

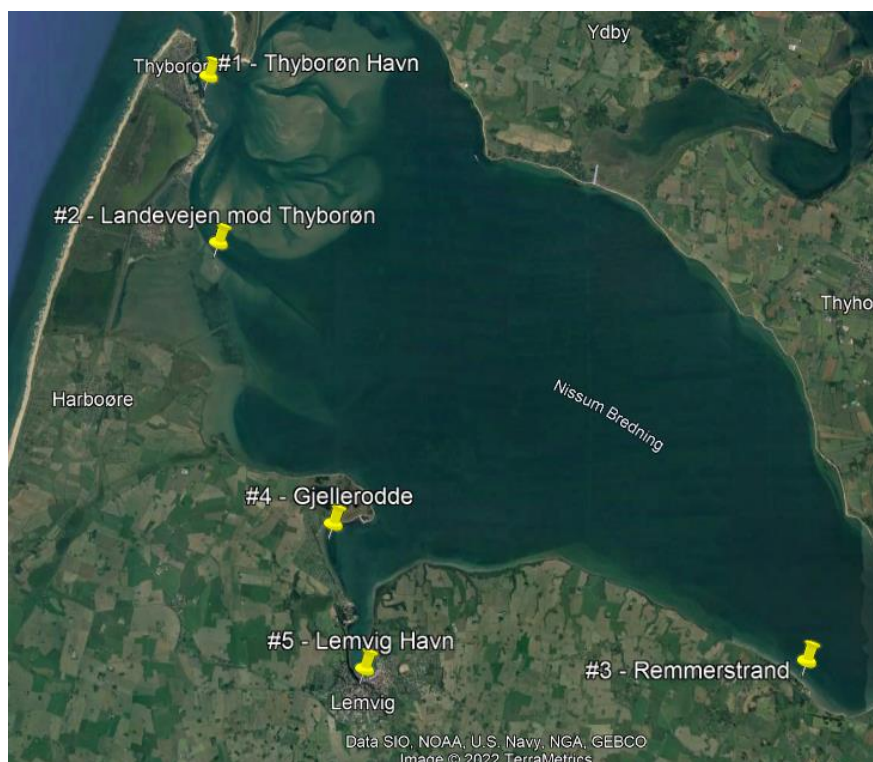
Til
Lemvig Kommune

Dokumenttype
Rapport

Dato
November, 2022

VANDSTANDSSTATISTIK I LEMVIG KOMMUNE

INPUT TIL KLIMATILPASNINGSPLAN



VANDSTANDSSTATISTIK I LEMVIG KOMMUNE

INPUT TIL KLIMATILPASNINGSPLAN

Projektnavn **Bidrag til klimatilpasningsplan**
Projektnr. **1100052133**
Modtager **Lemvig kommune**
Dokumenttype **Rapport**
Version **1.1**
Udarbejdet af **JQHN**
Kontrolleret af **JAK**
Godkendt af **JQHN**

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

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

INDHOLD

1.	Indledning	2
1.1	Betragtede lokaliteter i Lemvig Kommune	2
1.2	Indhold i nærværende rapport	3
2.	Ikke-teknisk opsummering	4
3.	Evaluerede stormscenarier til etablering af højvandsstatistikker	5
4.	Modellering af stormflodsvandstande i Lemvig Kommune	7
4.1	Forcering af model	7
4.2	Validering af model	8
5.	Forudsætninger ift. klimaændringer, morfologisk udvikling, samt indsnævring	12
5.1	Forudsætninger for klimaændringer ifm. modellering af fremtidige stormflodsvandstande	12
5.2	Morfologisk udvikling af Thyborøn kanal i modellen	12
5.3	Forudsætninger for indsnævring af Thyborøn kanal	13
6.	Ekstremværdi-statistik ved udvalgte lokaliteter	14
6.1	Forudsætninger for etablering af ekstremværdi-statistik	14
6.2	Resultater for højvandsstatistikker	15
6.3	Vurdering af repræsentative kyststrækninger for bølgehøjdestatistik	20
7.	Opsummering	21
7.1	Usikkerheder relateret til modelresultater	21
	Referencer	23
	Appendix A – vandstandsstatistikker (ikke normaliserede vandstandsstatistikker)	24
	Appendix B – Beskrivelse af storme	33

Figur på forsiden er fra (Google Earth, 2022)

1. INDLEDNING

Lemvig Kommune ønsker en kortlægning af stormflodsvandstande ved kommunens Limfjordskyst, under hensyntagen til påvirkning fra forventede fremtidige klimaændringer indenfor planlægningshorisonten (ca. 50 år). Kortlægningen ønskes gennemført for scenarierne med-/uden indsnævring af Thyborøn kanal, jf. C2CCC-C9-projektet; *"C9 Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord"*.

Der gennemføres ekstremværdianalyser for scenarierne med- og uden indsnævring af Thyborøn kanal. For scenariet med indsnævring forudsættes en fuld udbygning af molerne (Etape 1 og 2), som jf. C2CCC-C9-projektet medfører en indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde. Den fulde udbygning af molerne forventes at være gennemført indenfor de kommende ca. 35 år, og med en forventning om at Etape 1 bliver etableret indenfor de kommende ca. 10 år. Ekstremværdianalysen munder ud i højvandstatistikker, dvs. sammenhørende højvandstande og returperioder (50- og 100 års returperiode).

1.1 Betragtede lokaliteter i Lemvig Kommune

Højvandstatistikker, og dermed ekstremvandstande, estimeres og opstilles på baggrund af modelsimuleringerne for udvalgte repræsentative kystnære lokaliteter langs Limfjordskysten i Lemvig Kommune. De specifikke lokaliteter er udpeget af Lemvig Kommune og fremgår af nedenstående liste, samt illustreret i figur 1.

#1. – Thyborøn Havn:

- Vandstandsstatistik for denne position vil dække Thyborøn Havn samt den østligste del af Thyborøn kanal.

#2. – Landevejen mod Thyborøn:

- Vandstandsstatistik for denne position vil dække strækningen langs landevejen mod Thyborøn, dvs. østsiden af Harboøre Tange mod Limfjorden.

#3. – Remmerstrand:

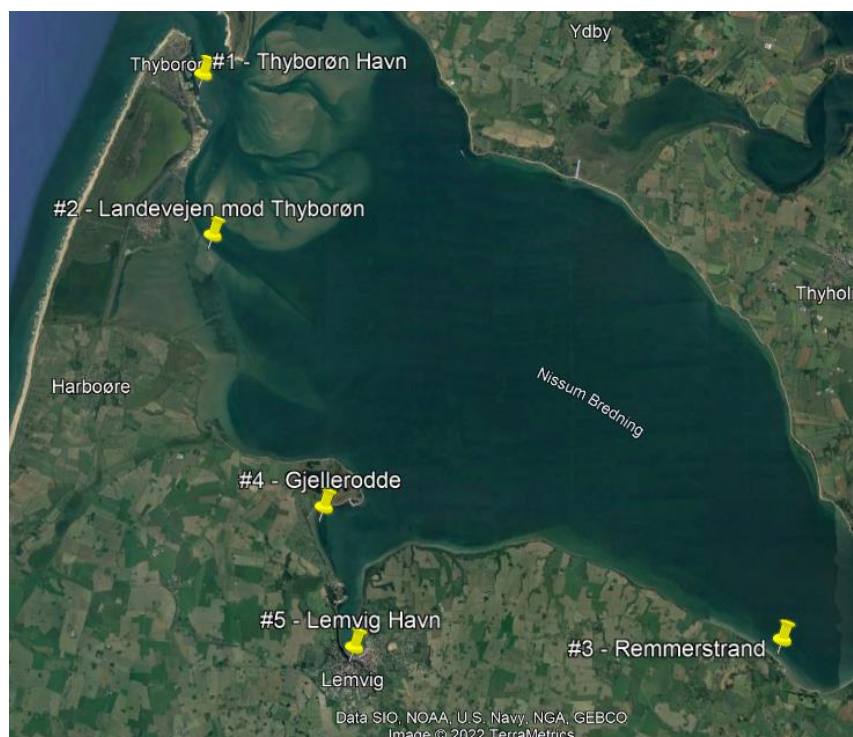
- Vandstandsstatistik for denne position vil dække strækningen ved Remmerstrand, dvs. den nordvendte kystlinje i den østligste del af Nisum Bredning.

#4. – Gjellerodde:

- Vandstandsstatistik for denne position vil dække området ved Gjellerodde på den østvendte kystlinje i den nordligste del af Lem Vig.

#5. – Lemvig Havn:

- Vandstandsstatistik for denne position vil dække Lemvig Havn og Lemvig by.



Figur 1: Ønskede positioner til udtræk af ekstremværdi-statistik. Figur er fra (Google Earth, 2022).

1.2 Indhold i nærværende rapport

Indholdet i nærværende rapport opsummeres i det følgende:

- Afsnit 2 – *Ikke-teknisk opsummering*:
 - Indledningsvis gives en ikke-teknisk opsummering af rapporten.
- Afsnit 3 – *Evaluerede stormscenarier til etablering af højvandsstatistikker*:
 - Der gives en beskrivelse af de evaluerede stormscenarier til etablering af højvandsstatistikker ved Limfjordskysterne i Lemvig Kommune.
- Afsnit 4 – *Modellering af stormflodsvandstande i Lemvig Kommune*:
 - Anvendte model til simulering af nuværende- og fremtidige stormflodsvandstande i Lemvig Kommune beskrives, inkl. beskrivelse af forcering og kalibrering af modellen.
- Afsnit 5 – *Forudsætninger ift. klimaændringer, morfologisk udvikling, samt indsnævring*:
 - Anvendte forudsætninger for fremtidige forhold beskrives, herunder klimaændringer, morfologiske ændringer, samt indsnævring af Thyborøn kanal.
- Afsnit 6 – *Ekstremværdi-statistik ved udvalgte lokaliteter*:
 - Ekstremværdi-statistik, baseret på resultater fra modelleringen, vises og beskrives.
- Afsnit 7 – *Opsummering*:
 - Der gives en opsummering af væsentlige konklusioner fra nærværende analyser, samt gives en diskussion af usikkerheder for de etablerede højvandsstatistikker.

2. IKKE-TEKNISK OPSUMMERING

Lemvig Kommune ønsker en kortlægning af stormflodsvandstande ved kommunens Limfjordskyst, under hensyntagen til påvirkningen fra forventede fremtidige klimaændringer indenfor en planlægningshorisont på ca. 50 år. Kortlægningen ønskes gennemført for scenarierne med-/uden indsnævring af Thyborøn kanal, jf. C2CCC-C9-projektet *”Åbningen mod Vest - C9 Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord”*.

Denne rapport omhandler analyse af fremtidige stormflodsvandstand på fem lokaliteter langs Lemvig Kommunes Limfjordskyst. De fremtidige stormflodsvandstande er analyseret med-/uden indvirkningen fra den planlagte indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m. I analyserne inkluderes den forventede indvirkning fra fremtidige klimaændringer. Herudover tages der højde for den naturlige forøgelse af vanddybden i Thyborøn kanal, som følge af ind-/udstrømningen af vand i kanalen.

Resultater fra analyserne i denne rapport viser, at såfremt der ikke etableres en indsnævring af Thyborøn kanal, kan der i slutningen af dette århundrede (år 2071 – 2100) forventes en forøgelse af fremtidige stormflodsvandstande langs Limfjordskysten i Lemvig Kommune på op til ca. 44%. Desuden må det forventes, at nuværende ekstremvandstande fremover kan forventes at forekomme med meget kortere mellemrum.

Indsnævringen af Thyborøn kanal til 250 m bredde kan derimod konkluderes at have en mærkbar gunstig effekt på fremtidige stormflodsvandstande langs Lemvig Kommunes Limfjordskyster. Bl.a. kan det konstateres, at såfremt indsnævringen af Thyborøn kanal etableres, kan denne kompensere for klimaændrings effekt på stormflodsvandstanden i Lemvig Havn. Der må således stadig forventes høj vandstand under storm, men stormflodsvandstanden kan som følge af indsnævringen forventes at være af samme omfang/højde som under den nuværende situation – til trods for klimaændringer. Indsnævringen af Thyborøn kanal vil dog ikke modvirke effekten fra de hyppigere storme, og således må det stadig forventes, at ekstremvandstande fremover vil forekomme oftere.

3. EVALUERERE STORMSCENARIER TIL ETABLERING AF HØJVANDSSTATISTIKKER

Det statistiske grundlag for etablering af en højvandsstatistik forbedres med antallet af inkluderede stormhændelser. Til nærværende analyse tages udgangspunkt i de samme 11 højvandshændelser som i C2CCC-C9-projektet, se tabel 1. Disse højvandshændelser har jf. (Kystdirektoratet, 2018) givet anledning til minimum de fem højeste højvandshændelser ved hhv. Hvalpsund, Lemvig Havn, Løgstør, Skive, Thisted samt Thyborøn Havn – dvs. i den vestlige Limfjord.

De registrerede vandstande ved Lemvig Havn i tabel 1 er baseret på opdaterede vandstandsmålinger fra (Klimatorium, 2022), pga. påvirkninger fra sætninger, hvilket er nærmere beskrevet i afsnit 4.2. Det forudsættes i tabel 1 at rangeringen af vandstandsniveauer ved Lemvig Havn er uændret til trods for påvirkningen fra sætninger.

Ref. i rapport	Dato	Navn	Vandstand ved Lemvig havn	Vandstand ved Thyborøn Havn	#1. Thyborøn Havn	#2. Landevejen til Thyborøn	#3. Remmerstrand	#4. Gjellerodde	#5. Lemvig Havn
Storm 1	24. nov. 1981 -> 25. nov. 1981		174 cm*	187 cm	X	X	X	X	X
Storm 2	27. feb. 1990 -> 28. feb. 1990			177 cm	X	X			
Storm 2005	8. jan. 2005 -> 10. jan. 2005		178 cm	185 cm	X	X	X	X	X
Storm 3	12. jan. 2007 -> 13. jan. 2007		163 cm	174 cm	X	X	X	X	X
Storm 4	27. nov. 2011 -> 28. nov. 2011								
Storm 5	9. dec. 2011 -> 10. dec. 2011		168 cm	186 cm	X	X	X	X	X
Storm 6	4. jan. 2012 -> 5. jan. 2012								
Storm 7	6. dec. 2013	Bodil	168 cm				X	X	X
Storm 8	10. jan. 2015 -> 11. jan. 2015	Egon	180 cm				X	X	X
Storm 9	29. nov. -> 3 dec. 2015	Helga							
Storm 10	24. dec. 2016 -> 27. dec. 2016	Urd	161 cm				X	X	X

Tabel 1. Hhv. de fem og syv højeste målte vandstande ved Thyborøn Havn og Lemvig Havn (Kystdirektoratet, 2018) samt angivelse af stormhændelser, som er forudsatte til at indgå ved udarbejdelse af højvandsstatistikken for "Landevejen", "Remmerstrand" samt "Gjellerodde" (angivet med "X"). Den målte vandstand ved Lemvig Havn er i tabellen baseret på opdaterede vandstandsmålinger fra (Klimatorium, 2022), hvilket er nærmere beskrevet i afsnit 4.2. * er baseret på vandstandsmåling jf. (Kystdirektoratet, 2018).

I tabel 1 er udover de hhv. fem og syv højeste målte vandstande, i Thyborøn Havn og Lemvig Havn, angivet de storme (markeret med "X") som højvandstandsstatistikken for hver af de betragtede fem lokaliteter er baseret på. Som det fremgår af tabellen, er det forudsat at vandstandsstatistikken ved "Landevejen til Thyborøn" baseres på samme storme som ved Thyborøn Havn, da denne lokalitet er beliggende relativt kort afstand hertil. Derimod er vandstandsstatistikkerne ved lokaliteterne "Gjellerodde" og Remmerstrand baseret på samme storme, som har medført høj vandstand ved Lemvig Havn.

For de lokaliteter hvortil der ikke haves vandstandsmålinger, kan det ikke udelukkes, at der kan have forekommet højere vandstande under andre stormhændelser end de angivne i tabel 1. Vandstandsstatistikken for disse lokaliteter er derfor behæftet med en vis usikkerhed relateret hertil. Det skal desuden nævnes at de opstillede højvandsstatistikker, pga. det relativt begrænsede antal storme som ligger til grund for udarbejdelsen, generelt er behæftet med en vis

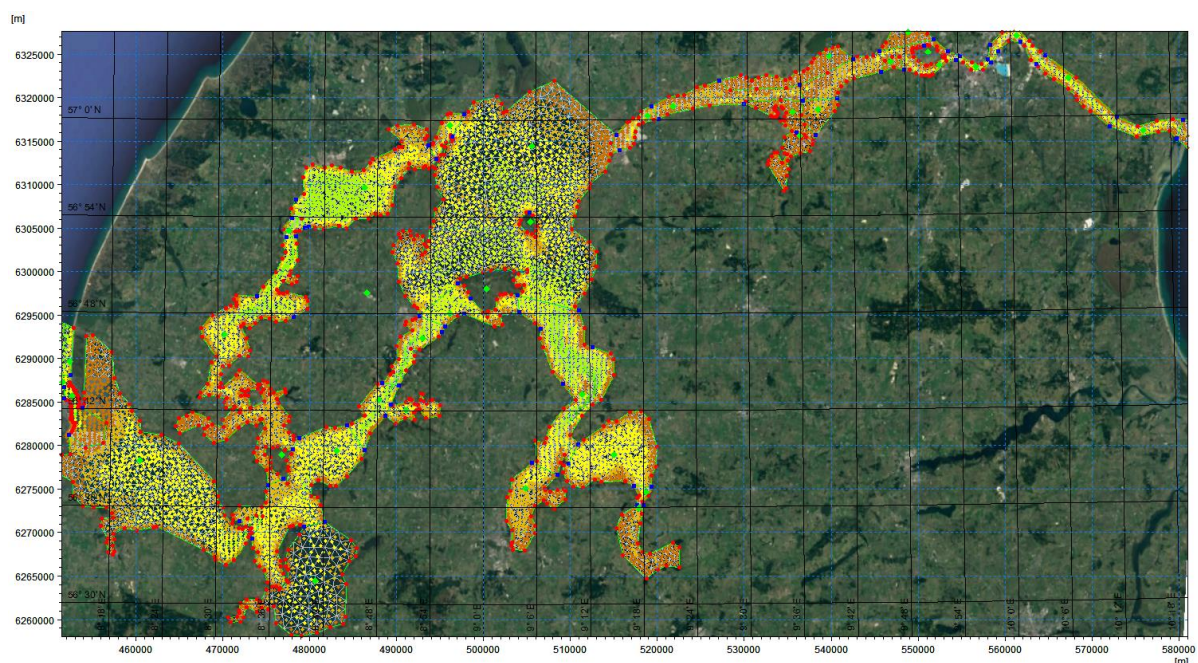
statistisk usikkerhed. Usikkerhederne vurderes dog for værende væsentligt lavere end usikkerheder ifm. klimaændringernes påvirkning af middelvandstanden (indflydelse fra klimaændringer er nærmere diskuteret i afsnit 5). Usikkerheder ifm. ekstremværdi-statistikker er yderligere opsummeret og diskuteret i afsnit 7.

De angivne storme i tabel 1 er yderligere beskrevet i Appendix B.

4. MODELLERING AF STORMFLODSVANDSTANDE I LEMVIG KOMMUNE

Modeldomænet som anvendes til simuleringen af stormflodsvandstande i nærværende rapport, er illustreret i figur 2 og dækker hele Limfjorden fra Thyborøn til Hals. Modellen er en såkaldt 3D-*“Reynolds Averaged Navier-Stokes”*-model som er opbygget i DHI-softwaren MIKE3 FM og som består af 23.776 mesh-elementer i hvert af de 10 vertikale sigma-lag. Det anvendte beregningsnet er optimeret ift. hastighedsgradienterne for strømningerne i fjorden (dvs. størrelserne på beregningscellerne).

Bathymetri- og dybdedata er løbende indsamlet igennem forskellige Rambøll-projekter i- og omkring Limfjorden samt baseret på tilgængelige oplysninger i (DHI, 2011). Herudover er der anvendt tilgængelige data fra søkort samt MIKE DHI C-map. Specielt de nuværende- og fremtidige vanddybder for Thyborøn kanal er baseret på oplysninger/plots i (DHI, 2011).



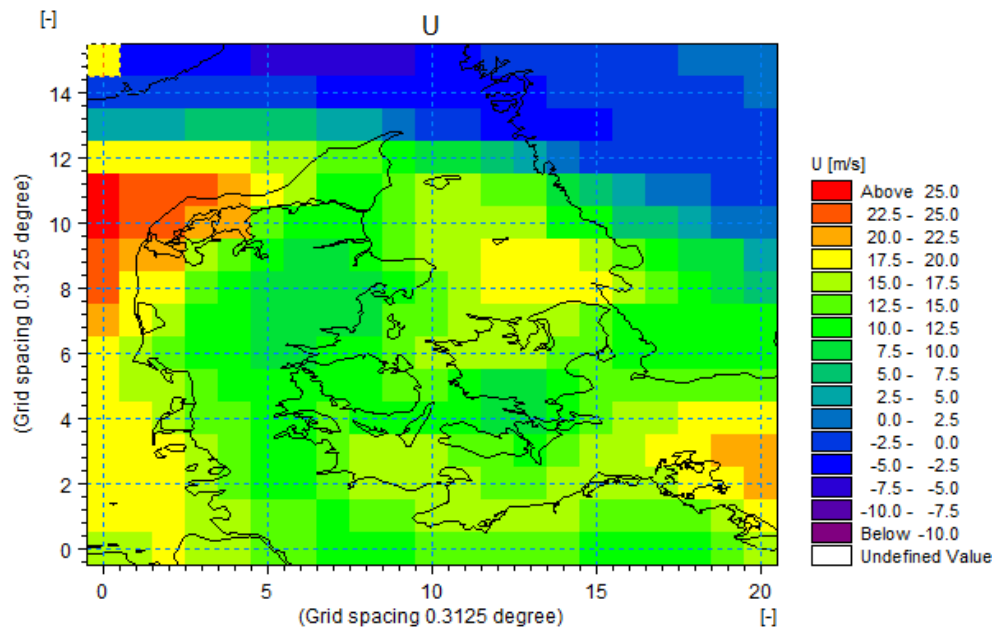
Figur 2: Illustration af det anvendte beregningsdomæne i limfjordsmodellen til simulering af vandstande i Limfjorden. (Google Earth, 2022)

4.1 Forcering af model

Limfjordsmodellen forceres af tidsvarierende vandstande i Thyborøn og Hals. Der anvendes vandstandsmålinger fra Thyborøn Hav (station 24007) samt Hals Barre II (station 20252), samt tidsserier fra (DHI, 2011). Der veksles imellem de forskellige datakilder afhængig af datatilgængeligheden for de ønskede perioder/scenarier. Dog er det under tidligere studier af bl.a. (Nørgaard, Bentzen, Larsen, & Andersen, 2014) konkluderet, at det under stormflod hovedsageligt er vandstanden i Thyborøn som dominerer stormflodsvandstandene i Limfjorden.

Baseret på konklusionerne i (DHI, 2011) er der tillagt 5 cm til vandstandene i Thyborøn under stormflod, for at tage hensyn til indflydelse fra bølger på vandstanden, pga. bølgestuvning.

Vindens påvirkning er i modellen inkluderet ved anvendelse af såkaldte CFSR-data fra NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Et eksempel på vindforceringsdata for Storm 8 (stormen Egon) er vist i figur 3. Figuren viser stormpeaket.



Figur 3: Eksempel på anvendte CFSR-data til forcering af model for Storm 8. Figuren viser den vandrette vindhastigheds-komponent (fra vest mod øst) under stormpeaket.

4.2 Validering af model

Til kortlægning af fremtidige stormflodsvandstande i Nisum Bredning gøres brug af samme model- og fremgangsmåde som anvendt i C2CCC-C9-projektet. Modellen er valideret mod tilgængelige vandstands-målinger – herunder bl.a. vandstandsmåleren ved Lemvig Havn (DMI nr. 24032) samt vandstandsmåleren ved Thyborøn Havn (DMI nr. 24007).

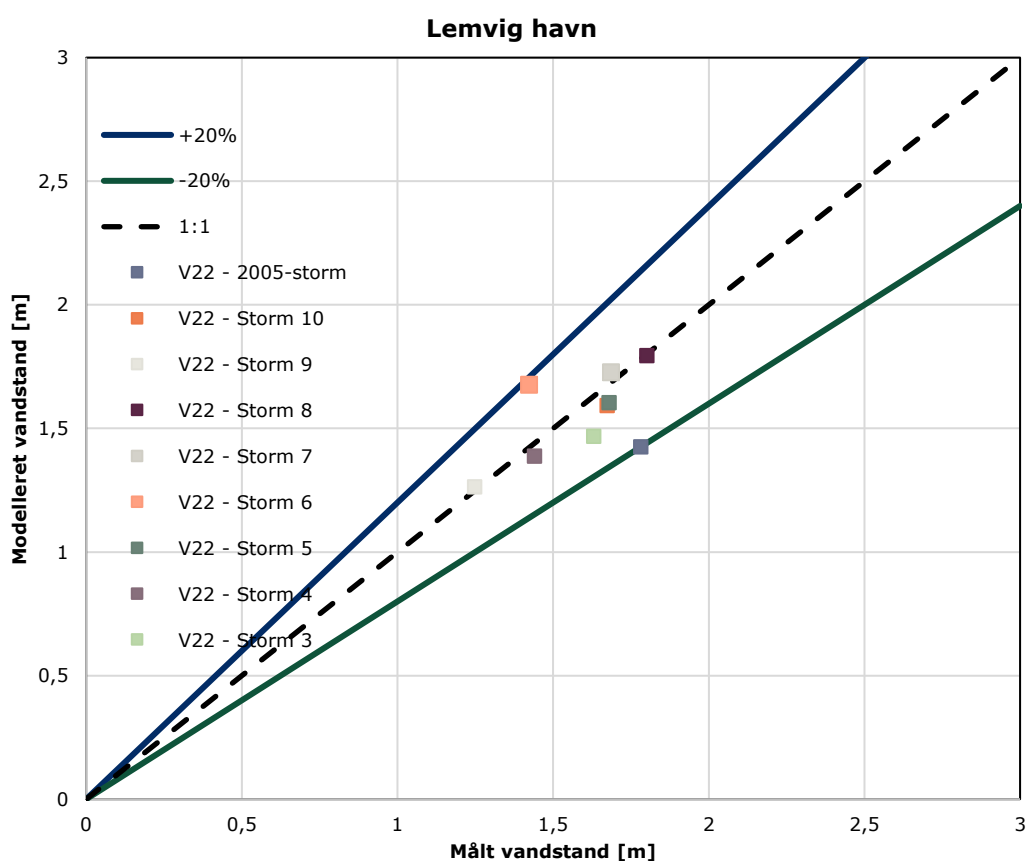
Det har jf. (Klimatorium, 2022) vist sig, at vandstandsmåleren i Lemvig løbende har været udsat for klimabetingede vandstands-stigninger og geotekniske sætninger. Vandstandsmåleren er derfor opgraderet og leverer aktuelt vandstande i forhold til det national datum DVR90. Desuden er vandstandsmålinger for perioden 2001 til 4. april 2022 opdateret til et datasæt refererende til datum DVR90 og frit for geotekniske sætninger. Disse data er blevet gjort tilgængelige for Rambøll til brug ifm. justering af modellen til anvendelse i nærværende analyser.

