

SEPTEMBER 2021  
AARHUS HAVN

# BILAG 6

## UDVIDELSE AF AARHUS HAVN

NUMERISK MODELLERING AF BØLGEFORHOLD

SEPTEMBER 2021  
AARHUS HAVN

# BILAG 6

## UDVIDELSE AF AARHUS HAVN

NUMERISK MODELLERING AF BØLGEFORHOLD

PROJEKTNR.

A104076

DOKUMENTNR.

A104076-PD-014

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

16.09.2021

BESKRIVELSE

TEKNISK RAPPORT

UDARBEJDET

HGLN, PABM

KONTROLLERET

PFSM, THGI

GODKENDT

THGI

# INDHOLD

|     |                                                                                  |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Indledning                                                                       | 4  |
| 2   | Modelopsætning                                                                   | 7  |
| 2.1 | Modelbeskrivelse                                                                 | 7  |
| 2.2 | Model bathymetri                                                                 | 7  |
| 2.3 | Model randbetingelser                                                            | 9  |
| 2.4 | Model input parametre                                                            | 10 |
| 2.5 | Modelkalibrering og validering                                                   | 12 |
| 2.6 | Beregningsperioder og -scenarier                                                 | 12 |
| 3   | Resultater                                                                       | 13 |
| 3.1 | Bølgeforhold – eksisterende forhold                                              | 13 |
| 3.2 | Bølgeforhold – fremtidige forhold med Yderhavns hovedforslag                     | 19 |
| 3.3 | Bølgeforhold – fremtidige forhold med Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen | 24 |
| 3.4 | Ændring i bølgeforhold som følge af Yderhavnen                                   | 29 |
| 4   | Referencer                                                                       | 33 |

# 1 Indledning

Aarhus Havn planlægger en større udvidelse af havnen (benævnt 'Yderhavnen'), som er nærmere beskrevet i Masterplanen, ref. /1/. Yderhavnen vil bl.a. bestå af ca. 100 ha nyt bagland, svajebassin med 600 m diameter og et nyt bassin på ca. 850 x 350 m, se figur 1-1. Hovedforslaget for Yderhavnen fremgår af Figur 1-1.



Figur 1-1 Hovedforslaget for 'Yderhavnen', ref. /1/. I det følgende benævnt 'Yderhavnens hovedforslag'.

Endvidere planlægger Aarhus Kommune en udvidelse af området omkring Tangkrogen, dels for at opføre et nyt renseanlæg (Aarhus ReWater) og dels for at udvide Marselisborg Lystbådehavn. Udvidelsen af Tangkrogsområdet betegnes 'Helhedsplanen for Tangkrogen', og hovedforslaget er vist sammen med Yderhavnen i figur 1-2.



*Figur 1-2 Yderhavnen, inkl. hovedforslaget for Helhedsplanen for Tangkrogen med udvidelse af Marselisborg Lystbådehavn og landindvinding til etablering af nyt renseanlæg, Aarhus ReWater. I det følgende benævnt 'Yderhavnen hovedforslag inkl. Helhedsplanen'.*

Yderhavnen hovedforslag benævnes i det følgende 'Yderhavnen hovedforslag', og Yderhavnen inkl. Helhedsplanen for Tangkrogen benævnes i det følgende 'Yderhavnen hovedforslag inkl. Helhedsplanen'.

I forbindelse med miljøkonsekvensvurderingen for Yderhavnen er der foretaget numerisk modellering af de kystnære bølgeforhold omkring havnen. Det overordnede formål med modelleringen er at skabe et grundlag for vurdering af de hydrauliske konsekvenser ved en realisering af Yderhavnen samt de akkumulerede effekter ved samtidig etablering af Helhedsplanen. Modelleringen af de kystnære bølgeforhold danner endvidere baggrund for en vurdering af Yderhavnen påvirkning af de omkringliggende kyster nord og syd for havnen, se ref. /2/.

Numerisk modellering af de kystnære bølgeforhold er således gennemført med følgende udformninger:

- > Eksisterende forhold
- > Havneudvidelse med Yderhavns hovedforslag, jf. figur 1-1
- > Havneudvidelse med Yderhavns hovedforslag i kombination med hovedforslaget for Helhedsplanen for Tangkrogen, jf. figur 1-2

Denne rapport beskriver den gennemførte numeriske bølgemodellering.

## 2 Modelopsætning

### 2.1 Modelbeskrivelse

Den numeriske modellering af bølgeforholdene er foretaget ved hjælp af DHI's MIKE 21 SW (Spectral Wave module). Som navnet antyder, beskriver modellen i det definerede modelområde (mesh) de spektrale bølgeparametre til ethvert tidskridt i en given periode. Med modellen kan bølgehøjder og bølgeretninger estimeres som funktion af bl.a. vind og bathymetri (vanddybde) under hensyntagen til effekter som:

- > Refraktion som følge af variationer i vanddybden, - det at bølgerne vil løbe tilnærmelsesvis vinkelret ind på kysten.
- > Bølgerejsning eller "shoaling", - det at bølgerne rejser sig og bliver højere, når de løber ind på lavt vand.
- > Energitaab som følge af friktion mod havbunden.
- > Bølgebrydning.

MIKE 21 SW omfatter to formuleringer:

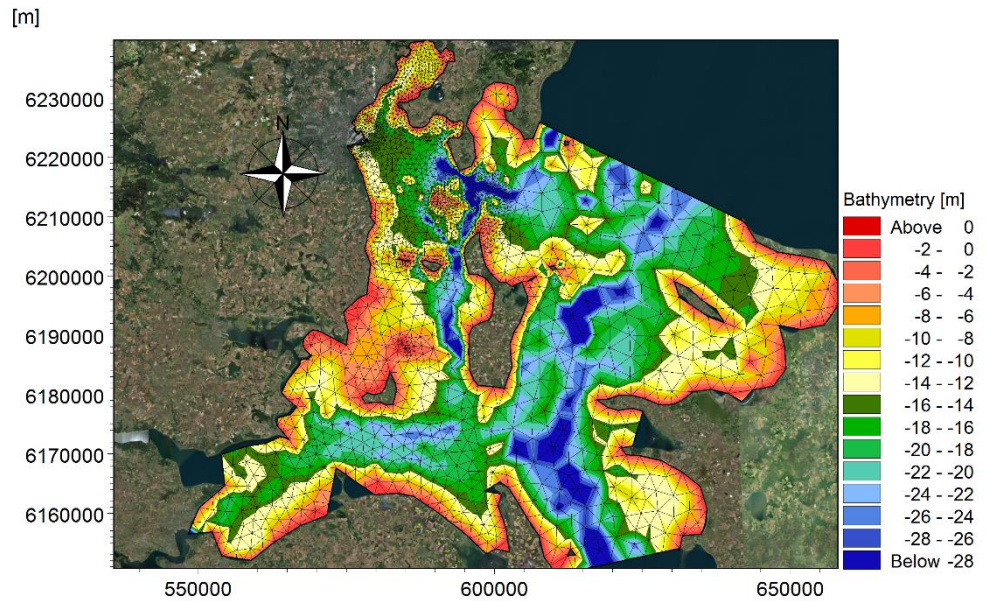
- 1 **Fully spectral** – Som anvendes i områder med store frie stræk og komplekse bathymetrier, hvor der forekommer både vindgenererede bølger og dønninger.
- 2 **Directionally Decoupled** – Som anvendes i mindre områder med regelmæssig bathymetri.

I dette projekt er anvendt "fully spectral" formuleringen grundet modellens udstrækning og den forholdsvis komplekse bathymetri i området. Endvidere er der anvendt den ikke-stationære beskrivelse.

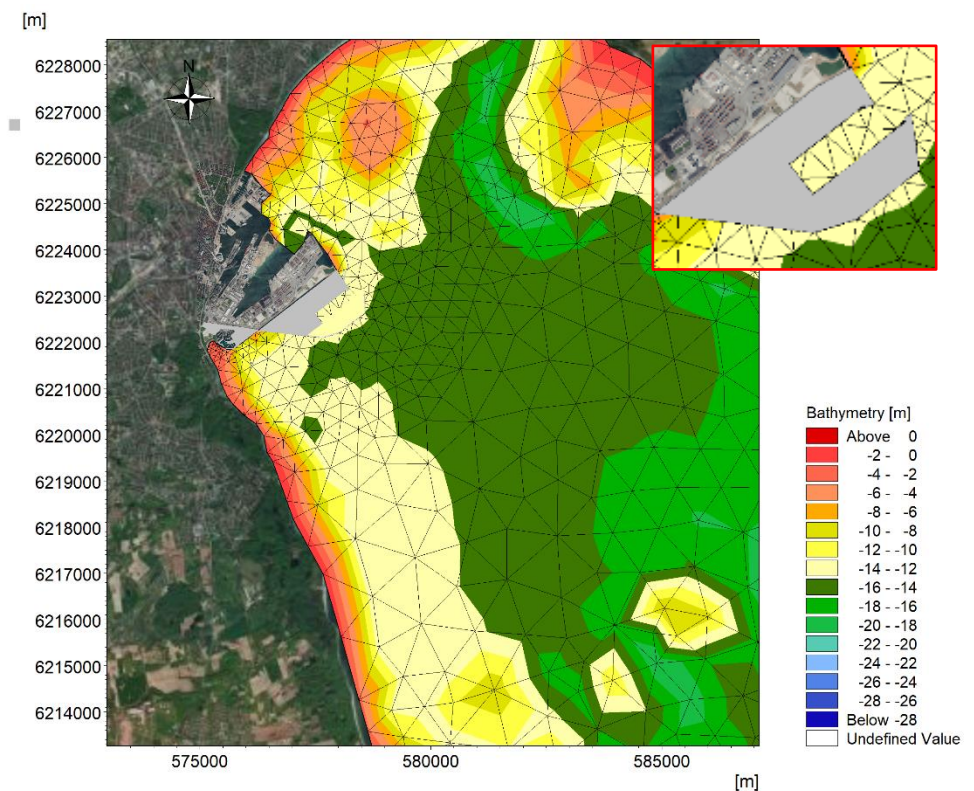
### 2.2 Model bathymetri

Model bathymetrien er baseret på følgende datasæt:

- > Havnens bathymetriske opmåling fra 2017 af havnens bassiner og indsejling.
- > Bathymetri-data fra Farvandsvæsnets model for den sydlige del af Kattegat.
- > Søkort nr. 127 INT 1372.
- > Havneplan for Aarhus Havn
- > Masterplan for Yderhavns hovedforslag
- > Helhedsplan for Tangkrogen (hovedforslag)



Figur 2-1 Modelbathymetri og -opløsning for hele modelområdet (bathymetri/vanddybde er vist i meter i forhold til middelvandstand).



Figur 2-2 Modelbathymetri og -opløsning nær Aarhus Havn for Hovedforslaget inkl. Helhedsplanen (bathymetri/vanddybde er vist i meter i forhold til middelvandstand). Det bemærkes, at modellen reelt er kørt med en nu fravalgt alternativ udformning af havneudvidelsen, som indeholdt et bagland langs sydmolen (vist øverst til højre i rød ramme).

Modellen strækker sig fra Storebælt mod syd, til farvandet mellem Sjællands Odde og Djursland mod nord. Modellen omfatter således hele Aarhus Bugten,

Samsø bælt og en del af både Storebælt og Lillebælt (cirka 90x85km i udstrækning). Modelområdet er inddelt i områder, hvor modelopløsningen bliver finere og finere ind mod projektområdet. Dette sikrer, at modellen er i stand til at opløse de eventuelle ændringer i bølgeforhold som havneudvidelsen måtte forårsage. Modellens opløsning varierer fra en gennemsnitlig størrelse på 2 km i Storebælt til 150-200 m i projektområdet. Modelbathymetri og -opløsning er vist i figur 2-1 for hele modelområdet og i figur 2-2 for projektområdet.

Det bemærkes på figur 2-2 at bølgemodelleringen blev foretaget med en lidt anden udformning af havneudvidelsen indenfor molerne end vist på figur 1-1. Dette vurderes ikke at have nogen betydning for resultatet.

## 2.3 Model randbetingelser

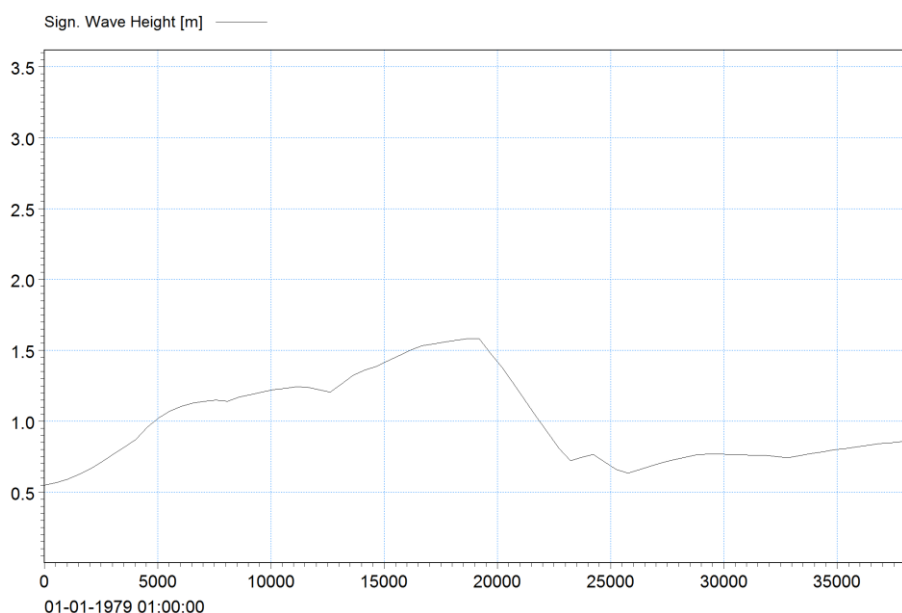
På modellens rande påføres der bølger fra DHI's regionale bølgemodel. Dette for ikke at skulle modellere det fulde frie stræk i alle retninger. Modelrandene ses på figur 2-3.



Figur 2-3 Modeludstrækning og randenes placering i modellen.

Den sydvestlige rand er modelleret som værende land, da bølgerne fra Lillebælt er af en ubetydelig størrelse, og bølger fra syd til sydvest vil genereres lokalt i modellen af den påførte vind. På den nordøstlige og sydøstlige rand påføres bøl-

ger, udtrukket fra DHI's regionale bølgemodel, ref. /3/. Randbetingelserne består af spektralbølgeparametre i form af signifikant bølgehøjde  $H_{m0}$ , peakperiode  $T_p$ , middelretning af bølgerne samt retningsspredning. Spektralbølgeparametrene varierer langs randene og dækker perioden 01-01-1979 til 01-01-2018 (38 år). Dog modelleres kun perioden fra 2003-2014 (11 år), hvor detaljeret vindfelt fra DMI's HIRLAM model er tilgængeligt. Et eksempel på en påført randbetingelse ses på figur 2-4, hvor bølgehøjden  $H_{m0}$  varierer langs randen. Opløsningen af de påførte randbetingelser er ca. 500 m.

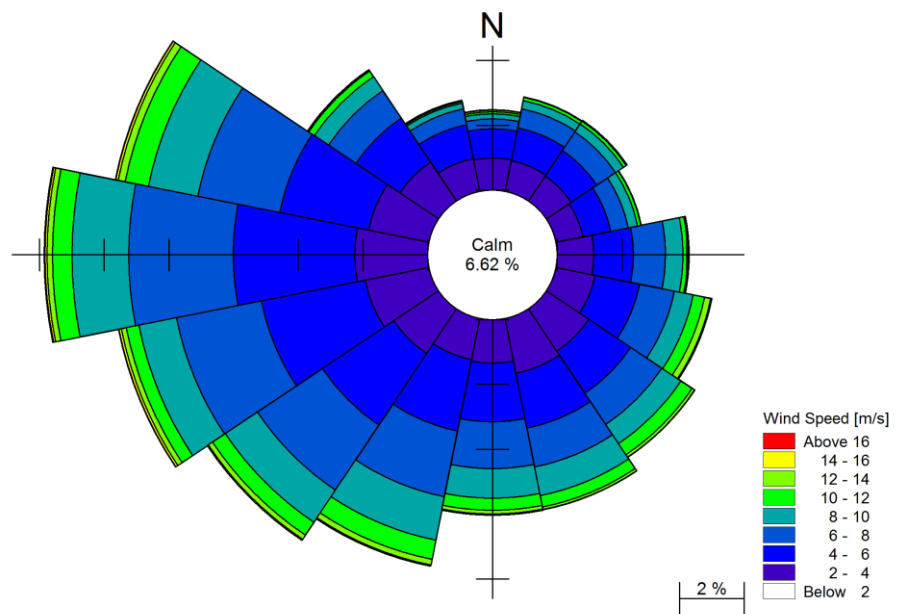


Figur 2-4  $H_{m0}$  randbetingelse påført den nordøstlige rand 01-01-1979 kl. 01:00.

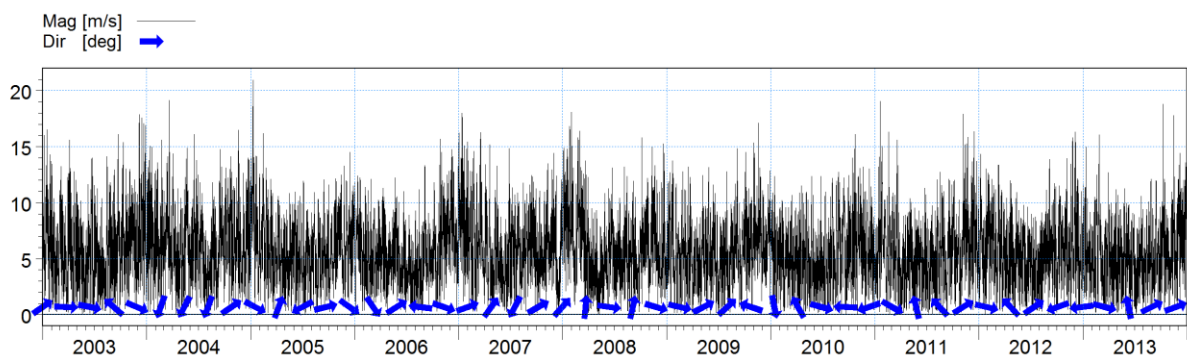
## 2.4 Model input parametre

### 2.4.1 Vindhastighed og lufttryk

Som input til den benyttede bølgemodel er anvendt et vindfelt dækkende hele området. Det benyttede vindfelt er fra DMI's HIRLAM model, ref. /4/, og dækker perioden fra 01-01-2003 til 01-01-2014 (11 år). En vindrose og et plot af tidsserien for et punkt umiddelbart foran Aarhus Havn ses i hhv. figur 2-5 og figur 2-6. Som det ses, er de dominerende vindretninger vestlige. Grundet havnens placering på Jyllands østkyst, vil bølger fra disse vindretninger være af mindre betydning, og østlige vinde vil generere de største bølger foran havnen. Den normale vindhastighed ses at variere fra ca. 3 til 10 m/s, med ca. 6 m/s i gennemsnit. Vindfeltet i området har en opløsning på 0,03x0,03 grader (ca. 1,5x3,0 km).



Figur 2-5 Vindrose fra DMI's HIRLAM model umiddelbart foran Aarhus Havn (2003-2014).



Figur 2-6 Tidsserie af vindhastighed og retning fra DMI's HIRLAM model for et punkt umiddelbart øst for Aarhus Havn.

## 2.4.2 Øvrige parametre

MIKE21 SW's standardparametre er benyttet til beskrivelse af bølgebrydning, bundruhed og 'white capping'.

