



Faxe Ladeplads Øst, kystbeskyttelse

Skitseprojekt

Faxe Kommune

Dato: 08. januar 2025

Forside: Dronefoto efter storm d. 22. oktober 2023 (Foto: Jesper Kramer).

Indhold

1.	Indledning	4
2.	Projektområde	4
3.	Forundersøgelser	5
3.1.	<i>Besigtigelse</i>	5
3.2.	<i>Lokale kystformende faktorer</i>	8
3.3.	<i>Miljøscreening</i>	10
3.4.	<i>Geologisk screening</i>	10
4.	Historisk kystlinjeudvikling	11
4.1.	<i>Kronisk erosion</i>	11
4.2.	<i>Akut erosion</i>	11
5.	Kystbeskyttelsesbehov	14
5.1.	<i>Højvandsbeskyttelse</i>	14
5.2.	<i>Erosionsbeskyttelse</i>	15
5.3.	<i>Fare og risiko</i>	16
6.	Metoder til kystbeskyttelse	17
6.1.	<i>Klitdige</i>	17
6.2.	<i>Tilbagetrukket dige</i>	18
6.3.	<i>Højvandsmur</i>	18
6.4.	<i>Tildækket højvandsmur</i>	19
6.5.	<i>Diger langs vandløb</i>	20
6.6.	<i>Mobil kystsikring</i>	20
6.7.	<i>Skråningsbeskyttelse inkl. kompenserende sandfodring</i>	20
7.	Løsningsforslag	21
7.1.	<i>Linjeføring</i>	21
7.2.	<i>Dimensionering</i>	28
7.3.	<i>Miljøscreening</i>	31
7.4.	<i>Prisoverslag</i>	32
	Litteraturliste	34
	Bilag	35
	<i>Bilag 1: Højvandsstatistik, Rødvig Havn</i>	36
	<i>Bilag 2: Resultater fra sigteanalyse</i>	37
	<i>Bilag 3: Natur og miljøforhold</i>	40
	<i>Bilag 4: Geologisk screening</i>	45
	<i>Bilag 5: Miljøscreening af løsningsforslag</i>	49

1. Indledning

Faxe Kommune har bedt NIRAS om at undersøge muligheden for at kystsikre ejendomme i Faxe Ladeplads Øst.

Flere ejendomme i Faxe Ladeplads fik voldsomme skader under stormen d. 20.-21. oktober 2023. Stormen var forårsaget af kraftig vind fra øst, der medførte forhøjet vandstand og høje bølger i det sydøstlige Danmark. Kombinationen af høj vandstand og høje bølger betød, at kysten ved Faxe Ladeplads var udsat for både erosion og oversvømmelse flere steder.

Nærværende rapport har til hensigt at danne grundlag for et kommunalt fællesprojekt om kystsikring af Faxe Ladeplads Øst. Rapporten omfatter en konceptuel forståelse af kystens dynamikker og udvikling over tid, samt beregninger af bølger, vandstande og erosion, som kan danne grundlag for den endelige beslutning om højvands- og erosionsbeskyttelse af kyststrækningen.

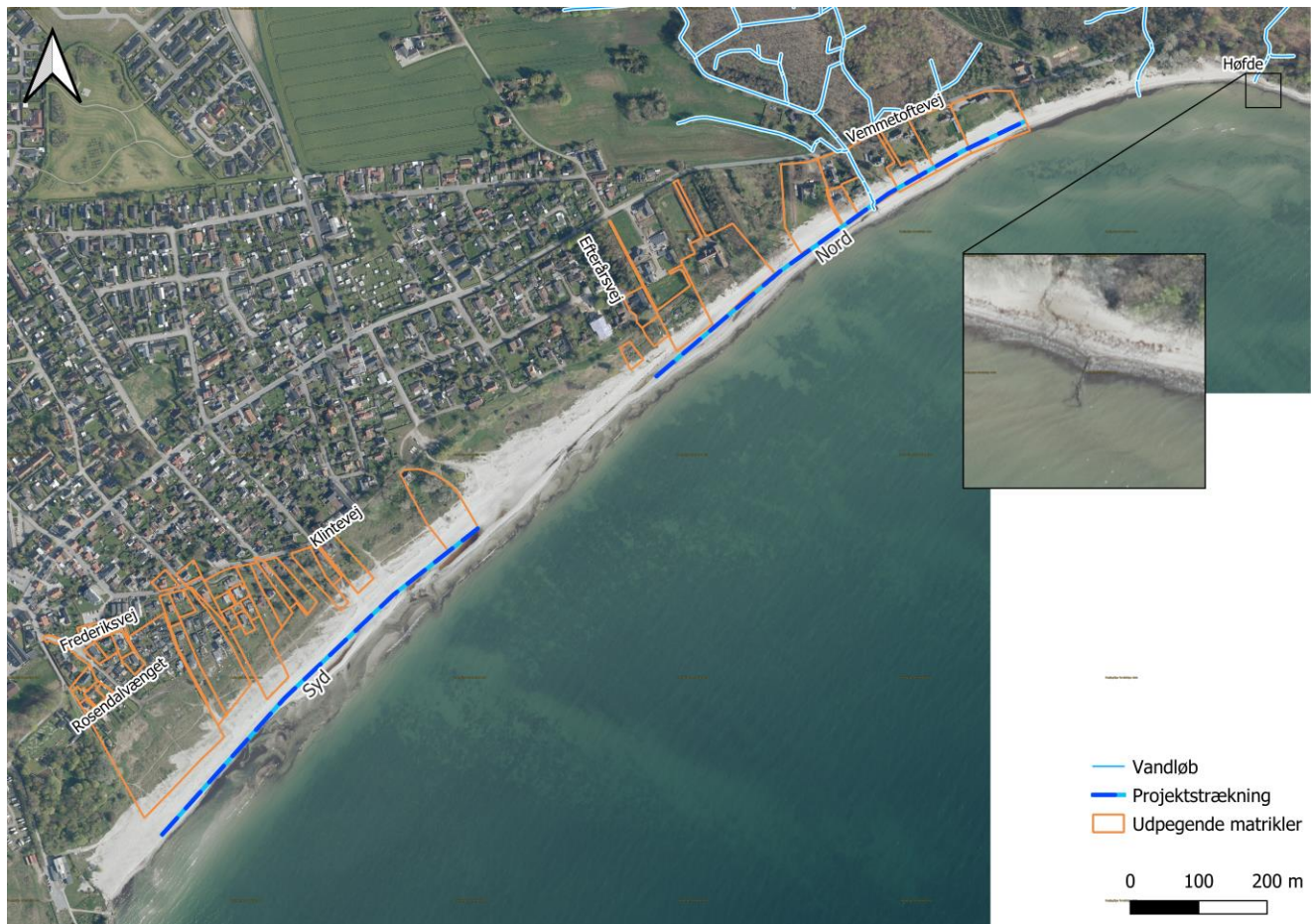
2. Projektområde

Faxe Kommune har fra en arbejdsgruppe bestående af fire grundejere fået anmodning om at indlede undersøgelser af muligheden for kystsikring af ejendomme i Faxe Ladeplads Øst. I anmodningen er anført en oversigt over ejendomme, der efter arbejdsgruppens opfattelse vurderes at have gavn af kystsikring. Ejendommene strækker sig fra Frederiksvej og Rosendalvænget i syd til Vemmetoftevej 17 i nord. De anførte ejendomme definerer afgrænsningen af projektområdet (Figur 2.1).

Imellem ejendommene er der en kort strækning, hvor oversvømmelses- og erosionsrisikoen er minimal. Projektområdet er derfor opdelt i en sydlig og nordlig strækning. Projektstrækningerne er ca. 650 m hver, jf. Figur 2.1. Den sydlige projektstrækning strækker sig fra Frederiksvej og Rosendalvænget til Klintevej, mens den nordlige projektstrækning strækker sig fra Efterårsvej til Vemmetoftevej 17.

Stranden langs den sydlige strækning er bredere end langs den nordlige strækning. Begge områder er præget af klitlandskab. Den nordlige strækning gennemskæres af vandløb.

Der er ikke etableret kystbeskyttelse i projektområdet. Syd for projektområdet findes en mole med skråningsbeskyttelse og en enkelt høfde ud fra molen samt et dige. Nord for projektområdet findes en mindre høfde, som NIRAS vurderer umiddelbart ikke er funktionsdygtig.



Figur 2.1: Oversigt over projektstrækning ved Faxe Ladeplads Øst. Baggrund: Ortofoto 2024 (Dataforsyningen, 2024).

3. Forundersøgelser

3.1. Besigtigelse

NIRAS har besigtiget projektområdet d. 25. september 2024 fra kl. 15 til kl. 18. Besigtigelsen blev foretaget gående fra syd mod nord langs hele projektstrækningen. Der blev indsamlet fire sedimentprøver til kornstørrelsesanalyse. Detaljer fra sigteanalysen inkl. kortlægning er inkluderet i Bilag 2: Resultater fra sigteanalyse.

Kornstørrelsesanalysen viser, at der er sand i alle prøver, men at der er en variation i kornstørrelserne langs projektstrækningen. I den sydlige del af projektområdet observeres grovere sand end i den nordlige del af projektområdet. Samtlige prøver har et relativt lavt uensformighedstal, dvs. prøverne er velsorterede (Tabel 3.1). Uensformighedstallet bestemmes som forholdet mellem korndiameteren for 60%- og 10%-fraktilen på kornkurven. Et materiale kaldes velsorteret, hvis uensformighedstallet er under 2,5.

Tabel 3.1: Resultater af sigteanalyse.

	Beliggenhed	Geologisk betegnelse	Middelkornstørrelse	Uensformighedstal
Prøve 1	Syd	Sand, mellem	0,35 mm	1,5
Prøve 2	Syd	Sand, mellem-groft	0,43 mm	1,8
Prøve 3	Syd	Sand, mellem	0,36 mm	1,5
Prøve 4	Nord	Sand, fint-mellem	0,30 mm	2,2

3.1.1. Projektstrækning Syd

Projektområdet mod syd består af en bred sandstrand med klitter (Figur 3.1). Terrænet vurderes højest i midten af projektstrækningen, jf. Figur 2.1.



Figur 3.1: Stranden langs den sydlige projektstrækning (foto taget fra nord set mod syd).

3.1.1.1. Observationer efter oktober-stormen i 2023

Ifølge grundejerne trængte havvand ind langs siderne af klitrækken. Vandet stod højt bag klitterne og baglandet blev fyldt op som et badekar (Figur 3.2). Ved de lidt højere klitter midt for på den sydlige projektstrækning var der ikke direkte vandgennemtrængning, men der forekom bølgeoverskyl.

Grundejerne beskriver, at stranden er blevet op til fire gange bredere efter stormen. NIRAS vurderer, at stormen har forårsaget erosion af klitterne og at sediment er blevet mobiliseret og aflejret på strandbredden i forbindelse med havets tilbagestrækning.



Figur 3.2: Dronefoto efter storm d. 22. oktober 2023 (Foto: Jesper Kramer).

3.1.2. Projektstrækning Nord

Projektområdet mod nord består af en svagt hældende sandstrand med mindre klitter (Figur 3.3). Stranden er smallere end langs den sydlige strækning, og terrænet for stranden og baglandet forekommer lavere.



Figur 3.3: Stranden langs den nordlige projektstrækning (foto taget mod nord).

3.1.2.1. Observationer efter oktober-stormen i 2023

Ifølge grundejerne trængte havvand ind over klitrækken. Vandet stod højt bag klitterne og der var oversvømmelse helt ud til vejen bag husene. Ved husene, der ligger på højt terræn, forekom der bølgeoverskyl. Der blev også observeret oversvømmelse fra vandløbet.

Grundejerne beskriver, at stranden er blevet bredere efter stormen ligesom for den sydlige strækning.

3.2. Lokale kystformende faktorer

3.2.1. Vandstand

Vandstandsinformation er tilgængelig fra Rødvig Havn, der er beliggende 15 km nordøst for projektområdet. Da projektstrækningerne ligger længere inde i Faxe Bugt i forhold til Rødvig Havn, kan der ved projektområdet være en større vindstuvning og derfor lidt større vandstand. Dette bør undersøges nærmere i næste fase.

3.2.1.1. Tidevand

Tidevandsforskellen i projektområdet er ca. 6 cm baseret på data fra Rødvig Havn¹. Tidevandsforskellen er inkluderet i højvandsstatistikken.

3.2.1.2. Højvandsstatistik

Middelvandstanden i DVR90 ved Rødvig Havn er statistisk +147 cm DVR90 ved en 20-års hændelse, +157 cm ved en 50-års hændelse, og +164 cm ved en 100-års hændelse (Bilag 1: Højvandsstatistik, Rødvig Havn). Højvandsstatistikken for Rødvig Havn baserer sig på en måleperiode fra 1991 til 2024.

Den historisk højeste registrerede vandstand i Rødvig Havn er +162 cm DVR90. Vandstanden blev målt d. 20. oktober 2023 (Kystdirektoratet, 2024). Hændelsen svarer til en 100 års hændelse, dvs. en hændelse, der rent statistisk kun sker én gang hvert hundrede år.

3.2.1.3. Havniveaustigning

Vandstanden i verdenshavene forventes at stige i fremtiden som følge af global opvarmning. DMI og Miljøministeriet anbefaler, at estimeringen af den forventede vandstandsstigning tager udgangspunkt i IPCC's klimascenarie SSP5-8.5.

Under klimascenariet SSP5-8.5 er den forventede havspejlsstigning i Danmark (IPCC, 2021):

- 0,40 m fra 2024 til 2075
- 0,72 m fra 2024 til 2100

3.2.1.4. Landhævning

Landhævningen ved projektområdet er meget lille (1,3 mm/år). Vandstanden er ud fra et forsigtighedsprincip ikke korrigeret for landhævning.

3.2.1.5. Forventet ekstremvandstand i år 2075

Højvandsbeskyttelse ved projektområdet dimensioneres efter en 100-års stormhændelse med en levetid på 50 år (frem til år 2075). For yderligere beskrivelse henvises til NIRAS' notat om vurdering af sikkerhedsniveau (NIRAS, 2024).

Ved at lægge havspejlstigningen til koten af 50 års højvandshændelsen opnås en forventet ekstremvandstand på +2,04 m DVR90 i år 2075. Værdien oprundes i rapporten til 2,10 m DVR90 (Tabel 3.2).

¹ Tidevandstabel fra Rødvig Havn: https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Bruger_upload/Tidevand/2024/Rodvig.pdf

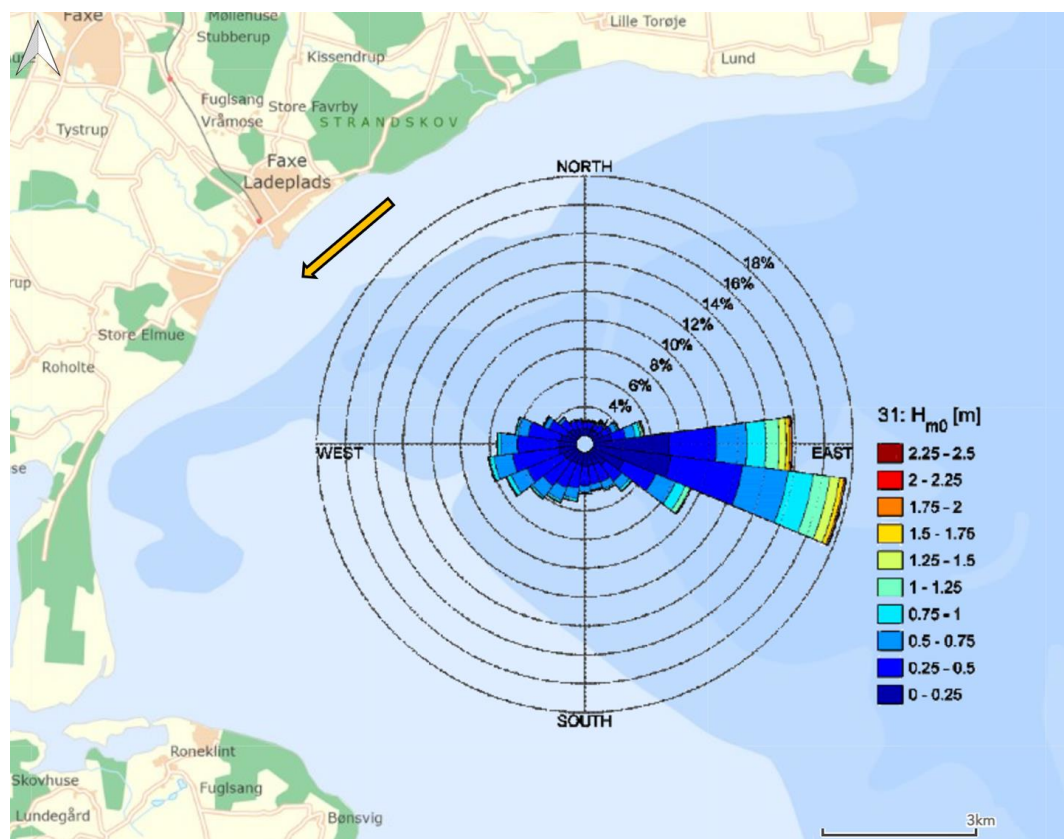
Tabel 3.2: Dimensionsgivende parametre og vandstand ved en levetid på 50 år.

	2075 (50 års levetid)
100-års middeltidshændelse i år 2024	+1,64 m DVR90
Havspejlsstigning fra år 2024 til 2075	0,40 m
Ekstremvandstand, 100 års hændelse	+2,04 m DVR90
Ekstremvandstand, 100 års hændelse, oprundet	+2,10 m DVR90

3.2.2. Bølger

Under storm kan bølger bidrage til at øge den lokale vandstand og forårsage overskyl. Derfor skal topkoten af kystnære konstruktioner, hvor bølger forventes at have en påvirkning, være højere end den forventede ekstremvandstand. Det lokale bølgetillæg beregnes pba. den forventede bølgehøjde foran konstruktionens fod og en vurdering af tilladeligt bølgeoverskyl i enheden liter pr. sekund pr. m (l/s/m).

Bølgeklimaet i projektområdet er domineret af bølger fra øst og den dominerende sedimenttransportretning er fra nordøst mod sydvest (Figur 3.4). Kystlinjen i projektområdet er orienteret i en sydøstlig retning mod Østersøen, hvor der er risiko for generering af store bølger, da der er et relativt langt frit stræk (op til 300 km).



Figur 3.4: Bølgerose ud for projektstrækningen ved Faxe Ladeplads. Den orange pil indikerer den dominerende retning af den langsgående kystnære sedimenttransport. Kilde: <https://kyst.dk/klimatilpasning/vaerktoejer/kystatlas>.

NIRAS har udviklet en model over hydrodynamikken i farvandet i den østlige del af Danmark. Et punkt 4,3 km fra kysten i 10 m dybde er udvalgt til at udtrække bølgeinformation under oktober-stormen 2023. Bølgeinformation på dybt vand skal transformeres ind på lavt vand for at finde ud af, hvor stort et bølgetillæg der skal inkluderes i beregningen af højvandssikringen.

Bølgerne under oktober-stormen benyttes, da denne hændelse anses for at være "worst-case", og er derfor en konservativ antagelse. Under oktober-stormen var den signifikante bølgehøjde på dybt vand 2,3 m med en bølgeperiode på 8,5 s. Transformationen af bølger fra dybt til lavt vand kan ikke beskrives med simpel matematik, da bølgeprocesserne er komplicerede, særligt når vanddybden bliver lav nok til, at bølgerne bliver påvirket af havbunden.

