

Vandstandsstatistik for Køge Havn

Vandstandsstatistik for Køge havn

Agern Allé 5
2970 Hørsholm

December 2006

Tlf: 4516 9200
Fax: 4516 9292
Afd. fax:
E-mail: dhi@dhigroup.com
Web: www.dhigroup.com

| | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------|------|
| Klient | | Klientens repræsentant | | | |
| Køge Kommune | | Bjarne Frederiksen | | | |
| Projekt | | Projekt nr. | | | |
| Vandstandsstatistik for Køge Havn | | 54236 | | | |
| Forfattere | | Dato | | | |
| Henrik Madsen | | December 2006 | | | |
| | | Godkendt af | | | |
| | | Jens Kirkegaard Projektchef, POT | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | HEM | DM | JKJ | |
| Revision | Beskrivelse | Udført | Kontrolleret | Godkendt | Date |
| Nøgleord | | Klassifikation | | | |
| | | <input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten | | | |
| Distribution | | | Antal kopier | | |
| Køge Kommune | | | Bjarne Frederiksen | | |
| Rambøll | | | Erik Danielsen, Lars Frisk | | |
| DHI | | | HEM, DM, JKJ | | |



INDHOLDSFORTEGNELSE

| | | |
|-----|-----------------------------------------------------------|-----|
| 1 | INDLEDNING..... | 1-1 |
| 2 | DATA..... | 2-1 |
| 2.1 | Observerede ekstremvandstande i Køge Havn..... | 2-1 |
| 2.2 | Historiske data..... | 2-1 |
| 3 | STATISTISK ANALYSE..... | 3-1 |
| 3.1 | Fase 1: Analyse baseret på observationer i Køge Havn..... | 3-1 |
| 3.2 | Fase 2: Medtagelse af historiske hændelser..... | 3-4 |
| 4 | DISKUSSION OG KONKLUSION..... | 4-1 |
| 5 | REFERENCER..... | 5-1 |



1 **INDLEDNING**

Dette notat beskriver resultaterne af analyse af vandstandsstatistik for Køge havn. Analysen har været inddelt i 2 faser.

Fase 1 er en udvidelse af den oprindelige statistik baseret på de data der er anvendt i Kystdirektoratets rapport "Højvandsstatistikker 2002" /1/. Analysen i Kystdirektoratets rapport er baseret på 47 års observationer fra Køge Havn. Disse data benyttes til extrapolation til mere ekstreme hændelser svarende til gentagelsesperioder på op til 1000 år. Statistikken udledt på dette grundlag medtager således kun ekstreme vandstande i det omfang de er registreret i observationsperioden.

I Fase 2 udvides analysen med medtagelse af ekstreme vandstande fra historiske stormfloder. I forbindelse med byggeriet af den Københavnske Metro og Ørestaden har COWI og Rambøll udarbejdet højvandsstatistikker, hvor historiske ekstreme hændelser er medtaget. Denne analyse, som er beskrevet i rapporten "Flooding of the Minimetro II" /2/, medtager informationer om ekstreme stormfloder fra år 1000 og frem til omkring 1940. Disse historiske ekstreme hændelser er i nærværende rapport kombineret med de observerede data til beregning af ekstreme vandstande op til gentagelsesperioder på 1000 år.



2 DATA

2.1 Observerede ekstremvandstande i Køge Havn

Analysen i Kystdirektoratets rapport er baseret på 47 års vandstande fra Køge Havn indsamlet i perioden 1. april 1955 – 30. april 2002. Data der her benyttes er angivet i højdesystemet DVR90 korrigeret i forhold til middelvandstands niveau. Korrektionen mht. den stigende middelvandstand er foretaget med 1990 som basisår og korrigeret henholdsvis bagud og fremad i tid. Dvs. det er vandstanden i forhold til det pågældende års middelvandstand der er benyttet i analysen (benævnt trendfri data). For en nærmere beskrivelse af data og korrektioner henvises til Kystdirektoratets rapport.

De data der er modtaget fra Kystdirektoratet indeholder i alt 268 hændelser med en vandstand over 0.72 m (se Fig. 2.1).

