



Analyse af IPCC delrapport 2

Effekter, klimatilpasning og sårbarhed - med særligt fokus på Danmark

Grøndahl, Louise; Poulsen, Nanet; Christensen, Jens Hesselbjerg; Arnbjerg-Nielsen, Karsten; Grindsted, Aslak; Halsnæs, Kirsten; Jeppesen, Erik; Madsen, Henrik; Olesen, Jørgen Eivind; Porter, John Roy

Total number of authors:
12

Publication date:
2014

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Grøndahl, L. (Ed.), Poulsen, N. (Ed.), Christensen, J. H., Arnbjerg-Nielsen, K., Grindsted, A., Halsnæs, K., Jeppesen, E., Madsen, H., Olesen, J. E., Porter, J. R., Refsgaard, J. C., & Olesen, M. (2014). *Analyse af IPCC delrapport 2: Effekter, klimatilpasning og sårbarhed - med særligt fokus på Danmark*. Naturstyrelsen. http://naturstyrelsen.dk/media/nst/12474323/analyse_af_ipcc_delrapport_2_effekter_klimatilpasning_og_s_rbarhed.fina....pdf

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Analyse af IPCC delrapport 2

Effekter, klimatilpasning og sårbarhed
- med særligt fokus på Danmark

**Titel: Analyse af IPCC delrapport 2 –
Effekter, klimatilpasning og sårbarhed**

Redaktion:

Louise Grøndahl
Nanet Poulsen

Udgiver:

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
www.nst.dk

År:

2014

**Bidragydere fra CRES (Center for Regional Change in the
Earth System; et center under Det Strategiske
Forskningsråd):**

*Jens Hesselbjerg Christensen, CRES-centerleder, Danmarks
Meteorologiske Institut
Karsten Arnbjerg-Nielsen, Danmarks Tekniske Universitet
Aslak Grindsted, Københavns Universitet
Kirsten Halsnæs, Danmarks Tekniske Universitet
Erik Jeppesen, Aarhus Universitet
Henrik Madsen, DHI
Jørgen Eivind Olesen, Aarhus Universitet
John Roy Porter, Københavns Universitet
Jens Christian Refsgaard, De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland (GEUS)
Martin Olesen, Danmarks Meteorologiske Institut*

Foto:

Per Sørensen, Søren Svendsen, David Woodfall og Colourbox

Illustration:

IPCC og bidragydere fra CRES

ISBN nr.

978-87-7091-633-2

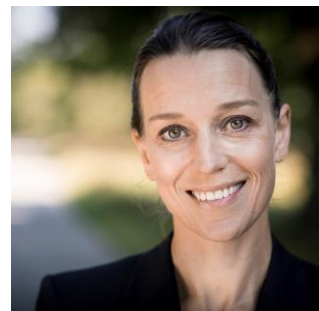
Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord.....	5
1. Vurdering og håndtering af risici i et klima under forandring.....	7
2. Observerede konsekvenser, sårbarhed og tilpasning til et klima i forandring	11
2.1 Ferskvandsressourcer	11
2.2 Landbaserede økosystemer	11
2.3 Kystnære områder	12
2.4 Fødevarer-forsyningssikkerhed og fødevarerproduktion	13
2.5 Urbane områder og infrastruktur	14
2.6 Menneskelig påvirkning af klimasystemet	14
3. Fremtidige risici og muligheder for klimatilpasning.....	17
3.1 Ferskvandsressourcer	17
3.2 Landbaserede økosystemer	18
3.3 Kystnære områder	19
3.4 Fødevarerproduktion og -forsyning	20
3.5 Urbane områder og infrastruktur	21
4. Risikohåndtering og modstandsdygtighed i et klima under forandring.....	23
4.1 Ferskvandsressourcer	23
4.2 Landbaserede økosystemer	24
4.3 Kystnære områder	24
4.4 Fødevarer-forsyningssikkerhed og fødevarerproduktion	24
4.5 Urbane områder og infrastruktur	25
4.6 Veje til en klimarobust fremtid	25
5. Specielle danske forhold	31
5.1 Temperatur og nedbør i Danmark.....	34
5.1.1 Klimaet i dag	34
5.1.2 Fremtidens klima	36
5.2 Ferskvandsressourcer.....	37
5.3 Landbaserede økosystemer	39
5.4 Kystnære områder	41
5.5 Fødevarer-forsyningssikkerhed og fødevarerproduktion	43
5.5.1 Klimaændringers effekter på produktionen.....	44
5.5.2 Nye muligheder inden for landbrug og fiskeri.....	44
5.5.3 Samspil til miljøreguleringen og arealanvendelse.....	46
5.6 Urbane områder og infrastruktur	47
5.7 Flere ekstreme vejrhændelser	49
5.8 Veje til en klimarobust fremtid	49
5.9 Danmark i et fremtidigt klima	50
Referencer	53



Forord



Af miljøminister Kirsten Brosbøl

Ødelagt indbo, oversvømmede biler og væltede skove. Det er nogle af de skader, vi har oplevet i forbindelse med voldsomt vejr i Danmark i de seneste år. Et voldsommere vejr som har konsekvenser både for den enkelte dansker og for samfundet.

De voldsomme begivenheder er et varsel om, hvad vi kan komme til at se mere af fremover. For uanset om vi helt stopper med at udlede CO₂ nu, er klimaforandringerne i gang. Det har FN's klimapanel, IPCC, beskrevet.

Der er derfor et presserende behov for, at vi ruster os til det ændrede klima og klimatilpasser samfundet.

Indsatsen for at beskytte os mod især oversvømmelser er i gang. Kommunerne har med de kommunale klimatilpasningsplaner nu et redskab til at prioritere indsatsen – skal områder holdes fri af bebyggelse fremover, skal særlige bygninger sikres, skal der bygges diger? Mulighederne er mange, og aktørerne, der skal inddrages i arbejdet er mange.

Vi er ved at skabe et godt udgangspunkt for klimatilpasningen af Danmark, men vi må samtidig hele tiden holde os opdaterede om den nyeste viden om klimaforandringerne.

IPCC's delrapport om klimatilpasning, effekter og sårbarhed gennemgår en række områder som landbrug, fødevareforsyning, kystområder, byer og natur, hvor klimaforandringerne vil få konkrete følger af såvel positiv som negativ art.

Jeg har bedt en række forskere om at trække al den information ud af rapporten, som kan have betydning for Danmark og den region, vi er en del af. Jeg har samtidig bedt forskerne sammenfatte den seneste opdaterede danske viden om konsekvenser, effekter og handlemuligheder.

Det er den viden, jeg her vil give videre til danske beslutningstagere i kommuner, virksomheder og organisationer – nationalt og lokalt, så I har det bedst mulige grundlag for at handle i det nye klima.

God læselyst!



1. Vurdering og håndtering af risici i et klima under forandring

Denne rapport analyserer hovedbudskaberne fra delrapport 2 i den 5. hovedrapport fra FN's klimapanel IPCC med særligt fokus på, hvordan man via klimatilpasning og afbødning kan mindske virkninger og risici i forbindelse med klimaændringer. Rapporten vurderer behov, muligheder, begrænsninger, modstandsdygtighed, og andre aspekter, der er forbundet med klimatilpasning.

I boks 1 er der en kort beskrivelse af IPCC og dets opgaver.

Mennesker påvirker klimaet

Det er *ekstremt sandsynligt*, at menneskelig påvirkning har været den dominerende årsag til den globale opvarmning i de seneste 50 år. Det viser den 5. hovedrapport fra IPCC med endnu større sikkerhed end de tidligere rapporter. Vurderingen kommer fra *Arbejdsgruppe 1 (WGI)* under IPCC. Den globale opvarmning fører til klimaændringer, som indebærer en risiko for både mennesker og natur. Det er ændringer som opvarmning af atmosfæren og havene, ændringer i det globale vandkredsløb, mindre mængder is og sne, stigning i verdenshavernes gennemsnitsniveau samt flere ekstreme vejrphenomener som fx tørke og voldsomme regnvejr.

Vi kan til en vis grad tilpasse os klimaændringerne

Arbejdsgruppe II under IPCC (WGII) har vurderet virkninger af, tilpasning til og sårbarhed over for klimaændringer. I denne rapport's kapitel 2, 3 og 4 beskrives en række af disse vurderinger, som enten har afgørende international betydning, eller som har betydning for Danmarks muligheder for at tilpasse sig klimaforandringerne samt for danske forhold generelt. Beskrivelserne bygger direkte på WGII's bidrag til den 5. hovedrapport og temaerne er:

Kapitel 2: Observerede konsekvenser, sårbarhed og tilpasning til et klima i forandring

Kapitel 3: Fremtidige risici og muligheder for klimatilpasning

Kapitel 4: Risikohåndtering og modstandsdygtighed i et klima i forandring

Sådan påvirker klimaet Danmark

Som afslutning på denne rapport findes et femte og mere uddybende kapitel med danske vinkler på nogle af IPCC-rapportens hovedområder. I dette kapitel inddrages viden fra dansk klimatilpasningsforskning, som kan medvirke til at belyse særlige danske forhold.

Selve delrapport 2 og dens sammendrag for beslutningstagere (Summary for Policymakers; SPM) har ikke et direkte fokus på konsekvenserne af klimaændringerne for Danmark. Men baggrundsrapporten indeholder informationer, der relaterer sig til forholdene i Danmark, Skandinavien og det nordlige Europa. Analysen i denne rapport udgør derfor en forenklet genskrivning af resumé for beslutningstagere med særlige fremhævelser af de forhold, som kan have specifik betydning for Danmark.

Effekter og konsekvenser

Klimaændringerne indebærer komplekse samspil. Og sandsynligheden for forskellige påvirkninger er ikke statiske – de forandrer sig løbende. I boks 2 er der en definition af flere af de begreber, som er centrale for at forstå virkningerne af klimaforandringerne. Tilgangen er som noget nyt baseret på risiko. Det betyder, at effekterne ikke bare er listet op. Det kan fx være vigtigt at forsøge at undgå meget alvorlige konsekvenser, selv om der kun er en lille sandsynlighed for, at de realiseres.

Det er også vigtigt at huske, at der er en tidsforskydning mellem den videnskabelige litteratur inden for klimateffektforskning og den bagvedliggende forskning i klimaforandringer. Derfor bygger de klimascenarier for fremtiden, som WGII har haft mulighed for at vurdere i en vis grad på ældre data end de forhold WGI har arbejdet med. Men scenarierne kan på mange punkter sammenlignes uden tab af væsentlig information. Boks 3 på side 28 giver en kort sammenfatning af de nye scenarier, som WGI har benyttet.

Boks 1: Om IPCC, FN's klimapanel

IPCC står for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Det er et mellemstatsligt videnskabeligt organ, der blev oprettet i 1988 af FN's særorganisationer for meteorologi (WMO) og miljø (UNEP). IPCC's formål er at give verden et klart videnskabeligt syn på aktuel viden om klimaændringer og deres potentielle konsekvenser for miljø og samfundsøkonomi.

IPCC's hovedaktivitet er med jævne mellemrum at udgive vurderingsrapporter om den naturvidenskabelige viden om klimaændringer, klimatilpasning og afbødning af klimaændringerne. IPCC udfører ikke selv forskning, men vurderer den eksisterende viden og litteratur. Arbejdet i IPCC understøtter arbejdet under FN's Klimakonvention (UNFCCC).

IPCC's arbejde er politisk relevant som information for beslutningstagere, men IPCC kommer ikke selv med politiske anbefalinger. Arbejdet er organiseret i tre arbejdsgrupper. De tre grupper har følgende opgaver:

Arbejdsgruppe I, WGI: Foretager den videnskabelige vurdering af klimasystemet.

Arbejdsgruppe II, WGII: Vurderer virkninger af klimaændringer samt muligheder for klimatilpasning.

Arbejdsgruppe III, WGIII: Vurderer de videnskabelige, tekniske, miljømæssige, økonomiske og samfundsmæssige muligheder for at begrænse/afdæmpe klimaændringer.

I 2014 afsluttes den 5. hovedrapport fra klimapanelet med bidrag fra alle tre arbejdsgrupper.

Boks 2: Vigtige begreber og ordforklaringer

Adaptiv forvaltning: Et tilpasningsorienteret forvaltningskoncept som løbende tager hensyn til behovet for at justere praksis i forhold til udfordringerne fra klimaforandringerne

Eksponering: Lokalteter hvor følgende kan blive påvirket negativt: mennesker, livsgrundlag, arter eller økosystemer, miljø, tjenester og ressourcer, infrastruktur, eller økonomiske, sociale eller kulturelle aktiver.

Gentagelsesperiode: Sjældent forekommende vejrphænomener som eksempelvis kraftige regnskyl kan karakteriseres ved deres hyppighed. Den sandsynlige hyppighed for en hændelse kan beskrives ved dens gentagelsesperiode. At en hændelse har en gentagelsesperiode på ti år vil sige, at der gennemsnitligt går ti år mellem hver gang en hændelse af en given størrelse indtræffer.

Institutionelle rammer: Det samlede system af myndigheders aktiviteter i form af lovgivning, bekendtgørelser, vejledninger samt formelle eller uformelle procedurer og konventioner, der påvirker et samfunds aktiviteter.

Katastrofe: Forekomst af en fysisk eller menneskeskabt begivenhed der kan forårsage tab af liv, påføre skade eller have anden sundhedsmæssig konsekvens, eller give skader og tab på ejendom, infrastruktur, livsgrundlag, tjenesteydelser, økosystemer og miljømæssige ressourcer. I denne rapport bruges udtrykket katastrofe især om klimarelaterede fysiske begivenheder eller deres virkninger.

Klimafaktor: Forholdet mellem værdien af en klimaparameter (fx gentagelsesperioden for kraftigt regnvejr) under et fremtidigt klima og det nuværende klima. En klimafaktor på 1,3 svarer fx til øgning på 30 % af en given nutidig gentagelsesperiode.

Klimahændelse: En vejr-relateret hændelse som giver sig udslag i betydelige virkninger på samfund eller natur. Det kan være voldsom tørke eller store oversvømmelser.

Klimascenarie: En beregning af klimaudviklingen baseret på et scenarie for atmosfærens indhold af drivhusgasser og andre menneskeskabte forandringer som fx ændret arealanvendelse og udslip af forureningspartikler (aerosoler)

Klimatilpasning: Processen at justere til faktiske eller forventede klimaforhold og deres virkninger. I menneskelige systemer har klimatilpasning til formål at moderere eller undgå skade eller udnytte fordelagtige muligheder. I nogle naturlige systemer kan mennesket gribe ind og lette tilpasningen til forventede klimaændringer og deres virkninger.

Klimaændringer: Klimaændringer refererer til en ændring i klimaets tilstand. Det kan være i den gennemsnitlige værdi og/eller variationer over en længere periode, typisk årtier eller længere. Klimaændringer kan skyldes naturlige interne processer eller eksterne påvirkninger som fx ændringer i strålingen fra solen eller vulkanudbrud. De kan også skyldes vedvarende menneskeskabte ændringer, som påvirker atmosfærens sammensætning eller vores udnyttelse af forskellige arealer.

Risiko: Handler om sandsynligheden for konsekvenserne. Det gælder, hvis noget af værdi er på spil, hvor udfaldet er usikkert. Den samlede risiko omfatter det samlede billede af de mange forskellige værdier, som kan blive ramt. Risiko er ofte repræsenteret ved en sandsynlighed for forekomsten af farlige hændelser ganget med virkningen, hvis disse begivenheder forekommer. Risiko er resultat af samspil mellem sårbarhed, eksponering og graden af fare. I denne rapport anvender vi primært begrebet risiko for at henvise til risikoen for virkninger af klimaforandringer.

Sårbarhed: Tilbøjelighed til eller disponering for at blive påvirket negativt. Sårbarhed omfatter en række elementer, fx følsomhed eller modtagelighed over for skadepåvirkning og manglende evne til at klare og tilpasse sig.

Virkninger: Effekter på naturlige og menneskeskabte systemer. Udtrykket anvendes primært om virkningerne på naturlige og menneskeskabte systemer, som skyldes ekstreme vejr- og klimabegivenheder samt klimaændringer. Der kan være tale om virkninger på liv, livsgrundlag, sundhed, økosystemer, økonomi, samfund, kulturer, tjenester og infrastruktur på grund af samspillet mellem klimaforandringer eller farlige klimabegivenheder inden for en bestemt periode. Der kan også være tale om sårbarhed af et udsat samfund eller (øko-)system. Påvirkninger kaldes også for konsekvenser.



2. Observerede konsekvenser, sårbarhed og tilpasning til et klima i forandring

I de seneste årtier har ændringer i klimaet påvirket naturlige og menneskeskabte systemer på alle kontinenter og på tværs af oceaner.

Sårbarhed og eksponering er betinget af mange faktorer, hvor klimaet ikke behøver at være centralt. Men påvirkninger af især mindre samfund og visse økosystemer har tydeliggjort eksisterende eksponeringsrisici og sårbarheder. Det gælder påvirkninger som følge af hedebølger, tørke, oversvømmelser, tropiske orkaner og naturbrande.

De mest markante påvirkninger af menneskelige systemer er sket i Arktis og syd for ækvator. Der er især påvist ændringer i naturlige systemer på den nordlige halvkugle, hvilket formentlig hænger sammen med, at langt flere studier er gennemført i disse områder.

2.1 Ferskvandsressourcer

Der er ikke konstateret markante tendenser i nedbøren i det 20. århundrede på det globale plan. Derimod er der påvist tendenser i flere regioner i verden. Blandt andet er der i Nordeuropa påvist en sammenhæng mellem stigende mængde drivhusgasser og øget nedbør om vinteren. I Nordeuropa er der også påvist en øget vandføring i vandløb.

Ekstrem nedbør skyldes menneskelig aktivitet

Den ekstreme nedbør er blevet mere ekstrem siden 1950. Det kan med stor sandsynlighed tilskrives menneskelig påvirkning. I samme periode kan man ikke påvise en tendens til større oversvømmelser i de store europæiske floder. Men de maximale årlige afstrømninger i mindre oplande er øget som følge af den øgede ekstremnedbør i store dele af Nordvesteuropa.

De økonomiske tab fra oversvømmelser i Europa er øget markant gennem de seneste årtier. Det skyldes især, at der er øgede økonomiske aktiviteter i de oversvømmelsestruede områder, og det giver større skadevirkninger fra de enkelte oversvømmelser.

2.2 Landbaserede økosystemer

Skovproduktionen i Nordeuropa er øget, men nåleskoven er under pres. Opvarmningen gør, at mange plante- og dyrearter ændrer udbredelse. Der sker også ændringer i frekvensen af sygdomsangreb og populationernes størrelser. Samtidigt er sæsondynamikken ændret for mange arter af planter og dyr, og det betyder, at de har en tidligere sæsonopstart i foråret.

Desuden er omfanget af invasive arter øget. De invasive arter etablerer, fordeler og formerer sig mere effektivt. Men det er fortsat uklart, i hvilket omfang det hænger sammen med klimaændringerne.

Tørke og ekstrem regn har medført flere og alvorligere forstyrrelser i økosystemerne. Antallet af sygdomsangreb er også øget, og dette tilskrives i nogle tilfælde klimaændringer.

Det er nu blevet mere klart, at der er tale om synergieffekter, så klimaændringer i de fleste tilfælde forstærker effekterne af de øvrige indgreb i naturen.

