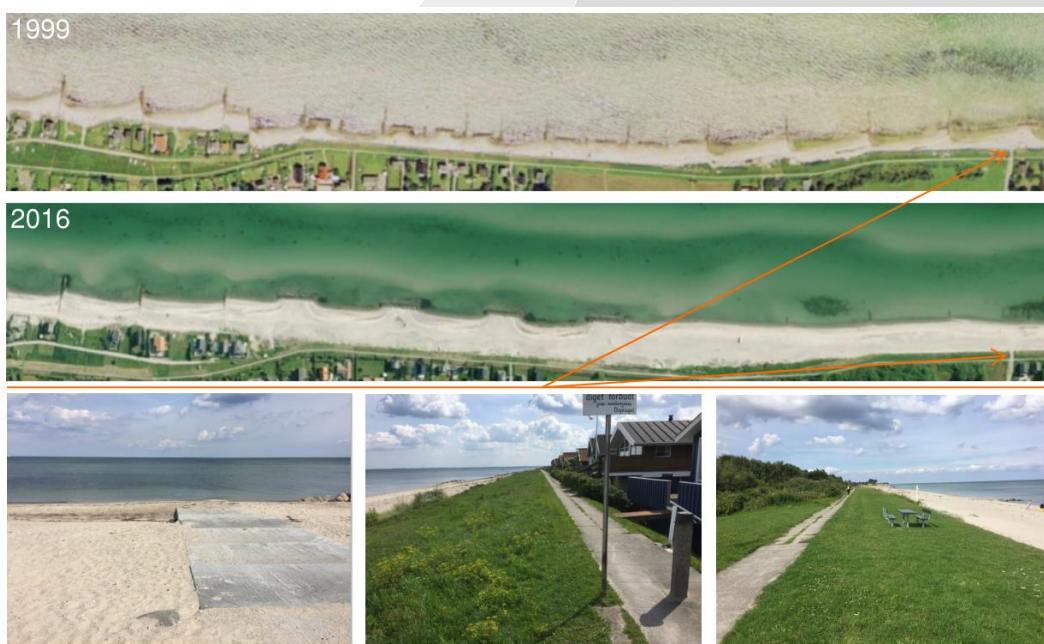


SEPTEMBER 2017
DET NORDFYNSKE KYSTSIKRINGS-, DIGE- OG PUMPELAG

REVURDERING AF KYSTBESKYTTELSES- STRATEGI FRA 1997

RAPPORT



Tørresø Østre Dige

SEPTEMBER 2017
DET NORDFYNSKE KYSTSIKRINGS-, DIGE- OG PUMPELAG

REVURDERING AF KYSTBESKYTTELSES- STRATEGI FRA 1997

RAPPORT

PROJEKTNR.

A099040-002

DOKUMENTNR.

1

VERSION

2.0

UDGIVELSESdato

20. september
2017

BESKRIVELSE

Rapport

UDARBEJDET

ASHN/HSV

KONTROLLERET

OJJ

GODKENDT

HSV

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Resumé	10
3	Historik	12
3.1	Resumé af anbefalinger/strategi fra 1998	12
3.2	Gennemførte anlæg og sandfodringer	13
4	Strandprofiler og inspektion i august 2017	15
4.1	Flyvesandet	15
4.2	Egebjerggård og Lillemose	17
4.3	Tørresø vestre dige	20
4.4	Mellem Tørresø vestre og østre diger	20
4.5	Tørresø østre dige	22
4.6	Mellem Tørresø og Jørgensø diger	25
4.7	Jørgensø dige (Kristiansminde)	26
4.8	Mellem Jørgensø og Hasmark diger	28
4.9	Hasmark vestre dige	29
4.10	Hasmark mellemstrækningsdige	30
4.11	Mellem Hasmark mellemstrækningsdige og østre dige	33
4.12	Hasmark østre dige	35
4.13	Hasmark østre dige og øst herfor	37
4.14	Strækning øst for Hasmark østre dige	37
4.15	Vurdering af virkning af gennemførte anlæg og sandfodring fra 1999 til 2017	38
5	Vandstand de næste 25 år	41
5.1	Tidevand og ekstrem vandstand	41
5.2	Eustatisk havspejlsstigning	43
5.3	Isostatisk landhævning	44

5.4	Designvandstand ved Nordfyns kyst	45
6	Konklusion og anbefaling	46
6.1	Sandfodring	47
6.2	Kystbeskyttelseskonstruktioner	48
7	Referencer	50

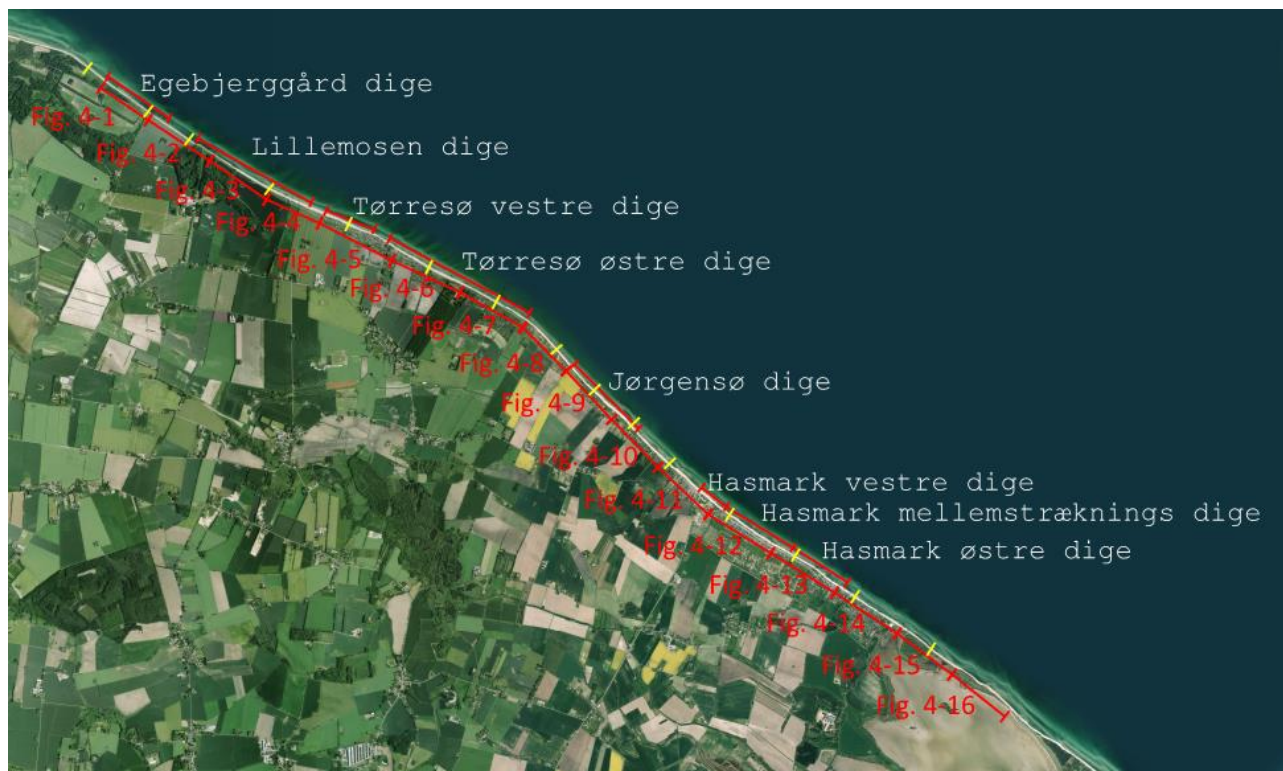
BILAG

Bilag A	Strategi fra 1998	51
Bilag B	Udvikling af kystprofil ved anlagte bølgebrydere	52

1 Indledning

Det Nordfynske Kystsikrings-, dige- og pumpelag (Digelaget) indbød i august 1997 COWI A/S til udførelse af en kystteknisk undersøgelse af Digelagets 13 km lange strækning begyndende med hofde nr. 1 ved Egebjerggård storskov, 585 m vest for skellet mellem matrikel 1a og 1h af Egebjerggård hovedgård (ved Flyvesansvej) til Erikshåb (Egebjerggård dige til øst for Hasmark østre dige), se Figur 1-1. Det oprindelige projekt for kystbeskyttelse af denne strækning blev udført i tidsrummet oktober 1997 til maj 1998. Dette blev udført på foranledning af kysttilbagerykning langs dele af strækningen samt ønsket om at gennemføre et samlet projekt for denne kyststrækning. Mange af de faste kystsikringsanlæg, hofder og bølgebrydere, var beskadigede og der var bekymring for større mængder bølgeoverskyl på udvalgte strækninger. Grundet de flere tusinde sommerhuse på strækningen, hvoraf en del ligger helt ud til kysten og digerne, vil stort bølgeoverskyl i stormsituationer kunne medføre oversvømmelse bag diget og på visse udsatte steder digebrud.

Projektet i 1997/98 konkluderede, at den bedste strategi for strækningen, med en horisont på ca. 20 år, var sandfodring samt i begrænset omfang faste konstruktioner på enkelte særligt udsatte delstrækninger. Denne strategi blev udført, og er løbende fulgt op med vedligeholdelsessandfodringer, samt bygning af bølgebrydere på et par steder.



Figur 1-1 Oversigtskort over strækningen, som strækker sig fra Egebjerggaard dige til Hasmark østre dige. De relevante diger er navngivet og strækninger på figurer i afsnit 4 er markeret med rødt. Gule markeringer referer til opmålte profiler, markeret i afsnit 4.

Der er nu gået 20 år siden vedtagelsen og igangsættelsen af helhedsplanen, og formålet med nærværende kysttekniske undersøgelse for den 13 km lange strækning er at genbesøge den 20 år gamle strategi fra 1998 for kystbeskyttelsen. Undersøgelsens hovedformål er således, at vurdere om strategien stadig er optimal, dvs. om de tiltag der er gennemført og løbende foretages, er tilstrækkeligt for de næste 25 år, eller om strategien skal ændres og/eller noget tilføjes. Det vil således vurderes om der f.eks. er behov for øgede fodringsmængder og/eller nye parallelværker (bølgebrydere).

Der er af COWI sammen med Mogens Stougaard, repræsentant for Digelaget, foretaget inspektion af relevante dele af den 13 km lange kyststrækning (*projektstrækning*). Der er endvidere indsamlet oplysninger fra Digelagets historik. I den forbindelse er der foretaget droneoverflyvning af hele projektstrækningen, som tilsammen med landmåling etablerer nutidige strandprofiler på selv samme positioner som rapporteret i 1998, (COWI A/S, Maj 1998). Der er endvidere udført en overordnet vurdering af fremtidige vandstande på baggrund af de seneste rapporterede generelle anbefalinger fra Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Kystdirektoratets anbefalinger og højvandsstatistik samt in-house analyser.

Der blev i 1998 på strækningen registreret 173 høfder, 52 bølgebrydere og ca. 10 km dige. I perioden siden 1998 er der sandfodret 5 gange, i alt med ca. 420.000 m³. Der blev initialfodret med 113.000 m³ og herefter er der i gennemsnit fodret med ca. 18.000 m³ pr. år. Derudover er der etableret flere bølgebry-

dere langs projektstrækningen, navnlig ved Nygårdsvej, Kristiansminde og Nordstranden.

2 Resumé

Der er i 2017 foretaget en revurdering af den i 1998 udarbejdede strategi for kystbeskyttelse på den 13 km lange kyststrækning omfattet af projektet. Denne revurdering har til formål at undersøge om strategien virker som forudsat da den blev iværksat, og desuden at udarbejde en anbefaling for en fortsat strategi med en tidshorisont på ca. 25 år.

Undersøgelsen har omfattet et genbesøg af strategien, samt en registrering af hvad der er foretaget i de ca. 20 år siden strategiens anbefalede tiltag blev påbegyndt. Der er endvidere nu i 2017 foretaget en inspektion af udvalgte strækninger af kysten, samt opmåling af de samme strand/kystprofiler som blev opmålt før fodringen i 1999.

Som anbefalet i strategien fra 1998 er der foretaget en initialfodring med sand, samt løbende vedligeholdelse med sandfodring ca. hvert fjerde år med en mængde svarende til ca. 18.000 m³/år. Derudover er der på særligt udsatte strækninger anlagt bølgebrydere.

