over 20 år, svarende til 1,85 millioner kr/år. Planen sigtede mod at stabe balance i sedimentbudgettet og derved tilføre $18000\text{m}^3/\text{år}$ på udvalgte strækninger. Det blev foreslået at pumpe sandet ind på den nordvestlige del af strækningen, se Figur 2.2.

Handlingsplanen indeholdt også en forstærkning af diget ved Hasmark.

Desuden indeholdt planen opførelse af nye bølgebrydere på udsatte strækninger ved Tørresø og Kristiansminde kombineret med sandfodring.



Figur 2.2 COWIs anbefalede handlingsplan, Forslag D

3 Strandfodring på Nordfyn

COWIs anbefalede handlingsplan er i princippet blevet implementeret på Nordfyn gennem de sidste godt 10 år. Erfaringerne er løbende blevet analyseret og indarbejdet i det fortsatte arbejde for at optimere kystbeskyttelsesindsatsen.

Formålet med at sandfodre på Nordfyn er at øge beskyttelsen af baglandet mod erosion og oversvømmelse, samt at genetablere sandstranden og derved forøge den rekreative og æstetiske værdi af kysten langs de lavtliggende sommerhuse.

Figur 3.1 viser, hvor og hvornår der er blevet foretaget strandfodring på nordkysten af Fyn, se også Appendiks 1.

År	Strandfodringsmængde (m ³)	Lokalitet (Høfde nr.)
August 1999	113.000	27-57
April 2001	79.300	40-46, 68-80 og 105-112
Juni 2005	64.700	43-58 og 101-109
September 2009	70.000	43-57, 70-76 og 104-112

Figur 3.1 Udlægning af strandfodring

Der blev foretaget en relativ stor initial fodring på 113.000m³, da man begyndte med sandfodring i 1999 for at genopbygge sandstrandene. Herefter er der blevet foretaget vedligeholdelsesfodringer med cirka 4 års mellemrum på cirka 70.000m³.

Vedligeholdelsesfodringsmængderne er bestemt ud fra sedimentbudgettet, som viser, at der er et underskud på 18000m³/år, se Figur 2.1. Underskuddet i sedimentbudgettet erstattes ved strategisk fodring på udsatte strækninger med cirka 4 års mellemrum. Der fodres med 4 års mellemrum for at opnå en fornuftig enhedspris og samtidig sikre at strandene altid er i god stand langs hele kysten.

Generelt er fodringerne blevet foretaget i den vestlige halvdel af projektområdet. Herved opnås den største nyttevirkning af sandet, da sandet naturligt vander langs kysten fra vest mod øst som følge af den kystparallelle nettotransport. Herved vil strandfodringerne på sigt komme hele kysten til gode. Desuden har det også været langs den vestlige del af kysten behovet for strandfodring har været størst.

Det har vist sig, at strandfodringsmængderne alene ikke har været tilstrækkelige til at opretholde en acceptabel strandbredde på en række eksponerede delstrækninger. Disse lokaliteter er karakteriseret ved at ligge i forbindelse med kystfremspring. Der er derfor her anlagt en række nye bølgebrydere for at stabilisere sandstranden.

Figur 3.2 viser, hvor og hvornår der er anlagt nye bølgebrydere langs kysten, se også Appendiks 1.

År	Anlagte konstruktioner	Lokalitet (Høfde nr.)
April 2004	4+7 bølgebrydere	54-56 og 105-108
September 2009	4 bølgebrydere	70-77

Figur 3.2 Anlæggelse af nye bølgebrydere

Skråningsbeskyttelserne langs kysten er løbende blevet vedligeholdt. COWI har ikke været involveret i hovedparten af disse arbejder, som er blevet udført af lokal entreprenør. I 2006 blev kysten ramt af en kraftig storm fra nord, som i kombination med et ekstremt højvande resulterede i betydelige skader på skråningsbeskyttelserne langs kysten. Stormen medførte et højvande på +1,74m ved Gabet, som ligger i Odense Fjord. Det svarer ifølge KDI til en 50 års hændelse, se ref. /11/. 90 % af skråningsbeskyttelserne langs kysten er i følge kystlaget efterfølgende blevet repareret/genopbygget i 2007 til 2009.

4 Kystteknisk gennemgang

Figur 4.1 viser den historiske udvikling af stranden i den vestlige del af projektområdet mellem Egebjerggård og den vestligste del af Tørresø. De luftfotos der er benyttet i rapporten til at præsentere kystlinjeudviklingen er fra 2010 og stillet til rådighed af COWI.



Figur 4.1 Historisk kystlinjeudvikling mellem Egebjerggård og Tørresø, COWI 2010



Figur 4.2 Høfde 40, før og efter strandfodring i 1999.



Figur 4.3 Høfde 40, august 2000, april 2001



Figur 4.4 Høfde 40, februar 2003, april 2004

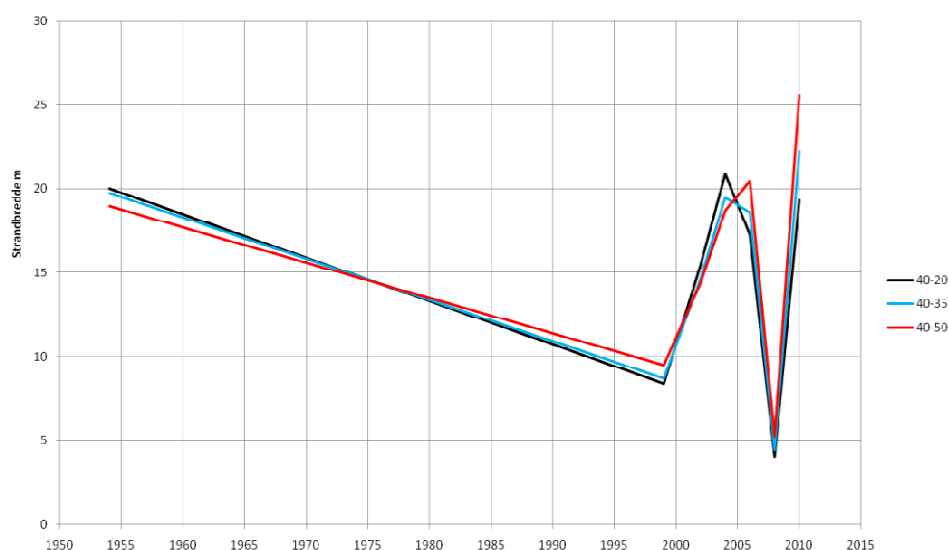


Figur 4.5 Høfde 40, maj 2010

Figur 4.2 til Figur 4.5 viser udviklingen af stranden øst for Egebjerggård ved Høfde 40. Det er tydeligt, at sandfodringerne har øget strandbredden betydeligt foran diget på denne strækning. Billederne viser dog også, at stranden eroderer i løbet af to til tre år efter der er blevet fodret, hvilket skyldes, at kystprofilen tilpasses sin ligevægtsform og en del af sandet derfor lægger sig ud på dybere vand. Desuden vil en del af sandet blive transporteret langs kysten primært mod øst.

Kystlinjeanalysen viser, at stranden i den vestligste del af området har været under erosion fra 1954 og frem til 1999, hvor den første strandfodring blev foretaget på denne strækning, se Figur 4.6. Efterfølgende er der blevet fodret i 2001, 2005 og 2009 foran sommerhusene i den vestlige del af Tørresø, se Appendix 1.

Figur 4.6 viser kystlinjeudviklingen henholdsvis 20, 35 og 50 m øst for Høfde 40, hvilket svarer til midten af bugten mellem Høfde 40 og 41. Denne præsenteringsform er valgt, da strandens orientering mellem konstruktionerne typisk varierer som følge af bølgenes skrå indfald.



Figur 4.6 Historisk kystudvikling ved Høfde 40

Stranden blev bygget ud med godt 10 m på denne strækning efter de første fodringer frem til 2006. Det vurderes, at den kraftige storm i november 2006 er årsag til, at stranden eroderede meget kraftigt, hvilket kan ses på kystlinjen i 2008. En høj vandstand på luftfotoet fra 2008 kan også være medvirkende årsag til den kraftige kysttilbagerykning i 2008, men vurderes ikke at være den primære årsag.

I forbindelse med en storm samtidig med højvande transporteres sandet fra stranden vinkelret på kysten ud på revlerne, hvor bølgerne bryder og derved medvirker til at reducere påvirkningen af kysten.

Efterfølgende er der foretaget sandfodring i 2009, hvilket har genskabt den brede sandstrand på denne strækning.

Desuden kan opbygningen af stranden i 2010 skyldes, at bølgerne langsomt bringer sandet tilbage til stranden, som blev eroderet i forbindelse med stormen i november 2006. Det kan tage nogle år før det meste sand er transporteret ind på stranden igen efter en ekstrem storm.

Der er forholdsvis dybt udfor Egebjerggård og det er derfor sandsynligt, at der er forsvundet sand ud på dybere vand, som ikke kommer tilbage til stranden, da det ligger for dybt. Den store dybde udfor Egebjerggård er en af grundene til, at de seneste vedligeholdelsesfodringer er lagt længere mod øst ved sommerhuse-
ne.

Der er en meget bred sandstrand foran diget øst for Egebjerggård i foråret 2010, se Figur 4.5. Det skyldes dels, at der er meget sand på kysten, men det kan også være et resultat af, at der i en periode henover vinteren har været meget østenvind. Set over længere tid forventes det dog, at den kystparallelle nettotransport fortsat vil være østgående.

En række af de diskutererede forhold vil være generelt gældende for hele kysten og herunder effekten af stormen i november 2006, som af KDI vurderes til at svarer til en 50 års hændelse, ref. /11/.

Figur 4.7 til Figur 4.10 viser, hvorledes stranden har udviklet sig foran de vestligste sommerhuse i Tørresø. Det er tydeligt, at denne strækning havde et betydeligt underskud af sand før den første fodring i 1999, hvor stranden nogle steder var meget smal og stenet, se Figur 4.7. Det skal også bemærkes, at der i dag er store mængder sand foran bølgebryderne på en del af denne strækning. Dette skaber en bred og attraktiv sandstrand og udgør desuden en sandbuffer, som gradvist vil erodere tilbage i de kommende år og derved sikre et løbende input af sand til kysten længere mod øst.

Figur 4.11 viser kystudviklingen ved Høfde 46. Der er blevet foretaget en række sandfodringer på denne strækning og det er tydeligt, at stranden er blevet omkring 10 m bredere og at stranden i 2008 ikke var så præget af stormen i 2006, som set andre steder på kysten. Det skyldes sandsynligvis, at der er meget sand i dette område og at vanddybden udfor er forholdsvis lille. Sandfodringerne har stoppet kysttilbagerykningen her og sikret en bred attraktiv strand, der øger beskyttelsen af sommerhusene.

Figur 4.12 viser den historiske kystlinjeudvikling ved den vestlige del af Tørresø.



Figur 4.7 Høfde 46, før og efter strandfodring i 1999



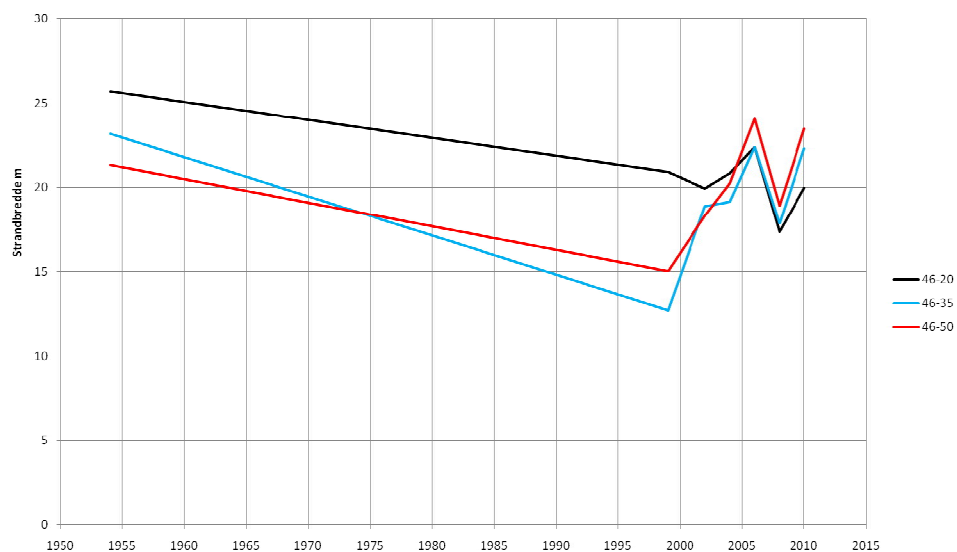
Figur 4.8 Høfde 46, august 2000, september 2001



