



Kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen

Kystteknisk beskrivelse og sedimentbudget

Kystbeskyttelseslaget Gl. Skagen

Dato: 06. oktober 2022

Indhold

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | Introduktion..... | 3 |
| 2. | Beskrivelse af kysten mellem Hirtshals og Grenen | 3 |
| 2.1 | Overordnet beskrivelse af kysten..... | 3 |
| 2.2 | Hirtshals Havn..... | 5 |
| 2.3 | Kystbeskyttelse ved Gammel Skagen | 6 |
| 2.4 | Beskrivelse af kysten ved udvalgte lokaliteter | 7 |
| 3. | Historisk kystudvikling..... | 19 |
| 3.1 | Metode | 19 |
| 3.2 | Kystudvikling ved Hirtshals Havn | 20 |
| 3.3 | Kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen | 21 |
| 3.4 | Kystudvikling ved Gammel Skagen | 25 |
| 4. | Sedimentbudget..... | 27 |
| 4.1 | Metode | 27 |
| 4.2 | Sedimentbudget mellem Hirtshals og Grenen | 27 |
| 4.3 | Sedimentbudget ved Gammel Skagen | 28 |
| 5. | Kystteknisk vurdering | 30 |
| 5.1 | Sedimentbudget fra tidligere undersøgelser | 30 |
| 5.2 | Sedimenttransport, tilsanding og bypass ved Hirtshals Havn..... | 31 |
| 6. | Konklusion..... | 35 |
| 7. | Referencer..... | 36 |
| | Bilag 1: Geomorfologisk kort..... | 37 |
| | Bilag 2: Kystudvikling ved Kjøl Strand, Tversted, Skiveren og Kandestederne | 38 |
| | Bilag 3: Kystudvikling i området ved Gammel Skagen..... | 39 |
| | Bilag 3: Sedimentbudget for Vestkysten | 41 |
| | Bilag 4: Anvendelse af oprenset sediment fra Hirtshals Havn mellem 2011 og 2021..... | 42 |

1. Introduktion

Kystbeskyttelseslaget Gl. Skagen har bedt NIRAS om at vurdere, om den ændrede bypass ved Hirtshals Havn vil medføre en reduktion i langtransporten af sediment og dermed øget erosion mellem Hirtshals Havn og Grenen. Særligt ønskes det vurderet, hvilken betydning manglende bypass har for erosionen nær havnen nær Kjul og Tversted, samt længere væk fra havnen ved Skiveren og Kandestederne.

Som en del af projektet har NIRAS udarbejdet en kystteknisk beskrivelse af kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen. Desuden har NIRAS opstillet et sedimentbudget for kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen ud fra en analyse af den historiske kystudvikling baseret på satellitfoto og en række historiske luftfoto. Analysen tager udgangspunkt i det sedimentbudget NIRAS har udarbejdet for Hjørring Kommune som en del af kommunens kystplan (NIRAS, 2019). Baseret på sedimentbudgettet, den kysttekniske beskrivelse af kysten og tidligere studier, er der udarbejdet en kystteknisk vurdering af sedimentbudgettet mellem Hirtshals Havn og Grenen, og betydningen af manglende bypass ved Hirtshals Havn.

2. Beskrivelse af kysten mellem Hirtshals og Grenen

2.1 Overordnet beskrivelse af kysten

Projektområde

Projektområdet strækker sig over ca. 45 km fra Hirtshals Havn i syd til Grenen i nord (Figur 2.1). Kysten omkring Hirtshals er karakteriseret ved indflydelsen af den østjyske opholdslinje i Weichel Istiden (Kystdirektoratet, 2018a). Området ved opholdslinjen er kendetegnet af højtliggende bakkede moræneområder og hævet havbund, mens området nord-øst for opholdslinjen generelt er mere fladt og lavtliggende (se Bilag 1: Geomorfologisk kort).



Figur 2.1 Oversigtskort af kysten mellem Hirtshals og Skagen

Området mellem Hirtshals og Skagen består af et klitlandskab, der er skabt i takt med at landet hævede sig efter isen fra den seneste istid trak sig tilbage (se Bilag 1: Geomorfologisk kort).

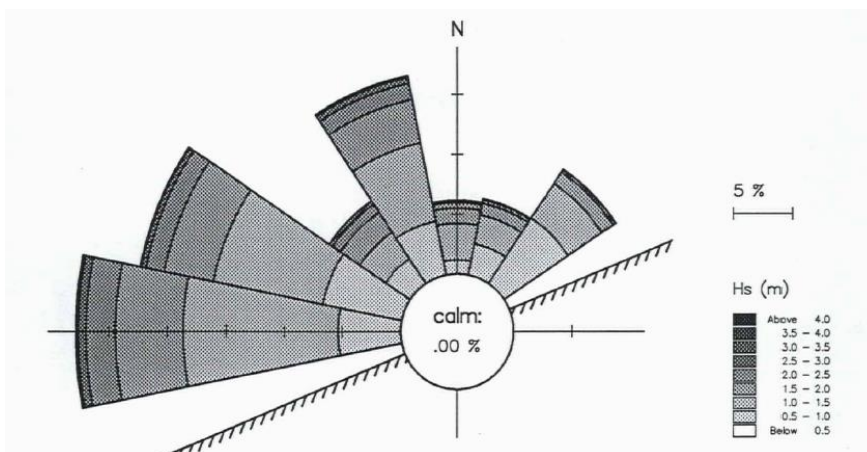
2.1.1 Kystprofil og revler

Kystprofilen langs den nordvendte kyststrækning mellem Hirtshals og Tversted er fladt. Kystprofilen bliver jævnt stejlere op mod Gammel Skagen. Revlestrukturen er svag og delvis usammenhængende langs den nordvendte kyst, hvor sandbanker dominerer bundformerne ud for kysten. Fra Tversted til sydvest for Gammel Skagen findes der derimod en markant revlestruktur, som generelt har tre sammenhængende revler. Ændringen i revlestrukturen skyldes, at kysten bliver gradvist mere eksponeret for vestlige bølger efterhånden som kysten kommer ud af læzonen fra pynten ved Hirtshals og efterhånden, som den ændrer orientering mod nordvest (Kystinspektoret, 1993). Omkring Gammel Skagen er der i dag kun to revler, sandsynligvis fordi sedimentet er grovere og kystprofilen er stejlere.

Revlerne er generelt meget dynamiske og flytter sig ind og ud med varierende bølge- og vandstandsforhold og revlerne varierer også i antal. Revlezonen på den nordvendte strækning mellem Hirtshals og Grenen når ud til kote ca. -4 m, mens revlezonen langs odden når ud til kote ca. -7 m.

Bølgeklima

Bølgerne ved Hirtshals kommer primært fra en vest- og sydvestlig retning, og i mindre grad fra en nord og østlig retning (Figur 2.2). Opdateret information om bølgeklimaet ud for Hirtshals Havn er ikke offentligt tilgængeligt. Det vurderes, at bølgeklimaet i 1990'erne er sammenligneligt med bølgeklimaet i dag.



Figur 2.2 Bølgeklima ud for Hirtshals (DHI, 1994).

Der er stor forskel på den langsgående sedimenttransport vest og øst for Hirtshals Havn pga. kystlinjens orientering ift. bølgenes indfaldsvinkel. Kysten sydvest for Hirtshals Havn er eksponeret for bølger, og har derfor en stor langstransport, mens kysten øst for Hirtshals Havn er mindre eksponeret for bølger, og derfor har en mindre kystparallel langstransport af sediment.

Sandbølger

Bølger fra vestlige og nordvestlige retninger øst for Hirtshals Havn har et skråt indfald på kysten, hvilket medfører, at der dannes såkaldte sandbølger langs kystlinjen. Dette fænomen betyder, at stranden nogle steder er bred og vokser ud, og andre steder er smal. Hvor stranden er smal, bliver der typisk eroderet i de bagvedliggende klitter under storm, mens klitterne typisk er under opbygning, hvor stranden er bred. Sandbølger er observeret til at vandre langs kysten fra Hirtshals Havn og mod øst (DHI, 1994; Kystdirektoratet, 2018a).

Sandbølgerne form forstærkes på den del af kysten, der vender mod nord. Ved Tversted ændres kystens generelle orientering mod nordvest og bølgerne indfaldsvinkel reduceres imod indfaldsvinklen for maksimal transport (ca. 45°), hvilket betyder at transportkapaciteten øges mod Grenen. Dette medfører, at sandbølgerne gradvist udviskes og stranden får et mere lige forløb mod Grenen (NIRAS, 2019).

Længden af sandbølgerne er 3.000-4.000 m langs kysten med en amplitude på op til 200-300 m. Sandbølgerne vandrer med en hastighed på 100-200 m/år (Kystinspektoret, 1993). En sandbølgetop forventes at forekomme hvert 15.-20. år på en given lokalitet i projektområdet. Desuden kan der forekomme mindre sandbølger oven på de større formationer.

Sandbølgerne mobiliseres i forbindelse kraftige storme fra nordvest, som kan give erosion øst for havnen og derved skabe en mindre undulation på stranden, som herefter vokser og begynder at bevæge sig mod øst som følge af de skråt indfaldene bølger fra vestlige retninger.

Kystbeskyttelse

Der er ikke etableret hård kystbeskyttelse mellem Hirtshals Havn og Grenen, med undtagelse af området omkring Gammel Skagen, hvor der er opført høfder og skråningsbeskyttelse for at beskytte ejendommene ud til kysten (Kystdirektoratets Kystatlas, 2022).

2.2 Hirtshals Havn

Etableringen af Hirtshals Havn blev påbegyndt i 1880 med anlæggelse af en læmole, som i de følgende år er blevet forlænget og udvidet flere gange (**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**). I 1970'erne blev der opført en forlænget dæk-mole vest for indsejlingen for at skabe mere læ i indsejlingsområdet til den stigende trafik på havnen. Der oprenses løbende store mængder sand fra området ved indsejlingen for at opretholde den målsatte besejlingsdybde.

Anlæggelse af en fast konstruktion langs en kyst med en langsgående sedimenttransport vil forårsage en opbremsning eller transport af sediment rundt om anlægget. For Hirtshals Havn vil sedimentet, der transporteres via langstransporten fra sydvest, delvist ophobe sig ved den vestlige ydermole (der opfører sig som en høfde), og delvist ophobe sig i havnens sejlrunde, der er et kunstigt dyb. Det må således forventes, at der har været en gradvis reduktion i den naturlige bypass af sand forbi havnen siden sejlrunden og den vestlige ydermole er blevet etableret og udvidet.

Siden 1982 er Hirtshals Havns yderværker blevet udvidet mod øst. Ifølge DHI og Kystdirektoratet har udvidelserne mod øst ikke påvirket transport af sediment rundt om havnen yderligere (DHI, 2013; Kystdirektoratet, 2018a). Umiddelbart øst for Hirtshals Havn er der læ for de fremherskende bølger fra vestlige retninger, hvilket betyder, at transporten her lokalt er mod vest. Det har bevirket tilsanding i hjørnet umiddelbart øst for havneudvidelsen.



Figur 2.3 Historisk udbygning af Hirtshals Havn, luftfoto 2021

2.3 Kystbeskyttelse ved Gammel Skagen

Siden 1883 har der været opført forskellige mindre kystbeskyttelsesanlæg ved Gammel Skagen (Kystinspektoret, 1993). I perioden 1946-1950 blev der bygget seks høfder ved Gammel Skagen, da høfderne virkede efter hensigten blev høfdefeltet udvidet og eksisterende høfder forlænget. Høfdefeltet blev senest udbygget og renoveret i 2019. I dag består høfdefeltet af 28 højder. Der er desuden udført strandfodring sydvest for Gammel Skagen i 2019. I 2021 blev der anlagt skråningsbeskyttelse langs de strækninger, hvor ejendommene ligger helt ud til stranden (Figur 2.4).



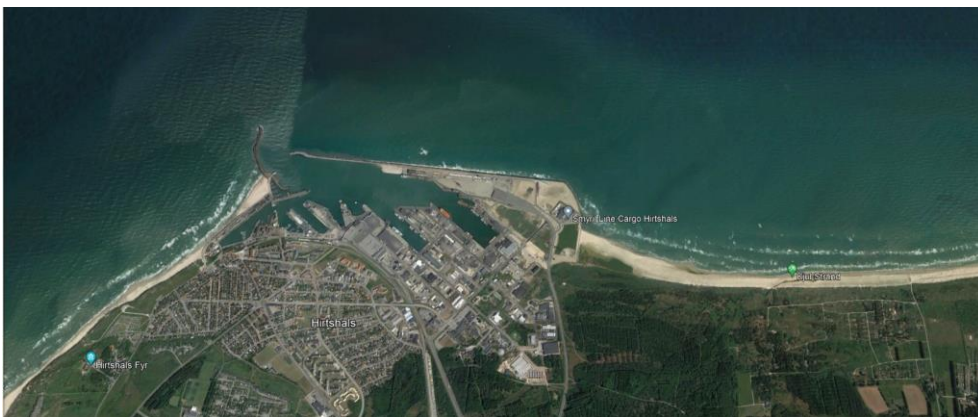
Figur 2.4 Oversigt over høfder (orange), skråningsbeskyttelse (pink) og strandfodring (lilla) ved Gammel Skagen (Kystdirektoratets Kystatlas, 2022).

2.4 Beskrivelse af kysten ved udvalgte lokaliteter

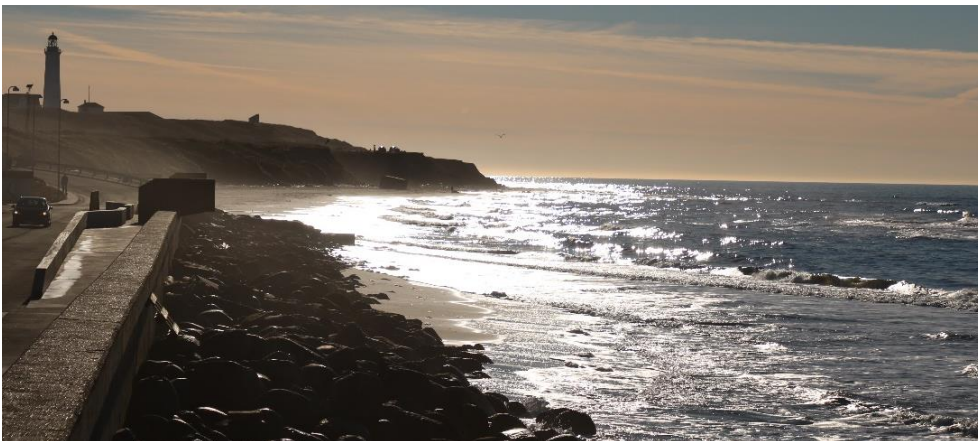
I forbindelse med opstartsmødet mellem NIRAS og Kystbeskyttelseslaget Gl. Skagen d. 4. april 2022, blev der foretaget en inspektion af kysten mellem Kjul og Højen Fyr. Billederne i det følgende illustrerer forholdene langs kysten og danner baggrund for den kysttekniske beskrivelse. Billeder fra en inspektion d. 28. februar 2019 ifm. udarbejdelsen af en kystplan for Hjørring Kommune (NIRAS, 2019), er inkluderet for at vise kystens udvikling og dynamik.

Vest for Hirtshals Havn

Vest for Hirtshals Havn har molerne skabt en lille strand, der tydeligt ses på satellitfoto (Figur 2.5). Sydvest for havnen er der en strækning med klinter og stenflak ud for kysten, der forventes at være modstandsdygtig overfor kronisk erosion (Figur 2.6). Stranden umiddelbart sydvest for havnen bliver afgravet for at skaffe sand til strandfodring ved Lønstrup. Stranden genskabes hurtigt naturligt, da molerne blokerer en del af langstransporten. (Figur 2.7).



Figur 2.5 Kysten omkring Hirtshals Havn, Google Earth 07.2021



Figur 2.6 Kysten syd for Hirtshals Havn set mod sydvest, 28.02.2019



Figur 2.7 Stranden op mod den sydvestlige mole ved Hirtshals Havn set mod nordøst, 28.02.2019

Øst for Hirtshals Havn

Øst for Hirtshals Havn observeres det flade kystprofil der er kendetegnende for kyststrækningen mellem Hirtshals og Tversted (Figur 2.8). Stranden er rykket frem efter de seneste udvidelser af havnen, da havnens anlæg skaber læ for bølger fra vest, og da vest-orienterede bølger skaber en akkumulering af sediment op af havnen.