For at estimere den signifikante bølgehøjde og bølgeperiode på lavt vand benyttes information fra "The Rock Manual", som er et sammendrag af god praksis for anlægsarbejde ved floder, kyster og have (CIRIA, 2007). I denne publikation er der igennem numerisk modellering fundet frem til sammenhænge mellem bølgeinformation på dybt vand og hældningen af forstranden. Igennem disse sammenhænge er det for nærværende projekt estimeret, at kombinationen af bølgeinformationen på dybt vand og en hældning på forstranden på 1:200 (baseret på Danmarks dybdemodell), giver en signifikant bølgehøjde på lavt vand på 0,5 m. Værdien bør præciseres yderligere i næste fase af projektet.

For at estimere bølgeperioden på lavt vand benyttes formler fra "Shore Protection Manual", som er en manual der beskriver teorien bag grundlæggende kystprocesser (CERC, 1984). Ud fra kendskabet til bølgehøjde på lavt vand, beregnes bølgeperioden til at være 3,6 s.

3.3. Miljøscreening

Der er foretaget en miljøscreening af projektområdet. Screeningen er foretaget som en gennemgang af tilgængelige naturdatabaser og rapporter.

I projektområdet er der tre typer af § 3-beskyttet natur (eng, overdrev og sø) og et beskyttet vandløb. Derudover er der fundet en række beskyttede flora og faunatyper. Den nordlige del af projektområdet grænser op til Natura 2000-område nr. 167, der primært består af skov. I projektområdet er to arealfredninger (kirke- og strandfredning). Der er risiko for jordforurening omkring havnen.

For yderligere beskrivelse henvises til Bilag 3: Natur og miljøforhold.

3.4. Geologisk screening

Der er foretaget en geologisk screening af projektområdet. Screeningen er foretaget som en gennemgang af de geologiske forhold gennem bl.a. jordartskort, topografiske kort og boringsdatabaser.

Der er fundet tre borer i projektområdet. Borerne er beliggende i den nordlige del af projektområdet. Der er ikke fundet borer i den sydlige del af projektområdet. De terrænnære jordlag i projektområdet er præget af saltvandssand underlejret af moræneler, stedvist med mindre indslag af smeltevandssand. I området omkring vandløbet mod nord kan der desuden forventes blødbund i form af ferskvandsgytje og/eller -tørv.

For korrekt geoteknisk fundering af kystsikring i projektområdet, er følgende parametre af betydning:

- Styrken af jorden under anlæggene;
- Deformationsegenskaberne af jorden, der efterlades under anlæggene, herunder risiko for sætninger af organiskholdige aflejringer;
- Vandspejls- og strømningsforhold.

For projektering af kystsikring, anbefales det at udføre en geoteknisk undersøgelse, hvor ovenstående forhold belyses nærmere. De undersøgte borer kan ikke udgøre et tilstrækkeligt grundlag for geoteknisk projektering af kystsikringsanlæg i projektområdet.

For yderligere beskrivelse henvises til Bilag 4: Geologisk screening.

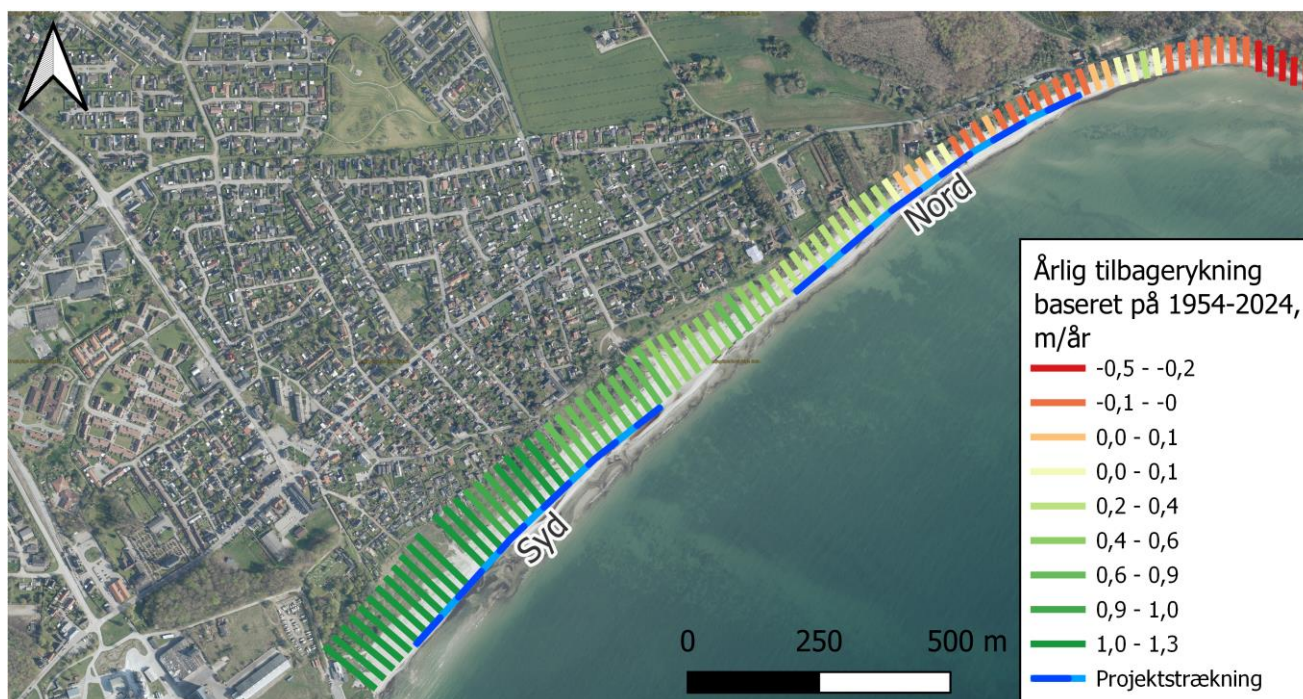
4. Historisk kystlinjeudvikling

For at forstå kystlinjens dynamik, er den historiske udvikling af kyststrækningen analyseret på baggrund af flybilleder (Dataforsyningen, 2024) og værktøjet DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Ved at forstå kystens historik, kan vi bedre forstå, hvordan den forventes at udvikle sig i fremtiden.

4.1. Kronisk erosion

Vegetationslinjens udvikling fra 1954 til 2024 er analyseret for projektområdet. Vegetationslinjen fungerer ofte som en god indikator for kystlinjens udvikling og bevægelse over tid, da vegetationslinjen ikke er præget af sæsonvariationer over året, som vandkantslinjen kan være. Vandkantslinjen migrerer højere op i profilet om vinteren end om sommeren.

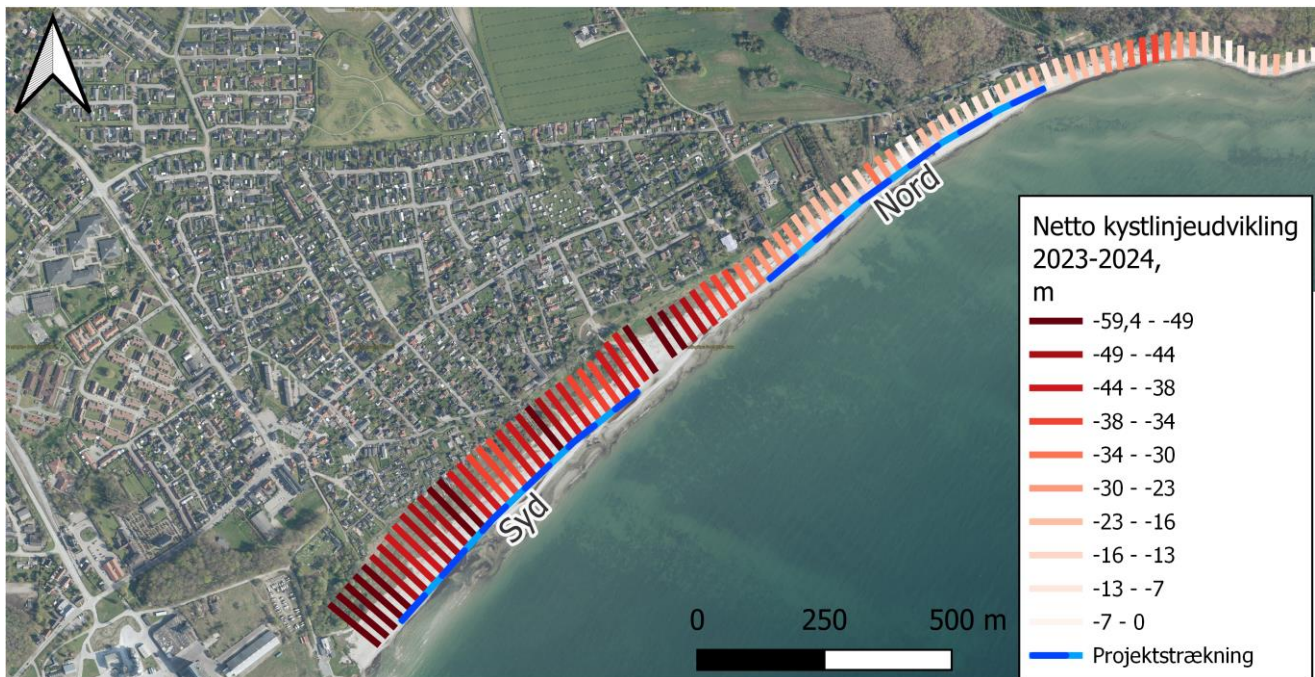
I den undersøgte periode på 70 år er der generelt foregået aflejring langs den sydlige projektstrækning og erosion langs den nordlige projektstrækning. Den årlige kystudvikling har varieret imellem -0,5 og +1,3 m (Figur 4.1). Den årlige kystlinjeudvikling kan benyttes som et udtryk for den kroniske erosion.



Figur 4.1: Historisk udvikling af kystlinjen. Negative værdier angiver tilbagerykning. Positive værdier angiver fremrykning.

4.2. Akut erosion

Vegetationslinjens udvikling fra 2023 til 2024 er analyseret for projektområdet for at undersøge erosionen under stormen i oktober 2023. I den undersøgte periode er der foregået erosion af vegetationslinjen langs hele projektstrækningen (Figur 4.2). Kystudviklingen kan benyttes som et udtryk for den akutte erosion.



Figur 4.2: Tilbagerykning af vegetationslinjen fra 2023 til 2024 (akut erosion).

Som et eksempel kan man ved Vemmetoftevej 29, 31 og 33 tydeligt se, hvordan erosionen har skabt en tilbagerykning af vegetationslinjen meget tæt på husene, når Ortofoto fra foråret 2023 og 2024 sammenlignes (Figur 4.3). Der er overvejende sandsynlighed for, at erosionen er sket under stormen i oktober 2023.



Figur 4.3: Tilbagerykning af vegetationslinjen fra 2023 til 2024 ved særligt erosionstruet område langs den nordlige strækning. Baggrund: Ortofoto 2024.

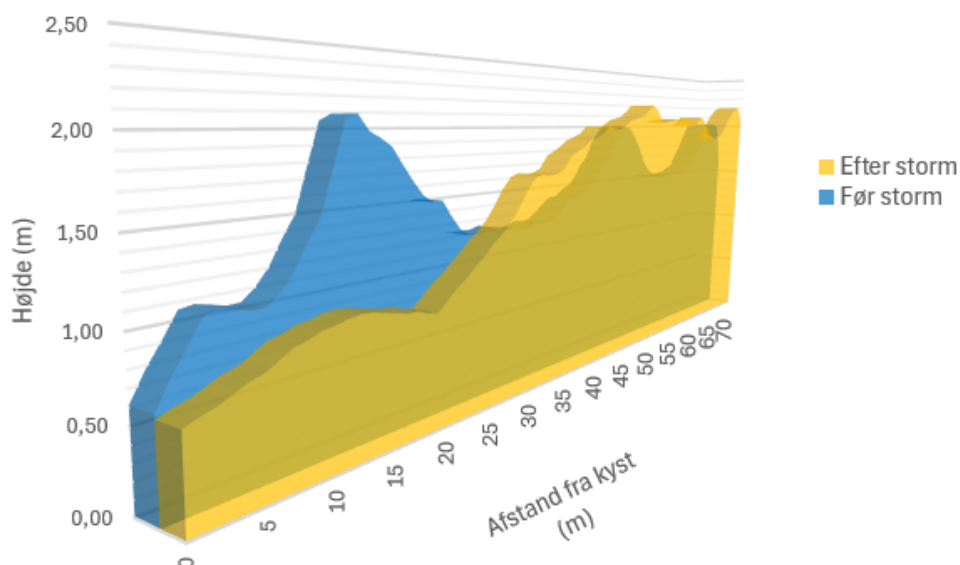
Ved at sammenligne et højdekort fra perioden 2023 (sammensat af data fra 2018-2023) og 2024 bemærkes det, at den yderste klitrække er forsvundet (Figur 4.4). NIRAS vurderer, at sandet i den yderste klitrække er blevet trukket ud på strandprofilen foran den forhenværende klit af bølgerne under stormen i oktober 2023 (Figur 4.5). Dette er i overensstemmelse med observationerne efter stormen i 2023 jf. afsnit 3.1.1.1 og 3.1.2.1, hvor grund-ejerne beskriver, at stranden er blevet bredere efter stormen.

Bemærk, analysen er baseret på midlertidig terræninformation fra Danmarks Højdemodel fra 2024 (Quick DHM). Quick DHM er alene tænkt som en midlertidig adgang til de data, der løbende indsamles i forbindelse med produktionen af Danmarks Højdemodel, men er en mulighed for tidlig adgang til højdedata for brugerne². Kortlægningen kan derfor indeholde fejl og mangler.



Figur 4.4: Højdeforskel mellem terræn fra 2023 og 2024. Positive værdier (rød/orange) viser, hvor terrænet er sænket fra 2023 til 2024. Negative værdier (mørkegrøn) viser, hvor terrænet er hævet fra 2023 til 2024. Et udtræk af terrænet på tværs af kysten (rød linje) er markeret og resultatet vist på Figur 4.5.

² Information om Quick DHM: <https://dataforsyningen.dk/data/4849>



Figur 4.5: Terrænforskel fra 2023 og 2024 i et udtræk på tværs af kysten mellem projektområde syd og nord, jf. Figur 4.4.

5. Kystbeskyttelsesbehov

5.1. Højvandsbeskyttelse

En forventet ekstremvandstand i år 2075 på +2,1 m DVR90, jf. Tabel 3.2, vil skabe oversvømmelse i hele projektområdet (Figur 5.1). Langs den sydlige projektstrækning forventes 82 individuelle boliger (og 57 supplerende bygninger) at blive påvirket af oversvømmelsen. Langs den nordlige projektstrækning forventes fem individuelle boliger (og syv supplerende bygninger) at blive påvirket af oversvømmelsen. Bemærk, bølgeoverskyl ifm. stormhændelser kan forværre oversvømmelsen og der kan således være flere boliger, der bliver påvirket. Langs den nordlige projektstrækning er der, udover oversvømmelse fra havet, også oversvømmelse fra det lokale vandløb.

En oversigt over, hvilke adresser (baseret på matrikler) der forventes at blive påvirket af en oversvømmelse fra havet på 2,1 m er inkluderet som særskilt bilag i Excel-format. Bemærk, at opgørelserne ikke er helt præcise.

Samtlige adresser, der er udpeget af NIRAS, vil drage nytte af oversvømmelsessikringen, da der observeres vand på både grund og langs hele eller dele af bygningerne på grunden. Dog er det de bygninger, der er placeret tættest på kystlinjen og de bygninger, der ligger lavest i terrænet, der får den største nyttiggørelse af etableringen af oversvømmelsessikring.

Udover bygninger kan der også være ledningsejere, der drager nytte af kystbeskyttelsen. Dette kan undersøges nærmere i næste fase af projektet.



Figur 5.1: Oversvømmelse i projektområdet ved en forventet ekstremvandstand i år 2075 på 2,1 m. Baggrund: Ortofoto 2023.

5.2. Erosionsbeskyttelse

Analysen af den historiske kystudvikling viser, at der forekommer kronisk erosion langs den nordlige projektstrækning. Da der derudover er huse med eksponeret placering, der kan være udsatte ved akut erosion, jf. Kapitel 4, er det NIRAS opfattelse, at der er behov for kystbeskyttelse.

NIRAS har udpeget syv matrikler langs den nordlige strækning, der vurderes udsat ift. erosion. Udpegelsen er foretaget pba. analysen af tilbagerykning af vegetationslinjen fra 2023 til 2024 jf. Figur 4.3. Matriklerne er beliggende i første række ud til vandet og inkluderer ni individuelle boliger (samt 14 supplerende bygninger) (Figur 5.2).

En oversigt over, hvilke adresser der forventes at blive påvirket af erosion er inkluderet som særskilt bilag i Excel-format. Bemærk, at opgørelserne ikke er helt præcise.

Samtlige adresser, der er udpeget af NIRAS, vil få nytte af erosionssikringen, da der er observeret tydelig kysttilbagetrækning og tab af grund. Erosionssikringen vil kunne forlænges mod nord for at øge sikringsniveauet, hvis ønsket. Der er ikke behov for at forlænge erosionssikringen mod syd (i det nordlige område), da der i dette område ikke forventes kronisk erosion, og da der er længere afstand mellem bygningerne og kystlinjen end mod nord (i det nordlige område).



Figur 5.2: Oversigt over boliger og bygninger langs den nordlige projektstrækning (stiplet linje), som NIRAS vurderer udsat ift. erosion. Matriklerne der er upeget i nærværende analyse er markeret med gule prikker, men matriklerne der ikke er udpeget er markeret med røde prikker. Bygningsinformation indhentet fra BBR d. 16-12-2024.

5.3. Fare og risiko

Vurdering af fare og risiko (især risiko) bør benyttes ifm. beslutningsprocessen omkring hvilke områder, der skal beskyttes. Begreberne 'fare' og 'risiko' skal forstås således (Kystdirektoratet, 2021):

- Fare: Sandsynligheden for en bestemt hændelse og omfanget af oversvømmelse og/eller erosion.
- Risiko: Summen af faren for oversvømmelse og/eller erosion og sårbarhederne, der er forbundet ved en hændelse. Sårbarheden omfatter de værdier, der kan blive beskadiget eller gå tabt, hvis et område rammes af erosion eller oversvømmelse.

Langs den sydlige projektstrækning er der:

- *Fare* for oversvømmelse langs kysten pga. områdets topografi, og stor *risiko* forbundet med oversvømmelse, da der er mange huse i de udsatte områder.
- *Fare* for erosion langs kysten, men kun lav *risiko* forbundet med erosionen, da området er beskyttet af en bred sandstrand med klitområder.

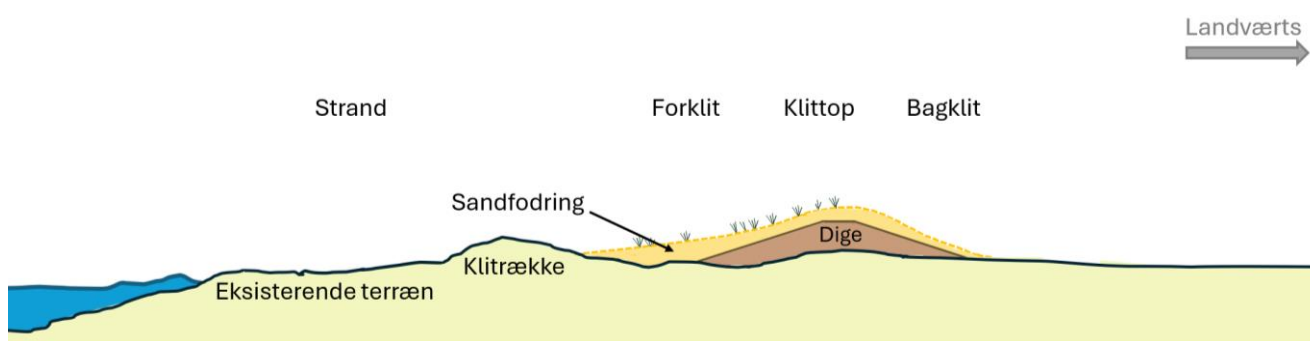
Langs den nordlige projektstrækning er der:

- *Fare* for oversvømmelse langs kysten pga. områdets topografi, og *risiko* forbundet med oversvømmelse, da der er huse i de udsatte områder. Man kan argumentere for at risikoen er lav, da det kun er få huse, der oversvømmes.
- *Fare* for oversvømmelse langs vandløbet, og *risiko* for enkelte grundejere. Man kan argumentere for at risikoen er lav, da det kun er få huse, der oversvømmes.
- *Fare* for erosion, og *risiko* forbundet med erosion, da bebyggelserne har en eksponeret placering.