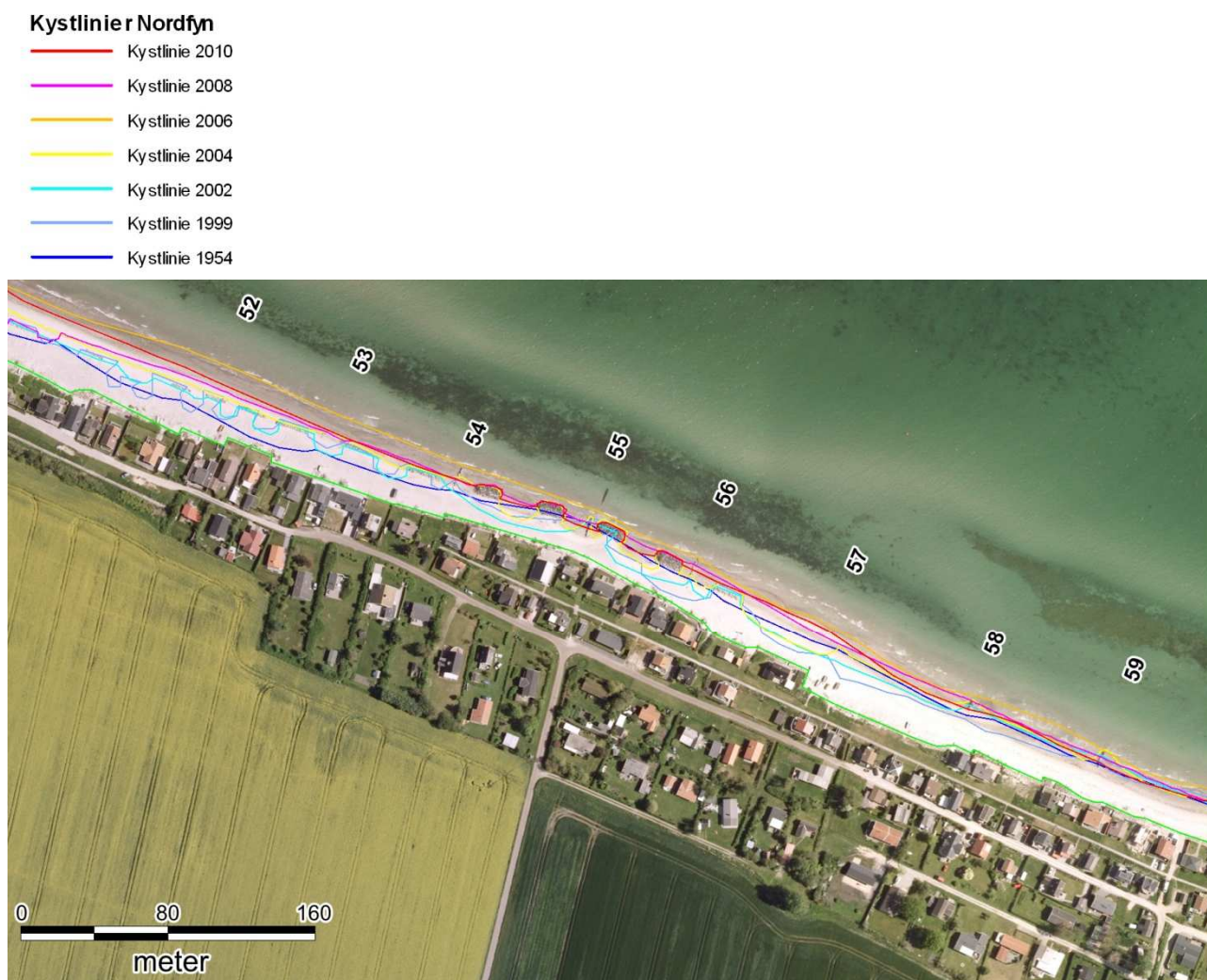
Figur 4.9 Høfde 46, februar 2003, april 2004



Figur 4.10 Høfde 46, maj 2010



Figur 4.11 Historisk kystudvikling ved Højde 46



Figur 4.12 Historisk kystlinjeudvikling i vestlig del af Tørrø, COWI 2010

Langs den vestlige del af Tørresø er der store mængder sand på stranden og flere af de gamle bølgebrydere ligger nu inde på stranden, se Figur 4.13.



Figur 4.13 Bølgebrydere dækket af sand i den vestlige del af Tørresø, 11. juli 2006, 29. april 2010, Høfde 52

Der er et lille fremspring på kysten centralt på strækningen på Figur 4.12. Det har ikke været muligt at opretholde en attraktiv strandbredde ved kystfremspringet. I april 2004 blev der derfor etableret fire nye bølgebrydere omkring Høfde 55. Bølgebryderne begyndte hurtigt at fange sand og der blev hurtigt skabt små tombolaer bagved konstruktionerne allerede medens bølgebryderne var under opførelse, se Figur 4.14. De fire nye bølgebrydere ved Høfde 55 har stabiliseret stranden og efter strandfodringen i 2005 er der dannet en bred og attraktiv strand, se Figur 4.14.

Der er dog stadig en række små høfdekonstruktioner, der skæmmer kysten på denne strækning, og som er unødvendige set fra et kystteknisk perspektiv.



Figur 4.14 Bred strand bagved de fire nye bølgebrydere ved Tørresø Høfde 55, juni 2005, juli 2006, april 2010

Stranden bliver betydeligt bredere øst for de nye bølgebrydere ved Høfde 57, hvilket fremgår af Figur 4.15 til Figur 4.17. Kysten ændrer orientering mod vest på denne strækning, hvilket skaber en svag bugt. Den kystparallelle materialevandring vurderes derfor at reduceres lidt, hvilket medvirker til at stabilisere stranden.



Figur 4.15 Høfde 57, før og efter strandfodringen i 1999

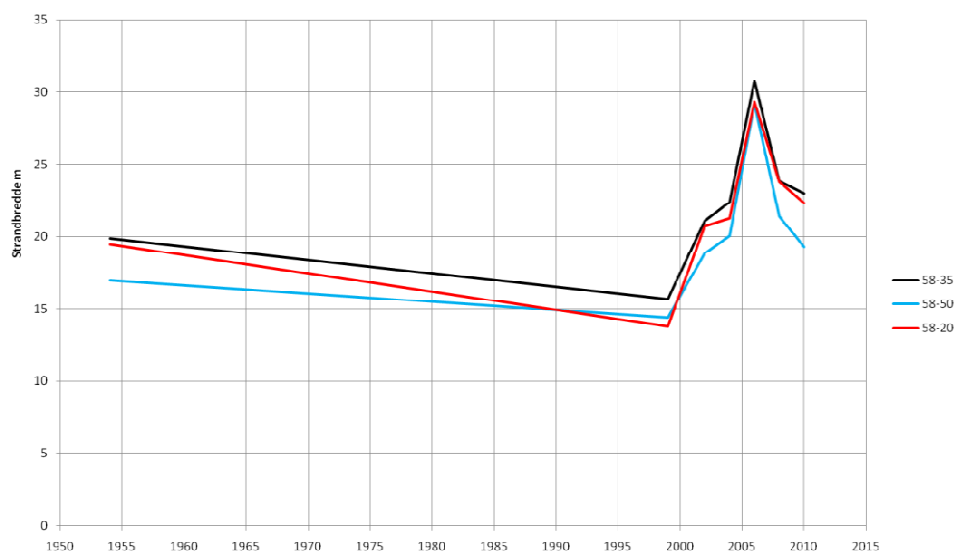


Figur 4.16 Høfde 57, august 2000, februar 2003



Figur 4.17 Høfde 57, april 2004, april 2010

Figur 4.18 viser kystudviklingen ved Høfde 58. Stranden er blevet 5-15 m bredere end den var i 1999 og der er således tydeligt, at sandfodringerne har haft en stor betydning i dette område. Stormen i 2006 har dog reduceret bredden af stranden med i størrelsesordenen 5-10m. Det kan dog også skyldes en naturlig tilpasning af ligevægtsprofilet efter fodringen i 2005.



Figur 4.18 Historisk kystudvikling ved Høfde 58

Ved Tørresø er der endnu et svagt kystfremspring, se Figur 4.19. Ændringen af kystens orientering medfører, at den kystparallelle materialevandring sandsynligvis øges lidt på denne strækning. Der er dog en række lange hofder, som hjælper med til at holde på en attraktiv strand på dette relativt udsatte kystfremspring.



Figur 4.19 Historisk kystlinjeudvikling Tørresø, COWI 2010

Ved Høfde 63 er der blevet opført en ny skråningsbeskyttelse, se Figur 4.20. Man har valgt at udbygge skråningsbeskyttelsen for at beskytte sommerhusene, der ligger udsat tæt ved vandet. Kystfremspringet ligger i umiddelbart forlængelse af de strækninger der strandfodres og der er derfor et betydeligt input af sand fra vest, som er medvirkende til, at der er en bred strand her.



Figur 4.20 Ny skråningsbeskyttelse ved Høfde 63, april 2004



Figur 4.21 Høfde 63, april 2010

Der er blevet fodret på strækningen mellem Høfde 68 og 80 i 2001, se Appendiks 1.

Strandbredden ved Høfde 68 er i dag stort set uændret i forhold til februar 2003, se Figur 4.22 og Figur 4.23. Der er en attraktiv sandstrand, som stabiliseres effektivt af en række lange høfder, som vurderes at være fyldt op til deres maksimale kapacitet. Flere af disse høfder indeholder en del meget store sten og de blokerer flere steder den fri passage langs stranden.



Figur 4.22 Høfde 68, september 2001, februar 2003



Figur 4.23 Høfde 68, april 2004, maj 2010

Figur 4.24 viser kystudviklingen ved Nordstrand i Tørresø.



Figur 4.24 Historisk kystlinjeudvikling Nordstrand, Tørresø, COWI 2010

Figur 4.25 til Figur 4.30 viser kystudviklingen vest og øst for Høfde 72.

Stranden er rykket tilbage i dette område siden fodringen i 2001. Tidligere gav denne strækning et rodet indtryk og de små og gamle konstruktioner var ikke tilstrækkelige til at forhindre at stranden næsten forsvandt.

Kystbeskyttelsen mellem Høfde 72 og 76 er derfor ombygget i 2009. De gamle ineffektive høfder og bølgebrydere er blevet omdannet til fire nye større bølgebrydere og der er sandfodret og skabt en ny bred attraktiv strand. Strandbredden er herved forøget betydeligt og den rekreative værdi af kysten er forøget. Desu-

den er der lavet en ny stenbeskyttelse langs diget. Dette har sammen med strandfodring og bølgebrydere skabt en effektiv og optimal beskyttelse af diget.



Figur 4.25 Høfde 72, september 2000, september 2001



Figur 4.26 Høfde 72, februar 2003, april 2004



Figur 4.27 Høfde 72, februar 2008, maj 2010



Figur 4.28 Høfde 72, 1999, august 2000



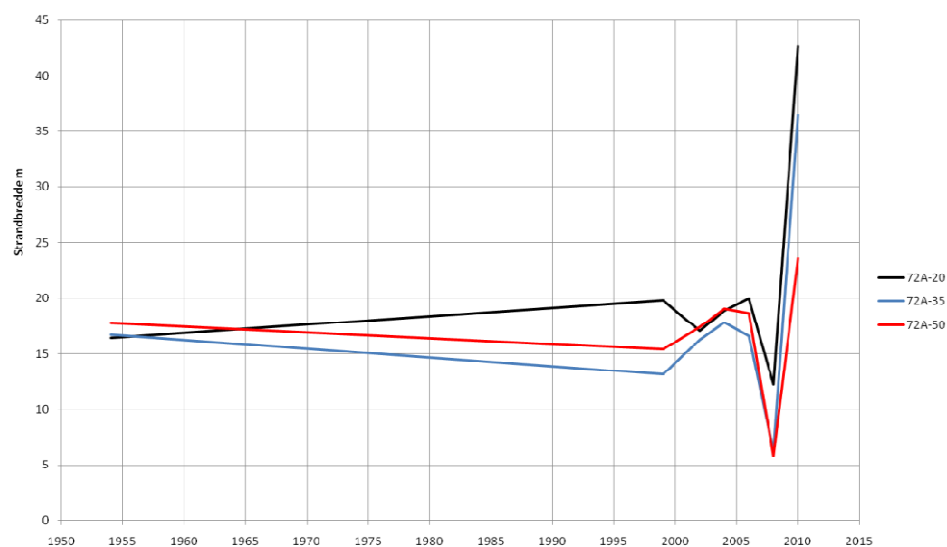
Figur 4.29 Høfde 72, april 2004, februar 2008



Figur 4.30 Høfde 72, maj 2010

Figur 4.31 viser den historiske kystlinjeudvikling ved Høfde 72. Figuren viser, at stranden var meget smal her i 2008. Desuden ses den signifikante forøgelse af bredden af stranden efter etableringen af nye bølgebrydere og sandfodring i 2009.

Figur 4.32 viser Nordstranden før og efter etableringen af nye bølgebrydere og sandfodring i 2009.



Figur 4.31 Historisk kystudvikling ved Højde 72



Figur 4.32 Nordstrand ved Tørresø Højde 74, juli 2006 og maj 2010

Ved Høfde 76 er stranden bred, og der har ikke været problemer med erosion siden den første fodring i 2001. Dette kan skyldes, at dette område ligger i en svag bugt, hvor den kystparallelle materialetransport har tendens til at aftage lidt mod øst og sandet derfor bliver liggende længere.



Figur 4.33 Høfde 76, september 2001, februar 2003



Figur 4.34 Høfde 76, april 2004, maj 2010

Figur 4.35 viser kystudviklingen ved det markante kystfrespring ved Kristiansminde. Der er mange lange hofder rundt om kystfrespringet, som hjælper med til at stabilisere en attraktiv bred sandstrand. Figuren viser, at kysten er rykket mere tilbage på den østlige side af kystfrespringet i forhold til den vestlige side. Dette passer med, at den kystparallelle nettotransport øges mod øst i takt med, at bølgeindfaldsvinklen øges.



Figur 4.35 Historisk kystlinjeudvikling vest for Kristiansminde, COWI 2010

Stranden er blevet betydelig bredere omkring Høfde 80 efter strandfodringen mod nordvest i 2001, se Figur 4.36. I 2010 er der stadig store mængder sand på stranden foran sommerhusene, hvilket forbedrer beskyttelsen af støttemuren langs diget og sikrer en høj rekreativ værdi af stranden. Desuden er der udlagt fodsten langs støttemuren for at forøge beskyttelsen af diget.