Undersøgelsen viser, at strategien stort set har virket som forudsat, da langt hovedparten af kyststrækningen har oplevet, at kystlinjen enten er rykket frem eller er i status quo i forhold til 1999. Kun på enkelte korte strækninger er kystlinjen rykket tilbage.

Det anbefales derfor, at nuværende strategi fortsættes med primær fokus på sandfodring, samt at der udbygges med få nye bølgebrydere på enkelte lokaliteter, hvor erfaringen viser, at det alene med sandfodring er svært at fastholde eller fremrykke kystlinjen.

Vandstanden i havet er stigende, og man må ved Nordfyn forvente en stigning på i alt ca. 10 cm i løbet af de næste 25 år. Ved løbende at sandfodre, med lidt større mængder end i dag, kan man løfte kystens niveau så den følger med vandspejlsstigningen, hvorfor kysten stort set vil være ligeså udsat under storme indenfor de næste 25 år som i dag. Således anbefales at der fortsat fodres og for at sikre, at der på hele projektstrækningen ikke sker tilbagerykning af kystlinjen i løbet af de næste 25 år, og at sandfodringsmængden i middel forøges med ca. 6.000 m³/år til ca. 24.000 m³/år.

Digerne og bølgebryderne har, modsat kysten der sandfodres, en fast kronekote og vil derfor med tiden blive relativt lavere i forhold til middelvandstanden. Dette vurderes ikke at udgøre et problem for bølgebryderne der tåler overskyl, mens det for de mest udsatte strækninger af digerne kan medføre at bølgeoverskyllet bliver uacceptabelt i en storm med høj vandstand. Det anbefales derfor, at der foretages en mere detaljeret vurdering af de mest udsatte af disse digestrækninger, f.eks. mellemstrækningsdiget, for endelig vurdering af situationen; og hvad der kan/bør gøres og med hvilken tidshorisont.

I afsnit 6 gives en detaljeret gennemgang af hvilke konstruktioner der anbefales etableret/opgraderet samt hvilke strækninger der bør prioriteres i forbindelse med fortsat sandfodring.

3 Historik

3.1 Resumé af anbefalinger/strategi fra 1998

Der blev i rapporten vedr. strategien for Nordfyns kyst i 1998, (COWI A/S, Maj 1998), anbefalet en række tiltag for at imødekøbe det årlige sedimenttab, der blev vurderet til ca. 18.000 m³. Den resulterende sedimenttransport er mod sydøst. Projektet omfattede først en større initialfodring og derefter løbende vedligeholdelsessandfodring hvert andet år med den dobbelte mængde primært i den nordvestlige del af projektstrækningen. Herfra vil sandet naturligt transporteres mod sydøst og komme hele projektstrækningen til gode. Prisen for sandfodring blev vurderet til ca. 1 million kr./år.

Det blev anbefalet at diget ved Hasmark mellemstrækning blev forstærket da det var særligt udsat med en kronekote på +2,7 m, og således ikke tilstrækkeligt til at kunne modstå en 50 års storm. Derfor anbefalede COWI en forøgelse af digets kronekote eller placering af stenkastning på digets forside.

Udover strandfodring med sand, der på længere sigt kan have positiv indflydelse på hele projektstrækningen, foreslog COWI en prioritering af en forstærkning af kysten alle steder, hvor der var bagvedliggende lave områder med kote mindre end +1,5 m. Dette skulle forhindre skader på de mange sommerhuse der befinder sig bag digerne i stormsituationer.

Dette gælder ved Tørresø og Kristiansminde ved fjernelse af eksisterende konstruktioner og bygning af 50 m lange bølgebrydere ca. 50 m fra stranden. Der skulle derpå fyldes op med sand bag konstruktionerne, så læsideerosionen minimeredes. Planen opererede med en standard bølgebryder anlagt med 150 m mellemrum. Dette blev ikke gennemført.

Første skridt i handlingsplanen omfattede strandfodring ved Have-skov/Egebjerggård samt en forstærkning af diget ved Hasmark. På de strækninger hvor der blev bygget nye bølgebrydere fjernedes eksisterende høfder og bølgebrydere, og materialer kunne genbruges enten til bølgebrydere eller skræntfodssikring. Det blev anbefalet at betonbrokker og resterende dele af

støttemuren ud for Skovmose blev fjernet og indbygget i de nye konstruktioner. Dette blev ikke gennemført.

En oversigtstegning over strategien fra 1998 kan ses i Bilag A.

3.2 Gennemførte anlæg og sandfodringer

Initialfodringen blev udført i 1999. Derefter har sandfodringer til vedligehold fundet sted i perioden 2001 til i dag, gennemsnitligt hvert 4. år. Tabel 3-1 viser en oversigt over sandfodringerne. Rapporten fra 1998, (COWI A/S, Maj 1998), anbefalede at sandfodre med 18.000 m³ årligt, som det fremgår af historikken er dette i gennemsnit blevet fulgt. Der er indtil videre fodret totalt med 417.000 m³ sand langs projektstrækningen.

*Tabel 3-1 Oversigt over sandfodringer fra 1999 til i dag.
Mængden pr. år for år 2013 er regnet med antaget sandfodring i 2017.*

Årstal	Mængde		Totaludgift	Enh.pris	Lokalitet		Længde	Fodr.mgd.
	m ³	m ³ /år	kr	kr/m ³	Navn	Højde nr.	m	m ³ /lbm
1999	113.000	56.500	3.840.000	33,98	Egebjerggaard-Nygaardsvej	27-57	2.260	50,0
2001	79.300	19.825	2.240.000	28,25	Øst for Egebjerggaard-Fruerlandsvej, Plantanvej-Fuglsangsvej, Strøget-Soldalsvej	40-46, 68-80, 105-112	1.945	40,8
2005	64.700	16.175	2.100.000	32,46	Nord for Fruerlandsvej-Nord for Kongshøjsgaardsvej, Præstegyden-Ferievej	43-58, 101-109	1.720	37,6
2009	88.000	22.000	3.130.000	35,57	Syd for Egebjerggaard-Nygaardsvej, Platanvej-Marievænget, Syd for Kristiansminde-Soldalsvej	43-57, 70-76, 104-111	2.140	41,1
2013	72.254	18.064	3.664.880	50,72	Syd for Egebjerggaard-Nygaardsvej, Nordstrandvej-Strandlykkevej	38-54, 70-82	2.050	35,2

Derudover er der etableret nye bølgebrydere ved Nygårdsvej, Nordstranden og Kristiansminde, se Figur 3-1. Bølgebryderne ved Nygårdsvej er etableret omkring 2002-2004. Der blev etableret fire nye bølgebrydere. Bilag B viser udviklingen af kystlinjen ved Nygårdsvej efter etablering af nye bølgebrydere.

Bølgebryderne ved Nordstranden er etableret omkring 2008-2010. Der blev etableret fire nye bølgebrydere. Bilag B viser udviklingen af kystlinjen ved Nordstranden efter etablering af nye bølgebrydere.

Bølgebryderne ved Kristiansminde er etableret omkring 2002-2004. Der blev etableret fire nye bølgebrydere. Bilag B viser udviklingen af kystlinjen ved Nordstranden efter etablering af nye bølgebrydere.



Figur 3-1 *Oversigtsbillede over anlagte konstruktioner langs nordkysten.*

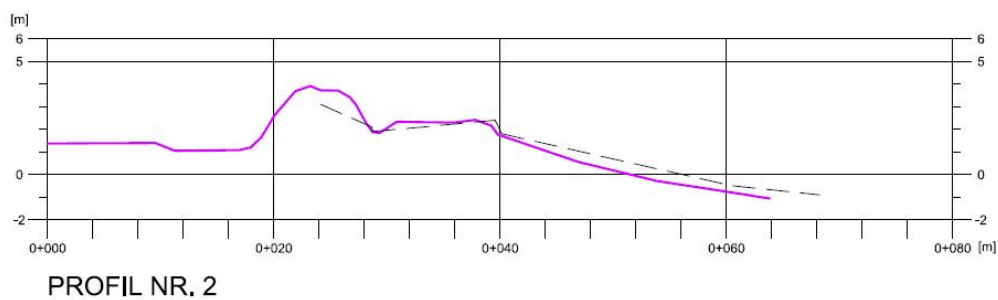
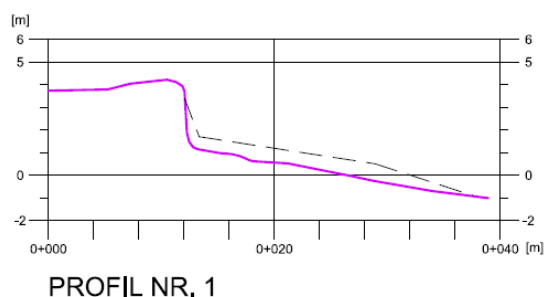
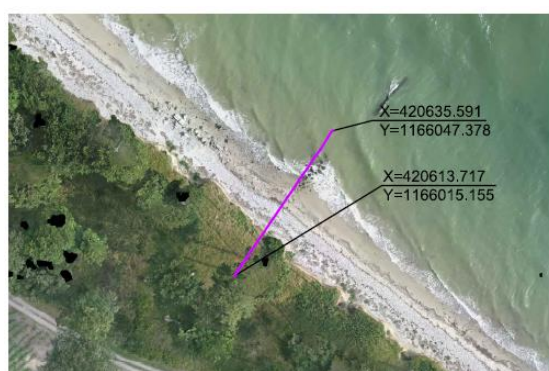
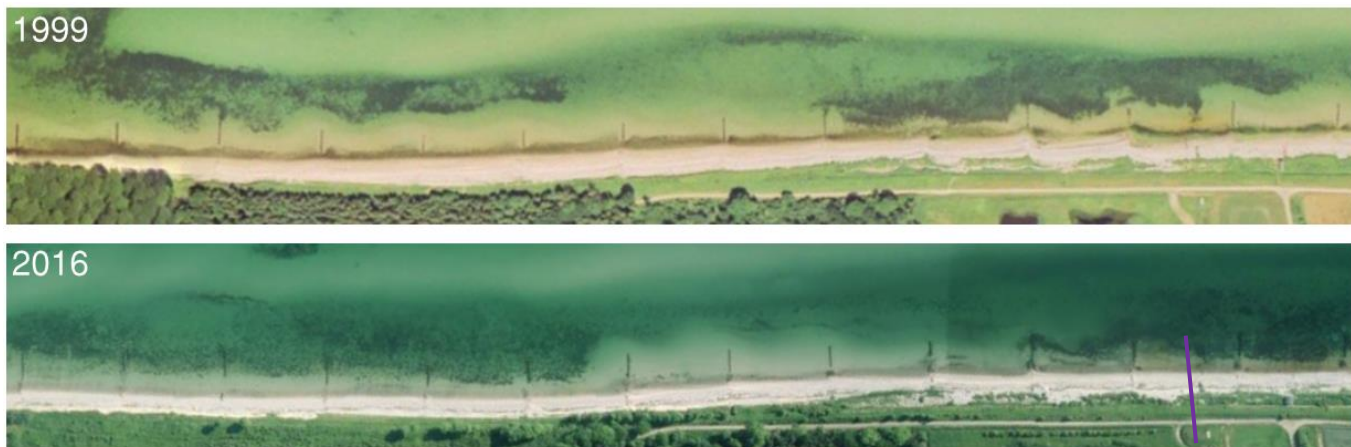
4 Strandprofiler og inspektion i august 2017

I det følgende præsenteres observationerne fra inspektionen foretaget af COWI d. 7 august 2017. Under inspektionen blev de udvalgte delstrækninger besøgt, som Digelaget havde særligt fokus på. Disse delstrækninger blev vurderet og sammen med den nye opmåling, foretaget med drone samt landmåler, giver det basis for den resulterende kysttekniske vurdering. Resultaterne af opmålingen og inspektionen er præsenteret herunder. Der er gjort brug af COWIs overflyvningsfotos, COWI Maps®, som har gjort det muligt at se udviklingen af kystlinjen for hele projektstrækningen fra 1999 til seneste overflyvning i 2016. De præsenterede profiler i hovedrapporten fra 1999, (COWI A/S, Maj 1998), er blevet digitaliseret og sammenlignet med den nye opmåling og vist sammen med overflyvningsfotos. Generelt præsenteres projektstrækningen startende fra Nordvest ved Egebjerggård dige og mod sydøst til Hasmark østre dige.