Modellen medtager ikke diffraktion, da bølgeforholdene omkring molerne eller andre 'hardpoints' ikke er vigtigt i denne model.

Vindens påvirkning på vandoverfladen er ændret fra MIKE21 SW's standardindstilling ved at ændre Charnock parameteren fra 0.01 til 0.0185 og "uncoupled" wind/bølge interaktion, hvilket anbefales af DHI for kystnære projekter [ref. /5/]. COWI har i tidligere projekter ved modellering af bølger i indre danske farvande vist, at brug af 'uncoupled' wind/bølge interaktion og en Charnock parameter på 0.0185 giver resultater i overensstemmelse med målinger.

Der tages højde for ikke-lineær energioverførelse mellem bølgekompnenter baseret på *quadruplet-wave interaction*.

## 2.5 Modelkalibrering og validering

Der er ikke bølgemålinger til rådighed i området for validering og/eller kalibrering af modellen. Modellen er dog sat op med samme parametre som anvendt i tidligere bølgestudier i indre danske farvande hvor målinger har været til rådighed for kalibrering. Derfor forventes de modellerede bølger at stemme godt overens med de faktiske forhold i området.

## 2.6 Beregningsperioder og –scenarier

Bølgemodelleringen er foretaget for en periode på 11 år, fra 01-01-2003 til 01-01-2014. I perioden er bølgeforholdene modelleret i hvert modelpunkt, se figur 2-1, bestemt hver time. Modelleringen er foretaget for:

- > Eksisterende forhold
- > Yderhavns hovedforslag, se figur 1-1.
- > Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen for Tangkrogen (hovedforslaget), se figur 1-2.

Resultaterne for de tre tilfælde er i det følgende sammenlignet, og indflydelsen på bølgeforholdene i området som følge af havneudvidelsen er beskrevet.

## 3 Resultater

### 3.1 Bølgeforhold – eksisterende forhold

De eksisterende bølgeforhold omkring havnen er modelleret for at kunne vurdere konsekvenserne af havneudvidelsen på bølgeforholdene. I det følgende er de eksisterende forhold beskrevet og illustreret.

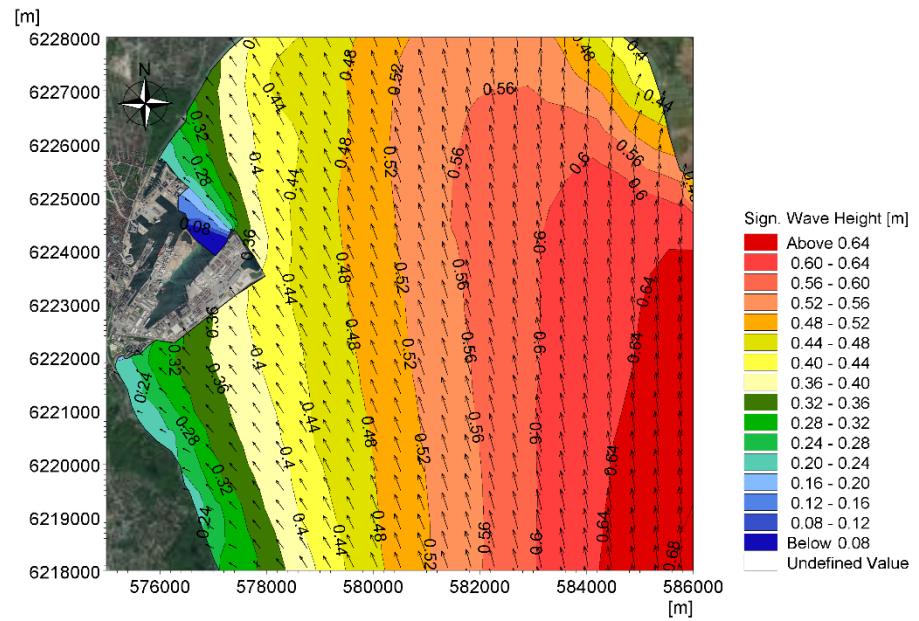
Grundet havnens placering forekommer de største bølger fra øst-sydøst ( $112,5^\circ$ ) til syd-sydøst ( $157,5^\circ$ ). Et eksempel på et bølgefelt omkring Aarhus under vind fra øst-sydøst ses på figur 3-1.

Modelleret bølgehøjde, - periode og -retning er udtrukket for en række punkter omkring havnen, se figur 3-2. Bølgeroser og scatter plots er vist for fire af disse punkter i figur 3-3 til figur 3-10, mens tilsvarende figurer for de resterende punkter er vist i Bilag A.1.

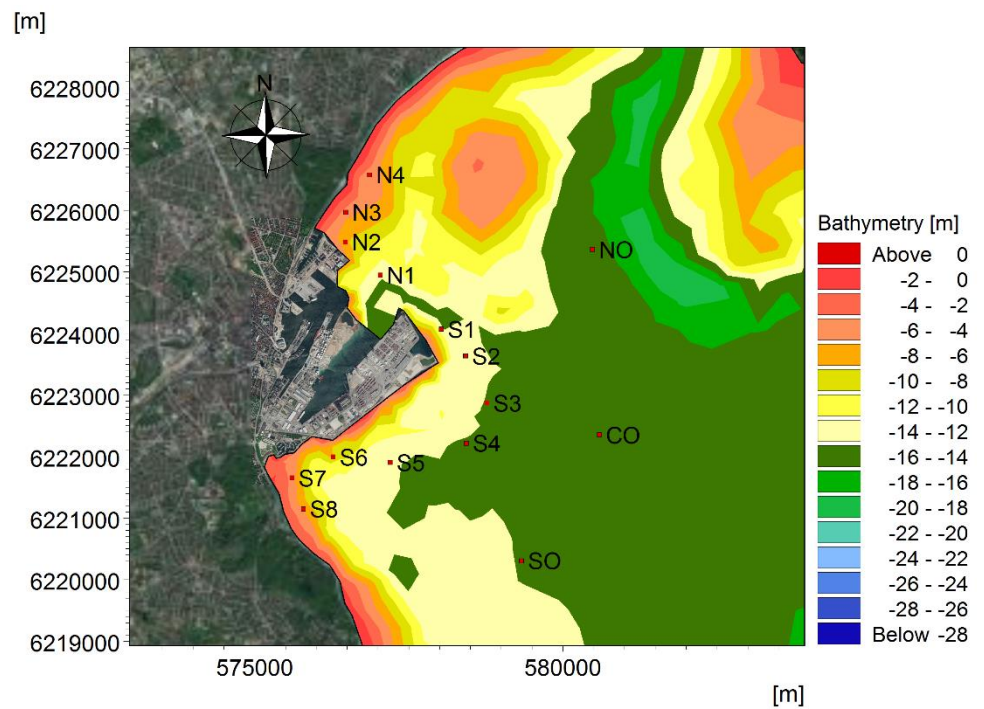
Som beskrevet i afsnit 2.3 er bølgeforholdene modelleret for en periode på 11 år. For denne periode, er den statistiske middel og maksimale bølgehøjde bestemt i modelområdet, se hhv. figur 3-11 og figur 3-12.

Analysen af de eksisterende forhold viser:

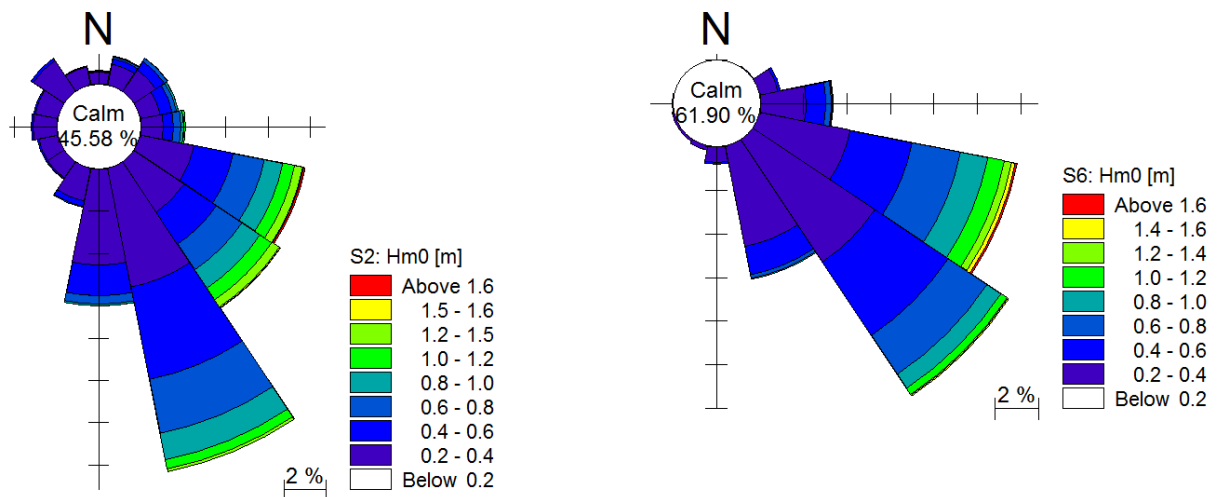
- > Den primære bølgeretning i umiddelbar nærhed af havnen varierer fra retning øst-sydøst ( $112,5^\circ$ ) til syd-sydøst ( $157,5^\circ$ ), mens bølger fra vestlige retninger er uden betydning.
- > Bølgeretningen på dybere vand (punkt NO, CO og SO) ses at variere mere, dog med tydelig tendens til større og mere hyppigt kommende bølger fra sydøstlige retninger.
- > Ved den nuværende havneindsejling (punkt N1, S1) er den statistiske middel signifikante bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) i simuleringsperioden 0,2-0,25 m og ved den kommende havneindsejling (S2 og S3) er den ca. 0,3m. Den maksimale signifikante bølgehøjde i de simulerede 11 år er omkring 1,7-2,0 m ved den nuværende havneindsejling (N1 og S1) og ca. 2,1 m ved den kommende havneindsejling (S2 og S3).
- > Omkring indsejlingen er de typiske peakbølgeperioder ( $T_p$ ) 1-3 sekunder, men perioder op til ca. 7 sekunder kan forekomme. De længste bølger har en signifikant bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) på ca. 0,5 m, mens de største bølger forekommer typisk med en peakbølgeperiode på ca. 5 s.
- > Både den statistiske middel og den maksimale bølgehøjde ses at være større sydøst for havnen end ved den nuværende havneindsejling, idet havnens udformning skærmer indsejlingen mod den dominerede/kritiske bølgeretning fra sydøst.



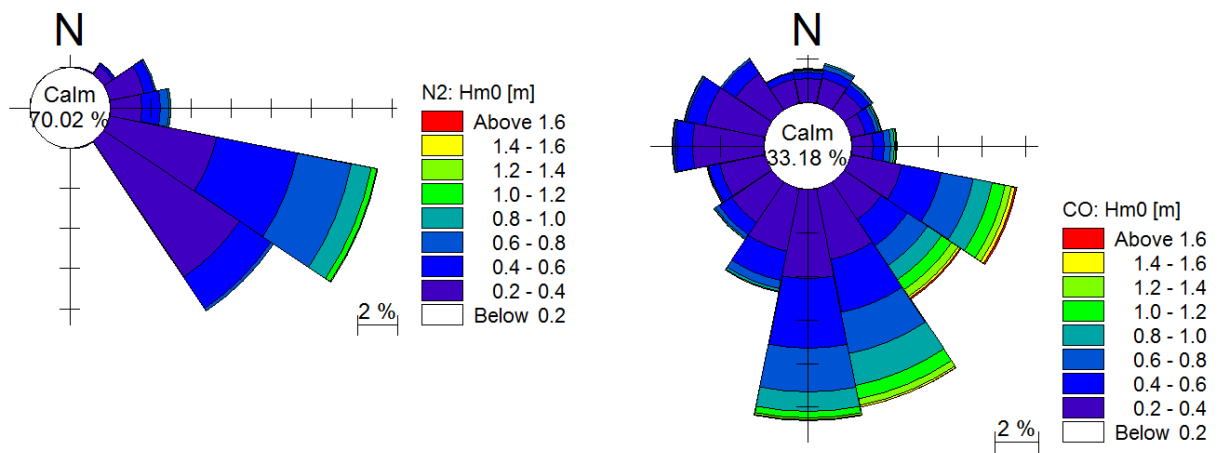
Figur 3-1 Typisk bølgehøjdefordeling ved øst-sydøstlig vind d. 03-12-2012 kl. 22:00, for eksisterende forhold.



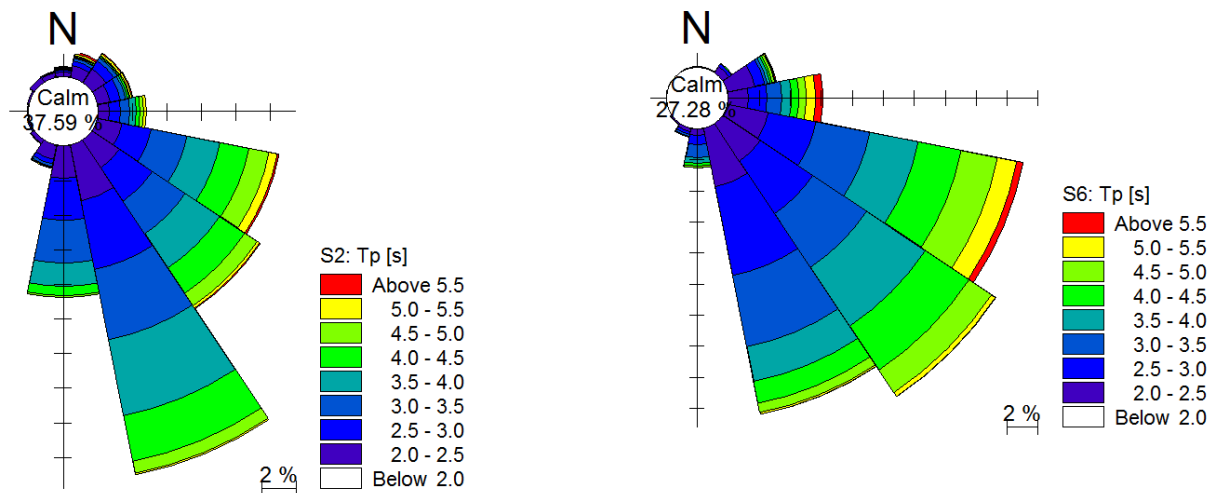
Figur 3-2 Punkter hvori der er udtrukket modellerede bølgeforhold.



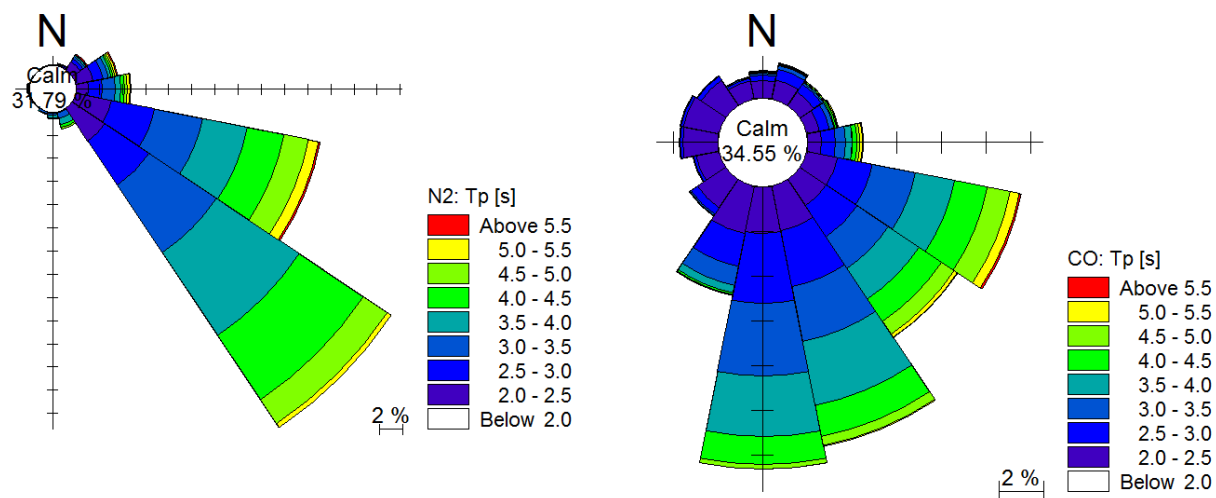
Figur 3-3 Bølgerose for signifikant bølgehøjde  $H_{m0}$  for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



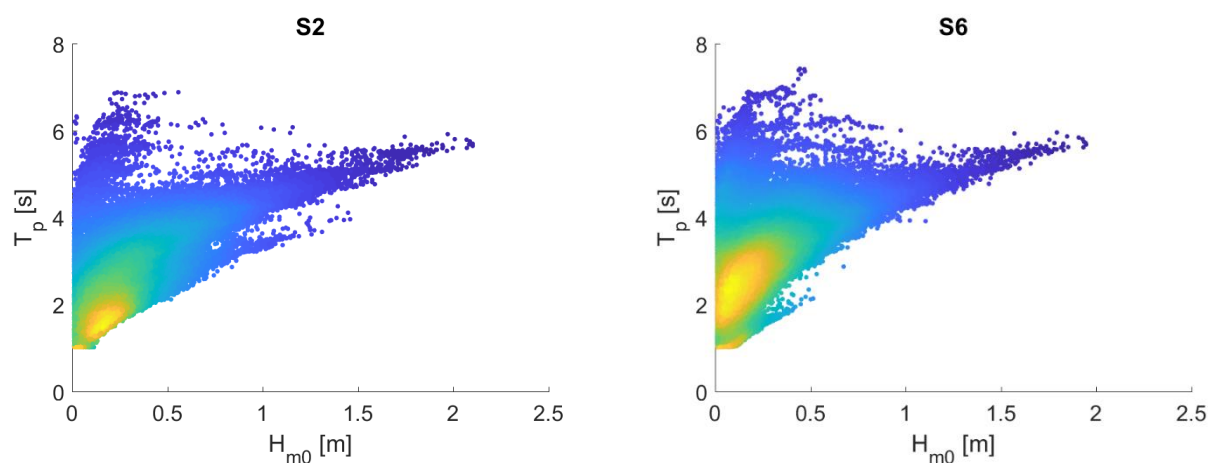
Figur 3-4 Bølgerose for signifikant bølgehøjde  $H_{m0}$  for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



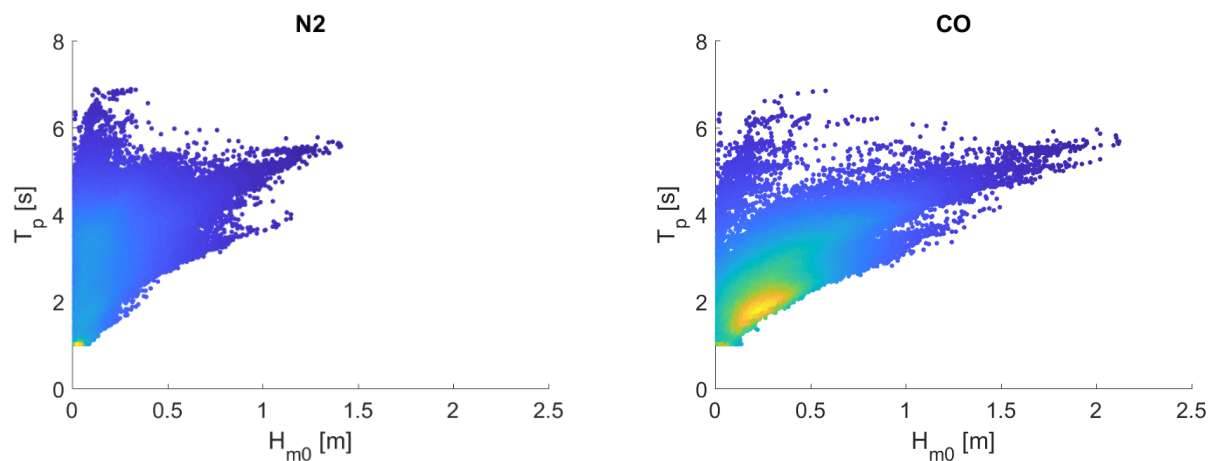
Figur 3-5 Bølgerose for peak bølgeperioden  $T_p$  for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



