

BILAG TIL PROJEKTBEKRIVELSE

Projekt navn **Nordals Ferieresort**
Projekt nr. **1100028211-001**
Kunde **Nordals Ferieresort**
Dato **21-12-2021**
Til **Kystdirektoratet:**
Per Sørensen
Nordals Ferieresort:
Niels Feerup (projektdirektør)
Peter Mølgaard (assisterende projektleder)
Hoffmann:
Poul Nissen (projektleder)
Fra **Rambøll**
Kopi til **Rambøll:**
Jens Stensgaard Pedersen (fagleder infrastruktur)
Udarbejdet af **Stine Rosbjerg**
Kontrolleret af **Jørgen Quvang Harck Nørgaard og Jannie Elkær Bisgaard**
Godkendt af **Albert Ernest Coutant**

Dato 21-12-2021

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
<https://dk.ramboll.com>

Udvikling i kyst og vandstand mv. ved Nordals Ferieresort

Indholdsfortegnelse

1	Baggrund	4
1.1	Indhold i dette notat	4
2	Den regionale historiske kystudvikling ved Nordals	4
2.1	Historisk kronisk erosion ved Nordals Ferieresort	8
2.2	Historisk akut erosion ved Nordals Ferieresort	9
3	Prognoser for klimaændringer ved Nordals Ferieresort	9
3.1	Anvendte datakilder for fremtidige klimaprognoser	9
3.2	Nationale anbefalinger til klimascenarie der ligger til grund for vurderinger	9
3.3	Prognoser for påvirkning fra klimaændringer på storm- og bølgeforhold	10
3.4	Prognoser for påvirkning fra klimaændringer på middel-havniveaustigning	11
4	Estimeret fremtidig indflydelse fra klimaændringer på oversvømmelse ved Nordals Ferieresort	14
5	Estimeret fremtidig kystudvikling ved kyststrækning ud for Nordals Ferieresort som følge af middelvandstandsstigning (kronisk erosion)	16
5.1	Kysttilbagetrækning bestemt af Kystplanlægger.dk - baseret på regionale forhold	17
5.2	Estimeret kysttilbagetrækning via Bruuns regel - baseret på lokale forhold	17
6	Estimeret fremtidig kysttilbagerykning ved kyststrækning ud for Nordals Ferieresort som følge af indflydelse fra klimaændringer akut erosion	24
6.1	Datagrundlag for estimater af kysttilbagetrækning som følge af akut erosion – input til modelberegninger	24
6.2	Scenarier ifm. simulering af den fremtidige akut-erosion	27
6.3	Estimeret kysttilbagerykning år 2055 og 2075 baseret på XBeach	28
7	Samlet estimeret kysttilbagerykning på kyststrækningen ud for Nordals Ferieresort	29
7.1	Begrundelse for tillæg til den estimerede kysttilbagerykning	30
8	Forudsætninger for vurdering af kystudviklingen ved kysten ud for Ærvej nær kysten	30
8.1	Forudsætninger for klimaændringer og robusthed for kyststrækning ud for Ærvej	31
8.2	Baglandskote samt geotekniske forhold ved Ærvej sammenlignet med strækningen udfor resortet	31
8.3	Skråningsbeskyttelse ved Ærvej sammenlignet med strækningen udfor resortet	32
9	Konklusion	34
10	Referencer	36

1 Baggrund

Nordals Ferieresort ønskes etableret i relativ kort afstand til kysten og eftersom der, som udgangspunkt, ikke er ønske om at etablere kystbeskyttelse foran ferieresortet, er det afgørende at estimere den fremtidige oversvømmelsesrisiko og -udbredelse samt kystudvikling indenfor resortets levetid under hensyntagen til klimaændringernes påvirkning.

Dette notat indeholder en kort gennemgang af den historiske udvikling af kysten umiddelbart ud for det planlagte ferieresort samt estimater af hvorledes kysten skønnes at udvikle sig indenfor ferieresortets levetid, der som udgangspunkt er 30 år, men med ønske om, at der efter 25 år evt. kan gennemføres en levetidsforlængelse, således at den samlede levetid bliver i alt 50 år. Ferieresortets første etape antages færdigbygget i år 2025, hvilket medfører, at kystudviklingen betragtes frem til hhv. år 2055 og år 2075. 1-2 års ændringer i antagelserne om disse årstal vil ikke ændre vurderingerne pga. de usikkerheder, der generelt er på forudsætningerne og dermed estimaterne. Ud over kystudviklingen ved Nordals Ferieresort vurderes ligeledes på klimaændringernes påvirkning af oversvømmelsesrisici.

Vurderinger af kystudviklingen er foretaget specifikt for kyststrækningen umiddelbart ud for Nordals Ferieresort og derfor er hovedfokus på denne strækning. Dog indeholder nærværende notat en diskussion af potentielle ændringer i forudsætninger for bl.a. klimaændringer samt geoteknik mv., såfremt der ønskes lavet en lignende analyse af kystudviklingen ved kysten, hvor adgangsvejen Ærvej ligger relativt kystnært. Formålet er at danne overblik over i hvilken grad kystudviklingen ud for resortet er repræsentativt for kyststrækningen ved Ærvej.

1.1 Indhold i dette notat

Følgende er indeholdt i nærværende notat:

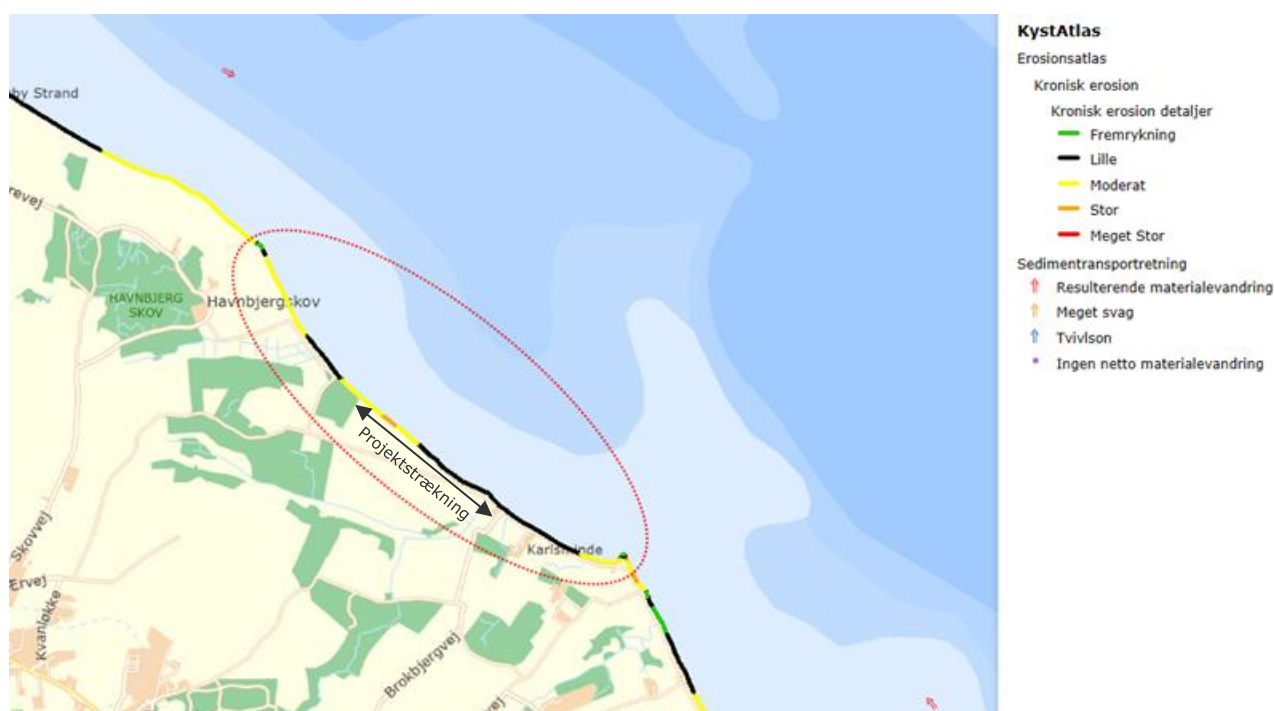
- I afsnit 2 gives en kort beskrivelse af den regionale historiske kystudvikling på Nordals.
- I afsnit 3 præsenteres regionale prognoser og estimater for vind-, bølge- og vandstandsforholdene grundet klimaændringer, da disse er af afgørende betydning for kystudviklingen.
- I afsnit 4 - 6 omsættes prognoserne for klimaændringer til konsekvenser for hhv. den fremtidige oversvømmelses- og kyst-udvikling ved Nordals Ferieresort.
- I afsnit 7 vurderes den samlede kystudvikling på strækningen ud for ferieresortet.
- I afsnit 8 gives anbefalinger til et forudsætningsgrundlag, såfremt der ønskes lavet en lignende analyse af kystudviklingen ved kysten syd for resortet, hvor Ærvej ligger relativt tæt ved kystlinjen.
- I afsnit 9 opsummeres konklusioner fra nærværende notat.

2 Den regionale historiske kystudvikling ved Nordals

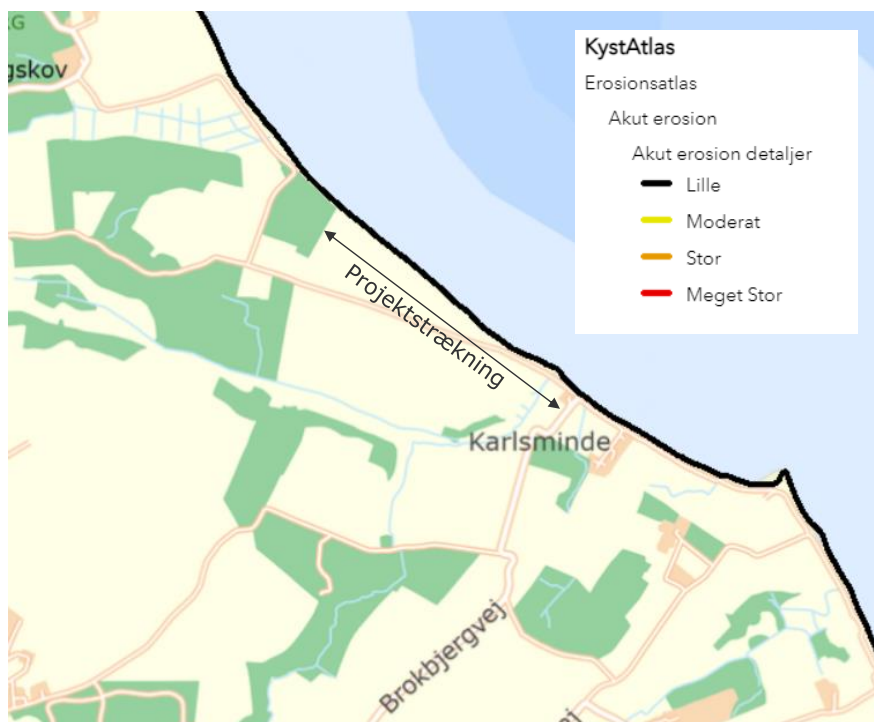
Den historiske regionale kystudvikling på Nordals er analyseret baseret på historiske overflyvningsfotos (dateret tilbage til 1954) samt satellitfotos fra området. Ved sammenligning af fotos fremgår det umiddelbart, at der har været en gennemsnitlig kysttilbagetrækning på ca. 7 cm/år. De største tilbagerykninger indenfor relativt korte perioder er fundet til ca. 15 m. [12] Konklusionerne baseret på

sammenligningen af historiske kystplaceringer stemmer forholdsvis godt overens med oplysninger fra Kystdirektoratets Kystatlas [7] af såkaldt "kronisk erosion" samt "akut erosion", se hhv. figur 2-1 og figur 2-2. Af figurene fremgår det, at der generelt forekommer "lille" til "moderat" kronisk erosion på kysten ved ferieresortet (lokalt op til "stor" kronisk erosion) samt "lille" akut erosion. En mere detaljeret beskrivelse af kronisk- og akut erosion uddybes i afsnit 2.1 og afsnit 2.2.

Af Kystdirektoratets Kystatlas fremgår det desuden, at den resulterende langsgående sandtransportretning er nordgående på strækningen umiddelbart syd for lokaliteten og sydgående på strækningen nord for lokaliteten, se røde pile i figur 2-1. Pga. den modsatrettede langsgående sandtransport nord-/syd for projektlokaliteten kan der således identificeres en sedimentcelle, se rød ellipse i illustration på figur 2-1. En sedimentcelle er kendetegnende ved, at der i tilfælde af påvirkning af sedimentbudgettet indenfor sedimentcellen ikke vil forekomme en påvirkning/ændring af sedimentbudgettet og dermed af kysten udenfor sedimentcellen.



Figur 2-1 Forekomst af kronisk erosion samt illustration af sedimenttransportretning iflg. Kystatlas [7].



Figur 2-2 Forekomst af akut erosion ifølge Kystatlas [7].

Kysten ved Nordals Ferieresort er generelt karakteriseret ved en relativ stejl skråning/skrænt op mod baglandet samt en sandstrand foran, se figur 2-3. Skråningens placering på kysten, hældning mv. er et resultat af mange års påvirkning af højvande, bølger, vind samt nedbør. Højvande kombineret med bølger vil kunne slide kraftigt på skråningen, desuden vil grundvand fra baglandet ligeledes kunne give anledning til en påvirkning af skråningen. Som det fremgår af fotografiet i figur 2-3 er der i dag en relativ tæt begroning på skråningen, som indikerer at der igennem noget tid ikke har været den store udvikling af/slid på skråningen.



Figur 2-3 Foto fra stranden foran den aktuelle lokalitet [23].

På den sydlige del af projektstrækningen, omkring udløbet af Gildbæk reduceres skrænthøjden og terrænet ligger lavt her med en eksisterende grusvej og parkeringsplads ned mod vandet, se figur 2-4. På denne del af strækningen ligger der store sten, hvilket indikerer at der tidligere har været etableret en kystbeskyttelse her.