Figur 2.8 Strand og klitter øst for Hirtshals Havn set mod øst, 28.02.2019

Kjul

Ved Kjul, ca. 2 km øst for Hirtshals Havn, rykker kysten tilbage som følge af kronisk erosion og læsideerosion øst for havnen, hvilket betyder at de kystnære boliger er udsatte (Figur 2.9). Der er dog kun få truede ejendomme på strækningen øst for nedkørslen til Kjul Strand. Der er tegn på nyere erosion af klitterne vest for nedkørslen ved Kjul Strand (Figur 2.10). Der er ikke er tegn på nyere erosion langs klitterne øst for nedkørslen (**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**).



Figur 2.9 Strand og klitter vest for nedkørslen til Kjøl Strand set mod øst, 28.02.2019



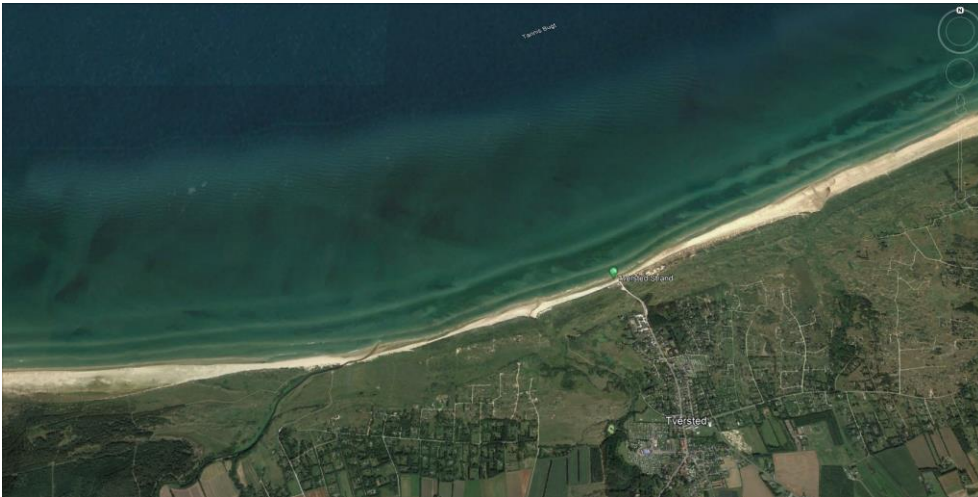
Figur 2.10 Strand og klitter ved nedkørslen til Kjøl Strand set mod vest, 04.04.2022. Der ses erosion i klitfronten.



Figur 2.11 Strand og klitter ved nedkørslen til Kjøl Strand set mod øst, 04.04.2022. Klitfronten er intakt.

Tversted

Ved Tversted, ca. 13 km øst for Hirtshals Havn, er stranden bred vest for Uggerby Å og smal fra Uggerby Å til nedkørslen ved Tversted. Nordøst for nedkørslen er stranden igen bred. Satellitfotoet viser, at strandens bredde varierer meget langs denne del af kysten (Figur 2.12).



Figur 2.12 Kysten omkring Tversted, Google Earth, 07.2020

Ved sammenligning mellem fotos fra 2019 og 2022 ser det ud til at stranden vest for nedkørslen ved Tversted er blevet smallere i både en sydvestlig retning (Figur 2.13-2.Figur 2.14) og i en sydøstlig retning (Figur 2.15Figur 2.16). Der kræves yderligere analyser for at undersøge, om dette er en faktisk ændring af kystlinjen pga. erosion eller om variationen i billederne skyldes høj- og lavvande.



Figur 2.13 Strand og klitter vest for nedkørslen ved Tversted set mod vest, 28.02.2019



Figur 2.14 Strand og klitter vest for nedkørslen ved Tversted set mod vest, 04.04.2022. Der ses tydelig erosion i klitfronten.



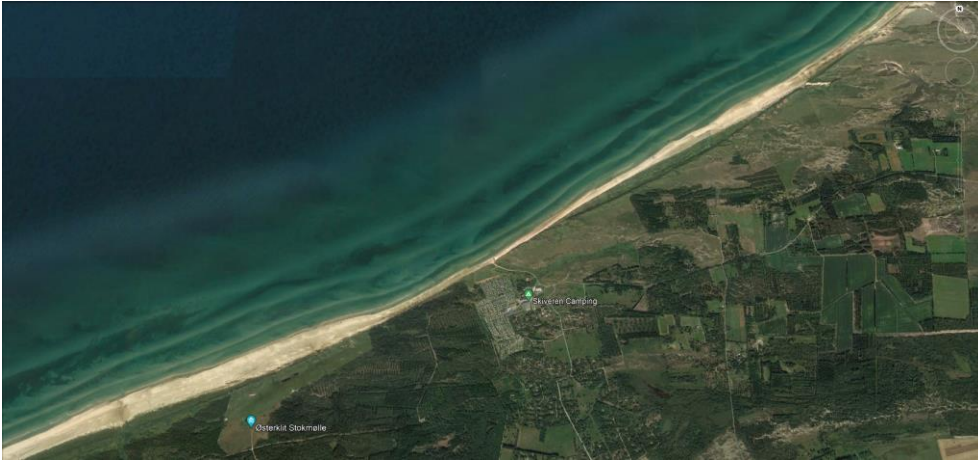
Figur 2.15 Strand og klitter vest for nedkørslen ved Tversted set mod nordøst, 28.02.2019



Figur 2.16 Strand og klitter øst for nedkørslen ved Tversted set mod nordøst, 04.04.2022

Skiveren

Ved Skiveren, ca. 13 km øst for Hirtshals Havn, er stranden smal omkring nedkørslen til stranden, men er markant bredere et stykke sydvest og nordøst herfor (Figur 2.17). Der ses formodet erosion af klitterne både sydvest og nordøst for nedkørslen (Figur 2.18-Figur 2.19).



Figur 2.17 Kysten omkring Skiveren, Google Earth 08.2020



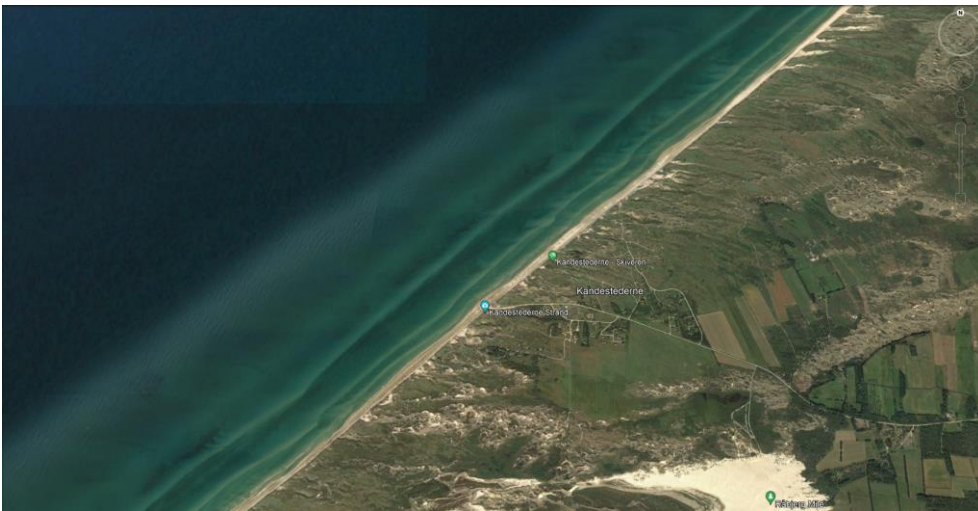
Figur 2.18 Strand og klitter ved nedkørslen ved Skiveren set mod sydvest, 04.04.2022



Figur 2.19 Strand og klitter ved nedkørslen ved Skiveren set mod nordøst, 04.04.2022

Kandestederne

Ved Kandestederne, ca. 28 km øst for Hirtshals Havn, varierer strandens bredde langs kysten, men med en mindre amplitude end ved Kjul og Skiveren (Figur 2.20). Der observeres en flad sandstrand både sydvest og nordøst for nedkørslen (Figur 2.21 og Figur 2.22.)



Figur 2.20 Kysten omkring Kandestederne, Google Earth 08.2020



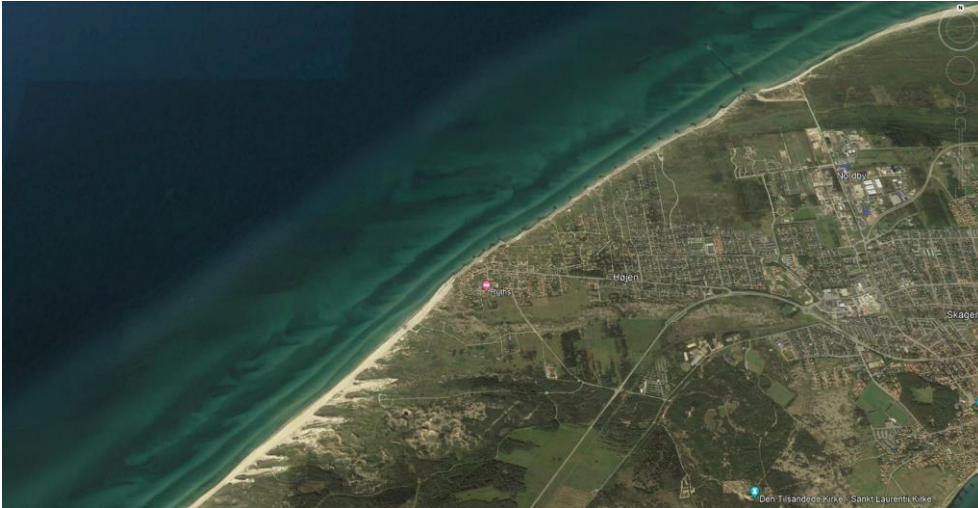
Figur 2.21 Strand og klitter ved nedkørslen ved Kandestederne set mod sydvest, 04.04.2022



Figur 2.22 Strand og klitter ved nedkørslen ved Kandestederne set mod nordøst, 04.04.2022

Gammel Skagen

Ved Gammel Skagen, ca. 40 km øst for Hirtshals Havn, er stranden bredere sydvest for Gammel Skagen end langs kysten mellem Gammel Skagen og Højjen Fyr. Dette skyldes formegentlig en strandfodring, der fandt sted i 2019. Stranden bliver igen bredere op mod Grenen (Figur 2.23).



Figur 2.23 Kysten omkring Gammel Skagen, Google Earth 08.2020

Kysten har et konvekst forløb, der medfører, at den kystparallelle sedimenttransportkapacitet stiger mod nordøst, hvilket betyder, at der er kronisk erosion langs kyststrækningen i Gammel Skagen. Erosionen er forsøgt bremsset med hølfer, der senest er udbygget og forstærket i 2019. Da sand eroderer hurtigere end ral, vil ral blive opkoncentreret på stranden mellem hølferne. Samtidigt holder hølferne på sandet langs stranden sydvest for Gammel Skagen, hvilket betyder, at der er mindre input af sand til strækningen nordfor. Derfor observeres der mere ral i den nordlige del af Gammel Skagen ift. den sydlige del. En ralstrand giver en bedre beskyttelse af skråningerne end en sandstrand med tilsvarende bredde og højde. Dog har en ralstrand generelt mindre rekreativ værdi end en sandstrand.

Den brede strand sydvest for Gammel Skagen består af sand med lidt ral, og har ældre hølfer, der er dækket af sand (Figur 2.24-Figur 2.25). Der er anlagt skråningsbeskyttelse langs kysten i Gammel Skagen for at beskytte ejendommene, der ligger helt ud til stranden.



Figur 2.24 Strand og klitter ved Fellen sydvest for Gammel Skagen set mod sydvest, 04.04.2022



Figur 2.25 Strand og klitter ved Fellen sydvest for Gammel Skagen set mod nordøst, 04.04.2022

Stranden bliver gradvist mere dækket af ral mod nordøst op mod Gammel Skagen (**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** - **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**). Ralstranden er forholdsvis høj og stejl, da bølgerne har en tendens til at transportere rallen landværts i forbindelse med stormflod. Til sammenligning vil en sandstrand være fladere og sandet vil have en tendens til at transporteres søværts under stormflod. Nordøst for Gammel Skagen ved Hamiltonvej formodes ralstranden at beskytte strækningen, da der ikke ses tydelige tegn på erosion af klitterne (Figur 2.28-Figur 2.29).



Figur 2.26 Strand og klitter ved nordøstlig del af Gammel Skagen set mod sydvest, 04.04.2022



Figur 2.27 Strand og klitter ved nordøstlig del af Gammel Skagen set mod nordøst, 04.04.2022



Figur 2.28 Strand og klitter ved Hamiltonvej set mod sydvest, 04.04.2022



Figur 2.29 Strand og klitter ved Hamiltonvej set mod nordøst, 04.04.2022

Nordøst for Gammel Skagen ved Højen Fyr er ralstranden smallere end ved Hamiltonvej, der er dog ikke tegn på erosion af klitterne (Figur 2.30). I området er der anlagt nye hølfer, der har medvirket til at opbygge ralstranden og reducere den kroniske erosion.



Figur 2.30 Strand og klitter sydvest for Højen Fyr set mod sydvest, 04.04.2022

Der forekommer læsideerosion nordøst for Højen Fyr, hvor den mest nordlige hølfe ved Gammel Skagen er placeret. Læsideerosionen har medført bagskæring, som er forsøgt afværget ved hjælp af skråningsbeskyttelse (**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**).



Figur 2.31 Strand og klitter nordøst for Højen Fyr set mod nordøst, 04.04.2022

3. Historisk kystudvikling

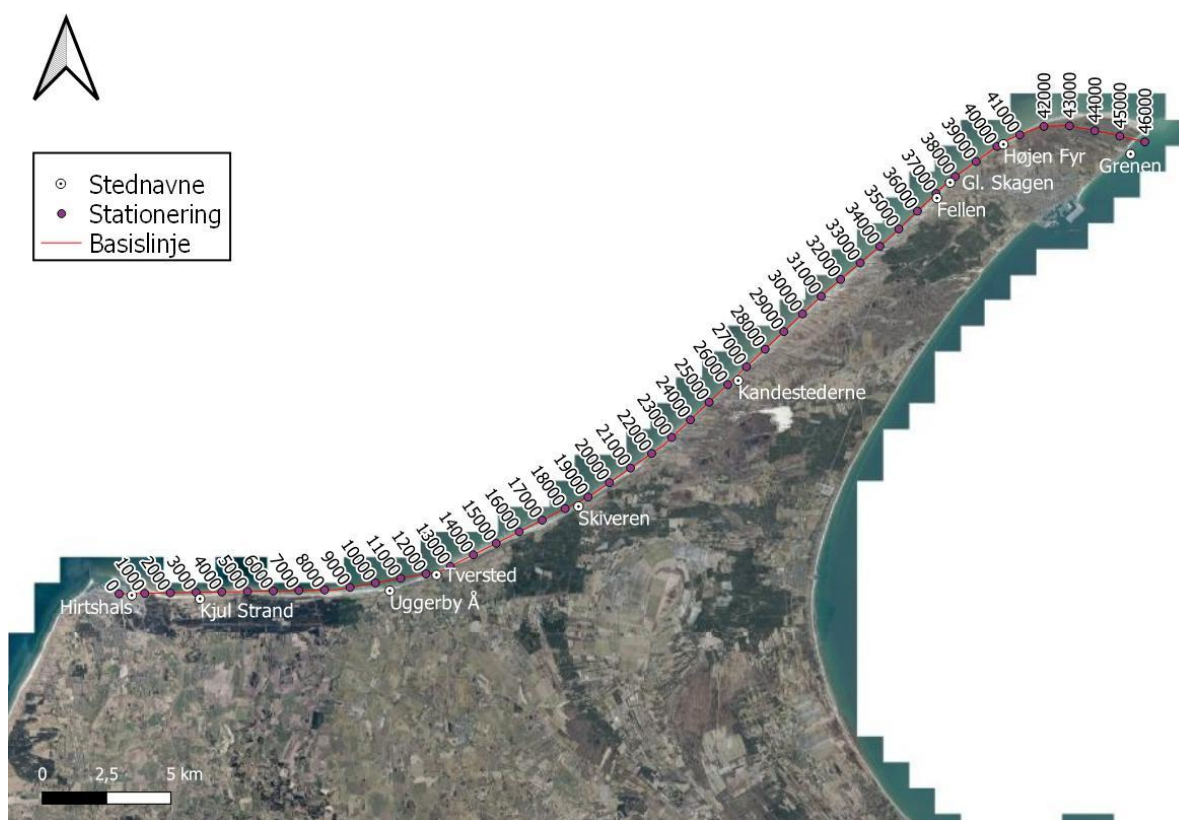
3.1 Metode

NIRAS har udarbejdet analyser af den historiske udvikling af kysten mellem Hirtshals og Grenen. Analyserne tager udgangspunkt i digitalisering af vandlinjer (strandlinjer) ud fra luftfoto og kort i år 1885, 1954, 1999, 2004, 2018 og 2021. Ved Gammel Skagen er vandlinjerne fra 2010, 2012, 2014, 2016 og 2020 desuden digitaliseret for at give et mere detaljeret billede af kystudviklingen.