2.3 Kystnære områder

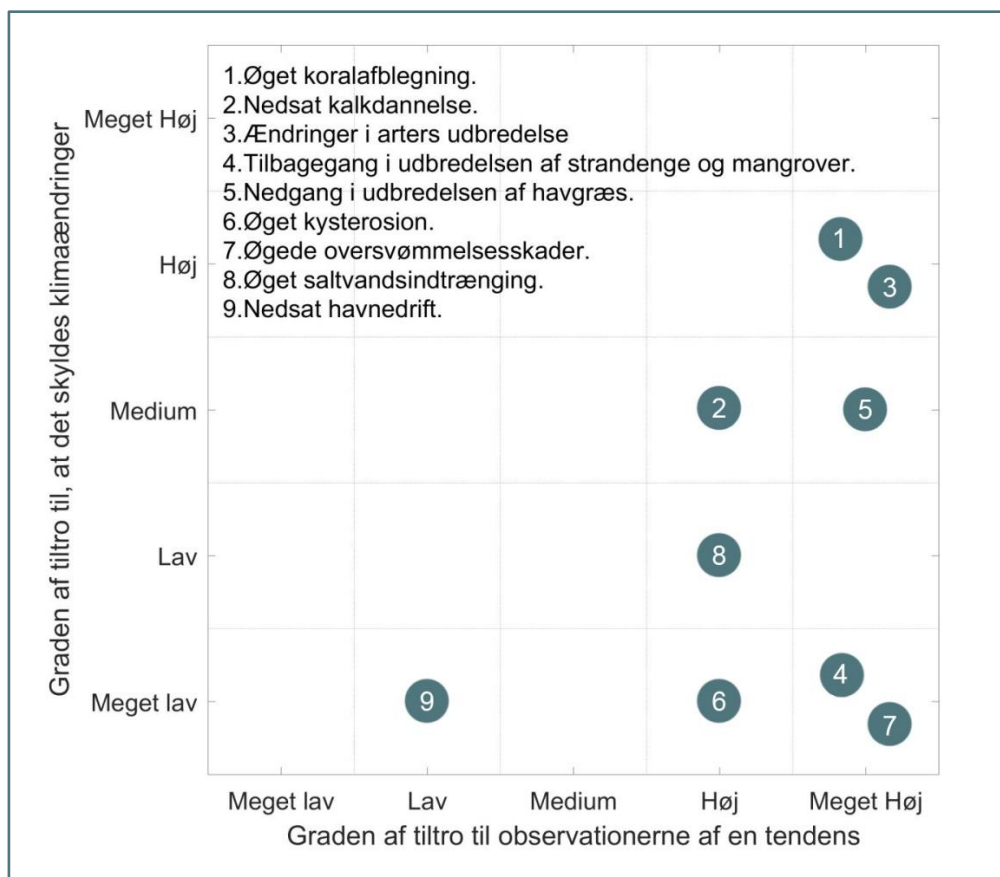
I kystområder kan det være svært at se, om påvirkninger skyldes klimaforandringer eller andre menneskelige indgreb. Kystområderne forandrer sig hele tiden som følge af forurening og ændring i sommerhusområder, byer, skov og landbrug.

Det er nemmere at observere temperaturafhængige klimaændringer i fx havet, når det gælder nye arter eller fx koralrev. Havgræsenge er allerede under pres på grund af klimaændringer. Det gælder især, fordi maksimumtemperaturen allerede nærmer sig nogle arters fysiologiske grænse.

Indtrængning af saltvand

I kystnære områder sker der også indtrængning af saltvand. Det ser ud til, at der er en sammenhæng med menneskelige påvirkninger fra fx indvinding af grundvand, dræning af overfladevand eller udretning af vandløb. Tilsvarende er nedgangen i udbredelse af strandenge især forbundet med menneskelige aktiviteter som fx skovrydning og genindvinding af vådområder. Derfor er det usikkert, om klimaændringer er årsagen.

Når man skal vurdere, om klimaændringer indtil nu har betydet en stor ændring i kystområderne, må man altså se på, hvilke ændringer der er tale om. Se endvidere figur 2.1.



Figur 2.1: Figuren viser på x-aksen, hvor stor tiltroen er til, at observationerne viser reelle tendenser i klimafølsomme kystnære systemer. På y-aksen viser figuren, hvor stor tiltroen er til, at de observerede tendenser kan tilskrives klimaændringer. Kilde: CRES på baggrund af IPCC.

Øget havniveau giver stormfloder og erosion af kyster

Jo mere havniveauet stiger, jo værre bliver stormfloder og erosion af kyster. I det 20. århundrede steg det globale havniveau med 1,7 mm/år, men siden 1993 er det steget med 3,2 mm/år. Globalt set er nettoresultatet, at der er blevet mere hav og mindre land i sidste århundrede. Der er dog mange andre påvirkninger, der bidrager til kysterosion. Det gælder nedsat sedimenttransport og nye måder at anvende kystområder på. Der er desuden ikke klare tegn på, at der er sket en forværring i de vejrforhold, der forårsager stormfloderne.

Større opvarmning ved kyster end i havet

Opvarmningen i havets overfladetemperaturer sker globalt, og den sker hurtigere langs kyster end i det åbne ocean. Klimaændringer har konsekvenser for fisk og fiskeri. Opvarmningen i Nordsøen i perioden 1977-2002 har betydet, at der nu kan leve flere forskellige fiskearter. Bundfisk lever fx i højere grad på større dybder end tidligere som følge af klimaforandringerne.

Højere temperaturer giver iltsvind

På globalt plan er der næsten hvert år siden 1960 sket en fordobling i antallet af døde zoner i havet, det vil sige områder med meget lavt iltindhold. I Østersøen er arternes mulighed for at migrere begrænset. Det gør livet i Østersøen særlig følsomt over for opvarmning. Østersøen er desuden stærkt påvirket af udledning af næringsstoffer.

2.4 Fødevare-forsyningssikkerhed og fødevareproduktion

Klimaforandringerne påvirker i høj grad afgrøder og landbaseret fødevareproduktion i mange af verdens regioner. Der har været flere negative end positive virkninger af klimaforandringer. Tydelige positive påvirkninger forekommer på nordlige breddegrader. Fødevare- og kornpriser er steget mange steder som følge af ekstreme klimaforhold i vigtige produktionsområder. Det viser, at de nuværende fødevaremarkeder er følsomme over for ekstreme klimahændelser.

Sårbare grupper rammes særligt af klimaændringer

Klimaændringer påvirker mængden og fordelingen af fangsten af fisk i både i fersk- og saltvand samt produktiviteten i akvakultur (som fx fiske-dambrug) i forskellige dele af verden. Især i tropiske udviklingslande kan det fortsætte den negative påvirkning af ernærings- og fødevaresikkerhed for sårbare befolkningsgrupper. Derimod kan det give positive påvirkninger i andre regioner, som bliver mere velegnede til fersk- og saltvandsbaseret fiskeri og akvakultur.

Invasive ukrudtsarter kan få lettere spil

Ændringer i klima og CO₂-koncentrationen vil fremme sprednings- og konkurrenceevnen hos skadelige og invasive ukrudtsarter på landbrugsarealer. Forøget CO₂ vil muligvis nedsætte effekten af nogle ukrudtsbekæmpelsesmidler. Det er stadig uvist, hvordan klimaændringerne vil påvirke sygdomme i afgrøderne, og om intensiteten af sygdommene ændrer sig. Men det er sandsynligt, at udbredelsen af sygdomme og skadedyr vil ændre sig rent geografisk. Mange skadedyr trives bedre i højere temperaturer, og det gør, at de kan formere sig hurtigere og derved opbygge større populationer. Det kan medføre større skade i både landbrug og skovbrug afhængig af værtsplanternes vækstcyklus.

Fødevaresikkerheden bliver påvirket

Alle aspekter af fødevaresikkerhed er potentielt påvirket af klimaforandringer. Det gælder blandt andet adgang til fødevarer, anvendelsesmuligheder og prisstabilitet. Fødevaresikkerhed er også påvirket af ikke-agronomiske faktorer. Her er der begrænset viden om, hvordan disse faktorer vil blive påvirket af klimaændringer, og hvilke muligheder der er for at tilpasse sig klimaændringerne. Forhøjet CO₂ har en negativ påvirkning på den ernæringsmæssige kvalitet af fødevarer og foder som fx protein- og mikronæringsstoffer. Men disse påvirkninger vil måske blive modvirket af andre aspekter af klimaændringer, eller de kan påvirkes gennem bl.a. forædling af nye sorter.

Klimaeffekten giver både fordele og ulemper

De mest almindelige afgrøder (hvede, ris og majs) som dyrkes i tropisk og tempererede områder, kan være truet af klimaændringer. Det sker, hvis temperaturen stiger med 2 °C eller mere over det niveau, der har været i den sidste del af det 20. århundrede, og hvis der ikke sker en tilpasning til klimaændringen. Dog kan der lokalt og især i tempererede områder som Danmark opstå fordele. Klimaeffekten vil variere fra afgrøde til afgrøde og mellem regioner, og den vil afhænge af klimatilpasningstiltag. Ca. 10 % af forudsigelserne for perioden 2030-2049 viser en stigning i udbytterne på 10 % sammenlignet med den sidste del af det 20. århundrede. Og ca. 10 % af forudsigelserne angiver en reduktion i udbytter på mere end 25 %. Efter 2050 vil risikoen for mere alvorlige påvirkninger blive betydeligt forøget. Klimaændringer vil i mange områder af verden betyde større variation i udbyttet fra år til år. Det vil mindske forsyningssikkerheden og dermed også kunne influere på områder i andre dele af verden end dem, der er direkte ramt.

2.5 Urbane områder og infrastruktur

Byområder er generelt meget sårbare, og det er også her, de fleste nuværende risici i forbindelse med klima er koncentreret. Sårbarheden er primært knyttet til ekstreme vejrhændelser som ekstremnedbør, hedeølger, cykloner og stormfloder. Desuden har byområder en størrelse, hvor de i sig selv kan ændre det lokale klima – man taler om urban opvarmning. Det kan i nogle tilfælde medføre yderligere behov for klimatilpasning.

Sårbarheden øges af hyppigere og mere intense ekstremer i et klima i forandring. Sårbarheden kan også øges af forhold, der ikke er klimarelaterede. Især i lav- og middelindkomstlande øges sårbarheden således, når der sker intensiv urbanisering og bosættelser i højrisikoområder.

Forberedelse til klimaændringer kræver regulering

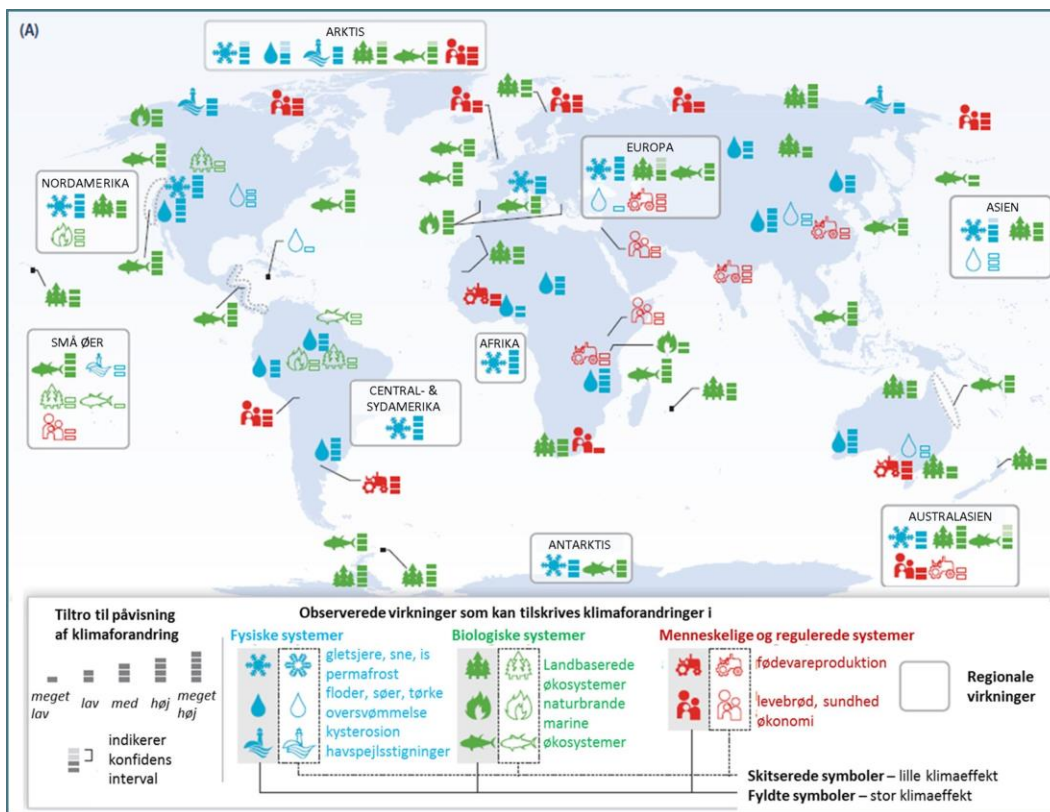
Byer bliver ofte sårbare, når der mangler institutionelle rammer til at regulere samfundets aktiviteter. Det gælder bl.a. myndigheders aktiviteter i form af lovgivning, bekendtgørelser, vejledninger og formelle og uformelle procedurer og konventioner. Sådanne rammer sikrer nemlig en langsigtet regulering af arealanvendelse og standarder for bygninger og infrastruktur. Når disse rammer ikke eksisterer, er det vanskeligere at skaffe de nødvendige investeringer til at sikre bycentre mod konsekvenserne af klimaændringer. Generelt er der begrænset finansiel støtte fra såvel regeringer som internationale organisationer til at sikre sådanne investeringer. I Danmark er der til gengæld sket et mærkbart skift i retning af at skaffe investeringer til at klimasikre danske byer.

2.6 Menneskelig påvirkning af klimasystemet

Den menneskelige påvirkning af klimasystemet er tydelig. Dette er fastslået i IPCC's WGI. I 5. hovedrapport tages der afsæt i vurderingen af klimaændringernes forskellige risici på tværs af forskellige sektorer og regioner. Dette skaber grundlag for at vurdere, hvornår niveauet af klimaændringerne risikerer at blive farligt. På globalt plan har klimaændringerne været særligt fremherskende inden for fem hovedområder. Det er samtidig de fem områder, som IPCC vurderer som særligt risikofyldte. Områderne er:

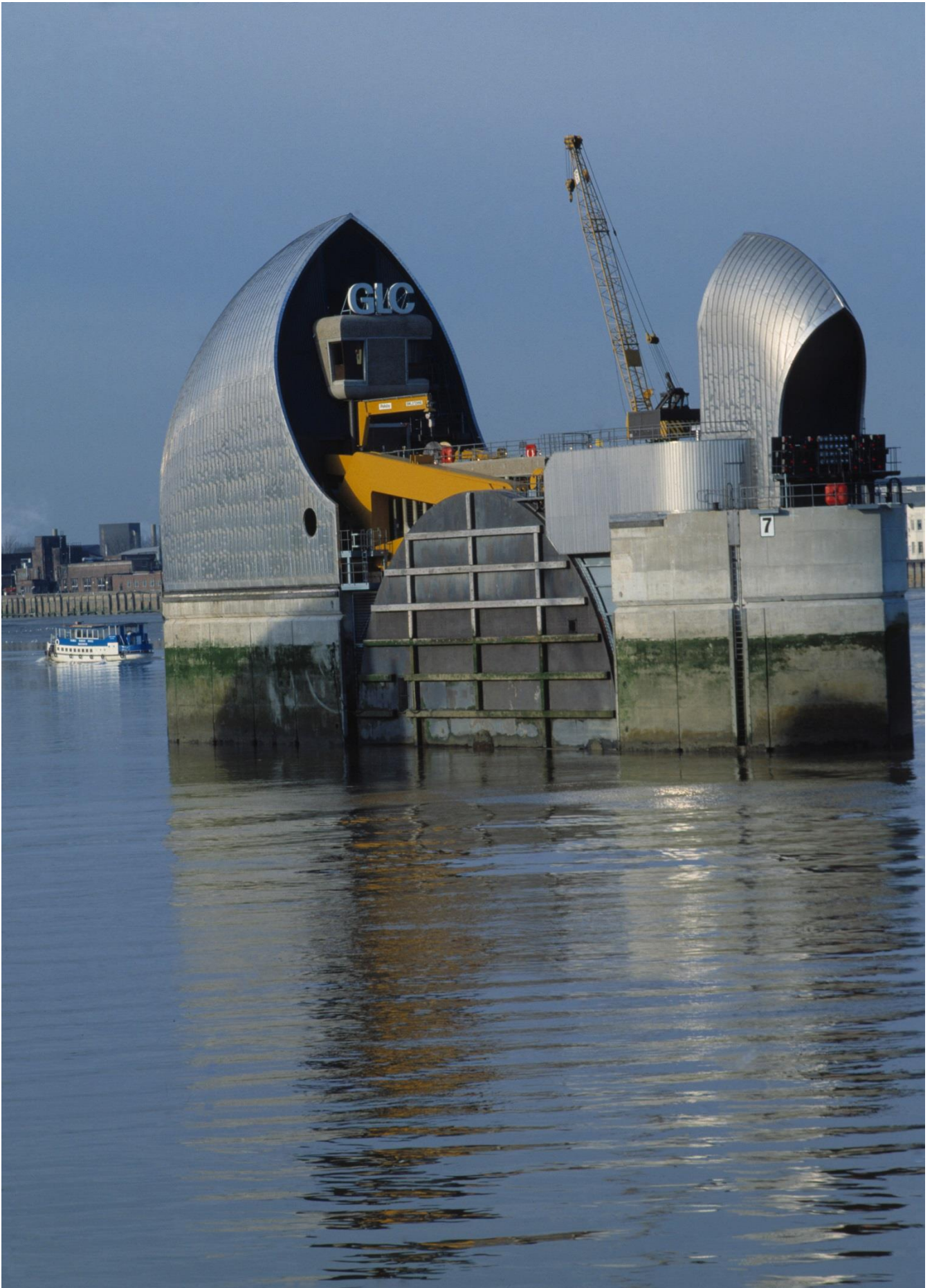
- Unikke og truede økosystemer som Arktis, gletsjere og koralrev.
- Ekstrem varme hvor varmeudbrud har påvirket systemer som koralrev. Det peger på risikoen ved ekstreme vejr-situationer. Andre steder har ekstreme hændelser forårsaget stigende problemer og økonomisk tab, men det har her været vanskeligt præcist at kunne koble hændelserne til klimaændringer.
- Virkninger af klimaforandring dokumenteret på globalt plan med en hidtil uset udbredelse, men med utilstrækkelig dokumentation af geografiske konsekvenser.
- Risici forbundet med store påvirkninger, som er identificeret for:

- kryosfæren, det vil sige den del af jorden, der er dækket af is og sne (her kun isvolumen)
- landbaserede økosystemer (nettoproduktivitet, kulstoflagre)
- menneskelige systemer (høstudbytte, tab i forbindelse med katastrofer).
- Voldsomme enkeltstående begivenheder der indebærer uafvendelige skift, som igen rummer betydelig mulighed for tilbagekoblinger, der endnu ikke er påvist. Dog er der tidlige tegn på klimaforårsagede regimeskift i Arktis (stærkt reduceret snedække sidst på vinteren og meget ringe havisudbredelse om sommeren) og for tropiske koralrev, hvor koralerne i stigende grad dør bort på grund af for høje vandtemperaturer.



Figur 2.2: Figuren viser geografisk fordeling af de virkninger af klimaforandringer, som er identificeret siden IPCC's 4. hovedrapport. Figuren viser en række effekter over en række geografiske skalaer. Symbolerne angiver kategorien af den påviste effekt samt graden af klimapåvirkning (større eller mindre) for den pågældende effekt. Kilde IPCC.

Som det ses af figur 2.2, er der allerede observeret en række alvorlige klimaændringer i fysiske, naturlige og menneskelige systemer. Figurens markering af ændringer er selvfølgelig begrænset af, hvor der har været gennemført videnskabelige studier af påvirkningerne. Alligevel giver den et billede af, at de fleste påvirkninger af menneskelige systemer er sket i Arktis og syd for ækvator. Men der er især påvist en lang række ændringer i naturlige systemer på den nordlige halvkugle, og det er formentlig pga. langt flere studier i disse områder.



3. Fremtidige risici og muligheder for klimatilpasning

Fortsat opvarmning øger sandsynligheden for alvorlige, gennemgribende og uoprettelige konsekvenser.

Hvis man begrænser hastigheden og omfanget af klimaændringerne, kan man reducere de generelle risici fra klimaændringernes virkninger.

Ved at klimatilpasse kan man mindske risikoen for hovedparten af de konsekvenser, der kan komme af klimaændringer i den nære fremtid (2030-2040).

3.1 Ferskvandsressourcer

Klimaændringer vil øge risici for vandressourcer markant. Globalt set vil flere mennesker komme til at leve i områder med vandmangel.