6. Metoder til kystbeskyttelse

6.1. Klitdige

Et klitdige skal i nærværende rapport forstås som et dige af ler tildækket med sand (Figur 6.1). Klitdigets kerne yder den egentlige oversvømmelsessikring, mens sandet der tildækker diget er inkluderet af æstetiske årsager for at kystsikringen passer ind i de eksisterende omgivelser. Tildækningen med sand vil yde ekstra beskyttelse af diget mod erosion, men det primære formål i nærværende projekt er æstetik.



Figur 6.1: Principskitse af et Klitdige (dige af ler dækket med sand).

Et klitdige kan i teorien også etableres uden en fast kerne, som det er tilfældet langs Jyllands vestkyst. For at et klitdige, der udelukkende består af sand, skal give sikring imod højvandshændelser kræves det, at klitdiget er meget bredt. Langs Jyllands vestkyst giver de brede strande mulighed for at opretholde sikkerhedsbredden af klitterne, som gør baglandet sikret mod voldsomme stormhændelser fra vest. De samme dimensioner kan ikke opnås på en kyststrækning som Faxe Ladeplads, da stranden er smallere.

Ved etablering af et klitdige med et dige af ler, er der ikke behov for at tage hensyn til bølgetillæg, da bølgerne vil miste energi henover den brede klit og dertilhørende forland. Dette betyder, at klitdiget kan etableres med en lavere kroneskote (dighøjde) end et tilsvarende dige af ler, der har bølgepåvirkning.

Et klitdige er en naturbaseret tilgang til kystbeskyttelse, der beskytter mod både erosion og oversvømmelse. At løsningen er naturbaseret betyder, at klitdiget med tiden tilpasser sig det naturlige miljø og de lokale processer, der finder sted i kystområdet. Naturbaseret kystbeskyttelse reducerer de negative effekter som konventionelle hårde kystbeskyttelsesmetoder kan have.

Sandet, der anvendes til klitdiget, anbefales at have en kornstørrelse, der er en smule større end det naturligt forekommende i området. Ved at opjustere kornstørrelsen, vil klitdiget blive mere solidt. Ved etablering af et klitdige, er det desuden fordelagtigt at plante vegetation på klitterne, f.eks. med marehalm eller hjelme, for at reducere sandflugt. Beplantning øger stabiliteten af klitterne og gør dem mere modstandsdygtige i stormsituationer.

Der er en risiko for, at sand vil blive transporteret med de naturlige transportprocesser (bølger, vind) på langs og på tværs af klitdiget. Dette kan give udfordringer ift. akkumulering af sand bag klitten og potentiel tilsanding af huse, infrastruktur mm.

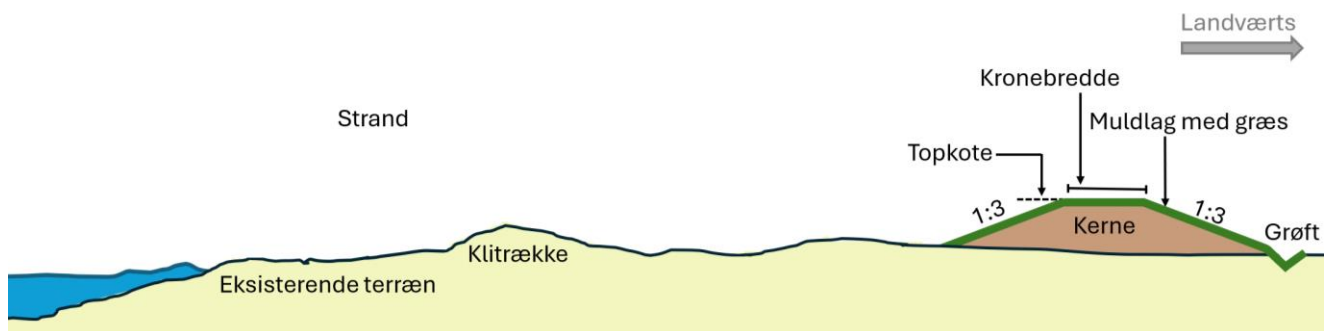
6.1.1.1. Vedligehold

Der skal føres løbende tilsyn af anlægget, f.eks. en gang om året. Vedligeholdelse af klitdiget sker ved sandfodringer foran klitten, således at sandet efterfølgende vil blive transporteret ind i den bagvedliggende klit af de naturlige vind- og transportprocesser. Hvis sandet eroderes bort ifm. en storm, skal der tilføres nyt sand via sandfodring direkte på klitten. Hvis der på et senere tidspunkt ønskes et højere sikringsniveau, kan der

sandfodres med en større mængde materiale foran klitdiget. Herefter vil sandet blive transporteret ind i den bagvedliggende klit og øge sikringsniveauet. Efter stormhændelser kan der følge noget arbejde i form af genopbygningen af klitdiget. Dette sker ligeledes ved sandfodring.

6.2. Tilbagetrukket dige

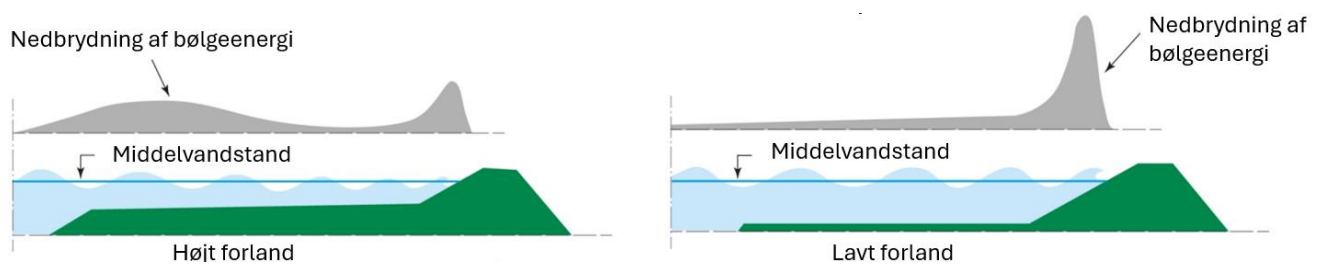
Et tilbagetrukket dige skal i nærværende rapport forstås som et dige af ler beklædt med græs (Figur 6.2). Digets kerne yder den egentlige oversvømmelsessikring, mens muldlaget med græs stabiliserer diget. Et dige kan opføres med en grøft på bagsiden, som giver mulighed for dræning og opsamling af overskyllet vand under en højvandssituation.



Figur 6.2: Principskitse af tilbagetrukket dige.

Et dige beskytter baglandet mod oversvømmelse i højvandssituationer. Etablering af diger egner sig bedst på åbne arealer, hvor der er stor afstand fra kysten ind til området, der ønskes sikret. Det anbefales at diget placeres tilbagetrukket og så tæt som muligt på området, der skal beskyttes, så kystlandskabet påvirkes mindst mulig (Kystdirektoratet, 2018).

Et tilbagetrukket dige har et ubeskyttet område foran diget, et såkaldt forland. Den indkommende bølgeenergi svækkes henover forlandet og bølgehøjden reduceres, inden bølgerne når diget. Dette betyder, at forlandet begrænser erosionen og slitage på diget i højvandssituationer (Figur 6.3).



Figur 6.3: Resulterende bølgeenergi på diget ved et højt forland (venstre) og et lavt/intet forland (højre) (Kystdirektoratet, 2018).

6.2.1.1. Vedligehold

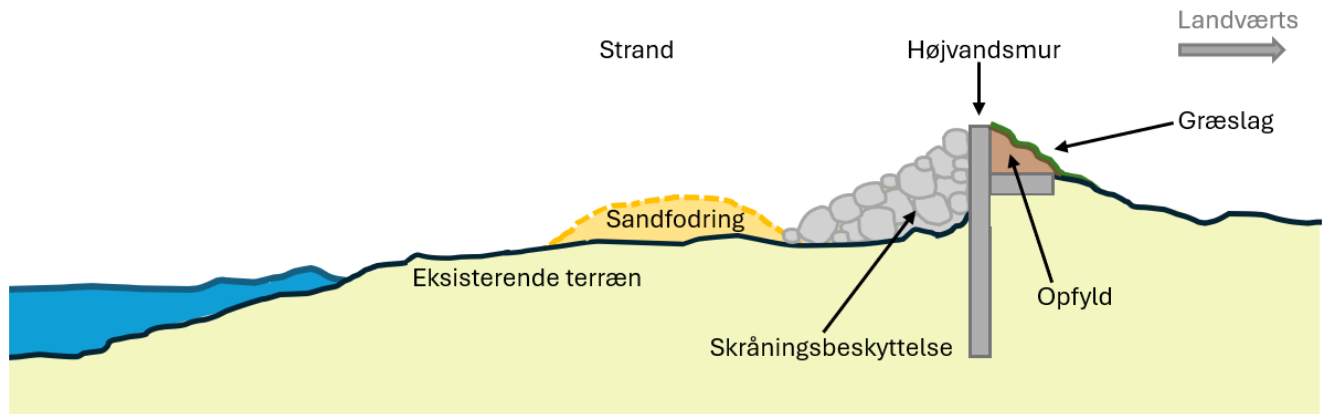
Der skal føres løbende tilsyn af anlægget, f.eks. en gang om året. Diget bør løbende tjekkes for huller og eventuel fremvokset vegetation, der ikke er græs, bør fjernes. Græsdækket skal løbende vedligeholdes, da græsset sikrer at diget er modstandsdygtigt. Et tæt græsdække med et dybt rodnet giver et stærkt dige.

6.3. Højvandsmur

En højvandsmur er en konventionel, hård kystbeskyttelsesmetode, der beskytter kysten mod oversvømmelse. Konstruktionen kan være fritstående, f.eks. i havnemiljøer, eller kan etableres langs en skråning eller andre

forhøjninger på strandplanet (Figur 6.4). Hvis højvandsmuren placeres i et erosionspræget område skal anlægget etableres i kombination med skråningsbeskyttelse og med kompenserende sandfodring, jf. afsnit 6.7.

Højvandsmuren kan opbygges af forskellige materialer, f.eks. beton, stål, plastik eller træ. Da konstruktionen er vertikal, vil indkomne bølger i højvandsituationer blive direkte reflekteret, hvilket giver forøget bølgeaktivitet foran konstruktionen. Højvandsmurens stabilitet øges ved at fundere muren dybt i terrænet og ved at tilføje et horisontalt betonelement. Stabiliteten øges yderligere ved at lave et jordopfyld på anlæggets landside.



Figur 6.4: Principskitse af en højvandsmur.

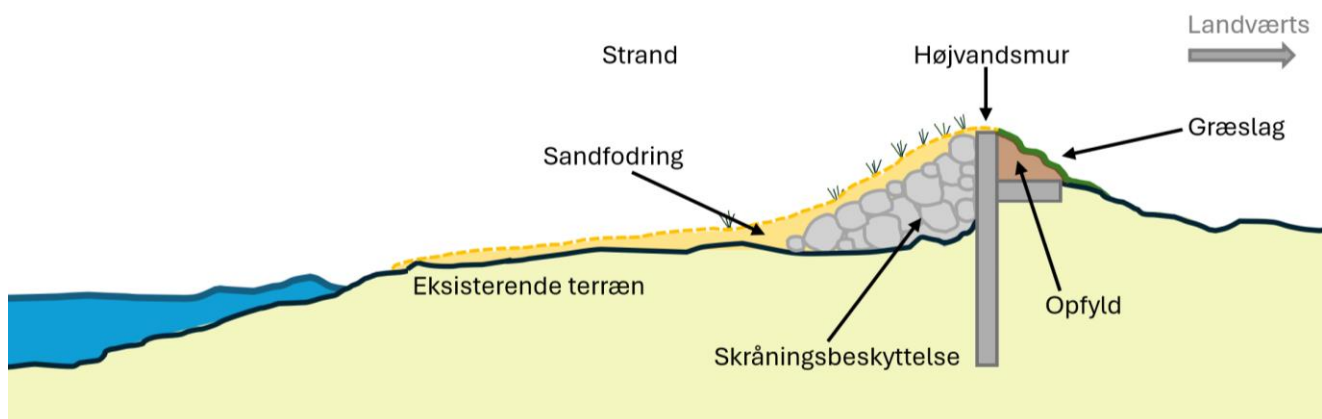
6.3.1.1. Vedligehold

Der skal føres løbende tilsyn af anlægget, f.eks. en gang om året. Det er nødvendigt løbende at tjekke højvandsmuren for skader. For at fremtidssikre højvandsmuren, anbefales det at muren allerede ved etablering forberedes til senere forhøjelse.

6.4. Tildækket højvandsmur

I nærværende rapport skal en tildækket højvandsmur forstås som en højvandsmur med sand på forsiden og jordopfyld på bagsiden som beklædes med græs (Figur 6.5). Højvandsmuren beskyttes mod erosion/underskæring med skråningsbeskyttelse på forsiden, som også tildækkes med sand. Højvandsmuren yder den egentlige oversvømmelsessikring, mens sandet der tildækker konstruktionen er inkluderet af æstetiske årsager for at kystsikringen passer ind i de eksisterende omgivelser. Hertil har sandet også en beskyttende effekt på anlægget.

Principperne ift. valg af kornstørrelse, beplantning og risiko for transport af sand på tværs af anlægget er det samme som for et klitdige, jf. afsnit 6.1.



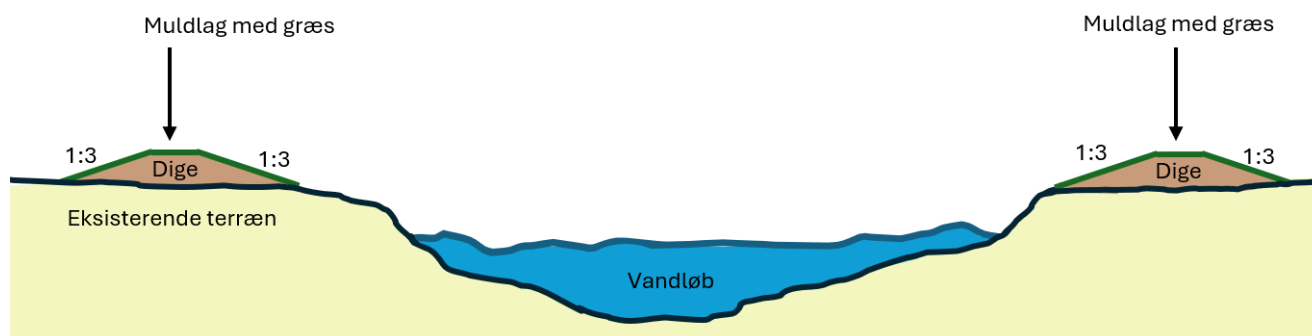
Figur 6.5: Principskitse af tilsandet højvandsmur.

6.4.1.1. Vedligehold

Principperne ift. vedligehold er det samme som for et klitdige, jf. afsnit 6.4.1.1.

6.5. Diger langs vandløb

Diger langs vandløb, skal i nærværende rapport forstås som mindre diger af ler beklædt med græs der følger vandløbets forløb (Figur 6.6). Digerne skal beskytte arealerne i nærheden af vandløbet mod oversvømmelse i højvandsituationer. Det anbefales, at digerne placeres så tæt som muligt på området, der skal beskyttes, så vandløbet påvirkes mindst muligt. Principperne ift. digernes opbygning er det samme som for et tilbagetrukket dige, jf. afsnit 6.2.



Figur 6.6: Principskitse af diger langs vandløbskant.

6.5.1.1. Vedligehold

Principperne ift. vedligehold er det samme som for et tilbagetrukket dige, jf. afsnit 6.2.1.1.

6.6. Mobil kystsikring

Mobil kystsikring skal i nærværende rapport forstås som ikke-permanente anlæg, der opsættes, når der er fare for oversvømmelse. Løsningsforslaget kræver, at grundejerne er opmærksom på højvandsvarsling. Mobil kystsikring kræver, at terrænet er fast og jævnt og kan eksempelvis være (Kystdirektoratet, 2018):

- Sandsække
- Midlertidige højvandsvægge f.eks. tavler, planker eller et skot
- Klapper og barrierer der kan foldes ud manuelt eller automatisk
- Rørsystemer der lægges ud og fyldes med vand, sand eller luft

Da mobil kystsikring findes i mange varianter udarbejdes der ikke en principskitse af løsningsforslaget.

6.7. Skråningsbeskyttelse inkl. kompenserende sandfodring

Skråningsbeskyttelse er en konventionel, hård kystbeskyttelsesmetode, der beskytter kysten mod erosion. Skråningsbeskyttelsen er typisk placeret langs foden af en klit, en klit eller søværts for højvandsikring på erosionsramte kyster jf. Figur 6.4 og Figur 6.5. Konstruktionen forhindrer frigivelse af sediment fra området bag beskyttelsen og modvirker derved erosion lokalt. Nabostrækningen nedstrøms for anlægget vil typisk opleve et sedimentunderskud.

Nedstrøms-erosion er en typisk negativ følge af hård kystsikring, men denne effekt kan reduceres med kompenserende sandfodring. Skråningsbeskyttelse bør derfor ikke opføres uden at der foretages kompenserende sandfodring. Størrelsesordenen af sandfodringen skal svare til den mængde sand, som man regner med at skråningsbeskyttelsen vil tilbageholde.

Skråningsbeskyttelse er typisk opbygget af små filtersten og større dæksten. Hvis skråningsbeskyttelsen udføres som en tæt og stejl mur vil bølgerne blive reflekteret. Refleksionen giver forøget bølgeaktivitet foran konstruktionen, hvilket kan medføre større sedimenttransport og et øget erosionspres. Skråningsbeskyttelse vil derfor ofte blive udført som en stenkastning med en hældning og med et stort porevolumen mellem stenene, hvilket reducerer bølgerefleksionen.

6.7.1.1. Vedligehold

Der skal føres løbende tilsyn af anlægget, f.eks. en gang om året. Det er nødvendigt løbende at vedligeholde og forstærke skråningsbeskyttelsen, f.eks. med tilførsel af sten til forhøjelse af konstruktionen eller til forstærkning af skråningsbeskyttelsens fod.

7. Løsningsforslag

7.1. Linjeføring

NIRAS anbefaler følgende løsningsforslag (Tabel 7.1 og Figur 7.1):

- Projektstrækning Syd: To løsningsforslag til højvandssikring langs kysten og ingen erosionssikring.
- Projektstrækning Nord: To løsningsforslag til kombineret højvands- og erosionssikring langs kysten samt et løsningsforslag til højvandssikring langs vandløbet.

Bemærk, løsningsforslagene er anbefalet ud fra et kystteknisk perspektiv og ud fra kommunens ønsker om kystsikring, der æstetisk passer ind i det omgivende landskab. Løsningsforslagene er ikke justeret ift. miljøpåvirkningen. I næste fase af projektet, når den endelige linjeføring fastlægges, er det vigtigt og nødvendigt, at der bliver taget højde for miljøpåvirkningen. Miljøscreeningen af løsningsforslagene er beskrevet i afsnit 7.3.