Figur 2-4 Foto fra den lave del af kyststrækningen ved udløbet af Gildbæk, hvor det fremgår at grusvejen Ærvej stiger mod nordvest som kystskræntens højde øges mod nordvest. [23].

2.1 Historisk kronisk erosion ved Nordals Ferieresort

Kronisk erosion er, som navnet antyder, karakteriseret ved at være permanent og foregå over en længere årrække. Erosionen kan f.eks. skyldes variationer i den langsgående sandtransport (ind og ud af et område), hvilket kan opstå såfremt kystens orientering ikke er i ligevægt med det forekommende bølgeklime.

På kyststrækningen ved Nordals Ferieresort er der en forholdsvis høj forekomst af bølger fra hhv. nord-nordvest samt øst-sydøst. Bølger fra disse to retninger har omtrent samme indfaldsvinkel på kysten, hvormed det kan forventes, at der kan forekomme både en nordgående og en sydgående kystparallel sedimenttransport. Dette understøttes af Kystdirektoratets kystatlas (jf. figur 2-1), hvoraf det fremgår, at den resulterende langsgående sandtransportretning er nordgående på strækningen umiddelbart syd for lokaliteten og sydgående på strækningen umiddelbart nord for lokaliteten.

Som tidligere nævnt er den kroniske erosion vurderet til ca. 7 cm/år på strækningen ud for Nordals Ferieresort.

2.2 Historisk akut erosion ved Nordals Ferieresort

Akut erosion forekommer typisk i forbindelse med stormsituationer med forhøjet vandstand og høj bølgeenergi. Sammenfaldet imellem høj vandstand og høje bølger kan medføre, at sand transporteres væk fra den øverste del af stranden (klit-/skræntfoden) og ud i den dybereliggende del af strandprofil. I modsætning til kronisk erosion er transporten således på tværs af kysten.

Som tidligere nævnt er de største tilbagerykninger indenfor relativt korte perioder fundet til ca. 15 m. Hvorvidt disse tilbagerykninger er et udtryk for den historiske akutte erosion under en enkelthændelse, eller flere kumulative hændelser indenfor en kort periode, kan ikke siges med sikkerhed.

3 Prognoser for klimaændringer ved Nordals Ferieresort

I dette afsnit opsummeres nuværende prognoser for klimaændringer, som kan have indflydelse på kystudviklingen samt risici for oversvømmelse ved det planlagte ferieresort.

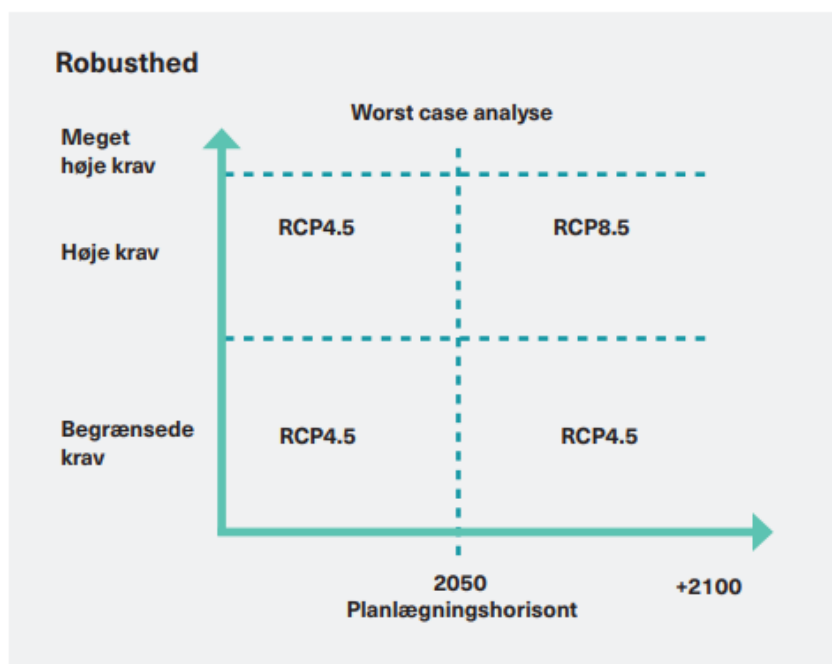
3.1 Anvendte datakilder for fremtidige klimaprognoser

I Danmark er de nationale vurderinger vedr. fremtidens klima samlet på hjemmesiden www.klimatilpasning.dk. Hjemmesiden er forankret i Miljøstyrelsen og er udarbejdet i samarbejde mellem en række ministerier, styrelser og interessenter (blandt andet Kommunernes Landsforening og Danske Regioner). Hjemmesiden samler den aktuelle viden og prognoser for klimaændringer omsat til nationale niveauer. Baggrunden for de nationale prognoser er blandt andet klimarapporter udarbejdet af FN's klimapanel (IPCC) suppleret med målinger gennemført i Danmark.

DMI har udviklet et webbaseret værktøj "klima-atlas" til at estimere, hvordan det danske klima ændrer sig frem mod midten og slutningen af dette århundrede, se: <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas> [18]. Klima-atlas er et af flere værktøjer, der henvises til fra www.klimatilpasning.dk.

3.2 Nationale anbefalinger til klimascenarie der ligger til grund for vurderinger

Figur 3-1 viser DMI's anbefalinger til hvilket klimascenarie, der bør ligger til grund for estimer/analyser mv., afhængig af planlægningshorisonten og kravene til robusthed. Ift. anvendelsen af DMI's anbefalede klimascenarier anbefaler Kystdirektoratet yderligere [25], at der ifm. kystbeskyttelse tillægges en vis robusthed dvs. at der anvendes RCP8.5.



Figur 3-1: Anbefalede klimaprognose afhængigt af planlægningshorisont og krav til robusthed. [24]

Planlægningshorisonten for Nordals Ferieresort er minimum til år 2055, evt. 2075 ved 50 års levetid, hvormed klimascenarie RCP8.5 anvendes ift. estimering af kystudviklingen, og således præsenteres i det følgende udelukkende prognoser for dette scenarie.

I afsnit 8 diskuteres om samme forudsætning ift. klimaprognoser og klimascenarier bør anvendes for eventuelle estimater gældende for området, hvor Ærvej ligger nær kysten ved udløbet af Gildbæk.

3.3 Prognoser for påvirkning fra klimaændringer på storm- og bølgeforhold

Bølgerne ved Nordals er primært vindgenererede og derfor har den fremtidige udvikling af vind- og stormforhold (intensitet og hyppighed) en betydning for de lokale bølgeforhold (samt kystudvikling).

Hypigere storme vil betyde, at kysten potentielt oftere påvirkes af både langs- og tværgående sandtransport. Desuden kan en ændring af vindresultanten (vindretningen) have betydning for den dominerende bølgeindfaldsretning, hvormed der yderligere kan ske en ændring af den kystparallelle sedimenttransport.

Prognoserne fra IPCC vedr. fremtidige bølgeforhold er umiddelbart relateret til det tropiske Stillehav og Østersøen, hvor der forventes en stigning, samt til Nordatlanten og Middelhavet, hvor der estimeres et fald. Nordals er beliggende mellem Østersøen og Nordatlanten.

På www.Klimaatlas.dk [4] er angivet, at der sandsynligvis ikke vil forekomme de store ændringer i middelvindstyrken, men forskellene mellem klimamodellerne gør det usikkert om der vil forekommen en ændring (reduktion til forøgelse) af vindstyrken og i antallet af storme.

I 2008 udarbejdede Kystdirektoratet en rapport vedr. klimaændringernes betydning for kysterne [17], hvor estimater omkring det fremtidige vind- og bølgeklime på vestkysten blev præsenteret. Vurderingen var, at der vil kunne forventes en lille forøgelse af stormaktiviteten over Danmark, og en deraf-følgende forøgelse af den signifikante bølgehøjde med op til 5% i Nordsøen. Jf. rapporten er vurderingen at klimaændringernes påvirkning hovedsageligt vil være henført til den sidste halvdel af dette århundrede.

3.3.1 Opsummering vedr. storm- og bølgeforhold

På baggrund af de nationale vurderinger og prognoser for udvikling af fremtidens vind- og bølgeforhold kan det umiddelbart ikke kvantificeres, hvorledes vind- og bølgeforholdene vil udvikle sig i fremtiden. Desuden haves umiddelbart ingen prognoser for indre danske farvande, og med udgangspunkt heri forudsættes i nærværende notat, at vind- og bølgeforhold vil forblive uændrede indenfor levetiden af Nordals Ferieresort.

3.4 Prognoser for påvirkning fra klimaændringer på middel-havniveaustigning

En af de signifikante forventede effekter fra klimaændringerne er stigningen af middelvandstanden, hvilket desuden er en væsentlig parameter ift. kystudviklingen. Bl.a. vil en højere middelvandstand betyde, at kystprofilen skal indstille sig på den nye ligevægt og at bølgerne vil bryde tættere på eksisterende kystlinje, hvilket kan øge sandtransporten.

Indledningsvist gives en kort oversigt over udvalgte prognoser for klimaændringernes påvirkning af middelvandstanden og den variation og spredning der er, hvorefter de nationale udmeldinger fra www.klimaatlas.dk anno 2021 præsenteres.

I 2014 udgav IPCC en rapport med forventede globale havniveaustigninger for hhv. år 2046-2065 og år 2081-2100, ud fra en referenceperiode (år 1986-2005) [9], se tabel 3-1.

Havniveau [m]	2046-2065		2081-2100	
Scenarie	Middel	Sandsynligt interval	Middel	Sandsynligt interval
RCP2.6 (lavt)	0,24	0,17 – 0,32	0,40	0,26 – 0,55
RCP4.5	0,26	0,19 – 0,33	0,47	0,32 – 0,63
RCP6.0	0,25	0,18 – 0,32	0,48	0,33 – 0,63
RCP8.5 (højt)	0,30	0,22 – 0,38	0,63	0,45 – 0,82

Tabel 3-1 Absolut stigning i det globale gennemsnitlige havniveau vurderet af IPCC i 2014 for de angivne perioder i forhold til referenceperioden 1986-2005 [1] og [9] for forskellige klimascenarier.

DMI vurderede således med udgangspunkt i IPCC's rapport fra 2014, hvad havniveaustigningen vil blive i Danmark, se tabel 3-2, og udarbejdede efterfølgende i 2015 et estimat på de forventede havniveaustigninger ud fra klimascenarie RCP2.6 og RCP8.5 for hhv. år 2065 og 2115, se tabel 3-3.

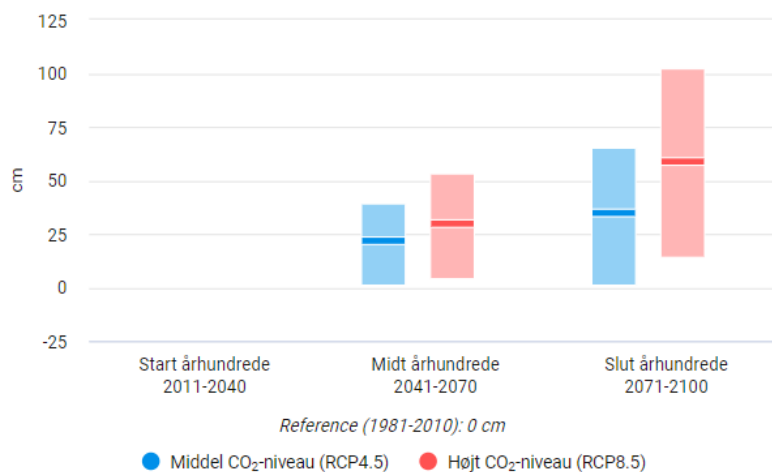
Ændringer i middelvandstand [meter]	Globalt middel	Danmark	Kilde
RCP2.6	0,40 (0,26 – 0,54)	0,34 (0,1 – 0,6)	IPCC AR5
RCP4.5	0,47 (0,32 – 0,62)	0,43 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP6.0	0,47 (0,33 – 0,62)	0,44 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP8.5	0,62 (0,45 – 0,81)	0,61 (0,3 – 0,9)	IPCC AR5
A1B	0,52 (0,36 – 0,69)	-	IPCC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

Tabel 3-2 Absolut havniveaustigning globalt og for Danmark for 2081-2100 [1] for forskellige klimascenarier.