Vandbalancerne ændrer sig

Nogle områder, fx Sydeuropa, vil have risiko for tørke, som forstærkes jo større opvarmningen bliver. Andre områder, fx Nordeuropa og herunder Danmark, vil opleve ændringer i sæsonmæssige vandbalancer, hvor der generelt vil være mere vand til rådighed om vinteren og mere tørre somre. I Sydeuropa vil der blive markant øget behov for markvanding. Det samme gælder mange af de områder i Nordeuropa, hvor vækstsæsonen bliver længere og mere tør. Der er betydelig usikkerhed omkring, hvordan grundvandsforhold vil blive påvirket af klimaændringer og deraf følgende ændringer i vegetation. I kystnære områder vil der dog blive øgede risici for, at saltvand trænger ind i grundvandsmagasiner, fordi havniveauet stiger. Oversvømmelser i Europa vil påvirke flere personer, og materielle tab vil blive to- eller tredoblet inden 2080. Den forøgede ekstremnedbør vil resultere i forøget jorderosion og transport af bl.a. fosfor, som derfor i stigende grad udvaskes til vandmiljøet.

3.2 Landbaserede økosystemer

Økosystemer på land og i de ferske vande vil komme under betydeligt pres i anden halvdel af dette århundrede. Det gælder i høj grad i de høj-opvarmnings scenarier, som IPCC har opstillet (se boks 3 under scenarierne RCP6.0 og RCP8.5). Effekterne vil dog i de kommende 30 år være mindre end fra andre menneskabte påvirkninger som fx landbrug og forurening. Der vil opstå synergieffekter, så klimaændringer forstærker effekterne af de øvrige indgreb i naturen. Der er desuden øget risiko for markante ændringer, når der opstår ekstreme hændelser som øget nedbør og særligt varme perioder. Ændringerne i de landbaserede økosystemer kan også påvirke klimaet fx gennem ændringer i stofkredsløbet (kulstof og kvælstof), landskabet og ferskvandskredsløbet.

Øgede temperaturer vil forringe vandkvaliteten i de ferske vande ikke mindst i de vandområder, som i forvejen er væsentligt påvirket af menneskelige aktiviteter, og det gælder hovedparten af de danske ferske vande.

Plante- og dyrearter flytter sig

Der vil være bedre muligheder for skovproduktion, men nåleskoven vil komme under fortsat større pres. Ændringer i klimaet har i de seneste årtier medført forskydninger i plante- og dyrearters udbredelse og fordeling. Det vil fortsætte i takt med opvarmningen. IPCC's midt- og høj-opvarmnings-scenarier (Se boks 3: RCP6.0 og RCP8.5) viser, at nogle arter vil komme under pres, fordi de ikke kan flytte sig hurtigt nok til at finde passende klimaforhold. Andre menneskelige påvirkninger kan også begrænse arternes evne til at tilpasse sig klimaændringer. Der vil desuden være øget risiko for indvandring af invasive arter, specielt arter der spreder sig let.

Forstyrrelser i fødekæden

De forskellige arter – og led i fødekæden – kan komme ud af takt med hinanden, og det kan få store følger, hvis arterne er indbyrdes afhængige. Nogle arter vil fx få tidligere sæsonopstart i foråret, og det er et problem, hvis artens føde ikke også har ændret sin sæsonopstart. Det vil især have effekt på dyr, der lever af planter, insekter eller andre dyr, fordi føden ikke længere er tilgængelig i samme grad, når de vokser op. Der vil endvidere være større risiko for udbredelse af sygdomme hos planter og dyr.

Regulering kan modvirke klimaændringer

Regulerende tiltag kan modvirke men ikke fjerne effekterne af klimaændringer. Træplantning langs vandløb kan fx mindske vandtemperaturen til gavn for vandløbsfaunaen herunder også en række fiskearter og samtidig øge iltindholdet. Slygning af vandløb og retablering/etablering af vådområder og søer giver en forsinkelse i vandtransporten mod havet, og det kan til en vis grad mindske risikoen for kritiske lave sommervandføringer i vandløb. Det kan også øge fjernelsen af næringsstoffer fra vandområderne. Reduktion i næringsstofftilførslen fra land og by kan mindske de negative effekter af opvarmningen på søernes økologiske tilstand. Desuden kan et øget skovareal, mere natur i byerne, sygdomskontrol og øget naturareal kompensere for artstab og desuden på næringsstofftab til vandområderne.

3.3 Kystnære områder

Globalt set forventes havniveauet at stige 0,28-0,98 m ved år 2100 men med regionale forskelle (se kapitel om specielle danske forhold). Der er dog en risiko for, at delområder af Antarktis reagerer kraftigere end modelberegningernes forudsigelser. Hvis Antarktis smelter hurtigere end antaget, er vurderingen, at der er op til 33 % risiko for, at havet kan stige mere end dette.

Større og større havstigning

Havstigningen i det 21. århundrede vil være større end havstigningen i det 20. århundrede, og det gælder, uanset hvilket scenarie der benyttes for udledning af drivhusgas. Havniveauet vil fortsætte med at stige efter det 21. århundrede, og stigningen i det 22. århundrede vil højst sandsynligt være større end i det 21. århundrede. Det er derfor vigtigt at have en tilstrækkelig robust planlægning, der kan tage højde for det langsigtede perspektiv i fremtidige havniveaustigninger.

Der er ikke en åbenbar tendens i klimafremskrivningerne af storme ved kysten. Men selv om stormforholdene er uændrede, vil kystnære områder alligevel i stigende grad opleve ekstreme vandstande som følge af det stigende middel-havniveau.

Erosion af kystnære områder

Havniveaustigning medfører erosion, oversvømmelser og forurening af ferskvandsressourcer og det er en markant trussel for kystnære områder. Kysterosion vil blive forøget som en konsekvens af stigninger i havniveauet. Kysterosion kan desuden påvirkes gennem kystforvaltning. Uden indgreb vil erosionen fortsætte langs de kyster, der allerede i dag er påvirket af erosion. Mange steder vil det blive vanskeligere og dyrere at finde sand nok til kunstig genopbygning af strande og klitter, da sandressourcer nær de påvirkede områder udtømmes.

Når koncentration af CO₂ øges i atmosfæren, bliver der også opløst mere CO₂ i havet. Dermed bliver havet forsuret. Hovedingrediensen i fotosyntese er CO₂, så havets forsuring vil have en gødende effekt på havplanter. Forsuringen vil øge produktionen af havgræs, makroalger og strandengsplanter. Kombineret med opvarmning vil det ændre konkurrenceforholdet – og dermed artsfordelingen – blandt planter og dyr.

Skadeomkostninger kan bringes ned

I EU estimerer man de årlige potentielle skadesomkostninger ved havniveaustigninger til at være 25 milliarder €/år¹. Hertil kommer, at 250.000 personer/år potentielt vil være påvirket af oversvømmelser i 2080'erne (i tilfælde af et scenarie med 37 cm havniveaustigning i år 2100). Kystbeskyttelse kan nedsætte skadeomkostningerne betragteligt. De årlige udgifter til klimatilpasning i EU estimeres til at være 1,5 milliarder €/år i 2050'erne. Hvis man ikke indfører disse tiltag, bliver de estimerede udgifter til genopretning og erstatninger seks gange så høje. Denne relative økonomiske fordel ved klimatilpasning vil blive større gennem århundredet.

3.4 Fødevarerproduktion og -forsyning

Fødevarerproduktionen bliver påvirket af klimaændringer på flere måder både direkte og indirekte. Inden for landbruget ændres vilkårene for planteproduktion, når der sker ændringer i temperatur, nedbør og CO₂-koncentration. Det giver i nogle tilfælde et øget udbytte og i andre tilfælde et formindsket udbytte.

Ekstreme hændelser vil påvirke hvedeproduktion

En del effekter er knyttet til ekstremhændelser, som tørke, hedebølger, intens nedbør og oversvømmelser. Hvedeproduktion i Europa vil entydigt blive negativt påvirket af den risiko for ekstreme hændelser, som klimaændringerne medfører. Højere temperaturer vil i mange tilfælde også påvirke husdyrproduktionen negativt, fordi dyrenes effektivitet i forhold til produktion af mælk og kød bliver påvirket af varmemstress.

Kvaliteten af naturressourcerne vil ændre sig

Der er også en række indirekte effekter af klimaændringer på fødevarerproduktionen både i landbrug, fiskeri og akvakultur. Disse har især at gøre med kvaliteten af naturressourcerne. Landbrugsproduktion afhænger i mange af verdens egne af en god jordkvalitet samt mange steder af adgang til vand, så man kan vande afgrøderne. Begge dele bliver påvirket af klimaændringer. Ofte vil øgede temperaturer og øget variation i nedbør forringe jordkvaliteten. Og det øger yderligere produktionens følsomhed over for klimaekstremer. Vandressourcer til vanding afhænger af ændringer i nedbørforhold som fx snefald og afsmeltning af gletsjere. Kvaliteten af vandressourcer spiller en stor rolle inden for fiskeri og akvakultur. Derfor har belastningen af vandressourcerne med næringsstoffer også en stor betydning. Her spiller klimaændringer også ind, og det sker ofte i samspil med landbrugsproduktionen, som i mange tilfælde er kilde til disse næringsstoffer.

3.5 Urbane områder og infrastruktur

Globalt set medfører klimaændringer store negative konsekvenser i byområder. Det gælder især i forbindelse med menneskers sundhed, værdier af betydning for økonomien både lokalt og nationalt samt på økosystemer. Primære risici hænger sammen med stigning i havniveau, stormfloder, hedeølger, ekstremregn, oversvømmelser fra floder, jordskred, tørke, vandmangel og luftforurening. Klimaændringer vil have vidtgående konsekvenser på infrastruktur som vand- og energiforsyning, afløbssystemer, transport og IT, samt på sundhed, bebyggelser og økosystemer. Meget tyder også på, at konsekvenserne bliver yderligere forstærket af andre sociale, økonomiske og miljømæssige stressfaktorer.

Risiko for oversvømmelse af byer

På globalt plan er oversvømmelse af byer i kystområder en dominerende fremtidig risiko med en forventet tredobling i antallet af berørte mennesker og en tidobling af de økonomiske konsekvenser ved en havniveaustigning på 0,5 m. Generelt bliver stigning i intensiteten af ekstremregn på 10-60 % frem mod 2100. Det giver en forøget risiko for oversvømmelser og overløb fra kloaksystemer med op til 400 %. Befolkning i byer som er påvirket af disse oversvømmelser vil stige fra nuværende 150 millioner til 1 milliard mennesker i 2050.

Klimatilpasning kræver investeringer

Ved at øge vores klimatilpasning kan vi mindske risikoen for hovedparten af de konsekvenser, der kan komme af klimaændringer i den nære fremtid (2030-2040). Det vil være vanskeligere at reducere risikoen på længere sigt især ved en stigning i den globale middeltemperatur på 4° C. Private aktører i form af fx lodsejere, forretningsdrivende og civilsamfundet er afgørende for klimatilpasning, og hovedparten af de faktiske investeringer vil skulle foretages af disse aktører. Men beslutningstagere på lokalt og nationalt niveau er centrale for klimatilpasning. Det er dem, der kan sikre de rette rammevilkår gennem lokale investeringer, politikker og anden regulering.



4. Risikohåndtering og modstandsdygtighed i et klima under forandring

Klimatilpasning skal tage udgangspunkt i det konkrete sted og den konkrete sammenhæng. Der findes nemlig ikke en enkelt tilgang til at reducere risici hensigtsmæssigt på tværs af alle sektorer og geografiske områder.

Supplerende foranstaltninger, fra enkeltpersoner til regeringer, medvirker til at forbedre planlagt klimatilpasning og dens gennemførelse.

Et første skridt i retning af tilpasning til fremtidige klimaændringer er at reducere sårbarheden og eksponeringen, til de variationer i klimaet vi lever med nu.

Adaptiv forvaltning er effektiv til at håndtere de betydelige usikkerheder, der samlet set indgår i klimatilpasning. I adaptiv forvaltning foretager man analyser af fremtidsscenarioer og forsøgsmæssige anvendelser af nye innovative løsninger på pilotbasis.

I dette afsnit præsenteres de fremtidige risici og potentielle fordele for udvalgte sektorer i et fremtidigt klima. Fremtidige handlemuligheder og rammer for klimapolitisk forvaltning beskrives.

Adaptiv forvaltning kan håndtere usikkerheder

Klimatilpasningen skal ikke kun adressere usikkerheder om de fremtidige klimaforandringer på en robust måde. Der er også usikkerheder om virkningen af de mulige klimatilpasningsløsninger. Flere og flere eksempler viser, at adaptiv forvaltning (se boks 2) er effektiv til at håndtere de betydelige usikkerheder, der samlet set indgår i klimatilpasning. I adaptiv forvaltning foretager man analyser af fremtidsscenarioer og forsøgsmæssige anvendelser af nye innovative løsninger på pilotbasis. Her bliver de enkelte effekter nøje vurderet, før de eventuelt bliver implementeret i fuld skala. Adaptiv forvaltning indebærer også, at der bliver udarbejdet fleksible løsninger, som er robuste over for usikkerhed. Det vil med andre ord sige, at adaptiv forvaltning går ud på at forsøge sig frem med nye tiltag og løbende vurdere effekten af disse, før man gennemfører efterfølgende tiltag. En modsætning til adaptiv forvaltning er at lave en generel langsigtet plan, som bliver implementeret alle steder på én gang, uden at man har mulighed for at finde ud af, hvilke elementer der virker, og hvilke der ikke virker efter hensigten.

4.1 Ferskvandsressourcer

Det er svært at måle risici, fordi man ikke kan måle alle kilder til usikkerhed. Usikkerheder kan håndteres ved hjælp af adaptiv forvaltning og ved opbygning af modstandsdygtighed. Vandmyndigheder er begyndt at inkludere klimaændringer i planlægning og forvaltning. Det meste af arbejdet har hidtil bestået i at udvikle metoder til vandforvaltning og håndtering af oversvømmelser. Det giver i sig selv forbedrede muligheder for, at et samfund kan gennemføre en effektiv klimatilpasning. Klimatilpasning vil typisk bestå af en kombination af "hårde" infrastrukturelle virkemidler (fx diger) og "bløde" institutionelle virkemidler (fx varsling).

4.2 Landbaserede økosystemer

De landbaserede økosystemers modstandsdygtighed over for klimaforandringer stiger generelt i, takt med at andre stressfaktorer mindskes. Den adaptive forvaltning skal derfor sikre mere naturlige økosystemer. Det kan ske på flere måder: Ved at nedsætte tilførslen af næringsstoffer fra land og by, ved at mindske påvirkning fra pesticider, ved at genskabe landskabets selvrensende effekt, hvor man retablerer og genslynger vandløb, ved at fjerne spærringer og plante træer langs vandløb (ikke mindst på sydsiden), ved at retablere søer og moser, og ved at sikre mere naturskov og bedre korridorer i landskabet. Disse tiltag vil under alle omstændigheder føre til forbedringer af økosystemernes kvalitet, uanset hvilke effekter klimaforandringerne vil have.

4.3 Kystnære områder

Klimatilpasning i kystområder har *beskyttelse*, *arealanvendelse* og *tilbagetrækning* som omdrejningspunkter. Disse termer er nu bredt anvendt globalt. Beskyttelse sigter efter at fremrykke eller fastholde eksisterende forsvarsforanstaltninger. Det kan ske via landvinding, sandfodring, opførelse af kunstige klitter, hårde strukturer såsom bølgebrydere, diger og stormflodsbarrierer, eller ved at fjerne invasive arter og genoprette oprindelige arter. Arealanvendelse kan reguleres ved at øge fleksibiliteten, sikre mod oversvømmelse, have oversvømmelses-resistent landbrug, kortlægge risikoen for oversvømmelse, lave varslingsystemer, eller ved at erstatte hård kystbeskyttelse med levende kystlinjer. Tilbagetrækning omfatter at tillade, at kystlinjen og vådområder trækker ind i landet samt at tillade planlagt omstilling ved for eksempel at bryde diger. Den mest hensigtsmæssige strategi kan afhænge af flere faktorer, og det kræver en omhyggelig beslutnings- og forvaltningsproces.

Ingen fast øvre grænse for havstigninger

Der er ingen konsensus omkring den øvre grænse for havniveausstigninger i det 21. århundrede. Det er derfor nødvendigt at vurdere, hvor stor en risiko der bliver anset for acceptabel i det specifikke tilfælde samt at tilpasse tiltag til ny aktuel viden. For eksempel antog det hollandske Delta Program 1,3 m som en øvre grænse for havstigningerne over det 21. århundrede, mens der for Danmark ikke er en officiel øvre grænse. DMI vurderer på baggrund af RCP8.5 (se boks 3), at en øvre grænse baseret på et usikkerhedsestimat er 0,9 m.

Behov for fleksibel kystbeskyttelse

Det er svært at anvende traditionelle cost-benefit-analyser på grund af de lange tidshorisonter for investeringer i klimatilpasning ved kysten. Dels er der økonomiske værdier på spil, og dels er der betydelig usikkerhed om påvirkningerne og om klimascenarierne inden for sådan en lang tidshorizont. Der kan derfor være en økonomisk fordel ved at investere i kystbeskyttelse, som er omstillingsparat og kan op- og nedjusteres, efterhånden som forudsigelser om klimaændringer bliver mere sikre.

4.4 Fødevarer-forsyningssikkerhed og fødevarerproduktion

Klimatilpasning inden for fødevarerproduktionen bør især fokusere på jord, vand og genetik som de basale ressourcer, der er grundlaget for produktionen. Hertil kommer ændringer i landbrugsproduktionens sammensætning og de tilhørende teknologier. Disse kan i mange sammenhænge tilpasse udnyttelsen af de basale ressourcer bedre til et ændret klima. For jordens vedkommende er der brug for bedre beskyttelse af jordkvaliteten i forhold til klimaændringer. I nogle egne drejer det sig om at hindre, at jordens indhold af organisk stof brydes ned for dermed at fastholde den vandholdende evne. I andre egne vil øget erosion på grund af vind eller vand være væsentlige trusler. Og endnu andre steder kan øgede nedbørmængder medføre behov for øget dræning af markerne. I mange egne af verden vil klimaændringerne medføre længere og mere alvorlige tørkesituationer, og det øger presset på vanding. Der er derfor behov for at udbygge kapaciteten til oplagring og forsyning med vand til vanding men også til øget effektivitet i

vandingen. Inden for genetikken er der brug for øget fokus og muligvis nye metoder til fremavl af afgrøder og husdyr, der bedre tilpasset både et varmere og et mere variabelt klima.

4.5 Urbane områder og infrastruktur

Klimatilpasning kan bruges proaktivt til på én og samme tid at nå mål for byers robusthed, modstandskraft og bæredygtige udvikling. Her spiller et godt beredskab en central rolle. Det skal planlægges med fokus på at reducere risici, så det kan tage højde for, at byer både bliver mere sårbare og eksponerede. Her kan man med fordel integrere beredskabsplanlægning og klimatilpasning både på lokalt, regionalt, nationalt og internationalt niveau. Man kan i høj grad mindske både eksponering overfor og konsekvenser af klimaforandringer ved at forbedre servicefunktioner og infrastruktur som fx vandforsyning, kloaksystemer, elforsyning, transport og telekommunikation, sundhedsvæsen, uddannelse og beredskab. Det vil i særlig grad være en fordel for de byer, som nu er mest sårbare.

Når man skal sikre en effektiv klimatilpasning for et byområde, er der flere ting at tage højde for. Der skal gives lokal information om såvel det nuværende som det forventede fremtidige klima, samt hvordan det vil påvirke den samlede risiko for byområdet. Samtidig bør der være oplysning, som peger på de gode muligheder for tilpasning til det nye klima baseret på den nyeste viden omkring klimaændringer og socioøkonomiske fremskrivninger.

4.6 Veje til en klimarobust fremtid

Klimapolitikken er udtryk for en samlet balance mellem:

- samfundets vurdering af risiko ved klimaændringer
- klimatilpasning
- muligheder og omkostninger ved at begrænse klimaændringerne ved mindre drivhusgasudslip.

