

# Kystbeskyttelse ved Sønderballe Strand

Rapport for design grundlag

Sønderballe Strand, Haderslev 6100

Udarbejdet af: BRSC  
Kontrolleret af: CHRO  
Godkendt af: CHRO  
Dato: 07.09.2023  
Version: 2  
Projekt nr.: 1021368

**Artelia A/S**  
Buddingevej 272  
DK-2860 Søborg  
+45 4457 6000  
CVR: 64 04 56 28  
[www.arteliagroup.dk](http://www.arteliagroup.dk)

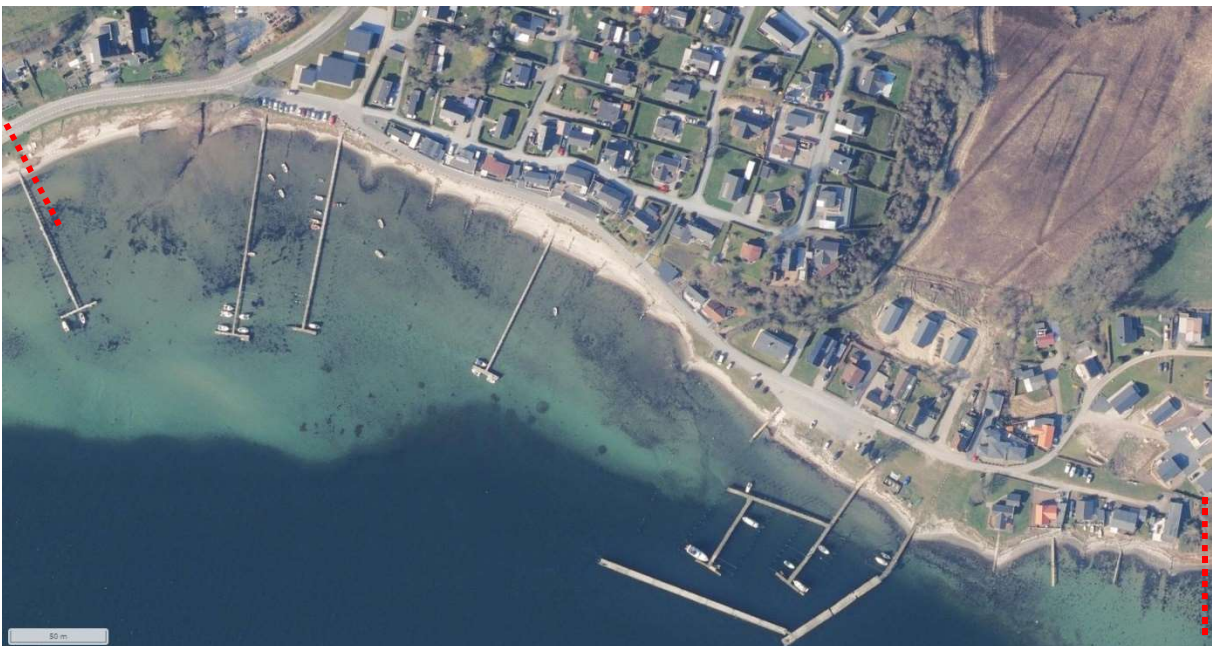
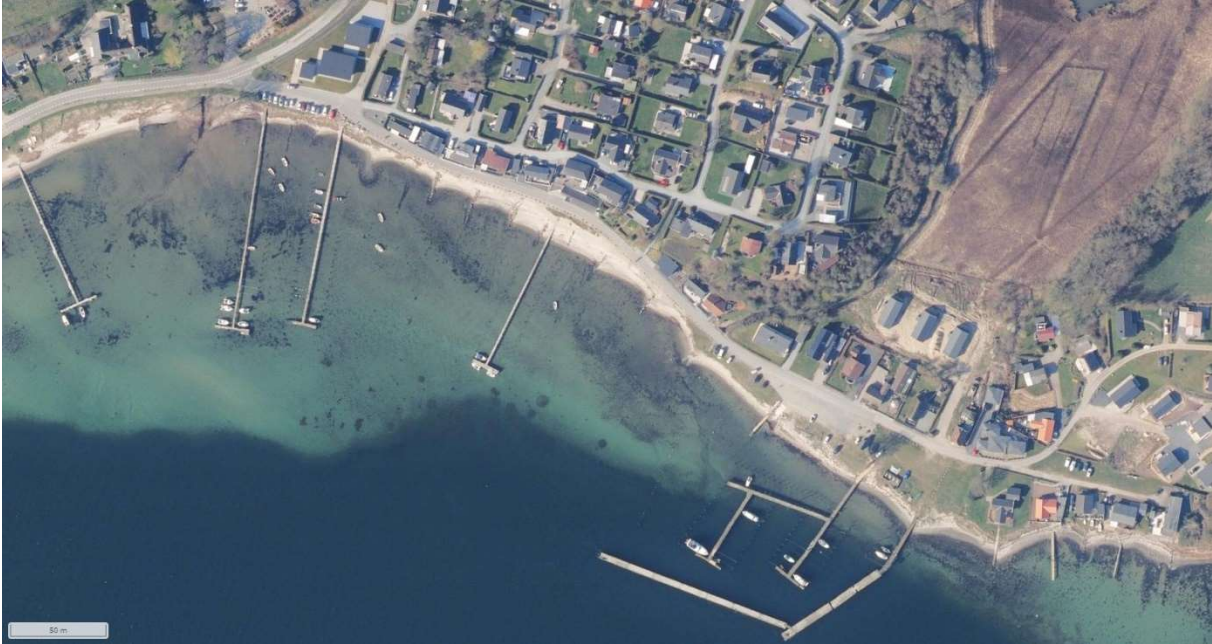
## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Indledning.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Lokal analyse af sedimenttransport .....</b>	<b>5</b>
2.1	Beboernes iagttagelse.....	5
2.2	Historisk grundlag .....	9
2.3	Kystdirektoratets strategiplan .....	12
<b>3</b>	<b>Dimensioneringsgrundlag for erosions- og oversvømmelsessikring.....</b>	<b>15</b>
3.1	Principper for løsningsmuligheder.....	15
3.2	Geografiske forhold .....	15
3.2.1	Bagland, udløb og åer .....	16
3.2.2	Geologien ved Sønderballe Strand .....	17
3.3	Kyst og batymetri.....	18
3.3.1	Strækning og koter.....	18
3.3.2	Sediment .....	20
3.3.3	Batymetri .....	20
3.4	Bølgeklima - Metocean og kysthydraulik.....	22
3.4.1	Bølge data og estimerede sediment transport.....	22
3.4.2	Bevægelse af sediment .....	24
3.4.3	Observeret kystændring .....	24
3.4.4	Storm og havstigning .....	25
3.5	Registrerede stormflodshændelser .....	26
<b>4</b>	<b>Design kriterier .....</b>	<b>28</b>

## 1 Indledning

Sønderballe Strand er en mindre by syd for Haderslev i den nordvestlige del af Gennerbugten, som primært fungerer som sommerhusområde.

Sønderballe Strand har en forholdsvis kort kyststrækning på omkring 650 meter, strækkende fra Sønderballevejs udløb mod nordvest til lidt syd for lystbådehavnen mod sydøst. Området og strækning er vist på Figur 1



Figur 1 Ortofoto oversigt fra Scalgo af Sønderballe Strand.

Stranden og lystbådehavnen benyttes hyppigt af beboer og sommerhusejer, som har erfaret at stranden har ændret sig over det sidste årti, og at strandens geometri ændrer sig væsentligt under storm. Yderligere er der blevet observeret oversvømmelser af Sønderballe Strand (vejen), som løber langs stranden. Der er også udfordringer for lystbådehavnen mod sydøst, som er præget af bølgeuro der beskadiger flydebroen og havnepladserne. Den nuværende udgangsbro som er en betonflydebro, har vist sig at være bølgereducerende, men det er uvist hvordan den præcist påvirker sedimenttransporten.

Lokalsamfundet har derfor ønsket at granske mulighederne for at beskytte kysten mod bølger, erosion og oversvømmelse, så der kan skabes et stabilt rekreativt område til gavn for hele lokalsamfundet.

For at løse opgaven bedst muligt er der igangsat en opgave med at analysere forholdene, foreslå løsningsmuligheder, og indsamle et designgrundlag for at opnå den bedst mulige forståelse af de kysthydrauliske forhold. Dette er en nødvendighed for at vurdere hvad ændringer vil medføre for netop sedimenttransport og erosion. En ting er at registrere, hvad der sker, noget andet er at analysere sig frem til, hvad der vil ske når det forsøges at påvirke sedimenttransporten.