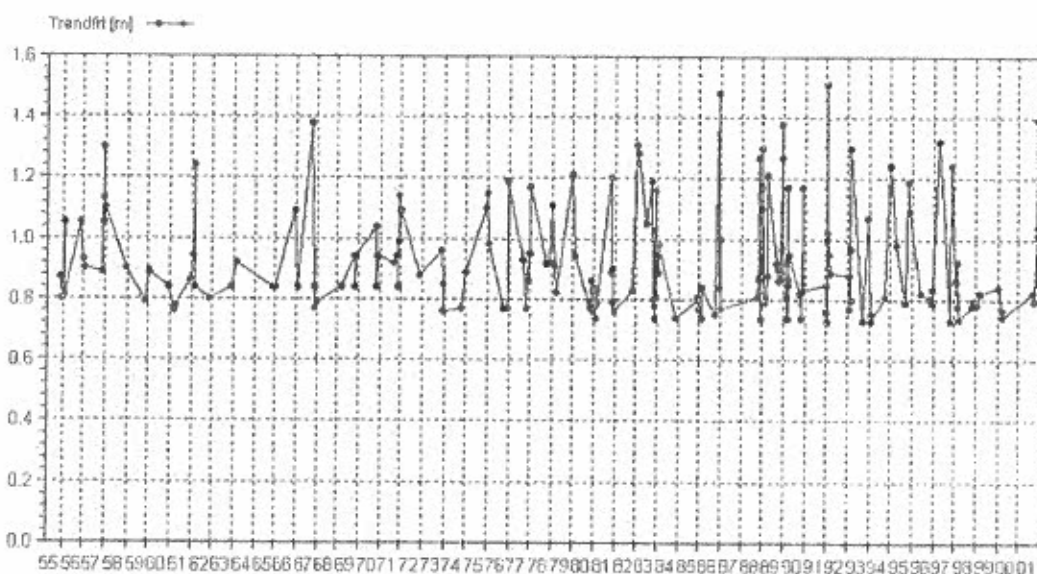



Fig. 2.1 Vandstandsdata fra Køge Havn med vandstand over 0.72 m i perioden 1. april 1955 – 30. april 2002.

2.2 Historiske data

I rapporten "Flooding of the Minimetro II" /2/ er historiske stormfloder fra år 1000 og frem til omkring 1940 vurderet og medtaget i den statistiske analyse. Informationer om de ekstreme stormfloder stammer fra rapporten "Stormfloder" fra Danmarks Meteorologiske Institut /3/.



I /2/ er stormfloder i Køge Bugt der er dokumenteret i DMI's rapport blevet vurderet. For nogle hændelser findes konkret information i det historiske kildemateriale. F.eks. er den mest ekstreme historiske stormflod i Køge Bugt der fandt sted 13. oktober 1760 rapporteret i flere kilder. I "Efterretninger om Gammelkjøgegaard og Omegn" /4/ henvises til brev til Grevinde Meyerfelt fra G. Brasch, dateret 18. oktober 1760: "*Søen voxede med en Østenvind saa stærk, at den i 24 timer stod 12 Fod høiere end sædvanligt og derved forårsagede en Oversvømmelse over alle næst ved Stranden liggende Marker*". Ligeledes er den meget ekstreme stormflod der fandt sted i Køge Bugt d. 12.-13. november 1872 veldokumenteret. Denne stormflod er detaljeret beskrevet i rapporten "Nogle Undersøgelser over Stormen over Nord- og Mellem-Europa af 12^{te}-14^{de} November 1872 og over den derved fremkaldte vandflod i Østersøen" af daværende stadsingeniør i København, professor A. Colding /5/.

Ikke alle stormfloder er så veldokumenterede som 1760 og 1872 hændelserne. Hvis der ikke er fundet konkret information om vandstanden i Køge Bugt, er vandstanden i /2/ vurderet ud fra oplysninger om den forårsagede oversvømmelse, såsom oversvømmede lokaliteter, vandstand ved givne lokaliteter, strandede skibe ved givne lokaliteter etc. For hændelser før ca. 1500 er der ingen information omkring stormfloder i Køge Bugt. I tilfælde hvor der er information om stormflod i den vestlige del af Østersøen er vandstanden i Køge Bugt fundet ved modellering i overensstemmelse med de målte vandstande i Østersøen for stormfloden i 1872.

I /2/ er der i alt identificeret 34 historiske stormfloder i Køge Bugt, der er blevet benyttet som grundlag til beregning af højvandsstatistikker gældende for Avedøre Holme. Det vurderes at disse hændelser også er repræsentative for beregning af højvandsstatistikker for Køge Havn. Vandstanden for de 34 historiske stormfloder er vist i Tabel 2.1. Vandstandene i tabellen er angivet i forhold til middelvandsspejlsniveauet og er korrigeret for eustatiske variationer og landsænkninger/-hævninger.

I Tabel 2.1 er ligeledes angivet en kvalitetsmærkning af hændelsen foretaget i DMI's rapport /3/. Alle historiske hændelser er på baggrund af en vurdering af kildematerialet mærket som (i) sikker, (ii) mulig, (iii) tvivlsom og (iv) forkert. Hændelser mærket "sikker" og "mulig" samt få hændelser mærket "tvivlsom" er medtaget i /2/.

Sammenlignes de historiske hændelser med de ekstreme hændelser der er observeret i perioden 1955-2002 ses betydelig større vandstande. Den maksimale vandstand er på 3.7 m for stormfloden i 1760, hvilket er 2.2 m højere end den maksimale vandstand i observationsperioden (1.51 m). I alt er der 28 historiske hændelser med en vandstand større end den maksimale vandstand i observationsperioden.