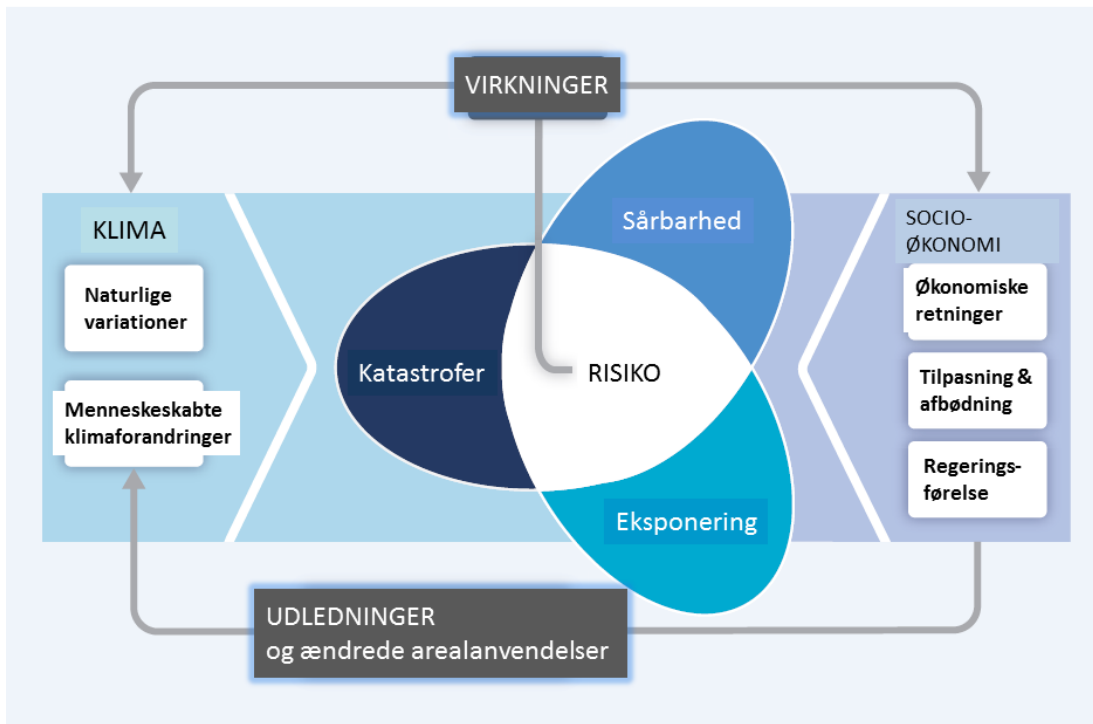
Klimasystemet forstyrres af den menneskelige påvirkning, og klimaændringerne udgør en risiko for både menneskeskabte og naturlige systemer. Dette illustreres i figur 4.1. Figuren viser, hvordan både ændringer i klimasystemet og i de samfundsmæssige forhold medvirker til ændringer i katastrofer, eksponering og sårbarhed.

Hvordan der skal sættes på henholdsvis at reducere udslippet af drivhusgasser, og hvor meget der skal sættes på klimatilpasning, er en prioritering, der bør træffes af verdenssamfundet. Et eksempel på en sådan beslutningstagning er FN-forhandlingerne om, hvad det indebærer at begrænse globale gennemsnitlige temperaturstigninger til fx højst 2° C. Det er her vigtigt at holde sig for øje, at der stadig er behov for klimatilpasning, selvom der bliver indført drivhusgasreduktioner, som svarer til bestemte mål for gennemsnitlig temperaturstigning. IPCC's 5. hovedrapport nævner da også, at verden vil kunne miste op til 2% af det samlede bruttonationalprodukt (se boks 3 for definition) ved en temperaturstigning på fx 2° C. Det fremgår samtidig af rapporten, at klimatilpasning kan reducere det økonomiske tab væsentligt.

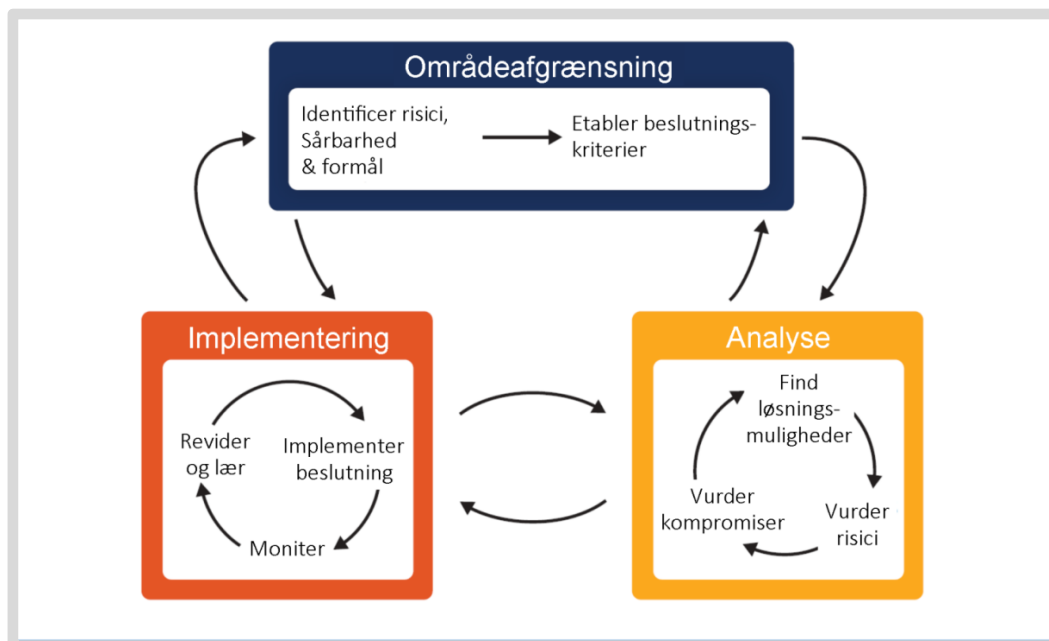
Klimatilpasning som samlet politisk strategi

IPCC anbefaler i 5. hovedrapport en strategi for udvikling og implementering af klimatilpasningstiltag for at reducere de usikkerheder, som knytter sig til disse tiltag. Der er tale om en slags udviklingsstrategi for klimapolitik, hvor opgørelser af omkostninger og fysiske konsekvenser suppleres med klimatilpasning gennem en samlet klimapolitisk strategi. Denne strategi sigter på, at tilpasningsplanerne løbende bliver justeret ud fra monitorering af klimarisici og effektiviteten af den udførte indsats. Målet er endvidere at effektivisere klimapolitikken over tid ved at høste større viden om klimaændringer og erfaringsopsamling for klimatilpasning. Det vil

tilsammen nedsætte usikkerhederne forbundet med de klimapolitiske tiltag. IPCC's illustration af en sådan strategi for klimatilpasning med indbygget læring er vist i figur 4.2.



Figur 4.1: Figuren viser, at risikoen for klimarelaterede virkninger er et resultat af samspillet imellem klimarelaterede katastrofer samt eksponering og sårbarhed over for disse begivenheder (synergieffekt). Både ændringer i klimasystemet (venstre side) og samfundsmæssige forhold (højre) er kilder til ændringer i katastrofer, eksponering og sårbarhed. Kilde: IPCC



Figur 4.2: Figuren viser klimatilpasning som en iterativ proces med indbygget læring. Samspillet mellem områdeafgrænsning, analyse og implementering er illustreret. Bemærk, at vekselvirkningerne fungerer begge veje i alle led af processen. Kilde: IPCC

Boks 3: IPCC har taget nye klimascenarier i anvendelse, de såkaldte RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways)

Forudsigelser af klimaforandringer kræver oplysninger om fremtidige udledninger eller koncentrationer af drivhusgasser, aerosoler og andre faktorer, der påvirker klimaet. Disse oplysninger udtrykkes ofte som et scenarie af menneskelige aktiviteter. IPCC's WGI-scenarier har fokuseret på menneskeskabte udledninger og omfatter ikke ændringer i naturlige påvirkningsfaktorer såsom påvirkning fra solen, vulkaner eller naturlige udledninger af fx metan (CH₄) og lattergas (N₂O).

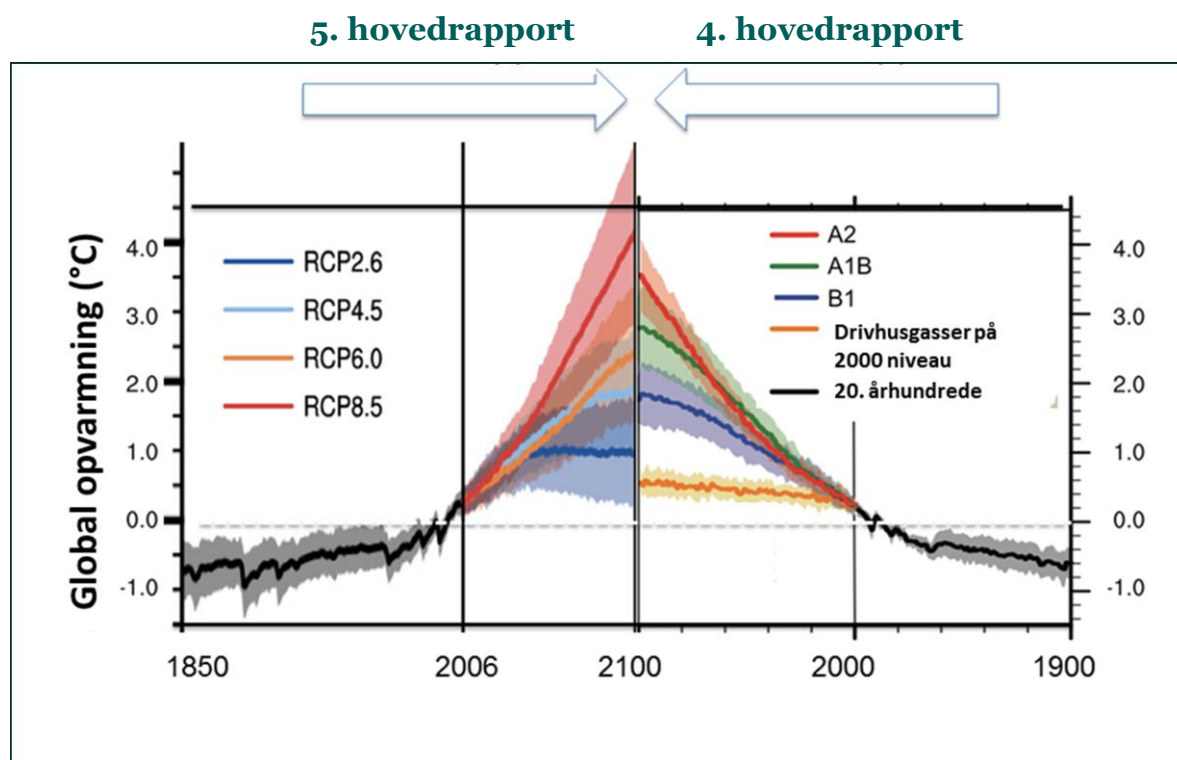
Graden af menneskeskabt global opvarmning bliver på længere sigt primært afgjort af de samlede udledninger over tid. De er derfor både afhængige af, hvornår udledningerne topper, på hvilket niveau de topper, og hvor hurtigt de derefter aftager. Forud for arbejdet med IPCC's 5. hovedrapport er defineret en række repræsentative scenarier for den fremtidige klimapåvirkning. De kaldes RCP-scenarierne (Representative Concentration Pathways), og de erstatter de hidtidige SRES standardscenarier (Special Report on Emissions Scenarios). I modsætning til SRES-scenarierne er nogle af de nye scenarier specifikt formuleret som stabiliseringsscenarier, der inddrager effekten af klimapolitiske beslutninger.

Formålet med de nye scenarier er at give beslutningstagerne bedre muligheder for at kunne vurdere konsekvenserne af de forventede klimaændringer under forskellige grader af global opvarmning. Dermed kan beslutningstagere bedre vurdere passende tiltag for klimatilpasning og reduktion af drivhusgasudledningen.

Nedenfor vises de fire RCP-scenarier, og hvordan de udvikler sig.

Betegnelse	Strålingsforcering	Drivhusgaskoncentration	Temperatur i 2100 (bedste estimat) ift. 1980 - 1999	Udvikling i forhold til 2005
RCP8.5	Over 8,5 W/m ² i 2100	Over 1370 ppm CO ₂ -ækvivalent i 2100	Ca. 4,5 °C	Stigende
RCP6.0	Ca. 6 W/m ² ved stabilisering efter 2100	Ca. 850 ppm CO ₂ -ækvivalent ved stabilisering efter 2100	Ca. 2,6 °C	Stabilisering
RCP4.5	Ca. 4,5 W/m ² ved stabilisering efter 2100	Ca. 650 ppm CO ₂ -ækvivalent ved stabilisering efter 2100	Ca. 1,7 °C	Stabilisering
RCP2.6 / RCP3-PD	Topper ved ca. 3 W/m ² før 2100 og aftager derefter	Topper ved ca. 490 ppm CO ₂ -ækvivalent før 2100 og aftager derefter	Ca. 0,8 °C	Topper og aftager derefter

Figuren på næste side sammenligner udviklingen i global middeltemperatur for SRES- og RCP-scenarierne.



Boks 3 figur: Figuren viser en sammenligning mellem IPCC's vurderinger af den fremtidige globale temperaturudvikling fra de anvendte scenarier i den 4. hovedrapport (højre) og 5. hovedrapport (venstre). Det fremgår bl.a., at 5. hovedrapport opererer med fire scenarier, mens 4. hovedrapport kun anvender tre. Sidstnævnte har resulteret i en udbredt fejlagtig opfattelse af, at der er tale om et scenarie, som er mere sandsynligt end andre (det midterste – A1B). Med de fire scenarier i 5. hovedrapport er det gjort mere tydeligt, at scenarierne alle anses for lige sandsynlige. Kilde: CRES efter IPCC.

SRES-scenarierne fra 2001 er baseret på fremtidsvisioner, som generelt opererer med højere velstand end i dag. Scenarierne omfatter en lang række fremtidige niveauer for økonomisk aktivitet. Her stiger det samlede bruttonationalprodukt for alle verdens lande (et mål for værdien af et lands samlede produktion af varer og tjenester minus værdien af de anvendte råstoffer) til ti gange de nuværende værdier i år 2100 i det laveste og til 26 gange i de højeste scenarier. Mange af SRES-scenarierne forudsætter, at indkomstforskelle blandt de globale regioner bliver mindre.

Teknologi er mindst lige så vigtig en drivkraft som demografisk forandring og økonomisk udvikling, og SRES-scenarierne omfatter et større antal forskellige energistrukturer. Dette forhold afspejler usikkerheder om fremtidige fossile ressourcer og teknologisk forandring. Scenarierne omfatter stort set alle de mulige ændringer fra høje andele af fossile brændstoffer, olie og gas eller kul, til høje andele af ikke-fossile brændstoffer.

I de fleste scenarier fortsætter reduktionen af det globale skovområde i nogle årtier. Det er hovedsageligt på grund af øget befolkning og indkomsttilvækst. Men i de fleste scenarier vender denne tendens, så vi ender med en stigning i skovområdet i år 2100 sammenlignet med 1990. Ændringer i forbindelse med udnyttelse af landbrugsjord sker hovedsageligt ved ændringer i efterspørgsel efter fødevarer, forårsaget af demografiske skift og kostændringer.



5. Specielle danske forhold

De påvirkninger, som resten af verden er udsat for, kan også få konsekvenser i Danmark. I nogle tilfælde kan det få betydning for både klimatilpasningsmuligheder og implementeringen af disse.

IPCC's 5. hovedrapport afdækker i højere grad end tidligere systematisk klimaeffekter på regional skala. Klimaeffekterne i det nordlige Europa afviger på mange parametre fra effekterne i det sydlige Europa. Ikke desto mindre vil en række klimaeffekter i det sydlige Europa indirekte påvirke fx Danmark på mere nordlige breddegrader. Den 5. hovedrapport fremhæver, hvor vigtigt det er at forstå de globale og interregionale handelsmønstre og finansielle transaktioner for at kunne vurdere betydningen af regionale klimaændringer i Europa og hele verden.

De europæiske lande rammes forskelligt af klimaændringer

Observerede klimaændringer og beregnede fremtidige ændringer varierer ned gennem Europa, både hvad angår temperatur og nedbør. Dermed varierer også nogle af effekterne af klimaændringerne i de forskellige regioner. Forventningen er, at det vil give en økonomisk skævvridning. Klimaforandringerne vil sandsynligvis forhindre eller dæmpe økonomisk aktivitet i den sydlige del af Europa, mere end det vil være tilfældet i den nordlige del af Europa.

Globale ændringer kan få lokale konsekvenser

Selv om klimatilpasning i høj grad er regionalt eller lokalt betinget, er det væsentligt at have øje for den globale sammenhæng og kompleksiteten af de påvirkninger, som klimaforandringerne kan medføre. Figur 5.1 giver information om ligheder og forskelle på en global skala, mens figur 5.2 præsenterer et resume af de overordnede tendenser af klimavirkninger på tværs af sektorer i forskellige regioner i Europa (Alperne, Syd, Nord, Kontinental og Atlanterhavs-kystområder). De påvirkninger som resten af verden er udsat for, kan også få konsekvenser i Danmark. I nogle tilfælde kan det få betydning for både klimatilpasningsmuligheder og implementeringen af disse. Det kan fx skyldes international lovgivning, andre internationale forhold, eller at klimaeffekter (katastrofer) i fjerne egne fjerner et egentligt dansk fokus. Overordnet gælder dog for Europa:

Energiproduktionen.

Vandkraftpotentialiet vil være vigende over det meste af Europa på nær i Skandinavien.

Klimaændringer forventes ikke at påvirke vindenergiproduktionen før 2050. Men efter 2050 vil der generelt være en negativ påvirkning i sommerhalvåret pga. mindre vind, mens effekten vil variere fra region til region om vinteren.

Landbrugsproduktionen.

Produktionen af de fleste landbrugsafgrøder vil stige i den nordlige del af Europa. De højeste udbyttetigninger vil ske i de afgrøder, der bedst kan udnytte en længere vækstsæson, som fx. græs, roer og majs. Derimod vil udbyttetigninger i de udbredte kornarter i Danmark som byg og hvede, være mindre. Opvarmningen gør det også muligt at dyrke helt nye afgrøder som fx. vin og solsikke. På den anden side vil en længere vækstsæson også forbedre levevilkårene for skadedyr og visse plantesygdomme. Det kan desuden øge behovet for såvel kunstvanding som dræning af landbrugsarealer. Det nordlige Europa er betydeligt gunstigere stillet end Sydeuropa, hvor klimaændringer øger risikoen for tab som følge af hdebølger og tørke mere end i Nordeuropa. Dette vil forskyde konkurrenceforholdet både inden for plante- og husdyrproduktionen i Europa til gavn for Nordeuropa, herunder Danmark.

Fiskebestanden

Fiskebestanden har ændret sig med de stigende havtemperaturer. Fiskearter har bevæget sig nordpå, og man har registreret en reduktion i populationstørrelse. I Nordsøen er torskebestanden således trukket nordpå, og i Nordatlanten har dette også påvirket placeringen af vigtige fiskebestande som sild og makrel. Det har medført et betydeligt pres på de eksisterende aftaler mellem fiskerinationerne i Nordatlanten.