Tabel 7.1: Løsningsforslag for projektområdet.

Løsningsforslag	Beskrivelse	Anbefaling	
		Projektstrækning Syd	Projektstrækning Nord
Højvandssikring			
Klitdige	Dige af ler tildækket med sand	Ja	Nej, der er ikke plads
Tilbagetrukket dige	Dige af ler beklædt med græs	Ja	Nej, der er ikke plads
Diger langs vandløb	Mindre diger af ler beklædt med græs	Nej, ingen vandløb	Ja
Højvandsmur	Højvandsmur af beton	Nej, æstetisk ikke egnet og høj omkostning	Ja
Tildækket højvandsmur	Højvandsmur af beton tildækket med sand	Nej, høj omkostning	Ja
Mobil kystsikring	Ikke permanent løsning	Nej, arbejdstung løsning	Ja, for et enkelt hus
Erosionssikring			
Skråningsbeskyttelse	Skråningsbeskyttelse med sten inkl. kompenserende sandfodring	Nej, erosionsrisiko er lav	Ja



Figur 7.1: Oversigt over linjeføring for alle løsningsforslag.

7.1.1. Projektstrækning Syd

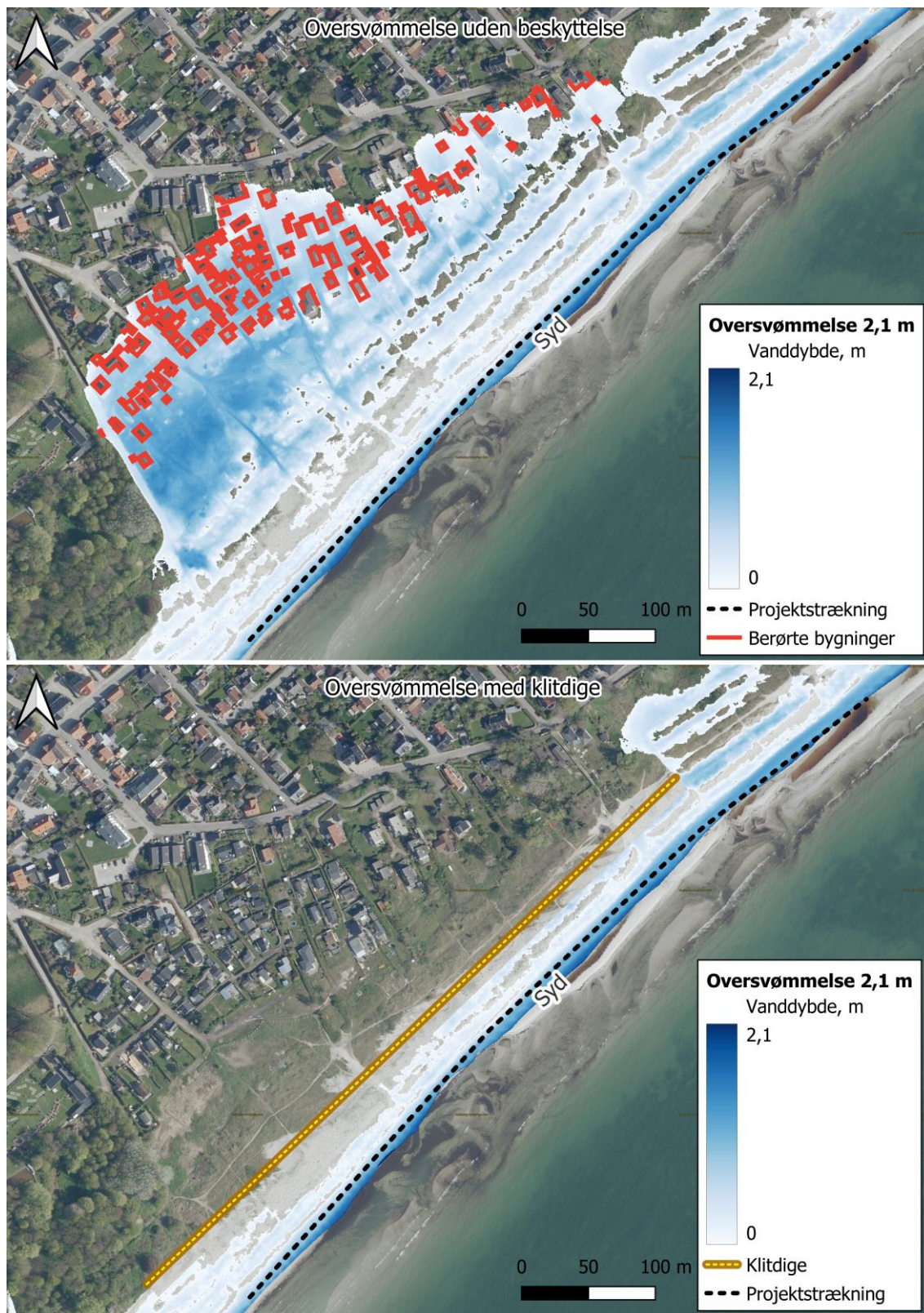
Langs den sydlige projektstrækning er formålet at beskytte mod oversvømmelse under højvande, da kyststrækningen ikke er udsat for kronisk erosion. For at bevare kystens naturlige udtryk er det vurderet, at et klitdige eller et tilbagetrukket dige er en god løsning til at beskytte baglandet mod oversvømmelse. Begge løsninger er adaptive løsningsforslag, da de kan forhøjes med tiden. Et tilbagetrukket dige placeret tættere på husene vil påvirke udsigten mindre end et klitdige placeret længere væk fra husene.

7.1.1.1. Klitdige

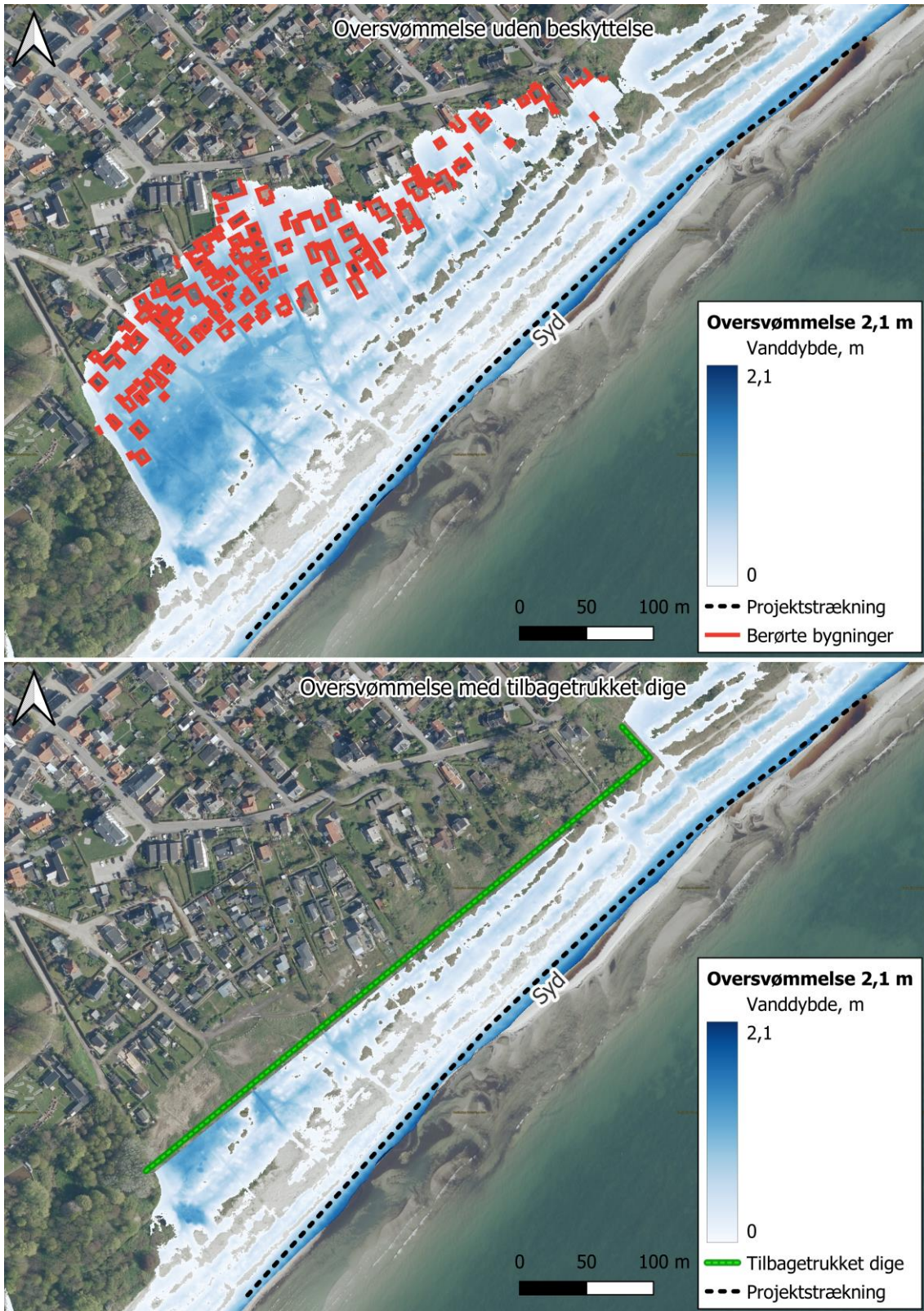
Klitdiget følger det nuværende klitlandskab og aflukkes i det tætbeplantede område med højt terræn mod syd. Klitdiget ender ved strandstien mod nord, således at stien bevares og tillader passage (Figur 7.2). Baseret på flybillede fra 2023 og 2024 er de yderste to klitrækker forsvundet under stormen i oktober 2023. Linjeføringen følger den yderste klitrække i 2024 (hvilket svarer til midten af tredje klitrække i 2023). Det er ødelæggende for anlægget at blive betrådt, derfor vil klitdiget kræve ekstra stabilisering i passageområder henover diget, således at digets højde ikke reduceres. Stabiliseringen kan f.eks. være ekstra sand eller en indbygget trappe.

7.1.1.2. Tilbagetrukket dige

Diget er trukket tilbage fra kysten og følger havegrænserne ud mod klitområdet (Figur 7.3). Diget aflukkes i det tætbeplantede område med højt terræn mod syd og ender ved strandstien mod nord, hvor det afbøjes landværts langs stien. Diget vil skille sig lidt ud i det naturlige kystlandskab, men har kun en lille påvirkning på det naturlige klitlandskab, da diget trukket tilbage i landet. Det er ødelæggende for anlægget at blive betrådt, derfor vil klitdiget kræve ekstra stabilisering i passageområder henover diget, således at digets højde ikke reduceres. Stabiliseringen kan f.eks. være en indbygget trappe, beton eller stenbelægning.



Figur 7.2: Oversvømmelse ved forhøjet vandstand til +2,1 m DVR90 uden kystsikring (øverst) og med et klitdige (nederst). Baggrund: Ortofoto 2024.



Figur 7.3: Oversvømmelse ved forhøjet vandstand til +2.1 m DVR90 uden kystsikring (øverst) og med et tilbagetrukket dige (nederst). Baggrund: Ortofoto 2024.

7.1.2. Projektstrækning Nord

Langs den nordlige projektstrækning er formålet at beskytte mod både oversvømmelse og erosion. For at bevare kystens naturlige udtryk, og fordi stranden er relativt smal, er det vurderet, at et dige ikke er en hensigtsmæssig kystsikringsløsning. De anbefalede løsningsforslag er relativt smalle anlæg. Løsninger er adaptive løsningsforslag, da de kan forhøjes med tiden.

7.1.2.1. Højvandsmur med skråningsbeskyttelse

Højvandsmuren med skråningsbeskyttelse følger en naturlig forhøjning i terrænet, hvor en mindre skrænt er blevet skabt efter akut erosion under stormen i oktober 2023 (Figur 7.4). Anlægget aflukkes i et område med højt terræn mod syd ved Vemmetoftevej 33 og fortsætter mod nord til Vemmetoftevej 19. Anlægget er opdelt i to dele ved vandløbets udløb for ikke at forårsage opstuvning. Bemærk, ved kompenserende sandfodring vil der være et behov for at håndtere vandløbets udløb, således at der ikke forekommer tilsanding. Det er ødelæggende for anlægget at blive betrådt, derfor vil anlægget kræve ekstra stabilisering i passageområder, således at anlæggets højde ikke reduceres. Stabiliseringen kan f.eks. være en indbygget trappe.

7.1.2.2. Tildækket højvandsmur med skråningsbeskyttelse

Linjeføringen for en tildækket højvandsmur med skråningsbeskyttelse er magen til linjeføringen for højvandsmur med skråningsbeskyttelse, jf. 7.1.2.1. Tildækningen med sand vil betyde, at anlægget passer bedre ind i landskabet og vil yde en ekstra beskyttelse mod bølgepåvirkning i højvandsituationer.

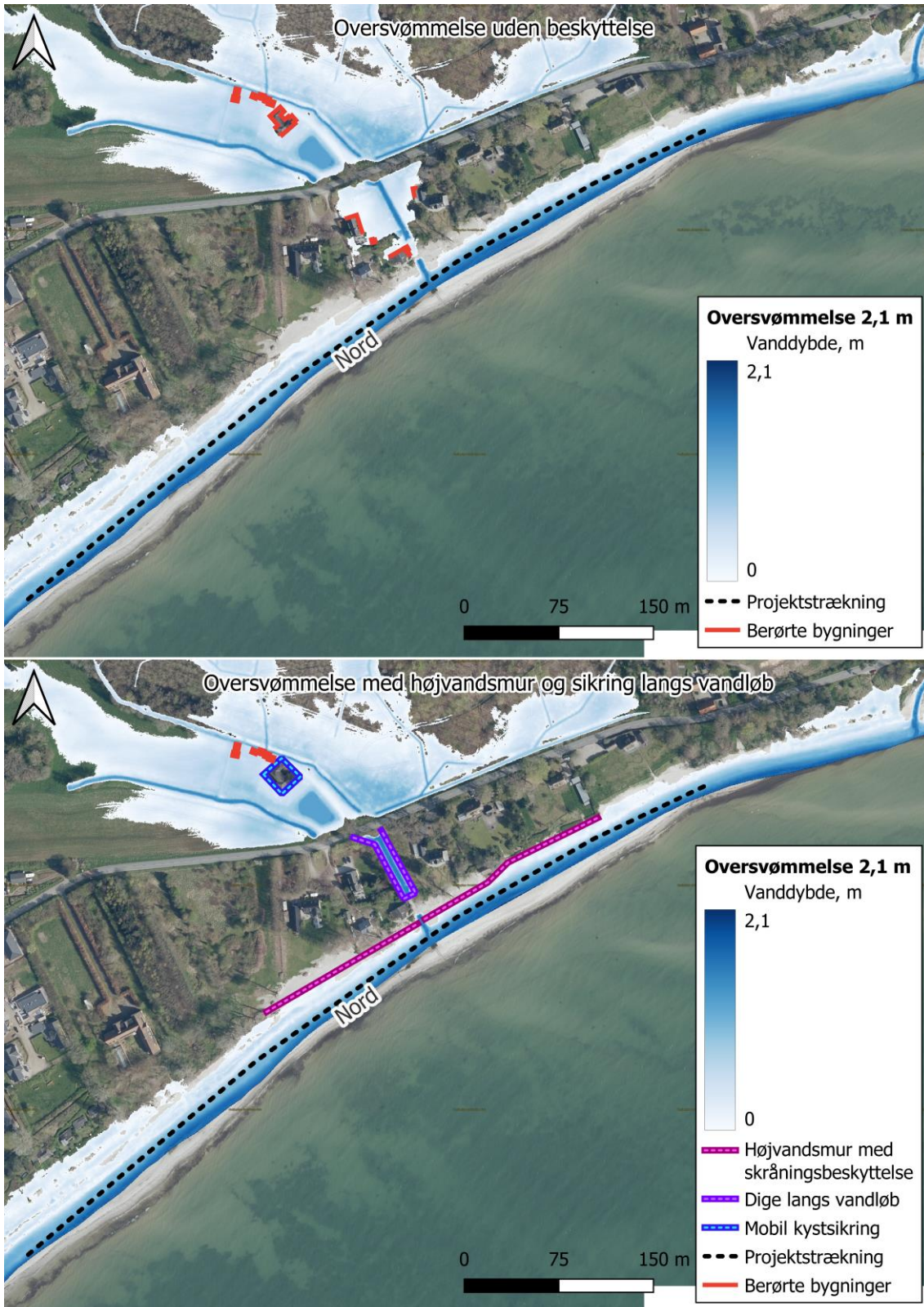
7.1.2.3. Diger langs vandløb

Digerne placeres langs vandløbet for at beskytte baglandet mod oversvømmelse forårsaget af en højvandshændelse fra havsiden (Figur 7.4). Digerne etableres ud fra eksisterende forhøjning i terrænet langs Vemmetoftevej. Vandløbet er nedgravet tæt på kysten. Det anbefales, at diget føres henover dette stykke, hvis der er plads. Hvis ikke, kan der laves en terrænhævning, en højvandsmur eller evt. en mobil løsning.

Bemærk, løsningsforslaget for oversvømmelse langs vandløbet er udelukkende baseret på en højvandshændelse fra havsiden. Der er således ikke taget højde for vandstanden under skybrud eller ved potentielt stigende grundvand. Nærværende løsningsforslag inkluderer ikke regulering af vandet til og fra vandløbet, f.eks. med vandløbslukke og pumpe, hvilket kan være en alternativ løsning til oversvømmelsessikring. Det skal undersøges nærmere i næste fase af projektet, hvilken type løsning, der yder den bedste sikring ift. de lokale forhold.

7.1.2.4. Mobil kystsikring

Huset på Vemmetoftevej 56 er i fare for oversvømmelse fra vandløbet, der løber langs begge sider af huset, og fra søen, der er placeret foran huset. Højvandsbeskyttelse der omkranser hele huset er nødvendigt (Figur 7.4). Et permanent højvandssikringsanlæg, vil være indgribende på grunden, derfor anbefales mobil kystsikring.

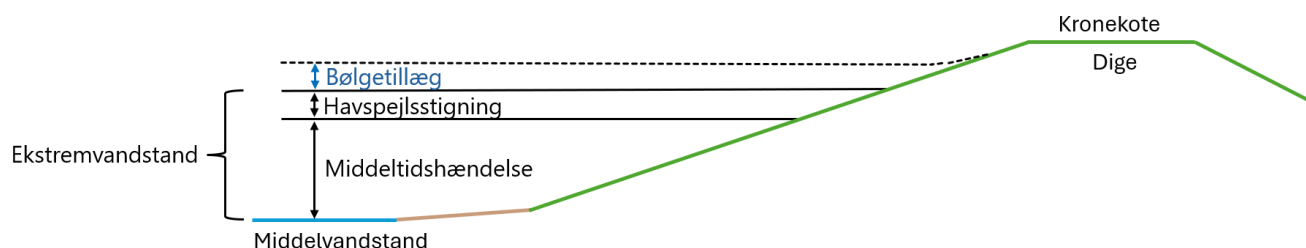


Figur 7.4: Oversvømmelse ved forhøjet vandstand til +2,1 m DVR90 uden kystsikring (øverst) og med en højvandsmur og skråningsbeskyttelse (nederst). Baggrund: Ortofoto 2024.

7.2. Dimensionering

7.2.1. Metode til at beregne kronekote

Højden på kystsikringsanlæggene bestemmes ved at lægge ekstremvandstanden i 2075, der har en kote på +2,10 m DVR90, jf. Tabel 3.2, sammen med et bølgetillæg (Figur 7.5). Beregningen af bølgetillæg giver den mængde vand, der forventes at skylle over højvandssikringen under en ekstremhændelse (såkaldt bølgeoverskyl). Jo højere højvandssikringen designes, desto mindre vil bølgeoverskyllet være.