Tabel 2.1 Vandstand af historiske stormfloder i Køge Bugt /2/.

| År | Vandstand [m] | Kvalitetsmærkning |
|------|---------------|-------------------|
| 1044 | 2.7 | Mulig |
| 1320 | 2.7 | Mulig |
| 1374 | 1.6 | Tvivlsom |
| 1449 | 2.7 | Mulig |
| 1577 | 1.3 | Mulig |
| 1625 | 2.9 | Sikker |
| 1649 | 1.4 | Sikker |
| 1691 | 3.0 | Mulig |
| 1692 | 1.7 | Tvivlsom |
| 1694 | 2.2 | Sikker |
| 1706 | 1.5 | Tvivlsom |
| 1709 | 1.5 | Tvivlsom |
| 1742 | 2.0 | Mulig |
| 1744 | 1.9 | Mulig |
| 1747 | 1.8 | Sikker |
| 1760 | 3.7 | Sikker |
| 1825 | 2.3 | Sikker |
| 1828 | 2.2 | Sikker |
| 1835 | 2.3 | Sikker |
| 1836 | 1.9 | Sikker |
| 1858 | 1.4 | Mulig |
| 1858 | 1.7 | Sikker |
| 1863 | 1.8 | Sikker |
| 1867 | 1.8 | Sikker |
| 1867 | 2.1 | Sikker |
| 1872 | 2.8 | Sikker |
| 1882 | 2.0 | Sikker |
| 1883 | 1.8 | Sikker |
| 1890 | 1.8 | Sikker |
| 1893 | 1.25 | Sikker |
| 1898 | 2.1 | Sikker |
| 1904 | 2.0 | Sikker |
| 1913 | 1.7 | Sikker |
| 1914 | 1.8 | Sikker |

600 m ka

3 STATISTISK ANALYSE

3.1 Fase 1: Analyse baseret på observationer i Køge Havn

Til analyse af ekstreme vandstande benyttes en statistisk ekstremværdimodel der er baseret på data over et givet afskæringsniveau. Modellen benævnes Partial Duration Series (PDS) eller Peak Over Threshold (POT). De væsentligste elementer af den statistiske analyse er fastlæggelse af afskæringsniveau og valg af statistisk fordeling.

I Kystdirektoratets rapport er proceduren der ligger til grund for de beregnede statistikker nærmere beskrevet. Det er fundet at den logaritmiske normalfordeling bedst beskriver ekstremvandstande i Vadehavsområdet, mens Weibull fordelingen er bedst for de øvrige lokaliteter (her i blandt Køge Havn). Afskæringsniveau er for hver lokalitet bestemt ved en analyse af forskellige statistiske karakteristika som funktion af afskæringsniveau.

I nærværende rapport er DHI's software pakke til analyse af ekstreme hændelser EVA (Extreme Value Analysis) benyttet. EVA inkluderer et stort antal fordelingsfunktioner og forskellige statistiske estimationsprocedurer /6/, herunder Weibull fordelingen med Maximum Likelihood estimation som benyttet i Kystdirektoratets analyse.

Estimerede ekstremvandstande og tilhørende statistisk usikkerhed (spredning) for forskellige gentagelsesperioder (i Kystdirektoratets rapport benævnt middeltidsvandstande) fundet ved EVA er angivet i Tabel 3.1 og sammenlignet med resultater i Kystdirektoratets rapport for gentagelsesperioder op til 100 år. I analysen er der benyttet et afskæringsniveau på 1.15 m. Der er 27 hændelser med en vandstand over dette afskæringsniveau (se Fig. 3.1).

Tabel 3.1 Estimerede ekstremvandstande og tilhørende spredning sammenlignet med resultater i Kystdirektoratets rapport /1/.

| Gentagelsesperiode [år] | Nærværende analyse | | Kystdirektoratet | |
|----------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Vandstand [m] | Spredning [m] | Vandstand [m] | Spredning [m] |
| 20 | 1.41 | 0.04 | 1.41 | 0.04 |
| 50 | 1.48 | 0.06 | 1.48 | 0.06 |
| 100 | 1.53 | 0.07 | 1.53 | 0.07 |
| 200 | 1.59 | 0.09 | - | - |
| 500 | 1.65 | 0.11 | - | - |
| 1000 | 1.70 | 0.12 | - | - |

Som det ses af Tabel 3.1 giver de to analyser samme resultater for de gentagelsesperioder der er beregnet i Kystdirektoratets rapport. Nærværende analyse giver desuden estimater med tilhørende usikkerhed for gentagelsesperioder på 200, 500 og 1000 år.

Et meget kritisk element i analysen, især når der skal ekstrapoleres til meget store gentagelsesperioder i forhold til observationsperiodens længde, er valg af statistisk fordeling. Ofte vil man se at flere fordelinger er i stand til at beskrive de observerede data til-



fredsstillende, men fordelingerne er meget forskellige for små overskridelses-sandsynligheder (store gentagelsesperioder).