Turismen

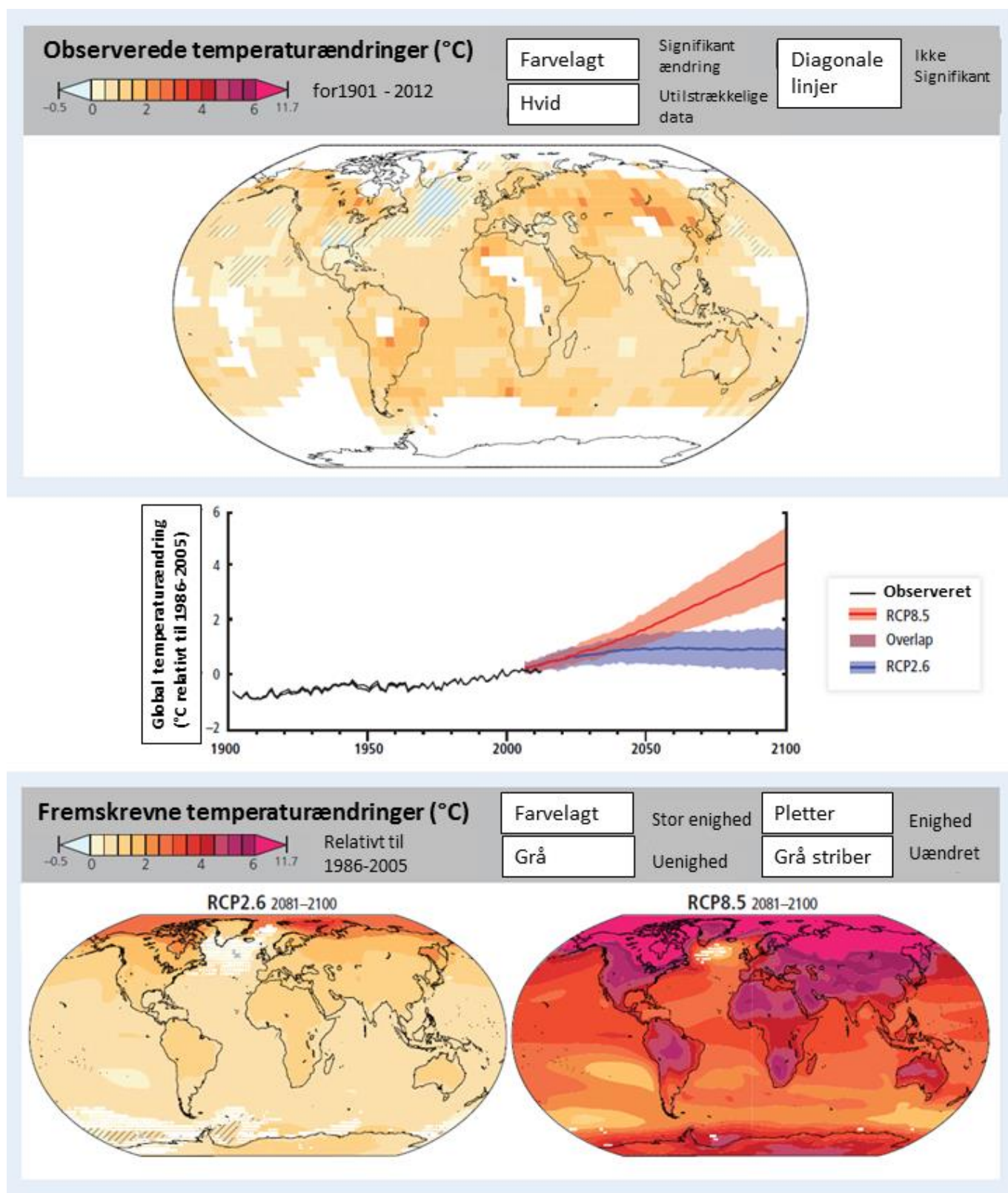
Turismen vil komme til at stige i det nordlige Europa og det sydlige Skandinavien til dels på grund af et mildere klima. Til gengæld vil turismen falde i den sydlige del af Europa – særligt om sommeren.

Havniveauet

Havniveauet vil stige, men konsekvenserne for befolkningen og infrastrukturen vil sandsynligvis være på et niveau, som Europas kystnære områder vil være i stand til at tilpasse sig. Derimod vil vores kulturarv være særligt udsat herunder historiske bygninger, landskaber og arkæologiske områder, da de ikke kan flyttes.

Storme

Forekomsten af storme er forbundet med store naturlige variationer. En række videnskabelige studier tyder på, at vi på grund af den globale opvarmning vil opleve flere storme med ødelæggelser til følge i løbet af dette århundrede. Der er dog ikke bevis for, at den hidtil observerede stigning i europæiske storme kan tilskrives udledningen af drivhusgasser til atmosfæren.



Figur 5.1. Figuren viser (øverst) et kort over årlige temperaturændringer fra 1901-2012. Hvide områder viser, at datagrundlaget ikke er tilstrækkeligt. Områder hvor tendensen ikke er signifikant, er skraverede. Figuren i midten viser observerede og simulerede fremtidige temperatur i forhold til perioden 1986-2005. Nederste kort viser temperaturændringer i RCP2.6 og RCP8.5 set i forhold til 1986-2005. Kilde: IPCC

Europa	Alpint	Sydlig	Nordlig	Kontinental	Atlantisk
Energi					
Vindenergi- produktion	→	↗ ↘	↗	→	↗ ↘
Vandkraft	↗ ↘	↘	↗	↘	↗ ↘
Jordvarme mm.	→ ↘	→ ↘	→	→ ↘	→ ↘
Energiforbrug	↗	↘	↗	↗	↗
Transport					
Trafikulykker	→	↗	→	→	→
Togforsinkelser	?	?	↘	?	↗ ↘
Lastning indlands skibe	?	?	?	→ ↘	→ ↘
Transporttid og omkostninger til havs	?	?	↗	↗	?
Mindre samfund					
Oversvømmede floder	→	→	→	↗ ↘	↗ ↘
Oversvømmede kyststrækninger	Ej relevant	→ ↘	→ ↘	→ ↘	→ ↘
Turisme					
Længden af skisæsonen	→	?	↘	↘	?
Helbred					
Hedebølge- dødsfald	→	↘	↘	↘	↘
Fødevare- sikkerhed	→	↘	↘	↘	↘

Figur 5.2: Figuren viser vurderede klimavirkninger for 2050 i fem europæiske regioner, hvis der ikke bliver foretaget klimatilpasning. Røde pile indikerer en forværring, grønne en bedring, mens sort angiver uændrede forhold. Retningen markerer øgning (op) eller aftagende (ned). Kilde: IPCC.

5.1 Temperatur og nedbør i Danmark

I Danmark stiger middeltemperaturen omtrent som den globale temperatur. Vinternedbøren forventes at stige i takt med opvarmningen.

5.1.1 Klimaet i dag

Det danske vejr er foranderligt, og variationerne fra landsdel til landsdel kan være betydelige. Det gælder både på den enkelte dag og fra den ene dag til den anden.

Danmark har forskellige klimatiske karaktertræk

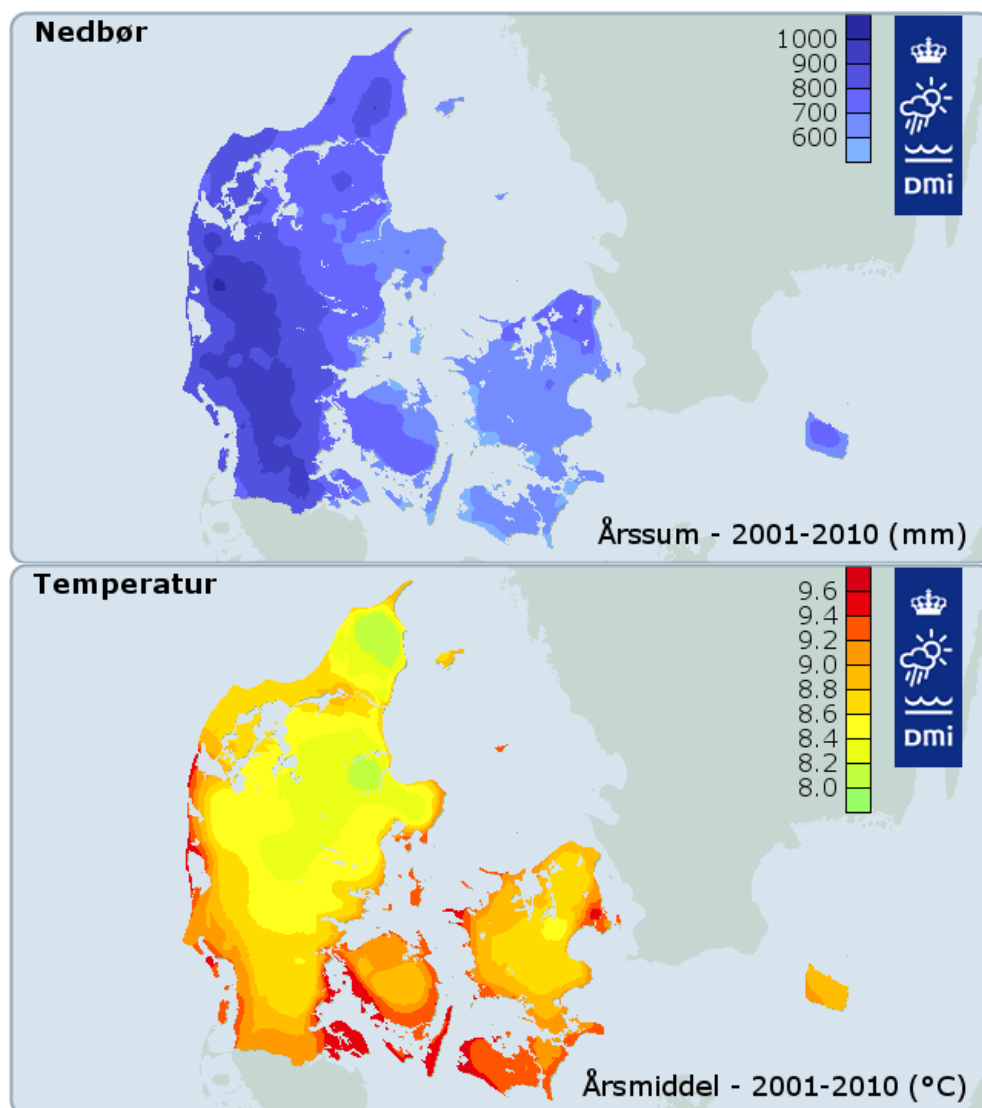
Det danske klima gælder i de fleste sammenhænge for hele landet. Men selv om Danmark har en relativ lille udstrækning, er der alligevel tydelige forskelle i de klimatiske karaktertræk. De regionale

forskelle fremgår tydeligst, når årsmiddelnedbøren bliver gjort op. Men temperaturerne udviser også en vis geografisk variation.

Figur 5.3 viser fordelingen af årsnedbøren og årsmiddeltemperaturen for perioden 2001-2010 over Danmark. Perioden 2001-2010 er valgt for at give et mere tidsaktuelt billede af det danske klima end den sidste såkaldte klimanormal. Denne blev defineret af World Meteorological Organization som perioden 1961-1990, men den ligger reelt uden for de fleste menneskers konkrete erindring af forholdene.

Stor forskel på det vådeste og tørreste danske område

Perioden 2001-2010 adskiller sig fra klimanormal-perioden, men det har ikke væsentlig betydning for indholdet af dette afsnit. De vådeste områder modtog over 1000 mm med et maximum på 1021 mm ved Grønbjerg mellem Skjern og Holstebro. Til sammenligning fik områder omkring Storebælt under 600 mm, hvor 518 mm ved Frederiksdal lidt nord for Nakskov er minimum. Det vådeste sted modtager altså næsten dobbelt så stor mængde nedbør som det tørreste. Temperaturfordelingen viser ikke de samme variationer. Men de viser dog alligevel, at det er varmest mod syd og koldest i det indre af landet.



Figur 5.3: Figuren viser årsnedbør (øverst) og årsmiddeltemperatur for Danmark i perioden 2001-2010, som illustrerer de nuværende klimatiske forhold. Kilde: DMI.

Variationerne over tid for hele landet er derfor ikke altid udtryk for et helt og aldeles dækkende billede af lokale forhold. Men variationer i temperaturen over tid regnes for at være mere robuste, end tilfældet er for nedbøren.

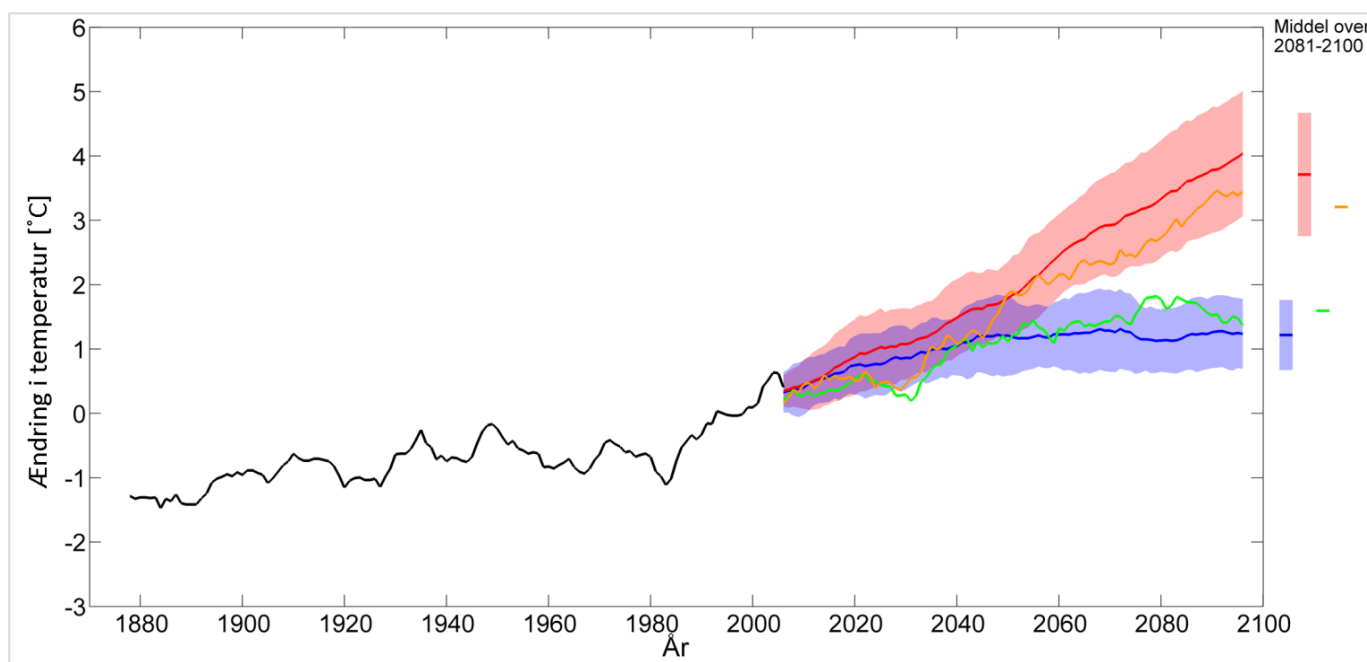
5.1.2 Fremtidens klima

Fremtidige ændringer i temperatur og nedbør over Danmark bliver beregnet med avancerede klimamodeller. IPCC's 5. hovedrapport beskæftiger sig med regionale ændringer i langt højere grad end tidligere rapporter. Men Danmark er dog stadig repræsenteret ved en større region i Europa (Atlantehavsregionen), som går fra det Nordvestlige Spanien via Vestfrankrig, de Britiske Øer, Benelux-landene, det vestlige Tyskland til Danmark. For at give et præcist billede af forholdene i Danmark har DMI foretaget beregninger med regionale klimamodeller samt evalueringer af globale modeller med henblik på at karakterisere fremtidens klima i Danmark.

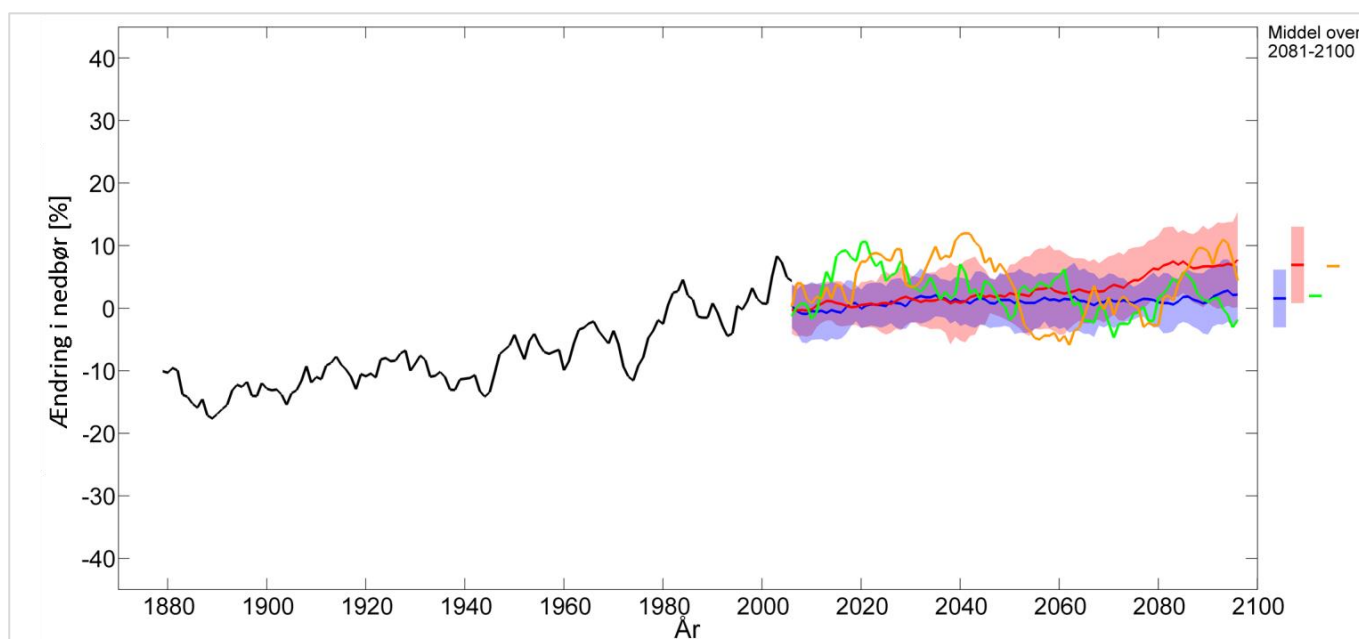
Bagvedliggende beregninger

De bagvedliggende udslips-scenarier for drivhusgasser har indtil for nylig været de såkaldte SRES-scenarier (se boks 3). Disse beregninger har været anvendt i mange hidtidige beregninger af klimaeffekter for Danmark. Anvendelse af de nye RCP-scenarier vil betyde en opdatering og nyudvikling af de hidtil anvendte regionale fremskrivninger for Danmark. Nogle af disse fremskrivninger stammer fra arbejdet i *Centre for Regional Changes in the Earth System (CRES)* og er anvendt i de følgende afsnit.

Figur 5.4 og 5.5 viser den tidlige udvikling i årsmiddeltemperatur og årsnedbør i forhold til perioden 1986-2005. Denne periode adskiller sig fra den almindeligvis anvendte klimanormalperiode (1961-1990). Den er anvendt i IPCC's 5. hovedrapport for at kunne angive de fremtidige ændringer i forhold til en periode, som er så aktuel som mulig. De sorte kurver viser de observationsbaserede landstal. De røde og blå kurver er baseret på de globale klimamodeller, som indgår i 5. hovedrapport med angivelse af beregnede usikkerheder i lys rød og lys blå for hhv. de nye scenarier RCP8.5 og RCP2.6.



Figur 5.4: Figuren viser ændring i årlig middeltemperatur i Danmark i forhold til perioden 1986-2005. Observationer fra 1874 til 2005 er angivet med sort kurve. Og modelsimuleringer for perioden 2005-2100 for RCP2.6-scenariet og RCP8.5-scenarierne er angivet med henholdsvis blå og rød kurve. De skraverede områder omkring kurverne angiver vurderede usikkerheder på temperaturstigningerne. For de samme scenarier er med hhv. grøn og orange angivet resultater baseret på CRES' detaljerede koblede klimamodel for Danmark. Der er anvendt et glidende 10-års-middel. Temperaturstigningerne yderst til højre angiver middeltemperaturen for de sidste 20 år af simuleringen. Kilde: Observationsdata: DMI; Modelsimuleringer: CMIP5 og CRES.



Figur 5.5: Figuren viser procentvis ændring i årlig nedbør i Danmark i forhold til perioden 1986-2005. Observationer fra 1874 til 2005 er angivet med sort kurve, og modelsimuleringer for perioden 2005-2100 for RCP2.6-scenariet og RCP8.5-scenariet er angivet med henholdsvis blå og rød kurve. De skraverede områder omkring angiver vurderede usikkerheder på nedbørsmængden. For de samme scenarier er med hhv. grøn og orange angivet resultater baseret på CRES' detaljerede koblede klimamodel for Danmark. Der er anvendt et glidende 10-års-middel. Nedbørsmængderne yderst til højre angiver middelnedbøren for de sidste 20 år af simuleringen. Kilde: Observationsdata: DMI; Modelsimuleringer: CMIP5 og CRES.