Til opmålingen af kysten er benyttet en fastvinget drone, som bliver styret fra en bærbar pc fra jorden. Billederne fra dronen er kalibreret og sammen med ortophotos er der udført en fotogrammetrisk højdemodel. Som standard har en droneoverflyvning en middelnøjagtighed på befæstede flader på $Z=5$ cm. De horisontale parametre har en middelnøjagtighed på 3 cm.

4.1 Flyvesandet

På Figur 4-1 ses den nordligste del nord for projektstrækningen ved Flyvesandet (Den gamle Herres Skov) i 1999 og 2016. På denne strækning er de tidligere opførte betonhøfder nedbrudt og kystlinjen er tydelig rykket tilbage fra 1999 til 2016, ca. 5 m eller i middel ca. 0,25 m per år. Øst for Den gamle Herres Skov er de oprindelige betonhøfder fra 1945-1952 nedbrudte i en sådan grad, at der blev etableret stenkastninger langs høfderne for at bibeholde funktionen, se (COWI A/S, Maj 1998). Der er generelt mindre sand på denne strækning, da der ingen sandfodringen har fundet sted her eller vest herfor. Af strandprofilerne, profil 1 og 2, vist på Figur 4-1, bekræftes denne erosion.

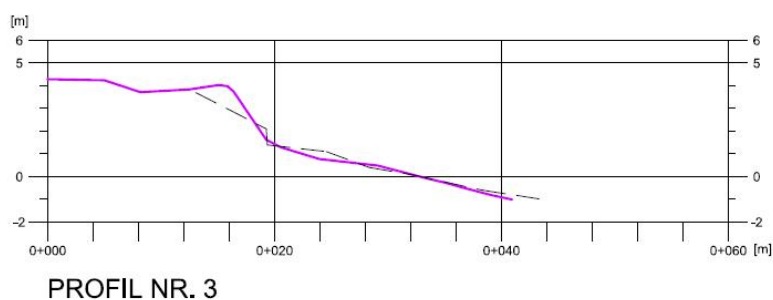
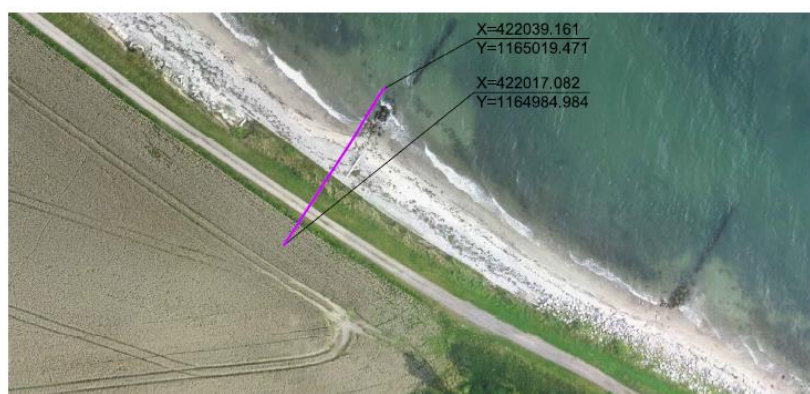
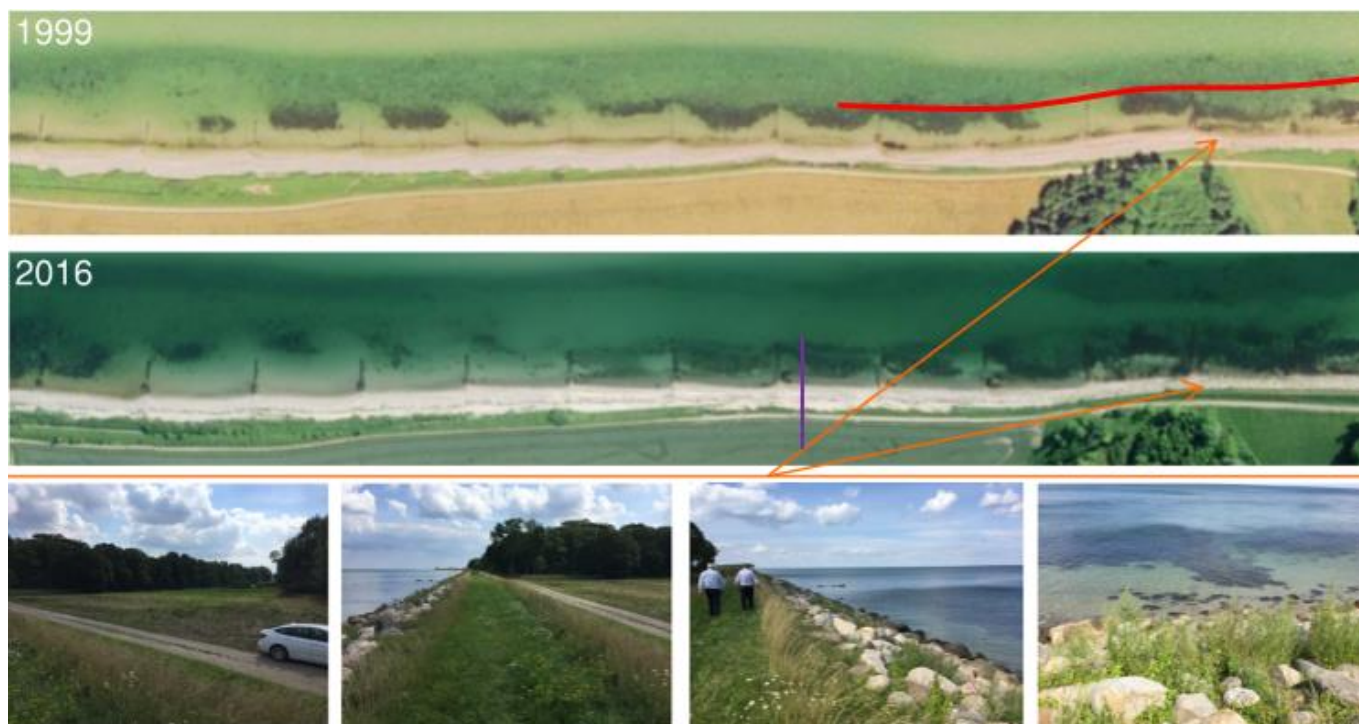


Figur 4-1 Nordlig del af Egebjerggaard dige, kronekote +3,0 m. Strækning ikke besøgt d. 7. august 2017. Profil 1 er nordvest for viste strækning, se oversigt Figur 1-1. Profil 2 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplede sorte kurver på profiler er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

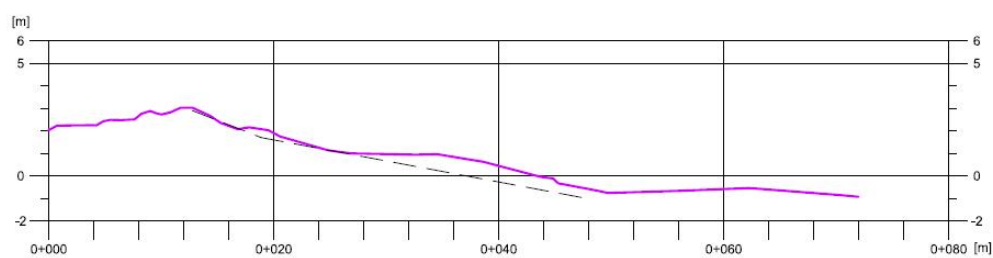
4.2 Egebjerggård og Lillemose

På Figur 4-2 ses strækningen ved Egebjerggaard dige og Lillemose dige, som blev besøgt d. 7. august 2017. Der gælder som for første del af projektstrækningen at sandfodringen ikke er fundet sted langs det meste af denne kyststrækning (alene fodret i 1999 øst herfor), hvorfor der er sket en tilbagerykning af kystlinjen. Profil 3 viser på trods af kun én sandfodring at status quo er bibeholdt i dette snit.

På Figur 4-3 ses strækningen ved Lillemose dige, hvor strækningens vestlige kystlinje har oplevet en tilbagetrækning, pga. manglende sandfodring (kun fodret i 1999). På den østlige del af strækningen (Lillemose dige) er der blevet fodret tre gange i løbet af årene hvilket også kan ses på kystlinjen i dag. Der er her sket en fremrykning af kystlinjen. Fremrykningen af kystlinjen ses tydeligt på Profil 4, hvor der i dag er mere sand samt en bredere strand. Fra Profil 4 kan det ses at kystlinjen er fremrykket ca. 8 m fra 1998 til nu.



Figur 4-2 Egebjerggaard dige til venstre (vest) og Lillemose dige til højre (øst), kronekote +3,0 m. Strækning besøgt d. 7 august 2017. Sandfodring i 1999 markeret med rødt, se Tabel 3-1. Profil 3 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplede sorte kurver på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.



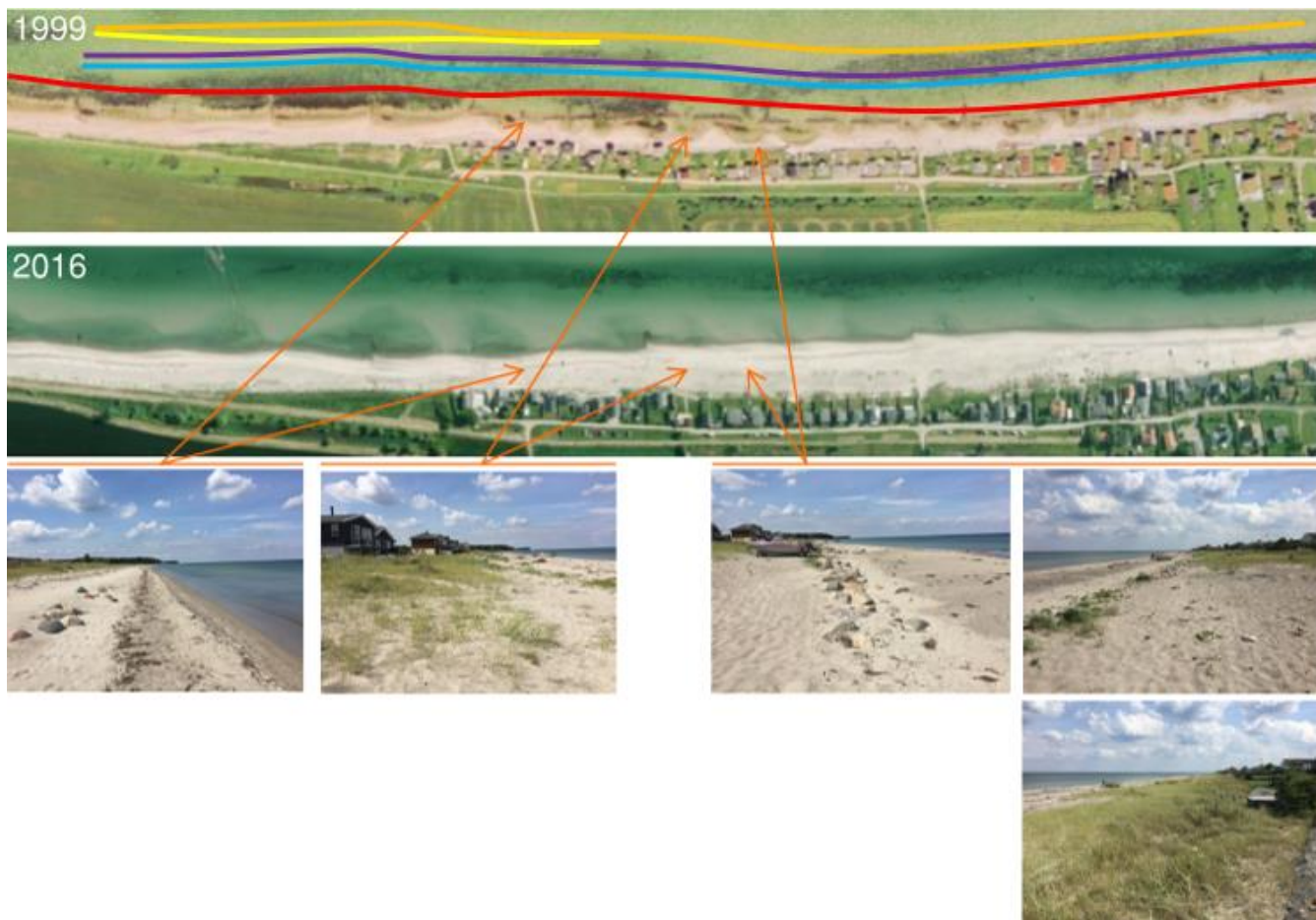
PROFIL NR. 4

Figur 4-3

Lillemose dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Sandfodring i 1999, 2001 og 2013 markeret med rødt, gult og orange, se Tabel 3-1. Profil 4 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplede sorte kurver på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.3 Tørresø vestre dige

