

## **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

**Rygaard, Martin; Hauger, Mikkel Boye; Eilersen, Ann Marie; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Binning, Philip John**

*Publication date:*  
2006

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

### *Citation (APA):*

Rygaard, M., Hauger, M. B., Eilersen, A. M., Albrechtsen, H-J., & Binning, P. J. (2006). 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.

## **DTU Library**

Technical Information Center of Denmark

---

### **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.

# **Integreret håndtering af vand og spildevand i København:**

Projekt A2 - Opstilling og analyse af 9 scenarier for fremtidens  
vand- og spildevandshåndtering i København

Endelig udgave

4. juli 2006

Martin Rygaard, Mikkel Boye Hauger, Ann Marie Eilersen, Hans-  
Jørgen Albrechtsen og Philip John Binning

Institut for Miljø & Ressourcer

Danmarks Tekniske Universitet



Københavns Energi ønsker at etablere en platform for fremtidige beslutninger indenfor vand- og spildevandshåndteringen i København, der er solidt fagligt og videnskabeligt funderet, og som har stor teknisk bredde. Af denne årsag har KE indgået en samarbejdsaftale med Institut for Miljø og Ressourcer på dette område. Denne rapport er en del af samarbejdsaftalen ”Integreret håndtering af vand og spildevand i København”, mellem Københavns Energi og Institut for Miljø & Ressourcer. Samarbejdsaftalens overordnede mål er at analysere forholdene omkring Københavns nuværende og potentielle fremtidige vandressource. I den forbindelse undersøges potentialet for at anvende forskellige teknologier og strategier med henblik på, at KE i fremtiden fortsat kan levere vand i tilstrækkelige mængder og i den ønskede kvalitet. Denne rapport omhandler andet delprojekt: *A.2 Opstilling og analyse af scenarier for fremtidens håndtering af KE’s vandressource*. Rapporten er udarbejdet i perioden marts 2005 til maj 2006

**På institut for Miljø & Ressourcer er der til projektet knyttet en projektgruppe bestående af:**

Lektor Hans Jørgen Albrechtsen (Projekt koordinator, Mikrobiologi)

Professor Erik Arvin (Vandrensning)

Lektor Phillip Binning (Projektleder delprojekt A.2, Hydrologi)

Lektor Ann Marie Eilersen (Alternative vandressourcer)

Post Doc. Mikkel Boye Hauger (Scenarieevalueringer, Rapportudarbejdelse)

Professor Mogens Henze (Spildevandsrensning)

Professor Anna Ledin (Miljøfremmede stoffer)

Lektor Peter Steen Mikkelsen (Byhydrologi)

PhD-studerende Martin Rygaard (Rapportudarbejdelse)

**På Københavns Energi har følgende personer været knyttet til projektet i projektperioden:**

Jens Andersen (Plan, vand)

Mikael Landt ((Plan, vand)

Per Jacobsen (Afløbschef)

Niels Bent Johansen (Plan, afløb)

Svend Krongaard Hansen (Projekt, afløb)

Sonia Sørensen (Plan, afløb)

Lis Napstjert (Vandforsyningschef)

**Institut for Miljø & Ressourcer**

**Bygningstorvet 115**

**2800 Kgs. Lyngby**

## Indhold

<i>Bilagsoversigt</i> .....	4
<i>Sammenfatning</i> .....	5
<b>1. Indledning</b> .....	7
1.1. Formål.....	7
1.2. Begrænsninger og antagelser .....	7
1.3. Læsevejledning.....	8
<b>2. Metode</b> .....	9
2.1. Identifikation af muligt scenarieindhold.....	9
2.2. Definition og indledende beskrivelse af scenarier .....	9
2.3. Evaluering og prioritering af de foreslåede scenarier .....	11
<b>3. Scenarieindhold</b> .....	12
3.1. Præmis .....	12
3.2. Principper .....	12
3.3. Trends .....	13
3.4. Hellige køer.....	13
3.5. Centraliseringsgrad .....	14
3.6. Teknologier .....	14
3.7. Inspirationsprojekter.....	15
<b>4. Scenarier</b> .....	16
4.0. Referencescenarium.....	18
4.1. Det store afsaltningsanlæg .....	21
4.2. Central recirkulering.....	24
4.3. Den naturlige vandfabrik .....	28
4.4. Grøn by .....	32
4.5. Flerstrengt forsyning .....	36
4.6. Den blå by .....	39
4.7. Spildevandskonstruktion.....	43
4.8. Det teknologiske lokalsamfund .....	46
4.9. Den selvforsynende bolig.....	50
<b>5. Vurdering af scenarierne</b> .....	53
<b>6. Udfordringer</b> .....	57
<b>7. Konklusion</b> .....	59
<b>8. Litteratur</b> .....	61

## Bilagsoversigt

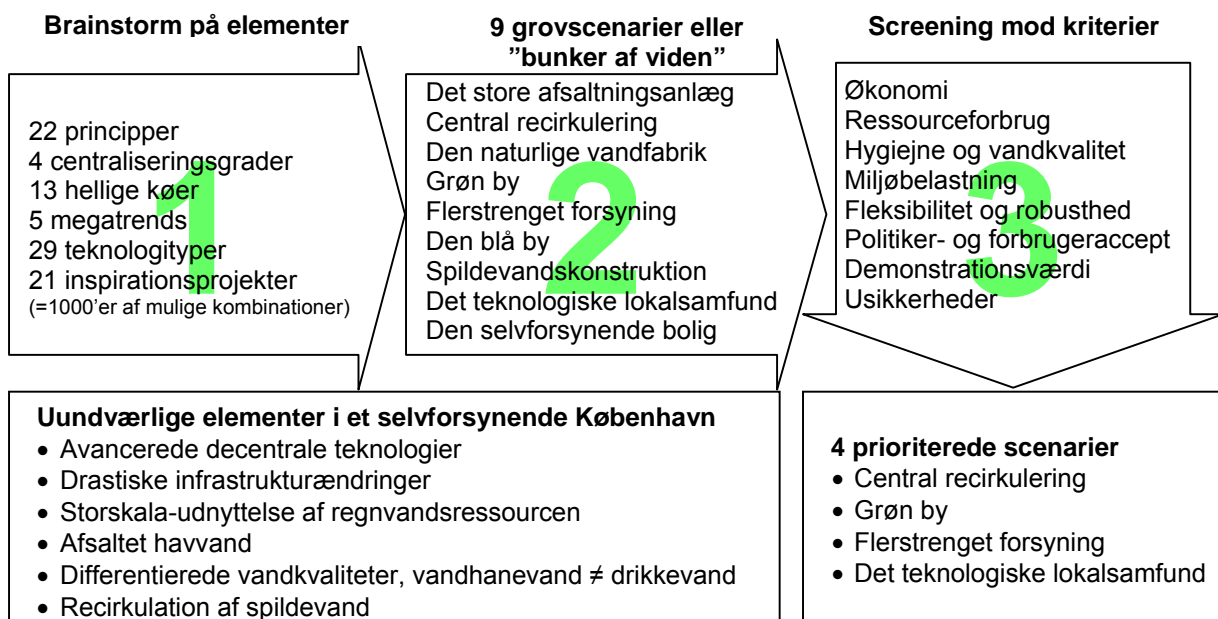
- Bilag 1 Baggrund for scenariebeskrivelserne
- Bilag 2 Dokumentation for workshoppen *Fremtidens håndtering af vand og spildevand i København* den 13-06-05 (Eilersen, 2006)
- Bilag 3 Mulige tiltag til forøgelse af tilgængelighed og selvforsyningsgrad
- Bilag 4 Scenarieindhold

## Sammenfatning

Denne rapport beskriver nogle mulige scenarier for, hvordan Københavns fremtidige vandforsyning kan se ud, hvis byen skal være uafhængig af ferske vandressourcer uden for kommunegrænsen.