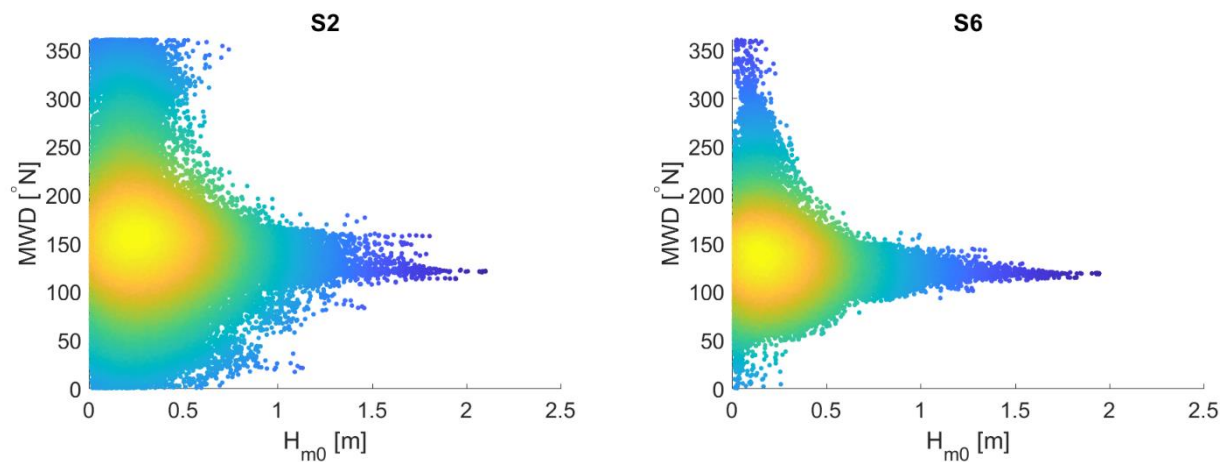
Figur 3-6 Bølgerose for peak bølgeperioden  $T_p$  for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



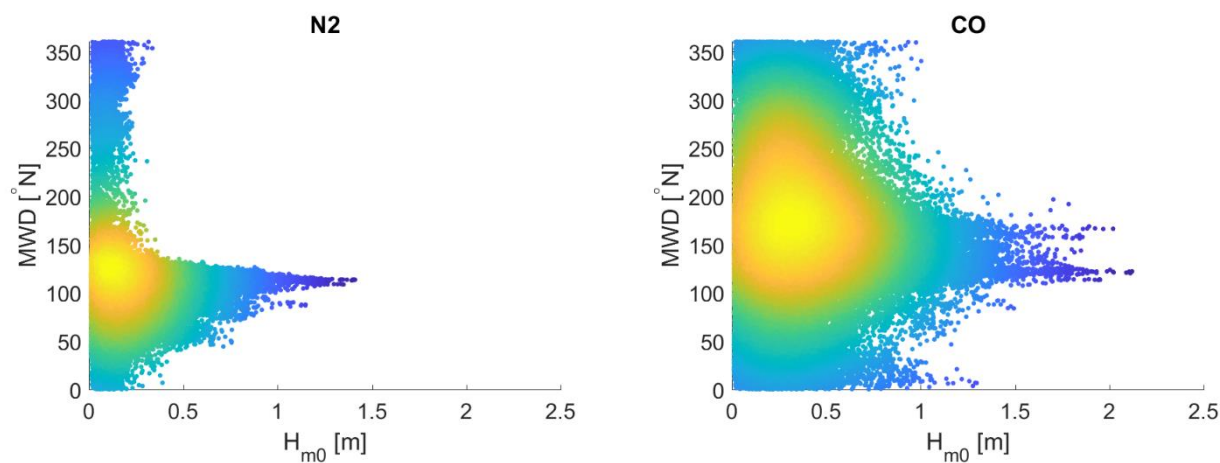
Figur 3-7  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



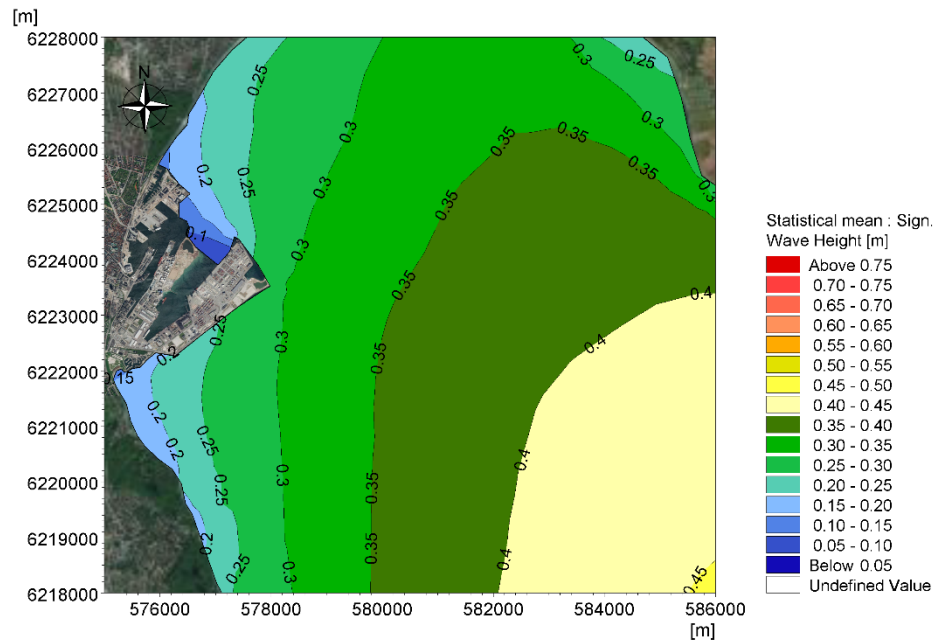
Figur 3-8  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



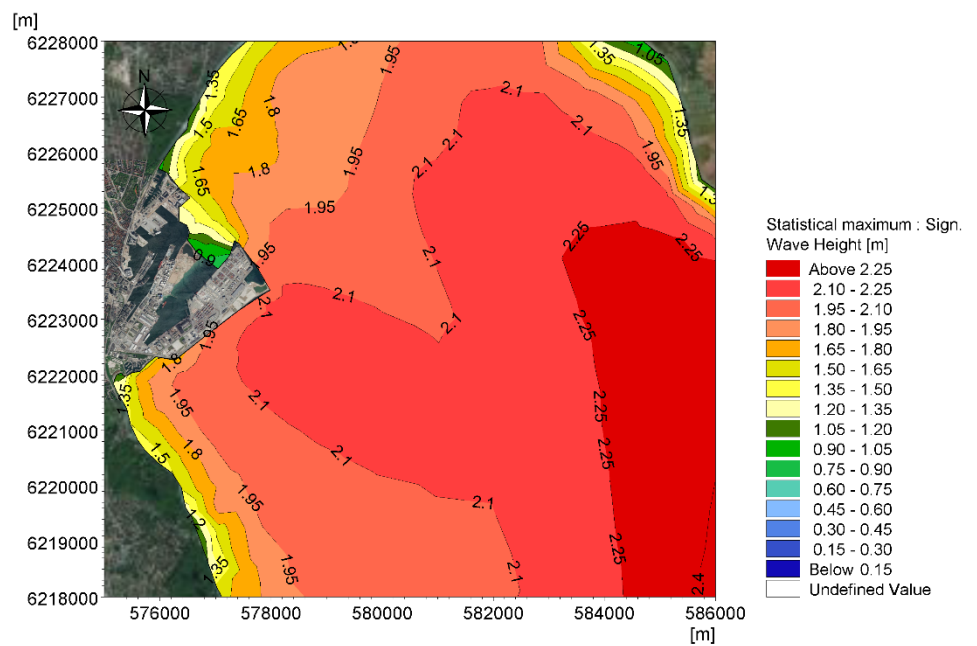
Figur 3-9  $H_{m0} - MWD$  (middel bølgeretning) sammenhæng for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



Figur 3-10  $H_{m0} - MWD$  (middel bølgeretning) sammenhæng for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



Figur 3-11 Statistisk middel af den signifikante bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.



Figur 3-12 Den maksimale signifikante bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) for perioden 2003-2013. Eksisterende forhold.

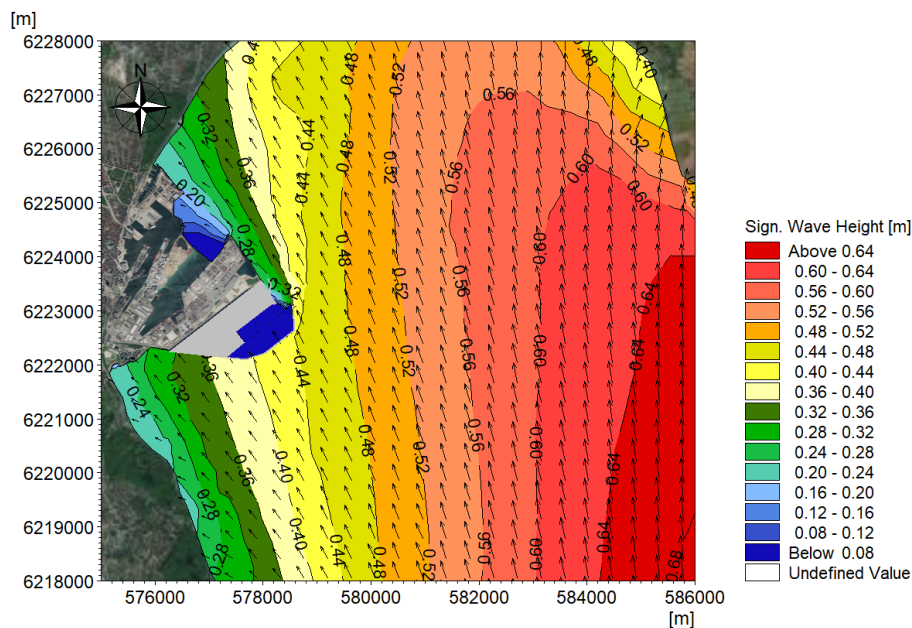
## 3.2 Bølgeforhold – fremtidige forhold med Yderhavnsens hovedforslag

Modelresultater for de fremtidige forhold med Yderhavnsens hovedforslag er udtrukket for de samme punkter, som blev belyst for eksisterende bølgeforhold, se figur 3-2. Figurer for fire udvalgte punkter er vist i det følgende, mens de resterende kan ses i Bilag A.2.

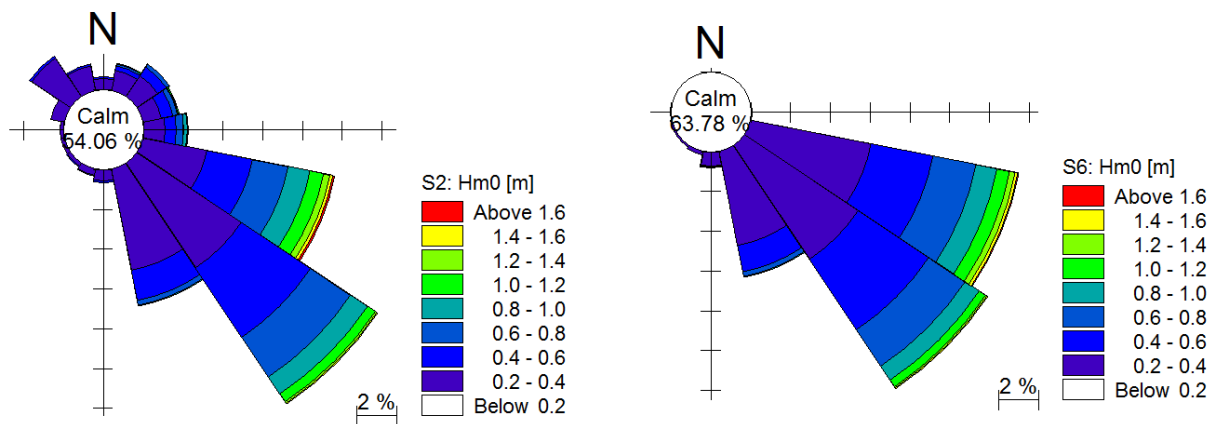
I figur 3-13 ses bølgefeltet omkring Aarhusfor en øst-sydøstlig vind. Figur 3-14 til figur 3-21 viser bølgeroser og scatter plots, mens figur 3-22 og figur 3-23 viser hhv. den statistiske middel og den maksimale signifikante bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) i den simulerede periode på 11 år.

Ved en sammenligning med figurerne i afsnit 3.1 for eksisterende forhold ses det, at bølgeforholdene omkring store dele af havnen ikke vil ændres ved havneudvidelsen, med undtagelse af området umiddelbart nord for havneudvidelsen ved indsejlingen til nuværende miljøhavn, hvor bølgerne generelt vil blive mindre på grund af læeffekt fra den nye udvidelse for bølger fra sydøstlige retninger.

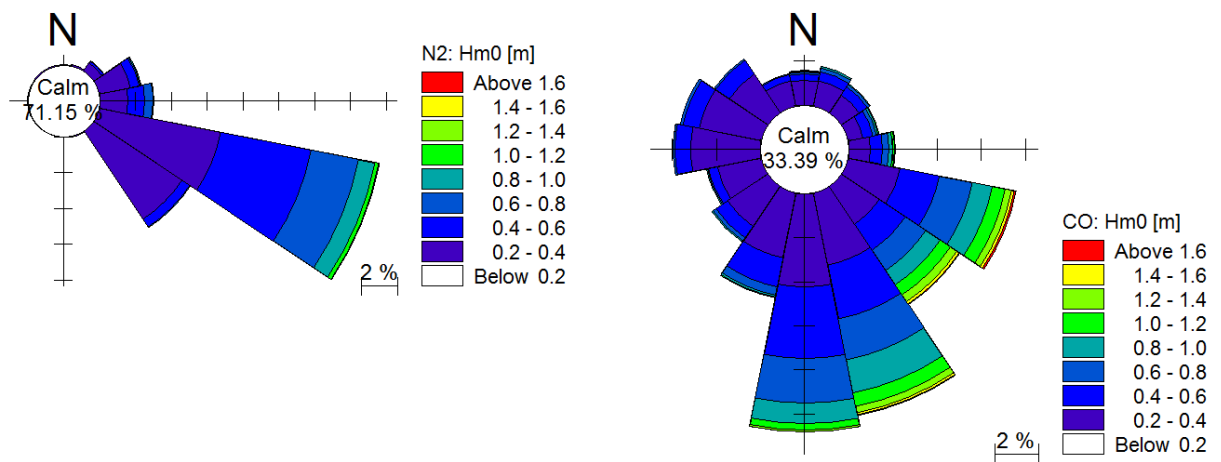
Yderligere analyser af ændringerne i bølgeforholdene som følge af havneudvidelsen er beskrevet i afsnit 3.4.



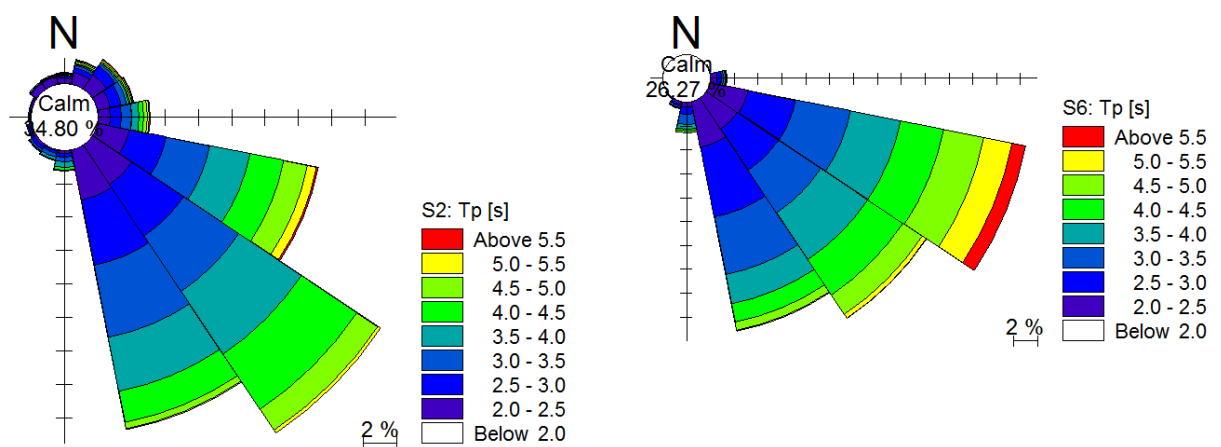
Figur 3-13 Typisk bølgehøjdefordeling ved øst-sydøstlig vind d. 03-12-2012 kl. 22:00. Yderhavnsens hovedforslag.



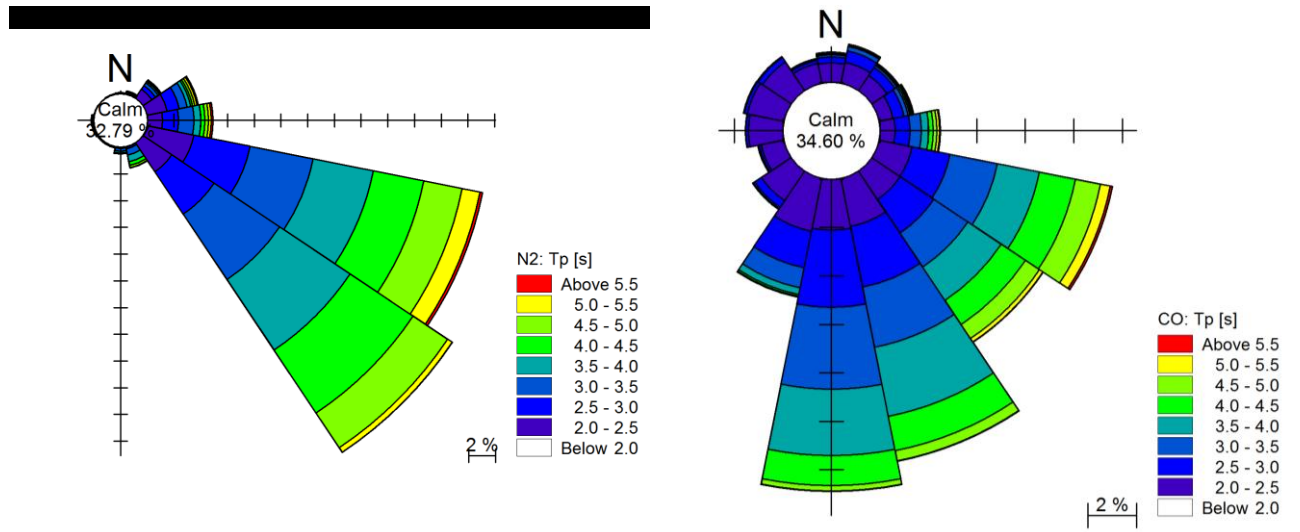
Figur 3-14 Bølgerose for signifikant bølgehøjde  $H_{m0}$  for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag.