Figur 4.36 Høfde 80, august 2000, april 2004



Figur 4.37 Høfde 80, maj 2010

Stranden ved Høfde 88 er også blevet betydelig bredere siden 2000 på trods af, at der ikke er blevet fodret på denne strækning. Den kystparallelle materialevandring har bevirket, at sandet fra fodringen mod nordvest spredes ud langs kysten mod øst og derved gavner nabostrækningerne. Det er tydeligt, at den stenede strand nu i vid udstrækning er dækket af sand.

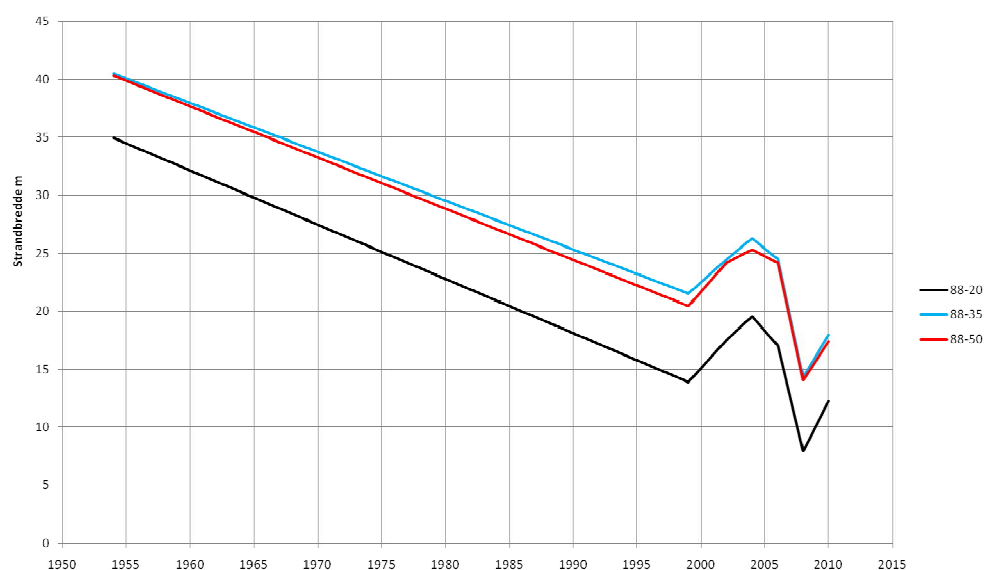


Figur 4.38 Høfde 88, august 2000 og juni 2004



Figur 4.39 Høfde 88, maj 2010

Figur 4.40 viser, at der har været omfattende kysterosion ved Høfde 88 mellem 1954 og 1999, hvorefter man kan se effekten af sandfodringerne frem til 2006.



Figur 4.40 Historisk kystudvikling ved Høfde 88

Stranden er dog eroderet meget tilbage i 2008 sandsynligvis efter stormen i 2006. De seneste par år er strandbredden vokset med omkring 5m, som følge af fornyet tilgang af sand fra vest og transport af sand udefra.

Der er mange lange høfder mellem Tørresø og Kristiansminde, som har en stor del af ansvaret for den brede strand som findes på en stor del af strækningen, se Figur 4.41 og Figur 4.35.

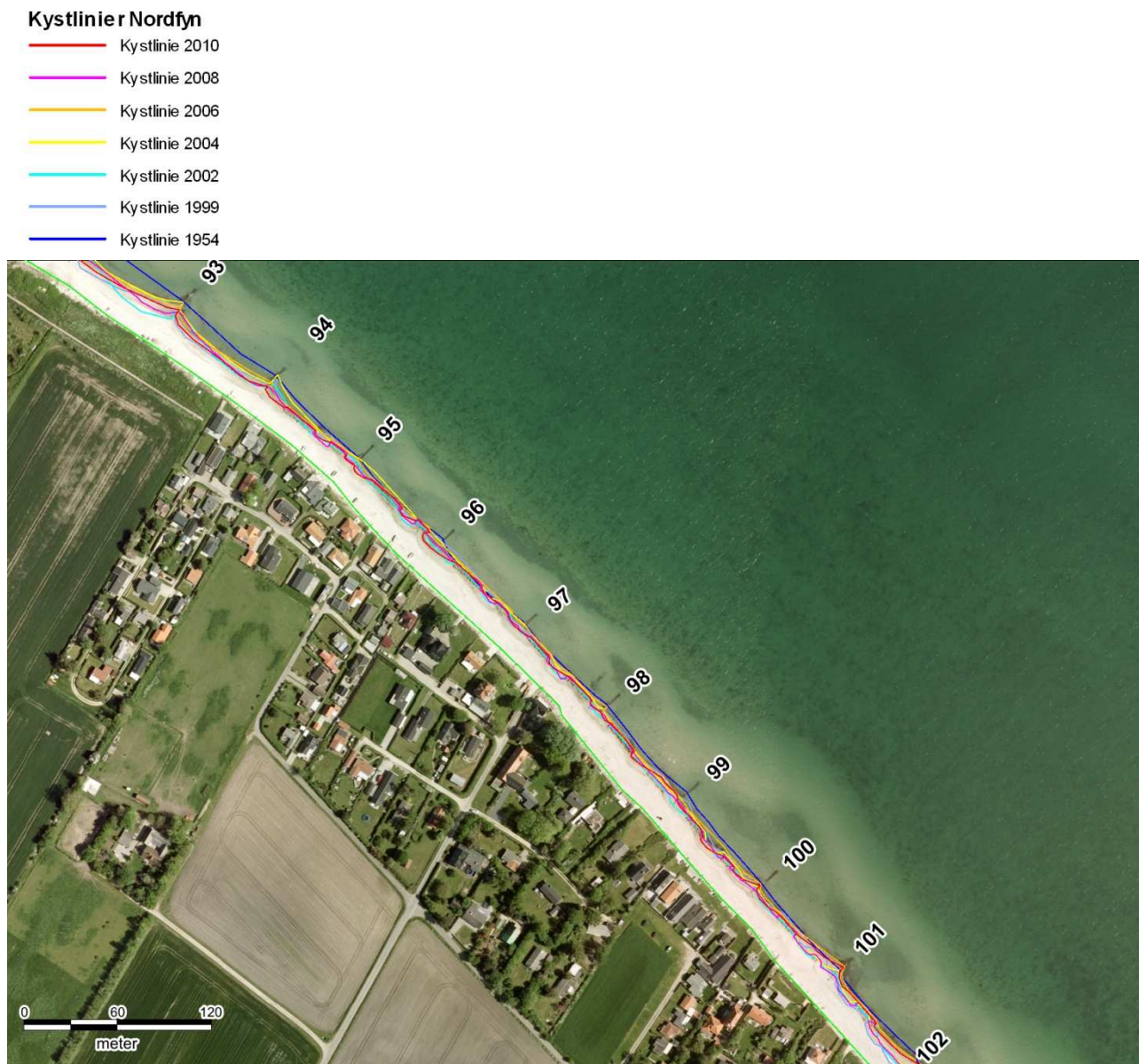


Figur 4.41 Lange høfder mellem Kristiansminde og Tørresø, juli 2006

Ved Kristiansminde drejer kysten og den kystparallelle transportkapacitet øges yderligere fra vest mod øst som følge af, at bølgeindfaldsvinklen bliver større. Det betyder, at der vil være en naturlig tendens til, at kysten eroderer her.

Figur 4.42 viser kystudviklingen på østsiden af kystfremspringet ved Kristiansminde.

Høfderne er anlagt med 75m afstand på en stor del af kysten, men ved Kristiansminde har de ikke været tilstrækkelige til at stabilisere stranden på østsiden af kystfremspringet og man har derfor været nødsaget til at bygge en række bølgebrydere mellem høfderne for at stabilisere stranden. Bølgebryderne virker bedre end høfder når bølgeindfaldsvinklen er stor.



Figur 4.42 Historisk kystlinjeudvikling ved Kristiansminde, COWI 2010

Ved Kristiansminde ser forholdene ud til at være nogenlunde uændret i perioden 2004 til 2010. De mange små konstruktioner ser ud til at være tilstrækkelige til at opretholde en attraktiv bred strand, men den æstetiske værdi af kysten er dog reduceret pga. at de mange små konstruktioner, se Figur 4.43 og Figur 4.44.

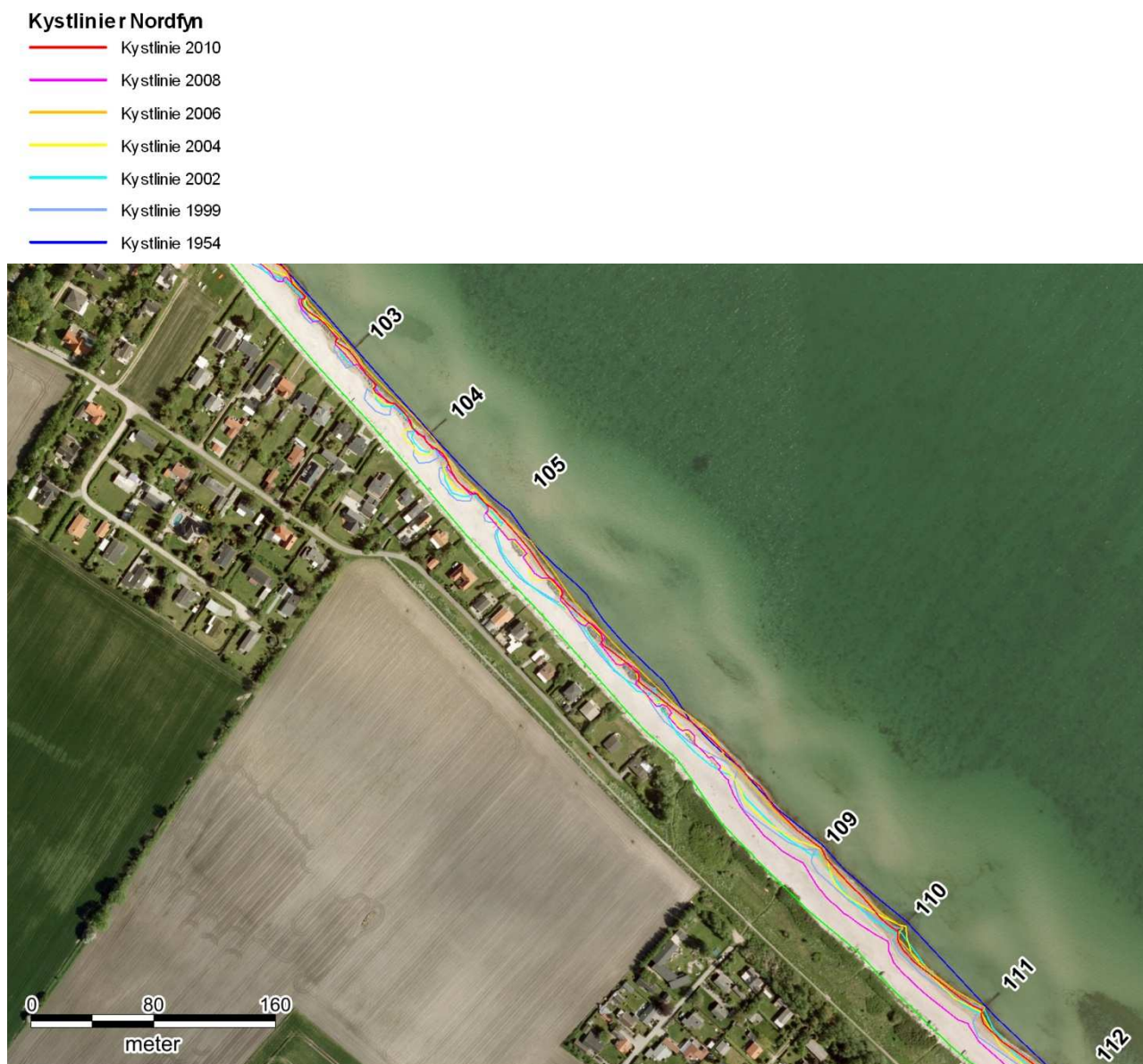


Figur 4.43 Høfde 97, april 2004



Figur 4.44 Høfde 97, maj 2010

Figur 4.45 viser kystudviklingen øst for Kristiansminde. Tidligere stoppede de små bølgebrydere omkring Høfde 105. Dette medførte dog, at sandstranden flere steder næsten var eroderet væk, som følge af læsideerosion skabt af et underskud i sedimentbalancen, se Figur 2.1 og Figur 4.46 til Figur 4.48.



Figur 4.45 Historisk kystlinjeudvikling øst for Kristiansminde, COWI 2010

For at genskabe sandstranden blev der foretaget en strandfodring i 2001 øst for Kristiansminde. Imidlertid viste det sig, at sandet hurtigt blev eroderet bort, som følge af gradienten i den kystparallelle materialevandring øst for kystfremspringet, se Figur 4.46 og Figur 4.47. For at stabilisere stranden blev der i stedet etableret syv nye bølgebrydere i 2004 og strækningen blev efterfølgende fodret i 2005 og 2009, se Figur 4.48. De nye bølgebrydere blev affaset i østlig retning for at reducere læsideerosionen.

Kombinationen af nye bølgebrydere og sandfodringer med års mellemrum ser ud til at have stabiliseret strand øst for Kristiansminde. Der er i dag en bred sandstrand, som nogle steder strækker sig ud foran bølgebryderne, se Figur 4.49.



