



Kortlægning af tørke, hede og vind

Enter subtitle (maximum 2 lines)

Holbæk Kommune

Dato: 31 maj 2024

Indhold

Forord	3
1. Introduktion	4
2. Tørke	6
2.1 Udfordringer og konsekvenser ved tørke	7
2.2 Tørkekort: Metode og udvikling	9
2.2.1 Tørke i Holbæk Kommune i dag	9
2.2.2 Tørke i Holbæk Kommune i fremtidigt klima	11
2.3 Anvendelse af tørkekortet	15
2.4 Virkemidler til håndtering af tørke	16
3. Hede og urbane hedeøer	19
3.1 Udfordringer og konsekvenser ved hede	20
3.2 Hedekort: Metode og udvikling	21
3.2.1 Hede i Holbæk Kommune i dag	21
3.2.2 Hede i Holbæk Kommune i fremtidigt klima	23
3.3 Anvendelse af hedekortet	27
3.4 Virkemidler til håndtering af varme/hedebølger samt urbane hedeøer	28
4. Vind	34
4.1 Udfordringer og konsekvenser ved vind	34
4.2 Vindkort: Metode og udvikling	36
4.2.1 Vindforhold for Holbæk Kommune i dag	36
4.2.2 Vindforhold for Holbæk Kommune i fremtidigt klima	40
4.3 Anvendelse af vindkort	44
4.4 Virkemidler til håndtering af vind	45
5. Konklusion	47
6. Dataleverance	49
7. Referenceliste	54

Forord

Dette notat er udarbejdet i regi af DK2020/Klimaalliancen med det formål at understøtte Holbæk Kommunes vurdering af risiko for tørke, hede og vind, som er nye udfordringer i den danske klimatilpasning.

Da oversvømmelse fra forskellige kilder er velbelyst i den danske klimatilpasningspraksis, fokuserer dette notat på tørke, hede og vind, hvor vind er afgrænset fra konsekvenser og skader, der er tilknyttet nedbør eller stormflod.

Notatet er ledsaget af tre sæt af screeningskort indenfor hhv. tørke, hede og vind, som har det formål at bidrage til, at kommunen kan kvalificere dens risikovurdering indenfor disse tre emner i Klimatilpasningsplanen. Notatet peger ydermere på mulige virkemidler og forvaltningspraksis.

1. Introduktion

Tørke, hede og vind er nye udfordringer i den danske klimatilpasning, der indtil i dag primært har håndteret oversvømmelser.

Særligt sommeren 2018 bemærkede sig ved at være den længste tørkeperiode registreret varende fra maj til august (DMI, 2022). I denne periode, opstod der over 2.000 naturbrande, hvilket gav ekstraordinær travlhed for redningsberedskabet. I landbruget blev kornhøsten historisk lav, og der blev kompenseret med en tørkepakke til landbruget på 280 millioner kroner inklusiv en ændring af bekendtgørelse om vandindvinding og vandforsyning med muligheden for korttidsstilladelser til øget vandindvinding. Der opstod også udfordringer i vandforsynings-, energi- og transportsektorerne, og de fleste husker formentlig vandingsforbuddet.

Det medførte betydelige økonomiske tab og ressourcepres på myndigheder. Miljømæssige konsekvenser for plante- og dyreliv, fx blev fiskedød også konstateret (Beredskabsstyrelsen, 2022).



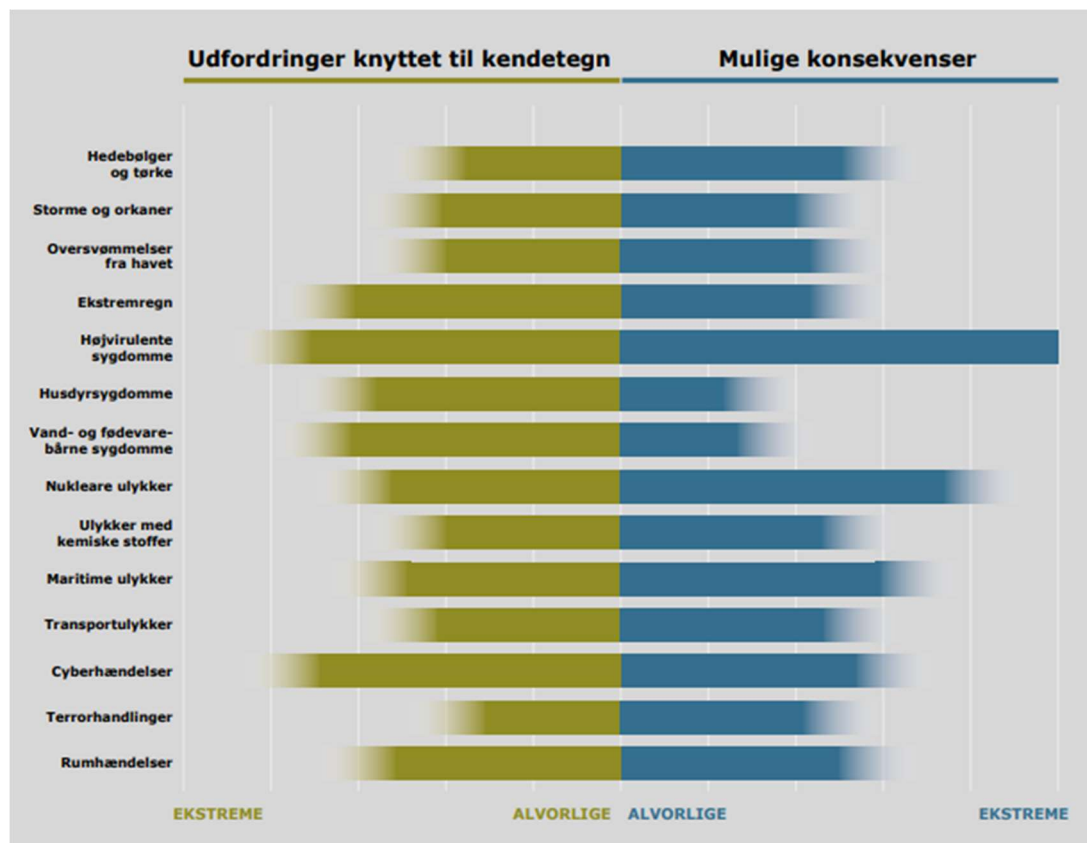
Figur 1.1: Danmark set fra satellit den 13. maj (t.v.) og den 19. juli (t.h.) 2018 efter to måneder med tørke. (vejrtv2.dk, foto: Aqua-satelliten/NASA).

Danmark oplevede omfattende lokale, regionale og landsdækkende hedeølger. På hospitalerne var der rekordmange indlæggelser pga. dehydrering og hedeslag, og varmen estimeres at have medvirket til, at der døde 250 personer mere end normalen (SSI, 2018).

I det høje udledningsscenarie RCP8.5 vil Danmark ifølge KlimaAtlas i perioden 2071-2100 opleve, at den årlige gennemsnitstemperatur stiger med ca. 3,4 grader, og i takt med den globale opvarmning vil risikoen for især tørke og hede stige. Konsekvenser forbundet med klimaforandringerne påvirkninger på vind, når det ikke handler om stormflod, havvandsstigning og kysterosion, er meget ny i dansk kontekst, og der ligger ikke samlet viden på området endnu. Men FNs klimapanel (IPCC) 6. vurderingsrapport finder at hyppigheden og intensiteten af storme, herunder stærk vind, sandsynligvis vil stige i Nord- og Centraleuropa (IPCC 2021).

Orkanen i 1999 var den stærkeste storm i Danmark i de seneste hundrede år. Orkanen forårsagede stormfald i skovene i Sønderjylland, Fyn og sydlige del af Sjælland med vindstød på op til 50 meter per sekund. Der væltede ca. 3,6 mio. m³ træ.

Tørke, hede og vind er allerede i dag angivet som en national risiko, hvor det nationale risikobillede for 2022 (Beredskabsstyrelsen, 2022) relaterer fire ud af 14 risici til ekstremt vejr, herunder hedebølger og tørke, storme og orkaner, oversvømmelser fra havet, samt ekstremregn jf. figur 1.2. Hvor dette notat afgrænser sig fra konsekvenser og skader forårsaget af vand.



Figur 1.2: National risikobillede 2022 (Beredskabsstyrelsen, 2022).

I de følgende kapitler introducerer dette notat konsekvenser og udfordringer indenfor henholdsvis tørke, hede og vind samt præsenterer udviklingen og anvendelsen af de tre sæt tilknyttede screeningskort. Til inspiration for indsatser til klimatilpasningen lister notatet eksempler på virkemidler og deres synergier eller afledte effekter for så vidt muligt at sikre en helhedsindsats i klimatilpasningen.

2. Tørke

I Danmark hører vi ofte tørke omtalt i medierne med DMI's tørkeindeks som indikator. Tørkeindekset er bestemt ud fra en vandbalance model, der nulstilles en gang om året, den 1. marts. Tørkeindekset kan illustreres som et magasin med 100 mm vand (svarende til 100 liter pr. m²), der fyldes den 1. marts og afhængigt af fordampning, nedsivning og nedbør hhv. tømmes og fyldes. Når vandmængden i magasinet falder, som følge af fordampning, og/eller nedsivning, stiger tørkeindekset, og når vandmængden stiger som følge af nedbør, falder tørkeindekset. Tørkeindekset kan ifølge DMI bruges til at få en overordnet vurdering af tørkeforholdene i Danmark, at vurdere vandingsbehov og vurdere brandfare i naturen (Scharling & Vilic, 2009). DMI har beregnet tørkeindeks siden 2005. Antallet af dage med højt tørkeindeks varierer generelt meget fra år til år. Det samme gør datoen for, hvornår tørken begynder at indtræffe. Begge disse tal er indikatorer for, hvor tørkeramt Danmark har været, både som helhed og på kommunalt plan.

I praksis er den lokale konsekvens af tørke mere nuanceret. De afledte effekter af tørke afhænger også af faktorer som jordbundsforhold, vegetationstyper, den dybereliggende geologi samt tilgængeligt vand fra andre kilder end direkte nedbør (f.eks. grundvand). Jordbundsforholdene er styrende for den plantetilgængelige vand. Ca. 2 dage efter en nedbørshændelse vil en given jord, hvor der sker fri dræning, have nået markkapacitet. Markkapacitet er når vandindholdet i jorden ikke længere falder på grund af nedadrettet strømning som følge af tyngdekraften og udgør dermed mængden af vand jorden kan holde på. Markkapaciteten vil være afhængig af jordtypen, og sandede jorde vil typisk have en lavere markkapacitet end lerede jorde. En anden parameter, der er styrende for mængden af vand, der er tilgængelig for planterne, er visnegrænsen. Visnegrænsen er, når vandindholdet bliver så lavt, at planterne ikke længere kan trække vand ud af jorden. Visnegrænsen er generelt lavere for sandjorde end for lerjorde. Den plantetilgængelige vandmængde i jorden udgøres af differencen imellem markkapaciteten og visnegrænsen inden for rodzonen. Denne forskel er generelt større for lerjorde end for sandjorde, hvilket generelt gør lerede jorde mere robuste over for tørke.

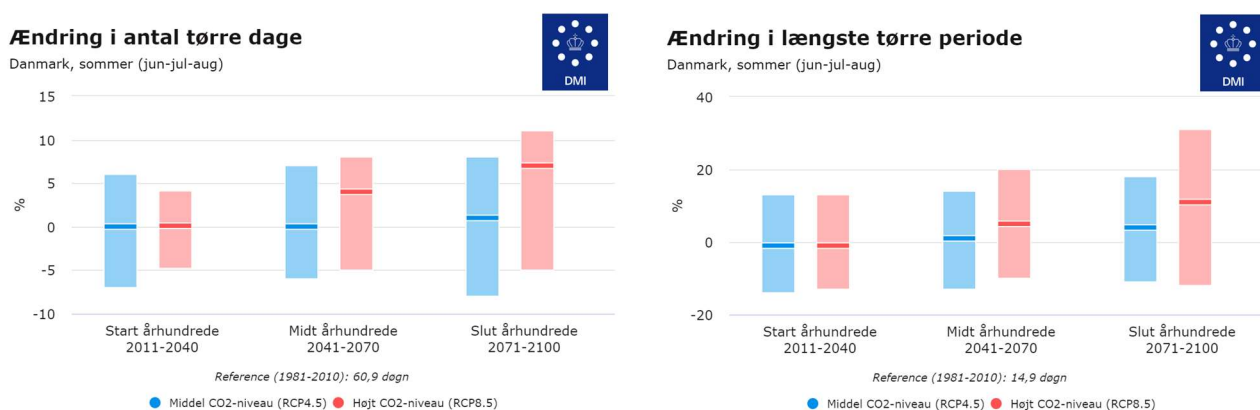
Den dybereliggende geologi vil ligeledes have en effekt på, hvor god jorden er til at holde på vandet. I områder, hvor den terrænnære geologi primært består af sand, vil dræningen generelt ske hurtigere end i tilsvarende områder med et højere indhold af ler i den terrænnære geologi.

Typen af vegetationen er ligeledes medbestemmende for tørkerisikoen. Forskellige typer af vegetation vil i kombination med forskellige jordtyper resultere i forskellige dybder af rodzonen, og dermed hvor dybt planterne kan udnytte vand og næringsstoffer (Thorup-Kristensen & Kirkegaard, 2016; Styczen, et al., 2006; Canadell, et al., 1996). I områder, hvor grundvandet i sommerperioden står dybere end rodtybden, vil planterne være mere udsatte over for tørkepåvirkning og dermed være direkte afhængige af nedbør eller kunstvanding. Information omkring middel dybden til grundvandet i sommerperioden samt ekstremværdierne kan udtrækkes igennem Hydrologisk Information og Prognosesystem (HIP) (Styrelsen for dataforsyning og effektivisering, 2022). Samlet set vil der derfor være en rummelig variabilitet i, hvor udsat et givent område er over for påvirkning af tørke.

I fremtiden forventes der i hele landet længere tørre perioder og flere tørre dage i sommermånederne (juni, juli og august). Ifølge DMI's klimaatlas forventer man i slutningen af århundredet ved RCP4.5-scenariet at se en stigning i antallet af tørre dage om sommeren på 1%, og at længden af den længste tørre periode vil stige med 4%. Tørre dage defineres som dage med under 1 mm nedbør. Ved RCP8.5-scenariet forventes der en stigning i antallet af tørre dage i sommeren på 7% og længden af den længste tørre periode vil stige med 11% i år 2100. Dette er ift. et referenceantal på 60,9 tørre dage i sommeren over hele landet. Referencen for det maksimale antal af sammenhængende tørre dage er 14,9 for hele landet (DMI, 2024a). Afsnit 2.2.1 angiver stigningen i tørre dage og perioder for Holbæk Kommune.

Fremtidsscenarierne er forbundet med betydelig usikkerhed. Af Figur 2.1 viser prognoserne for henholdsvis ændring i antallet af tørre dage og ændringen af længste tørre periode for hele Danmark. Medianværdien er vist med en horisontal streg og usikkerheden, som udspænder båndet imellem 10% og 90% fraktilen er vist med udtonet farve. Det er mest sandsynligt, at der sker en stigning i antallet af tørre dage og længden af den længste periode med tørre dage. Usikkerheden spænder dog også over en reduktion i begge parametre.

I analysen der er fokuseret på Holbæk Kommune er der fokuseret på median værdierne, og usikkerheden på analyserne er ikke visualiseret.



Figur 2.1: Ændring i antal tørre dage og længste tørre periode i sommermånederne for hele Danmark (DMI, 2024a).

2.1 Udfordringer og konsekvenser ved tørke

Tørke har særligt konsekvenser i det åbne land, herunder for landbrug og natur. Der er sikkert nogle der kan huske, at flere vandværker udstedte vandingsforbud i 2018. Da grundvandsdannelsen sker hen over efteråret og vinteren, hvor den aktuelle fordampling er mindre end nedbøren, skyldes vandingsforbuddet ikke en mangel på grundvand på grund af tørke. Forbuddet skyldes, at vandværkerne ikke kan følge med efterspørgslen, når forbrugerne bruger af drikkevandsforsyningen til at vande haven, fylde svømmebassiner mm.

Omkring 20% af landbrugsarealet i Danmark vandes for at sikre høstudbytter, og det er endnu usikkert, hvorvidt tørke i Danmark vil øge behovet for markvanding i den østlige del af Danmark, herunder Holbæk Kommune, der har ganske få markvandingsboringer. Tørke i sommerens vækstsæson betyder reduceret udbytte af årets afgrøder, hvis ikke de får nok vand, hvilket kan have store økonomiske konsekvenser for de landmænd, der bliver ramt. I 2018, hvor der var en usædvanlig lang tørkeperiode estimeres et tab på over 4 mia. kr. i mistet høstudbytte det år. Landbruget vil også være ramt af på andre områder. F.eks. mangel på græs til afgræsning, så tilskudsfoder bliver nødvendig (Olesen et al. 2022). Hvor drikkevandsboringer er dybe boringer, der indvinder vand fra dybe grundvandsmagasiner, henter markvandingsboringer vand tættere på terræn. Landbruget har derfor særskilte indvindingstilladelser for at undgå påvirkning af den våde natur. Tilladelser gives hovedsageligt på sandede jorder og med en begrænset mængde på typisk 100 mm/ha. I 2018 var behovet for vanding 250 mm/ha.

Risikoen for naturbrande øges under tørke og stiger, hvis der også er hede, og meget vind, da vinden medvirker til endnu hurtigere udtørring af vegetationen. Tørke medfører altså højere brandrisiko, især i form af naturbrande, og ved hede og øget vind vil eventuelle naturbrande sprede sig endnu hurtigere, som eksempelvis var tilfældet med branden på Randbøl hede i 2018. Den øgede risiko for naturbrande omfatter både de mindre, mere almindelige naturbrande såvel som større skovbrande, klitbrande og underjordiske brande. Den øgede risiko stiger også med

menneskers adfærd fx ved at man griller, anvender ukrudtsbrændere, smider cigaret skodder eller ved at gnister fra landbrugsmaskiner og lignende antænder tør vegetation.



Billede 2.1: Slukningsarbejde på Randbøl hede i 2018. Foto: Michael Drost-Hansen/Ritzau Scanpix

Tørke har endvidere betydning for jordens evne til at tilbageholde vand ved kraftig nedbør, da tør jord har betydeligt sværere ved at optage vand end fugtig jord. Når der så er nedbør efter en længere tørkeperiode, vil regnen i større grad strømme af som overfladevand, i stedet for at infiltrere som det ellers ville i fugtig jord.

Tørke og varme kan have betydning for naturtilstanden i den våde natur. Når vandføringen i et vandløb reduceres, vil det resultere i en forøgelse af temperaturen, som har betydning for bl.a. mange vandplanter. Da varmt vand kan indeholde mindre ilt end koldt vand øges risikoen for iltsvind. Vandmiljøer vil i højere grad være udsat for iltsvind forårsaget af reduceret vandføring og næringsstofudvaskning. Kvælstofoptaget i planter påvirkes negativt af tørke, hvilket kan øge den kvælstofmængde, der er til rådighed for udvaskning (Olesen et al. 2022). Kombineret med øget overfladeafstrømning efter tørkeperioder og varmere temperaturer, øges risikoen for algeopblomstring og iltsvind. Lav vandstand i vandløbene samt udtørring kan derudover påvirke arters reproduktion, fx ved at blotlægge gydebanks, afhængigt af, hvornår på sæsonen tørken falder. Udtørrede vandløb har i 2022 også været et problem i Europa og påvirket bl.a. den Europæiske energiforsyning.

En forstærkende problematik er den øgede vandføring i vandløbene henover vinteren, der kan ændre vandløbsprofilen, så det bliver bredere. Når sommervandføringen så enten er den samme eller lavere, vil vandstanden i vandløbet blive lavere, hvilket kan påvirke vandtemperaturen så denne bliver højere, og/eller blotlægge fx gydebanks hvorved fisk har færre gydemuligheder.

I 2022 var skovdød pga. tørke et andet problem, tørken medførte at særligt grantræer ikke kunne producere harpiks som beskytter dem mod angreb fra barkbiller. Dette har over en årrække påvirket store skovområder i for eksempel Tyskland, men også plantager i Danmark er blevet ramt, hvilket har konsekvenser for træproduktionen.



Billede 2.2: Udtørrede vandløb i 2018. Foto: Daniel Palm Simonsen

2.2 Tørkekort: Metode og udvikling

I det følgende er der udført analyse af nuværende tørkerisiko baseret på den nuværende arealanvendelse og de nuværende geologiske og hydrogeologiske forhold. Dette belyser områder som i større eller mindre grad er udsatte for tørkepåvirkning. For fremtiden er der udtrukket data fra DMI's klimaatlas (DMI, 2024a). Disse data belyser udviklingen i antallet af tørre dage samt udviklingen i længden af de længste tørre perioder for det fremtidige klima.

2.2.1 Tørke i Holbæk Kommune i dag

Der er udarbejdet et tørkekortet for Holbæk Kommune. Tørkekortet viser om områder er i en høj, middel eller lav sandsynlighed for at opleve tørkepåvirkning. Kortet er dermed en relativ skala der fortæller om, hvor effekterne af tørke vil optræde først, og hvor de vil blive mest udtjent. Kortet har en opløsning på 25 x 25 m.

Metoden bag tørkekortet baserer sig på fire funktionsudtryk der er beskrevet neden for. Det resulterende tørkekort er en vægtet sum af resultaterne fra hvert funktionsudtryk.

Første funktion er en sammenligning af den estimerede gennemsnitlige effektive roddybde i et givent område, og dybden til grundvandsspejlet i det samme område om sommeren baseret på HIP (Hydrologisk Informations- og Prognosesystem). Udtrykket siger altså noget om, hvor nemt det er for planterne at nå vandet i jorden. Kortet er baseret på arealanvendelsen inden for et givent område samt den tilhørende forventede vegetationstype. Vegetationstypen er bestemt på baggrunde af arealanvendelsen.

Anden funktion fungerer som det første funktionsudtryk, men i stedet for den gennemsnitlige dybde til grundvandsspejlet, bruges den højeste værdi for sommeren, svarende til 95%-fraktilen.

Tredje funktion er et udtryk for hvordan rodudviklingen for planterne er afhængig af jordarten. Her er områder med jordarter, hvor planter har mulighed for at udvikle længst rødder, mindst risiko for tørkepåvirkning. Kortet er baseret på jordbundstypeskortet.

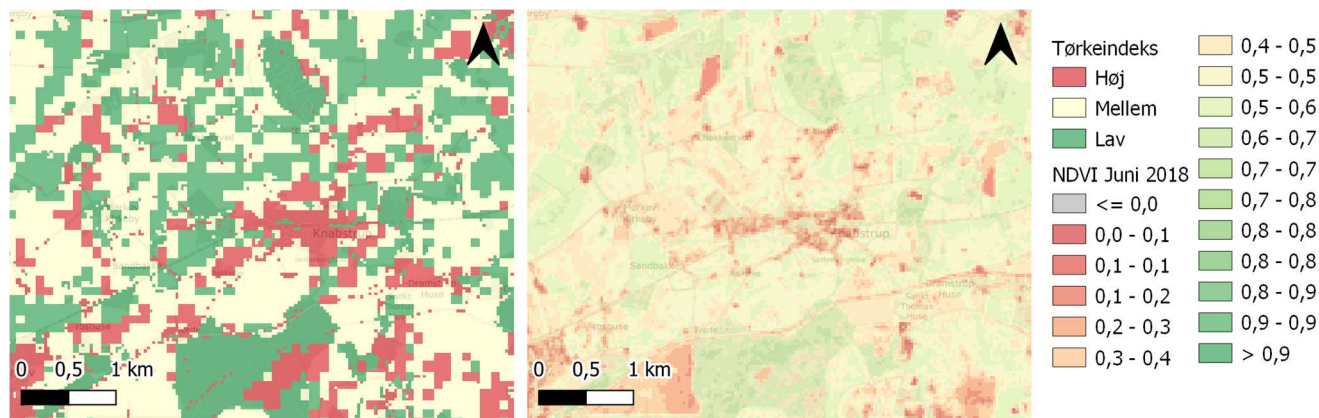
Fjerde funktion relaterer sig til den akkumulerede lertykkelse over førstkommande sandlag i et givent område. I områder med tykke lerlag vil dræningen af de øverste jordlag ske langsommere, end hvis der forekommer sandede aflejringer umiddelbart under de øverste jordlag.