Figur 7.5: Principskitse af metode til at beregne kronekoten for et dige (gør sig gældende for alle typer af højvandssikring).

7.2.2. Bølgehøjde og -periode foran løsningsforslagene

Der er forskel på bølgeoverskyllet alt efter om man designer et skrånende dige eller en vertikal højvandsmur med skråningsbeskyttelse. Koten af højvandssikringen vil således variere alt efter typen af anlæg. Kronekoten vil også variere ift. afstand af anlægget fra kystlinjen, da bølgehøjden (og dermed bølgeoverskyllet) aftager med afstanden til kystlinjen.

Bølgehøjden foran de kystnære anlæg er beregnet til at være 0,5 m med en bølgeperiode på 3,6 s, jf. afsnit 3.2.2. De kystnære anlæg omfatter:

- Klitdige (syd)
- Højvandsmur med skråningsbeskyttelse (nord)
- Tildækket højvandsmur med skråningsbeskyttelse (nord)

Bølgehøjden foran anlæg der er tilbagetrukket i landskabet er mindre end 0,5 m fordi afstanden til kystlinjen er større. Bølgehøjden er også lavere fordi det tilbagetrukne anlæg er beskyttet mod direkte bølgepåvirkning af den eksisterende klitrække. Bølgehøjden er vurderet til at være 0,3 m (*teknisk bedømmelse*). Bølgeperioden er estimeret på samme måde som beskrevet i afsnit 3.2.2, og er ud fra den lavere bølgehøjde beregnet til at være 2,8 s. Det tilbagetrukne anlæg omfatter:

- Tilbagetrukket dige (syd)

Bølgeoverskyl inkluderer ikke for anlæg, der er placeret i områder, hvor bølgepåvirkning ikke forventes, f.eks. anlæg der etableres bag allerede planlagt kystsikring. Derfor er dimensioneringen af disse anlæg alene bestemt ud fra ekstremvandstanden uden påvirkning af bølgeoverskyl. De ikke-bølgepåvirkede anlæg omfatter:

- Diger langs vandløb (nord)
- Mobil kystsikring (nord)

7.2.3. Estimering af bølgeoverskyl og kronekoter

For at finde frem til bølgeoverskyllet for løsningsforslagene benyttes information fra "EurOtop", som er en vejledning i analyse af bølgeoverskyl for højvandssikring, der er udsat for bølgepåvirkning (EurOtop, 2018). I denne publikation er der opstillet formler, hvor man ved brug af forskellige variable, kan beregne bølgeoverskyllet.

Bølgeoverskyllet benyttes til at finde frem til den nødvendige kote af højvandssikringen. Der tillades et bølgeoverskyl på 1 l/s/m. Ud fra erfaring vil et bølgeoverskyl i denne størrelsesorden ikke forårsage betydningsfuld oversvømmelse bag ved anlægget.

Resultaterne for nærværende projekt viser, at kronekoten for løsningsforslagene er +2,75 m og +3,30 m DVR90 (Tabel 7.2). Løsningsforslaget "Klitdige (syd)" har den højeste sikringskote.

Bemærk, beregningerne er baseret på simplificerede antagelser og at kronekoterne derfor bør appliceres med omtanke. Beregningen af bølgeoverskyl og kronekote er særligt sensitiv ift. valg af bølgeparametre og ruhed af anlæggets overflade. Der er taget højde for denne sensitivitet ved at benytte konservative værdier for ikke at underestimere sikringshøjden. Det er vigtigt, at der forud for etablering af højvandssikring laves en mere detaljeret beregning af bølgeoverskyl og kronekoter.

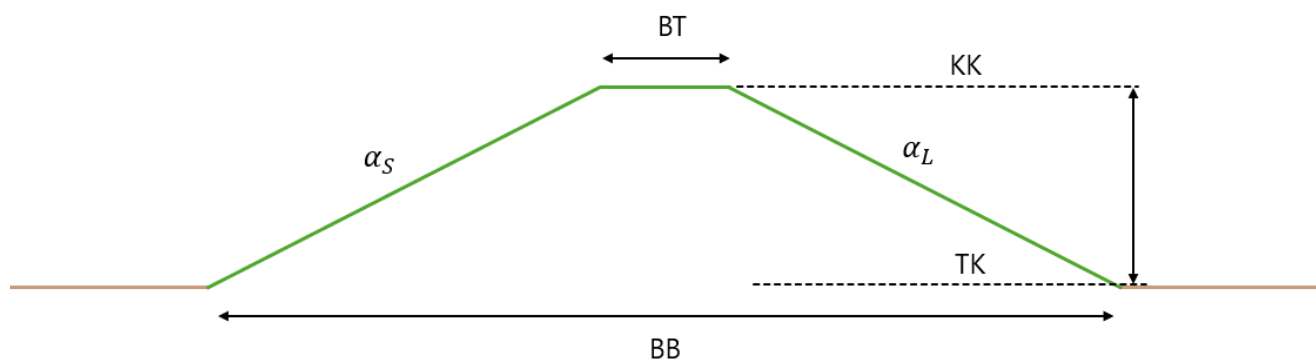
Tabel 7.2: Beregning af kronekoter for løsningsforslagene.

	Parametre	Klitdige (syd)	Tilbagetrukket dige (syd)	Højvandsmur (nord)
Input	Geometri			
	Anlæggets hældning (søværts)	1:3	1:3	1:2
	Bredde af anlæggets top	2 m	2 m	0,5 m
	Type af overflade	Vandtæt kerne	Græs, vandtæt kerne	Sten, vandtæt kerne
	Ruhed af overflade	1,00	1,00	0,55
	Hydrodynamik			
	Bølgehøjde	0,5 m	0,3 m	0,5 m
	Bølgeperiode	3,6 s	2,8 s	3,6 s
	Ekstremvandstand	2,1 m	2,1 m	2,1 m
	Output	Dimensionering		
Kronekote, DVR90		3,3 m	2,8 m	2,8 m
Bølgeoverskyl		1,1 l/s/m	0,9 l/s/m	1,3 l/s/m

7.2.4. Løsningsforslagenes fodaftryk

For at finde frem til løsningsforslagenes fodaftryk, dvs. bredden af bunden af anlæggene (BB), benyttes information om bredden af anlæggets top (BT), den gennemsnitlige terrænkote langs linjeføringen (TK), den beregnede kronekote (KK) og hældningen af anlægget søværts (α_S) og landværts (α_L) for linjeføringen (Figur 7.6):

$$BB = BT + ((KK - TK) \times \alpha_S) + ((KK - TK) \times \alpha_L)$$



Figur 7.6: Principskitse af metode til at beregne fodaftrykket for et dige (gør sig gældende for alle typer af kystsikring).

Bemærk følgende om parametrene:

- *Bredden af anlæggets top:* Værdierne er bestemt ud fra erfaring fra anlægsprojekter ift. hvilke bredder, der er nødvendige for at opnå stabile anlæg. Reduceres bredden vil der være risiko for gennembrud.
- *Kronekote:* Værdierne er beregnet i Tabel 7.2.
- *Terrænkote:* Værdierne er baseret på et gennemsnit af terrænniveauet langs hver linjeføring. Fodafttrykket vil i realiteten variere i bredden langs linjeføringerne, da terrænkoten ikke er ens i projektområdet.
- *Hældning, søværts:* Værdierne er bestemt ud fra erfaring fra anlægsprojekter ift. hvilke bredder, der er nødvendige for at opnå stabile anlæg. Hældningen for "Klitdige (syd)" og "Tildækket højvandsmur (nord)" er bestemt ud fra en analyse af hældningen af de eksisterende klitter. I vores stikprøver varierer hældningen af de eksisterende klitter imellem 1:7 og 1:13. Derfor er et gennemsnit på 1:10 valgt.
- *Hældning, landværts:* Samme udgangspunkt som for *Hældning, søværts*.

Resultaterne for nærværende projekt viser, at fodaftrykket varierer imellem 3 m og 26 m. Løsningsforslaget "Klitdige (syd)" har det største fodaftryk (Tabel 7.3).

Tabel 7.3: Fodafttryk af løsningsforslagene.

Løsningsforslag	Bredde af anlæggets top (m)	Kronekote (m)	Terrænkote (m)	Hældning, søværts (1:a)	Hældning, landværts (1:a)	Fodafttryk (m)
Klitdige (syd)	2,0	3,4*	2,2	10,0	10,0	26,0
Tilbagetrukket dige (syd)	2,0	2,9*	1,6	3,0	3,0	9,8
Højvandsmur (nord)	0,5	2,8	2,3	2,0	3,0	2,8
Tildækket højvandsmur (nord)	0,5	2,9*	2,3	10,0	3,0	6,8
Diger langs vandløb (nord)	1,0	2,2*	1,8	3,0	3,0	3,4

* Kronekote er inkl. sandlag eller muldlag med græs på toppen af 10 cm højde.

Stenstørrelsen for højvandsmurens skråningsbeskyttelse kan beregnes pba. den indkomne bølgeenergi. I nærværende projekt estimeres stenene til at være 0,5 m i diameter (*teknisk vurdering*). Den eksakte stenstørrelse beregnes i et evt. opfølgende projekt.

7.3. Miljøscreening

Miljøpåvirkningen af løsningsforslagene vil blive vurderet i dette afsnit. Forslagene på den sydlige kyststrækning gennemgås først, og derefter den nordlige kyststrækning.

For kortlægning og yderligere beskrivelse henvises til Bilag 5: Miljøscreening af løsningsforslag.

7.3.1. Projektstrækning Syd

7.3.1.1. Beskyttet natur og fredning

Begge løsningsforslag langs den sydlige projektstrækning ligger inden for strandbeskyttelseslinjen og den § 3-beskyttede naturtype, overdrev. Klitdiget påvirker også et område med arealfredning. For at anlægge kystsikring skal der søges om dispensation fra ovenstående. Det anbefales at foretage besigtigelse og afgrænsning af § 3-overdrevet i forsommer/sommer 2025, da der ikke fremgår nyere besigtigelser.

7.3.1.2. Arter og flagermusegnede træer

I den sydlige del af området overlapper begge løsningsforslag en stor klynge af træer, der potentielt kan være flagermusegnede. Dertil kan løsningsforslagene potentielt påvirke bestandene af to bilag IV-arter og tre rødlistede arter. Det anbefales at foretage besigtigelse og kortlægning af yngle- og rastesteder for de nævnte bilag IV-arter samt rødlistede arter i projektområdet, så påvirkning af eventuelle levesteder undgås eller reduceres.

7.3.1.3. Jordforurening

I den sydlige del af området er et V2-kortlagt areal, og en del af digerne ligger indenfor områdeklassificering for jordforurening. For at anlægge kystsikring skal omfanget af jordforureningen undersøges nærmere.

7.3.1.4. Opsamling

Fra et miljømæssigt synspunkt anbefales det at vælge løsningsforslaget med et tilbagetrukket dige, da dette løsningsforslag påvirker § 3-beskyttet natur mindst, og da påvirkningen desuden er i kanten af naturtypen, i modsætning til klitdiget, som ligger omtrent midt i overdrevet. Løsningsforslaget med et tilbagetrukket dige har også den fordel, at det ikke påvirker arealfredningen.

7.3.2. Projektstrækning Nord

7.3.2.1. Beskyttet natur og fredning

Løsningsforslagene ligger indenfor skovbyggelinjen og strandbeskyttelseslinjen. Derudover ligger højvandsmurene inden for den § 3-beskyttede naturtype, overdrev. For at anlægge kystsikring skal der søges om dispensation fra ovenstående. Det anbefales at foretage besigtigelse og afgrænsning af overdrev i forsommer/sommer 2025, da der ikke fremgår nyere besigtigelser. Etablering af diger langs vandløbet kan potentielt påvirke det beskyttede vandløb, hvis digerne ligger for tæt op ad vandløbet. Dette skal beskrives og vurderes nærmere.

7.3.2.2. Arter og flagermusegnede træer

Der forekommer træer, der potentielt kunne være flagermusegnede langs med vandløbet. Der er desuden blevet fundet en bilag IV-art og en rødlistet art i nærheden af vandløbet.

7.3.2.3. Jordforurening

Der er ingen jordforurening i området.

7.3.2.4. Opsamling

Fra et miljømæssigt synspunkt anbefales det at vælge løsningsforslaget med en højvandsmur (uden tildækning), da dette løsningsforslag påvirker under halvt så meget § 3-overdrev, sammenlignet med den tildækkede højvandsmur. Alternativt kan det undersøges om højvandsmuren kan rykkes, så påvirkningen af overdrevet undgås.

7.4. Prisoverslag

Prisen for løsningsforslagene er beregnet ud fra den mængde materiale hvert løsningsforslag kræver (estimeret ud fra anlæggets tværnsnitsareal), længden af linjeføringerne og enhedsprisen. Prisen er justeret med de forventede omkostninger til mobilisering på 10% og rådgivning på 10% samt en usikkerhed på 15 % (Tabel 7.4).

Enhedspriserne (levering og indbygning) vil variere alt efter valg af udbyder og samfundsudviklingen. Følgende enhedspriser er benyttet til prisoverslaget:

- Dige (ler)	400 kr./m ³
- Græs på dige (muld/græs)	600 kr./m ³
- Sand	300 kr./m ³
- Højvandsmur (beton)	4.000 kr./m ³
- Skråningsbeskyttelse	1.000 kr./m ³
- Fyldmateriale	250 kr./m ³

Prisoverslaget er lavet ud fra en simpel antagelse om, at højderne af løsningsforslagene (relativt til terræn) er uniforme langs linjeføringen. Dette gør sig ikke gældende i virkeligheden, da terrænet vil variere og den relative højde af løsningsforslagene derfor også vil variere. Den absolutte højde vil naturligvis være den samme, jf. den beregnede kronekote i Tabel 7.2. De opgivne priser er derfor et groft estimat og skal benyttes med omhu.

Bemærk, priserne inkluderer ikke afgravning, mellemdeponi og evt. bortskaffelse af materialer. Der er ikke opgivet en pris for mobil kystsikring, da denne pris har stor variation alt efter type af anlæg.

Tabel 7.4: Prisoverslag for løsningsforslagene.

Løsningsforslag	Længde (m)	Mængde (m ³ /m)	Enhedspris (kr.)	Pris (kr.)	Justeret pris (kr.)	Sum af priser, -10% til +25% (kr.)*
Klitdige						
Dige (ler)	550	5,8	400	1.276.000	1.722.600	
Sand til tildækning	550	15,0	300	2.475.000	3.341.250	4.550.000 - 6.330.000
Tilbagetrukket dige						
Dige (ler)	520	6,7	400	1.393.600	1.881.360	
Muld/græs på dige	520	1,0	600	312.000	421.200	2.070.000 - 2.880.000
Højvandsmur						
Højvandsmur (beton)	300	0,9	4.000	1.080.000	1.458.000	
Skråningsbeskyttelse	300	1,5	1.000	450.000	607.500	
Fyldmateriale	300	0,1	250	7.500	10.125	
Kompensationsfodring**	-	0,7	300	63.000	85.050	1.940.000 - 2.700.000
Tildækket højvandsmur						
Højvandsmur (beton)	300	0,9	4.000	1.080.000	1.458.000	
Skråningsbeskyttelse	300	1,5	1.000	450.000	607.500	
Fyldmateriale	300	0,1	250	7.500	10.125	
Sand til tildækning	300	2,0	300	180.000	243.000	
Kompensationsfodring**	-	0,7	300	63.000	85.050	2.160.000 - 3.000.000
Diger langs vandløb						
Dige (ler)	135	0,6	400	32.400	43.740	
Muld/græs på dige	135	0,3	600	24.300	32.805	70.000 - 100.000

* Priserne er afrundet til nærmeste 10.000 kr.

** Vedligeholdelsesudgift hvert år. Prisen er et indledende estimat og skal undersøges nærmere i næste fase af projektet.

Litteraturliste

- CERC, 1984. *Shore Protection Manual*. s.l.:US Army Corps of Engineers.
- CIRIA, 2007. *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (second edition) (C683)*, s.l.: Construction Industry Research and Information Association.
- Dataforsyningen, 2024. *Dataforsyningen*. [Online]
Available at: <https://dataforsyningen.dk/data/981>
- EurOtop, 2018. *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application.*, s.l.: s.n.
- IPCC, 2021. *Summary for Policymakers. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press.
- Kystdirektoratet, 2018. *Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder*, s.l.: s.n.
- Kystdirektoratet, 2021. *Metoderapport for Kystplanlægger*, s.l.: s.n.
- Kystdirektoratet, 2024. *Højvandsstatistikker*, s.l.: Kystdirektoratet.
- NIRAS, 2024. *Højvandsbeskyttelse af Faxe Ladeplads Øst - Natat vedr. vurdering af sikringsniveau*, s.l.: s.n.

Bilag

Bilag 1: Højvandsstatistik, Rødvig Havn

Statistiske middeltidsvandstande

Gentagelsesperiode	Middeltidsvandstand	Fremskrevet 2024
20	147	154
50	157	164
100	164	171
200	169	176

Datagrundlag

Dataseriens længde: 30,81 år
 Målestationens levetid: 1991-08-16 til 2024-01-01.
 Stationsnr.: 31063/31061

Modelparametre

Fordelingsfunktion: Generaliseret Pareto
 Tærskelværdi: 75
 Lokation (μ): 75,236
 Skala (σ): 28,547
 Form (ξ): -0,225
 Fremskrivningstillæg 2024: 6,8 cm
 Isostatisk opløft: 0,1 cm/år
 Relativ havniveaustigning efter 1990: 0,2 cm/år
 Relativ havniveaustigning (DNN-DVR90): 0,08 cm/år
 Antal Ekstremer over afskæringsniveau: 62 svarende til 2 ekstremer/år.

Begrebsforklaring

DVR90: 0-punktsreference der svarer til middelhavniveauet i år 1990.

Målt: Vandstande målt i DVR90.

Reference 90: Målt vandstand korrigeret for ændring i middelhavniveau, dvs. den vandstand der ville være blevet målt hvis ekstremhændelsen var sket i år 1990.

Middeltidsvandstand: En vandstand som i gennemsnit kun bliver overskredet en gang hver gentagelsesperiode.

Fremskrevet 2024: Middeltidsvandstanden fremskrevet til at indtræffe i år 2024.