Figur 4.46 Høfde 105, september 2000, april 2001



Figur 4.47 Høfde 105, februar 2003, april 2004

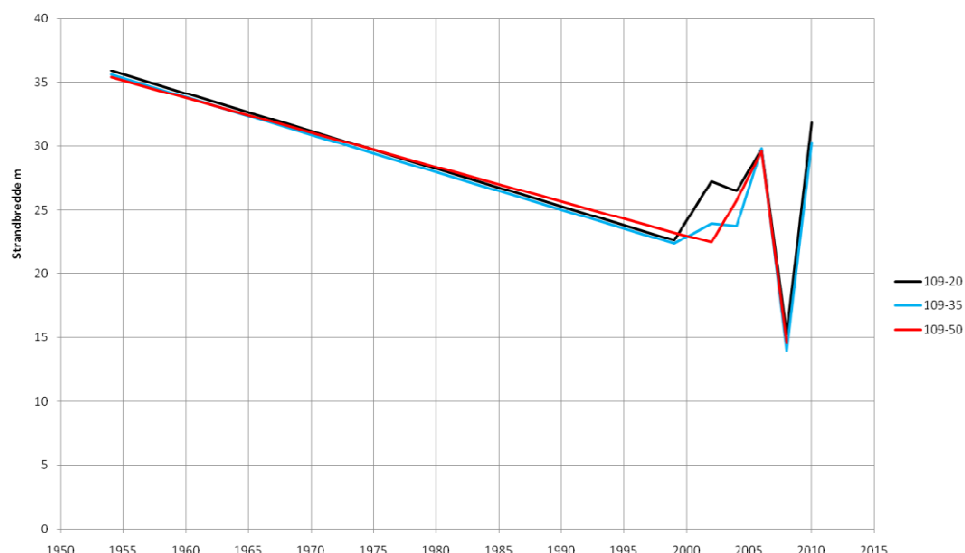


Figur 4.48 Høfde 105, juni 2004, maj 2010



Figur 4.49 Bred strand ved Højde 108 bag de nye bølgebrydere fra 2004 ved Kristiansminde, september 2005, juli 2006 og maj 2010

Figur 4.50 viser kystudviklingen ved Høfde 109. Igen ses den kraftige kysttilbagerykning mellem 1954 og 1999, som bliver afløst af en kystfremrykning mellem 1999 og 2006. Stranden rykker i denne periode 7 m frem som følge af strandfodring og etablering af bølgebrydere. Denne strandbredde er nu genskabt efter en kraftig tilbagerykning i 2008, primært som følge af sandfodringen i 2009 på denne strækning.



Figur 4.50 Historisk kystudvikling ved Høfde 109

Mellem Jørgensø og Erikshåb er der ikke foretaget strandfodring eller etableret nye bølgebrydere. Det skyldes, at høfderne langs kysten generelt er effektive og at stranden er attraktiv og bred de fleste steder. Der er dog blevet etableret nye skråningsbeskyttelser på en række delstrækninger. Kysten ligger øst for de strækninger der er blevet strandfodret og sandet vil derfor naturligt vandre langs kysten hertil og derved opretholde stranden ned mod Erikshåb.

Den historiske kystudvikling ved Jørgensø er vist på Figur 4.51.



Figur 4.51 Historisk kystlinjeudvikling ved Jørgensø, COWI 2010

Figur 4.52 og Figur 4.53 viser, at der er en bred og attraktiv strand ved Jørgensø, som stabiliseres af en række effektive hølfer, som ligger med cirka 75m mellemrum og strækker sig 30m ud fra skråningsfoden. Der forekom erosion af bagstranden flere steder i forbindelse med stormen i 2006, se Figur 4.52. Efterfølgende er der etableret nye skråningsbeskyttelser på de mest sårbare strækninger, hvor husene ligger tæt på vandet, se Figur 4.53.



Figur 4.52 Bred sandstrand ved Jørgensø, Høfde 121, juli 2006 og maj 2010

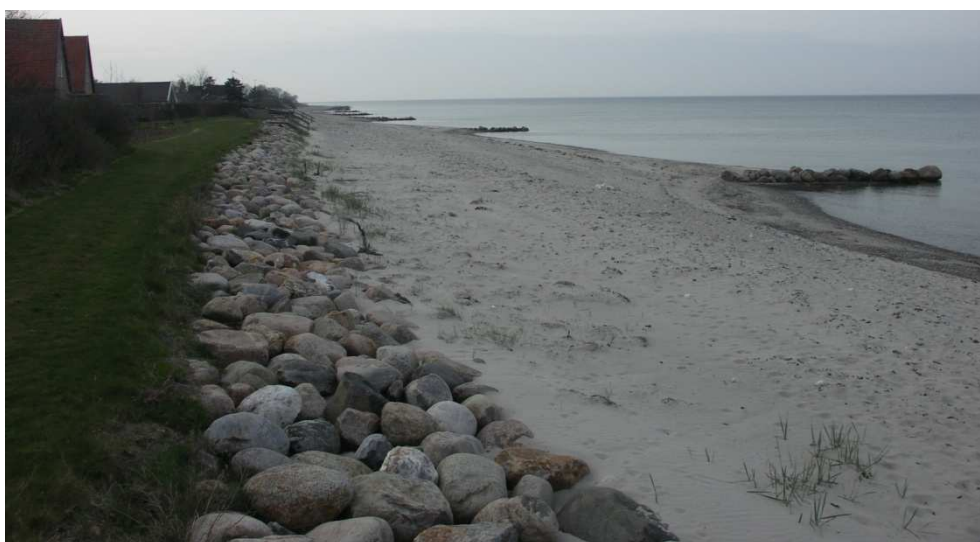
Figur 4.53 viser, at der er et grønt skær over den inderste del af stranden. Dette indikerer, at vegetationen vinder frem på den bagerste del af stranden og der kan efterhånden dannes små klitter.



Figur 4.53 Bred sandstrand ved Jørgensø øst for Høfde 121, maj 2010

Den brede strand ved Jørgensø giver en effektiv beskyttelse af baglandet i og med, at der er store mængder sand på stranden. Stranden mellem høfderne har et savtakket forløb. Dette viser, at bølgerne generelt har et skråt indfald og at der er en betydelig nettotransport fra vest mod øst. Det forventes derfor, at der ville være en betydelig kysterosion på denne del af kysten, hvis ikke der var høfder på hele strækningen. De eksisterende høfder ser ud til at stabilisere stranden i tilstrækkelig omfang til at opretholde en attraktiv strand. Samtidig er der hele tiden et input af sand fra sandfodringerne mod vest, som sandsynligvis er baggrunden for, at der nu dannes små klitter og vegetation langs kysten. Desuden kan det være et stykke tid siden, at der har været højvande og storm.

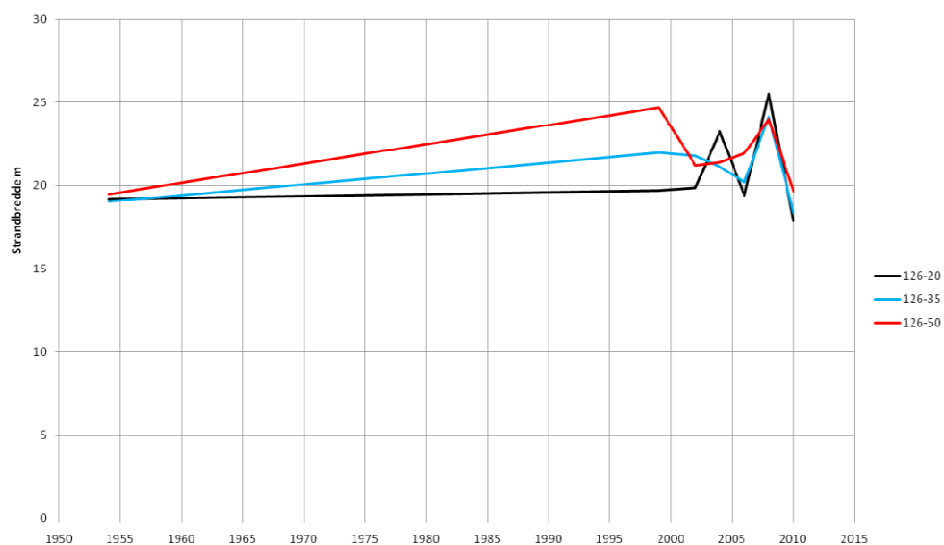
Ved feriekolonien i Jørgensø er stranden også bred og attraktiv, se Figur 4.54. Bemærk vegetationen, der efterhånden er ved at få fodfæste langs skråningsbeskyttelsen.



Figur 4.54 Bred sandstrand ved feriekolonien ved Jørgensø Høfde 126, maj 2010

Figur 4.55 viser kystudviklingen ved feriekolonien i Jørgensø. Kystudviklingen er mere stabil på denne kyststrækning i forhold til kysten ved Tørresø og Kristiansminde. Strandbredden varierer i hele perioden kun mellem 20 og 25 m. Det vurderes, at de velfungerende høfder er medvirkende til at reducere variationen i strandbredden i hele perioden mellem 1954 og 2010.

Mellem Jørgensø og Hasmark er stranden også bred og attraktiv, se Figur 4.56 og Figur 4.57. Figur 4.57 viser kysten ved ferielejlighederne ved Vester Strandvej. Forholdene minder meget om situationen ved Jørgensø beskrevet ovenover. Stranden er typisk 22 m bred i den vestligste del og 28 m bred i den østligste del af stranden mellem de enkelte høfder, se Figur 4.57 og Figur 4.58.



Figur 4.55 Historisk kystudvikling ved Højde 126

Kystlinier Nordfyn

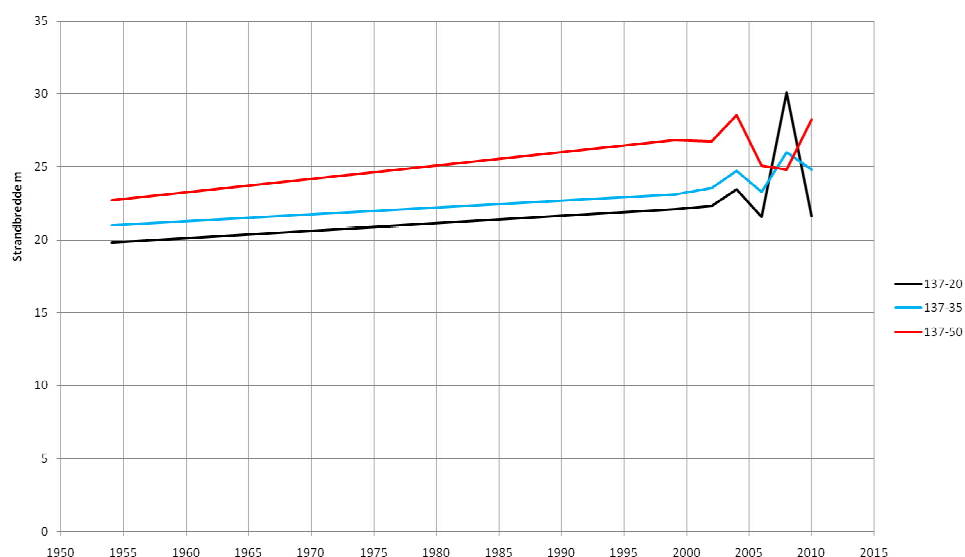
- Kystlinie 2010
- Kystlinie 2008
- Kystlinie 2006
- Kystlinie 2004
- Kystlinie 2002
- Kystlinie 1999
- Kystlinie 1954