I (Klimatorium, 2022) er det konkluderet, at vandstandsmåleren ved Lemvig i perioden 2001 – 2022 har haft en kontrolfejl på gennemsnitligt ca. 9 cm, dog væsentlig større i perioder med høj vandstand. Tabel 2 viser vandstandsmålinger inkl.- og ekskl. effekten fra geotekniske sætninger for de 7 storme som indgår i vandstandsstatistikken ved Lemvig Havn. Som det fremgår af tabellen, har der for de enkelte storme været relativt stor spredning i effekten fra sætningerne.

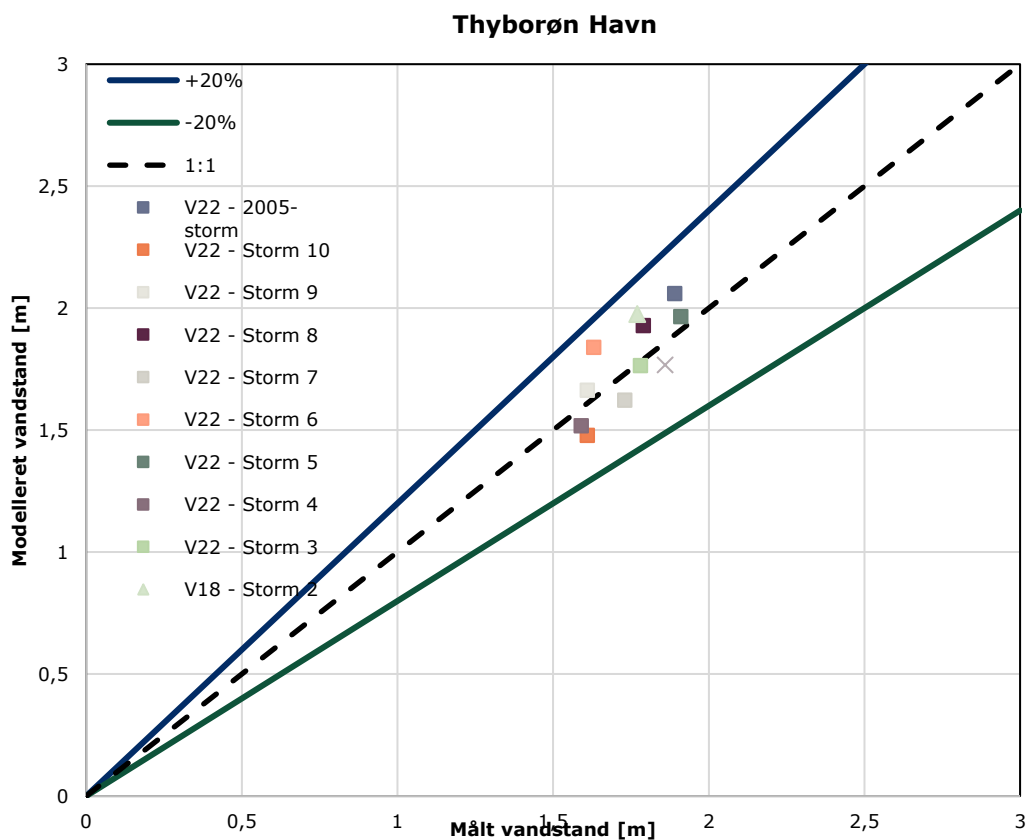
Ref. i rapport	Dato	Oprindelige vandstandsmålinger ved Lemvig Havn (under indflydelse fra geotekniske sætninger) [mDVR90]	Vandstand ved Lemvig havn baseret på opdaterede vandstandsmålinger [mDVR90]
Storm 2005	8. jan. 2005 -> 10. jan. 2005	195 cm	178 cm
Storm 3	12. jan. 2007 -> 13. jan. 2007	167 cm	163 cm
Storm 5	9. dec. 2011 -> 10. dec. 2011	182 cm	168 cm
Storm 7	6. dec. 2013	183 cm	168 cm
Storm 8	10. jan. 2015 -> 11. jan. 2015	195 cm	180 cm
Storm 10	24. dec. 2016 -> 27. dec. 2016	177 cm	161 cm

Tabel 2. Vandstandsmålinger inkl. og ekskl. effekten fra geotekniske sætninger, baseret på opdaterede vandstandsmålinger fra (Klimatorium, 2022), for de 7 storme som indgår i vandstandsstatistikken ved Lemvig Havn.

Sammenligning imellem målte- og modellerede stormflods-peaks ved hhv. Lemvig Havn og Thyborøn Havn er vist i figur 4 og figur 5. Sammenligningen er gennemført for flere storme udover de storme som indgår i de statistiske analyser jf. tabel 1, for de stormhændelser hvortil der haves samtidige målinger og modelresultater.



Figur 4: Sammenfald imellem målte- og modellerede vandstande ved Lemvig Havn, hvortil der haves målinger.

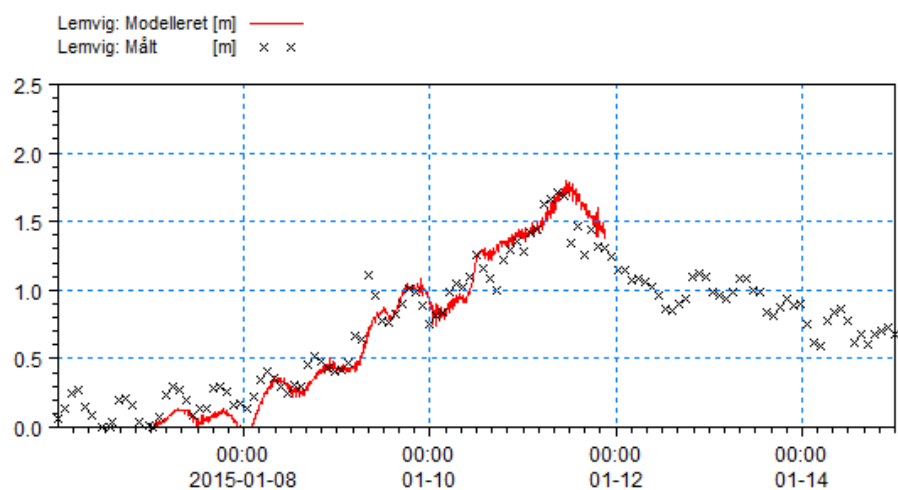


Figur 5: Sammenfald imellem målte og modellerede vandstande ved Thyborøn Havn, hvortil der haves målinger.

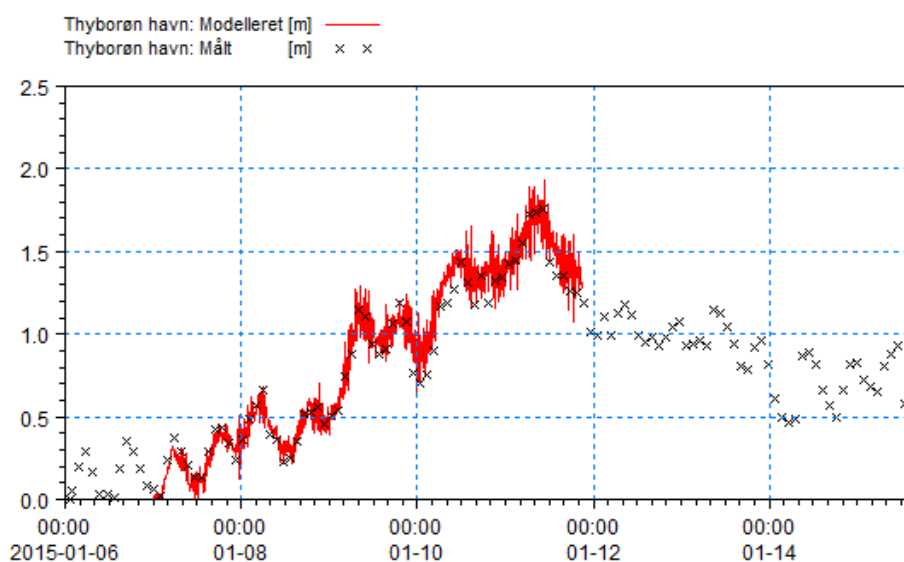
Som det fremgår af figur 4 og figur 5 haves generelt en relativ god overensstemmelse imellem målte- og modellerede vandstande. I enkelte tilfælde forekommer der en vis afvigelse, hvilket bl.a. kan skyldes:

- Lokalt afvigende dybdeforhold i bl.a. Thyborøn kanal og/eller ved andre snævre passager i Limfjorden end forudsat i modelberegningerne.
- Fejlmålinger, som især kan opstå under ekstremhændelser.
- Effekter fra naturlige variationer fra storm til storm, som modellen kun til en vis udstrækning tager højde for.

Eksempler på sammenligninger imellem målte- og simulerede tidsserier for Storm 8 (stormen *Egon*) er vist i figur 6 og figur 7 for forskellige lokaliteter. Igen fremgår det, at der er forholdsvis god overensstemmelse imellem målte og simulerede stormflodsforløb.



Figur 6: Målt- og simuleret tidsserie for Lemvig Havn under stormen "Egon" (Storm 8).



Figur 7: Målt- og simuleret tidsserie for Thyborøn Havn under stormen "Egon" (Storm 8).

5. FORUDSÆTNINGER IFT. KLIMAÆNDRINGER, MORFOLOGISK UDVIKLING, SAMT INDSNÆVRING

De forudsatte indflydelser fra klimaændringer, morfologisk udvikling samt fremtidig indsnævring af Thyborøn Kanal beskrives i det følgende.

5.1 Forudsætninger for klimaændringer ifm. modellering af fremtidige stormflodsvandstande

Ift. fremtidige stormflodsvandstande, under påvirkning fra klimaændringer, forudsættes klimascenariet RCP8.5 med en tidshorisont svarende til slutningen af dette århundrede (2071 – 2100). Dvs. de estimerede stormflodsvandstande er med en forudsætning om at de indtræffer om ca. 50 år med den dertilhørende ændring af middelvandstanden.

Ifølge klimaatlas.dk forventes kun meget små ændringer i ekstremvind, hvorimod prognoserne indikerer store ændringer i middelvandstanden frem mod slutningen af århundredet. Hensynet til klimaændringernes påvirkning er derfor udelukkende inkluderet i form af en stigning i middelvandstanden, som ved Thyborøn er 57 cm (svarende til "det bedste bud" oplyst på klimaatlas.dk (DMI, 2022) for RCP8.5 i 2071 – 2100). Usikkerhedsintervallet er for RCP 8.5 jf. Klimaatlas.dk 13 – 101 cm.

Vandstandsstigningen forventes at ske relativt lineært indtil slutningen af dette århundrede, hvilket således betyder at der over den kommende ca. 50-årige periode kan forventes en årlig vandstandsstigning på ca. 5 – 6 cm pr år (under forudsætning af RCP. 8.5).

Ved Hals er vandstandsstigningen 49 cm, jf. klimaatlas.dk (DMI, 2022), men da stormflodsvandstanden i den vestlige Limfjord jf. (Nørgaard, Bentzen, Larsen, & Andersen, 2014) hovedsageligt er styret af vandstanden ved Thyborøn, forudsættes 57 cm vandstandsstigning i hele fjorden i år 2071 – 2100. Vandstandsstigningen er i modellen inkluderet ved at tillægge 57 cm til vandstanden på model-randene samt som startbetingelse i hele modelområdet.

5.2 Morfologisk udvikling af Thyborøn kanal i modellen

(DHI, 2011) har undersøgt den morfologiske udvikling af Thyborøn kanal igennem fire snit. Som det fremgår af tabel 3, udvides mindstetværsnittet af Thyborøn kanal (som er det kritiske snit ift. den hydrauliske modstand i Thyborøn kanal under stormflod) med ca. 23%.

Anvendte model til simulering af fremtidige stormflodsvandstande i nærværende analyser er justeret til at inkludere den omtrentlige samme forskel morfologiske udvikling som estimeret i (DHI, 2011). Hertil har der specielt været fokus på mindstetværsnittet, som også i Rambølls model er 23%. Samme forudsætning er anvendt i (C2CCC-C9, Rambøll, 2019)

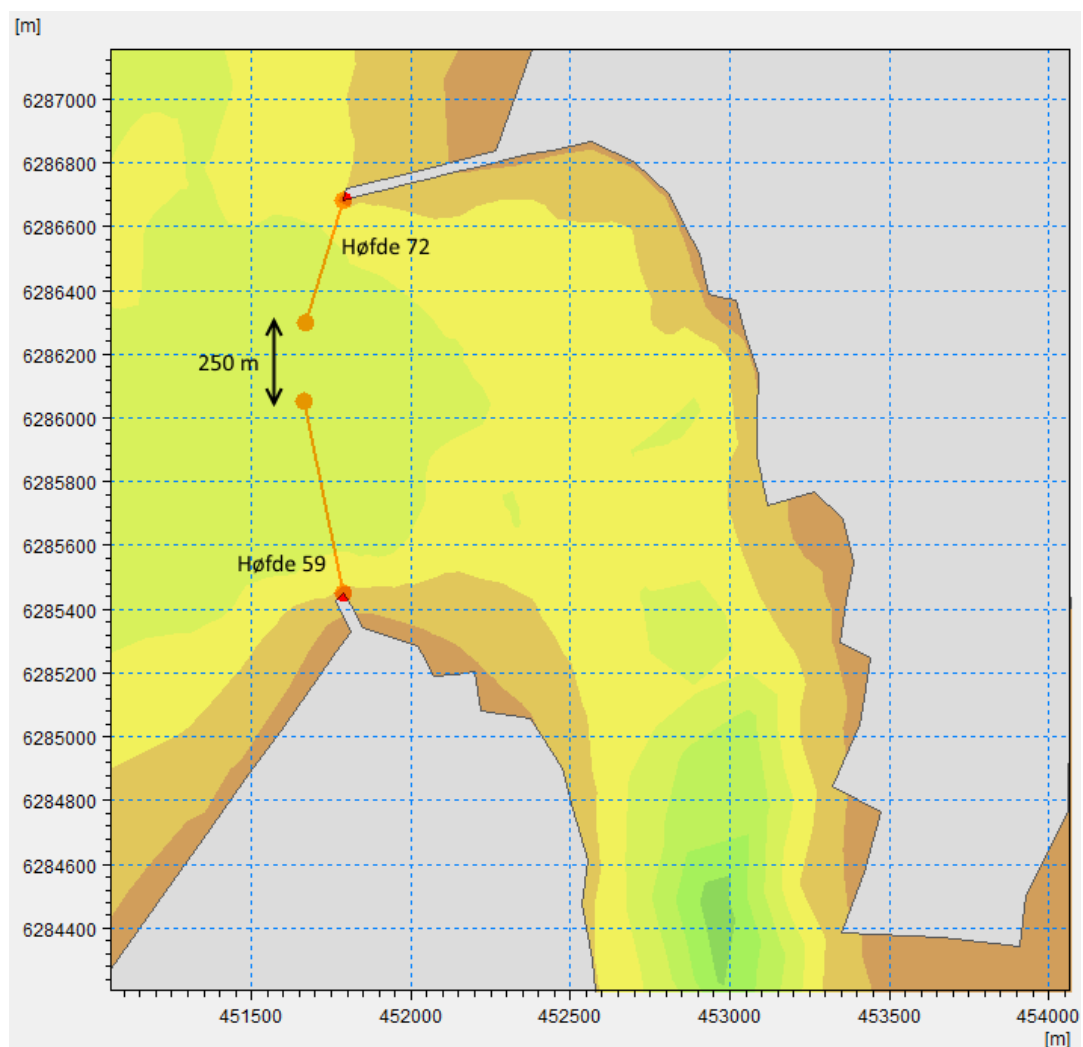
Beliggenhed af tværsnit jf. (DHI, 2011)	Rambølls Limfjordsmodel			(DHI, 2011)		
	Eksisterende [m²]	+50 år [m²]	Forskel [%]	Eksisterende [m²]	+50 år [m²]	Forskel [%]
P1 c	12326	15435	25	12522	15702	25
P2 c (mindstetværsnit)	7364	9091	23	7647	9417	23
P3 c	7759	10252	32	7818	9728	24
P4 c	8499	12167	43	8500	12389	46

Tabel 3: Sammenligning af tværsnitsarealer i Rambølls limfjordsmodel samt tværsnitsarealer i (DHI, 2011).

Grundet forskellige diskretiseringer mv. i DHI-modellen og Rambølls Limfjords-model opnås ikke de eksakt samme tværsnitsarealer igennem Thyborøn kanal. Det vigtigste er dog, at der opnås en realistisk relativ udvidelse af det mindste tværsnit svarende til det estimerede i (DHI, 2011). Til nærværende analyse anvendes samme modelopsætning som beskrevet i (C2CCC-C9, Rambøll, 2019), herunder at modelleringen af den eksisterende situation er for dybdeforhold i Thyborøn kanal svarende til år 2005 jf. (DHI, 2011) og dybdeforhold i år +50 svarer til dybdeforhold i år 2060 jf. (DHI, 2011). Hermed opnås effekten fra en relativ forskel i dybdeforhold i Thyborøn kanal svarende til udviklingen over ca. 50 år (55 år). Den fremtidige morfologiske udvikling af Thyborøn kanal er jf. (DHI, 2011) skønnet, og er således med usikkerhed.

5.3 Forudsætninger for indsnævring af Thyborøn kanal

Indsnævringen af Thyborøn kanal, i form af højdeudvidelser, forudsættes i modellen udført med samme udformning, som beskrevet i (C2CCC-C9, Rambøll, 2019), dvs. ved at forlænge både højde 59 samt højde 72, som vist i figur 8. Hermed opretholdes en besejlingsrute umiddelbart i midten af kanalen og der sikres en åbningsbredde på 250 m.



Figur 8: Illustration af den implementerede højdeudvidelse i modellen.

6. EKSTREMVÆRDI-STATISTIK VED UDVALGTE LOKALITETER

Etableringen af ekstremværdi-statistik for de fem lokaliteter, baseret på modellering, beskrives i det følgende, herunder forudsætninger for metoden til etablering af vandstandsstatistikker baseret på modellering, efterfulgt af en præsentation af estimerede vandstandsstatistikker for de fem lokaliteter.

6.1 Forudsætninger for etablering af ekstremværdi-statistik

De evaluerede stormhændelser i nærværende analyse er, som nævnt i afsnit 2, repræsentative for de historisk højeste målte vandstande ved bl.a. Thyborøn og Lemvig, jf. (Kystdirektoratet, 2018). Det statistiske grundlag er dog relativt begrænset (relativt få modellerede storme) og derfor er det sandsynligt, at der tidligere har indtruffet højvandstande under stormhændelser, som er mere ekstreme end de evaluerede stormhændelser i denne analyse. Dette vil have en betydning for resultatet af den statistiske analyse.

Ift. at give et indtryk af usikkerhedsintervallet i den statistiske analyse er der ifm. etablering af vandstandsstatistikkerne inkluderet såkaldt Monte Carlo simulering til at estimere konfidensintervaller for fordelingerne. Disse konfidensintervaller fremgår af fordelingerne i Appendix A. Til trods for at vandstandsstatistikkerne i nærværende analyser er baseret på færre stormhændelser sammenlignet med Kystdirektoratets Højvandsstatistik (Kystdirektoratet, 2018), kan det konstateres, at konfidensintervallerne er nogenlunde ens. Dvs. at usikkerhedsniveauet for højvandsstatistikken baseret på modelleringen i nærværende rapport ca. svarer til usikkerhedsniveauet i KDI's højvandsstatistik, til trods for at vandstandsstatistikken nærværende rapport er baseret på færre stormhændelser.

Højvandsstatistikker i (Kystdirektoratet, 2018) baseres generelt på over 20 historiske stormflodsvandstande for de pågældende lokaliteter. Ved etablering af højvandsstatistikker ud fra de hhv. højeste fem- og syv vandstande kan det konkluderes, at den statistiske 100-års vandstand reduceres med ca. 2% ved begge lokaliteter. Der tages i nærværende analyser delvist højde for denne usikkerhed ved at opskalere statistiske vandstande med 2% på alle fem lokaliteter ift. at tage højde for effekten fra det reducerede antal storme i vandstandsstatistikken. Forudsætningen hertil er, at effekten fra det begrænsede antal storme i vandstandsfordelingerne på de øvrige lokaliteter er den samme som ved Lemvig Havn og Thyborøn Havn. Både 50- og 100-års vandstande opskales med 2%.

Udover det begrænsede antal stormflodsvandstande, som indgår i vandstandsstatistikken i nærværende analyse, forekommer der en effekt fra usikkerheder i modelleringen. Ved Thyborøn Havn og Lemvig Havn, hvorfra der haves målte vandstande, er der delvist taget højde for disse usikkerheder ved at normalisere de etablerede højvandsstatistikker for eksisterende situation (uden indflydelse fra klimaændringer) ift. statistikken baseret på målte vandstande.

Ved Thyborøn Havn er normaliseringen foretaget således at 100-års vandstanden, baseret på modellerede resultater, skaleres til at svare til 100-års vandstanden i (Kystdirektoratet, 2018).

Ved Lemvig Havn skaleres vandstandsstatistikken, baseret på modelresultater, ift. at opnå identisk 100-års vandstand sammenlignet med den etablerede vandstandsstatistik baseret på ekstremværdianalyse af de 7 højeste målte vandstande ved Lemvig Havn (ved anvendelse af de opdaterede vandstandsmålinger fra (Klimatorium, 2022)).

For de fremtidige situationer, inkl. effekten fra klimaændringer og hhv. inkl. samt ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal, anvendes samme normaliseringsfaktor, som fastlagt på baggrund af simuleringer af eksisterende forhold. Desuden anvendes samme normaliseringsfaktor for 50-års vandstande, som for 100-års vandstanden (dvs. at vandstandsstatistikken baseret på modellering parallelforskydes ift. at have skæringspunkt ved 100-års vandstanden baseret på målinger). Således opnås samme 100-års vandstand baseret på modellering samt baseret på målinger, og tilnærmelsesvis den samme 50- års vandstand – under forudsætning af at hældningen på vandstandsstatistikkerne baseret på modellering og målinger er tilnærmelsesvis den samme. Samme fremgangsmåde og forudsætning er anvendt ifm. C2CCC-C9-projektet (C2CCC-C9, Rambøll, 2019).

For de tre lokaliteter hvorfra der ikke haves historiske vandstandsmålinger; *Landevejen til Thyborøn*, *Remmerstrand*, og *Gjellerodde*, er det ikke muligt at lave en lignende normalisering ift. målinger, og således er højvandsstatistikken på disse lokaliteter behæftet med lidt større usikkerhed. Dog er der foretaget normalisering ift. effekten fra det begrænsede antal storme i vandstandsstatistikken.

Anvendte skaleringsfaktorer til normalisering af vandstandsstatistikker på de fem lokaliteter er givet i tabel 4. Normaliseringsfaktorerne i tabellen inkluderer både effekten fra det lavere antal storme i vandstandsstatistikken samt normaliseringen ift. målinger.

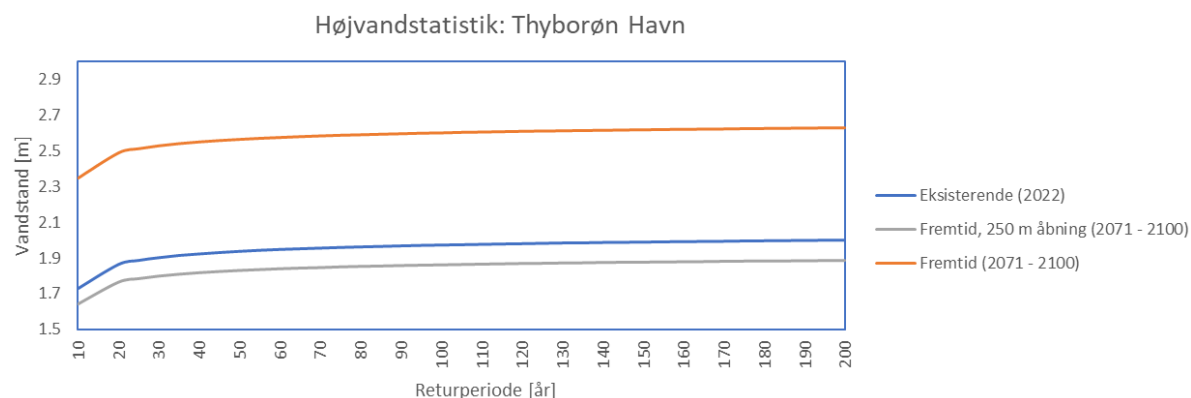
Lokalitet	Samlet skaleringsfaktor [-]
Thyborøn	0.94
Lemvig	1
Landevejen til Thyborøn	1.02
Remmerstrand	1.02
Gjellerodde	1.02

Tabel 4. Anvendte samlede skaleringsfaktorer til normalisering af modellerede vandstandsstatistikker på de fem betragtede lokaliteter ift. 100-års returperioder samt til skalering ift. at tage højde for effekten fra det begrænsede antal stormhændelser i vandstandsstatistikken.

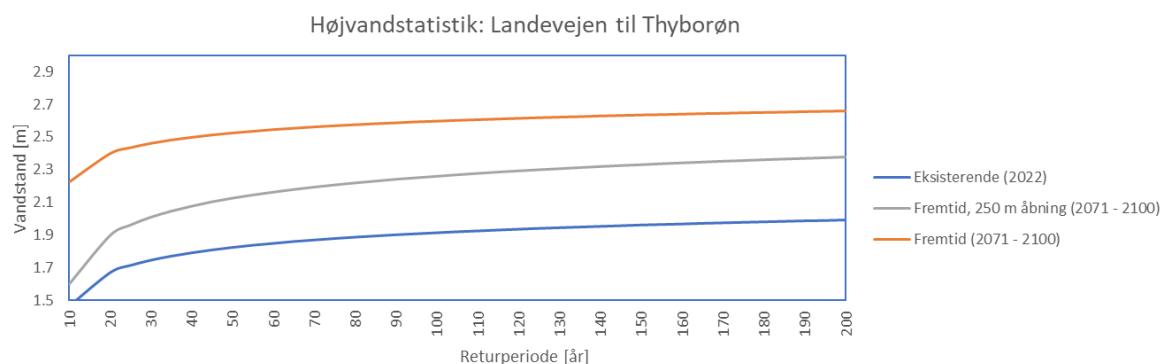
Ift. at opnå det bedste fit i den statistiske analyse er der undersøgt en række forskellige fordelingsfunktioner; *Weibull*, *Log-Normal*, *Gumbel*, samt evalueret forskellige fittingmetoder; *"Method of Moments"* og *"Maximum Likelihood"* og bedste fit er evalueret via bl.a. såkaldt *"Kolmogorov-Smirnov"*-test. Statistiske fordelinger (vandstandsstatistik) fremgår af Appendix A, som desuden viser konfidensintervaller. Vandstandsstatistikkerne i Appendix A er dog ikke skaleret. Som det fremgår af fordelingerne, haves relativt brede konfidensintervaller pga. det lave antal storme i fordelingerne.