Målet er at undersøge en række muligheder, inklusive ekstremer, for en bæredygtig vand- og spildevandshåndtering for København, og derved sikre KE et teknologisk beredskab i forhold til fremtidens udfordringer på vand- og spildevandsområdet. Processen er delt i tre trin: 1) Identifikation af de mulige elementer dvs. principper, teknologier, trends og dogmer mv., som bestemmer muligheder og udfordringer for fremtidens vand- og spildevandshåndtering; 2) Strukturering af disse elementer i en overskuelig gruppe af 8-10 scenarier, der indeholder væsentlige eksempler på muligheder og udfordringer; og 3) Vurdering af scenariernes potentialer og svagheder i forhold til udvalgte kriterier. Indholdet af scenarierne udspringer bl.a. af en workshop med 42 fagfolk. Siden har projektgruppen på Institut for Miljø & Ressourcer, DTU struktureret dette indhold i 9 scenarier med det mål, at hvert scenarium er helhedsløsninger, hvor vandforsyning, afløb og spildevandsrensning behandles som ét samlet system.

Hvert scenarium er vurderet i forhold til en række kriterier, der bestemmer graden af bæredygtighed, og indholdet af scenarierne er diskuteret med henblik på at udpege de mest lovende scenarier og interessante udfordringer i det videre planlægningsarbejde. Processen frem til 4 prioriterede scenarier er skitseret herunder.



De mest lovende scenarier er: *Central recirkulering*, hvor vandforsyningen er baseret på afsaltet havvand og recirkuleret spildevand fra et centralt anlæg. *Grøn by*, hvor vandforsyningen er baseret på regnvand, og hvor spildevand behandles i lokalområdet. *Flerstrengt forsyning*, hvor der leveres forskellige vandkvaliteter og spildevand håndteres i flere adskilte afløbssystemer. *Det*

*teknologiske lokalsamfund*, hvor der benyttes (høj)teknologiske løsninger til at producere og behandle drikke- og spildevand i lokalområdet.

Figuren viser også en række af elementer, som arbejdet med scenarieopstillingen har vist uundværlige, hvis præmissen om et selvforsynende København skal overholdes. De uundværlige elementer er nødvendige hver for sig eller i kombination med hinanden.

De 4 prioriterede scenarier kan udgøre en ramme for det fokus, som der fremover skal være, for at være på forkant med den teknologiske udvikling og sikre gennemførelse af forsøg etc. med det formål at tilgodese den opstillede målsætning om en integreret håndtering af vand og spildevand i København.

# 1. Indledning

Københavns Energi, der er ansvarlig for vandforsyning og spildevandshåndtering i Københavns Kommune, vil gerne være på forkant med udviklingen indenfor vandområdet. Det forudses, at det i fremtiden bliver vanskeligere at sikre en stabil vandforsyning baseret på de nuværende ressourcer, blandt andet når effekten af det europæiske vandrammedirektiv slår igennem. Det forventes f.eks. at blive vanskeligt at forlænge de nuværende vandindvindingstilladelser. Derfor skal alternativer udforskes, og disse bør være i tråd med principper for miljømæssig, social og økonomisk bæredygtighed, hvor der sikres samspil mellem natur, ressourcer og kultur. Deraf opstår udfordringen om at gøre København selvforsynende med vand, blandt andet ved at sammentænke vandforsyning, spildevandshåndtering og øvrig infrastruktur. Dette indebærer et opgør med mange års tradition for at opfatte vandforsyning, spildevandshåndtering og det øvrige byliv som separate systemer, der helst ikke skal sammenblandes. Delprojektet bør betragtes som et laboratorium, hvor forskellige, og i flere tilfælde ekstreme, muligheder for fremtidens vandhåndtering afprøves. Dette projekt beskriver således nogle væsentlige sammenhænge mellem de mange elementer, som bestemmer udviklingen indenfor vand- og spildevandsområdet. Beskrivelserne er en del af et nødvendigt teknologisk beredskab, der sikrer, at Københavns Energi er på forkant med denne udvikling.

## 1.1. Formål

Projektet, der ligger til grund for denne rapport, har haft til formål at identificere, opstille og foretage en indledende vurdering af 8-10 scenarier, der hver især varetager den samlede håndtering af drikkevand, spildevand og regnvand i København. Scenarierne skal tilsammen dække et bredt udsnit af muligheder for en integreret vandhåndtering. Den indledende vurdering skal vise scenariernes individuelle potentialer på baggrund af nogle få udvalgte kriterier.

Projektet har som delformål at:

- Afdække muligheder og barrierer for alternativ håndtering af vand ud fra de vandressourcer, der findes indenfor Københavns kommune. Herunder betragtes også recirkulering af delstrømme og kildeseparatoring.
- Opstille og kort beskrive 8-10 bredt dækkende ”grovsценarier”.
- Udvalge de væsentligste kriterier for vurdering af scenarierne.
- Foretage en indledende vurdering af scenarierne i forhold til de udvalgte kriterier.
- Foretage en samlet evaluering af de opstillede scenarier samt udvalge 3-5 scenarier, der vurderes at indeholde de mest interessante perspektiver, til videre analyse.
- Udpege de næste skridt i afklaringen af mulighederne for at gøre København selvforsynende indenfor vand- og spildevandsområdet.

## 1.2. Begrænsninger og antagelser

En grundlæggende betingelse for at opfylde formålene er, at Københavns kommune skal være selvforsynende med drikkevand, dvs. at vandkredsløbet geografisk kun omfatter Københavns Kommune inklusiv havvand.

Hverken samlet eller hver for sig skal de 9 opstillede scenarier betragtes som endelige bud på de fremtidige muligheder for Københavns vandhåndtering. De skal imidlertid pege på nogle af de



væsentlige muligheder og udfordringer, der kan forventes ved en fremtidig integreret vandhåndtering i København.

I Hauger og Binning (2006) er der opstillet en vandbalance for København år 2003. Ved opgørelser af forbrug og vandressourcers potentiale er der taget udgangspunkt i denne ressourceopgørelse.

### **1.3. Læsevejledning**

Det er valgt at holde scenariebeskrivelserne i kapitel 4 i en form, der gør dem læsbare hver for sig, og derfor optræder der en del gentagelser fra scenarium til scenarium. Det er dog muligt at danne sig et hurtigt samlet overblik over scenariernes indhold i Tabel 7 i starten af kapitlet. Overblikket kan eventuelt suppleres med skitserne, der indleder hver scenariebeskrivelse. Det er ikke nødvendigt at læse scenariebeskrivelserne i deres fulde længde, før man giver sig i kast med de efterfølgende kapitler.

## 2. Metode

Processen kan opdeles i tre trin:

1. Identifikation af muligt scenarieindhold
2. Definition og indledende beskrivelse af scenarier
3. Evaluering og prioritering af de foreslåede scenarier.

I det følgende vil metoderne knyttet til hvert trin blive beskrevet kort.

### 2.1. Identifikation af muligt scenarieindhold

For at sikre at de 9 foreslåede grovscenarier dækker en bred og væsentlig vifte af muligheder, er de baseret på nogle vidtrækkende og frie overvejelser om deres mulige indhold. En stor del af scenariernes indhold stammer fra en workshop afholdt hos Københavns Energi i juni 2005 med 42 repræsentanter fra erhvervslivet, akademiske miljøer, myndigheder og øvrige interessegrupper. En komplet beskrivelse af workshoppen med titlen "Fremtidens håndtering af vand og spildevand i København" findes som bilag (Eilersen, 2005). Derudover er der siden tilføjet ideer og viden fra interne diskussioner på M&R og i mellem M&R og KE. Elementerne af denne idé- og vidensopsamling, danner grundlaget for definitionen af de 9 grovscenarier. For at skabe overblik i de mange elementer er de grupperet i kategorierne principper, hellige køer, megatrends, centraliseringsgrad, teknologier og inspirationsprojekter, se Tabel 1.

**Tabel 1 Elementer, der danner grundlag for opstillingen af scenarierne beskrevet i denne rapport.**

<b>Principper</b> bærende for håndteringen af vand, f.eks. "Kloakløs by" eller "Synliggørelse af vand".	<b>Centraliseringsgrad</b> udtrykker om vandhåndteringen sker på lokal basis eller via store centrale anlæg.
<b>Megatrends</b> beskriver globale tendenser, der ligger til grund for vandhåndteringen.	<b>Teknologier</b> der anvendes i vandhåndteringen er her grupperet under hovedemner, da det samlede antal er meget stort.
<b>Hellige køer</b> forstås som dogmer, der her gerne må udfordres i vandhåndteringen.	<b>Inspirationsprojekter</b> , som kan give idéer til brugen af indholdet i de øvrige kategorier.