Figur 4.56 Historisk kystlinjeudvikling mellem Jørgensø og Hasmark, COWI 2010



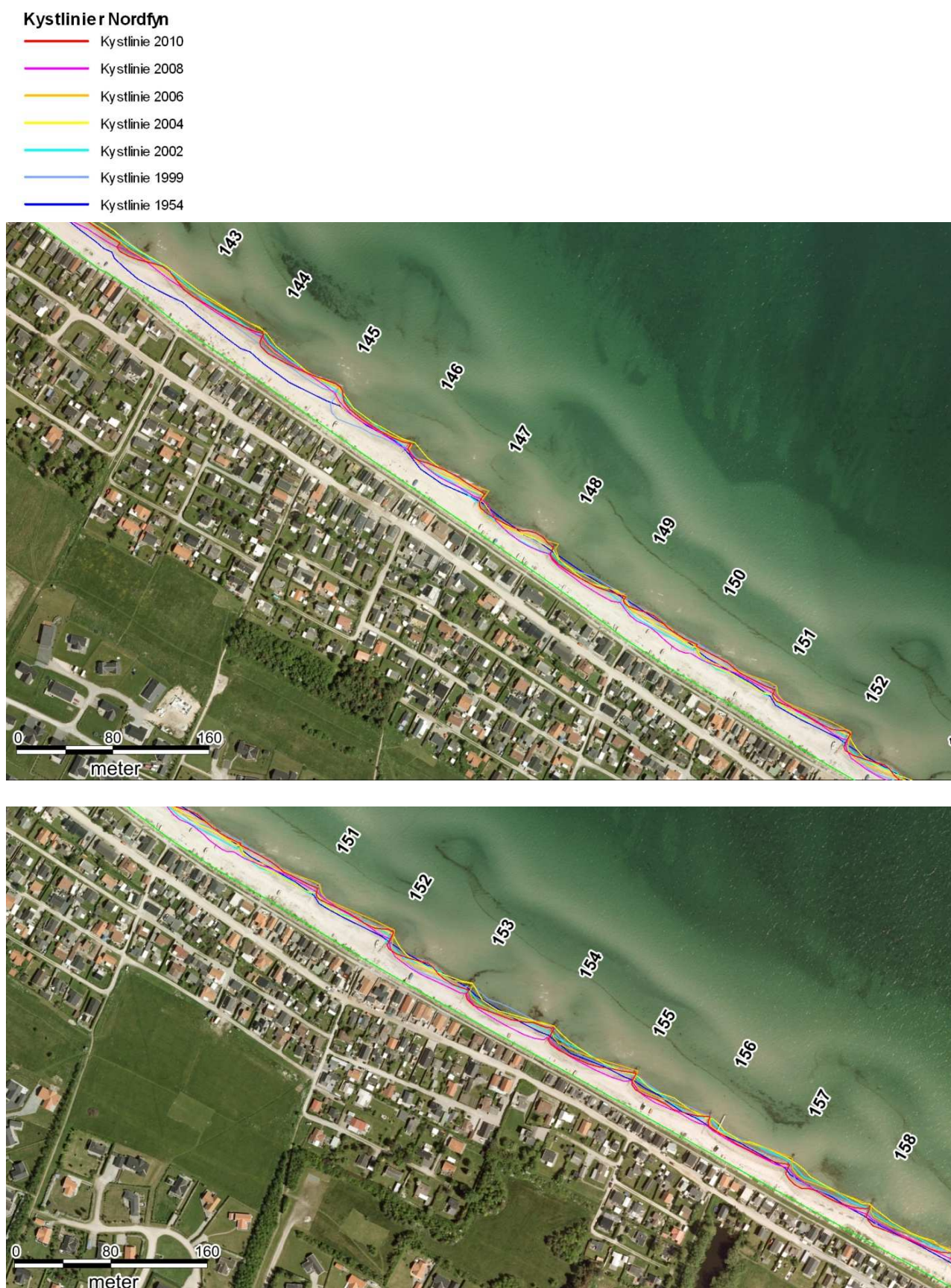
Figur 4.57 Bred sandstrand ved Vester strandvej ved ferieejlighederne Højde 137, maj 2010



Figur 4.58 Historisk kystudvikling ved Højde 137

Både ved Jørgensø og Hasmark er der en svag tendens til, at stranden bliver bredere i hele perioden 1954 til 2010. Dette skyldes sandsynligvis, at høfderne er effektive og fanger en del af det sand der vandrer langs kysten, hvilket er forøget efter sandfodringerne er begyndt i 1999.

Figur 4.59 viser kystudviklingen i den vestligste del af Hasmark og ved Grønnekrogen. Her findes også effektive høfder, som stabiliserer en bred og attraktiv sandstrand på hele strækningen. Strækningen er kendetegnet ved, at kysten former en svag konkav bugt, som betyder, at sedimenttransportkapaciteten aftager lidt mod øst og at stranden derfor har en positiv sedimentbalance, og derfor er i god stand.



Figur 4.59 Historisk kystlinjeudvikling vest for Hasmark og ved Grønnekrogen

I tilfælde af, at tilgangen af sand fra vest aftager i fremtiden vil stranden få et mere savtakket forløb mellem høfderne og resultere i, at stranden generelt bliver smallere på hele strækningen mellem Jørgensø og Eriskhåb. Dette skyldes, at de enkelte strande mellem høfderne vil indstille sig til at være i ligevægt med de skråt indfaldende bølger fra nordvestlig retning. Desuden vil det kun være det sand, som høfderne kan tilbageholde, som vil blive tilbage. Dette vil også resultere i, at stranden generelt bliver smallere.

Ved Grønnekrogen er der en del lange høfder. Bevoksning på den øverste del af stranden indikerer en øget mængde sand i området før stormen i 2006, se Figur 4.60.

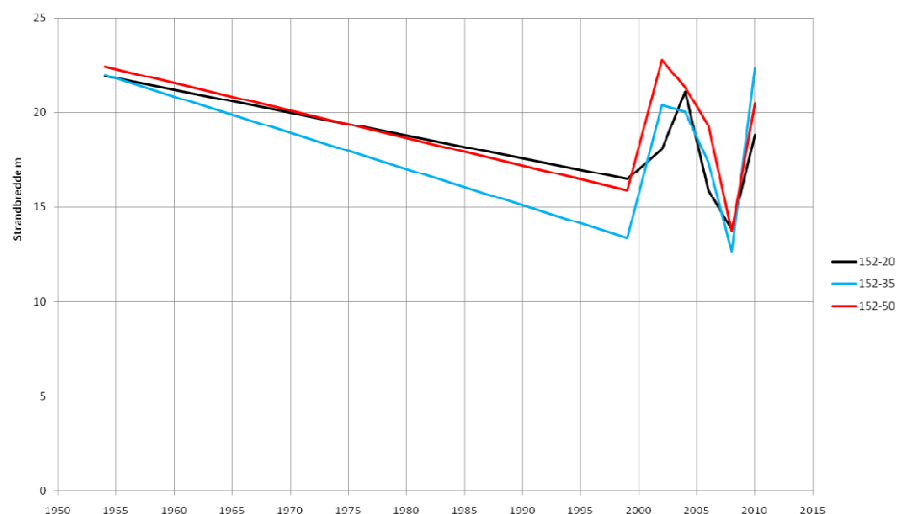


Figur 4.60 Lange høfder ved Grønnekrogen Høfde 152, juli 2006

Figur 4.61 viser, at kysten i Hasmark har været udsat for erosion i perioden mellem 1954 og 1999. I modsætning til kysten ved Jørgensø er kysten ved Hasmark blevet betydeligt bredere i perioden mellem 1999 og 2006. Herefter ses også her en betydelig kysttilbagerykning i 2008 og efterfølgende genopbygning frem mod 2010. Set over hele perioden ser det ud til at kysttilbagerykningen er bremset og at der i gennemsnit er en svag opbygning af stranden på trods af store variationer. At kystudviklingen i gennemsnit er positiv i Hasmark ses som tegn på, at der er en øget tilgang af sand fra vest. Dette indikerer, at sandet fra sandfodringerne efter al sandsynlighed nu er nået til Hasmark.

Høfderne er nu i stand til at opretholde en strand på omkring 20 m på denne strækning.

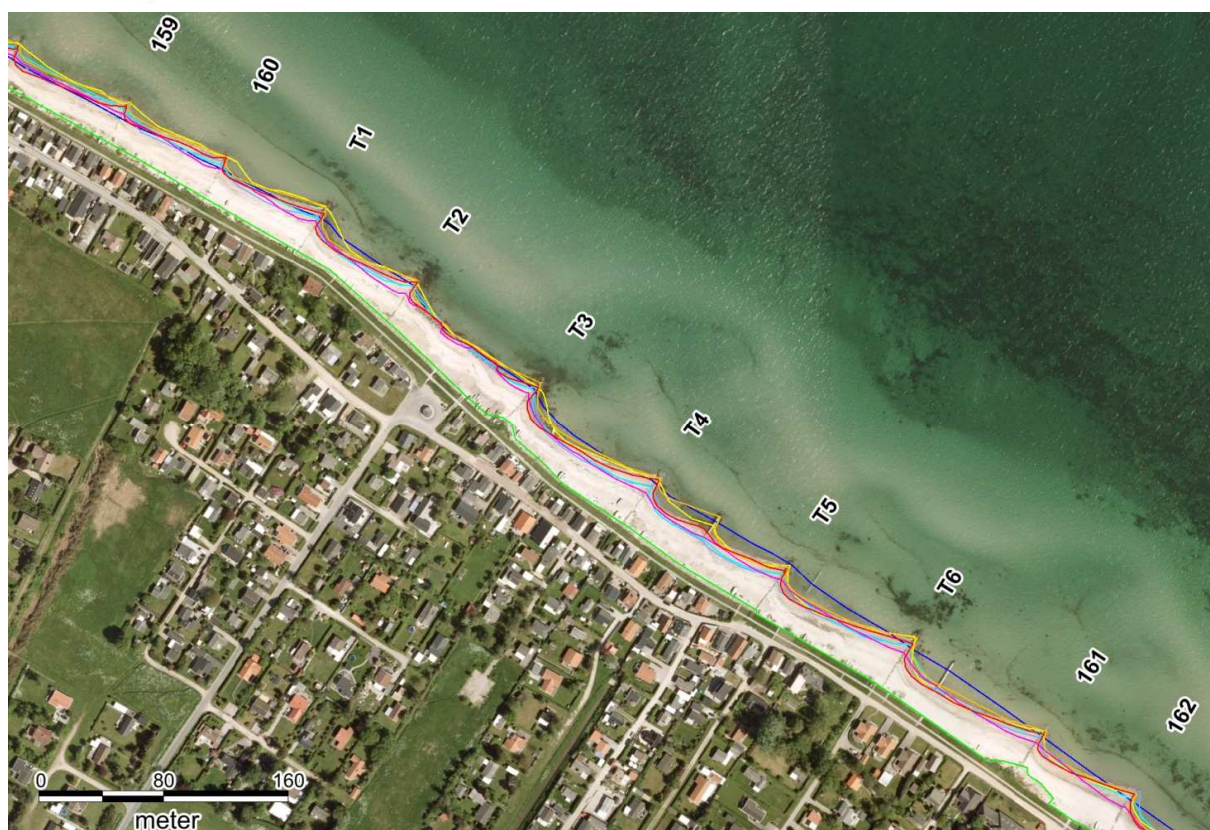
Øst for Hasmark er der et lille kystfremspring, se Figur 4.62. De store høfder på strækningen er generelt i stand til at opretholde en attraktiv sandstrand vest for kystfremspringet på trods af, at kysten har et svagt konvekst forløb, se Figur 4.63.



Figur 4.61 Historisk kystudvikling ved Grønnekrogen Høfde 152

Kystlinier Nordfyn

- Kystlinie 2010
- Kystlinie 2008
- Kystlinie 2006
- Kystlinie 2004
- Kystlinie 2002
- Kystlinie 1999
- Kystlinie 1954



Figur 4.62 Historisk kystlinjeudvikling øst for Hasmark, COWI 2010

Figur 4.63 viser, at stranden er 20 til 25 m bred og attraktiv vest for kystfrem-springet mellem Hasmark og Erikshåb.



Figur 4.63 Bred sandstrand vest for kystfremspring ved Hasmark Høfde 160, maj 2010

Sedimenttransportkapaciteten vurderes at øge lidt øst for kystfremspringet som følge af kystens konvekse forløb. Det har derfor været nødvendigt at etablere to bølgebrydere mellem høfderne på den mest kritiske strækning for at stabilisere stranden. Desuden er der etableret en ny skråningsbeskyttelse langs diget for at øge beskyttelsen mod storme og højvande på den udsatte strækning, se Figur 4.64 og Figur 4.65. På trods af den problematiske lokalitet på nedstrøms side af kystfremspringet er der alligevel en attraktiv bred strand på denne lokalitet. Dette viser, at der er store mængder sand på denne kyst som vandrer fra vest mod øst.



Figur 4.64 Hasmark Høfde 160.5 - T3, april 2004, maj 2010



Figur 4.65 Hasmark Højde 160.5 - T3, april 2004, maj 2010

Stranden er forholdsvis bred i området og endvidere er der bevoksning på stranden foran skråningerne mange steder. Mindre erosion i skråningen forekommer kun i forbindelse med ekstreme storme. I stormsituationer trækkes sand ud på revlerne, men det vender tilbage til stranden igen i forbindelse med mere normale vejr- og vandstandsforhold.

Vest for feriekolonien ved Hasmark, Højde 161, er stranden også bred og der ses vegetation på den bagerste del af stranden foran skråningsbeskyttelsen flere steder, se Figur 4.66 og Figur 4.67.