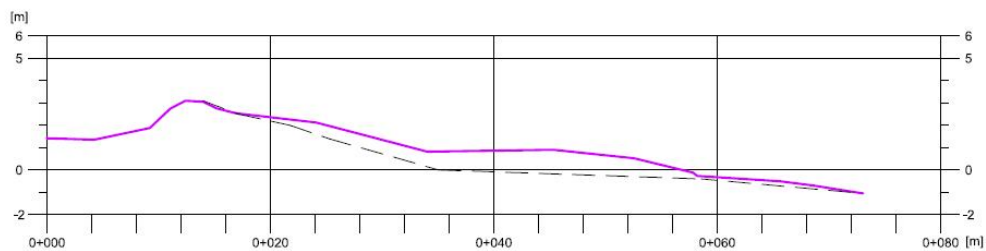
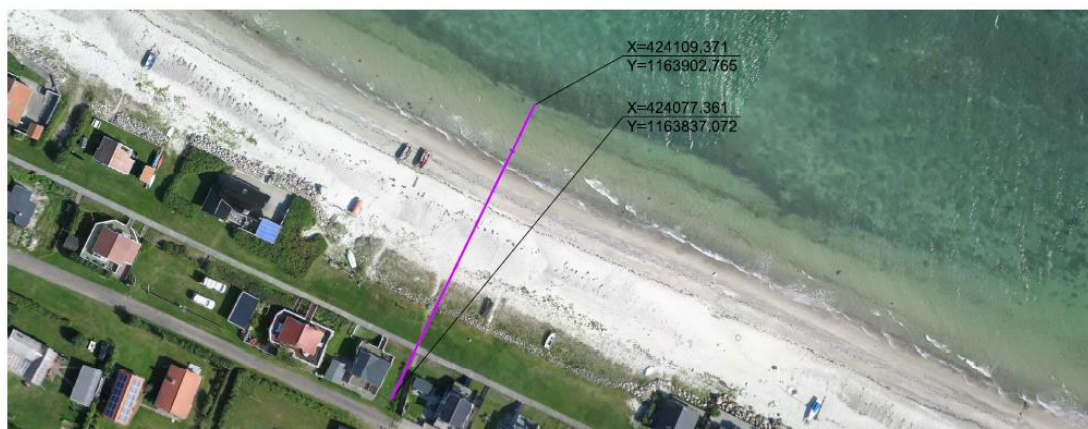
På Figur 4-4 ses strækningen ved Tørresø vestre dige, start af sommerhusområdet. På denne strækning langs kysten var der før 1998 opført bølgebrydere i et forsøg på at fastholde den smalle strand, (COWI A/S, Maj 1998). Disse er stort set nedbrudt i dag. Strandfodringerne i 1999, 2001, 2005 og 2013 har tydeligt fremrykket kystlinjen og sommerhusejerne har i dag en ca. 40 m bred strand. Bugten er fyldt ud med sand fra sandfodringen og kyststrækningen er i dag retlinet. Den første bølgebryder ved Nygårdsvej ses østligst på foto fra 2016.



Figur 4-4 Tørresø vestre dige. Strækning besøgt d. 7 august 2017. Sandfodring i 1999, 2001, 2005, 2009 og 2013 markeret med rødt, gult, blå, lilla og orange, se Tabel 3-1. Starten af bølgebryderne ved Nygårdsvej ses østligt.

4.4 Mellem Tørresø vestre og østre diger

På Figur 4-5 ses strækningen ved Tørresø vestre og østre dige. Her har kystlinjen et naturligt fremspring, hvorfor sandfodringerne vest herfor ikke har bevirket nogen fremrykning af kystlinjen. Umiddelbart vest og øst for fremspringet ses en tydelig fremrykning af kystlinjen. Bølgebryderne ved Nygårdsvej ses mod vest, hvor der i dag er ophobet sand mellem konstruktionerne. Den hyppige sandfodring nordvest for strækningen har tydeligt haft indvirkning på strandprofilet. Profil 5 viser et snit sydøst for bølgebryderne ved Nygårdsvej. Strandprofilet viser at stranden er blevet ca. 25 m bredere sammenlignet med profilet fra 1999.



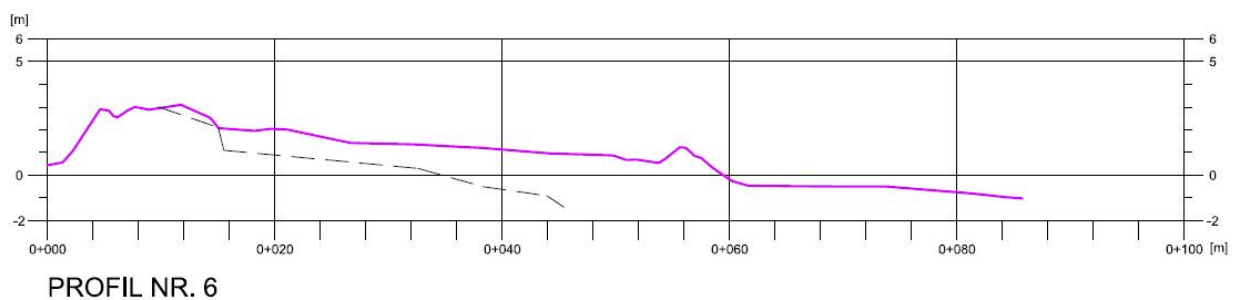
PROFIL NR. 5

Figur 4-5 Tørresø vestre og østre dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Sandfodring i 1999, 2005 og 2009 markeret med rødt, blåt og lilla, se Tabel 3-1. Bølgebrydere ved Nygårdsvej ses mod vest. Profil 5 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplede sorte kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

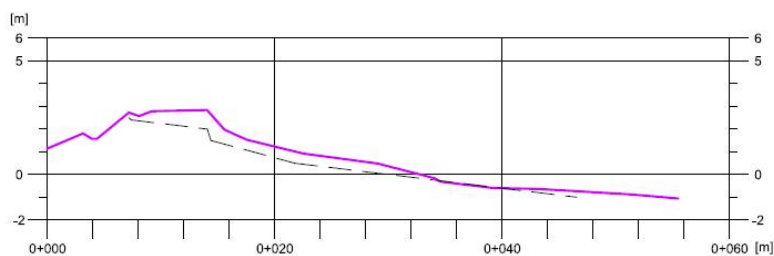
4.5 Tørresø østre dige

På Figur 4-6 ses strækningen ved Tørresø østre dige. Der er på denne strækning sandfodret i 2001, 2009 og 2013. Dette ses tydeligt i dag, hvor kystlinjen er rykket markant frem og i dag er stranden 40-50 m bred. Bølgebryderne ved Nordstrandsvej har store tomboladannelser bagved, og der er i dag sand imellem bølgebryderne. Strandprofil 6 viser, at stranden er blevet 30 m bredere end den var i 1999, samt at store dele af det øvre profil har fået tilført sand.

På Figur 4-7 ses den østlige del af strækningen ved Tørresø østre dige. Her har kystlinjens konvekse form forårsaget en mindre fremrykning af kystlinjen. Der er ikke fodret langs den østlige del af strækningen siden 2001 og 2013. Det ses af Profil 7 at der er tilført sand til den øvre del af profilet og kystlinjen er fremrykket godt 4 m.



Figur 4-6 Tørresø østre dike. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Sandfodring i 2001, 2009 og 2013 markeret med gult, lilla og orange, se Tabel 3-1. Bølgebrydere ved Nordstrandsvej ses centreret på oversigten. Profil 6 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stipleet sort kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.



PROFIL NR. 7

Figur 4-7 Tørresø østre dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Sandfodring i 2001 og 2013 markeret med gult hhv. orange, se Tabel 3-1. Profil 7 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplede sorte kurver på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.6 Mellem Tørresø og Jørgensø dige

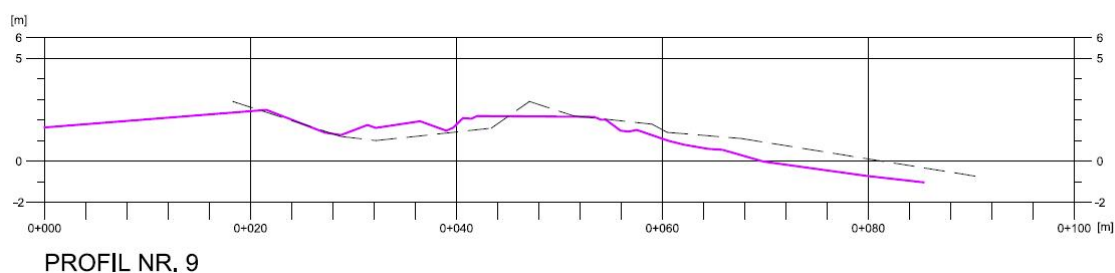
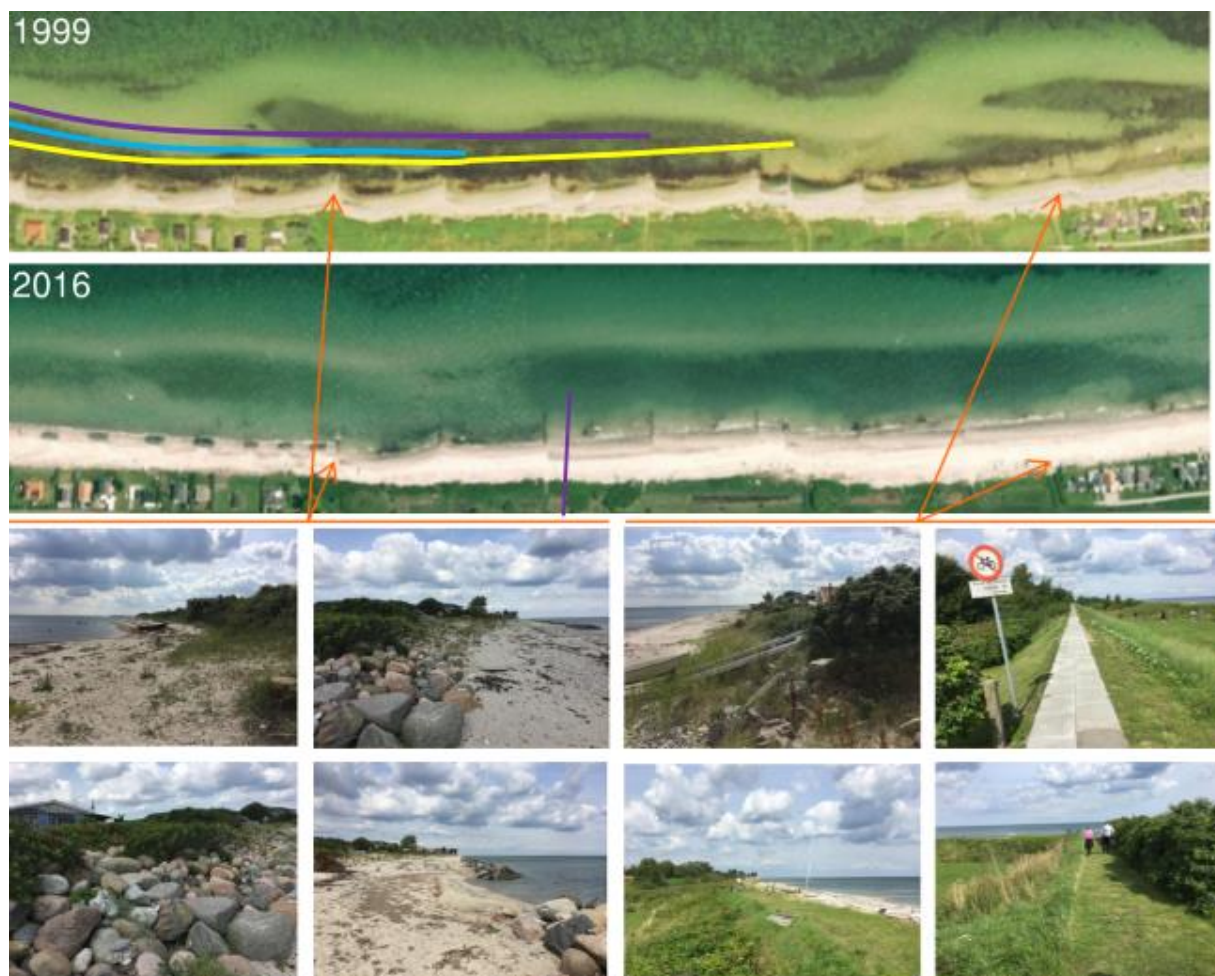
På Figur 4-8 ses strækningen mellem Tørresø og Jørgensø dige. Her gælder der for kystens fremspring at kystlinjen ikke har rykket sig gennem årene siden 1999. På læsiden af fremspringet ved de gamle bølgebrydere er der fyldt ud med sand. Profil 8 viser, at stranden er blevet 20 m bredere sammenlignet med profilet fra 1999.