Ekstremværdiliste

Dato	Målt	Reference 90
2023-10-20	169	162
2017-01-04	166	161
1997-04-11	131	130
2002-01-02	131	129
2019-01-02	133	127
1995-01-03	128	127
1995-11-03	128	127
2001-11-16	124	122
2011-02-11	123	119
2007-01-27	117	114
1997-11-03	115	113
2013-12-02	117	112
2004-11-23	114	111
2012-01-14	115	111
2007-01-20	114	111
2007-01-24	114	111
2002-02-21	113	111
2006-11-01	112	109
2007-01-15	111	108
2022-01-30	114	108
2007-02-01	110	107
1993-02-05	106	105
1995-04-08	104	103
1995-11-06	104	103
2012-01-06	107	103
2018-10-29	108	102
2002-03-14	104	102
2009-10-14	105	101
1992-02-17	101	101
1992-01-13	98	98
2007-01-29	101	98
2020-10-14	103	97
2015-11-22	102	97
2007-10-12	100	96
2016-11-28	98	93
2005-02-23	95	92
2020-03-29	98	92
1998-02-17	93	91
2008-03-22	95	91
2014-12-25	96	91

Bilag 2: Resultater fra sigteanalyse


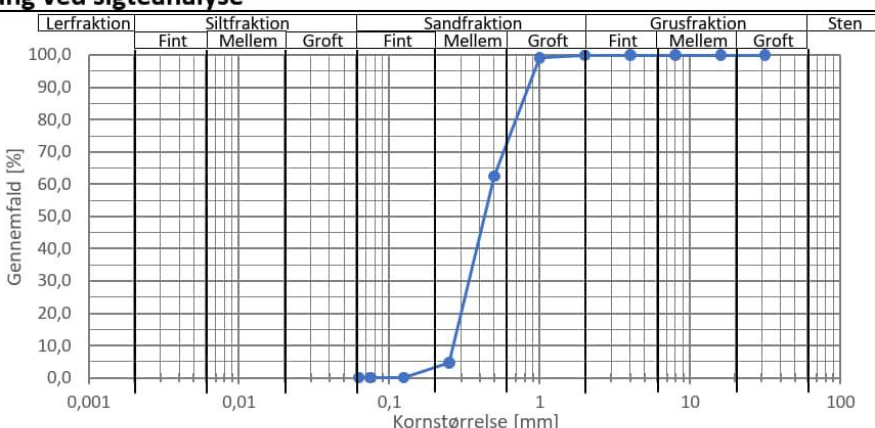
Navngivningen på kortet svarer til følgende navngivning i laboratorieresultaterne:

- Prøve 1: 15-16
- Prøve 2: 41
- Prøve 3: 26
- Prøve 4: Nord



Figur 0.1: Beliggenhed af sedimentprøver til sigteanalyse.

Projektnavn Kystbeskyttelse af Faxe Ladeplads Øst				Dato 16-10-2024																		
Projektnr. 10422479	Udført af ISHV/CPED	Kont. ACOR	Godk. ISHV	Bilag -																		
Udtagningssted Nær Faxe Ladeplads		Materiale/prøve SAND			Laboratorie NIRAS Allerød																	
Kornstørrelsesfordeling v. tørsigtning iht. DS/EN 933-1: 2013																						
Prøvemodtagelse																						
Prøve modtaget		01-10-2024		Geologisk betegnelse:																		
Boring/punkt		15-16		SAND, mellem, enskornet, enk. gruskorn, planterester, lys grå, Ma, Pg																		
Dybde		0-0,2 m u.t.																				
Vandindhold																						
Tara + våd [g]	Tara [g]	Tara nr. [-]	Tara + tør [g]	Tør prøve [g]	Vandindhold [g] [%]																	
572,56	28,12	4	564,23	536,11	8,33	1,55																
Sigtning																						
Sigte [mm]	Kumuleret vægt [g]	Gennemfald [g] [%]																				
31,5	0	536,1 100,0																				
16	0	536,1 100,0																				
8	2,59	533,5 99,5																				
4	2,7	533,4 99,5																				
2	2,82	533,3 99,5																				
1	3,18	532,9 99,4																				
0,5	22,49	513,6 95,8																				
0,25	514,38	21,7 4,1																				
0,125	531,14	5,0 0,9																				
0,075	531,25	4,9 0,9																				
0,063	531,26	4,9 0,9																				
Bund	531,28	0,0 0,0																				
Rest	4,83																					
Total	536,11																					
Kornstørrelsesfordeling ved sigteanalyse																						
Sigte [mm]	Gennemfald [%]	<table border="1"> <tr> <th>Lerfraktion</th> <th colspan="2">Siltfraktion</th> <th colspan="2">Sandfraktion</th> <th colspan="2">Grusfraktion</th> <th>Sten</th> </tr> <tr> <td></td> <td>Fint</td> <td>Mellem</td> <td>Groft</td> <td>Fint</td> <td>Mellem</td> <td>Groft</td> <td></td> </tr> </table>					Lerfraktion	Siltfraktion		Sandfraktion		Grusfraktion		Sten		Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft	
Lerfraktion	Siltfraktion		Sandfraktion		Grusfraktion		Sten															
	Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft																
31,5	100,0																					
16	100,0																					
8	99,5																					
4	99,5																					
2	99,5																					
1	99,4																					
0,5	95,8																					
0,25	4,1																					
0,125	0,9																					
0,075	0,9																					
0,063	0,9																					
Resultater																						
10%-fraktil	d_{10}	0,26 mm	Ler/silt	0,9 %																		
50%-fraktil	d_{50}	0,35 mm	Sand, fint	2,1 %																		
60%-fraktil	d_{60}	0,38 mm	Sand, mellem	94,0 %																		
Uensformighedstal	U	1,5 -	Sand, groft	2,5 %																		
Hydraulisk ledningsevne	k	6,8E-04 m/s	Grus, fint	0,0 %																		

Projektnavn Kystbeskyttelse af Faxe Ladeplads Øst				Dato 16-10-2024																													
Projektnr. 10422479	Udført af ISHV/CPED	Kont. ACOR	Godk. ISHV	Bilag -																													
Udtagningssted Nær Faxe Ladeplads		Materiale/prøve SAND		Laboratorie NIRAS Allerød																													
Kornstørrelsesfordeling v. tørsigtning iht. DS/EN 933-1: 2013																																	
Prøvemodtagelse																																	
Prøve modtaget		01-10-2024		Geologisk betegnelse:																													
Boring/punkt		41		SAND, mellem - groft, enskornet, planterester, grå, Ma,																													
Dybde		0,0-0,2 m u.t.		Pg																													
Vandindhold																																	
Tara + våd [g]	Tara [g]	Tara nr. [-]	Tara + tør [g]	Tør prøve [g]	Vandindhold [g] [%]																												
450,59	28,16	5	443,32	415,16	7,27	1,75																											
Sigtning																																	
Sigte [mm]	Kumuleret vægt [g]		Gennemfald [g] [%]																														
31,5	0		415,2 100,0																														
16	0		415,2 100,0																														
8	0,11		415,1 100,0																														
4	0,2		415,0 100,0																														
2	0,43		414,7 99,9																														
1	3,57		411,6 99,1																														
0,5	156,01		259,2 62,4																														
0,25	395,54		19,6 4,7																														
0,125	414,43		0,7 0,2																														
0,075	414,55		0,6 0,1																														
0,063	414,57		0,6 0,1																														
Bund	414,62		0,0 0,0																														
Rest	0,54																																
Total	415,16																																
Kornstørrelsesfordeling ved sigteanalyse																																	
Sigte [mm]	Gennemfald [%]	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Lerfraktion</th> <th colspan="3">Siltfraktion</th> <th colspan="3">Sandfraktion</th> <th colspan="3">Grusfraktion</th> <th>Sten</th> </tr> <tr> <td></td> <td>Fint</td> <td>Mellem</td> <td>Groft</td> <td>Fint</td> <td>Mellem</td> <td>Groft</td> <td>Fint</td> <td>Mellem</td> <td>Groft</td> <td></td> </tr> </table>										Lerfraktion	Siltfraktion			Sandfraktion			Grusfraktion			Sten		Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft	
Lerfraktion	Siltfraktion			Sandfraktion			Grusfraktion			Sten																							
	Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft	Fint	Mellem	Groft																								
31,5	100,0																																
16	100,0																																
8	100,0																																
4	100,0																																
2	99,9																																
1	99,1																																
0,5	62,4																																
0,25	4,7																																
0,125	0,2																																
0,075	0,1																																
0,063	0,1																																
Resultater																																	
10%-fraktil	d_{10}	0,27 mm	Ler/silt	0,1 %																													
50%-fraktil	d_{50}	0,43 mm	Sand, fint	3,1 %																													
60%-fraktil	d_{60}	0,49 mm	Sand, mellem	71,4 %																													
Uensformighedstal	U	1,8 -	Sand, groft	25,2 %																													
Hydraulisk ledningsevne	k	7,1E-04 m/s	Grus, fint	0,1 %																													

Bilag 3: Natur og miljøforhold

Udarbejdet af: RABS; Kontrolleret af: MAC; Godkendt af: PFOR

B3-1. Eksisterende naturforhold

Der er foretaget en miljøscreening med gennemgang af eksisterende data i tilgængelige naturdatabaser og rapporter, og herudfra beskrives naturen i og omkring kysten ved Faxe Ladeplads.

B3-1.1 Beskyttet natur (§ 3)

Der er tre typer af § 3-beskyttede naturtyper i området; eng, overdrev og sø. Der ses et lille engområde i den nordøstlige ende af stranden (Figur 0.2). Den dominerende naturtype i projektområdet er overdrev, som forekommer langs næsten hele kystlinjen i området. Slutteligt er der en lille sø nordøst for engen, samt en større sø sydvest i området. Søen beliggende i sydøst ses dog ikke på ortofoto, og er muligvis udtørret. Der fremgår ingen besigtigelsesdata i Naturdata.dk for de relevante § 3-områder. Hvis løsningsforslagene vil påvirke § 3-natur bør der udføres besigtigelse, så påvirkningen kan vurderes.

B3-1.2 Beskyttet vandløb

Vandløbet, Hestehave Bæk, mod øst i projektområdet er § 3-beskyttet (Figur 0.2). Vandløbet er målsat god økologisk og kemisk tilstand. Det er et lille og naturligt vandløb og ca. 2 km langt. Vandløbet har moderat økologisk tilstand bedømt ud fra det økologiske parameter smådyr. Tilstand af øvrige parametre er ukendt.

B3-1.3 Arter

Der er blevet fundet en række arter, på Arter.dk og Naturbasen.dk, der fremgår på rødlisten og i bilag IV. Fra Arter.dk er der 58 registreringer af rødlistede arter indenfor de sidste fem år, der fordeler sig på 31 forskellige arter. Fugle udgør 13 af arterne med 37 registreringer i alt, hvoraf stor skallesluger, troidand og isfugl har flest registreringer. Dertil kommer planter, der har 14 registreringer fordelt på tre arter, hvor blåtoppet kohvede og due-skabiose har lang flest registreringer. Derefter kommer svampe, med 11 registreringer fordelt på ni arter, hvoraf mandel-skørhat og kål-fladhat har flest registreringer. Til sidst er der seks registreringer fordelt på pattedyr (ilder), edderkopper (sandgraveedderkop), insekter (sørgekåbe, ildtæge) og mosser (glat krokodillemos). Fra Naturbasen.dk er der 11 registreringer af rødlistede arter indenfor de sidste fem år. Der er registreret to arter af spurvefugle (bjergvipstjert, digesvale), en sommerfugl (sørgekåbe), en edderkop (sandgravedderkop), en orkidé (hvidgul skovlilje), og en maskeblomst (blåtoppet kohvede).

Der er 12 bilag IV-arter der potentielt kan forekomme i projektområdet. Ni af disse arter er flagermus – vandflagermus, frynseflagermus, troidflagermus, dværgflagermus, brunflagermus, sydflagermus, skimmelflagermus, bredøret flagermus og brun langøre (Kjær et al., 2023, Elmeros et al., 2024). Dertil kommer eremit, springfrø og markfirben. På Arter.dk er der tre bilag IV registreringer i området indenfor de sidste fem år (Figur 0.2) – springfrø, dværgflagermus og en ikke artsbestemt flagermus og, dertil kommer registrering af springfrø og natlyssværmer fra Naturbasen.dk (Figur 0.2).

Det er udført besigtigelse efter markfirben på overdrev langs kysten i 2021, og ingen markfirben blev fundet, men der blev registreret tre skovfirben. Skovfirben er fredet. Ved besigtigelse i 2015 blev der fundet ti markfirben. Hele klitten/kyststrækningen er gennemgået i 2010 og ingen markfirben blev registreret³.

³ <https://naturereport.miljoportal.dk/487562>



Figur 0.2: Kortet viser § 3-beskyttede naturtyper, bilag IV registreringer, samt et beskyttet vandløb. Data fra Arter.dk og Naturbasen.dk.

B3-1.4 Natura 2000

I den østlige del af projektområdet grænser det op til og evt. overlapper lidt med Natura 2000-område nr. 167, Skove ved Vemmetofte (Figur 0.3). Natura 2000-området er 174 ha, og består primært af skov. Det er blevet udpeget, da det rummer levesteder for eremitbillen, som lever i gamle hule træer med solbeskinnede trækroner og stammer. Der er egnede levesteder for eremit helt op til projektområdet⁴. Området har desuden fire forskellige naturtyper på udpegningsgrundlaget; bøg på mor, eg-bladskov, bøg på muld, og den prioriterede naturtype elle- og askeskov. Nær/i projektområdet forekommer habitatnaturtypen bøg på mor. Løsningsforslagene skal udformes, så der naturtyper og arter på udpegningsgrundlaget ikke påvirkes.

Derudover er der en ynglende bestand af stor skallesluger, og der er også set forekomster af vandflagermus og skovmår i området.

B3-1.5 Træer

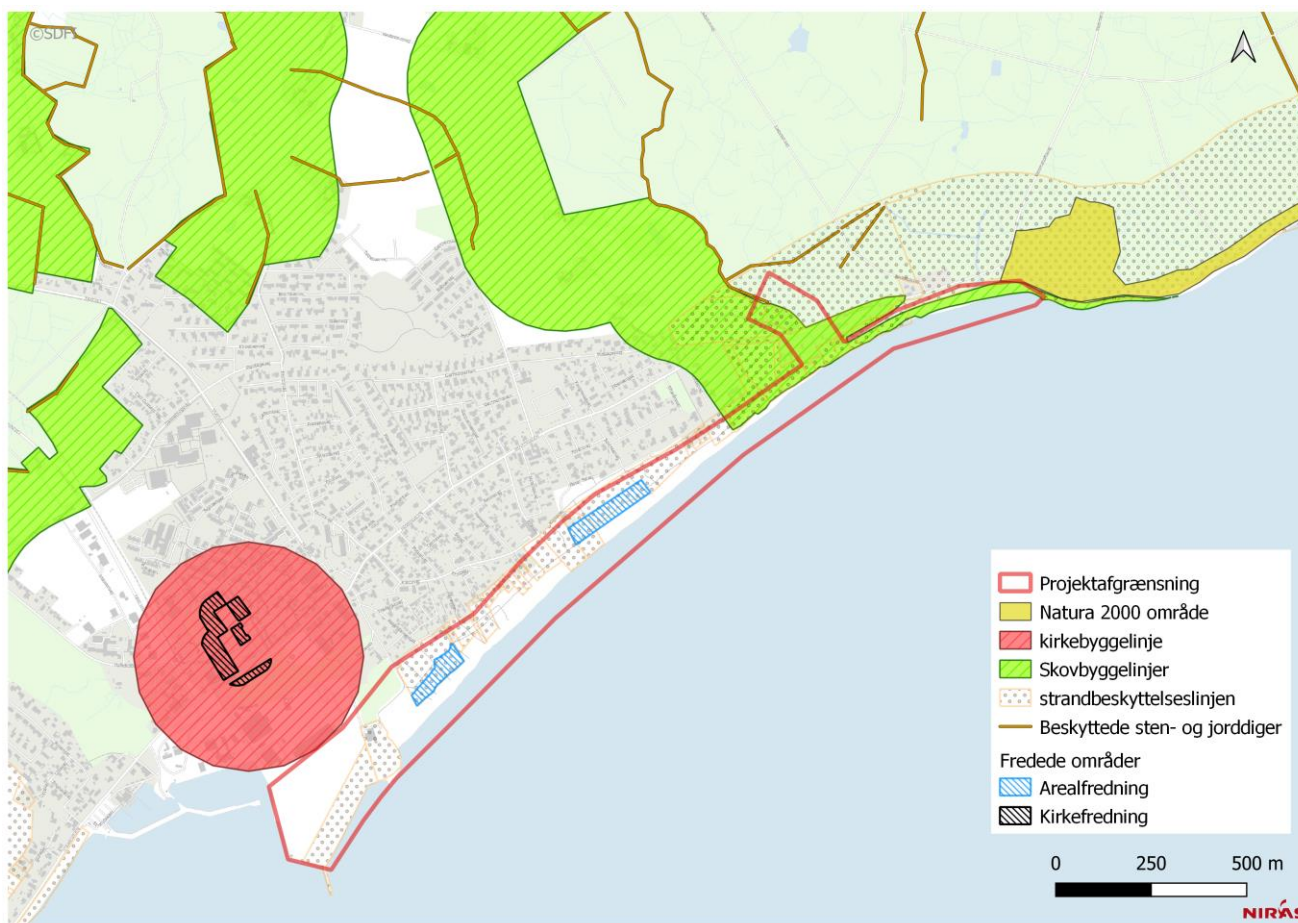
Når forslag til løsninger er udpeget, skal tracéer gennemgås for forekomst af store/gamle træer med potentielle yngle-/rastesteder for flagermus.

B3-1.6 Fredning

Der er to fredede områder (arealfredninger) i projektområdet (Figur 0.3), og en kirkefredning omkring Hylleholt Kirke lige uden for projektområdet. Arealfredningerne er Hylleholt strande, der blev fredet i 1935 for at sikre fri

⁴ <https://mst.dk/media/kadbcfp3/n167-revideret-basisanalyse-2022-27-skove-ved-vemmetofte.pdf>

adgang til ophold og badning fra den frie strandbred. Kirkefredningen er fra 1951, og freder et bælte af 40 meters bredde af ejendommen for yderligere byggeri.



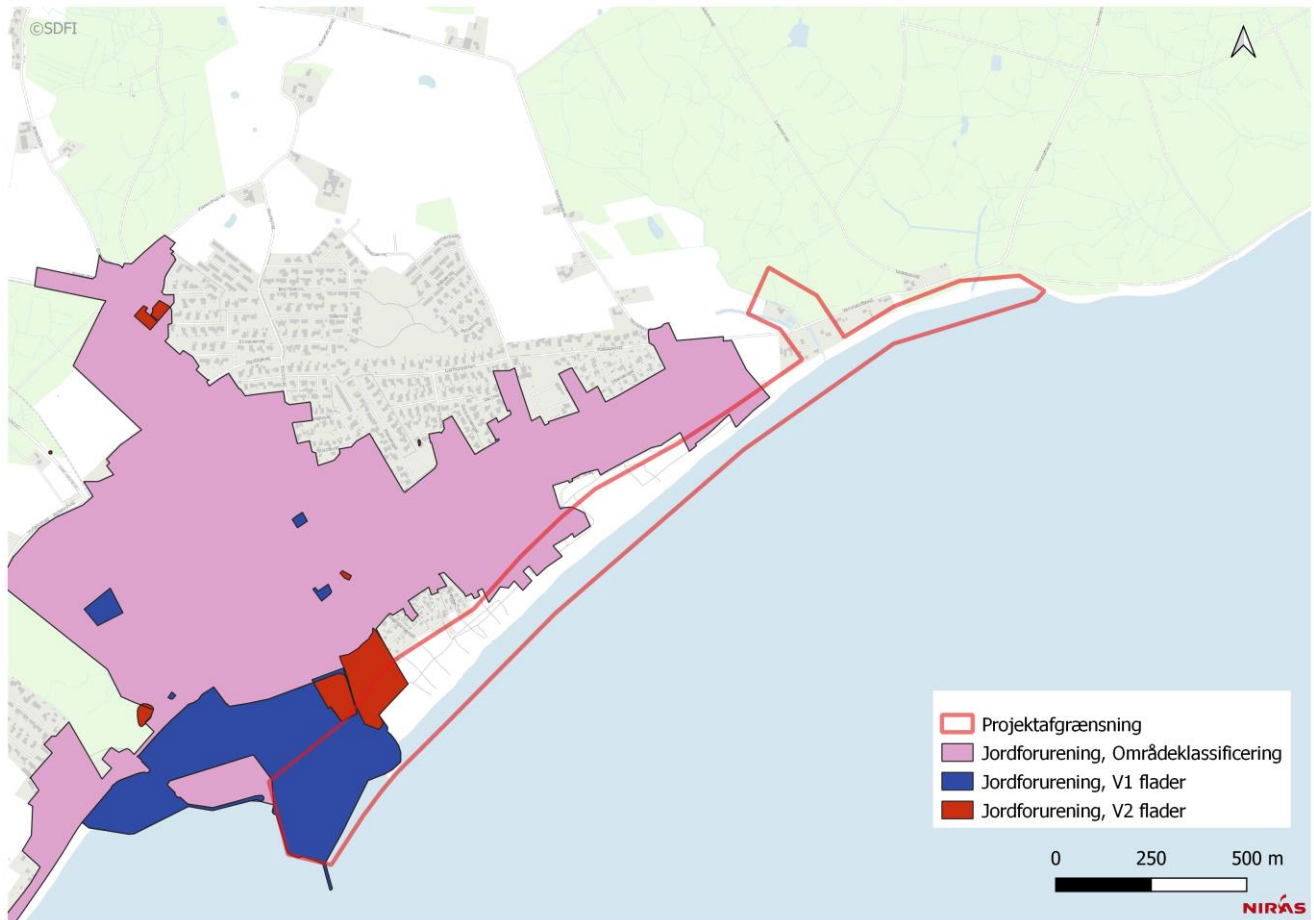
Figur 0.3: Kortet viser bygge- og beskyttelseslinjer, beskyttede sten- og jorddiger, bygge- og beskyttelseslinjer, fredede områder samt et natura 2000 område.