Til dette hører indsamling af forskellige faktuelle forhold, samt lokale beboeres registreringer. Bare det at kunne konkludere, under hvilke forhold at sandet bliver liggende er en brugbar observation. Rapporten opsummerer brugbare observationer fra de lokale med kendskab til stranden og havnen.

Denne rapport er den første rapport i flere delafleveringer og samler al designgrundlag. Senere rapporter løsningsforslag og et samlet program for strækningen.

## **2 Lokal analyse af sedimenttransport**

### **2.1 Beboernes iagttagelse**

Beboerne og brugere af havnen og stranden har medvirket til indsamling af mange relevante oplysninger, der kan lede til en bedre analyse af forholdene, så den reelle årsag/virkning/sammenhæng bedre kan tilrettelægges. Fremfor alt er erfaringer fra forskellige storme delt, således at resultat af en given storm med givende vindhastigheder og vindretninger kan medtages i betragtningerne.

Nedenfor på Figur 2 ses billeder taget efter der var kuling til hård kuling fra sydøstlig retning fredag d. 5. maj 2023. Det er hvad der svarer til en vindstyrke 7-8 på Beaufort skalaen. De tre første billeder viser hvordan der 90 m Vest for flydebroen blev aflejret store mængder sediment, og at rampen til søsætning af både var blevet begravet i sand. Samtidig ses der på det sidste billede, at der 10 m Vest for flydebroen har været erosion af kysten helt op til græsarealet med rekreativt område. Det tyder på enten læside erosion lige efter flydebroen, eller at der stadig er stor inertie efter bølgerne er blevet brudt, som har eroderet på læsiden og først aflejret sediment når bølgeenergien er blevet lav, ca. 60-80 m længere mod Vest.





Figur 2 Billeder taget af Jørn Høi, efter kraftigt blæsevej fra sydøst fredag d. 5. maj. Taget hhv. 90 meter Vest for flydebroen, og det sidste 10 m Vest for flydebroen.







Figur 3 Billeder taget af Gunnar Hansen, under blæsevej fra sydøst og samtidigt højvande på 1 m (fredag d. 5. maj 2023). Billederne viser opslemning af sediment i vandet, opskyl af bølgerne på kysten i højvandssituation (samme hændelse som vist på fig. 2)

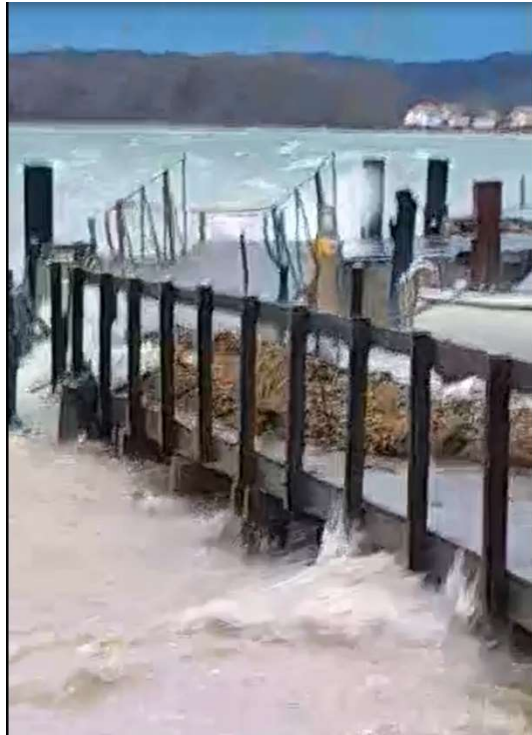
I højvande med samtidig vind fra sydøst er det tydeligt på nedenstående fotos hvordan kanten ved vejen er hårdt udsat og sand og sten eroderes. Der er forsøgt udlagt beskyttelse i form af ral, men det er også tydeligt, at dette skal gøres ud fra en bedre forståelse af hydraulikken, fordi det ellers forsvinder med tiden. Koten på kanten er ca. +1,3 m, så denne situation sker ikke ofte, men der er alligevel langt op til det observerede maksimale niveau på ca. +1,75 m.



Figur 4 Billeder taget af Gunnar Hansen, efter kraftigt blæsevej fra sydøst og højvande, efterår 2022.



Figur 5 Billeder er taget i 2018 med det højeste højvande registreret til dato.



Figur 6 Billeder fra storm ca. 1. april 2023 – bølgerne flytter rundt på de store bølgebrydende pontoner, der dog skaber et vist læ bagved.



Der er indsendt adskillige andre fotos som ikke medtages i rapporten, men disse registreringer er afgørende for at sikre forståelsen af de lysthydrauliske forhold.

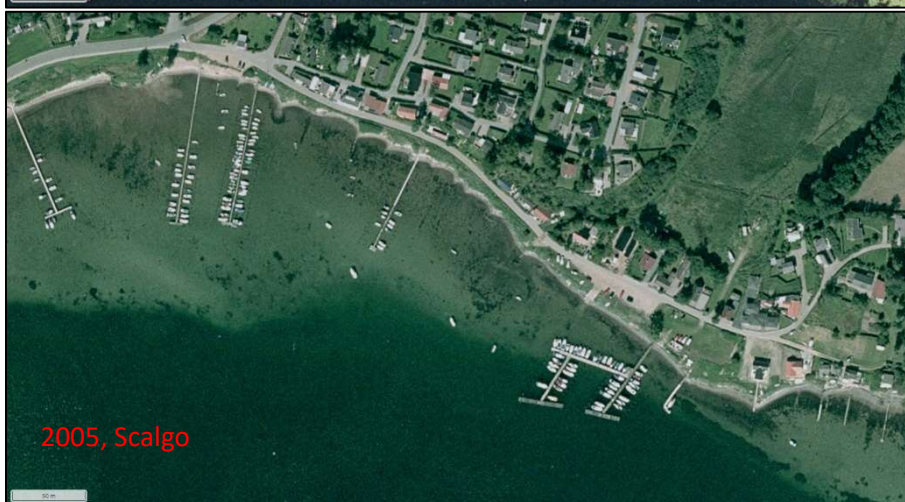
## **2.2 Historisk grundlag**

Kysten ved Sønderballe Strand har de seneste årtier haft små ændringer i geometrien såvel som i batymetrien. Små ændringer skal forstås i sammenligning med andre strækninger i Danmark med stor sedimenttransport som ved vestkysten.

Stranden ligger godt langt inde i Gennerbugten, og kysten er derfor beskyttet mod bølger fra vestlig og nordlig retning. Det betyder at den sedimenttransport der foregår langs kysten, primært må være forårsaget af bølger fra sydøstlig retning hvor bølgerne har det længste frie stræk. Selv her har bølgerne et begrænset frit stræk da Gennerbugten ligger beskyttet af både Als og Barsø. Så foruden sydøstlige bølger, har andre bølgeretninger fra syd kun haft selve Genner bugten som fritstræk. Med kystens placering er der derfor anledning til sediment transport i vestgående retning.

Hældning af havbunden har altid været lav tæt på kysten, da havbunden er tydelig mere 100 m fra kysten på ortofotos tilbage fra 1999. Det tyder på en brækzone (område hvor bølgerne brækker over) der strækker sig langt væk fra kysten, og derfor giver anledning til en stor littoral zone (kystnære zone) med sedimenttransport.

Nedenfor på Figur 7 ses kystens udvikling i ortofotos fra perioden 1999 til 2023.







Figur 7 Ortofotos af sønderballe strand fra 1999 til 2023.

Fra en kystopmåling i 1931 langs Sønderballe Strand ses det, hvordan den nordvestlige kyststrækning er rykket ind, mens der har været en fremrykning længere mod sydøst. Fremrykningen kan både skyldes sedimentaflejringer fra den længdegående sedimenttransport og sandfodring. Den store fremrykning (markeret med rød) forventes at stamme fra anlægningen af flydebroen til lystbådehavnen.





Figur 8. Kort over Sønderballe strand, med sort linje der markerer kystopmålingen fra 1931. Kortet er fra Kystdirektoratets kystatlas.