Tørkekortet er baseret på følgende indgående datasæt:

- Frie offentlige hydrologiske data fra HIP, hvor dybden til grundvandsspejlet i sommerens middelsituation samt 95%-fraktilen indhentes. (Styrelsen for dataforsyning og effektivisering, 2022)
- Arealanvendelseskort fra NIRAS, hvor arealtypen relateres til en given roddybde.
- Landbrugsstyrelsens jordbundskort til vurdering af rodudviklingen, vurderet ud fra standard opsætninger i DAISY-modellen. (Styczen, et al., 2006)
- Udtræk fra FOHM-modellen, Danmarks fælles offentlige hydrologiske model, til beregning af de effektive lerykkelser. (GEUS, 2022)

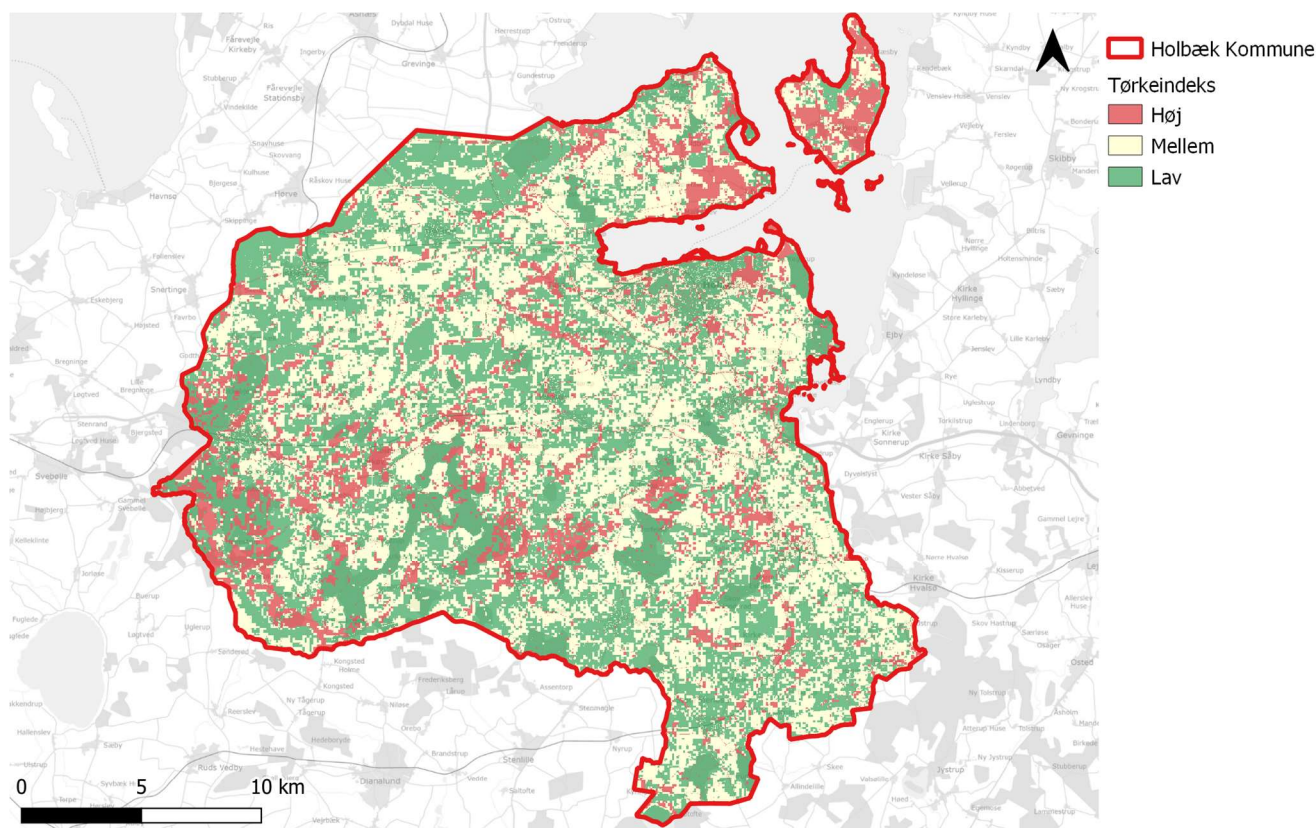
Tørkekortet baseres dermed i høj grad på statiske og generelle parametre som forventede jordbundsforhold, rodudvikling og grundvandsforhold, og ikke hvordan fordampningen og nedbøren udvikler sig et givent år, ligesom i DMI's tørkeindeks. Tørkekortet er dermed også en visualisering af, hvor hårdt et givent område forventes at blive ramt i forbindelse med tørke, og hvilke områder, der vil blive påvirket først.

Da der ikke findes landsdækkende kortlægning af tørkepåvirkning, er det vanskeligt at verificere den faktiske tørkepåvirkning i et givent område. Til verifikation er det derfor valgt, at anvende "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) estimeret fra satellit data, som kan tjene som krydsvalidering af det udarbejdede tørkekort. NDVI beregnes ud fra forholdet imellem det røde bånd og det nær infrarøde bånd. I til udarbejdelse af tørkekortet er beregningerne udført ved anvendelse af Sentinel 2 data. NDVI varierer imellem en værdi på -1 og 1. Værdier mindre end -0,2 tolkes normalt som værende vand. Værdier tæt ved nul indikerer normalt bygninger eller vegetation med dårlig vækst, og værdier tæt på 1 indikerer planter med god vækst. På Figur 2.2 fremgår en sammenligning af det estimerede tørkeindex for et område syd ved Knabstrup syd-vest for Holbæk. Her fremgår det, at generelt er områder i nærheden af vandløb og vådområder i lav risiko grundet højtstående grundvand, og skovområder er overordnet set i lavere risiko end markarealer grundet dybere rodnet.



Figur 2.2: Sammenligning imellem tørkeindex og NDVI for området ved Knabstrup syd-vest for Holbæk i sommeren 2019.

Det samlede tørkekort dækkende Holbæk Kommune fremgår af Figur 2.3.

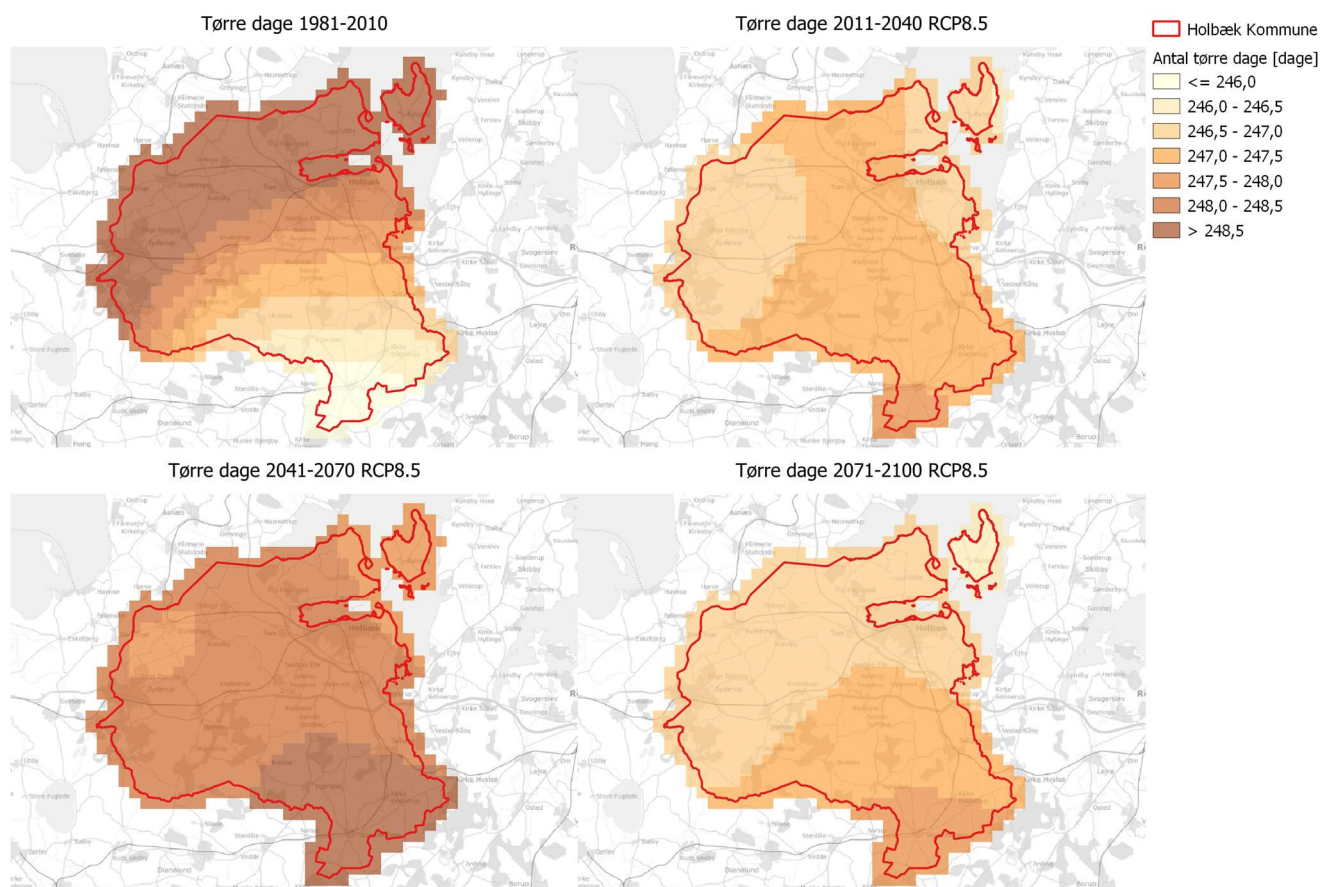


Figur 2.3: Tørkekort dækkende Holbæk Kommune.

2.2.2 Tørke i Holbæk Kommune i fremtidigt klima

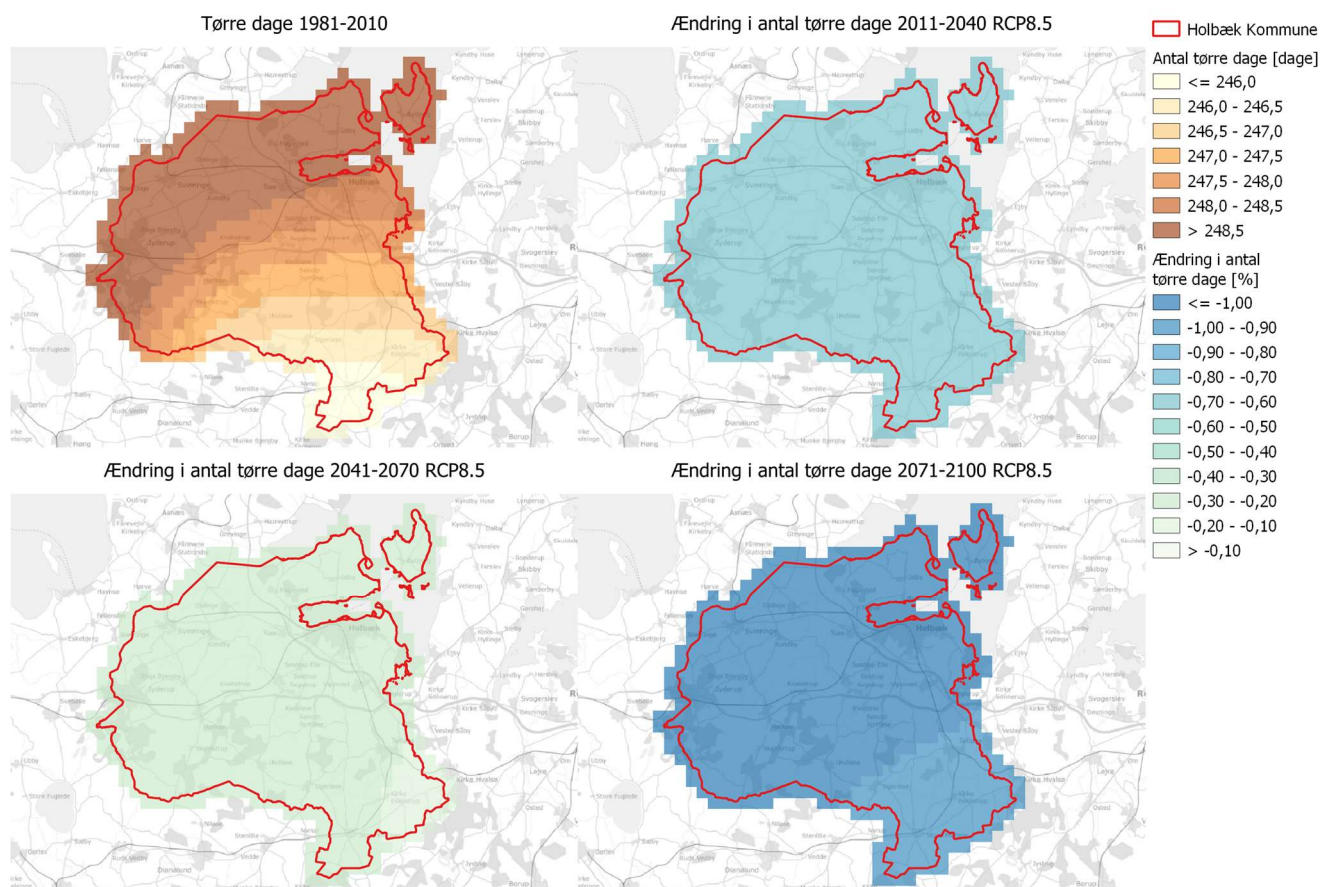
I det følgende gives en gennemgang af resultater omkring tørke i fremtidigt klima. Data er udtrukket fra DMI's klimaatlas (DMI, 2024a) og dækker antal tørre dage og perioder, hvor sidstnævnte dækker over længden af længste sammenhængende periode med tørre dage. Data er visualiseret på 1 km grid celler for klimascenariet RCP8.5 og dækker perioderne start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Figurerne er optegnet på baggrund af medianværdien fra data, og indeholder dermed ikke information omkring spændet imellem beregninger udført med de enkelte klimamodeller.

Figur 2.4 viser fordelingen af antallet af tørre dage i Holbæk Kommune, hvor tørre dage, som tidligere nævnt, defineres som dage med under 1 mm nedbør. Med færrest tørre dage i den sydøstlige del af kommunen og flest tørre dage i den nordøstlige del pga. den primære vindretning fra vest-sydvest og det tilknyttede nedbørsmønster.



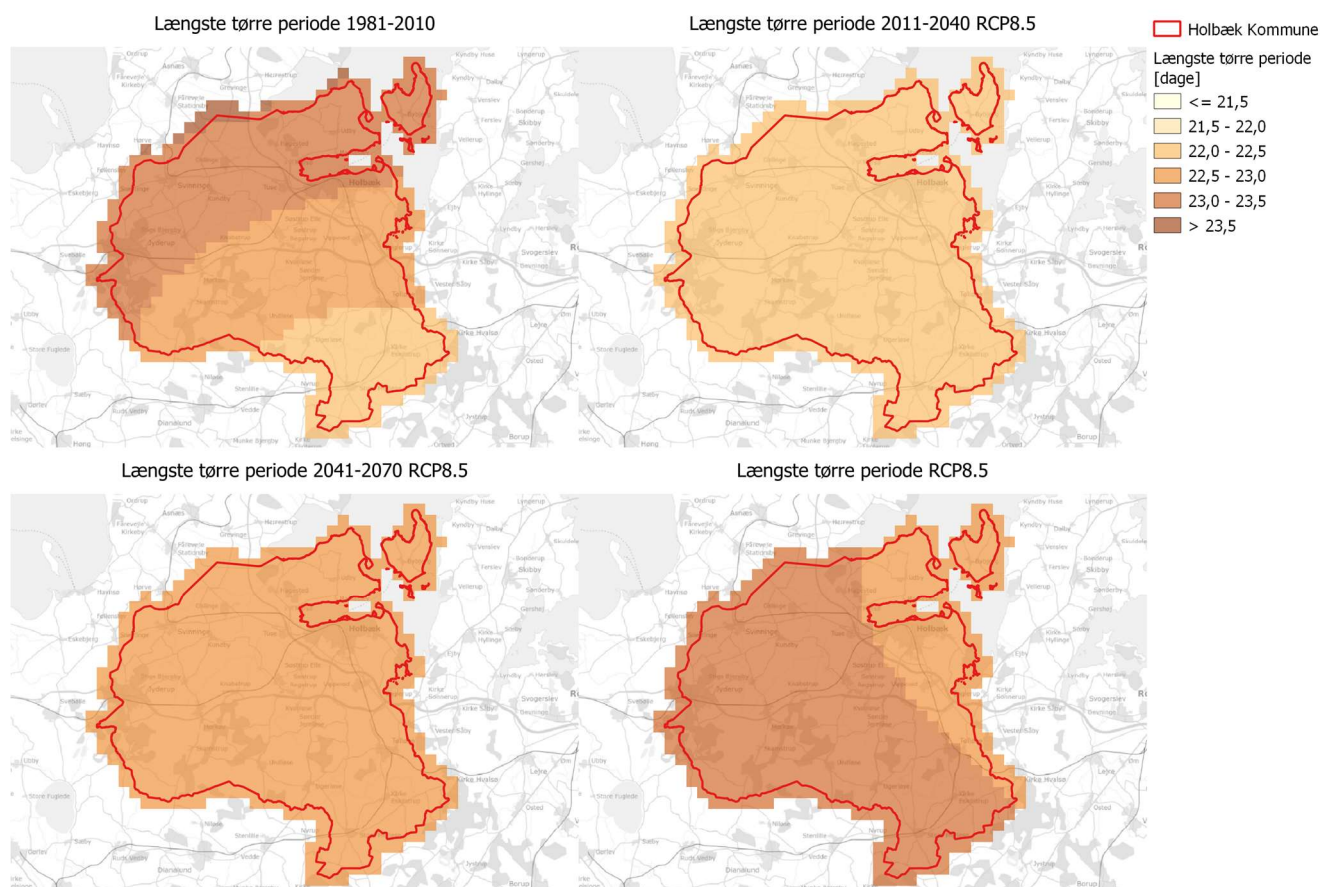
Figur 2.4: Fordeling af antal tørre dage (50% fraktilen) over Holbæk Kommune for hhv. referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

Det fremgår af Figur 1.Figur 2.5, at der sker et fald i antallet af tørre dage i kommunen. Dette skyldes, at Danmark på årsbasis får et vådere klima, men nedbøren vil være ulige fordelt med mere nedbør henover efterår og vinter. Sommernedbøren forventes at være den samme, men fordelt med flere skybrud og flere tørre dage ind imellem. Dette kan endvidere ses af Figur 2.7 og Figur 2.8.



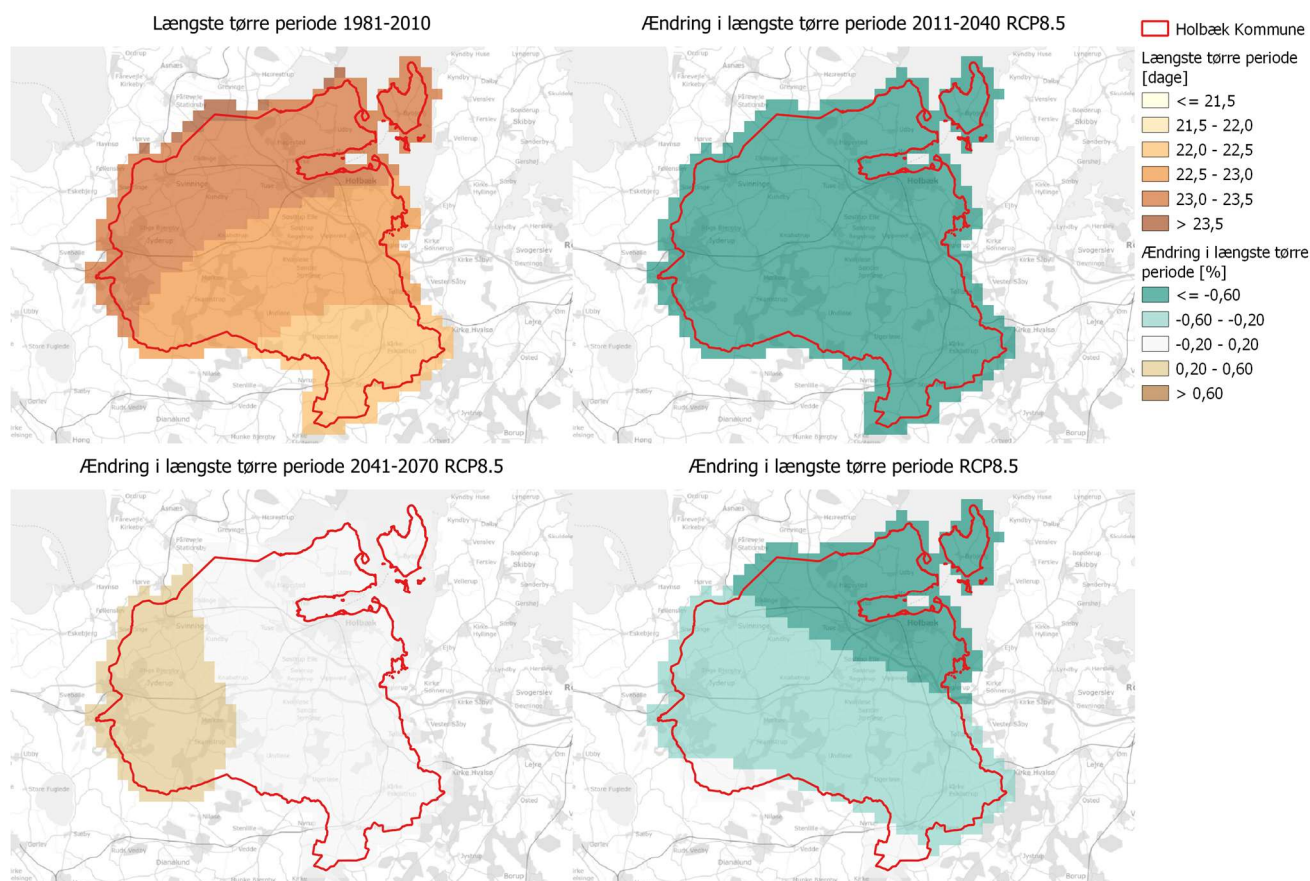
Figur 2.5: Fordeling af antal tørre dage over Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), samt ændringer i antallet af tørre dage i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5

Den ulige fordeling af nedbøren kan som nævnt ses af Figur 2.6 og Figur 2.7. Figur 2.6 angiver antallet af tørre dage og hele kommunen vil have tørre perioder over 22,5 dage i slutningen af århundredet, dette er en stigning på 2 dage for den sydlige del af kommunen ift. referenceperioden.