Nordsø – estimeret	RCP2.6	RCP8.5
2015	0,06 [0,0 – 0,1]	0,06 [0,0 – 0,1]
2065	0,3 [0,1 – 0,5]	0,4 [0,2 – 0,6]
2115	0,5 [0,2 – 0,8]	0,9 [0,5 – 1,3]

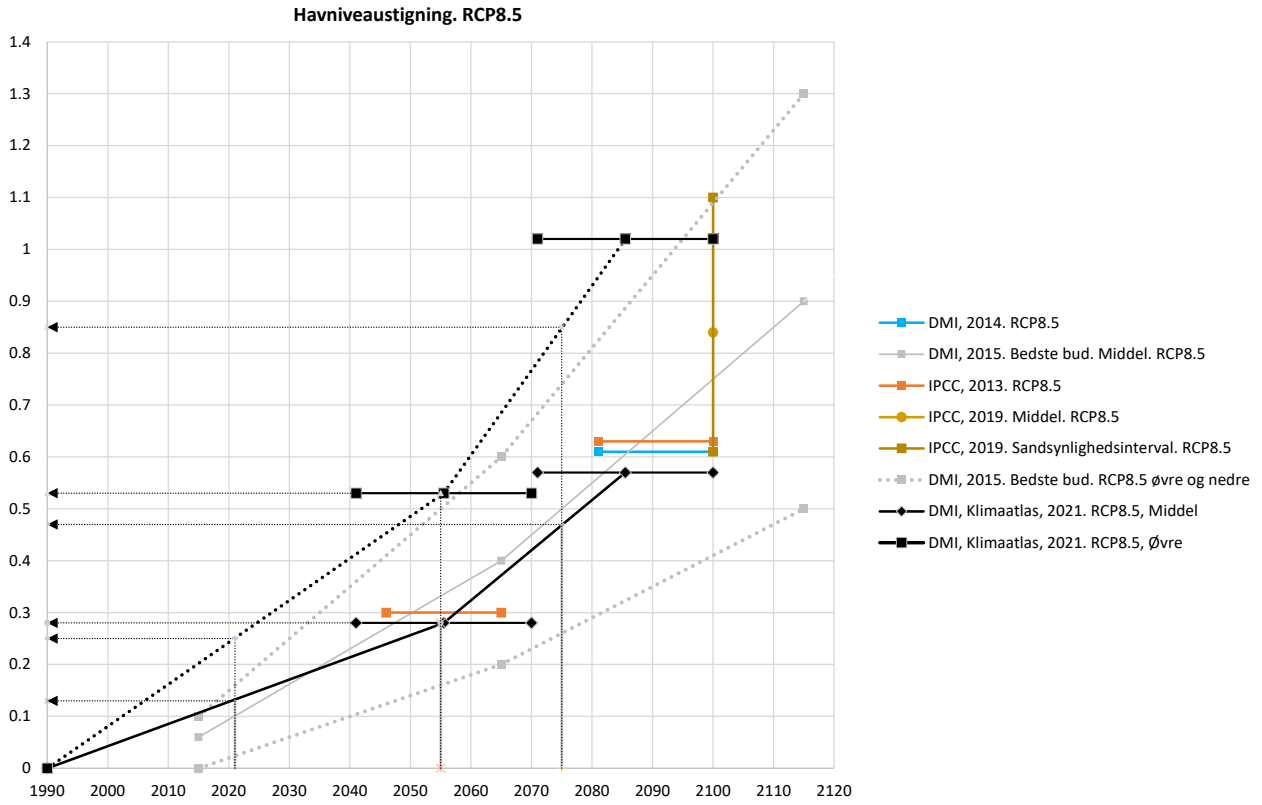
Tabel 3-3 DMIs estimat på forventede havniveaustigninger ud fra klimascenarie RCP2.6 og RCP8.5 i 2065 og 2115 [2].

I dag er de nuværende nationale udmeldinger vedr. prognoserne for havniveaustigningerne omkring det sydlige Lillebælt, jf. Klimaatlas.dk, som vist på figur 3-2, hvor der er korrigeret for regionale landhævninger. Heraf fremgår det, at der dels er givet et spænd på selve havniveaustigningen og dels er givet et spænd i hvornår vandstanden indtræffer.



Figur 3-2: Havniveaustigninger for Lillebælts sydlige kyststrækning baseret på klimascenarie RCP4.5 og RCP8.5, DMI Klimaatlas 2021. Niveauerne er inklusive landhævning. [4]

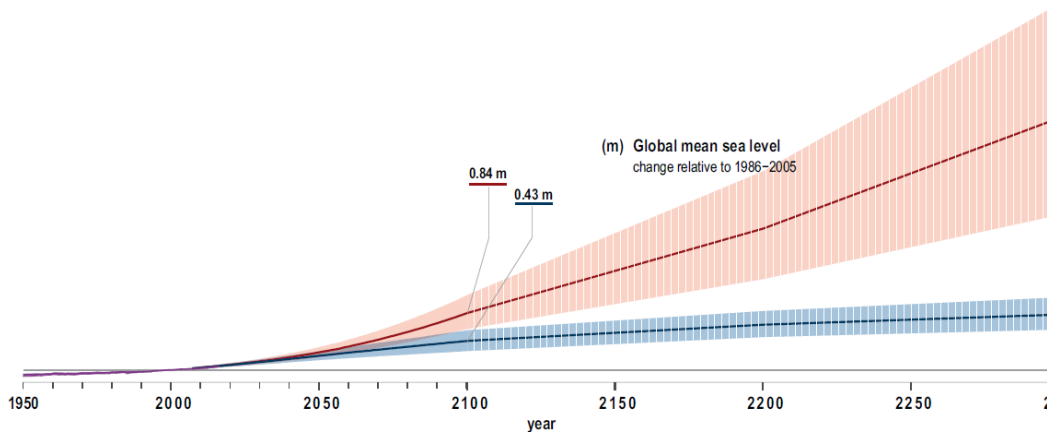
Figur 3-3 opsummerer de præsenterede prognoser for ændringerne i havniveau fra hhv. DMI og IPCC som beskrevet ovenfor. Øvre- og middel-niveau for de nationale udmeldinger på www.klimaatlas.dk er også indtegnet på figuren med de sorte vandrette linjer.



Figur 3-3 Prognoser for havniveaustigninger baseret på klimascenarie RCP8.5, vurderet af DMI og IPCC. Figuren er baseret på data fra tabel 3-1, tabel 3-2 og tabel 3-3. Kun data fra www.klimaAtlas.dk er korrigeret for landhævninger.

3.4.1 Forventet hastighed for havniveaustigninger jf. IPCC

Af IPCCs rapport fra år 2019 [10] fremgår det, at havniveaustigningens forløb tilnærmelsesvist er lineært frem til år 2100, se figur 3-4. Vandstandsændringen er tilnærmelsesvis lineær i perioden frem til 2050 og i perioden 2050-2100.



Figur 3-4 Forløbet i global havniveaustigning ifølge IPCC, 2019 [10].

3.4.2 Opsummering vedr. havniveaustigning (ændring af middelvandstand)

Til vurderinger af kystudviklingen ved Nordals Ferieresort tages udgangspunkt i ændringen af middelvandstanden baseret på:

- 1) Klimascenarie RPC8.5, som er det mest konservative scenarie af de præsenterede og dermed det anbefalede, når der er krav om høj robusthed og relativ lang planlægningshorisont.
- 2) Nuværende nationale anbefalinger vedr. havniveaustigninger, som følge af klimaændringer, jf. [4].
- 3) Middel- og øvre-værdier for havniveaustigningerne.
- 4) Lineær udvikling i havniveau inden for Nordals Resorts levetid.
- 5) At prognosen for vandstanden jf. [4] indtræffer midt i det tidsmæssige interval.

Vurderingerne vedr. kystudviklingen gennemføres for både middel- og øvre-prognoser for havniveaustigningen, se tabel 3-4 og tabel 3-5. I tabellen fremgår både havniveaustigningerne med reference i DVR90 og havniveaustigningerne korrigeret således de har reference i 2021, jf. figur 3-3.

År	Middel havniveaustigning (Inkl. landhævning)	
	[m] relativ til DVR90	[m] relativ til 2021
2021	0.13	0.00
2055	0.28	0.15
2075	0.47	0.34

Tabel 3-4 Middel-prognoser for havniveauer baseret på den nationale udmelding og klimascenarie RCP8.5. Se også figur 3-3.

År	Øvre havniveaustigning (Inkl. landhævning)	
	[m] relativ til DVR90	[m] relativ til 2021
2021	0.25	0.00
2055	0.53	0.28
2075	0.85	0.60

Tabel 3-5 Øvre-prognoser for havniveauer baseret på den nationale udmelding og klimascenarie RCP8.5. Se også figur 3-3.

4 Estimeret fremtidig indflydelse fra klimaændringer på oversvømmelse ved Nordals Ferieresort

En stigning af middelvandspejlet kombineret med en stormflodshændelse kan potentielt give anledning til en oversvømmelse af lavtliggende områder omkring Nordals Ferieresort. De forventede fremtidige ekstreme vandstands niveauer for en 100 års-hændelse i år 2055 og 2075 er angivet i tabel 4-1 og tabel 4-2 for hhv. middel- og øvre prognoser havniveaustigningen grundet klimaændringer. Ekstremvandstande er baseret på Kystdirektoratets højvandstatistik [11] idet klimaprognoserne ikke giver anledning til en justering heraf.

Jf. tabel 4-2 kan en 100 års-hændelse i år 2075, baseret på øvre-prognoser for klimaændringer, medføre højvandstand til kote +2,66 m, hvoraf de 85 cm skyldes den generelle stigning af middelvandspejlet og de 181 cm stammer fra den ekstreme vandstand for en 100 års returperiode.

År	100 års højvandstand i 2021 [11]	Klimatillæg middel-prognose: Havniveau inkl. landhævning (se afsnit 3.4)	Total vandstand ved 100 årshændelse, middel-estimat
	[m] DVR90	[m] DVR90	[m] DVR90
2055	1,81	0,28	2,09
2075	1,81	0,47	2,28

Tabel 4-1 Middel-prognoser for oversvømmelsesniveau ved 100-årshændelse i hhv. år 2055 og år 2075.

År	100 års højvandstand i 2021 [11]	Klimatillæg øvre-prognose: Havniveau inkl. landhævning (se afsnit 3.4)	Total vandstand ved 100 årshændelse, øvre-estimat
	[m] DVR90	[m] DVR90	[m] DVR90
2055	1,81	0,53	2,34
2075	1,81	0,85	2,66

Tabel 4-2 Øvre-prognoser for oversvømmelsesniveau ved 100 årshændelse i hhv. år 2055 og år 2075.

Ved brug af værktøjet Scalgo er det undersøgt, hvilke arealer der potentielt kan blive oversvømmet som følge af en 100-års vandstand i år 2055 og år 2075 på hhv. 2,34 m og 2,66 m (øvre-estimat for havstigningen), se figur 4-1 og figur 4-2. Som det fremgår af figurerne, kan der opstå oversvømmelse i lavningen ved udløbet fra Gildbæk, samt i område umiddelbart nord og syd for projektstrækningen.



Figur 4-1 Højvandskort. De blå arealer viser områder der vil blive oversvømmet, hvis vandstanden i havet overstiger 2,34 m svarende til en 100 års hændelse i år 2055 baseret på øvre-prognose for klimaændringer. [19]



Figur 4-2 Højvandskort. Højvandskort. De blå arealer viser områder der vil blive oversvømmet, hvis vandstanden i havet overstiger 2,66 m svarende til en 100 års hændelse i år 2075 baseret på øvre-prognose for klimaændringer. [19]

I forbindelse med planlægningen af Nordals Ferieresort bør der således tages hensyn til disse lavtliggende områder, hvor der er risiko for oversvømmelse under ekstreme forhold.

5 Estimeret fremtidig kystudvikling ved kyststrækning ud for Nordals Ferieresort som følge af middelvandstandsstigning (kronisk erosion)

I dette afsnit estimeres den fremtidige kystudvikling (tilbagerykning), som følge af stigningen af middelhavniveauet, mens tilbagerykningen som følge af kronisk og akut erosion behandles i afsnit 6.

Havniveauet vil potentielt medføre en gradvis tilbagerykning af kystlinjen, som kan estimeres ved anvendelse af "Bruuns regel". Her er antagelsen, at en ændring af havniveauet blot vil forskyde det nuværende kystprofil, hvilket betyder, at en stigning i havniveau vil medføre, at der sker en tilsvarende hævnning af kystprofilen. Ved ordet "kystprofil" menes profilet af havbunden, stranden og skrænten tilsammen (dvs. tværsnittet). En mere dybdegående beskrivelse og anvendelse af Bruuns regel er givet i afsnit 5.2.1.

5.1 Kysttilbagetrækning bestemt af Kystplanlægger.dk - baseret på regionale forhold

Som en del af www.klimatilpasning.dk er der et link til et webgis værktøj www.Kystplanlægger.dk, hvor erosionsforhold for tre tidsperspektiver kan visualiseres. Værktøjet er forankret i Miljøministeriet og anvender klimascenarie RCP8.5. Formålet er at give en grov og overordnet vurdering samt estimat af om en kyststrækning forventes påvirket af erosion. Ift. planlægning af kystnære projekter skal der gennemføres en mere detaljeret vurdering, idet værktøjet generelt anvender regionale forudsætninger ift. vandstands- og bølgedata, geologiske forhold og kystprofiler mv. Vurderingerne af den kroniske erosion er primært baseret på anvendelsen af Bruune regel samt en generel forudsætning om, at eksisterende kystbeskyttelse som eksempelvis skråningsbeskyttelse vil blive undermineret og kollapse i perioden og således ingen effekt have. Beregninger af akut erosion er kun gennemført for strækninger der er karakteriseret som sandede.

Ved anvendelse af www.Kystplanlægger.dk er erosionsforholdene ved Nordals Ferieresort, som følge af havniveaustigninger alene, visualiseret. Heraf fremgår det, at der kan forventes en kysttilbagetrækning på mellem 28-55 m i år 2070 (hvilket er indenfor Nordals Ferieresorts levetid) og 55 – 103 m i år 2120, se figur 5-1.



Figur 5-1 Visualisering af estimeret kysttilbagetrykning/erosion ved Nordals Ferieresort, som følge af klimatiske ændringer af middelvandstanden. Baseret på anvendelse af www.kystplanlægger.dk [5].

5.2 Estimeret kysttilbagetrækning via Bruuns regel - baseret på lokale forhold

Idet vurderingerne baseret på det nationale værktøj www.kystplanlægger.dk (jf. afsnit 5.1) er baseret på regionale forhold og således ikke målrettet detaljeret planlægning af kystnære projekter, er kysttilbagetrækningen lokalt ud for Nordals Ferieresort i det følgende estimeret ved hjælp af Bruuns regel koblet med de lokale forhold. Kysttilbagetrækningen estimeres for år 2055 og år 2075, hvilket svarer til de forventede levetider for Nordals Ferieresort.

5.2.1 Bruuns regel

Ved Bruuns regel antages (som nævnt), at kystprofillet forbliver konstant, hvilket medfører, at en stigning af havniveauet medfører, at der sker en tilsvarende hævnningen af kystprofillet. Hævningen af kystprofillet antages at ske ved til førelse af materialer fra erosion af kyst og skrænter.