Figur 4-8 Strækning mellem Tørresø og Jørgensø dige. Strækning ikke besøgt d. 7. august 2017. Sandfodring i 2005 og 2009 markeret med blått hhv. lilla, se Tabel 3-1. Profil 8 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stippet sort kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.7 Jørgensø dige (Kristiansminde)

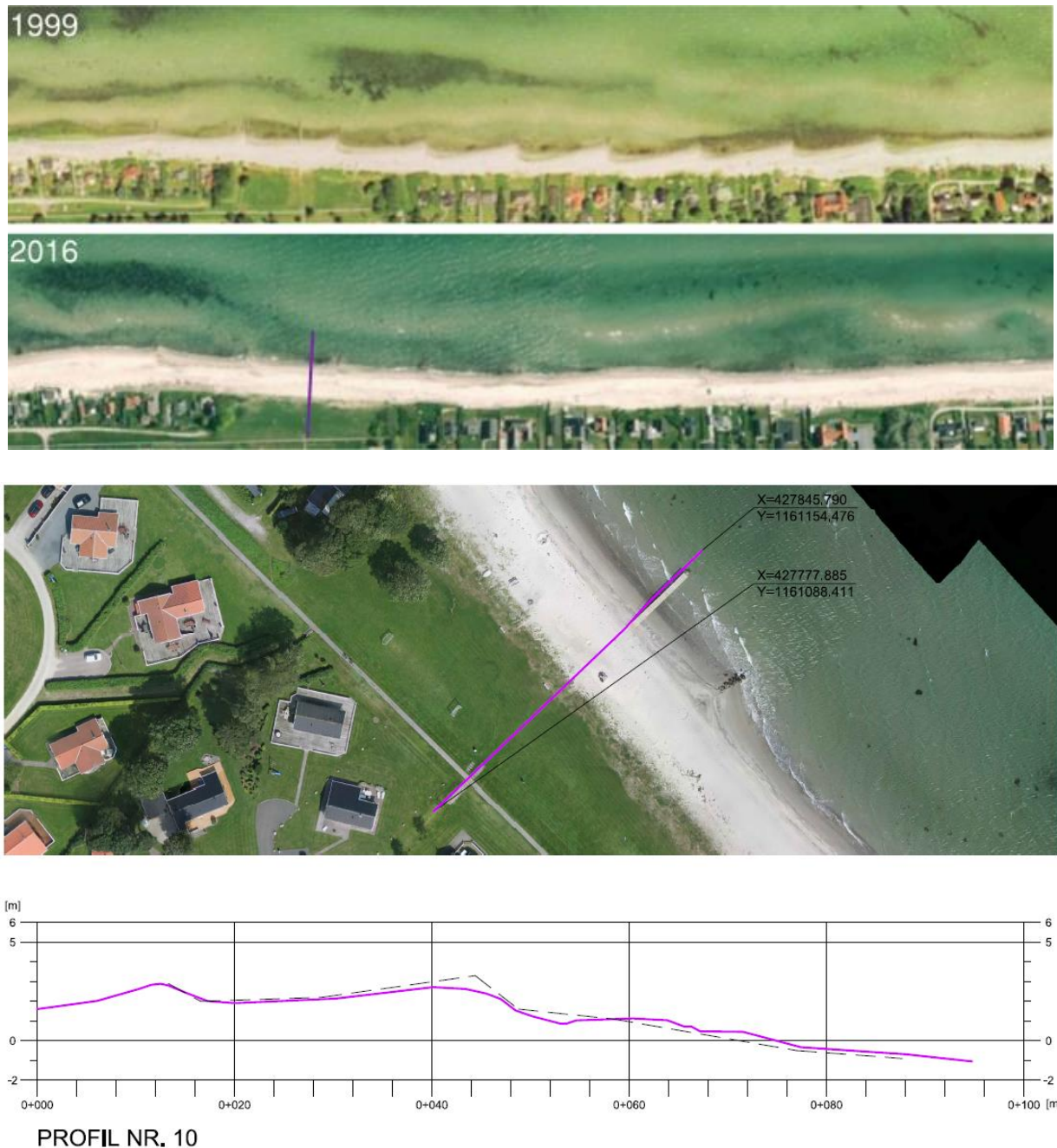
På Figur 4-9 ses strækningen ved Jørgensø dige (Kristiansminde). Her ses bølgebryderne ved Kristiansminde mod vest. Der er akkumuleret sand mellem bølgebryderne, og i dag er kystlinjen på linje med centerlinjen for bølgebryderne. Lige øst for bølgebryderne er der en gammel betenhøfde. Denne giver anledning til læsideerosion; som det ses på Profil 9. Det ses, at østover fra bølgebryderne er kystlinjen fremrykket adskillige meter ved aflejringer af sandfodringsand; og sommerhusejerne har i dag bredere strand sammenlignet med 1999.



Figur 4-9 Jørgensø dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Sandfodring i 2001, 2005 og 2009 markeret med gult, blå og lilla, se Tabel 3-1. Bølgebryderne ved Kristiansminde ses mod vest. Profil 9 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplede sorte kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.8 Mellem Jørgensø og Hasmark dige

På Figur 4-10 ses strækningen mellem Jørgensø og Hasmark dige. Der gælder for denne del af projektstrækningen, at kystlinjen generelt er fremrykket nogle meter som følge af sandfodringen vest herfor. Profil 10 viser, at der er status quo siden opmålingen i 1999, og at der ikke har været større erosion på denne del af projektstrækningen.



Figur 4-10 Strækning mellem Jørgensø og Hasmark dige. Strækning ikke besøgt d. 7. august 2017. Profil 10 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplet sort kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.9 Hasmark vestre dige

På Figur 4-11 ses strækningen ved Hasmark vestre dige. Her er kystlinjen rykket adskillige meter frem på den østlige del af strækningen som følge af sandfodringen, og sommerhusejerne har i dag en 30 m bred sandstrand. Der er kun mindre læsideerosion ved de tilbageværende gamle høfder i. På den vestlige del af strækningen viser Profil 11 at kystlinjens placering er status quo.



Figur 4-11 Hasmark vestre dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Profil 11 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplede sorte kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.10 Hasmark mellemstrækningsdige

På Figur 4-12 ses strækningen ved Hasmarks mellemstrækningsdige. Sandfodringen vest herfor har ikke haft nogen effekt. Stranden er blevet godt 8 m smalere i Profil 12. Det ses, at øst for Profil 12 er strandens bredde bibeholdt. Der er

etableret en rampe ved parkeringspladsen, der giver anledning til læside erosion. Der er fyldt sand på foran Løkkegravene med dozer i forsommeren.



Figur 4-12 Hasmark mellemstræknings dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Profil 12 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stipleet sorte kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.11 Mellem Hasmark mellemstrækningdige og østre dige

På Figur 4-13 ses strækningen ved Hasmark mellemstrækningdige og østre dige, hvor sandfodringen har fremrykket kystlinjen et par meter. Ved knækket på strækningen (øst for parkeringspladsen) ses større læsideerosion. Det ses af Profil 13, at der er akkumuleret sand i nedre del af strandprofilet, og strandens bredde er i dag øget med 12 m sammenlignet med profilet fra 1999.



Figur 4-13 Hasmark mellemstræknings og østre dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Profil 13 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stipleet sort kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.12 Hasmark østre dige

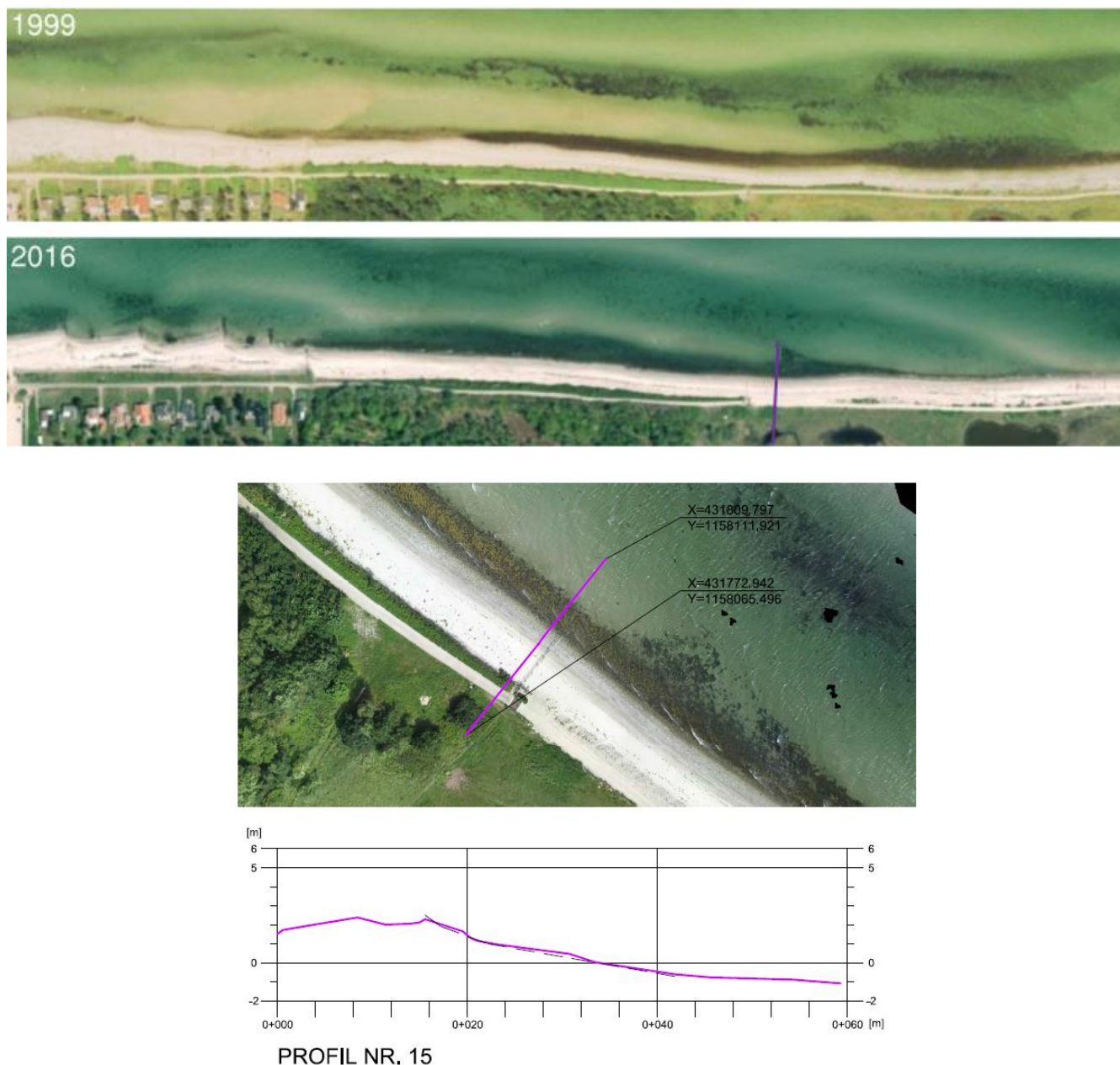
På Figur 4-14 ses strækningen ved Hasmark østre dige. Den vestlige del af strækningen har været stabil siden 1999; mens den østlige del af strækningen har en tilbagerykket kystlinje. Profil 14 viser ved sammenligning status quo dog med en lille erosion.



Figur 4-14 Hasmark østre dige. Strækning besøgt d. 7. august 2017. Profil 14 markeret på 2016-plan med lilla linje. Lilla og stiplet sort kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.13 Hasmark østre dige og øst herfor

På Figur 4-15 ses strækningen ved Hasmark østre dige samt strækningen øst herfor. Der er her sket en mindre tilbagerykning af kystlinjen mod vest, mens strækningen østover har oplevet en fremrykning. Profil 15 fra 2017 sammenlignet med 1999 viser, at kystlinjens placering er status quo, og at der ingen erosion har forekommet på denne del af strækningen.