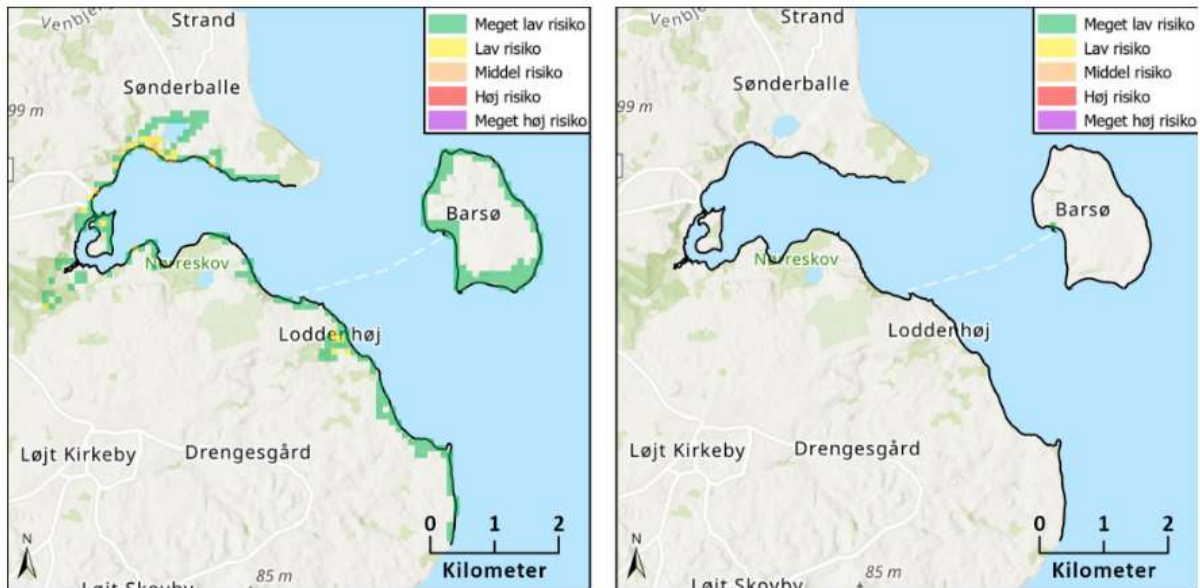
### 2.3 Kystdirektoratets strategiplan

I 2017 nedsatte regeringen en tværministeriel kommission der skulle komme med forslag og initiativer til hvordan de danske kyster kunne forebygges mod erosion og de forværende klimaforandringer. I den forbindelse blev Kystplanlæggeren 2120 udarbejdet. Kystplanlæggeren indeholder strategier og forslag til kystbeskyttelse for hele Danmarks kyststrækning. Den indeholder også prognoser for hhv. 20, 50 og 100 år ude i fremtiden.

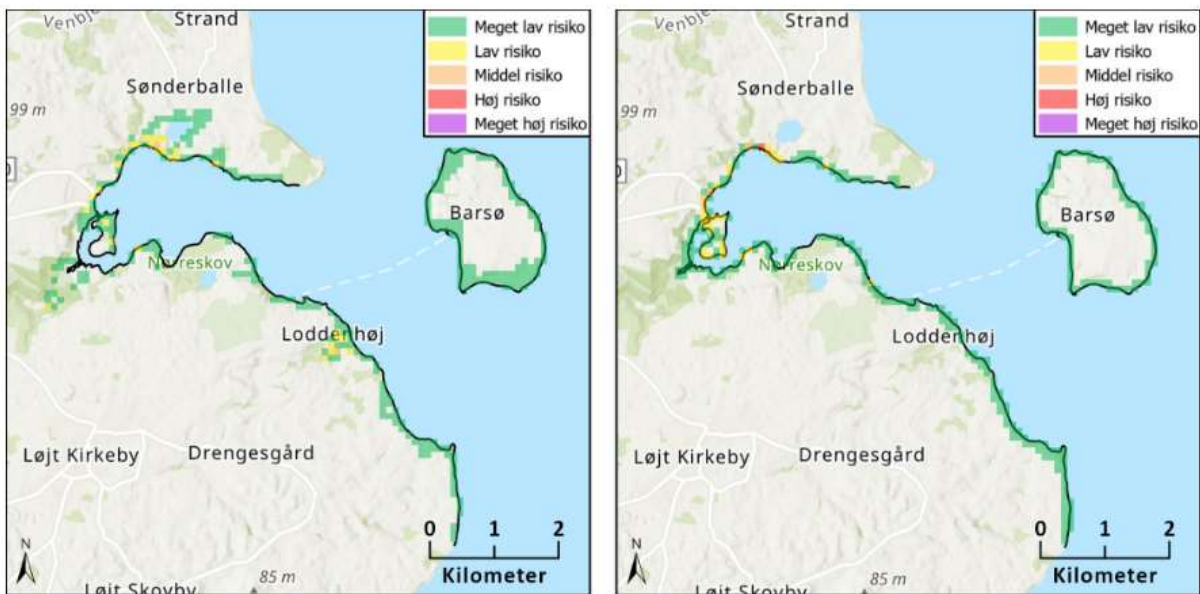
Sønderballe Strand ligger under kyststrækningen J7.03.11. Kystdirektoratets rapport for strækning J7.02.11, deklarerer at den øget risiko for skader frem til og med deres 50 års vurdering, er en øget risiko som ikke nødvendigvis kræver intervention, andet end accept og parathed i lokalsamfundet.

Rapport J7.03.11 angiver at der for 20 års scenariet er middel risiko for skader som følge af oversvømmelse ved Sønderballe Strand, og meget lav risiko for erosions skader. For 50 års scenariet vurderes der ingen ændringer i risikoen for oversvømmelse, men en lav til høj risiko for erosions skader. Hvor der for 100 års scenariet vurderes, at være en middel til høj risiko for erosionskader langs Sønderballe Strand, se Figur 9 - Figur 11.

# Kystbeskyttelse ved Sønderballe Strand



Figur 9 Risikokort for 20 års vurderingen af oversvømmelse (venstre) og erosion (højre). Kystplan rapport for J7.03.11 - Kystdirektoratet.



Figur 10 Risikokort for 50 års vurderingen af oversvømmelse (venstre) og erosion (højre). Kystplan rapport for J7.03.11 - Kystdirektoratet.



Figur 11 Risikokort for 100 års vurderingen af oversvømmelse (venstre) og erosion (højre). Kystplan rapport for J7.03.11 - Kystdirektoratet.

Rapporten for strækning J7.03.11 angiver et minimalt løsningsforslag i form af parathed blandt lokal-samfundet og på sigt sandfodring for at tilbageholde tilbagerykningen af kysten, da der er beboelse tæt på kysten. Rapporten angiver også en signaturforklaring der beskriver omkostningerne ved de forskellige risikovurderinger, se Figur 12.



Risikoværdier under 10 kr. pr. år vises ikke.

Figur 12 Signaturforklaring for omkostning ved forskellige risikovurderinger.

Kystdirektoratet angiver i deres Kystatlas, at der forventes at være en tilbagerykning af kyststrækningen på læsiden af flydebroen (nordvest) og en fremrykning på luvsiden (sydøst), jf. Figur 13.

Antagelsen fra kystdirektoratet må være at flydebroen fungerer som en hofde, der skaber luvside aflejring og læsideerosion. Men flydebroen når ikke søbunde og fungerer derfor højst som bølgebryder og som en hofde for højt suspenderet sediment. Der vil stadig være en bundtransport under flydebroen.

Der ses dog en uoverensstemmelse mellem den formode fremrykning og tilbagerykning angivet i Figur 13 og de kystændringer der kan observeres ved kystmålingen fra 1931 på Figur 8 og ortofotos i Figur 7. De viser begge lokale tilbagerykninger og fremrykninger på luvsiden af broen, som er forventeligt i forhold til de små hofder der er placeret på luvsiden. På den første strækning af læsiden ses der til gengæld en fremrykning og ikke en tilbagerykning. Først et stykke henne oppe af læsidestrækningen, viser alle tre figurer en tilbagerykning.





Figur 13 Kort der angiver zoner med mild tilbagevækst (sort streg) og fremrykning (grøn streg), fra Kystdirektoratets Kystatlas.

### 3 Dimensioneringsgrundlag for erosions- og oversvømmelsessikring

#### 3.1 Principper for løsningsmuligheder

Med nærværende opgave ønskes en løsning på tre forskellige parametre:

- a) Erosionsforhold langs stranden og en løsning til at sikre en så god strand som muligt.
- b) Højvande både nu og i fremtiden i forhold til oversvømmelse af de lavest liggende områder.
- c) bølger i forhold til havnen og bådpladserne.

Det ønskes at den løsning der vælges, i så høj grad som muligt imødekommer de tre forhold og løser dem så vidt muligt. Nogle løsninger modarbejder dog andre løsninger, og det skal naturligvis forhindres.

I senere rapport vises mere om mulige løsninger – her er de kun opsummeret i indledningen for at sikre at datagrundlaget hænger sammen med de relevante muligheder.

Der findes flere alternativer til hindring af sediment transport langs kyster, og til højvandssikring. Det er vigtigt at påpege at ingen løsninger stopper sedimenttransporten, men at løsningerne bremser og eller ændrer sedimenttransporten. Alle metoder findes i flere udformninger og med muligheden for tilpasning.