Udgangspunktet for Bruuns regel er, at kysttilbagetrækningen er en funktion af stigningen i middelvandstanden og hældningen af det aktive profil. Det aktive profil er den del af profilet, hvor der foregår sedimenttransport. Når middelvandstanden stiger, forskydes kystlinjen landværts og opad, og vanddybden øges dermed i profilet. [14]

Omsat på formel er Bruuns regel følgende [6]:

$$\Delta y = S \frac{W}{h + B}$$

hvor Δy er kysttilbagetrækningen, W er det aktive profils bredde, h er closure depth og B er klitten/skråningens maksimale højde over havniveauet, se figur 5-2 for illustration af Bruuns regel og input til formlen.

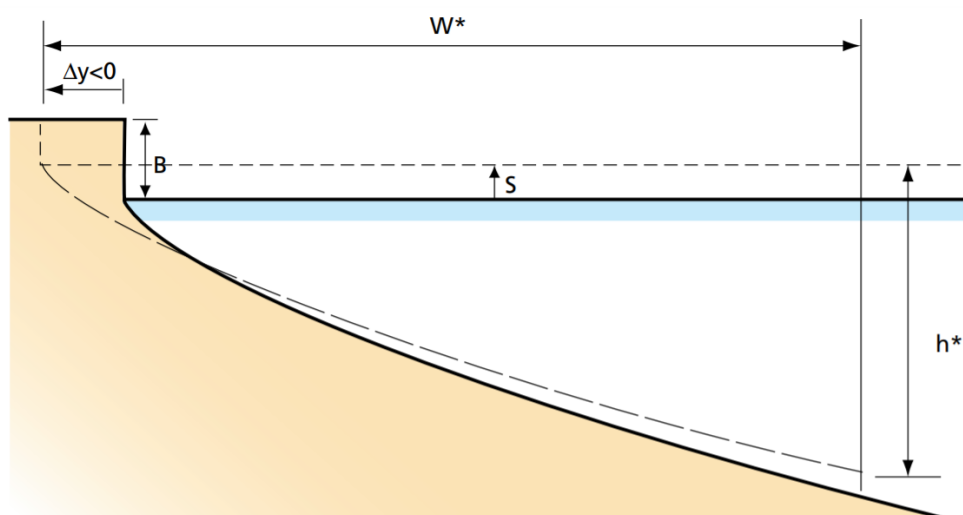
Closuredepth, der er den vanddybde, hvor sedimenttransporten sker indenfor, beregnes ud fra [20]:

$$h = 2,28H_{s,12t/\text{år}} - 68,5 \frac{H_{s,12t/\text{år}}^2}{gT_s^2}$$

hvor $H_{s,12t/\text{år}}$ er den signifikante bølgehøjde, der er overskrevet 12 timer per år og T_s er den tilhørende bølgeperiode. Bølgeperioden er bestemt fra [16]:

$$Tp = 4.24H_{m0}^{0,378}$$

hvor det antages at $H_{m0} = H_s$.



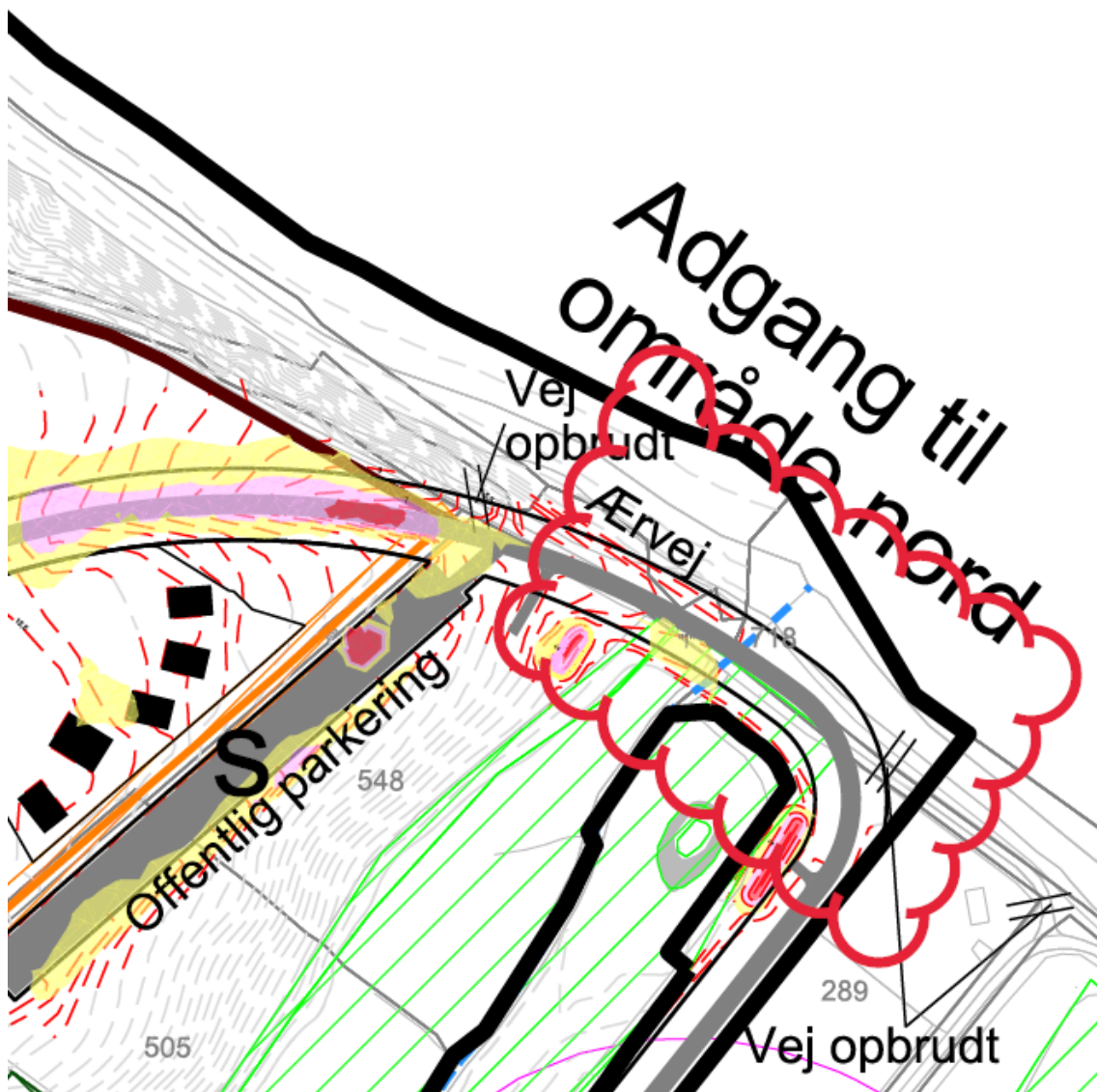
Figur 5-2 Bruuns regel. [6]

5.2.2 Datagrundlag for estimering af kystændringen ved Bruuns regel

Det anvendte datagrundlag ift. at vurdere på den lokale kystpåvirkning ved Nordals, som følge af ændringer i havniveau, er beskrevet i det følgende.

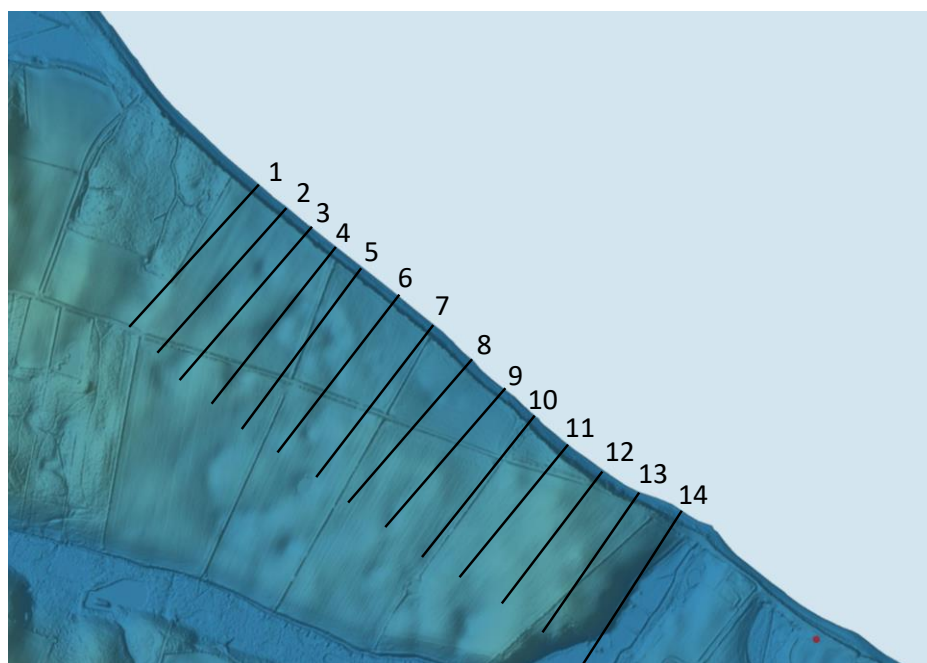
5.2.2.1 Repræsentativt kystprofil ved Nordals Ferieresort

Som nævnt i afsnit 2 varierer terrænet omkring Nordals Ferieresort idet store dele af kyststrækningen er præget af højere skrænter op mod det bagland resortet planlægges etableret på. På den sydlige del af kyststrækningen i området ved Gildbæks udløb er terrænet dog beliggende lavt, hvilket fremgår af figur 5-3.



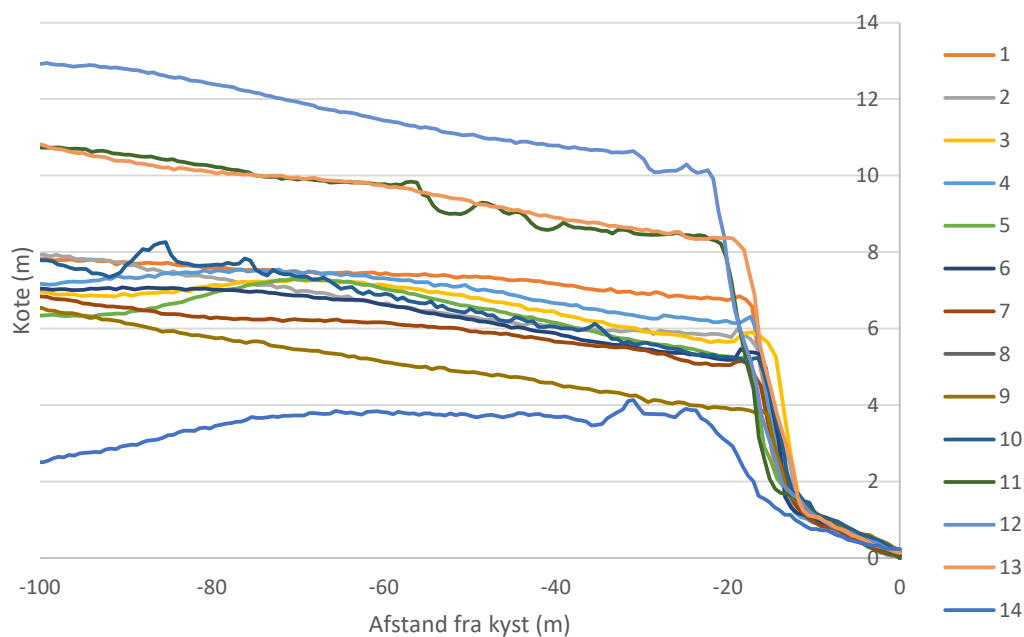
Figur 5-3: Udsnit af den sydøstlige del af projektområdet inkl. højdekurver med lysegrå og projektområdets afgrænsning med fed sort. Kyststrækning hvor Ærvej ligger i en lav kote nær kysten er vist med rød boble-linje.

Ift. kystudviklingsvurderingerne er der trukket kystprofiler ud fra Scalgo samt dybdeforhold fra søkort kombineret med lokale pejlinger fra Sloth Møller [15]. Scalgos terrænmodel er baseret på Danmarks Højdemodel, som er udarbejdet på baggrund af laserscanninger fra fly foretaget år 2014-2019. Figur 5-4 viser kystprofilernes placering på et plankort og figur 5-5 viser kystprofilerne landværts. Kystprofilet under vand er i første omgang ikke vist i figuren, da profilet under vand er næsten identisk langs hele strækningen.



Figur 5-4 Kystprofilernes placering på plankort.

Alle profiler



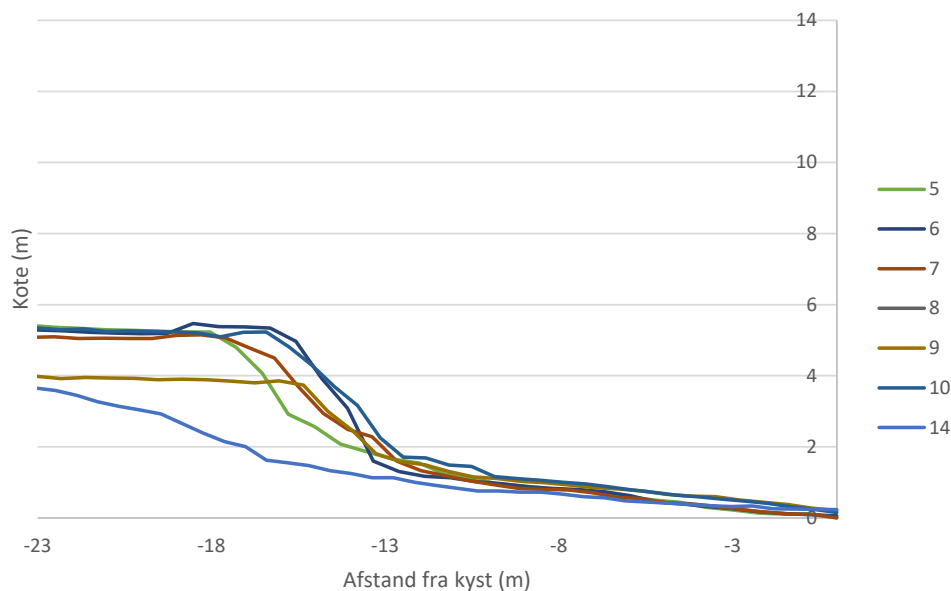
Figur 5-5 Kystprofil nr. 1-14. For placering se figur 5-4.