### 2.2. Definition og indledende beskrivelse af scenarier

Scenariedefinitionen kan ses som et arbejde med byggeklodser, hvor byggeklodserne her er ovennævnte elementer. Med udgangspunkt i et eller flere principper og megatrends er hvert enkelt scenarium bygget op ved at tilføje elementer indtil et komplet scenarium har taget form. Siden er enkelte klodser skiftet ud, hvis det skønnes, at et andet element vil give et mere interessant scenarium at undersøge.

Grovscenarierne er defineret med det mål at:

- De skal repræsentere bredden af elementerne i det mulige scenarieindhold, hvilket sikres ved at alle elementer optræder mindst en gang i et scenarium. Således vil hvert enkelt princip, megatrend og teknologi ligge til grund for mindst et og ofte flere scenarier. Alle hellige køer, som kan slagtes, vil blive slagtet en eller flere gange, og scenarierne vil repræsentere lokale og centrale systemer.

- Interaktionen mellem de forskellige elementer skal udforskes ved at individuelle elementer optræder sammen i forskellige scenarier.
- Scenarierne skal have bund i virkeligheden og gerne have en rød tråd, der binder de involverede elementer sammen. Den røde tråd er indikeret i scenariernes titler.

Det er ikke praktisk muligt at opstille et scenarium for hver en kombination af principper, teknologier mv. Det er i stedet tilstræbt at få en jævn fordeling af kombinationer i de 9 scenarier. Et samlet overblik findes i bilag 4. Elementer, der kunne tænkes at være underrepræsenteret eller overrepræsenteret ved at optræde 1 eller alle 9 gange, er blevet evalueret en ekstra gang for at sikre en rimelig repræsentation i de endelige scenarieforslag.

Efter således at have skabt 9 ”bunker af viden” er hvert enkelt scenarium beskrevet kortfattet med udgangspunkt i den information, der er tilgængelig fra KE, M&R og litteraturen. Via brainstorm og diskussion i projektgruppen på M&R er der skabt følgende liste af kriterier, som det er skønnet mest relevant at evaluere de samlede scenarier på:

---

**Tabel 2 Kriterier anvendt ved evalueringen af scenarierne beskrevet i denne rapport.**

---

**Økonomi:** Det tilstræbes at estimere en pris for de tre kerneydelser: vandforsyning, afløb og rensning. Hvor det er muligt er prisoverslaget angivet per m<sup>3</sup> og ellers er den samlede pris for den årlige håndtering angivet. Prisen dækker både investering og driftsomkostninger, med mindre andet er angivet. Når vandstrømme som f.eks. vandforbrug ikke er ens størrelser i to scenarier kan kubikmeterprisen ikke direkte sammenlignes.

**Ressourceforbrug:** Hvor det er muligt, er elforbruget vurderet for vandforsyning, afløb og rensning. Derudover nævnes særlige ressourceforbrug, som f.eks. kemikalier og behov for etablering af ny infrastruktur.

**Hygiejne og vandkvalitet:** Her kræves en vurdering af risikoen for overførsel af smitte, og hvilke krav den leverede vandkvalitet lever op til. Dette indebærer om scenariet overholder de vandkvalitetskrav, der er i dag og hvilken risiko, der er for smitte i forbindelse med kontakt med spildevandet eller dele heraf. Det indgår som en del af hygiejnevurderingen at vurdere om der er en eller flere smittebarrierer i scenariet. En særlig vandkvalitetsparameter er smagen.

**Miljøbelastning:** Der foretages en vurdering af scenariets belastning af natur og omgivelser.

**Politiker- og forbrugeraccept:** Her vurderes det, hvilke elementer af scenariet som politikere eller forbrugere vil reagere positivt eller negativt på.

**Fleksibilitet og robusthed:** Her tænkes på scenariets teknikkers fleksibilitet overfor ændringer som f.eks. vandforbrug og brugernes accept. Særligt med henblik på forsyningssikkerheden vurderes det i hvilken grad der i scenariet indgår:

- En rygrad, dvs. en stabil, sikker og gerne enkel teknologi, der udgør den primære del af vandforsyningen.
- Et supplement, dvs. en sekundær forsyningskilde, der bidrager med en mindre del af forsyningen. Supplementet kan være teknologi, der udnytter mindre vandressourcer eller alternative teknologier.
- Backup, dvs. ekstra systemer eller overkapacitet, der kan anvendes i krisituationer i form af ekstremt højt forbrug eller nedbrud i dele af den primære forsyning.

Der indgår også en vurdering af reservoierernes størrelse både hvad angår ubehandlet råvand og færdigbehandlet vand.

**Demonstrationsværdi:** Her beskrives forventningerne til lokal, national og international opmærksomhed på scenariet fra fagfolk, beslutningstagere og brugere. Det kan være på grund af elementer, der er identitetsskabende for byen, i form af særligt avanceret teknologi, bæredygtig profil eller utraditionelle måder at opbygge forsyningen på.

**Usikkerheder:** Det udpeges hvor i scenariebeskrivelsen der findes de største usikkerheder med betydning for evalueringen af scenarierne, og dermed oplagte steder at udbyde scenariebeskrivelsen.

---

### **2.3. Evaluering og prioritering af de foreslåede scenarier**

På baggrund af scenariernes indledende beskrivelser evalueres hvert kriterium i forhold til et referencescenarium, der er defineret som det eksisterende system år 2003. Bedømmelsen angives i 5 grader fra *meget værre end referencescenariet* til *meget bedre end referencescenariet*.

### 3. Scenarieindhold

Dette afsnit beskriver de elementer, der udgør byggeklodserne i scenarierne.

#### 3.1. Præmis

Præmissen for opstillingen af scenarierne at Københavns kommune i princippet skal være selvforsynende med drikkevand, dvs. at vandkredsløbet geografisk kun omfatter Københavns kommune. Dette betyder, at der ses helt bort fra den vandressource, der hidtil har udgjort ryggraden i den Københavnske vandforsyning, nemlig grundvand fra områder udenfor Københavns kommune. Når der ses bort fra grundvand uden for kommunen er der principielt 4 kilder til vandforsyning: lokalt grundvand, opsamlet regnvand, recirkuleret spildevand og havvand. For en gennemgang af disse kilders potentiale se bilag 3.

#### 3.2. Principper

De 22 principper, der ligger til grund for scenarieopbygningen er vist i Tabel 3.

**Tabel 3 Mulige principper identificeret ved workshoppen (Eilersen, 2006) med fagfolk og under diskussioner blandt projektgruppens eksperter. Forklaringer i teksten nedenfor.**

Kloakløs by	Drikke spildevand
Rørløs by	Spildevandskonstruktion
Drikkevand håndteret centralt	Intensiv (højteknologisk) vandbehandling
Drikkevand håndteret lokalt	Synliggørelse af vand
Forsyningsvand i forskellige kvaliteter	Synliggørelse af vandbehov/recirkulering (vand, N, P...)
Forsyningsvand til forskellige priser	Brugerinddragelse
Vandhanevand har ikke drikkevandskvalitet	Naturinddragelse
Regnvand håndteret centralt	Rekreative områder integreres i vandrensning/forsyning
Regnvand håndteret lokalt	Rekreative områder skabes af vandrensning/forsyning
Spildevand håndteret centralt	Mindsket forsyningssikkerhed
Spildevand håndteret lokalt	Mindsket kontrol

De fleste af principperne kan igen uddybes og splittes op i flere delprincipper eller eventuelt lægges sammen i et fællesprincip. Det har dog under arbejdet med scenarieopstillingen vist sig hensigtsmæssigt at bevare de 22 principper i den viste form. De fleste principper er selvforklarende, men enkelte kræver en nærmere beskrivelse:

*Spildevandskonstruktion* er et princip, om at spildevandsfraktionerne håndteres i hver for sig med henblik på en mere effektiv behandling og genindvinding af næringsstoffer. *Intensiv vandbehandling* dækker over brugen af højteknologi, der kræver specialister, er ressourcekrævende eller på anden måde er mere krævende end den nuværende danske vand- og spildevandsbehandling. *Synliggørelse af vand/vandbehov mv.* betyder at håndtering og brug af de forskellige ressourcestrømme synliggøres i bybilledet, så brugerne ikke kan undgå at se, hvilke processer der foregår i systemet. *Brugerinddragelse* handler om at få brugerne til aktivt at deltage i vand- og spildevandsbehandlingen, modsat af det nuværende system med passive brugere. *Naturinddragelse* dækker over et system, hvor naturområder omdannes til brug i vand- og spildevandsbehandlingen.

