

Sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn

Nyeste viden i et historisk perspektiv

Notat

April 2024

Udarbejdet for Hirtshals Havn

Sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn

Nyeste viden i et historisk perspektiv

Notat

April 2024

Udarbejdet for: Hirtshals Havn
Repræsenteret ved: Niels Kiersgaard

Kontaktperson: Kasper Kærgaard, kak@dhigroup.com
Projektleder: Bo Brahtz Christensen
Kvalitetsansvarlig: Nils Drønen
Udarbejdet af: Kasper Kærgaard
Projektnr.: 11829317
Godkendt af: Kasper Kærgaard
Godkendelsesdato: 24-4-2024
Revision: Draft 1.0
Klassifikation: **Begrænset:** Dette dokument er tilgængeligt for personer ansat i DHI-koncernen men må ikke deles med andre udenfor DHI-koncernen uden kundens forhåndsgodkendelse.

Filnavn: Sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn Notat April 2024.docx

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion.....	4
2	Sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn baseret på nyeste viden	5
3	Relationen af historiske rapporter til den nyeste viden	8
4	Diskussion.....	14

Figurer

Figur 2-1:	Sedimentbudget for Vestkysten fra KDI (2001).	5
Figur 2-2:	Simplificeret sedimenttransport omkring den eksisterende havn	6
Figur 2-3:	Den historiske udvikling af Hirtshals Havn.....	7
Figur 3-1:	Sedimentbudget fra DHI (1994)	8
Figur 3-2:	Brutto sedimenttransporten langs den østlige mole, fra DHI (2000a).	9
Figur 3-3:	Udsnit af kortet over mobilt sand, fra KDI (2001).....	10
Figur 3-4:	Skræntens beliggenhed i hhv den vestlige del af Peter Hermansensvej, den østlige og midterste del, fra KDI (2018)	11
Figur 3-5:	Sedimentbudget omkring Hirtshals Havn, fra Niras (2019)	12
Figur 3-6:	Kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen i forskellige perioder, fra Niras (2022).	13

1 Introduktion

DHI A/S (DHI) har af Hirtshals Havn fået til opgave at skrive et notat der opsummerer og relaterer de historiske rapporter for sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn med de nyeste undersøgelser.

De historiske rapporter der omhandler sediment transport omkring Hirtshals havn indenfor de seneste 30 år, er vist i Tabel 1-1.

Tabel 1-1: Oversigt over rapporter

GCI (1992):	Hirtshals Havn til Gl. Skagen - En geomorfologisk analyse af kyststrækningens dannelse og udvikling,
KDI (1993):	Kystteknisk analyse Hirtshals Havn til Gl. Skagen
DHI (1994):	Sedimentbudget HH til Gl. Skagen / Kysten nordøst for Hirtshals, kystudvikling, sedimenttransport og strandfodring
KDI (1999):	Sedimentanalyse Vestkysten
DHI (2000a):	Effekt af deponi på morfologien omkring Hirtshals havn.
DHI (2000b):	Sedimentbudget Vestkysten
KDI (2001):	Sedimentbudget Vestkysten
Burchardt (2001):	Flytning af ydermolerne ved HH - modelforsøg
KDI (2005)	Ændringer i kystprofil HH
DHI (2012)	Fase udvidelse
DHI (2013)	Hirtshals Havn. Virkning på kysten af inddæmning
Burchardt (2017)	Numerisk undersøgelse bølgeuro og sedimentation
KDI (2018)	Analyse af sedimenttransport Hirtshals Havn
Rambøll (2018)	Hirtshals Havn, Sedimenttransport modellering
Niras (2019)	Kystplan for Hørring Kommune – Kystteknisk rapport
Niras (2022)	Kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen Kystteknisk beskrivelse og sedimentbudget