Vandlinjen er vurderet til at være den letteste parameter at analysere og som samtidig giver et godt billede af strandens dynamik og herunder udviklingen som følge af sandbølger og strandfodring.

Der er en usikkerhed ift. vandlinjens placering, som skyldes variationen i vandstanden fra det ene luftfoto til den andet. Desuden kan årstidsvariation i strandprofilen og herunder akut erosion i forbindelse med storme også have indflydelse på vandlinjens placering.

Placeringen af de digitaliserede vandlinjer er målt som afstanden målt vinkelret til en basislinje, der løber parallelt med kysten. Stationering er angivet langs basislinjen, som afstanden målt langs basislinjen fra Hirtshals Havn (Figur 3.1-Figur 3.2). Afstanden mellem stationeringspunkterne er i beregningerne 50 m.



Figur 3.1 Basislinje og stationering (vist for hver 1000 m) mellem Hirtshals Havn og Grenen, luftfoto 2021



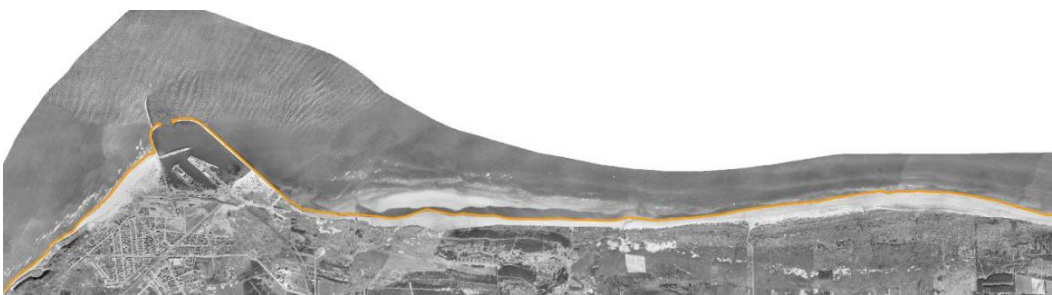
- Stednavne
- Stationering
- Basislinje



Figur 3.2 Basislinje og stationering ved Hirtshals Havn, luftfoto 2021

3.2 Kystudvikling ved Hirtshals Havn

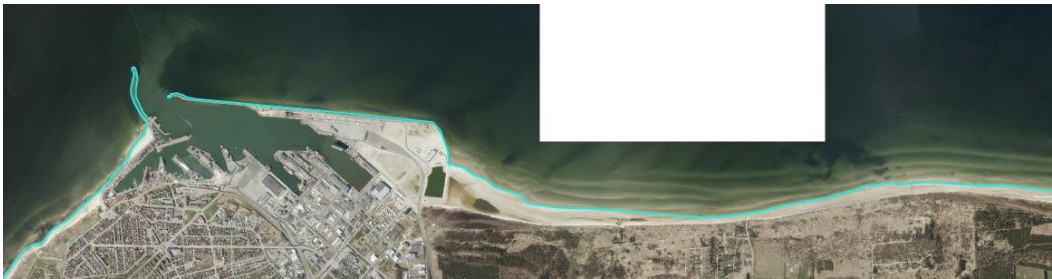
Kystudviklingen ved Hirtshals Havn er digitaliseret ud fra luft- og satellitfotos fra 1885, 1954, 1999, 2004, 2018 og 2021 (Figur 2.3). Variationen i stranden øst for Hirtshals Havn er tydelig ved sammenligning af kystudviklingen fra 1954, 1999, 2018 og 2021, desuden kan vandringen af sandbanker, der vandrer ind til stranden og bliver til sandbølger, konstateres (Figur 3.3-Figur 3.6).



Figur 3.3 Kyst omkring Hirtshals Havn, luftfoto 1954



Figur 3.4 Kyst omkring Hirtshals Havn, luftfoto 1999



Figur 3.5 Kyst omkring Hirtshals Havn, luftfoto 2018

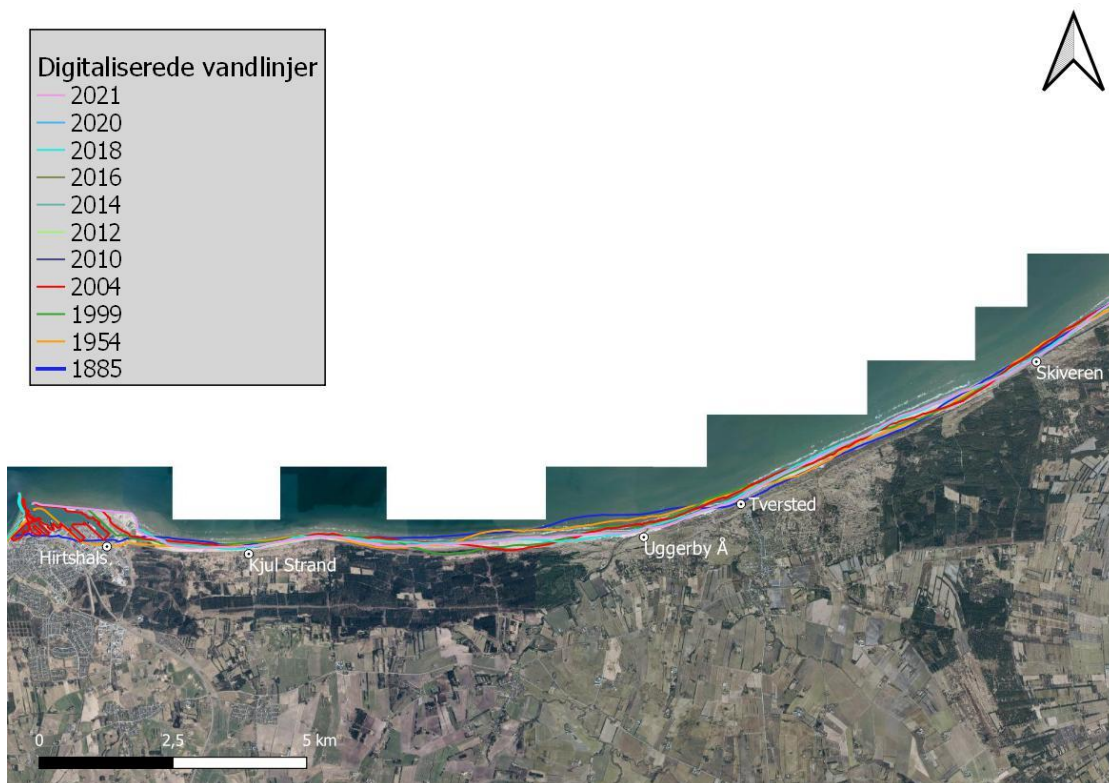


Figur 3.6 Kyst omkring Hirtshals Havn, luftfoto 2021

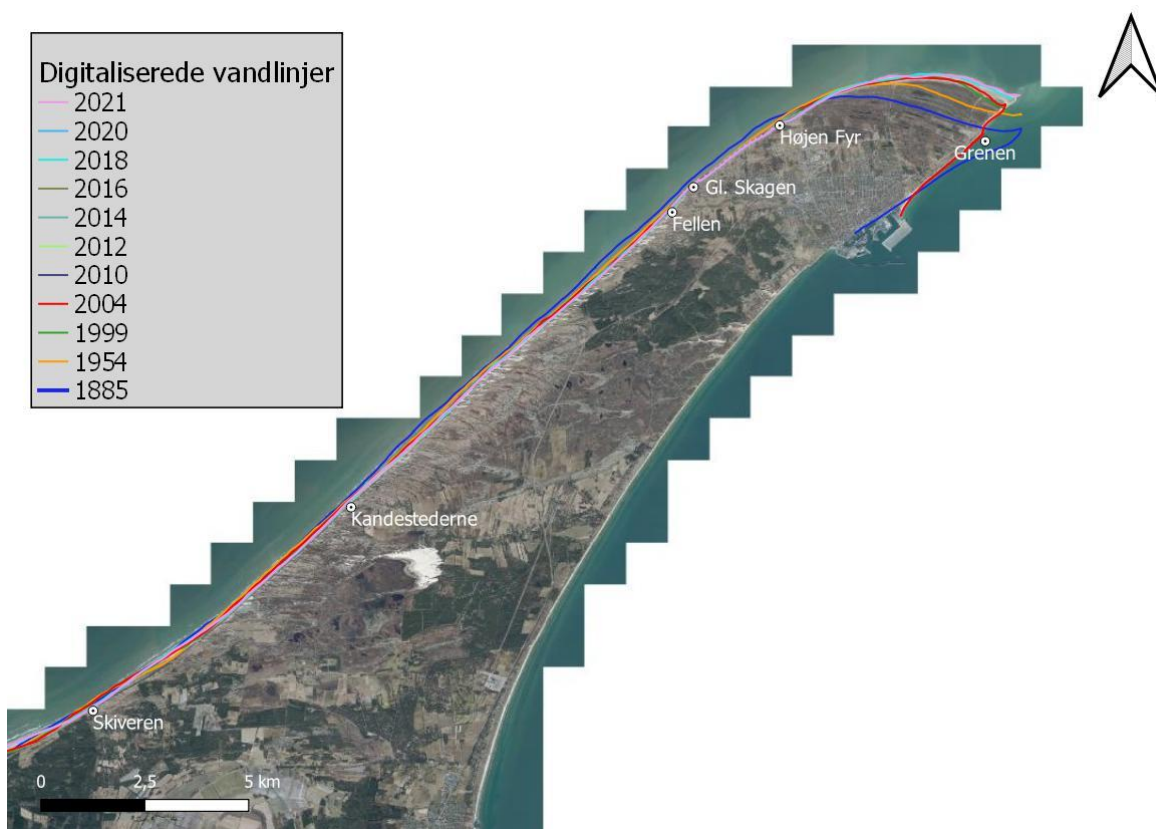
3.3 Kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen

Kystudviklingen mellem Hirtshals og Grenen er digitaliseret ud fra elleve luft- og satellitfotos fra 1885 til 2021 (Fejl! Hensivningskilde ikke fundet.Figur 3.7-Figur 3.8). Kystlinjens placering har varieret op til 400 m tilbage og 1050 m frem siden 1885 (Figur 3.9-Figur 3.10):

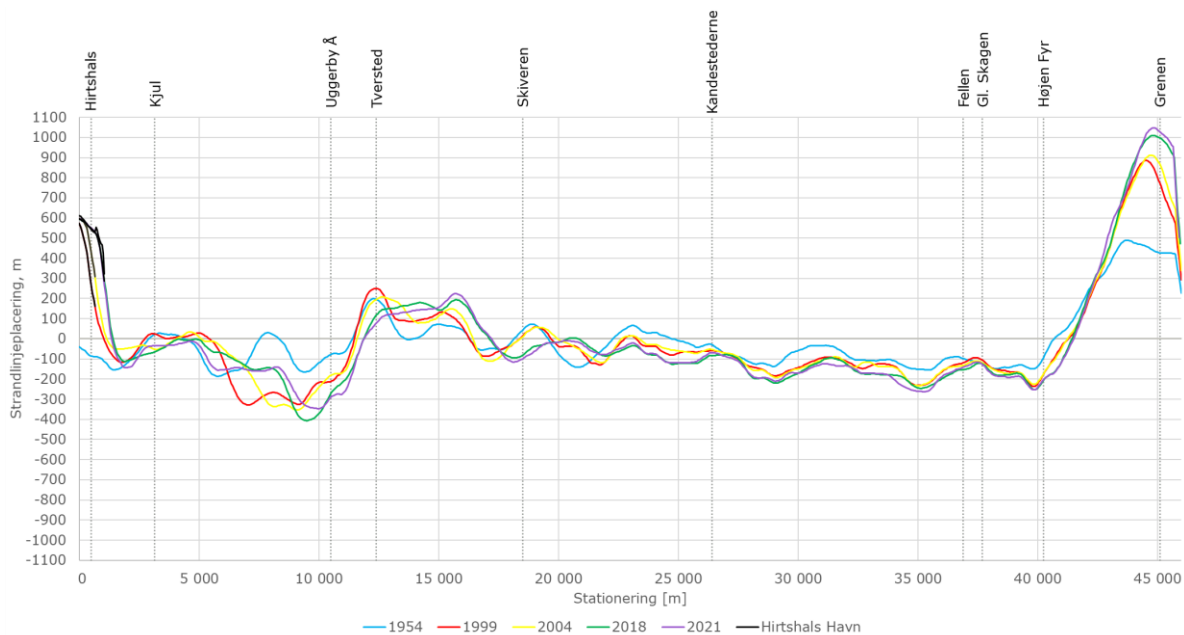
- Mellem Hirtshals Havn og Uggerby Å har der været en tilbagerykning
- Ved Tversted har der været en fremrykning
- Mellem Tversted og Højen Fyr har der været en tilbagerykning
- Ved Grenen har der været en stor fremrykning



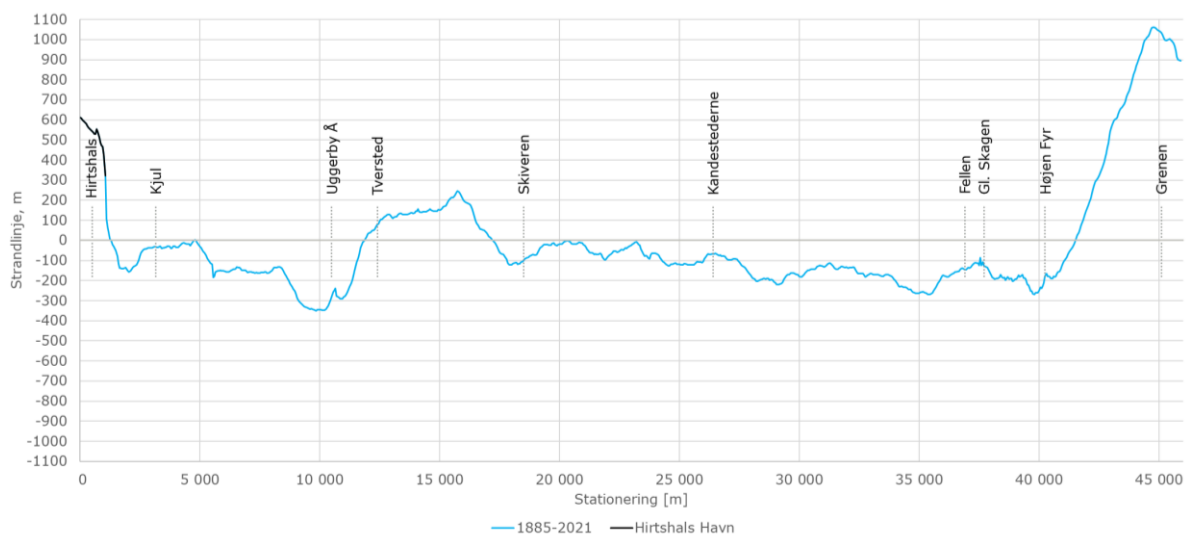
Figur 3.7 Historisk kystudvikling mellem Hirtshals og Skiveren, luftfoto 2021



Figur 3.8 Historisk kystudvikling mellem Skiveren og Grenen, luftfoto 2021



Figur 3.9 Historisk kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen mellem 1954 og 2021 i forhold til kystlinjen i 1885



