

Metodebeskrivelse for kort over potentielle fareområder, jf. bekendtgørelsens § 1

Indhold

1. Indledning	2
1.1. Centrale begreber	2
1.2. Farekriterier for kortlægningen	3
1.3. Beregningsmetoder og datagrundlag	3
1.4. Metodiske begrænsninger	4
2. Hav	6
2.1. Datablad	6
2.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for havvand	7
2.3. Beskrivelse af kortlægningen	7
2.4. Datagrundlag for kortlægningen	7
2.5. Beregningsmetode	8
3. Vandløb	10
3.1. Datablad	10
3.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for vandløb	10
3.3. Beskrivelse af kortlægningen	11
3.4. Datagrundlag for kortlægningen	11
3.5. Beregningsmetode	12
4. Nedbør	14
4.1. Datablad	14
4.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for nedbør	14
4.3. Beskrivelse af kortlægning	14
4.4. Datagrundlag for kortlægning	14
4.5. Beregningsmetode	15
5. Grundvand	17
5.1. Datablad	17
5.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for grundvand	18
5.3. Beskrivelse af kortlægning	19
5.4. Datagrundlag for kortlægning	20
5.5. Beregningsmetode	24
6. Erosion	26
6.1. Datablad	26
6.2. Beskrivelse af kortlægningen af potentielle fareområder for kysterosion	27

1. Indledning

Denne metodebeskrivelse redegør for de farekriterier, beregningsmetoder og datagrundlag, der ligger bag kortene over potentielle fareområder, jf. bekendtgørelsens § 1.

Først beskrives centrale begreber, generelle kriterier og forudsætninger for kortlægningen.

Derefter følger en separat metodebeskrivelse for hver enkelt farekilde, da datagrundlag og beregningsmetoder varierer mellem farekilderne og bygger på forskellige typer data og modelleringstilgange.

1.1. Centrale begreber

På tværs af metodebeskrivelsen anvendes en række faglige begreber, som kort er forklaret herunder.

Planlægningshorisont

Planlægningshorisonten er udtryk for den levetid, som bygninger, anlæg mv. ønskes vurderet for, sammenholdt med typen af f.eks. oversvømmelses- eller erosionshændelse, det skal kunne modstå. Valg af planlægningshorisont i forbindelse med klimatilpasning, herunder ved kortlægningen af potentielle fareområder, beror dog også på, hvor langt frem i tiden egnede datasæt om forventet fremtidig oversvømmelse og erosion rækker.

En planlægningshorisont til f.eks. år 2150 betyder, at der ved planlægning for ny bebyggelse m.v. tages højde for de forventede klimaforhold og hændelser frem mod dette tidspunkt.

Udledningsscenarie

Udledningsscenarier er forskellige bud på fremtidige globale udledninger af drivhusgasser og andre faktorer, som påvirker klimaet.

Udledningsscenarierne giver en række realistiske bud på fremtiden ud fra den nyeste udvikling i udledninger og internationale forhandlinger. Derfor udgives typisk et nyt sæt udledningsscenarier sammen med hver ny IPCC hovedrapport, typisk hver 5.-7. år.

IPCC's femte hovedrapport (2013-2014) indeholder beregninger af klodens fremtidige klima baseret på de såkaldte RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways).

Den sjette hovedrapport (2021-2023) benytter et nyt sæt af scenarier, de såkaldte SSP-scenarier (Shared Socioeconomic Pathways).

Disse udledningsscenarier skal bearbejdes og nedskaleres til en dansk kontekst, hvori også andre forhold indgår såsom landhævning efter sidste istid. Dette sker som led i bearbejdningerne i DMI's Klimaatlas, som er en national klimatjeneste med fremskrivninger af klimaændringer i Danmark, herunder gentagelsesperioder for fremtidens vejrekstremer.

Gentagelsesperioder

Gentagelsesperioder beskriver, hvor hyppigt en bestemt type vandstands- eller erosionshændelse forventes at forekomme på en given lokalitet. Gentagelsesperioden er den statistiske gennemsnitlige tid mellem hændelserne i det pågældende klima. F.eks. er der hvert år 1 pct. sandsynlighed for, at en 100-års hændelse forekommer på en given lokalitet i det pågældende klima.

Klimaforandringerne bevirker, at sandsynligheden for, at en given hændelse optræder i fremtiden, generelt vil stige. I fremtiden vil der således være væsentligt kortere tidsafstand mellem hændelser, som svarer til f.eks. nutidens 100- årshændelse.

Valg af gentagelsesperiode er baseret på, hvor hyppigt man kan acceptere oversvømmelser af en given størrelse for hver oversvømmelsestype og kysterosion.

Beregningsmodeller (statiske og dynamiske)

Kortlægning af potentielle fareområder kan baseres på forskellige typer beregningsmodeller for oversvømmelses- og erosionshændelser. Overordnet skelnes der mellem statiske og dynamiske modeller.

De statiske modeller viser den forventede, potentielle maksimale oversvømmelsesudbredelse ved en given hændelse. Dynamiske modeller beskriver derimod en oversvømmelse, hvor vandet udbreder sig over tid i løbet af en given hændelse. Forskellen betyder, at ved anvendelse af statiske modeller vises den maksimale udbredelse af en oversvømmelse, mens dynamiske modeller også kan beskrive oversvømmelsens udvikling over tid og på den måde give et mere realistisk billede af berørte områder.

Rumlig opløsning

Med "rumlig opløsning" menes opløsningen på resultatet af det beregnede datasæt, dvs. grid-størrelsen som kortene for de potentielle fareområder vises i. Den rumlige opløsning varierer mellem de enkelte farekilder afhængig af det datagrundlag, der ligger til grund for beregningerne.

Den rumlige opløsning har betydning for, hvor detaljerede kortene over de potentielle fareområder er.

1.2. Farekriterier for kortlægningen

Farekriterierne for kortene over potentielle fareområder omfatter blandt andet nogle af de begreber, der er beskrevet ovenfor, herunder udledningsscenarie, gentagelsesperiode og planlægningshorisont.

Ved fastlæggelsen af farekriterierne er der taget udgangspunkt i moderat konservative valg. Dette indebærer blandt andet anvendelse af høje udledningsscenarier, lange planlægningshorisonter og høje gentagelsesperioder i overensstemmelse med principperne i *Vejledning i anvendelse af udledningsscenarier til klimatilpasning* udgivet af Danmarks Meteorologiske Institut og Miljøstyrelsen i januar 2025.

De konkrete farekriterier for hver farekilde fremgår af tabel 1.

Tabel 1 - Farekriterier for kort over potentielle fareområder

Kilde	Udledningsscenarie	Gentagelsesperiode i slutningen af planlægningshorisonten	Planlægningshorisont
Hav	SSP3-7,0 (83-percentil)	100 år	2150
Vandløb	RCP8,5 (median)	100 år	2071-2100
Nedbør	RCP8,5 (median)	100 år	2071-2100
Grundvand	RCP8,5 (median)	– *	2071-2100
Erosion	SSP3-7,0 (median)	100 år	2125

*For grundvand anvendes ikke en gentagelsesperiode men i stedet kriteriet, at "den historiske vintergrundvandsstand" plus klimafremskrivning (median vinter RCP8,5 2071-2100) er mindre end 1 m under terræn.

Kortene over potentielle fareområder bygger så vidt muligt på udledningsscenarie SSP3-7,0, der ligger over det niveau, der svarer til, at vedtagne politikker om udledning af drivhusgasser implementeres, men hvor der ikke foretages yderligere tiltag. RCP8,5 scenariet er anvendt som bedste alternativ, hvor der endnu ikke foreligger beregninger for SSP-scenarier for danske forhold.

Nye bygninger, anlæg mv. planlægges ofte med en lang levetid, og derfor bygger kortene over potentielle fareområder på planlægningshorisonter, der som minimum rækker frem mod 2100 og længere, i det omfang egnet data for de enkelte farekilder er tilgængelig.

1.3. Beregningsmetoder og datagrundlag

Valget af beregningsmetode og datagrundlag for de enkelte typer af oversvømmelse og erosion beror på flere forhold, herunder især tilgængeligheden af nationale datasæt, datakvalitet samt de modelleringsstilgange, der vurderes bedst egnede til formålet.

Tabel 2 nedenfor giver et samlet overblik over de beregningsmetoder, datagrundlag og rumlige opløsninger, som ligger til grund for udarbejdelsen af kortene over potentielle fareområder. Tabellen viser dermed det metodiske og datamæssige grundlag for de enkelte kort.

Tabel 2 - Beregningsmetode og datagrundlag for kort over potentielle fareområder.

Kilde	Beregningsmetode	Datagrundlag	Rumlig opløsning	Beskrivelse af valg for udarbejdelse af kort
Hav	Dynamisk model (SFINCS)	Terrænmodel + hydrologisk tilpasningslag	5 × 5 m	Samme model (men ikke samme kriterier) som anvendt til risikokortlægningen ifm. revisionen af oversvømmelsesloven/oversvømmelsesdirektivet (2022-2027).
Vandløb	Statisk model (HAND og SCALGO Live)	Terrænmodel + hydrologisk tilpasningslag	0,4 × 0,4 m	Samme model (men ikke samme kriterier) som anvendt til risikokortlægningen ifm. revisionen af oversvømmelsesloven/oversvømmelsesdirektivet (2022-2027).
Nedbør	Statisk model (Bluespot)	Terrænmodel + hydrologisk tilpasningslag	0,4 × 0,4 m	90 mm, svarende til ca. en 6-timers 100-års hændelse i 2100.
Grundvand	Kombination af statisk maskinlæring og dynamisk model (Den Nationale Hydrologiske Model)	Historisk median vinter grundvandsdybde (10 m) + median klimaændring vinter (100 m)	10 × 10 m	Samme datagrundlag som er tilgængelig i HIP.
Erosion	Kombination af rater og dynamisk model (Kystplanlægger og XBeach)	Beregning af tilbagerykning af erosionsfarelinjen pga. kronisk erosion, klimabetinget tilbagerykning og akut erosion	Ikke relevant (vektordata)	Samlet udpegning af potentiel kronisk erosion og klimabetinget erosion frem til år 2125, samt akut erosion (100 års gentagelsesperiode) på sandede kyststrækninger. Den potentielle farekortlægning bygger på en optegnet erosionsfarelinje for 2024. Den potentielle kroniske erosion er skønnet ud fra erosionsklasser fra Kystdirektoratets Kystatlas. Den potentielle klimabetingede erosion er skønnet ud fra havniveaustigninger til år 2125 efter SSP3-7,0 og Bruuns regel for kystligevægt på sandede kyster og en tilpasset Bruuns regel på klintekyster. Akut erosion er baseret på dynamisk modellering med XBeach for sandede kyster.

