

Fremtidige klimatilpasningsteknologier

Juni 2010



Fremtidige klimatilpasningsteknologier

**Anitha K. Sharma, Eva Eriksson, Hans-Jørgen Albrechtsen, Mogens Henze og
Karsten Arnbjerg-Nielsen – DTU Miljø – Juni 2010**

ISBN [www: 978-87-7844-867-5](http://www.978-87-7844-867-5)

**DTU Miljø
Institut for Vand og Miljøteknologi**

Forord

Erhvervsklimapanelet udarbejdede i 2008 en rapport om danske styrkepositioner på klimaområdet, hvor både teknologier til imødegåelse af og tilpasning til klimaændringer blev gennemgået. Energistyrelsen har ønsket at få uddybet, hvilke teknologier, der i særlig grad vil være behov for ved tilpasning på vandområdet og har derfor bedt Institut for Vand og Miljøteknologi på Danmarks Tekniske Universitet (DTU Miljø) om at udarbejde nærværende rapport. Tidshorisonten for fremskrivningen er op til 50 år.

Fremskrivning af teknologisk udvikling over 50 år er vanskelig, og det er åbenlyst, at der vil være områder med teknologisk udvikling, som rapportens forfattere ikke har kunnet identificere eller har skønnet var urealistiske at kunne udvikle inden for tidshorisonten. Der er ikke desto mindre en række udviklingstendenser, som med stor sikkerhed vil præge udviklingen fremover på baggrund af store trends i det globale samfund, såsom tilvækst i f.eks. befolkning, velstand, IT- og anden infrastruktur og reduktion af f.eks. uanvendte naturressourcer og biodiversitet.

Rapporten er ikke baseret på et litteraturstudie i traditionel forstand. Ud fra forfatternes eget skøn ville et litteraturstudie vise, at alle nuværende og kommende teknologier har et potentiale. Arbejdsmetoden har i stedet været at indbyde en række eksperter til en samlet workshop fra tre institutter på DTU: Institut for Byggeri og Anlæg, Risø og DTU Miljø. På baggrund af konkrete indlæg blev der udviklet en metode til at skabe overblik over de forskellige teknologier og præsentere hvilke forhold, der skal være til stede, før disse teknologier vil få høj vækst.

På workshoppen deltog Kristian Havskov Sørensen (Energistyrelsen), Kirsten Halsnæs (Risø), Ole Hededal (DTU Byg), Philip J Binning (DTU Miljø), Hans-Jørgen Albrechtsen (DTU Miljø), Mogens Henze (DTU Miljø), Martin Rygaard (DTU Miljø), Anitha K. Sharma (DTU Miljø), Henrik Andersen (DTU Miljø), Eva Eriksson (DTU Miljø), Peter Steen Mikkelsen (DTU Miljø) og Karsten Arnbjerg-Nielsen (DTU Miljø). Rapporten er derefter udarbejdet af Anitha K. Sharma, Eva Eriksson, Hans-Jørgen Albrechtsen, Mogens Henze og Karsten Arnbjerg-Nielsen i perioden januar - juni 2010.

Denne rapport er udarbejdet af DTU – Institut for Vand og Miljøteknologi for Energistyrelsen og er ikke nødvendigvis et udtryk for Energistyrelsens holdning. En følgegruppe har fulgt og kommenteret på rapporten, men det er dog udelukkende forfatterne, der er ansvarlige for rapportens indhold.

Der har været nedsat en følgegruppe med følgende sammensætning:

Aksel Bech, Energistyrelsen - EUDP

Kristian Havskov Sørensen, Energistyrelsen (formand indtil 1. april 2010)

Povl Frich, Energistyrelsen (formand fra 1. april 2010)

Niels Henrik Mortensen, Miljøstyrelsen

Nils Hune, Erhvervs- og byggestyrelsen (indtil 1. maj 2010)

Carina Ohm, Erhvervs- og byggestyrelsen (fra 1. maj 2010)

Maja Lykke Lorenzen, Erhvervs- og byggestyrelsen (fra 1. maj 2010)

Henrik Dissing, Dansk Industri

Bjørn Kaare Jensen, GEUS

Karsten Arnbjerg-Nielsen, DTU Miljø

Der har været afholdt to følgegruppemøder, hvor rapportens indhold og konklusioner har været diskuteret. Forfatterne takker for konstruktive bidrag fra følgegruppen. Projektet har været finansieret af Energistyrelsen.

Sammenfatning og konklusioner

Klimaændringer udgør en alvorlig trussel for ringere livsvilkår for store dele af jordens befolkning, men ved hjælp af struktureret tilpasning kan konsekvenserne mindskes, i nogle tilfælde væsentligt. Nærværende rapport belyser hvilke teknologier, der skal anvendes som led i tilpasningen til ændringer i vandets kredsløb. Vand er den sektor, der forventes at blive ramt hårdest af effekterne af klimaændringer, og dermed er der store økonomiske potentialer involveret i at udvikle sådanne klimatilpasningsteknologier.

Formålet med nærværende udredning er at pege på klimatilpasningsteknologier på vandområdet med et 50 års sigte. Et sådant kig i krystalkuglen vil naturligt være behæftet med betydelig usikkerhed, hvilket fremgår med stor tydelighed når man ser på hvorledes natursyn, vandbehandlingsprocesser, regnekraft, sensorer og varslingsystemer har udviklet sig de sidste 50 år. Der er derfor ikke peget på konkrete teknologier som fremtidens ”vindere”. Ikke desto mindre er der en række klare tendenser, som godt kan benyttes til at forudsige udviklingen i Danmark og internationalt.

Der er mange andre drivkræfter til udvikling af klimatilpasningsteknologier end effekter af klimaændringer. Rapporten gennemgår derfor vandteknologier bredt og skelner ikke mellem teknologier, der er rettet mod håndtering af direkte effekter af klimaændringer og teknologier, der udvikles med en anden primær driver, men som også vil være vigtige klimatilpasningsteknologier på vandområdet. De primære drivere til et øget behov for klimatilpasningsteknologier for vand er – udover direkte effekter af klimaændringer – vurderet at være stigning i befolkningstal og velstand, øget urbanisering, politiske målsætninger, naturlige og menneskeskabte kriser og ændringer i befolkningers oplevelse af acceptable risici.

Ud fra ovennævnte drivere er beskrevet sandsynlige udviklinger i behov for vandressourcer. Det er vurderet at indebære krav om teknologiudvikling, der kan opsummeres i følgende fire hovedtemaer:

- Krav til mindsket påvirkning af klimaet og andre ressourceoptimeringer
- Tilfredsstillelse af befolkningers krav
- Ukendte kommende krav fra f.eks. magthavere
- Integreret vandforvaltning med frihed til at vælge mellem forskellige typer af vandressourcer til forskellige anvendelsesformål

Fremtidig udfordring inden for vand er for lidt og/eller for meget vand på det forkerte tidspunkt og/eller sted af uønsket kvalitet. Globalt set er der strukturel forskel i områder der lider under oversvømmelser og områder med tørke. En væsentlig pointe er at med så lang tidshorison, er udfordringerne de samme for Danmark som for en lang række andre lande, bortset fra, at vandstress ikke vil være lige så stort et problem i Danmark som i de fleste andre områder. Teknologiområderne som er udpeget i nærværende udredning vil med stor sikkerhed blive udviklet, uanset om danske firmaer satser på områderne. Analysen peger også på, at der vil ske en kraftig diversificering af anvendelse af forskellige ressourcer til forskellige formål. Der vil således ikke være en enkelt vinder, men mange nicher og mange main-stream anvendelser, som indebærer, at mange teknologier og udbydere kommer i spil.

Teknologierne, der forventes at opleve vækst, er opdelt i vandressourceallokering, vandbehandling, sensorer, andre ressourcer i vand, værktøjer der understøtter teknologi og forretningsmodeller. Inden for hvert af disse områder er identificeret og beskrevet 1 – 7 områder, hvor der forventes en klar vækst. Inden for mange af de i alt 25 områder har Danmark firmaer med gode kompetencer, som kan videreudvikles til fremtidens klimatilpasningsteknologier. En af udfordringerne bliver, at systemerne bliver langt mere integrerede og komplekse, således at en væsentlig del af innovationen sker i samspil mellem de enkelte aktører, der således både skal fokusere på udvælgelse af samarbejdspartnere, samtidigt med at egen position på spidskompetenceområder naturligvis skal fastholdes.

Summary and Conclusions

Anthropogenic climate change poses a serious threat to the wellbeing of the human population in the future. However, strategic adaptation measures can reduce the consequences, in some cases significantly. There will be a need for very large investments in technology to manage the anticipated changes in the hydrological cycle.

The scope of the report is to identify climate change adaptation technologies needed to manage changes in the water cycle. Such an outlook will inherently be uncertain, mainly because developments will go beyond what can be imagined now. Therefore the report does not describe specific technologies but rather it discusses types of technologies that are needed to address the problems at hand in Denmark and internationally.

There are many other drivers for technology development than climate change. The report therefore discusses technologies for water in general. The main drivers – apart from climate change induced changes in the hydrological cycle – are expected to be increasing human population and economic development, urbanization, political goals, human and natural hazards, and changes in perception of risk.

Based on these drivers probable crude scenarios for development of water consumption is developed for Denmark and internationally. The main drivers of the technology development are expected to be:

- A need to mitigate climate change and optimize resource allocation in general.
- Meeting demands of human populations.
- New requirements from governments and other stakeholders.
- Integrated water resource allocation with a large freedom to choose between different sources of water for different applications.

Changes in the hydrological cycle means that there will be either too much or too little water at the wrong location, and at having a quality that is not suitable for the purpose at hand. With the long time horizon of the scenarios the main challenges will be the same for Denmark as for other countries, with the important exception that water stress will be a small driver in Denmark compared to most other regions. A clear result of the analysis is that much more types of water resources will be used for different applications. Therefore there will also be a diversification of the technologies with many niches as well as main-stream applications.

The types of technologies that are expected to flourish are divided into the following topics: resource allocation in time and space, water treatment, sensors, co-exploration

with other resources, tools and methods that support technology, and business models. Within these areas a total of 25 specific areas with high business potential for technology development are discussed. Danish companies have good competences within many of these areas that can be used as good starting points for developing the technologies of the future. One key challenge is an expected development in terms of larger and more complicated integrated systems. This means that a substantial part of the development will take place between the traditional stakeholders and businesses.

Indholdsfortegnelse

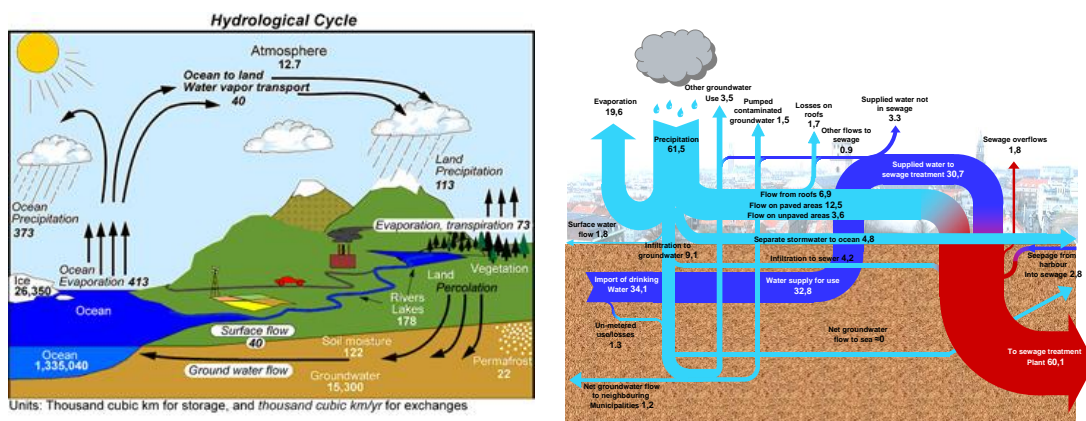
1	INDLEDNING.....	1
2	TEKNOLOGIER OG KLIMATILPASNING	3
2.1	DEFINITION AF KLIMATILPASNINGSTEKNOLOGI.....	3
2.2	SEKTORER DER FORVENTES AT VÆRE SÅRBARE OVERFOR KLIMAFORANDRINGER	4
2.3	ANDRE VÆSENTLIGE DRIVERE END KLIMAÆNDRINGER	5
2.4	TIDSPERSPEKTIV	6
2.5	FORUDSÆTNINGER FOR UDVIKLING OG EKSPORT AF TEKNOLOGIER.....	8
3	SÅRBARHED FOR ÆNDRINGER I VANDETS KREDSLØB SOM FØLGE AF KLIMAÆNDRINGER	10
3.1	UDFORDRINGER I DANMARK	10
3.2	UDFORDRINGER INTERNATIONALT	12
4	ANVENDELSER AF VAND.....	14
4.1	UDVIKLING I HUSHOLDNINGSBEHOV	14
4.2	UDVIKLING I LANDBRUGSBEHOV	16
4.3	UDVIKLING I BEHOV TIL REKREATIVT VAND / OVERFLADEVANDE	16
4.4	UDVIKLING I INDUSTRIELLE BEHOV	17
4.5	IMPLIKATIONER FOR TEKNOLOGIUDVIKLING	17
5	TILPASNINGSTEKNOLOGIER INDEN FOR VANDOMRÅDET	19
5.1	RESSOURCEALLOKERING I TID	22
5.2	RESSOURCEALLOKERING I STED	23
5.3	VANDBEHANDLING.....	24
5.4	VIDEN OM MÆNGDE OG KVALITET AF VAND	26
5.5	SAMSPILLET MED ANDRE RESSOURCER.....	26
6	YDELSER, TJENESTER OG LØSNINGER SOM ØGER VÆRDIEN AF TILPASNINGSTEKNOLOGIER.....	29
6.1	UDVIKLING OG ANVENDELSE AF VÆRKTØJER DER UNDERSTØTTER OG/ELLER ANVENDER TEKNOLOGI	29
6.2	FORRETNINGSMODELLER.....	32
7	KONKLUSION	34
8	LITTERATUR	36

1 Indledning

Effekter af klimaændringer medfører alvorlige trusler for ringere livsvilkår på store dele af jorden. Samtidigt er der store markedspotentialer ved at være først til at udvikle og anvende de teknologier der skal til for at løse eller mindske problemerne. Regeringen udgav i 2009 en erhvervsklimastrategi, der fokuserede på potentialer ved reduktion af udledningen af drivhusgasser (Regeringen, 2009). Denne rapport supplerer regeringens erhvervsklimastrategi ved at belyse hvilke teknologier, der på tilsvarende vis skal i spil ved tilpasning til de forventede klimaændringer. Der vil i høj grad blive anlagt en international vinkel på klimatilpasning, men danske forhold vil også blive inddraget.