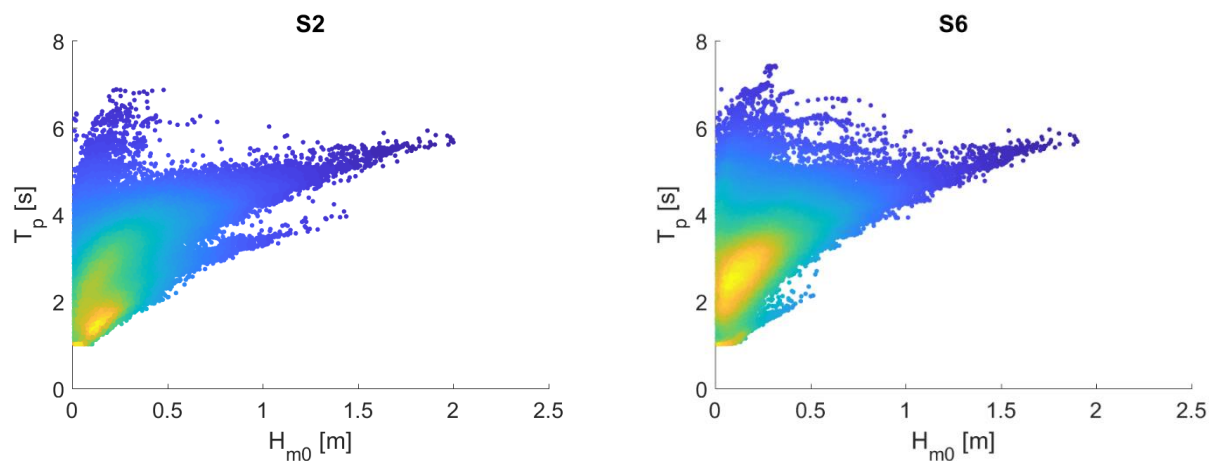
Figur 3-15 Bølgerose for signifikant bølgehøjde  $H_{m0}$  for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag.



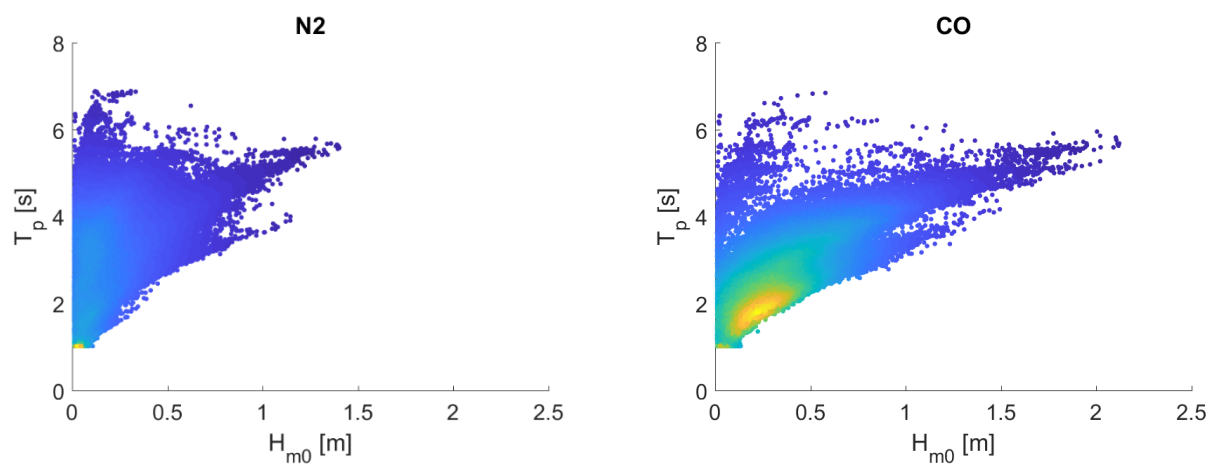
Figur 3-16 Bølgerose for peak bølgeperioden  $T_p$  for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag.



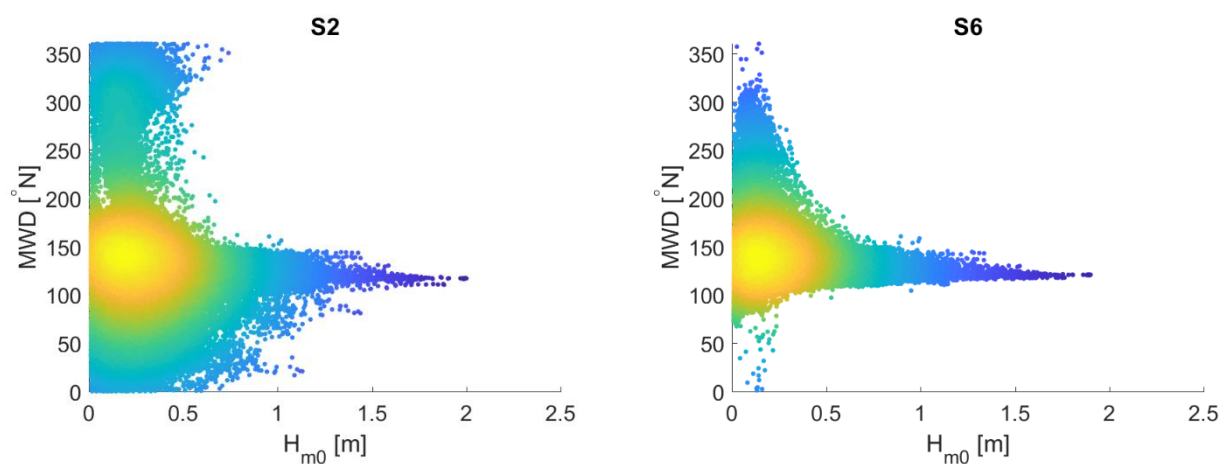
Figur 3-17 Bølgerose for peak bølgeperioden  $T_p$  for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhav-  
nens hovedforslag.



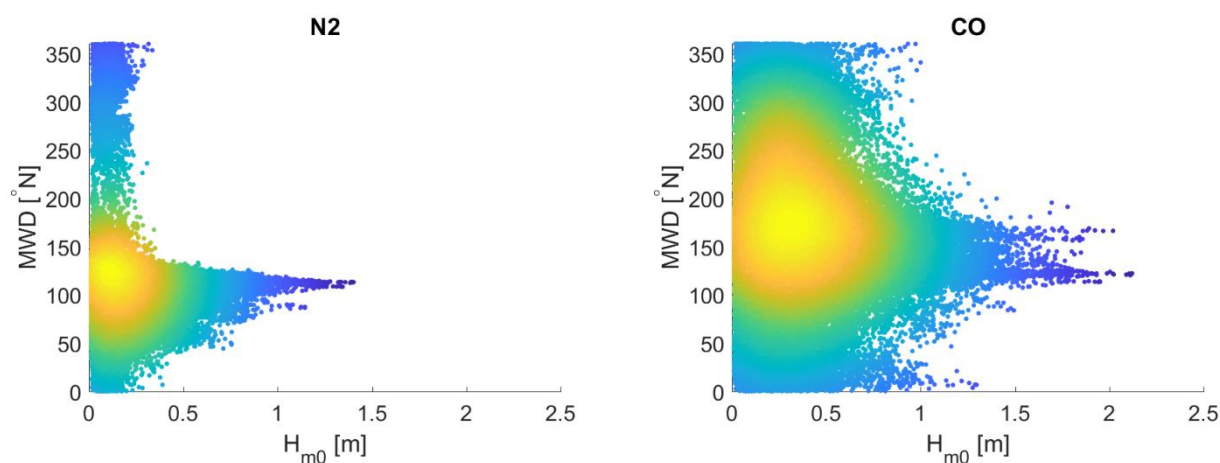
Figur 3-18  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhav-  
nens hovedfor-  
slag.



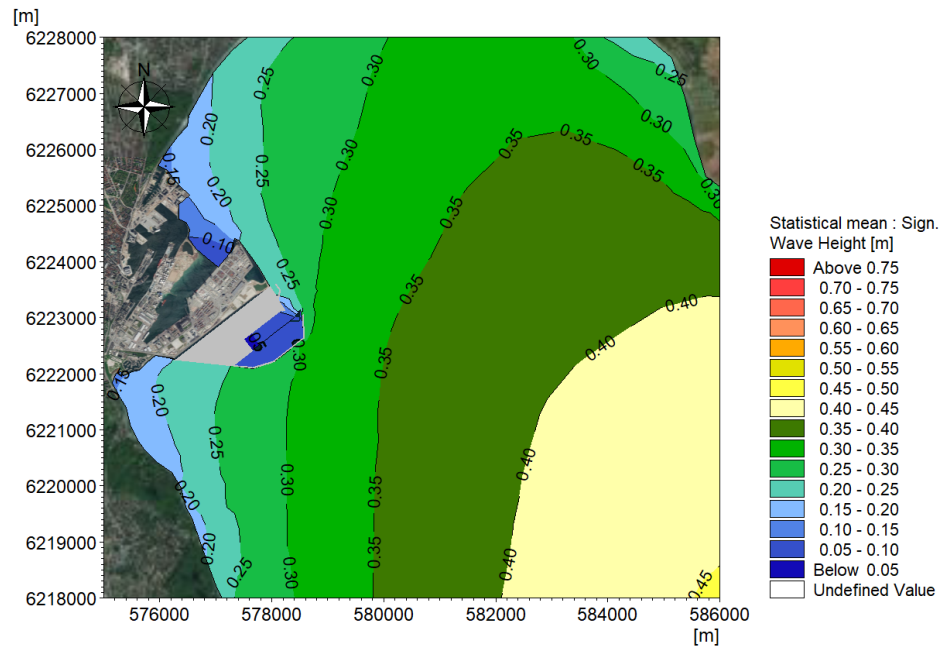
Figur 3-19  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhav-  
nens hovedfor-  
slag.



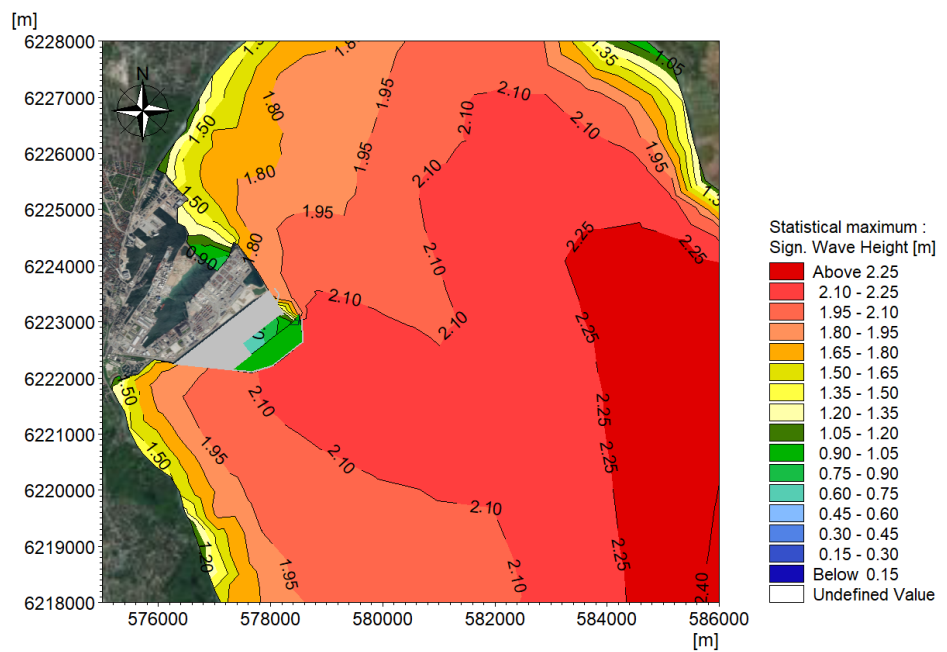
Figur 3-20  $H_{m0}$  – MWD (middel bølgeretning) sammenhæng for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag.



Figur 3-21  $H_{m0}$  – MWD (11 år) sammenhæng for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag.



Figur 3-22 Statistisk middel af den signifikante bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) for perioden 2003-2013. Yderhavnsens hovedforslag.



Figur 3-23 Den maksimale signifikante bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) for perioden 2003-2013. Yderhavnsens hovedforslag.

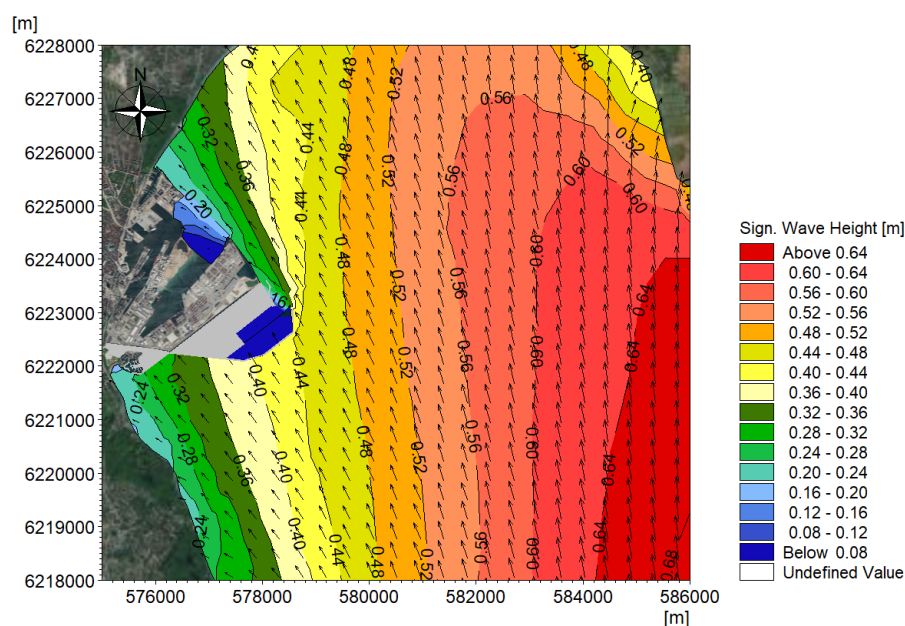
### 3.3 Bølgeforhold – fremtidige forhold med Yderhavnsens hovedforslag inkl. Helhedsplanen

Modelresultater for de fremtidige forhold med Yderhavnsens hovedforslag inkl. Helhedsplanen er udtrykket for de samme punkter, som blev belyst for eksisterende bølgeforhold, se figur 3-2. Figurer for fire udvalgte punkter er vist i det følgende, mens de resterende kan ses i Bilag A.3.

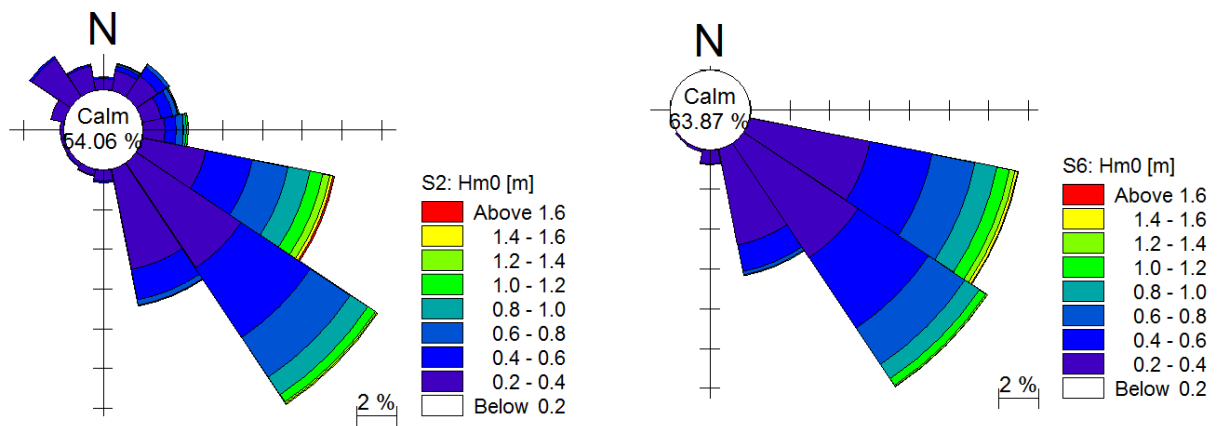
I figur 3-24 ses bølgefeltet omkring Aarhus for en øst-sydøstlig vind. Figur 3-25 til figur 3-32 viser bølgeroser og scatter plots, mens figur 3-33 og figur 3-34 viser hhv. den statistiske middel og den maksimale signifikante bølgehøjde i den simulerede periode på 11 år.

Ved en sammenligning med figurerne i afsnit 3.2 for Yderhavnsens hovedforslag ses det, at bølgeforholdene omkring havnen svarer til de bølgeforhold, som er fundet for Yderhavnsens hovedforslag alene, og at Helhedsplanen ikke ændrer væsentligt på bølgeforholdene. Som forventet, er der kun fundet marginale ændringer af bølgeforholdene i området udenfor Tangkrogen. Dermed er ændringer ift. de eksisterende forhold sammenlignelige med de beskrevne i afsnit 3.2.

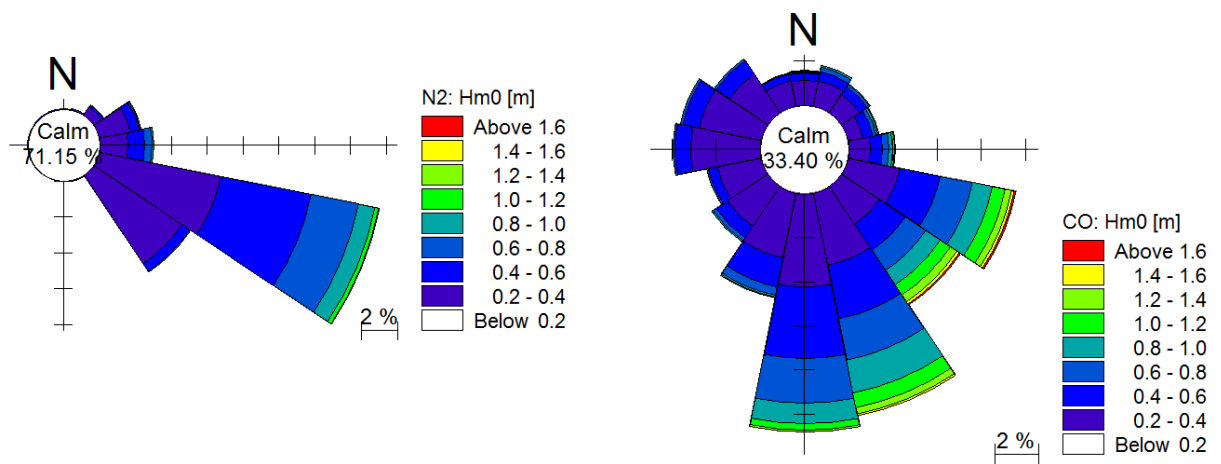
Yderligere analyser af ændringerne i bølgeforholdene som følge af havneudvidelsen er beskrevet i afsnit 3.4.