Figur 2.6: Fordeling af antallet af dage for længste tørre perioder over Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), samt for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

Figur 2.7 angiver ændring i procent i antallet af dage for den længste tørre periode i slutningen af århundredet. Frem til 2040 ser det ud til at antallet af tørre perioder vil falde med 0,6% ift. referenceperioden for derefter at stige 0,2-0,6% i forhold til referenceperioden i midten af århundredet, for derefter at falde igen i slutningen af perioden.



Figur 2.7: Fordeling af antallet af dage for længste tørre perioder over Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), samt ændring i procent i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivninger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

2.3 Anvendelse af tørkekortet

Tørkekortet har en opløsning på 25 x 25 meter og kan anvendes som et prioriterings- og sandsynlighedsværktøj. Tørkekortet kan anvendes til vurdering af, hvilke områder der er specielt udsatte, og hvor tørkepåvirkningen forventeligt vil indtræffe først. Tørkekortet kan desuden anvendes til:

- Planlægning af indsatser i forhold til landbrugsarealer, der er sårbare over for begrænset adgang til kunstvanding, herunder ændring af afgrødevalg, ændring af vandingstype og evt. fornyelse af indvindingstilladelser
- Udpegning af naturområder og vandløb, der potentielt er sårbare over for tørkepåvirkning
- Udarbejdelse af beredskabsplaner i forhold til naturbrande

C40 byerne har især fokus på at sikre drikkevandsressourcen set i relation til tørke, særligt for de områder, der benytter overfladevand til drikkevand. I Danmark sker grundvandsdannelsen i vinterperioden, og da vinternedbøren vil stige, forventes tørke ikke at påvirke grundvandsdannelsen og dermed drikkevandsressourcen. I Danmark påvirker tørken mere det åbne land, og derfor kan mål og indsatser der kan indgå i klimatilpasningsplanen blandt andet indeholde igangsættelse af forberedende dataindsamling og undersøgelser i prioriterede områder for at være på forkant med en tørkesituation for natur og/eller at indgå i dialog med landbruget om fremtidens afgrødevalg.

Holbæk Kommune har kun enkelte markvandingsboringer. I forbindelse med tørkepakken, blev bekendtgørelsen om vandindvinding og vandforsyning ændret således at kommunerne kan udstede korttidstilladelse til vandindvinding fra eksisterende markvandingsboringer i op til 3 måneder. Det er fortsat et krav, at der tages hensyn til naturpåvirkninger. Kommunerne skal f.eks. fortsat tage stilling til, om en korttidstilladelse er forenelig med beskyttelsen af Natura 2000-områder og inddrage hensynet til vandområdeplaner (herunder vandløb). Tørkekortet kan i denne forbindelse bistå kommuner i at prioritere dataindsamling til at kvalificere deres vurderinger, dette belyses nærmere i nedenstående afsnit.

2.4 Virkemidler til håndtering af tørke

Tørke er særligt en udfordring for den våde natur og de arter, der lever i og af den. Tørkekortet kan bidrage til at prioritere indsatser til at gøre den særligt sårbare natur mere resiliens i tørke perioder. Prioriteringen kan foretages ved sammenfald mellem tørkekortes områder med høj risiko for tørke, målsatte vandløb og værdifuld natur. Ift. vandløbene kan tørkekortet hjælpe med at prioritere og fokusere kommunens dataindsamling fx minimums vandføringsmålinger, måling af vandstand, måling af vandtemperatur og observeret vurdering af vandplanter - data der bidrager til at kvalificere vurderingen, og som også kan supplere kommunens eventuelle grundvandsmodel. En kvalificeret grundvandsmodel kan yderligere anvendes til at vurdere hydrologien omkring sårbare naturtyper. Der kan være betydelige forskelle på, hvor udsat sårbar natur er for tørkepåvirkninger. I områder hvor det er den terrænnære hydrologi, der er styrende for naturpåvirkningen, vil risikoen for tørkepåvirkning være størst. Er det derimod det primære grundvandsmagasin og udstrømning her fra, der er styrende for påvirkningen, vil risikoen for tørkepåvirkning være mindre. Den forventede sårbarhed kan analyseres ved udarbejdelse af lokale naturtypologier. Dette er dog ikke en del af analysen dokumenteret i denne rapport.

For nogle vandløb spiller tidspunktet for tørke ind i naturvurderingen, eksempelvis hvis vandløbet udtørre sent vil det ikke påvirke udlækningen af vingeårne insekter, men hvis vandløbet begynder at udtørre tidligere og tidligere på sæsonen er det et problem for nogle vingeårne insekters reproduktion.

Håndtering af tørke ift. landbruget kan gøres igennem forvaltningspraksis og i regi af klimatilpasningsplanen, kan en indsats være dialog med landbruget om ændrede afgrøde- og dyrkningsmønstre. I den kommunale forvaltning, kan tørkekortet med fordel bruges som et værktøj til at prioritere indsamling af nødvendig data til at kunne foretage vurderinger af påvirkning af natur og miljø, og dermed være på forkant i arbejdet til at give indvindingstilladelser.

Prioriteringen af tørkeindsatsen kan også foretages ved at opdatere data ift. de konkrete indvindingstilladelser. De indvundne vandmængder er kendt via de givne indvindingstilladelser. Afgrødevalg og jordtype angiver forudsætningsvis for vandingsbehovet, lidt forsimplet sat op vil Afgrøde X på Jordtype Y bruge Z kubikmeter vand per hektar for at have optimale vækstbetingelser. Kommunen kan herved regne baglæns ift. om den givne indvindingstilladelse er tilstrækkelig. På nogle jorde giver det muligvis mening for landmanden at lægge produktionen om til mere tørkeresistente afgrøder. En indsats i dette tilfælde kan således være, at kommunen iværksætter en dialog med landbrugsorganisationer, lodsejere og rådgivere.

Ifølge Lyngvig, Hvid og Schmidt (i.d.) forventes et tab på 10% af vandingsvand ved brug af vandkanon på en varm, tør og let blæsende sommerdag (25-30 grader, vindhastighed på 5 m/s og 30% luftfugtighed). Der findes andre vandingsmetoder, der har en større nyttevirksomhed af den tilgængelige vandressource fx bomvanding og drypvanding (Lyngvig, Hvid og Schmidt i.d.), metoder som anvendes andre steder i Europa, og hvor drypvanding herhjemme også anvendes i frugt og bærproduktion. Projektet LIFE ACLIMA undersøger metoder til optimering af vanding under et fremtidigt klima og arbejder bl.a. med både drypvanding og sæsonudligning ved vandtilbageholdelse fra vinter til forår/sommer. Projektet er baseret i Belgien, men arbejder med forhold, der er sammenlignelige med danske. På

Samsø har landbruget ligeledes etableret bassiner til at tilbageholde vand fra vinter til sommer og i forbindelse med skybrud til at imødekomme vandingsbehov i tørkesituationer. Der er således viden at indsamle til både at informere og gå i dialog med landbrugsorganisationer, eksempelvis opnåede man på Kreta vandbesparelser på 9-10 % ved at indføre en rådgivningstjeneste for kunstvanding (EEA 2012).

Det forandrede klima med stigende temperaturer og længere tørkeperioder har betydning for de arter vi har etableret, eksempelvis betød tørken i 2022 at særligt grantræer blev angrebet af barkbillerne Typograf og forårsagede skovdød flere steder i Europa og også i Midtjylland, hvor 25 ha af Gludsted Plantage var angrebet. Der er således behov for at lave en artssammensætning, der er mere robust under et varmere og i perioder tørrere klima.



Billede 2.3: Skovdød i Hjælland Plantage på grund af barkbille-angreb. Foto: Anja Marie Bundgaard.



Billede 2.4: Skovdød i Harzen på grund af barkbille-angreb. Foto: Troels Norvin Vilhelmsen

I landbruget betyder flere varme dage, at der kan produceres andre afgrøder, som fx quinoa eller sojabønner, eller afgrøder med større udbytte, som fx majs og solsikker. Dog bringer flere længerevarende tørkeperioder en række udfordringer med sig, som kræver mere resiliente dyrkningssystemer, end dem vi har i dag. Tilpasning af dyrkningssystemer indebærer bl.a. ændrede dyrkningsteknikker, dyrkning og forædling af nye arter og sorter samt praksisændring i jordbearbejdning, dræning, vanding, gødskning og plantebeskyttelse. Udvikling af flerårige afgrøder med dybere rodnet samt tilpasning af jordbearbejdningen for at fastholde og øge roddeybden samt jordens vandholdende evne er særlige væsentlige parametre for at modstå tørke. Det vil ligeledes kunne bidrage til at reducere høstudbyttet på de 80 % af landbrugsarealet, der ikke kan vandes (Olesen et al. 2022).

Informationskampagner og anbefalinger er ikke altid nok. Under tørken i 2018 blev der indført vandingsforbud af nogle vandværker, særligt i Vestjylland og på Sjælland for at sikre vandforsyning til husholdningsbrug og dyrehold i landbruget. Derudover, udstedte Danske Beredskaber afbrændingsforbud i hele landet. De kommunale redningsberedskaber kan også udstede afbrændingsforbud baseret på en vurdering af de lokale forhold. Tabel 2.1. giver en oversigt over virkemidler til at reducere tørke.

Tabel 2.1: Oversigt over de primære virkemidler til at reducere/håndtere tørke

Virkemiddel	Effekt	Synergieffekt	Afledte effekter
-------------	--------	---------------	------------------

Sæsonudligning ved tilbageholdelse af vinternedbør	Forkorte tørkeperioden ved at 'gemme' vand i systemet fra vinter til sommer	Forebyggelse af oversvømmelse, opretholdelse af vandføring i vandløbene, forbedret forhold for våd natur i tørre perioder	
Øge indvinding til markvanding	Øget høstudbytte		Kan medføre påvirkning af målsatte vandløb, sårbar natur eller arters sæsonmæssige reproduktion
Ændret markvandingsmønstre	Mindre fordampning fra vanding og dermed bedre vandudnyttelse	Mindre påvirkning på våd natur	Kræver flere vandingsmaskiner, da der kun kan vandes halvdelen af døgnnet.
Opdatering af data til forbedret vurderinger til indvindingstilladelser	Kvalificeret vurdering af naturpåvirkningen	Mulighed for at udarbejde naturtypologier	
Afgrødeskift	Optimeret udbytte	Optimeret ressourceudnyttelse	Evt. ændret indkomst for landmanden
Mere effektive vandingsmetoder fx bom- og drypvanding	Mindske fordampningen ift. vandingsmaskiner og optimerer vandressourceforbruget fra markvandingen	Holder jorden fugtig, så jorden bedre kan optage vand, når det så regner igen.	En metode, der ikke er udbredt i dansk praksis i dag.
Intelligent drænsystem	Aflukning af dræn, så vand tilbageholdes i længere tid i drænet	Reducere behovet for markvanding	Temperaturen på drænvandet vil evt. øges
Blandingsskov	Mere resilient overfor insektangreb	CO2 binding, køling, biodiversitet	Mindre effektiv skovdrift
Forbud fx vandingsforbud, grill/ild forbud	Reducere risikoen for brand og vandressourceknaphed	Reducerer forbruget af drikkevand til fx fyldning af pools/svømmebassiner/havevanding	
Information og dialog med organisationer, lodsejere og rådgivere	Forberede landbrugs- og naturorganisationer om de udfordringer og løsninger der kan være for landbrug og natur under tørke	Optimeret arealanvendelse ud fra de (nye) naturgivne forhold	Kan give anledning til ændret arealanvendelse, hvilket kan være i konflikt med fx landbrugsstøtte eller oprettelse af beskyttet natur

3. Hede og urbane hedeøer

Byer er særligt sårbare over for stigende temperaturer på grund af varmeø-effekten, som viser, at byområder er 3 til 8 grader varmere end landområder (EPA, 2012). Byens overflader absorberer mere sollys og varme end naturlige landskaber, og byområder mangler vegetation til at afkøle gennem fordampning.

Zoomes der ind på de enkelte byer i hedekortet fremgår det, at varmeøen ikke er jævnt fordelt, men at der på særligt varme dage, kan opstå lokale hedeøer. Hedeøerne kan være farlige særligt for de sårbare grupper, hvis der ikke er mulighed for nedkøling og vand. De udsatte er ældre, personer med kardiovaskulære eller respiratoriske lidelser, spædbørn, samt personer med fedmeproblemer.

C40 byernes Cool Cities netværk peger på følgende fokusområder for at reducere hede i byerne:

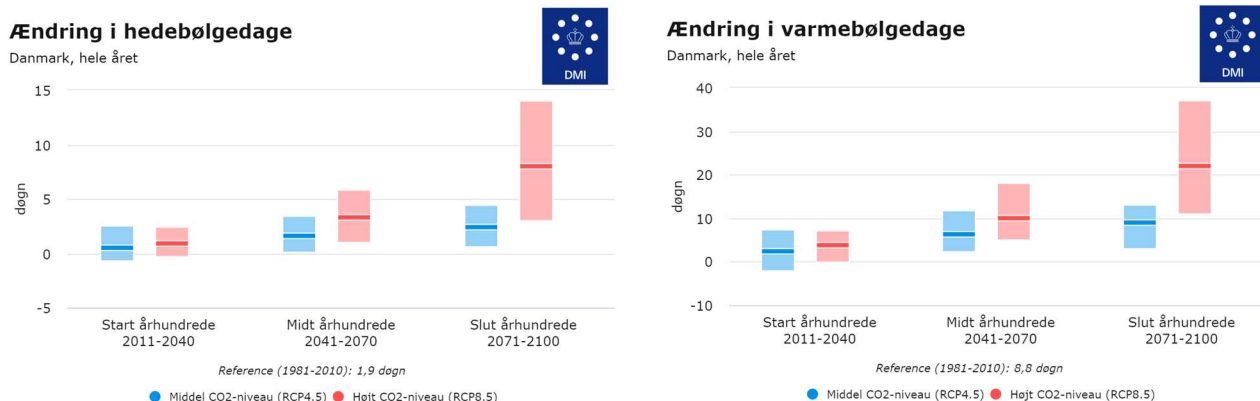
1. Kortlægning af hede og sårbarhed: Måling af hede og vurdering af sårbarheder for at målrette fremtidige handlinger.
2. Beredskab: Udvikling af hedeberedskab (muligheder for nedkøling, drikkevand, offentlig kommunikation).
3. Integrering af hede i langsigtet planlægning: Integrering af virkemidler, fastsættelse af hede-reduktionsmål og måling af fremskridt.
4. 'Making the case' for hede: Fremhævelse af fordele og synergier ved hede-reducerende virkemidler for at opnå politisk støtte.
5. Hede-reducerende løsninger: Evaluering af grønne og kølende løsninger og metoder til implementering, såsom kølende tage og belægninger, grønne bygningselementer, gadetræer, urbane skove og alternative køleteknikker.

Hedekortet giver Holbæk kommune mulighed for at kortlægge hede og dermed vurdere sårbarhed og prioritere indsatser. Derudover, giver dette notat inspiration til virkemidler indenfor punkt 2, 3, 4 og 5.

Hvor tørke defineres ift. mængden af nedbør, defineres hede ved målt temperatur og varighed. Ifølge DMI er definitionen på en hedeølge, at middelværdien af de højeste målte temperaturer målt over tre sammenhængende dage skal overstige 28 °C. På samme vis defineres en varmeølge, men med temperaturkrav på 25 °C. I perioden 2011-2021 er varmeølger forekommet hvert år, og landsdækkende hedeølger halvdelen af årene (Scharling, et al., 2021).

Antallet af hedeølger og varmeølger forventes også at stige i de kommende år, i takt med at gennemsnitstemperaturen stiger. Antallet af hedeølgedage om året forventes i RCP4.5-scenariet at stige fra 1,9 dage i referenceåret til 4,4 dage i slutningen af århundredet. Varmeølgedagene i samme scenarie forventes at stige fra 8,8 dage i referenceåret til 9 dage. I RCP8.5-scenariet vil hedeølgedagene stige fra 1,9 til 8 døgn, og varmeølgedagene til stige fra 8,8 til 22 døgn (DMI, 2024a).

Figur 3.1 viser den nationale prognose for ændringen i antallet af hedeølgedage (>28 °C) og antallet af varmeølgedage (>25 °C) for henholdsvis RCP4.5 og RCP8.5 for hele Danmark. På baggrund af klimamodellerne er der en entydig stigning i både antallet af hede- og varmeølgedage, også selvom usikkerhederne tages i betragtning. I analysen i afsnit 3.2.2 er der fokuseret på medianværdien, og usikkerheden er ikke taget med i analysen af disse datasæt.



Figur 3.1: Ændring i antallet af hedebølgedage og varmebølgedage over hele året for hele Danmark (DMI, 2024a).

3.1 Udfordringer og konsekvenser ved hede

I byerne kan effekten af hedeølger være endnu mere udtalt som følge af den urbane varmeøl-effekt. Den urbane varmeøl-effekt er om dagen mest markant målt på overfladetemperaturer, hvor solen opvarmer byens overflader. Om natten er effekten mest markant målt på lufttemperaturer, hvor oplagret varme frigives til luften. Der er en række årsager til at urbane hedeølger opstår, herunder byers topografi, byluftens øgede partikelindhold, de termiske egenskaber af byggematerialer, mindre vegetation og afgivet varme fra afbrænding af energi til opvarmning, nedkøling, transport mm. I byerne vil der altså være særligt stor risiko for de helbredsmæssige konsekvenser, der kan forekomme i forbindelse med hede (Bühler, et al., 2010).

Mennesker vil også opleve direkte konsekvenser på egen krop som følge af højere temperaturer. I tilfælde af hedeølger er der tale om, at disse er direkte årsag til hederelaterede sygdomme og dødsfald, pga. dehydrering, hedeslag og varmekollaps (Beredskabsstyrelsen, 2022). Inden dette kan temperaturens påvirkning af menneskets komfort beskrives under begrebet "det varmerelaterede almene velbefindende". Menneskets komfortniveau afhænger af en række parametre, både fysiske parametre som lufttemperatur og vindhastighed, såvel som psykologiske og fysiologiske parametre som aktivitetsniveau og påklædning (Bühler, et al., 2010). DMI opererer med et hedeindeks, der relaterer temperatur og luftfugtighed til et indeks, der kategoriseres efter oplevelsen af den givne temperatur og luftfugtighed. Ved dette beskrives temperaturområdet over 28 °C, som et hvor der er tiltagende risiko for at man ved vedvarende påvirkning vil opleve ubehag, solstik og udmattelse (DMI, 2018).

Hede er særligt problematisk for visse risikogrupper, herunder ældre, svært overvægtige, små børn og personer med visse sygdomme, eller psykiske eller fysiske handicap. Risikoen er størst ved udendørs ophold, eller ved ophold i bygninger eller transportmidler uden aircondition, effektiv ventilation eller solafskærmning. Risikoen forøges desuden ved hårdt fysisk arbejde (Beredskabsstyrelsen, 2022).

Rel. fugt %	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Temp °C	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
40	26	27	28	29	30	31	32	34	35	37	39	41	43	46	48	51	54	57	60	63
45	26	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	61		
50	27	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58	62			
55	27	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59	62				
60	27	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59	63					
65	27	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59	63						
70	27	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58	63							
75	27	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58	62								
80	28	30	32	35	38	41	44	48	52	57	61									
85	28	30	33	36	39	43	47	51	55	60										
90	28	31	34	37	41	45	49	54	58											
95	28	31	35	38	42	47	51	57	62											
100	28	32	36	40	44	49	54	60												

Hedeindeks	Ved vedvarende påvirkning
26-32	Minimal risiko, udmattelse mulig
33-40	Tiltagende risiko, solstik og udmattelse mulig
41-54	Fare, hedeslag, solstik og udmattelse sandsynlig
55 og over	Stor fare, hedeslag eller solstik meget sandsynlig

Figur 3.2: DMI's hedeindeks og dertilhørende signaturforklaring (DMI, 2018).

Høje temperaturer påvirker også kritisk infrastruktur, og kan dermed have store samfundsøkonomiske omkostninger. Både vejnettet, jernbanerne og elnettet kan lide last under høje temperaturer. Varmepåvirkninger af asfalten på veje, kan gøre at belægningen bliver for blød, hvilket kan medvirke til trafikuheld og øgede problematikker ved at afvikle tung trafik. Dette kan betyde, at der må indføres spærretid for særligt tung transport på nogle vejstrækninger i sommerhalvåret. Jernbanetrafikken kan ved høje temperaturer blive nødsaget til at køre med nedsat transportkapacitet, fordi skinnerne udvides ved højere temperaturer. Desuden kan jernbanetrafikken nedsættes, og til tider standses, pga. køreledninger, der ved høje temperaturer har nedsat effekt. I elsektoren betyder høje temperaturer øget slid på kabler og ledninger, hvilket kan resultere i overbelastning af elnettet og strømafbrydelser.

I landbruget betyder højere temperaturer og længere vækstsæsoner både nye dyrkningsmuligheder og udfordringer. Flere graddage giver fx større høstudbytter i vintersæd og bedre betingelser for varmekrævende afgrøder, mens vårsæd er mere udsat for tørke. Mildere vintre vurderes endvidere at bl.a. føre til en øget mineralisering af kvælstofgødning og dermed en øget risiko for udvaskning, samt at resultere i et stigende behov for skadedyrs- og sygdomsbehandling (Olesen et al. 2022).

Tørke og varmere dage kan også have betydning for dyrevelfærden (Beredskabsstyrelsen, 2022). Høje temperaturer kan påvirke husdyrenes velfærd. Både direkte fx i form af varmemstress ved bl.a. køer og høns samt solskoldninger ved grise, men også indirekte via adgang til foder og vand. Udover at påvirke dyrevelfærden og -sundheden vil det også påvirke produktionsegenskaberne negativt (Olesen et al. 2022). Reduceret tilvækst og nedgang i mælkeydelse er eksempler på udfordringer, der kan have store økonomiske konsekvenser for landbruget.

