



Håndtering af tørke, hede og vind i kommunernes klimatilpasning

DK2020

Region Midtjylland
Dato: 30. september 2022

Indhold

Forord	4
1. Introduktion	5
2. Tørke	7
2.1 Udfordringer og konsekvenser ved tørke	8
2.2 Tørkekort: Metode og udvikling	10
2.2.1 Tørke i Region Midtjylland i dag	10
2.2.2 Tørke i Region Midtjylland i fremtidigt klima	12
2.3 Anvendelse af tørkekortet	17
2.4 Virkemidler til håndtering af tørke	17
3. Hede og urbane hedeøer	20
3.1 Udfordringer og konsekvenser ved hede	21
3.2 Hedekort: Metode og udvikling	22
3.2.1 Hede i Region Midtjylland i dag	22
3.2.2 Hede i Region Midtjylland i fremtidigt klima	24
3.3 Anvendelse af hedekortet	29
3.4 Virkemidler til håndtering af urbane hedeøer	29
4. Vind	35
4.1 Udfordringer og konsekvenser ved vind	35
4.2 Vindkort: Metode og udvikling	37
4.2.1 Vindforhold for Region Midtjylland i dag	37
4.2.2 Vindforhold for Region Midtjylland i fremtidigt klima	41
4.3 Anvendelse af vindkort	46
4.4 Virkemidler til håndtering af vind	46
5. Konklusion	48
6. Dataleverance	50
7. Referenceliste	55

Forord

Dette notat er udarbejdet i regi af DK2020 Midtjylland med det formål at understøtte kommunernes 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 kommunerne til at kvalificere deres risikovurdering indenfor disse tre emner i DK2020 klimatilpasningsplanerne. Notatet peger ydermere på mulige virkemidler og forvaltningspraksis.

95 af de danske kommuner har tilsluttet sig DK2020. De første 20 kommuner gik i gang i et pilotforløb i 2019-2020, mens de øvrige kommuner aktuelt er i gang med at udarbejde klimahandleplaner. DK2020 gennemføres i to runder. Første runde af kommuner gennemfører forløbet fra november 2020 til oktober 2022. Kommuner i anden runde starter op i efteråret 2021 og færdiggør forløbet i 2023.

Alle 19 kommuner i Region Midtjylland deltager i DK2020, hvorfor der er lavet screeningskort for alle regionens kommuner.

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 varemde 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 korttidstilladelser 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).



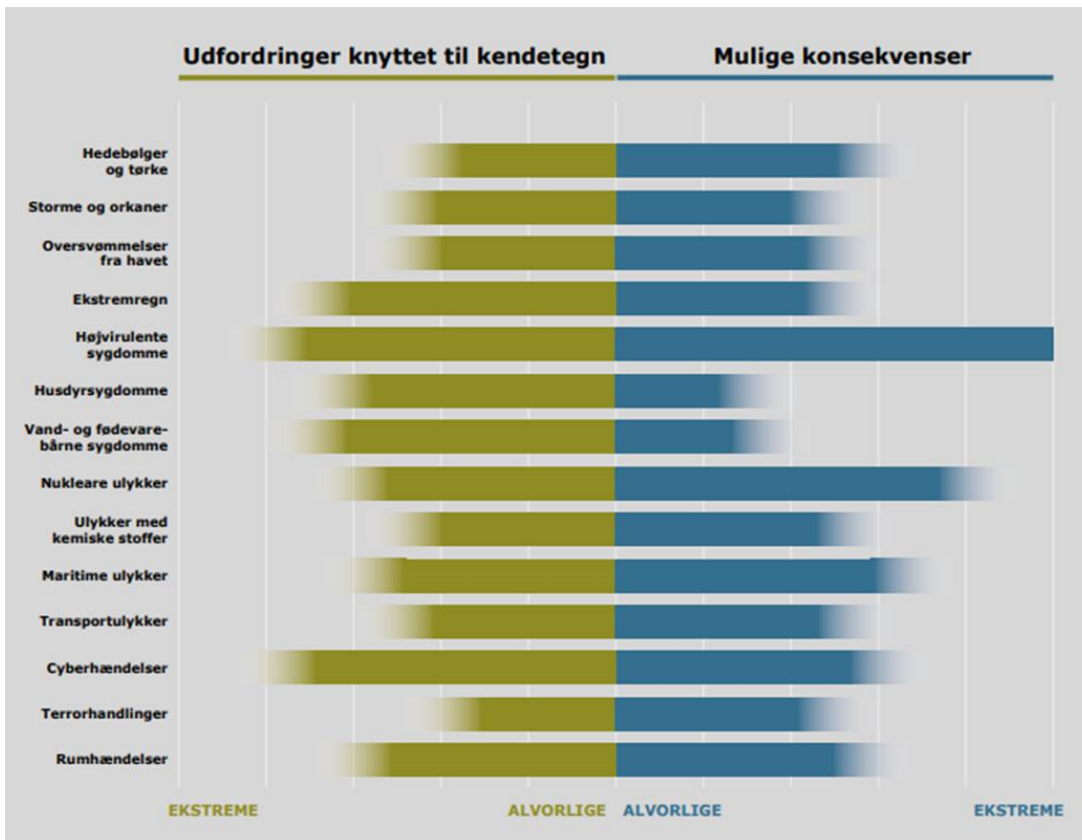
Figur 1.1: Danmark set fra satellit den 13. maj (t.v.) og den 19. juli (t.h.) 2018 efter to måneder med tørke. (vejrtv2.dk, foto: Aqua-satellitten/NASA).

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 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 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's tørkeindeks er blevet beregnet de sidste 17 år. 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.

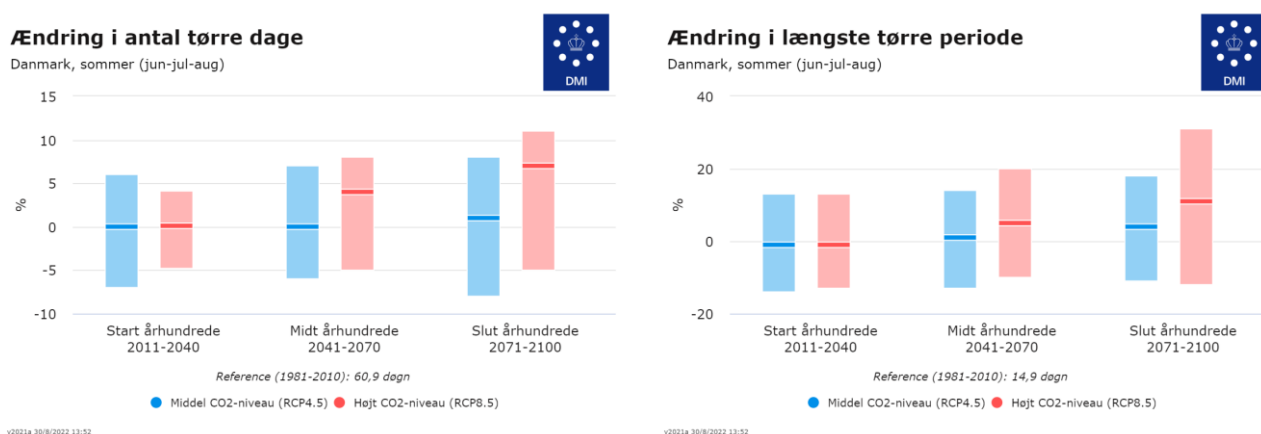
Den dybereliggende geologi vil ligeledes have en effekt på, hvor god jorden er til at holde på vandet. I områder, hvor den terrænnære geologi primært består af sand, vil dræningen generelt ske hurtigere end i tilsvarende områder med et højre indhold af ler i den terrænnære geologi.

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 roddybden, 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, 2022a). Afsnit 2.2.1 angiver stigningen i tørre dage og perioder for Region Midtjylland.

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 Region Midtjylland 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 sommermånernerne for hele Danmark (DMI, 2022a).

2.1 Udfordringer og konsekvenser ved tørke

Tørke har særligt konsekvenser i det åbne land, herunder for landbrug og natur. Der er sikkert flere der kan huske, at flere vandværker udstedte vandingsforbud i 2018. Da grundvandsdannelsen sker henover efteråret og vinteren, hvor den potentielle fordampning 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.

Hvor drikkevandsboringer er dybe boringer, der indvinder vand fra dybe grundvandsmagasiner, henter markvandingboringer vand tættere på terrænen. Landbruget har derfor særskilte indvindingstilladelser for at undgå påvirkning af den våde natur. 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. Derudover, kan tørke og varme dage have betydning for dyrevelfærden af husdyrbruget (Beredskabsstyrelsen, 2022), der ligesom mennesker kan lide under de varme temperaturer.

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. Da varmt vand kan indeholde mindre ilt end koldt vand øges risikoen for iltvind. Udtørring kan derudover påvirke arters reproduktion afhængigt af, hvornår på sæsonen tørken falder.



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

Udtørrede vandløb har i 2022 også været et problem i Europa og påvirket bl.a. den Europæiske energiforsyning. 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 blev ramt, hvilket har konsekvenser for træproduktionen.

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, 2022a). Disse data belyser udviklingen i antallet af tørre dage samt udviklingen i længden af de længste tørre perioder for fremtidig klima.

2.2.1 Tørke i Region Midtjylland i dag

Der er udarbejdet et tørkekortet for hele Region Midtjylland. 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. 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.

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 jordbundstypekortet.

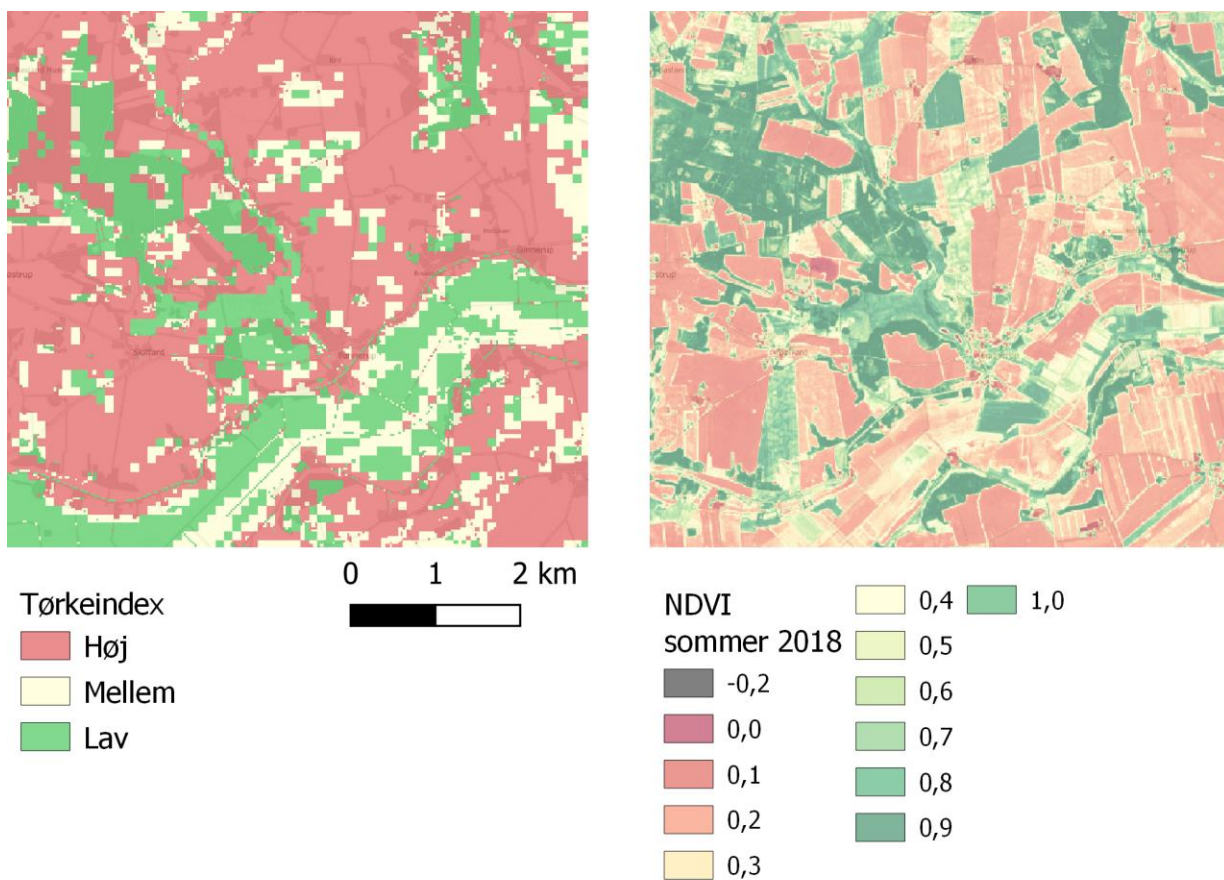
Fjerde funktion relaterer sig til den akkumulerede lertykkelse over førstkomende sandlag i et givent område. I områder med tykke lerlag vil dræningen af de øverste jordlag ske langsommere, end hvis der forekommer sandede aflejringer umiddelbart under de øverste jordlag.

Tørkekortet er baseret på følgende indgående datasæt:

- Frie offentlige hydrologiske data fra HIP (Hydrologisk Informations- og Prognosesystem), 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 lertykkelser. (GEUS, 2022)

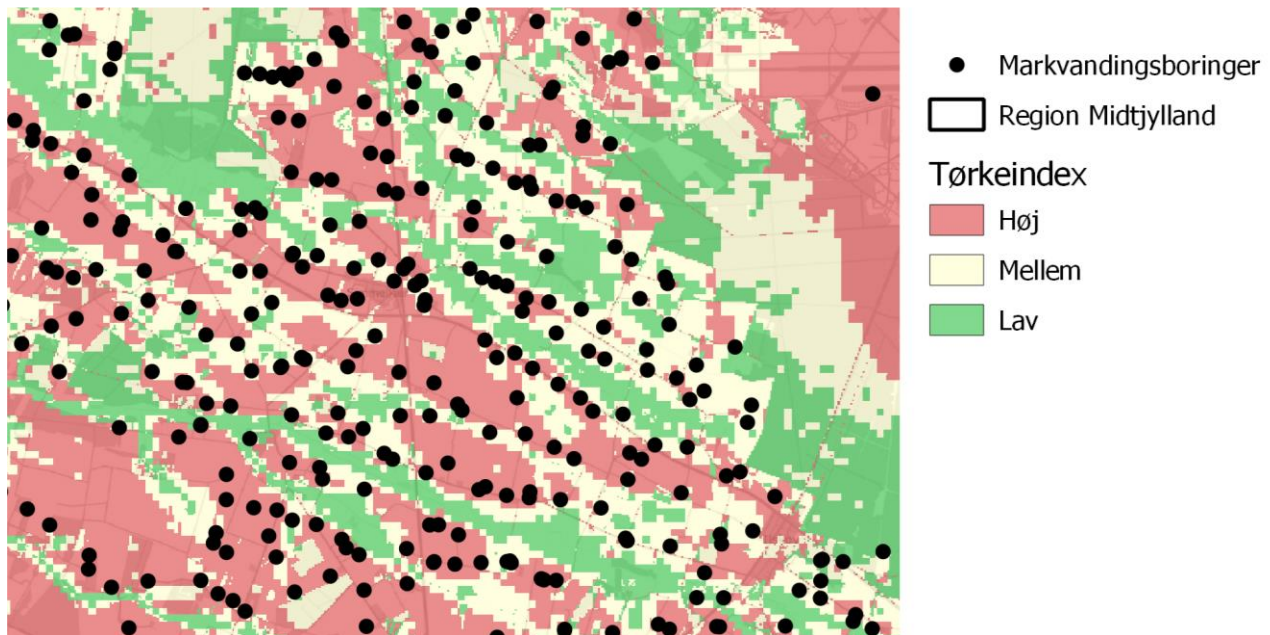
Tørkekortet baseres dermed i høj grad på statiske og generelle parametre som forventede jordbundsforhold, rodudvikling og grundvandsforhold, og ikke hvordan fordampningen og nedbøren udvikler sig et givent år, ligesom i DMI's tørkeindeks. Tørkekortet er dermed også en visualisering af, hvor hårdt et 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 to alternative metoder, som kan tjene som krydsvalidering af det udarbejdede tørkekort. Det første udtræk er baseret på det såkaldte "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI). NDVI beregnes ud fra forholdet imellem det røde bånd og det nær infrarøde bånd. I denne rapport 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 området syd for Ørum på Djursland. 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. Overordnet set ses de samme trends i kortet over NDVI, dog ses enkelte marker at have højt NDVI. Dette forventes at skyldes markvanding.