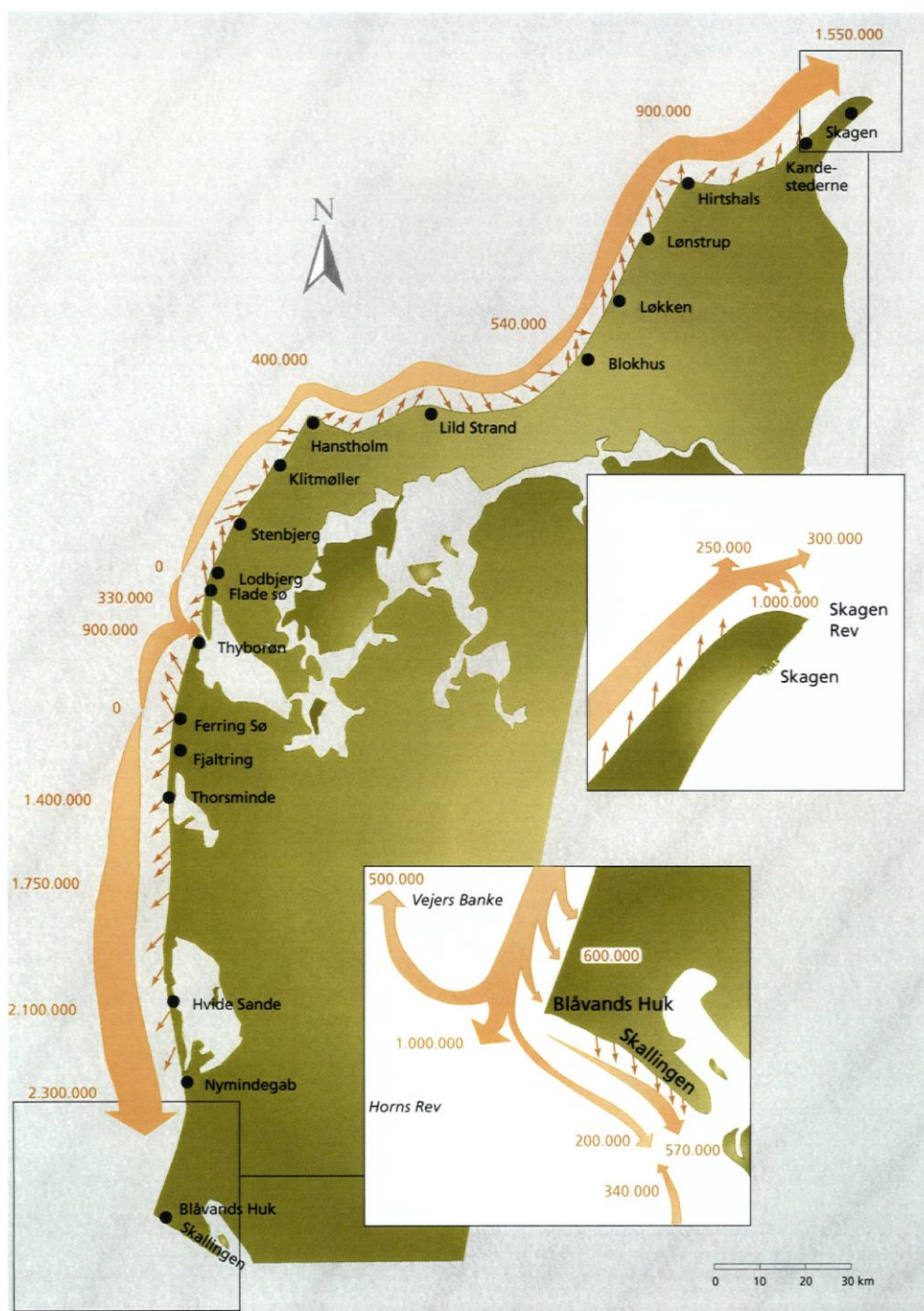
De nyeste undersøgelser er beskrevet i rapporten DHI (2024) "Sediment Budget omkring Hirtshals Havn". Det er viden i denne rapport som de historiske rapporter perspektiveres imod i nærværende notat.

Den resterende del af notatet er opdelt som følger:

I afsnit 2 opsummeres den nyeste viden hvorefter de historiske rapporter opsummeres og sættes i relation til dette i afsnit 3. Afsnit 4 indeholder en diskussion samt notatets konklusioner.

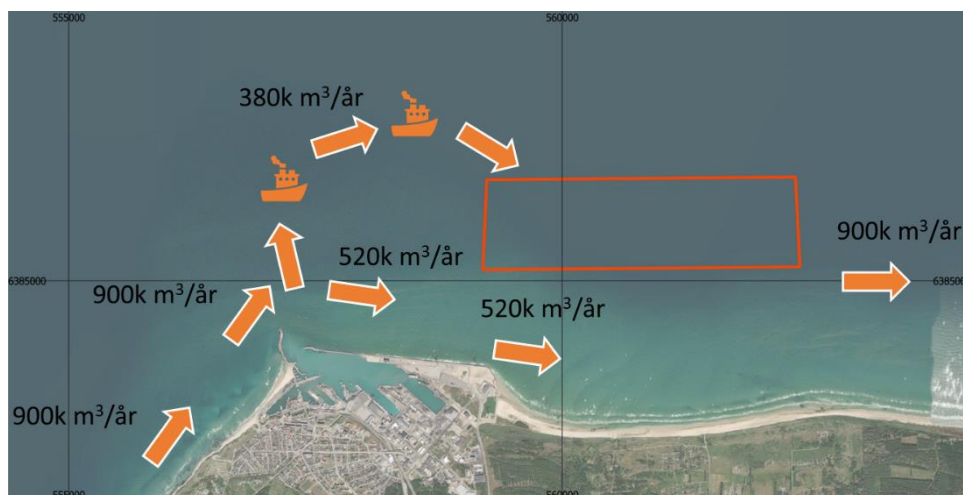
2 Sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn baseret på nyeste viden

Den overordnede sedimenttransport på vestkysten er beskrevet i "Sediment Budget Vestkysten", KDI (2001) og vist på Figur 2-1. Som det ses, er sedimenttransporten på omkring 900.000 m³/år forbi Hirtshals Havn. Den nyeste viden har ikke ændret på dette.



Figur 2-1: Sedimentbudget for Vestkysten fra KDI (2001).

Sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn er vist simplificeret på Figur 2. Der transporteres ca. 900.000 m³/år sediment fra syd. I gennemsnit oprensnes der 380.000 m³/år som klappes på bypass-pladsen eller nyttiggøres (den mængde der nyttiggøres, vil i gennemsnit erodere i området øst for havnen, ikke vist på figuren). De resterende 520.000 m³/år transporteres naturligt forbi havnen og videre mod øst. Ca. 5 km øst for havnen er transporten på ca. 900.000 m³/år genoprettet og denne mængde transporteres videre mod øst.