1.4. Metodiske begrænsninger

Kortene over potentielle fareområder er baseret på eksisterende lokale, regionale og nationale datasæt. De anvendte datasæt afspejler dermed det tilgængelige datagrundlag på tidspunktet for beregningerne og ikke nødvendigvis den nyeste viden på området.

En række af de anvendte datasæt opdateres løbende med forskellige frekvenser. Kortene over potentielle fareområder forventes som udgangspunkt genudstedt i opdaterede versioner hvert tredje år – og dermed ikke hver gang der sker opdateringer af de datasæt, som indgår i kortlægningen.

Oversvømmelser kan opstå som følge af flere vandkilder samtidigt, eksempelvis ved kombinationer af høj vandstand i havet, kraftig nedbør og høj grundvandsstand. Kortene for de enkelte farekilder er imidlertid udarbejdet separat på baggrund af de respektive datasæt og beregningsmetoder. Ved samtidighed i hændelser kan den samlede effekt af oversvømmelserne forværres, og det kan således ikke udelukkes, at der er oversvømmelsestruede områder, som ikke fremgår af kortene.

Med den nuværende viden vil det være en meget kompleks, og i nogle tilfælde umulig, opgave at beregne disse effekter på nationalt niveau med tilstrækkelig præcision. Kortene over potentielle fareområder er derfor en kortlægning baseret på de enkelte farekilder hver for sig. Der er i bekendtgørelsens § 2 og 3 åbnet for mulighed for, at kommunalbestyrelsen kan inddrage disse forhold ved udpegningen af fareområder.

I de følgende kapitler uddybes metoden bag hver enkelt kort for hver farekilde.

2. Hav

2.1. Datablad

Tabel 3 - Datablad for hav – datagrundlag og modelopsætning

Havvand	
Rumlig opløsning	5 × 5 m grid
Randbetingelser	
Udledningsscenario	SSP3-7,0 (83 percentilen)
Planlægningshorisont (årstal)	2150
Gentagelsesperiode i slutning af planlægningshorisont	100-års hændelse
Stormflodskurver	Standardiserede stormflodskurver er udarbejdet for 69 målestationer, og baseret på historiske målinger fra DMI, KDI og lokalt ejede målere.
Varighed af hændelse	7 dage
Vandføringer på vandløb	Udvalgte vandløb er integreret i højdemodellen via en hydrologisk tilpasning, baseret på data for 2-års middel vandføring fra GEUS. (GEUS, 2020. HIP - VANDFØRING I VANDLØBSPUNKTER.)
Inputdata	
Højdemodel (årstal)	Danmarks Højdemodel (DHM/Terræn) 2022, udarbejdet af Klimadatastyrelsen.
Tilpasningslag til højdemodel	DHMLinje og DHMhestesko, GeoDanmarks vektorlag 2022.
Dybdemodel (årstal)	Danmarks Dybdemodel 2022, udarbejdet af Geodatastyrelsen
Manningkort (årstal)	Ruhedskort udarbejdet af Kystdirektoratet i forbindelse med Oversvømmelsesdirektivet.
Vandløb indbrændt i højdemodel	Udvalgte vandløb (Varde Å, Lindholm Å, Karup Å, Gudenåen, Nørre Å, Kolindssund Nord- og Sydkanal, Bygholm Å, Vejle Å, Kolding Å, Haderslev Møllestrøm, Odense Å, Kærby Å, Arresø Kanal, Arrenakke Å, Harestrup Å, Køge Å, nedre Suså) er indbrændt i højdemodellen ud fra udvælgelseskriterier, jævnfør Oversvømmelsesdirektivets metoderapport 2024.
Overløbslinjer	Diger, dæmninger, højvandsmure, forhøjede veje og andre konstruktioner
Modelopsætning	
Model(værktøj)	Dynamisk model SFINCS, udviklet af Deltares, lanceret 2022
Inddeling af DK i områder	9 basismodelområder for hele landet: Vadehavet, Vestkysten, Ringkøbing og Nisum fjord, Sydlig Limfjord, Nordlig Limfjord og Nordjylland, Østjylland, Fyn og Sønderjylland, Sjælland og Smålandsfarvandet, Bornholm
Modelbeskrivelse	SFINCS beregner oversvømmelsen i tid og rum
Beregningsmetoder	SFINCS benytter lavtvandsligningen (shallow water equation)

Henvisninger til yderligere info	Oversvømmelsesdirektivets metoderapport 2024, plantrin 1: Kystdirektoratet (2024). <i>Metode til national risikovurdering af oversvømmelse fra søer, vandløb og hav</i>
---	---

2.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for havvand

Beregningsgrundlaget for kortet over potentielle fareområder for oversvømmelse fra havet er oprindeligt udarbejdet i forbindelse med Oversvømmelsesdirektivet 2024, tredje planperiode, plantrin 1 (2022-2024). Dette projekt omfatter national screening og udpegning af risikoområder.

Beregningen af kortet er gennemført ved anvendelse af den hydrodynamiske model SFINCS (Super-Fast INundation of CoastS), som muliggør dynamisk simulering af vandets udbredelse i både tid og rum på national skala.

Metoden adskiller sig fra tidligere statiske oversvømmelsesscreeninger ved at:

- modellere tidsvarierende stormflodskurver
- inkludere graduerede vandstande langs hele kystlinjen
- inddrage kystnære vandløbsbidrag
- modellere overløb over diger og konstruktioner

Formålet med kortet er at vise den maksimale oversvømmelsesdybde ved en fremtidig ekstremhændelse. Kortet viser de maksimale oversvømmelsesdybder i hver 5 × 5 m celle over hele simuleringen af stormflodshændelsen.

Der er anvendt følgende klimascenarie: 100-års hændelse, SSP3-7,0 (83-percentilen) fremskrevet til år 2150.

Scenariet repræsenterer en statistisk 100-års stormflod kombineret med fremskrevet havniveaustigning til år 2150 for udledningsscenariet SSP3-7,0. 83 percentilen er anvendt som en øvre, konservativ vurdering af havniveaustigningen.

2.3. Beskrivelse af kortlægningen

Opløsning

- Hydrodynamisk beregningsnet: 100 × 100 meter
- Subgrid/terræn: 5 × 5 meter

Præcision

Modellen er kalibreret til at gengive middeltidsvandstande ved de anvendte målestationer. Modelopsætningen er udviklet til national screening og ikke detailprojektering.

Tidspunkt for beregning

Beregningen er udført februar 2026. Datagrundlag og modelopsætningen er udført i 2022 i forbindelse med Oversvømmelsesdirektivet 2024.

2.4. Datagrundlag for kortlægningen

Højdemodellen, der danner grundlaget for analysen, er baseret på Danmarks Højdemodel/Terræn 2022. Den oprindelige opløsning på 0,4 meter er aggregeret til et grid på 5 × 5 meter for at skabe en mere håndterbar model til hydrologiske beregninger. Modellen er desuden hydrologisk tilpasset, så vandets naturlige strømningsveje bevares. I udvalgte kystnære vandløb er terrænet yderligere justeret på baggrund af vandløbenes typologi og bredde. Vandløbene er indlagt i modellen ved at beregne en gennemsnitlig bredde og dybde svarende til en 2-års vandføring, estimeret ved hjælp af Manning-formlen.

Til de marine områder er der anvendt Danmarks Dybdemodell 2022 med en opløsning på 50×50 meter. I fjorde og andre områder, hvor der mangler batymetriske data, er dybden justeret til -2 meter. I overgangszoner mellem højdemodell og dybdemodell, hvor der ligeledes mangler data, er dybden sat til -1 meter for at sikre en glidende og realistisk overgang mellem land og hav.

Ruhedsforholdene i modellen er repræsenteret gennem et Manning-ruhedskort med en rasteropløsning på 5×5 meter. Kortet bygger på otte forskellige overfladetyper, der er afledt af GeoDanmarks vektorlag fra 2022 samt Landbrugsstyrelsens kortlag "Markblokke 21" fra samme år. Hvis flere overfladepolygoner overlapper i en enkelt celle, prioriteres den overfladetype med den højeste ruhedsværdi.

For at sikre en realistisk modellering af vandets bevægelse er der desuden indarbejdet en række overløbslinjer og konstruktioner, som fungerer som fysiske barrierer i terrænet. Det omfatter diger, klitter, dæmninger, forhøjede veje og mure samt enkelte andre strukturer, der vurderes at kunne påvirke vandets udbredelse.

2.5. Beregningsmetode

Dynamisk modellering

SFINCS-modellen er udviklet af Deltares, officielt lanceret i november 2022, og beregner vandets udbredelse i tid og rum via numerisk løsning af den todimensionale lineære version af lavtvandsligningen (shallow water equation). Den inddrager kun de mest nødvendige fysiske processer under simuleringen af en oversvømmelse, hvilket gør den hurtig og nem at anvende på national skala, da den dermed har mindre beregningsmæssige krav.

SFINCS benytter også subgrid metoden, hvori informationer om topografiske og batymetriske informationer indgår til at forbedre beregningerne i det overordnede grovere hydrodynamiske grid.

Modelinddeling

Baseret på eksponering af havet og hovedvandoplande, er Danmark opdelt i ni individuelle SFINCS-modelpolygoner, som efter simuleringen sammenlægges til ét nationalt kort.

Nedskalering

Modelresultatet er et vandstandskort i en opløsning på 100×100 m celler, der i hver celle indeholder den maksimale vandstand under hele simuleringen. Denne omregnes vha. højdemodellen til en oversvømmelsesdybde der samtidig nedskaleres til en 5×5 m celle opløsning.

Rensning

Nedskaleringen fra 100×100 m til 5×5 m medfører visuelle aftryk fra 100×100 m opløsningen. Her opstår oversvømmelses "vandpytter" uden sammenhængende forbindelse til kysten. Der opstår også "takkede" overgange ved overløbslinjerne, da disse er koblet til den grove opløsning. Farekortene renses for visuelle uoverensstemmelser ved at korrigere for de rette vandstande inden for en 100 m celle i en 5 m opløsning inden nedskalering.

Der kan dog stadig forekomme rester af disse aftryk, og der kan være steder, hvor disse aftryk er tydelige og nemme at genkende, når man ser på kortet. Dette er således ikke en fejl i modellen.