### 3.3. Trends

Inden workshoppen havde projektgruppen på M&R udvalgt 5 megatrends, som det forventes vil have stor betydning for udviklingen i vandbranchen såvel som det omgivende samfund i årene fremover. De fem trends er vist i Tabel 4

**Tabel 4 Fem megatrends med stor betydning for fremtidens vand- og spildevandshåndtering.**

Økonomisk vækst	Øget individualisering
Teknologisering, digitalisering	Sårbarhed og sikkerhed
Øget liberalisering	

Fagfolkenes forventninger til disse trends betydning for vandsektoren er sammenfattet af Eilersen (2006) og forventningerne på denne baggrund forsøgt inkluderet i de opstillede scenarier.

### 3.4. Hellige køer

For at udfordre den til tider konservative mentalitet, der har præget vandsektoren, er der opstillet en række udsagn, hellige køer, der beskriver, hvad der kan lade sig gøre og ikke lade sig gøre i vandsektoren eller som har præget debatten blandt politikerne, fagfolk og miljøfolk. Listen med hellige køer, vist i Tabel 5, er opstillet på baggrund af en brainstorm i projektgruppen på M&R.

**Tabel 5 Hellige køer (dogmer) der præger den nuværende praksis og lovgivning i vandsektoren.**

Vand skal være billigt – alle har lige ret til godt vand	Drikkevandsproduktion må ikke være energikrævende
Vand er det bedste bæremiddel	Naturværdier må ikke berøres
Forsyningssikkerhed må ikke bringes i fare	Vandforsyningsvand skal være ekstremt rent og uden klor
Vand er en begrænset ressource	Drikkevand skal leveres i hanen - ikke i flasker
Spildevand kan ikke drikkes	Alt skal være som det plejer

Listen med hellige køer blev diskuteret på workshoppen for fagfolk (Eilersen 2006). Dels blev det diskuteret, hvor hellige udsagnene blev opfattet, og dels hvad et eventuelt brud med det enkelte udsagn ville kunne betyde for vandsektoren. Resultatet af diskussionerne blev noget overraskende, at kun et af udsagnene blev betragtet som absolut helligt:

*Vand skal være billigt – lige ret til godt vand.* I hvert fald en del af vandforsyningen skal være billig. Det betragtes som en menneskeret at have billig adgang til vand af god kvalitet.

Yderligere blev to hellige køer kategoriseret som delvist hellige:

*Vand er det bedste bæremiddel.* Det er det, i hvert fald set i forhold til infrastrukturens opbygning i dag. Det vil kræve store investeringer at gå bort fra princippet om vand som bæremiddel for en del af husstandenes affald.

*Forsyningssikkerhed må ikke bringes i fare.* Det er ikke nødvendigvis et ufravigeligt krav, at der til enhver tid kommer vand ud af hanen, når man åbner. Hvis det ikke kan sikres, at der altid er vand i hanen, så skal det i hvert fald sikres, at der er opmagasineringskapacitet hos forbrugeren til at kompensere for de periodiske nedbrud.

I forbindelse med at diskussionerne på workshoppen viste, at de hellige køer ikke var så hellige endda, er det værd at bemærke, at workshoppens deltagere alle er fagfolk, der på den ene eller anden måde arbejder med vand til dagligt. Det er muligt, at der blandt almindelige forbrugere eller politikere, er andre ting, der bliver betragtet som hellige køer. I Eilersen (2006) findes en gennemgang af, hvilke konsekvenser en udfordring af de enkelte køer kan tænkes at have på vandhåndteringen i København. Med udgangspunkt i workshoppens konklusion, at alle hellige køer (på nær *Vand skal være billigt – lige ret til godt vand*) ikke skal opfattes som ufravigelige principper, er det tilstræbt at opstille scenarier, der konfronterer udsagnene. Blandt scenarierne er der løsninger, hvor der ikke bruges vand som bæremiddel for en del af spildevandet. Der er løsninger, hvor spildevandet efter rensning indgår som en del af vandforsyningen, og der er løsninger, hvor vandbehandlingen kræver et stort energiforbrug. På lignende måde er alle de hellige køer udfordret i mindst to scenarier.

### 3.5. Centraliseringsgrad

De ovenstående principper afspejler forskellige centraliseringsgrader, f.eks. *regnvand håndteres lokalt*. Til at opstille scenarierne, er der benyttet en graduering af centraliseringen, der fortæller om fokus i scenariet ligger på en lokalt administreret og afgrænset håndtering, på store centrale anlæg eller et sted derimellem.

### 3.6. Teknologier

I princippet har scenarieopstillingen været åben for alle tænkelige teknologier. For at sikre at et bredt udvalg af teknologier er blevet overvejet i hvert scenarium, er teknologierne nævnt i Tabel 6, inkluderet i scenarieopstillingen. Teknologierne er grupperet på baggrund af en liste med ca. 250 teknologier. Den komplette liste findes som bilag til Hauger og Binning (2006).

**Tabel 6 Grupper af teknologier, der kan anvendes i vand- og spildevandshåndtering (Hauger & Binning 2006)**

<b>Vandrensningsteknologier</b>	<b>Spildevandsteknologier</b>
Gravitationsseparation	Gravitationsseparation
Filtrering	Filtrering
Membraner	Biologiske filter (med og uden planter)
Biologiske processer	Membraner
Reaktive membraner	Aqua kultur (f.eks. fiskebassin)
Elektrokemisk reaktor	Aktiv slamanlæg >2000 PE
Sorptionsprocesser (f.eks. aktivt kul)	Aktiv slamanlæg <2000 PE
Fældning af stof	Biofilmreaktor
Stripning af gasser	Biogasreaktor
Hygiejniser (fjernelse af mikroorganismer)	Kompostering
Tilsætning (f.eks. syre, iltning)	Elektrokemisk reaktor
	Sorptionsprocesser (f.eks. aktivt kul)
	Fældning af stof
	stripning
	Hygiejniser (fjernelse af mikroorganismer)
	Tilsætning (f.eks. syre, base)
	Neddeling
	Afledning til recipient

### **3.7. Inspirationsprojekter**

Endeligt er en gruppe af projekter fra hele verden blevet anvendt som inspirationskilder til scenarierne. Inspirationsprojekterne er oplistet i Hauger & Binning (2006) og er beskrevet i et tilhørende bilag.