Som det fremgår af højdekoterne jf. figur 5-3 og de optegnede kystprofiler jf. figur 5-5 varierer toppen af skråningen langs kysten fra ca. kote +4 m til kote +10 m. Hældningen af skråningen er ikke væsentlig forskellig i de undersøgte profiler, bortset fra profil 14, som er en del fladere end de resterende profiler. Profil 14 ligger sydligst og tæt ved å-udløbet (Gildbæk).

De laveste skråninger på strækningen er profil nr. 9 og 14, se figur 5-5. Det mest kritiske profil ift. kysttilbagerykningen på strækningen ved Nordals Ferieresort, grundet påvirkning fra klimaændringer,

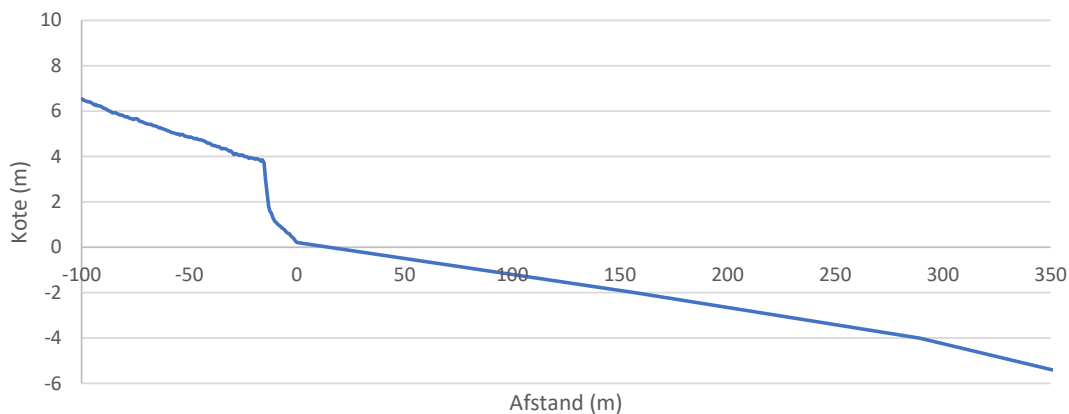
vurderes at være profil nr. 9, da dette profil har den laveste topkote og den stejleste hældning af skrænten. Profil 9 er optegnet i figur 5-7 både landværts og søværts og anvendes videre ifm. Bruuns regel som repræsentativ for kysttilbagerykningen på hele strækningen ud for Nordals Ferieresort.

Laveste profiler



Figur 5-6 Profiler med laveste topkote af skrænt. Kystprofil nr. 5-10 og nr. 14. For placering se figur 5-4.

Profil 9

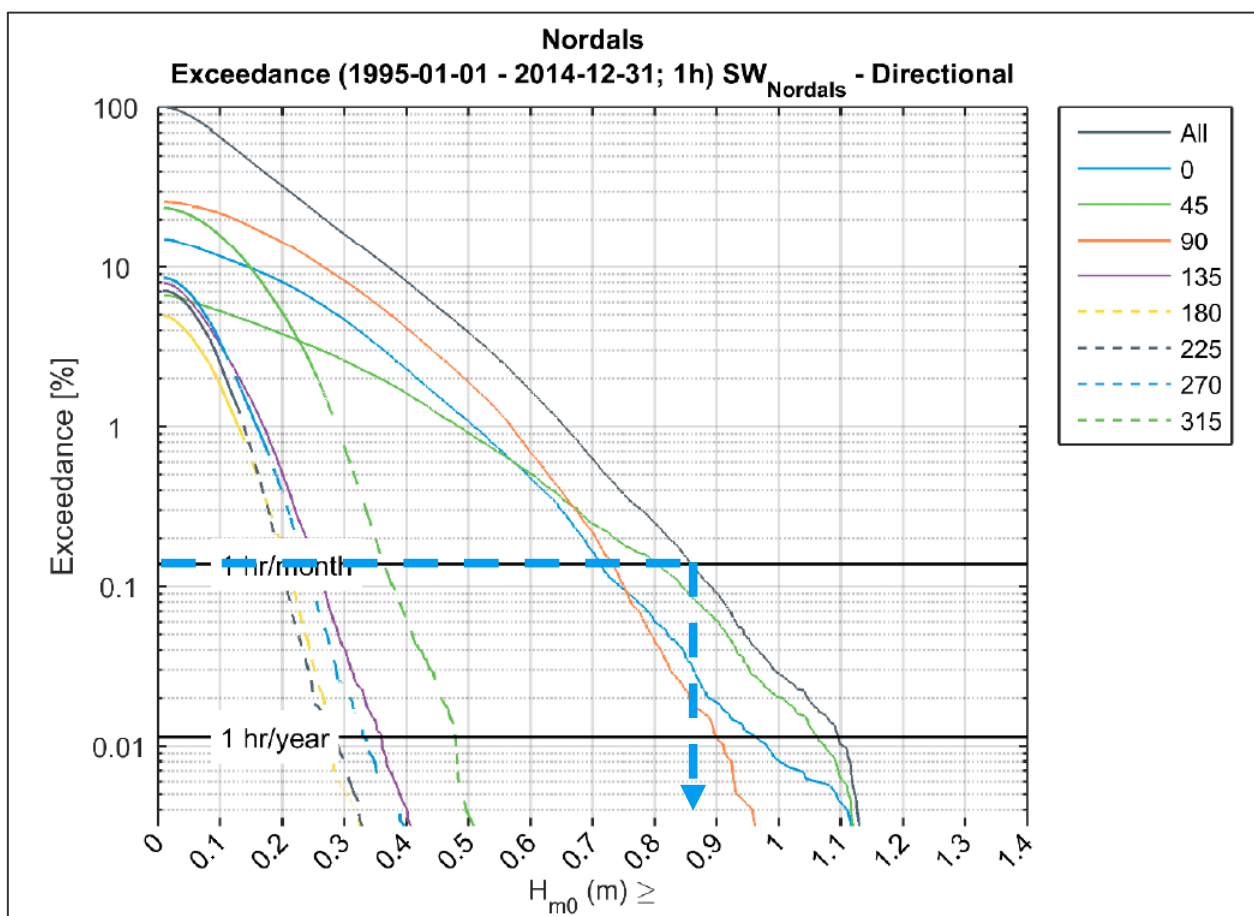


Figur 5-7 Det kritiske (repræsentative) kystprofil nr. 9. For placering se figur 5-4.

5.2.2.2 Bølge- og vandstandsforhold

Kysttilbagerykningen estimeres for hhv. middel- og øvre-værdier af havniveauet for år 2055 og 2075, jf. afsnit 3.4.2.

De lokale bølgeforhold er beskrevet i [16] og gengivet på figur 5-8. Det er antaget, at $H_{s,12t/år} = H_{s,1t/måned}$.



Figur 5-8: Bølgeklima ved Nordals [16]. $H_{s,12t/år}$ er markeret med pil, hvor der konservativt ikke er taget hensyn til retningen.

Baseret på aflæsningen af $H_{s,12t/år}$ er bølgeperiode og closure depth beregnet, se tabel 5-1.

$H_{s,12t/år}$	0,86 m
Bølgeperiode T_s	4,0 s
Closure-depth	1,64 m

Tabel 5-1 Parametre, der indgår i Bruuns regel.

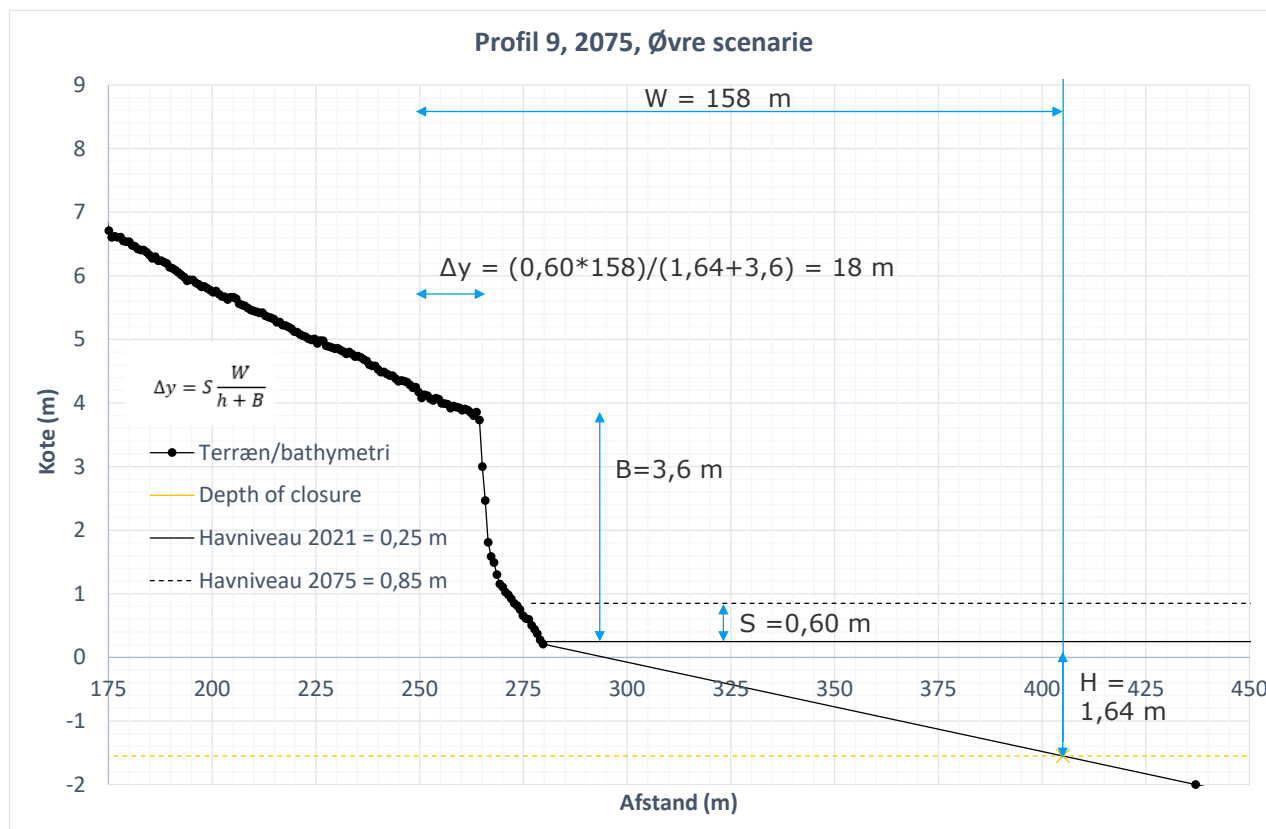
5.2.3 Estimeret kysttilbagetrækning år 2055 og 2075 baseret på Bruuns regel

Tabel 5-2 viser spændet for den estimerede kysttilbagetrækning, som følge af ændringer i havniveauet, i hhv. 2055 samt 2075, set i forhold til kysten i dag. Kysttilbagetrækningen er målt fra toppen af skrænten og ind mod baglandet. Tilbagerykningen er givet i et interval, hvor den laveste værdi er baseret på middelværdien af havniveauændringen og den højeste er baseret på øvre-estimatet jf. afsnit 3.4.2 [2]. Idet der forekommer en vis variation af skrænthøjde mv. langs kyststrækningen, er den estimerede repræsentative tilbagerykningsrate baseret på det kritiske profil 9 jf. figur 5-7.

År	2021	2055	2075
Enhed	Δy (m)	Δy (m)	Δy (m)
Kysttilbagetrækning	0	4-8	10-18

Tabel 5-2 Kysttilbagetrækningen, som følge af havniveaustigninger. Estimeret ved anvendelse af Bruuns regel for middel- og øvre værdier for de nationale vurderinger af havniveaustigningerne [2]. Afstanden er målt fra top af skrænten og ift. 2021.

Et beregningseksempel for det kritiske profil nr. 9 er vist i figur 5-9.



Figur 5-9 Beregningseksempel på kysttilbagetrækning for en havniveauændring i år 2075 for profil 9. Tilbagerykningen er estimeret ved anvendelse af Bruuns regel samt øvre-estimatet for vandstandsstigningen.

5.2.4 Usikkerheder forbundet med estimater via Bruuns regel

Estimaterne via Bruuns regel er baseret på følgende grundlæggende antagelser:

- 1) Hele kystprofilen består af sand.
 - a) Forudsætning om at kystprofilen består af sand betyder, at den estimerede tilbagetrækning kan være konservativ i det tilfælde, hvor der også forekommer kohæsive materialer i kystprofilen, som eksempelvis ler.
- 2) De hydrodynamiske kræfter er tilstrækkelige til at flytte sandet fra kysten til havet således at det nye ligevægtsprofil kan etableres.
- 3) Der tilføres ikke sand ude fra, hvilket til en vis grad vurderes for opfyldt for kysten ud for ferieresortet idet den langsgående sedimenttransport er marginal.

Pga. de nævnte antagelser ved Bruuns regel samt usikkerhederne forbundet hermed samt usikkerheder ift. inputparametre som vandstands niveau og bølgeforskel skal tilbagerøgningsraterne i tabel 5-2 betragtes som estimater og anvendes med en vis forsigtighed.