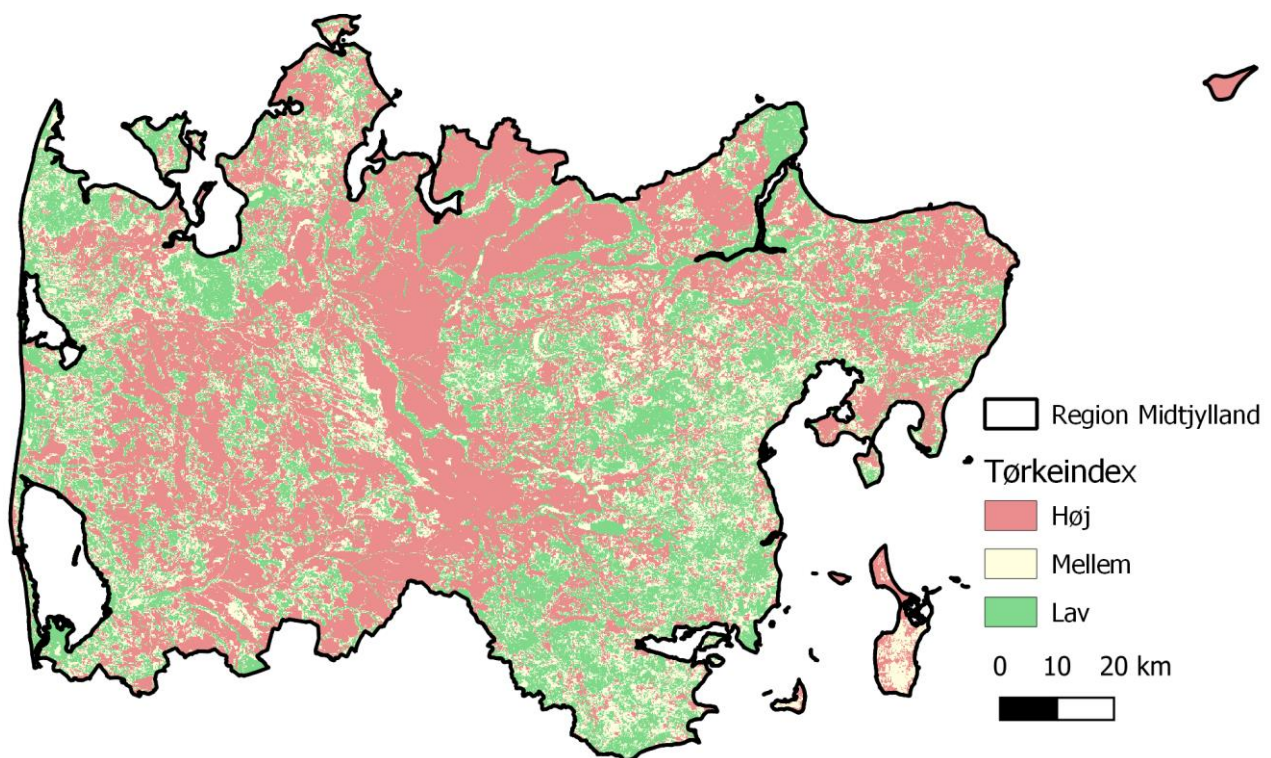
Figur 2.2: Sammenligning imellem tørkeindex og NDVI for området syd for Ørum på Djursland i sommeren 2018

Til yderligere validering, angiver Figur 2.3 en sammenstilling af markvandingsboringer fra Jupiter databasen. Placeringen af borerne er i høj grad knyttet til kanten af områder, hvor tørkeindexet er "lavt" eller "mellem", men ud imod områder med "høj" sandsynlighed. Dette er formentlig en effekt af, at borerne placeres i områder med relativt kort afstand til det terrænnære grundvandsspejl, men tæt ved områder, hvor der er behov for markvanding.



Figur 2.3: Sammenstilling af Markvandingsboringer og tørkeindex for området omkring Simmelkær nord for Herning

Det samlede tørkekort dækkende Region Midtjylland fremgår af Figur 2.4.



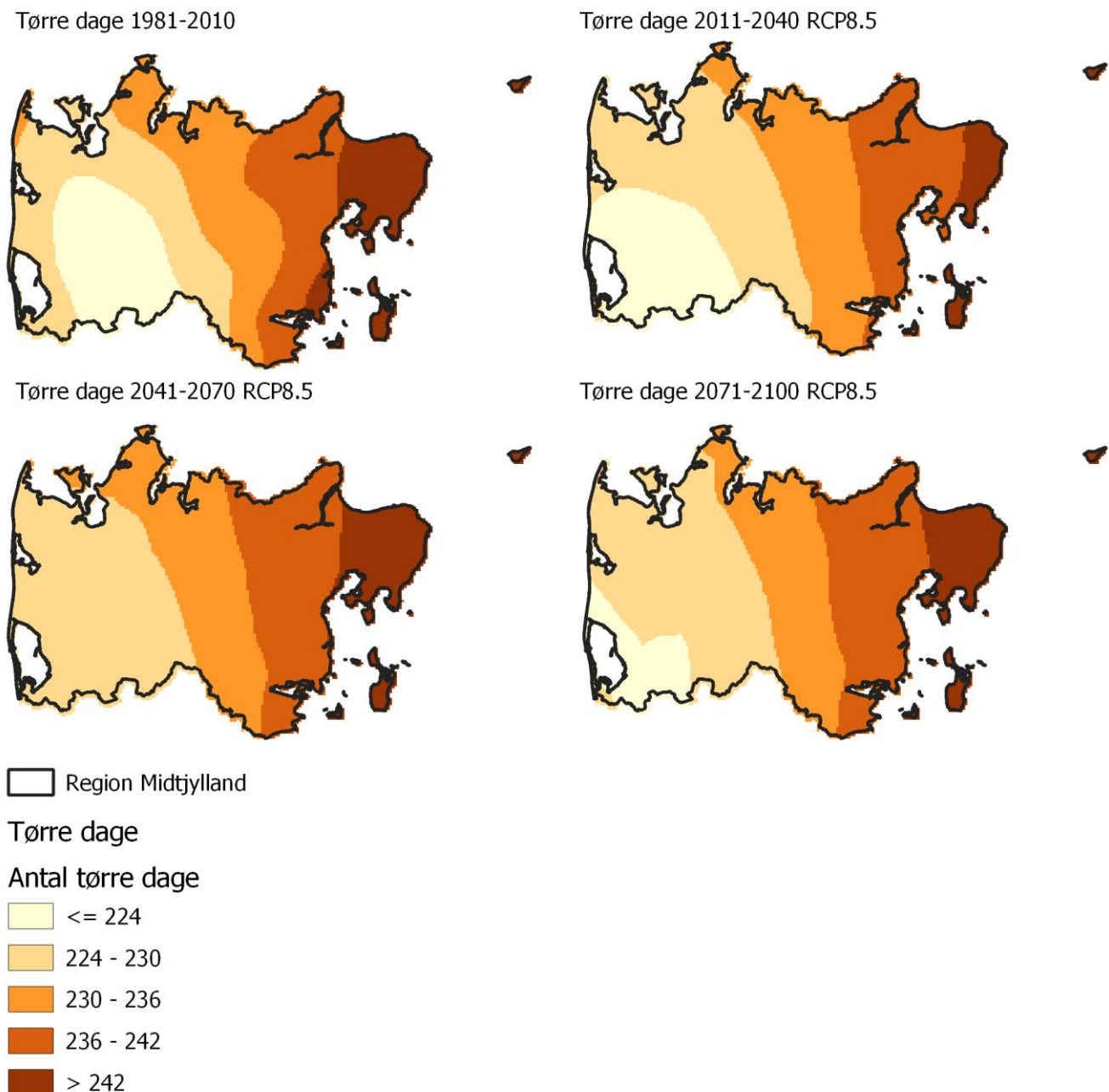
Figur 2.4: Tørkekort dækkende Region Midtjylland

2.2.2 Tørke i Region Midtjylland i fremtidigt klima

I det følgende gives en gennemgang af resultater omkring tørke i fremtidigt klima. Data er udtrukket fra DMI's klimaatlas (DMI, 2022a) 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

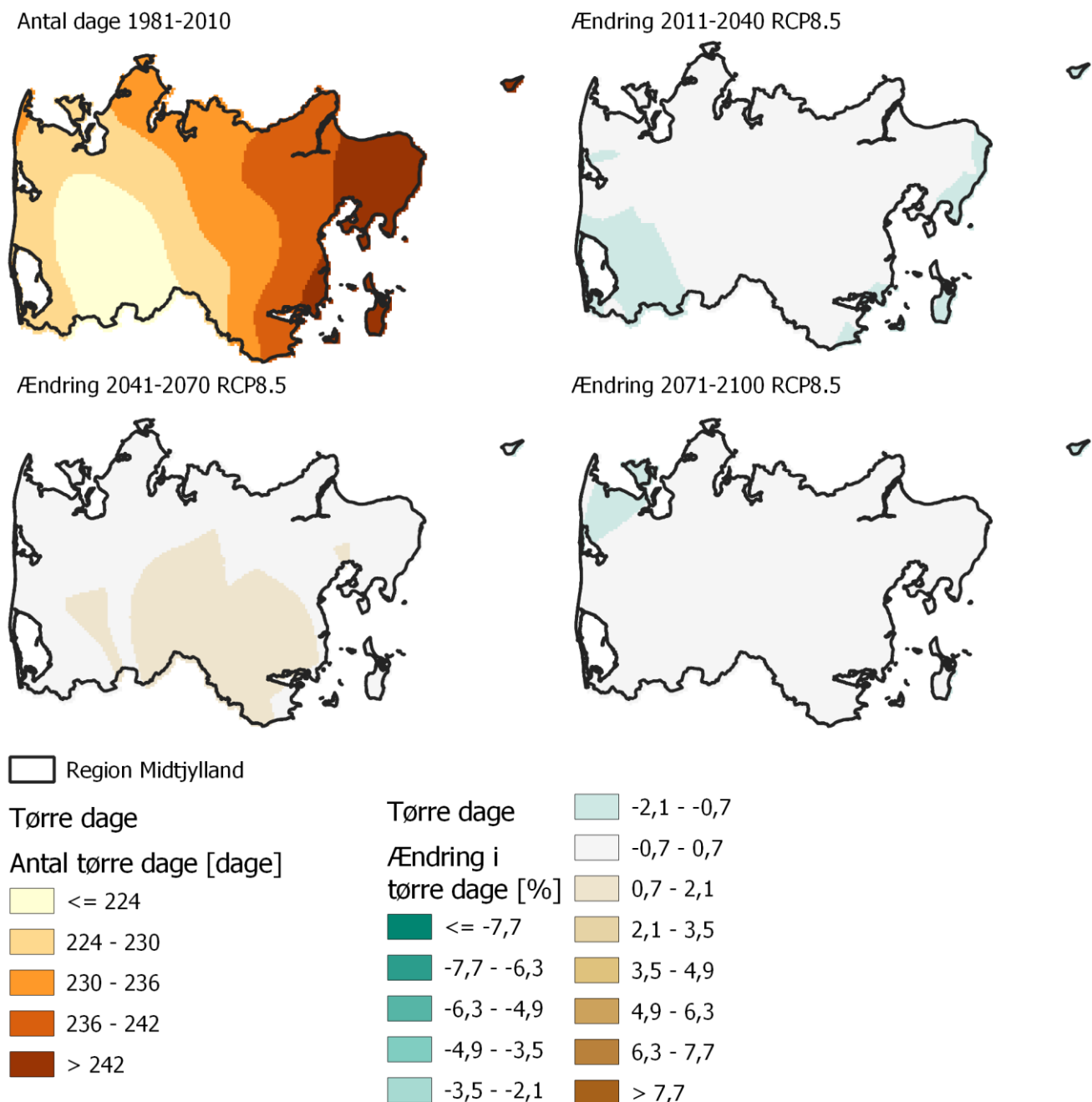
medianværdien fra data, og indeholder dermed ikke information omkring spændet imellem beregninger udført med de enkelte klimamodeller.

Figur 2.5 viser den regionale fordeling af antallet af tørre dage i Midtjylland, hvor tørre dage, som tidligere nævnt, defineres som dage med under 1 mm nedbør. Med færrest tørre dage i den sydvestlige del af regionen og flest tørre dage i den nordøstlige del pga. den primære vindretning fra vest-sydvest og det tilknyttede nedbørsmønster.



Figur 2.5: Fordeling af tørre dage (50% fraktilen) over Region Midtjylland for hhv. referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

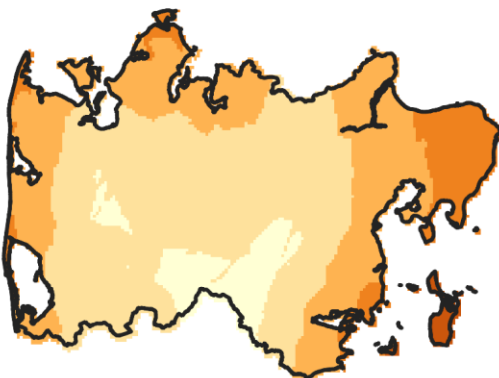
Det fremgår af Figur 2.6, at der sker et fald i antallet af tørre dage i regionen. Dette skyldes, at Danmark på årsbasis får et vådere klima, men nedbøren vil være ulige fordelt med mere nedbør henover efterår og vinter. Sommernedbøren forventes at være den samme, men fordelt med flere skybrud og flere tørre dage ind imellem. Dette kan endvidere ses af Figur 2.7 og Figur 2.8.



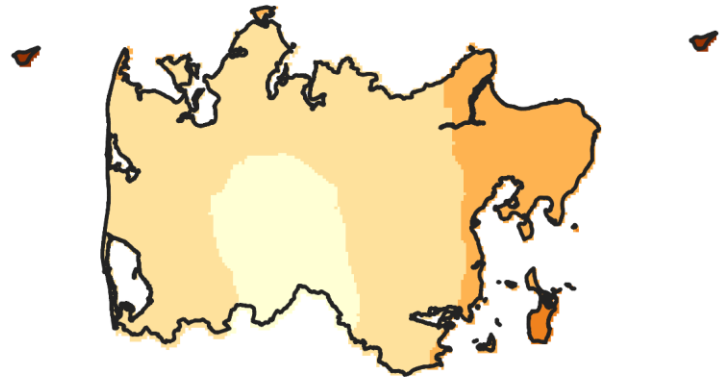
Figur 2.6: Fordeling af antal tørre dage over Region Midtjylland for referenceperioden (1981-2010), samt ændringer i antallet af tørre dage i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivninger er vist ved anvendelse af RCP8.5

Den ulige fordeling af nedbøren kan som nævnt ses af Figur 2.7 og 2.8. Figur 2.7 angiver antallet af tørre dage og hele regionen vil have tørre perioder over 20 dage i slutningen af århundredet. Det meste af Djursland og Samsø vil have tørre perioder på 22-23 dage i slutningen af århundredet.