Overløbslinjer

Modellen benytter overløbsformler ved overløbslinjerne, der primært ses ved diger, men også ved nogle dæmninger, forhøjede veje eller andre konstruktioner, der fungerer som en vandbarriere. Det betyder, at vandmængden, der skyller ind over et dige, afhænger af fribordet mellem den ydre vandstand og koten på konstruktionen og angives i volumen pr. tidsenhed.

Vandløbsbidrag

Vandløbsoversvømmelser er ikke inkluderet i beregningen. Det er kun det kystnære bidrag og dermed den kystnære opstuvning som er indtænkt. Dette inddrages ved at indføre en baggrundsvandføring i form af en 2-års hændelse fra GEUS' DK-model (nutidig). Det er også kun på udvalgte vandløb, der opfylder følgende kriterier:

1. Vandløbet er af vandløbstypologierne RW3 eller RW2 ifølge Vandområdeplanerne 2015-2021.
2. Vandløbet løber igennem et område med potentielle sårbarheder.
3. Vandløbet er over fem meter bredt, så det er i overensstemmelse med højdemodellens opløsning.
4. Vandløbet skal have fri hydrologisk passage, dvs. ingen sluser eller rørføringer.

3. Vandløb

3.1. Datablad

Tabel 4 - Datablad for vandløb – datagrundlag og modelopsætning

Vandløb	
Udledningsscenarie	RCP8,5 (median)
Planlægningshorisont (årstal)	2071-2100
Gentagelsesperiode i slutning af planlægningshorisont	100 års-hændelse
Højdemodel (årstal)	2022 (inkluderende data frem til 2021)
Tilpasningslag til højdemodel	Hydrologisk tilpasnings lag (2022)
Randbetingelser	Ikke angive
Model(værktøj)	SCALGO Live
Modelbeskrivelse	Statisk
Datagrundlag	Vandløbstypologier 2 og 3 (GeoDanmark, vandløbsmidter, 2022) Danmarks Højdemodel (DHM fra 2022, opmålt og produceret af Klimadatastyrelsen) GEUS' Vandføringsstatistik (hentet 2022, statistik beregnet for perioden 1990-2019) Manningtal Vandløbsmidter (GeoDanmark, 2022) Vandløbstværsnit fra Aarhus og Horsens kommune (VASP)
Rumlig opløsning	0,4 × 0,4 m grid
Varighed af hændelse	Ikke angivet
Inddeling af DK i områder	10 km grid
Format	Tiff
Beregningsmetoder	Steady-state
Henvisninger til yderligere info	SCALGO & COWI (2018). <i>National Screening af Oversvømmelse fra Vandløb</i> SCALGO; COWI (2017). <i>Evaluering af Metoder til Screening af Vandløbsoversvømmelse</i> GEUS (2013). <i>Klimaekstremvandføring. Klimaeffekter på hydrologi og afstrømning</i> : Naturstyrelsen.

3.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for vandløb

Kortet over potentielle fareområder for oversvømmelse fra vandløb bygger på en stationær vandløbsmodel, hvor vandstanden beregnes ud fra terrænmodellen og vandløbstværsnit genereret på baggrund af højdemodellen. Modellen anvender statistisk kendte vandføringer og beregner den maksimale vandspejlshøjde samt udbredelsen i terrænet under en 100-års hændelse i slutningen af planlægningshorisonten, dvs. i 2071–2100. Under scenariet RCP8,5 (median).

Modellen beregner den maksimale vandspejlshøjde ved en konstant afstrømning. Terrænmodellen repræsenterer vandspejlet på opmålingstidspunktet, og forskellen mellem basisvandføring og ekstrem vandføring udgør grundlaget for beregningen. Der tages ikke højde for oversvømmelser som følge af kapacitetsbegrænsninger ved broer, rørunderføringer eller lignende konstruktioner.

3.3. Beskrivelse af kortlægningen

Kortlægningen udføres med SCALGOs stationære model, der anvender terrænmodellen i en opløsning på $0,4 \times 0,4$ m. Beregningerne er steady-state, hvilket betyder, at alt vand, der strømmer ind i et punkt, også strømmer ud igen uden opmagasinering. Resultaterne leveres i samme opløsning som terrænmodellen. Bortpumpning af vand er indregnet i områder, hvor vandløb afvandes via pumpning fremfor gravitation.

3.4. Datagrundlag for kortlægningen

Datagrundlaget består af:

- Danmarks Højdemodel (2022 inkluderende data frem til 2021)
- Vandløbstypologier 2 og 3
- GEUS' vandføringsstatistik (hentet 2022, statistik beregnet for perioden 1990-2019)
- Manningtal
- Vandløbsmidter (GeoDanmark, 2022)
- Vandløbstværsnit (VASP)
- Terrænmodel baseret på radarscanninger, hvor vandspejlet repræsenterer basisvandføring på opmålingstidspunktet

Typologi 1 vandløb er udeladt, da de vurderes ikke at kunne give væsentlig risiko for oversvømmelse.

Vandløbstværsnit

De landsdækkende vandløbstværsnit er baseret på opmålinger og regulativer, der stammer fra to pilotområder i Aarhus og Horsens Kommunes VASP databaser. Disse data repræsenterer vandløbets geometriske skikkelse og supplerer DHM med vigtig viden om geometrien under det vandspejl, som repræsenteres i Danmarks Højdemodel baseret på vandstanden i vandløbet på opmålingstidspunktet, se figur 1.

Manningtal

Med udgangspunkt i pilotområder i Aarhus og Horsens Kommune er de landsdækkende manningstal fastsat ud fra en samlet vurdering af vandløbenes fysiske forhold, deres omgivelser og erfaringstal fra tidligere hydrauliske beregninger. Først opdeles vandløbene efter, om de ligger i by eller land, baseret på en sammenstilling af GeoDanmarks vandløbstema og arealanvendelseskort fra Kortforsyningen. Denne opdeling er central, fordi vandløb i landzonen typisk har større ruhed på grund af mere vegetation og naturlige brinker, mens bynære vandløb ofte er mere regulerede og dermed glattere.

Dernæst vurderes Manningtallet ud fra vandløbsbredden, da modstanden i vandløbet ofte varierer med bredden. Særligt små vandløb med en bredde under 2,5 meter har som regel mere vegetation og uregelmæssigheder, hvilket øger ruheden. Derfor anvendes de laveste Manningtal i denne kategori for at afspejle den større modstand. Kombinationen af bredde og beliggenhed giver et mere realistisk billede af vandløbenes hydrauliske egenskaber og sikrer, at beregningerne afspejler de faktiske forhold i terrænet.

Da beregningerne tager udgangspunkt i en vintersituation, hvor afstrømningen typisk er størst, er Manningtallene sat relativt lavt. En konservativ tilgang er valgt for at undgå at undervurdere risikoen for oversvømmelser. Lavere Manningtal giver højere beregnede vandspejl og dermed en større sandsynlighed for at identificere potentielt udsatte områder. Dette er vigtigt, fordi formålet med screeningen er at udpege områder, der senere kan kræve mere detaljerede analyser, og hvor en undervurdering af risikoen kan føre til fejlagtig planlægning.

For rør og broer er der valgt et Manningtal på 50, hvilket ligger i den konservative ende af det typiske interval mellem 40 og 70. Dette valg understøtter vurderingen af opstuvning og sikrer, at risikoen ikke undervurderes i screeningsfasen.

Tabel 5 - Benyttede Manningtal for henholdsvis Land og By inddelt efter vandløbets størrelse (bredde GeoDanmark). Enheden for Manning tallene er $m^{1/3} s^{-1}$.

Vandløbsbredde	Land (Manning)	By (Manning)
< 2,5 m	15	18
2,5–12 m	18	20
> 12 m	22	24

Bestemmelse af relevante ekstremafstrømninger

Som udgangspunkt for vurdering af ekstremafstrømninger anvendes data fra GEUS. Kortlægningen udføres på basis af 100-års hændelse i 2017. Disse data ekstrapoleres til at være landsdækkende, se Tabel 5. I forbindelse med vurderingen af basisvandføringen i vandløbene er det væsentligt at være opmærksom på, at LIDAR-opmålinger typisk gennemføres i forårs- eller efterårsperioden. Det skyldes et ønske om at minimere påvirkningen fra løv på træer og anden tæt vegetation, som ellers kan skygge for terrænet og reducere datakvaliteten. Denne sæsonmæssige timing betyder, at de registrerede terrænforhold ofte afspejler perioder med relativt lav vandføring i vandløbene. Derfor kan vandløbsprofilerne i højdemodellen fremstå smallere eller fladere end under højvandsperioder, hvilket er vigtigt at tage højde for ved vurdering af den hydrologiske basisvandføring. Med udgangspunkt i den faglige rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser (DMU): "Afstrømningsforhold i danske vandløb" nr. 340 er der således benyttet laveste værdi for afstrømning i perioderne marts-april samt september-oktober.

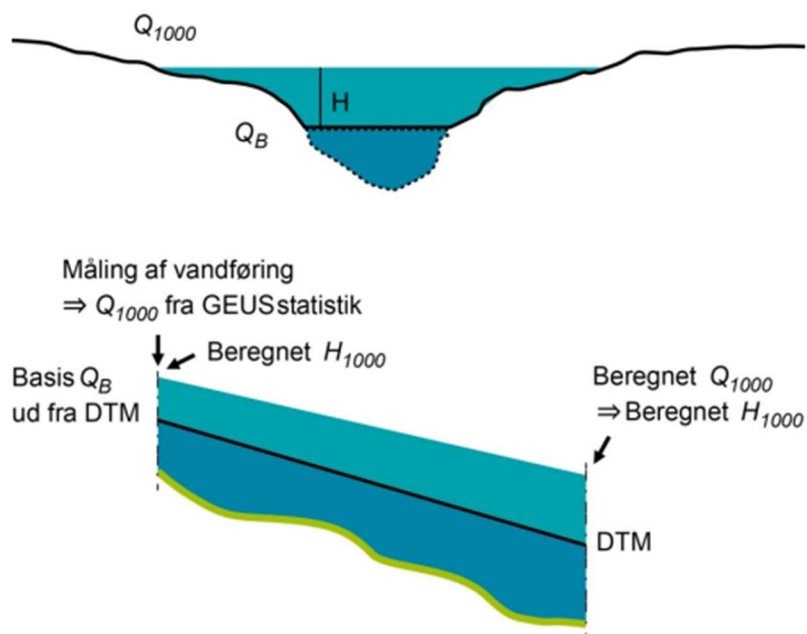
Tabel 6 - Oplande, 100-års vandføring og specifik afstrømning. Data fra Horsens og Aarhus ligger til grund for de landsdækkende ekstremafstrømninger.

