

Opdatering af digestyrker, Vadehavet



Oktober 2011


Højbovej 1 • DK 7620 Lemvig
www.kyst.dk • kdi@kyst.dk



Kystdirektoratet
Danish Coastal Authority



Transportministeriet

Projekt	Stormflodsvarsling KUP-projekt
Startdato	Oktober 2009
Slutdato	Marts 2010
Projektansvarlig (PA)	Carl-Christian Munk-Nielsen
Projektleder (PL)	John Jensen
Projektmedarbejdere (PM)	Birgit Byskov Kloster
Timeregistrering	35210218
Kontering	35210218
Godkendt den 11.11.2011	

Rapport	Stormflodsvarsling KUP-projekt
Forfattere	John Jensen
Nøgleord	Vadehavet, digestykke, klimaændringer
Distribution	www.kyst.dk , Transportministeriet, www.dab.dk/anmeld.asp
Refereres som	John Jensen Stormflodsvarsling KUP-projekt, 16p

Opdatering af digestyrker, Vadehavet

Kystdirektoratet, oktober 2011

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Konklusion.....	2
3	Metode	3
3.1	Generelt	3
3.2	DHI's forundersøgelser	3
3.3	Fremgangsmåde	4
4	Resultater	6
4.1	Data	6
4.2	Beregnet sikkerhed	6
4.3	Justering af beregnet digesikkerhed.....	10
4.4	Resultat af undersøgelse	12
4.5	Klimaændringer.....	13
	Referenceliste.....	14

1 Indledning

Digerne i Vadehavsregionen indgår sammen med varsling og beredskab i stormflodsbeskyttelsen af mennesker, dyr, ejendom og øvrige værdier i de lavtliggende områder ud mod Vadehavet. Digerne har forskellig styrke, hvilket ideelt set afspejler risikoen for oversvømmelse af det bagvedliggende område. Desto større værdier, der er på spil, desto større sikkerhed påkræves.

Nærværende rapport forholder sig dog ikke til om sikkerhedsniveauet svarer til værdien af det, som beskyttes.

I 1999 udgav Kystinspektoret rapporten "De syd- og sønderjyske Diger. Digernes sikkerhedsniveau", som senere blev opdateret i august 2000. Rapporten fastlægger sikkerhedsniveauet for de enkelte diger, som indgår i det syd- og sønderjyske stormflodsberedskab.

Siden udgivelsen af sidste rapport er nogle diger forstærket. Der kan i den mellemliggende periode være sket sætninger af diger og højvandsstatistikken, som lå til grund for beregningerne, er opdateret i 2007 (Kystdirektoratet, 2007). På baggrund af disse ændringer i forudsætningerne er digernes styrke opdateret i nærværende rapport. Beregningsmetoden er i princippet den samme som i den foregående rapport.

Undersøgelsen er et delprojekt i KUP-projektet Stormflodsvarsling. KUP står for Kystdirektoratets UdviklingsProgram, som er en række koordinerede projekter til styrkelse af generel kystteknisk faglighed samt specifik viden.

Oplysninger om digernes geometri og opbygning er hentet i rapporten "Digeoversigt. Syd- og Sønderjylland" fra 1997 (Kystinspektoret, 1997). Siden er denne rapport blevet opdateret og udgivet i 2011 (Kystdirektoratet, 2011).

2 Konklusion

Digestyrken for Vadehavsdigerne, som indgår i det syd- og sønderjyske beredskab, er opdateret i forhold til opdateret højvandsstatistik for vandstands målerne i området og ny opmåling af digekronerne. På baggrund af beregninger og vurderinger gennemgået i afsnit 4.2 og 4.3 er resultatet i form af digernes sikkerhedsniveau angivet, tabel 2.1.

Tabel 2.1 Opdateret sikkerhedsniveau for digerne

Strækning	Højvandsstatistik	Sikkerhedsniveau (år MT)	
		Projekteret sikkerhed	Opdateret sikkerhed
Fremskudt Dige	Højer	200	>500
Ribe Dige	Ribe	200	400
Darum-Tjæreborg Dige	Ribe	165	100
Rejsby Dige	Ribe	>50	100
Ballum,Nord*	Ribe	>50	>500
Ballum Dige excl. Ballum,Nord	Ballum	30-50	50
Mandø Bydige	Ribe±0,5m	100	100 (>500)
Mandø Havdige	Ribe±0,5m	30-50	30
Juvre Dige	Ribe±0,5m	Ingen oplysn.	20
Havneby Dige	Havneby	100	80

* Ballum,Nord er den del af diget, som ligger nord for Rømø-dæmning

Digestyrken udtrykt som en middeltidsafstand er beregnet i forhold til den nærmest liggende vandstandsstation. For tre diger på Vadehavssøerne er digestyrken beregnet ud fra Ribe vandstandsstatistik. Da vandspejlet ved pålandsvind står med hældning ind mod fastlandet er Ribe højvandsstatistik reduceret med et fradrag på 0,5 m.