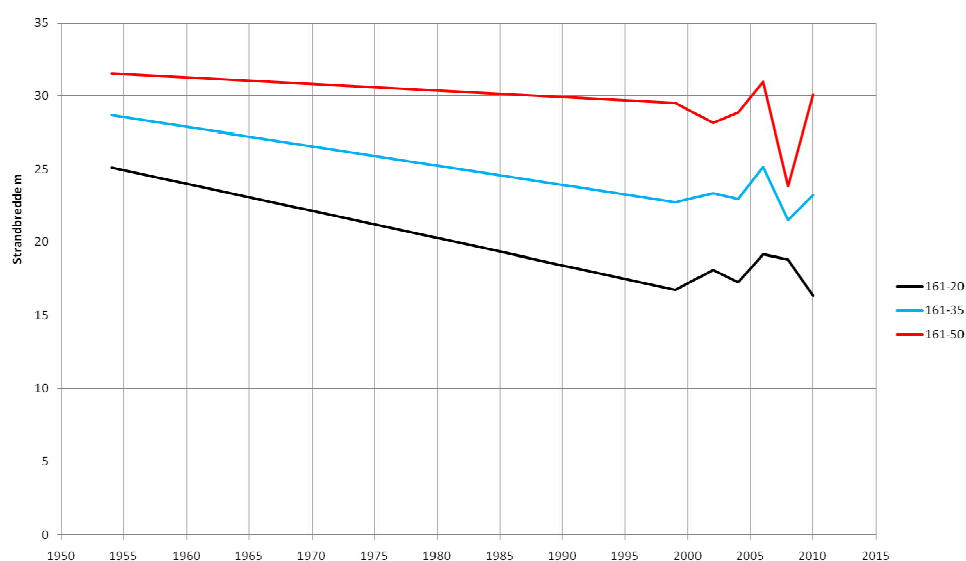


Figur 4.66 Bred strand vest for feriekolonien i Hasmark Højde 161- T5, juli 2006, maj 2010



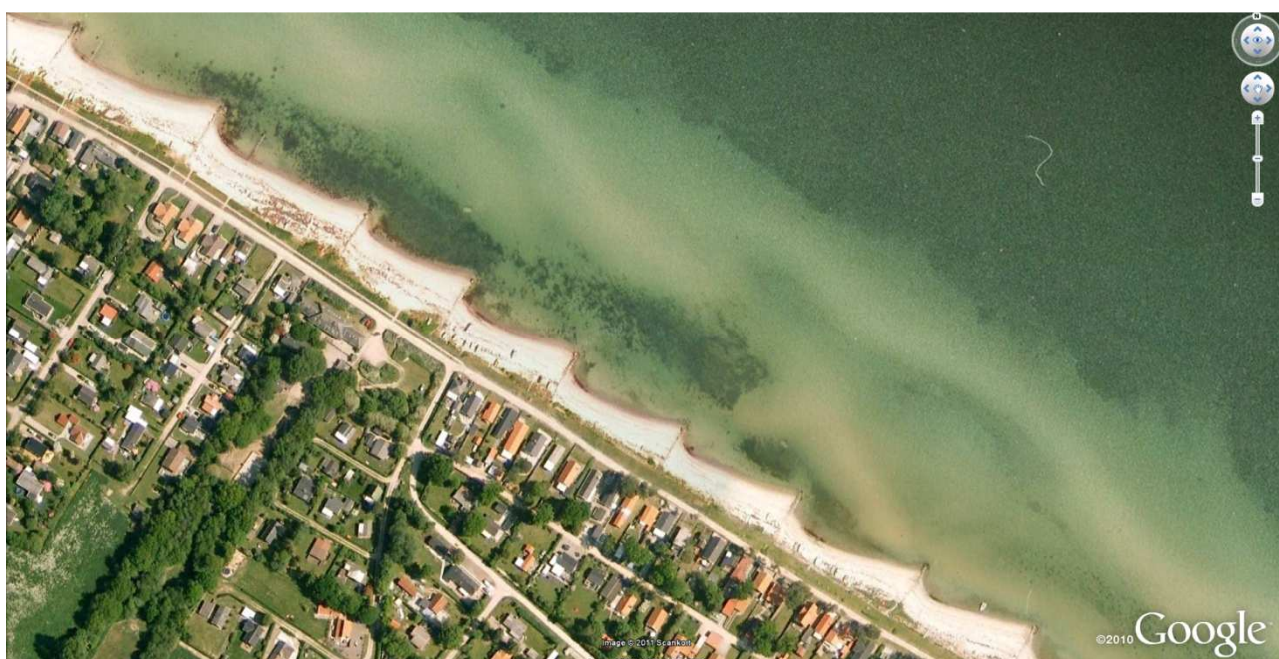
Figur 4.67 Bred strand vest for feriekolonien i Hasmark, Højde 161, maj 2010

Figur 4.68 viser kystudviklingen øst for kystfremspringet mellem Hasmark og Erikshåb. Der er en svag tendens til, at kysten eroderer på denne strækning og denne tendens fortsætter efter 1999 selv om det ser ud til at hastigheden er reduceret noget.



Figur 4.68 Historisk kystudvikling ved Højde 161

Den store forskel på strandbredden øst for Høfde 161 skyldes, at stranden har et markant savtakket forløb, som indikerer, at bølgeindfaldsvinklen er stor her i forhold til mængden af sand der kommer til fra vest, se Figur 4.69 og Figur 4.70. Det kan skyldes, at kystfremspringet øst for holder lidt på det sand der vandrer langs kysten, og at kysten er orienteret lidt mere mod øst. Herved skabes et underskud i sedimentbalancen ud mod Eriskhåb, som så resulter i, at stranden orienteres op mod de dominerende bølger mellem de velfungerende høfder. Herved reduceres den kystparallelle nettotransport til at passe til tilgangen af sand fra vest.



Figur 4.69 Savtakket strand vest for Eriskhåb

Kystudviklingen langs den østligste del af projektstrækningen ved Erikshåb er vist på Figur 4.70. Det skal bemærkes, at der er mere en 75 m mellem nogle af høfderne, hvilket øger muligheden for kysterosion, når inputtet af sand fra vest er reduceret ved kystfremspringet.



Figur 4.70 Historisk kystlinjeudvikling ved Erikshåb

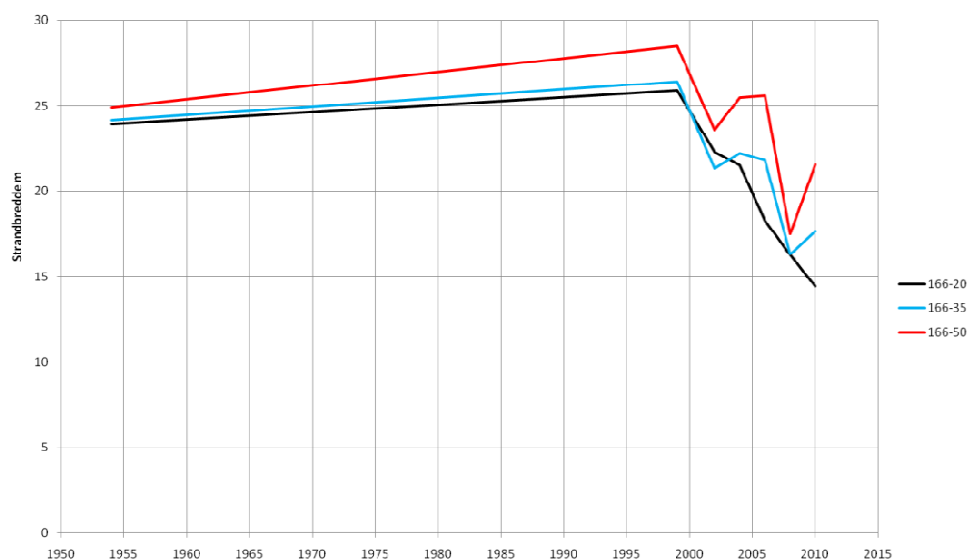
Der er i flere omgange etableret nye skråningsbeskyttelser på denne strækning, på trods af, at stranden og diget er forholdsvis bredt og der derfor ikke umiddelbart er fare for skader på vejen og husene bagved, se Figur 4.71 og Figur 4.73. Skråningerne er blevet beskyttet som følge af, at der har været erosion af diget i forbindelse med en række storme specielt i november 2006, hvor hele kysten blev ramt og der følgelig opstod omfattende skader på ubeskyttede skråninger. Desuden er der langt mellem høfderne nogle steder, hvilket øger variabiliteten af kystlinjens lokalisering.

Figur 4.72 viser kystudviklingen øst for Høfde 167. Figuren viser, en markant kysterosion efter 1999. Der er dog stadig 15 til 20 m bred sandstrand på denne strækning.



Figur 4.71 Vest for parkeringspladsen i Halshusene Høfde 167, april 2004, juli 2006, februar 2008 og maj 2010

Det nye på strækningen er, at der er etableret nye skråningsbeskyttelser, som har stoppet erosion af skråningerne og diget, hvilket har medført en reduceret tilførsel af sand fra baglandet. Om dette er nok til at forklare kysterosionen er usikkert. En anden forklaring kunne være, at høfderne er blevet beskadiget. Der er dog ikke fundet indikation på, at dette skulle være tilfældet. Erosionen kan også skyldes variation i bølgeklimaet, som bestemmer størrelse og retning af den kystparallelle nettotransport.



Figur 4.72 Historisk kystudvikling ved Høfde 167



Figur 4.73 Østenden af sommerhusene ved Erikshåb, maj 2010

Kysterosionen ved Eriskhåb skyldes sandsynligvis, at der er en reduceret tilførsel af sand fra vest og at høfderne ikke kan holde på det sand der ligger på stranden.

Øst for sommerhusene ved Erikshåb er der ingen kystbeskyttelseskonstruktioner. Det ser ud til, at der er kommet mere sand på strande på denne strækning i 2010 i forhold til 2004, se Figur 4.74. Dette indikerer, at sandet er begyndt at vandre ud af projektområdet og videre ud mod Enebærødde. Der er ikke længere erosion af den ubeskyttede skrænt, som efterhånden er ved at blive dækket af sand og begyndende klitdannelse. Dette indikerer, at denne strækning har oplevet en øget tilførsel af sand, som sandsynligvis skyldes sandfodringerne i den vestlige del af projektstrækningen.



Figur 4.74 Øst for sommerhusene ved Erikshåb, april 2004 og maj 2010

5 Anlægsomkostninger

På baggrund af et omfattende datagrundlag udarbejdet af det Nordfynske Kystsikrings-, dige og pumpelag, er der udarbejdet en overordnet analyse af anlægsøkonomien for udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelsen på Nordfyn siden 1995.

Figur 5.1 viser en opgørelse over de samlede udgifter til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelsen på Nordfyn siden 1995. Figur 5.2 og Tabel 5.1 viser fordelingen af udgifterne på typiske anlægstyper.

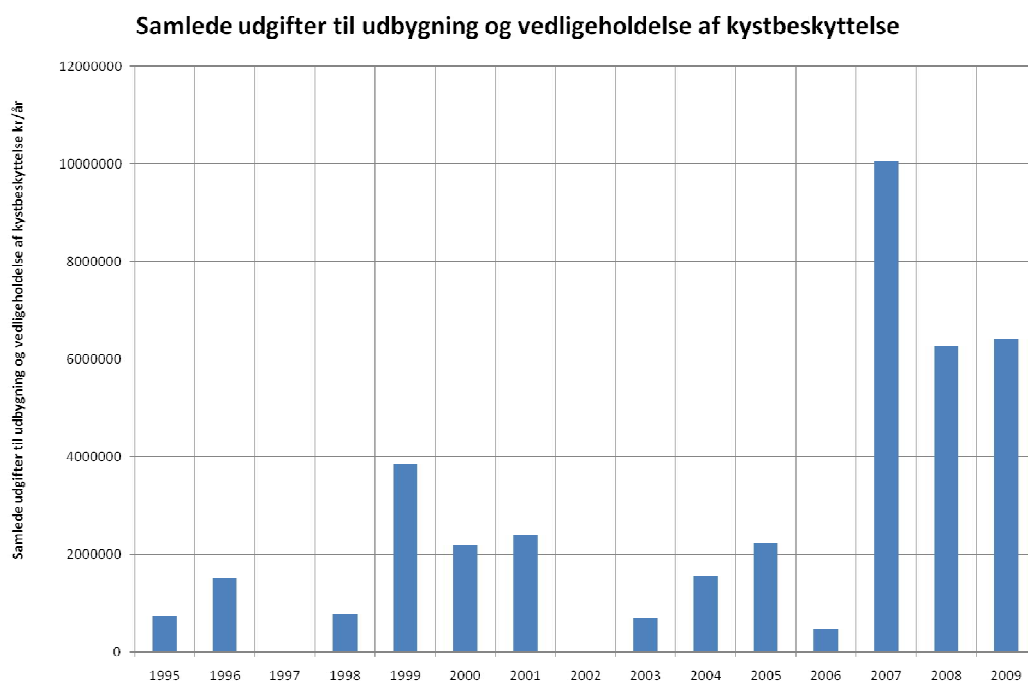
Totalt set er der brugt omkring 39 millioner kr. på at udbygge og vedligeholde kystbeskyttelsen langs den 11,4km kyststrækning på Nordfyn de sidste 15 år. Det svarer til 2,6 million kr/år eller i gennemsnit 230.000 kr/år/km kyst. Det anslås, at der er omkring 2500 sommerhusejere langs kysten, som bidrager til kystbeskyttelsen. Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag oplyser, at hver enkelt grundejer betaler i 1500kr/år til kystbeskyttelse, hvilket ser ud til at være tilstrækkeligt til at dække udgifterne til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelsen set over en årrække.

Udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelsen omfatter både sandfodring og hård kystbeskyttelse som skråningsbeskyttelse og bølgebrydere. Udgifterne til vedligeholdelse af diger og høfder er lagt ind under skråningsbeskyttelse, da det ikke er muligt at opgøre disse poster særskilt og fordi de udgør en mindre andel.