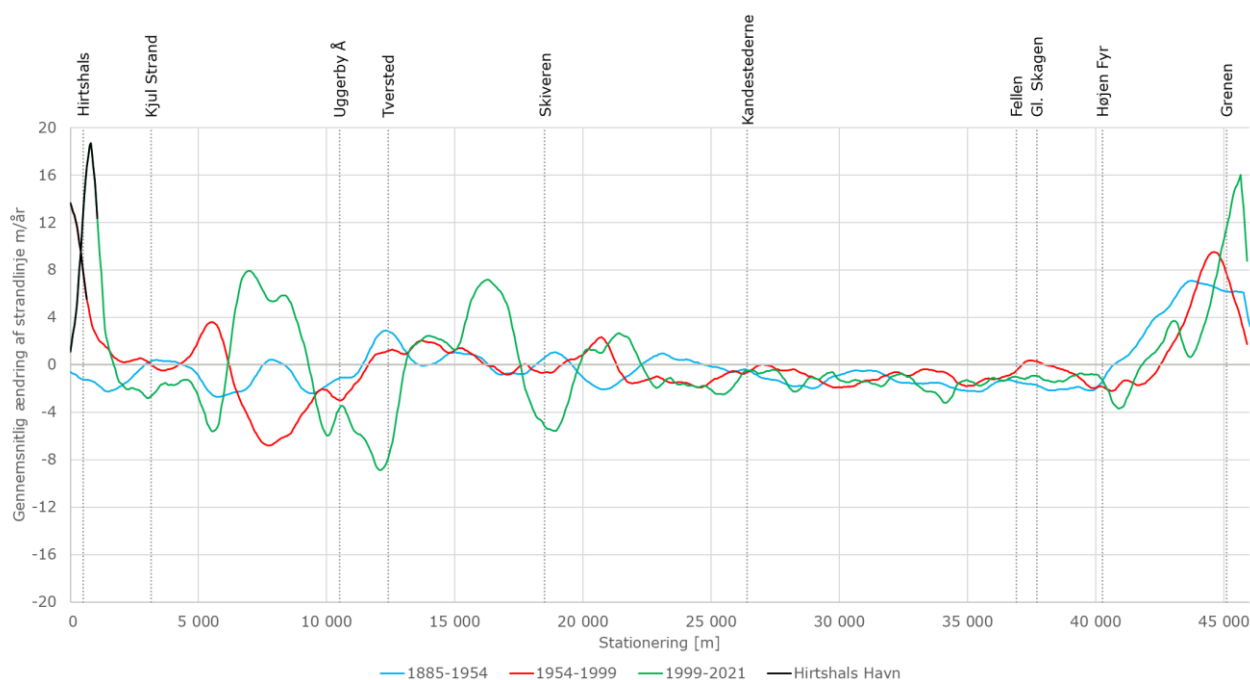
Figur 3.10 Samlet historisk kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen fra 1885 til 2021

Kystlinjen er generelt rykket tilbage langs strækningen mellem Hirtshals Havn og Højen Fyr. Det er sandsynligt, at tilbagemykningen af kystlinjen er forårsaget af en reduktion i langtransporten af sediment. En årsag til en reduktion i langtransporten kan være Hirtshals Havn, der skaber en opbremsning af sedimentets naturlige transport langs kysten fra sydvest til nordøst, som beskrevet i afsnit 2.1.

Langs strækningen mellem Hirtshals Havn og Uggerby Å samt mellem Tversted og Højen Fyr, hvor der har været tilbagerykning af kysten, stiger erosionen i en østgående retning. Den gradvise stigning i tilbagerykningen er et tegn på en stigende langtransport og en tendens til kronisk erosion.

Ved Tversted, hvor der har været en generel fremrykning af kysten, forventes aflejringen at være forårsaget af kystlinjens orientering, der ændres fra nord mod nordvest i dette område, hvilket forventes at påvirke langtransporten. I løbet af perioden 1954 til 2021 er kystlinjens fremrykning blevet reduceret med ca. 100-150 m. Variationen i kystlinjens fremrykning kan enten skyldes erosion forårsaget af en faldende langtransport, eller, midlertidige sandbølger, der passerer området. Der kræves yderligere analyser for at understøtte udsagnene.

Kystudviklingen langs projektstrækningen har været vekslende over tid. Tilbage- og fremrykningsraten af kystlinjen har haft en stor variation mellem Hirtshals Havn og Tversted, og en mindre variation mellem Tversted og Højen Fyr (Figur 3.11). Dette bekræftes af tidligere analyser fra 1994, hvor kystlinjens ændring er vurderet til at være mellem 0,6 m fremrykning til 4,4 m tilbagerykning alt efter kystlinjens orientering (Figur 3.12). Se yderligere analyser i Bilag 2: Kystudvikling ved Kjul Strand, Tversted, Skiveren og Kandestederne.



Figur 3.11 Kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen, 1885-1954, 1954-1999 og 1999-2021

| | Tilbage-/fremrykningshastighed i m/år 1977 - 1991 | | | |
|--------------------|---|-----------|--------|-----------------|
| | Skrænt | Kystlinie | Profil | Beskrivelse |
| Nordvendte kyst | - 2,4 | - 4,4 | - 2,8 | Kraftig erosion |
| Overgangsstrækning | - 0,3 | 0,6 | 0,0 | Stabil |
| Odden | - 1,4 | - 0,9 | - 1,2 | Moderat erosion |

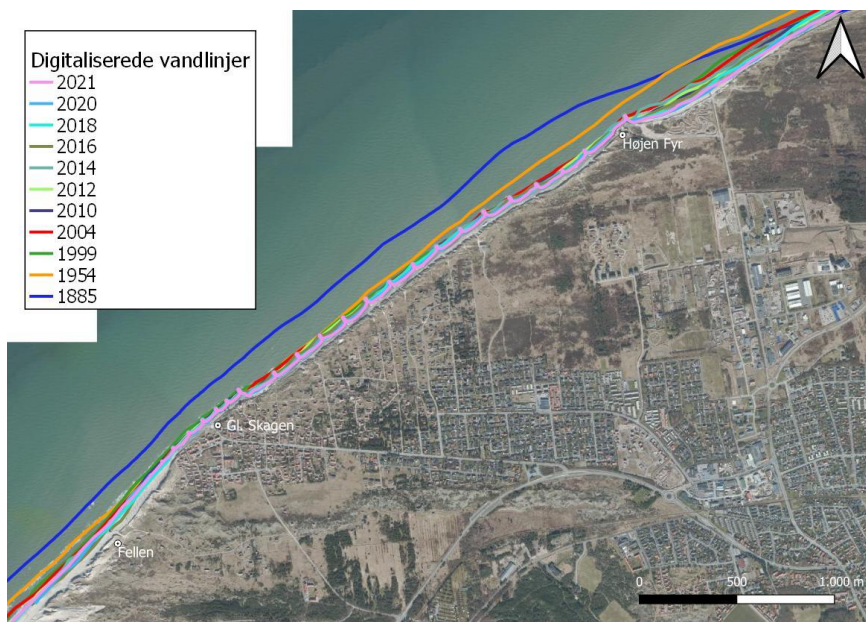
Note: Negative værdier angiver kysttilbagerykning
Positive værdier angiver kystfremrykning

Figur 3.12 Kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen i perioden 1977 til 1991 (DHI, 1994)

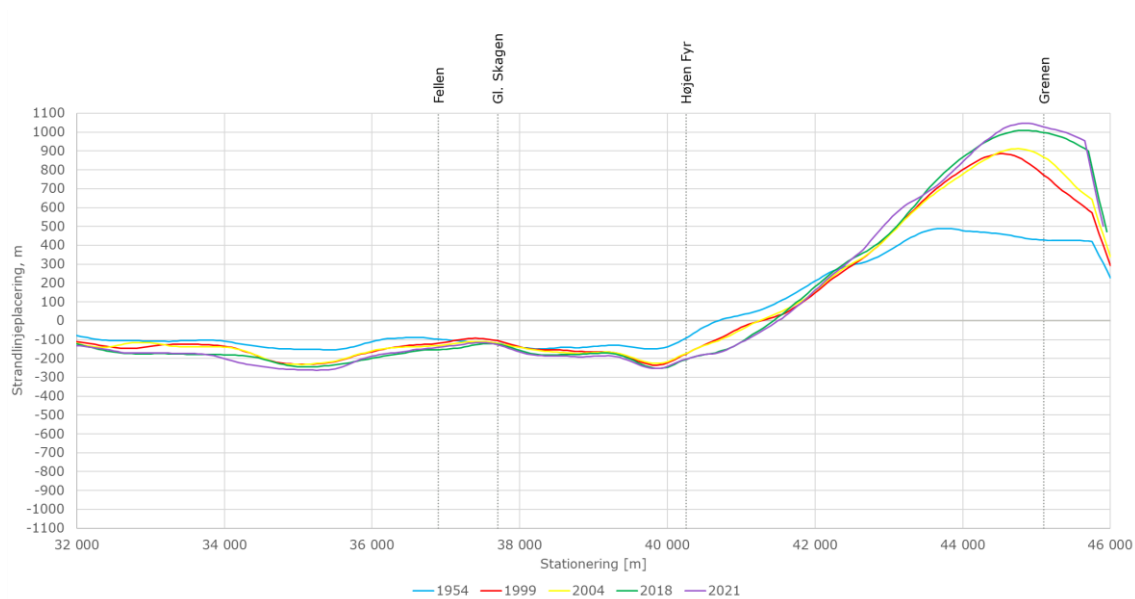
Årsagen til den varierende kystudvikling mellem Hirtshals og Tversted er vanskelig at fastsætte, da sedimenttransport langs denne strækning kan være påvirket af flere forskellige faktorer, såsom 1) blokeringen af sediment transport som Hirtshals Havn; 2) læsideerosion øst for Hirtshals Havn; og/eller 3) formation af sandbølger pga. kystlinjens orientering. Der kræves yderligere analyser for at vurdere årsagen til kystens udvikling.

3.4 Kystudvikling ved Gammel Skagen

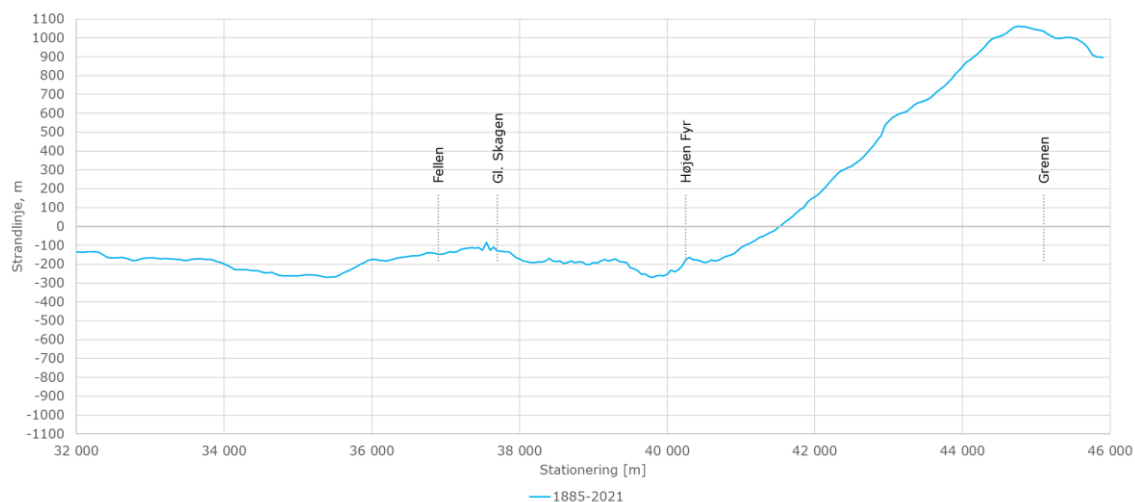
Kystudviklingen ved Gammel Skagen er digitaliseret ud fra luft- og satellitfotos fra 1885 til 2021 (Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.Figur 3.13). Kystlinjens placering har rykket sig ca. 100 m tilbage siden 1885 (Figur 3.14-Figur 3.15).



Figur 3.13 Historisk kystudvikling omkring Gammel Skagen, luftfoto 2021



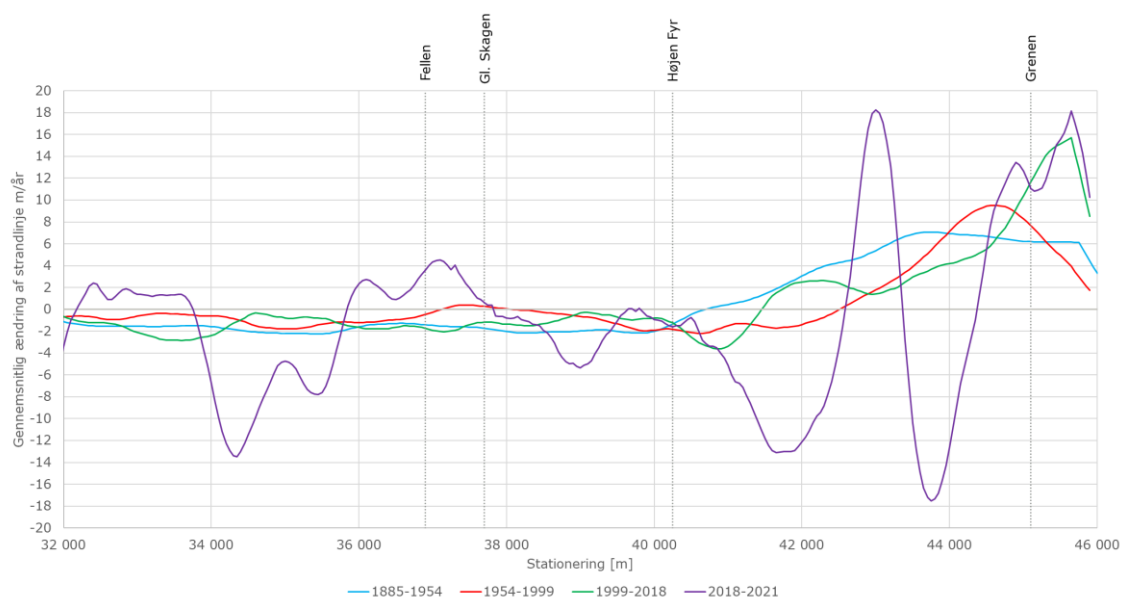
Figur 3.14 Historisk kystudvikling omkring Gammel Skagen mellem 1885-2021 i forhold til 1885



Figur 3.15 Samlet historisk kystudvikling omkring Gammel Skagen mellem 1885-2021

Kysten ved Gammel Skagen er forsøgt stabiliseret med hård kystbeskyttelse i form af hølfer, strandfodring og skråningsbeskyttelse mellem Fellen og Højen Fyr siden 1950'erne, se afsnit 2.3.

Kystudviklingen ved Gammel Skagen har været vekslende over tid. Tilbagevkningsraten af kystlinjen har været ca. 0-2 m/år med en faldende tilbagevkningsrate siden de første hølfer blev implementeret (Figur 3.16).



Figur 3.16: Historisk kystudvikling mellem Fellen og Højen Fyr ved Gammel Skagen

Kystudviklingen i området omkring Gammel Skagen viser en høj variation i frem- og tilbagevkningsraten for perioden 2018-2021, hvilket kunne være påvirket af udbygningen og renovationen af kystbeskyttelsen i 2019. Se yderligere analyser i Bilag 3: Kystudvikling i området ved Gammel Skagen.