## 4. Scenarier

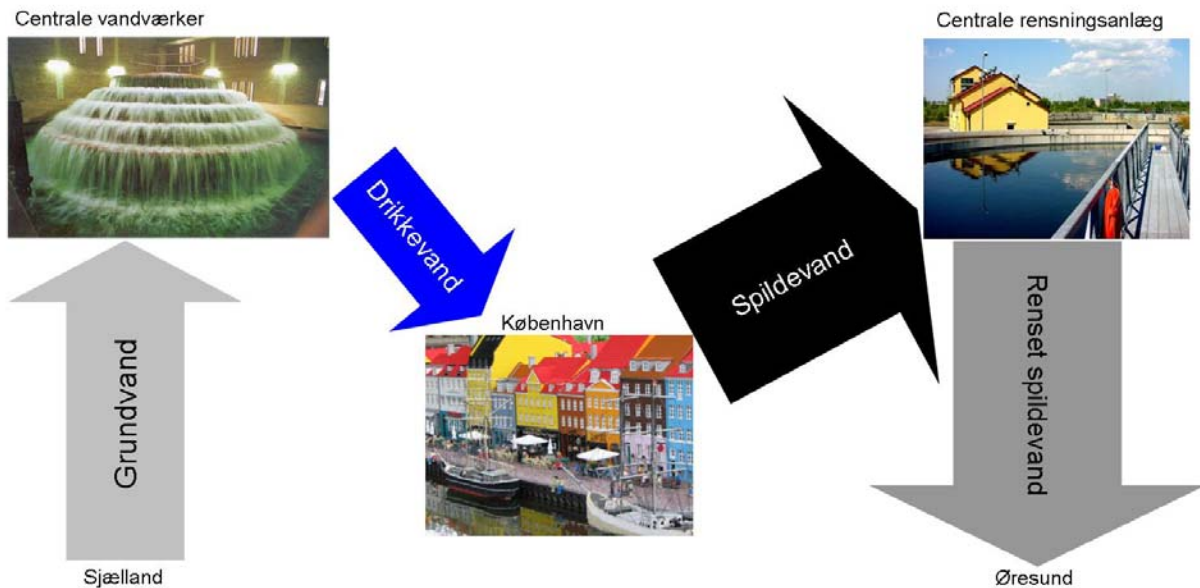
Hvis alle tænkelige og utænkelige muligheder tages med, giver de mange elementer, der udgør byggeklodserne i scenarieopstillingen, tusinder mulige kombinationer at lægge til grund for scenarieopbygningen. Tabel 7 giver et hurtigt overblik over de 9 scenarier, der blev konstrueret på baggrund af ovennævnte scenarieindhold.

**Tabel 7 Oversigt over de 9 scenarier, der er konstrueret på baggrund af det ovennævnte scenarieindhold.**

0. **Referencescenariet** Det nuværende system, defineret som tilstanden år 2003. Grundvand indvindes og importeres fra store dele af Sjælland og distribueres til alle brugere i København. Fælleskloakering sørger for afløb af spildevand og regnvand til centrale rensningsanlæg og derefter udløb til Øresund.
1. **Det store afsaltningsanlæg** Vandforsyningen baseres på central afsaltning af Øresundsvand. Afløb og rensning som i referencescenariet. Højt energiforbrug, men teknisk set det nemmest realiserbare af de 9 opstillede scenarier.
2. **Central recirkulering** Vandforsyning baseret på central membranfiltrering af Øresundsvand og recirkuleret spildevand. Distribution af recirkuleret vand, afløb og spildevandsrensning som i referencescenariet, mens en del af spildevandsudløbet renses yderligere og sendes til vandforsyningsanlægget. Højt energiforbrug og usikkerhed omkring brugernes accept af at skulle drikke recirkuleret spildevand.
3. **Den naturlige vandfabrik** System bygget op omkring central recirkulering af spildevand i store vådområder efterfulgt af membranfiltrering. Distribution af det recirkulerede vand som i referencescenariet, men omstrukturering af afløb og spildevandsrensning. Vådområderne udgør en naturlig barriere i recirkuleringen, men systemet er meget plads- og energikrævende.
4. **Grøn by** Vandforsyning baseret på lokalt opsamlet regnvand og drikkevand leveret på flaske. Spildevand og overskydende regn nedsives lokalt. Separation af urin og fækalier, der bortkøres og anvendes uden for kommunen. "Grønt" image og kraftigt reduceret vandforbrug, men dyrt, pladskrævende og stor usikkerhed omkring den praktiske udførelse, herunder behovet for involvering af brugerne.
5. **Flerstregnet forsyning** Central forsyning af drikkevand baseret på afsaltet Øresundsvand og decentral forsyning af billigere "brugsvand". Brugsvandet baseres på recirkuleret regn og spildevand. Sort og gråt spildevand ledes til centrale rensningsanlæg, mens lysegråt spildevand og regn afledes til rodzoneanlæg og infiltreres eller recirkuleres. Dyr etablering af 2 strenget vandforsyning, men med image som grønt og bæredygtigt.
6. **Den blå by** Et net af kanaler fungerer som ramme for al vandhåndtering i København. Vandforsyning baseres på "vandfabrikker", der anvender vand fra kanalerne og spildevand og regn renses i lokale "grønne maskiner" inden det udledes til kanalerne. Fuldstændig integration af vandhåndtering, øvrig infrastruktur, byliv og -kultur, men formentlig den største infrastrukturmæssige udfordring præsenteret i dette projekt.
7. **Spildevandskonstruktion** Fokus på optimal genindvinding af ressourcer i spildevandsstrømmen. Vandforsyning baseret på centrale regnvandsanlæg, der distribuerer drikkevand til hele byen suppleret af afsaltet Øresundsvand. Urin separeres og udbringes til landbrug, mens sort spildevand behandles på lokale anlæg, der genindvinder næringsstoffer mm. Det er usikkert, om genindvindingen af næringsstoffer alene kan være drivkraften bag et sådan system.
8. **Det teknologiske lokalsamfund** Meget decentralt system, med et stort antal mindre "vandfabrikker", der modtager spildevand og producerer drikkevand. Fækalier og urin separeres og udbringes til brug i landbruget. Regnvand afledes separat til Øresund. Den decentrale struktur begrænser omfanget af distributionsnet, mens der forudses et højt energiforbrug.
9. **Den selvforsynende bolig** Her kappes forbindelsen fra den enkelte bolig til omgivelserne. Regnvand supplerer recirkuleret spildevand, der behandles i en boks på størrelse med en vaskemaskine. Affaldsresten fra anlægget disponeres dog andetsteds. Overskydende regnvand nedsives eller fordampes lokalt. Brugeren skal acceptere at drikke vand, der var spildevand et øjeblik tidligere. Teknologien er ukendt, men minder om processer på en rumstation.

I det følgende uddybes scenariebeskrivelserne og evalueringen af hvert kriterium. Hver scenariebeskrivelse indledes af en figur, der enkelt skitserer det omtalte system. Først beskrives dog sammenligningsgrundlaget, referencescenariet. Bilag 1 dokumenterer beskrivelserne.

#### 4.0. Referencescenarium



Referencescenariet er defineret som vand- og spildevandssystemet, som det ser ud i dag. Der er taget udgangspunkt i tal for år 2003. Både vandforsyning og spildevandsbehandling håndteres administrativt og i praksis centralt og KE leverer alt forsyningsvand, på nær enkelte nødforsyningsanlæg og industrielle anlæg. Vandet, der har drikkevandskvalitet, importeres fra omkringliggende kommuner. Ligeledes varetager KE driften af et fælles afløbssystem, der på nær et mindre overløb transporterer alt regn- og spildevand, til spildevandsrensningsanlæg. Spildevandsrensningen udføres af Lynettefællesskabet I/S på to store rensningsanlæg, hvor partikler, organisk stof og næringsstoffer fjernes, inden det rensede vand udledes til Øresund. Vandforsyning og spildevandshåndtering er fuldstændig fysisk adskilt. Denne opdeling af håndteringen kommer også til udtryk i form af separate planer for henholdsvis vandforsyning og spildevand. Der leveres årligt 34 mio. m<sup>3</sup> drikkevand og håndteres 69 mio. m<sup>3</sup> i afløb og rensning. Husholdningsforbruget af vand er ca. 127 l/p/d.

#### Perspektiv

Det nuværende system bærer præg af ikke at være designet som komplet system fra bunden, men derimod være et resultat af mange års udbygning på eksisterende strukturer. En undtagelse fra denne tendens er enkelte nyere byggerier som i Ørestad, hvor der for eksempel er etableret separate afløb for regnvand til bydelens kanaler. Systemet er fuldstændig afhængigt af vandimport fra områder udenfor kommunen.