Længste tørre periode 1981-2010



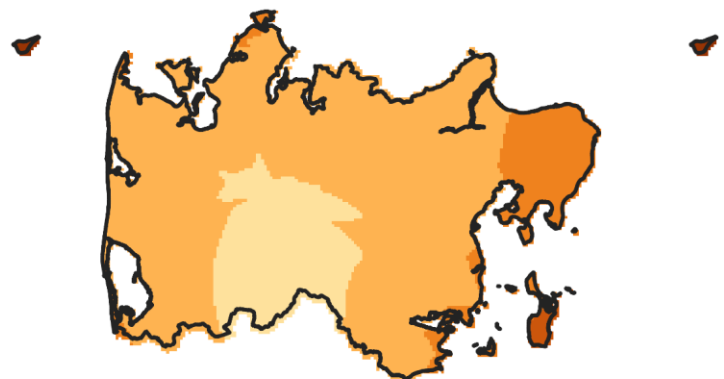
Længste tørre periode 2011-2040 RCP8.5



Længste tørre periode 2041-2070 RCP8.5



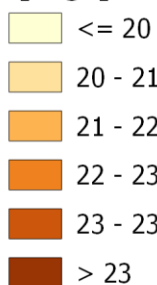
Længste tørre periode 2071-2100 RCP8.5



Region Midtjylland

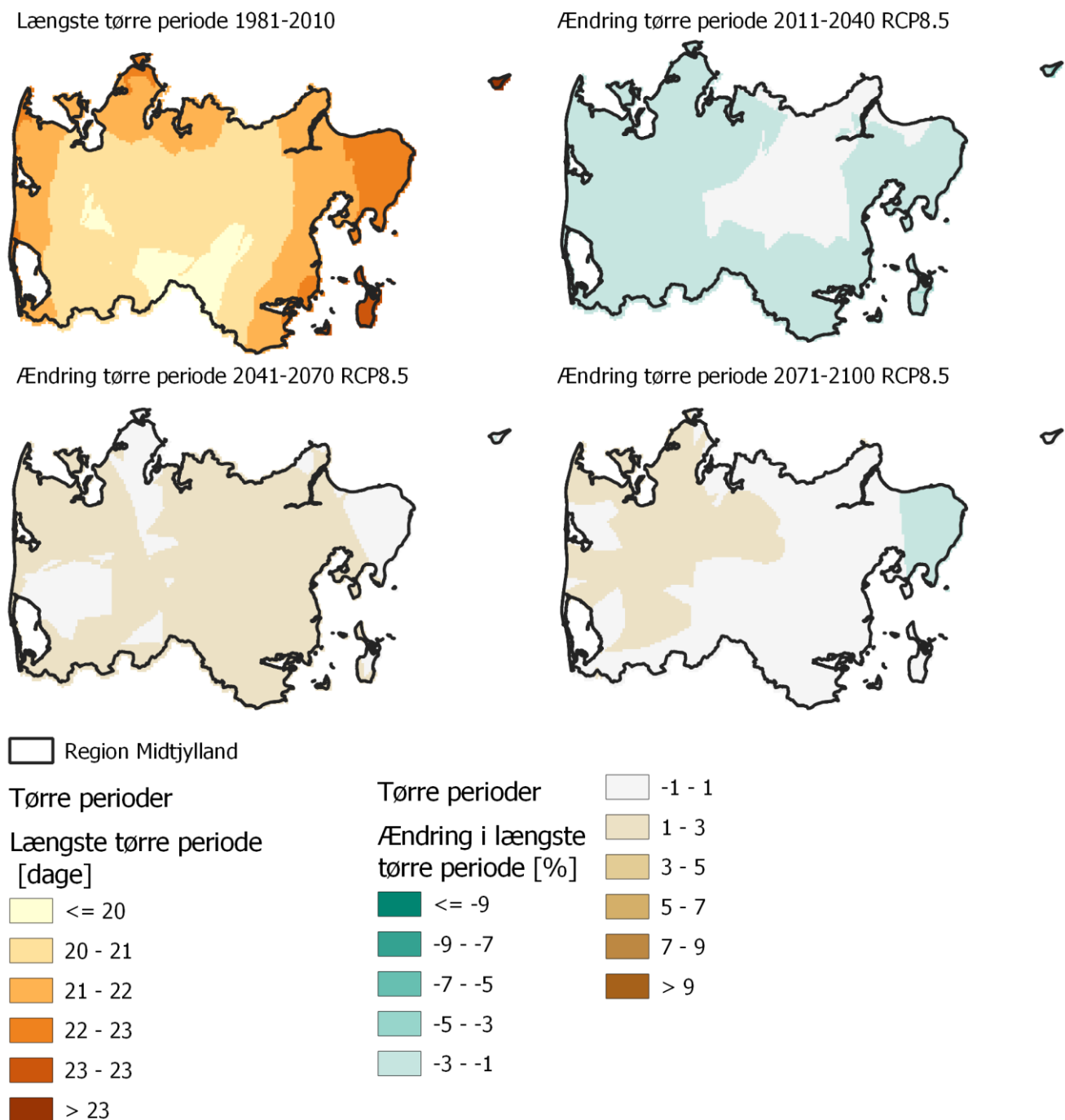
Tørre perioder

Længste tørre periode
[dage]



Figur 2.7: Fordeling af antallet af dage for længste tørre perioder over Region Midtjylland 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 2.8 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 1-3% for derefter at stige 1-3% i forhold til referenceperioden i slutningen af århundredet.



Figur 2.8: Fordeling af antallet af dage for længste tørre perioder over Region Midtjylland 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 fornyelse af indvindingstilladelser
- Udpegning af naturområder og vandløb, der potentielt er sårbare over for tørkepåvirkning
- Udarbejdelse af beredskabsplaner i forhold til naturbrande

I forbindelse med tørkepakken, blev bekendtgørelsen om vandindvinding og vandforsyning ændret således at kommunerne kan udstede korttidsstilladelse 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 korttidsstilladelse er forenelig med beskyttelsen af Natura 2000-områder og inddrage hensynet til vandområdeplaner. Tørkekortet kan i denne forbindelse bistå kommuner i at prioritere dataindsamling til at kvalificere deres vurderinger, dette belyses nærmere i nedenstående afsnit.

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 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, og/eller at indgå i dialog med landbruget om fremtidens afgrødevalg.

2.4 Virkemidler til håndtering af tørke

Håndtering af tørke ift. landbruget kan gøres igennem forvaltningspraksis af særligt grundvandsindvinding fra markvandingsboringer. I 2018 oplevede mange kommuner ekstraordinært mange ansøgninger om tilladelse til øget indvinding til især markvanding. 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 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 f.eks. BEST. 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 ift. naturvurderingen, eksempelvis hvis vandløbet udtørres sent vil det ikke påvirke udklækningen af vingebarne insekter, men hvis vandløbet begynder at udtørre tidligere og tidligere på sæsonen er det et problem for nogle vingebarne insekters reproduktion.

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 forudsætnin-
gerne 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 tørkeresi-
stente afgrøder. En indsats i dette tilfælde kan således være, at kommunen iværksætter en dialog med landbrugsor-
ganisationer, 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 van-
dingsmetoder, der har en større nyttevirkning 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 etable-
ret, eksempelvis betød tørken i 2022 at særligt grantræer blev angrebet af barkbillen Typograf og forårsagede skov-
død 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. I landbruget be-
tyder de flere varme dage, at der kan produceres andre afgrøder eller afgrøder med større udbytte fx majs og solsik-
ker.



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

Informationskampagner og anbefalinger er ikke altid nok. Under tørken i 2018 blev der indført vandingsforbud af
nogle vandværker, særligt i det vestjyske 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 tørke

Virkemiddel	Effekt	Synergieffekt	Afledte effekter
Øge indvinding til markvanding	Øget høstudbytte		Kan medføre påvirkning af målsatte vandløb, sårbar natur eller arters sæsonmæssige reproduktion
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
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	
Mere effektive vandingsmetoder fx bom- og drypvanding	Mindsker 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.
Blandingskov	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, lods ejere 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 varmemø-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 varmemøen 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:

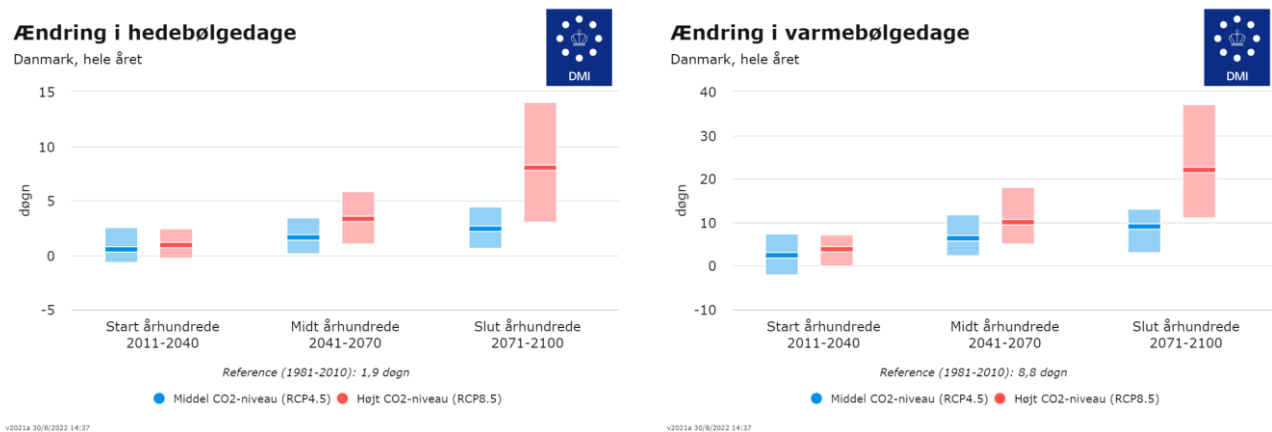
1. Kortlægning af hede og sårbarhed: Måling af hede og vurdering af sårbarheder for at målrette fremtidige handlinger.
2. Beredskab: Udvikling af hedeberedskab (muligheder for nedkøling, drikkevand, offentlig kommunikation).
3. Integrering af hede i langsigtet planlægning: Integrering af virkemidler, 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 kommuner 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 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, 2022a).

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. Ændringen er ikke ens på tværs af Region Midtjylland, og den rumlige variation vil blive analyseret i afsnit 3.2.2. 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 hedebløgedage og varmebløgedage over hele året for hele Danmark (DMI, 2022a).

3.1 Udfordringer og konsekvenser ved hede

I byerne kan effekten af hedebløger være endnu mere udtalt som følge af den urbane varmø-effekt. Den urbane varmø-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 hedeøer 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 hedebløger 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 %	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).

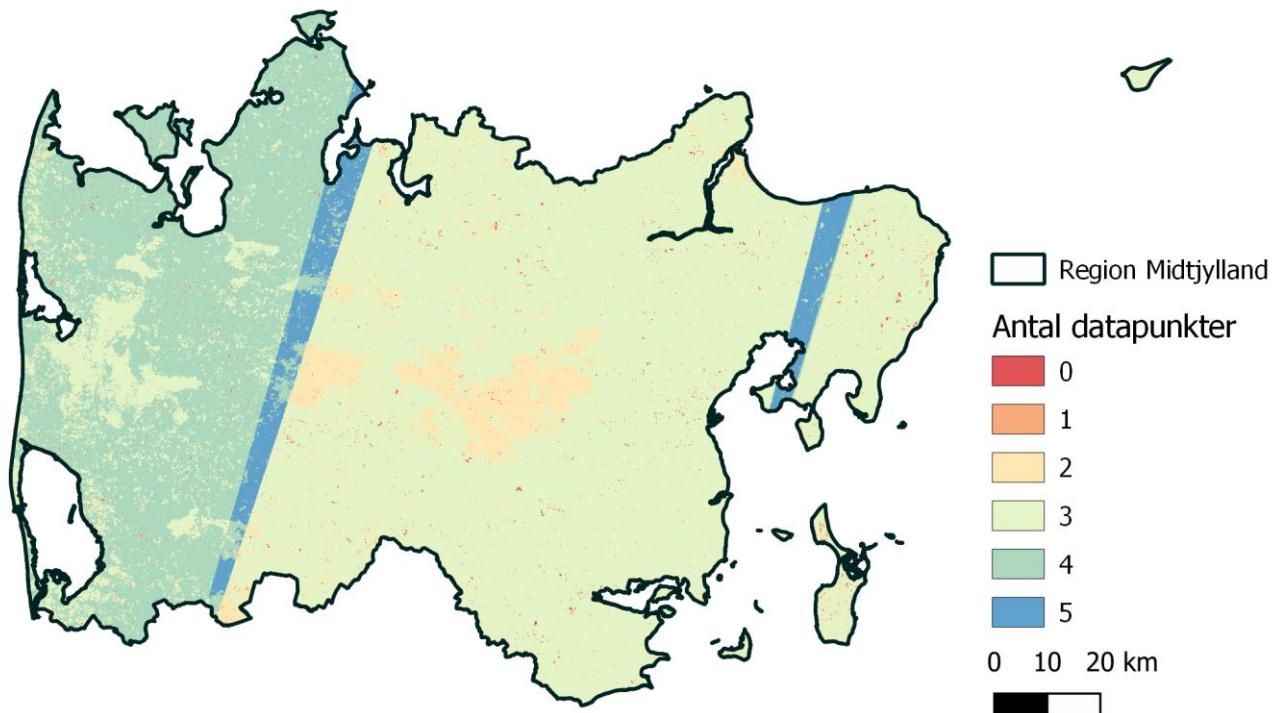
Høje temperaturer påvirker også kritisk infrastruktur, og kan dermed have store samfundsøkonomiske omkostninger. Både vejnettet, jernbanerne og elnettet kan lide last under høje temperaturer. Varmepåvirkninger af asfalten på veje, kan gøre belægningen bliver for blød, hvilket kan medvirke til trafikuheld 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.

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 Region Midtjylland i dag

Hedekortet viser beregnede middelovertemperaturen i sommeren 2018 over hele Region Midtjylland i en opløsning på 30 m x 30 m. Beregningerne der ligger bag overfladetemperaturen er baseret på satellitdata fra Landsat 8. Datagrundlaget bag beregningerne har været alle tilgængelige satellitbilleder for regionen i månederne juni, juli og august i 2018, hvor skydækket har været mindre end 20%. Antallet af tilgængelige input for hver beregningscelle kan ses i Figur 3.3. Der har været 7 overflyvninger i perioden som helt eller delvist dækker regionen, og hvor der har været tilstrækkelig lavt skydække. Dette har været på dagene 1. juni, 3. juni, 8. juni, 26. juni, 3. juli, 21. juli og 26. juli.