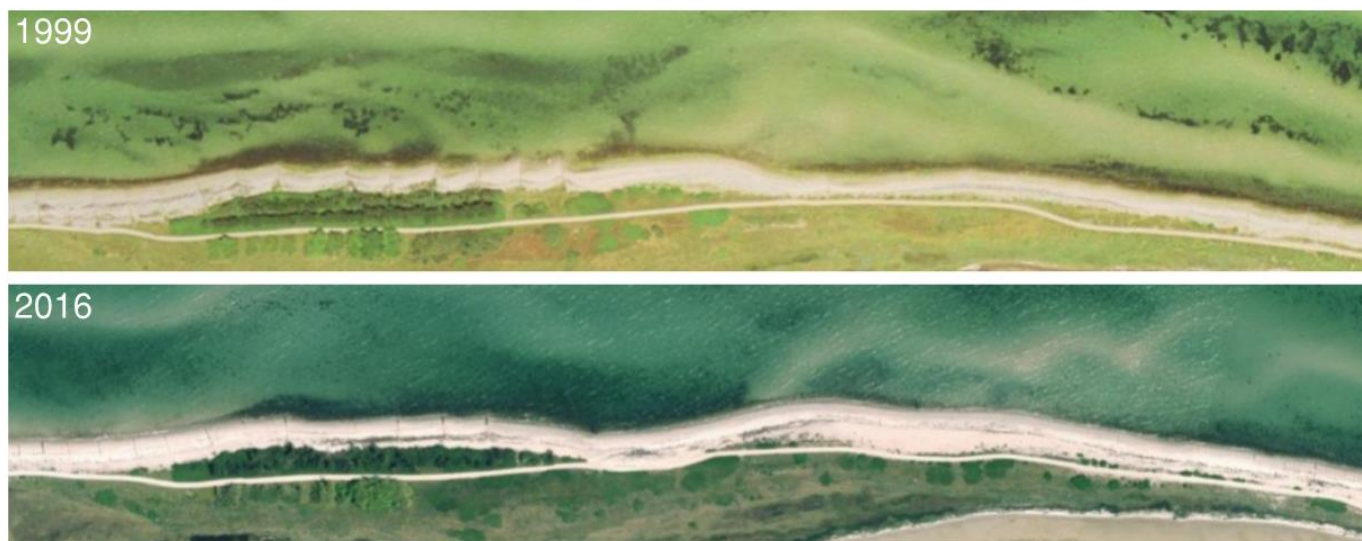


Figur 4-15 Hasmark østre dige samt strækning øst for diget. Strækning ikke besøgt d. 7. august 2017. Profil 15 markeret med lilla. Lilla og stipleet sort kurve på profil er opmåling fra hhv. 2017 og 1999.

4.14 Strækning øst for Hasmark østre dige

På Figur 4-16 ses sidste del af strækningen øst for Hasmark østre dige. Øst for de gamle høfder er der et kystfremspring (1999) der har flyttet sig mod øst

(2016) i løbet af årene. Det har resulteret i, at vejen er blevet flyttet længere ind i land for at undgå erosion af denne. Strandens bredde langs denne strækning er bibeholdt.



Figur 4-16 Strækning øst for Hasmark østre dige. Strækning ikke besøgt d. 7. august 2017.

4.15 Vurdering af virkning af gennemførte anlæg og sandfodring fra 1999 til 2017

Nordlig del af Egebjerggård dige, se Figur 4-1

I projektstrækningens nordvestlige ende ved Egebjerggård dige er der på grund af manglende sandfodring sket en større tilbagerykning af kystlinjen på et par meter, som det fremgår af den seneste opmåling. Den erosion, der har fundet sted, vil også være til stede fremover, og det bør på denne nordligste del af projektstrækningen overvejes om der skal sandfodres for at undgå yderligere tilbagerykning. Det er også tidligere nævnt i Resumé rapporten, se (COWI A/S, Maj 1998) afsnit 9, *Identifikation af indsatsområder og strækninger med kysttekniske problemer*, at hvis der ikke gribes ind, vil kysttilbagerykningen fortsætte og medføre at de store bøgetræer ved den Gamle Herres Skov er truet. Denne delstrækning er dog ikke omfattet af det oprindelige projekt fra 1999. Det ligger vest for Digelagets områder.

Egebjerggård dige og nordligste del af Lillemose dige, se Figur 4-2

Initialsandfodringen, se Tabel 3-1, fandt sted for denne del af strækningen ved Egebjerggård dige. I dag ses, at der sker en tilbagerykning af kystlinjen. Der gælder derfor for denne strækning, som for den nordvestlige del af Egebjerggård dige, at der bør overvejes sandfodring ved start af projektstrækningen. Under inspektionen blev dele af Egebjerggård diges stenkastning vurderet til at have en stejl hældning (1:1-1,5), hvilket eventuelt kan betyde større skader og flytninger af de indbyggede søsten under storme. Det kan forventes ved fremtidige kraftige storme, at der vil være behov for vedligeholdelse af stenkastningen på denne strækning.

Lillemose dige, se Figur 4-3

Den sydøstligste del af Lillemose dige vurderes ikke at skulle prioriteres ved næste sandfodring, da mængden der tidligere er fodret med har betydet en fremrykning af kystlinjen. Den nordvestligste del af Lillemose dige vurderes fremtidigt at skulle sandfodre for at undgå yderligere tilbagerykning af kystlinjen.

Tørresø vestre dige, se Figur 4-4

Ved Tørresø begynder bebyggelsen med sommerhuse. Det vurderes ikke at der skal foretages yderligere sandfodring, ift. den mængde der fodres med i dag, da der på denne strækning er sket en større fremrykning af kystlinjen pga. den nordvestlige sandfodring.

Tørresø vestre og østre diger, se Figur 4-5

Ved Tørresø vestre og østre dige er der etableret bølgebrydere ved Nygårdsvej. På grund af den hyppige sandfodring nordvest for strækningen har bølgebryderne ikke givet anledning til læsideerosion, og det vurderes, at den nordvestlige del af denne strækning ikke skal have tilført yderligere sand end den mængde der fodres med i dag. Ved kystfremspringet bør det på længere sigt vurderes om det er nødvendigt at etablere bølgebrydere, da det baseret på kystudviklingen i flybilleder ses, at der her er sket en mindre tilbagerykning af kystlinjen.

Tørresø østre dige, se Figur 4-6

Tørresø østre dige vurderes ikke at skulle prioriteres ved næste sandfodring, da tidligere foretagne sandfodringer samt de etablerede bølgebrydere ved Nordstrandsvej har fremrykket kystlinjen.

Tørresø østre dige, se Figur 4-7

Ved Tørresø østre dige har kysten en konveks form, dvs. kystlinjen har et lille fremspring, hvilket betyder at det på længere sigt bør vurderes, om der her skal etableres bølgebrydere. Grundet sandfodringen nordvest herfor, har det indtil videre betydet at kystlinjen på denne strækning er rykket frem.

Strækning mellem Tørresø og Jørgensø diger, se Figur 4-8

Sandfodringen nordvest for strækningen mellem Tørresø og Jørgensø dige har medført en ophobning af sand mellem de gamle bølgebrydere. På denne strækning og øst herfor er kystlinjen fremrykket. Generelt vedligeholdes kysten her ved de sandfodringer der foretages nordvest for strækningen.

Jørgensø dige, se Figur 4-9

Ved Jørgensø dige er der mod nordvest etableret bølgebrydere ved Kristiansminde. Disse har givet anledning til læsideerosion og det vurderes, at den gamle betonhøfde umiddelbart lige øst for bølgebryderne bør nedbrydes. Der bør endvidere etableres et par kystnære bølgebrydere i forlængelse af de eksisterende. Længere østover på strækningen fastholder og vedligeholder sandfodringen kysten.

Strækning mellem Jørgensø og Hasmark diger, se Figur 4-10.

Strækningen mellem Jørgensø og Hasmark dige vedligeholdes af sandfodringen nordvest herfor, og kystlinjen er fremrykket flere steder på strækningen.

Hasmark vestre dige, se Figur 4-11

Ved Hasmark vestre dige har sandfodringen nordvest for strækningen fremrykket kystlinjen betragteligt og vedligeholder generelt kysten her.

Hasmark mellemstrækningdige, se Figur 4-12

Ved Hasmark mellemstrækningdige er kystlinjen trukket tilbage på den nordvestlige delstrækning. Det bør på denne delstrækning vurderes om der bør sandfodres, evt. nordvest for strækningen. På den sydøstlige delstrækning er kystudviklingen status quo, og stranden har i dag samme bredde som i 1999. Sommerhusene i første række (indenfor ca. 100 m) har fået etableret en betonskråning bagved den flade strand. Der bør overvejes at etablere en stenkastning foran betonskråningen for at undgå store mængder bølgeoverskyl. Endvidere er der behov for at indgangene til husene kan lukkes forsvarligt under storm og højvande.

Hasmark mellemstrækningdige og østre dige, se Figur 4-13

Ved Hasmark mellemstrækningdige er kystlinjen status quo, men efter kystfremspringet ved Hasmark østre dige er der sket en del læsideerosion. Det bør her overvejes at etablere bølgebrydere eller at der senere sandfodres for fremtidig fastholdelse af kystlinjen.

Hasmark østre dige, se Figur 4-14

Ved Hasmark østre dige er kysten status quo for den vestlige del af strækningen, mens der på den østlige del af strækningen bør overvejes sandfodring eller etablering af et par kystnære bølgebrydere.

Hasmark østre dige og delstrækningen øst for diget, se Figur 4-15

Ved Hasmark østre dige og delstrækningen øst herfor vedligeholder den nordvestlige sandfodring strækningen, og denne del af strækningen bør ikke prioriteres ved næste sandfodring.

Strækning øst for Hasmark østre dige, se Figur 4-16

Ved den østligste del af projektstrækningen øst for Hasmark østre dige er kystlinjen generelt rykket frem. Tilsyneladende er der en svingning på kysten, som naturligt vandrer mod øst. Der bør holdes øje med udviklingen her, da det tidligere har betydet at vejen har skulle rykkes ind i landet. Sandfodring vest herfor ville kunne have fastholdt vejens placering.

5 Vandstand de næste 25 år

En evt. forøgelse af vindstanden giver ikke en signifikant ændring af bølgeklimaet, da bølgerne er dybdebegrænsede og primært vil være styret af vandstanden og evt. ændringer af denne. Derfor fokuseres alene på vandstanden i denne analyse. Bidraget til designvandstanden om 25 år er baseret på tidevand og ekstremvandstande, eustatisk havspejlsstigning samt landhævning og disse parametre analyseres således i det følgende.

5.1 Tidevand og ekstrem vandstand

Ifølge den Danske Havnelods er forskellen mellem middelhøjvande og middellavvande 0,5 m ved Bogense Havn. Ved roligt vejr skifter højvande og lavvande regelmæssigt. Storm fra NNE kan give indtil 1,6 m højvande og storm fra SSW indtil 1,6 m lavvande, (Geodatastyrelse (2017), u.d.).

Ekstreme højvandstande ved Bogense Havn og Odense Fjord er vurderet af Kystdirektoratet og opdateres ca. hvert femte år. Den seneste statistik er "Højvandsstatistikker 2012" som opdaterer de forrige statistikker fra 2007 med data frem til udgangen af 2012. Højvandsstatistikken for Bogense Havn er baseret på digitale data fra november 2000 til december 2012, da målestationen er af nyere dato. Dette giver ikke adgang til en længere tidsserie, hvorfor højvandsstatistikken er behæftet med en del usikkerhed, se Figur 5-1. Højvandsstatistikken for Odense Fjord (Gabet) er baseret på digitale og analoge data fra juli 1978 til december 2012. Der er manglende data for en periode fra 1991 til 2002 hvorfor også denne statistik er behæftet med en del usikkerhed, se Figur 5-2.

44

St. nr.

Bogense Havn

44

St. nr.

Datagrundlag

Stationsnr. (DMI 28003/28004; KDI 20101/20102).

Dataperiode 12 år.

Måledata 30.11.2000 - 31.12.2012.

Digitale data leveret af KDI.

Bemærkninger

Ny statistik. Grundet dataseriens længde vurderes statistikkens som mindre god.