6.2 Resultater for højvandsstatistikker

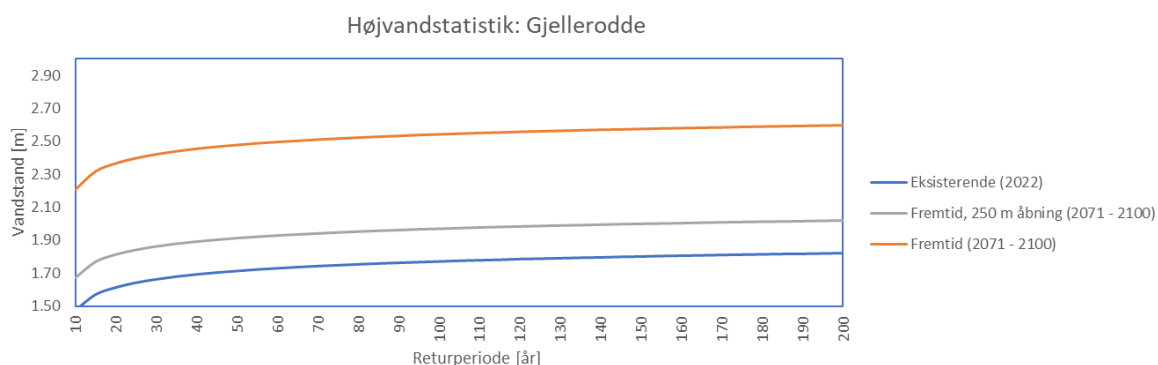
Normaliserede højvandsstatistikker for de fem lokaliteter er givet i figur 9 - figur 13, baseret på de angivne storme i tabel 1.



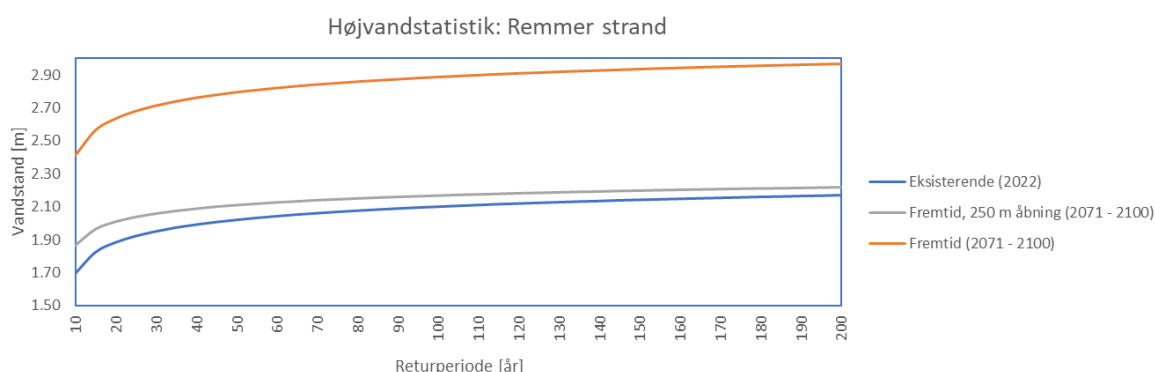
Figur 9: Højvandsstatistikker ved Thyborøn havn for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 - 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 - 2100)".



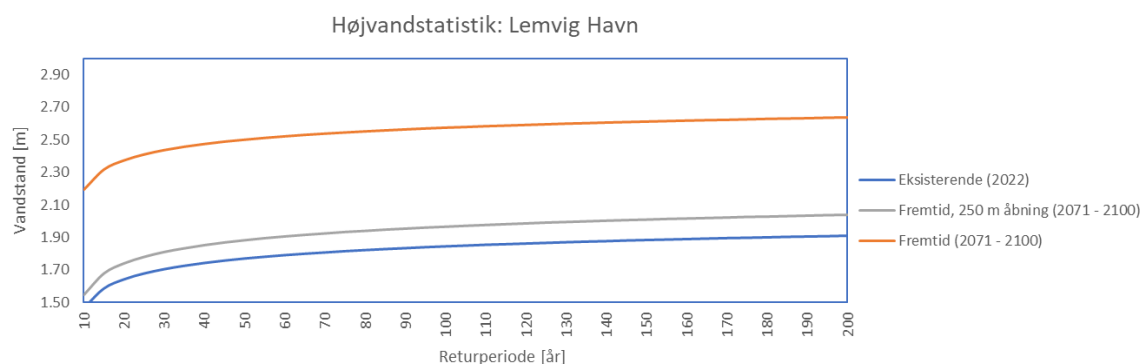
Figur 10: Højvandsstatistikker ved Landevejen til Thyborøn for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 - 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 - 2100)".



Figur 11: Højvandsstatistikker ved Gjellerodde for scenarierne for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 - 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 - 2100)".



Figur 12: Højvandsstatistikker ved Remmerstrand for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 - 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 - 2100)".



Figur 13: Højvandsstatistikker ved Lemvig Havn for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 - 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 - 2100)".

Statistiske højvandshændelser for de fem lokaliteter er opsummeret i tabel 5 - tabel 7 for scenarierne med hhv. eksisterende situation samt fremtidige situation med/uden indsnævring af Thyborøn kanal. Højvandshændelserne er desuden illustreret i figur 14 - figur 18.

Af tabel 5 - tabel 7 og figur 14 - figur 18 fremgår udelukkende 50- og 100-års vandstande, da sammenligning med hældningen på vandstandsstatistikken i (Kystdirektoratet, 2018) viser, at vandstandsstatistikken for specielt Lemvig baseret på modelresultater er stejlere for lavere returperioder. Dermed underestimeres 10-års vandstanden i figur 9 - figur 13, hvilket er en effekt af det begrænsede antal storme i analysen. Således er 10-års vandstande i figur 9 - figur 13 behæftet med usikkerhed.

Returperiode [år]	Stormflodsvandstande for eksisterende forhold (2022) [m]				
	#1 Thyborøn havn	#2 Landevejen	#3 Remmerstrand	#4 Gjellerodde	#5 Lemvig Havn
50	1.93	1.82	2.02	1.71	1.77
100	1.97	1.91	2.10	1.77	1.85

Tabel 5. Opsummering af 50- og 100-års vandstande ved de fem lokaliteter for eksisterende situation.

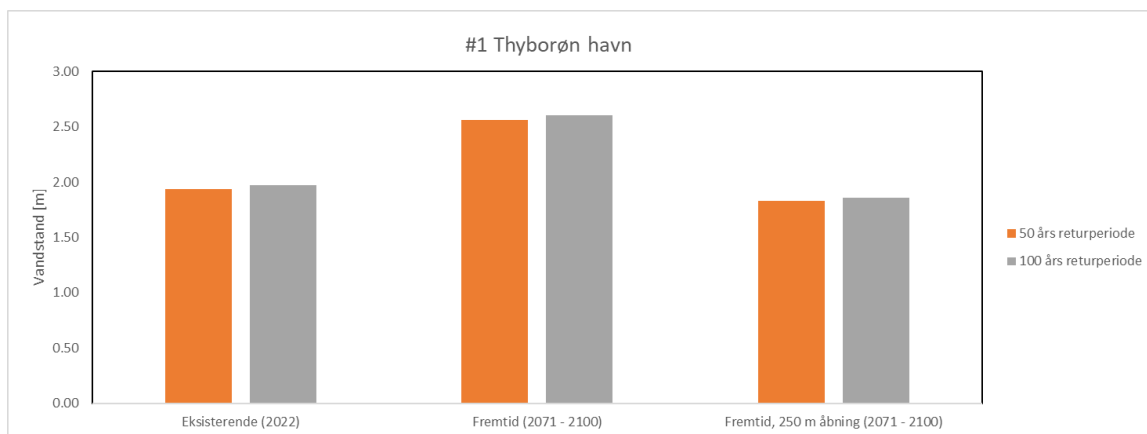
Ved sammenligning af ekstrem-vandstande for 50-års hændelsen ved Thyborøn havn i tabel 5 med 50-års hændelsen i (Kystdirektoratet, 2018) fremgår det, at 50-års hændelsen estimeret baseret på modelresultater er lidt højere sammenlignet med den etablerede højvandsstatistik baseret på målinger (ca. 2 cm). Usikkerheden hertil vurderes dog for værende ubetydelig og væsentlig lavere sammenlignet med den statistiske usikkerhed jf. afsnit 6.1.

Returperiode [år]	Stormflodsvandstande for fremtidige forhold (2071 - 2100) [m]				
	#1 Thyborøn havn	#2 Landevejen	#3 Remmerstrand	#4 Gjellerodde	#5 Lemvig Havn
50	2.57	2.53	2.79	2.48	2.50
100	2.60	2.60	2.89	2.54	2.57

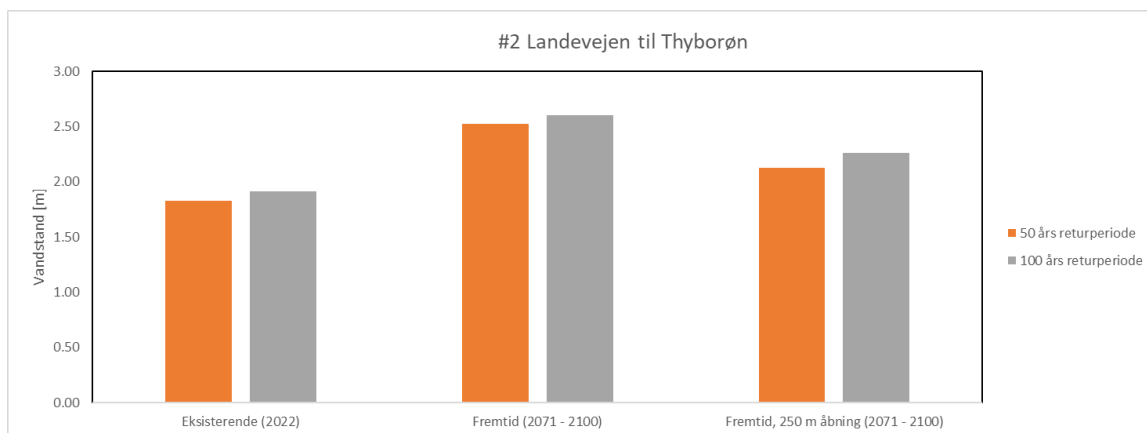
Tabel 6. Opsummering af 50- og 100-års vandstande ved de fem lokaliteter for fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal.

Returperiode [år]	Stormflodsvandstande for fremtidige forhold, inkl. 250 m indsnævring (2071 - 2100) [m]				
	#1 Thyborøn havn	#2 Landevejen	#3 Remmerstrand	#4 Gjellerodde	#5 Lemvig Havn
50	1.83	2.13	2.11	1.91	1.88
100	1.86	2.26	2.17	1.97	1.96

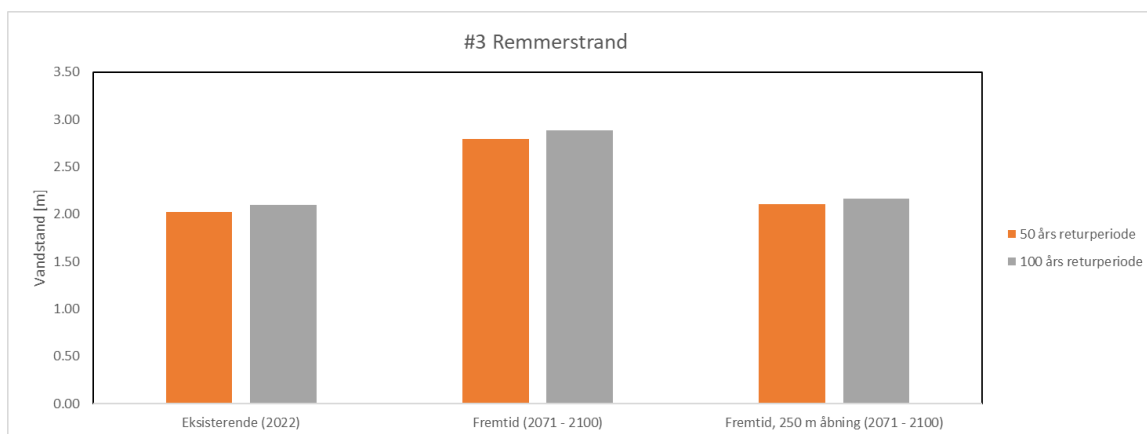
Tabel 7. Opsummering af 50- og 100-års vandstande ved de fem lokaliteter for fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal.



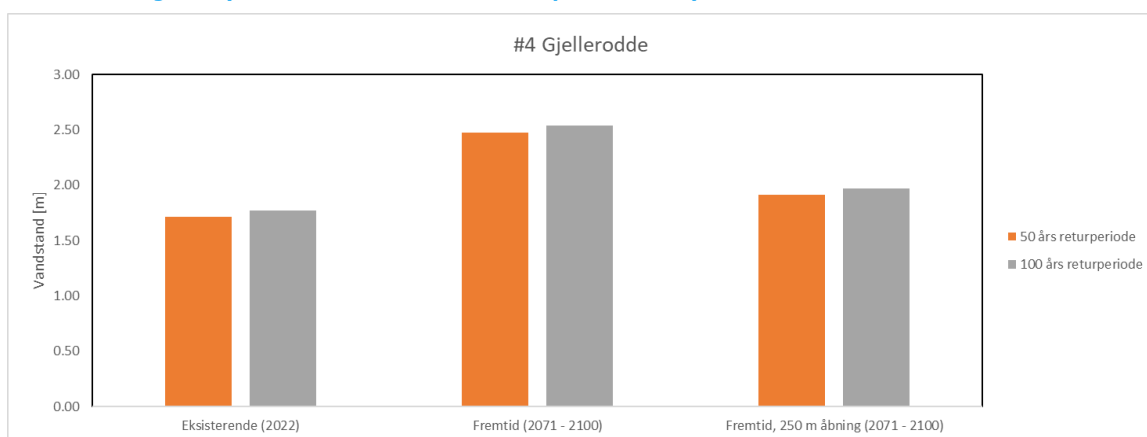
Figur 14: 50 og 100-års vandstande ved Thyborøn Havn for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 - 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 - 2100)".



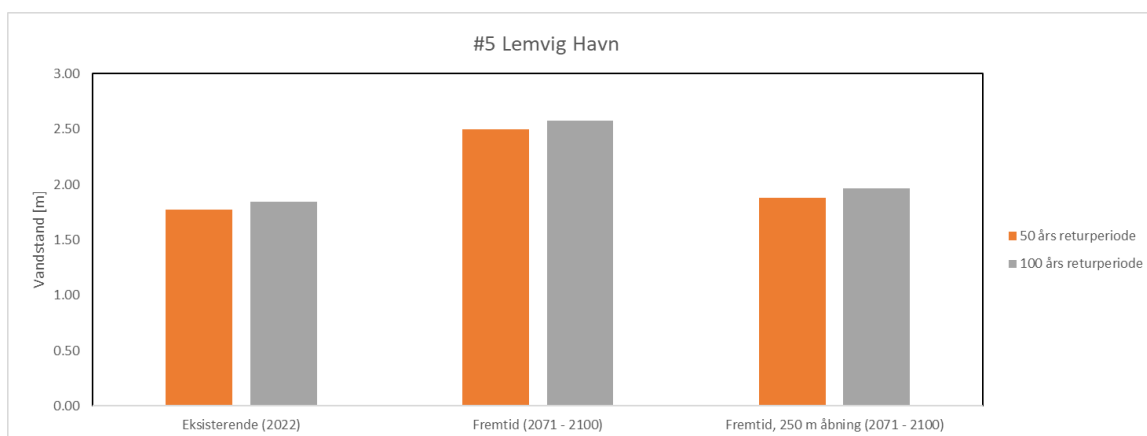
Figur 15: 50 og 100-års vandstande ved Landevejen til Thyborøn for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 - 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 - 2100)".



Figur 16: 50 og 100-års vandstande ved Remmerstrand for scenarierne for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 – 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 – 2100)".



Figur 17: 50 og 100-års vandstande ved Gjellerodde for scenarierne for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 – 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 – 2100)".



Figur 18: 50 og 100-års vandstande ved Lemvig Havn for scenarierne for scenarierne; "Eksisterende situation (2022)", "Fremtidige situation ekskl. indsnævring af Thyborøn kanal (2071 – 2100)", og "Fremtidige situation inkl. indsnævring af Thyborøn kanal til 250 m bredde (2071 – 2100)".

Som det fremgår af tabel 5 - tabel 7 samt figur 14 - figur 18 medfører klimaændringer (RCP 8.5) en mærkbar forøgelse af den estimerede fremtidige højvandstande i Lemvig Kommune. F.eks. viser modelresultaterne, at der på de fem betragtede lokaliteter kan forventes en forøgelse af

100-års vandstanden i år 2071 – 2100, sammenlignet med eksisterende situation, på imellem 32% (63 cm) ved Thyborøn Havn til 44% (77 cm) ved Gjellerodde.

Forøgelsen i ekstremvandstand på alle lokaliteter er større end blot bidraget fra forøgelsen af middelvandstanden på 57 cm, hvilket skyldes den samtidige effekt fra den naturlige morfologiske udvikling i Thyborøn kanal, samt den sekundære effekt fra vandstandsstigningen på den hydrauliske modstand i Limfjorden generelt. Hermed viser resultater i nærværende analyser en højere fremtidig 100-års vandstand i år 2071 – 2100 sammenlignet med den nationale udmelding i Klimaatlas.dk (DMI, 2022) - op til 39 cm højere ved Remmerstrand.

For alle fem lokaliteter kan det konkluderes, at 100-års vandstanden under nuværende situation vil kunne opleves meget hyppigere i år 2071 – 2100 (sandsynligvis hvert år).

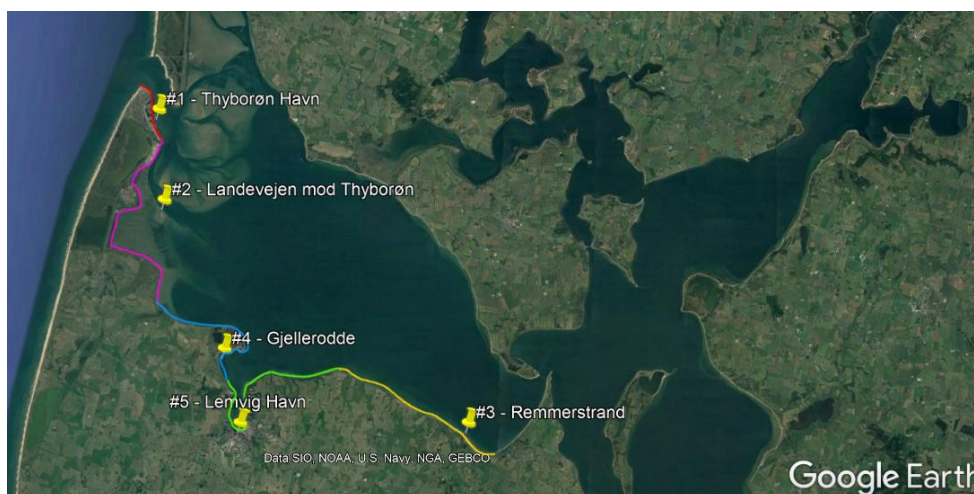
Indsnævringen af Thyborøn kanal vil have en mærkbar effekt på ekstremvandstande i Nisum Bredning, hvor indsnævringen kan ses at reducere 100-års vandstanden til imellem -6% - +18% (-11 cm - +0,35 cm) i år 2071 – 2100 sammenlignet med eksisterende situation (negativ relativ vandstand angiver reduktion sammenlignet med eksisterende forhold).

Resultater i nærværende analyser viser større forøgelse af fremtidige ekstremvandstande sammenlignet med C2CCC-C9-projektet, hvilket skyldes de ændrede, mere pessimistiske, forudsætninger vedr. indflydelse fra klimaændringer i nærværende analyser. I nærværende rapport forudsættes klimaændringer (vandstandsstigning) svarende til scenariet RCP 8.5, hvorimod der ifm. C2CCC-C9-projektet forudsættes RCP 4.5.

6.3 Vurdering af repræsentative kyststrækninger for bølgehøjdestatistik

Vandstandsstatistikker på de fem lokaliteter er et udtryk for statistikker i specifikke punkter og siger dermed ikke direkte noget om hvilke kyststrækninger der påvirkes af de specifikke ekstremvandstande.

Baseret på en overordnet betragtning ift. kystlinjernes orientering, samt afstand til udtrækspunkter for vandstandsstatistikker, er der i figur 19 indtegnet hvilke kyststrækninger der vurderes at blive udsat for samme ekstremvandstande som i de pågældende udtrækspunkter (placeret umiddelbart midt på strækningerne). Vurderingen er behæftet med nogen usikkerhed, men kan anvendes til at estimere eventuelle oversvømmelser på land.



Figur 19: Vurderede kyststrækninger for repræsentative vandstandsstatistikker i de fem udtrækspunkter. Baggrundsbillede er fra (Google Earth, 2022).

7. OPSUMMERING

Der er i nærværende rapport gennemført modellering af ekstremvandstand på fem lokaliteter langs Limfjordskysten i Lemvig Kommune. Til modelleringen er der taget udgangspunkt i samme model som anvendt ifm. C2CCC-C9-projektet (C2CCC-C9, Rambøll, 2019). Dog er der til nærværende analyse gennemført re-kalibrering af modellen, ift. at opnå overensstemmelse med opdaterede vandstandsmålinger ved Lemvig, da det imidlertid har vist sig, at måleren har været fejlbehæftet pga. sætninger.

Klimaændringer er inkluderet i modellen med en forudsætning om klimascenariet RCP8.5 med en tidshorisont svarende til slutningen af dette århundrede (2071 – 2100). Dvs. de estimerede stormflodsvandstande er med en forudsætning om at de indtræffer om ca. 50 år. Til sammenligning er der til C2CCC-C9-projektet, hvor virkningen fra indsnævringen af Thyborøn kanal tidligere er belyst, anvendt et mindre pessimistisk scenarie, lignende RCP 4.5 (24 cm vandstandsstigning). Ift. indflydelse fra klimaændringer er der udelukkende forudsat indflydelse fra vandstandsstigning.

Udover indflydelse fra klimaændringer er der desuden inkluderet effekten fra den naturlige morfologiske udvikling i Thyborøn kanal. Hertil anvendes samme forudsætning som i C2CCC-C9-projektet.

Resultater i nærværende rapport viser, at der kan forventes en signifikant forøgelse af fremtidige ekstremvandstande i år 2071 - 2100, sammenlignet med eksisterende forhold, på op til ca. 44% (100-års vandstanden). For alle fem lokaliteter kan det konkluderes, at 100-års vandstanden under nuværende forhold kan forventes at forekomme med meget kortere mellemrum i år 2071 – 2100 (måske hvert 1 – 2 år).

Indsnævringen af Thyborøn kanal til 250 m bredde kan derimod konkluderes at have en mærkbar effekt. Bl.a. kan det konstateres, at indsnævringen kan kompensere for vandstandsstigninger i Lemvig Havn, hvorimod forøgelsen i 100-års vandstanden reduceres til 2 – 13% på de resterende betragtede lokaliteter, sammenlignet med scenariet uden indsnævringen af Thyborøn kanal.

7.1 Usikkerheder relateret til modelresultater

De etablerede højvandsstatistikker er, pga. det relativt begrænsede antal storme som ligger til grund for udarbejdelsen, behæftet med en vis modelusikkerhed. Desuden er de betragtede lokaliteter hvortil der ikke forekommer vandstandsmålinger, "Landevejen til Thyborøn", Gjellerodde, samt Remmerstrand, behæftet med nogen usikkerhed, da der ikke forekommer kalibrering/validering herfor i modellen. Specielt kan vandstande ved Remmerstrand forventes at være behæftet med nogen modelusikkerhed, da denne lokalitet ligger placeret i relativ stor afstand til nærmeste vandstandsmåler ved Lemvig Havn. Ved sammenligning med usikkerheder ifm. påvirkning fra klimaændringer (usikkerhedsinterval for klimascenarie RCP8.5 er 13 – 101 cm jf. klimaAtlas.dk), samt påvirkninger fra den morfologiske udvikling i bl.a. Thyborøn kanal, vurderes det dog at modelusikkerheder er lavere.

Udover modelusikkerheder haves også en statistisk usikkerhed. Som det fremgår af Appendix A (som viser ikke-normaliserede højvandsstatistikker for de fem lokaliteter) haves i nogle af fordelingerne enkelte punkter som ligger udenfor konfidensintervallerne. Såfremt fordelingerne skal forbedres hertil, kræves dog et yderligere antal punkter i fordelingen (dvs. flere storme). Konfidensintervallerne i Appendix A, som er af nogenlunde samme omfang som vist i Kystdirektoratets Højvandsstatistik (Kystdirektoratet, 2018), giver dog et godt udtryk for disse usikkerheder.

Ved sammenligning imellem vandstandsstatistikkerne baseret på modelresultater med vandstandsstatistikkerne i (Kystdirektoratet, 2018) kan det konstateres, at vandstandsstatistikken for specielt Lemvig baseret på modelresultater er stejlere for lavere returperioder. Dermed opstår der en potentiel underestimering af de lavere returperioder, hvilket er en effekt af det begrænsede antal storme i analysen. Således er ekstremvandstande med lavere returperioder end ca. 50 år i figur 9 - figur 13 behæftet med usikkerhed. Til gengæld vurderes det, at der haves relativt gode estimater for de fremtidige 50,- og 100-års vandstande.

Der er i nærværende ekstremværdianalyser ikke taget højde for en potentiel øget stormintensitet, dvs. hyppigere storme, hvilket potentielt vil øge bl.a. 100-års vandstanden yderligere sammenlignet med resultater i tabel 5 - tabel 7.

Såfremt ekstremvandstande fra højvandsstatistikkerne i nærværende rapport anvendes ifm. design af f.eks. kyst-/højvandsbeskyttelse, bør der indlægges en sikkerhed i designet, som tager højde for nævnte usikkerheder og risici, hvilket er en typisk fremgangsmåde.