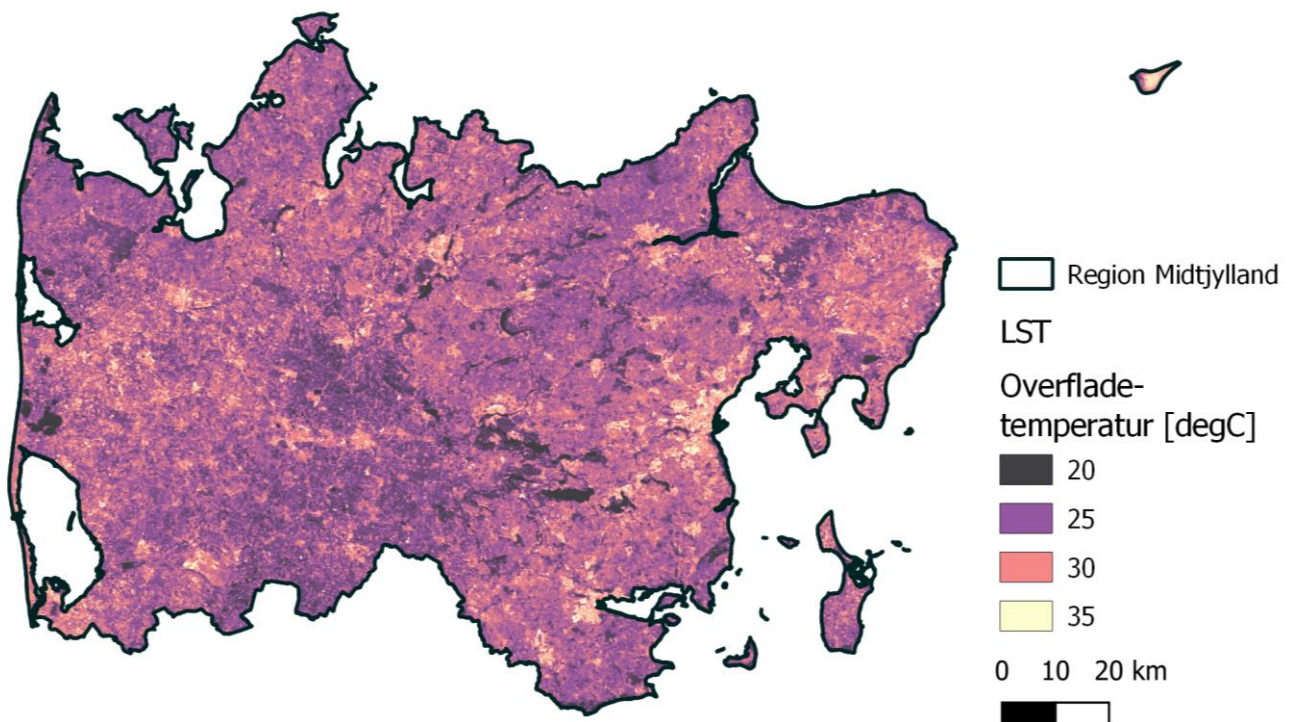


Figur 3.3: Antal datapunkter der indgår i beregning af middelværdien for LST. Datagrundlaget er et produkt af både skydække og overflyvninger.

Selve beregningen af overflade temperaturen (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. Afblændingen er udført ved anvendelse af machine learning, hvor et neuralt netværk er trænet til detektion af skydække (Hughes & Hayes, 2014).

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 er stort set dækkende hele Region Midtjylland. 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.



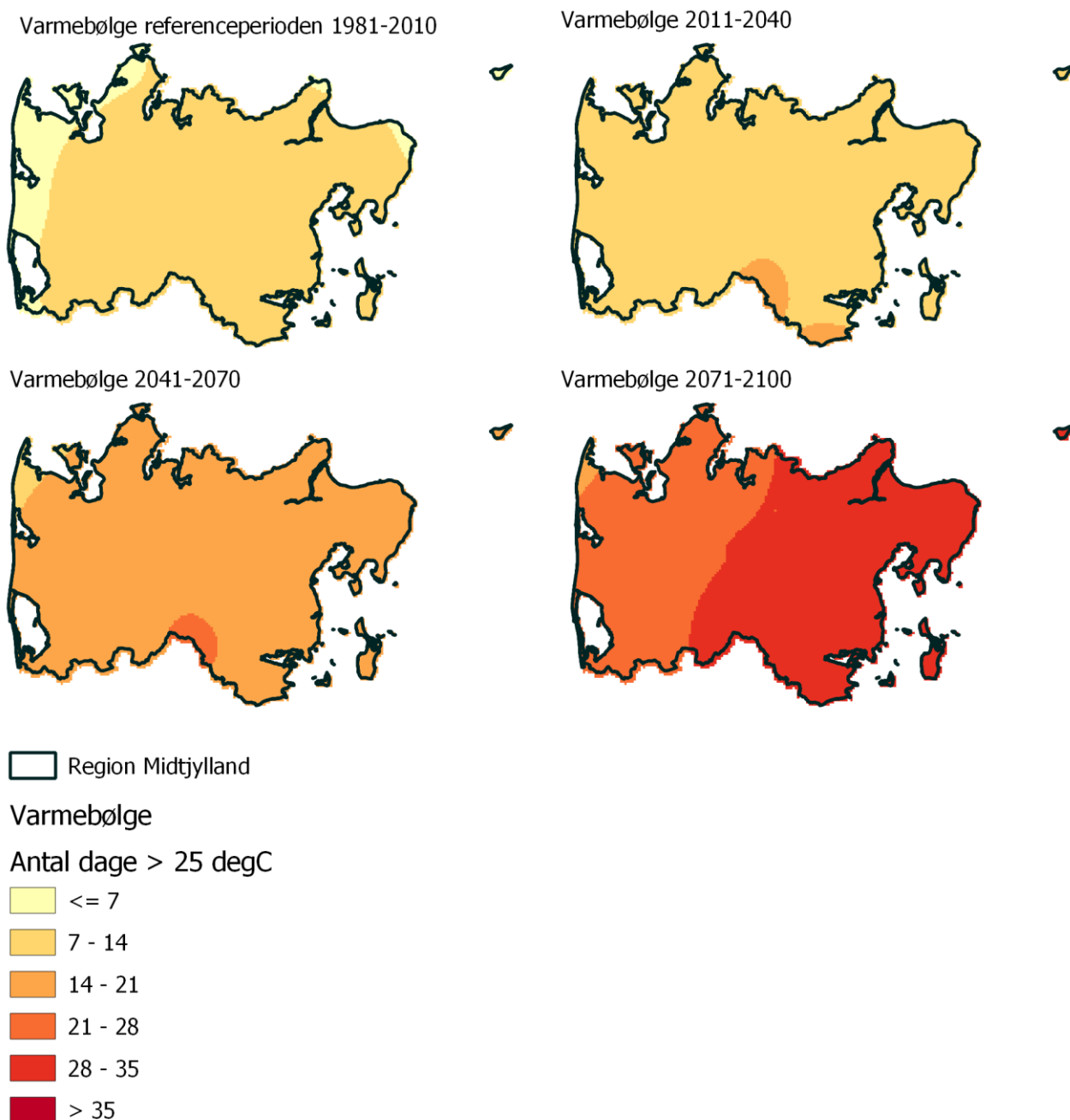
Figur 3.4: Resulterende middel overfladetemperatur for sommeren 2018.

3.2.2 Hede i Region Midtjylland i fremtidigt klima

I det følgende gives en gennemgang af resultater omkring hede i fremtidig klima. Data er udtrukket fra DMI's klimaatlas (DMI, 2022a) 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.

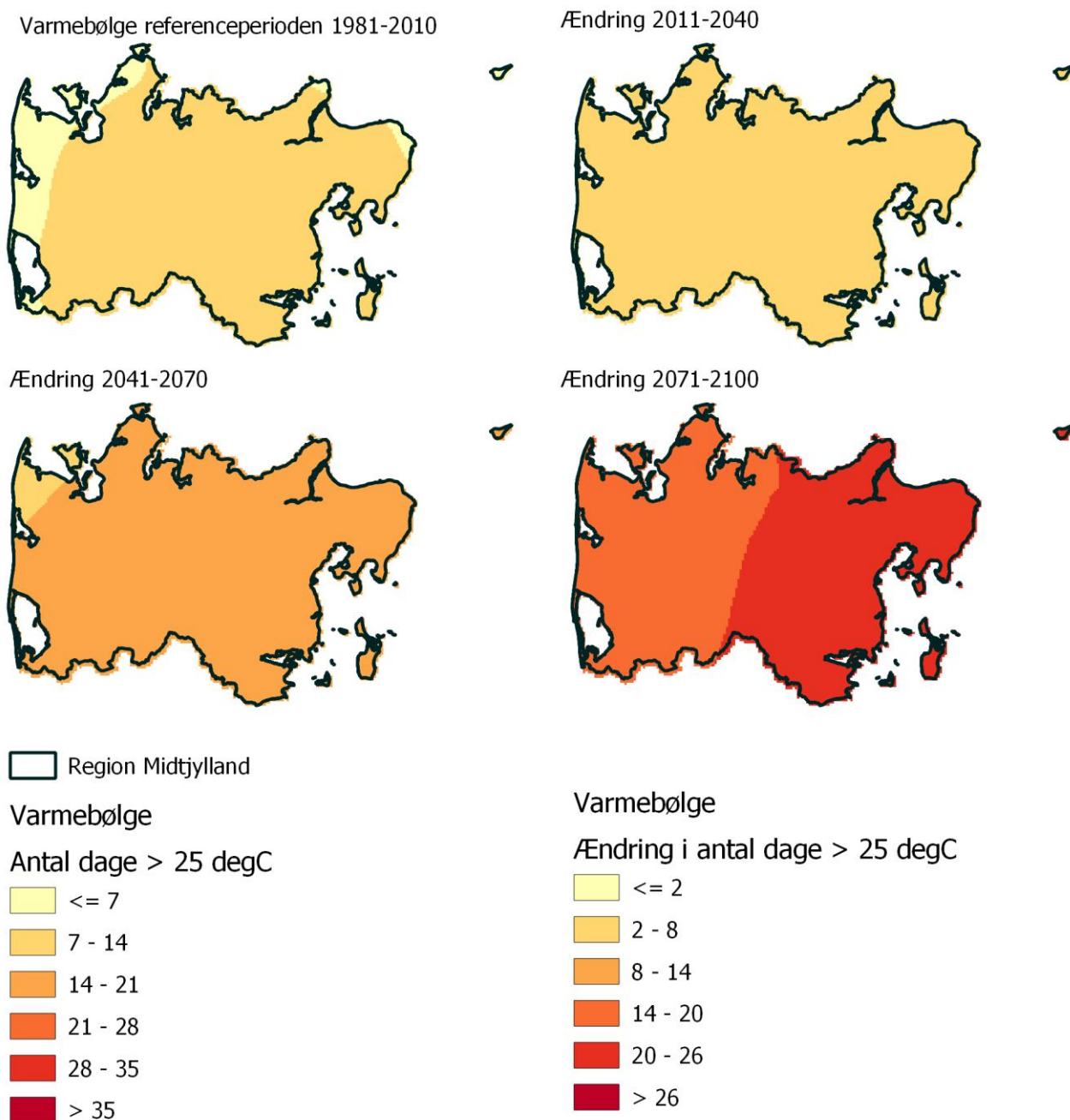
Som tidligere nævnt, differentieres der mellem varme- og hedebølge. I det følgende vil vi kort illustrere klimaforandringerne påvirkning på antal dage med varmebølge og dernæst hedebølge.

Figur 3.5 viser antal dage i en varmebølge i dag og i fremtidig klima. I dag har størstedel af regionen 7-14 dage over 25 grader. I slutningen af århundredet vil dette være steget til 21-28 dage i den vestlige del af regionen (Lemvig Kommune med lidt færre dage) og 28-35 dage i den østlige del af regionen.



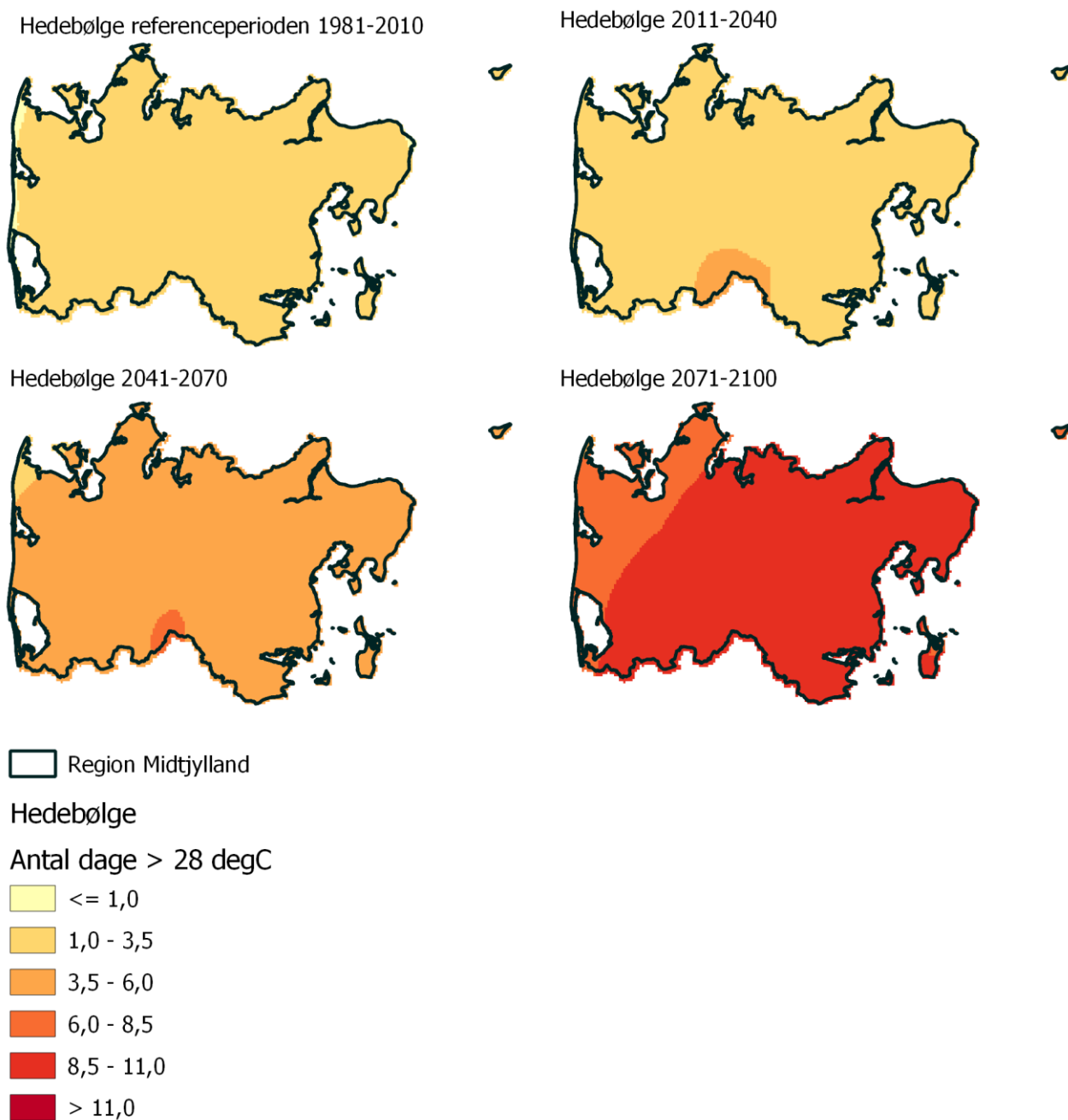
Figur 3.5: Antallet af varmebølge dage (dage >25 °C) i Region Midtjylland for referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

Figur 3.6 angiver ændringen i forhold til referenceperioden. I midten af århundredet vil en varmebølge i store dele af regionen være steget med 14-21 dage, og i slutningen af århundredet vil en varmebølge være steget med op til 26 dage i den østlige del af regionen.