Statistiske middeltidsvandstande

	VS (cm)	Spredning (cm)
100 år	174	20
50 år	165	17
20 år	153	13

Ved at rangordne de målte ekstremer kan 1 års vandstanden bestemmes til: $VS_1 = 107$ cm.

Statistisk analyse

Som ankomstfordeling er benyttet en Poissonproces med intensitet (hændelser per år) λ , og som højdefordeling er benyttet en trunkeret Weibull fordeling med afskæringsniveau γ (cm) og parametrene α og β .

$\lambda = 1,667$
 $\gamma = 93$
 $\alpha = 1,248$
 $\beta = 114,863$

Korrektion af vandstandsdata

Ekstremvandstandene er gjort "trendfri" med basis i 1990, så vandstanden angives i forhold til det pågældende års middelvandstand.

I perioden 1891-1990 har stigningen i middel havspejlsniveau været på 8 cm. Dette er forskellen mellem DNN og DVR90.

Figur 5-1 Højvandsstatistik for Bogense Havn, Kystdirektoratet, (Kystdirektoratet, 2012).

45

St. nr.

Odense Fjord, Gabet

45

St. nr.

Datagrundlag

Stationsnr. (DMI 28068; NST Gabet).

Dataperiode 22,8 år.

Måledata 10.07.1978 - 20.12.2012.

Digitale og analoge data leveret af Odense Havn, NST, DMI og Fyns Amt.

Manglende data: 26.02.1991 - 04.09.2002 grundet dårlig datakvalitet. Mindre målerudfald i øvrigt.

Bemærkninger

Grundet dataseriens kvalitet vurderes statistikkens som mindre god.

Statistiske middeltidsvandstande

	VS (cm)	Spredning (cm)
100 år	180	18
50 år	170	15
20 år	157	11

Ved at rangordne de målte ekstremer kan 1 års vandstanden bestemmes til: $VS_1 = 99$ cm.

Statistisk analyse

Som ankomstfordeling er benyttet en Poissonproces med intensitet (hændelser per år) λ , og som højdefordeling er benyttet en trunkeret Weibull fordeling med afskæringsniveau γ (cm) og parametrene α og β .

$\lambda = 1,009$
 $\gamma = 97$
 $\alpha = 1,3$
 $\beta = 122,681$

Korrektion af vandstandsdata

Ekstremvandstandene er gjort "trendfri" med basis i 1990, så vandstanden angives i forhold til det pågældende års middelvandstand.

I perioden 1891-1990 har stigningen i middel havspejlsniveau været på 8 cm. Dette er forskellen mellem DNN og DVR90.

Figur 5-2 Højvandsstatistik for Odense Fjord, Kystdirektoratet, (Kystdirektoratet, 2012).

5.2 Eustatisk havspejlsstigning

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

De forventede globale vandstandsstigninger er vurderet af IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) og på baggrund heraf har DMI vurderet vandstande i de danske farvande. Forventede vandstande om 100 år fra DMI er vist i Tabel 5-1, (DMI, Danmarks Klimacenter (2014), 2014). De forskellige scenarier i Tabel 5-1 refererer til forskellige forudsætninger vedrørende fremtidig udledning af CO₂ og dermed temperaturstigning.

Tabel 5-1 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark om 100 år, DMI.

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

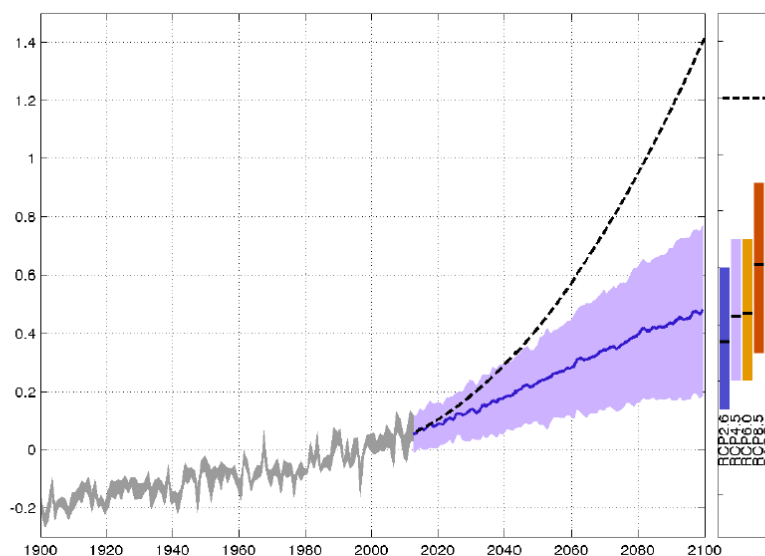
Tabel 6: Absolut middelvandstandsstigning globalt og for Danmark, 1986-2005 til 2081-2100 [m]. DMI's øvre bud er til brug for usikkerhedsestimater. Kilde: AR5, BACC og DMI.

Figur 5-3 viser, at middelvandstanden i Danmark om 25 år forventes at ville være forøget med 12 cm for et middelscenarie (RCP4.5) i forhold til i dag. Der er dog en betydelig usikkerhed på estimerne.

Hvis usikkerheden på middelscenariet (RCP4.5) regnes med, er middelvandstanden i Danmark om 25 år forøget til +24 cm i forhold til i dag. Der er således stor usikkerhed på størrelsen af den globale havspejlsstigning i fremtiden.

I forbindelse med revurderingen af strategien for Nordfyns kyststrækning anbefaler COWI at benytte IPCCs bedste middelestimat i beregningen af designvandstanden.

Analysen viser, at middelvandstanden i Danmark om 25 år forventes at ville være forøget med 12 cm for et middelscenarie (RCP4.5), hvilket skal indregnes i designvandstanden for en levetid på 25 år.



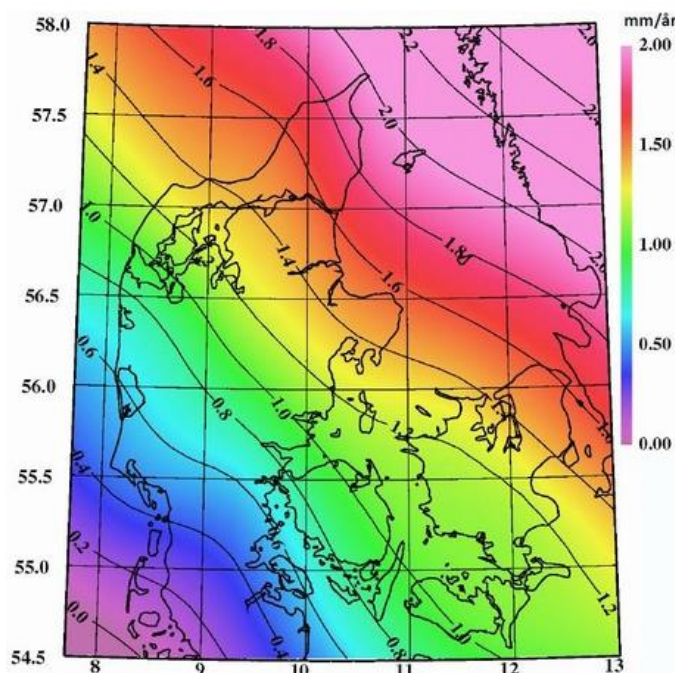
Figur 9: Den absolutte middelvandstand ved Danmark i meter for årene 1900-2100. Den grå skygge for år 1900-2012 viser den observerede årlige middelvandstand ved danske vandstandsmålere, korrigeret for landhævning. Den blå streg for år 2012-2100 viser IPCC's bedste estimat af middelvandstanden i Nordsøen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

Figur 5-3 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark, DMI.

5.3 Isostatisk landhævning

I forbindelse med bestemmelse af den absolutte havspejlsstigning, skal der tages højde for, at der generelt sker landhævning i Danmark. Den årlige landhævning er vist på Figur 5-4.

Omkring Nordfyn er den årlige landhævning ca. 1,0 mm/år. Dette giver anledning til en landhævning på ca. 2,5 cm på 25 år.



Figur 5-4 Isostatisk landhævnning i Danmark, KDI, <http://soeterritoriet.kyst.dk/landbevaegelser-i-danmark.html>.

5.4 Designvandstand ved Nordfyns kyst

På baggrund af de statistiske ekstremvandstande, den generelle vandstandsstigning og landhævnning beregnes designvandstanden for en 100 års hændelse om 25 år ved Nordfyns kyst, se Tabel 5-2.

Tabel 5-2 Designvandstand ved Nordfyns kyst, angivet i cm i forhold middelvandstand (Mean Sea Level, MSL). 100 års hændelsen er beregnet som middel af KDIs statistik for Bogense Havn og Odense Fjord.

Nordfyns Kyst	100 års hændelse i dag	100 års hændelse om 25 år
	cm MSL	cm MSL
KDI statistik (2012)	+177	+177
Havspejlsstigning	0	+12
Landhævnning	0	-2,5
Designvandstand	+177	+187

Stormen d. 1. november 2006 ved Nordfyn gav anledning til højeste registrerede højvande i Bogense Havn og Odense Fjord. Der blev målt hhv. +172 cm og +174 cm. Hvilket næsten svarer til en 100 års hændelse i dag.

6 Konklusion og anbefaling

Generelt kan det konkluderes, at strategien fra 1998 for en samlet kystbeskyttelse har virket efter hensigten, og at i middel er strandlinjen langs projektstrækningen fastholdt eller rykket frem. Der er dog få steder hvor der ses tilbagerykning. Man kan ud fra udviklingen ved Egebjerggård, lige nordvest for hvor der er foretaget sandfodring, få et indtryk af hvad der sandsynligvis ville været sket hvis der intet havde været foretaget siden 1998. Her er kystlinjen rykket tilbage med ca. 5 m, eller i middel ca. 0,25 m per år.

På projektstrækningen med sommerhusbebyggelse fremgår det af de nye foretagne opmålinger og efterfølgende sammenligning med opmålingerne fra 1999, at der stort set på hele projektstrækningen er tale om at kystlinjen efter de ca. 20 år er i status quo eller er rykket frem.

Af særlige forhold indenfor projektstrækningen kan nævnes, at ved Tørresø Nordstrand, hvor den forreste bebyggelse var i risikozonen for store ødelæggelser ved kraftige storme, er der i dag en bred strand foran diget, hvilket medfører en kraftig reduktion i risikoen for beskadigelse og oversvømmelse på denne strækning.

Sandfodringen der for det meste har fundet sted nordvest på strækningen omkring Egebjerggård, som foreskrevet i rapporten fra 1998, (COWI A/S, Maj 1998), har således forøget bredden af stranden langs det meste af strækningen, eller den er status quo. Kun enkelte steder viser strandprofilen i dag sammenlignet med det fra 1999, at der er foregået erosion og tilbagerykning. Det betyder, at det kan konkluderes, at strategien fra 1998 har virket efter hensigten.

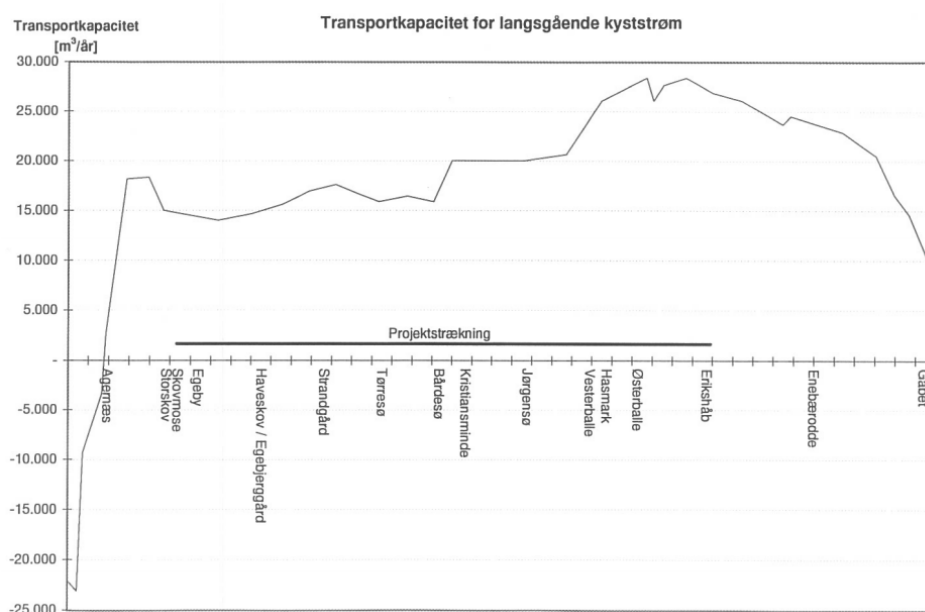
I det følgende opsummeres de hydrauliske forhold der gør sig gældende i dag og for de næste 25 år. Endvidere præsenteres anbefalinger for fremtidige indsatser for at fastholde sikringsniveauet på den berørte kyststrækning.