Figur 2-2: Simplificeret sedimenttransport omkring den eksisterende havn

Sedimentbudgettet er fremkommet via samlet analyse af de tilgængelige oprensningsdata for havneindsejlingen, bundopmålinger, sediment data, historiske fly og satellitbilleder samt computersimuleringer.

Sedimenttransporten forbi havnen langs den østlige havnemole, sker til dels ved at sandbølger vandrer fra vest mod øst i området. Fronterne på sandbølgerne kan ses i området øst for havnen på billedet på Figur 2-2, men de genereres i området nord for den østlige bølgebryder (i området syd for pilen der indikerer 520.000 m³/år). Sandbølgerne vandrer mod fra vest mod øst med i gennemsnit 140 m/år, de er omkring 1 m høje og 200-400 m lange.

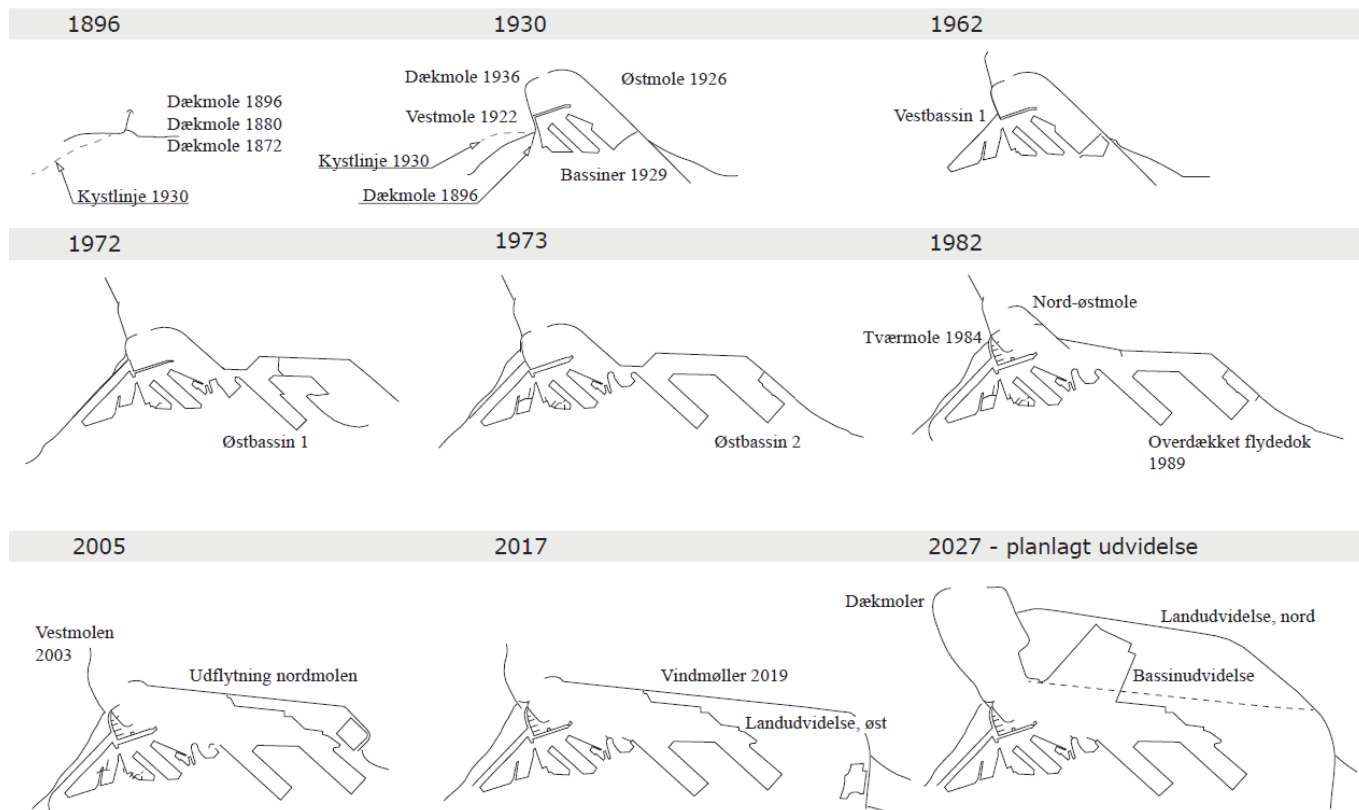
Sandtransporten forbi havneindsejlingen og langs den østlige mole er primært drevet af vinddrevet strøm i kombination med bølger, der under store storme er brydende.

Siden 1954 er der observeret en relativt svag erosion på kystlinjen og vegetationslinjen i området fra den østlige bølgebryder til 3.5 km øst for havnen. Den gennemsnitlige erosion siden 1954 er omkring 1 m/år, dog med store variationer i tid og sted. Lidt længere mod øst er variationerne endnu større, men i gennemsnit rykker kysten frem.

Hirtshals Havn påvirker sedimenttransporten forbi havnen på to måder: Dels påvirker de ydre havnemoler bølgerne og strømmingen omkring havnen, og dels oprensnes der hvert år sediment fra havneindsejlingen, hvilket påvirker sedimenttransporten omkring havnen.