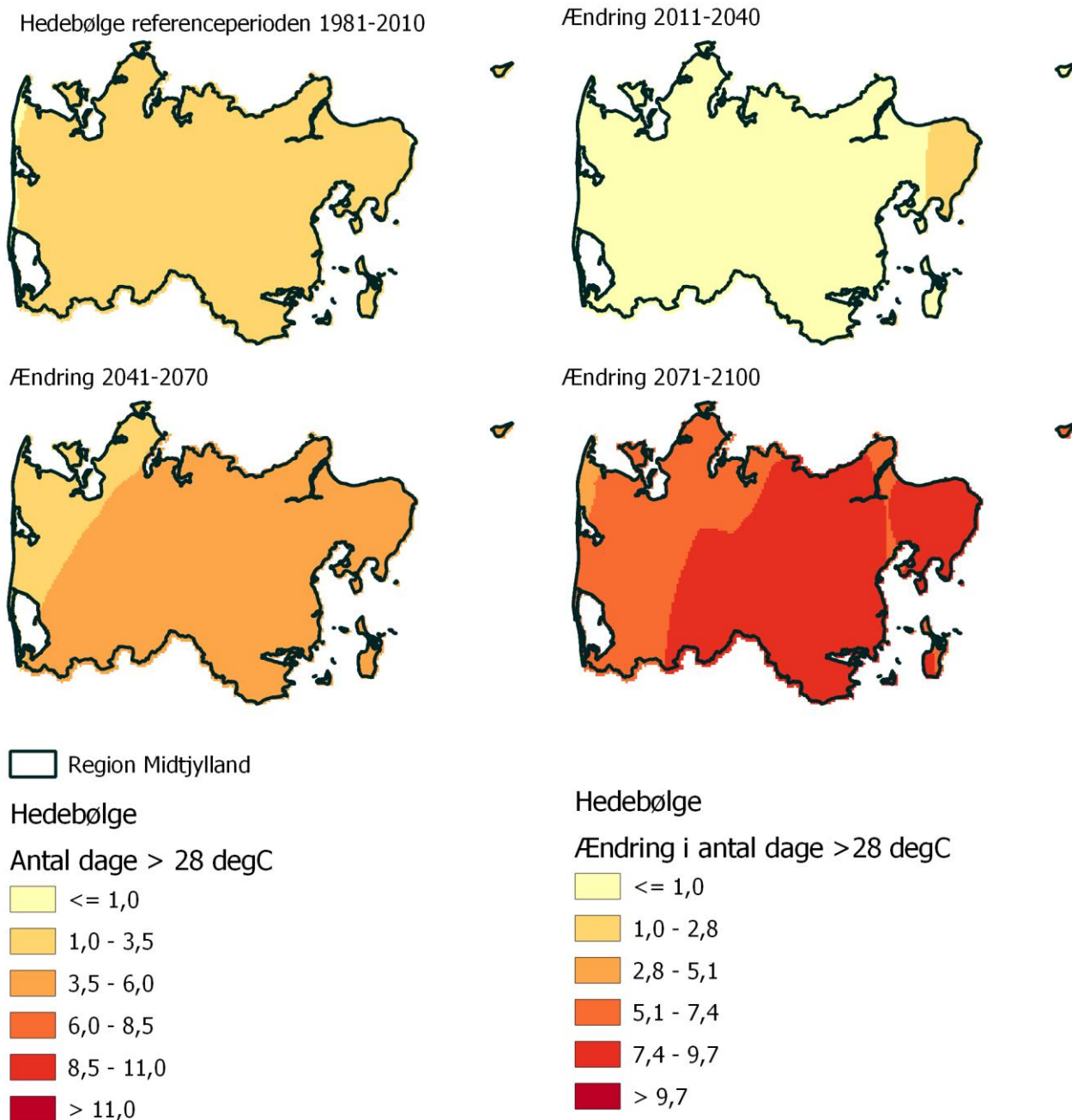
Figur 3.6: Antal dage med varmebølge (> 25 °C) for Region Midtjylland for referenceperioden (1981-2010), samt ændring i antal dage i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivninger er vist ved anvendelse af RCP8.5.

Figur 3.7. viser antal dage med hede, dvs. dage med over 28 grader, fordelt på hele regionen. I dag har vi 1-3,5 dage over 28 grader i det meste af regionen. I midten af århundredet kan vi forvente 3,5-6 dage i det meste af regionen, og i slutningen af århundredet kan vi forvente 6-11 dage med temperaturer over 28 grader.



Figur 3.7: Antallet af hedebølge dage (dage >28 °C) i Region Midtjylland 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 hedebløge set i forhold til referenceperioden. Hele regionen vil opleve en stigning, hvor den østlige del af regionen bliver hårdest ramt med op til 9,7 flere dage med over 28 grader end i dag.



Figur 3.8: Antal dage med hedebløge (> 28 °C) for Region Midtjylland 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 hedeøer og lokalisere mulige årsager til at hedeøen opstår
- Sammenholde lokaliteten på den enkelte hedeø med øvrige interesser fx knudepunkt for mange mennesker, sårbare befolkningsgrupper, ophold mm.
- Prioritere hedeøer 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

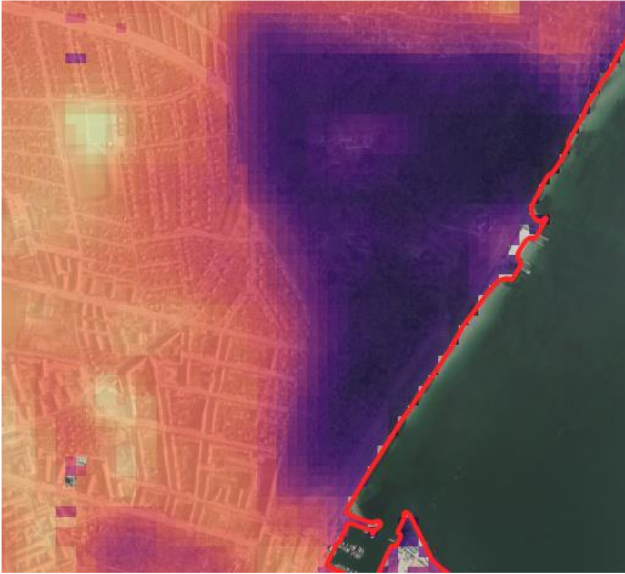
Hede er et af de områder, hvor der i klimatilpasningsplanerne kan opstilles konkrete mål og indikatorer for indsatsen. Disse kan blandt andet indeholde afbødning af urbane hedeøer, forøgelse af skygge, og særlige indsatser overfor sårbare befolkningsgrupper. Et eksempel på et mål kan være: Reduktion 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.

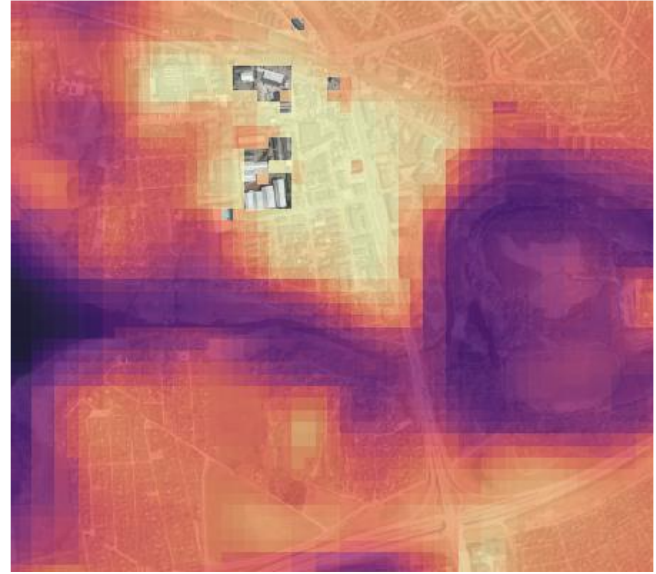
3.4 Virkemidler til håndtering af urbane hedeøer

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. Figur 3.9 og 3.10 viser hhv. Risskov og Brabrandstien i Århus.



Figur 3.9: Risskov i Aarhus. Risskov er 22 grader, den omgivende by er 29 grader
(Temperaturforskel: 7 grader)



Figur 3.10: Brabrandstien i Aarhus. Brabrandstien ved Århus å er 25 grader, industriområdet nord for åen er 34 grader
(Temperaturforskel: 9 grader).

Figur 3.9 og 3.10 er baseret på middelværdien for sommeren 2018. Manglende værdier skyldes, at algoritmen har klassificeret de hvide tage som skyer.

Skyggelægning af parkeringspladser og gader kan være en effektiv måde at hjælpe med at afkøle et område. Strategisk placerede skyggetræer 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. Slyng- 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 facer 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.

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 blokerer sollys i at nå den underliggende tagmembran, se eksempel i Figur 3.11. 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.



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

Figur 3.11: 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 højsommervejr. 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 3.12. De kølende tage laves ofte med overfladebehandlinger på tavflader 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 3.12: 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).



Billede 3.1: Eksempel på vandstation. Foto: NIRAS



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

Derudover, er der virkemidler som handler om information og varsling med det formål at være på forkant, når der er høje temperaturer på vej og kan være målrettet de sårbare målgrupper. Eksempelvis har Billund Kommune integreret hedebløge i deres Sundhedsberedskabsplan (Billund Kommune, 2022), og forud for hedebløgen i august 2022 udsendte kommunen information til alle plejecentre om håndtering af væske og evt. medicinindtag. I eksemplet fra Billund, brugte kommunen DMI som varsling. Et C40 eksempel vedr. varsling er EXTREMA projektet i Athen, hvor der er udviklet en app, der via GPS kan lede en person til kølige steder i byen.

Tabel 3.1. giver en oversigt over virkemidler til at reducere hede.

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

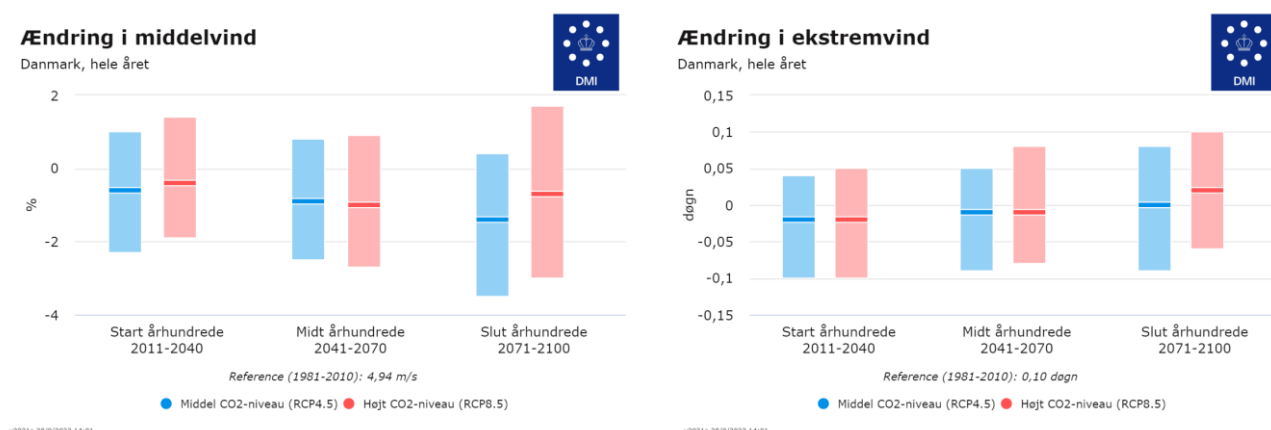
Virkemiddel	Effekt	Synergi effekter	Afledte effekter
Træer i byen og bynær skov	Kølede med 5-10 grader C.	CO ₂ binding, urban begrønning, evt. sundhed og biodiversitet.	Træarter ift. allergi og træ-røddernes påvirkning af veje og stier, samt eventuelle driftsomkostninger.
Vejtræer	Kølede effekt samt mulighed for større komfort ved ophold i skygge. Der findes større kølede effekter fra træer end græsarealer. (Bühler, et al., 2010)	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)	Nogle arter kan give allergener og rodnettet kan påvirke veje og stier.
Jævnt fordelt grøn infrastruktur	Kølede effekt. Effekten er større ved jævnt fordelt grønt infrastruktur, end enkelte grønne parker. (Bühler, et al., 2010)	Kan med fordel planlægges i sammenhæng med afvanding af byens befæstede flader.	Vedligehold af grønne områder. Der kan med fordel vælges vegetations typer 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	Kølede effekt pga. høj reflektion. (Bühler, et al., 2010)	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 bygningernes bærende konstruktioner.
Aircondition indendørs	Øget indendørs komfort, samt reduceret risiko for hede-relaterede helbredsproblemer, f.eks. dehydrering.	Forbedret indeklima.	Energiforbrugende. Varmer 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	Byspredning giver, modsat byfortætning, øget biltrafik.

		plads til flere rekreative områder.	
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.
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 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 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 forøgelse i slut århundrede. Som det fremgår længere nede i rapporten, må det dog forventes, at der er en betydelig variation over hele Region Midtjyllands areal, med de kraftigste vinde i den vestlige del og på øer.



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

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.

4.1 Udfordringer og konsekvenser ved vind

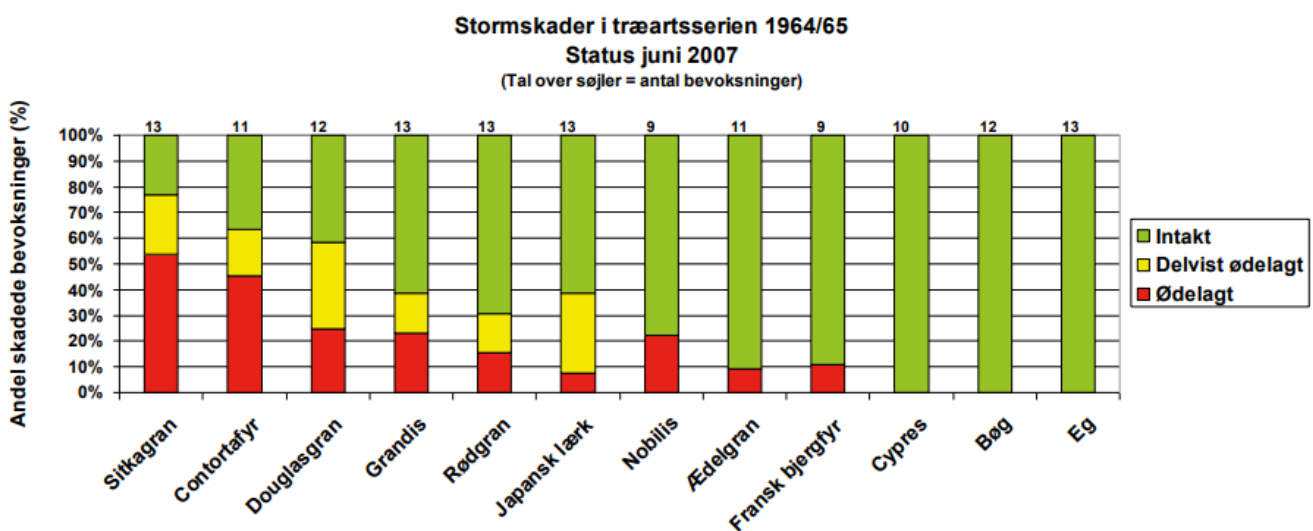
Middelvinden i dag kommer overvejende fra sydvest, men i takt med klimaforandringerne vil den gennemsnitlige årlige vindretning dreje mod en mere vestlig retning. Det gælder for både RCP4.5 og RCP8.5 (DMI, 2020). I klimatilpasningen er der dog forskel på middelvind og storm, da det i dag i høj grad er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

Det fremgår af vindkortene, at vindretningen for hele regionen primært kommer fra sydvest, 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 opløst 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 blotlægges eller tildækker frøene i en sådan grad, at de ikke kan spire. Sandflugt er særligt et problem i det vestlige Jylland. Derudover, kan skader forårsaget af salt være en konsekvens af storm, dette er særligt et problem, hvis det er en storm uden væsentlig mængder nedbør. Dette kan forårsage skade på fx afgrøder og højspændingsledninger.