For Mandø Bydige er angivet to tal. Selve bydiget oppebærer en stor sikkerhed, men brud på det svagere Mandø Havdige og bagfra kommende oversvømmelse gør, at sikkerheden for området bag bydiget er lavere.

Til sammenligning er den projekterede sikkerhed, som den er angivet i "Digeoversigt. Syd- og Sønderjylland" (Kystdirektoratet,1997), vist.

Resultatet for de enkelte diger er diskuteret i afsnit 4.4.

3 Metode

3.1 Generelt

Bestemmelse af digernes sikkerhed sker ved beregning af digestyrken fastlagt på grundlag af kriterier, der er dimensionsgivende for imødegåelse af bagskråningsbrud. Det er de samme kriterier, som er anvendt i den tidligere undersøgelse (Kystinspektoret, 2000). Dannelse og udvikling af forskråningsbrud er ikke tilstrækkeligt forstået, hvorfor sandsynligheden for dannelse og udvikling af et sådant brud beregningsmæssigt kun er på begyndelsesstadiet.

Sikkerheden af digerne bestemmes således ved, hvor stor en bølgeoverløbsprocent, diget forventes at kunne holde til. Bølgeopløbet på digeforskråningen afhænger af flere parametre: vanddybde foran diget, bølgehøjde, -retning og -periode samt forskråningsens hældning og ruhed. Overløbsprocenten afhænger desuden af digets kronekote.

3.2 DHI's forundersøgelser

Kystinspektoret har tidligere ladet Dansk Hydraulisk Institut (DHI) foretage modelundersøgelser som forudsætning for disse beregninger.

Bølgeklimaet i Vadehavet er beregnet ved numerisk modellering (Mike21NSW) for en række vandstande (DHI, 1998a). Ved anvendelse af den faktiske bathymetri for området opnås en geografisk differentiering af bølgeklimaet i det lavvandede område. For hver af de kørte vandstande har DHI angivet variationen af bølgehøjde og -periode langs hele Vadehavet, dels 300 m fra kysten og dels 50 m fra kysten. Dette er gjort både ud for fastlandskysten og ud for vadehavsøerne på de aktuelle strækninger med digebeskyttelse.

Efterfølgende er der udført fysiske modelforøg i bølgerende for at måle bølgeopløbet på digeforskråninger med forskellig anlæg og forskellig forlandsterræn (DHI, 1998b). Undersøgelsen har resulteret i angivelse af 2 % og 10 % overløb ($R_{2\%}$ og $R_{10\%}$) for alternative forsøg med forskellige kombinationer af vandstand og bølger for de otte forsøgsprofiler, der er undersøgt.

For hver kombination af undersøgte forsøgsprofiler og vandstande er der udarbejdet en sammenhæng mellem $R_{2\%}/H_{m0}$ og surf similarity parameteren ξ . Desuden er forholdet mellem $R_{2\%}$ og $R_{10\%}$ for hvert digeprofil udredt.

3.3 Fremgangsmåde

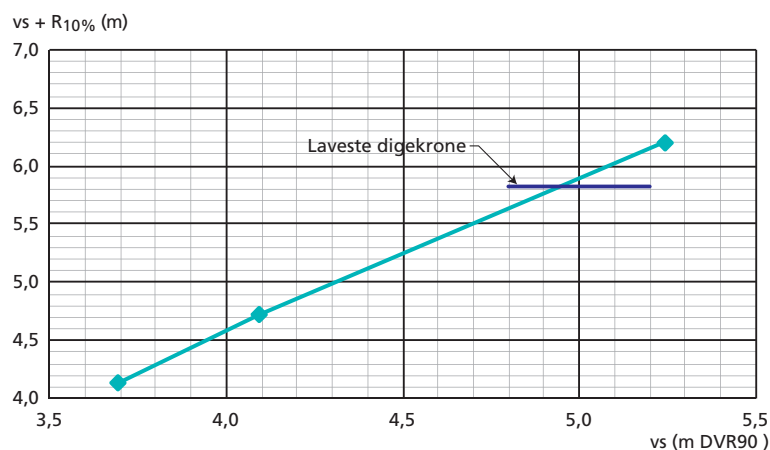
På grund af kystlinjens orientering er fastlandsdigerne i ekstreme højvandsituationer udsat for direkte bølgeangreb fra vestlige retninger. Modsat flere af ødigerne, som på nogle delstrækninger ligger mere eller mindre i læ for direkte bølgepåvirkning. Dette forhold betyder, at ødigerne udsættes for andre kombinationer af vandstand og bølgepåvirkning. For vestlige vindretninger, som medfører høj vandstand, er digerne på de østvendte delstrækninger ikke udsat for direkte bølgepåvirkning. Ødigerne har desuden uensartede digeprofiler med forskellige forskråningsanlæg og forskelle i kronekote. Det har derfor været nødvendigt at undersøge flere delstrækninger på øerne og lokalisere de svageste digeprofiler i forhold til den bestemmende hydrauliske påvirkning.