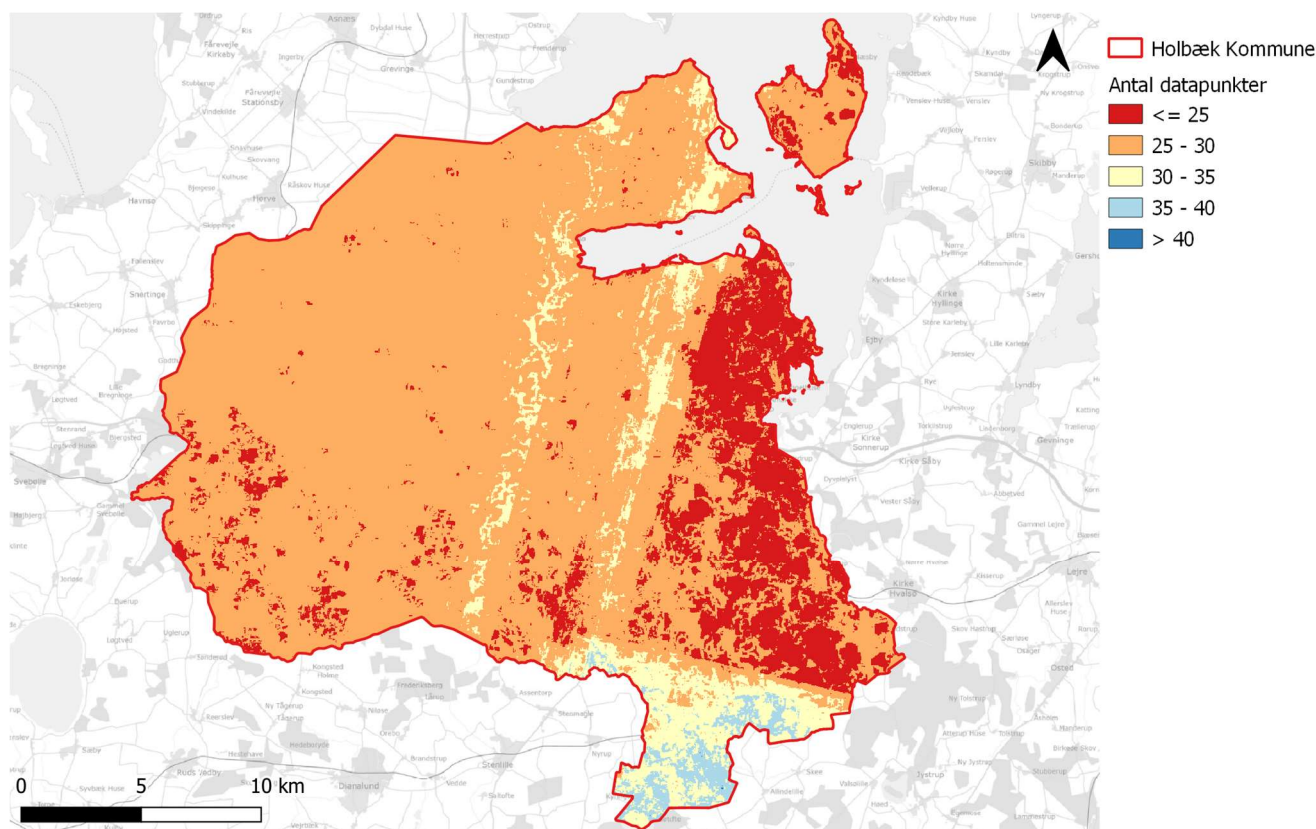
3.2 Hedekort: Metode og udvikling

I forbindelse med meteorologiske data er det normalt lufttemperaturen, der kommunikerer, når vi taler om temperaturmålinger. Sådanne målinger er vanskelige at opnå med stor rummelig opløsning, da dette vil kræve et omfattende målesetup med mange temperatursensorer. Lufttemperaturen kan korreleres til overfladetemperaturen, hvor den sidstnævnte dog har en langt større rummelige variation (Bühler, et al., 2010). Overfladetemperaturen kan estimeres på baggrund af satellitdata, og kan dermed indsamles med større rumlig opløsning. Hvis overfladetemperaturen beregnes ved anvendelse af Landsat 8 data, kan der opnås en opløsning på 30x30 meter. Dette vil blive nærmere beskrevet nedenfor.

3.2.1 Hede i Holbæk Kommune i dag

Hedekortet viser beregnede middelloverfladetemperaturer inden for 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 og 2023 for hele Holbæk Kommune i en opløsning på 30 m x 30 m. Beregningerne der ligger bag overfladetemperaturerne er baseret

på satellitdata fra Landsat 8. Datagrundlaget bag beregningerne har været alle tilgængelige satellitbilleder for kommunen i månederne maj, juni, juli og august, hvor skydækket har været mindre end 20%. Derefter er der udarbejdet et 6 års middel. Antallet af tilgængelige input for hver beregningscelle kan ses i Figur 3.3. Der har været 57 overflyvninger i perioden som dækker kommunen, og hvor der har været tilstrækkelig lavt skydække. Dette har været fordelt på årene med 2018 (11 stk), 2019 (8 stk), 2020 (10 stk), 2021 (2 stk), 2022 (10 stk), 2023 (16 stk).



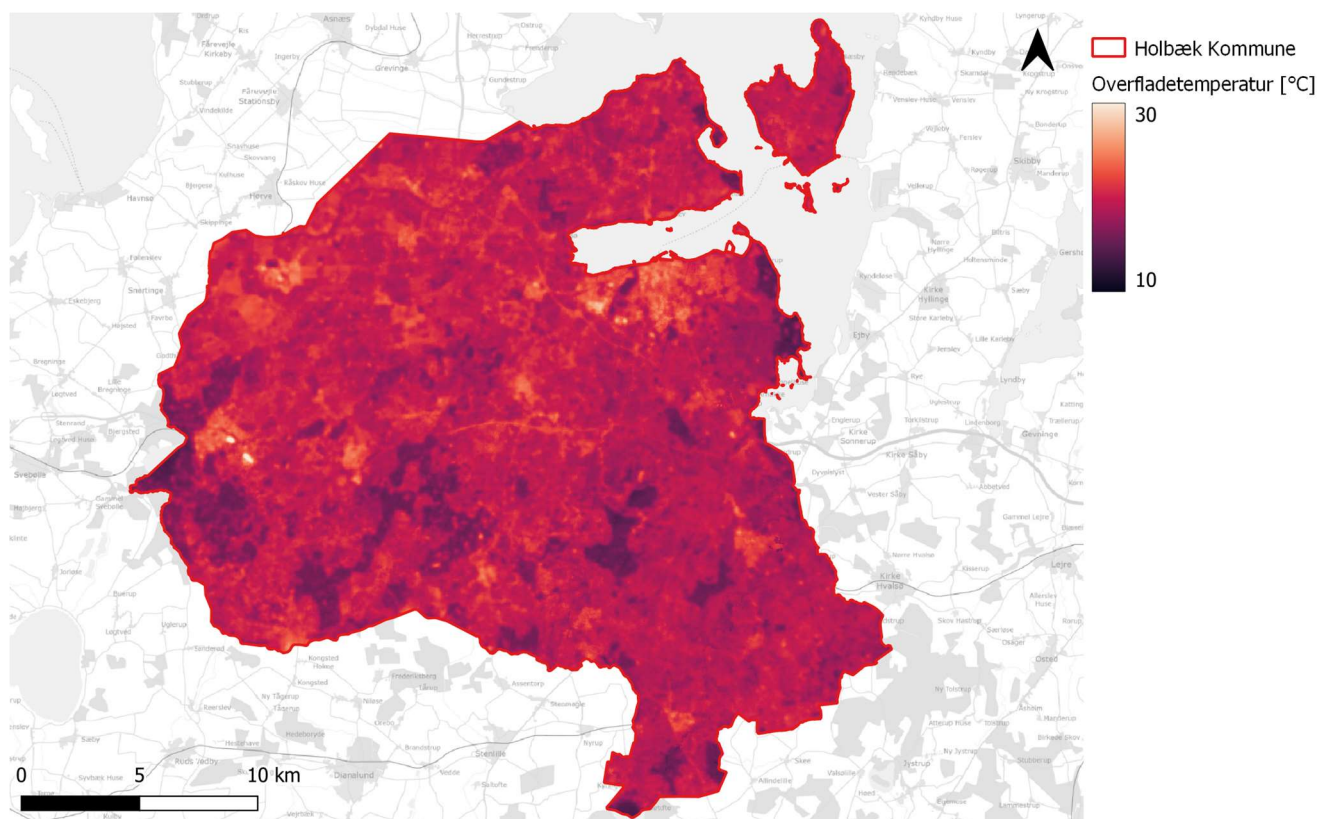
Figur 3.3: Antal datapunkter der indgår i beregning af middelværdien for LST. Datagrundlaget er et produkt af både skydække og overflyvninger.

Selve beregningen af overfladetemperaturen (LST/Land Surface Temperature) er beskrevet i det følgende. Inden denne beregning foretages, skal satellit dog blændes af i forhold til skydække. Foretages denne afblænding ikke, vil der være en kraftig påvirkning af den estimerede middel LST for perioden. I forbindelse med analysen i denne rapport er der anvendt sky-afblænding som er angivet i "Quality Assessment" datasættet.

Beregningerne af LST er baseret på input fra tre forskellige bånd fra Landsat 8. Det ene bånd er bånd 10 som indeholder data omkring termisk infrarød stråling (TIRS). Bånd 10 anvendes til beregning af Top of atmospheric (TOA) spectral radiance, der bagefter kan regnes om til strålingstemperaturer. De to andre bånd, bånd 4 og 5 lagrer OLI-data (Operational Land Imager), hvilket vil sige bølgelængder indenfor det synlige, nær infrarøde og kortbølgede infrarøde dele af spektret. Disse data bruges først til at bestemme NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), der derefter bruges til at bestemme andelen af vegetation på overfladen. Andelen af vegetation kan derefter bruges til at beregne overflade-emissiviteten. Herefter kan den beregnede strålingstemperatur og overflade-emissivitet bruges til at beregne overfladetemperaturen inden for en given pixel. Detaljerne omkring beregningen af LST er givet i Avdan & Jovanovska (2016).

LST er efter dataindsamlingen beregnet for alle de tilgængelige billeder, korrigeret for skyer, og derefter er den gennemsnitlige overfladetemperatur for de dage, der var data tilgængelig beregnet. Det samlede resultat fremgår af

Figur 3.4. Kortet dækker hele Holbæk Kommune. Enkelte steder forekommer der huller i datagrundlaget, da algoritmen til fjernelse af skyer fejlagtigt fjerner data i områder med hvidlige flader. Dette er f.eks. gældende for nogle lyse tagflader, råstofgrave og kyster.



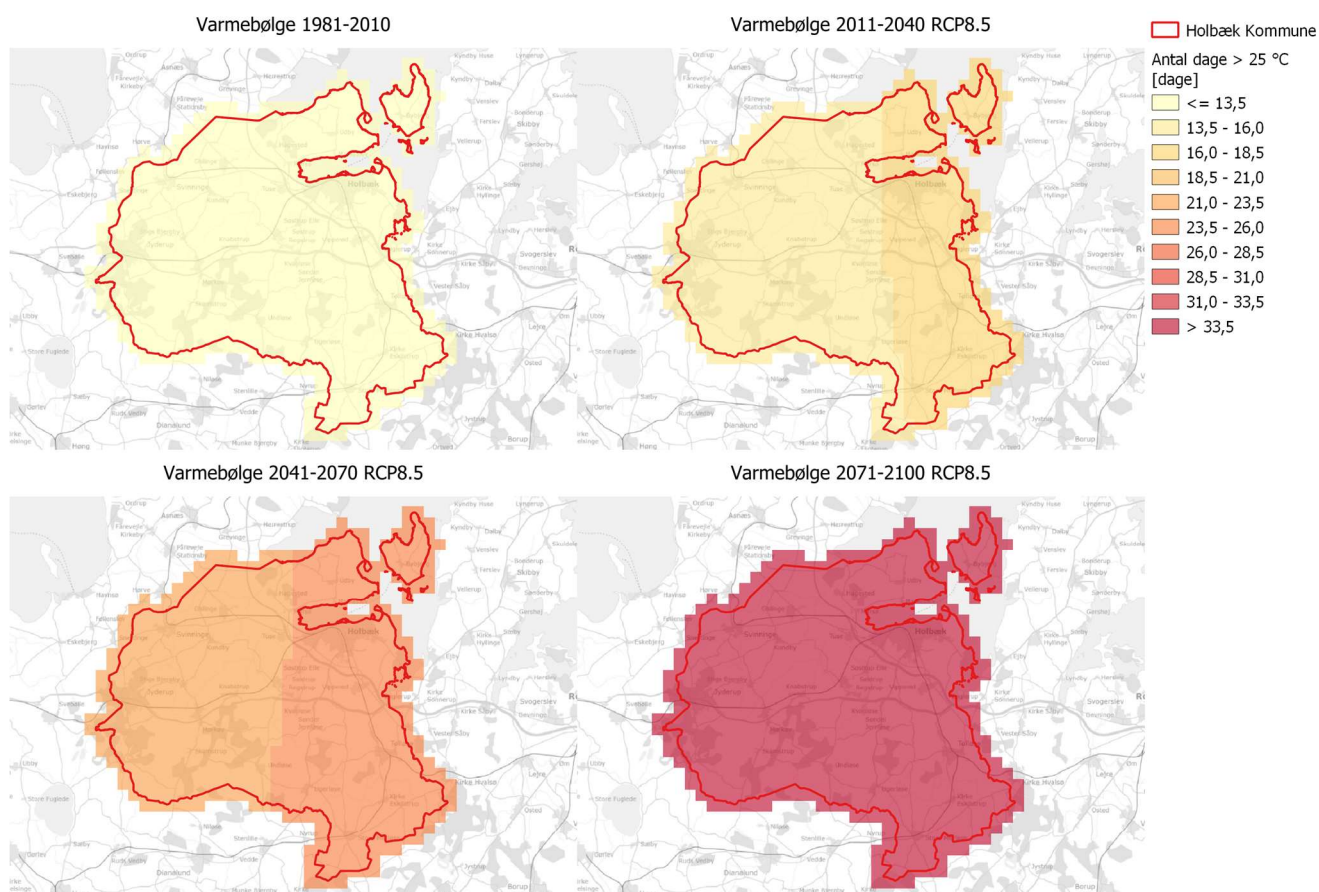
Figur 3.4: Resulterende middel overfladetemperatur for maj, juni, juli og august i perioden 2018-2023.

3.2.2 Hede i Holbæk Kommune i fremtidigt klima

I det følgende gives en gennemgang af resultater omkring hede i fremtidigt klima. Data er udtrukket fra DMI's klimaatlas (DMI, 2024a) og dækker antal varme dage og perioder. Data er visualiseret på 1 km grid celler for klimascenariet RCP8.5 og dækker perioderne start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Figurerne er optegnet på baggrund af medianværdien fra data, og indeholder dermed ikke information omkring spændet imellem beregninger udført med de enkelte klimamodeller.

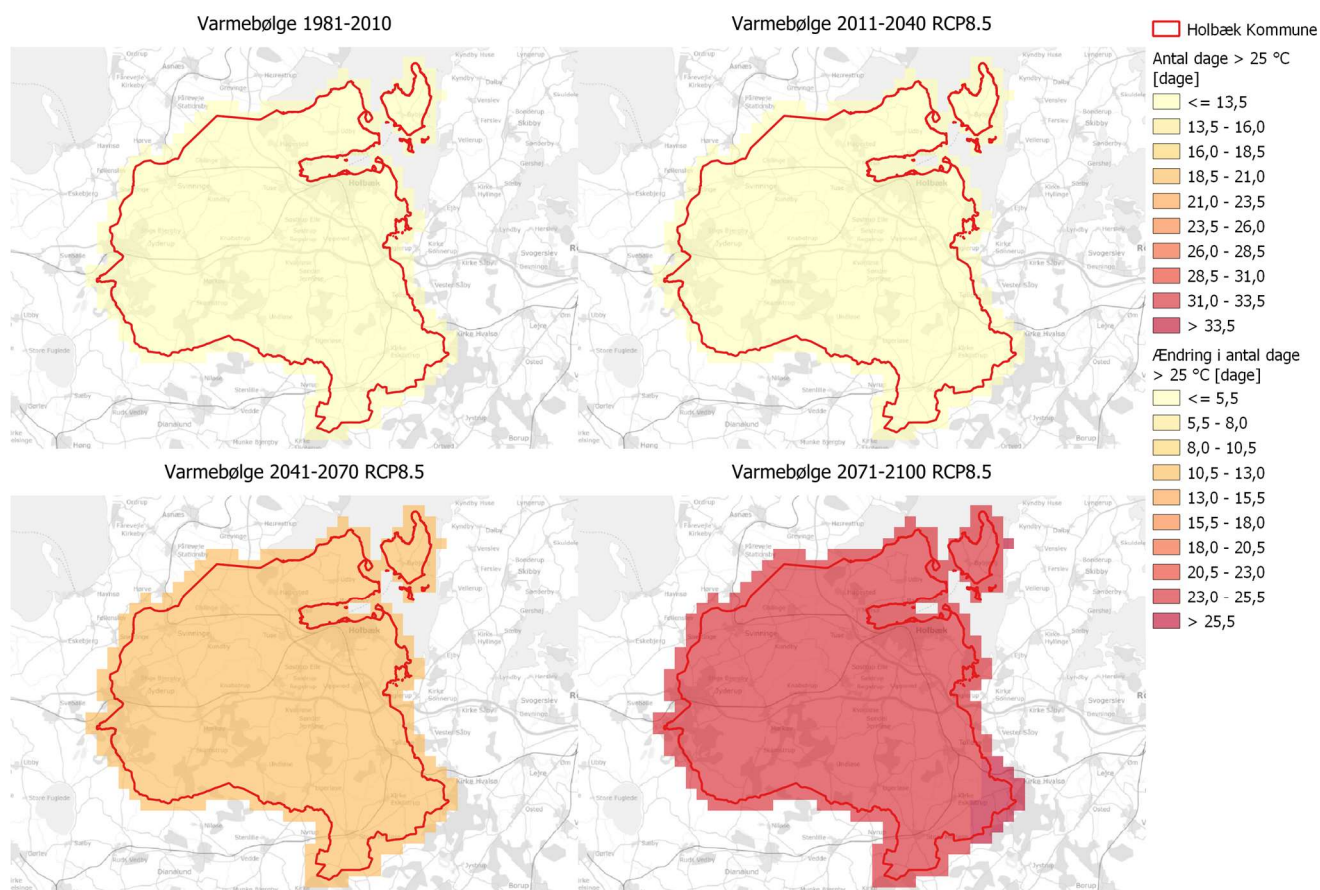
Som tidligere nævnt, differentieres der mellem varme- og hedebølge. I det følgende vil vi kort illustrere klimaforandringerne påvirkning på antal dage med varmebølge og dernæst hedebølge.

Figur 3.5 viser antal dage i en varmebølge i dag og i fremtidig klima. I dag har Holbæk Kommune 13,5-16 dage over 25 grader i den vestlige del af kommunen og 16-18,5 dage i den østlige del af kommunen. I midt århundrede forventes 21-23,5 grader i den vestlige del af kommunen og 23,5-26 dage i den østlige del af kommunen. I slutningen af århundredet vil dette være steget til over 33,5 dage.



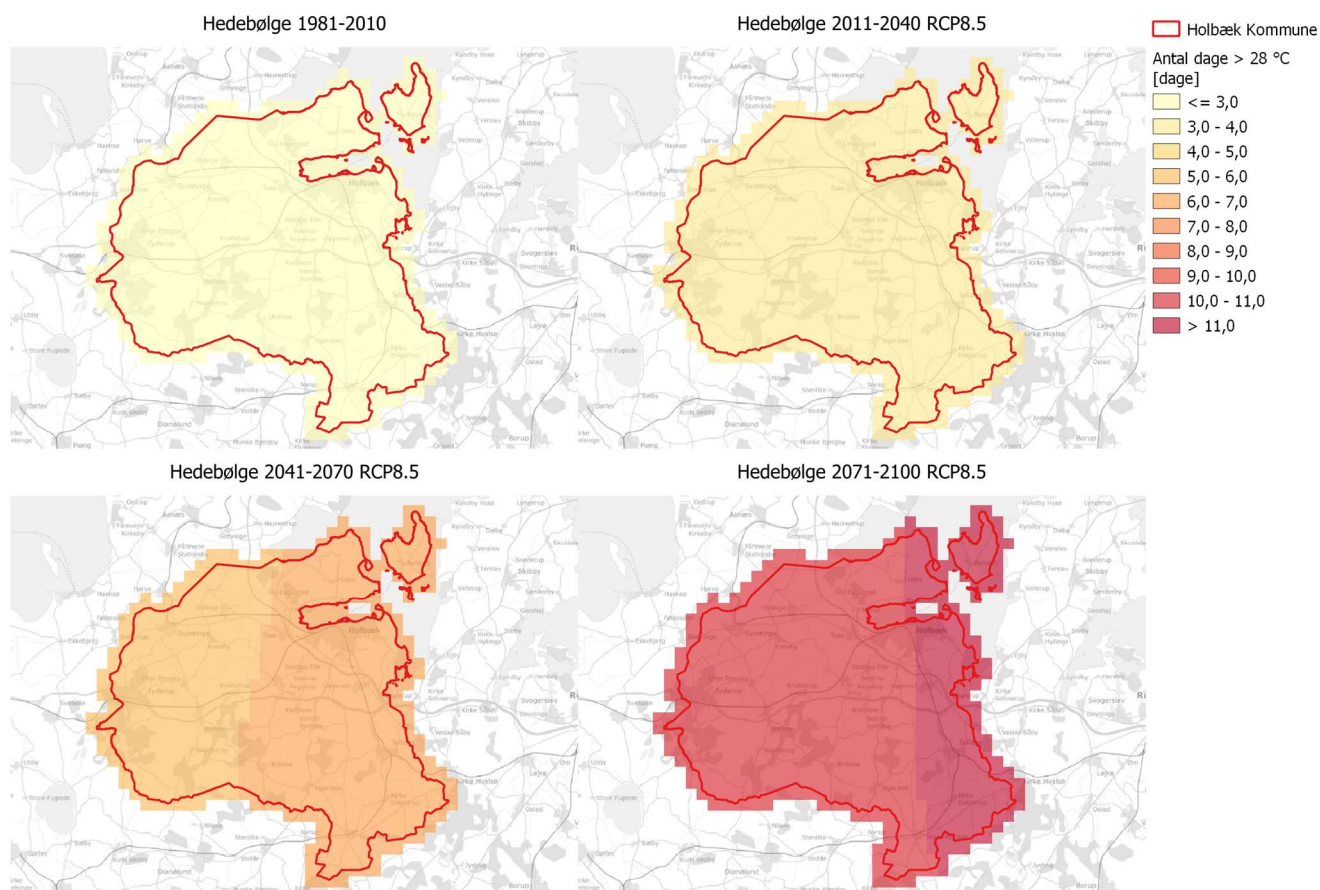
Figur 3.5: Antallet af varmebølge dage (dage >25 °C) i Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

Figur 3.6 angiver ændringen i forhold til referenceperioden. I midten af århundredet vil en varmebølge i store dele af regionen være steget med 13-15,5 dage, og i slutningen af århundredet vil en varmebølge være steget med op over 25,5 dage i den sydøstlige del af kommunen. Det er næsten en fordobling og en væsentlig ændring for Holbæk Kommune.