Den historiske udbygning af Hirtshals havn er vist på Figur 2-3.

Hirtshals Havn - Historisk udvikling



Figur 2-3: Den historiske udvikling af Hirtshals Havn

Følgende bemærkes:

- En egentlig havn etableres i 1930.
- Allerede i 1936 bygges dog en ny dækmole, formentlig for at reducere sedimentering i havneindsejlingen.
- 1962: Nyt Vestbassin etableres.
- 1972: Endnu en ny mole bygges for at undgå sedimentering. Den nye mole virker i omkring 10 år. Herefter stiger oprensningen fra sejlrende og indsejling markant.
- Siden 1985: Opgravning af 380k m³/år fra sejlrende foretages.

Tilførslen af sediment til området øst for havnen har således været begrænset siden 1930 dels fordi morfologien omkring havnen skulle indstille sig til de konstante ændringer i havnekonstruktionerne og dels pga. oprensning fra sejlrenden. Denne begrænsning i sedimenttilførslen kan forklare den observerede erosion på kysten øst for havnen siden 1954.

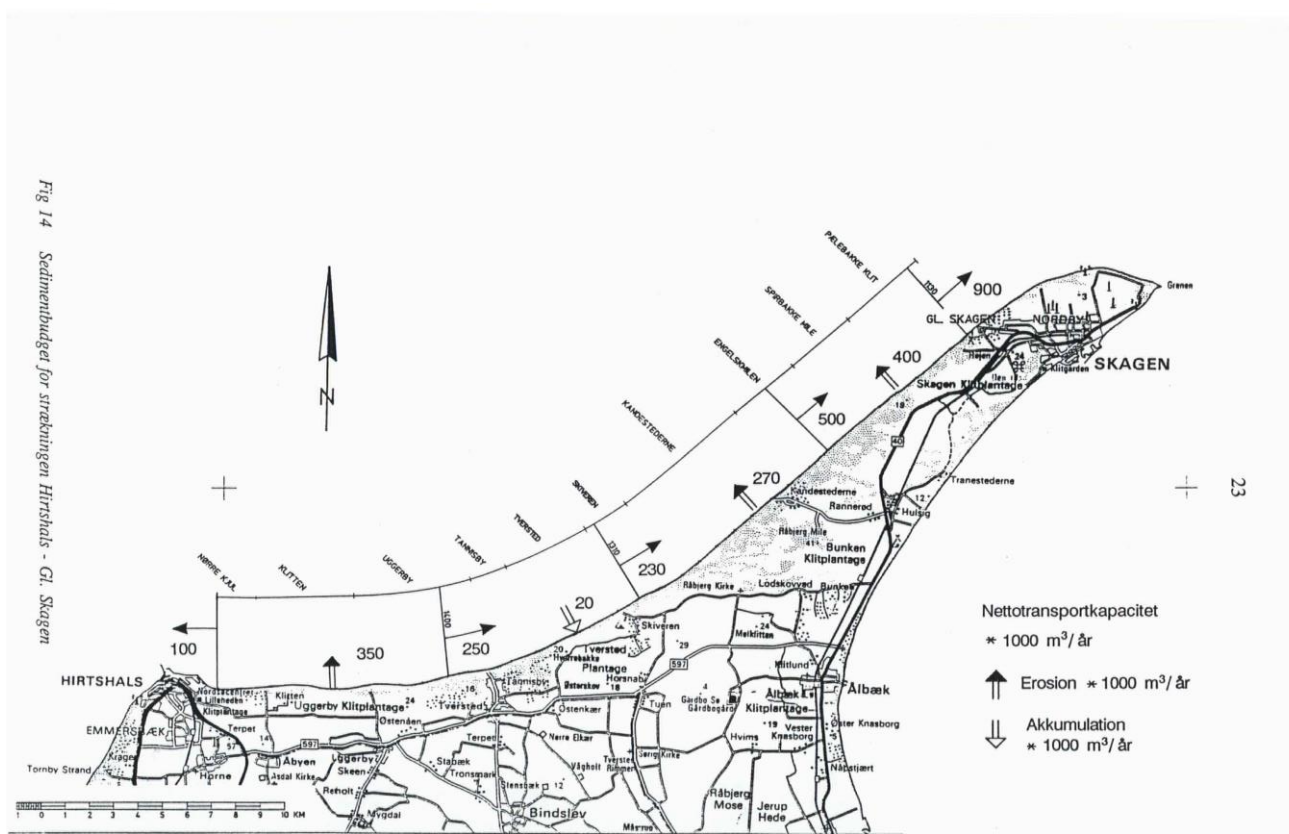
3 Relationen af historiske rapporter til den nyeste viden

I dette afsnit gennemgås rapporterne startende med de tidligste.

GCI (1992), KDI (1993) og DHI (1994)

KDI (1993) og DHI (1994) var en del af det samme projekt, idet DHI (1994) er en opsamlingsrapport der samler viden genereret i et fælles projekt med deltagelse fra DHI, Geografisk Centralinstitut (GCI) samt Kystinspektoret. KDI (1993) var Kystinspektoret bidrag til projektet og er således en del af DHI (1994) rapporten.