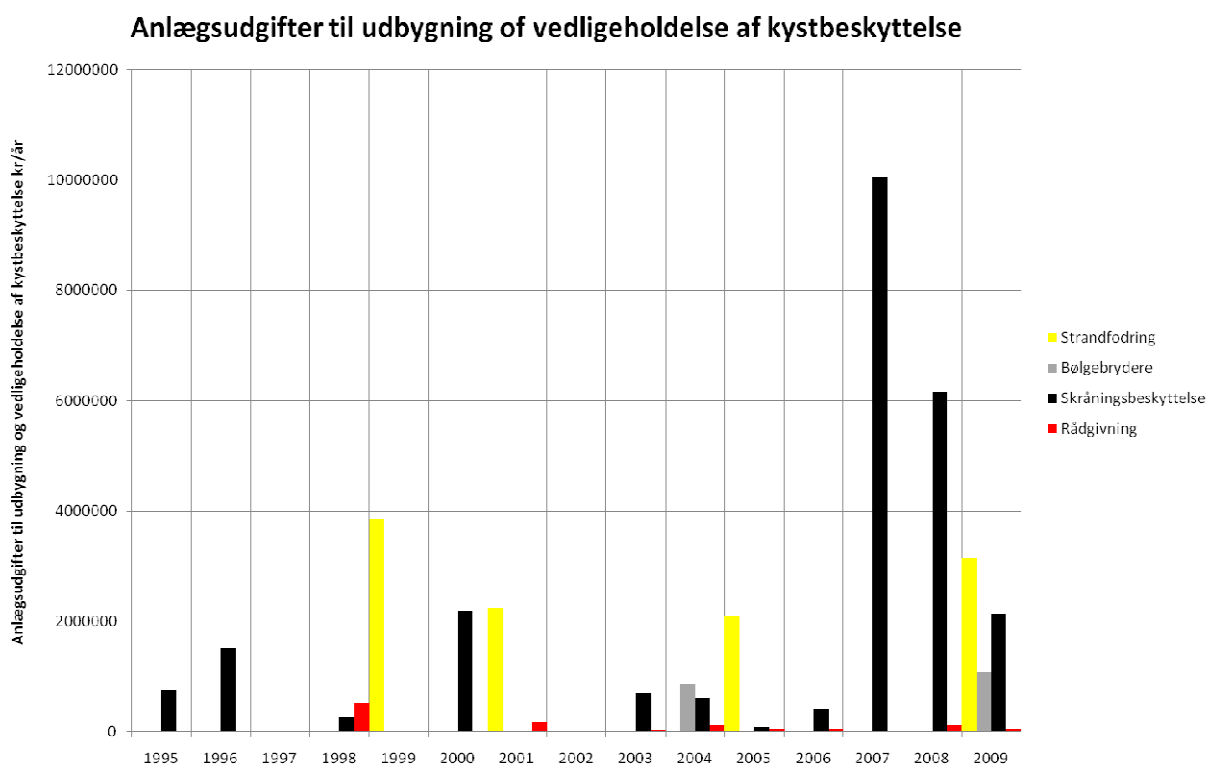
Der er stor forskel på, hvor mange ressourcer, der er blevet brugt på kystbeskyttelsen på Nordfyn over årene, se Figur 5.1 og Figur 5.2.

Figur 5.1 viser, at der er en kraftig stigning i udgifterne til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelsen efter 2006. Dette skyldes primært, at opstod omfattende skader på eksisterende skråningsbeskyttelse i forbindelse med stormen i november 2006. Ifølge kystlaget er 90% af skråningsbeskyttelserne langs kysten blevet repareret/genopbygget i 2007, 2008 og 2009.

Forudsat at skråningsbeskyttelserne er genopført i tilstrækkelig kvalitet, forventes udgifterne til skråningsbeskyttelse at falde de kommende år, da den mest udsatte del af kysten har fået ny beskyttelse af baglandet og at stranden foran generelt er bred.



Figur 5.1 Oversigt over samlede udgifter til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelse på Nordfyn



Figur 5.2 Udgifter til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelse fordelt på anlægstyper

År	Strandfodring	Bølgebrydere	Skråningsbeskyttelse	Rådgivning
1995	0	0	740000	0
1996	0	0	1510000	0
1997	0	0	0	0
1998	0	0	250000	530000
1999	3840000	0	0	0
2000	0	0	2180000	0
2001	2240000	0	0	170000
2002	0	0	0	0
2003	0	0	680000	20000
2004	0	870000	600000	110000
2005	2100000	0	80000	50000
2006	0	0	420000	50000
2007	0	0	10050000	0
2008	0	0	6150000	110000
2009	3140000	1080000	2140000	50000
I alt	11300000	1900000	24800000	1100000

Tabel 5.1 Fordeling af udgifter til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelse på Nordfyn, kr. I alt 39,2 million kr.

Der er brugt mere end dobbelt så mange penge på skråningsbeskyttelse i forhold til sandfodring, som er de to kystbeskyttelsestiltag, der fokuseres på i dag, se Tabel 5.1.

Udgifterne til sandfodring er forholdsvis jævnt fordelt over årene siden 1999 og der foretages i dag vedligeholdelsesfodring med cirka 4 års interval med 70.000m³. Det forventes, at vedligeholdelse af strandene med sandfodring fortsætter på samme niveau fremover.

Der er etableret nye bølgebrydere på tre udsatte strækninger. Omlægning af høfder og bølgebrydere vurderes at kunne medvirke til at reducere behovet for vedligeholdelsesfodringer fremover og vil samtidig forøge den rekreative værdi af kysten. Udgifterne til vedligeholdelse af høfder og bølgebrydere kan også komme til at afhænge af omfanget af isskrudninger og storme.

6 Kystteknisk evaluering og sammenfatning

6.1 Anlægsarbejder

Som udgangspunkt er stranden på Nordfyn beskyttet af et gammelt hofdefelt, som strækker sig langs hovedparten af projektområdet. Høfderne ligger med cirka 75m mellemrum og strækker sig 30m ud i vandet fra skråningsfoden. Derudover er baglandet beskyttet af diger og forskellige typer skråningsbeskyttelse.

Der blev for at genopbygge sandstrandene foretaget en relativ stor initial fodring på 113.000m³, da man begyndte med sandfodring i 1999. Herefter er der foretaget vedligeholdelsesfodringer med 2 til 4 års mellemrum med cirka 70.000m³. Vedligeholdelsesfodringerne modsvarer underskuddet i sedimentbudgettet på cirka 18.000m³/år. Generelt er fodringerne udført i den vestlige halvdel af projektstrækningen på strategisk udvalgte strækninger, hvor behovet for sandfodring har været størst.

Det har vist sig, at sandfodring alene ikke har været tilstrækkeligt til at opretholde en acceptabel strandbredde ved en række kystfremspring. Der er derfor anlagt nye bølgebrydere for at stabilisere sandstranden på udsatte lokaliteter.

Skråningsbeskyttelserne langs kysten er løbende blevet vedligeholdt. COWI har kun været involveret i en mindre del af disse arbejder, som er udført direkte af en lokal entreprenør. I 2006 blev kysten ramt af en storm fra nord, som i kraft af et ekstremt højvande resulterede i betydelige skader på skråningsbeskyttelserne langs kysten. Ifølge kystlaget er 90% af skråningsbeskyttelserne langs kysten blevet repareret/genopført i 2007 til 2009.

6.2 Historisk kystudvikling

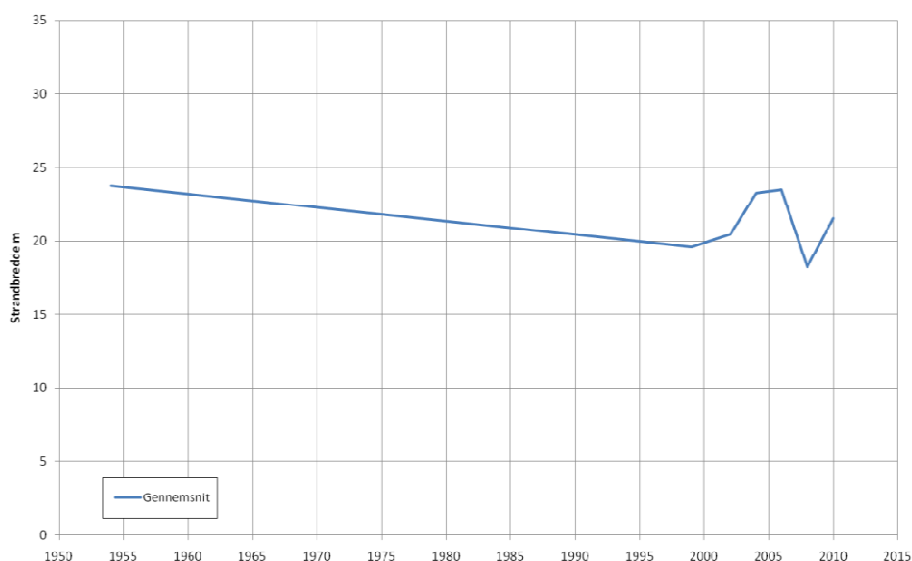
Figur 6.1 viser den gennemsnitlige kystudvikling lange hele projektområdet mellem Egebjerggård og Erikshåb i perioden 1954 og 2010 målt som bredden af stranden mellem skråningsfoden i 2010 og vandlinjen de enkelte år.

Figuren viser, at stranden generelt er eroderet tilbage mellem 1954 og 1999. Den gennemsnitlige strandbredde blev i perioden reduceret fra 25 til 20 m. Stranden var dog betydelig smallere på udsatte strækninger.

Efter sandfodringerne i 1999, 2001 og 2005 er strandbredden i gennemsnit vokset med 4 m.

I 2006 blev kysten ramt af en kraftig storm, som har medført betydelig erosion langs størstedelen af kysten og stranden er derfor rykket tilbage.

Senest er bredden af strande øget igen, men har endnu ikke nået den bredde der var før stormen i 2006.



Figur 6.1 Historisk udvikling af den gennemsnitlige strandbredde langs hele kysten

Samlet set viser analysen, at erosionen af stranden langs kysten er stoppet ved hjælp af sandfodringerne og at stranden gradvist bliver bredere. Dog varierer strandens bredde betydeligt som følge af stormaktiviteten og vandstanden på de analyserede luftfoto har også betydning.

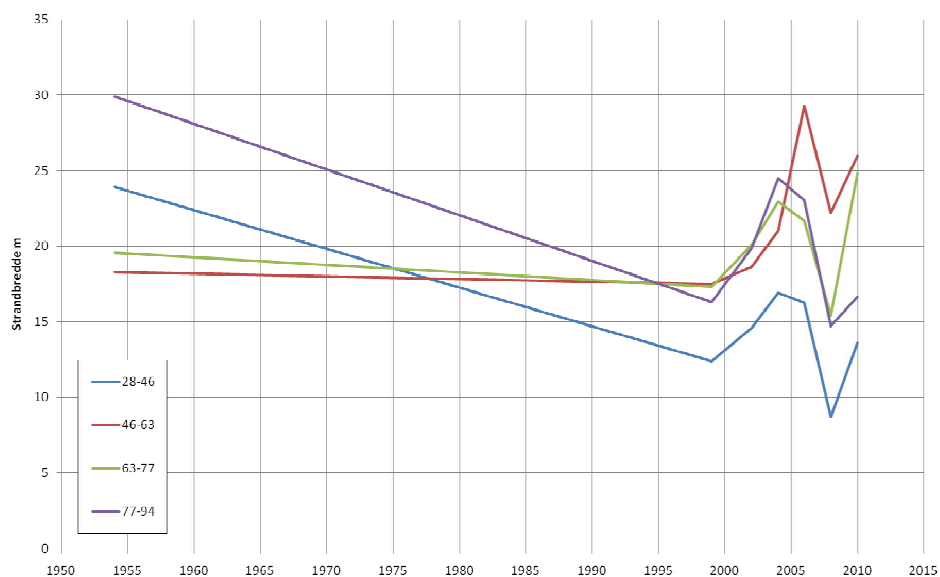
Generelt er der nu en attraktiv bred sandstrand på hele projektstrækningen mellem Egebjerggård og Erikshåb.

Figur 6.2 og Figur 6.3 viser den gennemsnitlige kystudvikling langs en række delstrækninger, der er adskilt af større eller mindre kystfrespring. Figur 6.2 viser udviklingen mellem Egebjerggård og Kristiansminde.

Figuren viser, at kysten eroderede kraftigt tilbage ved Egebjerggård mellem 1954 og 1999, Højde 28 til 46. Der er blevet sandfodret flere gange på strækningen, hvilket har genskabt en bred strand.

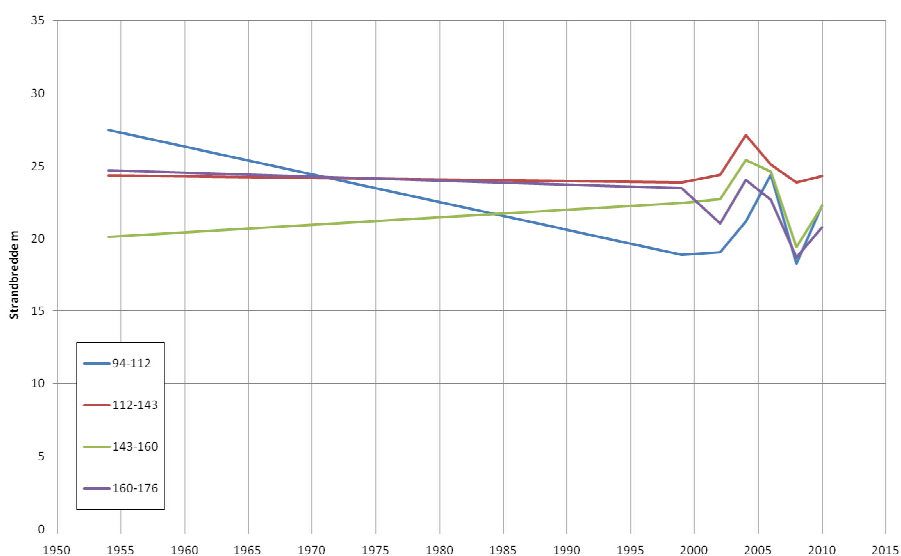
Ved Tørresø blev der tidligt etableret bølgebrydere og høfder, som reducerede kysterosionen allerede i perioden 1954 til 1999, Højde 46 til 77. Denne strækning har nu opnået en bred sandstrand som følge af sandfodringerne, som er udført her.

Vest for Kristiansminde er kysten eroderet betydeligt tilbage mellem 1954 og 1999, Høfde 77 til 94. På trods af at der ikke er fodret betydeligt på denne strækning, viser analysen, at stranden alligevel er blevet bredere her i perioden 1999 til 2006. Dette vurderes at skyldes den kystparallelle nettotransport fra vest. Sandfodringerne vest for kommer således nabostrækningen mod øst til gode.