#### Økonomi

Forbrugeren betaler 6,86 kr. per leveret m<sup>3</sup> vand og dertil kommer 10,70 kr. per leveret m<sup>3</sup> for afløb og rensning. Den samlede pris på 18 kr. er lavere end den forbrugeroplevede pris på ca. 30 kr./m<sup>3</sup>, der er inklusiv moms og afgifter. Da systemet drives efter "hvile i sig selv princippet", bør afgifterne afspejle de faktiske omkostninger. Således er de totale omkostninger for vandforsyning og afløb/rensning i København år 2003 opgjort til henholdsvis 234 og 365 mio. kr. Der er

anlægsaktiver i vandforsyning og afløb for henholdsvis 4,2 og 4,6 mia. kr. Dertil kommer værdien af rensningsanlæggene Lynetten og Damhusåen på 1.6 mia. kr. I alt ca. 10 mia. kr.

### **Ressourcer**

Elforbruget for vandforsyning, afløb og rensning er henholdsvis 9 GWh, 6 MWh og 33 GWh per år, svarende til 0,3, 0,0 og 0,5 kWh per håndteret m<sup>3</sup>. Vandforsyningen består af 136 km transportledninger, 155 km hovedledninger og 765 km forsyningsledninger. Kloaknettet er 1150 km langt.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

Der leveres drikkevand af samme høje kvalitet til alle brugere og der er ikke registreret overskridelser af myndighedskrav i 2003. Vandet er meget hårdt og med et højt indhold af salte, f.eks. bikarbonat. Dette medfører et højt sæbeforbrug og risiko for forringet levetid af installationer forårsaget af korrosion. Den fuldstændige opdeling af vandforsyning og spildevand sikrer en effektiv barriere mellem smitstoffer og brugere. Det rensede spildevand udledes til Øresund, så risikoen for direkte kontakt med mennesker undgås.

### **Miljøbelastning**

Søer og åer udtørres på store dele af Sjælland, og grundvandsovervågningen viser, at den Sjællandske grundvandsressource ikke udnyttes bæredygtigt. En mindre mængde (ca. 1,8 mio. m<sup>3</sup>) urensset spildevand udledes via overløb direkte til Øresund ved kraftige regnskyl. Ved normal drift udledes der også næringssalte og organisk stof til Øresund med det rensede spildevand. I 2003 udledtes i alt 355 t kvælstof og 55 t fosfor til Øresund. Der udledes CO<sub>2</sub> for elforbruget ved vandforsyning, afløb og rensning og også for slamforbrænding på rensningsanlæggene. I alt udledtes 46.000 ton CO<sub>2</sub> i 2003 svarende til 2 % af Københavns samlede CO<sub>2</sub>-udledning på 2,3 mio. ton.

### **Fleksibilitet og robusthed**

Fleksibiliteten er begrænset af afhængigheden af en ressource, der endda ligger udenfor Kommunens område. På længere sigt er fleksibiliteten meget begrænset, hvis vandforbruget stiger eller der må lukkes flere grundvandsboringer, så ressourcen bliver mindre. Den centrale struktur og simple system med en vandforsyning og et kloaknet gør systemet meget robust i den daglige drift. Der er begrænset behov for brugeropdragelse, og brugeren skal f.eks. opføre sig meget ubehændigt for at ødelægge processerne på rensningsanlæggene.

Rygrad: Systemet er baseret på 50 grundvandskildepladser rundt omkring på Sjælland, der udgør den primære vandindvinding.

Supplement: Der er ikke noget større supplement, men et enkelt overfladevandsanlæg og få regnvandsanlæg i nyere byggerier, supplerer den nuværende vandforsyning.

Backup: Den primære backup er et overfladevandsanlæg udenfor kommunen, der holdes klar til at kunne sættes ind i tilfælde af akut vandmangel.

Reservoir: Højdebeholdere og rentvandstanke ved vandværkerne udgør i alt et reservoir, der svarer til ca. 4 døgn vandforbrug.

**Politiker- og forbrugeraccept**

Systemet lever op til princippet om at levere vand fra en urensset og uforurenset grundvandsressource. Klager over den sporadiske brug af overfladevandsanlægget viser, at der er en grænse for forbrugeraccepten i det nuværende system.

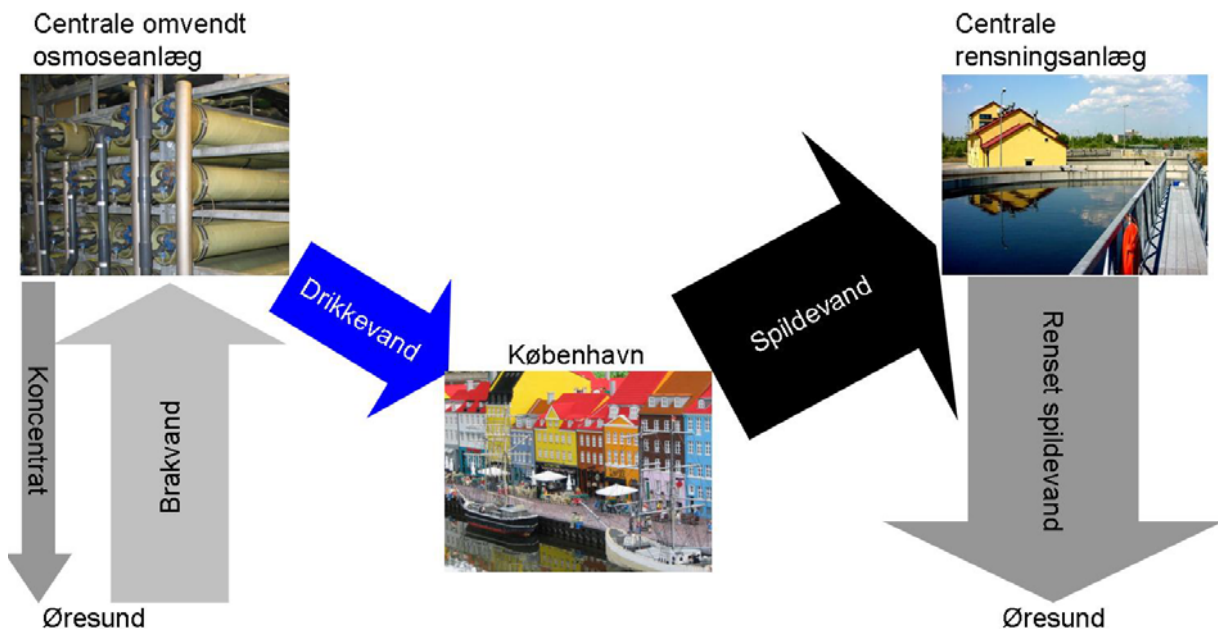
**Demonstrationsværdi**

Dansk vandforsyning er enestående i international sammenhæng, på grund af den meget høje grundvandsindvinding og simple vandbehandling. Spildevandsrensningen er højteknologisk og globalt set på et højt niveau. Fra et professionelt synspunkt må systemet siges at have en international demonstrationsværdi. Der er dog tale om et ”skjult” system, der ikke direkte indbyder til deltagelse og interesse fra brugerne.

**Usikkerhed**

Ovenstående beskrivelse er behæftet med få usikkerheder, da de fleste størrelser m.m. kan slås op eller måles efter.

#### 4.1. Det store afsaltningsanlæg



##### Karakteristik og teknisk beskrivelse

Fokus i dette scenarium er udnyttelse af en nærmest uendelig stor vandressource: Øresund. Afsaltning af havvand via omvendt osmose har været anvendt i stor skala de sidste 20 år og er en teknologi i stadig global fremgang. I dette scenarium produceres alt forsyningsvand på et eller få centrale anlæg, der ved brug af omvendt osmose afsalter havvand. Herefter remineraliseres vandet og distribueres. Ca. 70 % af indløbsvolumenet bliver til forsyningsvand, resten returneres til Øresund. Selve distributionsnettet, afløbssystemet og spildevandsrensningen er identisk med referencescenariet. Vandforbruget antages uændret.