I baggrundsmaterialet til regeringens erhvervsklimastrategi blev også teknologier til klimatilpasning omtalt. Det blev påpeget, at der især var behov for udvikling inden for tre områder: vand, infrastruktur, og sundhed. Denne rapport fokuserer på emnet vand, men vil også inddrage aspekter af infrastruktur, idet vandinfrastruktur er en væsentlig og integreret del af vandområdet.

Ændringer i vandbalancen er den effekt af klimaændringer, der vil påvirke menneskers aktiviteter mest (Bates et al 2008). Det er endvidere et område, hvor der internationalt allerede nu er alvorlige udfordringer og hvor der er et betydeligt potentiale for at udnytte danske kompetencer til at videreudvikle teknologier til såvel det danske marked som til eksport (Andersen et al., 2006).



Figur 1. Angivelse af det naturlige vandkredsløb (venstre figur) samt det urbane kredsløb med København som eksempel (højre figur). (National Center for Atmospheric Research, 2010;Binning et al., 2006)

Klimaændringer medfører generelt højere temperaturer, og dermed øges det maksimale vandindhold i atmosfæren. Derfor påvirkes fordampling og nedbør væsentligt og dermed hele vandets kredsløb i form af størrelsen af gletchere, grundvandsdannelse,

vandføring i vandløb med videre, se figur 1 (til venstre). Samtidigt sker der en væsentlig påvirkning af den naturlige vandbalance, fordi human aktivitet indebærer et vandforbrug, se figur 1 (til højre). Menneskelige aktiviteter i byer og landbrug påvirker vandbalancen kraftigt i form af teknologi, der flytter eller holder vandet tilbage, fjerner eller tilføjer stoffer til vandet, eventuelt på baggrund af målinger af vandmængder og – kvalitet. På figur 2 er angivet eksempler på de teknologier, der er nødvendige for at håndtere vand i byer.



Figur 2. Eksempler på processer og teknologier, der er nødvendige for at sikre vandets kredsløb i byer med godt drikkevand og god spildevandsbehandling (Krüger, 2010).

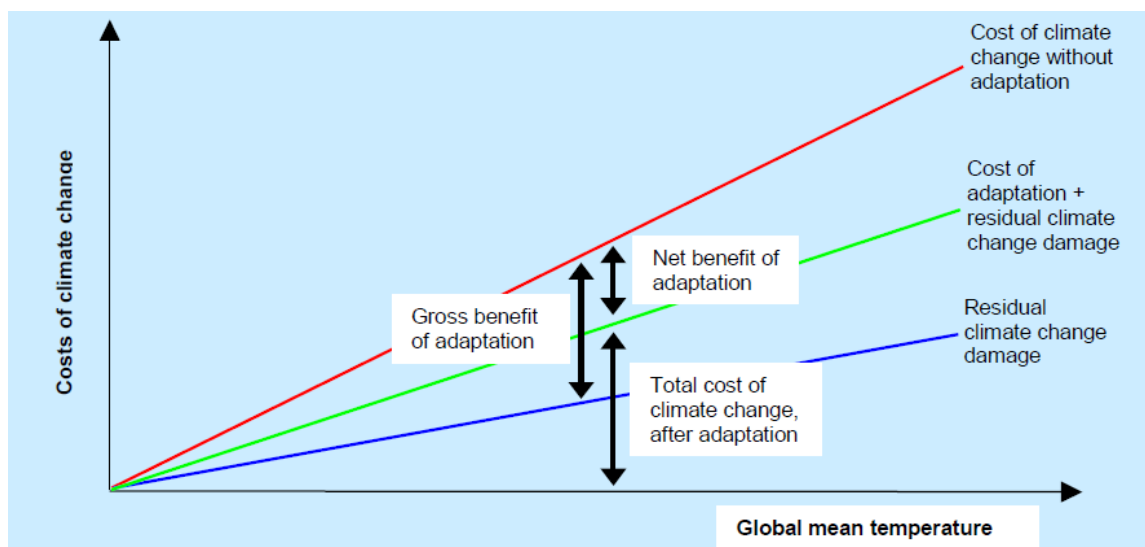
Rapporten er baseret på en gennemgang af videnskabelig litteratur og subjektive vurderinger af hvilke teknologiområder, der er gode kandidater til at udgøre fremtidens vindere inden for vandsektoren. Disse teknologier vil givetvis blive suppleret med andre teknologier. Det vil både være teknologier, som udvikles til brug inden for andre sektorer, men som også vil blive anvendt i vandsektoren og udviklinger, som ikke er til at forudse på nuværende tidspunkt.

2 Teknologier og klimatilpasning

2.1 Definition af klimatilpasningsteknologi

Tilpasning til klimaændringer sker ved at udnytte positive og mindske negative effekter af klimaændringer. Der anvendes ofte en økonomisk skala for vurderingen, idet der opstilles et scenarium uden klimaændringer og et scenarium med klimaændringer uden tilpasningstiltag. Disse to scenarier sammenlignes og der opstilles en omkostningsfunktion, typisk opgjort som den negative nettoomkostning af klimaeffekterne.

Tilpasning til klimaændringer bør i denne ramme foretages, når et tiltags omkostninger modsvares af en mindst lige så stor reduktion i nettoomkostningen af klimaeffekterne. Princippet er illustreret i figur 3. De teknologier, som er nødvendige for at kunne lave en sådan tilpasning, eller sænker et tiltags omkostninger benævnes i nærværende rapport som en klimatilpasningsteknologi.



Figur 3. Princip bag økonomisk vurdering af klimatilpasningstiltag. En klimaeffekt kan mindskes ved at lave tilpasningstiltag. Tiltaget kan alt andet lige anbefales, når en investering reducerer skadesomkostningen mere end investeringen koster (Stern, 2006)

Der vil ofte være flere klimatilpasningsteknologier, der vil kunne anvendes i en given situation. Samlet set vil en struktureret udvikling af nye og bedre klimatilpasningsteknologier mindske de samlede konsekvenser af klimaændringer markant, omend der er stor usikkerhed på hvor meget (Stern, 2006). Dermed vil udvikling af klimatilpasningsteknologier medføre, at det både bliver billigere at tilpasse

i hvert enkelt tilfælde, og at tilpasning oftere er at foretrække frem for at acceptere ulemper eller ikke at udnytte fordele.

Der skelnes i regeringens strategi for klimatilpasning mellem *ad-hoc* og politisk vedtagne tiltag til tilpasning til klimaændringer (Regeringen, 2008). Denne skelnen kan være væsentlig i forhold til en aktøranalyse. I nærværende rapport fokuseres på, hvordan der kan udvikles ny og/eller anvendes eksisterende teknologi, så tiltagene bliver mest effektive i forhold til de ønskede mål. I den sammenhæng er det mindre væsentligt, hvilken strategi der anvendes.

2.2 Sektorer der forventes at være sårbare overfor klimaforandringer

IPCCs arbejdsgruppe om effekter og tilpasning (Parry et al., 2007) opdeler de effekter, der skal tilpasses til de forventede klimaændringer i nedenstående sektorer:

- **Ferskvandsressourcer**

Nuværende ferskvandsressourcer påvirkes gennem øget sandsynlighed for oversvømmelser og tørke; mangel på sne og gletsjersmeltevand og saltvandsindtrængning i grundvand og flodmundinger. Endvidere vil disse forandringer påvirke økosystemer og menneskers sundhed negativt på grund af højere forureningsniveau. Øget befolkningsvækst og velstand i udviklingslande vil medføre yderligere pres på ferskvandsressourcerne. Den nuværende håndtering af vand kan i mange regioner ikke opretholdes.

- **Økosystemer**

Økosystemernes struktur påvirkes og generelt mindskes biodiversiteten. Særligt udsatte er koralrev, ishavslevende biota, nordlige biotoper, bjerg biotoper samt middelhavsklima økosystemer.

- **Føde, fibre og skove**

Den primære produktion vil formodentlig stige i nordlige og mellembreddegrader, men den stigende frekvens af ekstremer i form af oversvømmelser, tørker, brande, skadedyr, patogener og oversvømmelser vil reducere bruttoforøgelsen. Endvidere vil produktionen falde i breddegrader nær ækvator.

- **Kystområder og andre lavtliggende områder**

At bo ved kysten er attraktivt, og det forventes at antallet af beboere i kystbyer vil stige fra 1,2 mia. (1990) til 5,2 mia. i 2080. Dermed vil antallet af mennesker og værdier, som eksponeres overfor ekstreme hændelser som storme, cykloner, oversvømmelser, erosion og tab af kystnære økosystemer så som koraler,

mangroveskove osv. også stige. Mange udviklingslande har vanskeligt ved at gennemføre de nødvendige tilpasningstiltag.

- **Industri, beboelser og samfund**

Industri, beboelser og samfund trues primært af ekstreme vejrhændelser udenfor de dimensionsgivende belastninger, som de menneskeskabte værdier er bygget til at kunne modstå. Disse kan have en omfattende effekt på samfundet, f.eks. orkanen Katrina i 2005 i New Orleans.

- **Sundhed**

Menneskers sundhed bliver påvirket direkte af ekstremer i form af f.eks. hedebølger og oversvømmelser. Derudover vil der ske en væsentlig indirekte påvirkning, såsom ændret udbredelse af malariamyg, dårligere hygiejne, forringet vandkvalitet og ændringer i pollensæsonen.

For alle 6 sektorer er vand en nøgleparameter. Det er derfor, at klimatilpasning på vandområdet er vigtigt.

2.3 Andre væsentlige drivere end klimaændringer

De forventede klimaforandringer angives ofte i form af projektioner af ændringer i de næste 50-100 år. Over en så lang tidsperiode vil også andre væsentlige ændringer spille ind, inklusiv uforudsigelige forhold. Blandt de væsentlige ændringer som vi kan forudsige med en vis sikkerhed er følgende tendenser:

- **Befolknings- og velstandsstigning:** Klodens befolkning forventes at stige i mindst 40 år endnu, og der forventes endvidere en global velstandsstigning i al forudsigelig fremtid. Det indebærer et voldsomt pres på alle jordens ressourcer. Det gælder både direkte ressourcer såsom fossile energiressourcer, vand og indirekte ressourcer i form af arealanvendelse og produktionsmetoder, der vil mindske biodiversiteten.
- **Urbanisering:** Antallet af mennesker, der bor i byer stiger, og størrelsen af de store byer vil øges markant. FN forventer, at antallet af personer der bor i byer vil fordobles fra 2005 til 2050 så mere end 2/3 af verdens befolkning vil bo i byer i 2050 (FN, 2010). Dette vil påvirke vandets kredsløb kraftigt, både fordi de hydrologiske processer påvirkes af byer og fordi vandet i mange tilfælde flyttes fra rurale områder med en anden anvendelse.
- **Politiske mål:** Politiske mål vil også spille en væsentlig rolle som f.eks. de Forenede Nationer's (FNs) 2015 Målene (Millennium Development Goals, MDGs) om, reduktion i ekstrem fattigdom, børnedødelighed og bekæmpelse af epidemier som AIDS osv.. Særligt delmål 7 "Bæredygtig udvikling" inkluderer at andelen af mennesker uden adgang til rent drikkevand skal halveres inden 2015.