Figur 6.2 Historisk udvikling af den gennemsnitlige strandbredde langs den vestlige del af projektstrækningen

Figur 6.3 viser den gennemsnitlige kystudvikling øst for Kristiansminde.



Figur 6.3 Historisk udvikling af den gennemsnitlige strandbredde langs den østlige del af projektstrækningen

Kysten er eroderet meget tilbage øst for kystfremspringet ved Kristiansminde. Der er blevet foretaget sandfodringer her og etableret nye bølgebrydere, hvilket har stabiliseret stranden og derved stoppet kysttilbagerykningen, Høfde 94 til 112.

Mellem Jørgensø og Erikshåb er der ikke foretaget strandfodring eller etableret nye bølgebrydere. Det skyldes, at høfderne langs kysten generelt er effektive og at stranden er attraktiv og bred de fleste steder. Der er dog blevet etableret nye skråningsbeskyttelser på en række delstrækninger. Kysten ligger øst for de strækninger der er blevet strandfodret og sandet vil derfor naturligt vandre langs kysten mod øst og derved sikre et fremtidigt tilskud af sand, som medvirker til at opretholde stranden ned mod Erikshåb.

Kysten ved Jørgensø er blevet lidt bredere i perioden mellem 1999 og 2006, Høfde 112 til 143, se Figur 6.3. Dette vurderes at skyldes, at der har været en positiv effekt af sandfodringerne i Kristiansminde.

Kysten i Hasmark ser ud til i gennemsnit at være blevet bredere i perioden mellem 1954 og 1999, Høfde 143 til 160. Også i Hasmark ses en forøgelse af bredden af stranden i årene 2000 til 2006.

Herefter ses en betydelig kysttilbagerykning både ved Jørgensø og Hasmark mellem 2006 og 2008 og efterfølgende genopbygning frem mod 2010.

Den positive gennemsnitskystudvikling i Hasmark ses som tegn på, at der er et forøget tilskud af sand fra vest, som sandsynligvis skyldes, at sandet fra sandfodringerne er nået til Hasmark.

Der er som det eneste sted på kysten fundet en signifikant kysterosion over de seneste år ved Erikshåb, Høfde 160 til 176, Figur 6.3.

Kysterosionen ved Erikshåb skyldes sandsynligvis, at der er en reduceret tilførsel af sand fra vest, og at høfderne ikke kan fastholde det sand der ligger på stranden nu.

Billederne fra kystinspektionerne viser, at der nu er kommet mere sand på stranden øst for Erikshåb. Dette indikerer, at sandet er begyndt at vandre ud af projektområdet og videre ud mod Enebærødder og at denne strækning har oplevet en forøget tilførsel af sand, som sandsynligvis skyldes sandfodringerne i den vestlige del af projektstrækningen. Generelt bliver fodringssandet på stranden og på lavt vand og er dermed til gavn i mange år selv om det med tiden spredes ud langs kysten og har tendens til at aflejres på beskyttede strækninger. På meget lang sigt vil sandet passere Enebær Odde og ende ude i sejlrenden til Odense Havn med den nuværende konfiguration af konstruktioner langs kysten.

6.3 Storme

I 2006 blev kysten ramt af en kraftig storm fra nord. Stormen medførte et højvande på +1,74m ved Gabet, som ligger i Odense Fjord. Det svarer ifølge KDI til en 50 års hændelse, se ref. /11/.

Det vurderes, at den kraftige storm i november 2006 er årsagen til, at stranden generelt er eroderet kraftigt tilbage mellem 2006 og 2008 på hele projektstrækningen.

I forbindelse med en storm transporteres sandet både langs med kysten, men også vinkelret på kysten ud på revlerne, hvor bølgerne bryder. Sandet vender dog normalt senere tilbage til stranden igen i forbindelse med mere normale vejr- og vandstandsforhold. En del af opbygningen af stranden i 2010 vurderes at skyldes, at bølgerne langsomt bringer sandet tilbage til stranden, som blev eroderet i forbindelse med stormen i november 2006. Det kan tage nogle år før det meste sand er transporteret ind på stranden igen efter en ekstrem storm som den i november 2006.

Stranden er generelt forholdsvis bred i området. Erosion i skråningerne forekommer derfor generelt kun i forbindelse med ekstreme storme. Dette giver mulighed for at der kan etableres vegetation langs bagstranden i perioder, hvor der ikke har været kraftige storme. Vegetationen indikerer, at det er længe siden, at der har været en storm og at stranden er under opbygning.

6.4 Kystfremspring

Der er et en række svagt markerede fremspring på kysten ved Tørresø, Kristiansminde, Jørgensø og Hasmark.

Det har hidtil ikke været muligt ved hjælp af høfder alene at opretholde en attraktiv strandbredde ved flere af kystfremspringene.

Ændringen af kystens orientering medfører, at den kystparallelle materialevandring forøges lidt øst for kystfremspringene, da bølgeindfaldsvinklen her er større.

Det har derfor været nødvendigt at etablere nye bølgebrydere mellem høfderne på de mest kritiske strækninger for at stabilisere stranden og undgå kysterosion.

Desuden er der etableret nye skråningsbeskyttelse flere steder langs digerene for at øge beskyttelsen mod storme og højvande på de udsatte strækninger.

Ved flere af kystfremspringene er der derfor nu mange små konstruktioner, som skæmmer kysten og som flere steder vurderes ikke at fungere optimalt kystteknisk set.

De svagt markerede kystfremspring udgør således en speciel udfordring på kysten på Nordfyn.

6.5 Sandfodringer

Der har været omfattende kysterosion på Nordfyn mellem 1954 og 1999, som har betydet, at sandstranden flere steder er blevet smal og stenet. Erosionen af stranden har betydet, at der er blevet dybere foran diger og skråningsbeskyttelse, hvilket øger påvirkningen af konstruktionerne i forbindelse med storme. Desuden er den rekreative værdi af kysten kraftigt reduceret efterhånden som stranden er forsvundet og kun de gamle stenkonstruktioner ligger tilbage.

Der har derfor været et stort behov for at få genetableret sandstrandene på Nordfyn. Strandfodring er den eneste metode der kan genskabe sandstrandene på denne erosionskyst.

Strandfodringerne har generelt haft en positiv effekt på stranden langs hele projektstrækningen mellem Egebjerggård og Erikshåb. Analyserne viser, at sandfodringerne har forøget strandbredden betydeligt på Nordfyn.

Den kystparallelle materialevandring bevirker, at sandet fra fodringerne mod nordvest spredes ud langs kysten mod sydøst og derved gavner nabostrækningerne, som det blev forudset i kystanalysen i 1998. Den mest langvarige effekt af sandet opnås således ved at strandfodre mellem Tørresø og Kristiansminde. Sandet vil herfra med tiden vandre mod sydøst og derved komme hele projektstrækningen til gode.

Stranden eroderer tilbage efter der er blevet fodret, hvilket skyldes, at kystprofilen tilpasses sin ligevægtsform i bølgebrydningszonen.

6.6 Konstruktioner

Som udgangspunkt er stranden på Nordfyn beskyttet af et gammelt hofdefelt, som strækker sig langs hovedparten af projektområdet. Hofderne ligger med cirka 75m mellemrum og strækker sig 30m ud i vandet fra skråningsfoden. Derudover er baglandet beskyttet af diger og forskellige typer skråningsbeskyttelse.

Stranden mellem hofderne har et savtakket forløb. Dette viser, at bølgerne generelt har et skråt indfald og der er en betydelig nettosandtransport fra vest mod øst. Det forventes derfor, at der ville være en betydelig kysterosion på Nordfyn, hvis ikke der var hofder på hele strækningen.

Det vurderes, at hofdefeltet har hovedansvaret for den brede sandstrand, som findes på en stor del af strækningen og især mellem Jørgensø og Erikshåb, hvor der ikke er blevet fodret og hofderne er i bedst stand. Sandfodringerne bevirker dog, at der løbende tilføres sand som transporteres mod øst og erstatter det tab der hele tiden sker ud af projektområdet mod Enebærødde.

De velfungerende hofder medvirker til at reducere variationen i strandbredden i hele perioden mellem 1954 og 2010. Der er dog langt mellem hofderne nogle steder, hvilket øger risikoen for alvorlig kysterosion lokalt.

Høfderne har ikke været tilstrækkelige til at stabilisere stranden på østsiden af kystfremspringene, som udgør en særlig udfordring på Nordfyn.

Bølgebrydere virker bedre end høfder, når bølgeindfaldsvinklen er større, hvilket ofte er tilfældet på læsiden af kystfremspringene.

Der er derfor anlagt en række bølgebrydere mellem høfderne for at stabilisere stranden på de udsatte strækninger, hvor bølgeindfaldsvinklen er forholdsvis stor og der er en gradient i den kystparallelle sedimenttransport.

De mange små konstruktioner ser ud til at være tilstrækkelige til at opretholde en attraktiv bred strand ved kystfremspringene, men den æstetiske værdi af kysten er dog reduceret i flere tilfælde pga. at de mange små konstruktioner dominerer.

På de lokaliteter, der er blevet opgraderet med bølgebrydere kombineret med strandfodring, er der opnået stabile, brede og attraktive sandstrande.

Kystbeskyttelsen er totalt renoveret ved Nordstrand, hvilket er et eksempel på, hvordan kystbeskyttelsen kan optimeres. Alle gamle konstruktioner er fjernet og bygget om til større bølgebrydere samtidig med, at skråningsbeskyttelsen er renoveret. Endeligt er sandstranden genopbygget med sandfodring. De nye store bølgebrydere forventes at betyde, at vedligeholdelsesfodringerne kan reduceres her fremover, da konstruktionerne holder effektivt på sandet. Desuden opnås den bedste rekreative værdi ved, at der er skabt store åbne sandarealer på strande uden sten.

Fremover kunne man overveje at renovere nogle af nedslidte høfder for at holde på en større del af sandet og derved øge strandbredden yderligere.

6.7 Anlægsomkostninger

Totalt set er der brugt omkring 39 millioner kr. de sidste 15 år på at udbygge og vedligeholde kystbeskyttelsen langs den 11,4 km kyststrækning på Nordfyn. Det svarer til 2,6 million kr/år eller i gennemsnit 230.000 kr/år/km kyst.

Det anslås, at der er omkring 2500 sommerhusejere langs kysten, som bidrager til kystbeskyttelsen. Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag oplyser, at hver enkelt grundejer betaler 1500kr/år til kystbeskyttelse, hvilket ser ud til at være tilstrækkeligt til at dække udgifterne til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelsen set over en årrække.

Der er en kraftig stigning i udgifterne til udbygning og vedligeholdelse af kystbeskyttelsen efter 2006. Dette skyldes primært, at der opstod omfattende skader på eksisterende skråningsbeskyttelse i forbindelse med stormen i november 2006. Ifølge kystlaget er 90% af skråningsbeskyttelserne langs kysten blevet repareret/ genopbygget i 2007, 2008 og 2009.

Der er brugt mere end dobbelt så mange penge på skråningsbeskyttelse i forhold til sandfodring, som er de to kystbeskyttelsestiltag, der fokuseres på i dag,

Udgifterne til sandfodring er forholdsvis jævnt fordelt over årene siden 1999 og der foretages i dag vedligeholdelsesfodring med cirka fire års interval for at modvirke underskuddet i sedimentbudgettet.

Der er etableret nye bølgebrydere på tre udsatte strækninger. Omlægning og vedligeholdelse af høfder og bølgebrydere vurderes at kunne medvirke til at reducere behovet for vedligeholdelsesfodringer fremover og vil samtidig forøge den rekreative værdi af kysten.

Det konkluderes, at kystanalysen i 1998 der konkluderede, at sandfodring ville være den bedste løsning på problemerne på projektstrækningen var korrekt. Det har været muligt ved i middel at fode med ca. 18000m³ sand årligt, at fastholde brede strande på den 11,4 km lange projektstrækning. For at sikre, at der er sandstrand alle steder langs projektstrækningen har det dog vist sig at være nødvendigt på tre lokaliteter at bygge en række kystparallelle bølgebrydere.

7 Referencer

- /1/ COWI. Maj 1998. "Kystteknisk undersøgelse - Nordfyn. Grundlag, handlingsplaner og projektforslag." Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /2/ COWI. Oktober 1999. "Strandfodring - Nordfyn. Som udført." Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /3/ COWI. September 2000. "Strandfodring - Nordfyn. Foreløbig plan for vedligeholdelsesarbejde." Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /4/ COWI. December 2000. "Strandfodring - Nordfyn. Opfølgning på plan for vedligeholdelsesarbejde." Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /5/ COWI. Marts 2003. "Visuel inspektion og projektforslag" Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /6/ COWI. Marts 2004. "Etablering af bølgebrydere - Udbudsdokumenter" Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /7/ COWI Juni 2004. "Visuel inspektion og forslag til strandfodring" udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /8/ COWI. November 2005. "Vedligeholdelsesfodring - Nordfyn. Som udført." Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /9/ COWI. September 2006. "Visuel inspektion og projektforslag". Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /10/ COWI. Marts 2009. Etablering af bølgebrydere og skræntfodsbeskyttelse, Udbudsdokumenter. Udarbejdet for Det Nordfynske Kystsikrings-, Dige- og Pumpelag.
- /11/ Kystdirektoratet. 2007. Højvandsstatistikker 2007, Extreme sea level statistics for Denmark.

8 Appendiks 1 - Tegninger