4. Sedimentbudget

4.1 Metode

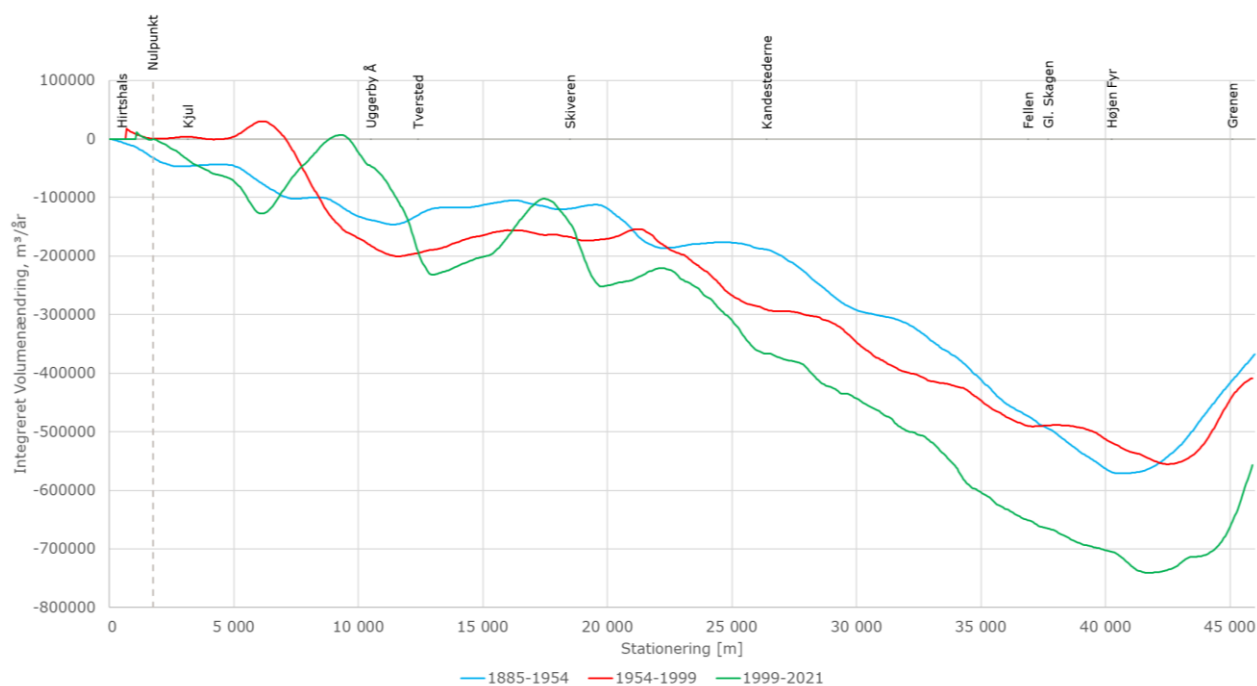
Sedimentbudgettet er estimeret ved at beregne volumenændringerne i en række strandprofiler på strækningen imellem Hirtshals og Grenen (se stationeringer i Figur 3.1), baseret på de digitaliserede kystlinjer, der er benyttet ifm. udarbejdelsen af den historiske kystudvikling. Volumenændringen i strandprofilerne er beregnet for den bølgedominerede del af kystprofilen, dvs. fra den aktive dybde til klittoppen. Den aktive dybde beskriver den dybde, hvor størstedelen af langstransporten foregår indenfor (NIRAS, 2019). Klittoppen er ved hvert strandprofil udtrukket fra den danske højdemodel fra 2014.

Ved aflejring og fremrykning af stranden er volumenændringen i strandprofilen beregnet fra den aktive dybde til kote +1 m, der antages at være den gennemsnitlige højde på stranden, hvortil der aflejres sediment af bølgerne. Den aktive dybde er ca. to gange bølgehøjden under en typisk storm. Bølgehøjden under en typisk storm er ca. 3-4 m ud for Hirtshals (DHI, 1994). Derfor antages den aktive dybde til at være 7 m. Bemærk, da der ikke er foretaget beregninger af den aktive dybde i forbindelse med dette projekt er denne parameter forbundet med stor usikkerhed.

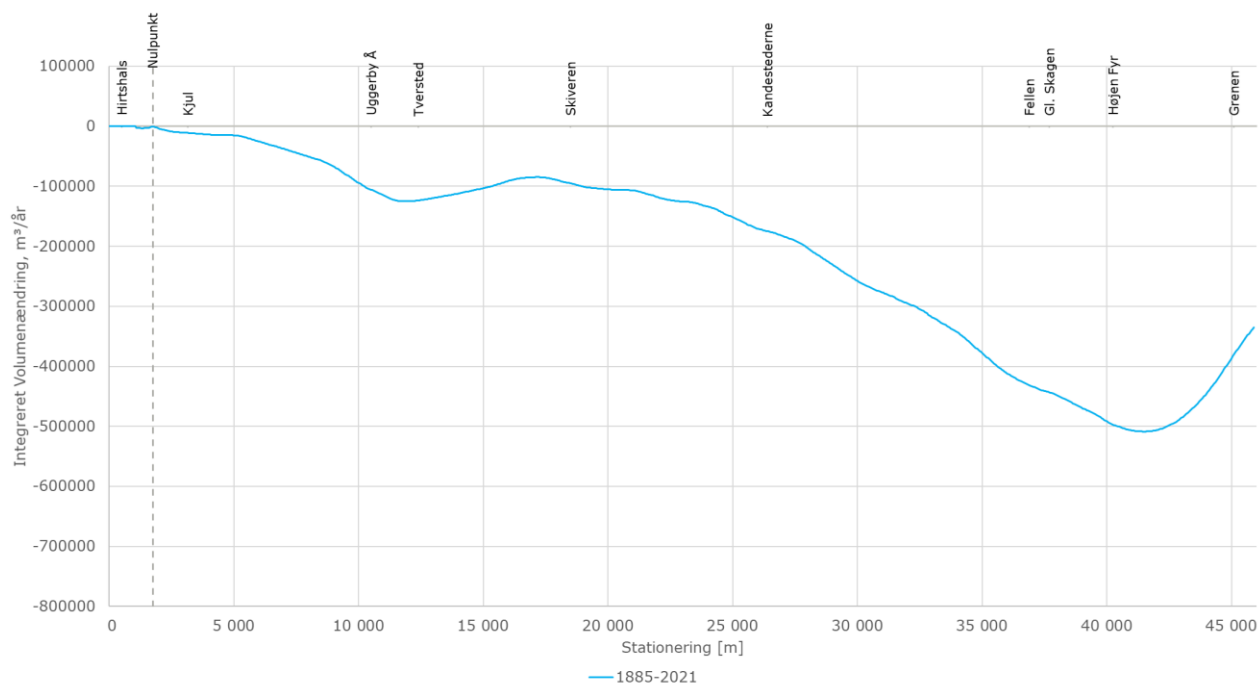
Sedimentbudgettet beregnes med udgangspunkt i et sedimenttransport-nulpunkt øst for Hirtshals Havn.

4.2 Sedimentbudget mellem Hirtshals og Grenen

Sedimenttransporten stiger generelt mellem Hirtshals Havn og Tversted, er konstant mellem Tversted og lidt vest for Skiveren, og stiger fra lidt vest for Skiveren til Højen Fyr for derefter at falde imod Grenen (Figur 4.1-Figur 4.2). Den tiltagende langstransport er et udtryk for, at der generelt foregår erosion fra Hirtshals til Grenen. Dog med en konstant transport, og dermed en forholdsvis stabil kyst, mellem Tversted og lidt vest for Skiveren, samt med en faldende transport og dermed kystfremrykning, fra lidt øst for Højen Fyr og mod Grenen.



Figur 4.1 Sedimentbudget langs kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen som gennemsnittet af den integrerede volumenændring langs kysten mellem 1885-1954, 1954-1999 og 1999-2021.



Figur 4.2 Sedimentbudget langs kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen som gennemsnittet af den integrerede volumenændring langs kysten mellem 1885-2021.

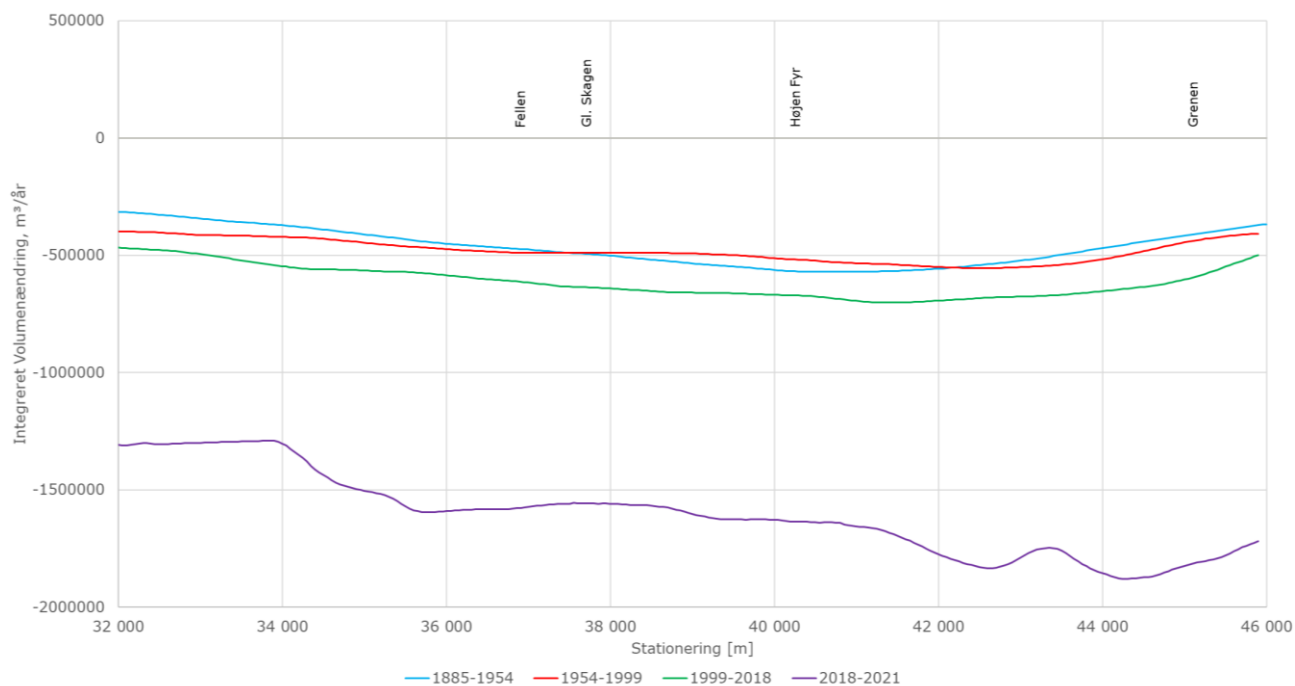
Analysen viser, at der mistes op til 250.000 m³/år sediment langs kysten mellem Hirtshals og Tversted. Det samlede tab af sediment på kysten mellem Hirtshals og Grenen estimeres til at være op til ca. 750.000 m³/år. På trods af at disse værdier er behæftet med stor usikkerhed, som følge af at analysen bygger på udviklingen af kystlinjen alene, og at der ikke er foretaget detaljerede beregninger af den aktive dybde, vurderes analysen tilstrækkelig ift. at vise de dominerende karakteristika for sedimentbudgettet.

Det kan diskuteres, om strækningen mellem Tversted og Skiveren, hvor der formodes at være en konstant langstransport, har den virkning, at variationer i sedimenttilførslen fra vest ikke kan forplante sig videre op langs kysten vest for denne strækning. Der kræves yderligere analyser for at vurdere sedimenttilførslen til og fra strækningen mellem Tversted og Skiveren.

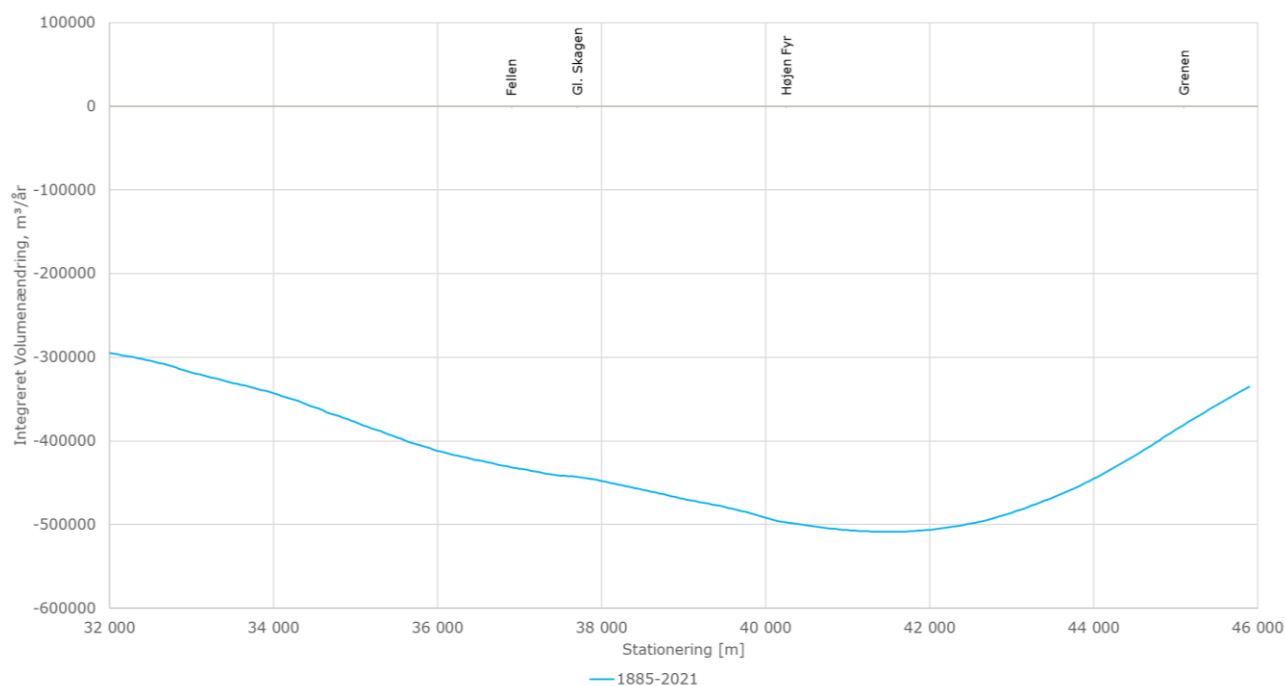
Overordnet set viser analysen, at der er sket en stigning i erosionen af kysten for den seneste periode 1999-2021 i forhold til perioderne 1885-1954 og 1954-1999. Stigningen i erosionen af kysten kan skyldes, at der har været et voldsommere bølgeklime de seneste 20 år i forhold til tidligere, eller at Hirtshals Havn blokerer for en stadig større del af langstransporten fra sydvest. Der kræves yderligere analyser for at bestemme årsagen til en stigning i erosionen langs kyststrækningen, og om ændrede bypass producerer kunne have en betydning for den stigende erosion.

4.3 Sedimentbudget ved Gammel Skagen

Sedimenttransporten stiger generelt indtil øst for Højen Fyr, hvorefter sedimenttransporten falder (Figur 4.3-Figur 4.4). Den tiltagende langstransport er et udtryk for, at der generelt foregår erosion indtil øst for Højen Fyr, hvorefter der er en faldende transport og dermed kystfremrykning.



Figur 4.3 Sedimentbudget langs kysten omkring Gammel Skagen som gennemsnittet af den integrerede volumenændring langs kysten mellem 1885-1954, 1954-1999, 1999-2018 og 2018-2021.



Figur 4.4 Sedimentbudget langs kysten omkring Gammel Skagen som gennemsnittet af den integrerede volumenændring langs kysten mellem 1885-2021.

5. Kystteknisk vurdering

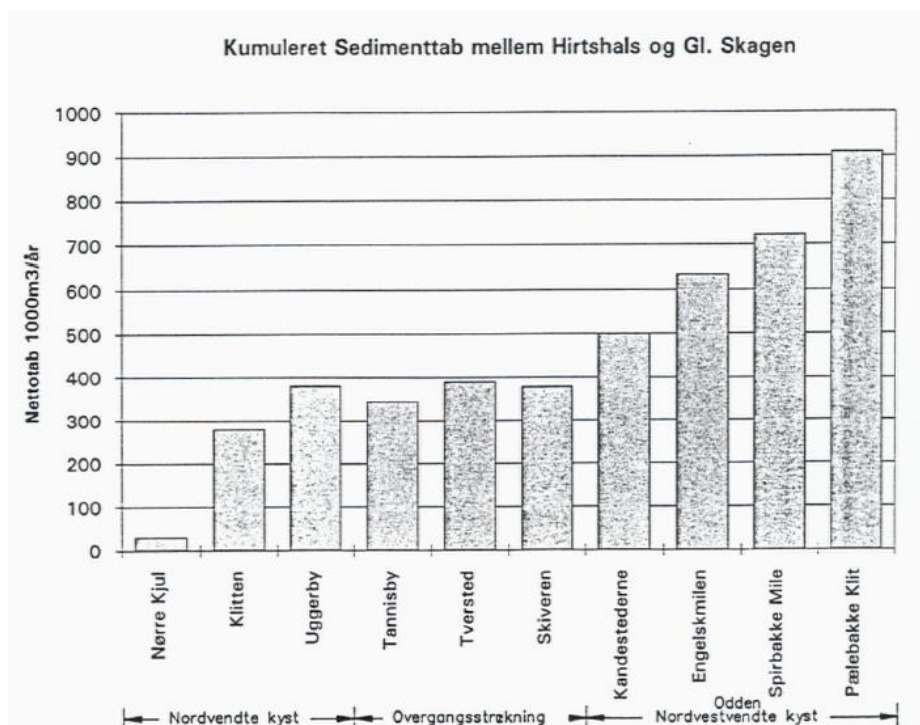
5.1 Sedimentbudget fra tidligere undersøgelser

Sedimentbudgettet for hele Vestkysten er blevet estimeret på baggrund af bølgeanalyser og historiske kystlinjændringer i 2001 (Bilag 3: Sedimentbudget for Vestkysten). På trods af, at estimatet er over 20 år gammelt, forventes det at de overordnede karakteristika er de samme i dag. Analysen viser, at der er en tiltagende nordgående sedimenttransport, ligesom analyserne i nærværende rapport viser.