- Politiske, økonomiske og sociale kriser: Kompleksiteten af de tekniske, økonomiske og politiske strukturer vil forøges væsentligt i en globaliseret verden. Disse strukturer kan ses som en nødvendighed for at kunne håndtere flere mennesker, men giver også udfordringer i form af, at mange har svært ved at overskue systemerne. Det påvirker beslutningsprocesserne og kan medføre politiske, økonomiske og sociale kriser.
- Naturkatastrofer: Antallet af jordskælv og vulkanudbrud forventes ikke at blive påvirket af klimaændringer, men frekvensen af andre typer af naturkatastrofer forventes at stige. Samtidigt stiger sårbarheden overfor naturkatastroferne, forstået på den måde, at hver katastrofe vil påvirke flere mennesker og hårdere på grund af større befolkningsskoncentration i sårbare områder og større velstand. Der udvikles også en større sensibilitet over katastrofer med stigende velstand.
- Menneskeforårsagede katastrofer: Eksplosioner, brande, kemikaliespild, radioaktive lækager osv. er steget eksponentielt igennem 1900-tallet (Coleman, 2006) og med den stigende alder af eksisterende installationer, f.eks. rør, forventes fortsat stigning i den type af katastrofer.
- Teknologiudvikling: Den teknologiske udvikling de sidste 100 år, har markant ændret menneskers hverdag gennem udbredelse af f.eks. IT, biler og telefoner. Denne udvikling må forventes at fortsætte, og måske endda accelerere. Der vil ske teknologiske kvantespring i løbet af de næste 50 år vi ikke kan forudsige i dag.
- Befolknings forventninger: Der må forventes en udvikling både i befolknings accept af risici og også en forøget forskel mellem faktiske risici og oplevede risici. Det vil have betydning for, hvilke teknologier, der kan blive implementeret.

2.4 Tidsperspektiv

De forventede klimaændringer angives ofte med en tidshorisont på 50-100 år. Det skyldes dels at klimaet har en stor naturlig variabilitet, så der skal midles over lang tid for at få et godt bud på et gennemsnit, og dels at klimaændringerne sker så langsomt, at det er nødvendigt at se på lang tid for at kunne få et tydeligt "klimasignal" i forhold til den store naturlige variation.

Der er stor variation i tidshorisonten for udvikling af teknologier og deres levetider. Tabel 1 viser en grov oversigt over forventede levetider for væsentlige komponenter i forbindelse med urban afstrømning. Som det fremgår af tabellen, er der imidlertid mange af komponenterne til opsamling, transport og rensning af spildevand, der har levetider, der er væsentligt kortere end det, der er nødvendigt af hensyn til at få et tydeligt "klimasignal". Det er således hovedsageligt den infrastruktur, der består af rør, brønde og bassinkonstruktioner, der for alvor er sårbar overfor klimaændringer.

Tabel 1. Grov oversigt af forventede levetider for væsentlige komponenter i forbindelse med urban afstrømning. En kort forventet levetid svarer til mindre end 10-15 år mens en lang levetid svarer til mindst 50-60 års teknisk levetid. (Tilpasset fra Arnbjerg-Nielsen, 2010)

	Forventet levetid	Kommentar
<i>Dimensionsgivende input</i>		
Dimensionsgivende nedbør	Mellem til lang	Overalt i verden benytter man 30 års nedbørnormaler som gennemsnit for klimaet for at inkludere den naturlige variabilitet. Klimaændringer vil påvirke denne variabel direkte.
Tilsluttet areal	Mellem	Der er generelt hurtigere ændringer i nye byområder end gamle.
<i>Beregningsmetoder</i>		
Hydrauliske modeller	Mellem	Hydraulisk modellering i kloakker har formentlig nået den nødvendige nøjagtighed, men beregning af komplicerede komponenter og strømning på overfladen vil fortsætte.
<i>Funktionskrav</i>		
Oversvømmelse	Mellem	Specielt i Danmark har der været lille interesse for denne variabel indtil for nylig. Nye metoder til beregninger af flow på overflader og øget sandsynlighed for ekstreme hændelser har givet stor opmærksomhed på denne variabel.
Miljøkrav	Kort	Miljøkrav var få indtil 1970'erne, herefter er de skærpet ca. hvert 5-10 år.
<i>Fysiske aktiver</i>		
Afløbssystemer, rør og brønde	Lang	Betonrør er i gennemsnit mere end 60 år gamle før de renoveres og væsentligt ældre før det økonomisk er optimalt med udskiftning.
Styring og overvågning	Kort	De fleste komponenter og kommunikationsprotokoller udskiftes hyppigere end hvert 10. år.
Pumper og andet mekanisk udstyr	Kort til mellem	En del pumper udskiftes før de mekanisk er udtjente pga. teknologisk udvikling
Bassiner mv.	Kort til mellem	Den tekniske levetid er som for rør og brønde, men funktionskravene ændres, hvilket forkorter levetiden væsentligt.

Investeringerne i infrastrukturen fastlåser dermed i høj grad samfundet i mange år frem og ved ændringer af byer, vil man ofte se, at fortidens investeringer i infrastruktur har stor indflydelse på, hvad der er det optimale teknologivalg i en konkret situation. I Danmark har vi et nogenlunde stationært befolkningstal, og dermed er behovet (muligheden) for helt nye store byer og dermed frit teknologivalg begrænset. Derimod er der i andre dele af verden med kraftig vækst i velfærd og befolkningstal såsom Kina et behov for et større antal helt nye byer, hvor der kan tænkes helt forfra. Det vil give betydelige muligheder for at udvikle og anvende nye teknologier, som vil blive økonomisk rentable – og omvendt mindske behovet for udvikling betydeligt, såfremt denne mulighed ikke udnyttes.

Det kan i den forbindelse bemærkes, at DTU Miljø i forbindelse med en forskningsevaluering kortlagde forskningsindsatsen i bl.a. urban afstrømning fra ca. 1970 til i dag. Kortlægningen viste, at også forsknings- og udviklingsindsatser sjældent varer mere end 10-20 år, hvorefter interesse og finansiering mindskes. Med den nuværende høje grad af styring af forskning og udvikling i form af konkurrenceudsatte midler, må det forventes at tidshorisonten forkortes yderligere.

2.5 Forudsætninger for udvikling og eksport af teknologier

I 1987 vedtog Folketinget Vandmiljøhandlingsplanen, der satte krav til rensning af udledninger af spildevand, der efter datidens normer var særdeles skrappet. Handlingsplanen medførte, at andelen af spildevand, der blev rensset med avancerede teknologier steg fra ca. 0,5% til 54% i løbet af blot 6 år. Når det var muligt, skyldtes det i høj grad, at den fornødne forskning og udvikling havde medført modne teknologier, der var klar til anvendelse i stor skala. Opfølgningen i form af EUs spildevandsdirektiv i 1991 gav danske firmaer en unik eksportmulighed, fordi ikke blot den teoretiske viden, men også praktiske erfaringer med driftsoptimeringer og yderligere tilpasning af teknologierne, gav danske ingeniører og andre faggrupper en flyvende start i forhold til implementering af den dengang strikse lovgivning over hele EUs område.

Ovenstående eksempel illustrerer to af de væsentlige faktorer for at opnå succes med at opbygge og udnytte eksportpotentiale. Det første er værdien af et hjemmemarked, hvor der er stor grad af homogenitet mellem de forskellige aktører, så der er højere grad af tillid og færre kulturelle barrierer i spil. Den anden væsentlige faktor er brugen af regulering til at sikre opbygningen af et marked, der giver viden og omsætning i erhvervslivet. Når der er opbygget et lokalt marked, giver det efterfølgende en first-mover effekt i forhold til andre markeder, hvor der er hhv. projektreferencer og konkrete produkter at vise frem.

Ud over de nævnte to faktorer bør det nævnes, at der findes en lang række andre faktorer. Det drejer sig især om finansielle instrumenter (tilskud/afgifter), benchmarking og tilvejebringelse af risikovillig kapital. Endelig skal den teknologiske viden naturligvis være til rådighed som basis for forretningsgørelsen.

3 Sårbarhed for ændringer i vandets kredsløb som følge af klimaændringer

Klimaændringer forventes ikke at medføre ændringer i jordklodens samlede vandmængde, men andelen af ferskvand vil mindskes på grund af afsmeltning af gletsjere og iskapper. Samtidigt vil det humane vandforbrug af ferskvand stige med befolkningstilvæksten og generelt øge direkte og indirekte vandforbrug per capita. I gennemsnit er der dog rigelige mængder vand til humant forbrug; problemet er, at vandet ikke er jævnt fordelt over jorden; nogle steder er der for meget vand og andre steder for lidt i forhold til de aktiviteter, som mennesker gerne vil udføre. Samtidig forskyder klimaændringerne, vandet til steder, hvor det kan være til skade for de fysiske aktiver, som mennesker har etableret netop fordi vandmængden er passende på det pågældende sted. Overordnet kan problemstillingerne koges ned til:

- Gennemsnit
 - Tilgængelighed af nødvendige vandressourcer i fornøden kvalitet
- Ekstremer
 - Tørke
 - Oversvømmelser

Det er naturligvis gennemsnitsændringerne over tid, der er vigtigst, når det handler om bæredygtig vandressourceforvaltning. Det er muligt at lave effektive tilpasningstiltag mod oversvømmelse og til dels mod tørke. Hvis der ikke er de fornødne vandressourcer naturligt i området, har det afgørende betydning for den tekniske indsats, der er nødvendig for at undgå, at det påvirker humane aktiviteter. Desværre er det med hensyn til de tilgængelige vandressourcer en overordnet tendens, at steder med rigeligt vand vil få mere vand som følge af klimaændringer, mens områder med vandstress vil få mindre tilgængeligt vand som følge af klimaændringer.

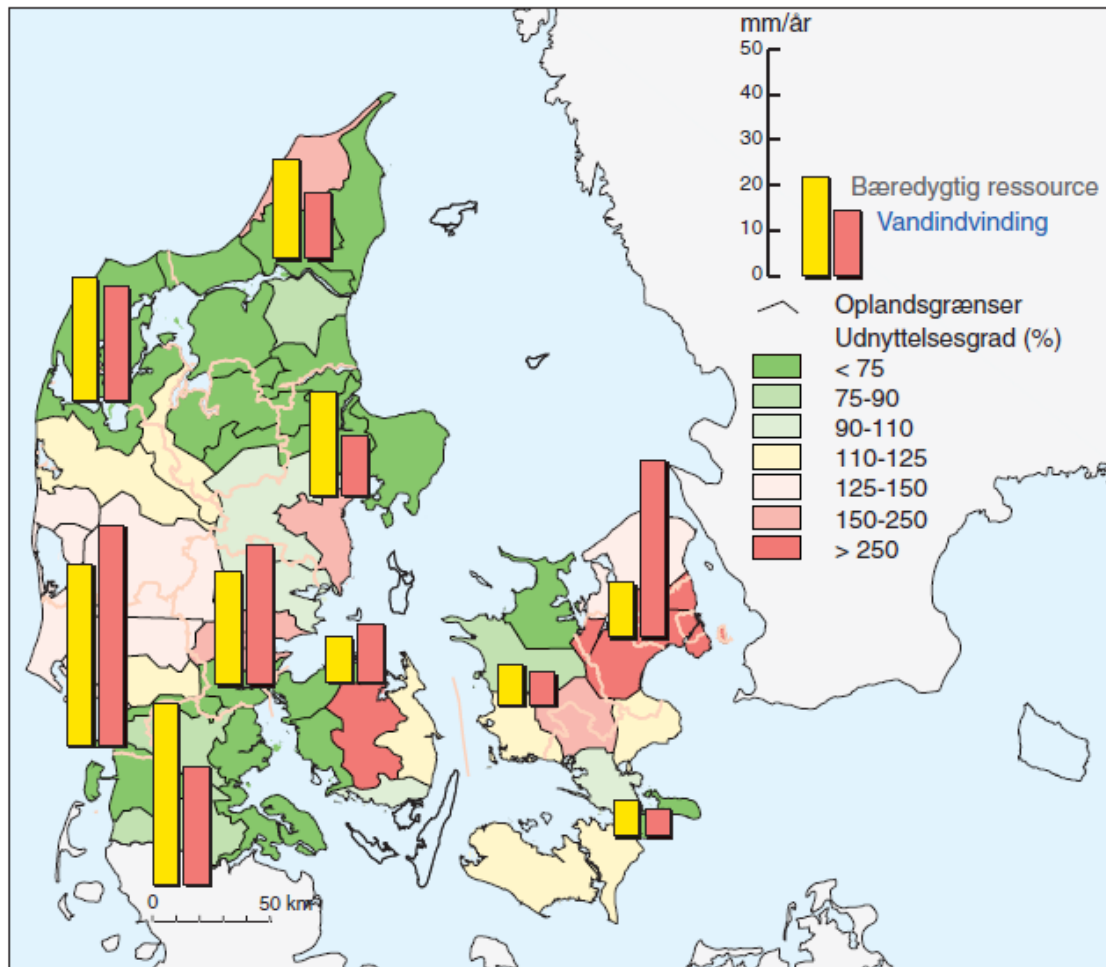
I det følgende diskuteres først klimaændringernes indflydelse på danske forhold, hvorefter de internationale udfordringer gennemgås. Parry et al. (2007) har lavet en grundigere regional gennemgang af internationale forhold.