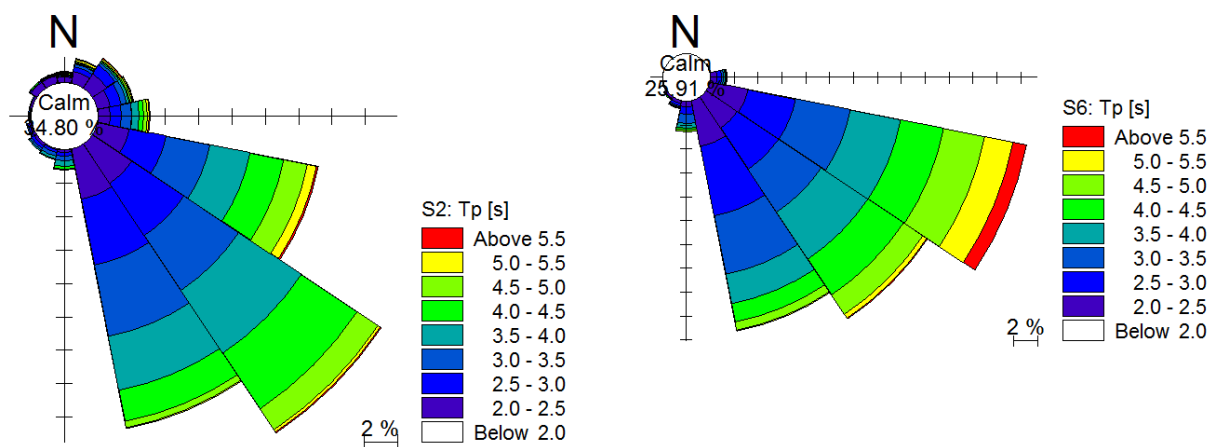
Figur 3-24 Typisk bølgehøjdefordeling ved øst-sydøstlig vind d. 03-12-2012 kl. 22:00. Yderhavnsens hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



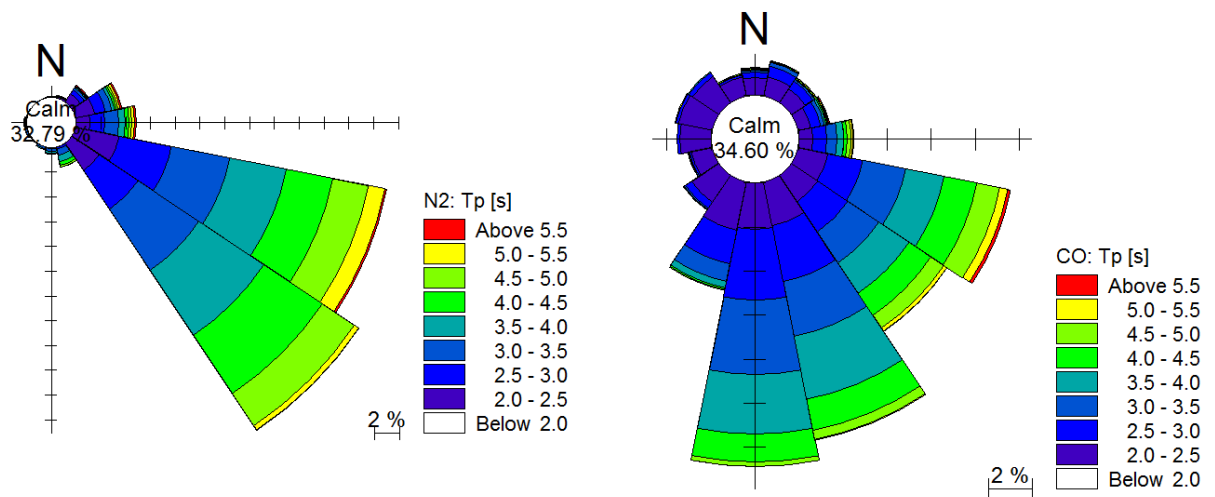
Figur 3-25 Bølgerose for signifikant bølgehøjde  $H_{m0}$  for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



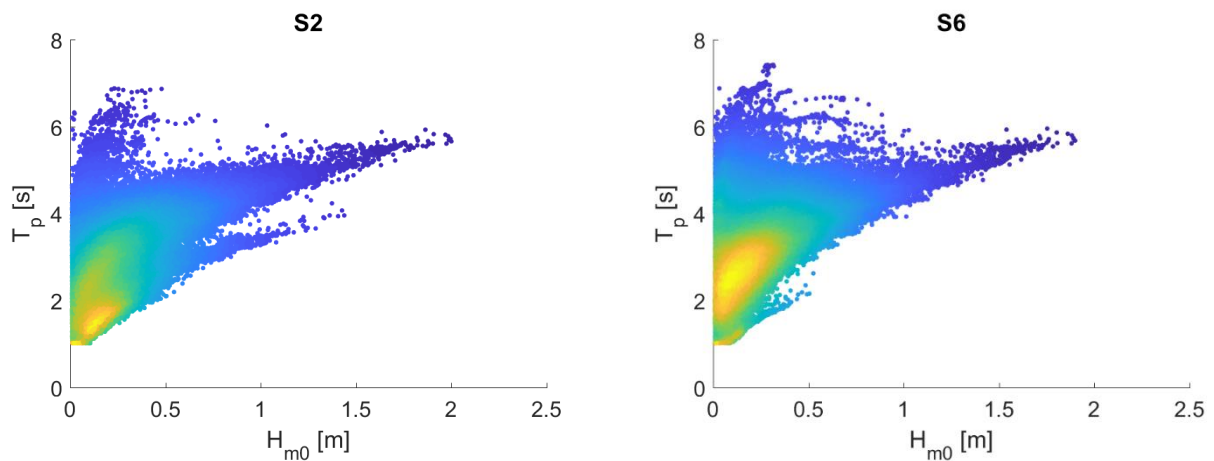
Figur 3-26 Bølgerose for signifikant bølgehøjde  $H_{m0}$  for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



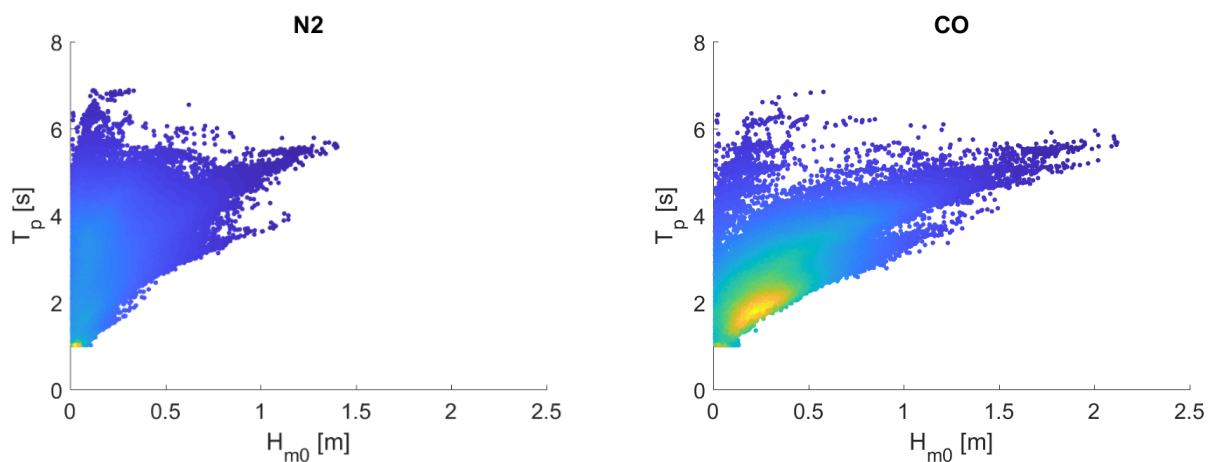
Figur 3-27 Bølgerose for peak bølgeperioden  $T_p$  for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



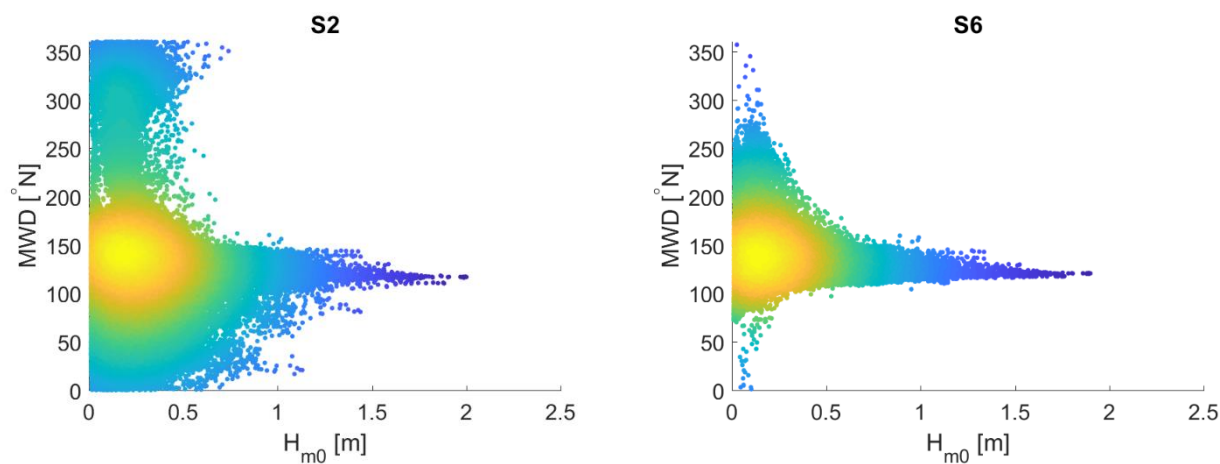
Figur 3-28 Bølgerose for peak bølgeperioden  $T_p$  for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



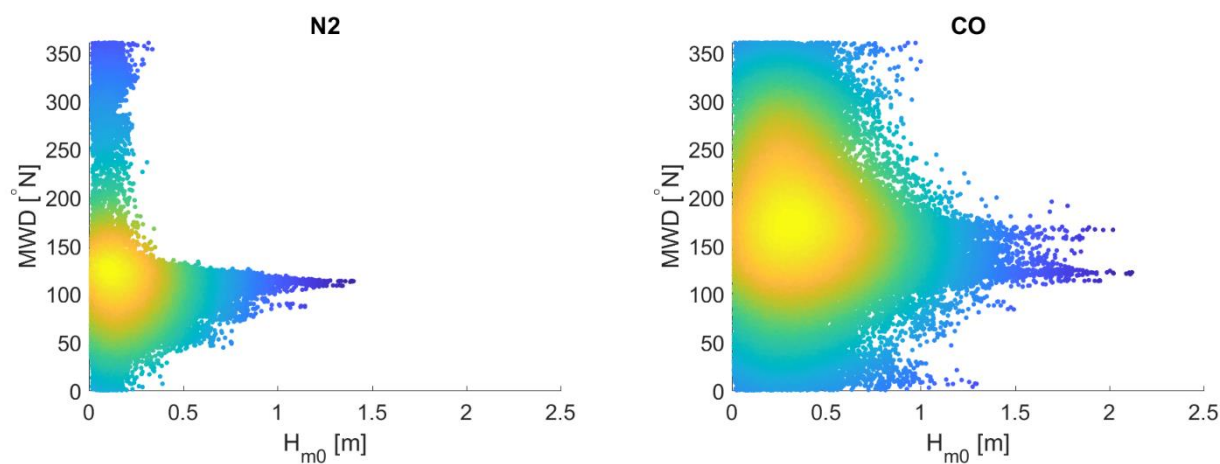
Figur 3-29  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



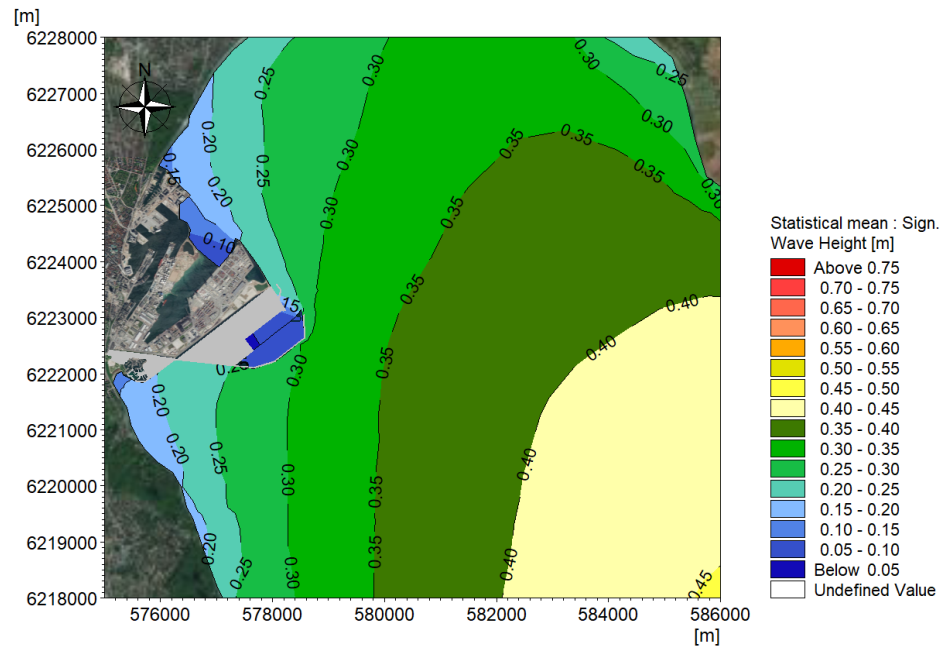
Figur 3-30  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



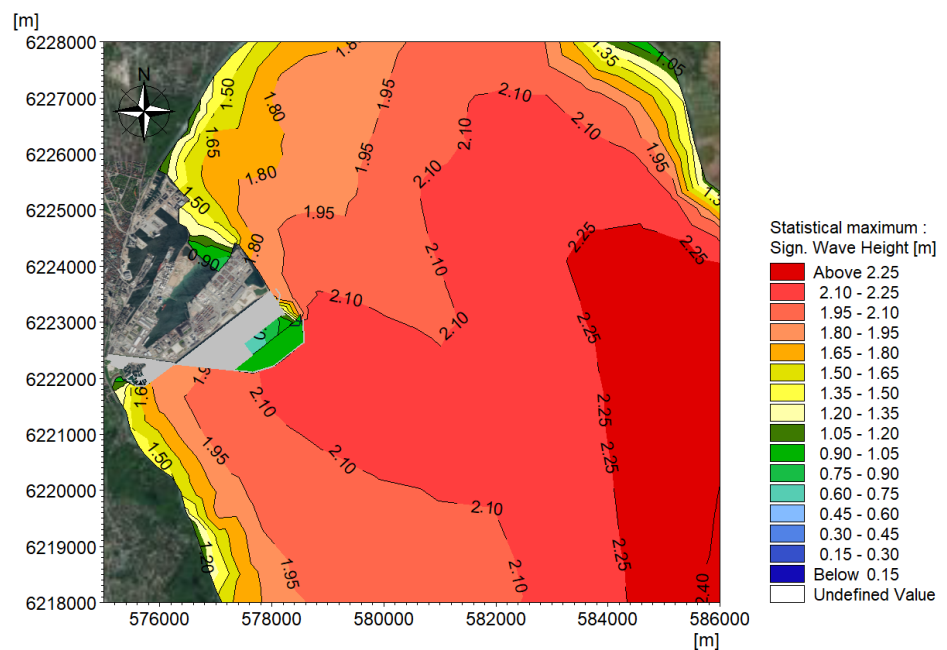
Figur 3-31  $H_{m0}$  – MWD (middel bølgeretning) sammenhæng for punkt S2 (tv.) og S6 (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



Figur 3-32  $H_{m0}$  – MWD (11 år) sammenhæng for punkt N2 (tv.) og CO (th.) for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



Figur 3-33 Statistisk middel af den signifikante bølgehøjde for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



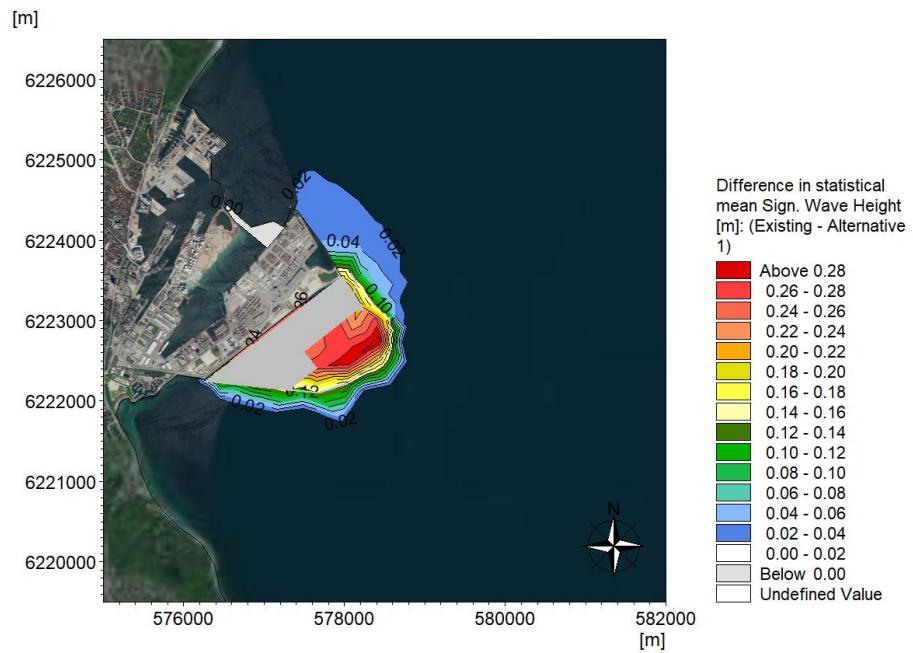
Figur 3-34 Den maksimale signifikante bølgehøjde for perioden 2003-2013. Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.

### 3.4 Ændring i bølgeforhold som følge af Yderhavnen

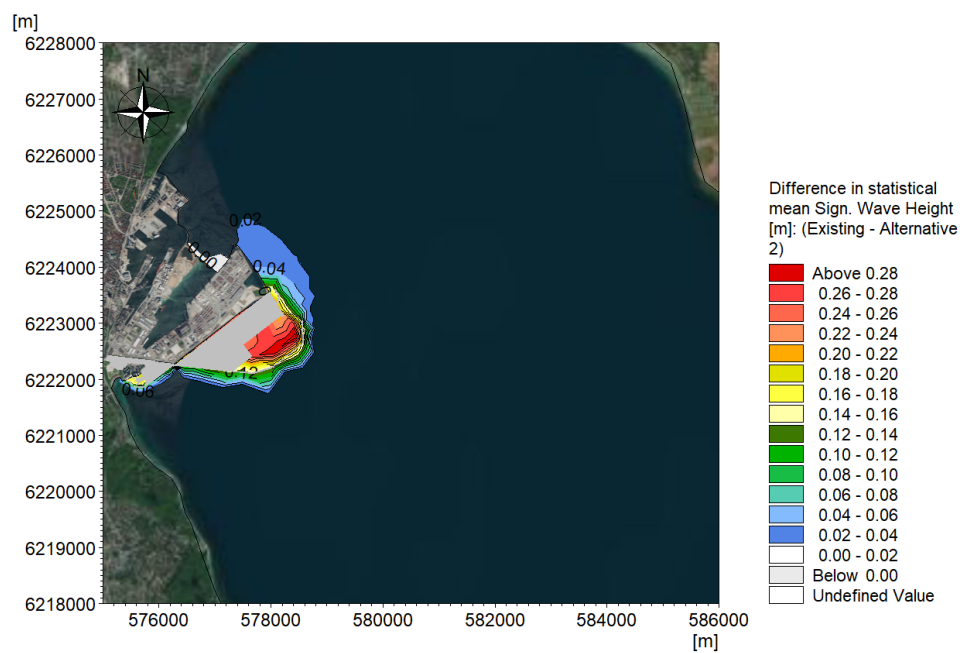
Bølgeforholdene for de eksisterende forhold er i det følgende sammenlignet med bølgeforholdene for Yderhavns hovedforslag og Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.