Under hensyntagen til de eksisterende forhold i dag, samt de i tidligere rapport, (COWI A/S, Maj 1998), rapporterede data, er der udfærdiget et overslagsmæssigt forslag til fortsat vedligeholdelse af projektstrækningen. Det er en løsning hvor der, på baggrund af de gode erfaringer, er lagt mest vægt på fortsat sand-

fodring, men på længere sigt vil det, på udvalgte delstrækninger, blive nødvendigt med etablering af hårde kystbeskyttelseskonstruktioner.

6.1 Sandfodring

De dimensionsgivende bølger på kysten ændres ved øget vandstand i forbindelse med fremtidige stormhændelser. I forhold til 1999 og frem til 2042 (25 år fra nu – 2017) vil vandstanden pga. havspejlsstigning modregnet landhævning øges ca. 16 cm (på de 43 år fra 1999 til 2042). Dette giver ikke grundlag for signifikante ændringer i bølgehøjden, og den bølgeklimatevurdering, der blev udarbejdet i 1998, er således gældende i dag. Det betyder at det sedimentbudget der blev rapporteret i 1998 er vurderet som værende gældende også i dag. Transportkapaciteten langs projektstrækningen er vist på Figur 6-1.



Figur 6-1 Transportkapacitet for langsgående kyststrøm, (COWI A/S, Maj 1998).

Transportkapaciteten viser den maksimalt mulige langsgående transport af sediment (sand) pga. de tilstedeværende bølger på strækningen. Hvis en strækning ikke har nok eroderbart materiale langs kysten vil den reelle transport være mindre.

Transportkapaciteten mod sydøst er et resultat af at vind fra vest og nordvest er mere hyppige og kraftigere end vind fra nordøst og øst, og dermed er bølger fra nordvest dominerende. Baseret på tilgængeligt materiale samt transportkapaciteten langsgående og tværgående blev en netto sydøstgående materialetransport bestemt til ca. 18.000 m³, hvoraf 2/3 af erosionen sker for den nordvestlige halvdel af projektstrækningen og 1/3 af erosionen for den sydøstlige del. Denne analyse tog altså hensyn til materialevandringen som følge af kystdynamikken.

I afsnit 5.4 angives havspejlsstigning samt landhævning om 25 år til ca. 10 cm, se Tabel 5-2. Dvs. en årlig vandspejlsstigning på 4 mm inkl. landsenkning. Antages overslagsmæssigt at sedimentet i en zone på 100 m normalt er aktivt,

svarer dette til, at der skal sandfodres med ca. $0,4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{år}$ alene som kompensation for havspejlsstigningen. Projektstrækningen er ca. 13 km og for at kompensere for den årlige havspejlsstigning skal der derfor som minimum fodres med $13.000 \times 0,4 \text{ m}^3/\text{m} = 5-6.000 \text{ m}^3$ sand.

De tidligere rapporterede 18.000 m^3 årlig sandfodring var en estimeret mængde til sikring af kystlinjen, som følger af den netto-sedimenttransport der foregår mod sydøst. Hvis der dertil lægges en havspejlsstigning samt at der er nogle få strækninger hvor der sker tilbagerykning vurderes det, at der er behov for en mindre forøgelse af den årlige sandfodringsmængden, til ca. $24.000 \text{ m}^3/\text{år}$ de næste 25 år. Dette svarer til at de $18.000 \text{ m}^3/\text{år}$ skal kompensere for tabet af sand der eroderes og transporteres mod sydøst, mens de resterende $6.000 \text{ m}^3/\text{år}$ er til kompensation for havspejlstigningen. Hvis havspejlstigningstakten forøges yderligere fremover, vil der kunne blive behov for yderligere forøgelse af sandfodringsmængden.

Det anbefales at overveje sandfodring omkring den Gamle Herres Skov (lige vest for Digelagets område) ved Flyvesandet, da kystlinjen er tilbagerykket på en stor del af strækningen, jf. inspektionen i august 2017, se afsnit 4.1. Det bør desuden overvejes om en del af sandfodringen skal placeres nordvest for Hasmark mellemstrækningsdige, da det er et af projektstrækningens mest udsatte steder med bebyggelse, se Figur 4-12.

6.2 Kystbeskyttelseskonstruktioner

Som beskrevet ovenfor vil bølgeklimate på kysten langs projektstrækningen ikke ændres signifikant på baggrund af klimaforandringerne. Derfor vurderes de anlagte bølgebrydere ikke at have behov for opgradering i løbet af de næste 25 år, men dog vedligeholdelse efter storme, da deres kronekote langsomt bliver relativt lave i forhold til middelvandspejlet når dette er stigende.

Med hensyn til digerne er der også tale om at de langsomt vil blive relativt lave i kronekote i forhold til middelvandspejlsniveauet. Havspejlsstigninger har således betydning for den forventede mængde bølgeoverskyl over digerne, og overskyllet i en given storm og tilsvarende højvande vil langsomt blive forøget i de næste 25 år. Netto stigningen på +10 cm over de næste 25 år kan altså ved kraftigere storme give anledning til væsentligt større mængder bølgeoverskyl, og på længere sigt vil det derfor være nødvendigt at opgradere digerne, primært ved en forhøjelse af kronekote. Digerne kronekote er generelt ca. + 2,5-3,0 m, men der er visse kortere strækninger, hvor koten er mindre. Her kan det komme på tale inden udløbet af 25 års perioden, at foretage opgradering af diget. Det anbefales, at der for disse strækninger foretages en mere detaljeret vurdering.

Der er en række steder langs projektstrækningen, som under inspektionen og vurderingen præsenteret i kapitel 4, har givet anledning til forslag om etablering af nye enkelte kystnære bølgebrydere. Dette berører generelt kystfremspring på strækningen, som er identificeret som værende særligt udsatte og hvor det stadig viser sig at der lokalt sker en mindre kysttilbagerykning, selv om der sand-

fodres løbende. De udsatte strækninger hvor enkelte kystnære konstruktioner foreslås etableret er listet herunder:

- > Etablering af enkelte kystnære bølgebrydere ved kystfremspringet ved Tørresø vestre og østre dige i tilføjelse til de eksisterende bølgebrydere, se Figur 4-5 og Figur 4-7.
- > Gammel betonhøfde ved Jørgensø dige nedbrydes, og der etableres enkelte kystnære bølgebrydere i forlængelse af de eksisterende bølgebrydere, se Figur 4-9.
- > Etablering af stenkastning på eksisterende betonskråning langs Hasmark mellemstrækningsdige ved Løkkevænget, se Figur 4-12.
- > Etablering af enkelte kystnære bølgebrydere ved Hasmark østre dige (og evt. sandfodring nordvest herfor), se Figur 4-14.

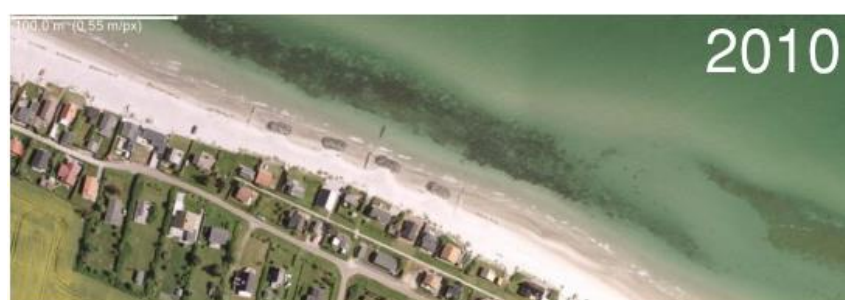
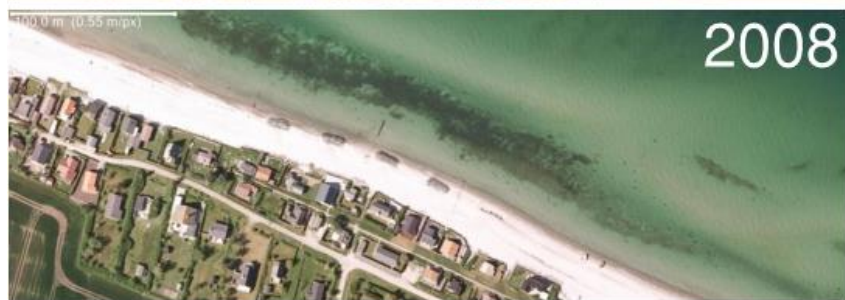
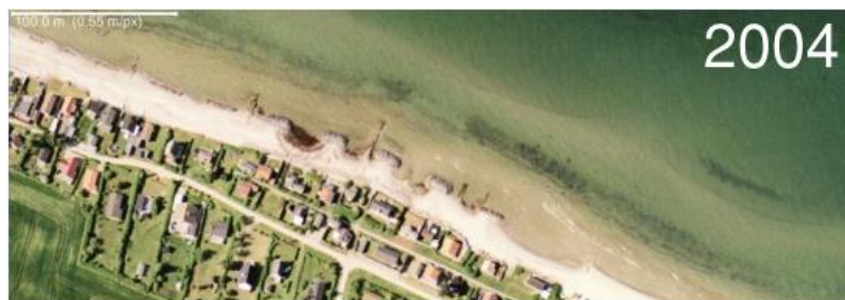
7 Referencer

- COWI A/S. (Maj 1998). *Kystteknisk undersøgelse - Nordfyn*. Resumé rapport.
- COWI A/S. (Maj 1998). *Kystteknisk undersøgelse - Nordfyn. Grundlag, handlingsplaner og projektforslag*. Rapport.
- DMI, Danmarks Klimacenter (2014). (2014). *Fremtidige klimaforandringer i Danmark, Rapport nr. 6*.
- Geodatastyrelse (2017). (u.d.). *Den Danske Havnelods*. Hentet fra www.danskehavnelods.dk
- Kystdirektoratet. (2012). *Højvandsstatistikker 2012*.

Bilag A Strategi fra 1998



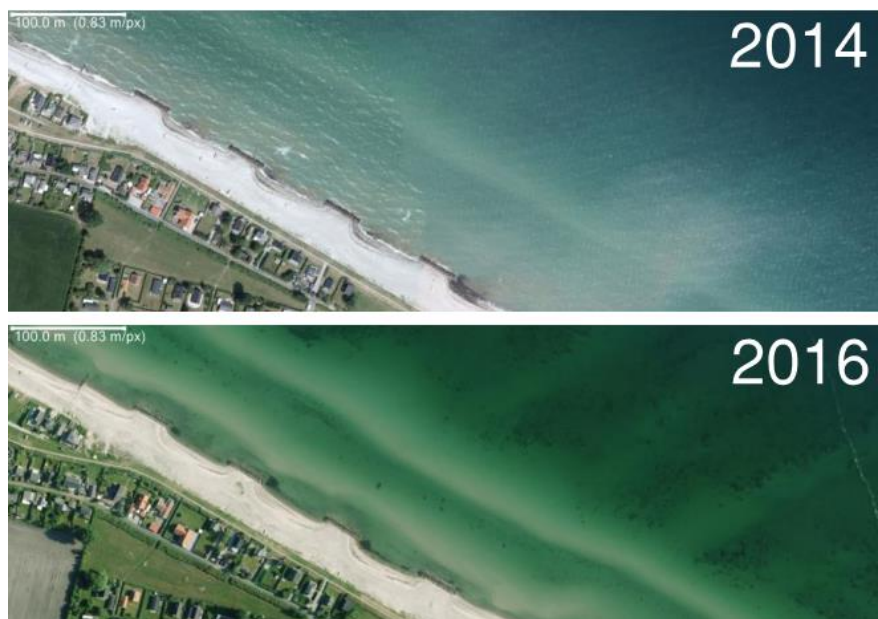
Bilag B Udvikling af kystprofil ved anlagte bølgebrydere





Figur B-1 Kystudvikling ved Nygårdsvejs bølgebrydere fra 2004 til 2016.





Figur B-2 Kystudvikling ved Nordstrandens bølgebrydere fra 2008-2016.





Figur B-3 Kystudvikling ved Kristiansmindes bølgebrydere fra 2004-2016.