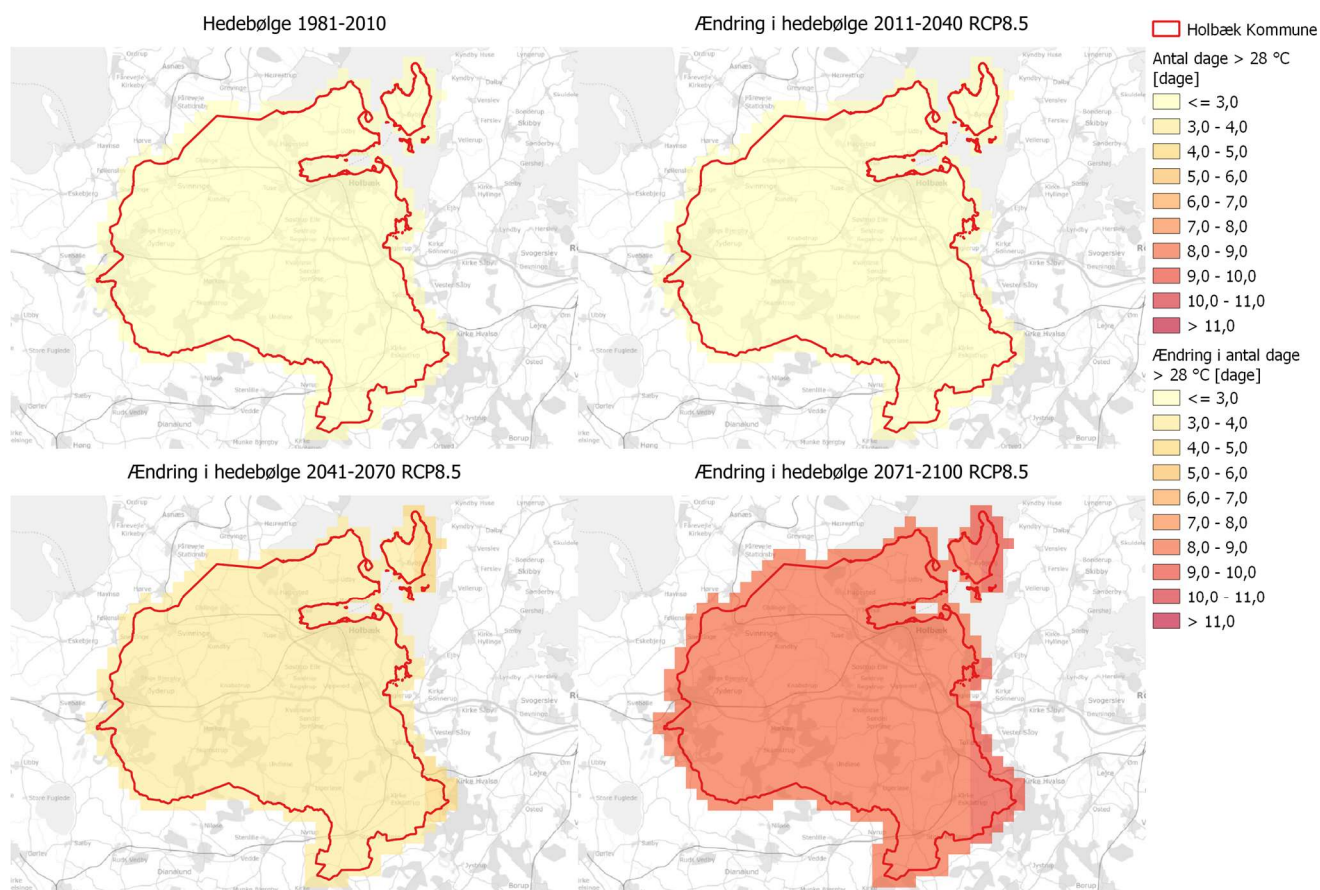
Figur 3.6: Antal dage med varmebølge (> 25 °C) for Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), samt ændring i antal dage i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

Figur 3.7. viser antal dage med hede, dvs. dage med over 28 grader, fordelt på hele kommunen. I referenceperioden havde kommunen under 3 dage over 28 grader. I slutningen af århundredet kan vi forvente 10-11 dage med temperaturer over 28 grader, og over 11 dage i den sydøstlige del af kommunen.



Figur 3.7: Antallet af hedeboledage (dage >28 °C) i Hedebo Kommune for referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

Figur 3.8 viser ændringen i antal dage med hedeboledage set i forhold til referenceperioden. Hele kommunen vil opleve en stigning, hvor den sydøstlige del af kommunen bliver hårdest ramt med en stigning på over 11 dage med over 28 grader end i referenceperioden.



Figur 3.8: Antal dage med hedebølge (> 28 °C) for Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), samt ændring i antal dage i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

3.3 Anvendelse af hedekortet

Hedekortet har en opløsning på 30x30 meter, hvilket giver mulighed for at kunne prioritere indsatser til helt lokalt niveau. En kommune kan således anvende hedekortet til bl.a.:

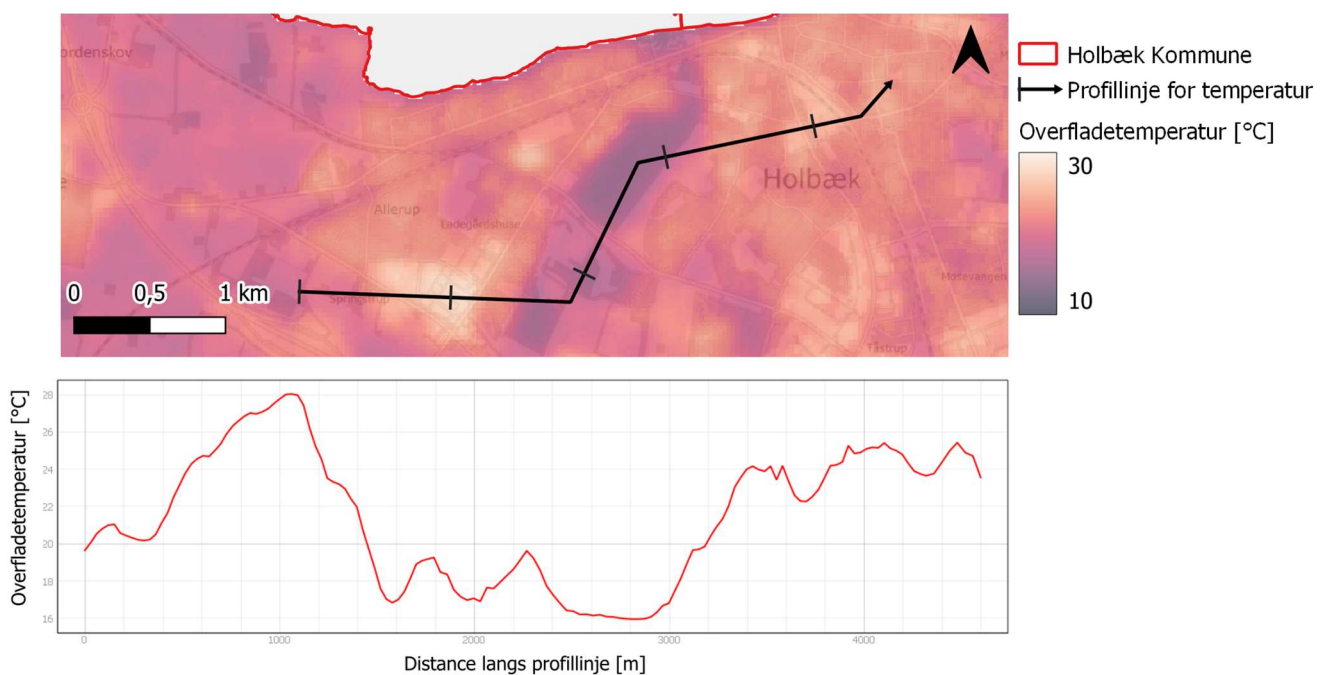
- Identificere helt lokale hedebølger og lokalisere mulige årsager til at hedebølgen opstår
- Sammenholde lokaliteten på den enkelte hedebølge med øvrige interesser fx knudepunkt for mange mennesker, sårbare befolkningsgrupper (fx plejehjem, vuggestuer, hospitaler), ophold mm.
- Prioritere hedebølger i forhold til at reducere disse
- Integrere kølende virkemidler i lokalplaner, begrønningsplaner, klimatilpasningsplaner, vandhåndteringsplaner mm.
- Identificere bygningsejere og indgå i dialog om etablering af kølende foranstaltninger
- Iværksætte informationsmateriale målrettet specifikke områder i byerne

Hede er et af de områder, hvor der i klimatilpasningsplanerne kan opstilles konkrete mål og indikatorer for indsatsen. Disse kan blandt andet indeholde afbødning af urbane hedeøer, forøgelse af skygge, og særlige indsatser overfor sårbare befolkningsgrupper. Et eksempel på et mål kan være: Reduktion af hedeø ved plejecenteret inden år 2025. Eksempel på indikator til målet, kan være: Opsætning af 15 træer ved parkeringsplads og 1 pergola med slyngplanter i atriumgård.

Ifølge C40 kan målene også være bredere og være målrettet synergieffekterne fx reduktion af energiforbrug og CO₂-relaterede udledninger, forbedring af bioklimatiske indekser (indikator for nød eller termisk komfort osv.), forøgelse af CO₂-absorption og støvbegrænsning.

3.4 Virkemidler til håndtering af varme/hedebølger samt urbane hedeøer

Hedeøerne kan reduceres ved at bruge kølende flader, alternative materialer og design og grøn infrastruktur samt adgang til vand og nedkøling. Figur 3.9 viser en temperaturkurve igennem Holbæk by, der tydeligt viser, hvordan temperaturen varierer som konsekvens af overfladetemperaturen. Løsningerne findes derfor også særligt igennem bygnings- og gadedesign, byplanlægningen samt beredskabet.

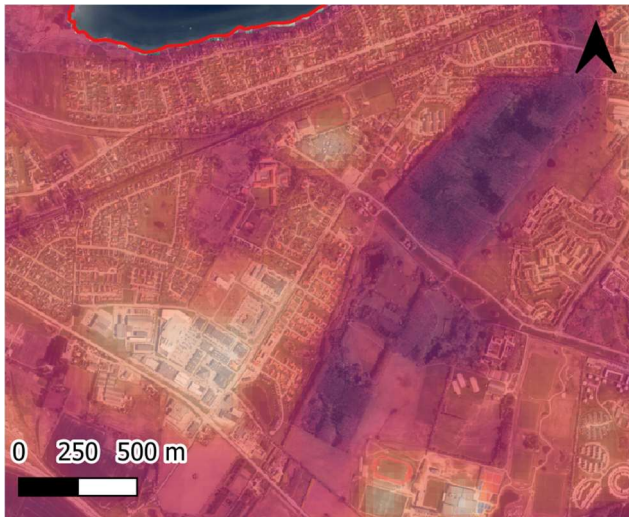


Figur 3.9: Temperaturkurve igennem Holbæk by. Afstanden mellem markeringerne i profilinjen er 1000 meter. Der ses en temperaturforskel på 12 grader mellem det varmeste og det koldeste område i byen.

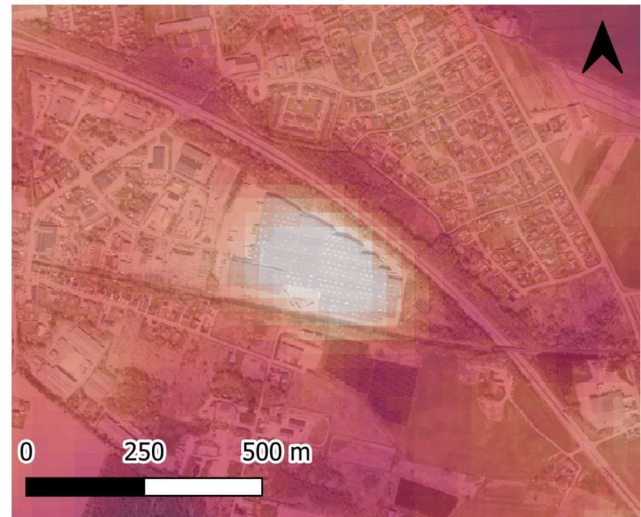
Målrettes indsatsen er effekten stor. Eksempelvis har bynær skov og grøn infrastruktur en markant kølende effekt på et byområde. Figur 3.10 og 3.11 viser hhv. det vestlige Holbæk og Industriparken i Jyderup.

Skyggelægning af parkeringspladser og gader kan være en effektiv måde at hjælpe med at afkøle et område. Strategisk placerede skygge træer kan også gavne busstoppesteder, legepladser, skolegårde, boldbaner, og lignende åbne rum. Da træer er langsomt voksende kan man også bruge slyng- og klatreplanter fx over pergola eller lignende

konstruktioner for at øge skyggen. Sling- og klatreplanter kan også anvendes som facadebeplantning, en undersøgelse viser at facade-begrønning reducerer vægtemperaturen med op til 20 grader (EPA, 2012). Ved etablering af grønne facader skal man være opmærksom på om den eksisterende konstruktion kan bære vægten, der er flere faglige hjemmesider, der kommer med anbefalinger til konstruktion og vedligeholdelse.

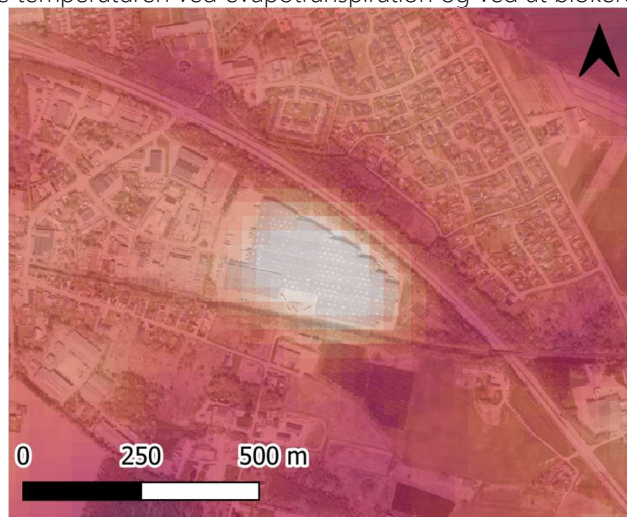


Figur 3.10 Det vestlige Holbæk. Industri kvarteret er 27 grader, Ladegårdsskovene er 16 grader (Temperaturforskel: 11 grader)



Figur 3.11 Industriparken i Jyderup. Industriparken er 32 grader, de omkringliggende villakvarterer er 23 grader (Temperaturforskel: 10 grader).

Når der bygges nyt i dag, benyttes der ofte flade tage, hvor mange af dem beklædes med sort tagpap, der kan blive meget varme; 66-85 grader. Der er gode alternativer som eksempelvis grønne tage, og det som der benævnes kølende tage. Grønne tage bidrager til at reducere temperaturen ved evapotranspiration og ved at blokere sollys i at nå



den underliggende tagmembran, se eksempel i Ligesom ved grønne facader, skal man ved etablering på eksisterende bygning også med grønne tage være opmærksom på om den eksisterende konstruktion kan bære det.

Figur 3.11.



On a typical day, the Chicago City Hall green roof measures almost 80°F (40°C) cooler than the neighboring conventional roof.

Figur 3.12: Eksempel på temperaturforskel mellem et (intensivt) grønt tag og et traditionelt tag med tagpap. Temperaturforskellen er her 40 grader (EPA, 2012).

De kølende tage kendetegnes ved at være stærkt reflekterende og af emissive materialer, der kan forblive omkring 28-33°C køligere end traditionelle materialer i højsommervej. Bygningsejere og tagentreprenører har brugt disse typer af kølende tagprodukter i USA i mere end 20 år. Traditionelle tagmaterialer har en lav albedo (værdi for solreflektans) på 5 til 15 procent, hvilket betyder, at de optager 85-95 procent af energien i stedet for at reflektere energien tilbage til atmosfæren. De kølende tagmaterialer har en høj albedo på mere end 65 procent, se eksempel på Figur 3.13. De kølende tage laves ofte med overfladebehandlinger på tagflader med lav hældning, behandlingen minder om en tyk maling, der indeholder tilsætningsstoffer, der forbedrer vedhæftning, holdbarhed, modstandsdygtighed overfor alger, svampe og snavs. Belægningen kan påføres en bred vifte af eksisterende overflader inkl. tagpap og asfalt. Nye materialer er under udbredelse til tagflader med hældning, herunder ståltage (EPA, 2012).



Figur 3.13: Temperaturforskel baseret på albedo. Temperaturforskellen mellem den hvide stribe og murstensvæggen er 3-5 grader C (EPA, 2012).

Virkemidler som grøn infrastruktur, træer, bynær skov, skygge og materialevalg kan implementeres via byplanlægningen, inkl. lokalplaner samt via dialog med grundejere fx i industriområder, hospitals og sundhedstilbud m.fl. Andre eksempler på kølende tiltag i byen er vandstationer og springvand. Vandstationer kender vi i dansk kontekst primært fra sommerlande og festivaler, men har ikke som byer i f.eks. Sydeuropa integreret vandstationer i det åbne byrum. Vandstationer kan placeres strategiske steder i byen f.eks. hvor der færdes mange mennesker, hvor mennesker søger hen i varmen eller i områder for sårbare grupper. Strategiske steder for vandstationer kan således være gågader,

torve, togstationer, busstoppesteder, hospitaler og sundhedscentre, parker mm. Springvand designet til også at kunne bruges i leg bidrager til køling af især børn (men er ikke begrænset hertil). Tabel 3.1. giver en oversigt over virkemidler til at reducere hede.



Billede 3.1: Eksempel på vandstation. Foto: NIRAS



Billede 3.2: Eksempel på springvand, der indbyder til leg. Foto: Anja Wejs

Tabel 3.1: Oversigt over de primære virkemidler til at reducere hede.

Virkemiddel	Effekt	Synergi effekter	Afledte effekter
Træer i byen og bynær skov	Kølede med 5-10 grader C.	CO ₂ binding, urban begrønning, evt. sundhed og biodiversitet.	Træarter ift. allergi og træroddernes påvirkning af veje og stier, samt eventuelle driftsomkostninger.
Skyggetræer/Vejtræer	Kølede effekt samt mulighed for større komfort ved ophold i skygge. Der findes større kølede effekter fra træer end græsarealer. (Bühler, et al., 2010) Træer, buske og læhegn bryder direkte indstråling fra solen og skaber samtidig behagelige mikroklimaer (Olesen et al. 2022). Skyggetræer har en positiv effekt ift. at køle vandløb.	CO ₂ binding, urban begrønning, evt. sundhed og biodiversitet. Forskning viser, at det øger vejsikkerheden, da det får bilisterne til at sænke hastigheden (Wolf, 2010) Skyggetræer kan i det åbne land evt. tænkes sammen med læhegn.	Nogle træarter kan give allergigener, særligt i byen, og rodnettene kan påvirke veje og stier. Der kan være risiko for at luftforurening 'fanges' i vejtræer og dermed øger luftforureningen lokalt.
Jævnt fordelt grøn infrastruktur	Kølede effekt. Effekten er større ved jævnt fordelt grønt infrastruktur, end	Kan med fordel planlægges i sammenhæng med	Vedligehold af grønne områder. Der kan med fordel vælges

	enkelte grønne parker. (Bühler, et al., 2010)	afvanding af byens befæstede flader. Genanvendelse af regnvand fra fx regnbede eller underjordiske brønde/bassiner kan anvendes til vanding af fx vejtræer, hvorved fordampningen øges og temperaturen falder.	vegetationstyper med dybdegående rodnet.
Søer og blå infrastruktur	Kølede effekt i afstande op til 1 km. (Cai, et al., 2018)	Afvanding af byens befæstede overflader, biodiversitet og grøn infrastruktur.	Eventuelt vedligehold.
Hvidmalede og kølige tage samt lys belægning	Kølede effekt pga. høj refleksion (Bühler, et al., 2010) Albedoen er højere ved lyse materialer, lys asfalt/permeabel belægning, hvilket kan reducere varmeeffekten.	Reduceret energiforbrug til nedkøling af bygninger.	Eventuelt vedligehold.
Grønne tage og facader	Kølede effekt pga. evapotranspiration fra bladene på planterne (Bühler, et al., 2010). De grønne tage forhindre desuden sollys i at opvarme tagmembranen.	Reduceret energiforbrug og større indendørs komfort grundet isolerende effekt. Afvanding pga. forsinkelse af nedbøren gennem de grønne tage.	Eventuelt vedligehold samt øgede udgifter til bygnings bærende konstruktioner.
Aircondition indendørs	Øget indendørs komfort, samt reduceret risiko for hede-relaterede helbredsproblemer, f.eks. dehydrering.	Forbedret indeklima.	Energiforbrugende. Varmen den omkringliggende luft op. Eventuelle helbredsproblemer hvis systemet ikke vedligeholdes.
Åbent bydesign	Mindre tætte bydele viser sig køligere end de mere tætte bydele.	Afvanding planlægges og afvikles nemmere i mindre tætte byer. Mulighed for plads til flere rekreative områder.	Byspredning giver, modsat byfortætning, øget biltrafik.
Adgang til drikkevand Let adgang til drikkevand, f.eks. ved vandstationer i det offentlige rum	At forebygge dehydrering, gener og hede-relateret overdødelighed.	Generelle sundhedsfordele ved at indtage nok vand.	Vedligehold og rengøring af vandstationer.

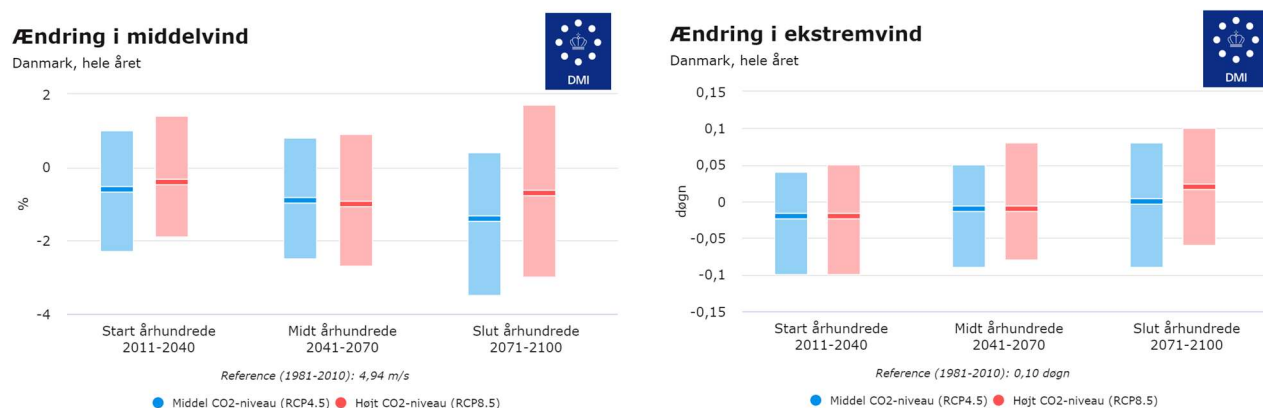
Afgrødevalg	Høje temperaturer ændrer bl.a. betingelserne for afgrøders vækst i forår og efterår, herunder tidspunkter for såning og gødskning.	Nytænkning af dyrknings-systemer	Senere såning af vinterafgrøder kan blive relevant, men det øger risikoen for kvælstofudvaskning. Omvendt kan tidlig såning øge behovet for skadedyrs- og sygdomsbekæmpelse.
Varsling	At forebygge gener og hede-relateret overdødelighed hos udsatte borgere og ældre. (Mavalankar, et al., 2016)	Synergi med kommunens sundhedsberedskab	
Informationskampagner	Øge opmærksomhed på forebyggende tiltag under hede	Synergi med kommunens sundhedsberedskab	

4. Vind

Konsekvenser fra vind, forbinder vi i klimatilpasningen med især stormflod, havvandsstigning og kysterosion, men øvrige konsekvenser har vi ikke tidligere adresseret i forbindelse med klimatilpasning. FNs klimapanel (IPCC) 6. vurderingsrapport finder, at hyppigheden og intensiteten af storme, herunder stærk vind, sandsynligvis vil stige i Nord- og Centraleuropa (IPCC 2021). Der vil være ændringer i middelvindens hastighed og fremherskende vindretning, som kan ændre profiler for frøspredning, vindbårne skadedyrs- og sygdomsvektorer, dyreaktiviteter og spredning af støv eller pollen, der påvirker økosystemer, landbrug og menneskers sundhed. Ændring af sæsonbestemte vinde kan påvirke algeopblomstring, økosystemer og lystfiskeri, og der kan forekomme ændringer med betydning for vindenergi (IPCC 2021).