Figur 3-35 og figur 3-36 viser reduktionen i meter for den statistiske middel signifikante bølgehøjde ( $H_{m0}$ ) efter etablering af Yderhavnen, hhv. med og uden Helhedsplanen. Reduktionen er beregnet i hvert modelpunkt som bølgehøjden for eksisterende forhold minus bølgehøjden for de fremtidige forhold. Figur 3-37 og figur 3-38 viser den tilsvarende relative ændring i %. Figur 3-39 og figur 3-40 viser den relative ændring i % for området omkring Tangkrogen. Af disse figurer kan følgende ses:

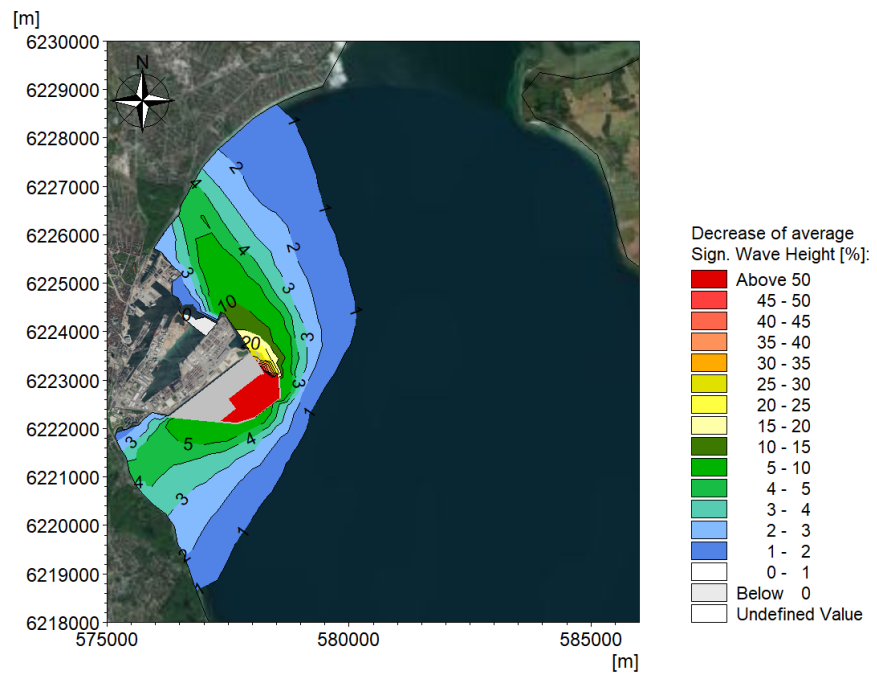
- > Bølgeforholdene omkring store dele af havnen vil ikke ændres væsentligt pga. Yderhavnen. På grund af læeffekt fra Yderhavnen vil bølgehøjden generelt reduceres med 1-5%.
- > I området umiddelbart nord for havneudvidelsen ved indsejlingen til nuværende miljøhavn vil bølgehøjden generelt reduceres med 15-20% på grund af læeffekt fra Yderhavnen for bølger fra sydøstlige retninger.
- > For Yderhavns hovedforslag vil der ikke forekomme væsentlige ændringer af bølgeforholdene i området ved Tangkrogen, idet Yderhavnen ingen påvirkning har i dette område for de dominerende bølger fra sydøst. På grund af læeffekt for de mindre dominerende bølger fra nordøstlige retninger vil Yderhavnen generelt reducere bølgehøjden i området med 3-4%.
- > For Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen vil der heller ikke forekomme væsentlige ændringer af bølgeforholdene i området ved Tangkrogen. På grund af læeffekt for de mindre dominerende bølger fra nordøstlige retninger reduceres bølgehøjden i området generelt med 4-5% (dvs. lidt mere end for Yderhavnen alene).



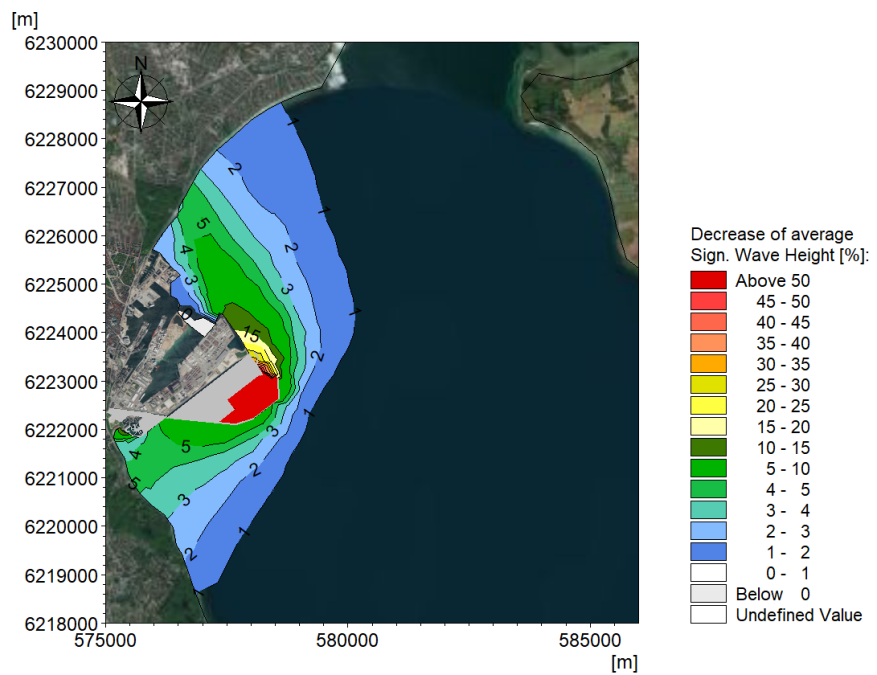
Figur 3-35 Reduktion (i meter) af statistisk middelbølgehøjde ( $H_{m0}$ ) ved etablering af Yderhavns hovedforslag.



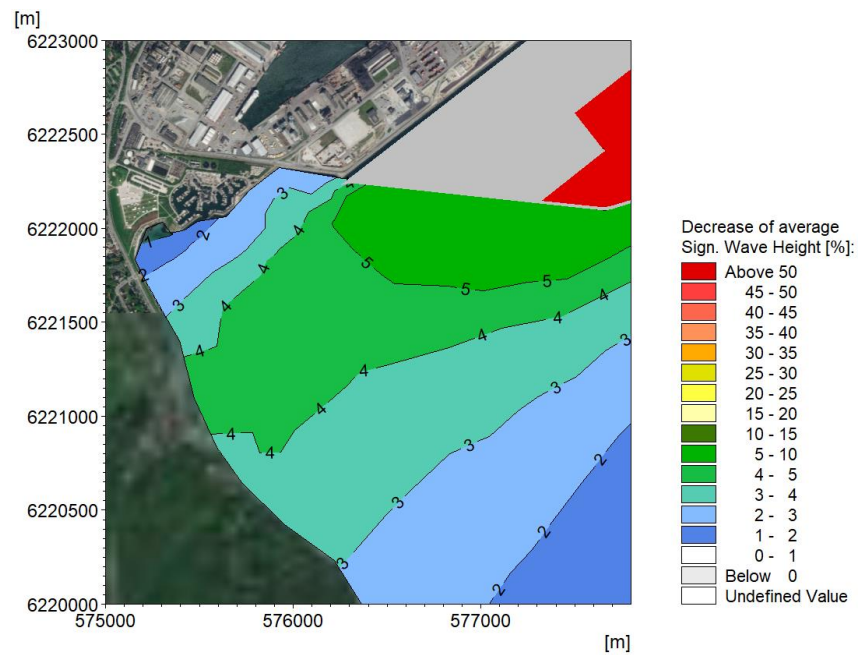
Figur 3-36 Reduktion (i meter) af statistisk middelbølgehøjde ( $H_{m0}$ ) ved etablering af Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



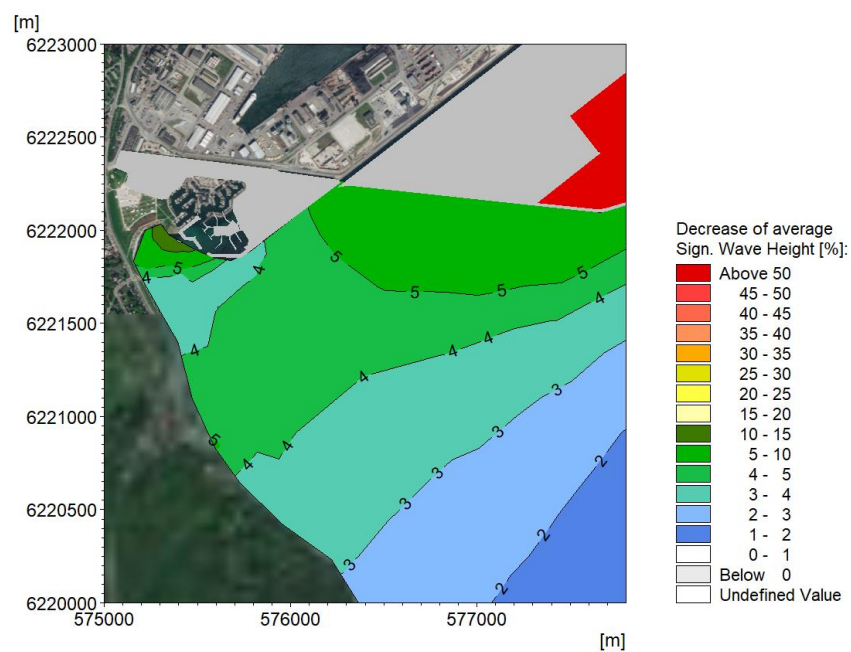
Figur 3-37 Reduktion (i %) af statistisk middelbølgehøjde ( $H_{m0}$ ) ved etablering af Yderhavnens hovedforslag.



Figur 3-38 Reduktion (i %) af statistisk middelbølgehøjde ( $H_{m0}$ ) ved etablering af Yderhavnens hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



Figur 3-39 Reduktion (i %) af statistisk middelbølgehøjde ( $H_{m0}$ ) omkring Tangkrogen ved etablering af Yderhavnsens hovedforslag.



Figur 3-40 Reduktion (i %) af statistisk middelbølgehøjde ( $H_{m0}$ ) omkring Tangkrogen ved etablering af Yderhavnsens hovedforslag inkl. Helhedsplanen.

## 4 Referencer

/1/ **COWI A/S**

*Masterplan for udvidelse af Aarhus Havn - Yderhavnen 2020-2060*  
2018.

/2/ **COWI A/S**

*Udvidelse af Aarhus Havn - Kystmorfologisk undersøgelse*  
A104076-PD-015, 2019.

/3/ **DHI**

*Metoccean data portal*

Online: <https://www.dhigroup.com/marine-water/metoccean-data-portal>,  
accessed 10 December 2018.

/4/ **DMI**

*DMI-HIRLAM*

Online: <https://www.dmi.dk/laer-om/temaer/atmosfaeren/hirlam/>.

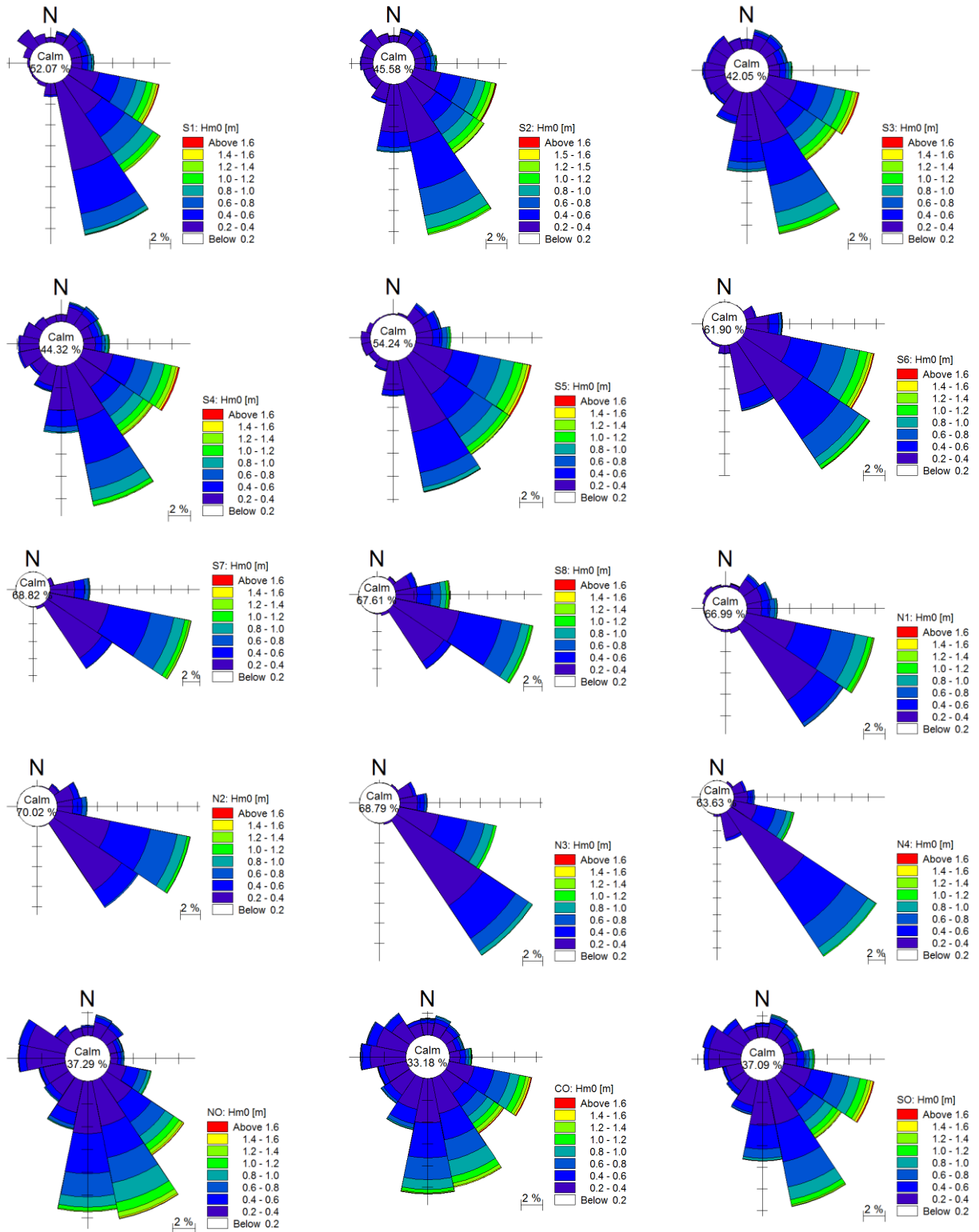
/5/ **DHI**

*Referencemanual - MIKE 21 Spectral Waves (MIKE 21 SW)*

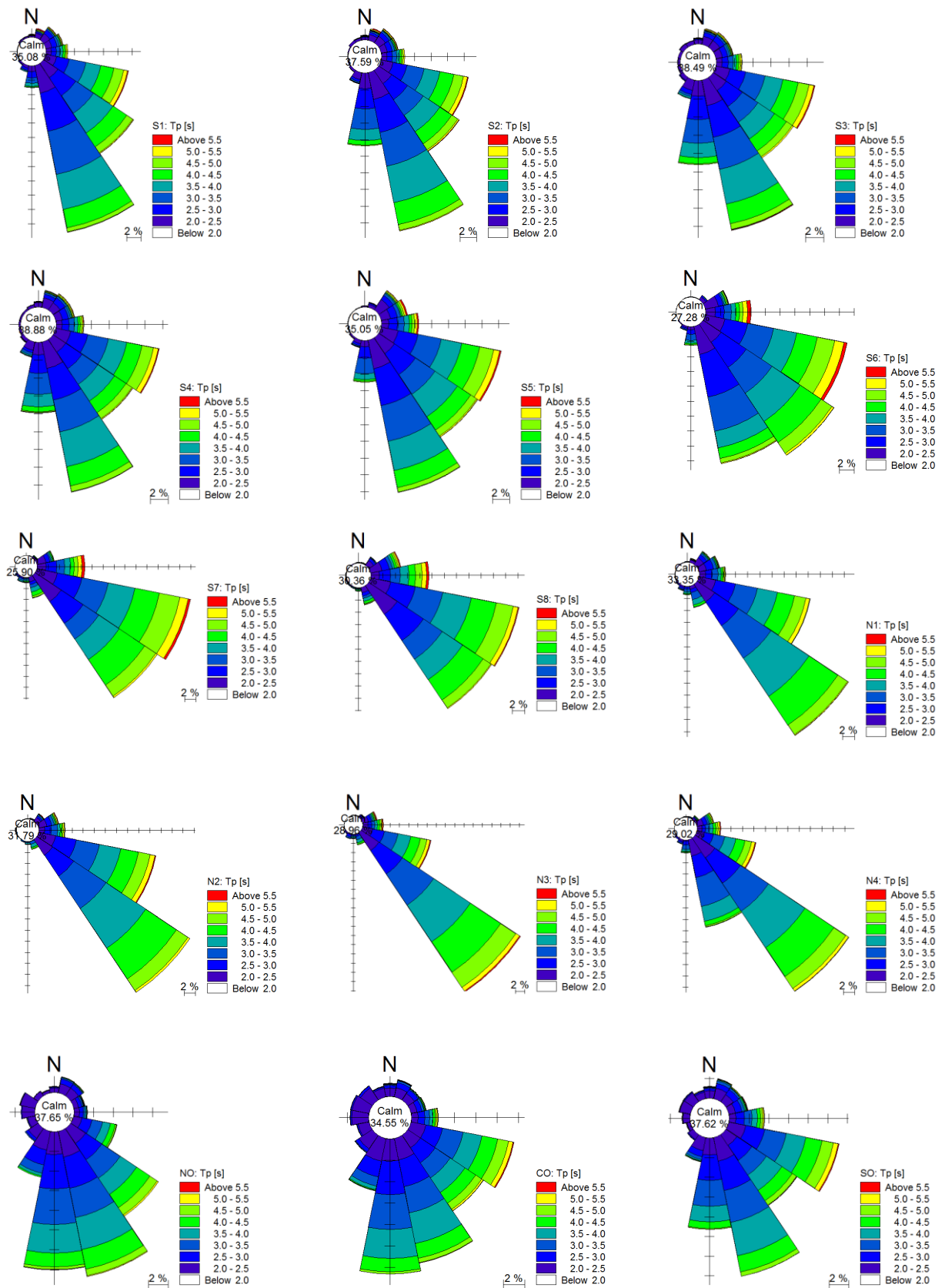
Online: [http://doc.mikepoweredbydhi.help/webhelp/2021/feminputeditorsw/index.htm#FemInputEditorSWOnline/FemInputEditorSW\\_dialogs/Quadruplet-wave\\_interaction.htm#XREF\\_32094\\_Quadruplet\\_wave](http://doc.mikepoweredbydhi.help/webhelp/2021/feminputeditorsw/index.htm#FemInputEditorSWOnline/FemInputEditorSW_dialogs/Quadruplet-wave_interaction.htm#XREF_32094_Quadruplet_wave), 2021.