For hver af fastlandsdigerne, hvis profilopbygning generelt set er ensartet over hele strækningen, er det svageste profil defineret som profilet med den laveste kronekote, med mindre den beregnede bølgepåvirkning adskiller sig væsentligt langs digestrækningen. I så fald er digestyrken identisk med det svageste digeprofil i forhold til den hydrauliske påvirkning.

Ødigerne er beregningsmæssigt inddelt i delstrækninger afhængig af digeprofil og orientering. For hver af disse delstrækninger er digestyrken undersøgt på samme vis som for fastlandsdigerne. Delstrækningen med den laveste digestyrke bestemmer den overordnede digestyrke af det samlede dige.

Digestyrken knytter sig i beregningen til det tilladelige overløb af digekronen. For diger med anlæg 3 tillades et overløb på 10 % af bølgerne. For diger med stejlere hældning, typisk 1:2 tillades kun 2 % bølgeoverløb, medmindre digebagskråningen er forstærket med klæg, i så fald tillades stadig 10 % overløb.

Styrken af et digeprofil bestemmes ved beregning af sammenhængen mellem tilladt bølgeoverløb over det pågældende dige og den ydre vandstand, se eksempel figur 3.1.



Figur 3.1 Sammenhæng mellem ydre vandstand, v_s , og dimensionsgivende bølgeoverløb, $R_n\%$ (efter DHI, 1998b). Eksempel Darum-Tjæreborg Dige.

Den dimensionsgivende vandstand er den, som netop svarer til tilladeligt bølgeoverløb, som er identisk med kronekoten på det svageste digeprofil. Digestykken findes efterfølgende ved at aflæse den tilhørende middeltidsafstand på den relevante højvandsstatistik.

Bølgepåvirkningen er beregnet ved hjælp af resultaterne fra DHI's modelundersøgelser, se afsnit 3.2. Bølgepåvirkningen langs digerene i form af bølgehøjde og -periode er modelleret for forskellige ydre vandstande. Bølgehøjden H_{m0} og bølgeperioden T_{01} er den, som er angivet 50 m foran diget. Peak bølgeperioden T_p er angivet til at være $1,2 \cdot 1,1 \cdot T_{01}$.

For nogle af de samme vandstande er bølgeopløbet ved modelforsøg målt på otte forskellige digeprofiler beskrevet ved forland og digeforskråning. Profilerne i forsøgene er så vidt muligt valgt med udgangspunkt i de eksisterende digeprofiler i Vadehavet og således, at forskråninger med anlæg 3 op til 10 er dækket ind. Der er dog stor variation i de eksisterende digeprofiler selv inden for hvert enkelt dige, både med hensyn til varierende forskråningsanlæg og med forskelle i mægtigheden af forlandsopbygning. For hver af de beregnede digeprofiler har det derfor været nødvendigt at træffe et valg af repræsentativt forsøgsdige, hvor profilet ligger så tæt på det aktuelle digeprofil som muligt. Resultaterne for dette forsøgsdige indgår derefter i de videre beregninger for den pågældende digestrækning.

Ved hjælp af resultaterne af målingerne beregnes overløb for de enkelte digeprofiler. Det sker ved, at der for hver af de kørte vandstande er beregnet en konstant, der forbinder surf similarity parameteren ξ med forholdet $R_{2\%}/H_{m0}$. Herved kan $R_{2\%}$ beregnes. Det fundne forhold $R_{2\%}/R_{10\%}$ er ligeledes angivet for hvert enkelt forsøgsdige. Bølgeopløb er målt på glat overflade. Ruheden af græs på forskråningen sættes til 0,9. For skråt indfaldende bølger reduceres opløbet med faktor $(1-0,0022\beta)$, hvor β er vinklen i grader mellem bølgeindfaldsvinklen og en linje vinkelret på diget.