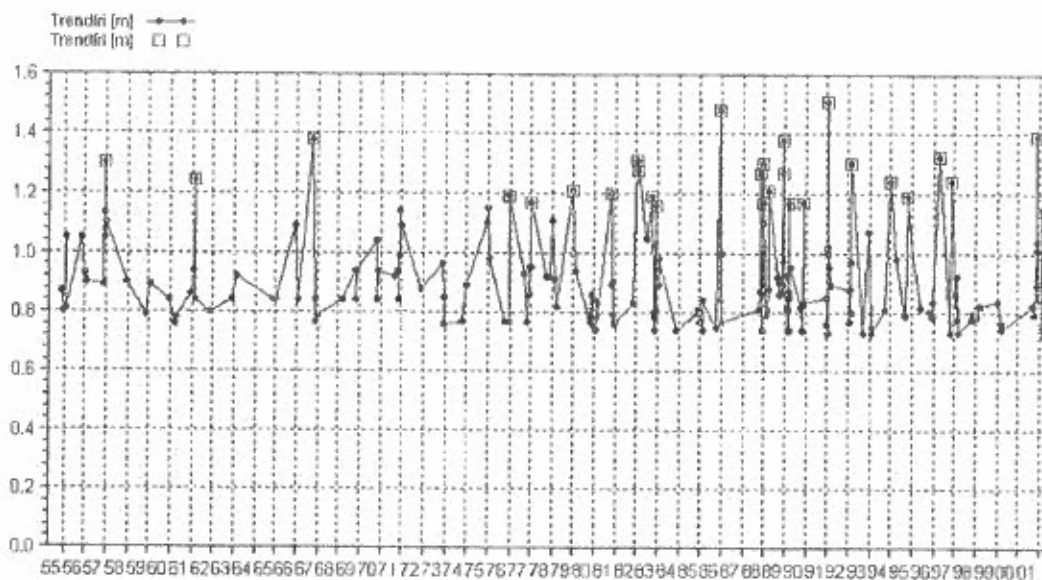


Fig. 3.1 Ekstreme vandstande over 1.15 m inkluderet i den statistiske analyse (fremhævet med blå firkanter).

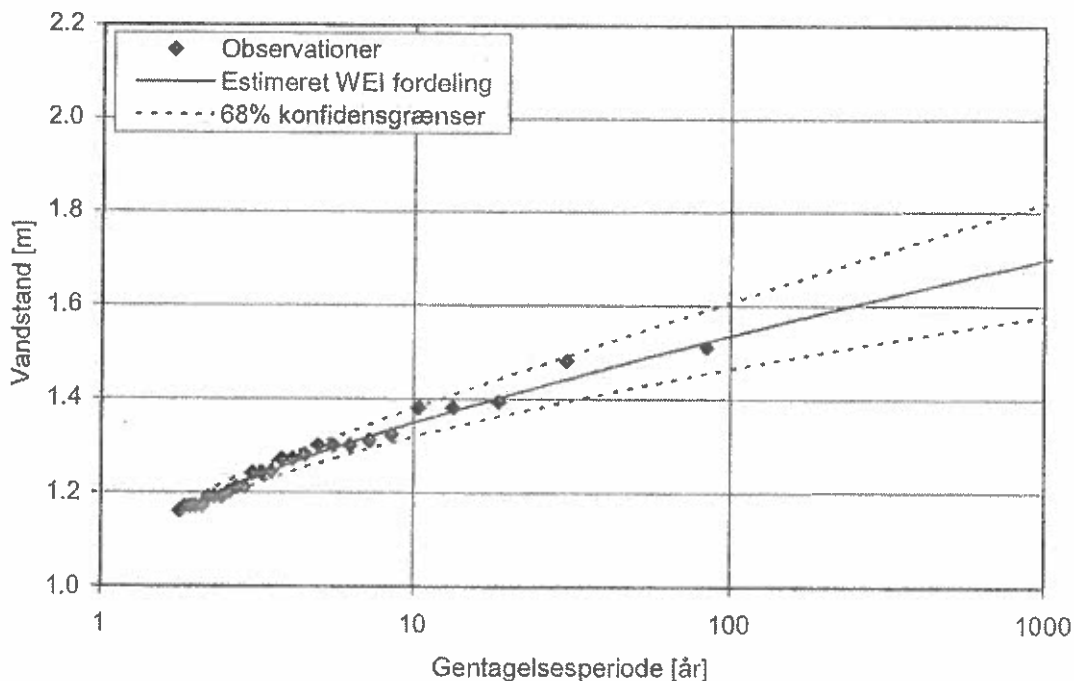


Fig. 3.2 Estimeret vandstand for forskellige gentagelsesperioder og tilhørende 68% konfidensinterval for Weibull fordelingen sammenholdt med de observerede ekstremvandstande.



I EVA analysen er flere fordelinger blevet analyseret og sammenlignet. Til denne analyse er de observerede data sammenholdt med de estimerede fordelingsfunktioner i et kvartil plot. I Fig. 3.2 er den estimerede Weibull fordeling sammenlignet med de observerede ekstremvandstande. Til plotning af de observerede ekstremvandstande benyttes en plottesandsynlighed. Der findes flere forskellige formler til bestemmelse af plottesandsynligheder baseret på forskellige statistiske antagelser. Formlerne giver primært forskellige sandsynligheder til de mest ekstreme observerede hændelser. I EVA opereres med 5 forskellige formler, der for den største observerede hændelse i dette tilfælde giver en gentagelsesperiode på mellem 48 og 92 år. I Fig. 3.2 er Gringorten formelen benyttet som for den største hændelse giver en gentagelsesperiode på 83 år.

Det ses af Fig. 3.2 at Weibull fordelingen giver en god beskrivelse af data, med de fleste data beliggende indenfor 68% konfidensintervallet. Til sammenligning er data sammenholdt med en estimeret eksponential fordeling i Fig. 3.3. Også eksponential fordelingen beskriver data tilfredsstillende, om end den mest ekstreme hændelse er lige udenfor 68% konfidensintervallet. De forskellige statistiske tests der er inkluderet i EVA godtgør at begge fordelinger kan benyttes (de er ikke statistisk signifikant forskellige).