6 Estimeret fremtidig kysttilbagerøgning ved kyststrækning ud for Nordals Ferieresort som følge af indflydelse fra klimaændringer akut erosion

Kyststrækningen ved Nordals Ferieresort er jf. afsnit 2 beliggende indenfor en såkaldt sedimentcelle og vurderes derfor ikke i væsentlig grad at blive påvirket af potentielle fremtidige ændringer i den langsgående sedimenttransport. Jf. afsnit 3.3 er der ikke grundlag for at estimere en udvikling i vind- og bølgeforskelene og det vurderes således, at der også fremover kan forekomme en årlig kysttilbagevækst på op imod ca. 7 cm/år fra kronisk erosion.

Jf. afsnit 2 er der via historiske overflyvningsfotos samt satellitfotos fundet kysttilbagerøgninger indenfor relativt kortvarige perioder på op til ca. 15 m, hvilket kan tyde på at akut erosion kan forekomme.

Pga. ændringer i middelvandstanden kan akuterøsionen under storm potentielt fremover forøges, da bølgerne vil bryde tættere på kysten samt angribe kystprofilen i en højere kote. Til at estimere den fremtidige forventede akut-erosion, under hensyntagen til klimaændringernes påvirkning af vandstanden, gøres der brug af state-of-art modellen XBeach, som er i stand til at simulere hydrauliske og morfologiske processer på sandkyster, og som inkluderer vigtige hydrodynamiske processer som f.eks. bølge transformation (refraktion, shoaling, brydning), lange bølger, transformation (generering, udbredelse, dissipation), bølgeinduceret-setup af vandstanden samt indflydelse fra strøm.

De morfologiske processer inkluderer bl.a. effekterne fra bundforskydning og suspenderet sediment. Modellen er valideret baseret på analytiske sammenligninger, laboratorieforsøg samt feltmålinger. Dog er modellen ikke kalibreret for brug i nærværende sammenhæng idet der ikke foreligger et tilstrækkeligt datagrundlag til at foretage en kalibrering og validering af modellen, herunder opmåling af kystprofilen før og efter en storm, bølge klimaet under stormen, samt karakteristika af kystmaterialet, men det forventes dog, at modellen er tilstrækkelig i stand til at give et repræsentativt estimat, baseret på de definerede forudsætninger.

6.1 Datagrundlag for estimater af kysttilbagevækst som følge af akut erosion – input til modelberegninger

Idet følgende præsenteres datagrundlaget for beregningerne af den akutte erosion ved anvendelse af XBeach. For beskrivelse af kystprofiler og bølgeforskel henvises til afsnit 5.2.2.

6.1.1 Sedimentkarakteristik og geotekniske forhold

I den geotekniske rapport [21] konkluderes, at der generelt i området findes moræneler, smeltevandssand, -silt og ler, postglacialt sand, gytje og tørv, senglacialt ler og interglacialt ler.

Boringerne tættest på kysten er boring 1 og boring 8-11, se boringernes placering i figur 6-1. Figur 6-2 illustrer boringernes dybde, boringernes afstand fra kysten og hvor middelvandspejlet og ekstremvandspejlet står. Akut erosion sker op til en højde på skråningen svarende til ekstremvandspejlet plus en ekstrembølgehøjde. Dvs. at akuterøsionen typisk vil foregå op til kote ca. +5 m.

Det fremgår af figur 6-3 at boring 8 viser fint- og mellemsand fra kote +2,0 m til kote +5 m og moræneler fra kote +5 til kote +7 m. Boring 11 viser, at der er moræneler fra kote +4 til terræn og

boring 10 viser, at der er fint og mellemsang fra +5,5 m til +6,5 m. Boring 8 er således mest beskrivende ift. den kote, hvortil erosionen forekommer. Baseret herpå fremgår det, at der i profilet forekommer fint- og mellekornet sand, se figur 6-3.

Der forekommer kun få geotekniske borer langs kystlinjen og usikkerheden ift. fastlæggelse af materialet og egenskaberne er derfor forholdsvis høj. Dog er det konservativt at antage at sedimentet består af fint- til mellemkornet sand, da dette eroderer lettere end f.eks. moræneler.

Ved vurderingen antages kysten som bestående af fint- til mellemkornet sand idet der er store usikkerheder forbundet med fastlæggelse af type og karakteristika af det faktisk forekommende materiale.

Ud fra teoretiske kornkurver for fint- og mellemkornet sand forudsættes følgende sedimentkarakteristik [22]:

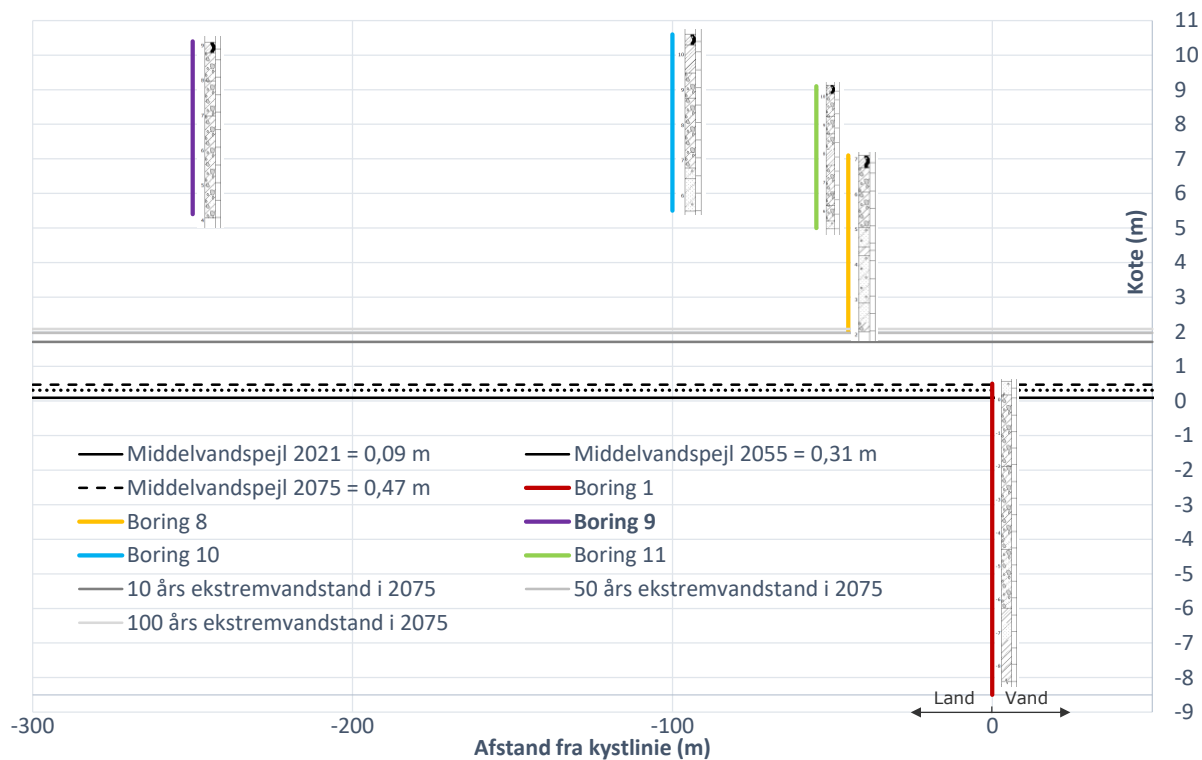
Find sand:	$d_{50} = 0,08 \text{ mm}$	$d_{90} = 0,2 \text{ mm}$
Mellekornet sand	$d_{50} = 0,4 \text{ mm}$	$d_{90} = 1,2 \text{ mm}$

For kystlinjen ved Nordals Ferieresort vurderes det, baseret på foreliggende grundlag, at der er tale om "fint-/mellemkornet sand" med kornstørrelser: $d_{50} = 0,19 \text{ mm}$, $d_{90} = 0,6 \text{ mm}$.

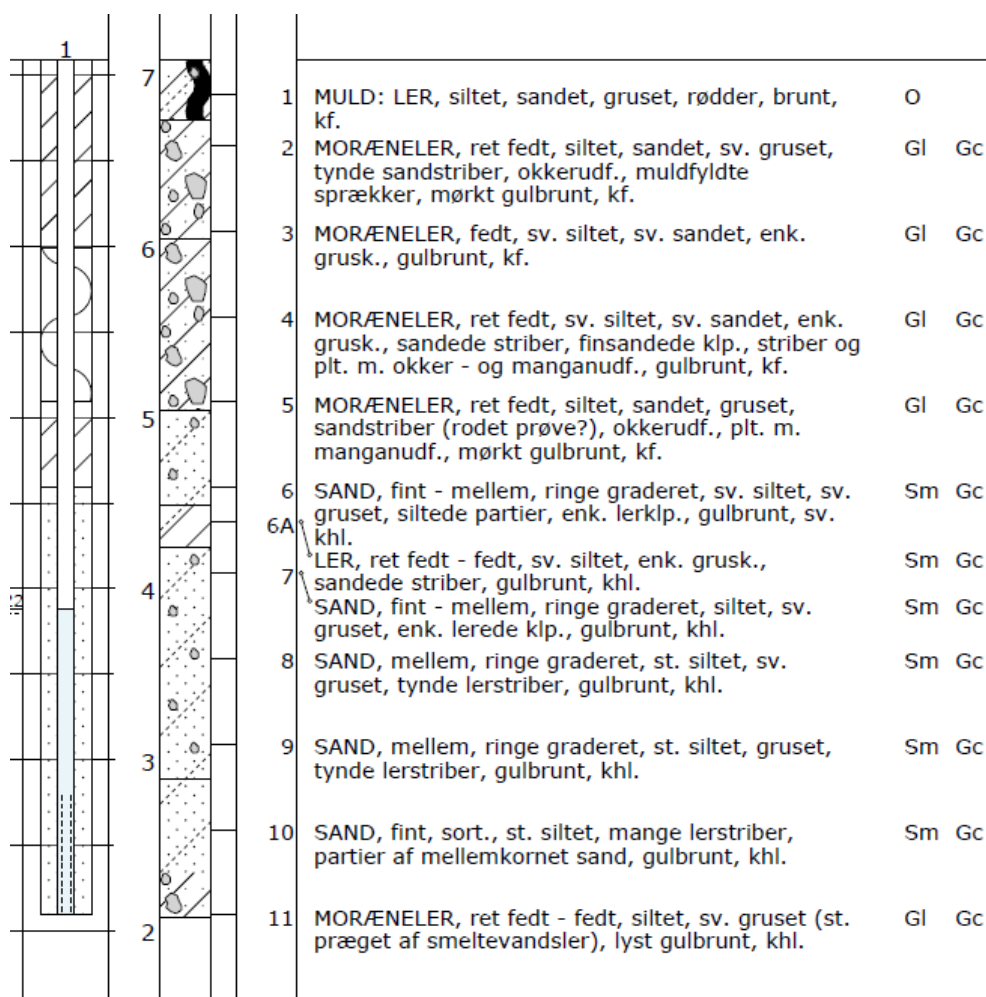


Figur 6-1 Geotekniske borer er indtegnet med rødt (masterplanen er her ikke opdateret). [21]

Boreprofiler



Figur 6-2 Boringernes relative placering i forhold til dybde, afstanden fra kysten samt middelvandspejl og ekstremvandspejl.



Figur 6-3 Geoteknisk profil for boring 8. [21]

6.2 Scenarier ifm. simulering af den fremtidige akut-erosion

Anvendte scenarier til XBeach-simuleringerne er opsummeret i tabel 6-1 - baseret på ekstremstatistik i [16] samt baseret på prognoser for ændringer i middelvandstandsstigningen, som følge af klimaændringer jf. afsnit 3.4.2.

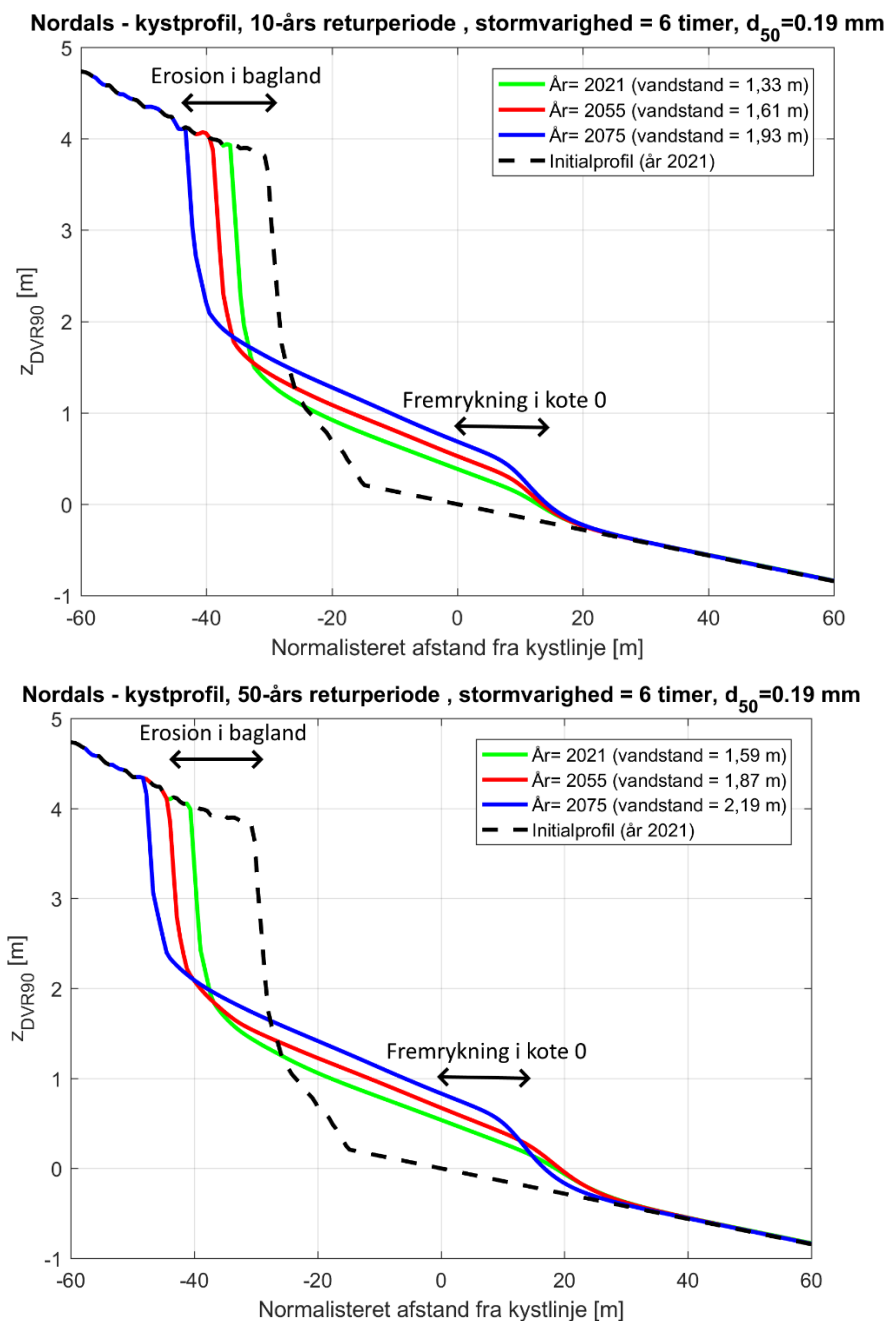
Parameter	Enhed	Returperiode år		
		10	50	100
Returperiode	År	10	50	100
Signifikant bølgehøjde	Hm0	1.65	2.06	2.24
Peak bølgeperiode	Tp	5.06	5.62	5.84
Højvandsstand sammenfaldende m. ekstrembølger	HWL	1.33	1.59	1.70
Højvandsstand sammenfaldende m. ekstrembølger i 2055 inkl havniveaustigning, middel	HWL	1.48	1.74	1.85
Højvandsstand sammenfaldende m. ekstrembølger i 2075 inkl havniveaustigning, middel	HWL	1.67	1.93	2.04
Højvandsstand sammenfaldende m. ekstrembølger i 2055 inkl havniveaustigning, øvre	HWL	1.61	1.87	1.98
Højvandsstand sammenfaldende m. ekstrembølger i 2075 inkl havniveaustigning, øvre	HWL	1.93	2.19	2.30