3.1 Udfordringer i Danmark

Status

I 2003 blev drikkevandsressourcen i Danmark opgjort for i alt 50 underområder og 10 større deloplande, se figur 4 (Henriksen og Sonnenborg, 2003). Den udnyttelige ressource for hele landet udgør ca. 1 mia. m³/år, svarende til at kunne opfylde behovet selv ved stort vandforbrug i landbruget. Der er dog områder, hvor der sker en klar overudnyttelse af de tilgængelige vandressourcer. Derudover påviser udredningen, at

den udnyttelige ressource faldt fra 1.8 mia. m³/år i 1992 til 1.0 mia. m³/år i 2003 blandt andet på grund af klimavariationer og pesticider.



Udnyttelige ressourcer – nærmere forklaring i teksten. (Grafik: Forfatterne)

Figur 4. Skøn over den udnyttelige vandressource i Danmark. Det ses, at selv om der i gennemsnit er tilstrækkelige vandressourcer i Danmark er der vandstress i områderne omkring Storkøbenhavn, Århus og Odense (Henriksen og Sonnenborg, 2003)

Forventede klimaeffekter

De forventede hydrologiske effekter af klimaændringer i Danmark er:

- Øget vinternedbør målt over hele sæsonen
- Mindsket sommernedbør målt over hele sæsonen
- Øgede ekstreme nedbørsintensiteter
- Øgede maksimale vandføringer i vandløb
- Øget risiko for tørke
- Mindskede minimumsvandføringer i vandløb

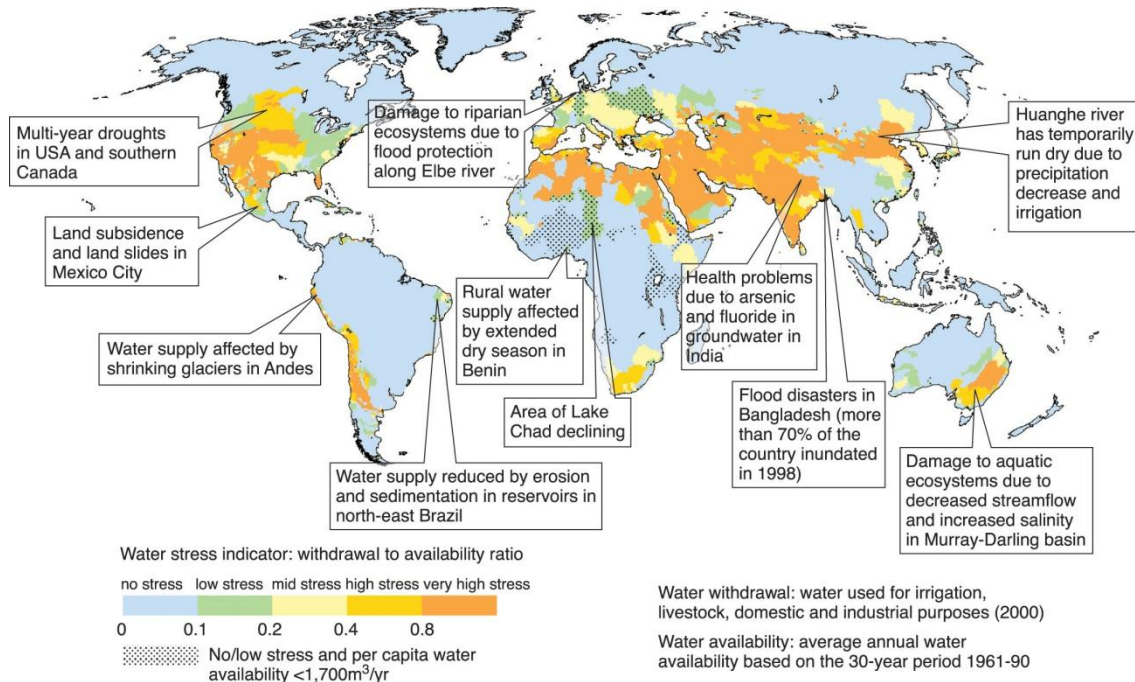
- Øgede gennemsnitlige og maksimale havvandstande
- Uændret til stigende grundvandsdannelse

Som det fremgår af effekterne, er billedet lidt blandet. Overordnet indebærer ændringerne ikke store effekter for mennesker i form af manglende vandressourcer, men vil kunne medføre, at der i nogle år vil være en mindsket landbrugsproduktion som følge af vandmangel. Der er næppe tvivl om, at de forøgede risici i forbindelse med oversvømmelser vil være den største udfordring i Danmark.

3.2 Udfordringer internationalt

Status

Der er store variationer i, hvorvidt der er tilstrækkelige vandressourcer på forskellige lokaliteter, se figur 5. I nogle regioner med en øget tendens til vandstress skyldes det klimatiske ændringer, men i mange områder skyldes manglen på tilstrækkelige vandressourcer i højere grad et øget behov for vand. Endelig spiller geologien en stor rolle for den tilgængelige vandressource. Klimaændringerne forøger dermed et eksisterende stort problem i visse egne.

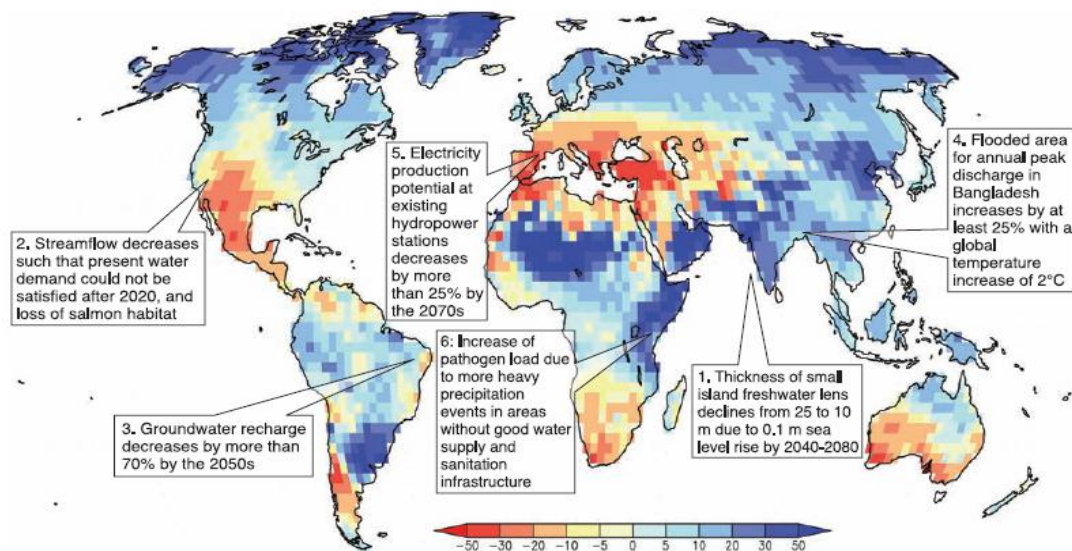


Figur 5. Eksempler på aktuelle problemer med vandressouceforvaltning angivet med beregnet vandstress som baggrundskort (Kundzewicz et al., 2007).

De forskellige forhold skaber også meget forskellige vandforbrug. En opgørelse udført blandt 38 lande viser at årsvandforbruget varierer fra ca. 5 til mere end 200 m³ per forbruger. Den samme opgørelse viser en tilsvarende variation i vandpriserne uden nogen sammenhæng mellem vandforbrug og pris. Ifølge denne opgørelse har Danmark verdens højeste priser på vand til forbrugere på trods af en billig vandforsyning. Den høje pris skyldes miljøafgifter og den inkluderede pris for spildevandsbehandling (IWA, 2008).

Forventede klimaeffekter

Der vil forventeligt falde mindre nedbør i områder nær ækvator, mens der vil falde mere nedbør i højere breddegrader. I kombination med en generelt øget tendens til fordampning i mange områder, vil de mest tørre områder forventeligt være omkring Middelhavet, sydlige Nordamerika og sydlige Australien se figur 6.



Figur 6 Eksempler på klimaændringers forventede effekter for udvalgte lokaliteter. Baggrundskortet viser de forventede ændringer i afstrømning (Kilde Kundzewicz et al., 2007).

Der er folkerige områder i især det sydlige USA, og Sydeuropa, der vil blive ramt af den gennemsnitlige forøgelse af vandstress og risiko for tørke. Samtidigt vil allerede våde områder i f.eks. den indiske halvø og i Kina blive ramt af øget risiko for oversvømmelser. Kortet angiver ikke den forøgede risiko for oversvømmelse fra stigende havvandstand, som vil ramme nogle kystnærstrækninger hårdt.

4 Anvendelser af vand

Udviklingen i vandforbruget viser at forbruget har været kraftigt stigende og på blot 100 år er forbruget på verdensplan 8-doblet. Forbruget i 1900 var lidt over 500 km³, som steg til 2000 km³ i 1960 og til et aktuelt forbrug på omkring 4000 km³. Omtrent 70 % af vandforbruget anvendes i landbruget, 20 % i industrien og 10 % til husholdning ((FAO, 2008)). Anvendelse af vand kan f.eks. opdeles i fem hovedgrupper:

- 1) Husholdningsbehov
- 2) Landbrug
- 3) Rekreativt vand / overfladevande
- 4) Industrielle og urbane formål
- 5) Transportvej

Det bemærkes, at med undtagelse af transportveje er det altovervejende de 3% af vandressourcerne der er ferskvand, der anvendes til ovennævnte formål.

I det følgende vil skøn over udviklingen i hver af hovedgrupperne blive beskrevet separat. Det vurderes dog ikke at være relevant at skønne udviklingen for transportveje.

4.1 Udvikling i husholdningsbehov

Status og forventet udvikling af forbrugsmængder i Danmark

I Danmark er der en meget decentral drikkevandsforsyning baseret på simpel rensning af stort set uforurenet grundvand. Større andel af forurenet grundvand i Danmark kan dog medføre en mere centraliseret struktur, fordi flere lokale kildepladser må lukkes, eller mere avancerede behandlinger introduceres. Spildevandsstrukturen har som følge af mere avancerede behandlingsstrukturer gennemgået en betydelig centralisering, og kommunalreformen har medført, at mange har planer om yderligere centralisering inden for de næste årtier. På længere sigt er der både tendenser til øget centralisering og øget decentralisering af spildevandsbehandlingen. Befolkningstallet og forbruget per capita i Danmark forventes ikke at øges væsentligt i fremtiden.

Status og forventet udvikling af forbrugsmængder internationalt

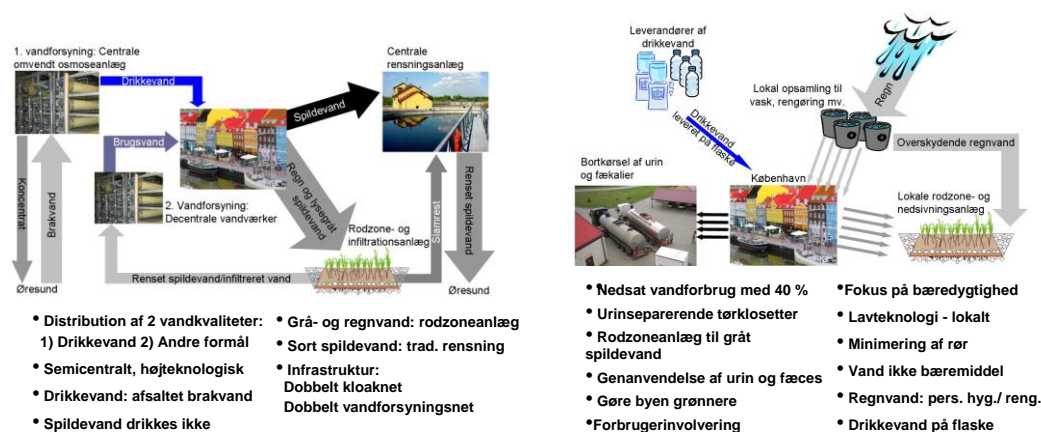
Internationalt er der kun få lande, der baserer deres vandforsyning af husholdninger udelukkende på grundvand. I mange lande er forsyninger baseret på overfladeressourcer dominerende. Spildevandsbehandlingen er af meget varierende kvalitet, hvilket blandt andet kan ses af, at kun halvdelen af EUs lande er færdige med at implementere byspildevandsdirektivet. Større befolkningstal og større velstand forventes at medføre en kraftig vækst i husholdningsbehovene internationalt. Hertil kommer en væsentlig vækst i andelen af borgere, der bor i byer fra omkring 50% nu til mere end 65% i 2050 (FN, 2010). Sammen med større pres på anvendelsen af vandressourcer generelt må det

derfor forventes at der vil ske en kraftig vækst i centraliseret drikkevandshåndtering og spildevandsbehandling. Spildevandsbehandlingen vil være nødvendig for at afskære smitteveje af patogener, mindske udledningen af drivhusgasser og udnytte ressourcerne i spildevandet.