Konklusionen af arbejdet var at der transporteres 900.000 m³ til Hirtshals Havn fra syd. Af disse blev 250.000 m³/år oprenset fra sejlrenden mens 650.000 m³/år blev tabt på dybt vand i området nord for Hirtshals Havn. Sedimentbudgettet der blev opstillet i rapporten er vist på Figur 3-1.



Figur 3-1: Sedimentbudget fra DHI (1994)

Dette er ikke den samme konklusion som der opnås med den nyeste viden. Grunden til dette er formentlig den relativt korte periode, der var detaljerede data for, da analysen blev lavet. I rapporten analyseres kystlinjer for de seneste 200 år og sammenlignes med det, på det tidspunkt nyeste sedimentbudget, som opstilles baseret på analyse af kystlinje og skræntfods udviklingen for perioden 1977 til 1991, dvs. 14 år. Over denne periode eroderede kysten 4,4 m/år tæt på havnen og det blev derfor konkluderet at transporten fra syd ikke på dette tidspunkt passererede forbi havnen. Da de gamle data viste at kysten i forrige århundrede var stabil, var der spekulationer om havnen var skyld i den observerede erosion på den nordvendte kyst øst for

havnen. Dog nævnes det samtidig også, at en observeret tydelig forøgelse i hyppigheden af kraftige vinde kunne være skyld i en del af den observerede erosion.

I den nyeste rapport er det klart at en længere tidsperiode end 14 år er nødvendig for at få den korrekte forståelse af kystdynamikken på denne del af kysten: den kraftige erosion der observerede i perioden 1977-1991 er ikke fortsat i perioden siden 1991.

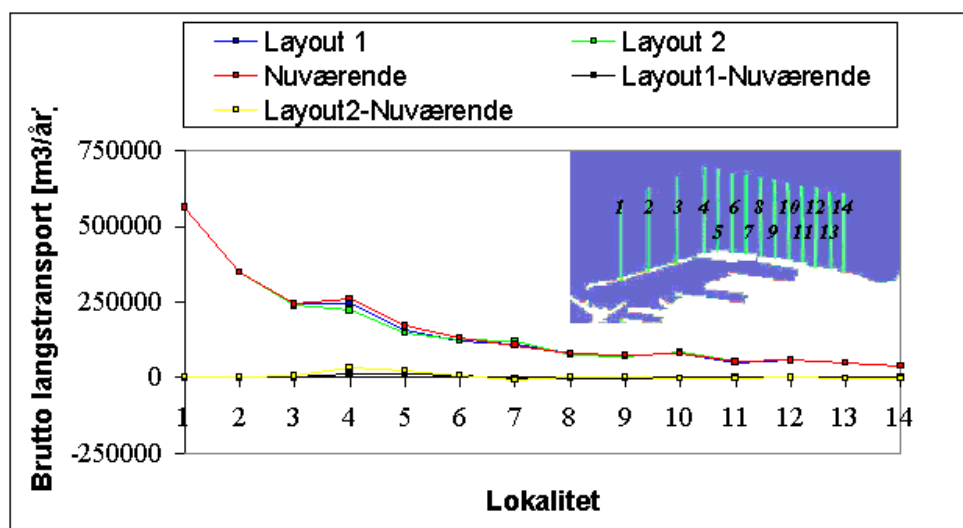
I rapporten er sedimentbudgettet beregnet med relativt simpel en 1-linje model (DHI's litoraltransportmodel LITPACK) og denne model viste vestgående transport lige øst for havnen pga. skyggeeffekten på bølgerne.

De nyeste beregninger med en mere komplet beskrivelse af bølge og strømforholdene omkring havnen (MIKE21 bølge, strøm og sedimenttransport) indikerer derimod, at der på kysten øst for Hirtshals Havn er østgående sedimenttransport langs hele strækningen som vist på Figur 2-2.

Den nyeste viden er således forskellig fra vurderingerne i både KDI (1993) og DHI (1994) dels pga. det meget længere dataset, der nu er til rådighed for dataanalysen, og dels pga. mere detaljerede beregninger af sedimenttransportforholdene i området.

DHI (2000a): Effekt af deponi på morfologien omkring Hirtshals havn

I denne rapport er sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn og effekten af en udvidelse af havnen beregnet med en 2D model. Beregningerne viser en faldende sedimenttransport langs med den østlige mole (se Figur 3-2), dermed konkluderes det at materialet fra syd må blive aflejret i et område nordøst for Hirtshals Havn.



Figur 3-2: Brutto sedimenttransporten langs den østlige mole, fra DHI (2000a).

Det bemærkes dog at den mulige transport væk fra aflejringsområdet via sandbølgerne i området ikke forventes at kunne ses i modelresultaterne, idet transportmekanismen i dette område drives af vindddrevne strømme, og disse ikke er inkluderet i beregningerne.

Dette menes at være en af hovedforklaringerne på, hvorfor resultaterne i rapporten er meget forskellige fra den nyeste viden, hvor både bølgedrevne og vindddrevne strømme er medtaget i beregningerne. De vindddrevne strømme betyder ifølge nyeste viden, at sedimentet ikke aflejres nordøst for havnen,

Det er dog ikke tilfældet. Området ud mod Skagbanke er leret hvilket indikerer at sandet fra syd transporteres videre mod øst, og således konkluderes det i rapporten, at alt sedimentet fra syd passerer naturligt forbi Hirtshals Havn, inklusiv størstedelen af det sand, der blev klappet kystnært nord for havnen.