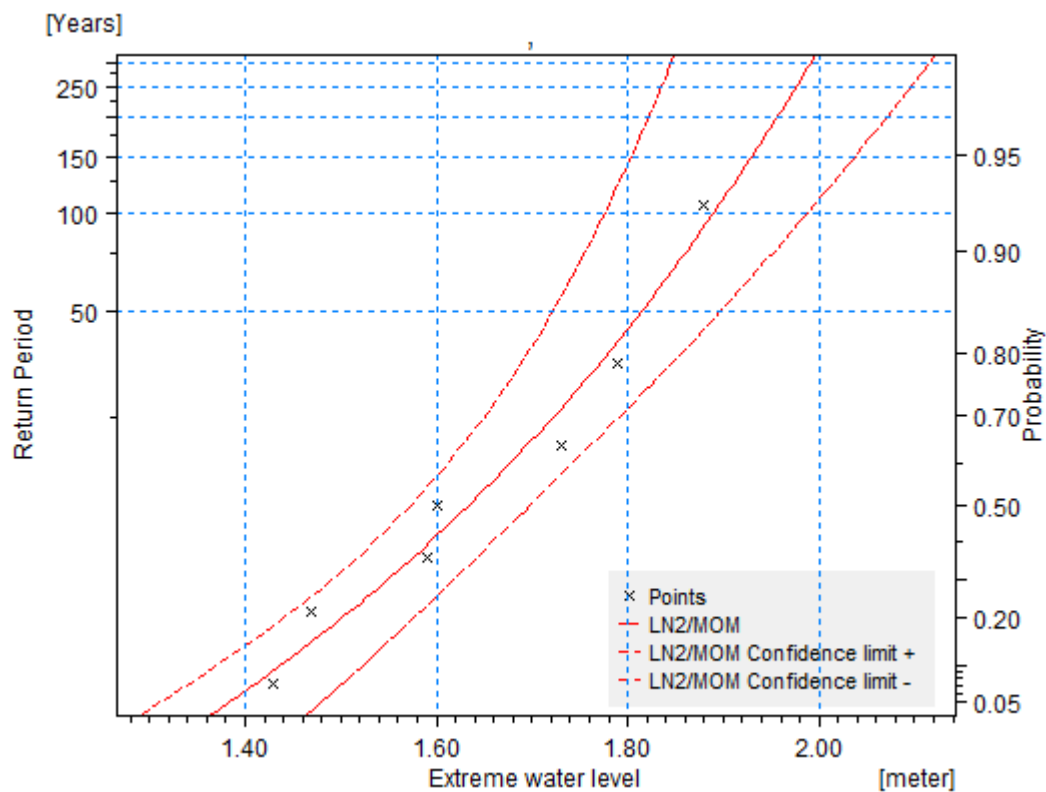
REFERENCER

- C2CCC-C9, Rambøll. (2019). *Thyborøn Kanal og Vestlige Limfjord. Del 2: Udvidet analyse af storme.*
- DMI. (2022). *Klimaatlas.dk*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/klima-atlas/>
- Google Earth. (2022).
- Klimatorium, L. V. (2022). *Vandstandsmåling Lemvig.*
- Kystdirektoratet. (2018). *Højvandsstatistikker 2017.*
- Nørgaard, J., Bentzen, T., Larsen, T., & Andersen, T. L. (2014). Influence of Closing Storm Surge Barrier on Extreme Water Levels and Water Exchange; The Limfjord, Denmark.

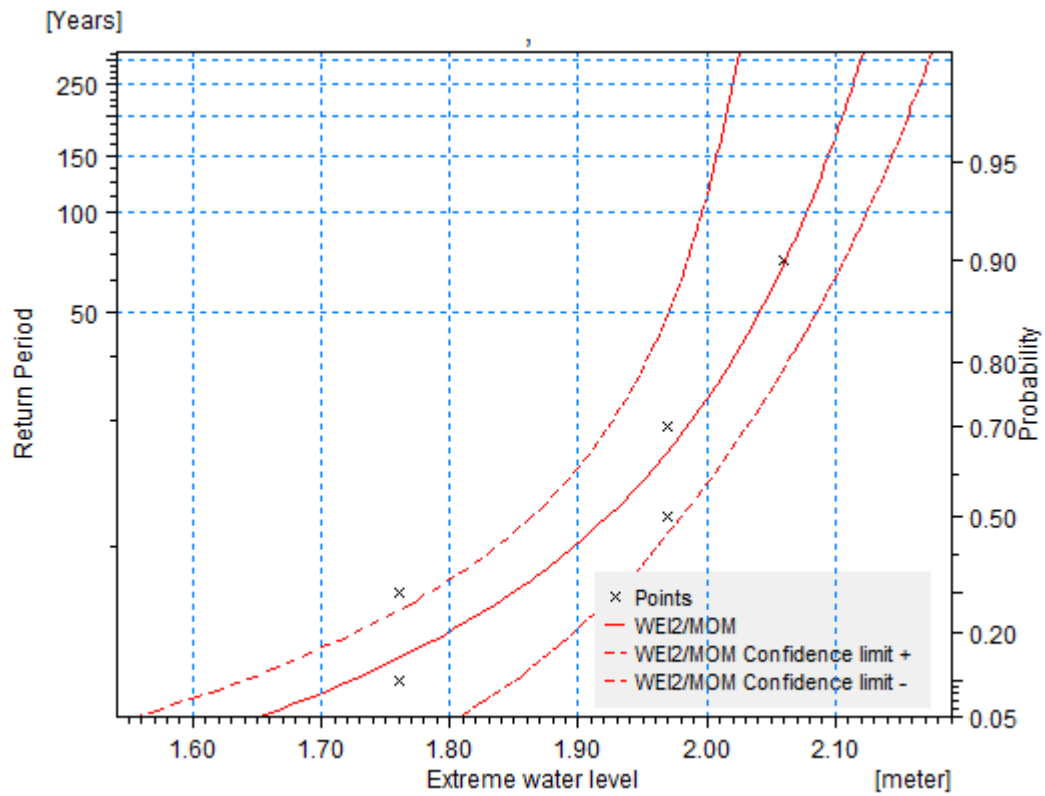
APPENDIX A – VANDSTANDSSTATISTIKKER (IKKE NORMALISEREDE VANDSTANDSSTATISTIKKER)

Eksisterende forhold

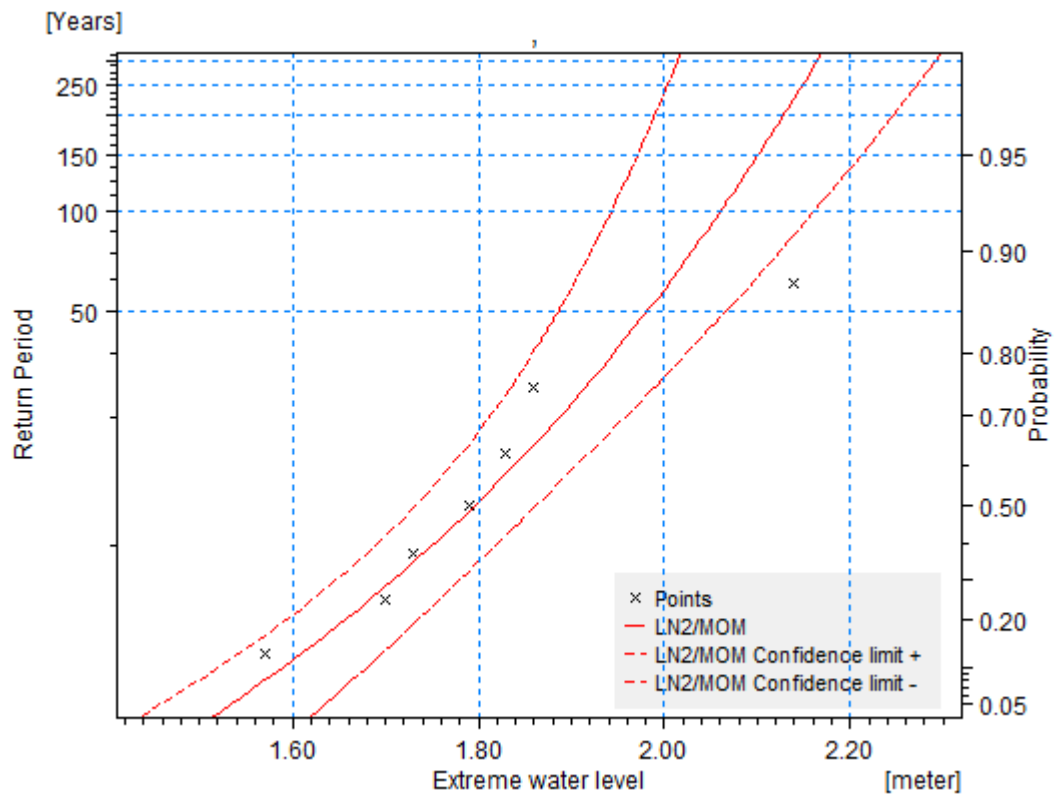
Lemvig Havn



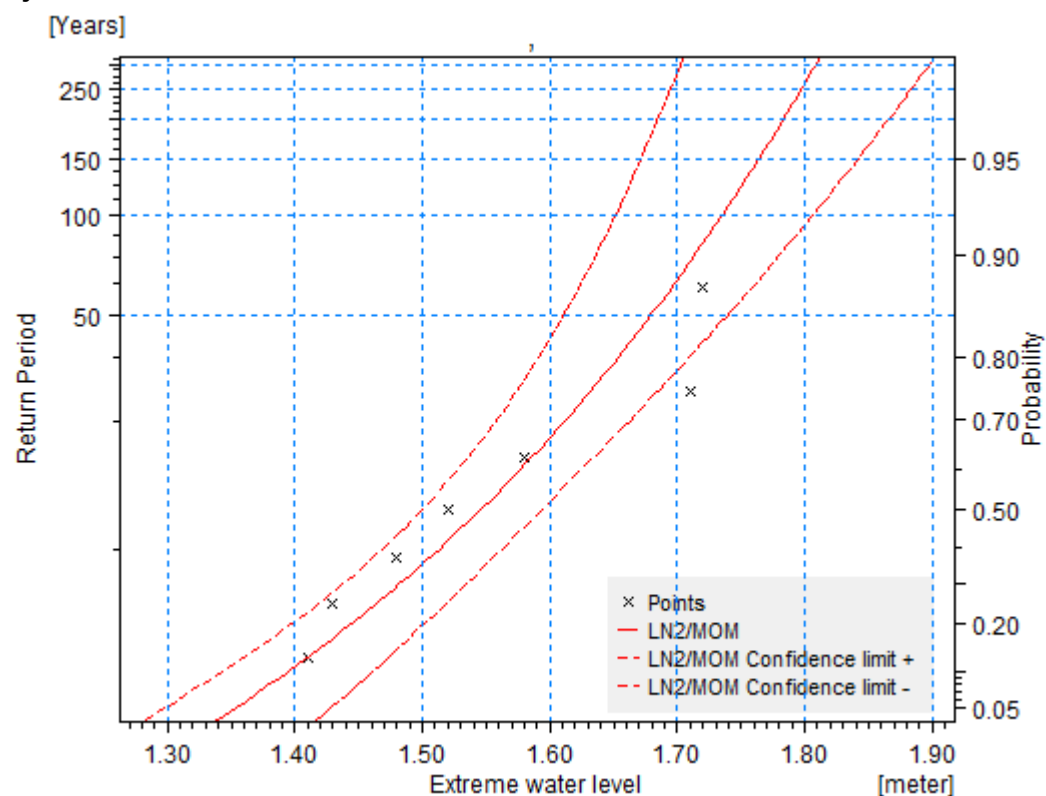
Thyborøn Havn



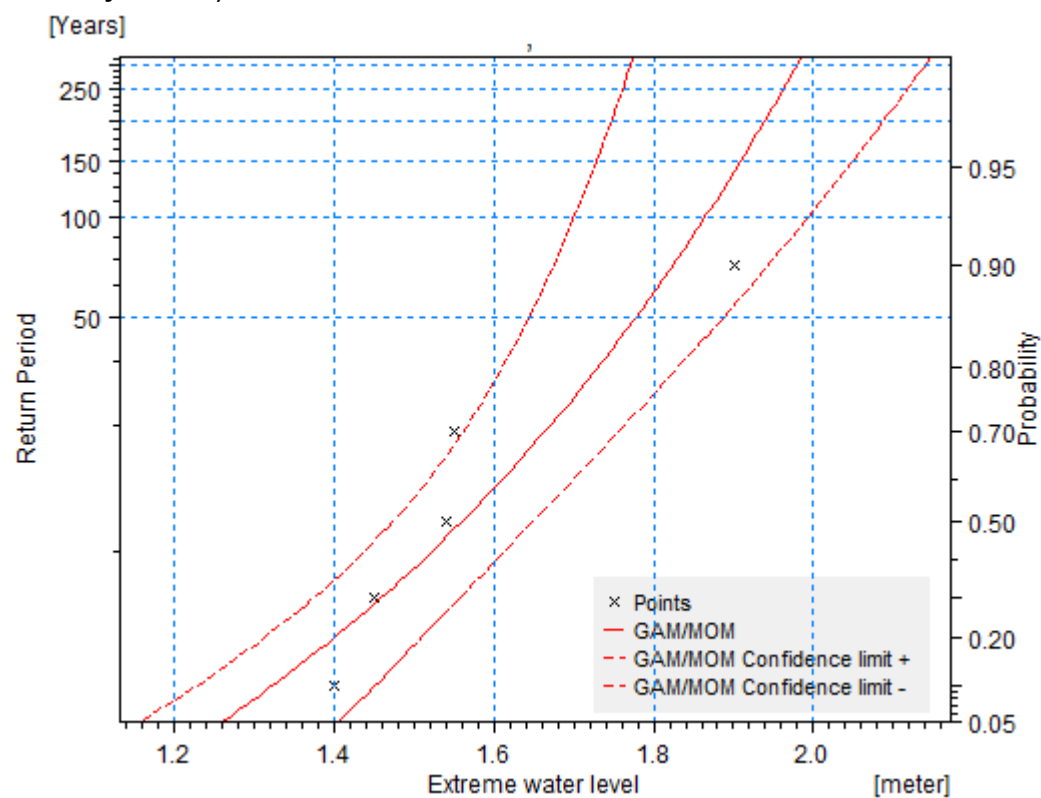
Remmerstrand



Gjellerodde

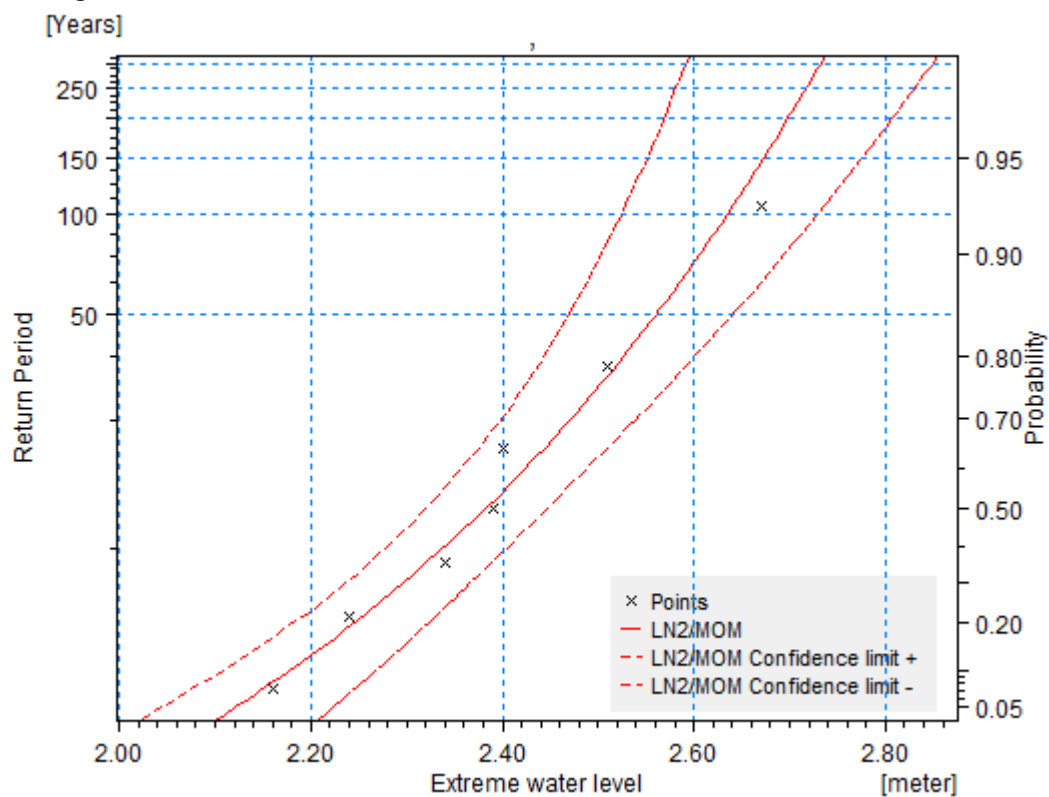


Landevejen til Thyborøn

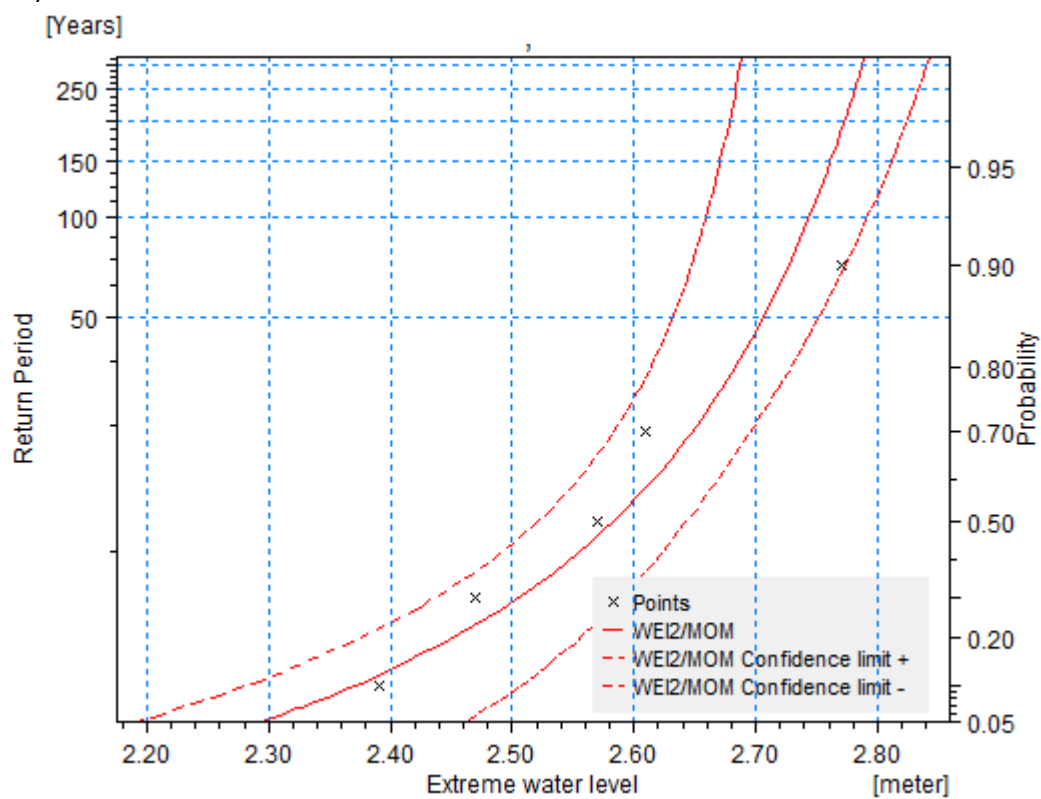


Fremtidige forhold (2071 – 2100)