Forventet udvikling af struktur for forsyning af husholdningsvand

Ud fra fremskrivning af behovene for husholdningsvand kunne man godt forestille sig et "business-as-usual" scenarium for forsyningsstrukturen i 2060. Imidlertid vil fremskrivning af miljøhensyn, behovet for udnyttelse af ressourcer f.eks. fosfor og energi i spildevand, teknologisk udvikling mv. gøre andre scenarier mindst lige så sandsynlige. Endvidere vil priserne på energi og transport få afgørende indvirkning på den fremtidige udvikling af vandforvaltningsstrukturerne.

I Rygaard et al. 2009 udledes 9 realistiske fremtidsscenarier for vandforsyningen i København afhængigt af, hvilke tendenser man lægger vægt på. To af disse scenarier er vist i Figur 7. , (Binning et al., 2006; Rygaard et al. 2009).



Figur 7 Eksempler på mulige fremtidige vandforvaltningsstrukturer i Storkøbenhavn (Rygaard et al., 2006).

Såvel eksemplerne i figur 7 som det øgede pres på vandressourcerne vil gøre kilderne til husholdningsvand mere diverse. Det er en tendens, der er helt sikker i udlandet, men som formentlig også vil medføre ændringer i den danske forsyningsstruktur. Der er dog også væsentlige barrierer, ikke mindst hvordan man skal håndtere afskrivning af de meget store værdier, der er knyttet til den nuværende infrastruktur.

4.2 Udvikling i landbrugsbehov

Status og forventet udvikling af forbrugsmængder i Danmark

Den animalske produktion af især svin udgør en meget stor andel af landbrugsproduktionen og den vil ikke blive væsentligt berørt af klimaændringer. Planteproduktionen vil få et større vandingsbehov, men som nævnt i kapitel 3 vil klimaændringerne også medføre større nedbør og grundvandsdannelse, så der vil ikke være en klar tendens mod et større forbrug.

Status og forventet udvikling af forbrugsmængder internationalt

I mange af verdens største produktionsområder vil der blive forøget vandstress og der vil derfor blive behov for udvikling af metoder til landbrugsproduktion, der udnytter vandet mere effektivt, både ved teknologisk udvikling af vandingsudstyr og ved udvikling af mere tørkeresistente afgrøder. Derimod vil befolkningstilvæksten og ændrede spisevaner på grund af fokus på klimaændringer have en meget større effekt på forbrugsmængderne. Endvidere forudsiges at der bliver stillet krav til vandkvaliteten og dermed forøget vandstress.

Forventet udvikling af struktur for vanding i landbruget

Der må forventes en væsentlig udvikling af nye metoder til at transportere vand over korte og lange afstande og udvikling af metoder til mere effektiv vanding både energi og spild. Metoderne til at transportere vand vil være de samme som anvendes til forsyning af byer med husholdningsvand. Der vil være et vist potentiale for at anvende mere effektivt vandingsudstyr i Danmark, men som angivet i figur 6 gælder det kun udvalgte områder i Danmark. Det kan også forventes at der vil blive lagt restriktioner på landbrugets vandingsmetoder. Vanding om dagen vil næppe på langt sigt være tilladt (gælder sikkert også andre lande).

4.3 Udvikling i behov til rekreativt vand / overfladevand

Status og forventet udvikling af forbrugsmængder i Danmark

Der har siden 1970erne været stadigt stigende krav til vandkvaliteten i overfladevande i Danmark, både til naturformål og til vand, der anvendes rekreativt. Udviklingen er i dag drevet af EU-lovgivning, både Vandrammedirektivet og en række direktiver vedrørende stoffer, der er særligt forurenende. Der er for øjeblikket store interesser i også at anvende vand rekreativt i byområder, og det er sandsynligt, at denne tendens vil fortsætte. Kravene til ikke mindst fosfor vil med sikkerhed stige, men ellers er det vanskeligt at forudsige, hvorvidt tendenserne mod stigende miljøbevidsthed vil stige, eller om de flader ud på det niveau, der er defineret i Vandrammedirektivet.

Status og forventet udvikling af forbrugsmængder internationalt

Internationalt forventes der en kraftig stigning i kravene til vand af drikke kvalitet på grund af kraftig økonomisk vækst og dermed mulighed for at prioritere miljøhensyn samt udvinding af ressourcer i de enkelte vandstrømme. Der vil lokalt opstå gnidninger mellem ikke mindst behovet for denne type vand og vand til landbruget.

Forventet udvikling af struktur for rekreativt vand / overfladevande

Udviklingen vil medføre dels en stigning i renseteknologier, der kan medføre at overfladevande har en god tilstand, dels en stigning i decentrale løsninger, der gør, at vandets kredsløb bliver mere uforstyrret.

4.4 Udvikling i industrielle behov

Status og forventet udvikling af forbrugsmængder

Denne udvikling forventes at være ens i Danmark og internationalt. Der vil generelt være stor fokus på at nedbringe ressourceforbruget pr. produceret enhed, herunder etablering af (næsten) lukkede vandkredsløb og kraftige energireduktioner. De store vandforbrugende producenter har allerede reduceret vandbehovet betydeligt de seneste årtier med eksempler fra f.eks. produktion af læskedrikke, mejerier og akvakulturer.

Forventet udvikling af struktur for industri

Der er allerede sket en betydelig udvikling af rensemetoder til industrielt spildevand, der kan rense vandet effektivt og målrettet. Denne udvikling vil fortsætte og øges yderligere, idet det vil give mulighed for at anvende vandet til andre formål. Det vand som udledes vil enten blive recirkuleret internt på industriområdet/virksomheden eller blive rensat til specifik anvendelse i en af de andre typer af anvendelser. Der kan også forventes flere eksempler på industrielle symbioser, hvor procesvandet fra en fabrik indgår i en anden virksomheds processer.

Undtagelsen fra den overordnede tendens vil være brugen af vand til køleformål, f.eks. som led i produktion af elektricitet. Denne form for industrielt behov vil være stigende, blandt andet fordi den eksisterende infrastruktur for strømproduktion fastlåser dette behov i mange år fremover.

4.5 Implikationer for teknologiudvikling

På baggrund af de forventede udviklinger i behov for anvendelser af vand, kan følgende overordnede driver for teknologiudviklingen opsummeres:

- Krav til mindskede udledninger af drivhusgasser og andre ressourcemæssige optimeringer af brugen af selve vandressourcen og alle andre begrænsede ressourcer
- Tilfredsstillelse af befolkningers krav, som ofte ligger langt fra økonomiske optima og umiddelbar optimal og bæredygtig fordeling af ressourcerne. Det kan derfor være nødvendigt at anvende relativt store incitamerter, herunder økonomiske, for at opnå en samlet set bæredygtig vandforvaltning.
- Ukendte krav fra meningsdannere, regeringer og andre magthavere af f.eks. militære eller strategiske hensyn
- Frihed til at vælge mere frit mellem meget forskellige typer af vandressourcer og kontrollere ressourceallokering på både meget lille og meget stor skala.

5 Tilpasningsteknologier inden for vandområdet

Der er udarbejdet flere oversigter over den forventede teknologiske udvikling på vandområdet inden for de nærmeste år (f.eks. Andersen et al., 2006; Erhvervsklimapanelet, 2008), og der er på europæisk niveau netop udgivet en større udredning om den forventede teknologiske udvikling frem mod hhv. 2015 og 2030, der i noget omfang kortlægger problemer med europæiske styrkepositioner og udviklingsbehov på teknologiområdet (ACQUEAU, 2010). Opsummeringen af, hvilke vandteknologier der ser lovende ud, er opsummeret i tabel for de to mest detaljerede udredninger.

Tabel 2. Eksempler på teknologier som forventes modnet og implementeret på kort og lidt længere sigt ifølge to udredninger.

Erhvervsklimapanelet 2008	ACQUEAU 2010
<ul style="list-style-type: none">• Avancerede rensningsanlæg og teknik• Modellering og planlægning• Forbedret vandrensning• Genbrug af vand• Monitorering• Forbedret pumpning• Vandinddrivning og –besparelser• Kunstvanding i landbrug• Rør og faskiner• Rådgivning inden for planlægning• Modellering• Varsling og beredskab	<ul style="list-style-type: none">• Membranteknologi• Styring-regulering og overvågning• Lavenergi spildevandsbehandling• Materialer til rør og overfladebehandlinger• Lave miljøpåvirkninger for processer til desinfektion og oxidation

Denne rapport har som formål at sigte længere frem end de to udredninger nævnt ovenfor. På den baggrund er det vanskeligt at udpege konkrete teknologier, fordi udviklingen fra grundforskning til markedsmodning i mange tilfælde er kortere end de op mod 50 år, som denne fremskrivning dækker. Til gengæld er det muligt at pege på en række overordnede tendenser, som vil styre udviklingen. Vi har valgt at opdele disse tendenser i fem områder og beskrive vores bud på, hvordan de overordnede tendenser vil resultere i konkrete teknologiudviklinger. De, i tabel 2 nævnte teknologier, er alle konkrete eksempler på, hvordan de fem problemområder kan adresseres. Samtidigt bemærkes, at der over et 50 års perspektiv vil ske udviklinger, som forfatterne ikke kan kende til i form af teknologier, der grundlæggende ændrer på vilkårene, og som er udviklet inden for områder som pt. ikke har en kendt grænseflade til vandområdet. Som et konkret eksempel herpå kan nævnes udvikling af laser-teknologi og GPS-systemer, der tilsammen inden for det seneste årti har muliggjort udarbejdelse af topografiske

højdekort, der meget præcist kan benyttes til sårbarhedsanalyser af oversvømmelser. Denne udvikling er sket så hurtigt, at der endnu mangler en god ramme for, hvordan teknologien i praksis skal anvendes.

Overordnet er formålet med teknologien at sikre, at de behov, der blev påpeget i det foregående kapitel kan blive mødt i tilstrækkelig grad. En helt central antagelse om den teknologiske udvikling er, hvorvidt det stadig vil være almindeligt at benytte vand som forureningsbærer i især byområder. Der har de sidste 10-20 år været forsket i alternative systemer (blandt andet under navne som ecosanitation), men det har vist sig særdeles vanskeligt at finde andre systemer, som både lever op til de tekniske og kulturelle krav et moderne samfund stiller, ligesom store investeringer i infrastruktur fastholder den eksisterende struktur. Det antages i det følgende, at der i mange områder fortsat vil være mange systemløsninger baseret på den eksisterende infrastruktur af vandforsyning og afløbssystemer, men at også nye typer af systemer er udviklet.

Centralt for den teknologiske udvikling er de typer af ressourcer, der vil blive benyttet til hvilke anvendelser. Tabel 3 er forfatterens subjektive bud på, hvilke anvendelser der er i fokus nu og om 50 år. Globalt set er der strukturel forskel på situationen i områder, der lider under for meget vand (oversvømmelser) og områder med for lidt vand. Oversvømmelser kan i visse steder betragtes som et luksus problem, hvor der i mange tilfælde kan findes relativt billige tekniske løsninger, hvorimod tørke udgør en helt anderledes strukturel trussel for hele samfundet. Den underliggende hypotese bag tabel 3 er, at der vil ske en diversificering af såvel, hvilke ressourcer der anvendes, og hvilke vandkvaliteter der fordres. Dermed vil mange nye teknologier komme i spil for at sikre optimal anvendelse i mange nye anvendelsessituationer. Afhængigt af tidsperspektiv og økonomisk styrke kan man så udvælge forskellige områder at fokusere på. Det grønne område vurderes at være centralt for at være på det danske marked og der er betydelige eksportpotentialer også inden for dette område. De blå og gule områder vurderes også at være meget væsentlige markeder internationalt, men der vil ikke med samme styrke være en naturlig mulighed for at have et hjemmemarked. De grå områder vurderes ikke at udgøre et væsentligt potentiale, hverken i Danmark og internationalt.

Danmark er et område med et begrænset vandstress, der ikke forventes at blive øget væsentligt fremover. Dermed vil den primære drivkraft for hjemmemarkedet være håndtering af ekstra vandmængder i form af f.eks. oversvømmelser. Imidlertid vil mange af teknologierne kunne anvendes uanset tilgængeligheden af den lokale vandressource. Det er derfor valgt at opdele og beskrive den forventede teknologiske udvikling ud fra fem overordnede emner, der ikke fokuserer specifikt på hvorvidt der vil være et betydeligt hjemmemarked for disse teknologier. De fem emner er:

Tabel 3. Oversigt over forventede skøn i anvendelse af forskellige typer af vandressourcer til forskellige formål.