Denne beskrivelse passer nogenlunde med den nyeste viden.

DHI (2013): Hirtshals Havn. Virkning på kysten af inddæmning

I denne rapport vurderes effekten på kysten af havneudvidelsen der blev konstrueret i 2017, se Figur 2-3.

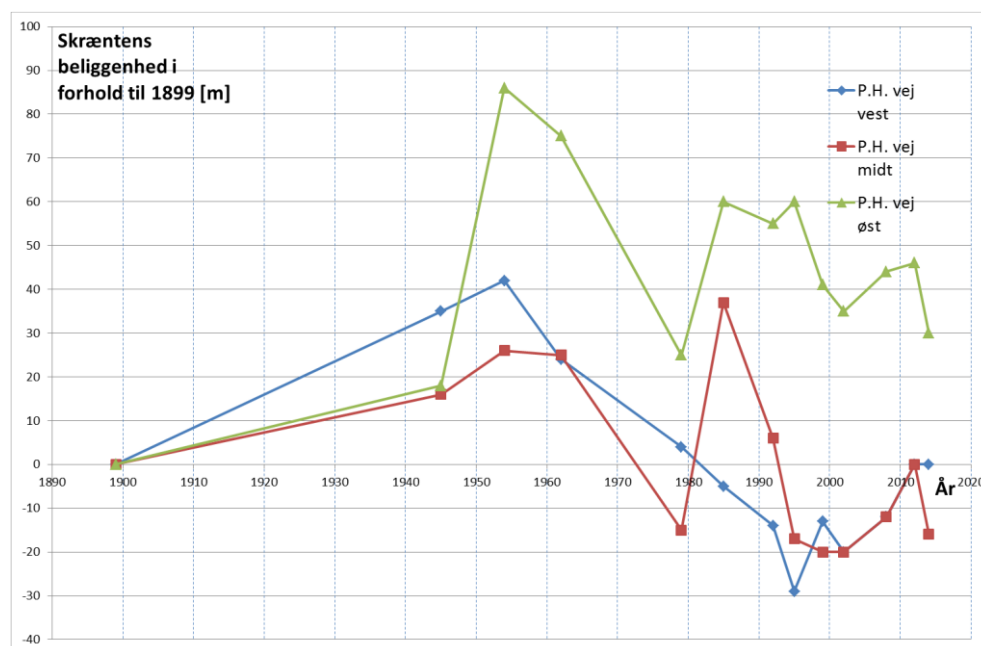
Vurderingerne blev lavet på baggrund af en inspektion af kysten, analyse af kystlinjerne samt forståelsen af sedimenttransportholdene omkring havnen etableret i DHI (1994) samt DHI (2000a). Rapporten indeholder en del beskrivelser af kystlinjeudbugtningerne på kysten, men udvikler ingen ny forståelse af sedimenttransporten omkring havnen.

KDI (2018): Analyse af sedimenttransport Hirtshals Havn

I dette notat fra Kystdirektoratet vurderes Hirtshals Havns betydning for sedimenttransporten øst for havnen. Notatet konkluderer at kysten øst for havnen er stabil og at Hirtshals Havn har bidraget til at stabilisere kysten i området.

Denne konklusion er i modstrid med den nyeste viden, idet der i DHI (2024) observeres en gennemsnitlig erosion på kysten øst for havnen på omkring 1 m/år siden 1954. Desuden mener DHI 2024 at det er sandsynligt at noget af denne erosion skyldes etableringen og driften af havnen.

Notatet fra KDI (2018) baserer sig til dels på en figur, der viser skræntens beliggenhed på tre udvalgte steder ud for Peter Hermansensvej. Figuren er gengivet på Figur 3-4.



Figur 3-4: Skræntens beliggenhed i hhv den vestlige del af Peter Hermansensvej, den østlige og midterste del, fra KDI (2018)

Kurverne viser tydelig erosion siden 1954 (overlejlret med frem og tilbagerykninger), hvilket stemmer med resultatet af analyserne i DHI (2024).

Notatet nævner at tidligere rapporter har beskrevet et nulpunkt for sedimenttransporten lige øst for Hirtshals Havn (som angivet på Figur 3-1), men beskæftiger sig ikke yderligere med dette og bidrager således ikke med nogen egentlig ny viden angående sedimenttransporten omkring havnen.

Rambøll (2018): Hirtshals Havn, Sedimenttransport modellering

I denne rapport modelleres sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn og effekten af en ny havneudvidelse vurderes. Rapporten fokuserer på de modellerede bundændringer for den eksisterende og planlagte havneudvidelse for en række scenarier. Den modellerede sedimenttransport omkring havnen vises ikke, og dermed vides det ikke om Rambølls model forudsiger at sedimentet fra syd transporteres forbi havnen og videre mod øst, eller om det aflejres på dybt vand. Rapporten tilvejebringer på den måde ikke nogen ny information om sedimenttransportforholdene omkring Hirtshals Havn.