#### 3.2 Geografiske forhold

Sønderballe Strand har et varierende landskab langs kysten, hvilket giver anledning til en del niveau-spring.



Figur 14 viser et koteniveau kort for Sønderballe Strand, med inddeling pr. 0,5 m. Kote efter DVR90. Fra Scalgo.

### 3.2.1 Bagland, udløb og åer

Nord for Sønderballe strand ligger Hopsø, som mange strømningsveje fører ud i. Hopsø har et strømningsopland på et par kvadratkilometer, hvilket betyder der er en forholdsvis stor udstrømning fra Hopsø og ud i Gennerbugten, især ved skybrud. Udløbet fra Hopsø kan ses på Figur 15, hvor den løber mellem de to forhøjninger nede i dalen.

Der er et stort vådområde rundt om Hopsø, og i dalen ud mod Gennerbugten. Vådområdet oversvømmes ved skybrud og havstigninger. Med løbende større havstigninger og voldsommere skybrud, udgør det en fare for oversvømmelse af boligområdet indkredset med rød stiplede linje på Figur 15. Oversvømmelsesfaren fra havstigninger kunne, forhindres ved opsætning af en barriere ved ind/udløbsrøret, der kan sættes for i tilfælde af storm. Såfremt der også opsættes en højvandsmur. Det hindrer dog ikke muligheden for oversvømmelse ved skybrud. Konsekvenserne ved skybrud er dog væsentligt mindre end ved havstigning.



Figur 15 viser et koteniveau kort for Sønderballe Strand, med inddeling pr. 2,5 m og kontur inddeling. Kote efter DVR90. Viser ligeledes vandudløb ved stranden. Fra Scalgo.

Der er også et ind/ud-løbsrør i det nordvestlige hjørne, som ligeledes har et par kilometers strømningsopland. Strømningsvejen ligger dog i en smallere dal med stejlere skrånninger, end den ved Hopsø. Beboelsen ved den nordlige strømningsvej er også i et højere koteniveau, og giver derfor ikke samme risiko i forhold til oversvømmelse.

### 3.2.2 Geologien ved Sønderballe Strand

Der ligger fire boreriger ved Sønderballe Strand Camping, som alle er udført mellem 1956 og 1968. Boringerne har terræn mellem DVR90 +2,5 m og +11,0 m, og viser alle tegn på en anelse leret og sandet fyldt op til den første halve meter under terræn. Dernæst er der tegn på primært moræneler de næste mange meter, afbrudt i ny og næ af diluvialsand, og med enkelte tyndelag af silt, og eller organiske jordlag såsom gytje. Det meste af jordbunden består af moræneler, hvilket også understøttes af fritliggende lerlag langs kysten ved skoven Øst for lystbådehavnen, se Figur 16.





Figur 16 Skrænt mellem skov og strand, Øst for lystbådehavnen. Foto af Carsten Rønnow.

På baggrund af områdets placering og de geotekniske boringer, samt de store spring i batymetrien der kan ses i sektion 3.3, formodes det at de øverste lag i havbunden er marint sand, men at der et par meter under træffes moræneler. Hvis der skal funderes i havbunden, skal der dog udføres boringer for at kortlægge geologien ved kysten.

### 3.3 Kyst og batymetri

Kysten ligger både på landsiden og på vandsiden ret tæt på DVR90 +0,0 m. Som det også kan ses i sektion 3.2, så ligger vejen ikke meget mere end en meter over havoverfladen, og samtidig ligger den meget tæt på stranden. En strand som også har en ret lav hældning.

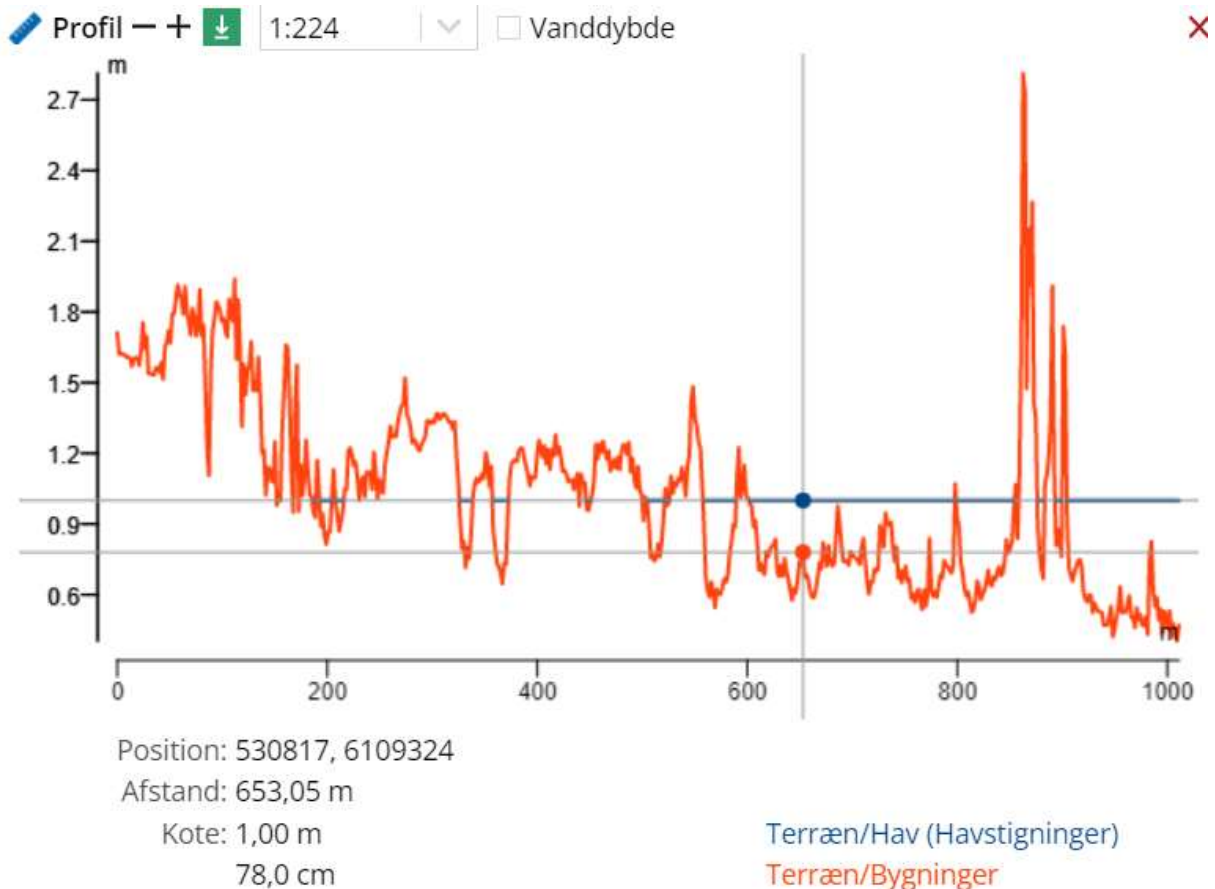
#### 3.3.1 Strækning og koter

Som beskrevet ligger vejen højst mod nordvest og sydøst, mens den på midten af strækningen ligger lavest. Scalgo's kote kort viser at vejen langs det laveste område ligger lige over kote +1,0 m. Den 16/05/2023 var Skovgaard Landinspektørfirma ude og lave en opmåling af kantstenen langs vejen Sønderballe Strand. Opmålingen er vist på Figur 17, hvor den laveste kote for vejen er målt til kote +1,24 m.

På Figur 18 ses et længdesnit af kysten der er forsøgt optegnet ved skillelinjen mellem sand og græs. Første akse af en længdemåling fra det nordvestlige udløb og gående mod sydøst. Anden akse er en kote måling i DVR90. Længdesnittet viser at de laveste skillelinjer ligger i kote ca. +0,6 m, og nok lidt højere.



Figur 17 viser opmåling af kantstenen fra det lavest liggende område og ned mod lystbådehavnen. Opmåling udført af Skovgaard Landinspektørfirma.



Figur 18 viser en kote opmåling langs kysten. Måling er forsøgt tegnet efter skelnet mellem sand og græs. Optegnet i Scalgo.

### 3.3.2 Sediment

Det har ikke været muligt at bestemme kornstørrelsen af sandet, men med små sten i den udtaget prøve estimeres det at median kornstørrelsen er på  $d_{50} \approx 0,65$  mm. Det er svarende til lettere groft sand. Det er nødvendigt ved evt. sandfodring at præcisere kornstørrelsen så der kan findes sand, der passer til de nuværende forhold.