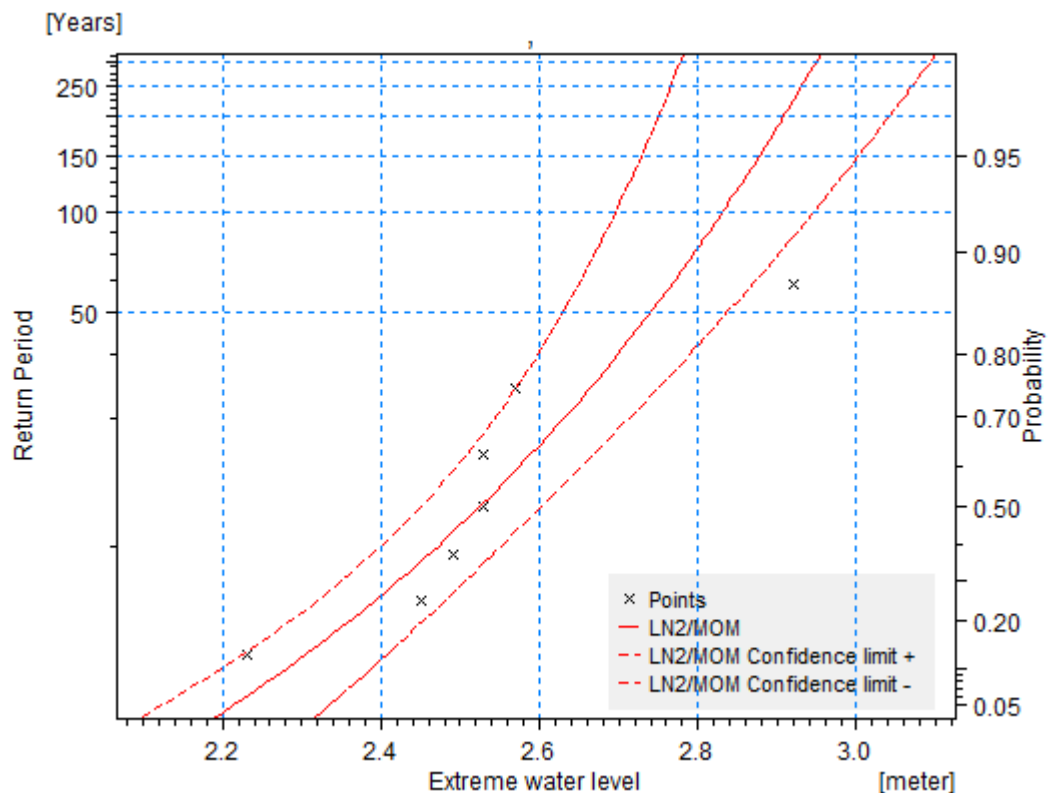
Lemvig Havn



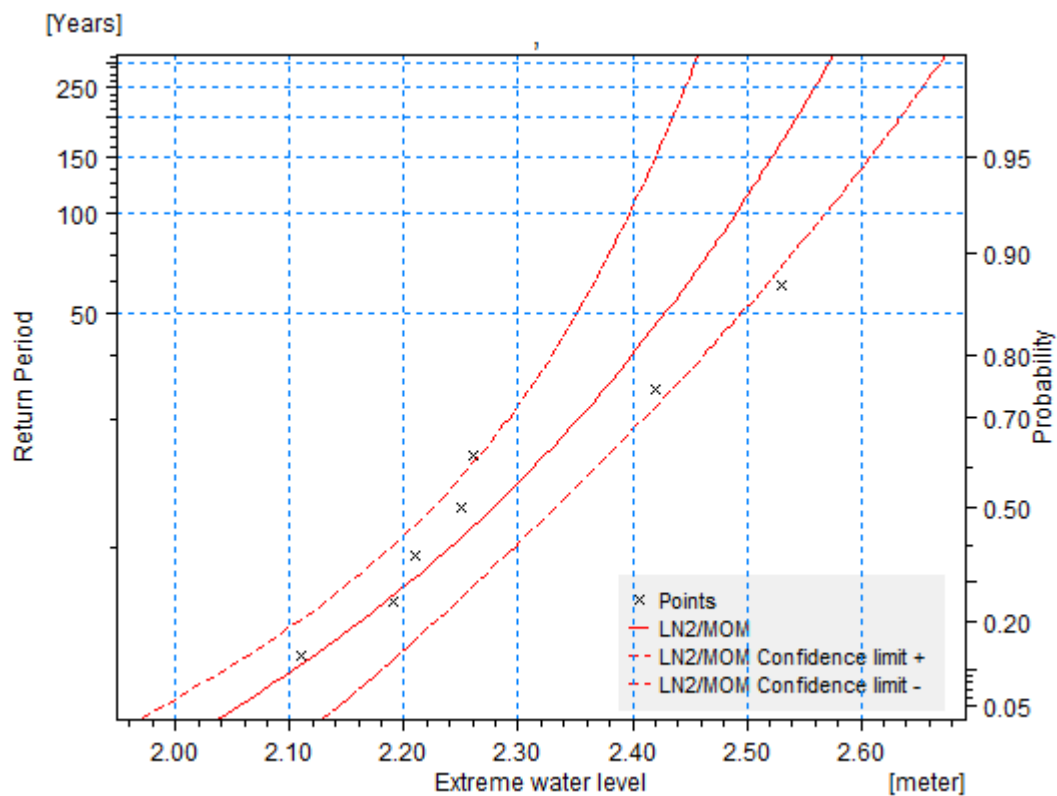
Thyborøn Havn



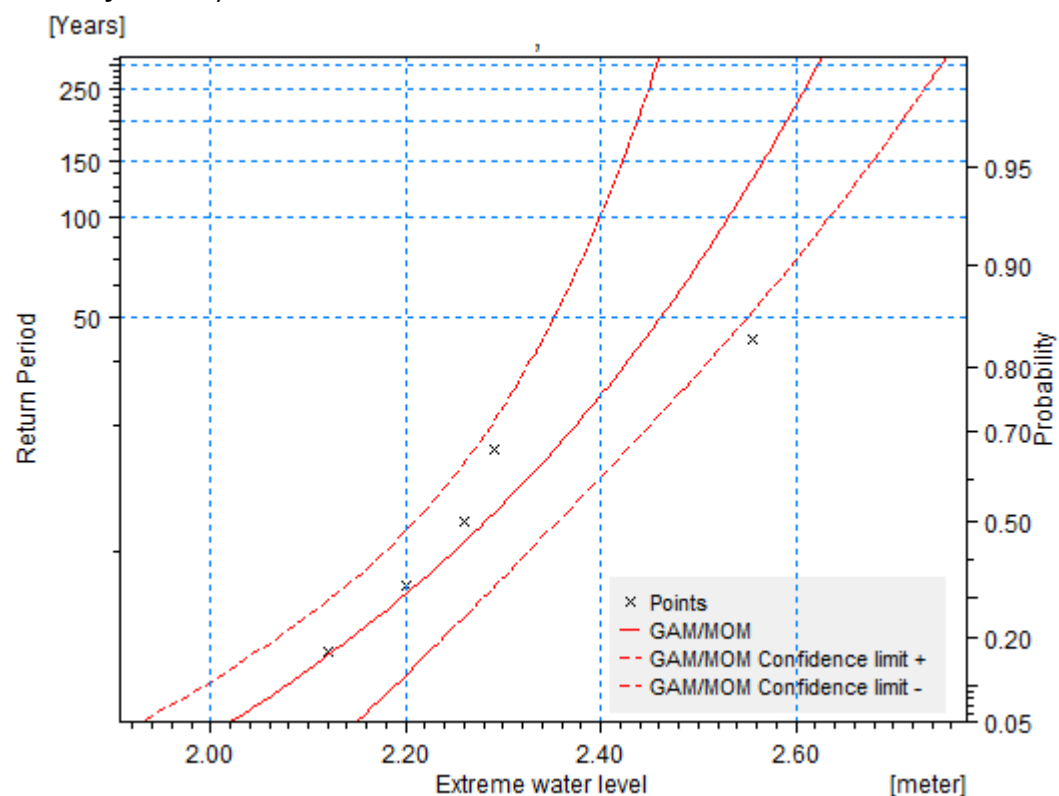
Remmerstrand



Gjellerodde

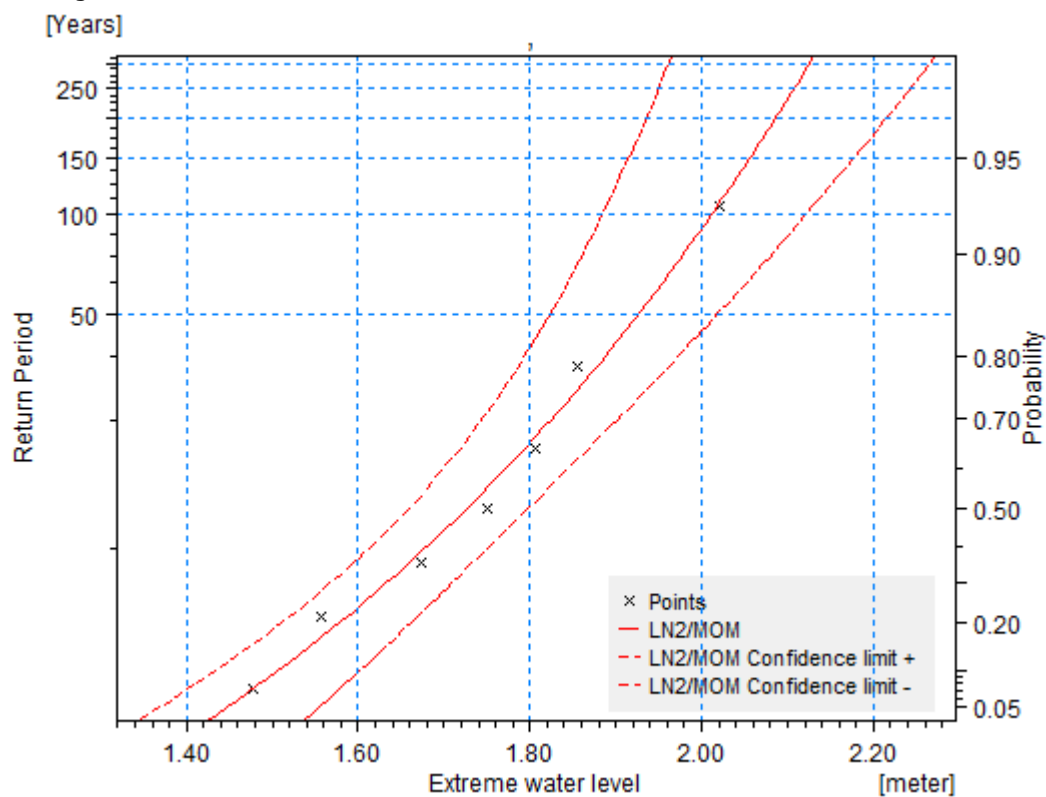


Landevejen til Thyborøn

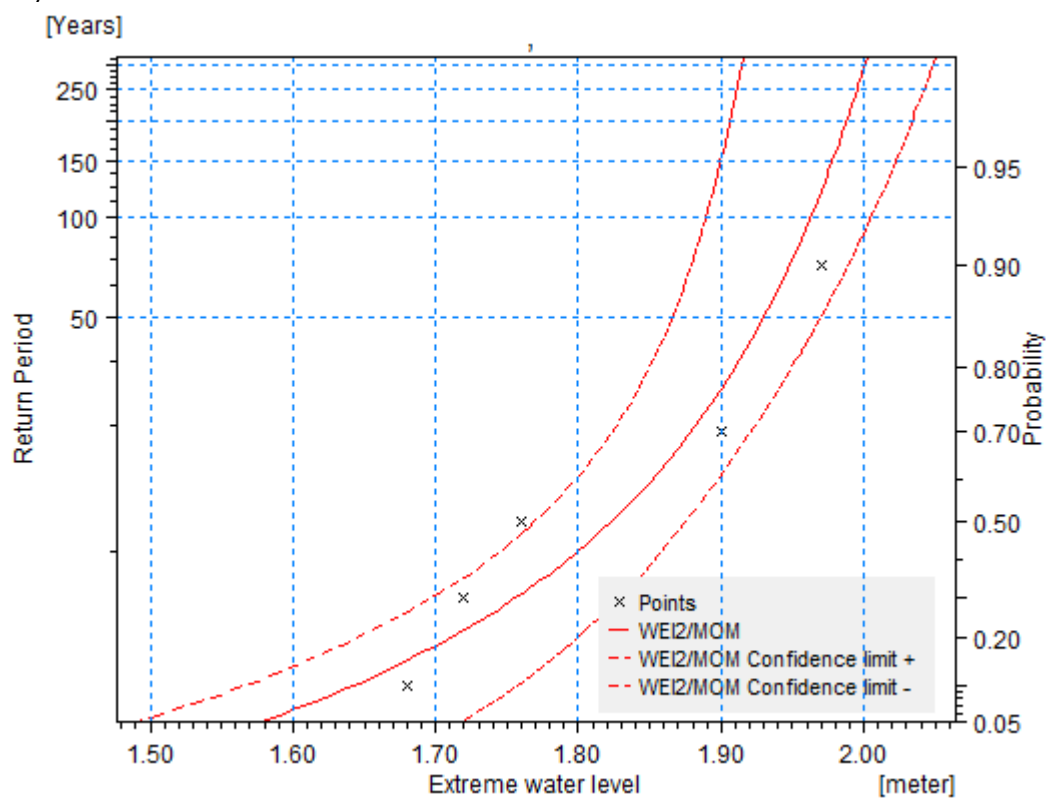


Fremtidige forhold (2071 – 2100) – 250 m åbning i Thyborøn kanal

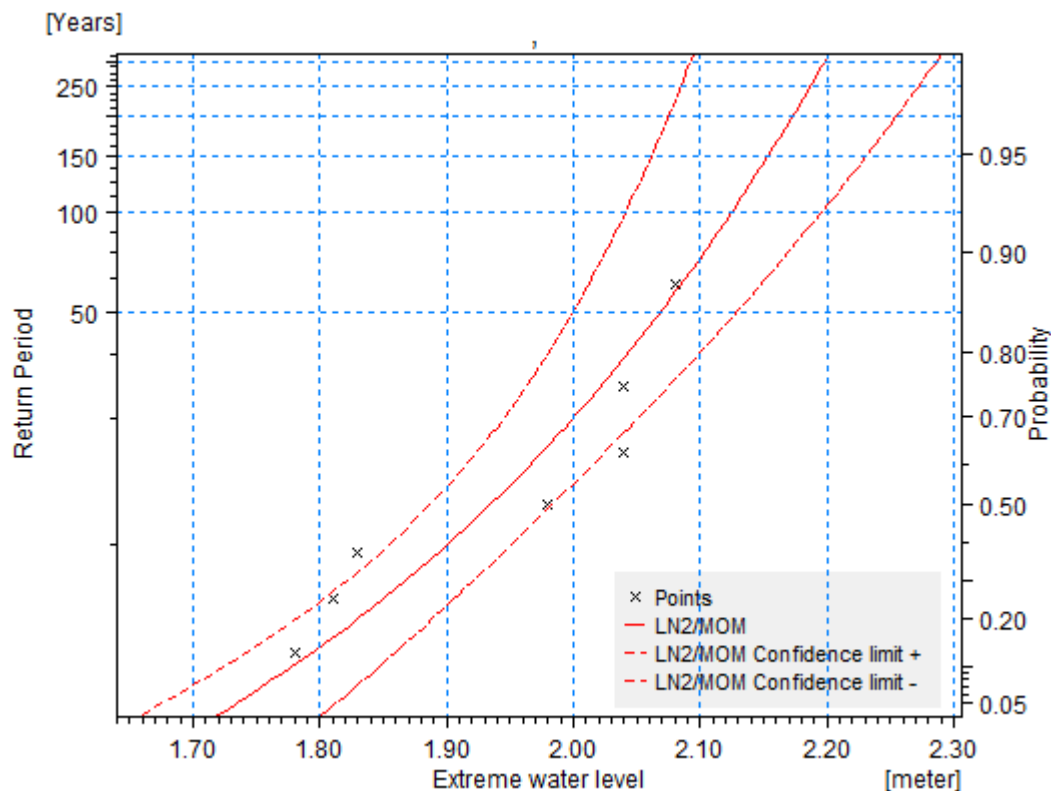
Lemvig Havn



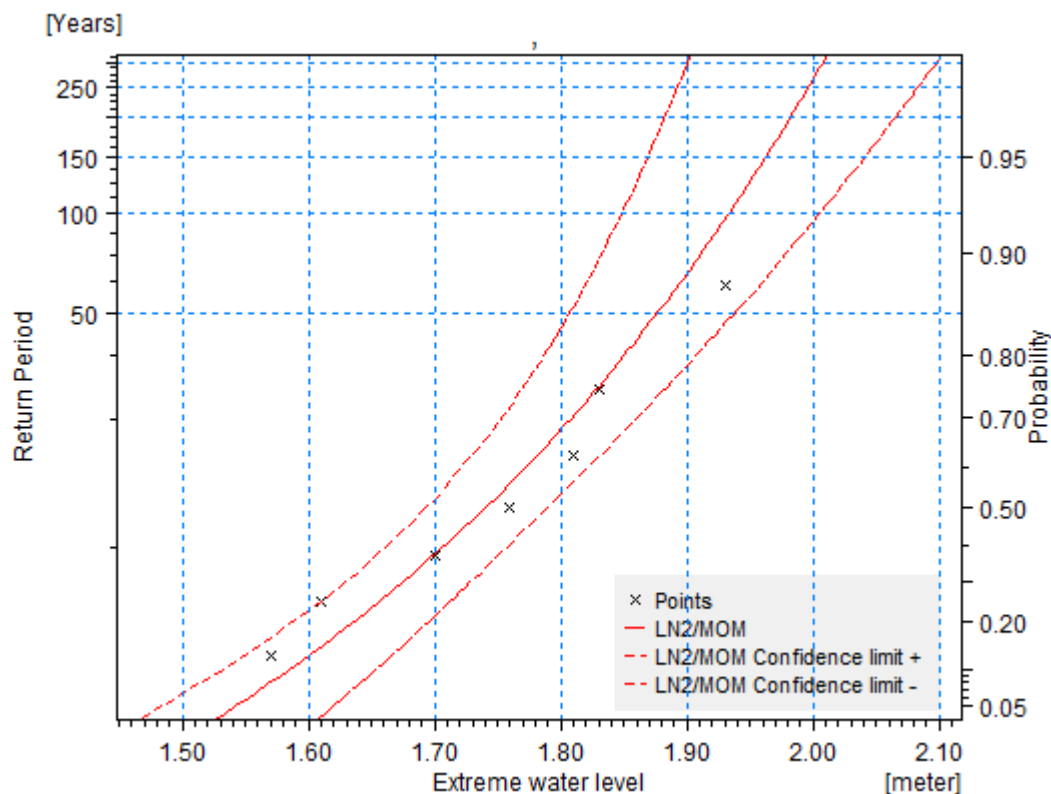
Thyborøn Havn



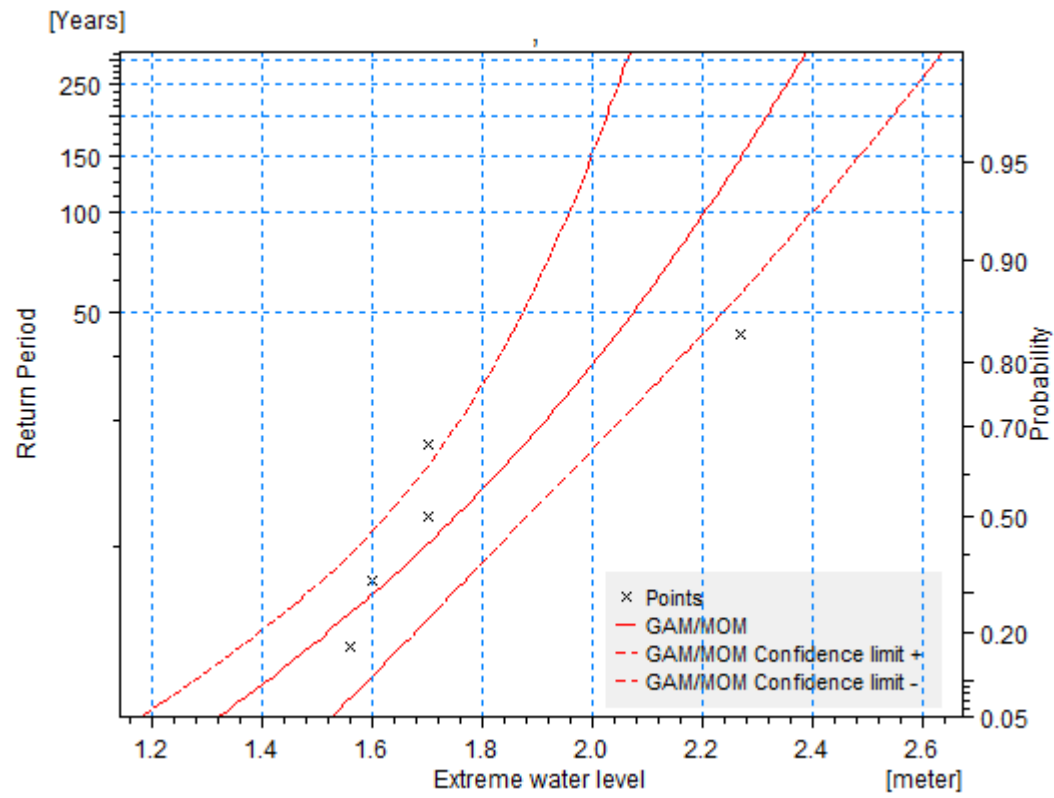
Remmerstrand



Gjellerodde



Landevejen til Thyborøn



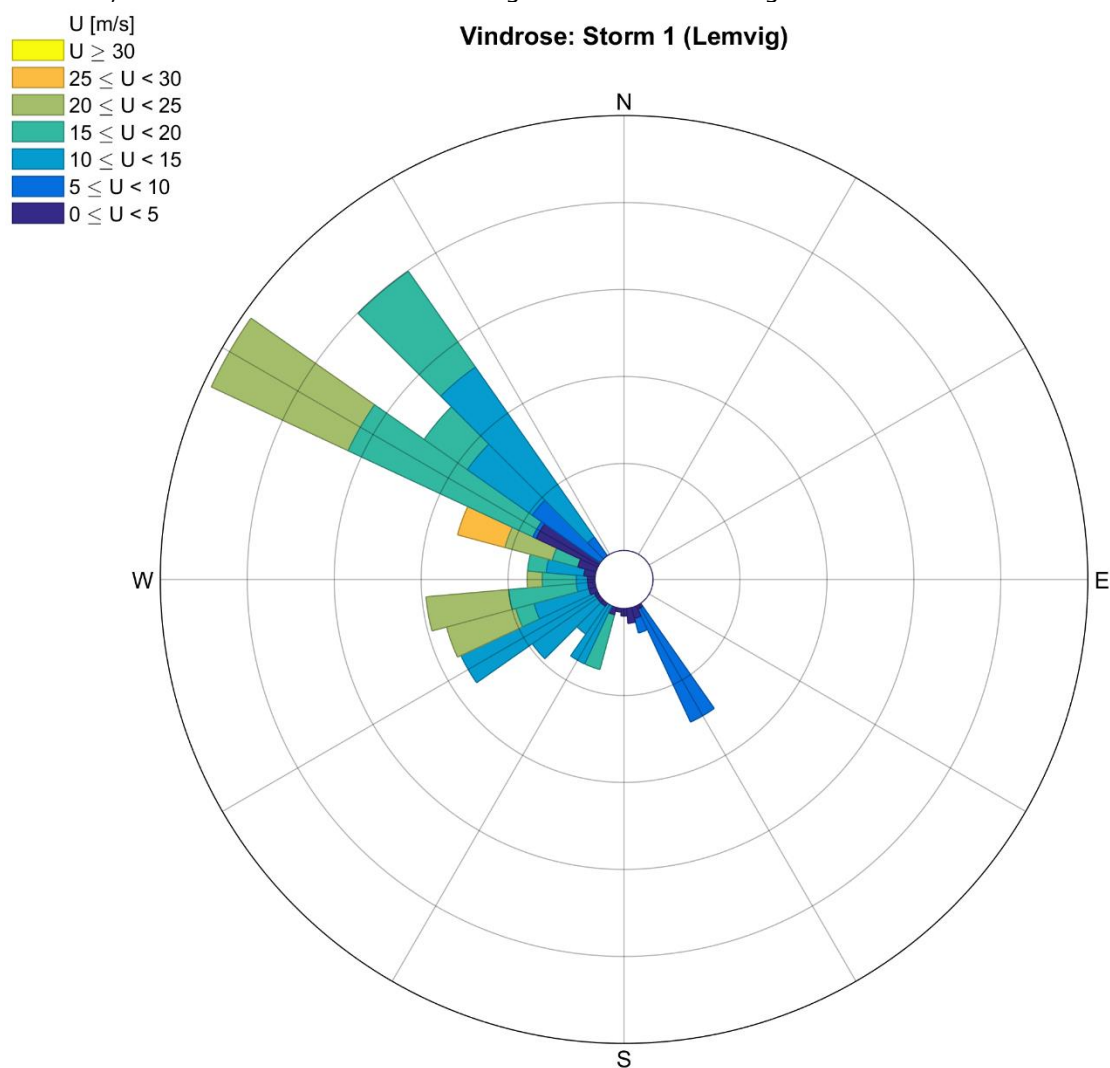
APPENDIX B – BESKRIVELSE AF STORME

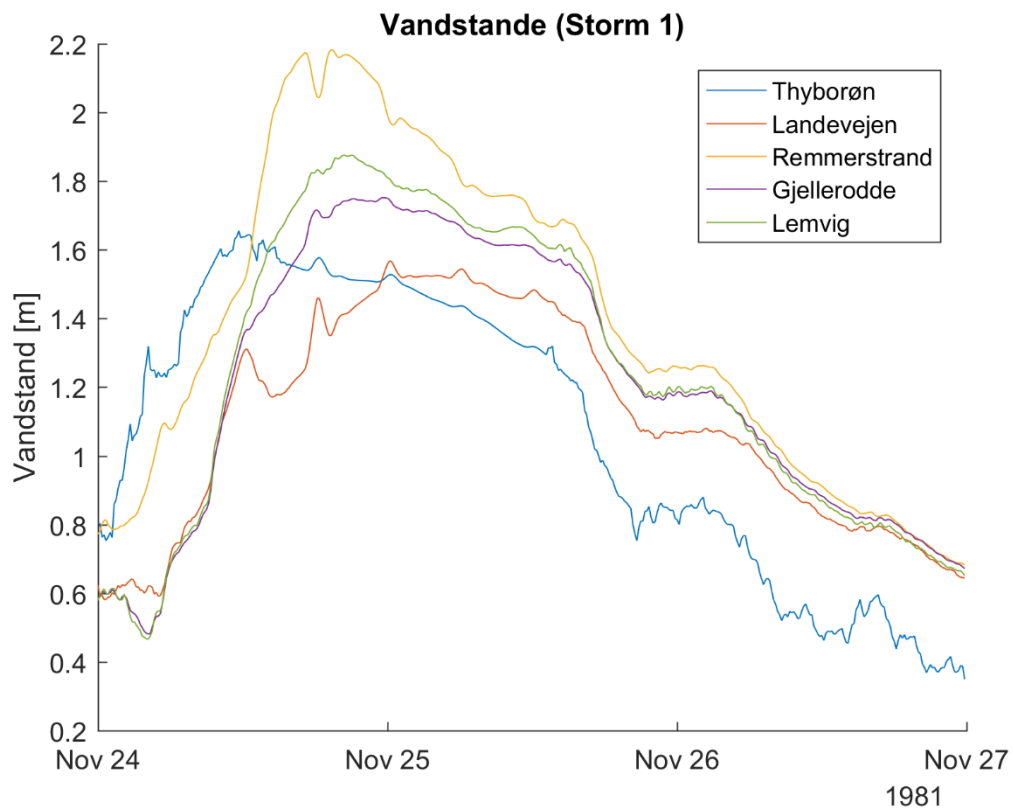
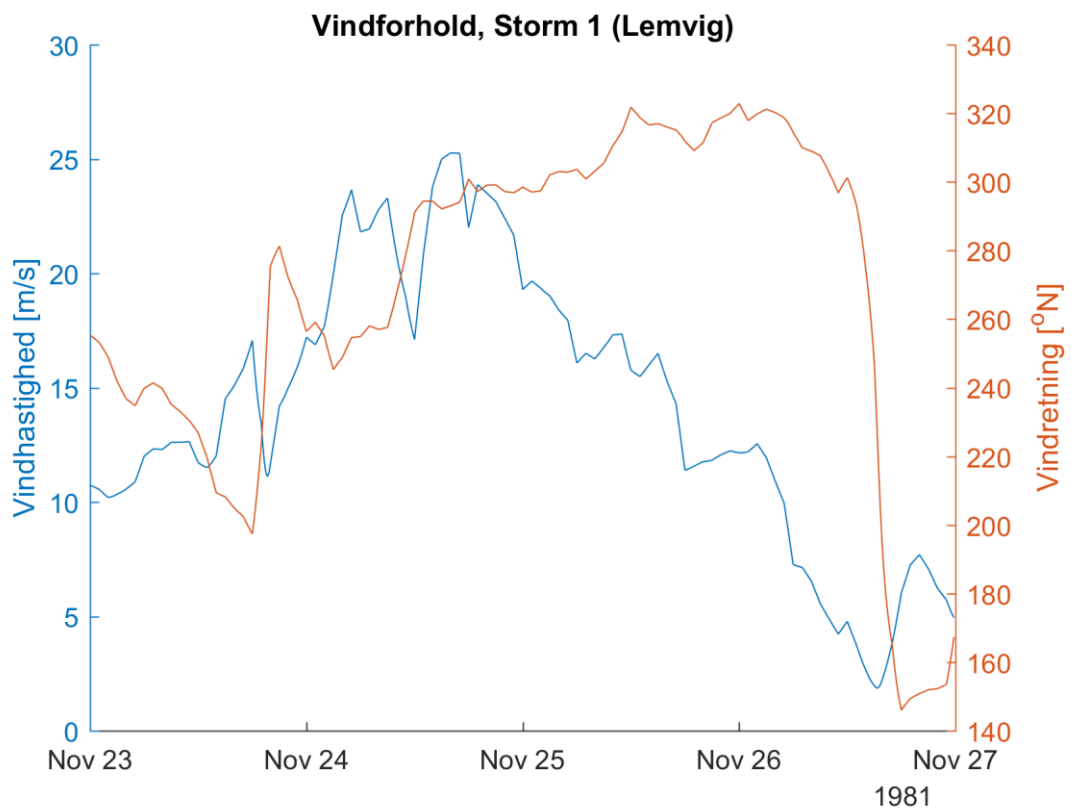
Forskelle i stormvarighed samt forskelle i vindretninger og vindhastigheder under storm bevirker til at den samme storm ikke nødvendigvis giver anledning til samme stormflodsvandstand i hele Limfjorden. F.eks. vil kyster orienteret mod nord påvirkes mere af storme med vind fra nordlige retninger (højere vandstand pga. vindstuvning), sammenlignet med sydligt orienterede kyststrækninger. I det følgende beskrives de specifikke storme i tabel 1. Desuden gives plots af vandstandstidsserier samt vindtidsserier og vindroser. Vandstandstidsserier er baseret på modellerede vandstande, og vinddata er baseret på CFSR-hindcastdata fra NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Storm 1

"Storm 1" i perioden 24. nov. 1981 - 25. nov. 1981 medførte vindhastigheder på ca. 20 – 25 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed) i ca. et døgn. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,6 – 1,7 m. Stormen "byggede op" med vind fra sydlig retning som i løbet af stormen drejede om i nordlig retning. Under peak i vindhastighed var vinden i vestnordvest.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