Inde i byerne kan såkaldte vindtunneller opstå, hvor gader ligger placeret med vindretningen, tunnelen 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 regionen hhv. for i dag og i fremtiden, og data er hentet fra DMI. Klimadata for vind i dag (perioden 2011-2022) er udtrukket fra DMI's api (DMI, 2022) 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 middelvind.

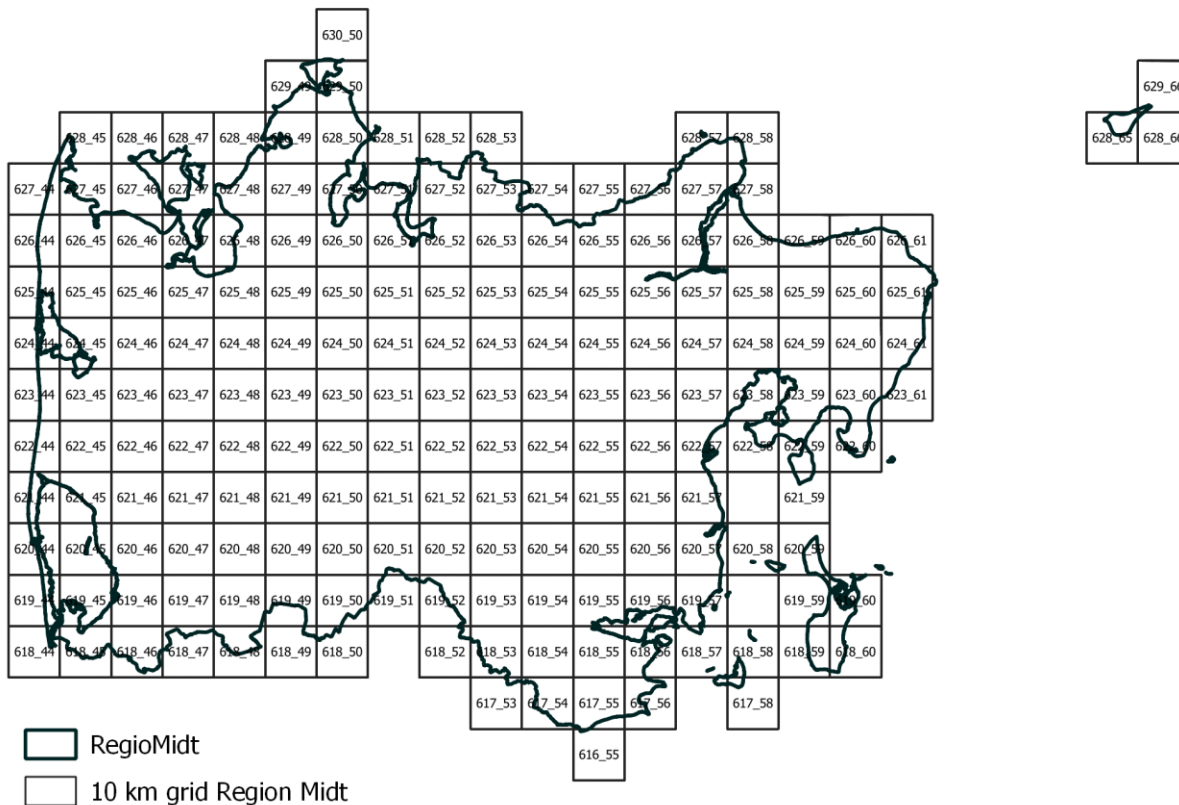
For fremtidig klima er data udtrukket fra Klimaatlasen (DMI, 2022a). Data indeholder klimafremskrivninger for ændringer i middelvind [m/s] og ekstremvind [dage/år med >25 m/s - storm] beregnet ved anvendelse af klimascenarierne RCP4.5 og RCP8.5. Usikkerhedsintervaller er beregnet på baggrund af op til 57 klimamodeller (Thejll, et al., 2021).

I det følgende gives en beskrivelse af vindforholdene for Region Midtjylland. Data for perioden 2011-2022 vil blive gennemgået først, og efterfølgende ser vi på de klimafremskrevne værdier.

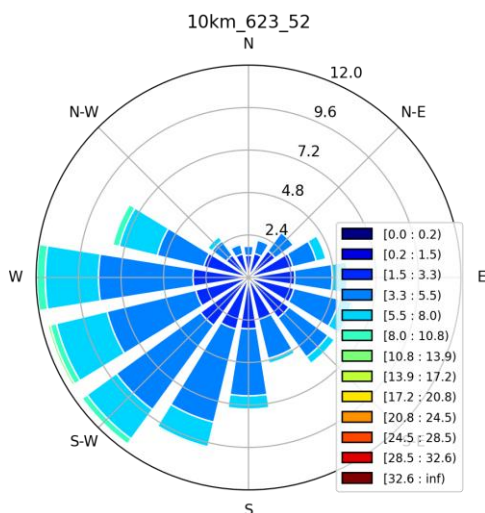
4.2.1 Vindforhold for Region Midtjylland i dag

Data for perioden 2011-2022 er repræsenteret på 10 km gridet dækkende Region Midtjylland (se Figur 4.3). For hver grid celle er der udtrukket data for middelvind på daglig basis og visualiseret ved anvendelse af en vindrose (se Figur 4.4). Der er udarbejdet vindrosen for alle 10 km gridceller dækkende Region Midtjylland, 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 middelvind er imellem sydvest og vest, og at vinden primært er inden for intervallet 3,4-5,4 svarende til let vind. Det kan ligeledes ses, at vind fra stik nord er meget sjælden, og at daglige middelvind med høje hastigheder primært kommer fra sydvest og vest. Dette skal ikke forveksles med egentlige storme, som er beskrevet længere nede.

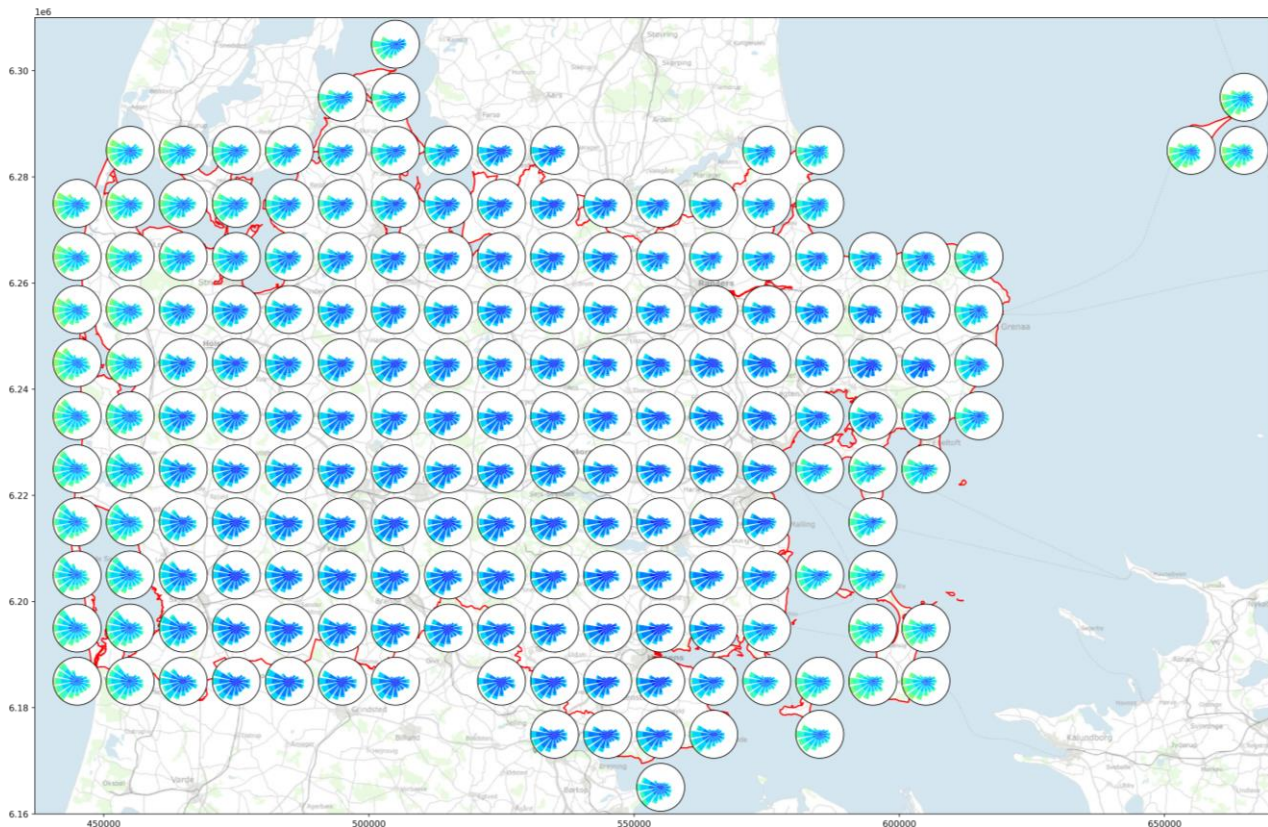


Figur 4.3: 10 km grid dækkende Region Midt. Hver gridcelle har et unikt nummer bestående af 2 cifre. Det første refererer til den vertikale opdeling og det andet ciffer refererer til den horisontale opdeling.



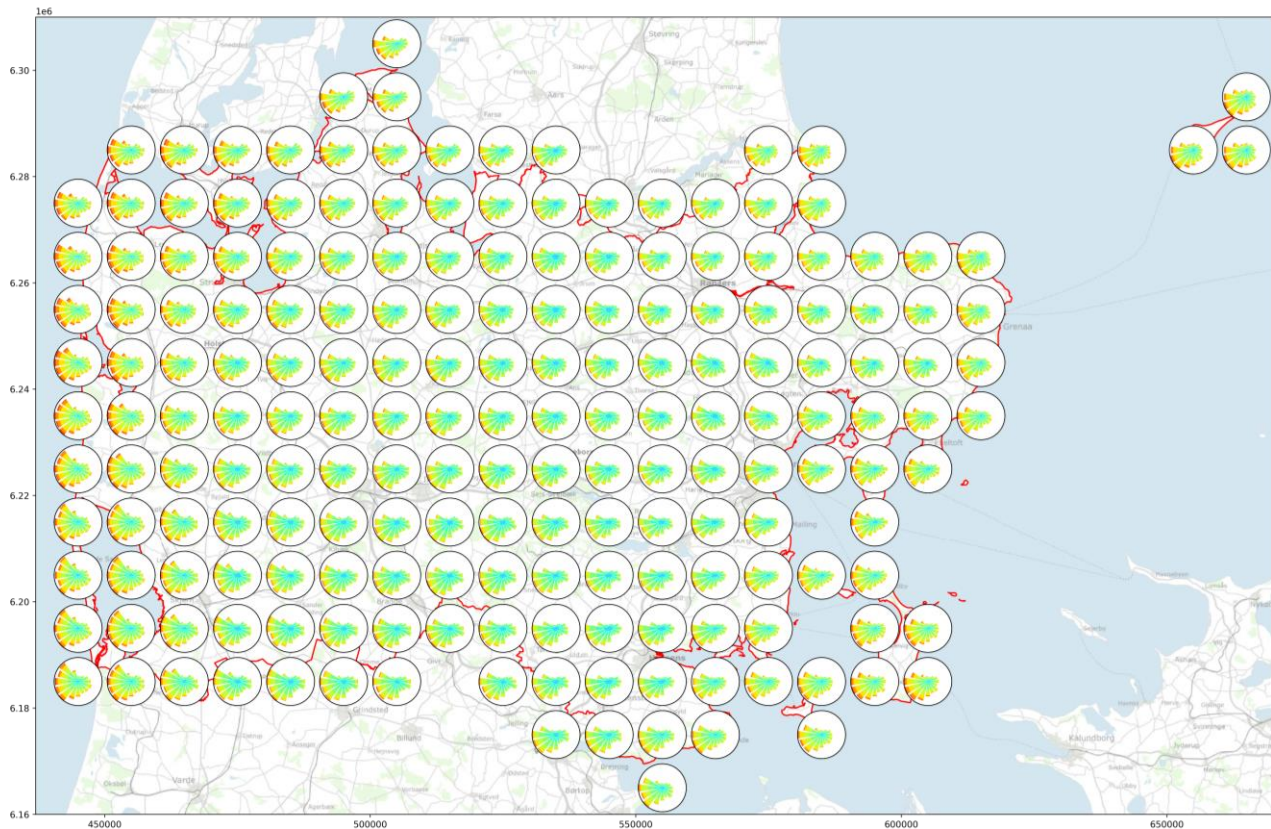
Figur 4.4: Eksempel på en vindrose for for 10 km gridcellen 623_52 beliggende centralt i Region Midtjylland

Vindroser for hele Region Midtjyllands område fremgår af Figur 4.5. Det ses, at den fremtrædende vindretning for hele regionen er sydvest til vest. I den mest vestlige af regionen ud imod vestkysten, er der ligeledes høj frekvens af vinde kommende fra vest til nordvest. Andelen af kraftige vinde er langs vestkysten, ind igennem Limfjorden og på øerne.