Hvordan disse ændringer og tilknyttede konsekvenser vil se ud i dansk kontekst er endnu usikkert, men klimamodelerne viser, at middelvinden på nationalt plan reduceres i både start, midt og slut århundrede. For ekstremvind viser klimafremskrivningen, at der sker en reduktion i antallet af dage pr. år med ekstremvind i start og midt århundrede, men en lille forøgelse i slut århundrede. DMI har dog oplyst at danske data for vind ikke er tilstrækkelige og der derfor er planer om opsætning af flere vindmålere.

Et eksempel på prognoserne for ændringer i hhv. middelvind og ekstremvind for hele Danmarks areal fremgår af Figur 4.1. 50% fraktilen eller medianværdien fremgår af figuren med en horisontal streg, der er blå for RCP4.5 og rød for RCP8.5. Usikkerheden, der er repræsenteret ved spændet imellem 10% og 90% fraktilen, er angivet som usikkerhedsbånd omkring medianværdien.



Figur 4.1: Klimafremskrevne ændringer i hhv. middelvind og ekstrem vind beregnet på nationalt niveau

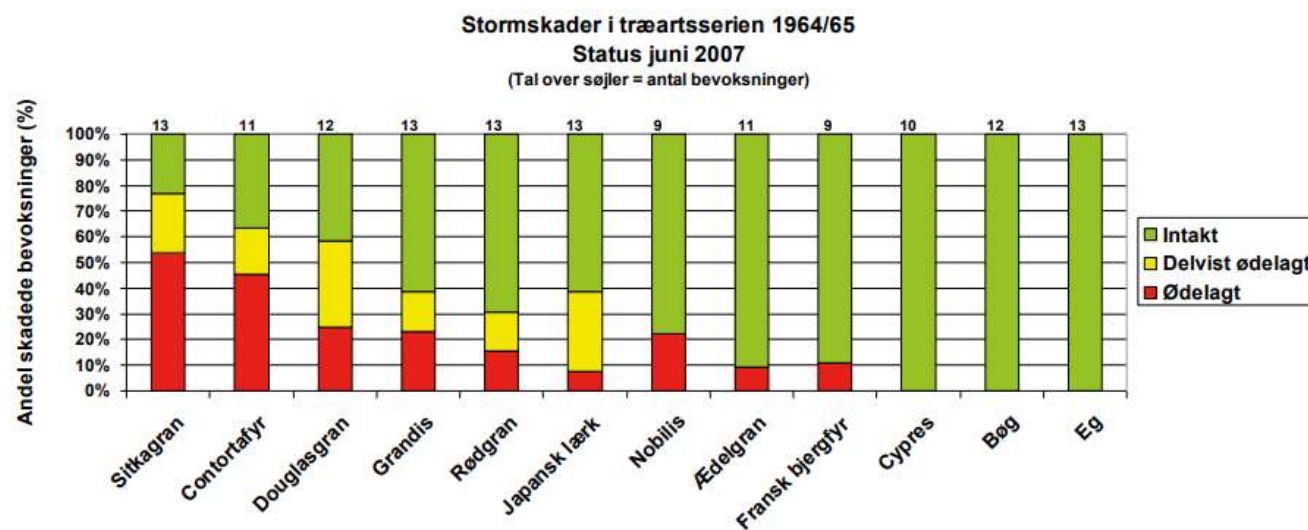
4.1 Udfordringer og konsekvenser ved vind

Middelvinden i dag kommer overvejende fra sydvest, men i takt med klimaforandringerne vil den gennemsnitlige årlige vindretning dreje mod en mere vestlig retning. Det gælder for både RCP4.5 og RCP8.5 (DMI, 2020). I klimatilpasningen er der dog forskel på middelvind og storm, da det i dag i høj grad er vindstyrken, der giver problemer. Middelvinden giver derfor endnu sjældent anledning til påvirkning på natur eller konstruktioner.

Det fremgår af vindkortene, at vindretningen for hele kommunen primært kommer fra sydvest-vest, men når der er stærk vind og storm kommer vinden oftest fra nordvest. Den ændrede vindretning betyder noget ift. stormfald, da træernes rodnet, stamme og krone former sig efter den primære vindretning, så når der er stærke vind fra en anden vindretning er træerne ikke lige så resiliente som når vinden kommer fra den sædvanlige vindretning. Ligeledes, hvis de yderste rækker af træer fældes, står de følgende rækker mere udsat, da de tidligere har stået i læ af de første rækker, og derfor sat rodnet, stamme og krone efter disse forhold.

Orkanen i 1999 var den stærkeste storm i Danmark i de seneste hundrede år. Orkanen forårsagede stormfald i skovene i Sønderjylland, Fyn og sydlige del af Sjælland med vindstød på op til 50 meter per sekund. Der væltede ca. 3,6 mio. m³ træ. I januar 2005 blev især Nord- og Midtjylland ramt af en række storme i kombination med store mængder nedbør og heraf opblødt jordbund, som medførte, at der i alt blev ødelagt omkring 2 mio. m³ træ. Stormfaldene bestod især af nåletræ. Risikoen for stormfald har altid indgået som en del af beslutningsgrundlaget ved valg af træart. Men problemet har fået øget aktualitet og vægt efter bl.a. orkanen i december 1999 og de hyppigere og kraftigere storme i de sidste årtier (Jørgensen, 2011).

Skov & Landskab anlagde i 1965 et landsdækkende træartsforsøg på 13 lokaliteter med 10 nåletræarter samt bøg og eg. Disse forsøg har været hårdt ramt af stormskader i de seneste storme jf. figur 4.1. Stormfaldsloven anbefaler desuden bl.a. eg, bøg, ask, lind, skovfyr, douglasgran, almindelig ædelgran, lærk og østrigsk fyr.



Figur 4.2: Procentvis skadet bevoksning i Skov og Landskabs nationale træartsforsøg (Jørgensen, 2011)

Mange af de nuværende konsekvenser ved storm er velkendte, der, udover stormfald i det åbne land, også påvirker landbrugsareal, hvor der er risiko for sandflugt, som særligt er en risiko, når afgrøderne er sået i foråret. Den fine overfladejord tages af vinden og enten blotlægger eller tildækker frøene i en sådan grad, at de ikke kan spire.

Inde i byerne kan såkaldte vindtunneller opstå, hvor gader ligger placeret med vindretningen. Tunnellen skabes ved at vinden bliver forstærket imellem bygningerne. Derudover, forårsager stærk vind skader på bygninger og flyvende genstande kan udgøre fare.

4.2 Vindkort: Metode og udvikling

Der er udviklet vindkort for hele kommunen hhv. for i dag og i fremtiden, og data er hentet fra DMI. Klimadata for vind i dag (perioden 2011- April 2024) er udtrukket fra DMI's api (DMI, 2024) på 10 km gridopløsning. Disse data er anvendt til analyse af frekvensen af vind med stormstyrke på timeniveau, styrken af vindstød samt til beskrivelse af middelvinde.

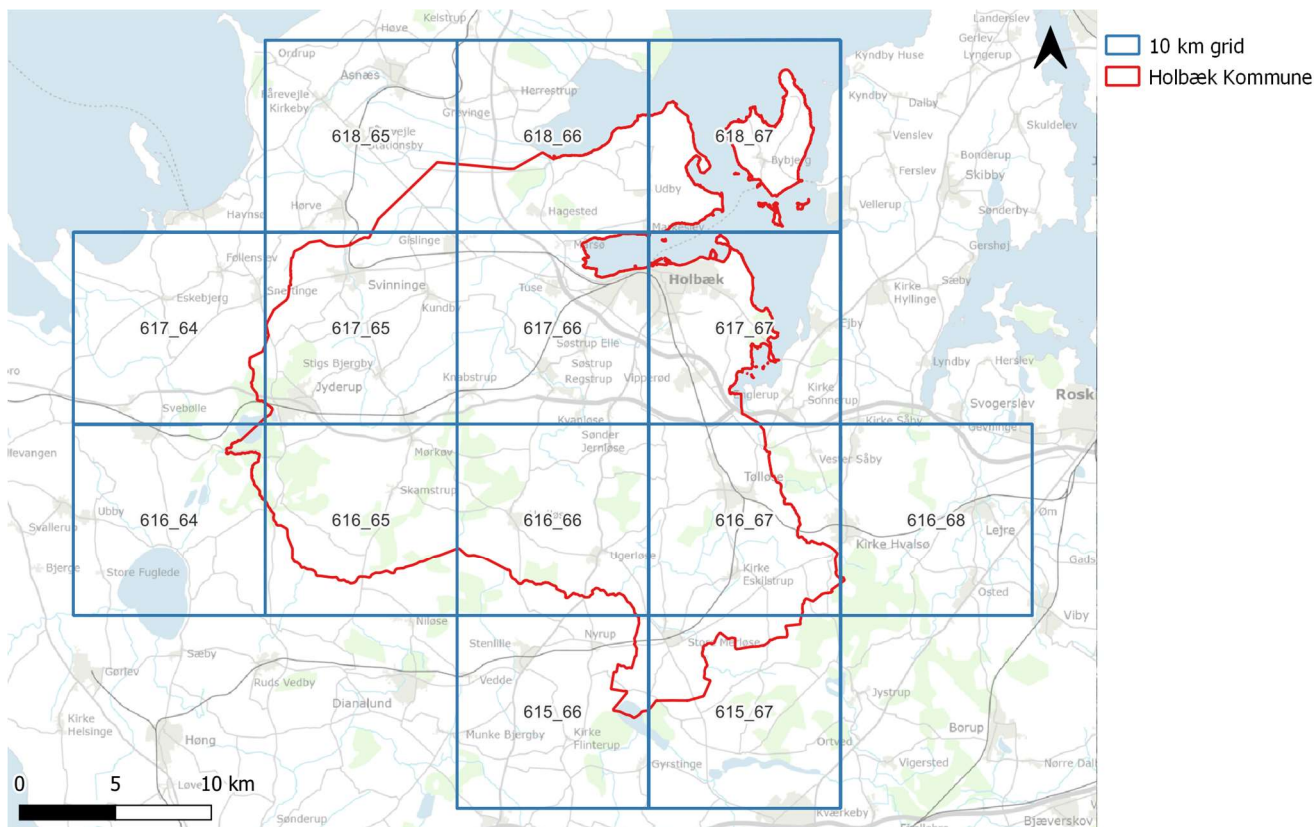
For fremtidig klima er data udtrukket fra Klimaatlas (DMI, 2024a). Data indeholder klimafremskrivninger for ændringer i middelvind [m/s] og ekstremvind [dage/år med >25 m/s - storm] beregnet ved anvendelse af klimascenarierne RCP4.5 og RCP8.5. Usikkerhedsintervaller er beregnet på baggrund af op til 57 klimamodeller (Thejll, et al., 2021).

I det følgende gives en beskrivelse af vindforholdene for Holbæk Kommune. Data for perioden 2011-april 2024 vil blive gennemgået først, og efterfølgende ser vi på de klimafremskrevne værdier.

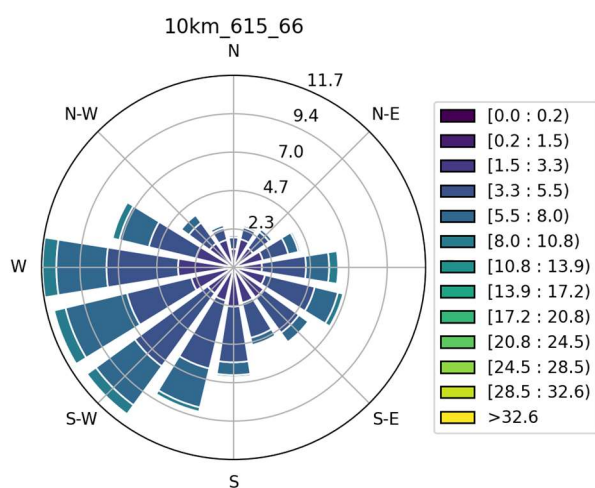
4.2.1 Vindforhold for Holbæk Kommune i dag

Data for perioden 2011-april 2024 er repræsenteret på 10 km griddet dækkende Holbæk Kommune (se Figur 4.3). For hver grid celle er der udtrukket data for middelvinde på daglig basis og visualiseret ved anvendelse af en vindrose (se Figur 4.4). Der er udarbejdet vindroser for alle 10 km gridceller dækkende Holbæk Kommune (men kun et enkelt eksempel er vist her. De resterende er vedlagt som supplerende materiale.

Vindrosen viser information omkring vindstyrke, frekvens og retning. Andelen af vinden fra en given retning er vist på baggrund af cirklen, hvor toppen af figuren angiver nord. Længden af baren inde for hver vindretning angiver frekvensen for, hvor ofte vinden kommer fra den pågældende retning. Endeligt angiver farvelægningen vindstyrken. Af vindrosen kan det altså læses, at den fremtrædende vindretning for daglige middelvinde er imellem sydvest og vest, og at vinden primært er inden for intervallet 3,3-5,5 svarende til let vind. Det kan ligeledes ses, at vind fra stik nord er meget sjælden, og at daglige middelvinde med høje hastigheder primært kommer fra sydvest og vest. Dette skal ikke forveksles med egentlige storme, som er beskrevet længere nede.

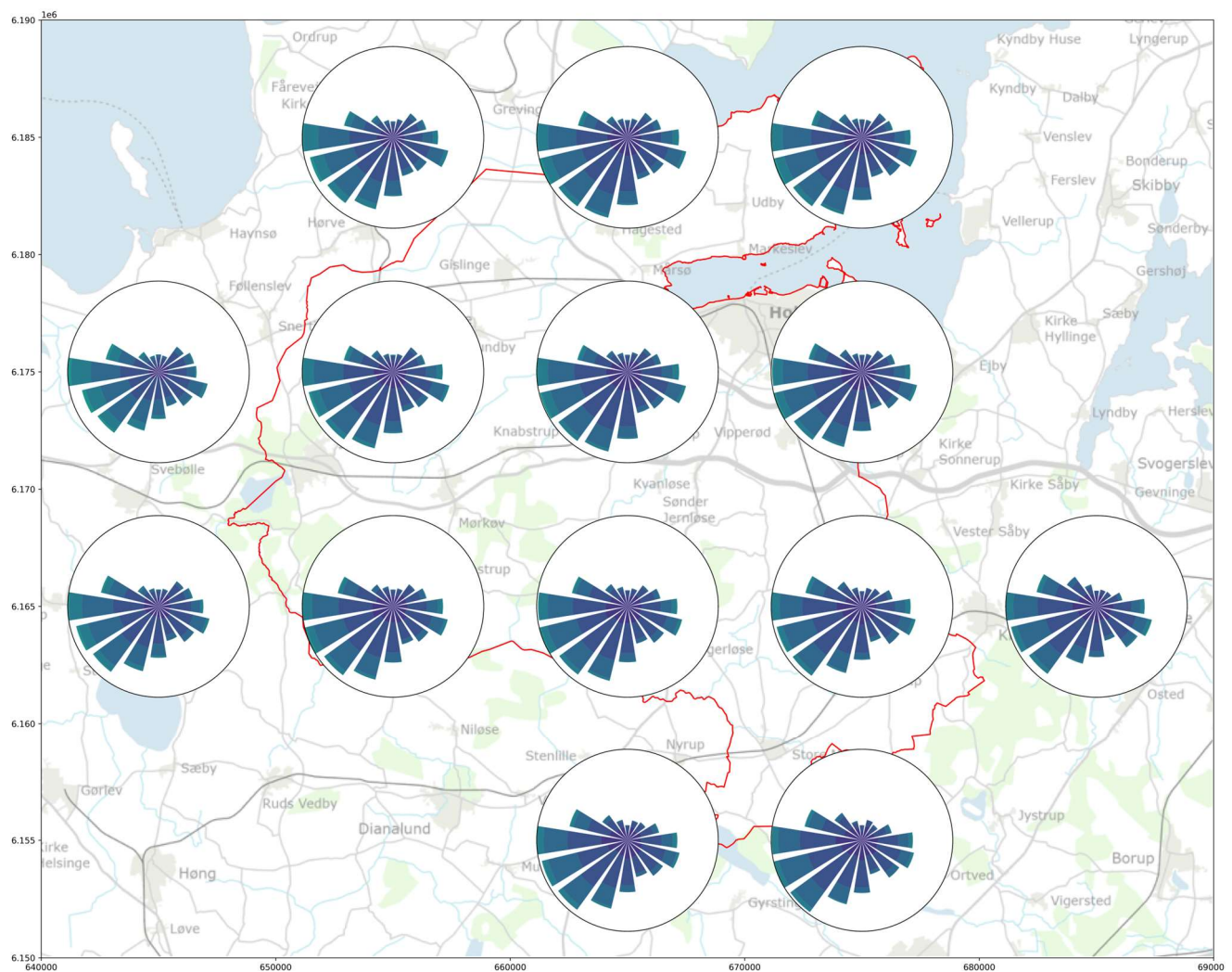


Figur 4.3: 10 km grid dækkende Holbæk Kommune. Hver gridcelle har et unikt nummer bestående af 2 cifre. Det første refererer til den vertikale opdeling og det andet ciffer refererer til den horisontale opdeling.



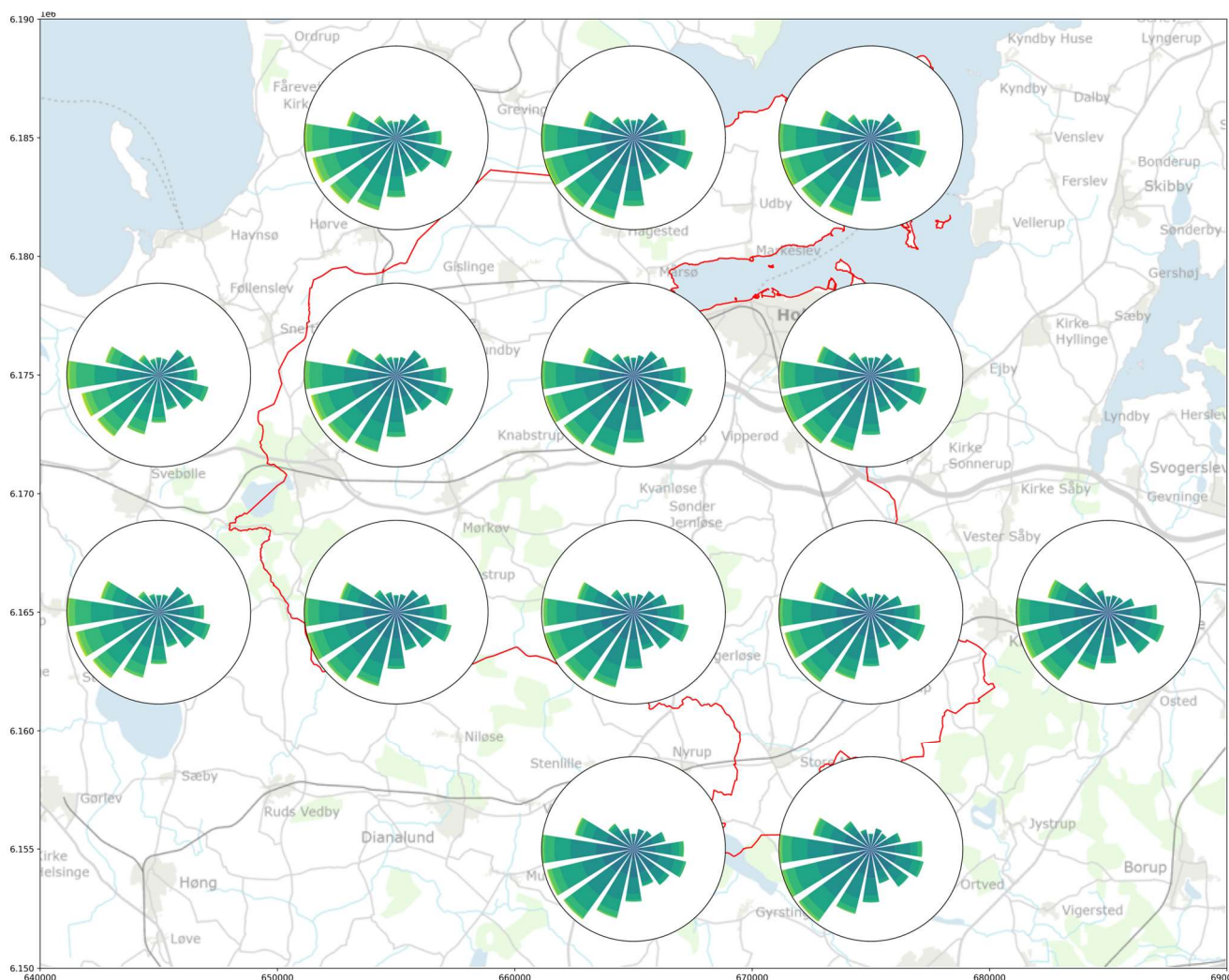
Figur 4.4: Eksempel på en vindrose for 10 km gridcellen 623_52 beliggende i det sydligste af Holbæk Kommune. Den farve, der fylder mest på fanen, er den vindstyrke, der primært forekommer.

Vindroser for Holbæk Kommune fremgår af Figur 4.5. Det ses, at den fremtrædende vindretning for hele kommunen er sydvest til vest.



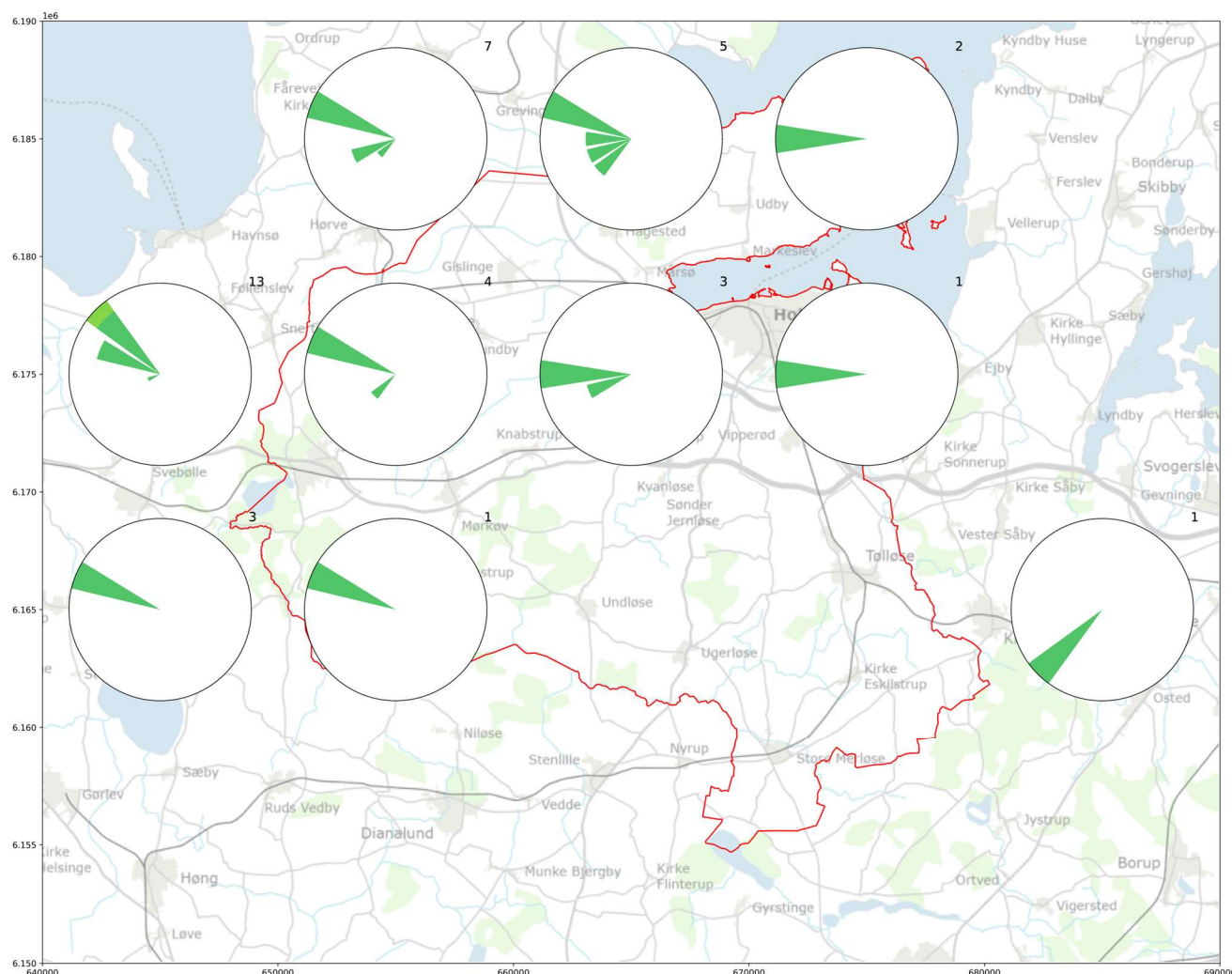
Figur 4.5: Vindroser for daglig middelvind dækkende Holbæk Kommune. Data er udtrykket igennem DMI's API (DMI, 2024)

Figur 4.6 viser vindroser for daglige maksimalværdier for vindstød (kortere end 3 sekunder). Figuren viser samme retningstendenser som for middelvinde. Der er dermed ikke en tendens til at kraftige vindstød kommer fra andre retninger end middelvinde. Der er udarbejdet vindroser for alle 10 km gridceller der overlapper med Holbæk Kommunes område. Disse er vedlagt som supplerende materiale.