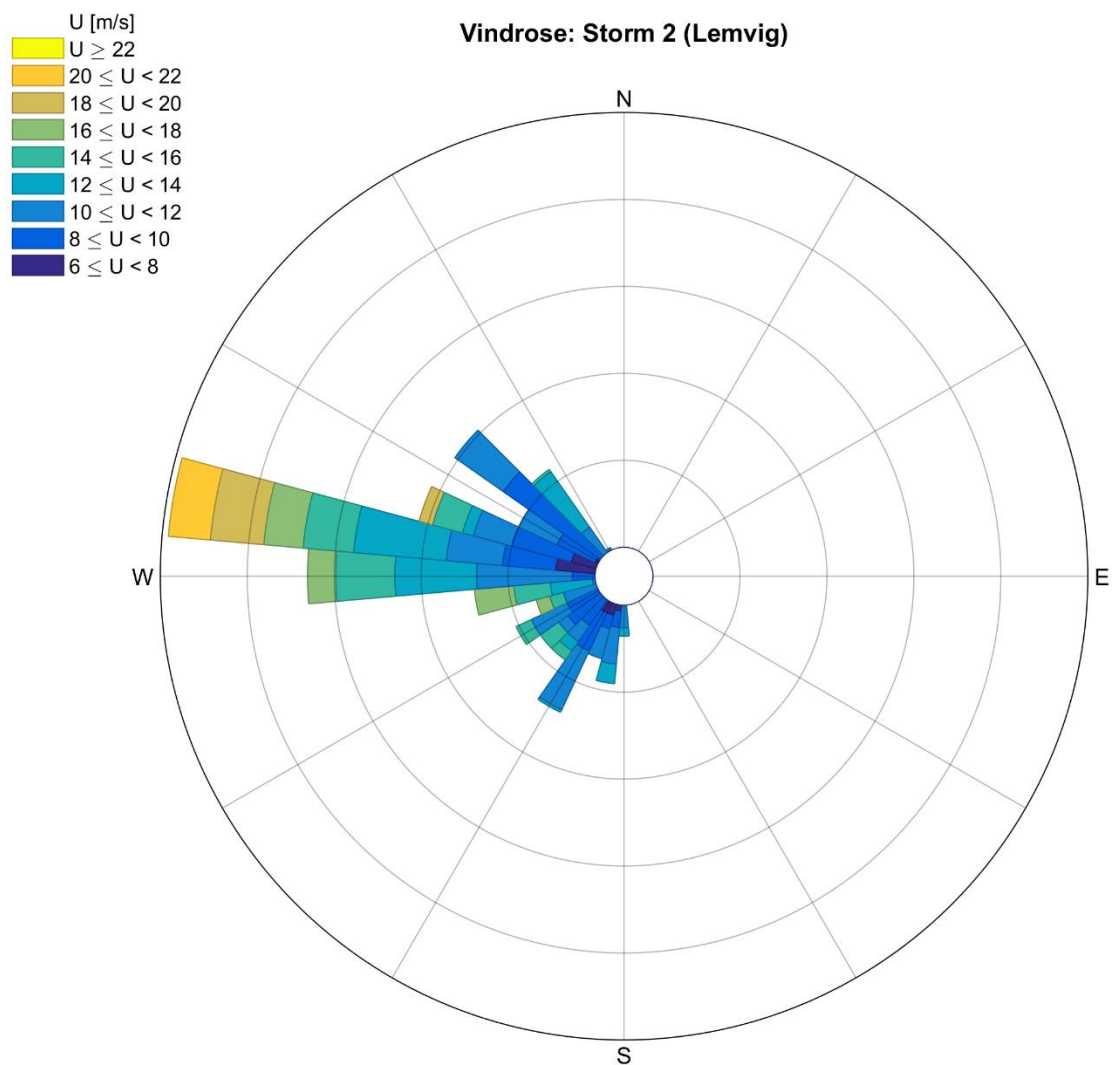


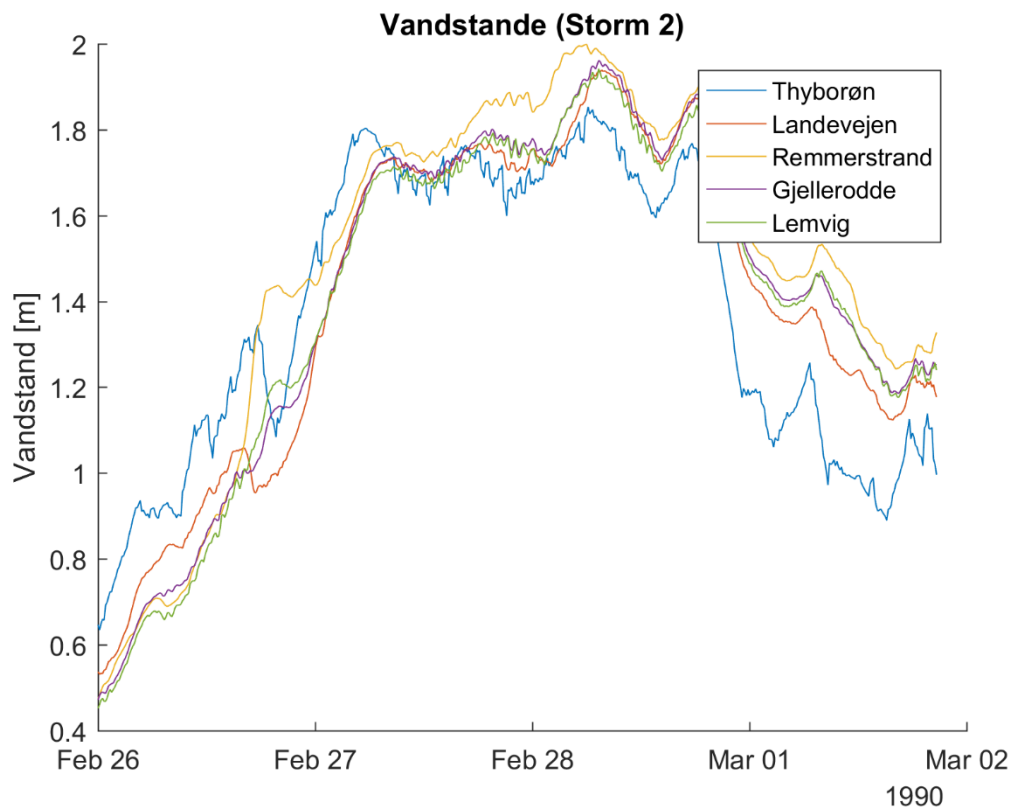
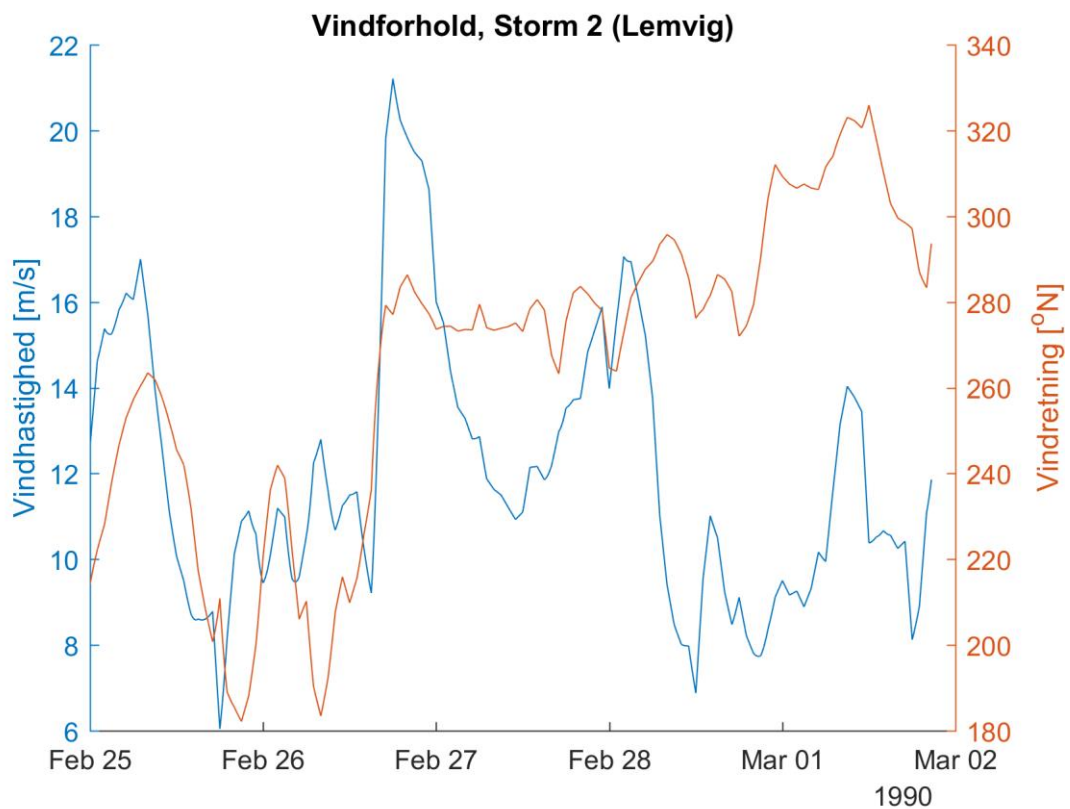


Storm 2

"Storm 2" i perioden 27. feb. 1990 -> 28. feb. 1990 medførte vindhastigheder på ca. 20 – 22 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed) i ca. et døgn. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,7 – 1,8 m. Vinden byggede langsomt op med vind fra sydlig retning, og sluttede i nordvest. Kraftigste vind under stormen var fra ca. vest.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

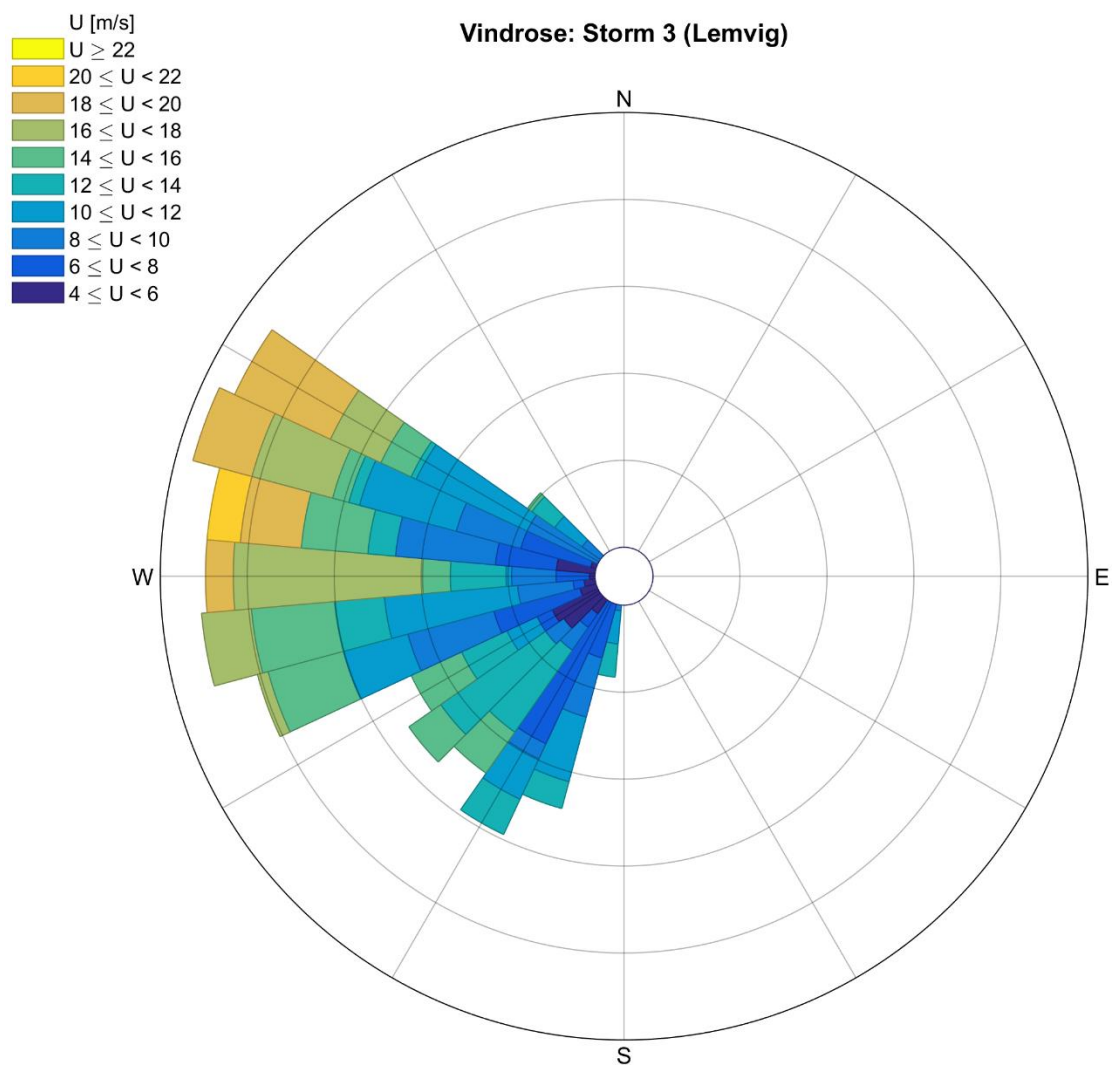


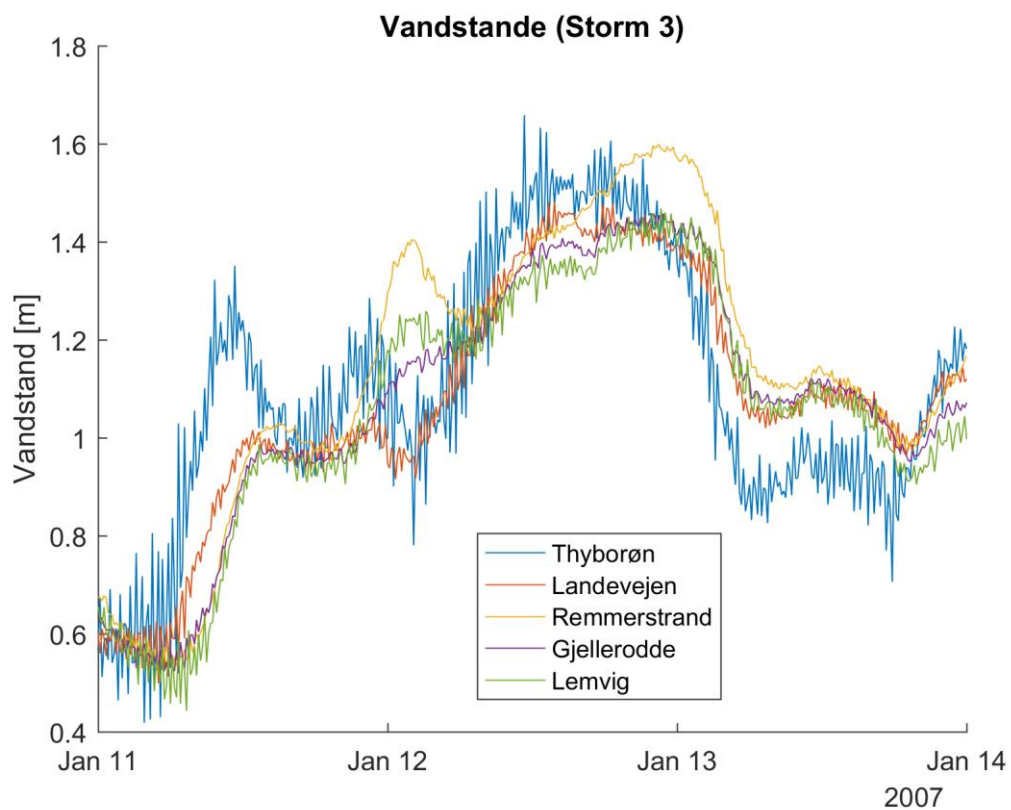
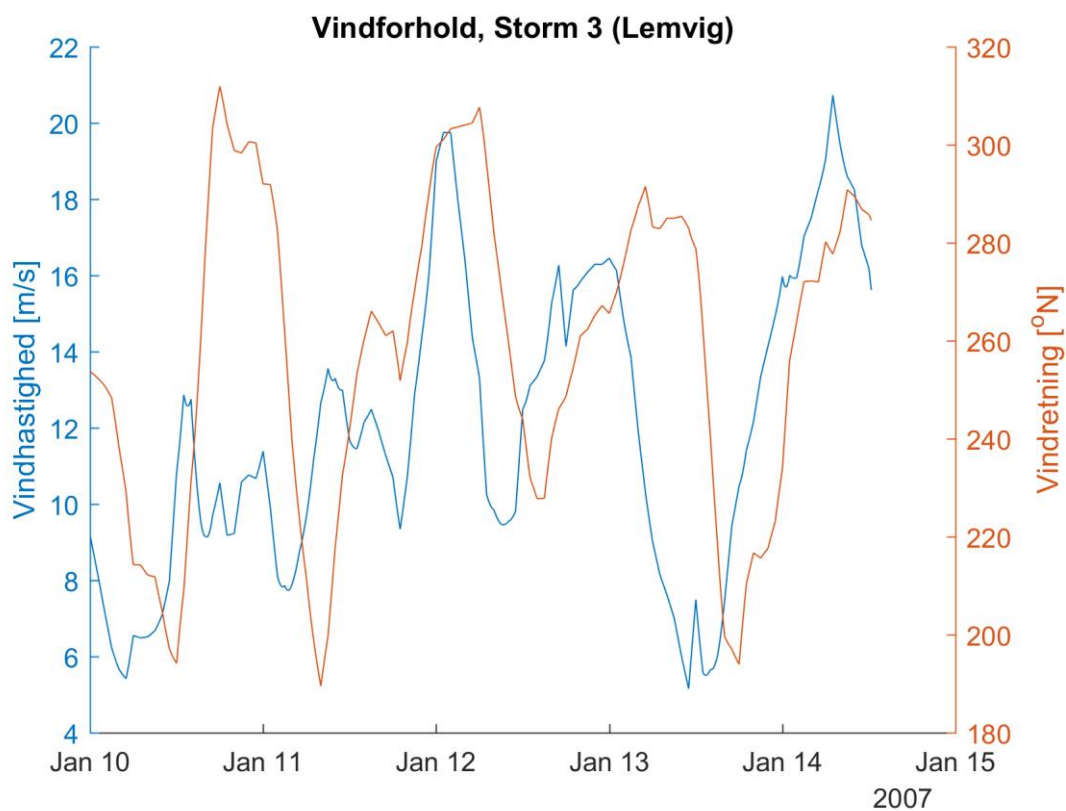


Storm 3

"Storm 3" i perioden 12. jan. 2007 -> 13. jan. 2007 medførte vindhastigheder på ca. 20 – 22 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed) i ca. et døgn. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,6 m. Vindretningen samt vindhastigheden var forholds varierende i løbet af stormen. Ved højeste vindhastighed under stormen var vindretningen ca. fra vestnordvest.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

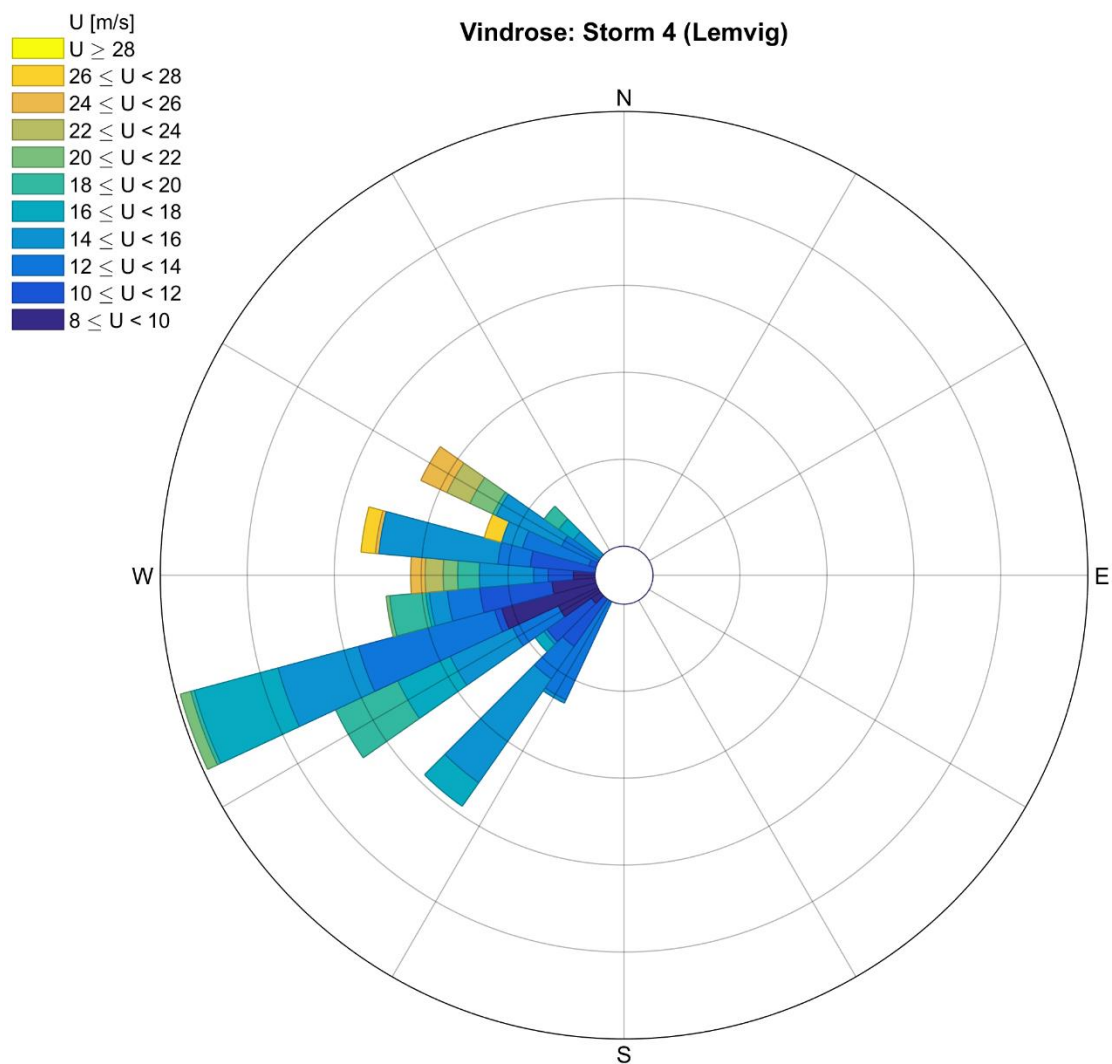


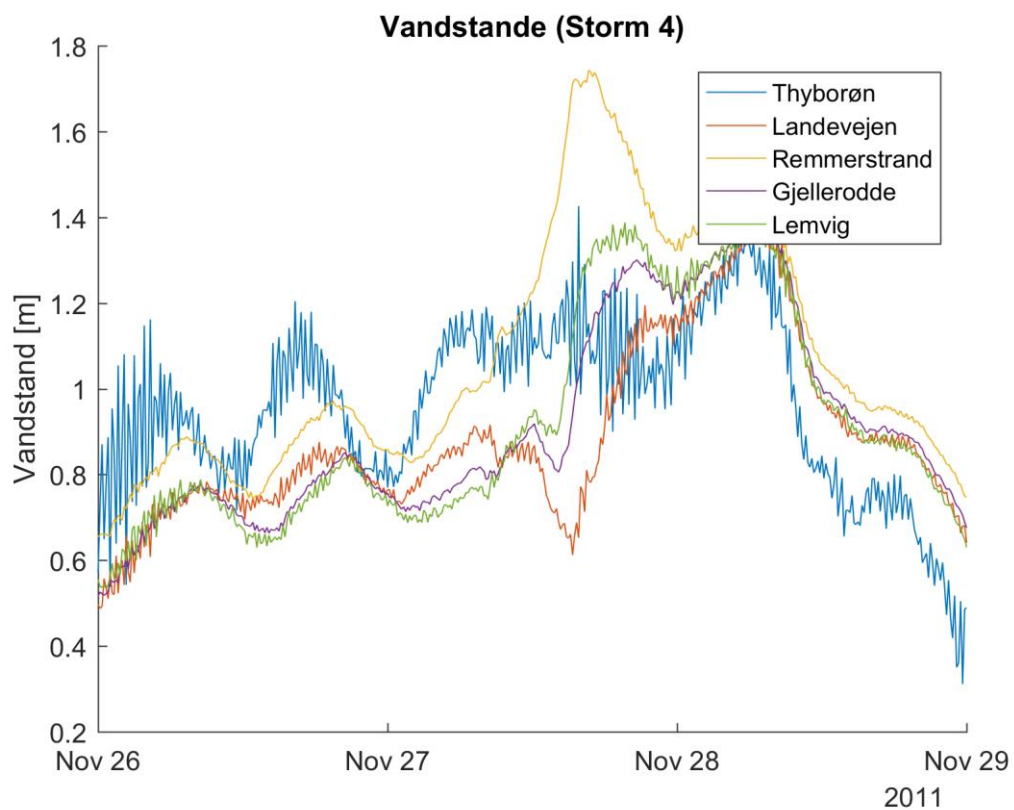
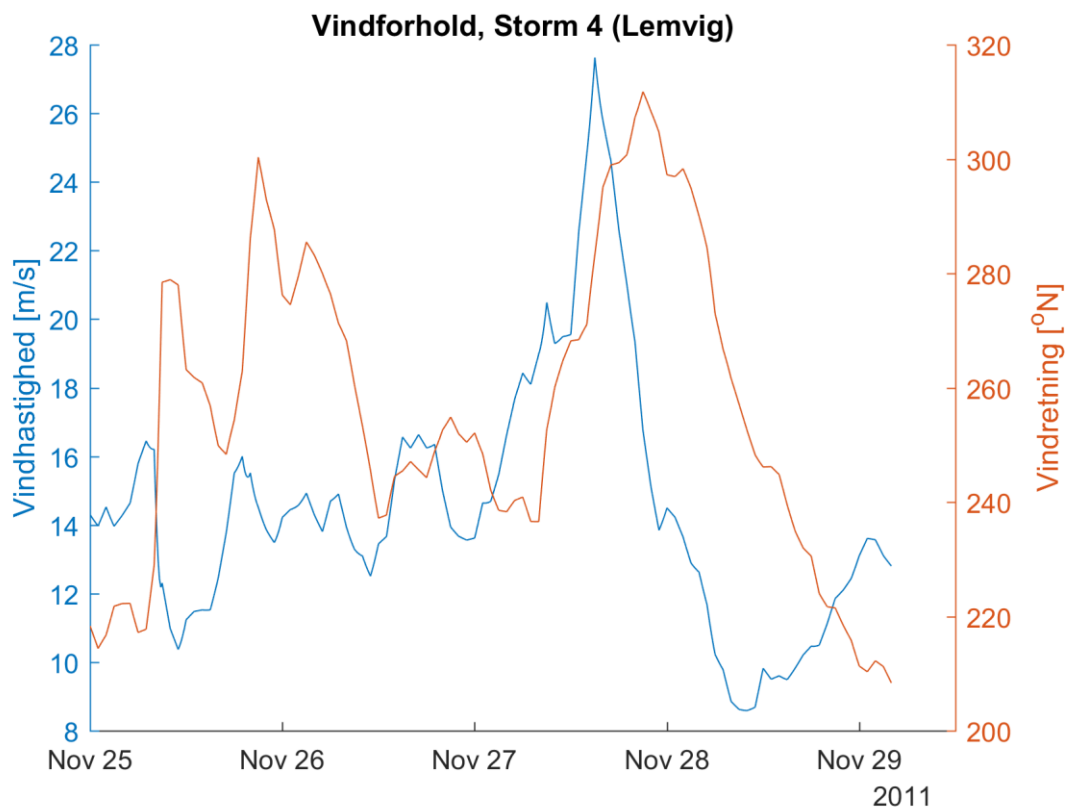


Storm 4

"Storm 4" i perioden 27. nov. 2011 -> 28. nov. 2011 medførte peak-vindhastigheder på ca. 26 – 28 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed). Den kraftige vind startede i vestsydvest og sluttede i vestnordvest. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,4 – 1,6 m.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