Niras (2019): Kystplan for Hjørring Kommune, Kystteknisk rapport.

I denne rapport opstilles der et sedimentbudget fra Løkken til Tversted, dels ved at betragte informationer givet i ældre rapporter og dels ved at analysere kystlinjeudviklingen på strækningen. Desuden er sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn beskrevet, dog uden at nye beregninger er udført. Rapporten baserer sig på den måde udelukkende på informationer tilgængelige i de forrige rapporter, samt informationer omkring oprensningsmængder, klappadser samt bølge og strømforhold omkring havnen. Sedimentbudgettet der opstilles er vist på Figur 3-55. Som det ses, er denne forståelse lidt anderledes end den nyeste viden: Bypass mængden til kysten er lille i forhold til aflejringen nordøst for havnen, hvorimod nyeste viden indikerer, at der transporteres signifikant mere sediment til kysten end der aflejres nordøst for havnen. Endvidere, er estimatet for tilsandingen også noget større end angivet i DHI (2024).

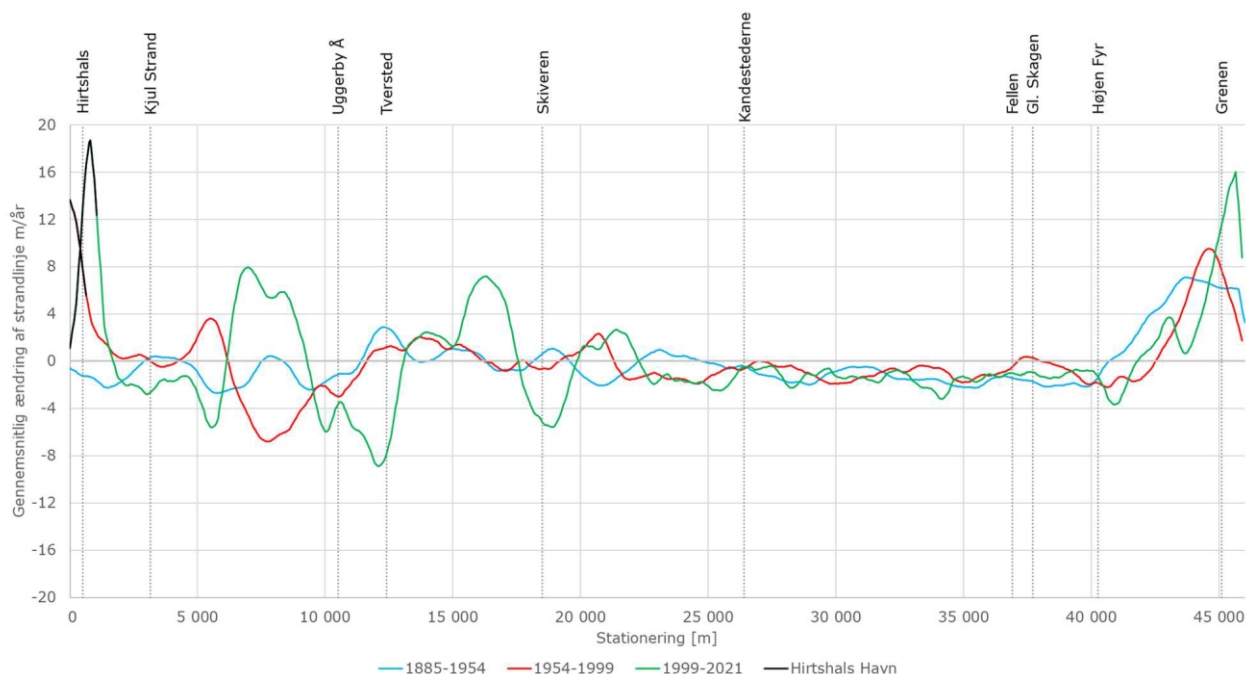


Figur 3-5: Sedimentbudget omkring Hirtshals Havn, fra Niras (2019)

Øst for havnen finder rapporten at der er moderat erosion på gennemsnitligt op til 1 m/år (for årene 1885 til 2018) på kysten mellem Hirtshals Havn og Kjøl Strand (omkring 5 km øst for havnen). Omkring Kjøl Strand er der ingen gennemsnitlig erosion og endda en vis fremrykning nogle steder, hvilket stemmer fint overens med nyeste viden. På kysten mellem Kjøl Strand og Tversted finder rapporten kraftig erosion på op til 3 m/år, dette er uden for området der er analyseret i detaljer i DHI (2024). I andre perioder er erosionen større eller mindre, hvilket passer med den store dynamik i kystlinjens placering som er afdækket i DHI (2024).

Niras (2022): Kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen. Kystteknisk beskrivelse og sedimentbudget.

I denne rapport beskrives kysten mellem Hirtshals Havn og Grenen, dels via en analyse af historiske kystlinjer og dels på basis af data fra tidligere rapporter og en inspektion af kysten.



Figur 3-6: Kystudvikling mellem Hirtshals og Grenen i forskellige perioder, fra Niras (2022).