I Tabel 3.2 er estimerede ekstremvandstande og tilhørende spredning for Weibull fordelingen sammenholdt med tilsvarende estimater baseret på eksponential fordelingen. Det ses at eksponential fordelingen giver en højere vandstand, med større forskel for voksende gentagelsesperiode. For 1000 års hændelsen giver eksponentialfordelingen en vandstand der er 20 cm større end Weibull fordelingen. Eksponential fordelingen giver også en lidt større statistisk usikkerhed.

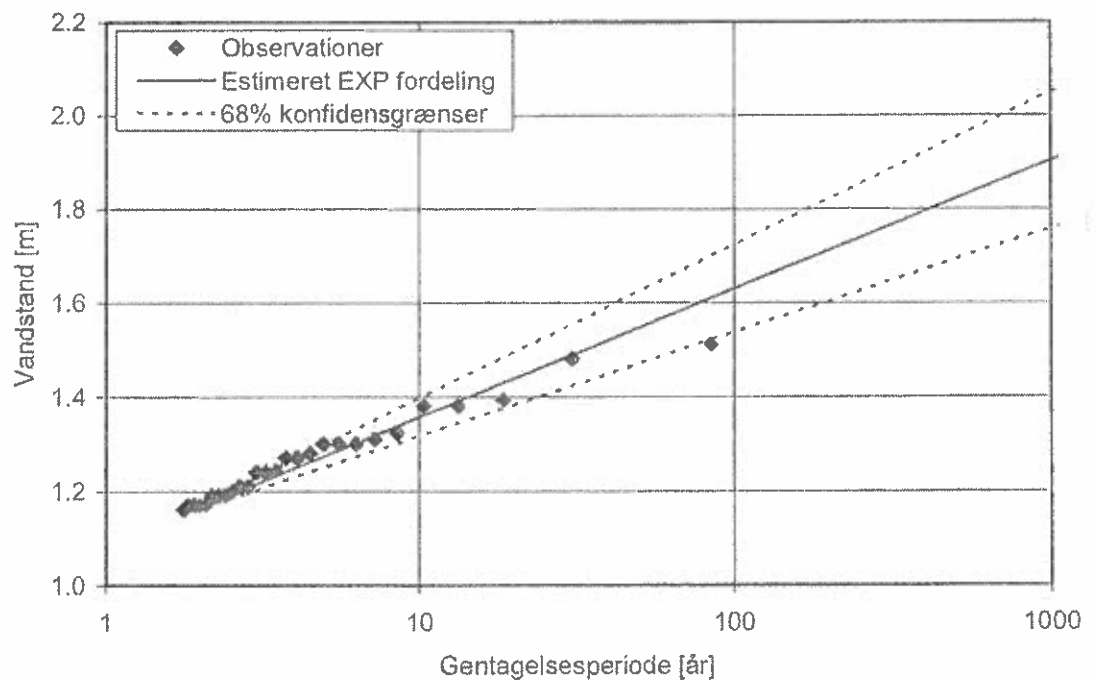


Fig. 3.3 Estimeret vandstand for forskellige gentagelsesperioder og tilhørende 68% konfidensinterval for eksponential fordelingen sammenholdt med de observerede ekstremvandstande.



Tabel 3.2 Estimerede ekstremvandstande og tilhørende spredning baseret på henholdsvis Weibull og eksponential fordelingen.

| Gentagelsesperiode [år] | Weibull fordeling | | Eksponential fordeling | |
|----------------------------|-------------------|------------------|------------------------|------------------|
| | Vandstand [m] | Spredning [m] | Vandstand [m] | Spredning [m] |
| 20 | 1.41 | 0.04 | 1.44 | 0.06 |
| 50 | 1.48 | 0.06 | 1.55 | 0.08 |
| 100 | 1.53 | 0.07 | 1.63 | 0.09 |
| 200 | 1.59 | 0.09 | 1.71 | 0.11 |
| 500 | 1.65 | 0.11 | 1.82 | 0.13 |
| 1000 | 1.70 | 0.12 | 1.90 | 0.15 |

3.2 Fase 2: Medtagelse af historiske hændelser

Som beskrevet ovenfor er der yderligere information til rådighed i form af historiske hændelser til beregning af højvandsstatistik. Medtagelse af historisk information, såfremt den er tilgængelig, er vigtig ved estimation af ekstremvandstande, især når der ekstrapoleres til meget store gentagelsesperioder i forhold til observationsperioden.

Inddragelse af historisk information i ekstremværdianalysen er dog ikke uproblematisk. For det første er der større usikkerheder på de vurderede ekstremvandstande i de historiske hændelser end de vandstande der er målt direkte. For det andet udgør de historiske data ikke en homogen serie af ekstremværdier. Dels er ikke alle ekstreme hændelser dokumenteret, og dels er der mere information omkring ekstreme stormfloder jo længere frem i tiden man kommer. F.eks. er der 5 hændelser i perioden 1000-1500, mens der alene i perioden 1800-1900 er registreret 15 hændelser (se Tabel 2.1), heraf 13 med en vandstand større end den maksimale vandstand i observationsperioden.

Ikke-homogeniteten af den historiske tidsserie giver problemer ved kombination med de målte ekstremværdier ved vurdering af gentagelsesperioden for de enkelte hændelser. For den målte tidsserie er ekstremvandstande større end 1.15 m medtaget. De historiske hændelser kan ikke umiddelbart relateres til et givet afskæringsniveau. Den mindste hændelse er på 1.25 m, men denne værdi repræsenterer ikke afskæringsniveauet for den historiske serie. Der er adskillige hændelser over denne værdi som ikke er registreret. Den historiske tidsserie er ikke repræsentativ for de mindre ekstreme hændelser, mens det må antages at de største hændelser på rimelig vis repræsenterer højvandsstatistikken over den historiske periode.