Anvendelse Ressource	Vandbehov								Vandets kredsløb					
	Drikkevands- kvalitet ¹		Næsten drikkevands- kvalitet ²		Bedre end drikkevand ³		Landbrug/Dambrug		Grundvand- dannelse		Fersk overfladevand dannelse		Andre recipienter	
	2010	2060	2010	2060	2010	2060	2010	2060	2010	2060	2010	2060	2010	2060
Grundvand	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	-	-	0	0	-	-
	INT	INT	INT	INT	INT	INT	INT	INT	-	-	0	0	-	-
Forurennet grundvand ⁴	0	DK	0	DK	0	DK	DK	DK	-	-	0	0	-	-
	INT	INT	int	INT	int	INT	INT	INT	-	-	0	0	-	-
Overfladevand (floder, søer, åer)	0	0	0	0	0	0	dk	dk	0	dk	-	-	-	-
	INT	INT	INT	INT	INT	INT	INT	INT	int	INT	-	-	-	-
Afstrømmet regnvand/drænvand (afstrømmet fra et større areal)	0	0	0	dk	0	0	0?	dk	0	DK	DK	DK	DK	DK
	int	INT	int	INT	int	INT	int	INT	int	INT	INT	INT	INT	INT
Regnvand (decentraliseret opsamling)	0	0	0	dk	0	0	0	0	dk	DK	dk	dk	dk	dk
	int	INT	int	INT	int	INT	int	INT	int	INT	int	int	int	INT
Byspildevand ⁵	0	0	0	dk	0	0	0	DK	0	dk	DK	DK	DK	DK
	int	INT	int	INT	int	INT	INT	INT	int	int	INT	INT	int	INT
Industri: Kemisk-teknisk	0	dk	0	dk	0	dk	0	dk	0	0	dk	dk	0	dk
	int	int	int	INT	int	INT	int	INT	0	int	int	int	int	INT
Havvand (havvand eller brakvand)	0	dk	0	dk	0	dk	0	dk	0	0	-	-	-	-
	int	INT	int	INT	int	INT	int	INT	0	int?	-	-	-	-
Industri: Fødevare, træ og hospitaller (typisk høj COD og patogene)	0	0	0	0	0	0	0	dk	0	0	dk	dk	0	dk
	0	0	0	0	0	0	int	int	0	0	int	int	int?	INT
Industri: Dambrug	0	0	0	0	0	0	0	dk	0	0	DK	DK	dk	dk
	0	0	0	0	0	0	int	INT	0	0	INT	INT	int?	INT
Gråt spildevand (decentraliseret opsamling fra husholdning / bygning)	0	0	0	dk	0	0	0	0	dk	dk	dk	dk	0	dk
	int	INT	int	INT	0	int	int	INT	int	int	int	int	0	int
Sort spildevand (toilet spildevand, decentraliseret opsamling)	0	0	0	0?	0	0	0	DK	0	0	-	-	0	dk
	int	int	int	int	int	int	int	INT	0	0	-	-	int	int

Grøn: Større behov både i Danmark og internationalt; Gul: Mindre behov i Danmark og mindre/større behov internationalt; Blå: Intet eller lille behov i Danmark/større behov internationalt; Grå: Ingen behov i Danmark og ingen/mindre behov internationalt; - ikke anvendelig; 0 bruges ikke p.t. (eller kun enkelte små anlæg eksisterer i Danmark); 1 drikkevand, personlig hygiejne, opvask; 2 Tøj-, bil- og vinduesvask, toiletskyl, vanding, kølevand, gadefejning etc; 3 Svømmebad, fødevarerindustri, kemisk-teknisk industri; 4 forurennet af menneskeskabte aktiviteter, næringsstoffer, pesticider, metaller osv; 5 centraliseret sanitær spildevand og afstrømmet regnvand

- Ressourceallokering i tid
- Ressourceallokering i sted
- Ændring af stofindhold
- Viden om mængder og kvalitet af vand
- Integration med andre ressourcer

5.1 Ressourceallokering i tid

Inden for et oplands grænser vil ændringer i vandforbrug og ressourcegenerering medføre et stort og stigende behov for at udjævne vandforekomster over tid samtidigt med at klimaeffekter vil medføre ændringer af såvel de gennemsnitlige forekomster som større tidslige variationer i den naturligt tilgængelige ressource. Der er store økonomiske omkostninger ved lav forsyningssikkerhed til generel vandforsyning og forsyning til industriel produktion, men også andre typer af anvendelser kan være kritiske overfor for lidt eller for meget vand.

5.1.1 Vandbesparende foranstaltninger

Den simpleste måde at ressourceallokere over tid er at mindske behovet for brug af ressourcen og hermed behovet for at håndtere store vandmængder over tid. Danmark har allerede iværksat udvikling inden for dette område ved anvendelse af økonomiske styringsinstrumenter, idet Danmark ligger højt i forhold til sammenlignelige lande med hensyn til prisen pr m³ leveret vand og andelen af husholdninger, der benytter forbrugsbaseret afregning (IWA, 2008). I kombination med økonomiske virkemidler til at mindske tab af vand mellem vandværk og forbruger, har der i forhold til det faktiske vandstress været en god driver for udvikling på dette område i Danmark. Øget pres på uforurenede grundvandsressourcer i Danmark og vandstress generelt i store dele af verden vil give en kraftig udvikling i teknologi, der fokuserer på vandbesparelser i alle dele af vandressourceforvaltningen.

5.1.2 Lukkede vandkredsløb

En indirekte måde at opnå vandbesparelser på er ved at recirkulere vand lokalt i stedet for at opretholde et lineært forløb fra kilde til kande til recipient. Det kan ske på husholdningsniveau, oplandsniveau eller i forbindelse med industriel produktion. Selvom den teknologiske udvikling inden for lukkede vandkredsløb vil blive drevet af såvel behandlingsteknologier som forbedrede måleteknologier til sikring af viden om aktuel vandkvalitet, eventuelt i forbindelse med reviderede retningslinier for anvendelse af vand med anden kvalitet end drikkevandskvalitet. Der henvises derfor til afsnit 5.3 og 5.4 mht. den teknologiske udvikling.

5.1.3 Reservoirer

Udjævning af vandressourcen i form af opbevaring er besværligt og pladskrævende, fordi der er tale om store mængder. Ferskvand i større mængder opbevares naturligt i søer, grundvand og gletchere. Det må forventes, at der vil ske en udvikling imod kunstige processer, der stimulerer tilstrømningen til reservoirer. Det kan ske i form af mindsket fordampning, accelereret nedsivning eller direkte nedpumpning af forskellige vandtyper til øget grundvandsproduktion eller i form af styring af vandmængder i søer. Udnyttelsen af reservoirer kan både ske af hensyn til mennesker og miljø.

5.1.4 Overskydende vand

Overskydende vand er kostbart i form af ukontrollerede oversvømmelser. Den teknologiske udvikling til håndtering af overskydende vand forventes at ske inden for forudsigelse af oversvømmelsers forekomst, tids- og rumlige udstrækning og håndteringen af dem, så skader kan mindskes mest muligt. Overskydende vand er derfor omtalt i afsnit 5.4 og 6.1.

5.1.5 Infrastruktur

Den øgede betydning af vandinfrastruktur for vitale samfundsfunktioner, vil medføre krav om sikring af anlæg og processer mod såvel uoverlagte (hændelige uheld), som overlagte (terror) nedbrud eller misbrug. Der vil således være behov for udvikling af robuste teknologier, hvis funktion kun kan påvirkes af autoriserede personer.

5.2 Ressourceallokering i sted

Virkningsgrader på store pumper er ofte over 90% såfremt vandfluxen er veldefineret, og dermed er der næppe stort udviklingspotentiale for energioptimeringer på selve pumperne. Ved installation kan materialeruheden have en vis betydning, men aflejringer og filterhud medfører hurtigt, at driftsruhederne mellem forskellige materialer udlignes. Ud over de tre tendenser beskrevet nedenfor, vil der være et stort potentiale i at implementere allerede udviklede teknologier i form af f.eks. energieffektive pumper i mange eksisterende systemer. Samlet set må der derfor vurderes at være et kraftigt stigende behov for resourceallokering i sted.

5.2.1 Transport af vand

Behovet for at pumpe eller på anden måde transportere vand af alle forekomster vil stige væsentligt, og der vil være behov for udvikle fleksible løsninger med hensyn til såvel store som små systemer til pumpning af vand med meget forskellig vandkvalitet. De fremtidige krav til pumpe-systemer vil være energi- og resourceeffektivitet og

fleksibilitet ved håndtering af store variationer i vandmængder og –kvalitet, både på grund af betydelige variationer i fluxen i transportsystemerne, og fordi der vil blive installeret mange (og store) pumper, der kun skal bruges i ekstreme situationer. Samtidigt – og måske især – vil der være krav om fuld integration med andre ydelser som beskrevet i kapitel 6. Således vil der forventeligt blive udviklet systemer til at gøre pumper mv. til integrerede sensorer af både vandmængder og –kvalitet og via model- og kommunikationssystemer stå i forbindelse med andre sensorer og aktører og derved udgøre en autonom enhed til lokal og global optimering.

5.2.2 Materialeudvikling

Der vil blive udviklet nye materialer, der er mere egnede til at håndtere specielle typer af vandforekomster og hvor ressourceforbruget er optimeret med hensyn til produktion, drift og bortskaffelse. Der vil blive udviklet metoder/sensorer så den aktuelle tilstand af rør m.v. hele tiden er kendt, og uplanlagte nedbrud forhindres.

5.2.3 Infrastruktur

Der vil være et behov for at genoverveje anvendelsen af eksisterende infrastruktur (både til vand og andre formål) i forbindelse med retrofitting af især byer til fremtidens udfordringer. Investeringerne i vandinfrastruktur udgør en betydelig del af den samlede investering i infrastruktur, og ændringer i ressourceallokeringen i stedet har store implikationer for værdifastsættelsen af denne infrastruktur og virker hermed ofte som en lock-in situation, altså at en gang foretaget investering fastholder en forvaltningsstruktur, der er uhensigtsmæssig inden investeringen er tjent ind.

5.3 Vandbehandling

Der skelnes i dag i høj grad mellem vandbehandling til f.eks. drikkevandskvalitet og vandbehandling til recipientkvalitet eller andet (rensning af f.eks. byspildevand). Der sker allerede nu en sammensmeltning af teknologierne, internationalt findes der eksempler på genindvinding af spildevand til brug for ikke-drikkevandsformål, som f.eks. toiletskyl og produktion af fødevarer. Det forventes, at denne sammensmeltning af teknologier vil fortsætte, ikke mindst fordi de ønskede vandkvaliteter vil være meget mere varierede end i dag. Der vil endvidere være fokus på hvilke stoffer, der tilsvarende skal tilsættes, for at opnå den ønskede kvalitet, således at der vil være tale om kombinerede rense-, behandlings- og tilsættelsesprocesser. Det forventes, at ændring i stofindhold i høj grad sker i symbiose med forbedrede sensorer, som omtalt i det næste afsnit.

5.3.1 Avancerede kemisk-fysiske processer

Membranfiltrering er et eksempel på avanceret behandlingsproces inden for denne type af vandbehandling. Det forventes at filtrering vil kunne ske i såvel små og store anlæg og med væsentligt bedre driftsforhold end de nuværende. Det må endvidere forventes, at der er udviklet bedre metoder til fastholdelse, opsamling eller omdannelse af specifikke typer af stoffer baseret på deres kemiske egenskaber, ved udvikling af katalysatorer baseret på sorptionsegenskaber i kombination med f.eks. nanoteknologi. Specifikke katalysatorer kunne især finde anvendelse ved fjernelse af farmaceutiske eller andre miljøfremmede stoffer, enten inden udledning til det ydre miljø eller inden specifikke anvendelser.

5.3.2 Avancerede biologiske processer

Eksisterende spildevandsrensning er i høj grad baseret på udnyttelse af egnede bakterielle processer. Potentialet i at sikre yderligere selektion af bakterier vil kunne medføre bedre udnyttelse af ressourcer i forurenede vand, samtidigt med at vandet får en kvalitet, der er bedre egnet til formålet. Anvendelser af genteknologi vil spille en klar rolle, hvad enten det sker i form af tilsætning af specifikke enzymer eller genmodificerede organismer til fremme af specifikke processer i forbindelse med en overordnet ressourcevurdering. Man kunne forestille sig enzymer, der specifikt sikrer en hygiejnisering af vand til formål, hvor eksponeringen overfor mennesker er høj, men hvor stofferne i vandet ikke er til gene eller kan udnyttes i den efterfølgende anvendelse. Der kan f.eks. være tale om vanding af afgrøder i væksthuse, om akvakulturer eller rekreative formål. Der vil blive udviklet teknologi der minimerer udledning af drivhusgasser fra processerne.

5.3.3 Konstrueret spildevand

Byspildevand bestående af en bred række af kilder i stærkt varierende forhold vil i stigende grad blive erstattet af specifikke delstrømme med mere veldefinerede karakteristika og deraf følgende muligheder for optimering ved valg af behandlingsprocesser. Væsentlige drivere vil være muligheden for at lave mere lukkede og decentrale kredsløb af hensyn til forsyningssikkerhed og ressourceoptimering. Industrien er allerede begyndt at lave sådanne anlæg, men det må forventes også at kunne blive udbredt til f.eks. husholdninger i dele af verden.