Analysen af de historiske kystlinjer fra 1885 til 2021, se Figur 3-6, viser erosion på omkring 2 m/år i området øst for havnen siden 1999 langs strækket fra havnen til omkring 5 km øst for havnen. Længere mod øst svinger kystudviklingen mellem erosion og fremrykning. Der spekuleres i rapporten om hvorvidt Hirtshals Havn er skyld i erosionen i området op til 5 km øst for havnen siden 1999, og foreslår mere detaljerede analyser af dette.

Rapporten stemmer således nogenlunde overens med den nyeste viden i DHI (2024), der netop indeholder yderligere analyser som der efterspørges i Niras (2022).

4 Diskussion

Gennemgangen af de historiske rapporter om sedimenttransporten omkring Hirtshals Havn sammenholdt med den nyeste viden, har vist at den nyeste viden har ændret på forståelsen af sedimenttransporten omkring havnen.

I 1990'erne og 2000'erne førte analyser af de tilgængelige data, samt resultater fra datidens bedste simuleringsværktøjer, til den opfattelse at sedimentet der transporteres til Hirtshals Havn fra syd, blev aflejret enten i sejlrenden til Hirtshals Havn eller i et område nordøst for havnen. Det var således opfattelsen at sedimentet ikke blev transporteret videre mod øst.

Denne forståelse fremkom dels ved analyser af kystdirektoratet kystprofilmålinger samt historiske kystlinjer og skræntfodslinjer. Dataanalysen blev dog udført for en relativt kort periode fra 1977 til 1991. I dag ved vi at udviklingen på kysten og i kystprofilerne i perioden 1977 til 1991 ikke var repræsentativ for den langsigtede udvikling fordi vi nu har data for yderligere 30 år. Således er den observerede erosion på 4 m/år i området lige øst for havnen i perioden 1977 til 1991 bremset markant op og den langsigtede erosion i området er nu estimeret til 1 m/år baseret på data fra 1954 til 2023.

Forståelsen fra dataanalysen blev i år 2000 bekræftet af numerisk modellering med datidens bedste 2D simuleringsprogrammer. Dog viser en gennemgang af rapporten at den vinddrevne strøm ikke var medtaget i beregningerne, hvilket kan forklare forskellen på de gamle simuleringer og simuleringerne der understøtter den nyeste viden. Medtages den vinddrevne strøm finder modellerne at det meste af sedimentet transporteres videre mod øst og dermed ikke aflejres nordøst for havnen.

I 2001 kortlagde Kystdirektoratet områder med mobilt sand omkring havnen. I området nordøst for havnen ud mod Skagebanke, hvor sedimentet fra syd burde aflejres - ifølge den herskende forståelse, var der ikke tegn på mobilt sediment, men derimod at der her var ler-bund. Baseret på dette blev det konkluderet at sedimentet ikke aflejrede i området, men derimod blev transporteret videre mod øst af kyststrømmen (jf. den vinddrevne transportmekanisme, der ikke var medtaget i datidens modellering) og således argumenterede rapporten for at alt sedimentet fra syd passerer Hirtshals Havn og fortsætter mod øst.

Rapporter fra perioden 2000 frem til i dag refererer generelt til både Kystdirektoratets og DHIs ældre rapporter, men har baseret deres forståelse af transporten omkring havnen på DHI's rapporter. Grundlæggende har efterfølgende rapporter således ikke stillet spørgsmålstejn ved eller ændret på forståelsen af sedimenttransporten omkring havnen. Dermed er den nyeste viden i DHI (2024) første brud med opfattelsen af at sediment ikke transporteres forbi havnen. Det anbefales at vurderinger fra nu af baserer sig på den nye forståelse af sedimenttransporten omkring havnen – en forståelse der er opsummeret i afsnit 2 og beskrevet i detaljer i DHI (2024).

Afslutningsvis bemærkes det at sedimenttransportforholdene omkring Hirtshals Havn er meget komplekse. Mange steder langs vestkysten findes der to bånd af sedimenttransport langs kysten: Transporten af sediment drevet af den vinddrevne strøm på dybere vand, og transporten af sediment på revlerne drevet af den bølgedrevne strøm. Normalt behandles sedimenttransporten i de to bånd drevet af de forskellige transportmekanismer separat. Dels fordi det i mange tilfælde kan være en udmærket antagelse, at der ikke er signifikant

interaktion mellem de to sedimenttransportbånd og dels fordi man har meget lidt data omkring transporten af sediment på dybere vand og endnu mindre forståelse for dens betydning for kystudviklingen. I mange tilfælde er det primært den bølgedrevne transport, der har betydning for om kysten oplever erosion eller fremrykning, og det i den sammenhæng menes at dynamikken på dybere vand kun har mindre betydning. Men på kysten øst for Hirtshals Havn er der i dette tilfælde rent faktisk en klar interaktion mellem de to transportbånd. Dette ses både i modelberegningerne og ud fra det faktum at sandbølgerne øst for havnen vandrer ind mod kysten hvor de interagerer med de kystnære revler. Interaktionen mellem revler og sandbølger er et komplekst fænomen, der gør analysen af de tilgængelige sø-opmålinger og kystlinjedata vanskelig og betyder at den normale metode til analyse af disse data ikke kan bruges uden forbehold.

Den beskrevne kompleksitet betyder at forståelsen af dynamikken over tid indimellem må genvurderes og opdateres efterhånden som flere data bliver tilvejebragt og beregningsmodellerne bliver mere komplette.