### 3.3.3 Batymetri

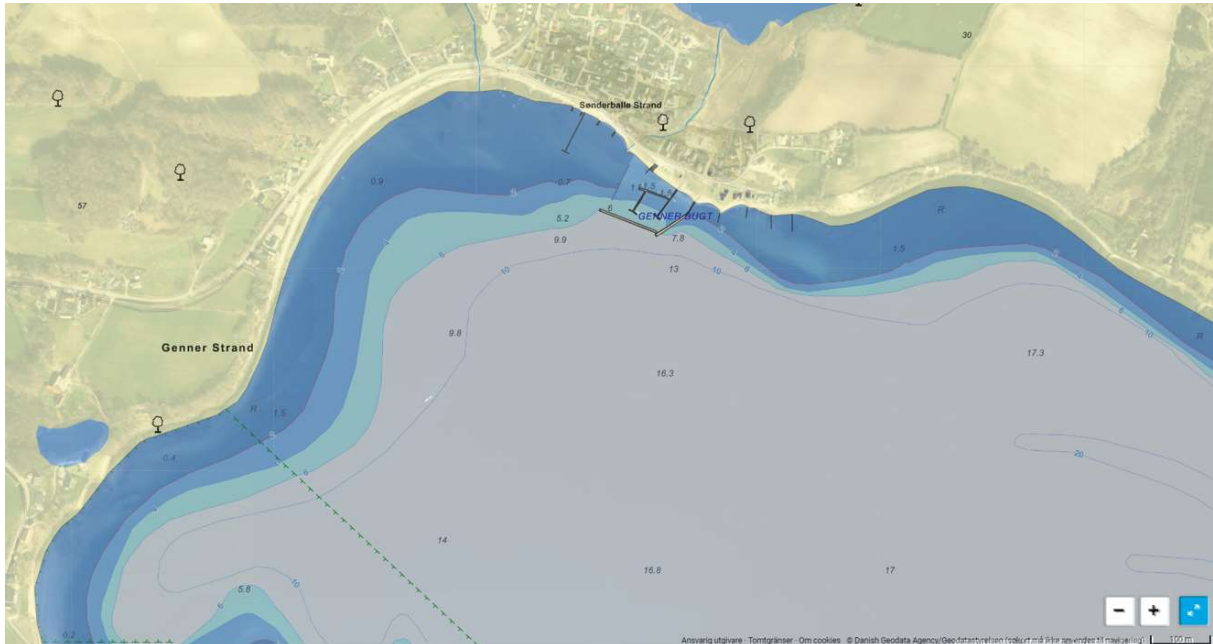
Batymetrien tæt på kysten er meget højtliggende, så der er lav vanddybde langt ud fra kysten, som det kan ses på Figur 19. I den nordvestlige del af stranden, er batymetrien højst, og det er først omtrent 150 m fra kysten at vanddybden når 2 m. Når skelet først begynder, så er vanddybden hurtigt voksende med afstanden fra kysten. Omtrent 100 meter længere ude bliver dybden ca. 10 m.

Længere mod sydøst, ned mod lystbådehavnen kommer batymetrilinjerne nærmere hinanden. Batymetrilinjen på 2 m, ligger her kun omtrent 30-45 m fra kysten, og den efterfølgende skrænt er omtrent dobbelt så stejl, da man kun skal yderligere ca. 50 m ud for at nå 10 m dybde.

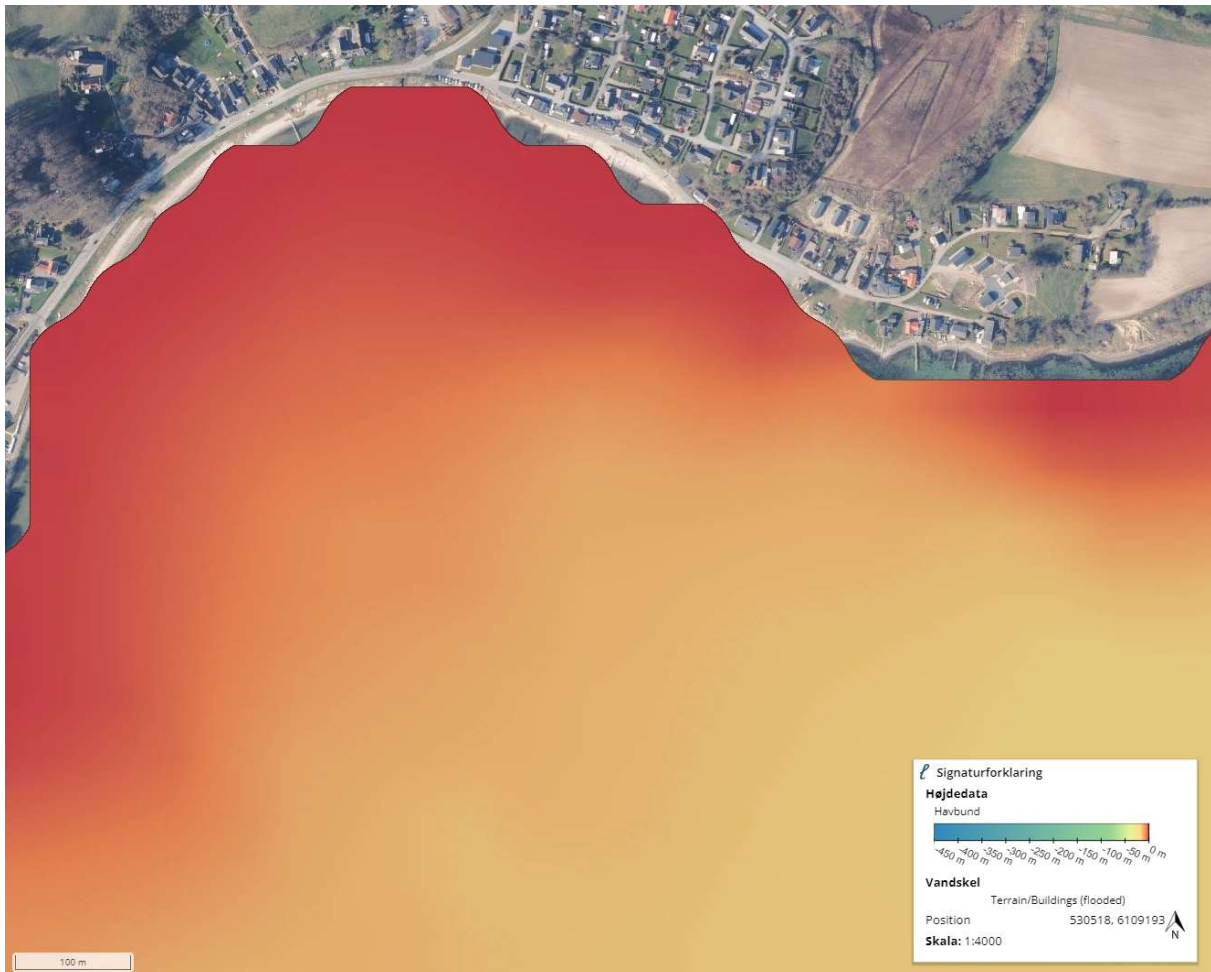
Inde i lystbådehavnen må der være gravet lidt ud da vanddybden ikke er meget lavere en 1,5 m. Figur 19 viser ligeledes et skel i batymetrilinjer langs flydebroen, så der på ydersiden af broen er omtrent 8 m dybt.



På Figur 20 ses batymetrikonturer i Gennerbugten fra Scalgo's opmålinger. Og selvom figurerne adskiller sig ved hhv. skillelinjer og konturer, så ses det stadig er der er lidt uoverensstemmelse mellem de to opmålinger i forhold til batymetrien, men at de overordnede set er ens.



Figur 19 viser batymetrilinjer for gennerbugten og Sønderballe Strand, enheden er i meter under havoverfladen (+0,0 m). Opmåling i Eniro.



Figur 20 viser batymetrikonturerne ved Sønderballe Strand i Gennerbugten. Kort fra Scalgo.