Det fremgår af figuren, at det kraftige RCP8.5-scenarie vil betyde, at årsmiddeltemperaturen i Danmark vil stige med $3,8^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Den årlige nedbør vil stige med $7\% \pm 6\%$. For RCP2.6 hvor den globale udvikling holdes under 2°C i forhold til før industrialiseringen, er tallene hhv. $1,3^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ og $2\% \pm 4\%$.

5.2 Ferskvandsressourcer

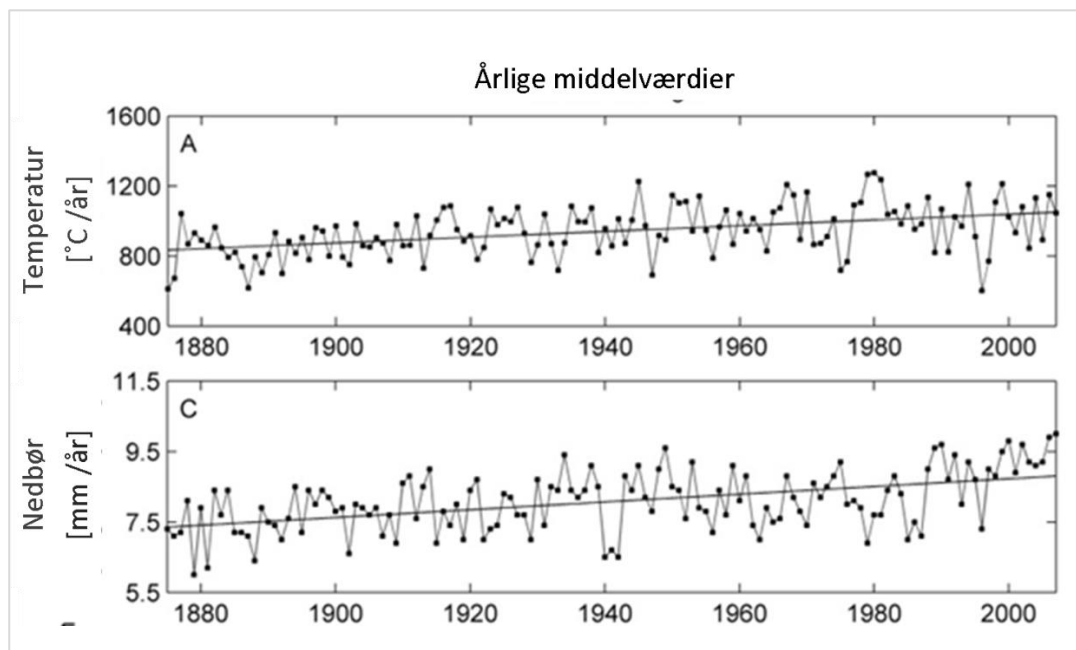
Danmark har oplevet en signifikant øgning af nedbør, temperatur og afstrømning gennem det forrige århundrede.

Danmark vil fremover få vådere vintre og mere tørre somre. Det er usikkert, om grundvandsdannelsen øges eller reduceres. Samtidig vil forekomsten af oversvømmelser og tørke blive mere ekstrem i det fremtidige varmere klima.

Der vil i fremtiden blive et markant øget behov for markvanding i store dele af landet samt i forøgede maksimumsafstrømninger i de danske vandløb.

Gennem de seneste år er der gennemført en række forskningsprojekter omkring klimaeffekter på vandressourcer i Danmark. Resultaterne herfra er væsentlig mere detaljerede og specifikke for danske forhold end de resultater, der fremgår af IPCC's 5. hovedrapport. Men der er god overensstemmelse med de danske resultater og de generelle tendenser, som 5. hovedrapport beskriver for Nordeuropa. Det gælder både med hensyn til observerede og projekterede klimaeffekter.

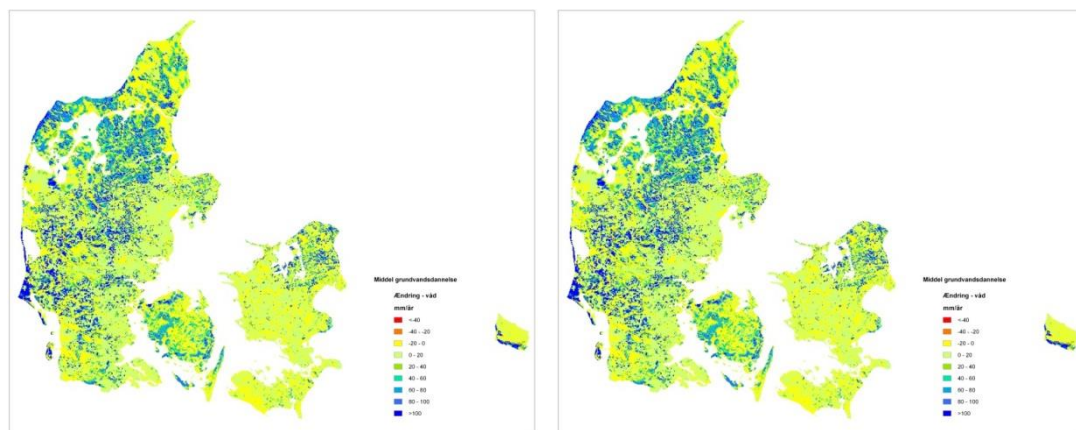
I Danmark er der konstateret en signifikant øgning af nedbør, temperatur og vandløbsafstrømning gennem det forrige århundrede. Denne tendens har været størst i Vestjylland, hvor eksempelvis nedbør og temperatur er steget henholdsvis 26 % og $1,3^{\circ}\text{C}$ i perioden 1875-2010 (figur 5.6).



Figur 5.6. Figuren viser udviklingen af den årlige nedbør og temperatur for Skjern Å-området ved Ahlgårde. Kilde: GEUS³.

Grundvand og vandindvinding

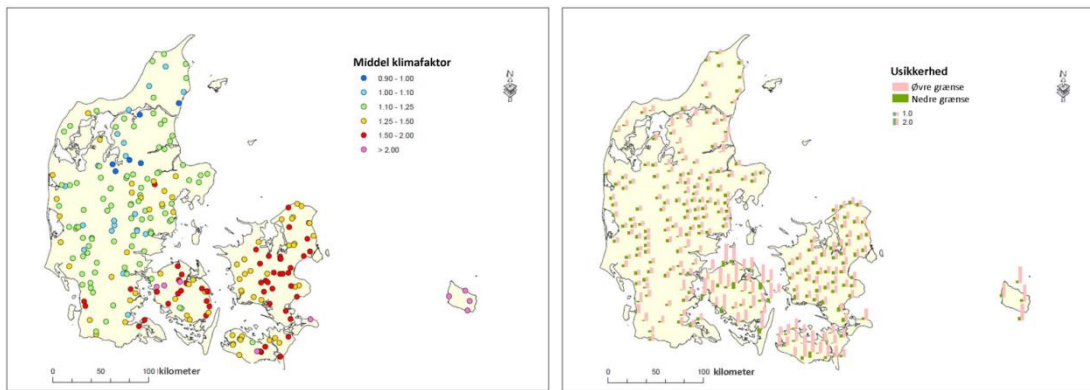
De danske vandløb er grundvandsdominerede, og næsten al vandindvinding i Danmark foregår fra grundvand. Klimaændringers indflydelse på grundvandsforhold er derfor af speciel betydning for danske forhold. Øget vinter nedbør og mere tørre somre vil påvirke grundvandsdannelsen i hver sin retning. Landsdækkende beregninger baseret på klimaprojektioner fra flere klimamodeller har vist, at det er usikkert, om grundvandsdannelsen bliver øget eller reduceret i det fremtidige klima (figur 5.7). Det illustrerer, at klimatilpasningsløsninger skal være robuste over for usikkerheder.



Figur 5.7. Figuren viser usikkerheden på grundvandsdannelsen i et fremtidigt klima. Figuren viser ændringer i middel grundvandsdannelse 2021-2050 i forhold til 1961-1990 baseret på projektioner med "våd" klimamodel (til venstre) og "tør" klimamodel (til højre). Kilde: GEUS⁴

Mere ekstreme vandløbsafstrømninger

Beregninger for Danmark viser, at ekstreme vandløbsafstrømninger generelt bliver mere ekstreme. Det er illustreret i figur 5.8 i form af klimafaktorer for en såkaldt 100 års-hændelse, som er den maksimale vandføring, der i gennemsnit overskrides én gang for hvert 100 år. Figuren til venstre illustrerer, at der er store regionale forskelle på, hvordan klimaændringer påvirker ekstreme vandføringer forskellige steder i landet. Figuren til højre viser, at der er betydelige usikkerheder på vurderingen af klimafaktoren.



Figur 5.8. Figuren viser klimafaktorer for klima-betinget ændring i 100-års maksimumafstrømning vurderet for perioden 2021-2050 i forhold til perioden 1961-1990 (til venstre) og beregnede usikkerhedsbånd (til højre). Klimafaktoren angiver, hvor meget større/mindre maksimumafstrømningen bliver i det fremtidige klima sammenlignet med 1961-1990. Kilde: GEUS⁵.

Vand på terræn (oversvømmelse) kan forekomme, fordi:

- der falder kraftigere nedbør, end jorden kan nå at opsuge
- grundvandsspejlet stiger op til terræn
- vandspejlet i et vandløb/rør stiger til kanten, og vandet løber ud på terrænet.

På grund af den grundvandsdominerede hydrologi i Danmark vil oversvømmelser på lokal skala i Danmark ofte være grundvandsbetingede⁶. Danske analyser har vist, at behovet for markvanding i Vest- og Syddanmark vil blive øget med 50 - 100 % ved slutningen af det 21. århundrede som følge af klimaændringer^{7,8}.

5.3 Landbaserede økosystemer

Danske skove, søer og vandløb påvirkes overvejende negativt som følge af stigende temperaturer. Klimatilpasning er nødvendig, og det er en udfordring i forhold til vandkvalitet og opfyldelse af kravene i EU's vandrammedirektiv.

Det danske landskab er intensivt udnyttet, og størstedelen af arealet anvendes til intensivt landbrug. Det påvirker i sig selv de resterende terrestriske og akvatiske økosystemer og sætter den biologiske mangfoldighed under pres^{9,10,11}. Øget opvarmning forstærker effekten.

Økosystemerne bliver mindre stabile

Konsekvenserne af klimaændringerne for natur på land afhænger af naturtypen fx heder, enge eller klitområder samt levestedet for specifikke dyr og planter. Det skyldes, at de enkelte naturtyper og arters vækst og overlevelse bliver påvirket forskelligt af de forskellige klimafaktorer (temperatur, nedbør, vind osv.).

I takt med ændringerne i naturen bliver økosystemerne stadig mindre stabile. Det gør dem mere sårbare over for påvirkninger. Den øgede sårbarhed er en udfordring i forhold til at opfylde fastlagte målsætninger for naturkvalitet i Danmark^{8,9,10}.

Større produktion af biomasse i dansk natur

Stigende temperaturer giver en længere vækstsæson. Samtidig giver et forhøjet CO₂-indhold i atmosfæren mere gunstige vækstforhold. Tilsammen giver det en større produktion af biomasse i den danske natur herunder i skoven. Træer har generelt en høj tilpasningsevne i forhold til klimaændringerne. Særligt for nåletræerne kan det få negative konsekvenser, når der sker ændringer i temperaturer, nedbørsfordeling samt stormrisiko. Rødgran som dækker ca. 17 % af skovarealet i Danmark, er truet af temperaturstigningerne, da arten ikke klarer sig godt med milde vintre og sommertørke. Ikke-hjemmehørende nåletræerarter som fx sitkagran vil dog klare sig bedre

med temperaturstigningen. De milde vintre kan for skovene forårsage en ubalance mellem produktion og respiration, ligesom det formentlig skete med de milde vintre i starten af 1990'erne. Det resulterede blandt andet i de "røde rødgraner". Løvskov vil til gengæld opnå bedre betingelser med stigende temperaturer. Hvis man vil ruste skovens evne til at modstå klimaforandringerne, må man sikre, at skovene kan regenerere sig. Det er vigtigt med flere forskellige træarter, der egner sig til lokaliteten. Den naturnære skovdrift er et middel til dette.

Øget udvaskning af næringsstoffer

Øget vinternedbør vil føre til øget udvaskning af næringsstoffer. Det kan øge jordens surhed og dermed sænke pH. Dette vil generelt hos alle naturtyper mindske produktionen, hvilket i første omgang kan øge konkurrenceevnen hos mindre urter og jordskorpeplanter. På sigt vil den øgede surhed dog indskrænke mangfoldigheden og dermed udjævne de geomorfologiske forudsætninger for de forskellige naturtyper. For moser og enge med vandmættet jordbund samt for kilder og vandløbsnære naturtyper vil en øget udvaskning af næringsstoffer medføre en øget produktivitet i vegetationen og tendere i retning mod staudesamfund. På længere sigt vil disse naturtypers produktivitet mindskes på grund af tab af andre næringsstoffer.

Erosion og tilbagerykning af kyster

Højere havniveau og kraftigere storme kan medføre erosion og tilbagerykning af kysterne. Det vil reducere og på anden vis påvirke de kystnære naturområder. Lavtliggende områder som ådale og enge og deres mangfoldighed kan også komme under pres fra flere og mere omfattende oversvømmelser i kombination med manglende spredningsmuligheder og manglende tid til at tilpasse sig.

Temperaturstigning kan true koldvandsarter blandt fisk

Temperaturen i søer og vandløb er øget i de seneste årtier, og vandets temperatur vil fortsætte med stige med den øgede globale opvarmning. Højere temperatur forringer levevilkårene for koldvandsarter blandt fiskene som fx laksefisk. Mindre vandføring om sommeren og højere temperaturer har også denne effekt, fordi iltindholdet falder som følge af den højere temperatur og et større iltforbrug. Forsøg på danske vandløb har vist, at skygge fra træer til dels kan modvirke opvarmningen og forbedre iltforholdene.

Større belastning med næringsstoffer

Øget afstrømning på årsbasis i vandløbene betyder øget samlet næringsstofbelastning af søer. Det er beregnet, at alene den stigning der har været i afstrømningen på ca. 100 mm i de sidste 150 år, svarer til en stigning i næringsstofftilførslen til søerne på 30-40 %. Modelberegninger peger på en stigning i afstrømningen på 9-34 % for A2-scenariet (se Boks 3 figur) fra kontrolperioden (1961-1990) til scenarieperiode (2071-2100). Den største stigning er set i Storebæltsområdet og det sydlige Bælthav og den laveste stigning i Kattegatområdet.

Ændring i fiskebestand og større risiko for dominans af blågrønalger

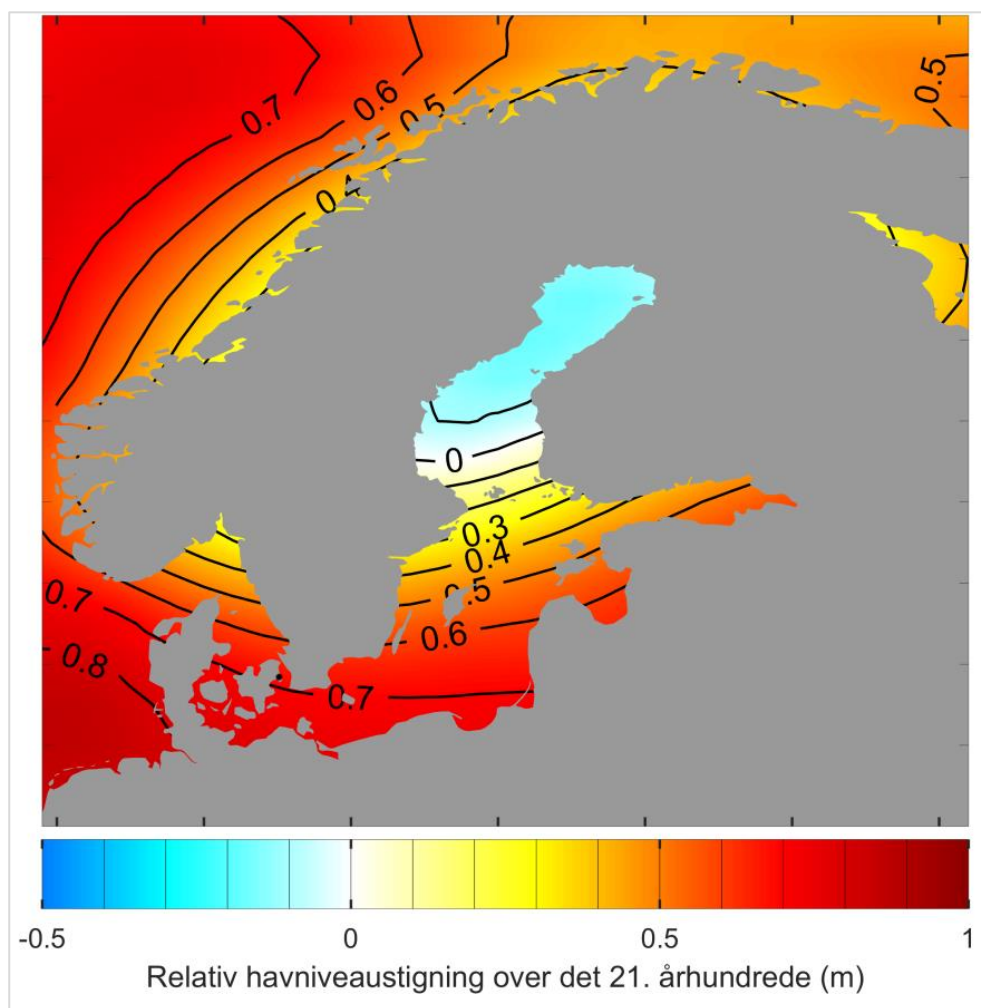
Øget temperatur fører til ændringer i fiskebestanden i søer. Resultatet er færre rovfisk og flere og mindre byttfisk. Det betyder større fortæring af dyreplankton og dermed mindre græsning på planteplanktonet. Det medfører en øget algemængde og mere uklart vand. Risikoen for dominans af blågrønalger stiger desuden pga. den højere temperatur, mindre græsning fra dyreplankton, øget næringsstofftilførsel og øget intern frigivelse af fosfor fra søbunden. Perioden med blågrønalger bliver længere. Det betyder også hyppigere og længerevarende badeforbud for en række søer. Øget uklarhed mindsker desuden mulighederne for vækst af undervandsplanter, som ellers bidrager til klart vand.

5.4 Kystnære områder

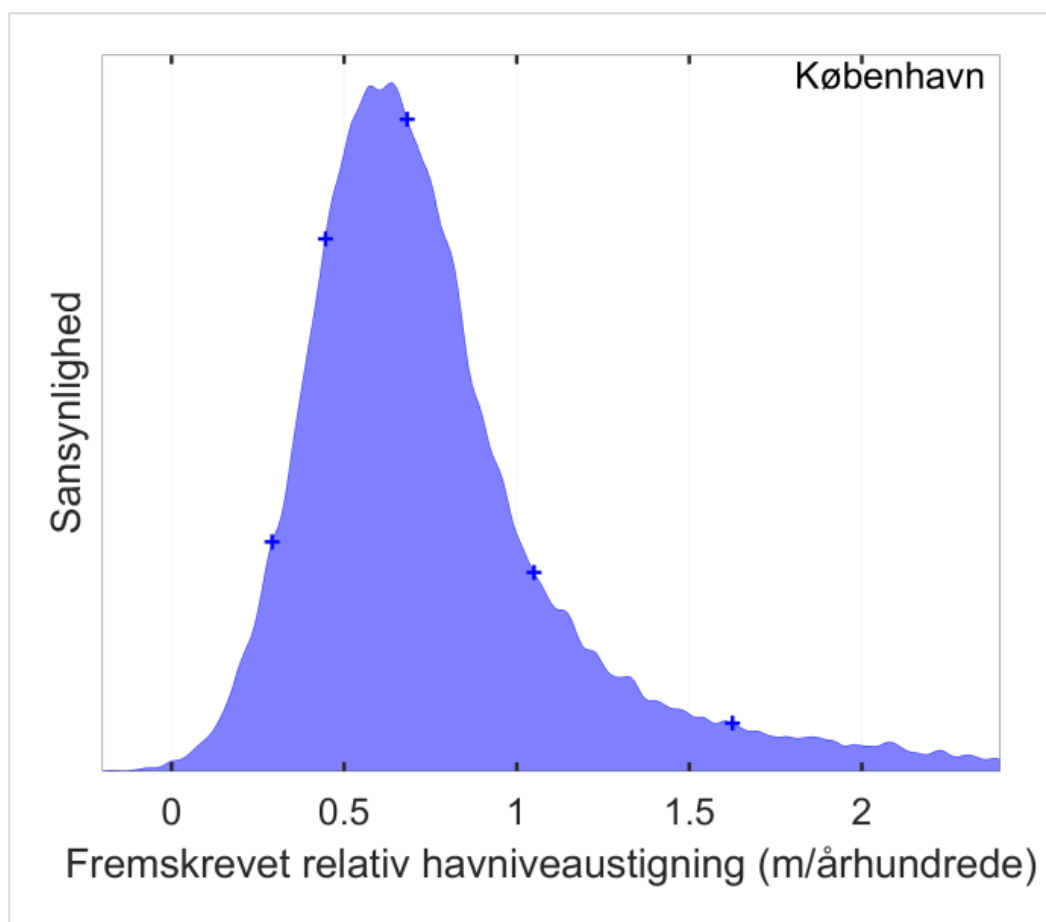
Danmark kan opleve havniveaustigninger på omkring 70 cm over det 21. århundrede. Usikkerheden på bidragene fra Grønland og Antarktis gør, at den øvre grænse også er meget usikker og kan være endnu større.