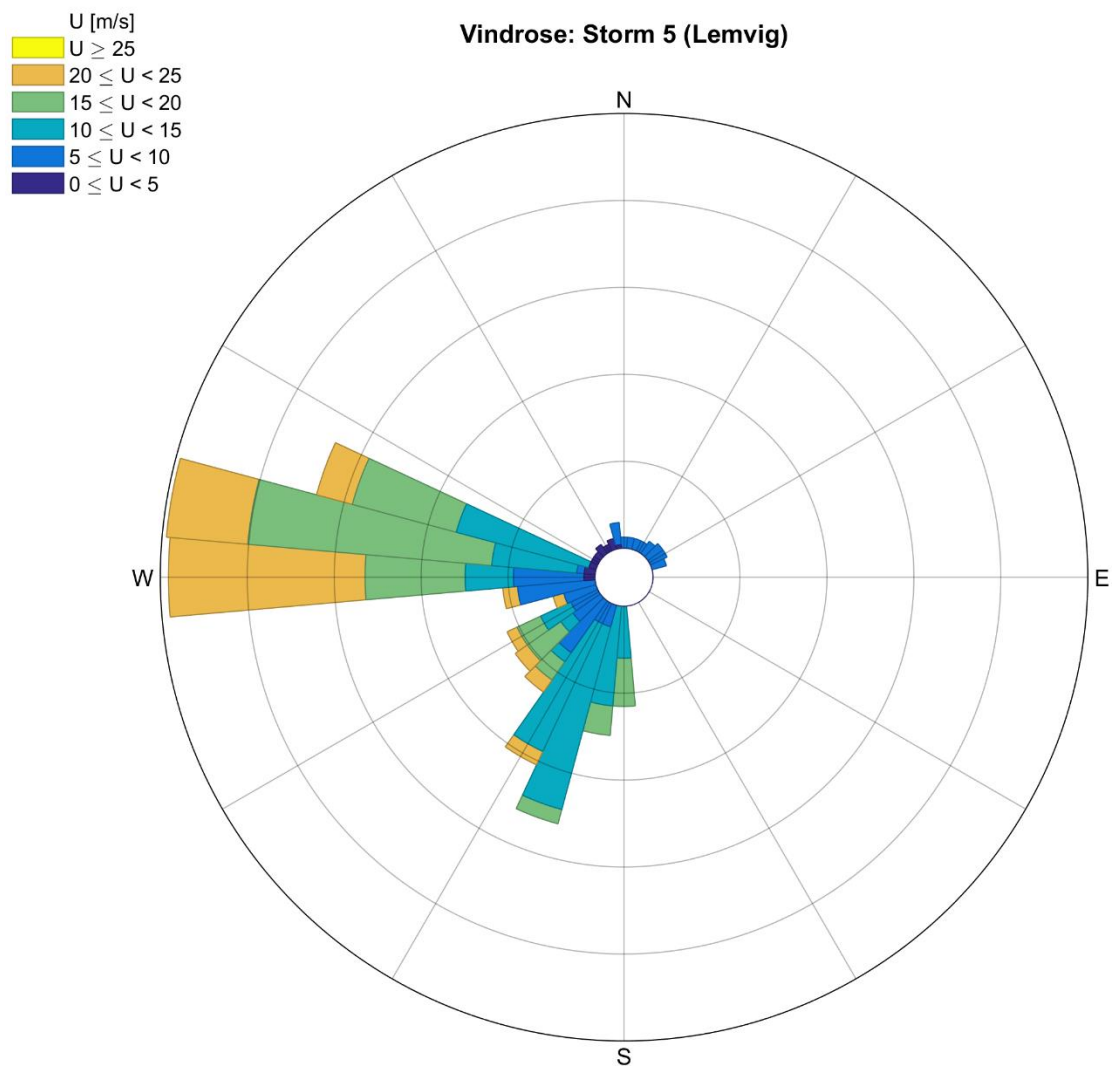


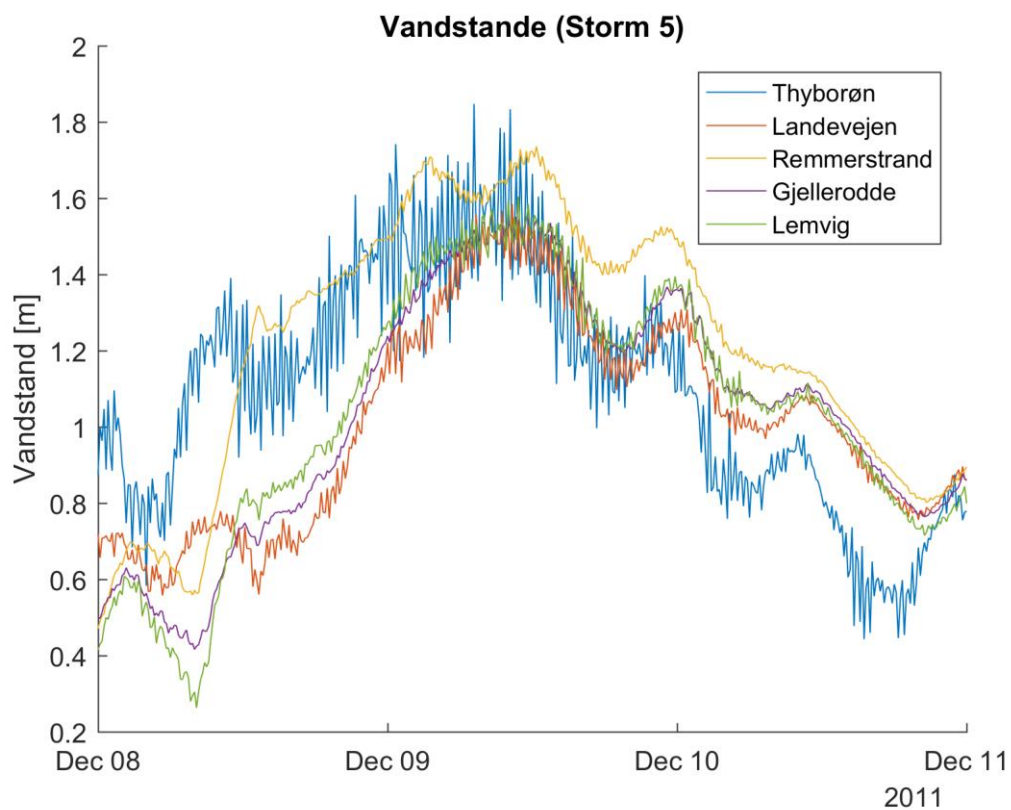
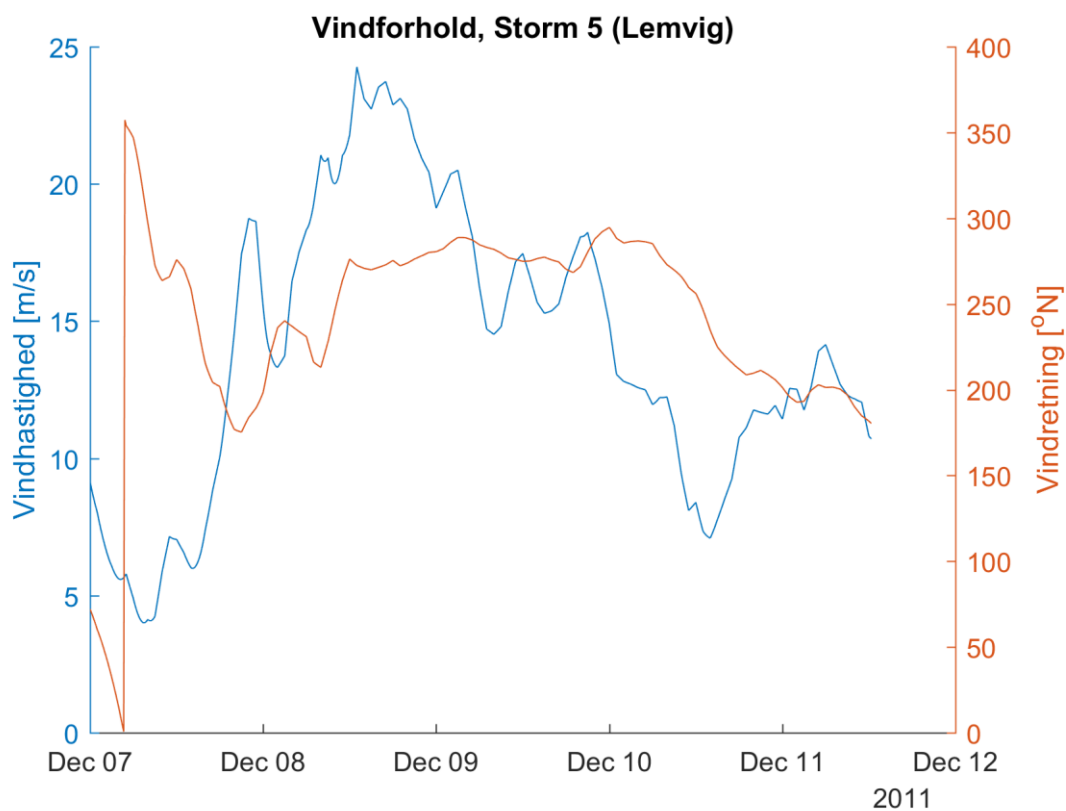


Storm 5

"Storm 5" i perioden 9. dec. 2011 -> 10. dec. 2011 medførte vindhastigheder på ca. 24 – 25 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed) i ca. et døgn fra vest. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,8 m.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

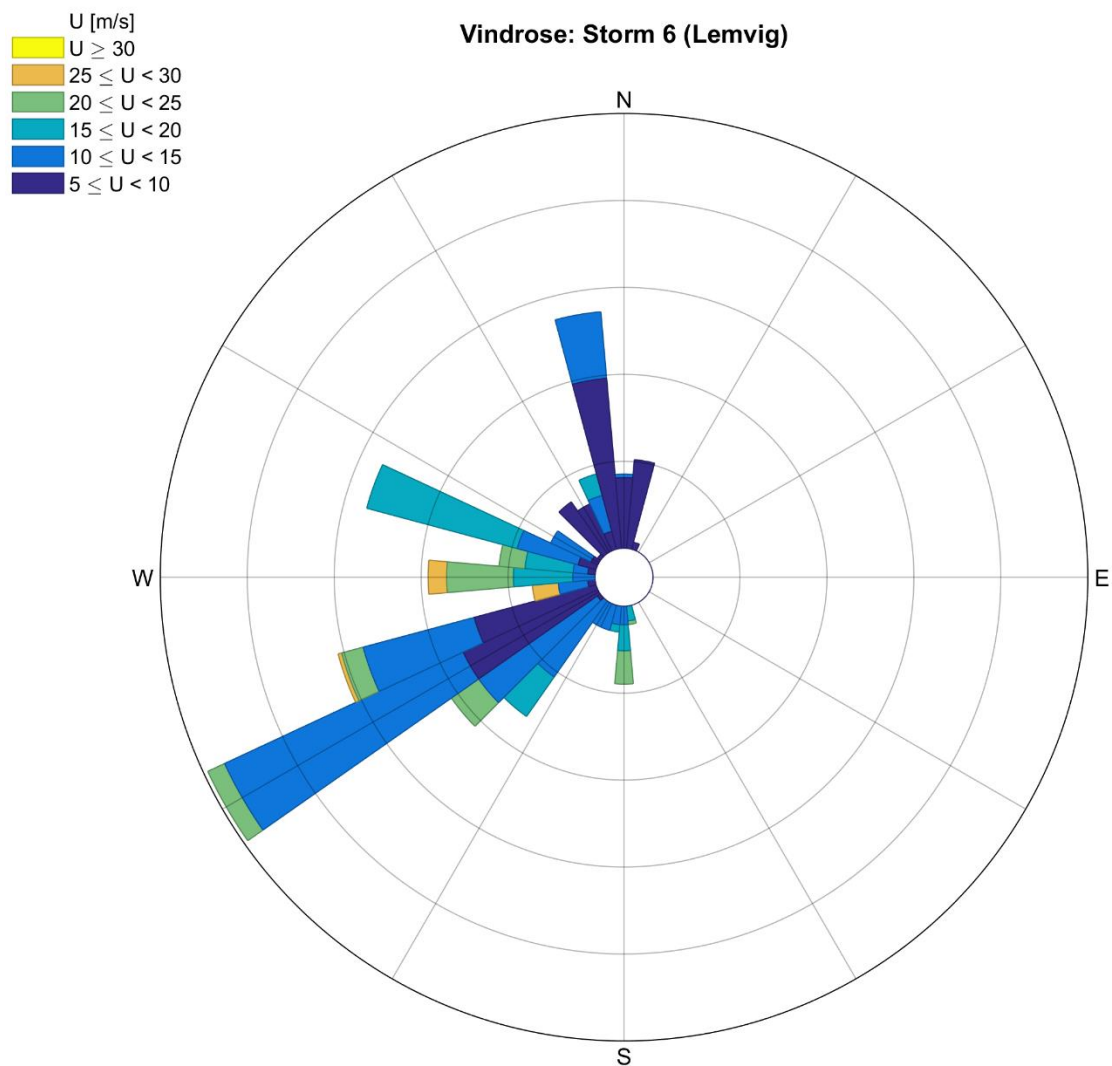


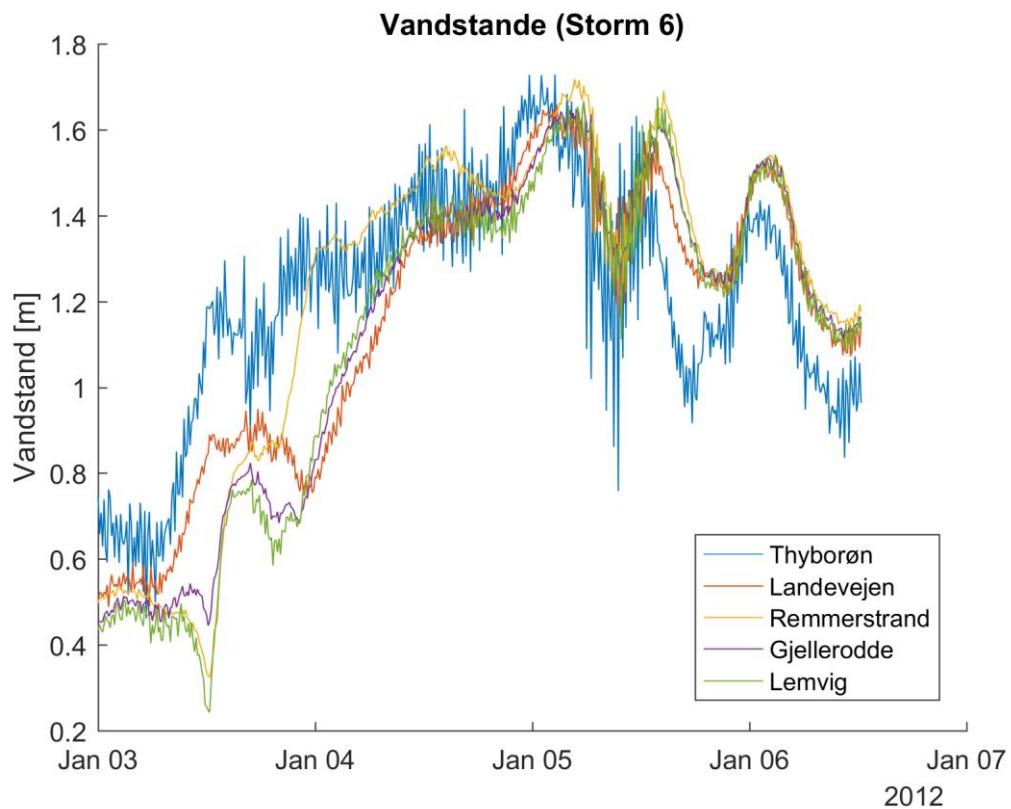
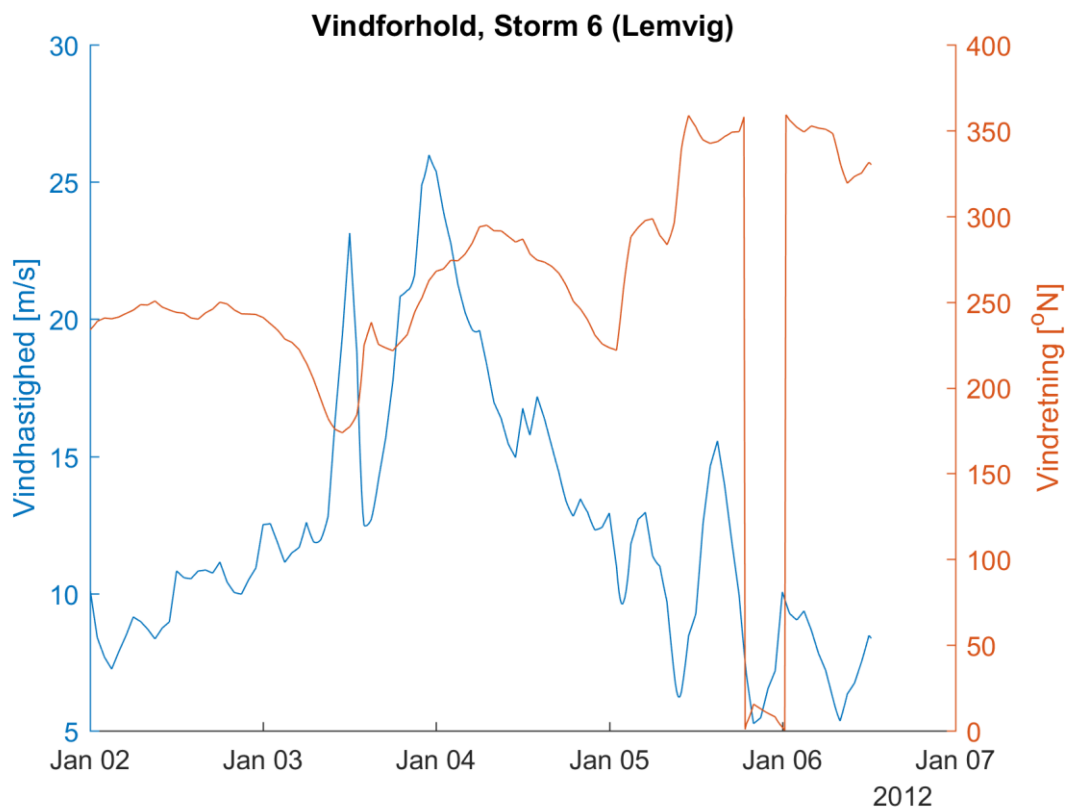


Storm 6

"Storm 6" i perioden 4. jan. 2012 - 6. jan. 2012 medførte vindhastigheder på ca. 25 – 26 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed) i ca. et døgn. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,7 - 1,8 m. Vinden startede i sydlig retning og sluttede i nordlig retning. Kraftigste vind opstod fra vest.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

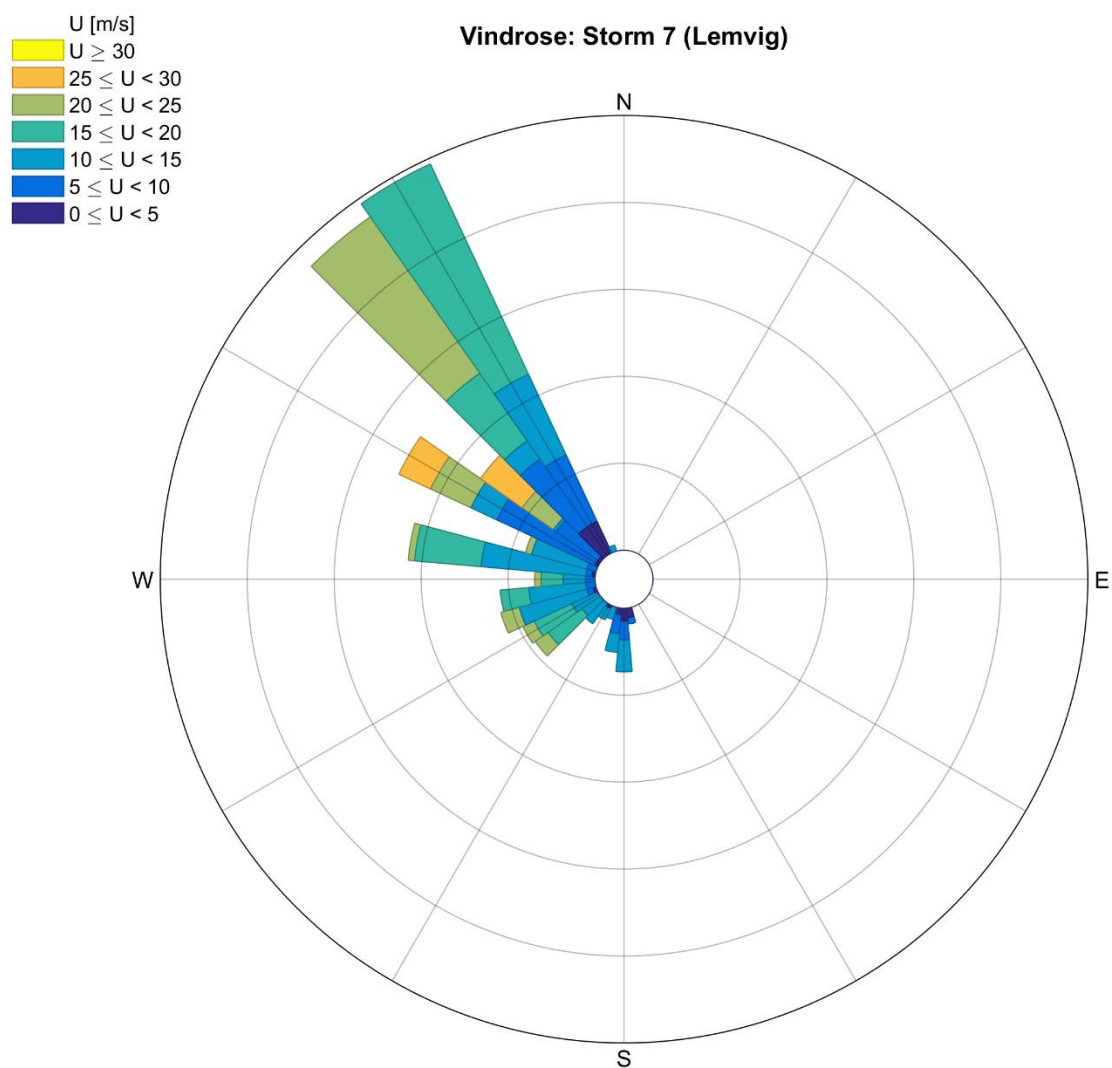


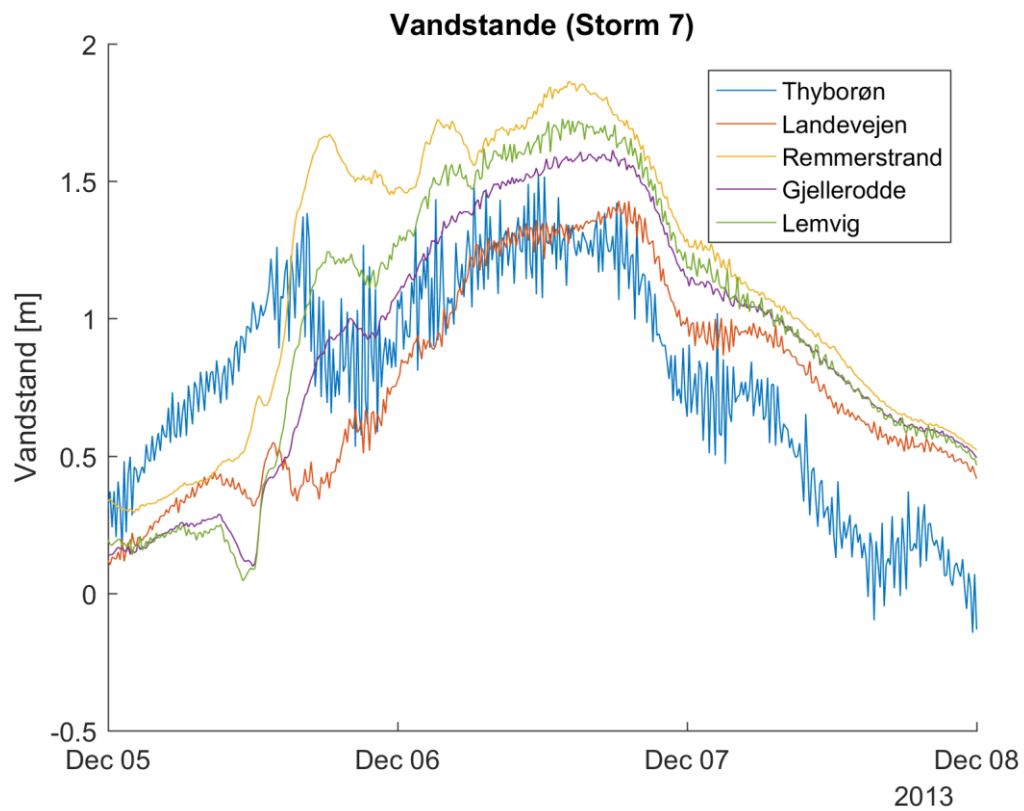
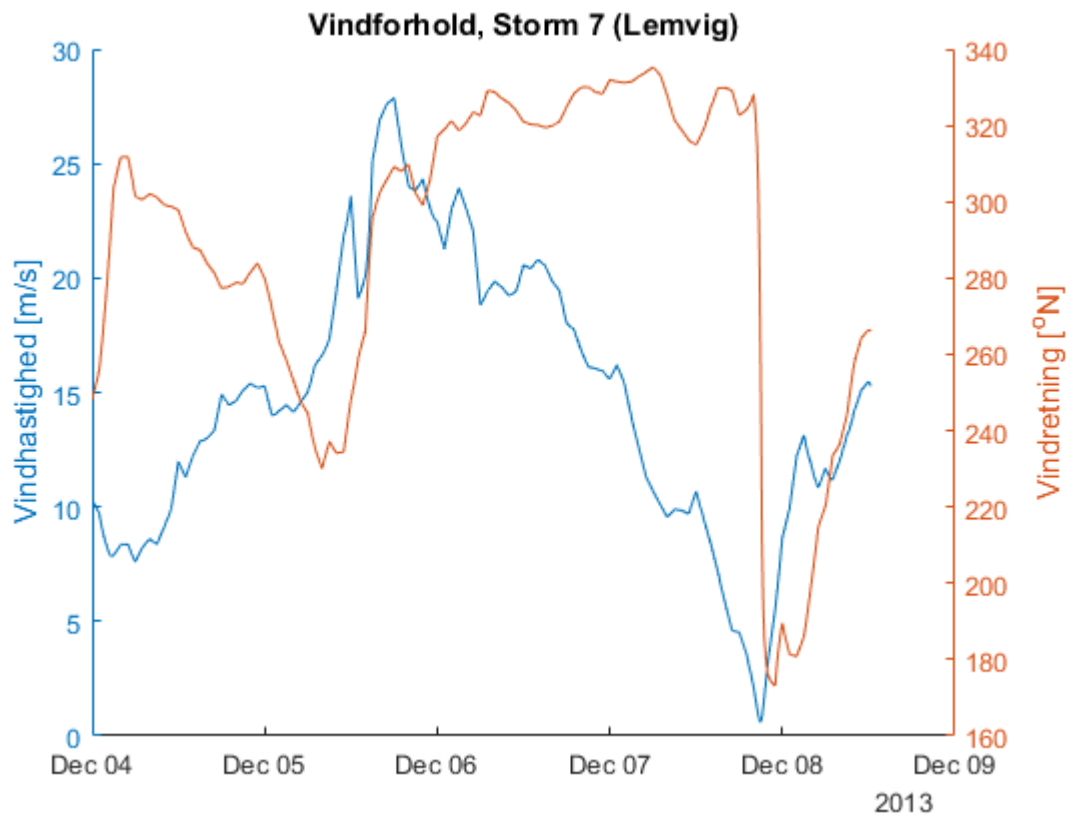


Storm 7

"Storm 7" i perioden 5. dec. 2013 - 8. dec. 2013 medførte vindhastigheder på ca. 26 – 28 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed). Vinden startede i sydvest og drejede i løbet af stormen til nordvest. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,5 - 1,6 m. Kraftigste vind opstod fra nordvest.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