4 Resultater

4.1 Data

Ifølge Kystdirektoratets (KDI) planlægning opmåles digerne hvert tiende år, dog måles Ribe Dige og Fremskudt Dige hvert femte år. Senest planlagte opmåling af digerne er foretaget i 2007. Der er bl.a. udført et længdenivellement af kronen på alle diger. Opmålingen, som ligger til grund for den tidligere undersøgelse af digernes styrke (Kystinspektora-tet, 2000) er fra 1997.

I forbindelse med afvikling af nærværende projekt er der erkendt en ikke uvæsentlig usikkerhed på nivellementerne. Differencen mellem nivelle-menter i 1997 og 2007 er flere steder så store, at den ikke alene kan forklares ved sætninger af digekronen. Der er derfor foretaget kontrolni-vellementer i 2009 på tre af digerne. For disse diger er den nye 2009-må-ling benyttet til opdatering af digestyrken.

Digeprofilernes opbygning og dimensioner er beskrevet i "Digeoversigt. Syd-og Sønderjylland" (Kystinspektora-tet, 1997) fra 1997. Sidenhen – perioden 2004-06 – er Rejsby Dige samt Ballum Dige nord for Rømø-dæmningen dog blevet forstærket.

Højvandsstatistikkerne for Esbjerg, Ribe, Ballum, Havneby og Højer er blevet opdateret i 2007 (Kystdirektoratet,2007). Den tidligere digestyrke-vurdering bygger på højvandsstatistikker udgivet i 1997.

4.2 Beregnet sikkerhed

I tabel 4.1 er resultatet af beregningerne listet. Den opdaterede sik-kerhed af digerne er vist og sammenlignet dels med den projekterede sikkerhed – hvor disse oplysninger forefindes – og af den beregnede sik-kerhed som angivet i rapporten fra 2000. For to ødiger er sikkerhedsni-veauet for forskellige delstrækninger af diget angivet. Oversigtskort over digerne er vist på figur 4.1.

Den aktuelle højvandsstatistik, som er anvendt til pågældende digestyr-keberegning, er angivet. For Juvre Dige og digerne på Mandø er det valgt at anvende Ribe statistikken med et fradrag på 0,5 m. Det er kendt, at vandstanden ved pålandsvind står med en hældning ind mod fast-landet. Der er tidligere foretaget en sammenligning af samtidige vand-standsmålinger under storm ved Ballum, Højer og Havneby (Kystinspek-tora-tet, 2000). Reduktionen i vandstanden på 0,5 m vurderes at være på den sikre side, hvilket også bekræftes af resultater fra modelsimuleringer i tidevandsbassinet Juvre Dyb (DHI,2001).

Tabel 4.1 Beregnet sikkerhedsniveau af digerene

Strækning	Højvandsstatistik	Sikkerhedsniveau (år MT)		
		Projekteret sikkerhed	2000-rapport	Nuværende sikkerhed
Fremskudt Dige	Højer	200	>500	>500
Ribe Dige	Ribe	200	>500	400
Darum-Tjæreborg Dige	Ribe	165	190	100
Rejsby Dige	Ribe	>50	23	100
Ballum,Nord*	Ribe	>50	23	>500
Ballum Dige excl. Ballum,Nord	Ballum	30-50	200	50 (90)
Mandø Bydige	Ribe±0,5m	100	>500	>500
Mandø Havidige	Ribe±0,5m	30-50	40	
st. 0-800				15
st. 800-1.500				40
st. 1.500-3.000				>500
st. 3.000-4.600				25
st. 4.600-5.600				30
st. 5.600-6.300				160
Juvre Dige	Ribe±0,5m	ingen oplysn.	10	
st. 0-1.300				45
st. 1.300-1.500				25
st. 1.590-3.000				25
st. 3.000-5.000				15
st. 5.000-10.870				100 (30)
Havneby Dige	Havneby	100	26	80