Figur 4.6: Vindroser for maksimal daglige vindstød (kortere end 3 sekunders varighed)

Figur 4.7 viser data på timebasis over vinde med en styrke over stormende kuling. I højre side over hver vindrose er der angivet antallet af datapunkter (timer), hvor middelvinden har været over stormende kuling siden 2011. I modsætning til middelvindene, så har der i perioden været en tendens til, at de kraftige vinde er kommet primært fra vest og nordvest.

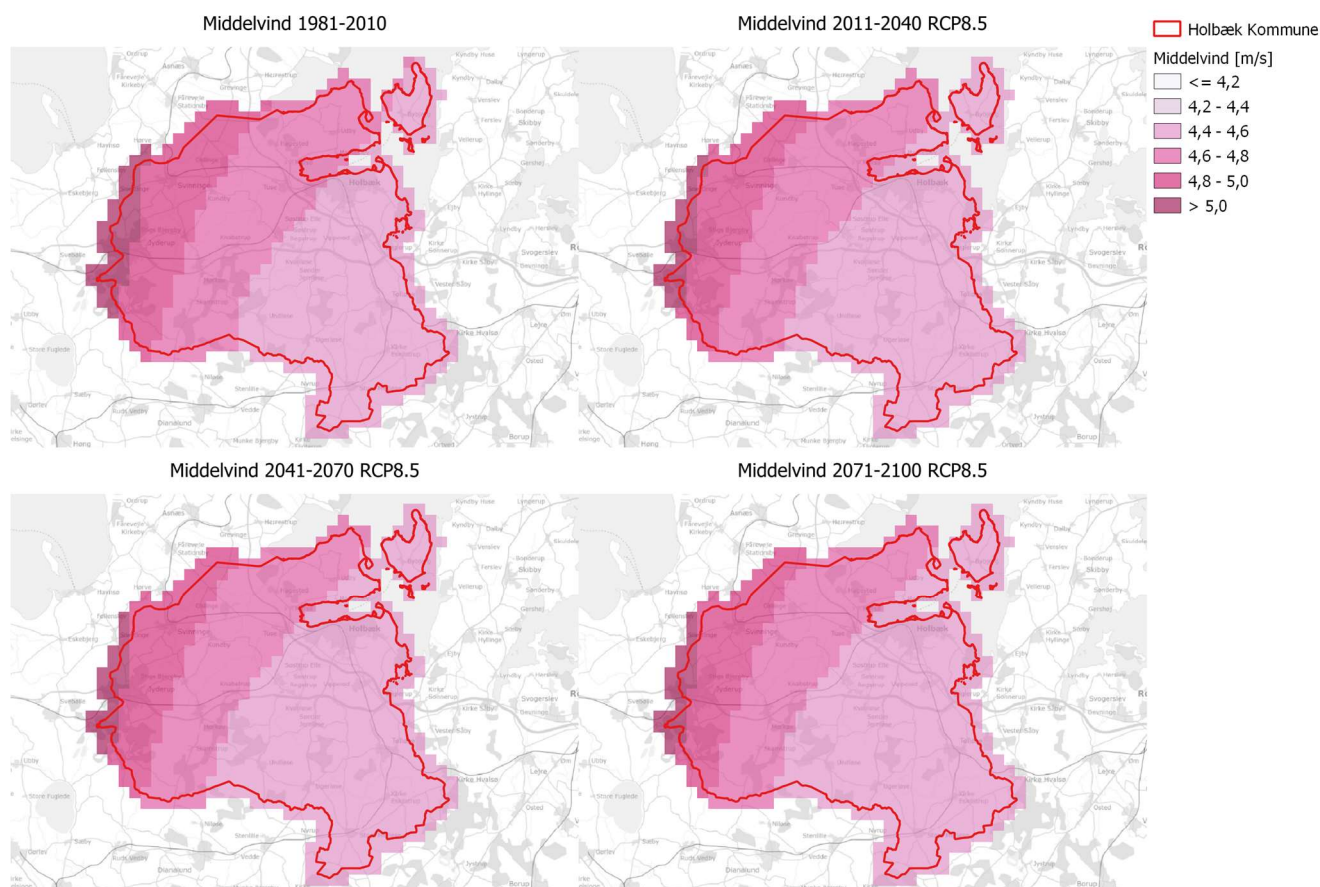


Figur 4.7: Data for vindstyrker over stormende kuling ($>20,8$ m/s) på times niveau. Tallet placeret til højre over vindrosen angiver antallet af timer med vindstyrke over stormende kuling i perioden 2011-2022.

4.2.2 Vindforhold for Holbæk Kommune i fremtidigt klima

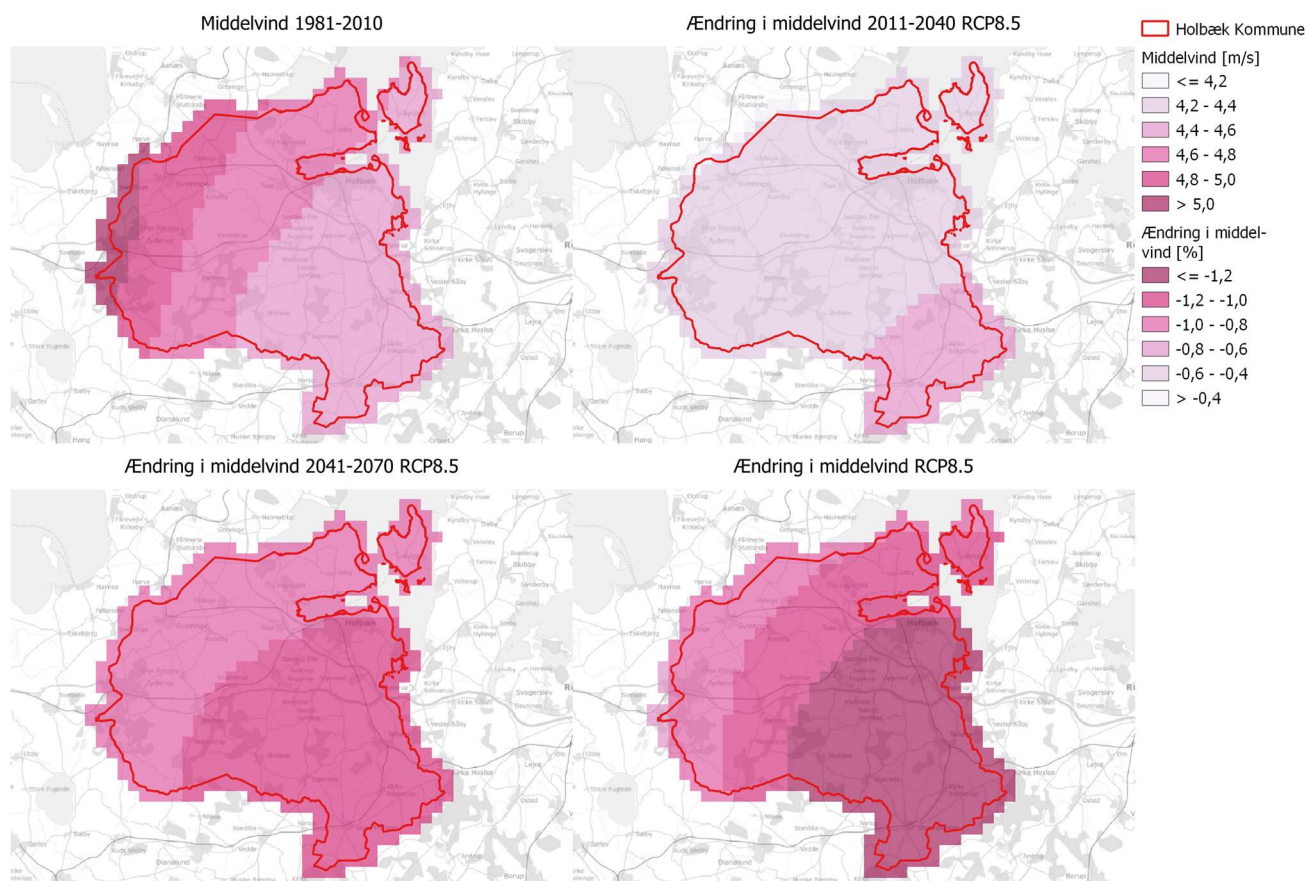
I det følgende gives en gennemgang af resultater omkring vind i fremtidig klima. Data er udtrykt fra DMI's klimaatlas (DMI, 2024a) og dækker middelvind samt ekstremvind ($>24,5$ m/s - storm). Data er visualiseret på 1 km grid celler for klimascenariet RCP8.5 og dækker perioderne start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Figurene er optegnet på baggrund af medianværdien fra data, og indeholder dermed ikke information omkring spændet imellem beregninger udført med de enkelte klimamodeller.

Figur 4.8 viser fordelingen af absolutte værdier for middelvind på tværs af kommunen for reference scenariet (1981-2010) samt de 3 fremtidsscenarier. Da forskellene imellem de enkelte scenarier er begrænset, kan de være vanskeligt at skelne de enkelte tidsperioder.



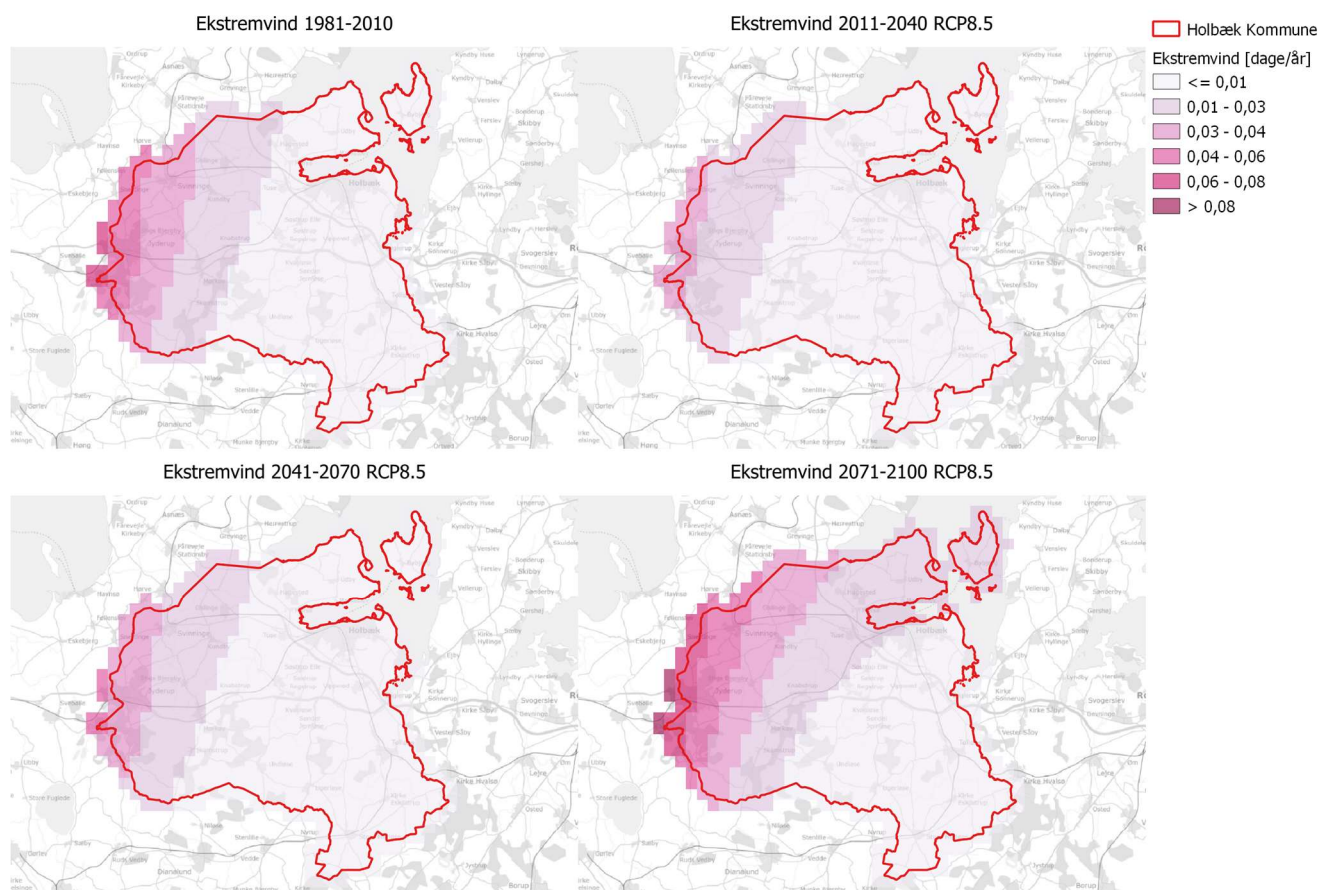
Figur 4.8: Fordeling af middelvinde (50% fraktilen) over Holbæk Kommune for hhv. referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5

Forskellene er mere tydelige på Figur 4.9 som viser reference perioden sammenholdt med ændringer i middelvind i forhold til referenceperioden for de 3 fremtidsscenarier. Figurerne for fremtidsscenarierne viser den procentuelle ændring i forhold til referencescenariet. Ifølge klimamodellerne, sker der begrænset ændringer i middelvindene på tværs af kommunen, med en tendens til en svag reduktion i styrken af middelvindene for start, midt og slut århundrede.



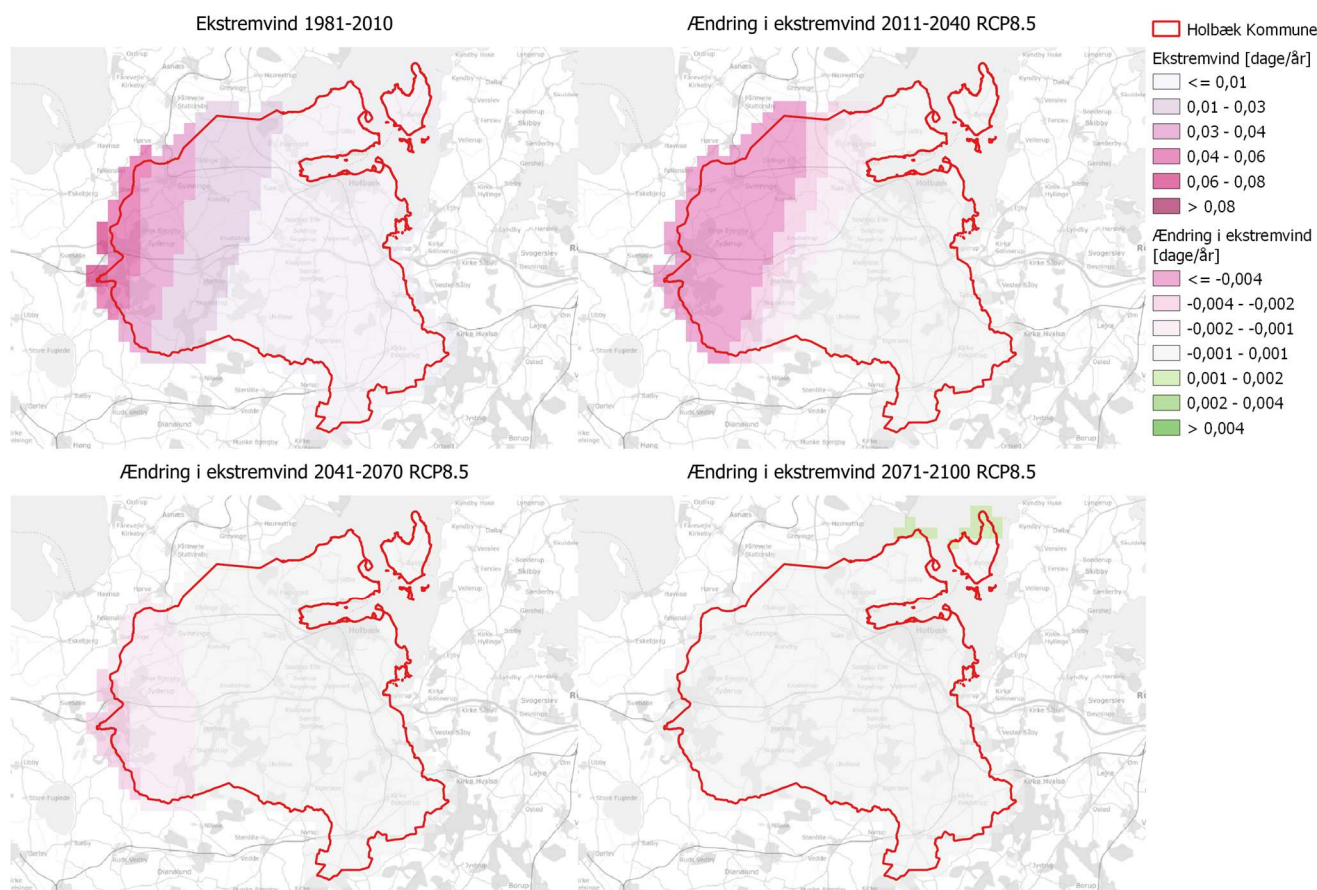
Figur 4.9: Fordeling af middelvinde over Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), samt ændringer i middelvind i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5

Figur 4.10 viser fordelingen af ekstremvinde (stærkere end storm) på tværs af kommunen. Figuren viser det gennemsnitlige antal af dage med ekstrem vind pr. år. For start og midt århundrede er der en tendens til en svag reduktion i antallet af dage med ekstremvind. For slut århundredet sker der igen en stigning i det gennemsnitlige antal dage med ekstremvind. Dette er i tråd med resultaterne vist på nationalt niveau på Figur 4.1.



Figur 4.10: Fordeling af ekstremvinde over Holbæk Kommune for hhv. referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5

Figur 4.11 viser fordelingen af ekstrem vind for referenceperioden samt ændringerne fra referenceperioden til fremtidsscenariet. Ændringen er vist som den absolutte ændring i forhold til referencescenariet, og ikke som en procentuel ændring, som ved middelvinde, da kommunen har meget lav frekvens for ekstremvind. Visualisering af den procentuelle ændring vil derfor blive misvisende, da den vil være domineret af de meget sjældne forekomster. F.eks. vil en stigning på 0,004 dage/år svare til ca. 6 minutter mere med ekstremvind om året.



Figur 4.11: Fordeling af ekstremvinde over Holbæk Kommune for referenceperioden (1981-2010), samt ændringer i ekstremvind i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5

4.3 Anvendelse af vindkort

Analyserne baseret på data for perioden 2011-april 2024 støtter op om allerede kendt viden. For fremtidig klima viser resultaterne fra klimamodellerne, at der kan forventes en reduktion i middelvind på tværs af kommunen, og at frekvensen af ekstremvinden stort set vil være uændret. I forhold til klimaplanlægningen kan vindkortene anvendes til følgende formål:

- Prioritering af hvorvidt vind og ekstremvind udgør en betydelig trussel i kommunen eller dele af denne.
- Kortlægning af eventuelle udsatte naturområder/skove og bygninger, som kan være specielt udsatte i forhold til vindpåvirkning.
- Prioritering af beredskabet i forhold til ekstrem vind, herunder samtænkning af beredskabet med risiko for stormflod.
- Udarbejdelse af planer for reducere vindpåvirkningen lokalt, herunder beplantninger og læbælter.

Vindkortene kan anvendes i klimatilpasningsplanerne til at kvalificere vurderingen af en generel risiko for stærk vind, og hvorvidt risikoen vil stige i fremtiden. Indsatser i klimatilpasningsplanen kan eksempelvis være dialog med beredskabet, samt skov- og landbrugsorganisationer.

4.4 Virkemidler til håndtering af vind

Virkemidlerne til håndtering af stærk vind er velkendte og flere af dem er enten en del af praksis eller ved at blive implementeret. Der er dog mulighed for at understøtte udviklingen eksempelvis gennem klimatilpasningsarbejdet.

Virkemidler ift. skov er især blandingsskov og uberørt skov. Nåletræ er generelt mere ustabil end løvtræ, men som det også fremgår af Figur 4.1 er der store forskelle inden for de forskellige arter. Erfaringerne viser også, at planteafstand mellem træerne ikke er af betydning for stabiliteten, det har derimod hugst, da det udsætter træer for vind, som ikke har sat struktur og rodnet efter det. Urørt skov rammes mindst af stormfald, og har en række andre sundhedsmæssige synergier som mindre risiko for bille- og svampeangreb samt øget biodiversitet.

Vegetation medfører, at jordoverfladen bliver mere ru, hvilket bidrager til at reducere sandflugt. Der er flere virkemidler landbruget kan tage i spil, herunder at lade planternes stubbe stå, så på tværs af vindretningen, så i riller/furer og anvende flerårige afgrøder.

Information og dialog med skov- og landbrugsorganisationer kan med fordel koordineres med dialog om andre hensyn, herunder tørke, biodiversitet, lavbundsområder, vandtilbageholdelse mm.

Storm og stærk vind er særligt en opgave for beredskabet, hvor der kan være en del læring at hente fra December stormen i 1999. Informationsmateriale og varsling forud for en storm er ligeledes velkendte metoder og er effektive forud for en storm for at minimere personskader og dødsfald. I forlængelse heraf kan indsatser med fordel koordineres, eksempelvis således at detailhandel opfordres til at lukke før den kollektive transport stopper for at undgå at passagerer strander i stormen. Tabel 4.1. viser en oversigt over mulige virkemidler til at reducere skader fra vind.