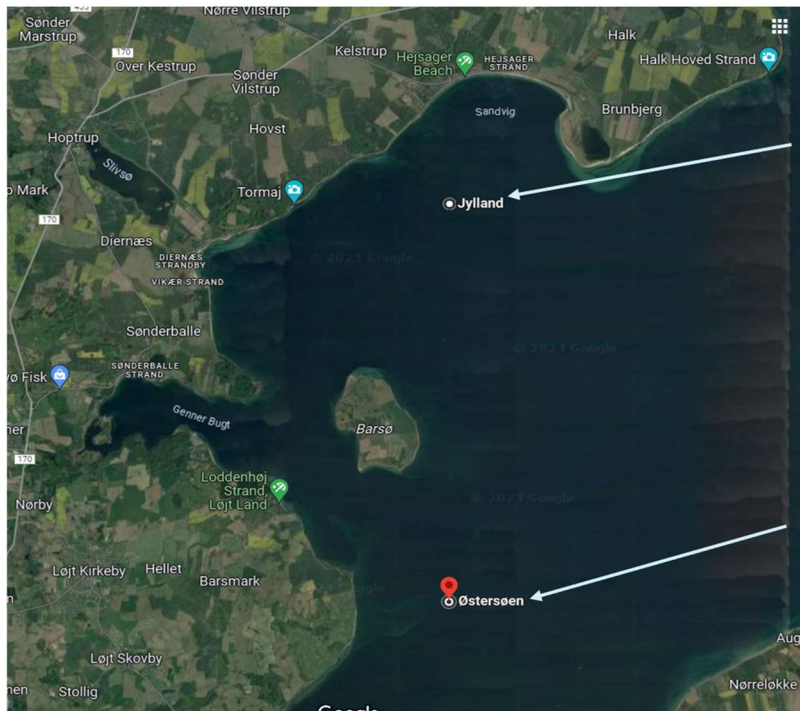
### 3.4 Bølgeklima - Metocean og kysthydraulik

De hydrauliske forhold langs kysten har stor betydning for kystens udformning, og især den længdegående transport (Longshore transport) har stor betydning. Da der ikke ligger noget data til grund for at lave sedimenttransport beregninger, har det været nødvendigt at estimere parametre ud fra det data grundlag som kommer nærmest. Batymetrien er f.eks. blevet estimeret på baggrund af dataet angivet i sektion 3.3.3.

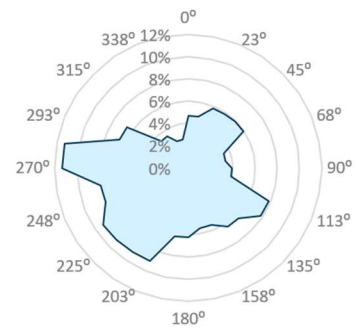
#### 3.4.1 Bølge data og estimerede sediment transport

Alt bølgedata ligger frit tilgængeligt og er indhentet fra EU's Copernicus satellit, gennem Mecator Ocean.

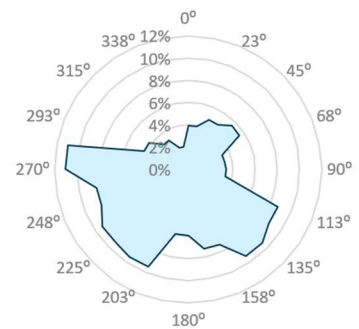
Der var ingen data tæt på Sønderballe Strand for signifikant bølgehøjde ( $H_s$ ) eller signifikant bølgeperiode ( $T_s$ ). Den lokation der lå nærmest var lige ud for Nordborgs kyst ( $55,08^\circ$  N  $9,75^\circ$  E). Der var dog bølgeretningsdata tættere på Sønderballe Strand som kan ses på Figur 21. Der er på baggrund af det data udformet to bølgeroser, som bruges som grundlag. Roserne indeholder dog kun retning og hyppighed, men ikke bølgehøjder.



Wave rose i 55,16° N 9,58° E



Wave rose i 55,08° N 9,58° E



Figur 21 bølgeroser ud deres geografiske lokation. Lavet på baggrund af Copernicus data.

Som det kan aflæses fra Figur 21, kommer de fleste bølger ved lokation 55,08° N 9,58° E fra vestlig til sydøstlig retning. Det stemmer overens med at vestlig retning er den mest hyppige vindretning i Danmark, og at der sker en udstrømning gennem Kattegat fra Østersøen mod Nordsøen. Da Sønderballe Strand ligger endnu længere mod Vest, nemlig inde i Gønnerbugten, må det formodes at der er en mindre hyppighed af vestlige bølger.

Punktet ud for Nordborg ligger også i læ af hele Als, så den signifikante bølgehøjde der regnes med, multipliceres med en sikkerhedsfaktor på 1,5. Nedenfor ses Tabel 1 over estimerede bølgehøjder fra sydøstlig og sydvestlig retning. Beregningerne i Tabel 1 er grove, da de er baseret på et snævert datagrundlag, og da sedimenttransportberegninger har en stor fejlmargen.

Den signifikante bølgehøjde findes som middelværdien af den øverste tredjedel af bølgehøjder bølgehøjder. Det betyder at den signifikante bølgehøjde fra sydøst overskrides omtrent 34,5 dage om året, og at den fra sydvest overskrides omtrent 36 dage om året.

Det er forsøgt at estimere en årlig brutto transport ved at finde gennemsnittet ud fra CERC-formlen, Kamphuis' formel og Deigaard's formel. Det estimeres at der kan være en langsgående sedimenttransport på 1000 m<sup>3</sup> om året. Det skal noteres, at dette ikke betyder at der forsvinder 1000 m<sup>3</sup> sand fra stranden om året. Dette er et tal for hvor meget sediment der kan bevæge sig langs kysten, det tager ikke højde for hvor meget sand der strømmer til området.

Der er blevet lavet to sigteanalyser af det marinesand ved Sønderballe strand. Kornkurverne fra sigteanalyserne har vist en median-kornstørrelse på  $d_{50}=0,15-0,20$  mm, og kan findes i bilag 1.



Tabel 1 viser de vigtigste beregnet/estimerede værdier og parametre som indgår sedimenttransport beregningerne. Bølger fra sydøst er bølger der kommer fra mellem Øst og Syd, mens bølger fra sydvest er bølger der kommer fra mellem Syd og Vest.

Parametre		Bølger fra sydøst	Bølger fra sydvest
Signifikant bølgehøjde	$H_s$	0,54 m	0,49 m
Sikkerhedsfaktor	$\gamma_{sf}$	1,5	1,5
Regningsmæssig sign. Bølgehøjde	$H_{s;RD}$	0,81 m	0,72 m
Sign. Bølgeperiode	$T_s$	2,7 s	2,5 s
Median kornstørrelse	$d_{50}$	0,65 mm	0,65 mm
Sediment til vand densitetsforhold	$s$	2,65	2,65
Angrebsvinkel	$\alpha_b$	20°	30°
Bølgelængde på dybt vand	$L_0$	11,4 m	9,8 m
Indre "closure depth"	$d_l$	1,2 m	1,0 m
Afstand fra kyst til $d_l$ (brækzone)	$\Delta$	30 m	30 m
Hældning af havbund	$\beta$	2,3°	2,0°
Angulær bølgefrekvens	$\omega$	2,3 Hz	2,5 Hz
Surf-parameter	$\varepsilon$	brydende	brydende
Median-kornstørrelse	$d_{50}$	0,15 mm	0,20 mm

Som angivet i Tabel 1 viser surf parameteren, at bølgerne er brydende bølger, hvilket er typisk for de danske kyster. Brydende-bølger er kendetegnet ved at bryde sammen tæt på kysten, nemlig i surf-zonen. Foran dem dannes der hvidt skumsprøjt, og den turbulens giver en trykændring, som kan både suspendere og deponere sediment. Brydende bølgers sediment transport primært i brækzonen og er lavere end andre typer bølgers sedimenttransport. Brydende bølger resulterer også primært i en langsgående sedimenttransport.

### 3.4.2 Bevægelse af sediment

Shields-parameteren ( $\varphi$ ) er den mest benyttede parameter til at definere om sediment sættes i bevægelse af de kræfter som virker på dem. Med de antaget og estimerede parametre angivet i Tabel 1, fås der ved tre meters dybde et Shields tal i omegnen af 0,25. Den kritiske værdi for Shields der angiver grænsen for hvornår sedimentet sættes i bevægelse, ligger på omtrent 0,04. Der er altså rig mulighed for at bølgerne kan forårsage sediment transport.

### 3.4.3 Observeret kystændring

Ud fra de ortofoto vist i Figur 7 (1999-2021), er det forsøgt at optegne kystændringerne gennem årene, og estimere hvor meget sand der er forsvundet helt tæt på kysten. Den mængde sand der er forsvundet vurderes til at være i omegnen af 75 m<sup>3</sup>, svarende til et gennemsnit på 18 m<sup>3</sup> om året.

#### 3.4.4 Storm og havstigning

Kystdirektoratet udarbejder højvandsstatistik for flere af Danmarks byer, ligesom de foreskriver vandstandsstigninger som følge af klimaforandringer. Åbenrå er den by i højvandsstatistikker der ligger nærmest Sønderballe, og benyttes derfor som sammenligningsgrundlag.