* Ballum,Nord er den del af diget, som ligger nord for Rømø-dæmning

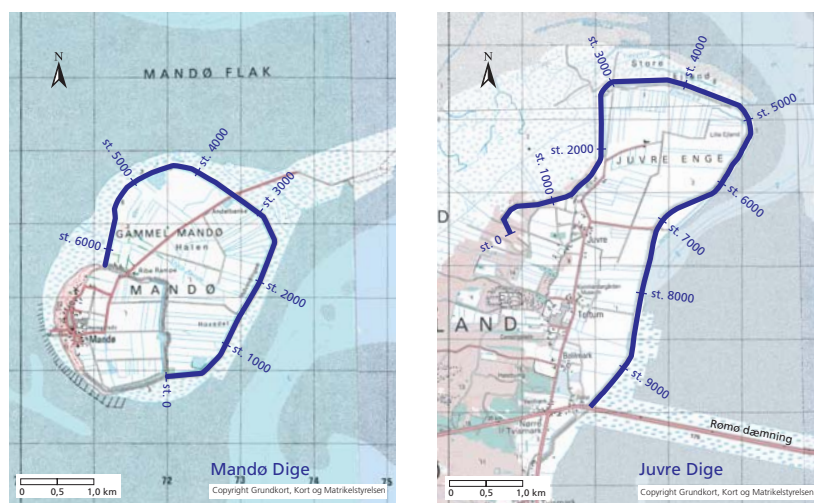


Figur 4.1 Oversigtskort over aktuelle vadehavsdiger

Ifølge kriterier nævnt i afsnit 3.3 er digestyrken for fastlandsdigerne samt Mandø Bydige beregnet for 10 % bølgeoverløb, medens Juvre og Mandø Havdige er beregnet for 2 % overløb.

Med undtagelse af Rejsby Dige og Ballum, Nord er den projekterede sikkerhed det sikkerhedsniveau, som er angivet i "Digeoversigt. Syd- og Sønderjylland" (Kystinspektoret, 1997). De to førstnævnte diger er efter udgivelsen af rapporten forstærket i 2004-06. Sikkerhedsniveauet svarer til det tilstræbte niveau i år 2100 med skyldig hensyntagen til forventede fremtidige klimænderinger efter IPCC. I anlægsåret svarer det til en sikkerhed på 165 år MT.

Stationeringen af ødigerne Mandø Havdige og Juvre Dige er vist på figur 4.2.



Figur 4.2 Stationering af Mandø Havdige og Juvre Dige

Nedenfor er der knyttet nogle kommentarer til resultatet.

På en 700 m lang delstrækning omkring Ballum Sluse er diget op til 25 cm lavere end på den øvrige strækning. Den beregnede sikkerhed på 50 år MT svarer til det svageste digeprofil på delstrækningen omkring slusen, mens sikkerheden på 90 år MT – nævnt i parentes – er sikkerheden af den øvrige del af diget.

Den beregnede sikkerhed for Mandø Havdige, st. 1.500- st. 3.000, på 500 år MT skyldes en vurdering af, at der ikke forekommer bølgeindfald på digestrækningen under ekstreme højvande.

Under det ekstreme højvande den 3. december 1999 brød Juvre Dige 5-6 steder på østsiden. Den maksimalt målte vandstand ved Ribe var 5,0 m DVR90. Med en beregnet vandstand på $5,0 \pm 0,5$ m ved Rømø har havspejlet langs østsiden af diget ligget i niveau med digekronen på de laveste steder af diget. Dette alene kan dog ikke forklare alle de skete brud. En hypotese er, at højvandet er svinget rundt i bassinet mellem fastlandet og Rømø nord for Rømø Dæmning – såkaldt seiching, hvorved vandstanden har fået et ryk op efter. Sikkerhedsniveauet omkring st. 7.700, som udgør det sva-

geste profil på delstrækningen, er beregnet med en forøgelse af vandstanden på 40 cm. Sikkerhedsniveauet i parentes angiver sikkerheden med tillæg for seiching.

Den sydvendte del af Havneby Dige har forskråningsanlæg 8. Da der ikke er udført opløbsforsøg med et sådant profil er digesikkerheden fundet ved interpolation af resultaterne med forskråningsanlæg 7 og 9.

For de fleste digerne er årsagen til forskellen i beregnet sikkerhedsniveau åbenbar. For to af ødigerne har det dog ikke været muligt at genskabe beregningerne fra 2000-rapporten, hvorfor det ikke har været muligt at finde årsagen til afvigelse. For Ballum Dige kan den beregnede sikkerhed i 2000-rapporten kun delvis forklares.

Ribe Dige

Ændring i sikkerhedsniveauet kan forklares ved, at laveste målte kronokote, som ikke ligger i samme station, er målt 9 cm lavere i seneste opmåling. Derudover har opdatering af højvandsstatistik ændret denne i opadgående retning.

Darum-Tjæreborg Dige

Ændring i sikkerhedsniveauet kan forklares ved, at laveste målte kronokote, som ikke ligger i samme station, er målt 12 cm lavere. Derudover har opdatering af højvandsstatistik ændret denne i opadgående retning.

Rejsby Dige

Ændring i sikkerhedsniveauet kan forklares ved, at diget er forstærket.

Ballum,Nord

Ændring i sikkerhedsniveauet kan forklares ved, at diget er forstærket.

På grund af læeffekten fra Rømø er bølgeklimaet mildere her end ved Rejsby Dige. Samtidigt ligger lavest målte kronokote højere. Dette forklarer forskellen i beregnet sikkerhedsniveau i forhold til Rejsby Dige, som har samme teoretiske digeprofil.