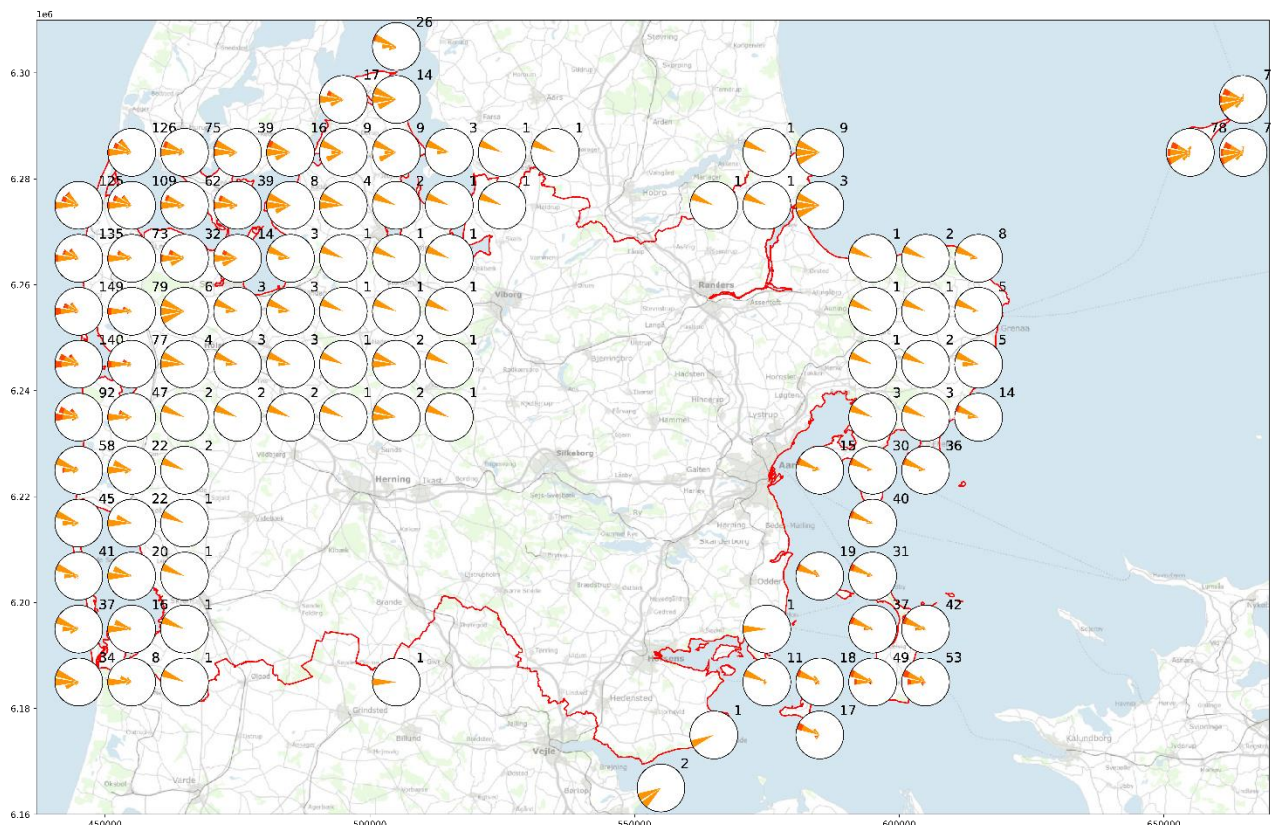
Figur 4.5: Vindroser for daglig middelvind dækkende Region Midt. Data er udtrykket igennem DMI's API (DMI, 2022)

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 Region Midtjyllands 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 time basis 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. Specielt Lemvig kommune har haft flest timer med vindstyrke over stormende kuling, men Anholt har ligeledes haft mange hændelser. I modsætning til middelvindene, så har der i perioden været en tendens til, at de kraftige vinde er kommet primært fra vest og nordvest.



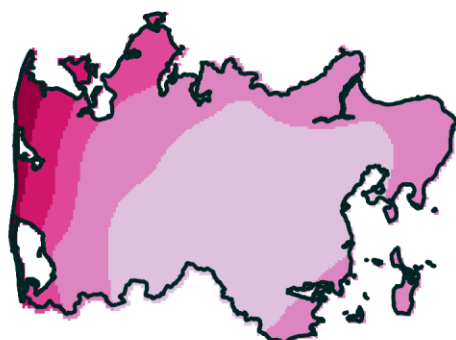
Figur 4.7: Data for vindstyrker over stormende kuling (>20,8 m/s) på times niveau. Tallet placeret til højre over vindrosen angiver antallet af timer med vindstyrke over stormende kuling i perioden 2011-2022.

4.2.2 Vindforhold for Region Midtjylland i fremtidigt klima

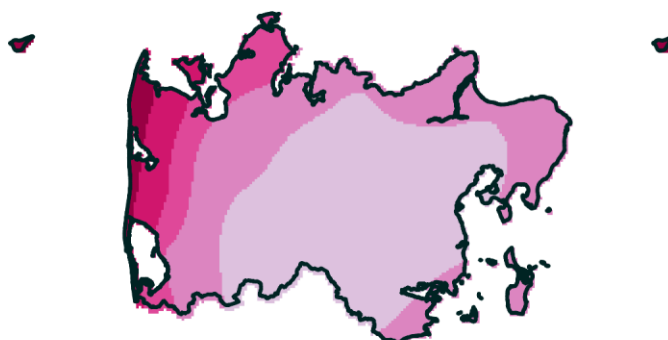
I det følgende gives en gennemgang af resultater omkring vind i fremtidigt klima. Data er udtrykt fra DMI's klimaatlas (DMI, 2022a) og dækker middelvinde samt ekstremvind (>24,5 m/s - storm). Data er visualiseret på 1 km grid celler for klimascenariet RCP8.5 og dækker perioderne start (2011-2040), midt (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 middelvinde på tværs af regionen 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. 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. Figurene for fremtidsscenarierne viser den procentuelle ændring i forhold til referencescenariet. Ifølge klimamodellerne, sker der begrænset ændringer i middelvindene på tværs af regionen, med en tendens til en svag reducere i styrken af middelvindene for start, midt og slut århundrede.

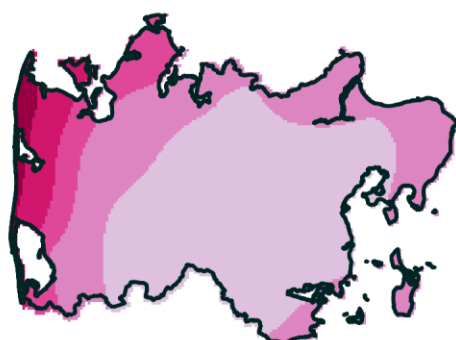
Middelvind 1981-2010



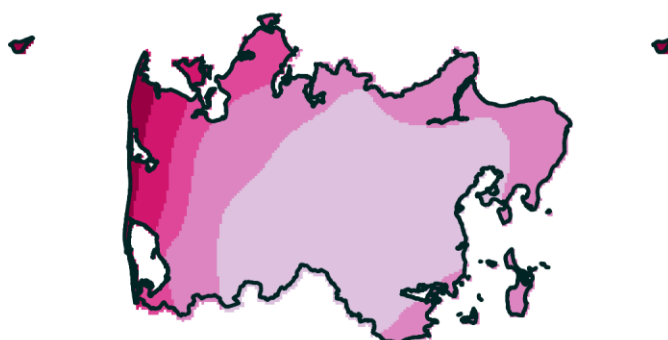
Middelvind 2011-2040 RCP8.5



Middelvind 2041-2070 RCP8.5



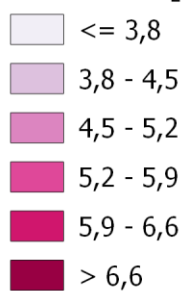
Middelvind 2071-2100 RCP8.5



Region Midtjylland

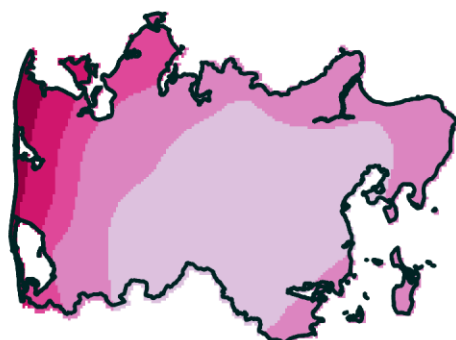
Vind [absolut]

Middelvind [m/s]

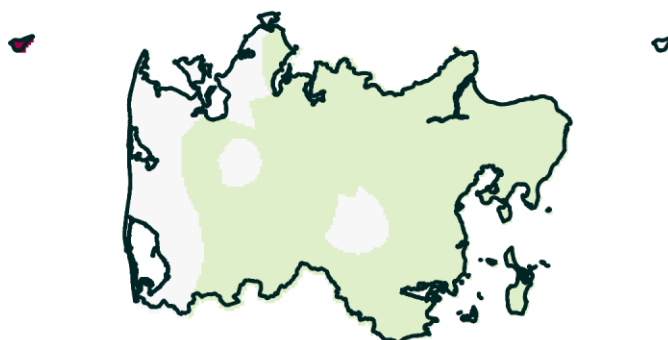


Figur 4.8: Fordeling af middelvinde (50% fraktilen) over Region Midtjylland for hhv. referenceperioden (1981-2010), start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivninger er vist ved anvendelse af RCP8.5

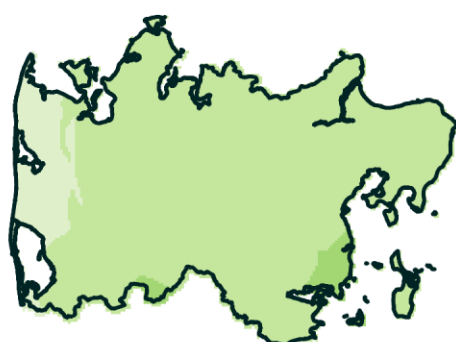
Middelvind 1981-2010



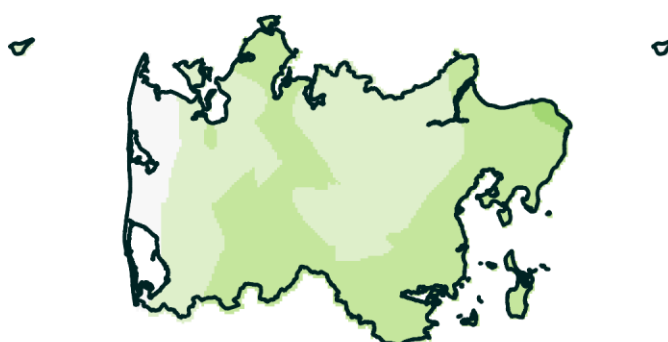
Ændring 2011-2040 RCP8.5



Ændring 2041-2070 RCP8.5



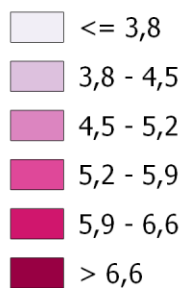
Ændring 2071-2100 RCP8.5



Region Midtjylland

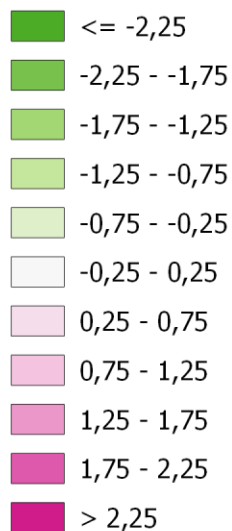
Vind [absolut]

Middelvind 1981-2010 [m/s]



Vind [relativ]

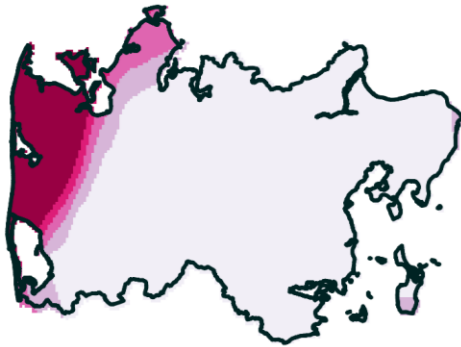
Middelvind ændring [%]



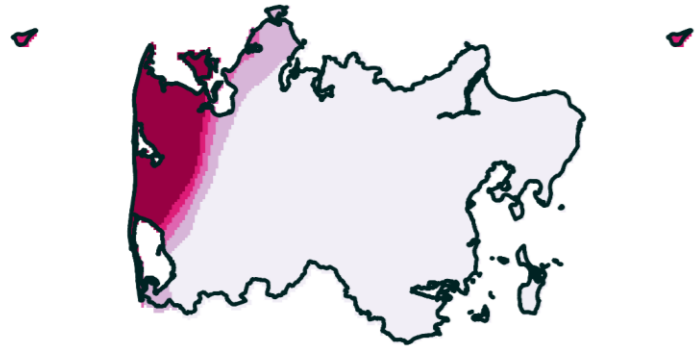
Figur 4.9: Fordeling af middelvinde over Region Midtjylland for referenceperioden (1981-2010), samt ændringer i middelvind i forhold til referenceperioden for hhv. start (2011-2040), midt (2041-2070) og slut (2071-2100) århundrede. Klimafremskrivinger er vist ved anvendelse af RCP8.5

Figur 4.10 viser den regionale fordeling af ekstremvinde (stærkere end storm) på tværs af regionen. 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.

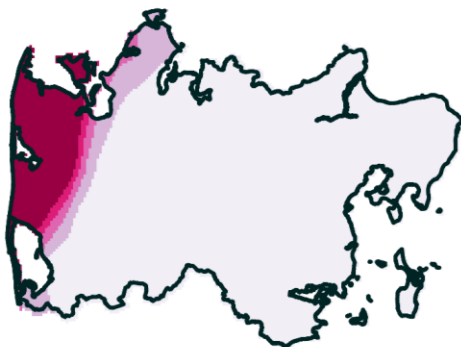
Ekstremvind 1981-2010



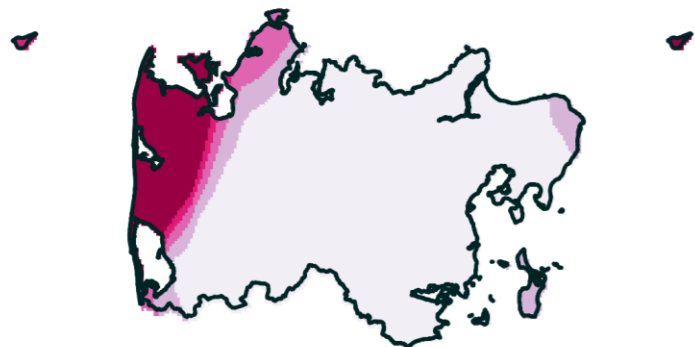
Ekstremvind 2011-2040 RCP8.5



Ekstremvind 2041-2070 RCP8.5



Ekstremvind 2071-2100 RCP8.5



Region Midtjylland

Vind [absolut]

Ekstremvind [dage/år]

$\leq 0,1$

0,1 - 0,2

0,2 - 0,3

0,3 - 0,4

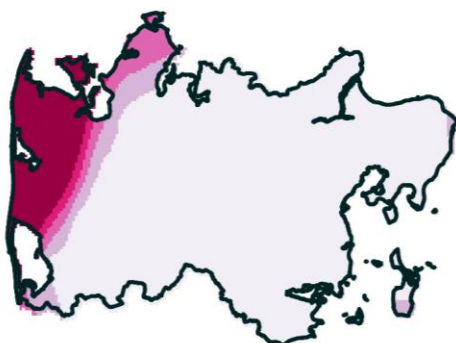
$> 0,4$

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

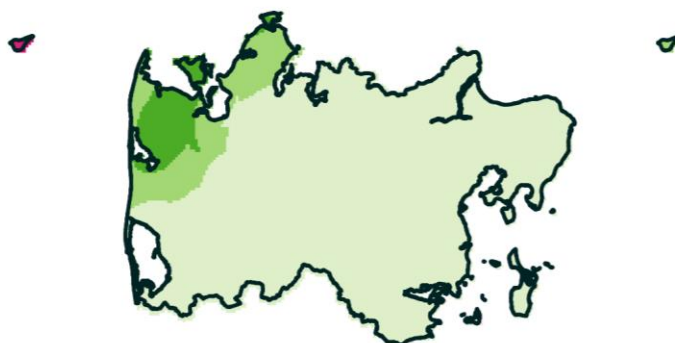
Figur 4.11 viser fordelingen af ekstrem vind for reference perioden samt ændringerne fra referenceperioden til fremtidsscenarierne. Ændringen er vist som den absolutte ændring i forhold til referencescenariet, og ikke som en procentuel ændring, som ved middelvind, da en stor del af regionen har meget lav frekvens for ekstremvind. Visualisering af den procentuelle ændring vil derfor blive misvisende, da den vil være domineret af de meget sjældne forekomster.