Kommune	DMU målestation	Vandløb	Opland (km ²)	100 års vandføring (m ³ /s)	100 års vandføring (l/s/km ²)	Basis-vandføring (l/s/km ²)	Tidspunkt for lav Q
Horsens	270045	Hansted Å	136,27	16,584	121,7	6,3	sept
Horsens	280001	Bygholm Å	154,19	31,45	204,0	4,4	sept
Horsens	270004	Lille-Hansted Å	74,96	9,188	122,6	4,7	sept
Horsens	210089	Gudenå	376,83	23,865	63,3	9,4	sept
Aarhus	270021	Giber Å	46,95	7,826	166,7	2,7	sept
Aarhus	260082	Aarhus Å	118,64	11,146	93,9	3,9	sept
Aarhus	260096	Lyngbygård Å	131,47	11,257	85,6	4,4	sept
Aarhus	260080	Aarhus Å	323,54	29,48	91,1	3,9	sept (samme som 260082)
Aarhus	230055	Egå	46,95	4,567	97,3	3,7	sept

3.5. Beregningsmetode

Beregningen følger en steady-state tilgang, hvor der ikke sker opmagasinering af vand. Modellen estimerer den maksimale vandspejlshøjde og oversvømmelsesudbredelsen i terrænet. Den anvendte metode svarer til Metode 2A beskrevet i SCALGO & COWI (2017). SCALGO og COWI har udført kvalitetskontrol af modellen.

Den arealspecifikke afstrømning er bestemt og anvendt i den videre beregning, som illustreret i nederst i figur 1.



Figur 1 - Den arealspecifikke afstrømning. Opmålte terrænmodel (sort profil) repræsenterer vandspejlet på det tidspunkt, hvor modellen blev opmålt, hvor det mørkere blå areal svarer til vandføringen på opmålingstidspunktet, basisvandføringen (øverst) og princip for hvordan vandføring og vandstand bestemmes langs vandløbet (nederst).

4. Nedbør

4.1. Datablad

Tabel 7 - Datablad for nedbør – datagrundlag og modelopsætning

Nedbør	
Udledningsscenarie	RCP8,5 (median)
Planlægningshorisont (årstal)	100 år
Gentagelsesperiode i slutning af planlægningshorisont	2071-2100
Højdemodel (årstal)	2024
Tilpasningslag til højdemodel	2024
Randbetingelser	<i>Ikke angivet</i>
Model(værktøj)	Python
Modelbeskrivelse	Statisk
Datagrundlag	Danmarks Højdemodel 2024 (terrænmodel/DTM). Hydrologisk Højdemodel – Bluespot, 2024
Rumlig opløsning	0,4 × 0,4 meter
Varighed af hændelse	6 timer
Inddeling af DK i områder	<i>Ikke angivet</i>
Format	Raster
Beregningsmetoder	Se beskrivelsen nedenfor
Henvisninger til yderligere info	Det fællesoffentlige metadatakatalog for geodata, Geodata-info.

4.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for nedbør

Kortet over potentielle fareområder for oversvømmelse fra nedbør viser lavninger i landskabet, som er oversvømmelsestruede. De potentielle fareområder er beregnet ved anvendelse af et klimascenarie for en 6-timers nedbørshændelse i år 2100 svarende til 90 mm.

4.3. Beskrivelse af kortlægningen

Kortet over potentielle fareområder for oversvømmelse fra nedbør er udarbejdet af Klimadatastyrelsen (KDS) i Q1 2026.

4.4. Datagrundlag for kortlægningen

Datagrundlaget for farekortet består af to datasæt:

- Danmarks Højdemodel 2024 (terrænmodel/DTM).
- Hydrologisk Højdemodel – Bluespot, 2024

De to datasæt er rasterdatasæt med en opløsning på 0,4 × 0,4 meter og anvender koordinatsystem: EPSG:25832 (og det underliggende ETRS89) samt DVR90. KDS er dataejer på begge datasæt.

Yderligere oplysning om de to datasæt kan findes i de tilknyttede metadata på det fællesoffentlige metadatakatalog for geodata, Geodata-info.

Danmarks Højdemodel 2024

Danmarks Højdemodel (DHM) indeholder detaljeret information om højdeforholdene i Danmark og giver brugere mulighed for at producere detaljerede og præcise kort. Terrændata er en del af

Danmarks Højdemodel, som er baseret på en filtrering af DHM/Punktsky således, at det kun er punkter, der er klassificeret som beliggende på terræn, der er medtaget. Punkter, der er klassificeret som bygning, vegetation og andre objekter er fjernet fra modellen.

Hydrologisk Højdemodel – Bluespot, 2024

Datasættet Hydrologisk Højdemodel - Bluespot er dannet af Scalgo for KDS på baggrund af terrænmodellen. Det er et afledt datasæt, der viser, hvor mange millimeter regn, der skal falde for, at en given celle oversvømmes. Navnet Bluespot henviser til lavninger, der er fyldt med regnvand og indikerer potentielle områder for oversvømmelse.

Beregningen er teoretisk, da der ikke tages højde for kloakering eller nedsivning. Dvs. det antages, at jorden er vandmættet, og at kloakkerne er fyldte med vand, således at alt regnvand vil strømme overfladisk på terrænet. Et bluespot vil derfor ikke nødvendigvis lede til en reel oversvømmelse. Beregningen antager ensartet fordeling af regn i oplandet. Fyldningen af hver celle akkumulerer overløb af regnvand fra opstrøms beliggende lavninger.

Datasættet bygger på statiske modeller, hvor den forventede, potentielle maksimale oversvømmelse vises. Således kan værktøjet anvendes til screening af oversvømmelsesrisiko i tilfælde af ekstremregn. Dette inkluderer, at der vises vandfyldte vandpytter, kælderskakte, lyskasser og lignende.

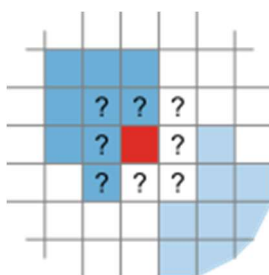
4.5. Beregningsmetode

Farekortet for nedbør opfylder følgende udledningsscenarier: RCP8,5 (median), Gentagelsesperiode i slutningen af planlægningshorisonten: 100 år (median), Planlægningshorisont: 2071-2100.

Farekortet for nedbør er dannet på baggrund af datasættet Hydrologisk Højdemodel – Bluespot, 2024, hvor hver celle indeholder det antal millimeter regn der skal til, for at cellen bliver oversvømmet. I forhold til det fremskrevne udledningsscenarie er det estimeret, at 90 mm regn udgør grænseværdien mellem fare og ikke fare. Hvis der skal mere end 90 mm regn til, for at en celle bliver oversvømmet, er cellen dermed ikke et fareområde. Alle de celler, hvor der skal 90 mm regn eller mindre til, for at de bliver oversvømmet, vil derfor være fareområder og markeres som sådan.

Denne proces giver anledning til en masse vandfyldte lavninger (bluespots), hvor både dybden og vandmængden kan være meget lav. De mindste lavninger er fjernet fra farekortet, da det ikke er planmæssigt relevant at håndtere mindre lavninger, der inkluderer vandpytter. Alle celler markeres derfor som ikke-fare, hvis de tilhører en lavning, der har en vanddybde på maks. 10 cm og under 20 m³ vand i lavningen.

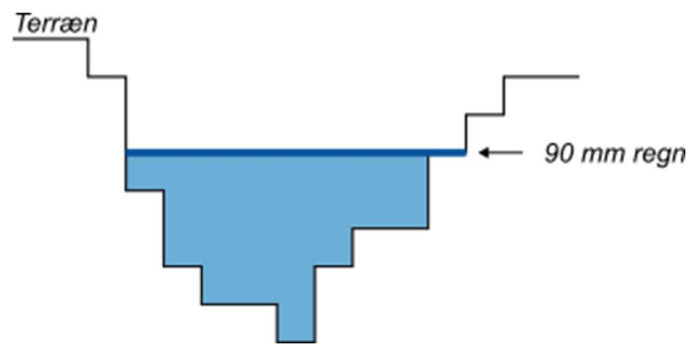
En lavning er defineret som de oversvømmede celler, der hænger sammen ved at se på de 8 mulige naboceller. Hvis en oversvømmet celle (rød) har en nabocelle, der også er oversvømmet (blå), vil de tilhøre samme lavning:



Figur 2 – Viser hvilke celler der er naboer til den røde celle, og det ses, at den røde celle har 4 oversvømmede naboceller.

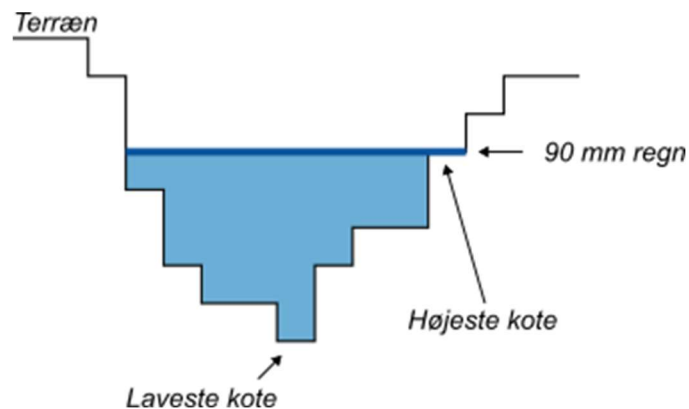
For at de mindste lavninger kan frasorteres, sammenstilles højdemodellen med datasættet for bluespot ekstremregn med henblik på, at estimere dybde og volumen for hver lavning.

Hvis et 90 mm scenarie betragtes, kan alle de celler, hvor der skal 90 mm regn eller mindre til, for at de bliver oversvømmet, ses som et vandniveau for hver lavning:



Figur 3 – Viser en lavning set fra siden, hvor den mørkeblå linje markerer overfladen for et 90 mm scenarie.

Ved at se på de tilsvarende celler i højdemodellen, kan den eller de celler, med den højeste kote bestemmes for hver lavning:



Figur 4 – Viser hvordan dybden for en lavning bestemmes ud fra forskellen mellem den laveste og den højeste kote indenfor lavningen.

Den højeste kote for hver lavning anvendes til at definere overfladekoten på vandspejlet i den pågældende lavning ved 90 mm regn.