Tabel 6-1 Ekstremhændelser i år 2055 og 2075. [16]

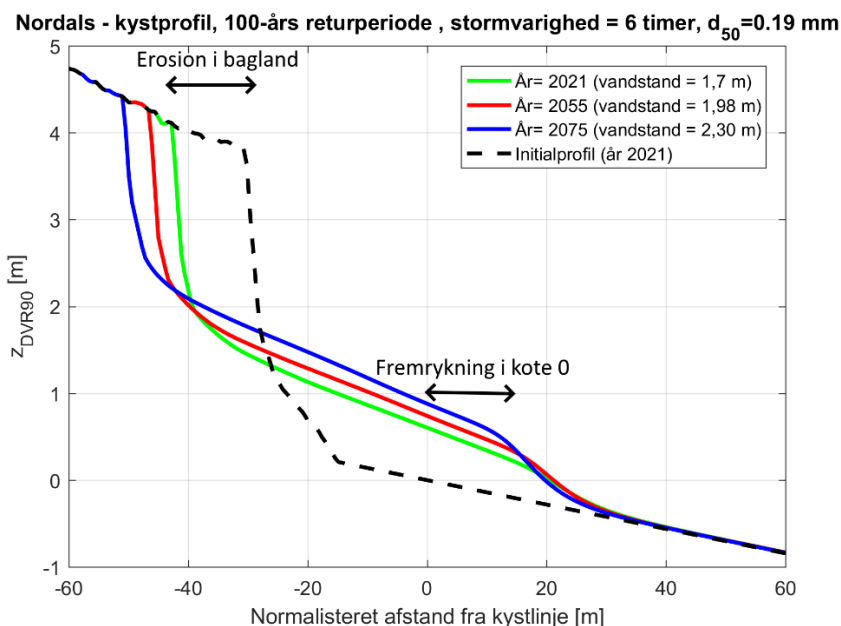
Modelberegningerne tager udgangspunkt i det kritiske kystprofil nr. 9, jf. afsnit 5.2.2.1, der således vurderes repræsentativ for hele strækningen ud for Nordals Ferieresort.

6.3 Estimeret kysttilbagerykning år 2055 og 2075 baseret på XBeach

Simulerede ændringer i kystprofilen under stormforhold med returperioder på hhv. 10, 50, og 100 år (jf. tabel 6-1) er vist i figur 6-4 samt figur 6-5. Figureerne indeholder simulerede profilændringer under nutidige forhold, samt under prognoser for klimænderinger i år 2055 samt år 2075 (øvre-estimat). Af figurene fremgår det generelt, at akut-erosionen medfører en tilbagetrækning af baglandet på ca. 12 m, 18 m samt 20 m (for 100-års returperiode) under hhv. nutidige forhold samt under fremtidige forhold i år 2055 og år 2075, hvorimod der opstår en fremrykning af profilet i kote 0.



Figur 6-4: Simuleret akuterrosion under storm svarende til en 10-års returperiode (øverst) samt en 50-års returperiode (nederst) for år 2021, 2055 og 2075 (baseret på et øvre-estimat mht. middelvandstand).



Figur 6-5: Simuleret akuterrosion under storm svarende til en 100-års returperiode baseret for år 2021, 2055 og 2075 (baseret på et øvre-estimat mht. middelvandstanden).

Jf. figur 6-4 og figur 6-5 vil klimaændringer generelt medføre en forøgelse af akuterrosionen i baglandet. Bl.a. øges akuterrosionen under en 100-års hændelse fra ca. 12 m under eksisterende forhold (hvilket er sammenligneligt med den vurderede akuterrosion baseret på historiske fotos) til ca. 21 m under fremtidige forhold i år 2075. Dvs. en forøgelse i akuterrosionen på ca. 8 m.

7 Samlet estimeret kysttilbagerykning på kyststrækningen ud for Nordals Ferieresort

Med en levetid på 30-50 år for Nordals Ferieresort skal planlægningen og design tage hensyn til en vis udvikling af kystlinjen idet der ikke ønskes etableret en decideret kystbeskyttelse. De estimerede kysttilbagerykningsrater er opsummeret i tabel 7-1. Tabellen indeholder delbidrag fra kroniske erosion (baseret på det historiske niveau), jf. afsnit 2, den estimerede fremtidige erosion som følge af middelhavniveaustigninger, jf. afsnit 5, samt den estimerede fremtidige akut-erosion baseret på en 100-års hændelse jf. afsnit 6. Idet estimerterne er baseret på relativt simple formler og forudsætningerne er præget af relativ stor usikkerhed (eksempelvis vandstands-niveaue i 2055 og 2075) er der inkluderet et tillæg på 50 % ift. den beregnede kysttilbagerykning, hvilket er yderligere begrundet i afsnit 7.1. De samlede estimerede tilbagerykningsrater er rundet op til nærmeste 5 m.

Tabel 7-1 Delbidrag til kysttilbagetrykning i år 2055 og 2075 samt samlet estimeret tilbagerykning for kysten ud for Nordals Ferieresort.

Bidrag	År 2055	År 2075
	(m)	(m)
Kronisk erosion, 7 cm/år (afsnit 2)	2,1 m	3,5 m
Erosion som følge af ændring i middel-havniveau (afsnit 5)	8 m	18 m
Akut erosion, 100-års hændelse (afsnit 6)	18 m	21 m
Tillæg grundet usikkerheder i forudsætninger mv. (+ 50 %)	14 m	21 m
Estimeret samlet kysttilbagerykning	42 m	64 m
Estimeret samlet kysttilbagerykning (afrundet)	45	65

De samlede estimerede kysttilbagerykningsrater bliver således 45 m for år 2055 og 65 m for år 2075 med reference i nuværende top af skrænten. Estimerterne er baseret på det kritiske profil og vurderes for repræsentativ for strækningen ud for Nordals Ferieresort og ikke lokalt ved Gildbæk, hvilket diskuteres yderligere i afsnit 8.

7.1 Begrundelse for tillæg til den estimerede kysttilbagerykning

De estimerede fremtidige bidrag til kysttilbagetrækningen jf. tabel 7-1 er behæftet med nogen usikkerhed, og der er således ifm. fastlæggelse af den samlede estimerede kysttilbagerykning inkluderet et tillæg på 50 %. Tillægget giver en vis robusthed ift. nedenstående opsummerede usikkerheder:

- 1) Havniveaustigninger, som følge af klimaændringerne, er generelt behæftet med en væsentlig usikkerhed både ift. omfang og tidsmæssig indtræden. Desuden er det ikke klart hvorvidt der udover middel-havniveaustigninger desuden kan forekomme forøgelse af hyppighed samt intensitet af storme.
- 2) Der er en vis usikkerhed forbundet med den anvendte sedimentkarakteristik samt geotekniske forhold ifm. estimering af den fremtidige kysttilbagetrækning. Desuden er anvendte metoder til estimering af kysttilbagetrækningen, Bruuns regel samt XBeach, behæftet med en vis usikkerhed.
- 3) Etableringen af en pier, som en del af de rekreative tiltag ved Nordals Ferieresort, er vurderet at kunne have en marginal påvirkning af kysten ved Nordals [12]. Dog er påvirkningen behæftet med nogen usikkerhed.
- 4) Der er kun inkluderet en hændelse af akut-erosion – dog svarende til en returperiode på 100 år.

8 Forudsætninger for vurdering af kystudviklingen ved kysten ud for Ærvej nær kysten

Prognoser for klimaændringer, præsenteret i afsnit 3, samt estimeret kystudvikling og oversvømmelsesrisiko præsenteret i afsnit 4, 5, 6, samt 7, er specifikt gældende for kyststrækningen ud for Nordals Ferieresort. I den sydøstlige del af området etableres en adgangsvej (nuværende Ærvej, der på dele af strækningen omlægges). Idet projektet forudsætter en alternativ vejadgang og parkeringsløsning, hvis kystudviklingen medfører, at Ærvej og det nærtliggende parkeringsområde kollapser, har det ikke været nødvendigt at gennemføre en vurdering af erosionsforholdene for kyststrækningen, hvor Ærvej er nærmest kysten. Såfremt der ønskes en lignende analyse/estimat af kystudviklingen for dette område opstilles her anbefalinger til hvilke forudsætninger det bør ligges til grund herfor. De opstillede anbefalinger til forudsætninger er baseret på det i skrivende stund tilgængelige materiale og anbefalinger.

Kyststrækningen, hvor Ærvej er beliggende tæt ved kysten er nærmere illustreret i figur 8-1.



Figur 8-1: Strækning syd for ferieresortet, hvor Ærvej er beliggende forholdsvis tæt ved kysten.

8.1 Forudsætninger for klimaændringer og robusthed for kyststrækning ud for Ærvej

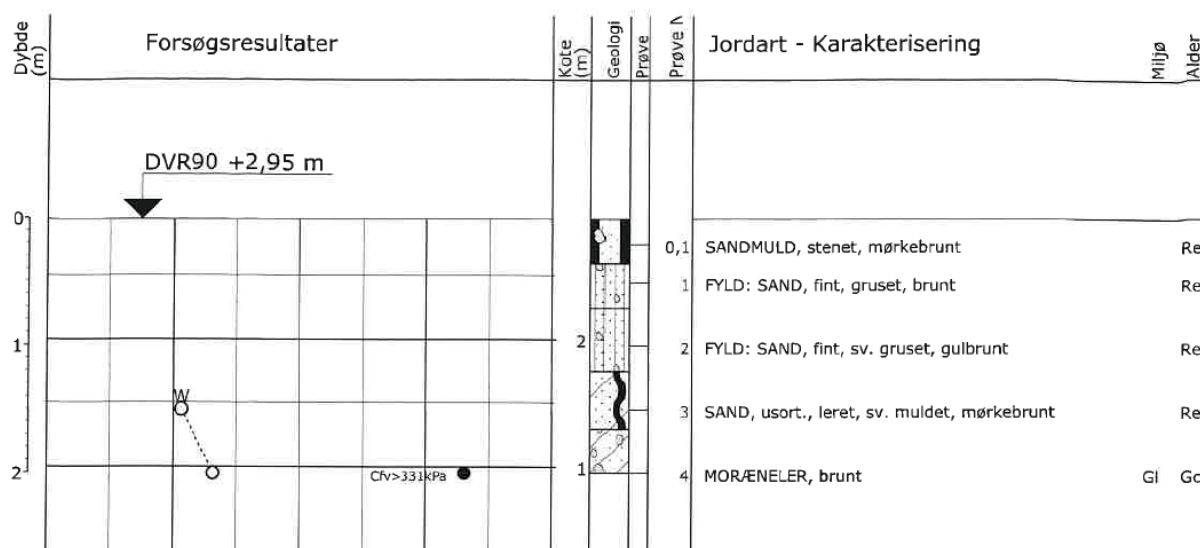
Ærvej som infrastrukturanlæg vurderes at have forholdsvis lav værdi og de økonomiske konsekvenser ved en potentiel periodisk beskadigelse af Ærvej er væsentlig lavere sammenlignet med ved resortet. Derfor kan der for kyststrækningen ved Ærvej argumenteres for, at krav til robusthed (konservatisme) reduceres.

Jf. figur 3-1 anbefaler DMI, at der ved lavere krav til robusthed tages udgangspunkt i klimascenarie RCP 4.5 ift. ændringer i middelvandstanden som følge af klimaændringer. Dette vil betyde, at bl.a. prognosen for forøget middelvandstand reduceres. Herudover vil det formentlig, som udgangspunkt, være tilstrækkeligt at tage udgangspunkt i middelestimer for vandstandsstigninger, og dermed ikke øvre-estimatet som anvendt ifm. kyststrækningen udfor ferieresortets bygninger. Den anvendte sikkerhedsfaktor ifm. resortet på 50% (jf. afsnit 7.1) kan ligeledes overvejes reduceret eller udgå.