I kystdirektoratets højvandsstatistik rapport fra 2017, er der for Åbenrå angivet en 100-årshændelse til ca. 1,75 m, men dette er uden bølgetillæg og uden havvandsstigning. Omkringliggende byer som Haderslev, Assens, Fynshav og Sønderborg har ligeledes 100-årshændelser af 1,75-1,81 m stigninger, så Åbenrå må betragtes som det bedste designgrundlag. Det anbefales, at denne sikringskote i sidste ende tilrettelægges nøje efter alles interesser og krav. Indtil videre er det bare fornuftigt at regne med denne værdi, men det bør fastlægges i forhold til de juridiske forpligtelser, der ligger i dette.

DMI har i deres rapport, *'DMI Report 18-16, Sea level data 1889 - 2017 from 14 station in Denmark'* målt en vandstigning på ca. 10 cm over de seneste 50 år for Fynshav, hvilket er den højst målte vandstandsstigning i rapporten.

Det anbefales at vælge fleksible løsninger ift. højvandssikring, sådan at der sikres til en høj højvandskote nu, uden at den dog er alt for høj. Det vil sige, at hvis funderingen udføres solidt nok, kan samme løsningsprincip forhøjes senere, når den reelle vandstandsstigning er slået igennem. Således kan man forhøje sikringen 2-3 gange på 50 år.

I forhold til den forventede vandstandsstigning over de næste år, så er det DMI og Kystdirektoratet, der har udarbejdet klimaudviklingsprognoserne. En typisk benyttet prognose er det scenarie, som hedder SSP5 – 8.8. Dvs. et scenarie hvor udledning af CO<sub>2</sub> ikke falder nævneværdigt, hvilket bevirker en høj temperaturstigning med afsmeltning af indlandsis og forhøjet vandstand til følge. Det skal siges, at der har været arbejdet med forskellige scenarier, men det har vist sig at den mest kritiske er den der passer bedst med udviklingen, og det er den der er nævnt her. Den forudsiger, at ved slutningen af århundredet er vandstanden steget med ca. 70 cm i Sønderballe. Usikkerheden varierer imellem 30-130 cm. Hvis man benytter tallene lineært, svarer det til en stigning på 20 cm på 20 år. Det er en vandstand man skal lægge til den maksimale vandstand for stormflod, hvis man vil sikre sig imod dette de næste 20 år. Om 20 år kan man så vurdere, hvad stigningen er blevet til og deraf beslutte hvad der skal ske.

Nedenfor på Figur 22 kan det ses hvordan dele af Sønderballe Strand vil oversvømme når der er højvandsstigning på en meter. Stranden vil flyttes næsten helt op til vejen, og indstrømningen til Hopsø vil oversvømme vådområdet, og give oversvømmelsesproblemer for huse i dalen.



Figur 22 viser oversvømmelse ved havstigning på en meter. Fra Scalgo, med DMI-prognose. Havstigning til +1,00 m

### 3.5 Registrerede stormflodshændelser

På Figur 23 ses det hvordan Sønderballe Strand oversvømmede d. 4. januar 2017, da den "Stille Storm" indtraf. Højvandet indtraf som resultat af længere tids kraftige vinde der har presset vand in i Østersøen. Som vindene lagde sig, kom "badekarseffekten" i spil og vandet kom strømmende tilbage mod Nordsøen, og gav den højeste vandstand målt i Åbenrå i 36 år. Vandstanden steg med hele 1,77 m.

Resultatet af en lidt mindre storm (Alfreida, 2019) kan ses på Figur 23. Her kan det ses hvordan en storm der ikke er en 100-årshændelse, stadig har oversvømmet store dele af Sønderballe Strand.

Til sidst kan det på figur Figur 25, ses hvordan en højvandsmur, der er hævet 2 m over nuværende terræn (ca. kote +2,5 m) ville beskytte mod en højvandssituation på to meter. Her er der også installeret en stormflodsbarriere ved vandløbene, så det sikres at Sønderballe Strand ikke oversvømmes fra tilbageløb ad åen op mod Hopsø.

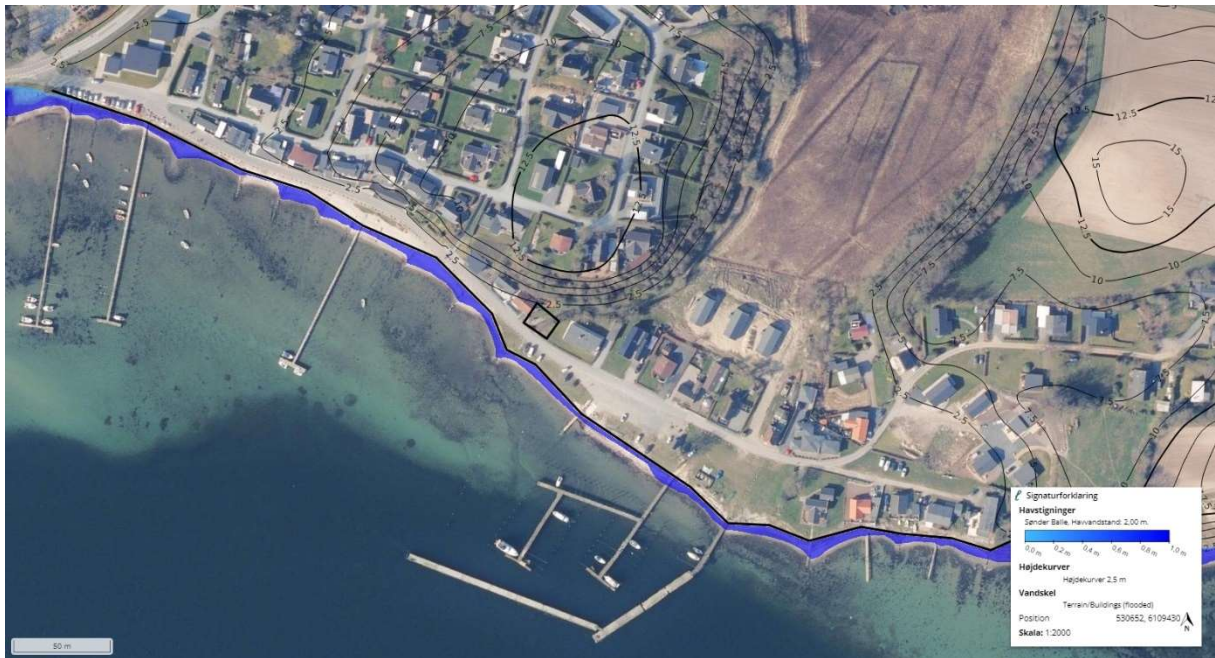




Figur 23 Oversvømmelse ved Stille Storm i 2017. Fra Scalgø, med DMI-prognose. Havstigning på 1,77 m i Åbenrå.



Figur 24 viser oversvømmelse ved stormen Alfrida i 2019. Fra Scalgø, med DMI-prognose.



Figur 25 viser hvordan en højvandsmur på to meter over nuværende terræn beskytter mod to meter højvande. Samtidig er der blevet installeret en barriere ved vanløbende. Lavet i Scalgo.