B3-2. Bygge-, beskyttelseslinjer og beskyttede diger

Der er tre forskellige bygge- og beskyttelseslinjer i området; skovbyggelinje, kirkebyggelinje, og strandbeskyttelseslinje (Figur 0.3). Der er også beskyttede sten- og jorddige ved skoven i den nordøstlige del af området. Diget stopper omtrent 230 meter fra vandet. Skovbyggelinjen ligger omkring skoven i nordøst. Skovbyggelinjen går helt ned til vandet, og følger en lang strækning af kysten. Dertil kommer strandbeskyttelseslinjen, som omfatter næsten hele kyststrækningen i projektområdet, og den har en bredde på 40 til 300 meter. Slutteligt er der kirkebyggelinjen på 300 m omkring Hylleholt Kirke i den vestlige del af kyststrækningen, som grænser op til projektområdet.

B3-3. Forurening

En stor del af kyststrækningen, omkring havnen, er V1-kortlagt (Figur 0.4). Det vil sige at der er kendskab til aktiviteter, som kan medføre risiko for forurening. Der er også nogle V2-kortlagte områder, hvor der er kendskab til forurening.



Figur 0.4: Kortet viser kortlagt jordforurening (V1 og V2 samt områdeklassificering).

B3-4. Litteraturliste

Arter.dk (2024), hentet fra <https://arter.dk/search/record-search?excludeUnderlyingTaxons=true&hasMedia=false&includeDescendantTaxons=true&includeSpeciesGroupFacet=true&includeOrphanRecords=false&tabMode=Map>

Danmarks miljøportal (2024), hentet fra <https://naturdata.miljoeportal.dk/advancedSearch>

Elmeros, Morten, Esben Terp Fjederholt, Julie Dahl Møller, Hans J. Baagøe, Jesper Bladt og Christian Kjær 2024. Opdatering af: Håndbog om dyrearter på Habitatdirektivets Bilag IV. Del 2 – Odder og flagermus. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 185 s. - Videnskabelig rapport nr. 603

Kjær, Christian (Red.), Lars Christian Adrados, Mikkel Boel, Lars Briggs, Per Klit Christensen, Niels Damm, John Frisenvænge, Kåre Fog, Rikke Reisner Hansen, Martin Hesselsøe, Rasmus Mohr Mortensen, Peer Ravn, Sabine Stosiek, Morten Strandberg, Ole Roland Therkildsen, Peter Wiberg-Larsen. 2023. Opdatering af: Håndbog om dyrearter på habitatdirektivets Bilag IV. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 271 s. - Videnskabelig rapport nr. 520

Naturbasen.dk (2024), Licensnr: E03/2014, hentet fra <https://www.naturbasen.dk/licens/niras>

Bilag 4: Geologisk screening

Udarbejdet af: CLEM/MKKN; Kontrolleret af: JBEL; Godkendt af: PFOR

B4-1. Indledning

I forbindelse med skitseprojekt for kystsikring af 3 km kyststrækning ved Faxe Ladeplads foretages en overordnet geologisk screening.

B4-2. Forudsætninger

Eksisterende geologiske forhold er undersøgt ved hjælp af følgende kilder:

- Nye og ældre topografiske kort, overflyvninger og DTM (GST)
- Geologisk jordartskort (GEUS)
- Prækvartæroverfladen (GEUS)
- Terrænnært grundvand 1970-2014 (NIRAS)
- GEUS' nationale boringsdatabase, Jupiter
- GeoAtlas Live

Der er kun fundet tre boringer i selve projektområdet via Jupiter. Boringerne er beliggende i den nordlige del af projektområdet, nær et mindre å-udløb (Mølløvænge). I en radius af ca. 200 m af projektområdet findes yderligere seks boringer i Jupiter. Derudover er fundet to boringer via GeoAtlas Live med overordnet geologisk beskrivelse (B1 og B2).

Boringerne fra Jupiter fremgår med følgende informationer:

- 1 boring med geoteknisk boreprofil (223.114)
- 2 boringer med geologisk lagfølgebeskrivelse (223.179 og 223.135)
- 2 boringer med overordnet geologisk lagfølgebeskrivelse (B1 og B2)
- 2 boringer hvor alle aflejringer er registreret dog uden specificering af geologisk alder/dannelsesmiljø (223.186 og 223.187)
- 3 boringer hvor kun kalken er beskrevet (223.36, 223.37 og 223.43)
- 1 boring uden lagfølgeoplysninger (223.132)

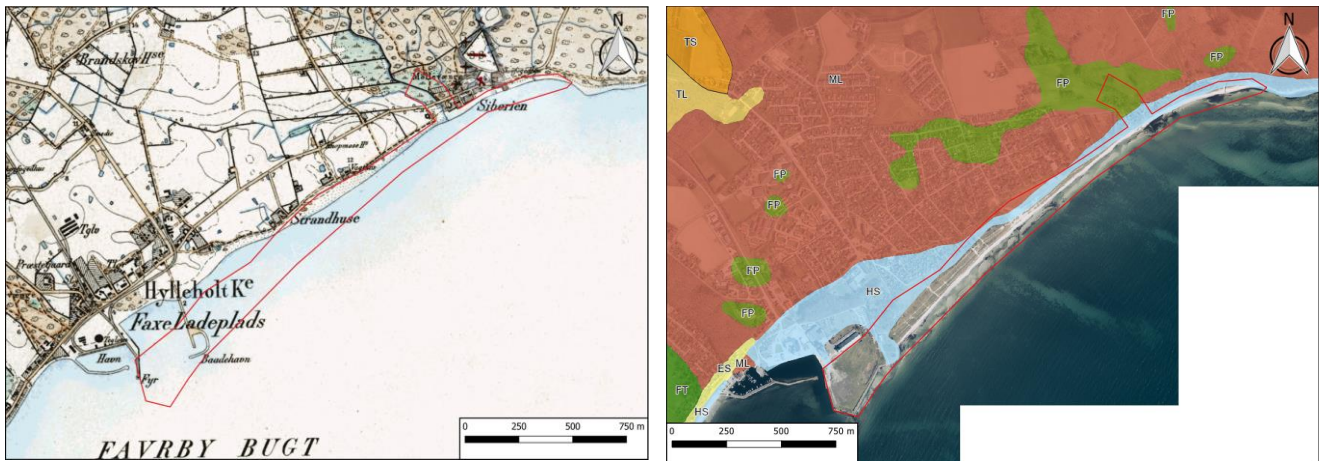
NIRAS har ikke udført geotekniske boringer i eller nær undersøgelsesområdet.

B4-3. Geologi

Landskabet omkring Faxe ladeplads er et typisk glacialt bundmorænelandskab dannet under sidste istid for ca. 11.600 år siden. Landværts for projektområdet er terrænet således forholdsvis jævnt. Dog antyder terrænkoterne forløb et lokalt mere kuperet landskab. Der ses således lokale forhøjninger/morænebakker omkring det tidligere Hylleholt/nuværende Faxe ladeplads/Klintevej (ca. kote +8 til +9 DVR90), samt omkring det nuværende Sommervej/Strandgården (ca. kote +10 til +12 DVR90). Landværts for, og mellem bakkerne, er terrænet lavere beliggende i ca. kote +3 til +6 DVR90. Havværts for morænebakkerne (langs kanten af projektområdet), ses en tydelig kystklint og foran denne stranden, der ligger i ca. kote +2,5 til +0,5.

Det er sandsynligt, at bugten omkring Faxe Å er rykket havværts siden sidste istid, som følge af ferske og marine postglaciale aflejringer, samt relativ landhævning på ca. 1-1,5 m. Historiske kort (hhv. lave (1901-1971) og høje (1842-1899) målebordsblade) viser, at kystlinjen tidligere har ligget længere landværts – kystlinjen er således udbygget i løbet af de sidste 100-150 år. Høje målebordsblade kan ses på Figur 0.5 til højre.

Ifølge jordartskortet fra GEUS, som fremgår af Figur 0.5 til venstre, forventes de terrænnære jordlag i projektområdet (1 m dybde) generelt at være præget af postglaciale marine aflejringer i form af saltvandssand, samt i mindre grad glacialt aflejret moræneler ved morænebakkerne. I den nordvestlige del af området, kan der forventes et større område med postglacialt ferskvandsgytje og/eller tørv, som har forbindelse til å-løbet. Der kan muligvis også træffes mindre forekomster af ferskvandsaflejringer mellem morænebakkerne, hvor terrænet ligger lavere, jf. historiske kort.



Figur 0.5: Til venstre: GEUS' Jordartskort overlagt ortofoto forår 2023 (©KDS). Orange (TS) = postglacialt smeltevandssand, gul (TL) = postglacialt smeltevandsler, brun (ML) = moræneler, olivengrøn (FP) = ferskvandsgytje, mørk grøn (FT) = ferskvandstørv, gul-grøn (ES) = postglacialt flyvesand, blå (HS) = postglacialt saltvandssand. Til højre: Høje målebordsblade (1842-1899, ©KDS). Projektområdet er skitseret med rød streg.

Under de kvartære glaciære aflejringer træffes de tertiære aflejringer i form af Danien kalk (som ved Faxe kalkbrud) og skrivekridt fra kridttiden (som ved Stevns klint). Det må forventes at Danien kalken primært træffes i den nordlige del af projektområdet og i et relativt tyndt lag, jf. GEUS kort over prækvartæroverfladen.

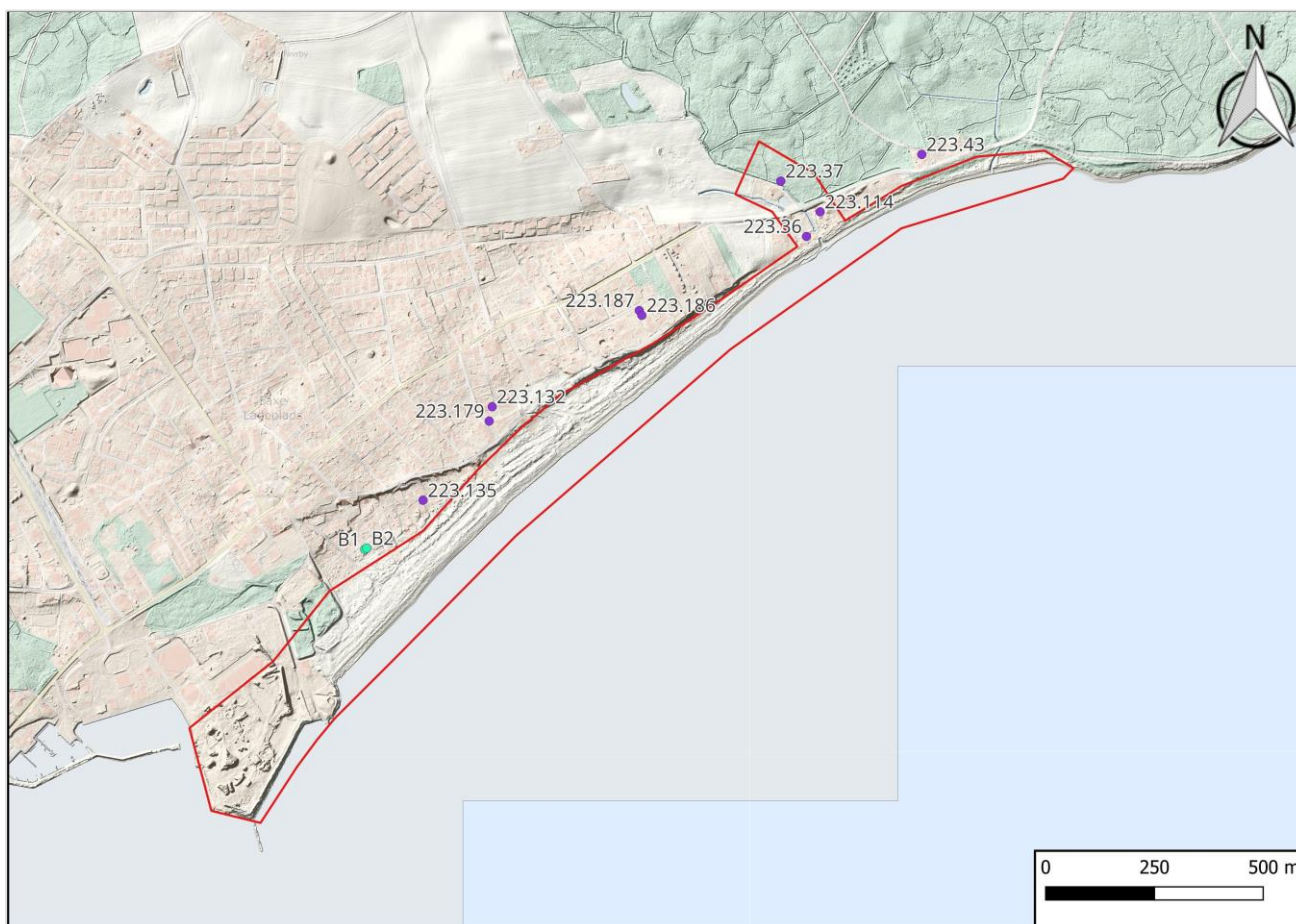
B4-4. Jordbundsforhold i eksisterende borer

På Figur 0.6 fremgår borer i området fundet via Jupiter. Borerne benævnes med deres DGU nr.

Borerne 223.36, 223.37 og 223.43 er beliggende i/nær den nordlige del af projektområdet, med terrænkote omkring +2 til +3 DVR90. I disse borer er de kvartære aflejringer ikke beskrevet men udelukkende dybden til kalken/kridtet. Der er således truffet ikke nærmere beskrevet "kalk" fra hhv. kote -14,5, -15,0 og -20,0 til borerne afslutning i hhv. kote -16,5, -17,0 og -24,0.

I boring 223.114, der er beliggende i den nordlige del af projektområdet ved "Sibirien"/Å-udløbet, er der truffet øvre postglaciære lag af sand, tørv og ler til kote -1,0. Herunder er der truffet (sen)glacialt sand til kote -1,3 underlejret af moræneler og et enkelt indslag af glacialt (smeltevands)sand. Boringen er afsluttet i kote -3,5.

Borerne 223.187 og 223.186 er udført på morænebakken ved Sommervej, ca. 70-80 m landværts for projektområdet. Boringer er ført til 140 m u.t. Der er i begge borer truffet 0,2 m fyld i toppen, til hhv. kote +11,0 til +11,5. Herunder er der truffet ler, underlejret af sand og herefter ler henholdsvis til kote -16,1 og -15,6, hvorunder kalken træffes. Den geologiske alder for aflejringerne er ukendt. Ud fra de andre boreprofiler og jordartskortet, kan det tyde på moræneler fra kote ca. +1,0, men de øvre lag kan ikke bekræftes at være glaciære. Der er ikke nogen yderligere beskrivelse, der kan indikere aflejringerne dannelsesmiljø eller geologiske alder. Borerne er afsluttet i uspecificeret kalk/kridt.



Figur 0.6: Skærmkort overlagt med skyggekart, samt eksisterende borer max 200 m fra projektområdet. Turkis: Boringer fra GeoAtlasLive, Lilla: Boringer fra GEUS Jupiterdatabase, rød streg: projektområde

Ca. 400 m mere sydvest, mellem morænebakkerne, ses borerne 223.132 og 223.179. For boring 223.132 er der ingen borerapport. Nærliggende boring 223.179 er udført til 210 m u.t. Her er truffet siltet, sandet moræneler fra kote +5,4 til -3,6, underlejret af vekslende lag af blødt til meget blødt skrivekridt og flint til boringens bund i kote -204,6.

Boring 223.135 er udført yderligere ca. 250 m sydvest, foran klinten ved Klintevej, og er ført til 132 m u.t. Øverst i boringen er der truffet postglacialt saltvandssand fra ca. kote +2 til -1,0. Herunder er der truffet moræneler til kote -13 underlejret af kalk og flint. Boringen afsluttes i flint i kote -133.

Via GeoAtlas Live er der fundet to borer (benævnt B1 og B2) udført i april 2024, på adressen Rosendalvænget 77, beliggende syd for klinten og Klintevej. Boringerne stemmer overens med forholdene på jordartskortet, da de terrænnære aflejringer består af saltvandsaflejringer. Der er truffet postglacialt marint sand til ca. kote -1,0 m underlejret af moræneler til ca. kote -4,5. I boring B2 er der et enkelt indslag af smeltevandssand omkring kote -2,5. Der er pejlet et vandspejl mellem kote 0 og +0,1.

B4-5. Grundvandsforhold

På baggrund af grundvandskortlægning (terrænnært grundvand 1970-2014 © NIRAS) kan vandspejlet i området forventes i intervallet 0-5,0 m u.t. Det forventes at grundvandsstanden vil stige med op til 0,5 m frem til år 2050.

I boring B1 og B2, der beliggende nær projektområdet og havværts for klinten, er vandspejlet truffet i kote 0 til +0,1, hvilket stemmer overens med det forventede.

B4-6. Opsummering og anbefalinger

Det forventes, at de terrænnære jordlag i projektområdet er præget af saltvandssand underlejret af moræneler, stedvist med mindre indslag af smeltevandssand. I området omkring å-løbet kan der desuden forventes blødbund i form af ferskvandsgytje og/eller -tørv. Der er ikke i de øvrige boringer truffet organiskholdige aflejringer, men det kan ikke udelukkes, at der stedvist kan være forekomster af organisk materiale i de postglaciale aflejringer.

Der er ikke fundet boringer i/nær den sydligste del af projektområdet. Af gamle ortofoto ses dog tydelig udbygning af havneområdet ved opfyld. Under fyldjorden må jordbundsforholdene forventes at ligne de nærliggende boringer, dog med større indslag af marine aflejringer.

For korrekt geoteknisk fundering af et evt. fremtidig kystsikring er følgende parametre af betydning:

- Styrke af jorden under anlæggene (og for anlægsmaterialet);
- Deformationsegenskaberne af jorden, der efterlades under anlæggene, herunder risiko for sætninger af organiskholdige aflejringer;
- Vandspejls- og strømningsforhold.

For projektering af kystsikring, anbefales det at udføre en egentlig geoteknisk undersøgelse, hvor ovenstående forhold belyses nærmere. De undersøgte boringer kan ikke udgøre et tilstrækkeligt grundlag for geoteknisk projektering af kystsikringsanlæg i projektområdet.