##### Perspektiv

Det store afsaltningsanlæg er et scenarium, præget af forsyningsikkerhed via udnyttelsen af en stor ressource. Scenariet udmærker sig ved, at der kan startes op med relativt kort varsel og der kræves en relativ lille ændring af vandhåndteringen. Selv om scenariet bygger på en relativ ny højteknologisk løsning, der stadig er under udvikling, må de anvendte teknikker betegnes så modne, at usikkerheden, sammenlignet med de øvrige scenarier, er lille. Scenariet vil kunne påbegynde en gradvis udfasning af grundvand inden for en tidshorisont på ca. 5 år og gennemføres i løbet af 10 år efter opstart. Scenariets mest kritiske element vil være, om brugerne vil accepteres havvand som vandressource, hvilket i sammenligning med nogle af de øvrige scenarier er en relativ lille barriere at overkomme.

##### Økonomi

Produktionsprisen for vandforsyning er skønnet til 3-5 kr./m<sup>3</sup> inklusiv etableringsomkostninger. Udgiften til drift og vedligeholdelse er ca. 4,80 kr./m<sup>3</sup>. Derved er de samlede omkostninger per leveret m<sup>3</sup> 8-10 kr., hvilket er i samme størrelsesorden som referencescenariet, men dog 17-45 % dyrere end dette. Omkostningerne til afløb og rensning antages at være uændrede i forhold til referencescenariet, dvs. 10,70 kr./m<sup>3</sup>.

##### Værre end referencescenariet

**Ressourcer****Værre end referencescenariet**

Energiforbruget til vandforsyning er opgjort til 73 GWh (= 2,1 kWh/m<sup>3</sup>). Energiforbrug til afløb og rensning er som i referencescenariet 6 MWh og 33GWh (= 0,48 kWh/m<sup>3</sup>). Dette svarer til 3 % af byens samlede energiforbrug eller 2,5 gange referencescenariets elforbrug. På nær transportledninger fra afsaltningsanlægget ind til byen, er infrastrukturen identisk med referencescenariet.

**Hygiejne og vandkvalitet****Bedre end referencescenariet**

Der leveres samme vandkvalitet til hele forsyningsområdet og til samtlige brugere. Det forventes, at den hygiejniske kvalitet af vandet svarer til referencescenariet. Den generelle vandkvalitet er muligvis bedre, som følge af at membranprocesserne også vil levere blødere vand og lavere saltkoncentrationer end i dagens drikkevand og være en barriere for eventuelle sundhedsskadelige stoffer, der hidtil ikke har været anset som problematiske. Det er uklart, om der er behov for desinfektion med f.eks. klor, hvorved smagen kan påvirkes. Men remineraliseringen giver også mulighed for at tilpasse smagen, så den ligger meget tæt på det forbrugerne er vant til. Der vil være høj sikkerhed mod smittestoffer i spildevandet og vandforsyningen.

**Miljøbelastning****Uændret i forhold til referencescenariet**

Udledningen af koncentratet fra afsaltningen kan give problemer lokalt i recipienten, men det kan reduceres ved udledning sammen med spildevand. Udledningen af næringsstoffer er 355 t N/år og 55 t P/år. Vandføringen i Øresund måles i 100'er af km<sup>3</sup> per år, og kan betragtes som en uendelig ressource i modsætning til grundvandsressourcen, der udnyttes i referencescenariet. Den samlede CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren fra elforbrug og slamafbrænding er 79.400 t/år (1,7 gange referencescenariets udledning). Udledningen af CO<sub>2</sub> svarer til 3 % af Københavns samlede CO<sub>2</sub>-udledning år 2003.

**Fleksibilitet og robusthed****Uændret i forhold til referencescenariet**

Risikoen for fejl på et så stort anlæg er lille og vandressourcens størrelse sikrer mod vandmangel. Hvis al vandforsyning er samlet på et anlæg, er konsekvensen af et nedbrud i systemprocesserne dog øget kraftigt. Denne risiko kan nedbringes betydeligt ved at etablere mere end et anlæg. Scenariet er fleksibelt i forhold til både stigning og fald i forbruget. Da membranelementerne løbende skal skiftes ud, vil det også være muligt løbende, at op- og nedgradere anlæggets kapacitet med flere eller færre "produktionslinier". Scenariet er uafhængigt af brugernes forståelse af systemet.

Rygrad: Scenariets rygrad er det store afsaltningsanlæg, som står for al vandforsyning.

Supplement: Der indgår ikke nogen supplerende forsyningssteknologier i scenariet. Til gengæld gør den centrale struktur det nemt at koble supplerende teknologier på nettet, f.eks. i form af oppumpet grundvand, gråt spildevand eller regnvand

Backup: Backup kan sikres ved at bibeholde det højdebeholdersystem, der også findes i dag, og som kan opbevare op til 4 døgn forbrug. Derudover kan man ved at have overkapacitet i afsaltningsanlægget etablere en backup til situationer med ekstra højt forbrug.

Reservoir: Scenariet er baseret på afsaltning af havvand fra Øresund, der i princippet vil fungerer som et udtømmeligt reservoir. Ved at bibeholde det højdebeholdersystem, der eksisterer i dag kombineret med en rentvandstank ved anlægget, som det også kendes fra almindelige

vandværker, vil det være muligt at etablere et rentvandsreservoir i størrelsesordenen 4-5 dages forbrug.

**Politiker- og forbrugeraccept****Uændret i forhold til referencescenariet**

Set fra et vandressourceperspektiv er scenariet mere bæredygtigt end referencescenariet, da det bygger på en ressource, der ikke kan udtømmes. Men scenariet går imod princippet om at bygge vandforsyningen på en ressource, der ikke kræver intensiv rensning. Membranprocesserne er meget energikrævende, selvom energiforbruget ved membranprocesser er faldet drastisk over de senere år. Det forventes, at havvand vil have et uæstetisk ry som vandressource. Til gengæld er scenariet relativt nemt at etablere og kræver den mindste indsats i forhold til de øvrige scenarier.

**Demonstrationsværdi****Bedre end referencescenariet**

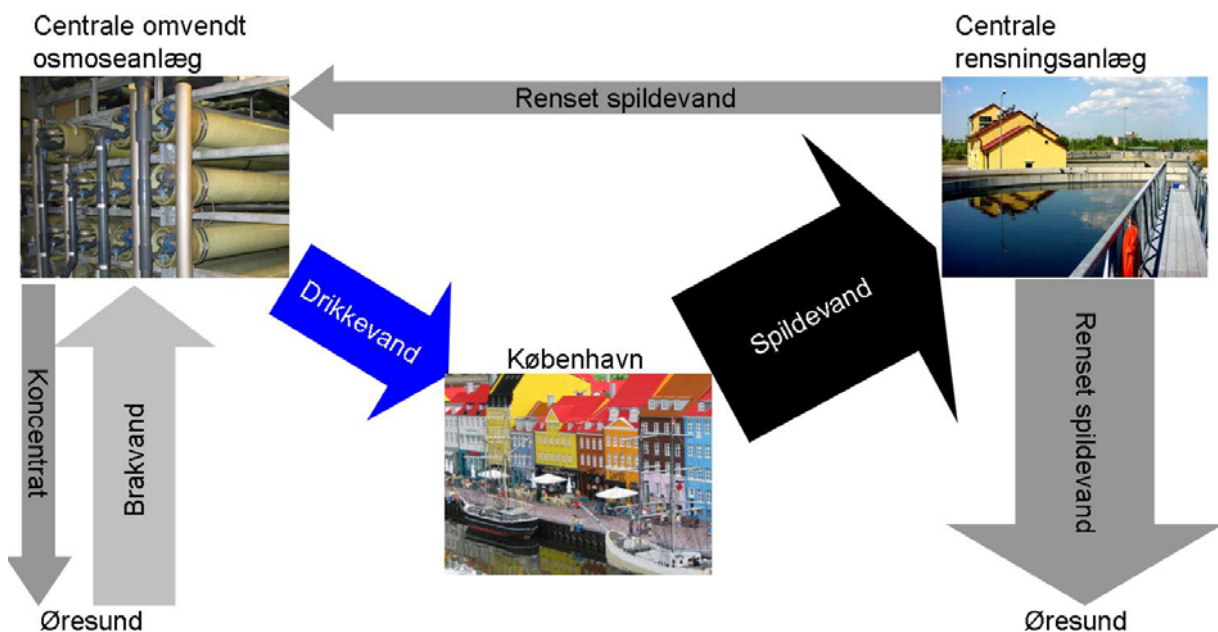
Afsaltning af denne skala vil være nyt i Østersøregionen, og scenariet vil dermed tiltrække en vis opmærksomhed.