#### 4 Design kriterier

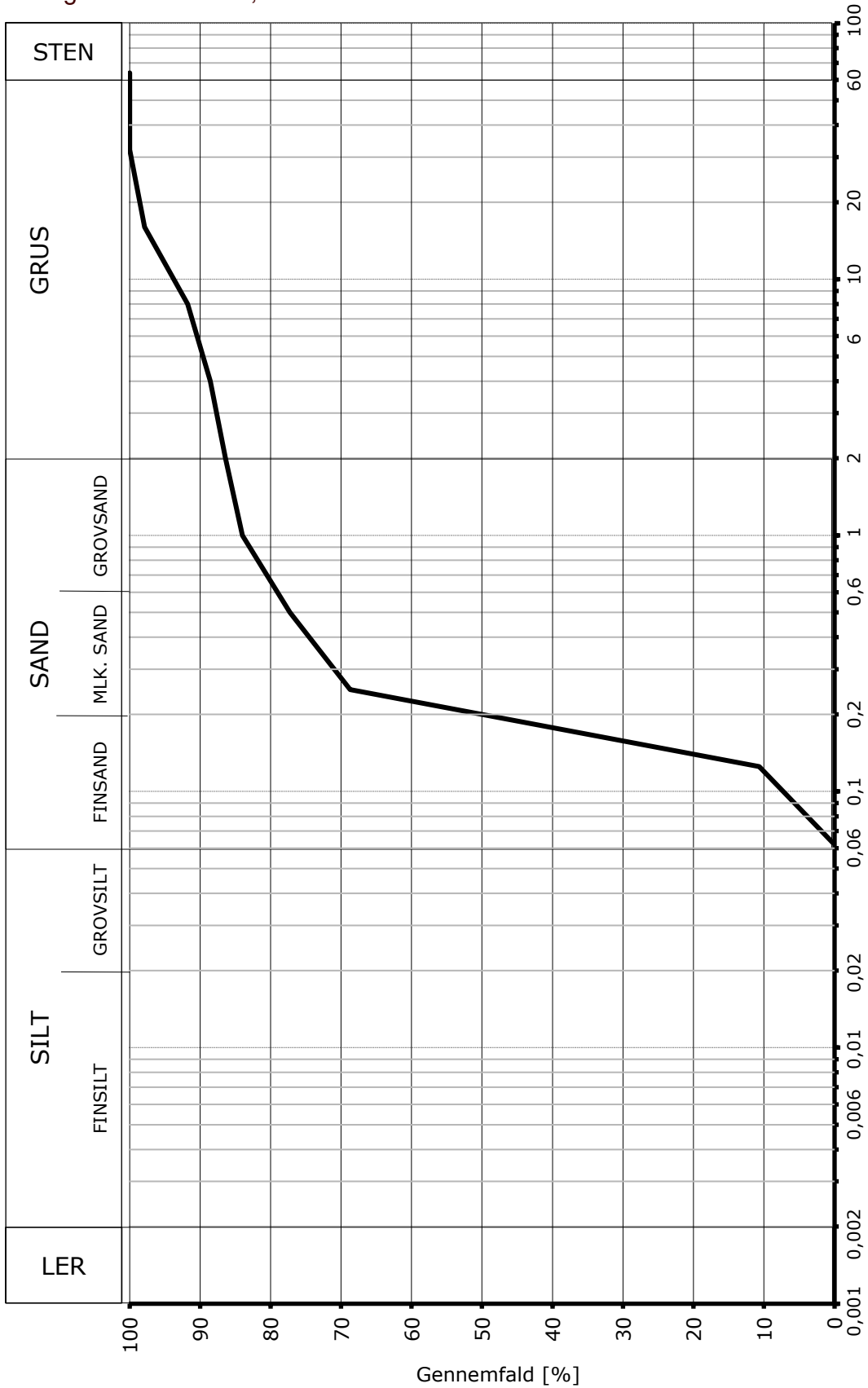
Det anbefales gradvist at højvandsikre Sønderballe Strand op til kote +2,50 m indenfor den næste 50 års periode. Herved tages der til dels højde for fortsat vandstigning, forværring af 100-årshændelser med klimaforandringer og afvigelser i højvands-scenarier.

Højvandssikringen kan med fordel udføres i etaper, således at der ikke startes ud med det højeste niveau (der er rettet imod en vandstandsstigning på 50 cm på 50 år).

Såfremt det ikke ønskes regelmæssigt at skulle kystfodre stranden, og jævnligt udbedre skader efter storme, bør der investeres i kystbeskyttelse, der enten bryder bølgerne langt væk fra stranden, hindrer sedimenttransport, eller reformerer stranden. Dette vurderes nærmere i rapport 2.

Der anbefales som minimum at designe beskyttelsen ud fra en signifikant bølgehøjde på 0,81 m, og en bølgeperiode på 2,7 s, jf det her refererede grundlag.

Bilag 1 - Kornkurver, Sønderballe Strand



Kornstørrelse [mm]

Sigte [mm]	Gennemfald [%]
64	100,0
32	100,0
16	97,9
8	91,8
4	88,6
2	86,4
1	84,0
0,5	77,3
0,25	68,7
0,125	10,7
0,063	0,2

Materiale: Sand-fint-mlk.,sv.gruset,få skaller,brungråt w = 23,6 %

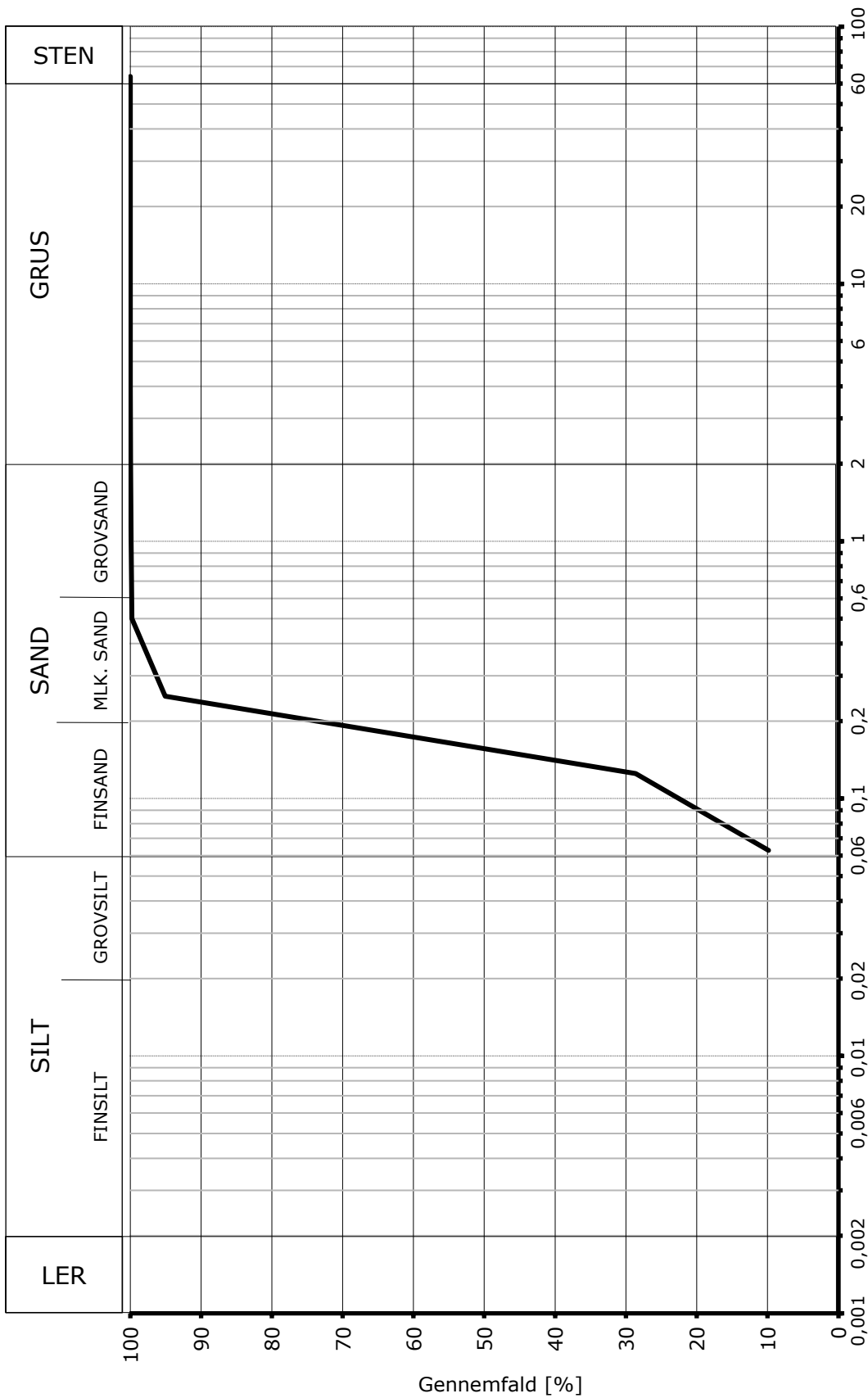
$d_{10} = 0,12$   
 $d_{60} = 0,23$   
 $U = d_{60}/d_{10} = 1,9$

Sagsnr.: 1021368-003	Udarb.: DHRA	
Sted: Sønderballe - Prøve 1	Dato: 06-09-2023	
Rekvirent: 0	Kontrol: ALM	Bilag: 1501



**Sigteanalyse**





Kornstørrelse [mm]

Sigte [mm]	Gennem- fald [%]
64	100,0
32	100,0
16	100,0
8	100,0
4	100,0
2	100,0
1	99,9
0,5	99,8
0,25	95,1
0,125	28,6
0,063	9,9

Gennemfald [%]

Materiale: Sand-fint-mlk.,sv.organiskh.,gråt/brunt w = 26,3 %

$d_{10} = 0,06$   
 $d_{60} = 0,17$   
 $U = d_{60}/d_{10} = 2,7$

Sagsnr.: 1021368-003  
 Sted: Sønderballe - Prøve 2  
 Rekvirent: 0

Udarb.: DHRA  
 Dato: 06-09-2023  
 Kontrol: ALM Bilag: 1502



**Sigteanalyse**