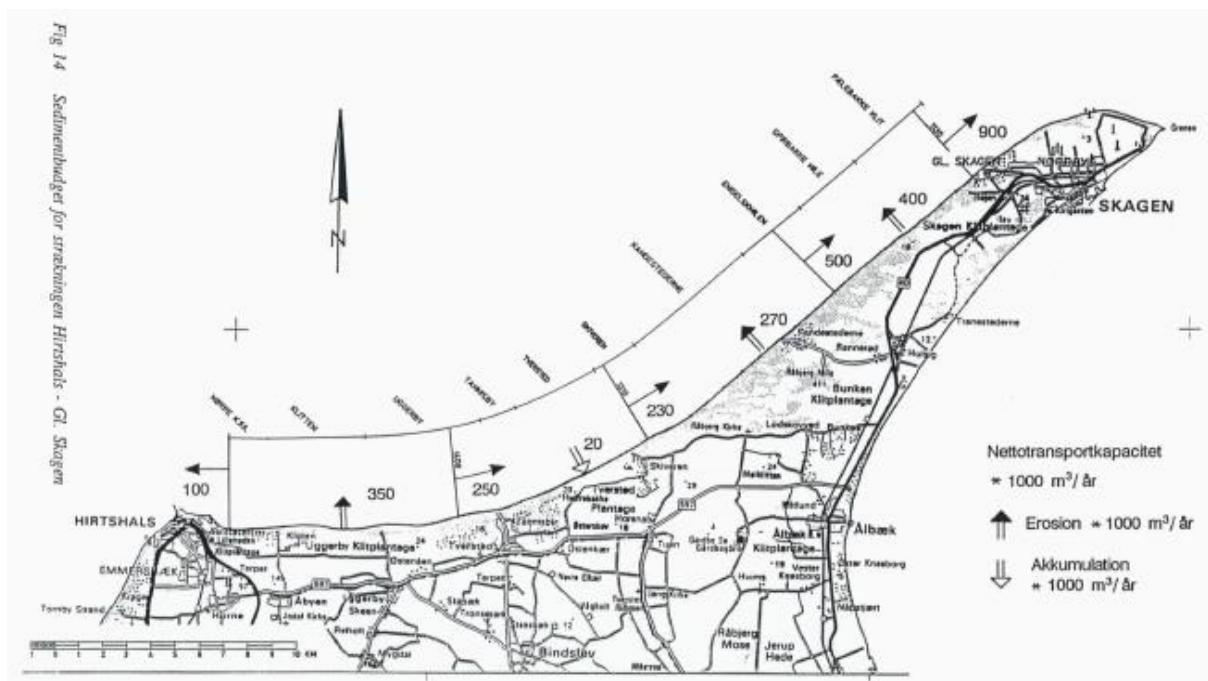
I nærværende rapport er der en stigende østgående nettotransport af sediment på strækningen øst for Hirtshals Havn til Tversted, herefter falder transportkapaciteten og stiger igen efter Skiverne til Grenen. Disse forhold svarer til resultatet af en undersøgelse af kysten mellem Hirtshals og Gammel Skagen, som blev foretaget i 1994 (**Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**-**Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**). Da resultaterne er sammenlignelige, vil analyserne fra 1994 benyttes til at forstå kystudviklingen mellem Hirtshals og Grenen i dag.

Det kumulerede sedimenttab mellem Hirtshals og Grene angiver ikke umiddelbart nettotransporten, idet der er et transportnulpunkt mellem Nørre Kjul og Klitten. Retningen af nettotransporten er østgående øst for dette og vestgående vest for dette. Dette skyldes læ-virkningen fra havnen for vestlige bølger i området tættest på havnen (**Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**).

Der tabes årligt omkring 100.000 m³ sediment fra kysten øst for havnen til området ud for havnen. Dette sediment indgår i omsætningen omkring havnen sammen med de ca. 900.000 m³, der tilføres fra kysten sydvest (**Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**).



Figur 5.1 Kumuleret sedimenttab mellem Hirtshals og Gammel Skagen (DHI, 1994)



Figur 5.2: Sedimentbudget inddelt i karakteristiske strækninger mellem Hirtshals Havn og Gammel Skagen (DHI, 1994)

I disse tidlige undersøgelser blev det konkluderet, at Hirtshals Havn har en indflydelse på sedimentbudgettet ca. 10 km øst for havnen på baggrund af en analyse af kystlinjens placering i 1787-1887 og 1887-1987, og på baggrund af ovenstående sedimentbudget (DHI, 1994). Omkring 20 år senere, har kysttekniske undersøgelser konkluderet, at Hirtshals Havn kun har indflydelse på sedimentbudgettet ca. 5 km øst for havnen med forklaringen, at man ikke kan se en påvirkning af sedimentbudgettet efter 5 km fordi havnen skygger for indkommende bølger fra vest, og fordi havnen afbøjer sedimenttransporten fra syd, så en større del af sedimentet fra denne transport ender på dybt vand i stedet for at ende på den nordvendte kyst (DHI, 2013).

Kystdirektoratet har analyseret transport- og kystforholdene omkring Hirtshals Havn i 2018, og vurderer at Hirtshals Havn har en beskyttende effekt på den vestligste og sandsynligvis også den centrale dele af strækningen ved Kjul øst for havnen (Kystdirektoratet, 2018a). Det forventes dog, at der ved naturlige processer stort set ikke transporteres sand forbi Hirtshals Havn fra sydvest til øst for havnen.

Erosionen langs odden nordøst for Tversted op mod Grenen kan ikke tilskrives Hirtshals Havn direkte, men skyldes en tiltagende transportkapacitet mod nordøst som følge af bølgeklimate og kystens orientering. Umiddelbart forventes det, at kystlinjen ved Tversted, hvor transportkapaciteten er nogenlunde stabil, vil rykke tilbage, hvis der forekommer et underskud i sedimentbudgettet. Der kræves yderligere undersøgelser for at vurdere dette.

5.2 Sedimenttransport, tilsanding og bypass ved Hirtshals Havn

På baggrund af en generel forståelse af bølge-, strøm- og transportforhold, samt oplysninger om havneudbygning og oprensninger i indsejlingen til havnen, er sedimenttransporten ved Hirtshals Havn blevet konceptuelt visualiseret i 2019 (Figur 5.3). Overordnet bliver der transporteret ca. 1 mio. m³ sediment fra sydvest forbi Hirtshals Havn, det forventes at ca. 0,4-0,7 mio. m³ sediment tilsander indsejlingen til havnen. Som beskrevet i afsnit **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**, må det forventes, at der er en reduktion i den naturlige bypass af sand fra vest mod øst pga. Hirtshals Havn; størstedelen af sedimentet der passere havnen dette sediment forventes at blive aflejret på dybt vand. Det

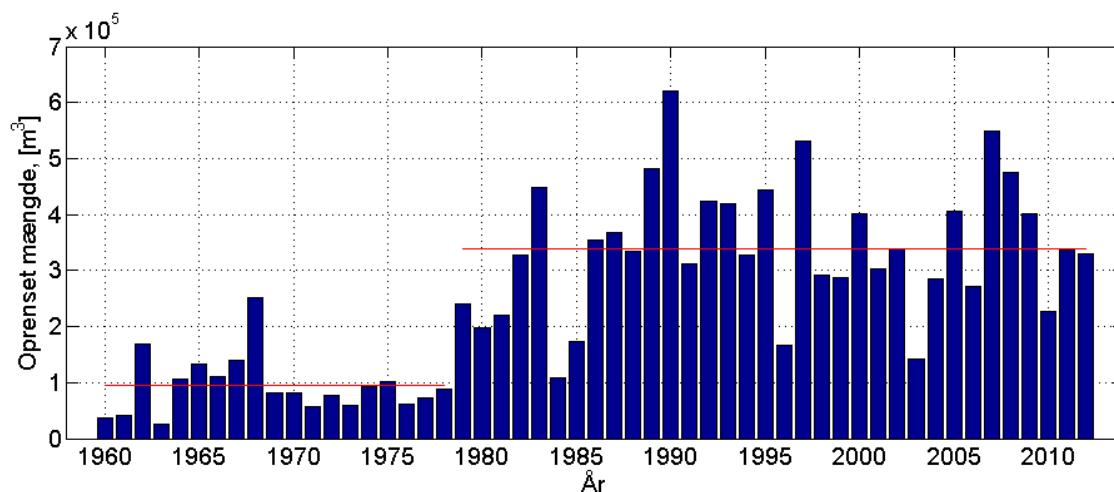
skønnes at ca. 300.000 m³/år føres videre imod østnordøst, og at der forekommer et lille bypass til kysten øst for Hirtshals Havn, der aflejres på i det lavvandede område øst for indsejlingen (NIRAS, 2019).



Figur 5.3 Sedimenttransport ved Hirtshals Havn (NIRAS, 2019)

Kystdirektoratet har i 2018 givet tilladelse til, at der foretages bypass og/eller nyttiggørelse med op til 500.000 m³ sediment pr. år fra indsejlingen til Hirtshals Havn frem til 2028 uden krav om konsekvensvurdering. Kystdirektoratet anbefaler, at oprenset sediment føres videre i den naturlige materialevandring langs kysten, men hvor særlige forhold kan begrunde det, vurderes det positivt, at oprenset sediment nyttiggøres i form af kystbeskyttelse (Kystdirektoratet, 2018b). Behovet for nyttiggørelse andre steder end ved kysten direkte øst for Hirtshals Havn er i tilladelsen estimeret til at være 300.000 m³.

Sedimentet, der tilsander indsejlingen ved Hirtshals Havn, er jævnlige blevet oprenset med en generelt stigende kapacitet (Figur 5.4). Den gennemsnitlige oprensingsmængde for årene 1960-1978 er ca. 100.000 m³/år, og for årene 1979-2012 er den ca. 330.000 m³ (DHI, 2013).

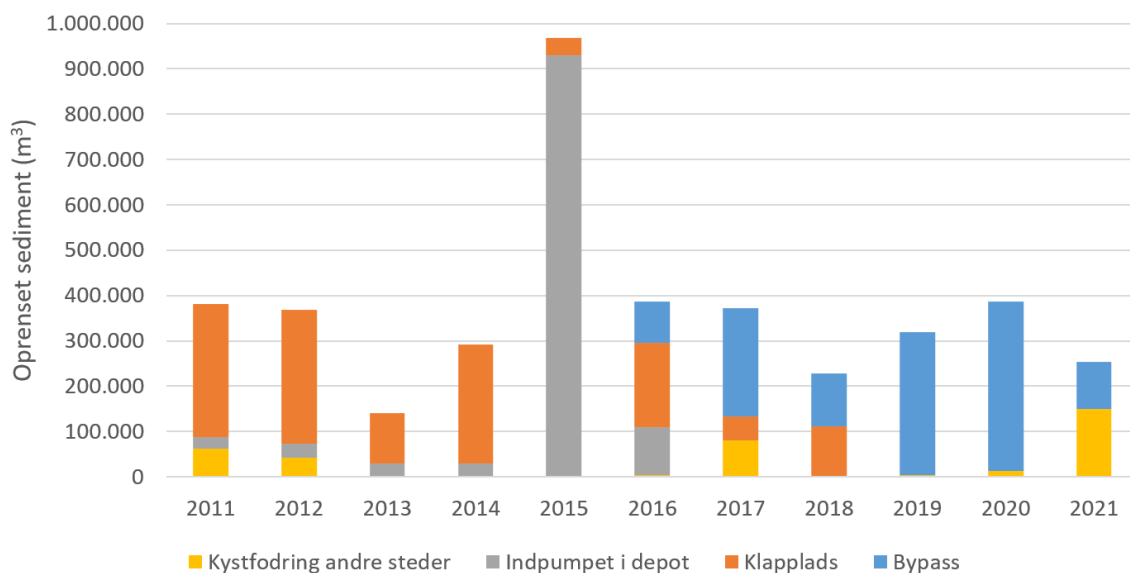


Figur 5.4 Oversigt over oprenset sedimentvolumen fra indsejlingen ved Hirtshals Havn mellem 1960 og 2012 (DHI, 2013).

Det oprensede sediment har tidligere været klappet på havbunden udenfor den aktive sedimenttransportzone, dvs. der ikke er lavet egentlig bypass af sedimentet til gavn for kysten eller blevet lavet nyttiggørelse på anden vis (Kystdirektoratet, 2018a). Det oprensede sediment er typisk blevet klappet på 9-17 m vanddybde nord for Hirtshals Havn (Kystinspektoret, 1993); ved klappning på denne vanddybde er det overvejende sandsynligt, at det klappede

materiale ikke senere føres ind på kysten (DHI, 1994). En stor del af det oprensede sediment forventes således tabt ved klappning.

Den totale mængde oprenset sediment ved Hirtshals Havn har i perioden 2011-2021 været 140.000-970.000 m³/år med et gennemsnit på 375.000 m³/år (Figur 5.5). Der er således sket en øgning i det oprensede sedimentvolumen ift. perioden 1979-2012.



Figur 5.5: Oprensede sediment i Hirtshals Havn fra 2011-2021. Se rådata i Bilag 4: Anvendelse af oprenset sediment fra Hirtshals Havn mellem 2011 og 2021. **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**

Det oprensede sedimentvolumen benyttes til kystfodring i omegnen af Hirtshals Havn, til opbevaring i depot på havnen, til klappning og bypass (Hirtshals Havn, 2021). Ved bypass forventes det, at det oprensede sediment benyttes til fordel for kysten direkte øst for Hirtshals Havn (Tabel 5.1). Det er uvist om klappning benyttes til fordel for kysten direkte øst for Hirtshals Havn.

Tabel 5.1: Forklaring af hvordan det oprensede sediment ved Hirtshals Havn benyttes i perioden 2011-2021

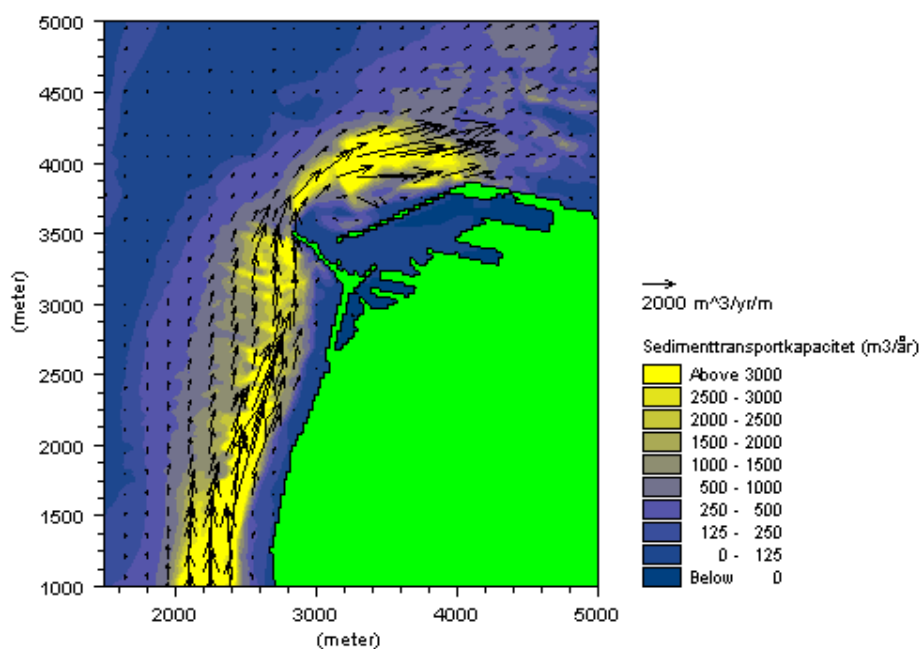
| Formål | Forklaring | Fordel for kysten direkte øst for Hirtshals Havn? |
|-----------------------------|---|---|
| Kystfodring Lønstrup | Sedimentet benyttes som kystfodring 15 km vest for Hirtshals Havn. | Nej |
| Kystfodring Skagen | Sedimentet benyttes som kystfodring 40 km øst for Hirtshals Havn. | Nej |
| Kompensation fodring Tornby | Sedimentet benyttes som kystfodring 5 km vest for Hirtshals Havn. | Nej |
| Kompensation fodring Nørlev | Sedimentet benyttes som kystfodring 10 km vest for Hirtshals Havn. | Nej |
| Indpumpet i depot | Sedimentet pumpes ind i et depot der ligger i Hirtshals Havn | Nej |
| Klappads | Sedimentet anvendes til opfyldning på en klappads søværts for Hirtshals Havn. | Uvist |
| Bypass | Sedimentet videreføres nedstrøms på læsiden af Hirtshals Havn | Ja |

Der er blevet foretaget bypass af sediment ved Hirtshals Havn siden 2016. Af den totale mængde oprenset sediment ved Hirtshals Havn siden 2016 er det 23-95% med et gennemsnit på 55%, der nyttiggøres med fordel for kysten direkte øst for Hirtshals Havn.