Den maksimale dybde for hver lavning er defineret ved forskellen mellem den laveste kote og overfladekoten i den pågældende lavning. Volumenet kan beregnes som summen af vandhøjden i hver celle. Vandhøjden i en celle er defineret ved overfladekoten fratrasket koten i den pågældende celle.

5. Grundvand

5.1. Datablad

Tabel 8 - Datablad for grundvand – datagrundlag og modelopsætning

Grundvand	
Udledningsscenarie	RCP8,5
Planlægningshorisont (årstal)	2071-2100
Gentagelsesperiode i slutning af planlægningshorisont	
Højdemodel (årstal)	2015
Tilpasningslag til højdemodel	Hydrologisk tilpasning
Randbetingelser	
Model(værktøj)	Maskinlæring og hydrologisk modellering (Den Nationale Hydrologiske Model, DK-model)
Modelbeskrivelse	
Datagrundlag	
Rumlig opløsning	10 × 10 m
Varighed af hændelse	
Inddeling af DK i områder	
Format	
Beregningsmetoder	
Henvisninger til yderligere info	Koch, J., Gotfredsen, J., Schneider, R., Troldborg, L., Stisen, S., & Henriksen, H. J. (2021). High resolution water table modeling of the shallow groundwater using a knowledge-guided gradient boosting decision tree model. <i>Frontiers in Water</i>, 3, 701726. Schneider, R., Koch, J., Troldborg, L., Henriksen, H. J., & Stisen, S. (2022). Machine-learning-based downscaling of modelled climate change impacts on groundwater table depth. <i>Hydrology and Earth System Sciences</i>, 26(22), 5859-5877. Henriksen, H. J., Kragh, S. J., Gotfredsen, J., Ondracek, M., van Til, M., Jakobsen, A., ... & Rasmussen, P. (2020). Sammenfatningsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations-og Prognosesystem. <i>The Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS). Copenhagen, Denmark.</i> Henriksen, H. J., Kragh, S. J., Gotfredsen, J., Ondracek, M., van Til, M., Jakobsen, A., ... & Stisen, S. (2020). Dokumentationsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations-og Prognosesystem. <i>The Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS). Copenhagen, Denmark.</i>

5.2. Generel beskrivelse af kort over potentielle fareområder for grundvand

Kortet over potentielle fareområder for oversvømmelse fra grundvand viser områder, hvor dybden til grundvandsspejlet for en typisk vintersituation i perioden 2071-2100, under udledningsscenariet RCP8,5, forventes at være mindre end 1 m under terræn. Vintersituationen er valgt som grundlag for farekortet for grundvand, fordi grundvandsstanden typisk er højest om vinteren i Danmark. Dette skyldes en kombination af høje nedbørsmængder og lav potentiel fordampning, hvilket resulterer i stor grundvandsdannelse.

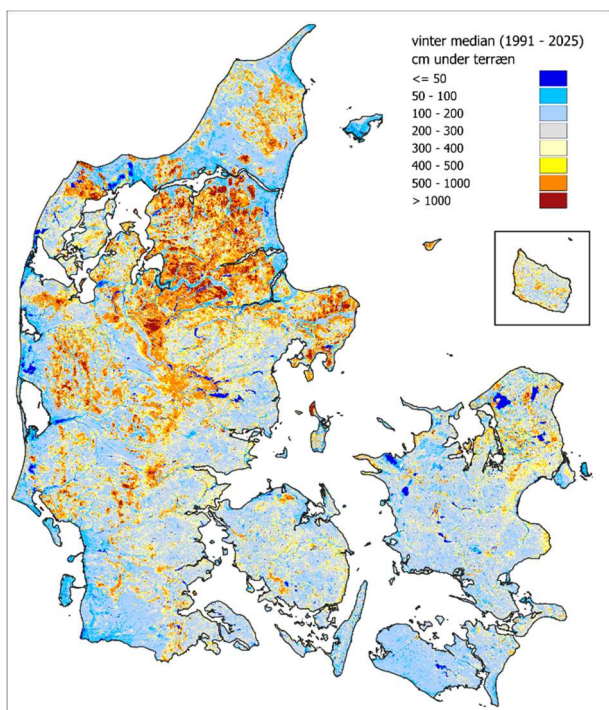
Oversvømmelse fra grundvand består, i planlovens forstand, i højt grundvandsspejl under terræn. Grundvandsspejlet er den øverste vandstand i undergrunden og findes typisk i frie magasiner, som har direkte kontakt til terrænet. Dette står i modsætning til spændte magasiner, som er dækket af et lerlag og derfor ikke har direkte forbindelse til terrænet. Grundvandsstanden beskriver vandstanden i jorden og markerer overgangen mellem den umættede og den mættede zone. Den øverste grundvandsstand betegnes ofte som terrænnært grundvand, hvilket også er det, som dette kort omhandler.

Datagrundlaget for kortet er beregnet på baggrund af data fra Hydrologisk Informations- og Prognosesystem (HIP). To datalag fra HIP er anvendt til at producere farekort grundvand:

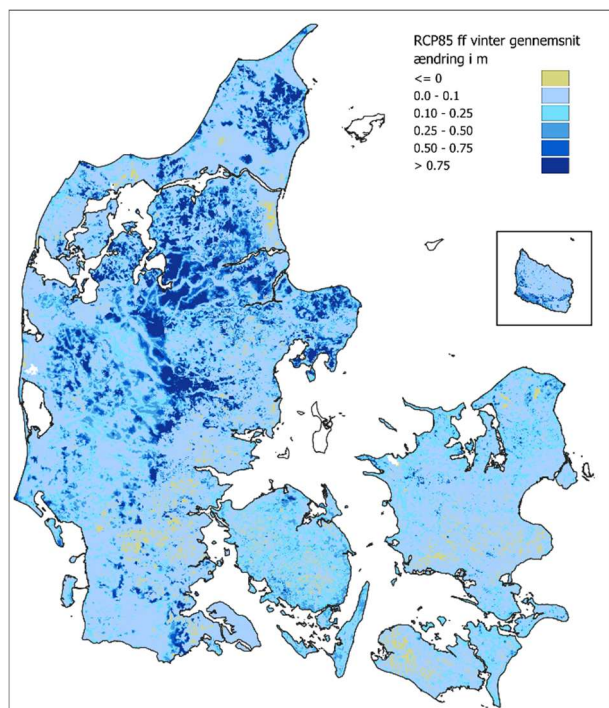
1. Den historiske median vintergrundvandsstand i 10×10 m opløsning der repræsenterer perioden 1991-2025.
2. En fremskrevet ændring af gennemsnitlig vintergrundvandsstand i 100×100 m opløsning for udledningsscenariet RCP8,5 i perioden 2071-2100. Ændring repræsenterer medianen over 17 klimamodeller.

Disse to datalag er kombineret for at beregne en fremtidig typisk vintergrundvandsstand. En tærskelværdi på 1 m under terræn er derefter anvendt til at identificere områder, der potentielt er i risiko for oversvømmelse og skader fra terrænnært grundvand.

Det historiske kort i 10×10 m opløsning er beregnet ved hjælp af maskinlæring (ML), mens den klimabetingede ændring af grundvandsstanden i 100×100 m opløsning er beregnet med Den Nationale Hydrologiske Model for Danmark (DK-model) i 500×500 m som efterfølgende blevet nedskaleret ved hjælp af ML til 100×100 m. Begge datalag er genereret af GEUS og udstillet på HIP. Datalagene er vist som kort i henholdsvis Figur 5 og Figur 6. I HIP's sæsonstatistik er vinter defineret som december, januar og februar.



Figur 5 - Historisk typisk vintergrundvandsstand angivet som dybde i cm under terræn. Den historiske typiske vintersituation er defineret som medianværdien for perioden 1991-2025.



Figur 6 - Fremskrevet ændring i gennemsnitlig vintergrundvandsstand for udledningsscenariet RCP8,5. Ændringen er beregnet som forskellen mellem gennemsnitlig vintergrundvandsstand i referenceperioden (1991–2020) og fremtidsperioden (2071–2100, far future, ff). Median på tværs af ændringerne fra 17 klimamodeller er beregnet. Positive værdier indikerer en stigning i grundvandsstanden i et fremtidigt klima.

Kriteriet for udpegning af fareområder for grundvand er ikke baseret på en gentagelsesperiode og adskiller sig dermed fra de øvrige farekilder. Grundvand forekommer overalt i undergrunden, og der har derfor været fokus på at vælge et kriterium, der både er retvisende og relevant i en planlægningsmæssig sammenhæng. For terrænnært grundvand findes der endnu ikke etablerede metoder til beregning af fremtidige gentagelsesperioder med tilstrækkelig nøjagtighed og rumlig opløsning. Områder, hvor den fremskrevne vintergrundvandsstand ligger mindre end 1 m under terræn, kortlægges som potentielle fareområder. Det valgte kriterium vurderes på nuværende tidspunkt at give det bedst egnede kortgrundlag for udpegning af fareområder under hensyntagen til anvendelighed, usikkerheder og rumlig opløsning.

5.3. Beskrivelse af kortlægningen

Kortet over potentielle fareområder for oversvømmelse fra grundvand er udarbejdet i en rumlig opløsning på 10 × 10 m. Opløsningen på 10 m stammer fra kortet over den historiske median vintergrundvandsstand. Den fremskrevne ændring i gennemsnitlig vintergrundvandsstand foreligger i en opløsning på 100 × 100 m og er efterfølgende nedskaleret til 10 m ved hjælp af nearest neighbor-interpolation. For begge datalag er vinter defineret som december, januar og februar.

Den historiske median vintergrundvandsstand er beregnet af GEUS i december 2025 og integreret i HIP og KAMP i første kvartal 2026. Den fremskrevne ændring i gennemsnitlig vintergrundvandsstand er beregnet af GEUS i 2020.

De to datalag, der anvendes til beregning af kortet over potentielle fareområder for oversvømmelse fra grundvand, er beregnet af GEUS med DK-modellen, der ejes af GEUS. Begge datalag er udstillet på HIP.

Præcisionen af kortet over den historiske median vintergrundvandsstand er angivet i Tabel 9. Resultaterne stammer fra en 10-fold krydsvalidering og repræsenterer middelværdien på tværs af 10 valideringskørsler. I hvert fold blev modellen trænet på 90 pct. af data og valideret på de resterende 10 pct.. Krydsvalideringen er opsat således, at alle observationer indgår præcis en gang i valideringssættet. Valideringen er opdelt efter forskellige kilder til træningsdata (boringer og støttepunkter), og der bør primært lægges vægt på kolonnen "Boringer". Her er middelsolutfejlen omkring 1,0 m, og root mean square-fejlen er ca. 1,6 m. Med fokus på de terrænnære boringer,

defineret som indtag med pejlinger mindre end 3 m under terræn, viser modellen en systematisk bias på ca. 0,5 m. Dette betyder, at modellen i gennemsnit simulerer grundvandsstanden for dybt i denne undergruppe. For hele datasættet udlignes denne bias, fordi dybere indtag i nogle tilfælde simuleres med en for lav grundvandsstand (negativ bias).