Til vurdering af gentagelsesperioden for de enkelte hændelser i den historiske serie er der derfor gjort følgende antagelser:

- Der medtages kun hændelser der har en vandstand der er større end den maksimale vandstand i observationsperioden (1.51 m).
- De historiske hændelser der er over 1.51 m (28 af de 34 hændelser i Tabel 2.1) antages at være repræsentative for ekstremvandstande over en periode på 1000 år.

Ved kombination af de historiske hændelser med de målte er det også nødvendigt at re-vurdere gentagelsesperioden for ekstremvandstande i observationsperioden. De mest ekstreme hændelser i observationsperioden er ikke nødvendigvis repræsentative for høj-

vandsstatistikken over den periode. F.eks. ses at der i 1900-tallet er registreret tre historiske hændelser med en vandstand over den maksimale vandstand i observationsperioden.

Til vurdering af gentagelsesperioder for de ekstreme vandstande i observationsperioden er der gjort følgende antagelser:

- De to mest ekstreme hændelser (1.48 m og 1.51 m) antages at være henholdsvis den 4. og 5. største indenfor en 100 års periode.
- De øvrige ekstreme hændelser antages at være repræsentative for højvandsstatistikken over en periode svarende til observationsperiodens længde.

Med de ovenstående antagelser kan de historiske hændelser og de ekstreme vandstande fra observationsperioden plottes i et kvartil plot, se Fig. 3.4. Gentagelsesperioden er beregnet ved benyttelse af Gringorten plottesandsynlighed.

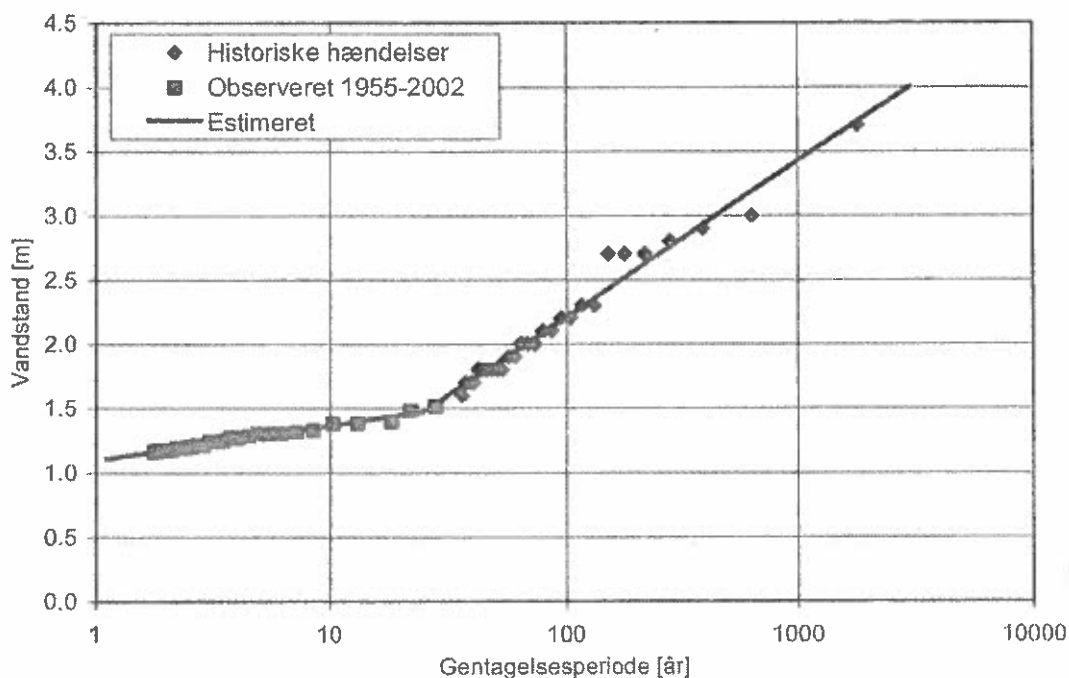


Fig. 3.4 Beregnede gentagelsesperioder for de historiske og de observerede ekstremvandstande samt estimeret ekstremværdikurve..

Som det ses af Fig. 3.4 har de historiske hændelser helt andre ekstremværdi karakteristika end hændelserne i observationsperioden. Til at beskrive dette er en eksponential funktion tilnærmet henholdsvis de historiske og de observerede ekstremvandstande (estimeret kurve i Fig. 3.4).

I /2/ er det redegjort for at de meget ekstreme historiske hændelser er forårsaget af forholdsvis sjældne meteorologiske forhold. De mere normale stormfloder er typisk grundet kraftige lavtryk fra Vest. De mere sjældne og mere ekstreme stormfloder, der specielt rammer det sydlige Danmark, er grundet lavtryk som bevæger sig i den modsatte retning, fra øst-sydøst, syd om Danmark. Disse lavtryk har en større udstrækning og be-



væger sig langsommere og giver meget kraftige østenvinde nord for lavtrykkets bevægelsesretning. Dette giver store opstuvninger og oversvømmelser i den vestlige del af Østersøen.