Det er en sandsynlighed for, at en stor del af det sediment, der benyttes til bypass, går tabt på dybt vand uden for den aktive zone (afhængigt af, på hvilken dybde klappingen er foregået), og at det derved kun er en mindre del af sedimentet, der kommer ind på kysten øst for Hirtshals Havn. Der kræves yderligere analyser for at vurdere dette.

Den største sedimenttransportkapacitet rundet om Hirtshals Havn observeres ud for havnens nordmole, mens en langt mindre sedimenttransportkapacitet observeres øst for havnen (Figur 5.6). Der er aftagende sedimenttransport langs nord- og østmolen, hvilket indikerer, at en stor del af det sediment, der transporteres fra sydvest til Hirtshals Havn, aflejres i et område ud for nord- og østmolen.

Hirtshals Havn forårsager således skygge for indkomne bølger fra vest, hvor de største bølger kommer fra, og forårsager en afbøjning af sedimenttransporten fra syd, således at en større del af sedimentet, der transporteres fra sydvest mod Hirtshals, potentielt ender på dybt vand i stedet for at komme ind på den nordvendte kyst øst for Hirtshals Havn (DHI, 2013).



Figur 5.6 Typisk årsgennemsnit for sedimenttransport omkring Hirtshals Havn (DHI, 2013)

En analyse af kystdirektoratets profillinjer fra Hirtshals Havn til Tversted har vist, at der er stor variation i havbunds-niveauet. Tæt ved havnen observeres der variationer på både 5 m og 15 m; variationen i havbunds-niveauet på 5 m vanddybde tyder på, at der kommer sediment rundt om havnen, mens variationen i havbunds-niveauet omkring 15 m kan skyldes klapping af sediment. De store variationer tyder på, at der transporteres meget sediment, også på store vanddybder. Der observeres ikke aflejring på vanddybder større end 7 m umiddelbart øst for Hirtshals Havn, hvilket kan skyldes, at det aflejrte sediment transporteres væk fra området via sandbølger (DHI, 2013).

6. Konklusion

Hirtshals Havn blokerer størstedelen af langstransporten af sediment fra sydvest, der enten tabes til dybt vand nordøst for havnen, aflejres umiddelbart nord for nordmolen eller oprenses i indsejlingen. Det betyder, at den naturlige bypass af sediment rundt om Hirtshals Havn til kysten øst for havnen er begrænset. Det forventes, at der har været en gradvis reduktion i den naturlige bypass af sediment forbi havnen siden sejltrengen og den vestlige ydermole er blevet etableret og udvidet. Dog har udvidelserne af havnen mod øst ikke påvirket transport af sediment rundt om havnen yderligere.

Sedimenttransporten stiger generelt mellem Hirtshals Havn og Tversted, er konstant mellem Tversted og lidt vest for Skiveren, og stiger fra lidt vest for Skiveren til Højen Fyr for derefter at falde imod Grenen. Den tiltagende langstransport er et udtryk for, at der generelt foregår erosion fra Hirtshals til Grenen. Dog med en konstant transport, og dermed en forholdsvis stabil kyst, mellem Tversted og lidt vest for Skiveren, samt med en faldende transport og dermed kystfremrykning, fra lidt øst for Højen Fyr og mod Grenen.

De komplicerede sedimenttransportforhold langs den nordvendte kyst øst for Hirtshals betyder, at det er svært at skelne mellem de forskellige mekanismer: 1) læsideerosion øst for havnen som følge af, at havnen blokerer den langsgående transport, 2) stigningen i langstransporten øst for havnen, og 3) sandbølger, der medfører, at stranden varierer langs kysten og over tid. Tidligere er det blevet vurderet, at havnens påvirkning af kysten i en østlig strækker sig mellem 5 og 10 km.

Hirtshals Havn skaber læsideerosion ved Kjul. Havnens påvirkning er umiddelbart mindre ved Tversted, analyserne i nærværende rapport viser, at der mistes op til 250.000 m³/år sediment langs kysten mellem Hirtshals og Tversted. Det ville således være hensigtsmæssigt at tilføre sediment fra bypass til dette område for at kompensere for havnens læsideerosion. Erosionen langs kysten nordøst for Tversted, herunder ved Skiveren, Kandestederne og Gammel Skagen, stammer ikke direkte fra læsideerosion øst for havnen, men kan være et biprodukt af en generel reduktion af sedimentbudgettet langs kyststrækningen.

Det er sandsynligt, at tilbagerykningen af kystlinjen øst for Hirtshals Havn er forårsaget af en reduktion i langstransporten af sediment, som følge af etableringen af havnen. Den gradvise stigning i tilbagerykningen er et tegn på en stigende langstransport og en tendens til kronisk erosion. Det kan diskuteres, om strækningen mellem Tversted og Skiveren, hvor transportkapaciteten er nogenlunde stabil, har den virkning, at variationer i sedimenttilførslen fra vest ikke kan forplante sig videre op langs kysten vest for denne strækning. Umiddelbart forventes det, at kystlinjen ved Tversted vil rykke tilbage, hvis der forekommer et underskud i sedimentbudgettet.

Sedimentet, der tilføres kyststrækningen øst for Hirtshals Havn, vurderes at være fra klappning på lavt vand ud for kyststrækningen mellem Hirtshals Havn og Kjul. Der er en sandsynlighed for, at en stor del af det sediment, der benyttes til bypass, går tabt på dybt vand uden for den aktive zone (afhængigt af, på hvilken dybde klappningen er foregået), og at det derved kun er en mindre del af sedimentet, der kommer ind på kysten øst for Hirtshals Havn. Derfor er det sandsynligt, at det vil have negative konsekvenser for kyststrækningen øst for havnen, hvis sedimentet, der benyttes til klappning eller bypass, reduceres eller fjernes helt.

Det konkluderes, at der ved naturlige processer stort set ikke transporteres sediment forbi Hirtshals Havn fra kysten sydvest for havnen til kysten øst for havnen. Sedimentet, der tilføres kyststrækningen øst for Hirtshals Havn, vurderes at være fra bypass eller klappning på lavt vand ud for kyststrækningen mellem Hirtshals Havn og Kjul. Det vurderes, at manglende bypass eller kystnær klappning vil kunne være medvirkende til forøget erosion ved Kjul og Tversted.

Det vil umiddelbart være hensigtsmæssigt i forhold til denne problematik, at placere sediment fra oprensning af Hirtshals Havn kystnært langs strækningen imellem Kjøl og Tversted.

For at kunne bekræfte om manglende bypass eller klappning ved Hirtshals Havn medfører øget erosion på kyststrækningen i en østlig retning, bør sedimenttransporten fra Hirtshals Havn til Grenen undersøges nærmere med numerisk modellering. Undersøgelsen bør indeholde forholdene før og efter udvidelsen af Hirtshals Havn for at kunne beskrive havnens påvirkning af sedimenttransporten. Undersøgelserne bør fastlægge, hvorledes sedimentet, der oprenses fra indsejlingen, bedst nyttiggøres ift. at beskytte kysten øst for havnen.

Forud for en potentiel udvidelse af Hirtshals Havn bør der foreligge en VVM-rapport, der inkluderer undersøgelser af havnens påvirkning på sedimenttransporten vha. numerisk modellering.

7. Referencer

DHI. (1994). *Kysten Nordøst for Hirtshals, Kystudvikling, sediment-transport og strandfodring.*

DHI. (2013). *Hirtshals Havn, virkning på kysten af inddæmning.*

Hirtshals Havn. (2021). *Oversigt over oprensede sandmængder i perioden 2011 til 2021.*

Kystdirektoratet. (2001). *Sedimentbudget - Vestkysten.*

Kystdirektoratet. (2018a). *Analyse af sedimenttransport ved Hirtshals havn.*

Kystdirektoratet. (2018b). *Tilladelse til bypass og/eller nyttiggørelse af oprenset sediment fra Hirtshals Havn.*

Kystdirektoratets Kystatlas. (2022). *Kystdirektoratets Kystatlas.*

<https://kms.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8669133b3f4842b7a9a19fb24b08ffd5>

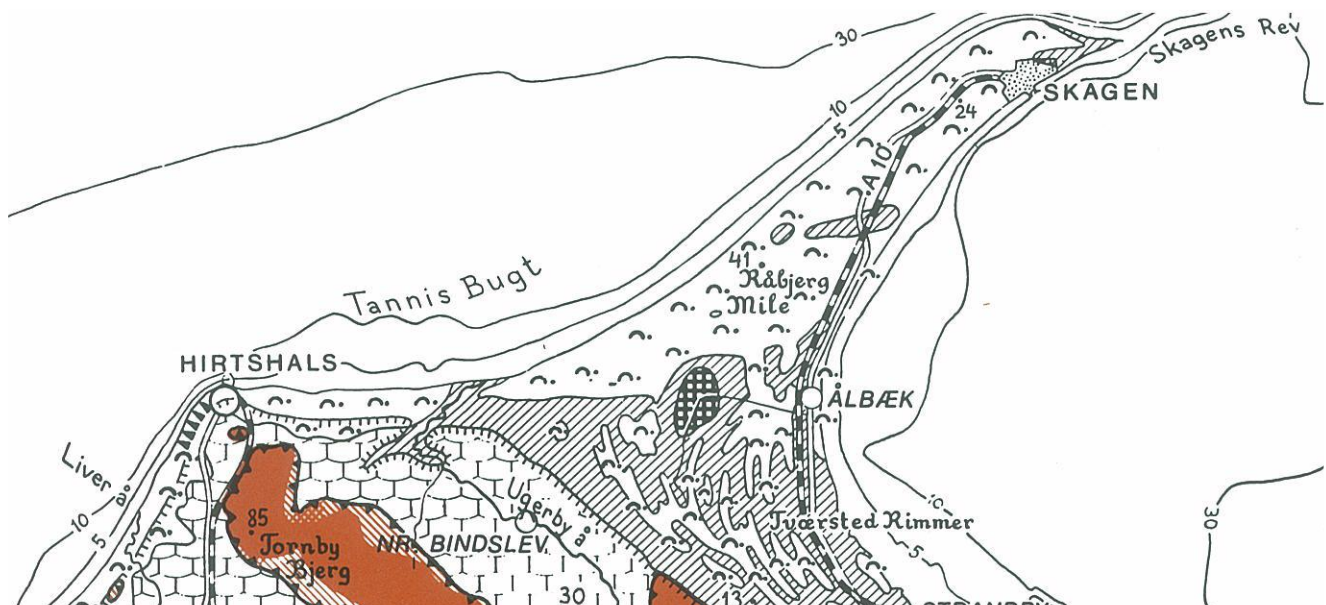
Kystinspektoret. (1993). *Hirtshals - Gl. Skagen. Kysttekniske undersøgelser, Delrapport.*

NIRAS. (2019). *Kystplan for Hjørring Kommune. Kystteknisk rapport.*

https://hjoerring.dk/media/38774/punkt_2_bilag_2.pdf

Bilag 1: Geomorfologisk kort

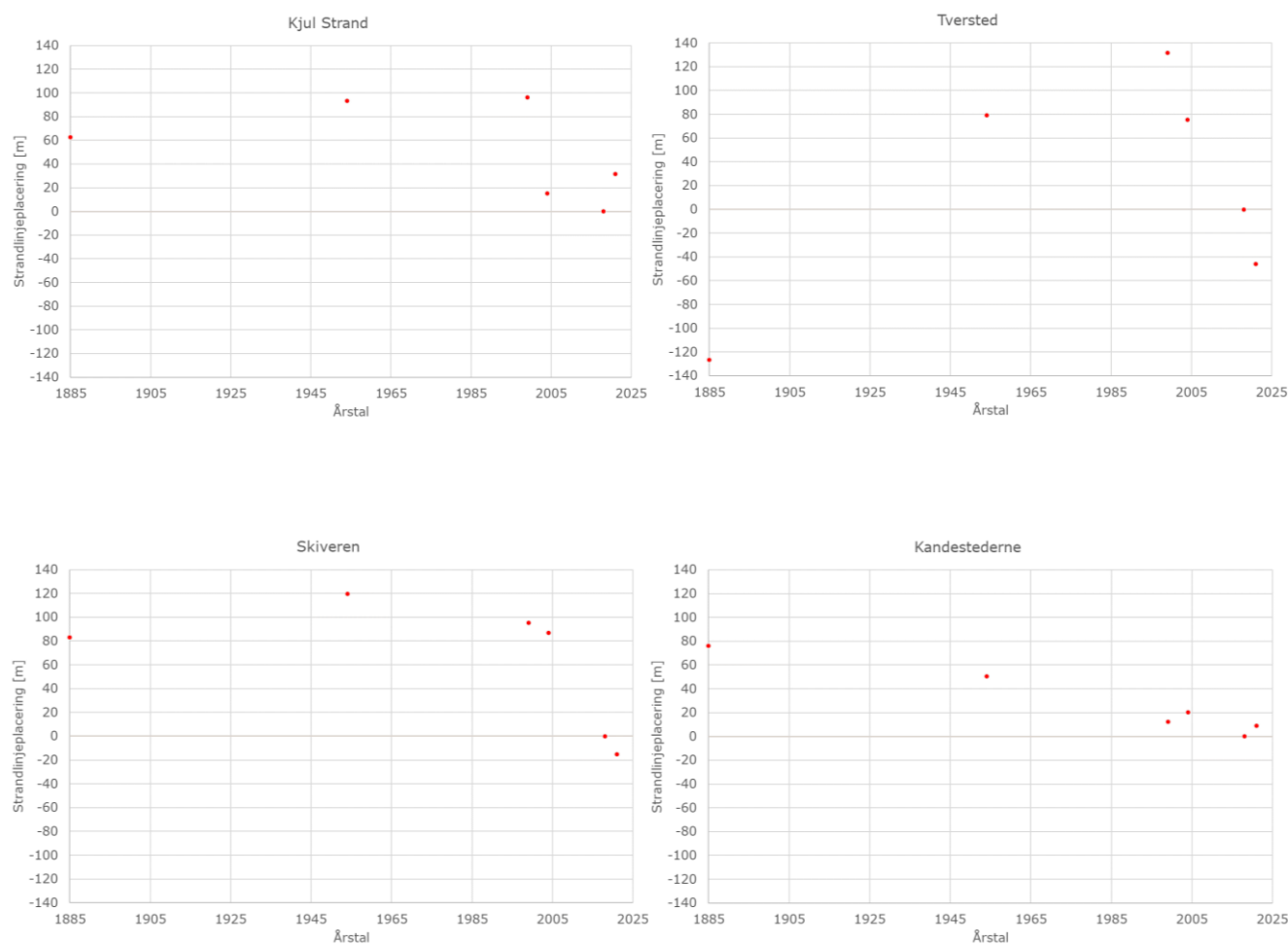
Geomorfologisk kort over området mellem Hirtshals og Skagen (Kilde: Per Smed)



| | | | |
|--|---|--|--|
| | Morænelandskab fra sidste istid, overvejende lerbund <i>Moraine landscapes from Weichsel glaciation, mainly with clayey soil</i> | | Lavtliggende issø (isdæmmet sø) eller lignende søbassin <i>Ice-lake basin or similar lake basin</i> |
| | Morænelandskab fra sidste istid, overvejende sandbund <i>Moraine landscapes from Weichsel glaciation, mainly with sandy soil</i> | | Hævet havbund fra ishav, der opstod i tilknytning til isens afsmeltning fra Nordjylland (= Yoldiaflade) <i>Marine plain formed in »Yoldia« transgression period, in connection with ice retreat from northern Jutland</i> |
| | Randmorænelandskab <i>Ice marginal hills</i> | | Marint forland dannet siden stenalderen (6000 f.K.) <i>Marine foreland built up since Atlantic transgression (6000 B.C.)</i> |
| | Landskab med dødisrelief <i>Landscape, hummocky or pitted due to dead-ice formation</i> | | »Yoldiahavets« kystlinie <i>»Yoldia« transgression shoreline</i> |
| | Visse andre særligt fremtrædende bakkepartier <i>Some conspicuous hills of different origin</i> | | Stenalderhavets kystlinie <i>Atlantic transgression shoreline</i> |
| | Hedeslette (sandur). Prikrækerne er skematiske højdekurver <i>Outwash plain (sandur). Rows of dots mark schematical contours</i> | | Kunstigt tørlagt areal <i>Reclaimed area</i> |
| | Ekstramarginal smeltevandfloddal <i>Extramarginal stream valley</i> | | Klitlandskab <i>Dune landscape</i> |
| | Smeltevandflodterrasse <i>Meltwater stream terrace</i> | | Kystklint <i>Sea cliff</i> |
| | »Tunneldal« <i>»Tunnel valley«</i> | | |