## Bilag A Modellerede bølgeforhold

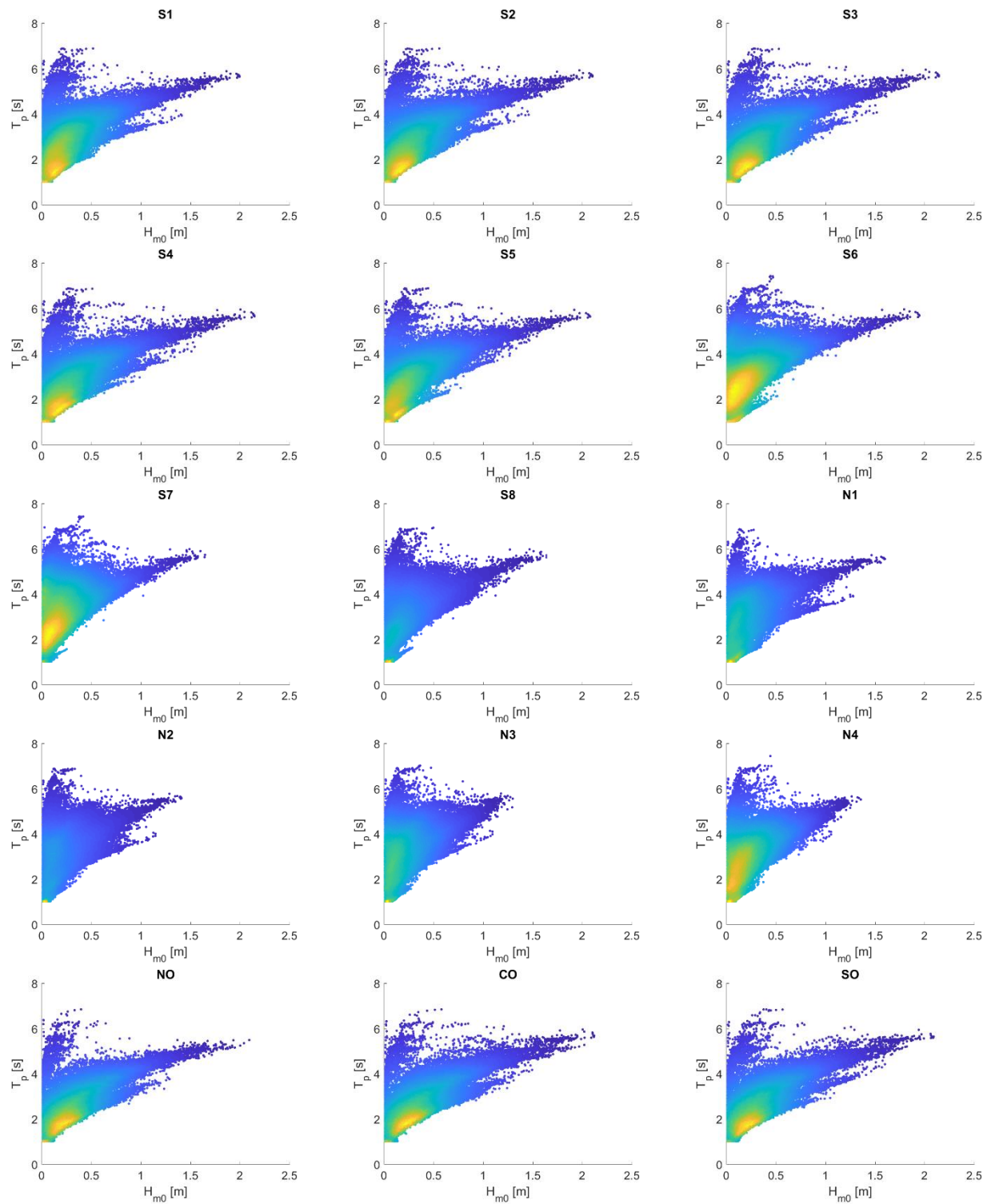
### A.1 Eksisterende forhold



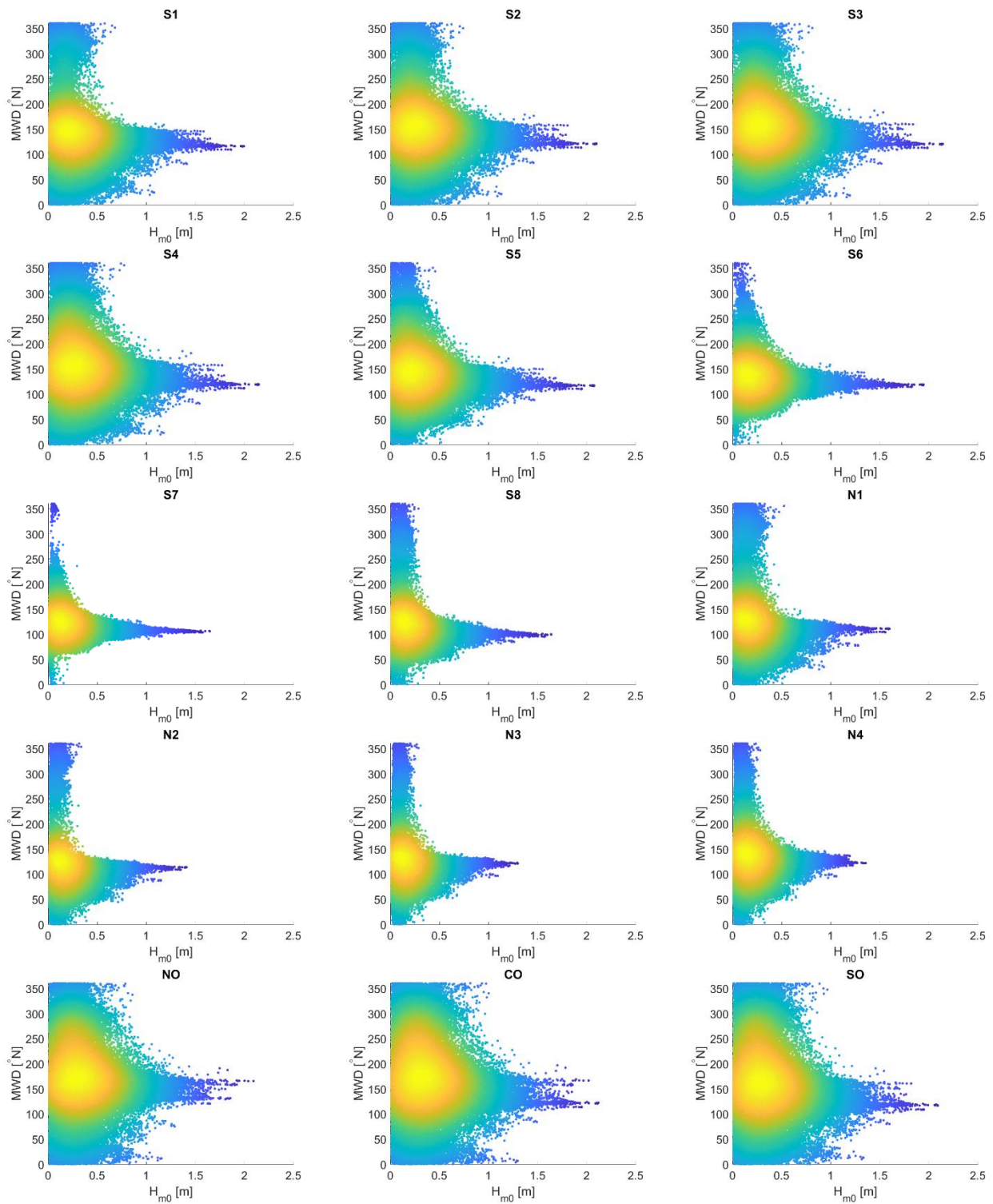
Figur A-1 Bølgeroser for  $H_{m0}$  for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, eksisterende forhold.



Figur A-2 Bølgeroser for  $T_p$  for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, eksisterende forhold.

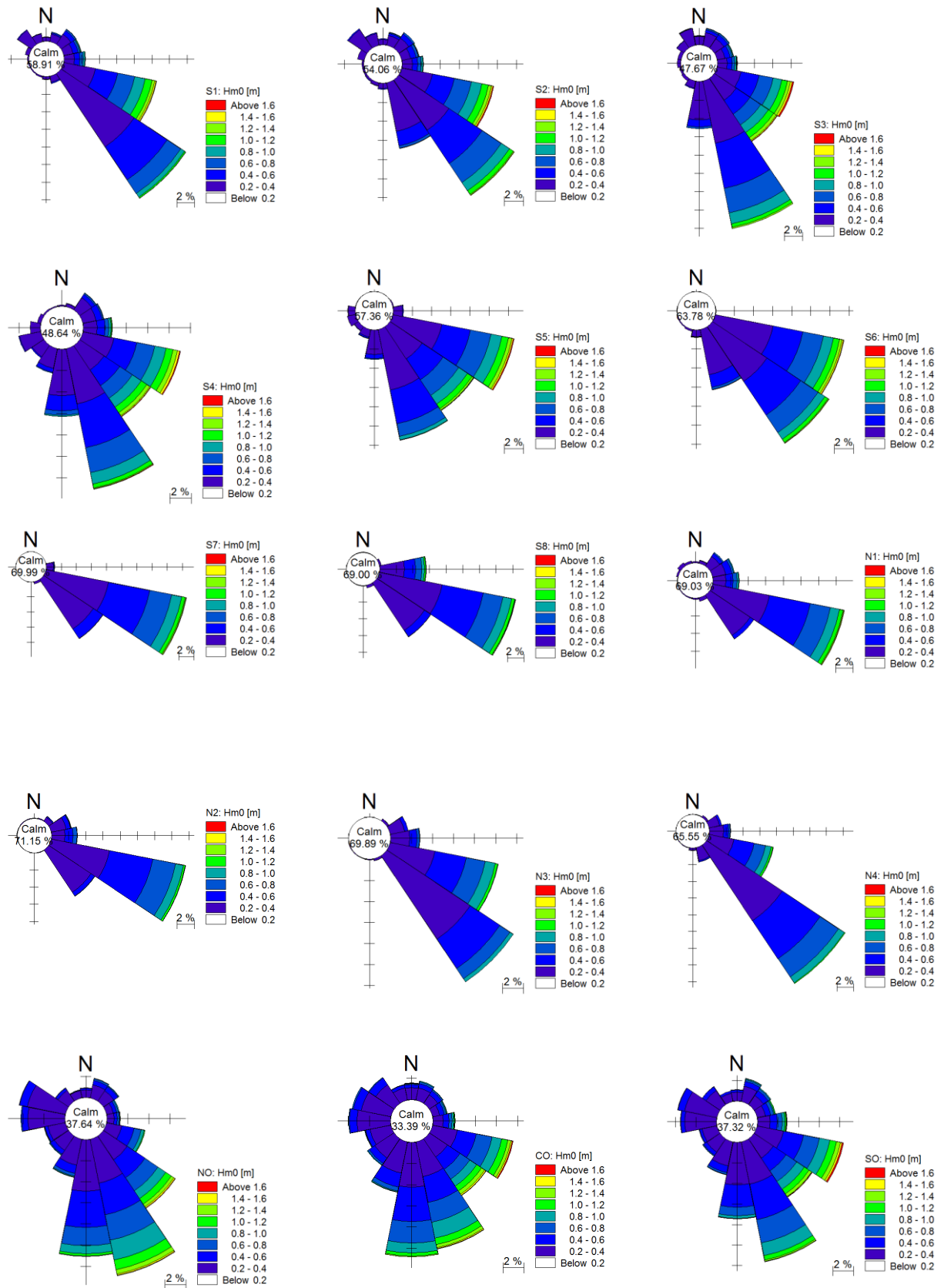


Figur A-3  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, eksisterende forhold.

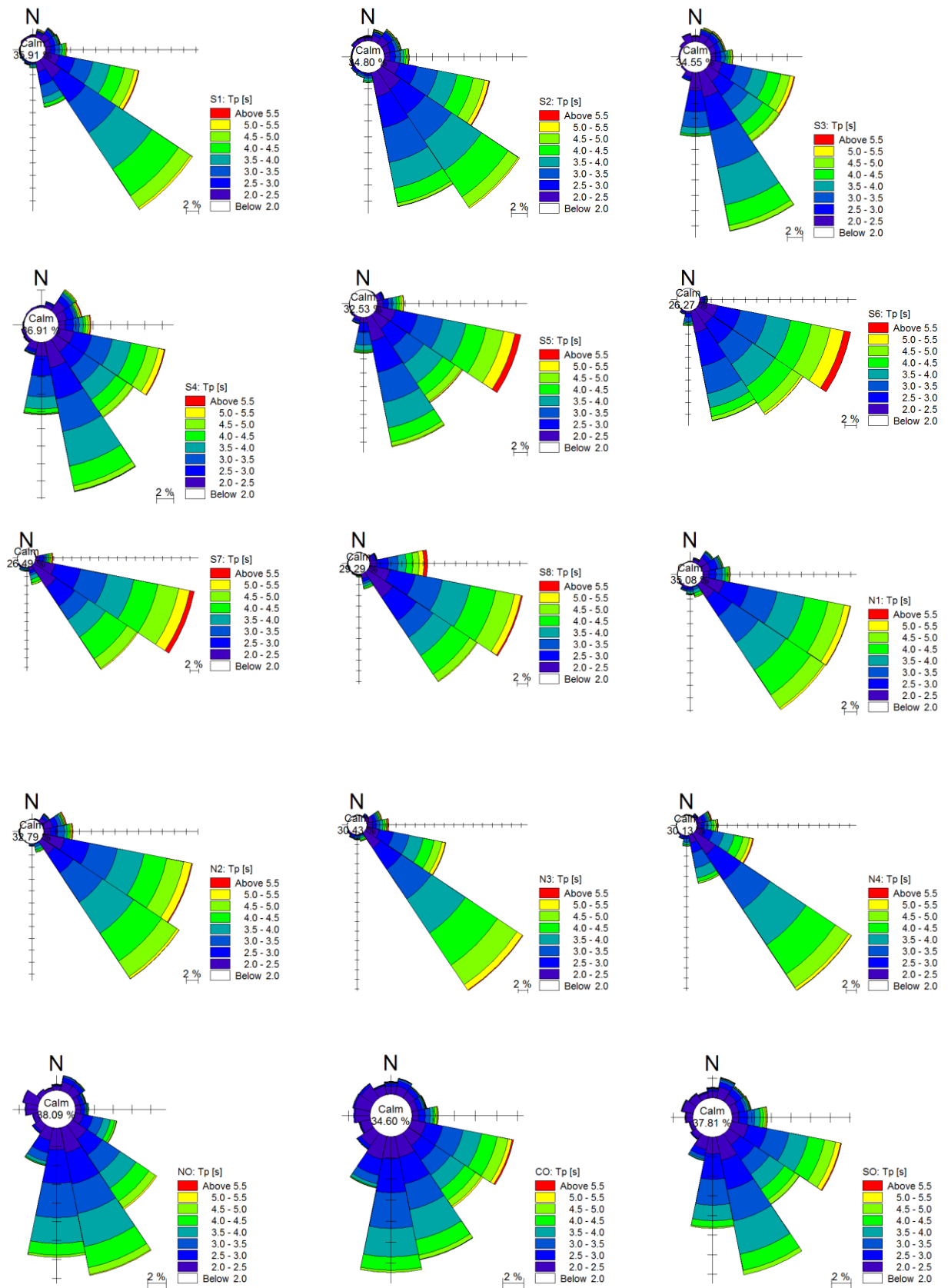


Figur A-4  $H_{m0}$  – MWD sammenhæng for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, eksisterende forhold.