Højvandsstatistikken for Køge havn må derfor antages at være karakteriseret af to populationer. En der er grundet de mere normale kraftige lavtryk fra vest, og en der giver mere sjældne og kraftigere stormfloder grundet lavtryk fra øst-sydøst. Det er veldokumenteret at stormfloden i 1872 er grundet disse sjældne lavtryk /5/, og det antages også at den mest ekstreme historiske stormflod i 1760 er forårsaget af en sådan, endnu mere ekstrem, vejr-situation /2/. I DMI's rapport /3/ er der for mange af de historiske hændelser der er medtaget i nærværende analyse beskrevet at stormfloden er forårsaget af en kraftig vind fra øst-nordøst. Det må derfor antages at en stor del af de historiske hændelser er grundet de meget kraftige lavtryk syd om Danmark fra øst-sydøst.

Det er dog givet ikke korrekt at samtlige medtagne historiske hændelser er forårsaget af de sjældne lavtryk fra øst-sydøst. Det er påfaldende at der i perioden fra 1800-1900 skulle være 13 af disse hændelser, mens der ikke er registreret en eneste af disse hændelser i de sidste 50 år. Det er dog ikke på nærværende grundlag muligt at skelne mellem de to populationer, hvorfor der er estimeret en ekstremværdikurve for de historiske hændelser og en kurve for de observerede ekstreme hændelser i overensstemmelse med "knækket" af ekstremværdierne i Fig. 3.4.

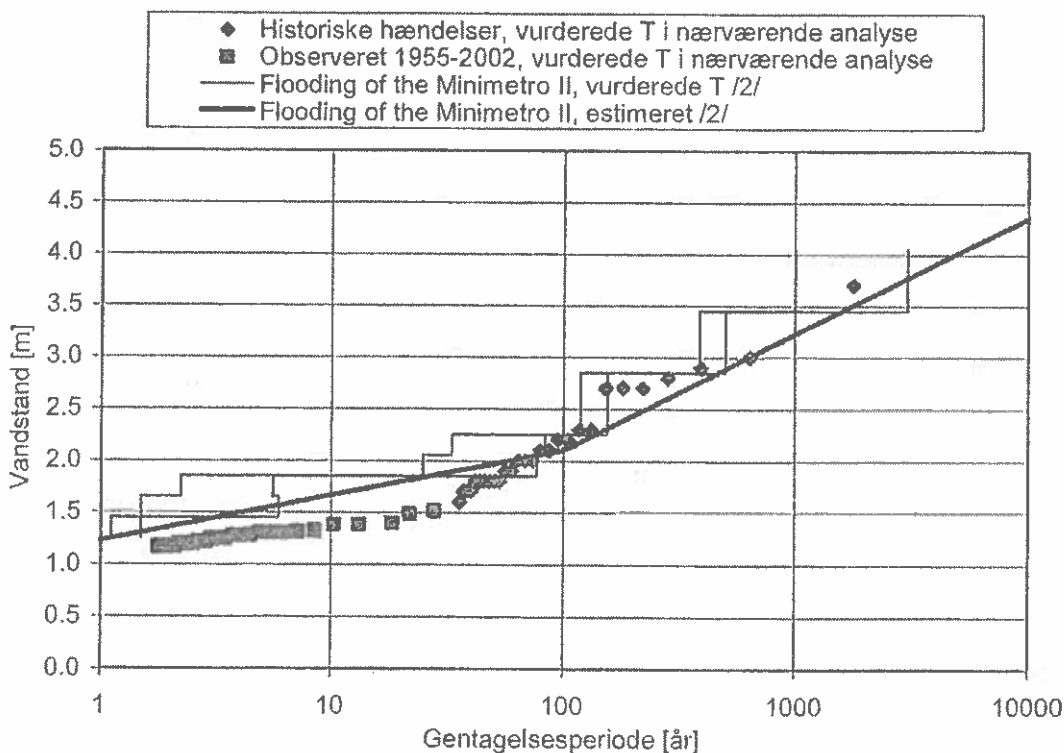


Fig. 3.5 Vurderede gentagelsesperioder (T) for henholdsvis de historiske hændelser og de observerede hændelser benyttet i nærværende analyse sammenholdt med de vurderede gentagelsesperioder og den estimerede ekstremværdikurve benyttet i /2/.

I /2/ er der ligeledes foretaget en beregning af højvandsstatistikken baseret på de historiske hændelser. I Fig. 3.5 er de vurderede gentagelsesperioder og den estimerede eks-

tremværdikurve fra /2/ sammenlignet med de vurderede gentagelsesperioder benyttet i nærværende analyse. Ved vurdering af gentagelsesperioden angives i /2/ en sandsynlighed for en hændelse indenfor et givet interval af vandstanden. Baseret på denne vurdering er en ekstremværdikurve estimeret. Sammenlignes med nærværende analyse estimeres i /2/ en lidt mindre vandstand for gentagelsesperioder på 100 år og derover, hvorimod der estimeres en større vandstand for gentagelsesperioder under 100 år. Det fremgår ikke klart af /2/ om det er benyttet observerede data til at estimere kurven for mindre gentagelsesperioder eller der alene er brugt historiske data. Sammenholdes med de observerede data fra Køge Havn er der dog tale om en overestimering.