Ballum Dige, excl. Ballum,Nord

Ændring i sikkerhedsniveauet kan delvist forklares ved, at laveste kronokote er målt 12 cm lavere.

Mandø Havn

Der er ingen sikre oplysninger om de tidligere beregninger, hvorfor der ikke kan redegøres nærmere for ændring i sikkerhedsniveau. En mulig forklaring kan dog være, at opdatering af højvandsstatistik har ændret denne i opadgående retning.

Juvre Dige

Der er ingen tilgængelige oplysninger om de tidligere beregninger, hvorfor der ikke kan redegøres nærmere for ændring i sikkerhedsniveau.

Havneby Dige

Ændring i sikkerhedsniveau kan forklares ved markant ændring af højvandsstatistikken i nedadgående retning, samtidig med at højvandskurven endog er blevet fladere

4.3 Justering af beregnet digesikkerhed

Som en vejledende test på beregningernes validitet foretages en sammenligning mellem den beregnede dimensionsgivende vandstand og de nyere højeste vandstande, digerne har været udsat for, se tabel 4.2. Dette sammenholdes dernæst med rapporterede skader på diget. Hvis der ikke er sket skade ved en given vandstand indikerer dette – med forbehold, at diget mindst har en sikkerhed svarende til denne vandstand. Omvendt vil en betydelig skade på diget signalere, at digesikkerheden muligvis er oversteget.

Det er irrelevant at anvende skadeinformationer fra de højvandstidspunkter, hvor diget på et senere tidspunkt er forstærket. Ud fra den betragtning er de højvandsituationer, hvor de maksimale vandstande i tabellen er omkranset af skygge, irrelevante.

Tabel 4.2 Beregnede dimensionsgivende vandstande sammenholdt med observerede maksimale vandstande

Strækning	Højvandsstatistik	Dimensionsgivende vandstand m (DVR90)	Observeret maksimal vandstand m (DVR90)			
			03.01.1976	24.11.1981	26.01.1990	03.12.1999
Fremskudt Dige	Højer	5,63	4,81	4,60	4,04	4,42
Ribe Dige	Ribe	5,38	4,63	4,89	4,53	5,00
Darum-Tjæreborg Dige	Ribe	4,94	4,63	4,89	4,53	5,00
Rejsby Dige	Ribe	4,97	4,63	4,89	4,53	5,00
Ballum,Nord	Ribe	5,53	4,63	4,89	4,53	5,00
Ballum Dige excl. Ballum,Nord	Ballum	4,49 (4,64)	-	-	4,30	4,11
Mandø Bydige	Ribe±0,5m	5,02	4,13	4,39	4,03	4,50
Mandø Havn	Ribe±0,5m		4,13	4,39	4,03	4,50
	st. 0-800	4,60				
	st. 800-1.500	4,07				
	st. 1.500-3.000	3,96				
	st. 3.000-4.600	5,23				
	st. 4.600-5.600	4,15				
	st. 5.600-6.300	3,76				
Juvre Dige	Ribe±0,5m		4,13	4,39	4,03	4,50
	st. 0-1.300	4,16				
	st. 1.300-1.500	3,93				
	st. 1.590-3.000	3,93				
	st. 3.000-5.000	3,71				
	st. 5.000-10.870	4,46 (4,88)				
Havneby Dige	Havneby	4,34	-	4,37	3,82	3,67

Som det ses er der nogle diger, som ikke har været påvirket af vandstande svarende til den beregnede dimensionsgivende vandstand. Det drejer sig om alle digerne på fastlandet, bortset fra Darum-Tjæreborg Dige, hvor forskellen dog er minimal. Det er i øvrigt kendt, at Ribe-måleren på grund af dens geografiske placering i en tragtformet kystindsækning, måler konservativt i forhold til den faktiske vandstand langs digerne. Der er ikke konstateret skader på nogle af disse diger efter de senest udførte forstærkninger, hvilke kan henføres til manglende dimensioner på digerne. Samme forhold gør sig gældende for Mandø Bydige og Havneby Dige. De beregnede størrelser af sikkerhedsniveauer for ovennævnte diger kan derfor ikke anfægtes ud fra en sådan betragtning.

For Mandø Havdige og Juvre Dige er situationen anderledes. Her er de beregnede dimensionsgivende vandstande for de fleste delstrækninger overskredet.