Danmark er et af de fem lande i EU, der står til de højeste skadesomkostninger ved havniveaustigninger relativt til bruttonationalproduktet. Danmark vil også være blandt de dyreste lande at beskytte på grund af vores lange kystlinje.

Havet vil ikke stige jævnt over hele kloden. For Danmark gælder det fx, at der er en landhævning i Nordøstdanmark, som falder mod sydvest. For København betyder det, at landhævnungen kompenserer for en del af havniveaustigningen med omkring 1 mm/år. Afsmeltningen af is fra polerne har også en indflydelse på hele jordens tyngdefelt og dermed også på havniveauet. Dette gør, at vi vil se relativt mindre til afsmeltning fra Grønlands indlandsis end resten af kloden som helhed. På den anden side vil vi mærke ekstra meget til afsmeltningen fra Antarktis. Disse lokale forhold er taget i betragtning i figur 5.9. Den største usikkerhed i fremskrivningerne af havniveau hænger sammen med risikoen for et muligt kollaps (hurtig nedbrydning) af store isdækkede områder langs Antarktis' rand, og denne risiko er særlig vigtig for Danmark pga. af den såkaldte tyngdefeltseffekt. Figur 5.10 viser intervallet for fremskrivningen af havniveaustigningen for København og indeholder en vurdering af de usikkerheder, der er forbundet med forholdene omkring Antarktis.



Figur 5.9: Figuren viser en fremskrivning af, hvordan havniveauet vil stige over det 21. århundrede relativt til land. Fremskrivningen er baseret på den globale fremskrivning fra 5. hovedrapport under et scenarie med stor udledning af drivhusgasser. Kilde: CRES.



Figur 5.10: Figuren illustrerer den sandsynlige havniveaustigning for København. Det fremgår, at sandsynligheden vurderes størst omkring de 0,7 m, men værdier på 2 m eller højere kan ikke udelukkes, ligesom mindre stigninger heller ikke kan udelukkes. Denne figur er baseret på RCP'erne (se boks 3) kombineret med usikkerheden i forholdene omkring de store iskapper¹². Kilde: CRES.

Pres på økosystemerne i Østersøen

Østersøen vil forures i takt med, at temperaturen stiger. Østersøen vil også blive mindre salt pga. øget nedbør over land og øget afstrømning fra floder. Klimaændringerne vil dermed lægge yderligere pres på økosystemer i Østersøen, som allerede er under stress på grund af udledningen af næringsstoffer.

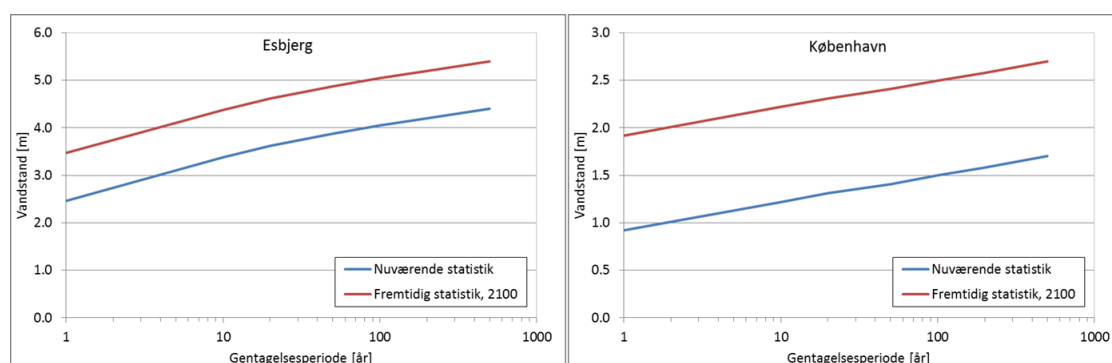
Stormfloder kan blive voldsommere

Havniveaustigningerne vil forøge kysterosionen langs danske kyster. Selvom der ikke er en entydig tendens i fremskrivninger af de vejr-fænomener, der forårsager stormfloder, så vil havniveaustigningen forværre konsekvenserne af stormfloder. Der er stor forskel på den naturlige variabilitet i havniveauet på vestkysten og i de indre danske farvande på grund den store forskel i det areal, som vinden har at gribe i. Det bevirker, at det bliver den største udfordring at beskytte Jyllands vestkyst. Kystdirektoratet har lavet fremskrivninger af kysterosion for de havniveaufremskrivninger, der fremgår af 4. hovedrapport. Havniveaufremskrivningerne er dog betydeligt højere i 5. hovedrapport.

Øget risiko for oversvømmelser fra havet

I dag er risikoen for oversvømmelser fra havet forholdsvis lille. Men den vil stige i fremtiden i takt med stigende havniveau. Desuden vil ændringer i stormintensitet og -mønstre have en effekt på frekvensen og intensiteten af stormfloder i de danske farvande. Klimamodelresultater viser en uændret eller endog en lidt mindre ekstrem stormflodsvandstand (dvs. uden stigning i havniveauet) i de indre danske farvande.

På Jyllands vestkyst vil der derimod ske en stigning i stormflodsvandstanden. Højvandsstatistikken vil dog blive ændret betragteligt alene på grund af den generelle stigning i havniveauet. Det vil bevirke en voldsom forøgelse af risikoen for oversvømmelser af kystnære byområder i fremtidens klima. Effekten vil dog være forskellig i de indre danske farvande og på den jyske vestkyst. Dette er illustreret i figur 5.11, der viser nuværende og fremtidig højvandsstatistik i år 2100 med en havniveaustigning på 1 meter i Esbjerg og København. I Esbjerg vil en nuværende 100-års vandstand på 4,05 m i et fremtidigt klima i 2100 have en gentagelsesperiode på omkring 5 år og en nuværende 500-års vandstand på 4,4 m en gentagelsesperiode på omkring 10 år. Dette giver en betragtelig stigning i risikoen for oversvømmelse. I København vil effekten dog være langt større. Her vil en nuværende 500-års hændelse på 1,7 m overskrides flere gange om året i et fremtidigt klima med 1 m havniveaustigning.



Figur 5.11 Figuren viser højvandsstatistik for nuværende og fremtidigt klima i 2100 med en havniveaustigning på 1 meter i Esbjerg (venstre) og København (højre). Nuværende højvandsstatistik er fra Kystdirektoratet. Kilde: Forfatterne til denne rapport.

Høje fremtidige skadeomkostninger i Danmark

Beregninger viser, at Danmark er et af de fem lande i EU, der står til de højeste skadeomkostninger ved havniveaustigninger relativt til bruttonationalproduktet¹. Og Danmark vil også være blandt de dyreste lande at beskytte på grund af vores lange kystlinje. Danmark er i denne sammenhæng desuden blandt de lande i EU, der kan vinde mest ved afbødning af klimaforandringerne gennem målrettede reduktioner i udslip af drivhusgasser.

5.5 Fødevarer-forsyningssikkerhed og fødevarerproduktion

Klimaforandringerne giver bedre vilkår for landbrug, skovbrug og fiskeri i de nordiske lande men også nye udfordringer for den offentlige regulering af fødevarerproduktionen. Det vil dels være i forhold til, hvordan ressourcer fordeles mellem lande, regioner og aktører, og dels hvordan landbrug og fiskeri påvirker andre naturressourcer, miljø og klima.

Danmark er et intensivt dyrket landbrugsland med en af verdens højeste andele af landareal til landbrug. Dansk landbrug producerer desuden primært til eksport og er derfor meget afhængig af muligheder for afsætning af især animalske produkter på det globale marked. Kombineret med en sårbar natur og et sårbart vandmiljø har det ført til en omfattende regulering af landbrugets anvendelse af gødskning og pesticider for at beskytte natur, grundvand, vandløb, søer og havmiljøet. Effekter af klimaændringer går derfor ikke kun gennem direkte effekter på afgrødernes udbytter men også på effekter af produktionen på miljøet især i forhold til forurening af

grundvand og overfladevand. Samtidig spiller ændringer i muligheder for produktion og eksport af højværdiprodukter inden for landbrug og fiskeri en stor rolle for aktiviteterne i disse sektorer. Hvis betingelserne for en sådan produktion forringes eller bliver mere usikre i lande under sydligere himmelstrøg, kan det styrke fødevarsektoren i Danmark.

Varmere vintre vil udfordre nuværende landbrugsproduktion

Den nordiske region inklusive Danmark er det eneste sted på jorden, hvor de klimatiske forhold tillader produktivt landbrug og fiskeri på høje breddegrader med mørke vintre. Denne unikke geografiske placering gør det vanskeligt at overføre viden fra andre dele af verden til de særegne miljømæssige betingelser i Norden, hvor både planter og dyr er tilpasset til at overleve lange, mørke og kolde vintre. I store dele af regionen vil klimaændringerne betyde varmere vintre med mere variable betingelser i form af regn, sne og isdække. Dette vil udgøre en udfordring for de nuværende produktionssystemer og kræver nye løsninger i form af driftsledelse og genotyper for både afgrøder og husdyr.

Opvarmningen vil føre til nye og ukendte forhold for planter og dyr om vinteren. Virkningerne af sådanne ændringer er vanskelige at forudsige, og der er kun lidt forskning at basere vurderinger af potentielle virkninger på økosystemernes funktion, og hvordan dette vil påvirke produktiviteten inden for landbrug og fiskeri.

5.5.1 Klimaændringers effekter på produktionen

Mens klimaforandringerne generelt vil give bedre vilkår for landbrug, skovbrug og fiskeri i de nordiske lande, vil de også give anledning til nye risici, der er forbundet med stress på planter og dyr fra både levende organismer og fysiske forandringer. Ud over varmere gennemsnitsforhold vil klimaændringerne føre til flere årlige udsving og flere ekstreme vejrforhold såsom hedebløge, tørke, storme og intens og vedvarende nedbør. Det vil betyde nye og ændrede trusler mod produktionssystemerne. Sådanne ændringer vil resultere i en samlet stigning i variabilitet, nedsat produktivitet og øget usikkerhed for producenterne. I landbruget vil det ikke kun påvirke afgrøder men også animalsk produktion. Der kan fx opstå øget variation i adgang til foder, og dyrene kan blive ramt af varmetress. For at tilpasse sig disse betingelser må man fokusere på at reducere sårbarheden mod klimavariationer. Det kan være i form af større variation i artsvalg (sædskifte), forbedret dræning af landbrugsjord og tilpasning af husdyrracer, afgrøder og sorter.

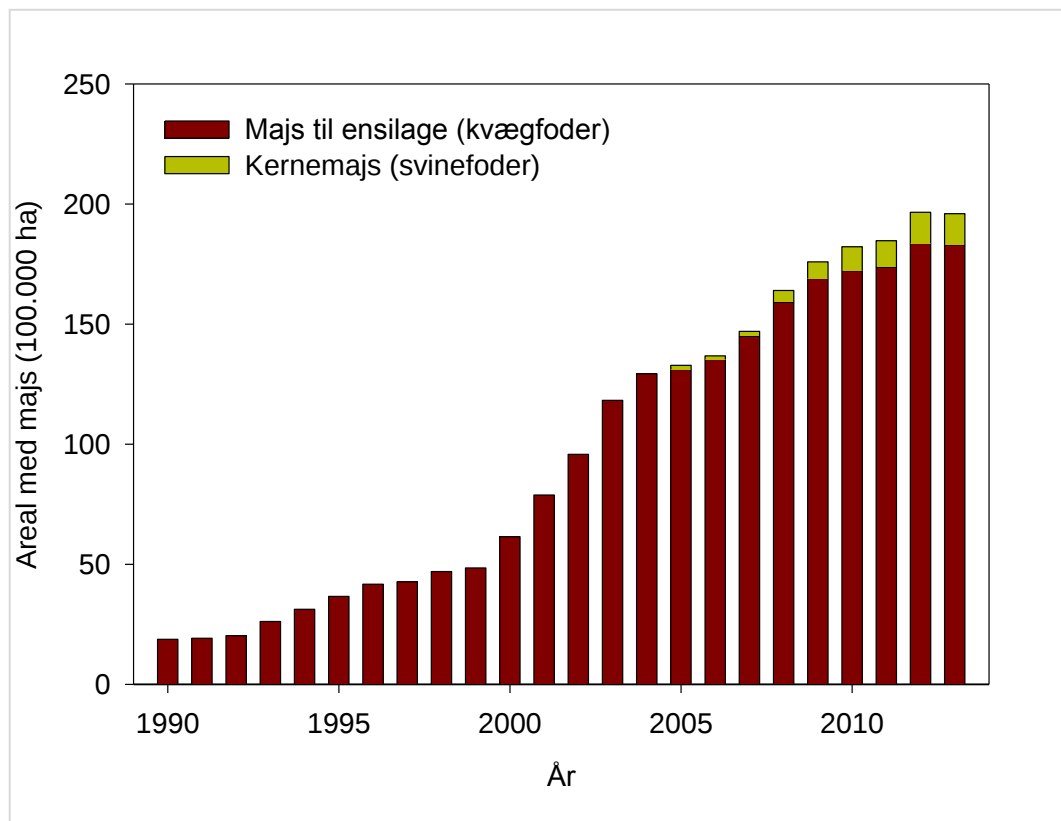
Øget behov for plantebeskyttelse

Opvarmningen vil ikke kun påvirke de planter og dyr, som fødevarerproduktionen er afhængig af men også spredning af skadedyr og sygdomme, der trives på disse. Det vil igen påvirke planteproduktionen, og det vil formentlig øge behovet for plantebeskyttelse herunder behovet for anvendelse af sprøjtemidler. Og det øger også presset på alternative tilgange for at undgå øget brug af sprøjtemidler. Desuden må husdyrproduktion forholde sig til nye og ændrede vektor- og fødevarebårne sygdomme, der er tilpasset til de ændrede klimatiske forhold. Nogle af disse sygdomme kan også overføres mellem mennesker og dyr, hvilket øger behovet for en tæt overvågning af nye husdyrsygdomme.

5.5.2 Nye muligheder inden for landbrug og fiskeri

Den længere og varmere vækstsæson åbner for dyrkning af nye afgrøder og opdræt af nye fiskearter. Væksten i frugt og bær vil blive påvirket af klimaændringer og vil give nye og mere produktive systemer. Et eksempel er den aktuelle udvidelse af vindyrkningen i Danmark. I Norden vil der i de nordlige egne være en stigning i markafgrøder i almindelighed, mens der i Danmark især vil være ændringer i form af dyrkning af varmekrævende afgrøder som fx majs. Det danske areal med fodermajs er steget fra ca. 11.000 ha i 1980 til ca. 200.000 ha i 2013 (figur 5.12). Hovedparten bliver stadig anvendt som foder til malkekøer. Majs har i perioden langsomt erstattet foderroer og kornafgrøder som det vigtigste kvægfoder om vinteren og er endvidere et vigtigt tilskudsfoder om

sommeren. Majs til modenhed (kernemajs) der anvendes til svinefoder, kræver mere varme end majs til kvægfoder (ensilage). Det kræver nemlig, at kolber og kerner modner af, så kernerne kan høstes separat. For 30 år siden lå dyrkningsgrænsen for kernemajs i Nordtyskland omkring Hamborg. Men den stigende opvarmning har ført dyrkningsgrænsen nordpå, således at den nu ligger omkring den dansk-tyske grænse. Fodermajs til ensilage kræver mindre varme end kernemajs, og opvarmningen over de seneste årtier har derfor rykket dyrkningsgrænsen nordpå, så den nu dækker hele landet. Udviklingen viser også, at landbruget hurtigt tilpasser sig nye dyrkningsbetingelser og nye muligheder for ændringer i afgrødevalget.



Figur 5.12. Figuren viser udviklingen i det danske areal med majs til ensilage (kvægfoder) og kernemajs (svinefoder). Kilde: forfatterne til denne rapport.

Ny og bæredygtig proteinproduktion

I græsmarkerne vil længere vækstsæson give mulighed for flere græsslæt og højere produktion især i områder, der ikke er så berørt af sommertørke. Dette kan give bedre muligheder for dansk produktion af proteinrige afgrøder ved dyrkning af højproduktive kløvergræs med lidt gødning og sprøjtemidler. Sådanne græsmarker kan ud over foder til kvæg også være en ny kilde til bæredygtig produktion af protein til svin og fjerkræ samt for opdrættede fisk. Herved kan lokal proteinproduktion erstatte en stor del af den nuværende import af soja til husdyrfoder. Dette kræver dog udvikling og implementering af nye teknologier til bioraffinering, hvor biomasse omdannes til flere forskellige formål som fx brændsel og kemikalier, sådan som fx råolie også bliver omdannet til flere produkter på olieraffinaderier.

Behov for nye modstandsdygtige plantesorter

Planteavl vil stå over for nye udfordringer. Det hænger sammen med ændringer i temperatur og nedbør og variationen fra år til år i kombination med øget atmosfærisk CO₂-koncentration. Planteavlere bliver nødt til at levere sorter, der er mere modstandsdygtige over for ekstreme vejrforhold og over for nye sygdomme. Planteforædling er en langsigtet aktivitet, og at fremføre sådanne sorter vil kræve tidlig planlægning i forhold til nye vilkår. Med de særlige klimatiske

forhold i de nordiske lande skal planteforædlingen formentlig i en vis udstrækning foregå lokalt eller tilpasses forholdene.

Regulering af fødevareproduktionen

Klimaændringer vil udfordre den nuværende offentlige regulering af fødevareproduktionen på flere måder. En udfordring vil være i forhold til, hvordan ressourcerne fordeles mellem lande, regioner og aktører både på EU-niveau og i Danmark. En anden udfordring vil være, hvordan landbrug og fiskeri påvirker andre naturressourcer, miljø og klima.

Fiskeriet og klimaforandringerne

Ændringer i havtemperaturer påvirker fiskebestandenes produktivitet og geografiske fordeling, som kan have betydelige økonomiske konsekvenser. Vandringer af fiskebestande kan også lægge pres på de eksisterende aftaler om udnyttelse af fiskebestandene og gøre det nødvendigt med helt nye aftaler. Den endelige skæbne for mange fiskearter selv under klimaforandringerne vil afhænge af fiskeriet og dermed af, hvordan dette fiskeri styres, og det kræver nye fleksible og adaptive forvaltninger af fiskebestandene.

5.5.3 Samspil til miljøreguleringen og arealanvendelse

Ændringer i klimatisk egnethed kan føre til store ændringer i arealanvendelse, som ikke kun vil påvirke landbrugsproduktionen men også kvaliteten af naturen, miljøet, grundvandet og ferskvandssystemerne. Det vil udfordre den nuværende planlægning af arealanvendelse, og det vil kræve et strategisk og langsigtet perspektiv på arealanvendelsespolitik under klimaforandringerne.