Bilag 2: Kystudvikling ved Kjul Strand, Tversted, Skiveren og Kandestederne

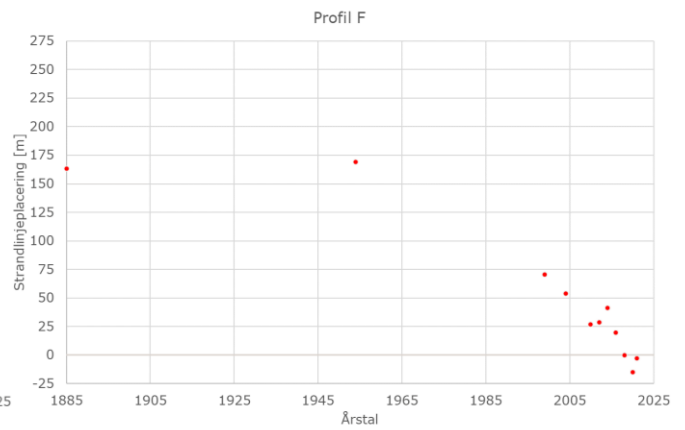
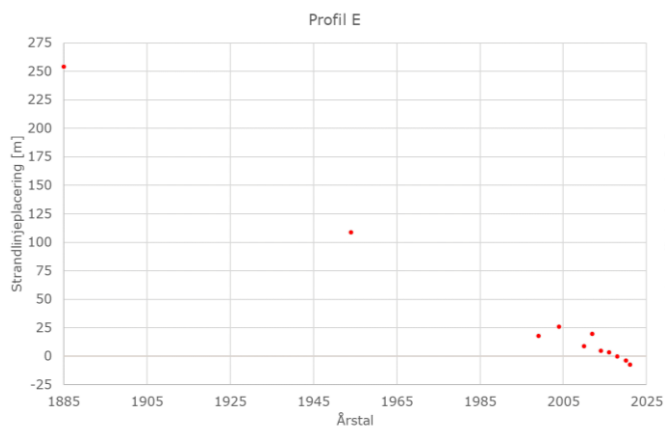
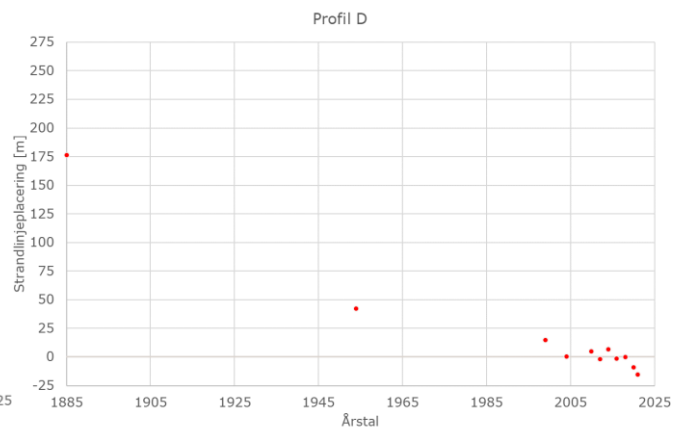
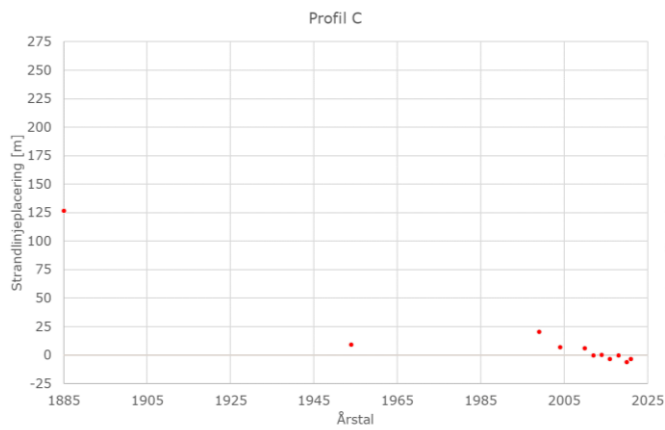
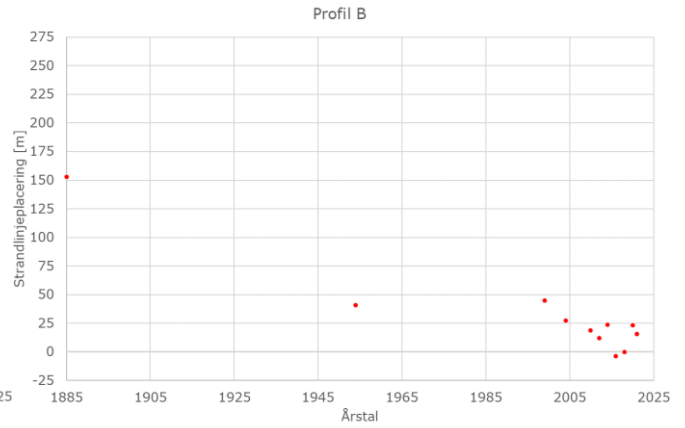
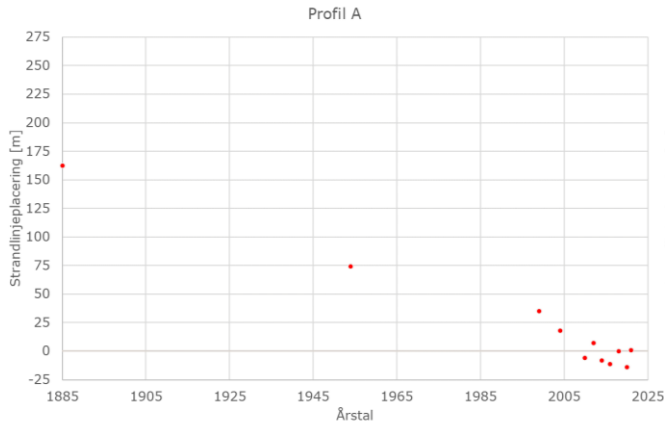
Følgende diagrammer viser kystudviklingen i forhold til 2018 ved fire udvalgte lokaliteter mellem Hirtshals og Grenen. Kysten ved **Kjul Strand** er eroderet meget tilbage mellem 1999 og 2021, hvilket kan skyldes læsideerosion øst for Hirtshals Havn. Kysten ved **Tversted** er rykket meget frem mellem 1885 og 1999, hvorefter kysten er rykket betydeligt tilbage siden 1999. Kysten ved **Skiveren** er rykket betydeligt tilbage siden 1999. Kysten ved **Kandestederne** er rykket tilbage i hele perioden siden 1885.



Bilag 3: Kystudvikling i området ved Gammel Skagen

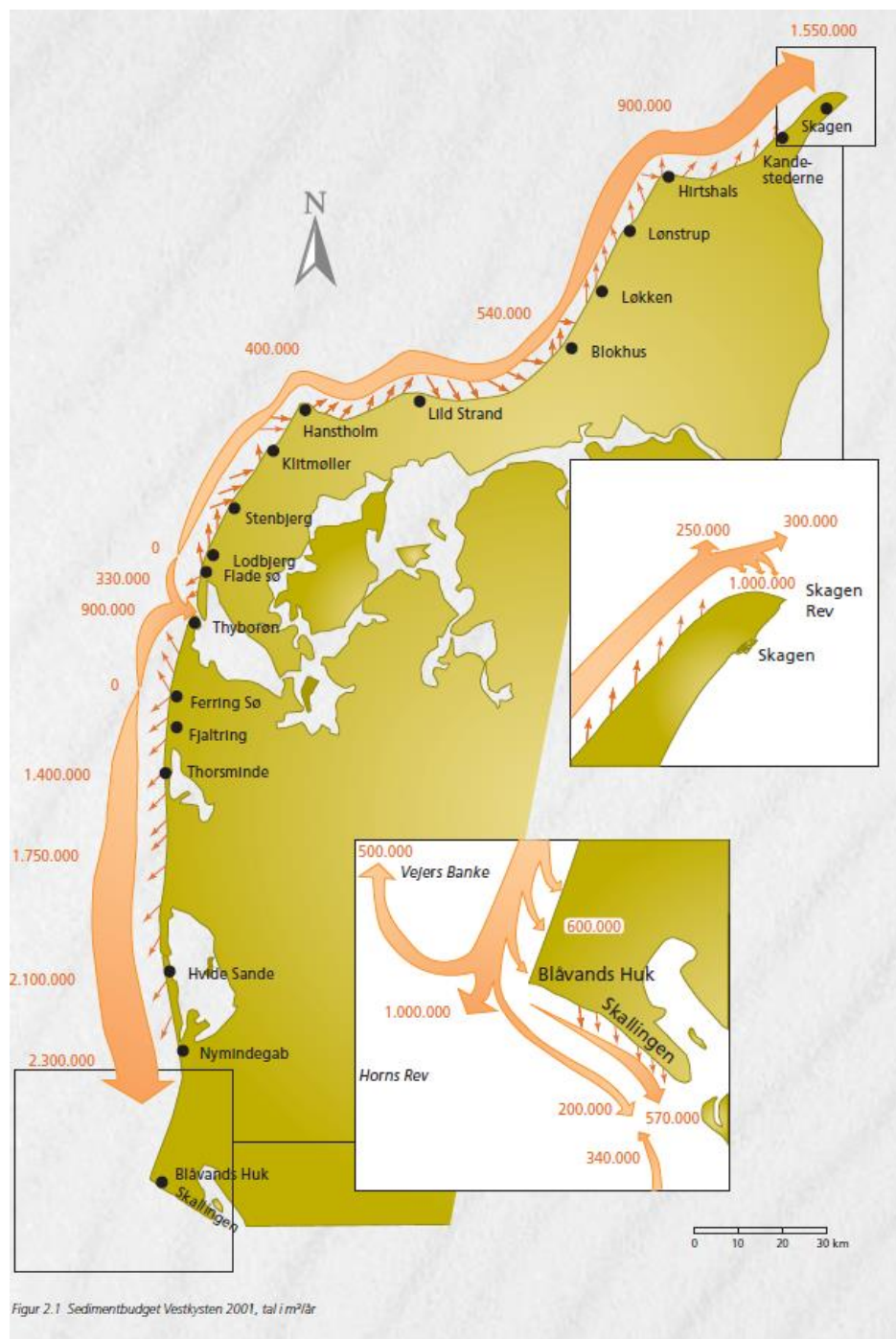
Følgende diagrammer viser kystudviklingen i forhold til 2018 i området ved Gammel Skagen inddelt i seks profiler. Kysten ved **Profil A-B**, som ikke er direkte beskyttet af hård kystbeskyttelse, er generelt rykket tilbage, formentlig som følge af kronisk erosion sydvest for Fellen. Der observeres dog en fremrykning af kysten på ca. 20 m efter 2018 ved **Profil B**, som kan skyldes strandfodringen, der fandt sted sydvest for høfdefeltet i 2019. Kysten ved **Profil C-E**, som er direkte beskyttet af hård kystbeskyttelse, viser en generel tilbagerykning efter 2018. Høfdefeltet afhjælper således ikke erosionen i området omkring Gammel Skagen. Kystbeskyttelsen kan dog stadig være med til at reducere kystens tilbagetrækning, dvs. da kystlinjens orientering ændres en smule på strækningen, kan tilbagetrækningen potentielt have været langt større, hvis ikke kystbeskyttelsen fandtes. Der kræves yderligere analyser for at vurdere høfdernes præcise påvirkning på områdets frem- og tilbagerykning. Kysten ved **Profil F**, som ikke er direkte beskyttet af hård kystbeskyttelse, forventes at være påvirket af læsideerosion, estimeret ud fra en reduktion i tilbagetrækningen i den seneste kystlinjeanalyse.





Bilag 3: Sedimentbudget for Vestkysten

Kilde: Kystdirektoratet (2001)



Figur 2.1 Sedimentbudget Vestkysten 2001, tal i m³/år

Bilag 4: Anvendelse af oprenset sediment fra Hirtshals Havn mellem 2011 og 2021

Oversigt over oprensning og afvendelse af oprenset sediment fra indsejlingen ved Hirtshals Havn mellem 2010 og 2021 (Hirtshals Havn, 2021).

2011 - Oprensning i alt: 381.222m³

| | |
|----------------------|------------------------|
| Kystfodring Lønstrup | 42.988 m ³ |
| Kystfodring Skagen | 18.463 m ³ |
| Indpumpet i depot | 26.540 m ³ |
| Klapplads | 293.231 m ³ |

2012 - Oprensning i alt: 368.242m³

| | |
|----------------------|------------------------|
| Kystfodring Lønstrup | 42.212 m ³ |
| Indpumpet i depot | 30.626 m ³ |
| Klapplads | 295.404 m ³ |

2013 - Oprensning i alt 140.602m³

| | |
|-------------------|------------------------|
| Indpumpet i depot | 29.295 m ³ |
| Klapplads | 111.307 m ³ |

2014 - Oprensning i alt 291.024m³

| | |
|--------------------|------------------------|
| Indpumpet i depot: | 29.786 m ³ |
| Klapplads | 261.238 m ³ |

2015 - Oprensning i alt: 967.263m³

| | |
|--------------------|------------------------|
| Indpumpet i depot: | 930.570 m ³ |
| Klapplads | 36.693 m ³ |

2016 - Oprensning i alt: 398.046m³

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| Indpumpet i depot | 105.340 m ³ |
| Klapplads | 187.640 m ³ |
| Bypass: | 89.995 m ³ |
| Kompensation fodring Tornby | 3.426 m ³ |
| Kompensation fodring Nørlev | 11.645 m ³ |

2017 - Oprensning i alt 381.330m³

| | |
|------------------------------|------------------------|
| Klapplads | 53.791 m ³ |
| Bypass: | 238.211 m ³ |
| Kompensation fodring Tornby: | 4.464 m ³ |
| Kystfodring Lønstrup | 75.119 m ³ |
| Kompensation fodring Nørlev | 9.745 m ³ |

2018 - Oprensning i alt: 235.132m³

| | |
|------------------------------|------------------------|
| Klapplads | 109.651 m ³ |
| Bypass: | 115.822 m ³ |
| Kompensation fodring Tornby: | 1.808 m ³ |
| Kompensation fodring Nørlev | 7.851 m ³ |

2019 - Oprensning i alt: 322.559m³

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| Bypass | 315.018 m ³ |
| Kompensation fodring Tornby | 3.994 m ³ |
| Kompensation fodring Nørlev | 3.547 m ³ |

2020 - Oprensning i alt: 393.839m³

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| Bypass | 374.349 m ³ |
| Kompensation fodring Tornby | 12.973 m ³ |
| Kompensation fodring Nørlev | 6.517 m ³ |

2021 - Oprensning i alt: 252.904m³

| | |
|----------|------------------------|
| Bypass | 102.986 m ³ |
| Lønstrup | 149.918 m ³ |