5.3.4 Teknologiforenkling

En stor og måske endda meget stor del af fremtidens klimateknologier vil skulle anvendes under vanskelige forhold som fx ekstreme vejr-situationer, katastrofeområder, i konfliktzoner, ressource og uddannelsessvage områder, økonomisk fattige regioner mv. Dette vil kræve en teknologiforenkling og tilpasning, der gør avancerede processer pålidelige og tilgængelige under sådanne forhold. Der kan også være tale om at udvikle

simple teknikker fra bunden, der udbreder løsninger, der ellers kun er tilgængelige i stabile og industrialliserede områder.

5.4 Viden om mængde og kvalitet af vand

Effektive og billige sensorer i realtid vil være kernen i de intelligente systemer der forbinder delsystemerne til allokering og behandling af vandmængder og –kvaliteter ud fra overordnede ressourcevurderinger. Sensorerne vil indrapportere om anormaliteter, optimere behandlingsprocesser og sikre god anvendelse af fysiske aktiver. Tilsvarende modelområdet i dag (se afsnit 6.1) vil der være en skalerbarhed i sensorer som sikrer billig og hurtig overvågning og mere avancerede målinger, der kun anvendes i specielle tilfælde.

5.4.1 Ressourcesensorer

Der forskes allerede i dag i kvalitative metoder til at vurdere forekomst af ferskvandsressourcer baseret på remote sensing samt på kort-tids forudsigelser af nedbør baseret på kombinationer af punktmålinger, radar og satellitter kombineret med vejrmødelles. Kombinationen af flere typer af (remote) sensorer til en samlet vurdering af nuværende og kommende ressourcer over en lang række af tids- og rumlige skalaer vil blive kombineret med modelværktøjer til at have imødegængelsesstrategier til oversvømmelse og tørke.

5.4.2 Vandkvalitetssensorer

Der vil ske en voldsom udvikling af sensorer til såvel mikrobielle som kemiske formål, herunder især pålidelige og billige on-line proxy-målinger i kombination med mere præcise målemetoder i tilfælde af anormaliteter. På det mikrobiologiske område vil der i supplement til genteknologier også være fokus på præcise målinger af viabilitet og patogenese, mens de kemiske sensorer ved hjælp af bl.a. nanoteknologi, vil være rettet mod mere præcis og billig detektion af fortsat flere stoffer af betydning for vurdering af såvel forekomster som overvågning af behandlingsprocesser.

5.4.3 Tilstandsvurdering af infrastruktur

Omkostninger til infrastruktur til vand udgør en meget væsentlig andel af de samlede omkostninger til infrastruktur. Det må forventes, at automatiserede metoder til datafangst vil stige væsentligt, primært i form af sensorer udviklet i andre brancher.

5.5 Samspillet med andre ressourcer

Vand er en ressource i sig selv, men vand optræder ofte sammen med andre ressourcer i form af energi, næringsstoffer, osv. Udnyttelse af disse ressourcer samtidigt med at

vandet anvendes til det tiltænkte formål vil kræve samspil med andre sektorer for at kunne opnå en samlet set optimal anvendelse af ressourcerne.

5.5.1 Udnyttelse af andre ressourcer i vandressourcen

Der er i disse år megen fokus på optimering og udvinding af energi fra især spildevand. Denne udvikling vil fortsætte og vil medføre spill-over til andre typer af vandressourcer og andre typer af ressourcer i vandforekomsten. Slamudråkning fra renseanlæg er den første af en lang række af teknologier, hvor sikring af vandforekomster vil ske samtidigt med at andre mål også nås.

Spildevand rummer ressourcer som har en værdi og dermed rummer vandet en mulighed for at udnytte disse ressourcer. Tabel 4 giver en oversigt for byspildevand inklusive en grov prissætning ud fra den handelsværdi, som ressourcen repræsenterer i dag.

Tabel 4. Eksempler på ressourcer i byspildevand som allerede i dag tillægges et økonomisk potentiale.

Ressource	Mængde/m ³ spildevand	Værdi DKK ca.	Totalt DKK /m ³ spildevand
Vand	1000kg	0.001 kr/kg	1
Bio energi	0.19 m ³ metan = 2kWh ¹	1 kr/kWh	2
Varmeenergi (minus 8° C med varmepumpe)	8.000.000 kcal = 2 kWh	1 kr/kWh	2
Kulstof	250 g acetat ¹	4 kr/kg	1
Biopolymer (PHB/PHA)	200 PHB ¹	7 kr/kg	1.5
Kvælstof	50 g	5 kr/kg	0.25
Fosfor	4 g	20 kr/kg	0.08

¹ 500 g COD/m³ spildevand.

Tabellens tal er overslag, der skal illustrere potentialet. Hvor meget, der kræves for at få potentialet udnyttet, er der ikke taget stilling til, idet der vil ske en voldsom udvikling i nettoeffektiviteten af udvindingen af ressourcerne. Det skal bemærkes, at man ikke kan bruge det samme organiske stof både til metanproduktion, acetatproduktion eller biopolymerproduktion. Vand i spildevand regnes for en ressource i lande med store problemer med vandressourcen. Her benyttes det til kunstvanding, hvor man samtidig kan udnytte spildevandets indhold af næringssalte.

Når spildevandet dannes, sker der en sammenblanding af de anførte ressourcer. Traditionelt har man ikke taget hensyn til, hvordan spildevandet skulle konstrueres med henblik på optimal mulighed enten for rensning eller for udnyttelse af de iboende ressourcer. Det bør derfor overvejes, om man ved spildevandskonstruktion kan reducere sammenblandingen og dermed få ressourcer, der er lettere at udnytte. For eksempel rummer urin hovedparten af spildevandets kvælstof. En adskillelse af urin vil give et materiale, hvor det er lettere og billigere at genbruge kvælstoffet. Omvendt kan tilførelse af lokale ressourcer i en samlet behandlingsproces være optimal i nogle tilfælde, f.eks. i form af at tilføje organisk stof fra husholdninger til husholdningsspildevand for at få en effektiv udrådningsproces.

Industrispildevand rummer større mængder af ressourcer og der er potentialet normalt langt større end byspildevand. Særligt spildevand fra fødevarerindustri har store koncentrationer af organisk stof der kan omdannes til metan, el og varme. Det sker allerede i et vist omfang, men der er store uudnyttede potentialer. Den faktiske udnyttelse af potentialerne hænger tæt sammen med de vurderings- og optimeringsværktøjer beskrevet i afsnit 6.1.

5.5.2 Integration med energisystemer

Håndtering af varierende vandmængder og vandkvaliteter kan betyde øgede krav til behandlingsintensitet og eventuelt også øget energibehov. Der vil være behov for at udvikle klimatilpasningsteknikker, som er forenelige og eventuelt drager nytte af et fleksibelt elsystem. Det kan fx være gennem optimering af biologiske processer til brug under diskontinuerlige driftsforhold (f.eks. ønske om mulighed for hurtig start/stop). I sådanne tilfælde kan der produceres, når strømmen er grøn. Udvikling af kombineret energiproduktion og vandbehandling, der kan gøre vandhåndteringen uafhængig af central energiproduktion, vil kunne øge stabiliteten af vandhåndteringen, ligesom der er potentiale for at benytte f.eks. slam og vand som energibærer i form af hhv. udrådning og potentiel energi.

6 Ydelser, tjenester og løsninger som øger værdien af tilpasningsteknologier

De foregående kapitler har givet en oversigt over hvilke teknologier, som vi mener forventeligt vil blive udviklet og implementeret i de kommende årtier inden for klimatilpasningsområdet. Overordnet vil ydelser, tjenester og løsninger blive opdelt i to grupper, baseret på om der er tale om en viden, der understøtter eller anvender teknologisk viden, eller om der er tale om forretningsmodeller, der sigter mod en bedre forretningsgørelse af den konkrete teknologi (med eller uden yderligere viden).

Fælles for ydelser, tjenester og løsninger er, at de har kort ”teknisk levetid” sådan at forstå, at selv om en teknologi kan have en meget lang levetid, vil en given indpakning af en teknologi sjældent have en levetid på mere end ganske få år. Derefter er der tilføjet væsentlig ny funktionalitet for fortsat at være markedsledende. Samtidigt medfører en sådan bundling af teknologi med anvendelsesrelaterede hjælpefunktioner, at potentialet for udnyttelsen af teknologien hurtigere og mere effektivt penetrerer markedet. De teknologiske landvindinger skal derfor suppleres med nødvendige støttefunktioner i form af ydelser, tjenester og løsninger.

Fordi udviklingen af ydelser, tjenester og løsninger er så afgørende for en teknologis evne til penetrering af et marked og har en så kort levetid, går udviklingen meget hurtigt. Det er derfor ikke realistisk, at forestille sig at lave en fremskrivning over flere årtier, der dækker de landvindinger, der vil blive gjort på dette område. I stedet vil der i dette kapitel blive peget på nogle minimums-tendenser, som har været gældende i mange år, og som vurderes at være nødvendige for (men næppe tilstrækkelige til) at være markedsledende.

6.1 Udvikling og anvendelse af værktøjer der understøtter og/eller anvender teknologi

6.1.1 Vurderings- og optimeringsværktøjer

Formålet med optimeringsværktøjer er simpelt. Som Brundland formulerede det: ”meeting the demands of the current generation without compromising the needs of future generations” (World Commission on Environment and Development, 1987). Denne simple formulering har imidlertid vist sig svær at gøre operationel. Bæredygtighedskriterier er derfor et komplekst forskningsfelt, hvor der har været stor aktivitet de sidste 30 år. Det mest kendte optimeringsværktøj, der fokuserer på vand er integreret vandforvaltning (Integrated Water Resource Management) og virtuelt vand

(Virtual Water); nedenfor er mere helhedsorienterede optimeringsværktøjer diskuteret, idet det må forventes, at der vil ske en væsentlig integration af bæredygtighedsværktøjer for at kunne overskue stadig mere komplekse sammenhænge.

Inden for produktudvikling er der udviklet standardiserede vurderingsværktøjer i form af livscyklusanalyser (Life Cycle Assessments) og livscyklusomkostninger (Life Cycle Costing) og senest mere complicerede bæredygtighedsprincipper i form af Cradle-to-cradle og LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Tilsvarende har økonomiske værktøjer i form af cost-benefit analyser og cost-efficiency analyser vundet stor udbredelse, når aktører har skullet træffe beslutninger omkring konkrete projekter, og forskellige former for multikriteriemodeller har været anvendt, såfremt det ikke har været muligt at opnå enighed om vægningen mellem forskellige typer af effekter.

I en fortsat mere kompleks verden vil det være nødvendigt med mere komplekse beslutninger, hvor tilsyneladende inkongruente størrelser skal sammenlignes over forskellige typer af positive og negative effekter, tidshorisonter, temporal-spatial skala og aktører. Nogle forskningsprojekter påpeger, at de konkrete værktøjer sjældent anvendes af andre end de, som har udviklet dem, f.eks. PETUS (2005). Omvendt kan et optimeringsværktøj være afgørende for at påpege nye teknologiers potentialer og den forståelse af sammenhænge, som er etableret via udviklingen af de konkrete optimeringsværktøjer, vil diffundere til beslutningstagere og dermed markedet for teknologier. Inddragelse af eksisterende infrastruktur og ”windows-of-opportunity” for forandringer vil også være en del af vurderings- og optimeringsværktøjerne.

6.1.2 Risikostyring

Inden for risikostyring er der pt. to udviklinger, der går i hver sin retning. Den ene udvikling er i retning af en mere observerende tendens. I denne mere narrative tilgang lægges stor vægt på den oplevede risiko. Derfor vil der ofte ske store indgreb efter hændelser, der har stor skadevoldende effekt, uanset hvorvidt denne hændelse er meget usandsynlig i forhold til skadevirkningen. Den anden tendens er introduktion af egentlige risikoanalyse-værktøjer til vurdering af såvel vandbehandlingsanlæg, som skader hidrørende fra overbelastning eller fejl i forbindelse med vandforvaltning.

En mere kompleks og ressourceoptimerende fremtid med mere avancerede bæredygtigheds- og optimeringsværktøjer vil nødvendiggøre en væsentlig videreudvikling og implementering af avancerede risikomodeller til analyse og håndtering af risici. En sådan videreudvikling vil pege på løsninger og ydelser, der indebærer et vidensbaseret design af et mix af strukturelle indgreb, beredskab og ”no-action” løsninger i planlægningssituationer og langt mere effektiv indsats af beredskab i forbindelse med de voldsomme hændelser, som vil forekomme i løbet af aktiverens

levetid. Hvorvidt og hvordan denne udvikling påvirkes af den tendens, der er til en mere narrativ tilgang er vanskelig at forudsige, blandt andet fordi de mere komplekse sammenhænge, som er indbygget i risikostyringen (bl.a. på baggrund af optimeringsværktøjerne nævnt ovenfor) vil gøre det vanskeligt for borgere og beslutningstagere at forstå og acceptere de beslutninger, som er baseret på avancerede risikostyringsvurderinger.