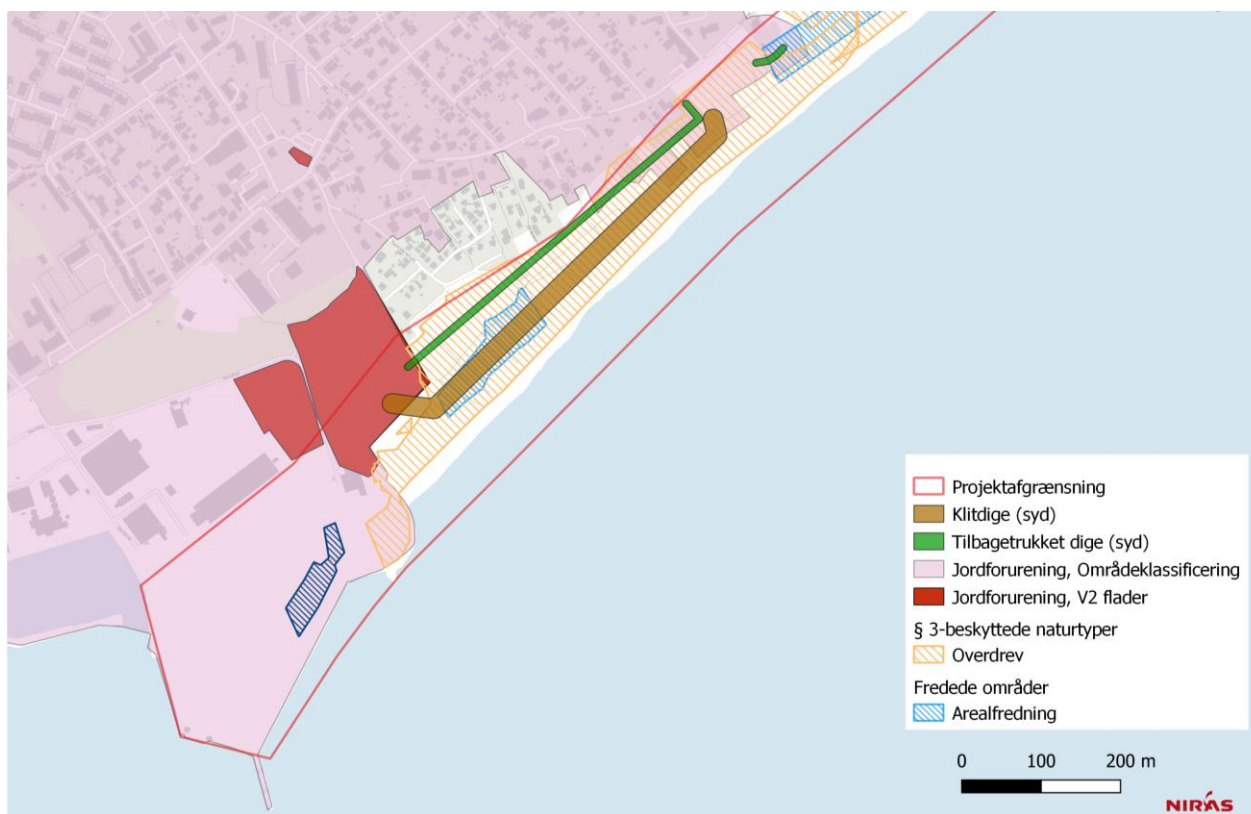
Bilag 5: Miljøscreening af løsningsforslag

Udarbejdet af: RABS; Kontrolleret af: MAC; Godkendt af: PFOR

Der er blevet udarbejdet to løsningsforslag for den sydlige kyststrækning og to for den nordlige kyststrækning. Miljøpåvirkningen af løsningsforslagene vurderes i dette bilag. Bemærk, linjeføringerne der er præsenteret i rapporten (Kapitel 7) er justeret ift. linjeføringerne i nærværende bilag. Der vil derfor være variation i strækningernes beliggenhed. Dette ændrer ikke ved de endelige anbefalinger.

B5-1 Løsningsforslag syd

På den sydlige del af kyststrækningen er der to løsningsforslag (Figur 0.7); klitdige, med en ca. bredde på 24,8 m, og et areal på omkring 14.370 m² og tilbagetrukket dige, med en ca. bredde på 8,6 m, og et areal på omkring 4.400 m². Til begge løsningsforslag hører et lille dige nord for det lange dige, med en ca. bredde på 8,6 m og et areal på omkring 410 m². Figur 0.7 illustrerer hvilke miljøparametre/beskyttelser som digerne påvirker. Alle løsningsforslagene i den sydlige del ligger inden for strandbeskyttelseslinjen, og der skal derfor søges om dispensation herfra.



Figur 0.7: Klitdige og tilbagetrukket dige i forhold til jordforurening, § 3-beskyttet natur, samt fredede områder. Løsningsforslagene består af et tilbagetrukket dige (grøn, nederst), et klitdige (brun), og et lille dige, der er relevant for begge løsninger (grøn, øverst).

Beskyttet natur og fredning

Klitdiget påvirker et areal på cirka 4.100 m² af den sydligste arealfredning, hvilket udgør omtrent 60% af arealfredningen. Desuden optager klitdiget et areal på cirka 13.000 m² af den § 3-beskyttede naturtype,

overdrev. Det tilbagetrukkede dige påvirker et areal på cirka 3.570 m² af overdrevet. Det lille dige berører cirka 210 m² af overdrevet, og derudover 245 m² af den nordlige arealfredning.

Det anbefales at foretage besigtigelse og afgrænsning af § 3-overdrevet i forsommer/sommer 2025, da der ikke fremgår nyere besigtigelser i Naturdata.

Arter og flagermusegnede træer

I den sydlige del af kyststrækningen, overlapper både klitdiget, og det tilbagetrukkede dige med en stor klynge af træer, der potentielt kan være flagermusegnede. Især taget i betragtning af at der er op til ni arter af flagermus, der potentielt kan leve i området. Området bør derfor besigtiges for vurdering af om der er træer med yngle- eller rastesteder for flagermus og digets tracé bør tilpasses, så fældning af træer med yngle- eller rastesteder for flagermus undgås. Klitdiget har et noget større overlap med træområdet end det tilbagetrukkede dige. Dertil kan digerne potentielt påvirke bestandene af bilag IV-arterne markfirben og natlyssværmer, som blandt andet har overdrev som habitat. Dette skal vurderes nærmere efter besigtigelser. Der er desuden tre rødlistede arter der er registreret i området hvor det sydlige dige skal placeres — planterne blåtoppet kohvede, og due-skabiose, samt svampen sækformet stjernebold. Disse kan potentielt blive påvirket af diget. Det anbefales at foretage besigtigelse og kortlægning af yngle- og rastesteder for de nævnte bilag IV-arter samt rødlistede arter i projektområdet, så påvirkning af eventuelle levesteder undgås eller reduceres.

Jordforurening

Den sydlige ende af både klitdiget og det tilbagetrukkede dige ligger i V2-kortlagt areal. Begge ender af digerne ligger indenfor områdeklassificering for jordforurening. Dertil ligger det lille dige med hele sit areal indenfor områdeklassificeringen for jordforurening.

Opsummering

Opsamling af anbefalede besigtigelser:

- Besigtigelse og afgrænsning af overdrev i forsommer/sommer 2025.
- Vurdering af om der er træer med yngle- eller rastesteder for flagermus.
- Besigtigelse og kortlægning af yngle- og rastesteder for bilag IV-arter samt rødlistede arter.

Det anbefales på det foreliggende grundlag at vælge løsningsforslaget med det tilbagetrukkede dige, da dette påvirker § 3-beskyttet natur mindst muligt (tabel 5.1), og påvirkningen desuden er i kanten af naturtypen, i modsætning til klitdiget, som ligger omtrent midt i overdrevet. Løsningsforslaget med det tilbagetrukkede dige har også den fordel, at det ikke påvirker arealfredningen.

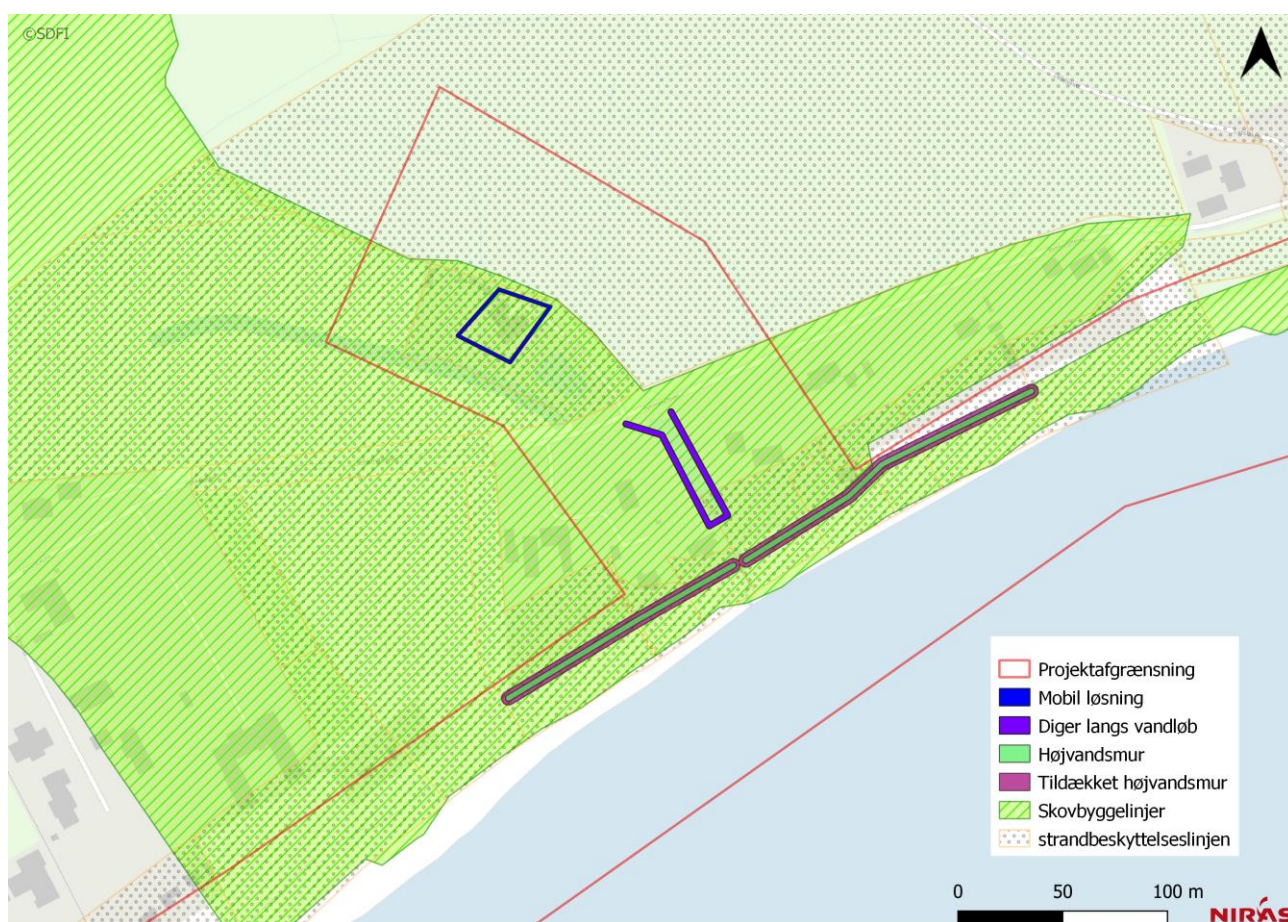
Tabel 0.1: Sydlige løsningsforslags påvirkning på natur og miljø.

Løsningsforslag	Klitdige	Tilbagetrukket dige
§ 3 overdrev	13.210 m ²	3.780 m ²
Arefredning	4.345 m ²	245 m ²
Strandbeskyttelseslinje	Ja	Ja
V2-kortlagt forurening	Ja	Ja
Områdeklassificering	Ja	Ja
Flagermusegnede træer	Ja potentielt	Ja potentiel

B5-2 Løsningsforslag nord

I den nordlige del er der også to løsningsforslag, der omfatter en højvandsmur eller en tildækket højvandsmur. I begge løsninger suppleres der med dige omkring vandløbet Hestehave Bæk og en mobil løsning omkring en enkeltliggende bolig med mindre oversvømmelsesrisiko (Figur 0.8). Højvandsmuren etableres mellem haverne og stranden, og skal enten bestå af en tildækket højvandsmur med en bredde på omkring 6,6 meter og et samlet areal på cirka 1.940 m², eller en højvandsmur med bredde på omkring 2,8 meter, og et samlet areal på 820 m². Diget langs vandløbet vil have en bredde på ca. 2,8 m og et areal på cirka 380 m². Den mobile løsning vil bestå af sandsække eller watertubes og anvendes kun i tilfælde af stormflod og vurderes derfor ikke nærmere.

Begge løsningsforslag ligger indenfor skovbyggelinjen (Figur 0.8), og der skal derfor søges dispensation inden de udvalgte løsninger kan opføres. Det samme gælder strandbeskyttelseslinjen, som begge løsningsforslag vil berøre (Figur 0.8).

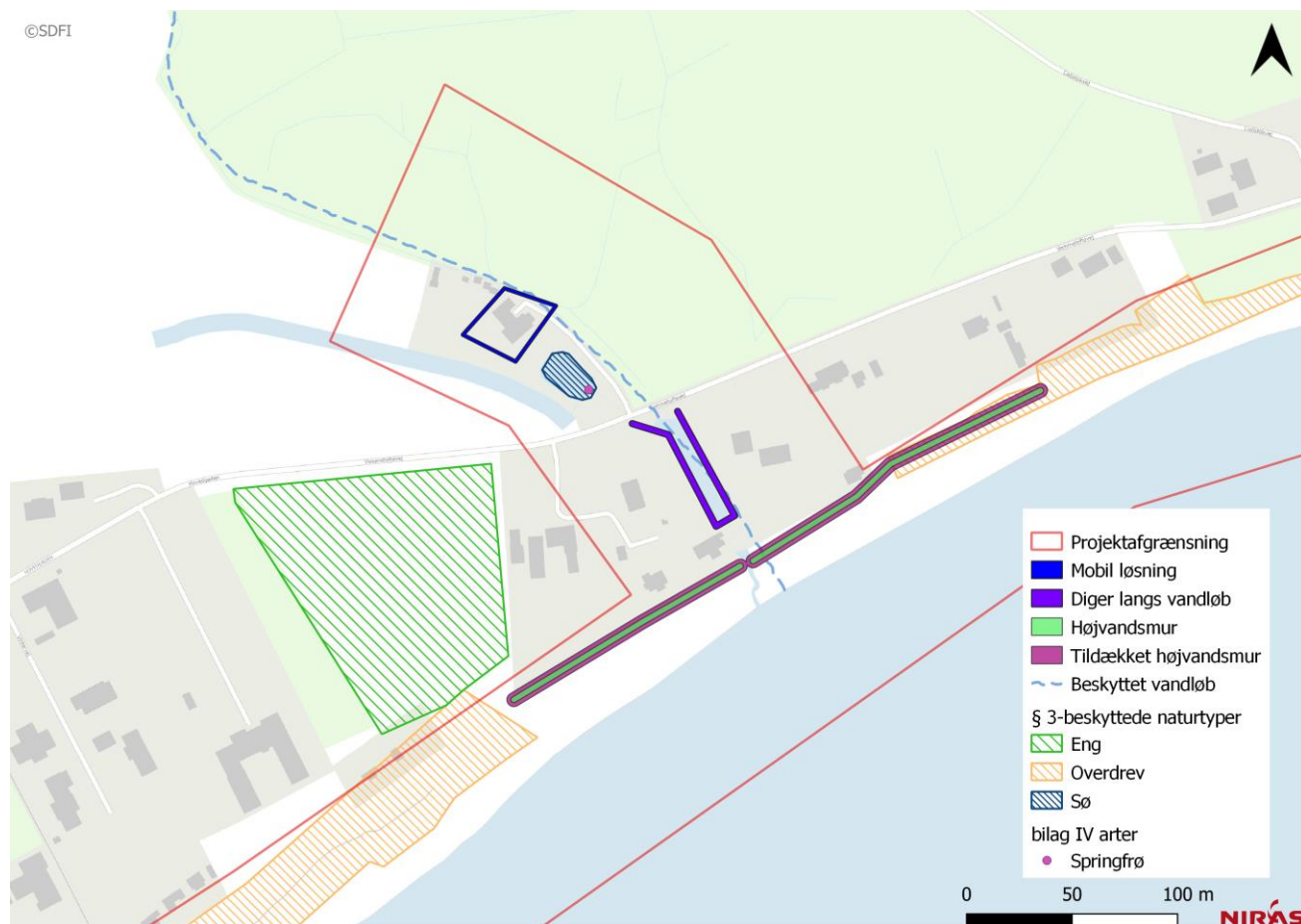


Figur 0.8: De nordlige løsningsforslags placering i forhold til strandbeskyttelseslinjen og skovbyggelinjen. Løsningsforslagene består af enten en højvandsmur eller en tildækket højvandsmur ud mod stranden, suppleret med diger langs vandløbet og en mobil løsning omkring en enkeltliggende bolig.

Beskyttet natur og vandløb

Etablering af diger langs vandløbet kan potentielt påvirke det beskyttede vandløb, hvis digerne ligger for tæt op ad vandløbet. Det skal beskrives og vurderes nærmere. Højvandsmuren påvirker cirka 226 m² af overdrevet i den nordlige ende, og ligger desuden lige op ad det beskyttede vandløb (Figur 0.9). Den tildækkede højvandsmur påvirker cirka 534 m² af overdrevet i den nordlige ende, og etableres ligesom højvandsmuren op ad det beskyttede vandløb. For at minimere påvirkning af beskyttet natur anbefales løsningen med højvandsmuren

(uden tildækning), da den påvirker under halvt så meget § 3-overdrev, sammenlignet med den tildækkede højvandsmur (Tabel 5.2). Alternativt kan det undersøges om højvandsmuren kan rykkes så påvirkning af overdrevet undgås. Det anbefales at foretage besigtigelse og afgrænsning af overdrev i forsommer/sommer 2025, da der ikke fremgår nyere besigtigelser i Naturdata.



Figur 0.9: Løsningsforslag på den nordlige del af kyststrækningen, i forhold til § 3-beskyttede naturtyper, bilag IV-arter, og et beskyttet vandløb. Løsningsforslagene består af enten en højvandsmur eller en tildækket højvandsmur ud mod stranden, suppleret med diger langs vandløbet og en mobil løsning omkring en enkeltliggende bolig.

Arter og flagermusegnede træer

Der forekommer træer, der potentielt kunne være flagermusegnede langs med vandløbet. Der er blevet fundet springfrø, som er en bilag IV-art, i nærheden af vandløbet, og man bør være opmærksom på ikke at påvirke dens yngle- og rastesteder. Desuden er den rødlistede art silkehåret posesvamp fundet tæt ved, hvor digerne langs vandløbet er planlagt.

Opsummering

Opsamling af anbefalede besigtigelser:

- Besigtigelse og afgrænsning af overdrev i forsommer/sommer 2025.
- Vurdering af om der er træer med yngle- eller rastesteder for flagermus.

Det anbefales på det foreliggende grundlag at vælge løsningsforslaget med højvandsmur, da dette påvirker § 3-beskyttet natur mindst muligt. Desuden anbefales det at undersøge om højvandsmuren kan rykkes udenfor overdrevet.

Tabel 0.2: Nordlige løsningsforslags påvirkning på natur og miljø.

Løsningsforslag	Højvandsmur	Tildækket højvandsmur
§ 3 overdrev	226 m ²	534 m ²
Beskyttet vandløb	Nær	Nær
Skovbyggelinje	Ja	Ja
Strandbeskyttelseslinje	Ja	Ja
Flagemusegnede træer	Ja potentielt	Ja potentielt