Tabel 4.1: Oversigt over de primære virkemidler til at reducere skader fra vind

Virkemiddel	Effekt	Synergieffekt	Afledte effekter
Urørt skov	Øger robustheden overfor stormfald	Biodiversitet, CO2 binding, mere resilient overfor sygdomme og insektangreb	Ingen mulighed for skovdrift
Blandingsskov	Øger robustheden overfor stormfald	Biodiversitet, CO2 binding, mere resilient overfor sygdomme og insektangreb	Mindre effektiv skovdrift
Etablering af læhegn	Reducerer risikoen for sandflugt. Læhegn beskytter mod vinden 10 gange hegnets højde (Effektivt Landbrug, 2019)	Grønne korridorer for arters bevægelse	Mindre eksisterende landbrugsareal tages ud af drift
Vegetation	Reducerer risikoen for sandflugt.	Forbedret vilkår for græssende arter, frøspredning og biodiversitet generelt	Kan evt. reducere effektiviteten i landbrugsdriften.
Informationsmateriale til borgere og lodsejere	Reducerer risikoen for skader og dødsfald i forbindelse med storm		

Beredskab og varsling	At minimere skader og dødsfald		
-----------------------	--------------------------------	--	--

5. Konklusion

Dette notat er udarbejdet i regi af DK2020, Klimaalliancen og Holbæks Kommunes C40 certificering og med det formål at understøtte kommunens vurdering af risiko for tørke, hede og vind, som er nye udfordringer i den danske klimatilpasning. Notatet har ikke fokus på risici og skader forårsaget af vand, da dette er velbelyst i andre sammenhænge af den danske klimatilpasning.

Der er udarbejdet et sæt af screeningskort indenfor hver af de tre emner til at bistå kommunen i dens vurderinger af risici i dag og under fremtidig klima.

Tørke:

Danmark har særligt oplevet tørke i 2018 og i 2022. Ifølge DMI's klimaatlas ved RCP 8.5 scenariet forventes en stigning i antallet af tørre dage om sommeren på 7% og den længste tørre periode vil stige med 11%. Udfordringerne indbefatter særligt naturen og landbruget, herunder påvirkning af våd natur, øget risiko for naturbrande og øget vandbehov for at bibeholde afgrødeproduktion.

Der er udviklet tørkekort for hele kommunen. Tørkekortet viser områder der er i en høj, middel eller lav sandsynlighed for at opleve tørkepåvirkning. Kortet er dermed en relativ skala der fortæller om, hvor effekterne af tørke vil optræde først, og hvor de forventeligt vil blive mest udtjent. Kortet har en opløsning på 25 x 25 meter. Derudover, er der udarbejdet kort for antal tørre dage og tørre perioder i fremtidig klima, og det forventes at hele kommunen i slutningen af århundredet vil have tørre perioder over 22,5 dage i slutningen af århundredet, dette er en stigning på 2 dage for den sydlige del af kommunen ift. referenceperioden.

Kortene viser, at Holbæk Kommune generelt ikke forventes at blive påvirket meget af tørke ift. i dag. Tørkekortet kan anvendes til vurdering af, hvilke områder der er specielt udsatte, og hvor tørkepåvirkningen forventeligt vil indtræffe først. Tørkekortet kan med fordel bruges som et værktøj til at prioritere indsamling af nødvendig data til at kunne foretage vurderinger af påvirkning af natur og miljø, og dermed prioritere placering af vandtilbageholdelse i vådområder, og dermed bidrage til sæsonudligning mellem en våd vinter og tørt forår/sommer.

Varme og hede:

Byer er særligt sårbare over for stigende temperaturer på grund af varmeø-effekten, og lokalt i byerne (små som store) kan der opstå lokale hedeøer, der kan være farlige for sårbare grupper. I 2018 registrerede SSI en overdødelig på 250 personer pga. de varme temperaturer. I RCP8.5-scenariet vil dage med over 25 °C stige fra 8,8 til 22 døgn.

Der er udviklet hedekort for hele kommunen. Hedekortet viser beregnede middelloverfladetemperaturer i sommermånederne maj, juni, juli og august som et 6 års middel baseret på årene 2018-2023 over Holbæk Kommune i en opløsning på 30 x 30 meter. Beregningerne, der ligger bag overfladetemperaturerne, er baseret på satellitdata fra Landsat 8. Hedekortet giver mulighed for at kunne prioritere indsatser til helt lokalt niveau.

Der er også udarbejdet hedekort for fremtidig klima. I midten af århundredet vil en varmebølge (over 25 grader) i store dele af regionen være steget med 13-15,5 dage ift. referenceperioden, og i slutningen af århundredet vil en varmebølge være steget med op over 25,5 dage i den sydøstlige del af kommunen. I referenceperioden havde kommunen under 3 dage over 28 grader og i slutningen af århundredet forventes over 10 dage med temperaturer over 28 grader. Det er omkring en fordobling og en væsentlig ændring for Holbæk Kommune.

Hedekortet kan anvendes til at identificere lokale hedeøer, identificere årsager og prioritere indsatsen til at reducere disse. Hedeøerne kan reduceres ved at bruge kølende flader, alternative materialer og design og grøn infrastruktur

samt adgang til vand og nedkøling. Løsningerne findes derfor også særligt igennem bygnings- og gadedesign, byplanlægningen samt beredskabet. Målrettes indsatsen er effekten stor. Eksempelvis har bynær skov og grøn infrastruktur en markant kølende effekt på et byområde.

Vind:

I dansk kontekst var orkanen i december 1999 den stærkeste storm i Danmark i de seneste hundrede år, og der er gjort mange erfaringer heraf. Konsekvenser forbundet med klimaforandringernes påvirkninger på vind, når det ikke handler om stormflod, havvandsstigning og kysterosion, er meget ny i dansk kontekst, og der ligger ikke samlet viden på området endnu. Men FN's klimapanel vurderer i den 6. vurderingsrapport, at hyppigheden og intensiteten af storme, herunder stærk vind, sandsynligvis vil stige i Nord- og Centraleuropa.

Der er udviklet vindkort for hele kommunen hhv. for i dag og i fremtiden. Klimadata for vind for perioden 2011-april 2024 er udtrukket fra DMI's api på 10 km gridopløsning og er præsenteret som vindroser. Den fremtrædende vindretning for hele kommunen er sydvest til vest. For middelvinde med kraftige vindstød, kommer vindstød fra samme retning som middelvinden. For stærk vind med en styrke over stormende kuling ses en tendens til, at de primært kommer fra vest og nordvest. Den ændrede vindretning har betydning for særligt stormfald af skove, da træernes struktur indretter sig efter den primære vindretning. Klimadata for vind i fremtidig klima er data udtrukket fra DMIs Klimaatlas og visualiseret for hele kommunen på 1 km grid celler for klimascenariet RCP8.5, og i slutningen af århundredet forventes det gennemsnitlige antal dage med ekstremvind at være stort set uændret i Holbæk Kommune. Baseret på kortlægningen forventes vind ikke at udgøre en større risiko for Holbæk Kommune i fremtiden end i dag.

Vindkortene kan anvendes i klimatilpasningsplanerne til at kvalificere vurderingen af en generel risiko for stærk vind, og hvorvidt risikoen vil stige i fremtiden, og kan med fordel betragtes i sammenhæng med indsatsen for stormflod.

Notatet indeholder en oversigt over mulige virkemidler indenfor de tre emner som inspiration til kommunens klimatilpasningsplaner. Der er lagt op til at virkemidlernes synergier og afledte effekter tages med i vurderingen for så vidt muligt at sikre en helhedsorienteret indsats.

6. Dataleverance

Alle data, der er præsenteret i rapporten er vedlagt i digitale versioner til kommunens eget arbejde. Data er tilgængelige igennem et ftp-site til download og er indarbejdet i et QGIS workspace som kan anvendes direkte.

Mappestrukturen er som følger, hvor hvert punktniveau angiver en undermappe: (mapper er markeret med **fed** signatur og filer er med *kursiv*)

Data_katalog

- HeatMap
 - gis
 - *AntalDatapunkter_HolbaekKommune.tif*
 - *LST_HolbaekKommune.tif*
 - *HolbaekKommune.shp*
 - *Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heatwave_50_85_1981-2010.tif*
 - *Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heatwave_50_85_2011-2040.tif*
 - *Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heatwave_50_85_2041-2070.tif*
 - *Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heatwave_50_85_2071-2100.tif*
 - *Hedeboelgedage_aendring_v2022a_heatwave_50_85_2011-2040.tif*
 - *Hedeboelgedage_aendring_v2022a_heatwave_50_85_2041-2070.tif*
 - *Hedeboelgedage_aendring_v2022a_heatwave_50_85_2071-2100.tif*
 - *Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warmwave_50_85_1981-2010.tif*
 - *Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warmwave_50_85_2011-2040.tif*
 - *Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warmwave_50_85_2041-2070.tif*
 - *Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warmwave_50_85_2071-2100.tif*
 - *Varmeboelgedage_aendring_v2022a_warmwave_50_85_2011-2040.tif*
 - *Varmeboelgedage_aendring_v2022a_warmwave_50_85_2041-2070.tif*
 - *Varmeboelgedage_aendring_v2022a_warmwave_50_85_2071-2100.tif*
 - *Heat_WS.qgz*

ToerkeMap

- gis
 - *HolbaekKommune.shp*
 - *Toerkeindeks_HolbaekKommune.tif*
 - *ToerreDage_absolut_v2022a_dryday_50_85_1981-2010.tif*
 - *ToerreDage_absolut_v2022a_dryday_50_85_2011-2040.tif*
 - *ToerreDage_absolut_v2022a_dryday_50_85_2041-2070.tif*
 - *ToerreDage_absolut_v2022a_dryday_50_85_2071-2100.tif*
 - *ToerreDage_aendring_v2022a_dryday_50_85_2011-2040.tif*
 - *ToerreDage_aendring_v2022a_dryday_50_85_2041-2070.tif*
 - *ToerreDage_aendring_v2022a_dryday_50_85_2071-2100.tif*
 - *ToerrePeriode_absolut_v2022a_dryper_50_85_1981-2010.tif*
 - *ToerrePeriode_absolut_v2022a_dryper_50_85_2011-2040.tif*
 - *ToerrePeriode_absolut_v2022a_dryper_50_85_2041-2070.tif*
 - *ToerrePeriode_absolut_v2022a_dryper_50_85_2071-2100.tif*
 - *ToerrePeriode_aendring_v2022a_dryper_50_85_2011-2040.tif*

- *ToerrePeriode_aendring_v2022a_dryper_50_85_2041-2070.tif*
- *ToerrePeriode_aendring_v2022a_dryper_50_85_2071-2100.tif*
- *Toerke_WS.qgz*

WindMap

- **figurer**
 - **bar_plots**
 - "indeholder barplots over frekvens for vindstyrke for hver 10 km kvadratnet celle"
 - **vindrose_middelvind**
 - "indeholder vindroser over daglige middelvinde for hver 10 km kvadratnet celle"
 - **vindrose_vindstoed**
 - "indeholder vindroser over maksimale daglige vindstød for hver 10 km kvadratnet celle"
 - *area_wind_plot_max_3_sec.png*
 - *area_wind_plot.png*
 - *area_wind_storm.png*
- **gis**
 - *Ekstremvind_absolut_v2022a_storm_50_85_1981-2010.tif*
 - *Ekstremvind_absolut_v2022a_storm_50_85_2011-2040.tif*
 - *Ekstremvind_absolut_v2022a_storm_50_85_2041-2070.tif*
 - *Ekstremvind_absolut_v2022a_storm_50_85_2071-2100.tif*
 - *Ekstremvind_aendring_v2022a_storm_50_85_2011-2040.tif*
 - *Ekstremvind_aendring_v2022a_storm_50_85_2041-2070.tif*
 - *Ekstremvind_aendring_v2022a_storm_50_85_2071-2100.tif*
 - *Middelvind_absolut_v2022a_sfcWind_50_85_1981-2010.tif*
 - *Middelvind_absolut_v2022a_sfcWind_50_85_2011-2040.tif*
 - *Middelvind_absolut_v2022a_sfcWind_50_85_2041-2070.tif*
 - *Middelvind_absolut_v2022a_sfcWind_50_85_2071-2100.tif*
 - *Middelvind_aendring_v2022a_sfcWind_50_85_2011-2040.tif*
 - *Middelvind_aendring_v2022a_sfcWind_50_85_2041-2070.tif*
 - *Middelvind_aendring_v2022a_sfcWind_50_85_2071-2100.tif*
 - *Holbaek_Kommune_10km_grid.shp*
 - *HolbaekKommune.shp*
- *Wind_WS.qgz*

Tabel 6.1: Oversigt over digitale filer med tilhørende mappe og beskrivelse

Fil:	Mappe:	Beskrivelse:
<i>AntalDatapunkter_HolbaekKommune.tif</i>	Data_katalog\HeatMap\gis\	Geotif der indeholder information om hvor mange satellitbilleder der her indgået i beregningen af mid-delværdierne i hede kortet
<i>LST_HolbaekKommune.tif</i>	Data_katalog\HeatMap\gis\	Geotif med overflade temperaturer baseret på Landsat 8 data. Enheden er i grader celsius
<i>Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heat-wave_50_85_2041-2070.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hedeboelgedage for perioden 2041-2070

<i>Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warm-wave_50_85_2041-2070.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 2041-2070
<i>Hedeboelgedage_aendring_v2022a_heat-wave_50_85_2041-2070.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal hedeboelgedage for perioden 2041-2070
<i>Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warm-wave_50_85_2041-2070.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal varmebølgedage for perioden 2041-2070
<i>Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heat-wave_50_85_2071-2100.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hedeboelgedage for perioden 2071-2100
<i>Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warm-wave_50_85_2071-2100.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 2071-2100
<i>Hedeboelgedage_aendring_v2022a_heat-wave_50_85_2071-2100.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal hedeboelgedage for perioden 2071-2100
<i>Varmeboelgedage_aendring_v2022a_warm-wave_50_85_2071-2100.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal varmebølgedage for perioden 2071-2100
<i>Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heat-wave_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hedeboelgedage for perioden 2011-2040
<i>Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warm-wave_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 2011-2040
<i>Hedeboelgedage_aendring_v2022a_heat-wave_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal hedeboelgedage for perioden 2011-2040
<i>Varmeboelgedage_aendring_v2022a_warm-wave_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal varmebølgedage for perioden 2011-2040
<i>Hedeboelgedage_absolut_v2022a_heat-wave_50_85_1981-2010.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hedeboelgedage for perioden 1981-2010
<i>Varmeboelgedage_absolut_v2022a_warm-wave_50_85_1981-2010.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 1981-2010
<i>HolbaekKommune.shp</i>	Data_katalog\HeatMap\gis\ Data_katalog\WindMap\gis\ Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Shapefil med afgrænsning af Holbæk Kommune
<i>Heat_WS</i>	Data_katalog\HeatMap	QGIS workspace med visualisering af kort relateret til hede
<i>Toerkeindeks_HolbaekKommune.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Kort over tørke index klassificeringen for Holbæk Kommune. 1 er svarende til høj tørkerisiko, 2 er middel risiko og 3 er lav risiko

ToerreDage_ab-solut_v2022a_dryday_50_85_2041-2070.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 2041-2070
<i>ToerrePeriode_absolut_v2022a_dry-per_50_85_2041-2070.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 2041-2070
Toerre-Dage_aendring_v2022a_dryday_50_85_2041-2070.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af antallet af tørre dage for perioden 2041-2070
ToerrePeriode_aendring_v2022a_dry-per_50_85_2041-2070.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af længste tørre periode for perioden 2041-2070
ToerreDage_ab-solut_v2022a_dryday_50_85_2071-2100.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 2071-2100
<i>ToerrePeriode_absolut_v2022a_dry-per_50_85_2071-2100.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 2071-2100
Toerre-Dage_aendring_v2022a_dryday_50_85_2071-2100.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af antallet af tørre dage for perioden 2071-2100
ToerrePeriode_aendring_v2022a_dry-per_50_85_2071-2100.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af længste tørre periode for perioden 2071-2100
ToerreDage_ab-solut_v2022a_dryday_50_85_2011-2040.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 2011-2040
<i>ToerrePeriode_absolut_v2022a_dry-per_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 2011-2040
Toerre-Dage_aendring_v2022a_dryday_50_85_2011-2040.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af antallet af tørre dage for perioden 2011-2040
ToerrePeriode_aendring_v2022a_dry-per_50_85_2011-2040.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af længste tørre periode for perioden 2011-2040
ToerreDage_ab-solut_v2022a_dryday_50_85_1981-2010.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 1981-2010
<i>ToerrePeriode_absolut_v2022a_dry-per_50_85_1981-2010.tif</i>	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 1981-2010
<i>Toerke_WS.qgz</i>	Data_katalog\ToerkeMap	QGIS workspace med visualiseringen relateret til tørke
<i>10km_"grid celle"_vindklasse_bar.png</i> , hvor gridcelle refererer til 10 km griddet	Data_katalog\WindMap\figurer\bar_plots	I alt 14 billedfiler med barplot over den månedlige frekvens af forskellige vindtyper

<i>wind_10km_"grid celle".png</i> , hvor gridcelle refererer til 10 km gridet	Data_katalog\WindMap\figurer\vindrose_middelvind	I alt 14 billedfiler med vindroser over daglige middelværdier for vind for perioden 2011 til april 2024
<i>Wind_max_3_sec_10km_"grid celle".png</i> , hvor gridcelle refererer til 10 km gridet	Data_katalog\WindMap\figurer\vindrose_vindstoed	I alt 14 billedfiler med vindroser over daglige maksimale vindstød for perioden 2011 til april 2024
<i>area_wind_plot_max_3_sec.png</i>	Data_katalog\WindMap\figurer\	Vindroser med maksimale daglige vindstød dækkende Holbæk Kommune for perioden 2011 til april 2024
<i>area_wind_plot.png</i>	Data_katalog\WindMap\figurer\	Vindroser med daglige middelvinde dækkende Holbæk Kommune for perioden 2011 til april 2024
<i>area_wind_storm2.png</i>	Data_katalog\WindMap\figurer\	Vindroser med vindstyrker højere end stormende kuling på timeniveau dækkende Holbæk Kommune for perioden 2011 til april 2024
<i>Holbaek_Kommune_10km_grid.shp</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	10 km gridceller dækkende Holbæk Kommune
<i>Ekstremvind_abso-lut_v2022a_storm_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for ekstremvind [dage/år] for perioden 2011-2040
<i>Ekstremvind_abso-lut_v2022a_storm_50_85_2041-2070.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for ekstremvind [dage/år] for perioden 2041-2070
<i>Ekstremvind_abso-lut_v2022a_storm_50_85_2071-2100.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for ekstremvind [dage/år] for perioden 2071-2100
<i>Ekstremvind_abso-lut_v2022a_storm_50_85_1981-2010.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med værdier for ekstremvind [dage/år] for referenceperioden 1981-2010
<i>Ekstremvind_aendring_v2022a_storm_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring for ekstremvind [dage/år] for perioden 2011-2040
<i>Ekstremvind_aendring_v2022a_storm_50_85_2041-2070.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring for ekstremvind [dage/år] for perioden 2041-2070
<i>Ekstremvind_aendring_v2022a_storm_50_85_2071-2100.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring for ekstremvind [dage/år] for perioden 2071-2100
<i>Middelvind_abso-lut_v2022a_sfcWind_50_85_2011-2040.tif</i>	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for middelvind [m/s] for perioden 2011-2040

Middelvind_ab-solut_v2022a_sfcWind_50_85_2041-2070.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for middelvind [m/s] for perioden 2041-2070
Middelvind_ab-solut_v2022a_sfcWind_50_85_2071-2100.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for middelvind [m/s] for perioden 2071-2100
Middelvind_ab-solut_v2022a_sfcWind_50_85_1981-2010.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med værdier for middelvind [m/s] for referenceperioden 1981-2010
Middelvind_aendring_v2022a_sfcWind_50_85_2011-2040.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring i middelvind [%] for perioden 2011-2040
Middelvind_aendring_v2022a_sfcWind_50_85_2041-2070.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring i middelvind [%] for perioden 2041-2070
Middelvind_aendring_v2022a_sfcWind_50_85_2071-2100.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring i middelvind [%] for perioden 2071-2100
Wind_WS.qgz	Data_katalog\WindMap\	QGIS workspace med visualisering af kort relateret til vind

7. Referenceliste

Avdan, U. & Jovanovska, G., 2016. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. Journal of Sensors, p. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1480307>.

Beredskabsstyrelsen, 2022. Nationalt Risikobillede 2022, Birkørød: Beredskabsstyrelsen.

Bühler, O., Tøttrup, C., Borgstrøm, R. & Jensen, M. B., 2010. Urban Heat Island i København: Beskrivelse af fænomenet, vurdering af omfang i København, input til strategi for håndtering, København: Skov & Landskab, Københavns Universitet.

Cai, Z., Han, G. & Chen, M., 2018. Do water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature?. Sustainable Cities and Society, Issue 39, pp. 487-498.

Canadell, J. et al., 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, Årgang 108, pp. 583-595.

DMI, 2018. Hedeindeks. Weblink: <https://www.dmi.dk/vejr-og-atmosfare/temaforside-kuldeindeks-og-hedeindeks/hedeindeks/>

DMI, 2024a. DMI Klimaatlas. Weblink: <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klimaatlas/>

DMI, 2024b. The Danish Meteorological Institute's (DMI) Open Data API. Weblink: <https://confluence.govcloud.dk/display/FDAP1>

Det Europæiske Miljøagentur (EEA). 2021- Vand til landbruget. Weblink: <https://www.eea.europa.eu/da/articles/vand-til-landbruget>

GEUS, 2022. FOHM - Fælles offentlig hydrologisk model.

UN Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.

Hughes, J. & Hayes, D., 2014. Automated Detection of Cloud and Cloud Shadow in Single-Date Landsat Imagery Using Neural Networks and Spatial Post-Processing. Remote Sensing, Årgang 6, pp. 4907-4926.

Mavalankar, D. D. et al., 2016. City Resilience Toolkit: Response to Deadly Heat Waves and Preparing for Rising Temperatures, Gandhinagar: Indian Institute of Public Health, Natural Resources Defense Council, University of Washington Department of Medicine, Icahn School of Medicine at Mount Sinai.

Olesen, J.E. et al. 2022. Notat om klimaforandringerne betydning for dansk landbrug. Rådgivningsnotat. DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug.

Scharling, M. & Vilic, K., 2009. Teknisk rapport 09-08: Tørkeindeks version 1.0 - metodebeskrivelse, København: Danmarks Meteorologiske Institut.

Scharling, M., Wagner, M. & Olesen, M., 2021. DMI - Hedebløge eller bare en varmebløge?. Weblink: <https://www.dmi.dk/nyheder/2021/hedebolge-eller-bare-en-varmebolge/>

SSI, 2018. Flere ældre dør i varmen, København: Statens Serum Institut. Weblink: <https://www.ssi.dk/aktuelt/nyheder/2018/flere-aldre-dor-i-varmen>

Styczen, M. et al., 2006. Standardopstillinger til Daisy-modellen, Vejledning og baggrund, Version 1.2, s.l.: DHI Institut for Vand og Miljø.

Styrelsen for dataforsyning og effektivisering (SDFE), 2022. Hydrologisk informations- og prognosesystem (HIP). Weblink: <https://hip.dataforsyningen.dk/>

Thejll, P. et al., 2021. Methods used in the Danish Climate Atlas, s.l.: Danish Meteorological Institute.

Thorup-Kristensen, K. & Kirkegaard, J., 2016. Root system-based limits to agricultural productivity and efficiency:. Annals of Botany, Årgang 118, pp. 573-592.

U.S. Environmental Protection Agency. 2012. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies.

Wolf, K.L. 2010. Safe Streets - A Literature Review. In: Green Cities: Good Health (www.greenhealth.washington.edu). College of the Environment, University of Washington