Eksempelvis vil det for Lemvig kommune betyde, at stigningen på omkring 0,12 dage/år ud fra en frekvens på ca. 1.2 dage/år, er svarende til en stigning på ca. 10% i slut århundrede. For Aarhus kommune er frekvensen for referenceperioden ca. 0,00036 dage/år med en ændring på 0,0126 dage/år, svarende til en forøgelse på ca. 340%. Stigningen i procent er derfor ikke modsvarende den faktiske risiko.

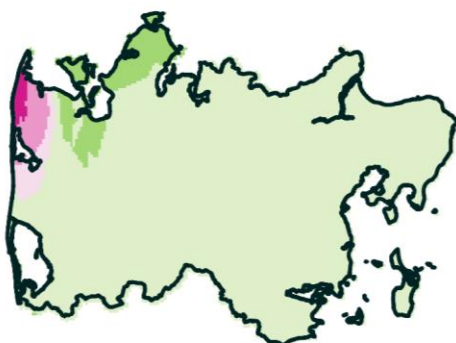
Ekstremvind 1981-2010



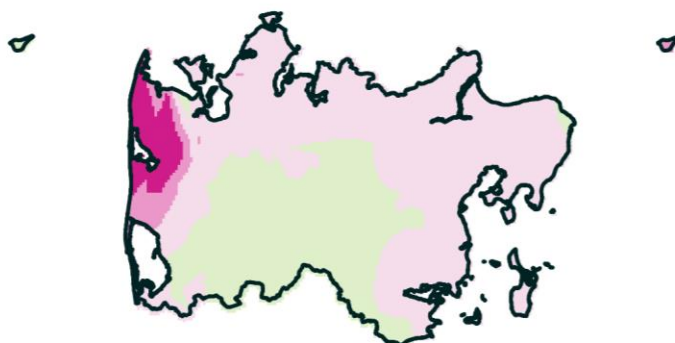
Ændring 2011-2040 RCP8.5



Ændring 2041-2070 RCP8.5



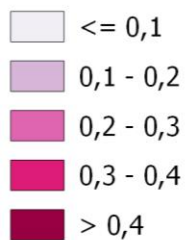
Ændring 2071-2100 RCP8.5



Region Midtjylland

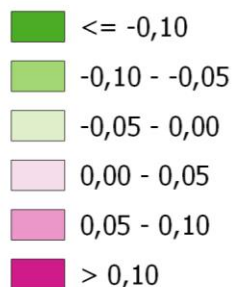
Vind [absolut]

Ekstremvind 1981-2010 [dage/år]



Vind [relativ]

Ekstremvind ændring [dage/år]



Figur 4.11: Fordeling af ekstremvinde over Region Midtjylland 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. Klimafremskrivninger er vist ved anvendelse af RCP8.5

4.3 Anvendelse af vindkort

Analyserne baseret på data for perioden 2011-2022 støtter op om allerede kendt viden. For fremtidig klima viser resultaterne fra klimamodellerne, at der kan forventes en reduktion i middelvind på tværs af regionen, og at frekvensen af ekstremvinden kan stige med op til ca. 10% i områder, hvor frekvensen er høj allerede i dag. I forhold til klimaplanlægningen kan vindkortene anvendes til følgende formål:

- Prioritering af hvorvidt vind og ekstremvind udgør en betydelig trussel i den enkelte kommune 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 af 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, eksempelvis vil risikoen for stærk vind stige i de vestjyske kommuner, områder som allerede i dag er i risiko for storm og orkan, og dermed får en øget risiko. 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 strandes 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
Blandingskov	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 Midtjylland med det formål at understøtte kommunernes 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 kommunerne i deres 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 landbruget og naturen, herunder øget behov for markvanding, påvirkning af våd natur samt øget risiko for naturbrande.

Der er udviklet tørkekort for hele regionen. 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 meter. Derudover, er der udarbejdet kort for antal tørre dage og tørre perioder i fremtidig klima, og det forventes at hele regionen i slutningen af århundredet vil have tørre perioder over 20 dage.

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 være på forkant i arbejdet til at give indvindingstilladelser og korttidstilladelser til markvanding.

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 regionen. Hedekortet viser beregnede middelloverfladetemperaturer i sommeren 2018 over hele Region Midtjylland 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 udarbejde hedekort for fremtidig klima. I dag har vi 1-3,5 dage over 28 grader i det meste af regionen. I midten af århundredet kan vi forvente 3,5-6 dage i det meste af regionen, og i slutningen af århundredet kan vi forvente 6-11 dage med temperaturer over 28 grader.

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 regionen hhv. for i dag og i fremtiden. Klimadata for vind for perioden 2011-2022 er udtrukket fra DMI's api på 10 km gridopløsning og er præsenteret som vindroser. Den fremtrædende vindretning for hele regionen er sydvest til vest. For middelvind 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 regionen på 1 km grid celler for klimascenariet RCP8.5, og i slutningen af århundredet ses en stigning i det gennemsnitlige antal dage med ekstremvind i det meste af Region Midtjylland.

Vindkortene kan anvendes i klimatilpasningsplanerne til at kvalificere vurderingen af en generel risiko for stærk vind, og hvorvidt risikoen vil stige i fremtiden, eksempelvis vil risikoen for stærk vind stige i de vestjyske kommuner. Områder som allerede i dag er i risiko for storm og orkan får dermed en øget risiko.

Notatet indeholder en oversigt over mulige virkemidler indenfor de tre emner som inspiration til kommunernes klimatilpasningsplaner. Der er lagt op til at virkemidlernes synergier og afledte effekter tages med 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 kommunernes eget arbejde. Data vil blive gjort tilgængelige igennem et ftp-site til download og de vil være 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_RM.tif*
 - *LST_RM.tif*
 - *Region Midtjylland.shp*
 - *hede_gdf_rcp85_midt_abs_RM_hede.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_midt_abs_RM_varme.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_midt_rel_RM_hede.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_midt_rel_RM_varme.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_slut_abs_RM_hede.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_slut_abs_RM_varme.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_slut_rel_RM_hede.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_slut_rel_RM_varme.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_start_abs_RM_hede.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_start_abs_RM_varme.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_start_rel_RM_hede.tif*
 - *hede_gdf_rcp85_start_rel_RM_varme.tif*
 - *hede_gdf_ref_abs_RM_hede.tif*
 - *hede_gdf_ref_abs_RM_varme.tif*
 - *Heat_WS.qgz*

ToerkeMap

- **gis**
 - *Region Midtjylland.shp*
 - *ToerkeIndeks_RM.tif*
 - *toerke_gdf_ref_abs_RM_periode.tif*
 - *toerke_gdf_ref_abs_RM_dage.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_start_rel_RM_periode.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_start_rel_RM_dage.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_start_abs_RM_periode.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_start_abs_RM_dage.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_slut_rel_RM_periode.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_slut_rel_RM_dage.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_slut_abs_RM_periode.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_slut_abs_RM_dage.tif*
 - *toerke_gdf_rcp85_midt_rel_RM_periode.tif*

- *toerke_gdf_rcp85_midt_rel_RM_dage.tif*
- *toerke_gdf_rcp85_midt_abs_RM_periode.tif*
- *toerke_gdf_rcp85_midt_abs_RM_dage.tif*
- *ToerkeWS.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_V02.png*
- *area_wind_plot_V02.png*
- *area_wind_storm_V02.png*
- **gis**
 - *Ekstremvind absolut RCP8.5 2011-2040.tif*
 - *Ekstremvind absolut RCP8.5 2041-2070.tif*
 - *Ekstremvind absolut RCP8.5 2071-2100.tif*
 - *Ekstremvind reference 1981-2010.tif*
 - *Ekstremvind ændring RCP8.5 2011-2040.tif*
 - *Ekstremvind ændring RCP8.5 2041-2070.tif*
 - *Ekstremvind ændring RCP8.5 2070-2100.tif*
 - *Middelvind absolut RCP8.5 2011-2040.tif*
 - *Middelvind absolut RCP8.5 2041-2070.tif*
 - *Middelvind absolut RCP8.5 2071-2100.tif*
 - *Middelvind reference 1981-2010.tif*
 - *Middelvind ændring RCP8.5 2011-2040.tif*
 - *Middelvind ændring RCP8.5 2040-2071.tif*
 - *Middelvind ændring RCP8.5 2071-2100.tif*
 - *10km_grid_RM.shp*
 - *Region Midtjylland.shp*

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

Fil:	Mappe:	Beskrivelse:
AntalDatapunkter_RM.tif	Data_katalog\HeatMap\gis\	Geotif der indeholder information om hvor mange satellitbilleder der her indgået i beregningen af middelværdierne i hede kortet
LST_RM.tif	Data_katalog\HeatMap\gis\	Geotif med overflade temperaturer baseret på Landsat 8 data. Enheden er i grader celsius
hede_gdf_rcp85_midt_abs_RM_hede.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hedebløgedage for perioden 2041-2070

hede_gdf_rcp85_midt_abs_RM_varme.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 2041-2070
hede_gdf_rcp85_midt_rel_RM_hede.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal hede-bølgedage for perioden 2041-2070
hede_gdf_rcp85_midt_rel_RM_varme.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal varmebølgedage for perioden 2041-2070
hede_gdf_rcp85_slut_abs_RM_hede.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hede-bølgedage for perioden 2071-2100
hede_gdf_rcp85_slut_abs_RM_varme.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 2071-2100
hede_gdf_rcp85_slut_rel_RM_hede.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal hede-bølgedage for perioden 2071-2100
hede_gdf_rcp85_slut_rel_RM_varme.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal varmebølgedage for perioden 2071-2100
hede_gdf_rcp85_start_abs_RM_hede.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hede-bølgedage for perioden 2011-2040
hede_gdf_rcp85_start_abs_RM_varme.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 2011-2040
hede_gdf_rcp85_start_rel_RM_hede.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal hede-bølgedage for perioden 2011-2040
hede_gdf_rcp85_start_rel_RM_varme.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændringen i antal varmebølgedage for perioden 2011-2040
hede_gdf_ref_abs_RM_hede.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal hede-bølgedage for perioden 1981-2010
hede_gdf_ref_abs_RM_varme.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal varmebølgedage for perioden 1981-2010
Region Midtjylland.shp	Data_katalog\HeatMap\gis\ Data_katalog\WindMap\gis\ Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Shapefil med afgrænsning af Region Midtjylland
Heat_WS	Data_katalog\HeatMap	QGIS workspace med visualisering af kort relateret til hede
ToerkeIndeks_RM.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Kort over tørke index klassificeringen for Region Midtjylland. 1 er svarende til høj tørkerisiko, 2 er middel risiko og 3 er lav risiko
toerke_gdf_rcp85_midt_abs_RM_dage.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 2041-2070
toerke_gdf_rcp85_midt_abs_RM_periode.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 2041-2070
toerke_gdf_rcp85_midt_rel_RM_dage.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af antallet af tørre dage for perioden 2041-2070

toerke_gdf_rcp85_midt_rel_RM_periode.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af længste tørre periode for perioden 2041-2070
toerke_gdf_rcp85_slut_abs_RM_dage.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 2071-2100
toerke_gdf_rcp85_slut_abs_RM_periode.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 2071-2100
toerke_gdf_rcp85_slut_rel_RM_dage.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af antallet af tørre dage for perioden 2071-2100
toerke_gdf_rcp85_slut_rel_RM_periode.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af længste tørre periode for perioden 2071-2100
toerke_gdf_rcp85_start_abs_RM_dage.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 2011-2040
toerke_gdf_rcp85_start_abs_RM_periode.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 2011-2040
toerke_gdf_rcp85_start_rel_RM_dage.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af antallet af tørre dage for perioden 2011-2040
toerke_gdf_rcp85_start_rel_RM_periode.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med ændring i procent af længste tørre periode for perioden 2011-2040
toerke_gdf_ref_abs_RM_dage.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med antal tørre dage for perioden 1981-2010
toerke_gdf_ref_abs_RM_periode.tif	Data_katalog\ToerkeMap\gis\	Geotif med længden af længste tørre periode for perioden 1981-2010
ToerkeWS.qgz	Data_katalog\ToerkeMap	QGIS workspace med visualiseringen relateret til tørke
10km_”grid celle”_vindklasse_bar.png, hvor gridcelle refererer til 10 km griddet	Data_katalog\WindMap\figurer\bar_plots	I alt 190 billedfiler med barplot over den månedlige frekvens af forskellige vindtyper
wind_10km_”grid celle”.png, hvor gridcelle refererer til 10 km griddet	Data_katalog\WindMap\figurer\vindrose_middelvind	I alt 190 billedfiler med vindrosen over daglige middelværdier for vind for perioden 2011 til 2020
Wind_max_3_sec_10km_”grid celle”.png, hvor gridcelle refererer til 10 km griddet	Data_katalog\WindMap\figurer\vindrose_vindstoed	I alt 190 billedfiler med vindrosen over daglige maksimale vindstød for perioden 2011 til 2020
area_wind_plot_max_3_sec_V02.png	Data_katalog\WindMap\figurer\	Vindrosen med maksimale daglige vindstød dækkende Region Midtjylland for perioden 2011-2020
area_wind_plot_V02.png	Data_katalog\WindMap\figurer\	Vindrosen med daglige middelvind dækkende Region Midtjylland for perioden 2011-2020
area_wind_storm_V02.png	Data_katalog\WindMap\figurer\	Vindrosen med vindstyrker højere end stormende kuling på

		timeniveau dækkende Region Midtjylland for perioden 2011-2020
10km_grid_RM.shp	Data_katalog\WindMap\gis\	10 km gridceller dækkende Region Midtjylland
Ekstremvind absolut RCP8.5 2011-2040.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for ekstremvind [dage/år] for perioden 2011-2040
Ekstremvind absolut RCP8.5 2041-2070.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for ekstremvind [dage/år] for perioden 2041-2070
Ekstremvind absolut RCP8.5 2071-2100.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for ekstremvind [dage/år] for perioden 2071-2100
Ekstremvind reference 1981-2010.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med værdier for ekstremvind [dage/år] for referenceperioden 1981-2010
Ekstremvind ændring RCP8.5 2011-2040.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring for ekstremvind [dage/år] for perioden 2011-2040
Ekstremvind ændring RCP8.5 2041-2070.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring for ekstremvind [dage/år] for perioden 2041-2070
Ekstremvind ændring RCP8.5 2070-2100.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring for ekstremvind [dage/år] for perioden 2071-2100
Middelvind absolut RCP8.5 2011-2040.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for middelvind [m/s] for perioden 2011-2040
Middelvind absolut RCP8.5 2041-2070.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for middelvind [m/s] for perioden 2041-2070
Middelvind absolut RCP8.5 2071-2100.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med absolutte værdier for middelvind [m/s] for perioden 2071-2100
Middelvind reference 1981-2010.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med værdier for middelvind [m/s] for referenceperioden 1981-2010
Middelvind ændring RCP8.5 2011-2040.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring i middelvind [%] for perioden 2011-2040
Middelvind ændring RCP8.5 2041-2070.tif	Data_katalog\WindMap\gis\	Geotif med ændring i middelvind [%] for perioden 2041-2070
Middelvind ændring RCP8.5 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, Birkerød: 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, 2022a. DMI KlimaAtlas. Weblink: <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas/>

DMI, 2022b. 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.

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 - Hedebølge eller bare en varmebølge?. 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