Større risiko for udvaskning af kvælstof og fosfor til vandmiljøet

I planteavlen vil varmere temperaturer øge omsætningen af organisk materiale i jorden. Kombineret med øget og mere intens nedbør vil det øge risikoen for kvælstof- og fosfortab til vandmiljøet og dermed true kvaliteten af både søer og marine områder. Det gælder både for rekreative anvendelser og fiskeproduktion. En tilpasning af den nuværende regulering af landbruget kan derfor være nødvendig for at håndtere de miljømæssige konsekvenser af landbrugsproduktionen. Ligeledes kan et øget behov for at anvende sprøjtemidler i landbrugsproduktionen være problematisk i forhold til de nuværende politiske målsætninger.

Dræning af landbrugsjord – og vandindvinding

Dyrkning af landbrugsafgrøder kræver passende og veldrænet jord. Den forventede stigning i vinternedbør vil lægge yderligere belastninger på de nuværende drænsystemer. Dette spørgsmål vil blive stadig vigtigere i områder, hvor landbrugsproduktionen kan udvides på grund af øget egnethed. Øget dræning af landbrugsjord kan ikke gennemføres uden at sikre, at vand effektivt kan transporteres i vandløbene. Afvejning af behovet for dræning af landbrugsarealer med behovet for at beskytte dele af landskabet fra oversvømmelser kan give anledning til nye og flere konflikter mellem landskabets aktører, og det vil kræve ny planlægning på landskabs- og oplandsniveau. Tilsvarende overvejelser skal tages i betragtning i forhold øget risiko for sommertørke og behovet for kunstvanding af afgrøderne, hvor en øget vandindvinding vil kunne true vandføringen i vandløbene og dermed kvaliteten i vandmiljøet.

5.6 Urbane områder og infrastruktur

Ekstrem nedbør vil blive hyppigere og mere intens i det fremtidige varmere klima med øget risiko for oversvømmelser i byer til følge. Kombinationen af ekstrem nedbør med højere havniveau fører til øgede oversvømmelsesrisici i havnebyer og kystområder.

I relation til byområder og infrastruktur i Danmark er den største konsekvens af klimaændringer en forøget risiko for oversvømmelser. Flere og mere intense nedbørshændelser vil give en forøget risiko for oversvømmelser, hvor kapaciteten af afløbssystemerne bliver overskredet. Desuden vil der i et fremtidigt klima med højere havniveau og ændringer i stormfloder være en høj risiko for oversvømmelser fra havet i kystnære områder. Ændringer i nedbørsmønstre med mere nedbør om vinteren og mindre om sommeren og flere og kraftigere ekstremnedbør vil give større fluktuationer i grundvandsstanden. Og det vil give øget risiko for sætninger og underminering af bygninger og vej- og baneanlæg. Endelig vil højere temperaturer og flere og mere intense hedebløge give en forøget sundhedsrisiko og forøget risiko for mikrobiel og kemisk forurening i vanddistributionssystemer såsom drikkevandsforsyningen. Udredninger har indtil videre fokuseret på risikoen for oversvømmelser, hvorfor det ikke er muligt at give konkrete anbefalinger af hvilke tiltag, der eventuelt måtte være nødvendige og ønskelige for andre klimarelaterede ændringer som fx vind og temperatur. En oversigt over de væsentligste klimaændringer, konsekvenser og nuværende og fremtidigt risikoniveau er vist i tabel 5.1. I tabellen er desuden givet eksempler på klimatilpasning og tilhørende omkostningsniveau med en vurdering af potentiale for reduktion af risikoen.

Effekt af klimaændringer	Konsekvens	Risikoniveau ¹	Eksempler på klimatilpasning og tilhørende omkostningsniveau ¹	Reduktion af risiko
Flere og mere intense ekstreme nedbørshændelser	Forøget risiko for oversvømmelse (overskridelse af kapacitet af afløbssystem) Forøget antal overløb	Nuværende: lav-Middel Fremtidig: høj	Forøgelse af hydraulisk kapacitet (høj) Forbedret drift (lav) LAR (middel) Varslingssystemer (lav)	Høj -> lav Høj -> middelhøj Høj -> middel Høj -> middelhøj
Stigning i middelhavniveau og stormfloder	Forøget risiko for oversvømmelse i kystnære områder (overskyl af diger, digebrud, afvanding)	Nuværende: lav Fremtidig: høj	Bygning af nye diger og forbedring af eksisterende (høj) Varslingssystemer (lav)	Høj -> lav Høj -> middelhøj
Ændringer i nedbørsmønstre	Øget risiko for sætninger og underminering af bygninger og vej/baneanlæg	Nuværende: lav Fremtidig: middel	Ændring i design af bygninger og vej/baneanlæg (middel) Anlæg af drænsystemer (middel)	Middel -> lav Middel -> lav
Højere temperaturer og flere og mere intense hedebløge	Forøget sundhedsrisiko Forøget risiko for mikrobiel og kemisk forurening i vanddistributionssystemer som drikkevandsforsyning	Nuværende: lav Fremtidig: middel	Brug af køling i vanddistribution (lav)	Middel -> lav

Tabel 5.1. Oversigt over de mest betydende effekter og konsekvenser af klimaændringer for byområder og infrastruktur med vurdering af risikoniveau samt eksempler på klimatilpasningstiltag og deres potentiale for reduktion af risikoen. Risikoniveau og omkostningsniveau for klimatilpasning er vurderet kvalitativt ved graduering lav, middel og høj. Kilde: CRES.

¹ Lav, Middel, Høj

Ekstremregn og stormfloder

Med hensyn til ændringer i ekstremregn viser alle analyser en stigning i både antallet og intensiteten. Men der er meget stor usikkerhed, som skyldes forskelle i resultater fra forskellige klimamodeller, forskellige scenarier og forskellige analysemetoder. For de mest ekstreme scenarier (RCP8.5 og 6° C global temperaturstigning) er der en meget stor stigning i intensiteten på op til henholdsvis 130% og 170% for en 100-års nedbørshændelse. I mere moderate scenarier er der tale om ændringer i størrelsesorden 20-40%. I det nuværende klima kan risikoen fra oversvømmelser i byområder fra ekstremregn og fra havet betragtes hver for sig. Ekstremregn og stormfloder optræder på hver sin årstid - ekstremregn om sommeren og efteråret og stormfloder om vinteren - og der er derfor en meget lille risiko for, at de vil optræde på samme tid. Dette forhold vil ændre sig i fremtidens klima, hvor kombinationen af ekstrem nedbør og højere havniveau vil føre til øgede oversvømmelsesrisici i kystområder.

En moderat og en ekstrem fremtidsberegning

Når man beregner konsekvensen af klimaændringer og effekter af klimatilpasning, bruger man økonomiske analyser, der kvantificerer risikoen. Et eksempel på en sådan beregning er vist i tabel 5.2 for København. Metoderne til at lave sådanne beregninger er gennemgået med Roskilde og Aalborg som eksempel¹³. Tabellen viser beregninger af risikoen ved ekstremregn og havniveaustigning under nuværende og fremtidigt klima samt den reducerede risiko ved implementering af klimatilpasning som beskrevet i Københavns Kommunes Skybrudsplan¹⁴. Som fremtidigt klima er benyttet to forskellige projektioner – en moderat og en ekstrem. For den moderate projektion er der beregnet en stigning på 70% i omkostninger i 2100 relateret til oversvømmelser pga. ekstremregn. For den mere ekstreme projektion ses en voldsom stigning i omkostningerne. Beregninger af effekten af implementering af skybrudsplanen viser en betydelig reduktion af risikoen for den ”moderate projektion”, men effekten er også betragtelig for den mere ekstreme projektion, der har en resulterende risiko, som ikke er meget større end i dag.

	Omkostningsindeks
Ekstremregn, uden klimatilpasning	
Nuværende klima	100
2100, bedste estimat	170
2100, global temperaturstigning på 6 °C	770
Ekstremregn, skybrudsplanen fuldt implementeret	
Nuværende klima	10
2100, bedste estimat	20 – 30
2100, global temperaturstigning på 6 °C	120 – 210
Stormfloder og havniveaustigning, uden klimatilpasning	
Nuværende klima	0
2100, begge fremskrivninger	660

Tabel 5.2. Figuren viser beregnede omkostninger af skader fra ekstremregn og stormfloder for København med og uden klimatilpasning under to klimafremskrivninger: nuværende bedste estimat anvendt i Københavns skybrudsplan, og en global temperaturstigning på 6 °C. Nuværende omkostning til ekstremregn er sat til indeks 100. Kilde: Forfatterne til denne rapport.

5.7 Flere ekstreme vejrhændelser

Enkeltstående ekstremhændelser i de senere år kan ikke direkte tilskrives den globale opvarmning. Men sandsynligheden for forekomsten af sådanne hændelser stiger i takt med opvarmningen. Styrken og hyppigheden af mange ekstreme hændelser er steget markant sammenlignet med førindustrielle atmosfæriske betingelser, og der er stor sandsynlighed for, at de er betinget af den globale opvarmning.

Megen forskning har påvist, at den globale temperatur stiger som en følge af stigende mængder af drivhusgasser i atmosfæren. Men der er kun få studier, som har kunnet påvise en direkte sammenhæng mellem global opvarmning og lokale klimabegivenheder. Der er imidlertid nogle internationale eksempler, som giver en indikation. Eksemplerne illustrerer nogle af de seneste års ekstremhændelser, som har understreget behovet for klimatilpasning. Det gælder fx oversvømmelserne i København i 2010, 2011 og 2014 samt stormfloden i forbindelse med stormen Bodil i 2013.

Effekten af øget mængde drivhusgasser

Engelske forskere udførte et eksperiment for at vurdere bidraget fra den menneskeskabte øgning i drivhusgasserne til risikoen for nyligt observerede oversvømmelser i England og Wales. Eksperimentet bestod af flere tusinde simuleringer med en klimamodel med en realistisk sammensætning af atmosfæren, havtemperaturer og udbredelse af havis. Resultaterne viser, at indflydelsen af den menneskeskabte drivhuseffekt øger risikoen for oversvømmelser med omkring en faktor 2 i de fleste tilfælde men med en bred vifte af usikkerhed.

Formelt set kræves der tilsvarende undersøgelser for danske ekstremhændelser, før man kan besvare spørgsmålet om, hvorvidt disse kan tilskrives den menneskeskabte globale opvarmning, som allerede har fundet sted. Men ekstremregnhændelserne både i København og andre egne af landet er gode eksempler på hændelser, hvor man må formode, at det er sandsynligt, at risikoen for disse begivenheder er forstærket på grund af den globale opvarmning og den tilsvarende opvarmning, som også er påvist i og omkring Danmark.

5.8 Veje til en klimarobust fremtid

Globalt kan klimaændringer reduceres ved at nedbringe udledningen af drivhusgasser. Det vil også mindske behovet for klimatilpasning. For Danmark er situationen en anden. Vi kan ikke gennem en isoleret indsats sikre, at vi kun vil få meget begrænsede klimaforandringer. Klimaforandringerne kan kun begrænses, hvis en stor gruppe af lande går sammen om vidtgående drivhusgasreduktioner. Vi har med andre ord et begrænset nationalt "handlerum", når det gælder risiko og klimatilpasning og gennemførelse af tiltag, som mindsker vores sårbarhed. Det er da også det, som ligger bag Danmarks igangværende indsats med at udarbejde fx kommunale klimatilpasningsplaner, der medvirker til lokale prioriteringer på udfordringerne med oversvømmelser.

Erfaringsgrundlaget er stadig begrænset

Arbejdet med klimatilpasning byder på betydelige udfordringer, da der skal arbejdes med store usikkerheder. Omfanget af fremtidige klimaændringer er ukendte, bl.a. fordi vi ikke med sikkerhed kan fremskrive drivhusgasudslip og den samfundsmæssige udvikling over længere tid. Der er også usikkerhed forbundet med selve klimamodellernes forudsigelser af konsekvenserne af atmosfæriske drivhusgaskoncentrationer og de heraf afledte påvirkninger som oversvømmelser, sundhedsmæssige risici, vandmangler, ekstreme hændelser, tab af mangfoldighed osv. Vi har oplevet en række oversvømmelser i Danmark fra ekstrem regn som for eksempel oversvømmelserne i København i 2011 og i 2014, men det er stadig ikke så omfattende et erfaringsgrundlag, at det i mere generel form kan bruges til sikre økonomiske opgørelser i fx klimatilpasningsplaner.

Vigtigt med fleksibilitet i klimatilpasning

I arbejdet med at klimatilpasse samfundet skal flere parametre holdes op mod hinanden. Det gælder for omkostningerne og de fysiske konsekvenser af klimatilpasning, der skal vurderes i forhold til risikoen for en given hændelse, og hvor effektiv indsatsen for at imødegå hændelsen vil være. Dette kan fx anvendes i indsatsen for færre oversvømmelser i byer ved ekstreme nedbørshændelser. Og det vil derfor indebære, at tilpasningsmulighederne som fx afvanding via overflader til ubebyggede områder, udvidede kloaksystemer, regnvandsbassiner og grønne områder bliver vurderet både på omkostninger og effektivitet, men også på hvor fleksible tiltagene er. Fleksibiliteten øges, hvis vi satser på investeringer, som kan justeres over tid, efterhånden som vores viden om klimaændringernes effekter øges. Et vigtigt forhold i den forbindelse er at foretage en nøje afvejning af flere forhold. Blandt andet skal man forholde sig til, om den nuværende sårbarhed er acceptabel. Og man skal forholde sig til, om de investeringer, der foretages, er robuste over for fx ændringer i forventninger til fremtidens ekstremregn, stigning af havniveau og byens øvrige udvikling. Behovet for fleksibilitet gælder særligt for investeringer med forventet lang levetid som fx kloaksystemer, vejanlæg og bygninger. For sådanne investeringer anbefales ofte at vente med irreversible investeringer, indtil der er et bedre vidensgrundlag.

5.9 Danmark i et fremtidigt klima

IPCC's 5. hovedrapport viser, at det er *ekstremt sandsynligt*, at menneskelig påvirkning har været den dominerende årsag til den globale opvarmning i de seneste 50 år. Samtidig har de seneste årtier vist, at ændringer i klimaet har påvirket naturlige og menneskeskabte systemer på alle kontinenter og på tværs af oceaner.

I Danmark stiger middeltemperaturen omtrent som den globale temperatur. En af konsekvenserne er, at Danmark fremover vil få vådere vintre og mere tørre somre. Samtidig vil forekomsten af oversvømmelser og tørke blive mere ekstrem i det fremtidige varmere klima.

Danmark er desuden et af de fem lande i EU, der står til de højeste skadesomkostninger ved havniveaustigninger set i forhold til bruttonationalproduktet. Danmark vil også være blandt de dyreste at beskytte på grund af vores lange kystlinje. Omvendt giver klimaforandringerne bedre vilkår for landbrug, skovbrug og fiskeri i de nordiske lande men også nye udfordringer for den offentlige regulering af fødevarerproduktionen.

Effekter i Danmark

Sårbarhed og eksponering er betinget af mange faktorer, hvor klimaet ikke behøver at være centralt. Men påvirkninger af især mindre samfund og visse økosystemer har tydeliggjort eksisterende eksponeringsrisici og sårbarheder. Det gælder bl.a. påvirkninger som følge af hedeølger, tørke, oversvømmelser, tropiske orkaner og naturbrande.

Fortsat opvarmning øger sandsynligheden for alvorlige, gennemgribende og uoprettelige konsekvenser. Men hvis man begrænser hastigheden og omfanget af klimaændringerne, kan man reducere de generelle risici fra klimaændringernes virkninger. Og via klimatilpasning kan man reducere sårbarheden og eksponeringen til de variationer i klimaet, vi lever med nu.

Adaptiv forvaltning

Klimatilpasning skal tage udgangspunkt i det konkrete sted og den konkrete sammenhæng. Der findes nemlig ikke en enkelt tilgang til at reducere risici hensigtsmæssigt på tværs af alle sektorer og geografiske områder. Her kan adaptiv forvaltning være effektiv til at håndtere de betydelige usikkerheder, der samlet set indgår i klimatilpasning. I adaptiv forvaltning foretager man analyser af fremtidsscenarier og forsøgs-mæssige anvendelser af nye innovative løsninger på pilotbasis.

Alt i alt står Danmark over for nye udfordringer såvel i forhold til de klimaændringer, der konkret kommer til at ske i vores land men også i forhold til konsekvenserne af klimaændringer i andre dele af verden. Mange sektorer i Danmark vil blive påvirket. En præcis fremskrivning af det fremtidige klima er ikke muligt, og det er derfor nødvendigt at sikre, at den planlægning der foretages nu, er tilstrækkeligt robust. Det betyder, at det er nødvendigt løbende at vurdere de tiltag, der allerede er igangsat og foretage justeringer dér, hvor det er nødvendigt.



Referencer

1. Brown S, Nicholls RJ, Vafeidis A, Hinkel J, Watkiss P (2011). The Impacts and Economic Costs of Sea-Level Rise in Europe and the Costs and Benefits of Adaptation. Summary of Results from the EC RTD ClimateCost Project. In Watkiss, P (Editor), 2011. The ClimateCost Project. Final Report. Volume 1: Europe. Published by the Stockholm Environment Institute, Sweden, 2011. ISBN 978-91-86125-35-6.
2. Olesen M, Madsen KS, Ludwigsen CA, Boberg F, Christensen T, Christensen OB, Christensen JH, Andersen KK (2014): Fremtidig klimaforandringer i Danmark. DMI-publikation; Danmarks Klimacenterrapport 14-06
3. Karlsson IB, Sonnenborg TO, Jensen KH, Refsgaard JC (2014) Historical trends in precipitation and stream discharge at the Skjern River catchment, Denmark. Hydrology and Earth System Sciences, 18, 2, 596-610.
<http://dx.doi.org/10.5194/hess-18-595-2014>
4. Henriksen HJ, Højberg AL, Olsen M, Seaby LP, van der Keur P, Stisen S, Trolldborg L, Sonnenborg TO, Refsgaard JC (2012) Klimaeffekter på hydrologi og grundvand (Klimagrundvandskort). GEUS Rapport 2012/116.
<http://www.klimatilpasning.dk/media/340310/klimagrundvandskort.pdf>
5. Henriksen HJ, Pang B, Olsen M, Sonnenborg TO, Refsgaard JC, Madsen H (2014) Klimaeffekter på ekstremværdi afstrømninger. Fase 2 usikkerhedsvurdering. GEUS Rapport 2014/38.
6. Kidmose J, Refsgaard JC, Trolldborg L, Seaby LP, Escrivà MM (2013) Climate change impacts on groundwater levels: ensemble modelling of extreme values. Hydrology and Earth System Sciences, 17, 1619-1634. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/1619/2013/hess-17-1619-2013.pdf>
7. Van Roosmalen L, Sonnenborg TO, Jensen KH (2009) Impact of climate and land use change on the hydrology of a large scale agricultural catchment. Water Resources Research, 45, W00A15. <http://dx.doi.org/10.1029/2007WR006760>
8. Rasmussen J, Sonnenborg TO, Stisen S, Seaby LP, Christensen BSB, Hinsby K (2012) Climate change effects on irrigation demands and minimum stream discharge: impacts of bias-correction method. Hydrology and Earth System Sciences 16(12), 4675-4691. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-16-4675-2012>
9. DCE (2014) - Klima og vandplaner, Nationalt Center for Miljø og Energi, under udarbejdelse
10. Jeppesen, E, Meerhoff M, Davidson TA, Søndergaard M, Lauridsen TL, Beklioglu M, Brucet S, Volta P, González-Bergonzoni I, Nielsen A, Trolle D, 2014. Climate change impacts on lakes: an integrated ecological perspective based on a multi-faceted approach, with special focus on shallow lakes - J. Limnol. 73(sl):88-111.
11. Miljøministeriet (2008). IGLOO – Indikatorer for globale klimaforandringer i overvågningen, 2008. By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet, 91 sider
12. Bamber JL, Aspinall WP. (2013), An expert judgement assessment of future sea level rise from the ice sheets. Nature Climate Change. doi:10.1038/nclimate1778
13. Arnbjerg-Nielsen, K, Fleischer, HS, Hansen, JH, Olsen, DB, Seidelin, C, Nielsen, T, Kunnerup, T (2007): Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse. Miljøprojekt 1187. Miljøstyrelsen, København.
14. Københavns Kommune 2012. Københavns Kommunes Skybrudsplan 2012.
http://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/1018_l9HAord2PF.pdf



Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
www.nst.dk