I Tabel 3.3 er de estimerede ekstremvandstande baseret på kombination af historiske og observerede vandstandsdata sammenlignet med estimater baseret alene på de observerede data. For en gentagelsesperiode på 20 år fås samme estimat som ved benyttelse af eksponential fordelingen på de observerede ekstremvandstande, idet de historiske hændelser ikke bidrager til estimationen for mindre gentagelsesperioder. Men allerede fra en gentagelsesperiode på 50 år opstår der en betydelig større estimeret vandstand grundet inddragelsen af de historiske hændelser med stigende forskel for voksende gentagelsesperiode. For en gentagelsesperiode på 100 år er den estimerede vandstand 58 cm højere ved inddragelse af historisk information, mens den for 1000-års hændelsen er 1.53 m højere (sammenholdt med estimat baseret på eksponential fordelingen).

Tabel 3.3 Estimerede ekstremvandstande baseret på henholdsvis observerede vandstande og kombination af observerede og historiske data.

| Gentagelsesperiode [år] | Observerede data 1955-2002 | | Historiske og observerede data [m] |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| | Weibull fordeling [m] | Eksponential fordeling [m] | |
| 20 | 1.41 | 1.44 | 1.44 |
| 50 | 1.48 | 1.55 | 1.84 |
| 100 | 1.53 | 1.63 | 2.21 |
| 200 | 1.59 | 1.71 | 2.57 |
| 500 | 1.65 | 1.82 | 3.06 |
| 1000 | 1.70 | 1.90 | 3.43 |

Det bør bemærkes at forventede vandstandsstigninger som følge af klimaændringer ikke er medtaget i nærværende analyse.



4 DISKUSSION OG KONKLUSION

Den oprindelige højvandsstatistik for Køge Havn er blevet udvidet til større gentagelsesperioder (200-1000 år). Observerede ekstremvandstande er blevet analyseret i EVA ved benyttelse af samme fremgangsmåde som anvendt af Kystdirektoratet. Desuden er andre fordelings typer inkluderet i EVA blevet undersøgt. Det er godtgjort at data også kan beskrives tilfredsstillende med en eksponential fordeling, og data ikke muliggør en (statistisk) præference af en af fordelingerne. Eksponential fordelingen giver en større vandstand end Weibull fordelingen. Dvs. anlægges en konservativ betragtning bør estimaterne af ekstremvandstande baseres på eksponential fordelingen.

En vigtig forudsætning for en troværdig estimation af ekstremvandstande for store gentagelsesperioder i forhold til observationsperiodens længde er at de observerede vandstande er repræsentative. For at få et bedre grundlag for estimation af hændelser med stor gentagelsesperiode er historisk information om ekstreme stormfloder inddraget i analysen. I historisk perspektiv er de vandstande der er observeret ikke repræsentative for gentagelsesperioder på 50 år og derover. I perioden fra år 1000 og frem til 1940 er der fundet 28 historiske stormfloder i Køge bugt med vandstand større end den maksimale vandstand i observationsperioden. De meget ekstreme vandstande er grundet sjældne lavtryk fra øst-sydøst, hvilket giver anledning til en to-populationsfordeling af ekstremvandstande i Køge Bugt. Indenfor de seneste 50 år er der dog ikke observeret ekstreme vejr situationer af den art.

Medtages de historiske stormfloder i analysen ændres højvandsstatistikken drastisk. For gentagelsesperioder på 100, 200 og 1000 år estimeres en vandstand på henholdsvis 2.21 m, 2.57 m og 3.43 m, hvilket er henholdsvis 0.58 m, 0.86 m og 1,53 m højere end ekstremvandstande estimeret alene på baggrund af de observerede data (ved brug af eksponential fordelingen). Der er en betydelig usikkerhed på de historiske data, især på de ældste registrerede hændelser. Der er dog meget veldokumenterede hændelser i blandt, heraf den mest ekstreme hændelse i historien fra 1760 samt den meget ekstreme hændelse i 1872 (den 4. største historiske hændelse), hvorfor man absolut bør inddrage viden om historiske hændelser ved vurdering af ekstremvandstande for Køge Havn for store gentagelsesperioder.

5 REFERENCER

- /1/ Kystdirektoratet (2002) Højvandsstatistikker 2002, Kystdirektoratet, Trafikministeriet.
- /2/ Ørestadsselskabet I/S (1997) Flooding of the Minimetro II, Minimetro Phase 1, Civil Works, COWI.
- /3/ Gram-Jensen, I. (1991) Stormfloder, Danish Meteorological Institute, Scientific Reports, 91-1.
- /4/ Carlsen, F. (1878) Efterretninger om Gammelkjøgegaard og Omegn, Anden del, I Kommission hos C.A. Reitzel.
- /5/ Colding, A. (1881) Nogle Undersøgelser over Stormen over Nord- og Mellem-Europa af 12^{te}-14^{de} November 1872 og den derved fremkaldte vandflod i Østersøen, Vidensk. Selsk. Skr., 6. Række, Naturvidenskabelig og Matematisk Afdeling I 4.,
- /6/ DHI (2005) EVA – Extreme Value Analysis, Technical Reference and Documentation, DHI Software 2005.