6.1.3 Levetidsmodeller

Ved valg mellem teknologier er den forventede levetid væsentlig ved vurdering af, hvorvidt nye teknologier er eksisterende teknologier overlegne. Samtidigt er de konkrete levetider ofte varierende afhængigt af (delvist ukendte) variable, hvilket gør teknologivalget mere arbitrært. Der er et behov for at udvikle bedre levetidsmodeller, både til brug for planlægning i forbindelse med teknologivalg, og til vurdering af restlevetider på de fysiske (og måske også immaterielle) aktiver. I den forbindelse er der især et konkret og erkendt behov for bedre værktøjer til inspektion eller overvågning af tilstande af betydning for levetider på infrastruktur, såvel i form af præcise tilstandsmålinger som i form af proxy-data, der kan fungere som software sensorer. Derfor er flere og bedre levetidsmodeller en naturlig videreudvikling af de asset-management systemer, der i disse år er under implementering i den urbane del af vandkredsløbet.

6.1.4 Modelplatform

Over en tidsperiode på 40 år er der sket en udvikling fra håndberegninger, over lommeregner, mainframe computere, PCere til GIS-baserede platforme i forbindelse med planlægning og modellering af vandressourcer. Udviklingen i tilgængelig regnekraft har medført et kraftigt behov for data til beskrivelse af virkeligheden, således at status i dag er, at der er en række programmer (ofte endda fra samme softwarefirma) som løser samme overordnede problemstilling, primært baseret på forskelle i den informationsmængde, der er nødvendige for at løse de specifikke spørgsmål, der skal besvares inden for den overordnede problemstilling. Denne udvikling i retning mod mere tværfaglige platforme må forventes at fortsætte. Det er dog vanskeligt at pege på, hvad afløseren for objektbaserede GIS-applikationer vil være.

6.1.5 Databehandling

Som afsnit 5.4 antyder forudsiges der en enorm dataopsamling, der vil overgå, hvad nuværende analysemetoder kan håndtere. Der vil derfor være behov for helt eller delvist autonome systemer til strukturering, formatering og analyse af data til brug for simulering, semi-automatisk adaptiv modelering og realtidskontrol opgaver. Sådanne systemer skal kunne finde mønstre og prioritere viden i store datamængder. Der vil blive stort fokus på indlejring af (datanære) modeller i større modelkomplekser med

dynamisk udveksling af viden til såvel online beslutningsstøtte som prediktive ressourceallokeringsalgoritmer.

6.1.6 Værktøjer til vidensdeling og benchmarking

Store mængder informationer skal kommunikeres videre mellem informationssystemer, fagfolk og formidles til befolkning og beslutningstagere. Dette vil kræve fora, wikis eller lignende, der strukturerer denne vidensdeling. Et krav om effektivisering med hensyn til økonomi, miljø, og sociale forhold vil medføre behov for benchmarkingfaciliteter og best practices på en lang række niveauer afhængigt af forhold som teknologisk stade, samfundsforhold.

6.1.7 Rådgivning

Såvel anvendelse af teknologien som de mere komplekse værktøjer og tjenester nævnt ovenfor vil fordre rådgivning på højt niveau. Et væsentligt marked må forventes at være feasibility-studier omkring teknologivalg i konkrete situationer, hvor lokale forhold og fremskrivninger af forventede udviklinger vil have afgørende indflydelse på både valget af teknologi, og måden den implementeres på.

Indpakningen af teknologien med ydelser, tjenester og løsninger vil også medføre, at teknologiudvikleren vil få en væsentlig rådgivningsportefølje. Denne rådgivning er nødvendig for at sikre, at teknologien anvendes korrekt, men vil også i sig selv være en salgsparameter.

Endelig bør nævnes de betydelige kompetencer, som danske rådgivere har inden for projekt og procesledelse, hvor mange aktører skal inddrages i beslutninger som udførelse. Sådanne kompetencer vil også fremover være af meget væsentlig betydning.

6.2 Forretningsmodeller

Forretningsmodeller er nævnt særskilt af to årsager

- 1) De er principielt uafhængig af teknologien, og
- 2) Teknologileverandøren kan udvikle nye forslag til forretningsmodeller, men valget af forretningsmodel afgøres i sidste ende alene af køberen af teknologien.

Ud fra ovennævnte årsager kan man argumentere for, at forretningsmodeller ikke ligger inden for denne rapport's afgrænsning. Når forretningsmodeller er medtaget skyldes det, at ændringer i forretningsmodeller afgørende kan ændre på både teknologiers penetrering og på valget af teknologileverandør, og derfor er en anerkendt innovationsmetode.

Forretningsmodeller kan udvikles af teknologileverandøren i form af ændringer af ydelser og tjenester. Det eksempel, der hyppigst nævnes er Xerox, der forøgede sin andel af værdikæden væsentligt, da de ændrede forretningskoncept fra at sælge kopimaskiner til at varetage kundernes kopi- og printebenhov samt nyhedsformidling, der aktuelt kæmper med at udvikle en bæredygtig forretningsmodel baseret på udviklingen af IT. Aktuelt benyttes f.eks. blue ocean canvasses til at udvikle nye forretningsmodeller (Kim og Mauborgne, 2005) og tilsvarende metoder må forventes at blive udviklet og anvendt fremover af teknologileverandørerne.

En mere væsentlig udvikling ses dog i forsøget på at udvikle forretningsmodeller som fordeler både finansiering, ansvar og kompetencer på flere aktører i såvel design-, konstruktions-, og driftsfasen. De aktuelle metoder er blandt andre partnering, offentligt-privat-partnerskab og BOT (Build-operate-transfer). Det må forventes, at der vil ske en kraftig vækst i udvikling og anvendelse af sådanne modeller, både fordi de er bedre til at fordele risici og inddrage flere aktører og fordi det gør det nemmere at finansiere projekter til bedre vandforvaltning.

7 Konklusion

Formålet med nærværende udredning er at pege på klimatilpasningsteknologier på vandområdet med et 50 års sigte. Et sådant kig i krystalkuglen vil naturligt være behæftet med betydelig usikkerhed, hvilket fremgår med stor tydelighed, når man ser på hvorledes natursyn, vandbehandlingsprocesser, regnekraft og sensorer har udviklet sig de sidste 50 år.

Der er mange andre drivkræfter til udvikling af klimatilpasningsteknologier end effekter af klimaændringer. Rapporten gennemgår derfor vandteknologier bredt og skelner ikke mellem teknologier, der er rettet mod håndtering af direkte effekter af klimaændringer og teknologier, der udvikles med en anden primær driver, men som også vil være vigtige klimatilpasningsteknologier på vandområdet. De primære drivere til et øget behov for klimatilpasningsteknologier for vand er – udover direkte effekter af klimaændringer – vurderet at være stigning i befolkningstal og velstand, øget urbanisering, politiske målsætninger, naturlige og menneskeskabte kriser og ændringer i befolkningers oplevelse af acceptable risici.

Fremtidige udfordringer inden for vand er for lidt og/eller for meget vand på det forkerte sted og/eller forkerte tidspunkt af for dårlig kvalitet. En væsentlig pointe er, at med så lang tidshorisont er udfordringerne de samme for Danmark som for en lang række andre lande, bortset fra, at vandstress ikke vil være lige så stort et problem i Danmark som i de fleste andre områder. Teknologiområderne, som er udpeget i nærværende udredning, vil med stor sikkerhed blive udviklet, uanset om danske firmaer satser på områderne. Udviklingen bliver drevet af både klimaændringerne og andre væsentlige drivkræfter f.eks. befolkningstilvækst, politiske mål osv. Analysen peger også på, at der vil ske en kraftig diversificering af anvendelse af forskellige ressourcer til forskellige formål. Der vil således ikke være en enkelt vinder, men mange niches og mange main-stream anvendelser, som indebærer, at mange teknologier og udbydere kommer i spil.

Teknologierne, der forventes at opleve vækst, er opdelt i vandressourceallokering, vandbehandling, sensorer, andre ressourcer i vand, værktøjer, der understøtter teknologi, og forretningsmodeller. Inden for hvert af disse områder er identificeret og beskrevet 1 – 7 områder, hvor der forventes en klar vækst. Inden for mange af de i alt 25 områder har Danmark firmaer med gode kompetencer, som kan videreudvikles til fremtidens klimatilpasningsteknologier. Historiske bindinger påvirker teknologivalg. En af udfordringerne bliver, at systemerne bliver langt mere integrerede og komplekse, således at en væsentlig del af innovationen sker i samspil mellem de enkelte aktører, der således både skal fokusere på udvælgelse af samarbejdspartnere, samtidigt med at egen position på spidskompetenceområder naturligvis skal fastholdes. En anden udfordring

bliver regulering, hvor reguleringen i forskellige sektorer skal spille sammen for at kunne fremme bæredygtig udvikling af teknologierne.

8 Litteratur

- ACQUEAU (2010): Growth and innovation in water. Blue Book 2: Technology Road Mapping. Downloaded May 2010 from http://www.acqueau.eu/images/pdf/blue_book_part_2.pdf
- Andersen, T., Bertelsen, M.D., og Rosted, J. (2006): Miljøteknologiske styrkepositioner - En erhvervsanalyse af klyngedannelse. FORA #15, Juni 2006. Økonomi- og Erhvervsministeriets enhed for erhvervsøkonomisk forskning og analyse.
- Arnbjerg-Nielsen, K. (2010): Past, present, and future design of urban drainage systems with focus on Danish experiences. Water Science and Technology, submitted
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., og Palutikof, J.P. (Eds) (2008): Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp. ISBN: 978-92-9169-123-4
- National Centre for Atmospheric Research (2010): Downloaded maj 2010 fra <http://www.tiimes.ucar.edu/highlights/fy06/images/hydrological%20cycle.jpg>
- Binning, P.J., M.B. Hauger, M. Rygaard, A.M. Eilersen, H.-J. Albrechtsen, 2006: Rethinking the urban water management of Copenhagen. Water Practice and Technology, 1, (2)
- Erhvervsklimapanelet (2008): Baggrundsrapport om danske styrkepositioner på klimaområdet. August 2008. Downloaded maj 2010 fra <http://www.oem.dk/sw28378.asp>
- EU (2009): HVIDBOG: Tilpasning til klimaændringer: et europæisk handlingsgrundlag. Kommissionen for de europæiske fællesskaber, Bruxelles, den 1.4.2009. KOM(2009) 147 endelig. Downloaded Maj 2010 fra <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:DA:PDF>
- FAO (2008). FAO (2008). Coping with Water Scarcity: What Role for Biotechnologies? Land And Water Discussion Paper 7 by Ruane, J, Sonnino, A; Steduto, P & Deane, C. Rome. Downloaded april 2010 fra <http://www.fao.org/docrep/011/i0487e/i0487e00.HTM>
- FN (2010). World Urbanization Prospects: The 2009 Revision Population Database Downloaded maj 2010 fra http://esa.un.org/unpd/wup/unup/index_panel1.html
- Henriksen, H. & Sonnenborg, A. (eds) 2003: Ferskvandets kredsløb. NOVA 2003 Temarapport. Udarbejdet af GEUS, DMU, DJF og DMI. Downloaded maj 2010 fra http://www.vandmodel.dk/ferskvands_2003_final.htm
- IWA (2008): International Statistics for Water Services. Information every water manager should know about. International Water Association, Vienna, 2008. Downloaded maj 2010 fra http://www.iwahq.org/MainWebSite/Resources/Document/IWA_international_statistics_2008.pdf
- Kim, W.C. og Mauborgne, R. (2005): Blue ocean strategy. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts. ISBN 1-59139-619-0.

- Krüger, 2010. Figur downloaded maj 2010 fra www.kruger.dk/dk/ekspertise
- Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov, 2007: Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., og Hanson, C.E. (eds): (2007): Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Downloaded maj 2010 fra www.ipcc.ch.
- PETUS (2005): Practical evaluation tools for urban sustainability. Downloaded maj 2010 fra www.petus.eu.com
- Regeringen (2008): Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark. Marts 2008. Downloaded maj 2010 fra http://www.klimatilpasning.dk/da-DK/Info/Publikationer/2008Danske/Documents/klimatilpasningsstrategi_03032008.pdf
- Regeringen (2009): Erhvervsklimastrategi. Globale udfordringer – danske muligheder. Oktober 2009. Downloaded maj 2010 fra http://www.ens.dk/da-DK/NyTeknologi/Green_Labs_DK/Documents/Erhvervsklimastrategien.pdf
- Rygaard, M.; Hauger, M. B.; Eilersen, A. M.; Albrechtsen, H.-J.; Binning, P. J.: Integreret håndtering af vand og spildevand i København : Projekt A2 - Opstilling og analyse af 9 scenarier for fremtidens vand- og spildevandshåndtering i København. Samarbejdsprojekt med Københavns Energi. Endelig udgave. - Kgs. Lyngby : Institut for Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet, 2006
- World Commission on Environment and development (1987): Our common future. Oxford University Press. ISBN 0-19-282080-X.
- Stern (2006): The economics of climate change. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 978-0-521-70080-1.