Mandø Havdige. I 1981 skete der omfattende digebrud på Mandø. Ifølge Kystinspektoratets rapportering til ministeriet brød mindst 1 km af Mandø-digerne på de sydvest- til sydøstvendte strækninger; en tredjedel på bydiget og to tredjedel på havdiget. Siden er både bydiget og de nævnte strækninger af havdiget successivt forstærket. Der har ikke senere været brud på Mandø-digerne. På baggrund af erfaringer med senere højvande – 1990 med en estimeret vandstand på 4,03 m og specielt i 1999 med en vandstand på 4,5 m, hvor der ikke er rapporteret skader på diget, vurderes den beregnede sikkerhed at være underestimeret. Det vurderes derfor, at sikkerheden svarer til en vandstand på mindst 4,0 m. Dette svarer til en sikkerhed på 30 år MT.

Juvre Dige. Ifølge avisreferat skete der i 1976 brud fire steder på i alt 61 m længde. Tre af bruddene lå ca. 2 km nord for dæmningen, mens det fjerde lå ca. 500 m nord for. (En delstrækning på Juvre Diges østvendte del er forhøjet i 2002 ved indbygning af klæg. Ifølge entreprenørens overslag drejer det sig om strækningen st. 9.215-st. 9.624 – 200-600 m nord for Rømødæmningen, hvilket bekræftes af sammenligning af kronivellementerne fra 1997 og 2007). I 1981 er der rapporteret erosions-skader omkring afvandingslusen ved digets nordøstlige hjørne. I 1990 er der indberettet to større huller, hvori der er lagt sandsække. Stederne er ikke oplyst. I 1999 skete der brud flere steder langs den østvendte del af diget. Sammenfattende kan det fastslås, at de alvorlige skader alle er sket på den østvendte del af diget. Ud fra dette vurderes det, at den beregnede dimensionsgivende vandstand på 4,46 m for denne delstrækning er overvurderet. På baggrund af erfaringerne fra de højvande i nyere tid, diget har været påvirket af, tyder det på, at den dimensionsgivende vandstand for diget som helhed bør ligge i underkanten af 4,0 m. Under hensyn til beregningerne, se tabel 4.2, sættes denne til 3,9 m. Dette svarer til en sikkerhed på 20 år MT.

4.4 Resultat af undersøgelse

På baggrund af beregninger og vurderinger gennemgået i afsnit 4.2 og 4.3 er resultatet i form af digernes sikkerhedsniveau angivet tabel 4.3.

Table 4.3 Opdateret sikkerhedsniveau for digerne

Strækning	Højvandsstatistik	Sikkerhedsniveau (år MT)	
		Projekteret sikkerhed	Opdateret sikkerhed
Fremskudt Dige	Højer	200	>500
Ribe Dige	Ribe	200	400
Darum-Tjæreborg Dige	Ribe	165	100
Rejsby Dige	Ribe	>50	100
Ballum,Nord*	Ribe	>50	>500
Ballum Dige excl. Ballum,Nord	Ballum	30-50	50
Mandø Bydige	Ribe±0,5m	100	100 (>500)
Mandø Havidige	Ribe±0,5m	30-50	30
Juvre Dige	Ribe±0,5m	ingen oplysn.	20
Havneby Dige	Havneby	100	80

For Tønder Marsken er der indbygget en skjult ekstra sikkerhed i kraft af det bagvedliggende Højer Dige. Der er tale om en dobbelt digelinje, hvorved sikkerheden forøges i betydeligt omfang.

Følgende diger lever ikke op til den projekterede sikkerhed. Det er Darum-Tjæreborg Dige og Havneby Dige. Den opdaterede sikkerhed for Mandø Havidige ligger i nedre ende af det angivne interval. For Juvre Dige har der ikke kunnet findes oplysning om den projekterede sikkerhed.

Darum-Tjæreborg Dige har en beregnet styrke på 100 års MT – i øvrigt svarende til Rejsby Dige. Man kan argumentere for om denne styrke ikke er tilstrækkelig, når risici sammenlignes med øvrige koge på fastlandet.

Havneby Dige har en beregningsmæssig sikkerhed på mindre end 100 år MT. Det bør vurderes, om dette sikkerhedsniveau er acceptabelt.

Den sydvendte del af Mandø Havidige er den delstrækning med den mindste beregningsmæssige sikkerhed. I kogen, som diget beskytter, ligger nogle gårde nord for bydiget.

Den del af Mandø Bydige, der ligger direkte ud til havet oppebærer stor sikkerhed. Den samlede sikkerhed for byen vurderes dog at være noget mindre. Ved brud på havidiget og oversvømmelse af øen ligger den indre del af diget, den øst- og nordvendte del, som beskyttelse mod indtrængen af havvand. Styrken af denne del af diget er væsentlig mindre. Grundet disse omstændigheder vurderes sikkerheden for byen at være noget mindre end det anførte. En sikkerhed på 100 år MT vurderes at være mere retvisende.