Tabel 9 - Præcision af kort over den historiske median vintergrundvandsstand

	Alle data	Boringer	tn Boringer	Vandløb	Søer	Kyst
ME (m)	0,00	-0,01	0,55	0,01	0,01	0,02
MAE (m)	0,51	1,02	0,76	0,24	0,05	0,08
RMSE (m)	1,08	1,63	1,13	0,31	0,09	0,13
r ()	0,84	0,73	0,40	0,40	n/a	n/a

Validering af modellen for alle data samt for forskellige undergrupper af træningsdatasættet, inklusive støttepunkter. Undergruppen "Boringer" indeholder alle målte grundvandsstande i boringer. Undergruppen "tn Boringer" indeholder alle målte grundvandsstande i boringer med terrænnært grundvand, defineret som mindre end 3 m under terræn. Middelfejlen (ME, sim-obs), middelabsolutfejlen (MAE), root mean square-fejlen (RMSE) samt Pearsons korrelationskoefficient (r) er angivet. Valideringen er baseret på en 10-fold krydsvalidering, og middelværdien af de 10 valideringsfolds er vist i tabellen.

Præcisionen af kortet over den fremskrevne ændring i gennemsnitlig vintergrundvandsstand kan ikke angives på samme måde som for det historiske kort på grund af mangel på fremtidige observationer.

5.4. Datagrundlag for kortlægningen

Den historiske median vintergrundvandsstand i 10 × 10 m opløsning

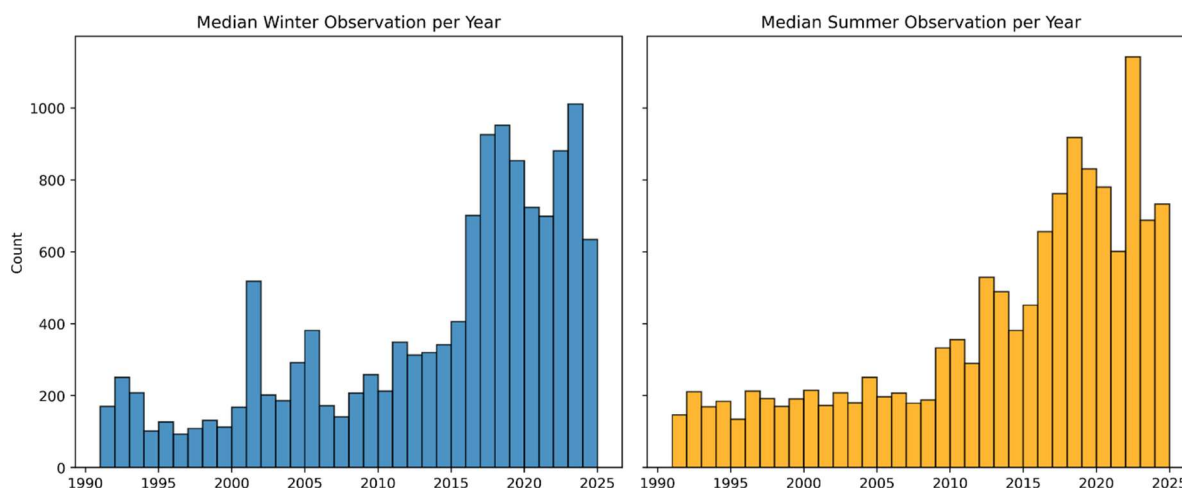
Den historiske median vintergrundvandsstand i 10 × 10 m opløsning er beregnet ved hjælp af en ML model, hvor præprocessering af pejldata udgør en central del af arbejdsgangen. Det første trin i udvælgelsen af pejlinger til træning af modellen er at identificere de terrænnære boringer. Som udgangspunkt indgår alle indtag med pejlinger fra Jupiter databasen i præprocessering. I konteksten af terrænnært grundvand, som er fokus for farekortet, er det det øverste grundvandsspejl, der er relevant. Boringer med indtag, der repræsenterer et frit vandspejl, er derfor relevante, mens boringer filtersat i dybere magasiner, hvor grundvandsforholdene kan være anderledes, eksempelvis spændte, ikke nødvendigvis repræsenterer det øverste grundvandsspejl.

Det antages, at en terrænnær pejlning findes i boringer med homogen lithologi fra terræn til indtag. I boringer med skiftende lithologi, eksempelvis fra sand til ler til sand, er det ikke givet, at pejlningen repræsenterer det terrænnære grundvand, og sådanne boringer frasorteres derfor. Herudover antages det, at indtag i vandstandsende materialer (fx ler eller silt) repræsenterer det øverste grundvandsspejl, hvis indtaget er placeret inden for 10 m under terræn. Dybere indtag kan enten undervurdere eller overvurdere dybden til det øverste grundvandsspejl afhængigt af, om der forekommer spændte forhold i det underliggende magasin. Dette skyldes trykforskelle i lerlaget mellem indtagsplaceringen og terrænet. Tilsvarende antages det, at grundvandsstandsmålinger i indtag placeret i vandførende materialer (fx sand, grus eller kalk) ned til 25 m under terræn kan repræsentere det øverste grundvandsspejl. Disse antagelser er dog betinget af, at lithologien er relativt homogen med hensyn til skift mellem vandførende og vandstandsende lag. Endelig antages det, at alle indtag med filtertop tættere end 2 m under terræn repræsenterer det øverste grundvandsspejl, uanset lithologisk heterogenitet over indtaget.

Efter identifikation af de terrænnære boringer er pejlingerne fra perioden 1991–2025 blevet brugt med henblik på at beregne vinter- og sommermedianer. Vinter er defineret som månederne december, januar og februar, mens sommer er defineret som juni, juli og august. I tilfælde med flere pejlinger inden for de angivne perioder er der beregnet en medianværdi per indtag. Der er ikke differentieret

mellem år, hvilket betyder, at de afledte vinter- og sommermedianer kan repræsentere forskellige år, som hydroklimatisk kan have været forskellige.

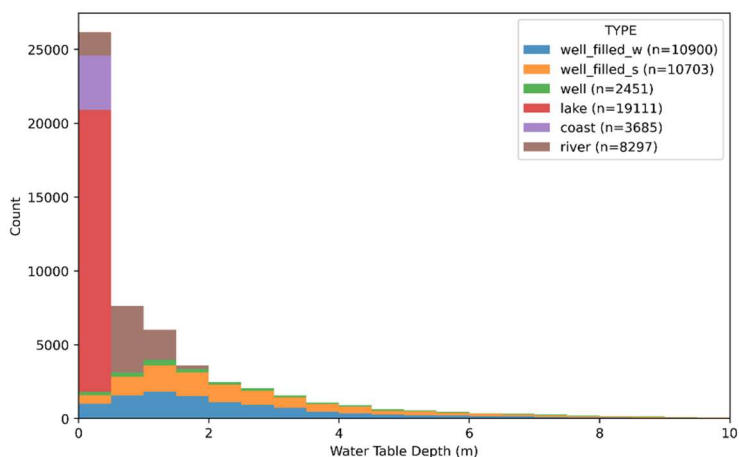
Da mange boringer kun har få pejlinger, vil der i de fleste tilfælde kun være enten en vinter- eller en sommerpejling tilgængelig per indtag. I disse tilfælde anvendes den simulerede sæsondynamik fra 100 m HIP-modellen, defineret som forskellen mellem median sommer og median vinter, til at estimere den manglende værdi. Ud af de i alt 24.054 filtre med data til ML-træning har 2.451 både vinter- og sommerværdier, 10.703 kun vinterværdier, hvor en sommerværdi er estimeret ved hjælp af sæsondynamikken fra 100 m HIP-modellen, og 10.900 kun sommerværdier, hvor en vinterværdi er estimeret. *Figur 7* viser årstallet for den vintermedian, der er anvendt i ML modellen. Figuren viser, at datatilgængeligheden er stigende over tid, og at hovedparten af pejlingerne stammer fra perioden efter 2015.



Figur 7 - Observationer fordelt per år. Hver observation repræsenterer et enkelt indtag, og datoen refererer til den anvendte medianværdi brugt til modeltræningen.

Der er tilføjet støttepunkter til ML-træningsdatasættet. Støttepunkterne repræsenterer ikke faktiske pejlinger af grundvandsstanden, men er baseret på ekspertvurderinger, som bidrager med supplerende viden til modellen. *Figur 8* viser træningsdata fordelt efter undergrupper. Støttepunkter i søer og langs kystlinjen er placeret i henholdsvis søer, der forventes at være hydraulisk forbundet med grundvandet, og langs kystlinjen. For begge typer støttepunkter er dybden til grundvand sat til 0 m, dvs. at grundvandet antages at stå i terræn. Støttepunkter langs vandløb er afledt ved en anden metode. Her er vandstanden i vandløbene, afledt fra 0,4 m højdemodellen, anvendt som proxy for grundvandsstanden.

Vandstandskoten er efterfølgende omregnet til dybde ved at trække den fra terrænkoten i 10 m højdemodellen. Som det fremgår af *Figur 8*, ligger mange vandløb omkring 1 m under terrænkoten i forhold til 10 m højdemodellen. Dette vurderes at være en realistisk proxy for den terrænnære grundvandsstand i ådale ved en rumlig opløsning på 10 m.



Figur 8 - Histogram over de anvendte observationstyper i træningsdatasættet og deres grundvandsdybder for vintertilstanden. "well_filled_w": Har en sommerpejling, mens vinterværdien er beregnet ved hjælp af HIP 100 m modellen. "well_filled_s": Har en vinterpejling, mens sommerværdien er beregnet ved hjælp af HIP 100 m modellen. "well": Har både en målt sommer- og vinter grundvandsdybde. "lake", "coast" og "river" er støttepunkter.