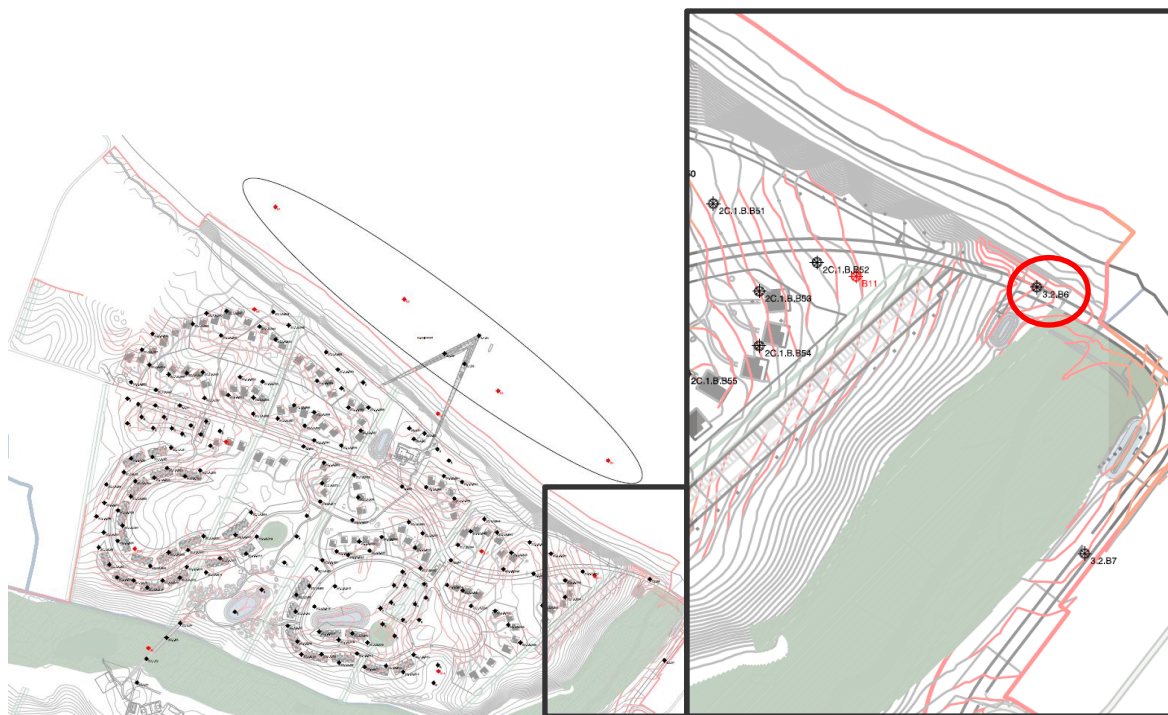
8.2 Baglandskote samt geotekniske forhold ved Ærvej sammenlignet med strækningen udfor resortet

Kyststrækningen ved Ærvej adskiller sig bl.a. fra kyststrækningen udfor Nordals Ferieresort ved at baglandet er lavere beliggende (se sammenligning i figur 5-5 af profil 14 ved Ærvej og profil 9 udfor resortet). Det lavere bagland vil, jf. Bruuns regel i afsnit 5.2.1, betyde, at kysterrosionen som følge af klimaændringer vil være større sammenlignet med ved strækningen udfor resortet. Det samme er gældende for akuterrosion, som pga. at det lavere beliggende bagland også vil forøges.

På samme vis som ved kyststrækningen udfor ferieresortet, er baglandet ved Ærvej bestående af sand, se figur 8-2, som viser boreprofil for 3.2 B6 (der er beliggende på den kystnære del af strækningen af Ærvej, se placering på udsnit af oversigt over geotekniske borer på Figur 8-3). Dette betyder, at det vurderes, at akuterrosion kan forekomme på strækningen.



Figur 8-2: Boreprofil 3.2 B6 - der er beliggende på den kystnære del af strækningen af Ærvej.



Figur 8-3: Oversigt over geotekniske boringer fra Hoffmann. Foreløbigt tryk dateret 14.06.2021.

8.3 Skråningsbeskyttelse ved Ærvej sammenlignet med strækningen udfor resortet

Udover lavere bagland adskiller strækningen udfor Ærvej sig ved at der på kysten forekommer en ældre skråningsbeskyttelse, se figur 8-4. Den aktuelle opbygning af skråningsbeskyttelsen (tværsnit), samt den aktuelle tilstand heraf, kendes ikke med sikkerhed, men beskyttelsen vil højst sandsynlig have en vis effekt ifm. både kronisk- samt akut erosion under nuværende forhold.



Figur 8-4: Foto taget på kysten udfor Ærvej, beliggende syd for resortet.

Ift. Kystplanlægger forudsætter Kystdirektoratet at eksisterende skråningsbeskyttelse højest sandsynligt er underdimensioneret ift. at kunne modstå fremtidige effekter fra klimaændringer. Derfor vil

beskyttelsen højest sandsynligt kollapse, således at kysttilbagerykningen som følge af både kronisk- samt akut erosion vil være den samme både med- og uden den ældre skråningsbeskyttelse.

9 Konklusion

Ønsket om den kystnære placering af Nordals Ferieresort, samt at der ikke etableres en egentlig kystbeskyttelse, medfører at planlægning og design skal tage hensyn til den fremtidige udvikling af kysten. I den forbindelse er det forudsat, at resortets levetid er 30 år (til 2055), evt. 50 år (til 2075).

Udviklingen af kysten er baseret på estimater, hvor der er taget udgangspunkt i de nationale udmeldinger og prognoserne for klimaændringer og disses påvirkning af middelvandstand, bølge- og vindforhold indenfor ferieresortets levetid samt lokale forudsætninger for kystprofiler, sedimentkarakteristik, vandstand og bølgeforhold. Det samlede estimat for kysttilbagetrækning på strækningen ud for Nordals Ferieresort er 45 m i år 2055 og 65 m i år 2075 og består af flere delbidrag, der er opsummeret herunder:

- Tilbagerykning som følge af ændringer i middelvandstanden grundet klimaændringer - estimeret ved anvendelse af Bruuns regel.
- Tilbagerykning som følge af akut erosion, der forekommer under storm og forhøjet vandstand – estimeret ved modelberegninger.
- Tilbagerykning som følge af kronisk erosion, der forekommer på kyststrækninger hvor kystorienteringen ikke er op mod den dominerende bølgeretning – baseret på historisk udvikling.
- Tillæg grundet usikkerheder i metoder og forudsætninger.

Den estimerede kysttilbagerykning er baseret på vurderinger af det kritiske profil og er antaget at være repræsentativ for kyststrækningen ud foran Nordals Ferieresort.

Det skal understreges, at dette notat alene ser på den estimerede kysterrosion indenfor ferieresortets levetid og således ikke definerer en respektafstand bygninger minimum bør placeres fra den nuværende skrænt, idet f.eks. følgende forhold ikke indgår i vurderingen:

- Stabilitet af skrænten ift. placering af bebyggelse (geoteknisk stabilitet).
- Stabilitet af skrænten ift. evt. udsivning af grundvand, ændring i beplantningsforhold mv.
- Stabilitet af skrænten som følge af variationer i sedimenternes karakteristika.
- Evt. andre forhold kan have betydning for skråningens stabilitet og dermed bygningernes placering.

En del af Nordals Ferieresorts rekreative anlæg (eksempelvis pieren, ramper hertil samt strandpromenaden) etableres kystnært. I takt med, at der sker en tilbagerykning af kysten forlænges ramperne til pieren, så anlægget bevares i Nordals Ferieresorts levetid. Promenaden langs kysten har en begrænset levetid, der bestemmes af kystens udvikling.

De estimerede kysttilbagerykninger er sammenlignet med prognoser fra www.kystplanlægger.dk, der på regionalt niveau estimerer kystudviklingen i år 2070 og 2120 til hhv. 55 m og 103 m, som følge af ændringer i middelvandstanden. Forskellen vurderes primært at være relateret til detaljegraden af input, hvor der i nærværende estimater anvendes lokale bølgeforhold samt lokale kystprofiler, mens www.kystplanlægger.dk tager udgangspunkt i mere regionale forhold.

De detaljerede vurderinger inkluderer bidrag fra stigningen i middelvandstand, akut erosion og kronisk erosion, mens www.kystplanlagger.dk alene indeholder et bidrag fra ændringen i middelvandstanden idet det er angivet at akut erosion ikke vil forekomme på strækningen.

Det anbefales, at der på årlig basis, samt efter ekstremhændelser (storme), foretages overvågning/monitorering af kysten, og at der handles baseret herpå, hvis kysttilbagetrækningen viser sig mere signifikant end estimeret, f.eks. fordi fremtidige prognoser for havvandstigningen kan ændre sig ift. de prognoser, der forligger i dag eller at den akutte erosion er mere signifikant/optræder hyppigere end forudsat.

Forudsætningen for nærværende estimater er de nuværende prognoser for indflydelser fra klimaændringer på vind- bølger og vandstandsforhold. Såfremt disse ændrer sig i fremtiden, kan også kysterrosionen ændre sig, og evt. vise sig at være blive større end estimeret i dette notat.

Baseret på højdemodeller samt højvandsstatistikker kombineret med ændringer i middelvandstanden bør der ved design og placering af bygninger og konstruktioner tages hensyn til, at lavningen ved udløbet fra Gildbæk samt et område umiddelbart nord for projektstrækningen (jf. afsnit 4) kan blive oversvømmet ved ekstreme vandstande på op til ca. 2,66 m.

Der er ikke gennemført en specifik vurdering af den fremtidige erosion på strækningen, hvor Ærvej mod sydøst ligger nær kysten, som anvendes til adgangsvej til de kystnære dele af ferieresortet. Det anbefales, at en sådan specifik vurdering baseres på følgende forudsætninger:

- 1) Klimascenarie 4.5, da kravet til robusthed kan reduceres (sammenlignet med kyststrækningen ud for resortet).
- 2) Evt. sikkerhedstillæg, da vejen ikke er eneste adgangsvej og findes alternative muligheder for at vejbetjene de kystnære dele af ferieresortet.
- 3) Kystprofilen er anderledes på denne strækning (lavere terræn end for de øvrige dele af ferieresortet)

Det skal dog nævnes, at de anbefalede ændrede forudsætninger på strækningen hvor Ærvej mod sydøst ligger nær kysten vil give et mindre robust estimat på erosionen på denne del af strækningen. Anbefalingerne er dog i tråd med de nationale anbefalinger for en strækning med sådanne økonomiske værdier.

10 Referencer

- [1] DMI, 2014: Fremtidige klimaforandringer Danmark. www.dmi.dk/klimaforandringer
Danmarks Klimacenter rapport nr. 6 2014. Klima-, Energi- og bygningsministeriet. ISBN: 978-87-7478-652-8.
- [2] DMI, 2015. Notat om havvandstand. Middelvandstand i Danmark. ISBN: 978-87-92124-05-0. Miljø- og Fødevareministeriet, Kystdirektoratet.
- [3] DMI, 2018: Vejledning i anvendelse af udledningsscenarioer Udarbejdet af DMI i samarbejde med MST. September 2018.
- [4] DMI, 2021. <https://www.dmi.dk/klima-atlas>
- [5] Kystdirektoratet. www.kystplanlagger.dk
- [6] Kystdirektoratet, Marts 2008. Klimaændringers effekt på kysten. John Jensen. Søren Bjerre Knudsen. Kystdirektoratet og Transportministeriet.
- [7] Kystdirektoratet. Kystatlas. <https://kyst.dk/kyster-og-klima/vaerktoejer/kystatlas/>.
- [8] IPCC, 2013: Technical Summary. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [9] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [10] IPCC, 2019: Technical Summary In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].
- [11] Kystdirektoratet, Højvandsstatistikker 2017, Bilag (opdateret 2019).
- [12] Rambøll, 2021: BAGGRUNDSNOTAT. Projekt navn: Nordals Ferieresort. Projektnr. 1100028211-001. Titel: Modellering af sedimenttransport, sedimentspredning samt vandkvalitet. Kunde Nordals Ferieresort. Udarbejdet af Theis Buys, Jørgen Quvang Harck Nørgaard og Jannie Elkær Bisgaard. Dato 22-02-2021.
- [13] Kystdirektoratet, 2020. Rapport for strategistrækning J7.08.01. <https://xn--kystplanlagger-cgb.dk/media/94219/rapport-for-strategistrækning-j70801.pdf>.
- [14] Klimaændringer og Kystprocesser af Troels Aagaard, lektor, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning.
- [15] Opmålinger af Sloth Møller januar 2016.
- [16] DHI, 2016. Nordals Ferieresort. Bølge- og vandstandsforhold. Sloth Møller Rådgivende Ingeniører A/S og DHI. Rapport. Februar 2016.
- [17] Kystdirektoratet, 2008. Klimaændringers effekt på kysten. John Jensen og Søren Bjerre Knudsen. Transportministeriet og Kystdirektoratet.
- [18] DMI, 2020. Klima atlas. <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas/>
- [19] Scalgo. www.scalgo.com
- [20] Karsten Mangor, 2004: Shoreline Management Guidelines. DHI.
- [21] Rambøll, 2019: Geoteknisk rapport nr. 1, Geoteknisk undersøgelse, Nordals Ferieresort, Projektnr. 1100028211. Dato 04-11-2019.
- [22] Niels Krebs Ovesen, Leif Fuglsang og Gunnar Bagge, 2007: Lærebog i Geoteknik. Polyteknisk forlag.
- [23] Rambøll. Billeder taget af Rambøll i forbindelse med besøg på lokaliteten i 2019 og 2021.
- [24] DMI, 2018. Vejledning i anvendelse af udledningsscenarioer.
- [25] Kystdirektoratet, 2021. Metoderapport for Kystplanlagger.
- [26] Google Earth, 2021. GeoBasis-DE/BKG.