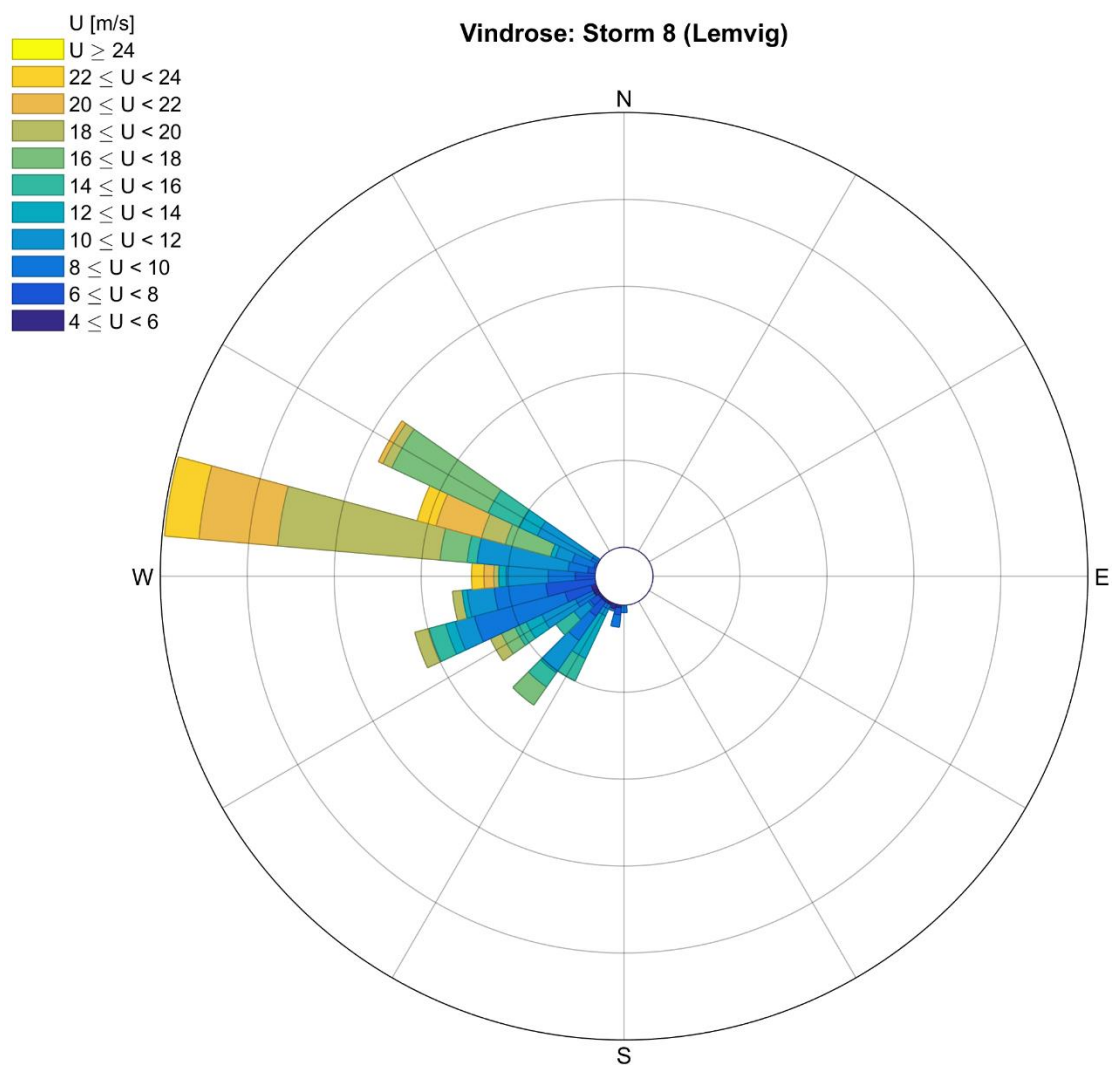


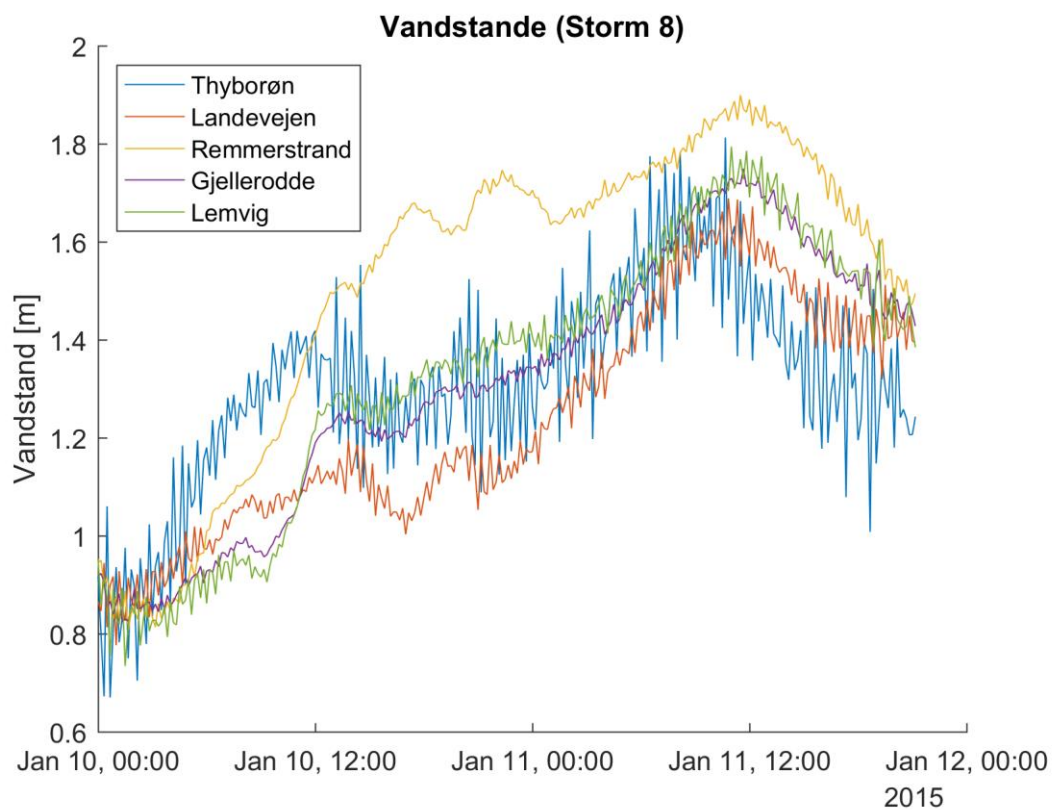
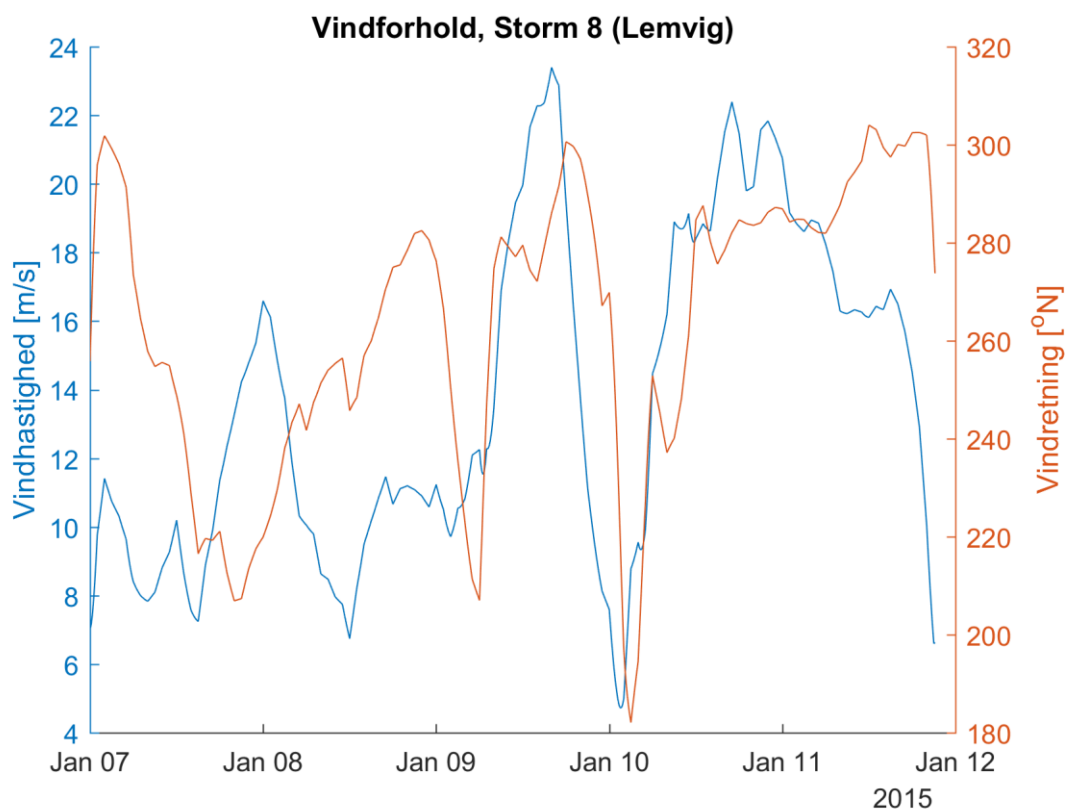


Storm 8

"Storm 8" i perioden 10. jan. 2015 -> 11. jan. 2015 medførte vindhastigheder på ca. 23 – 25 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed). Vindretning og hastighed i løbet af stormen var forholdsvis varierende. Vindretningen under peak var ca. fra vestnordvest. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,7 - 1,8 m.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

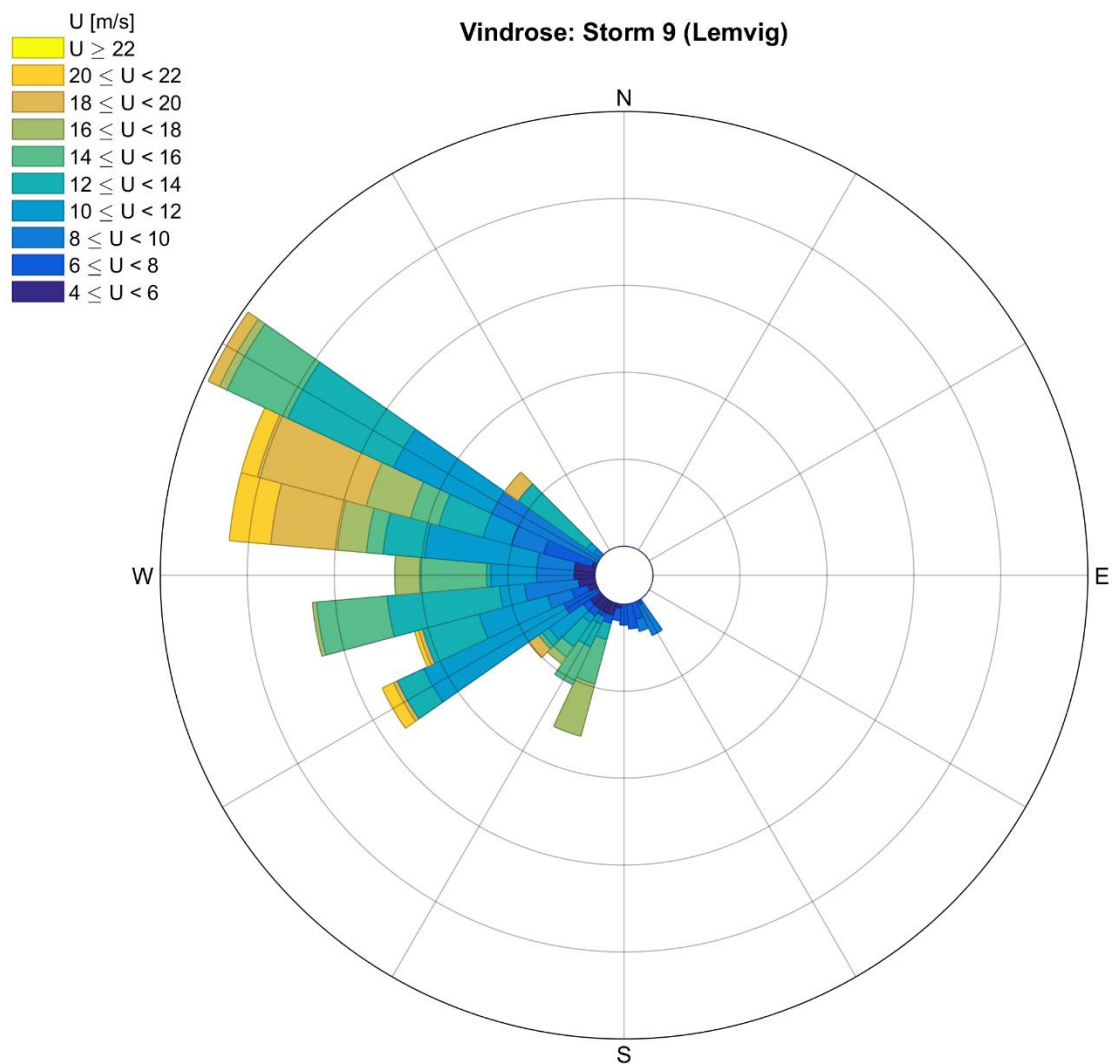


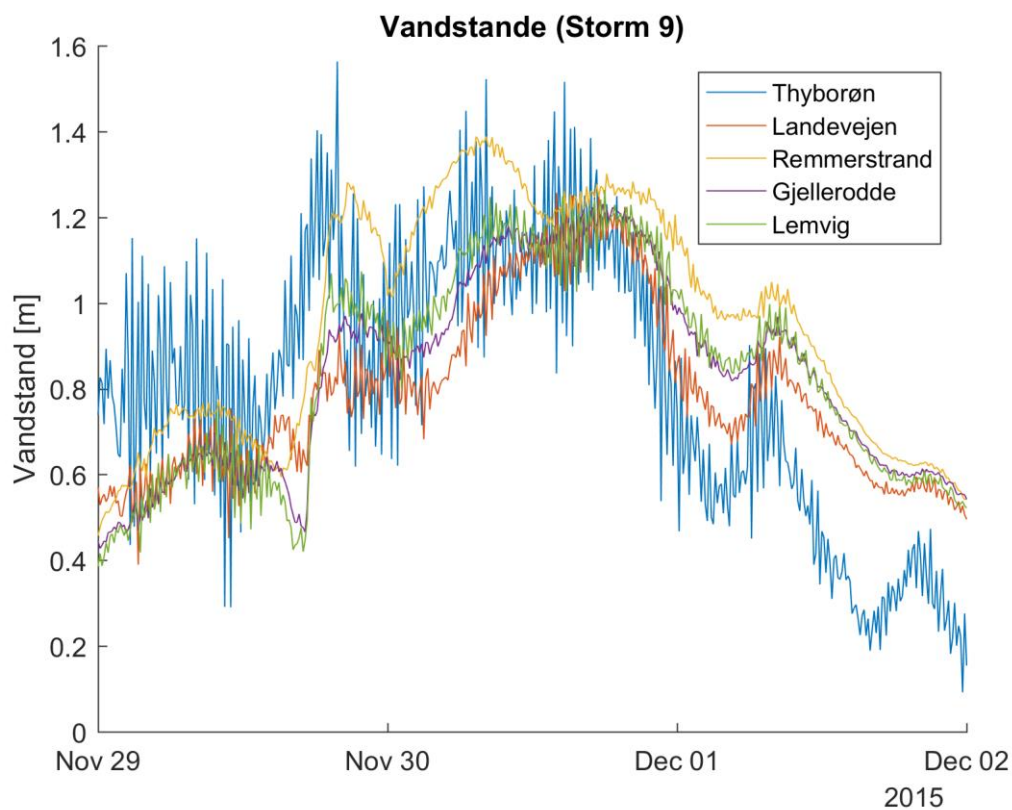
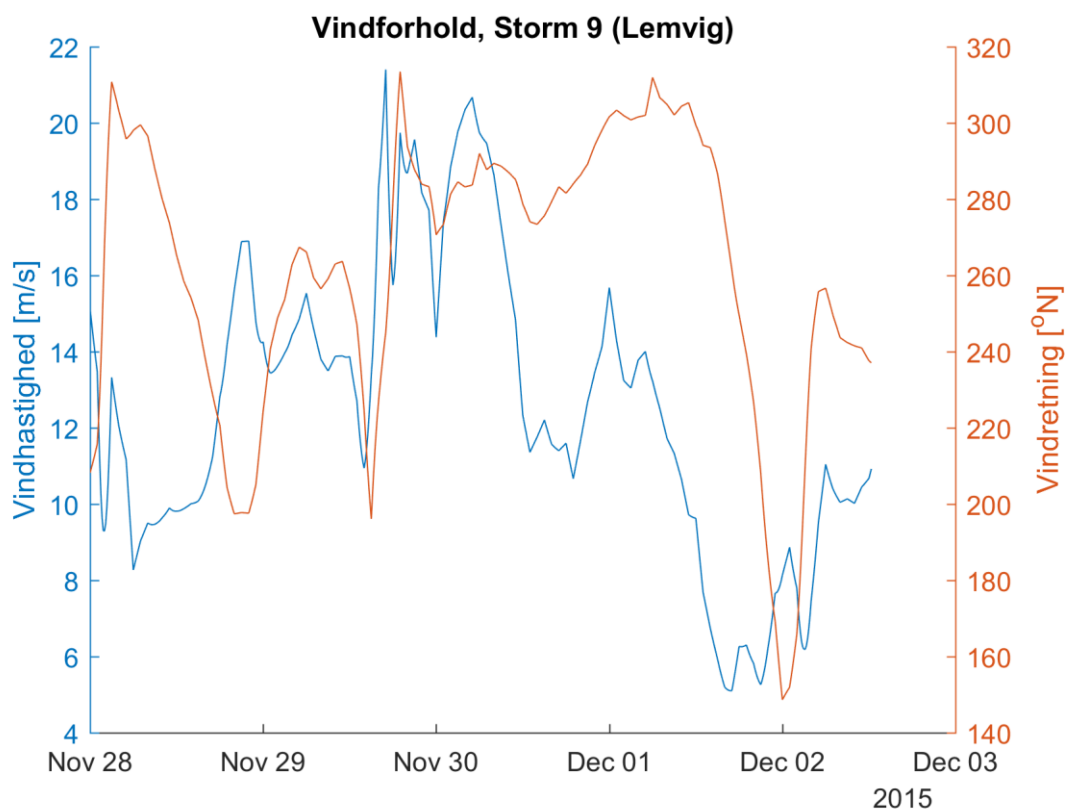


Storm 9

"Storm 9" i perioden 29. nov. – 3 dec. 2015 medførte vindhastigheder på ca. 21 – 22 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed) i ca. et døgn fra vest. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,5 – 1,6 m.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

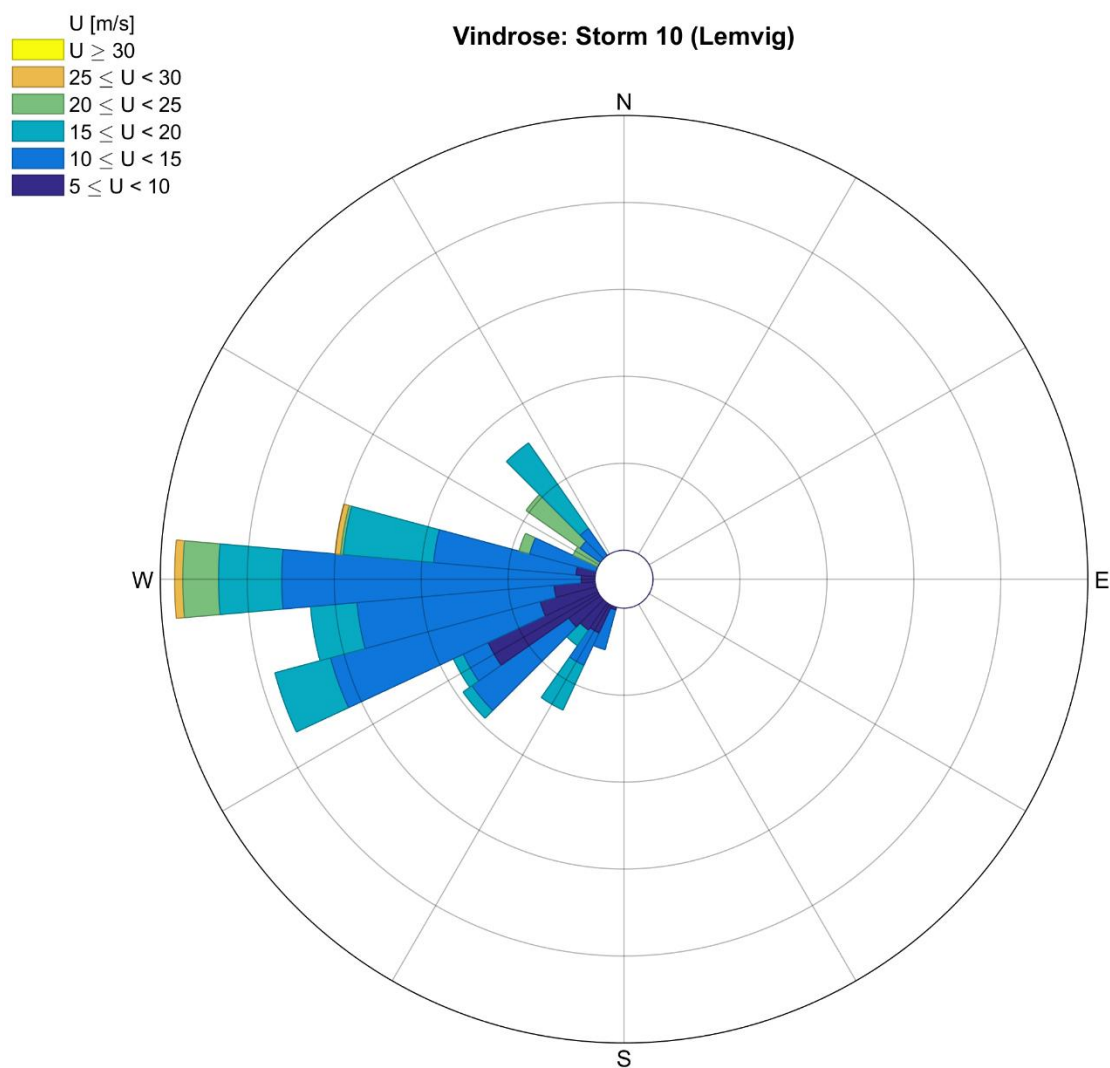


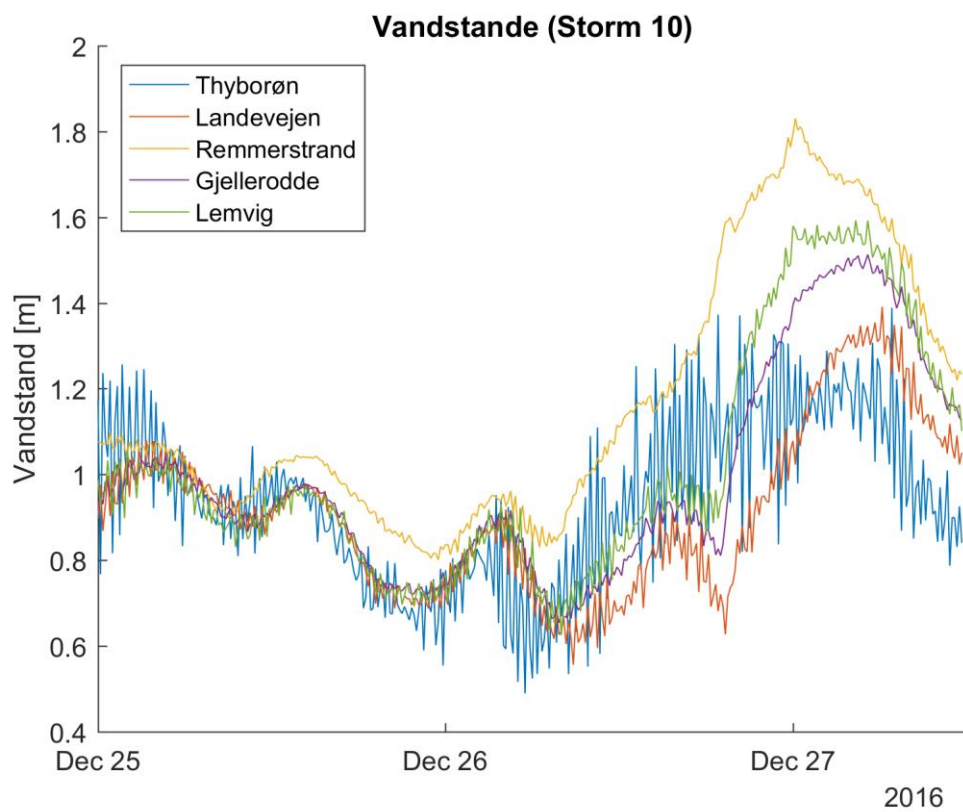
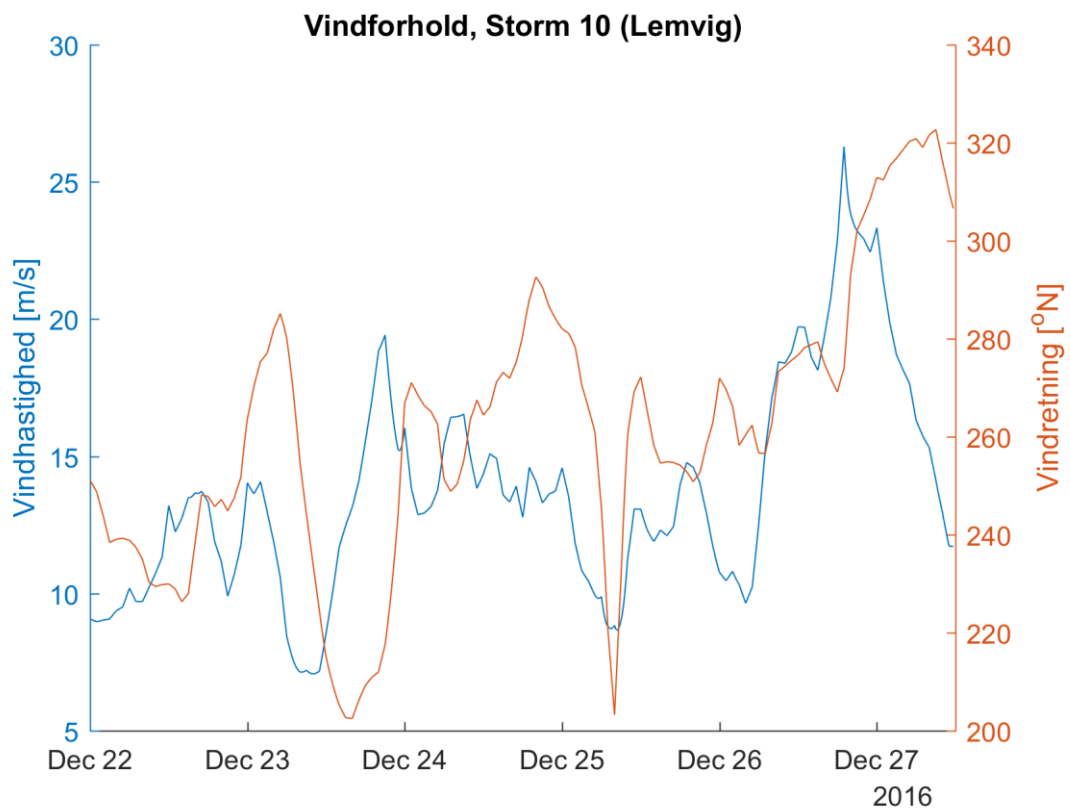


Storm 10

"Storm 10" i perioden 24. dec. 2016 - 27. dec. 2016 medførte vindhastigheder på ca. 25 – 26 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed). Stormen byggede op med relativ kraftig vind fra vestsydvest over en længere periode, og peakede ved vindretning fra nordvest. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,3 - 1,4 m.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.





Storm 2005

"Storm 2005" i perioden 8. jan. 2005 - 10. jan. 2005 medførte vindhastigheder på ca. 30 – 32 m/s (1 – 3 timers middelvindhastighed). Stormen byggede op med relativ kraftig vind fra vestsydvest over en længere periode, og peakede ved vindretning fra vest. Samtidig var vandstanden i Thyborøn ca. 1,8 - 2 m.

Vindrose, samt tidsserier for vandstand og vind er vist i det følgende.