I ML modellen er der anvendt 22 forklarende variabler, som er udvalgt efter erfaringer fra tidligere projekter, f.eks. HIP v2020. Tabel 10 indeholder en oversigt over de 22 anvendte forklarende variable. Disse variabler indeholder rumlige informationer af de fysiske jordbundsegenskaber, topografien, geologien, arealanvendelsen og hydrologiske forhold. Den typiske vinter grundvandsstand, beregnet på baggrund af DK-Model HIP-modellen i 100 m grid, er fx inkluderet. Landskabselementer, det binære vandtema, som angiver vand på terræn, og arealanvendelsen er kategoriske kort, mens resten af de forklarende variable er numeriske værdier. Kortene over den horisontale og vertikale afstand er beregnet i forhold til det binære vandtema.

Tabel 10 - Oversigt over de 22 anvendte forklarende variabler

Variable	Forklaring	Kilde
Vert. distance to river & lake	Vertikale afstand til den nærmeste vandløb eller sø	Danmarks Højdemodel og GeoDanmark Vektor. Begge blevet udtrukket i 2020 i forbindelse med udvikling af HIP.
Hor. distance to coast	Horisontale afstand til den nærmeste kystlinje	
Hor. distance to lake	Horisontal afstand til den nærmeste sø	
Hor. distance to river	Horisontal afstand til den nærmeste vandløb	
Waterbody mask	Binær vandmaske (vandløb, søer og kyst)	
Digital elevation model	Højdemodel	
Slope	Terrænhældning	
Clay %	Ler indhold, middelværdi 0-200 cm	Århus Universitet, DCA, Tekstur 2024,
Csand %	Grovsand indhold, middelværdi 0-200 cm	
Fsand %	Finsand indhold, middelværdi 0-200 cm	
Silt %	Silt indhold, middelværdi 0-200 cm	
Soil type	Jordartskort (1:200,000)	GEUS
Geomorphology	Geomorfologi	
Landscape type	Landskabselementer	Århus Universitet, DCA, Den Danske Jordklassificering

Land use land cover	Arealanvendelse	Copernicus CORINE Land Cover 2018
Paved area fraction	Befæstelsesgrad	Klimadatastyrelsen
Depth to chalk	Dybde til kalk	GEUS, HIP-model
Thickness of uppermost sand	Tykkelsen af det øverste sandlag	
Thickness of uppermost clay	Tykkelsen af det øverste lerlag	
Thickness of uppermost aquifer	Tykkelsen af det øverste magasin	
Heterogeneity top 30 m	Antallet af sand/lerovergang i de øverste 30 m	
HIP100m winter median/summer	Simuleret vinter og sommer median fra HIP 100 m modellen	

Den fremskrevne ændring af gennemsnitlig vintergrundvandsstand i 100 × 100 m opløsning

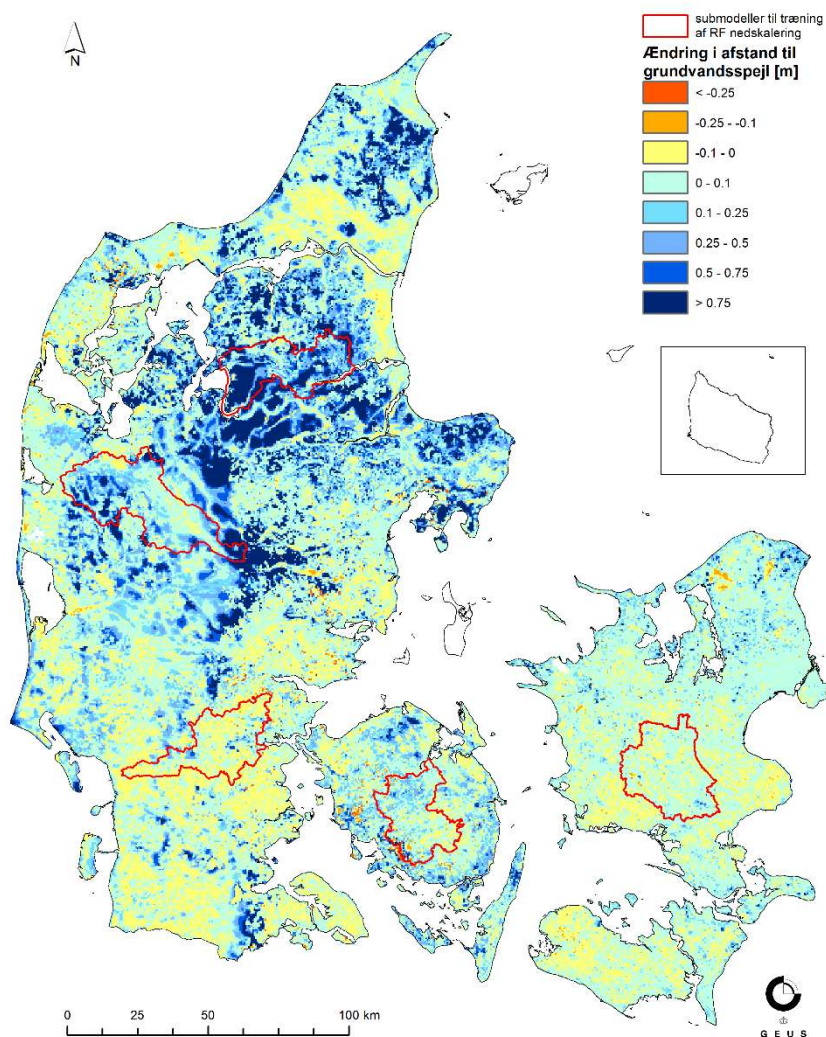
På grund af beregningsmæssige begrænsninger kan den landsdækkende DK-model HIP model i 100 × 100 m opløsning ikke køres med ensemblet af de 17 udvalgte klimamodeller på samme måde som udført for 500 m modellen. For alligevel at kunne angive effekten af klimaændringerne på grundvandsspejlet i den ønskede finere opløsning på 100 m gennemføres en nedskalering af de landsdækkende klimafremskrivninger fra 500 m modellen.

Klimakørslerne er udført for to 30-årige perioder: en referenceperiode og en fjern fremtidsperiode. Klimadata for referencekørslen er udtrukket for perioden 01-01-1991 til 31-12-2020, mens klimadata for fjern fremtid er udtrukket for perioden 01-01-2071 til 31-12-2100.

For hvert klimascenarie er der beregnet vintergennemsnit for dybden til grundvandsspejlet i både referenceperioden og fjern fremtid. Ændringen er derefter bestemt som forskellen mellem disse to perioder, og medianen af ændringerne på tværs af klimascenarierne er beregnet.

Nedskaleringsmodellen anvender efterfølgende en række forklarende variable, som alle foreligger som landsdækkende kort i 100 m opløsning, til at nedskalere ændringen beregnet i 500 m grid til 100 m grid. Targetvariablen er den simulerede ændring i vintergrundvandsstanden i fremtiden. Formålet er at prædiktere disse ændringer landsdækkende i 100 m opløsning baseret på klimafremskrivninger, som oprindeligt foreligger i 500 m opløsning.

For at etablere træningsdata til nedskaleringsmodellen modellen i 100 m er der anvendt simuleringer fra fem udvalgte delmodeller, hver kørt med fem klimamodeller. Delmodellerne er vist i Figur 9. For disse delmodeller foreligger ændringer i grundvandsstanden både i 500 m og 100 m opløsning beregnet med den hydrologiske model. Dermed findes de "sande" værdier i begge opløsninger, hvilket gør det muligt at træne nedskaleringsmodellen baseret på delmodellerne. I det næste trin anvendes de trænede modeller til at prædiktere ændringer i 100 m opløsning på landsdækkende skala.



Figur 9 - De fem udvalgte delmodeller til træning af nedskaleringsmodellen til nedskalering: DK6 South, DK5 West, DK4 North, DK3 og DK1 South. Vist sammen med ændringen i den gennemsnitlige dybde til det øverste grundvandsspejl for fjern fremtid og RCP8,5 fra klimafremskrivningerne i 500 m opløsning.

5.5. Beregningsmetode

Den historiske median vintergrundvandsstand i 10×10 m opløsning

Der er anvendt en gradient boosting-algoritme med beslutningstræer, Microsoft's LightGBM i python 3.12, for at simulere den historiske median vintergrundvandsstand i 10×10 m opløsning for perioden 1991-2025. Modellens hyperparametre er blevet optimeret for at opnå den bedste nøjagtighed på et uafhængigt testsæt. Modellen anvender middelabsolutfejlen (MAE) som objektivfunktion. LightGBM-parametriseringen er vist nedenfor.

```
params = {
    "objective": "regression",
    "metric": "mae",
    "verbosity": -1,
    "boosting_type": "gbdt",
    "device": "cpu",
    "random_state": 42,
    "num_threads": 50,
    "learning_rate": 0,0150993907142593,
    "max_depth": 14,
    "num_leaves": 59,
```

```

"subsample": 0,85,
"colsample_bytree": 0,6,
"min_data_in_leaf": 8,
"lambda_l1": 0,1393225459862226,
"lambda_l2": 0,8967107989225824,
"min_gain_to_split": 0,0632902141602129,
"bagging_freq": 1
}

```

Den fremskrevne ændring af gennemsnitlig vintergrundvandsstand i 100 × 100 m opløsning

Der er anvendt en random forest (RF) algoritme, scikit-learn's implementering i python, for at nedskalere den fremskrevet ændring af gennemsnitlig vintergrundvandsstand fra 500 × 500 m til 100 × 100 m opløsning. Modellens hyperparametre er blevet optimeret for at opnå den bedste nøjagtighed på et uafhængigt testsæt. Modellen anvender middelabsolutfejlen (MAE) som objektivfunktion. RF-parametriseringen er vist nedenfor i tabellen.

Tabel 11 - RF regressor hyperparametre

hyperparametre	forklaring	værdi
n_estimators	antal beslutningstræer i regressoren	200
max_depth	maksimal dybde af beslutningstræet	30
min_samples_split	minimum antal af samples for at splitte et node	5
max_features	antal af forklarende variabler som et split er baseret på	0.5*n_features
min_samples_leaf	krævet minimum antal af samples til et node	10
bootstrap	skal datasættet bootstrappes, dvs. bruges kun en del for hvert beslutningstræ?	True

Den fremskrevne ændring i gennemsnitlig vintergrundvandsstand i 100 × 100 m opløsning dækker ikke hele Danmark, da datalaget er begrænset til DK-modellens simulationsdomæne. Dette betyder, at visse øer, herunder Samsø, Læsø, Anholt samt andre mindre øer, ikke er inkluderet i datagrundlaget. Det samme gælder for enkelte kystceller, som ligger uden for DK-modellens simulationsdomæne. For at kunne beregne en fremskrevet vintergrundvandsstand også for disse områder bliver middelværdien af de fremskrevne ændringer anvendt i de celler, hvor data mangler. Den middelværdi, der er anvendt til at udfylde de manglende celler, svarer til en stigning i vintergrundvandsstanden på 21 cm i perioden 1971-2100 under udledningsscenarioet RCP8,5.