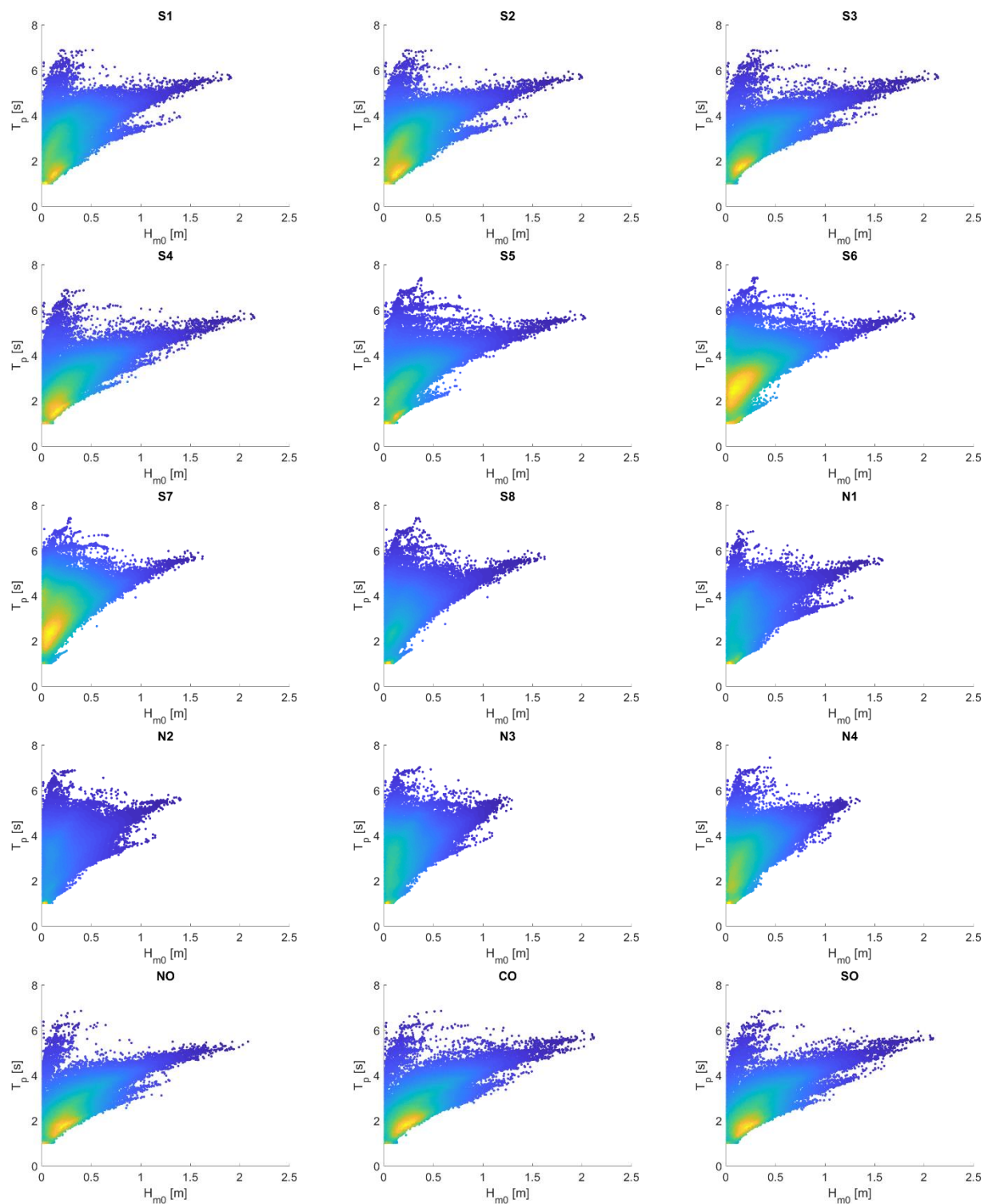
## A.2 Yderhavnsens hovedforslag



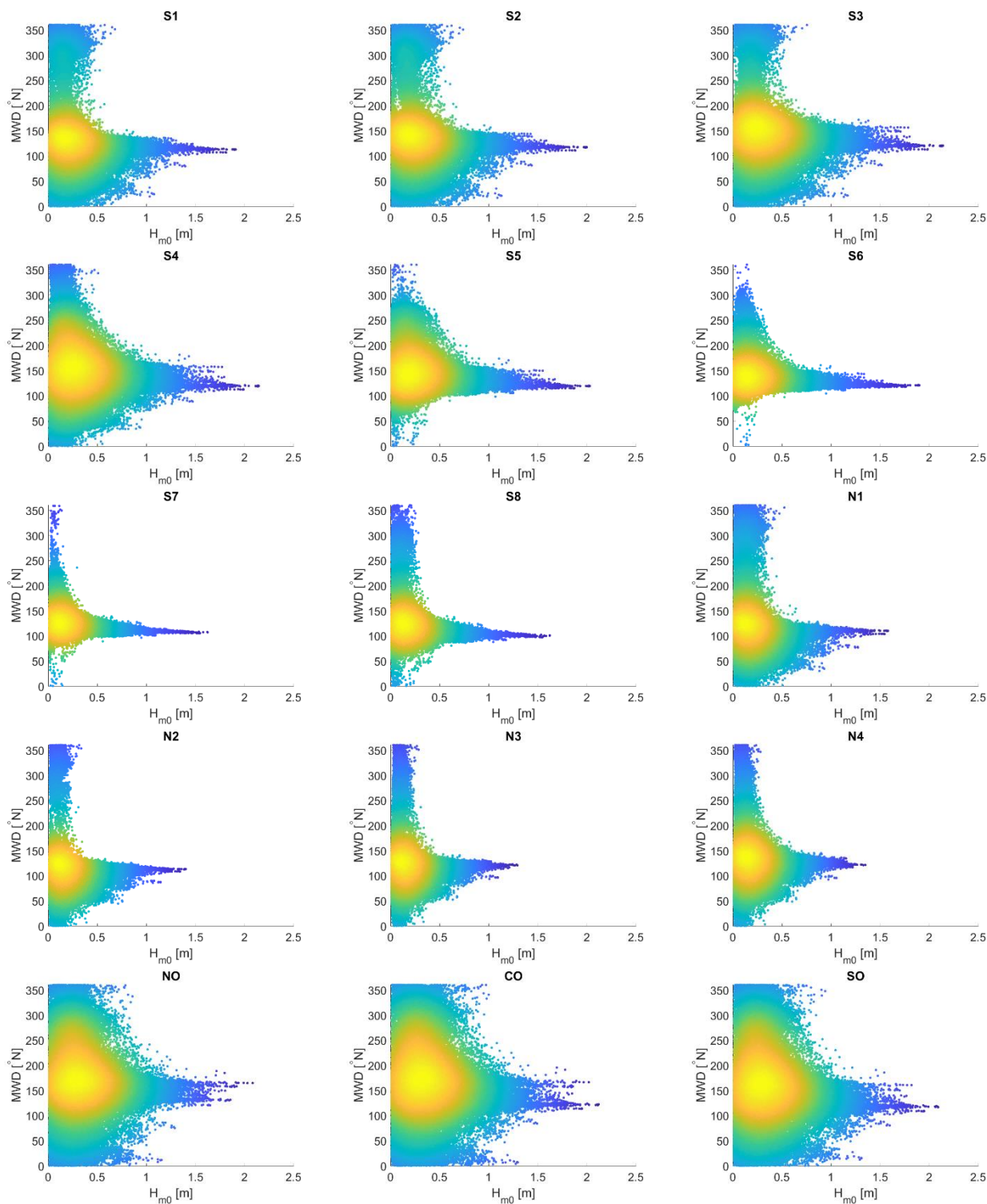
Figur A-5 Bølgeroser for  $H_{m0}$  for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhavnsens hovedforslag.



Figur A-6 Bølgeroser for  $T_p$  for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhavnsens hovedforslag.

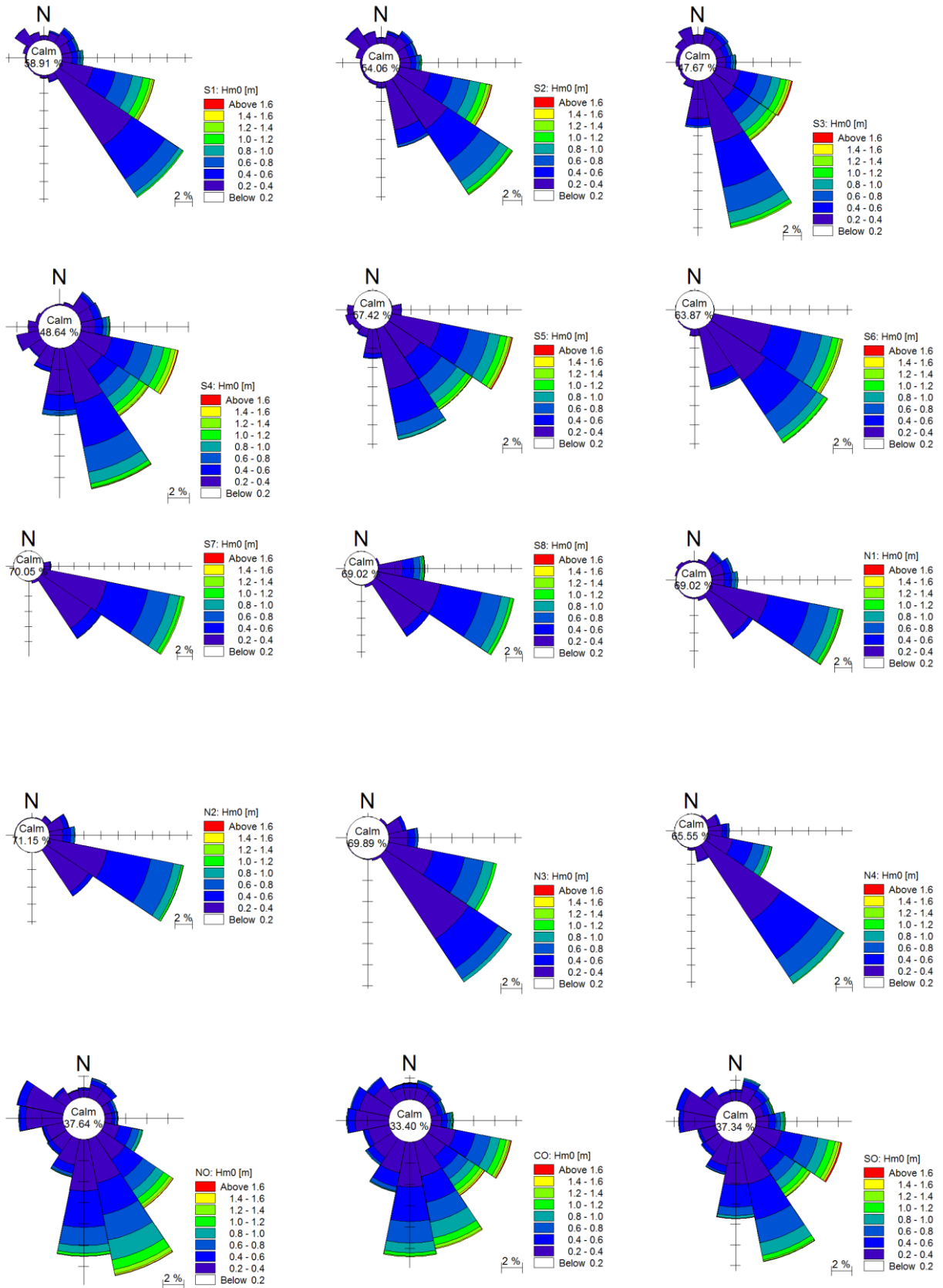


Figur A-7  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhavns hovedforslag.

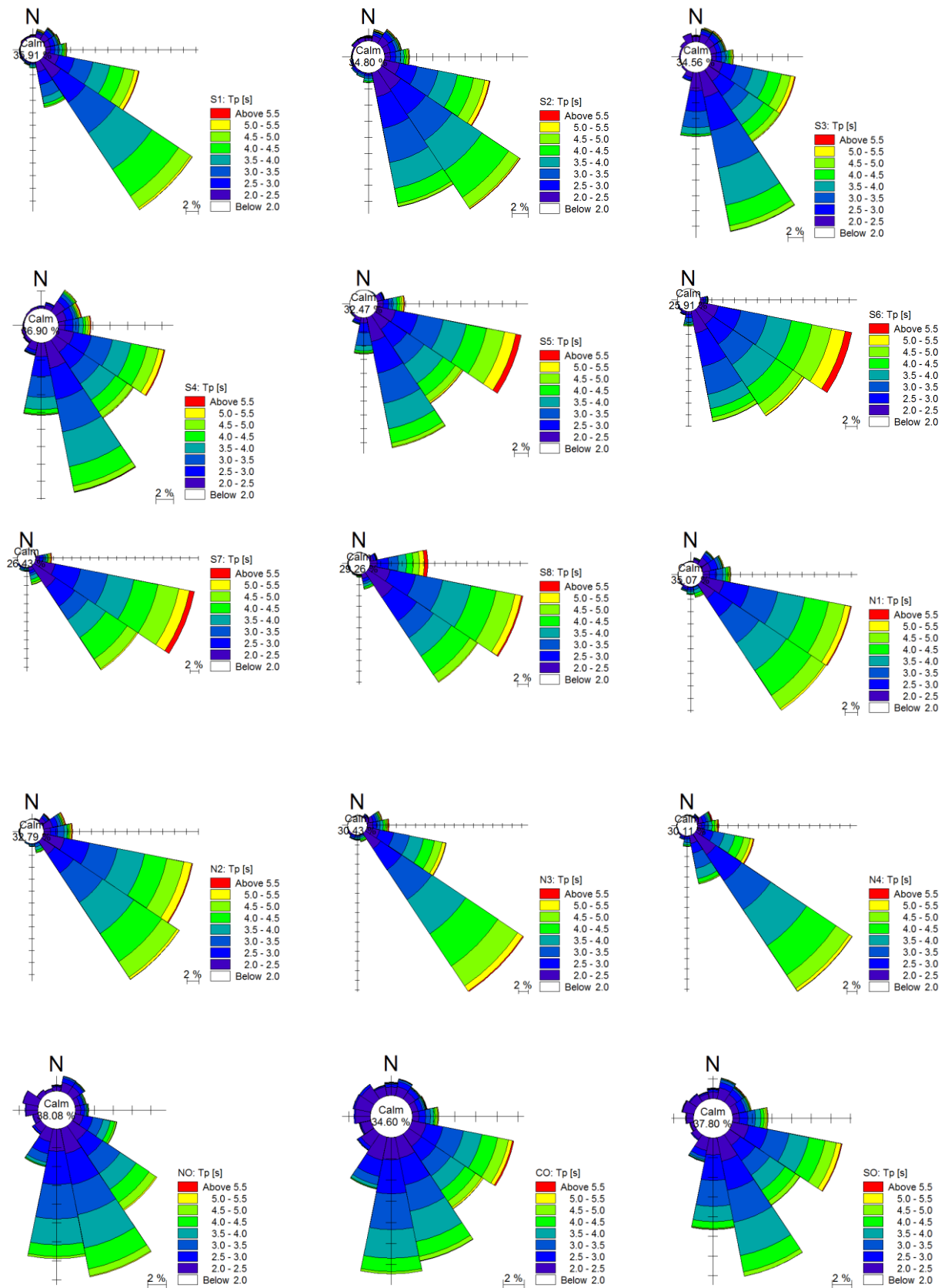


Figur A-8  $H_{m0}$  – MWD sammenhæng for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhav-  
nens hovedforslag.

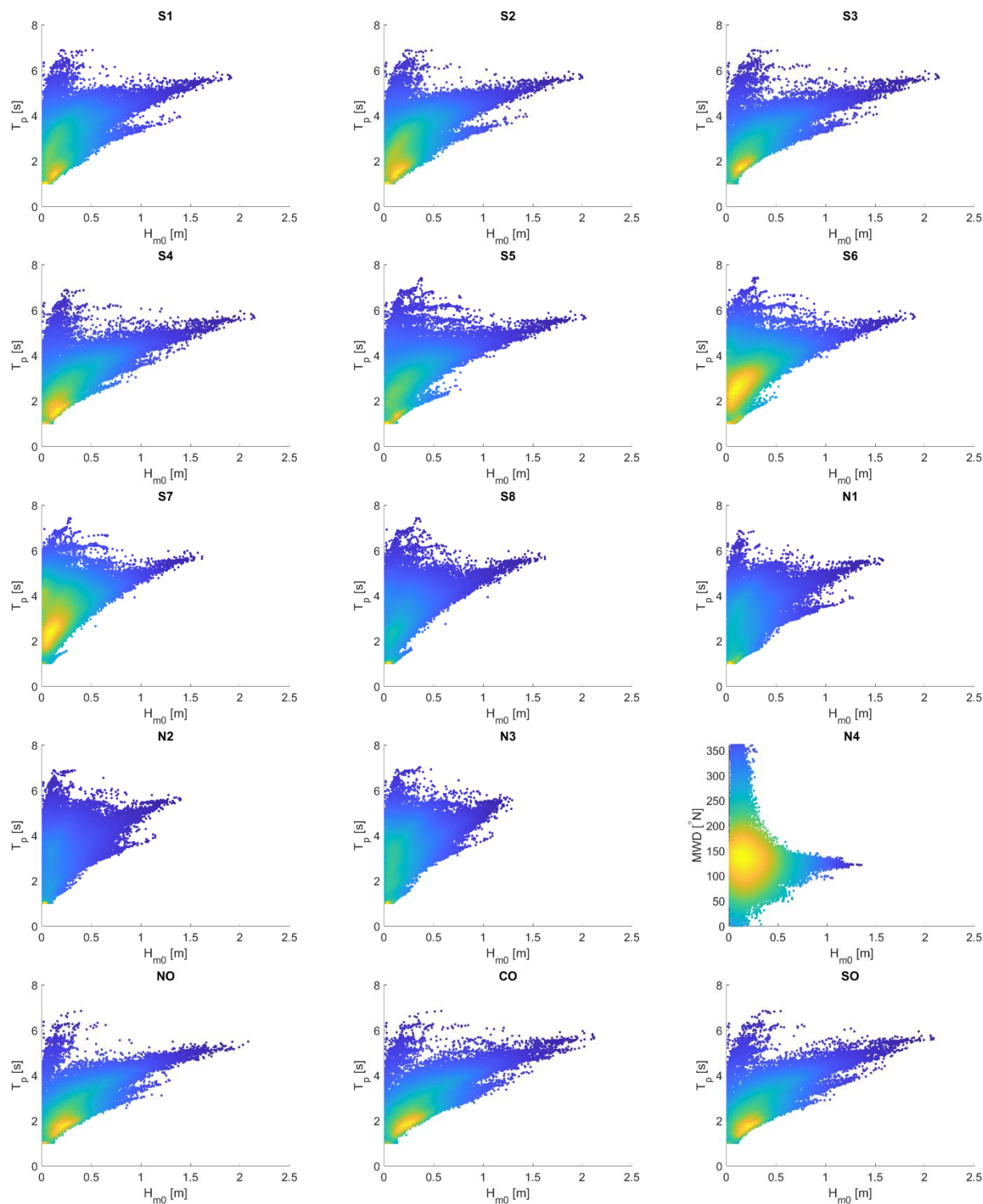
### A.3 Yderhavnsens hovedforslag inkl. Helhedsplanen



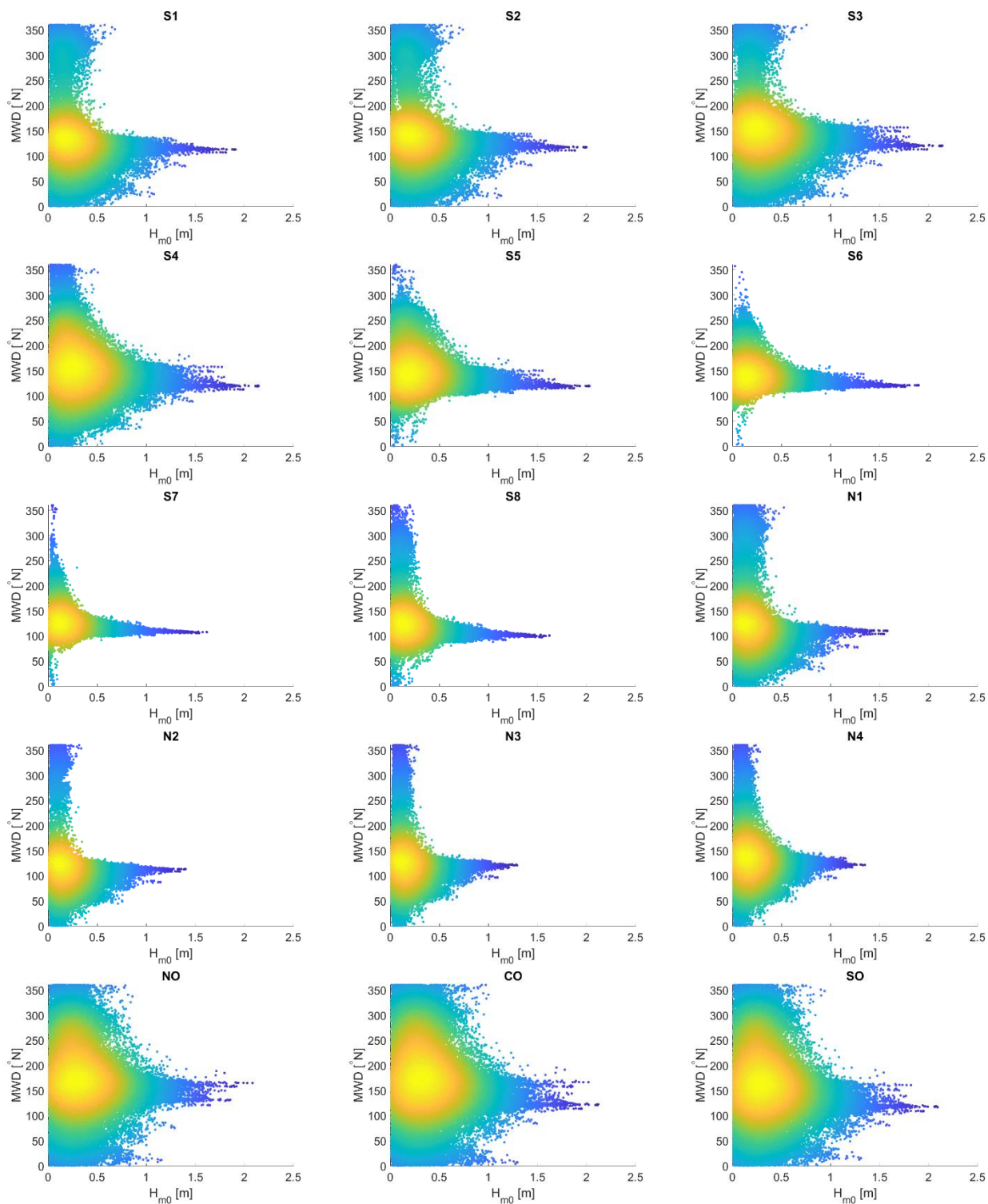
Figur A-9 Bølgeroser for  $H_{m0}$  for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhavnets hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



Figur A-10 Bølgeroser for  $T_p$  for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhavnets hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



Figur A-11  $H_{m0} - T_p$  sammenhæng for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhavns hovedforslag inkl. Helhedsplanen.



Figur A-12  $H_{m0}$  – MWD sammenhæng for perioden 2003-2013 (11 år) i udvalgte punkter, se Figur 3-2, Yderhav-  
nens hovedforslag inkl. Helhedsplanen.