Juvre Dige er et svagt dige, specielt på den østvendte delstrækning. Beslutning om en eventuel forstærkning af diget hænger sammen med problemstillingen om en alternativ tilbagetrukket linjeføring af diget.

Det bør understreges, at den beregningsmæssige sikkerhed for et dige eller en digestrækning knytter sig til det svageste profil. Lokale forstærkninger vil derfor for flere diger med uensartede kronekoteforhold betyde en generel forøgelse af den beregnede, overordnede sikkerhed af diget, jf. eksemplet fra Ballum Dige, se afsnit 4.2, hvilket eksempel dog er speciel markant.

4.5 Klimaændringer

I et fremtidsperspektiv vil det være interessant at vide, hvorvidt der ligger en indbygget sikkerhedsmargin gemt i digerne i relation til de forventede klimaændringer. Klimaændringerne medfører øget havspejlsstigning og deraf følgende større bølgeindfald. Desuden kan mere intensive vindforhold, hvilket på nogle strækninger af fastlandsdigerne, hvor de dimensionsgivende bølger er initieret bag vadehavsøerne, betyde større bølgepåvirkning, da bølgerne her ikke nødvendigvis er dybdeafhængige. Derfor beregnes digets sikkerhedsmargin eller digets overskydende kapacitet som differencen mellem digets laveste kronekote og den kronekote, som svarer til digets projekterede sikkerhed. Kronekoten svarende til digets projekterede sikkerhed findes ved hjælp af det tilhørende diagram, hvor summen af vandstand og bølgeopløb afbildes som funktion af vandstanden, se figur 3.1. I tabel 4.4 er den beregnede overskydende kapacitet beregnet.

Tabel 4.4 Digernes overskydende kapacitet i forhold til den projekterede styrke

Strækning	Højvandsstatistik	Projekteret sikkerhed (år MT)	Vandstand (m DVR90)	Svageste digeprofil, kronekote (m DVR90)	Laveste digekrone svarende til projekteret sikkerhed (m DVR90)	Difference (overskydende kapacitet) (m)
Fremskudt Dige	Højer	200	4,82	7,01	5,69	1,32
Ribe Dige	Ribe	200	5,18	6,61	6,25	0,36
Darum-Tjæreborg Dige	Ribe	165	5,11	5,83	6,03	mgl. kapacitet
Rejsby Dige	Ribe	50	4,72	6,82	6,40	0,42
Ballum,Nord*	Ribe	50	4,72	6,97	5,80	1,17
Ballum Dige excl. Ballum,Nord	Ballum	50**	4,48	5,88	5,88	0,0
Mandø Bydige	Ribe±0,5m	100	4,46	6,36	5,76	0,60
Mandø Havnige	Ribe±0,5m	50**	4,21	5,99	7,42	mgl. kapacitet
Juvre Dige	Ribe±0,5m	ingen oplysn.	-	-	-	-
Havneby Dige	Havneby	100	4,41	5,57	5,75	mgl. kapacitet

* Ballum,Nord er den del af diget, som ligger nord for Rømmø-dæmning

** For Ballum Dige og Mandø Havnige er største sikkerhed i intervallet 30-50 år MT valgt

Tre af digerne har en lavere sikkerhed end svarende til den projekterede sikkerhed. Det er Darum-Tjæreborg Dige, Mandø Havnige og Havneby Dige. Juvre Dige er svagt og lever formentlig heller ikke op til kravet. Her mangler dog oplysninger om digets projekterede styrke.

Ballum Dige lever op til kravet for projekteret sikkerhed. Der er ikke indbygget en ekstra sikkerhed i diget. De øvrige diger har en indbygget ekstra sikkerhed med varierende margin, som vist i tabellen.

Referenceliste

- Kystinspektoratet, 1997 Kystinspektoratet. Digeoversigt. Syd- og Sønderjylland. Februar 1997.
- Kystinspektoratet, 2000 Kystinspektoratet. De syd- og sønderjyske Diger. Digernes sikkerhedsniveau. 1999. Revideret udgave august 2000.
- DHI, 1998a Dansk hydraulisk Institut. Bølgeforhold i Vadehavet. Oktober 1998
- DHI, 1998b Dansk hydraulisk Institut. Modelforsøg med bølgeopløb på diger. Revision 1. 26. november 1998.
- DHI, 2001 Dansk Hydraulisk Institut. Designvandstande ved Rømø. Februar 2001.
- Kystdirektoratet, 2007 Kystdirektoratet. Højvandsstatistikker 2007
- Kystdirektoratet, 2011 Kystdirektoratet. Digeoversigt. Syd- og Sønderjylland. Maj 2011.