6. Erosion

6.1. Datablad

Tabel 12 - Datablad for erosion – datagrundlag og modelopsætning

Erosion	
Udledningsscenario	SSP3-7,0 (median)
Planlægningshorisont (årstal)	År 2125
Gentagelsesperiode i slutning af planlægningshorisont	100 års-hændelse.
Højdemodel (årstal)	2015.
Randbetingelser	Kronisk erosion: Nationale erosionsrater baseret på bl.a. DHI (2013). Klimabetinget erosion: DMI's - relative havniveaustigninger til SSP3-7,0 scenario. Akut erosion: DHI bølgedata KDI kystprofiler.
Model(værktøj)	XBeach (akut), sedimenttransportkapacitetsmodel (kronisk) og modificeret Bruuns regel (klimabetinget).
Modelbeskrivelse	XBeach er en 2D (anvendes som 1D surfbeat) model som simulerer tværtransport i kystprofiler.
Datagrundlag	- Bølgedata (DHI metocean) - Profilopmålinger (KDI) - Historiske kystlinjer - Kysttyper - Relative Havspejlsstigninger (DMI) - Vandstandsdata - Højvandsstatistikker - Erosionsfarelinje (manuel optegnet for 2024) - Flybilleder - Sedimentkornstørrelsesfordeling (KDI) - Jordartskort (GEUS) - Højdemodel (Klimadatastyrelsen)
Rumlig opløsning	Vektordatalinje baseret på information fra punkter med 5 m afstand.
Varighed af hændelse	Få timer til 4 døgn (akut).
Inddeling af DK i områder	- Jordart (GEUS) - Kysttyper (KDI) - Relative havniveau ændringsområder (DMI) - Eksponeringsgrader (KDI)
Format	GeoPackage (gpkg)
Henvisninger til yderligere info	Kystdirektoratet (2016). <i>Kystanalysen</i> Kystdirektoratet (2016). <i>Kortlægning af erosion og oversvømmelse</i> Kystdirektoratet (2021). <i>Metoderapport for Kystplanlægger</i> DHI (2013) <i>Erosionsatlas metodeudvikling</i>

6.2. Beskrivelse af kortlægningen af potentielle fareområder for kysterosion

Kortet over potentielle fareområder for kysterosion viser den samlede potentielle kysterosion frem mod år 2125 inklusiv effekten af en 100-års stormhændelse. Kysterosionen er repræsenteret som et sammenhængende bånd, der strækker sig landværts fra en defineret erosionsfarelinje. Den samlede erosion udgøres af tre bidrag: kronisk erosion (langsigtet udvikling), klimabetinget (havniveaustigninger) og akut erosion (stormhændelser). Disse er beregnet separat og sammenstillet i det endelige datasæt.

Metoden for udarbejdelse af erosionsfarekortet kan deles i følgende fire spor: erosionsfarelinje, kronisk erosion, klimabetinget erosion og akut erosion. De fire spor beskrives i de følgende afsnit hvor beskrivelser af kortlægning, datagrundlag og beregningsmetoder fremgår.

Erosionsfarelinje

Erosionsfarelinjen er manuelt digitaliseret langs hele den danske kystlinje på et ortofoto fra 2024 (GeoDanmark) og fastlagt ud fra geomorfologiske indikatorer, der markerer overgangen mellem stabile og mere dynamiske kystmiljøer (eksempelvis grænsen mellem sand og vegetation). Placeringen varierede mellem kysttyper: på sand- og stenkyster tegnes linjen langs søværts grænsen af sammenhængende vegetation, på klitkyster og bløde klintekyster langs skræntfoden, på marsk langs veludviklet vegetation, og på klippekyster ved grænsen mellem klippe og vand. Langs udbyggede kyster blev linjen placeret i forhold til eksisterende konstruktioner for at afspejle den potentielle erosionsfare. Den digitaliserede linje blev konverteret til et punkt-shapefile med punkter hver 5. meter (ca. 1,5 mio. punkter i alt), hvor hvert punkt blev tildelt attributdata som kysttype, jordart, erosionsklasse og forventet havniveaustigning til brug i efterfølgende analyser.

Kronisk erosion

Kronisk erosion er fastlagt på baggrund af eksisterende nationale erosionsrater, som beskriver den gennemsnitlige årlige tilbagerykning af kystlinjen fra Erosionsatlas (2013), Kystanalysen (2016) og Kystplanlægger (2021).

Erosionsraterne er fastlagt ud fra en kombination af observerede og beregnede forhold. Den historiske udvikling af kystlinjen er analyseret fra kortmateriale mellem 1897-2003, primært for strækninger der ikke har været befæstet med hård kystbeskyttelse. Udover dette er sedimenttransportkapacitetsberegninger bestilt af Kystdirektoratet, og udarbejdet af DHI brugt ved befæstede strækninger. Derudover er detaljeret sedimentbudget ved den jyske vestkyst anvendt. Ved mere komplekse strækninger, hvor de nævnte metoder ikke har været passende at bruge, er der foretaget en kystteknisk vurdering bl.a. ud fra frit stræk.

De beregnede/vurderede erosionsrater er generaliseret til en landsdækkende screening og klassificeret i forskellige erosionsklasser:

Lille	0,05 m/år
Moderat	0,3 m/år
Stor	0,75 m/år
Meget stor (indre kyst)	1 m/år
Meget stor (vestkyst)	3 m/år

I kortlægningen er erosionsraterne omsat til en samlet tilbagerykning frem mod 2125 og projiceret landværts fra erosionsfarelinjen. Der er ikke foretaget ændringer i de bagvedliggende beregninger, men den rumlige repræsentation er justeret i forhold til den fastlagte erosionsfarelinje.

Klimabetinget erosion

Klimabetinget erosion er beregnet på baggrund af fremskrivninger af relative havniveaustigninger fra DMI's KlimaAtlas for scenariet SSP3-7,0 (median), opgjort for 36 kystregioner og korrigeret for landhævning. Klimabetinget erosion er beregnet ved anvendelse af Bruuns regel, som beskriver den forventede tilbagerykning af kystlinjen som følge af havniveaustigning og den deraf følgende tilpasning af kystprofilet. Bruuns regel beregner kystens tilbagerykning ud fra forholdet mellem havniveaustigning og kystprofilets hældning:

$$R = \frac{S * L}{h + B}$$

hvor R er den forventede kysttilbagerykning, S er havniveaustigningen, L er bredden af det aktive kystprofil, h er den aktive dybde, og B er højden af det aktive profil.

Den beregnede klimabetingede tilbagerykning (R) repræsenterer et selvstændigt bidrag til den samlede kysterosion og skal forstås som et tillæg til de kroniske erosionsrater. Hvor de kroniske erosionsrater beskriver den historiske og langsigtede udvikling af kystlinjen, udtrykker R den yderligere tilbagerykning som følge af fremtidige havniveaustigninger. De to bidrag beregnes uafhængigt og sammenstilles efterfølgende i den samlede vurdering af potentiel kysterosion.

I denne analyse anvendes standardiserede hældninger frem for at beregne en hældning ud fra L, h og B. Hældningerne tildeles på baggrund af kystens eksponeringsklasse for akut erosion, hvor eksponeringsklasserne spænder fra lav til meget høj, svarende til profilhældningerne 1:10, 1:25, 1:40 og 1:100 hhv.

Bruuns regel anvendes direkte på sandede kyster. For bløde klintekyster anvendes en modificeret udgave af Bruuns regel, hvor den beregnede tilbagerykning reduceres med en koefficient på 0,25. Denne justering afspejler, at bløde klintekyster generelt udviser en større modstandsdygtighed over for havniveaustigninger end sandede kyster. Reduktionskoefficienten anvendes på kysttyper, der ikke fuldt ud opfylder modellens oprindelige forudsætninger. I forbindelse med dette arbejde er en række reduktionskoefficienter afprøvet på 15 kyststrækninger med bløde klintekyster, hvor en koefficient på 0,25 viste sig at give en passende reduktion for denne kysttype.

For øvrige kysttyper, herunder indre vadehavskyster, tilgroningskyster og klippekyster, er Bruuns regel ikke anvendelig, idet de dominerende morfologiske og sedimentære processer adskiller sig væsentligt fra de forudsætninger, som Bruuns regel bygger på. Der blev derfor ikke beregnet klimabetinget erosion relateret for disse kysttyper.

Akut erosion

Akut erosion er betegnelsen for den tilbagerykning af kysten, som opstår gennem bølgepåvirkning af en kyst under stormhændelser.

Faren for akut erosion er fastlagt på baggrund af data fra Kystplanlægger (2021), hvor den akutte erosion blev estimeret ved brug af en numerisk model (XBeach), som beregner tilbagerykningen på en kyst under en stormhændelse.

XBeach er udviklet af Deltares til at modellere den akutte erosion, på tværs af kysten, på sandede kyster under en stormhændelse. XBeach har fokus på den indre aktive del af kystprofilet og modellerer de processer, der er betydende for den akutte erosion. Kystprofilet påvirkes af de hydrodynamiske forhold under en storm i form af en forhøjet vandstand og tilhørende bølgeklima. Effekten af stormen, dvs. kysttilbagerykningen, beregnes i den 'tørre del' af kystprofilet som f.eks. skræntens tilbagerykning.

Den akutte erosion er beregnet i forbindelse med udarbejdelsen af Kystplanlægger 2020 på basis af 15 XBeach modelleringer for hele landet. I denne udpegning er raterne for akut erosion for en 100-årshændelse i nutid anvendt.

Eksisterende passiv kystbeskyttelse i form af fx skråningsbeskyttelse og bølgebrydere påvirker den akutte erosion. Effekten af de passive anlæg er ikke medtaget i udpegningen af akut erosion.

Der er ikke angivet fare for akut erosion inden for 200 m af kyster hvor jordartskortet viser ler eller kridt.

Datasættet er ikke opdateret i forhold til Babet stormen i 2023 og underestimerer faren for akut erosion på de østdanske kyster, fx ved Køge og Faxe bugter og Sønderborg.

Der er for akut erosion ikke foretaget ændringer i de bagvedliggende beregninger foretaget ifm. Kystplanlægger 2020, men den rumlige repræsentation er justeret i forhold til den fastlagte erosionsfarelinje.