**Usikkerhed og kritiske elementer****Værre end referencescenariet**

Økonomien i scenariets vandforsyning er behæftet med usikkerheder. Det er også meget usikkert, hvordan den politiske og forbrugermæssige opfattelse af afsaltet havvand vil være, når man står med valget mellem afsaltet havvand og overudnyttelse af ferskvandsressourcen. Det skal afklares, hvilke forbehandlings- og efterbehandlingsmetoder der er nødvendige. Anlægget er bygget op i produktionslinjer af membraner, så sandsynligheden for et stort sammenbrud i anlægget er meget lille. Flere anlæg forskellige steder vil reducere konsekvenser af et brud på en forsyningsledning.



## 4.2. Central recirkulering



### Karakteristik og teknisk beskrivelse

Dette scenarium fokuserer på genanvendelse af spildevand, både hvad angår næringsstoffer og vand vha. af højteknologiske og centrale rensningsmetoder. Alt forsyningsvand produceres på centrale anlæg, der ved brug af omvendt osmose afsalter havvand indvundet i den sydlige del af Øresund blandet med recirkuleret vand fra rensningsanlæggene. Herefter remineraliseres vandet og distribueres. Ca. 70 % af indløbsvolumen bliver til forsyningsvand, resten udledes til Øresund. Det antages, at 25 % af drikkevandsforsyningen dækkes af recirkuleret spildevand. Spildevand ledes til centrale rensningsanlæg, hvorefter en del af det rensede vand ledes til vandforsyningsanlægget og resten udledes i Øresund. Genindvundne næringsstoffer fra rensningsanlægget anvendes i landbruget. En effektiv adskillelse mellem spildevandsstrømmen og vandforsyningen er i dette scenarium sikret gennem en "multiple barrier" strategi, hvor mikrofiltrering, omvendt osmose og UV-belysning sikrer brugerne mod kontakt med smitstoffer. Selve distributionsnettet og afløbssystemet er identisk med referencescenariet. I scenariet antages uændret vandforbrug.

### Perspektiv

Dette scenarium kan starte op med relativt kort varsel og kræver en relativ lille ændring af vandhåndteringen, da al infrastruktur bevares intakt. Selv om scenariet bygger på en højteknologisk løsning, der stadig er under udvikling, vurderes usikkerheden at være lille, sammenlignet med de øvrige scenarier. Fordelen ved at inddrage spildevand er ressourcegenanvendelsen, samt at spildevandet har et lavere saltindhold end Øresund, hvilket vil mindske energiomkostningerne ved membranprocessen. Scenariet vil kunne påbegynde en gradvis udfasning af grundvand inden for en tidshorisont på ca. 5 år, og vil kunne gennemføres i løbet af 10-15 år efter opstart, om nødvendigt på kortere tid. Scenariets mest kritiske element er, om brugerne vil acceptere havvand og ikke mindst recirkuleret spildevand som vandressourcer. Det at modne den københavnske befolkning til, at en del af vandforsyningen udgøres af

recirkuleret spildevand, kan være en barriere, der tager længere tid at overkomme end den fysiske konstruktion af scenariet.

### **Økonomi**

### **Værre end referencescenariet**

De økonomiske overslag er baseret på, at 25 % af vandforsyningen dækkes af recirkuleret spildevand. Produktionsprisen for den del af vandforsyningen, der er produceret af havvand, er skønnet til at være 3-5 kr./m<sup>3</sup> inklusiv etableringsomkostninger. Det recirkulerede spildevand vil have en lavere pris pga. et lavere elforbrug og forskellen vil formentlig være i størrelsesordenen 0,5-1 kr./m<sup>3</sup>. Udgiften til drift og vedligeholdelse udgør ca. 4,80 kr./m<sup>3</sup>. De samlede omkostninger per leveret m<sup>3</sup> estimeres til 8-10 kr., hvilket er 17-45 % dyrere, men stadig i samme størrelsesorden som referencescenariet. Omkostningerne til afløb og rensning antages at være uændrede i forhold til referencescenariet, dvs. omkring 10,70 kr./m<sup>3</sup>, eksklusiv eventuel værdi af næringsstoffer.

### **Ressourcer**

### **Værre end referencescenariet**

Energiforbruget til vandforsyning er estimeret til 64 GWh (= 1,9 kWh/m<sup>3</sup>). Energiforbrug til afløb og rensning er som i referencescenariet 6 MWh og 33 GWh (= 0,48 kWh/m<sup>3</sup>). Hertil kommer energiforbruget til recirkulering af næringsstoffer. Dette svarer til 3 % af byens samlede energiforbrug og er 2 gange referencescenariets elforbrug. På nær transportledninger fra afsaltningsanlægget ind til byen og anlæg til genanvendelse af næringsstoffer er infrastrukturen identisk med referencescenariet.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Uændret i forhold til referencescenariet**

Der leveres den samme vandkvalitet til hele forsyningsområdet og til samtlige brugere. Det forventes, at den hygiejniske kvalitet af vandet er som i referencescenariet. Den generelle vandkvalitet er muligvis bedre, som følge af at membranprocesserne også vil levere blødere vand og lavere saltkoncentrationer end dagens drikkevand og være en barriere for eventuelle sundhedsskadelige stoffer, der hidtil ikke har været anset som problematiske. Det er uklart, om der er behov for desinfektion med f.eks. klor, hvorved smagen kan påvirkes. Men remineraliseringen giver mulighed for at tilpasse smagen så den ligger meget tæt på det forbrugerne er vant til. Der vil være samme høje sikkerhed mod smittestoffer i spildevandet og vandforsyningen som i referencescenariet. Viser det sig, at et ukendt stof, mod forventning har tendens til at passere membraner og ikke nedbrydes af f.eks. følgende UV-belysning, er der teoretisk risiko for, at stoffer opkoncentreres i vandforsyningen.

### **Miljøbelastning**

### **Uændret i forhold til referencescenariet**

Udledningen af koncentratet fra afsaltningen kan give problemer lokalt i recipienten, men dette kan reduceres ved udledning sammen med det øvrige spildevand. Udledningen af næringsstoffer er 355 t N/år og 55 t P/år. Det antages, at næringsstof-recirkuleringen primært vil påvirke næringsstofindholdet i slammet, og derfor er udledningen af N og P til Øresund uændret. Vandføringen i Øresund måles i 100'er af km<sup>3</sup> per år, og kan betragtes som en uendelig ressource i modsætning til grundvandsressourcen, der udnyttes i referencescenariet. Den samlede CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren fra energiforbruget er 74.700 t/år. CO<sub>2</sub>-udledningen svarer til 1,6 gange referencescenariets udledning eller 3 % af Københavns samlede udledning i 2003.

**Fleksibilitet og robusthed****Uændret i forhold til referencescenariet**

Risikoen for fejl på de store anlæg er lille og vandressourcens størrelse sikrer mod vandmangel. Pga. membranprocesserne har vandressourcens kvalitet mindre betydning for driftssikkerheden. At der benyttes 2 ressourcer samtidig øger fleksibiliteten i tilfælde af, at den ene ressource er midlertidigt utilgængelig. Den meget centrale håndtering øger dog kraftigt konsekvenserne af et nedbrud i systemprocesserne. Der er således tale om et system med en lille risiko for nedbrud, mens konsekvenserne af et nedbrud er store. Scenariet er fleksibelt i forhold til både stigning og fald i forbruget. Da membranelementerne løbende skal udskiftes, vil det også være muligt løbende at op- og nedgradere anlæggets kapacitet med flere eller færre ”produktionslinier”. Scenariet er uafhængigt af brugernes forståelse af systemet. Rensningsanlæggene er på grund af deres størrelse robuste overfor enkelte brugeres misbrug af afløbet.

Rygrad: Scenariets rygrad er afsaltningsanlægget som står for ca. 75 % af vandforsyningen.

Supplement: Afsaltningsanlægget er suppleret med recirkuleret spildevand, der udgør et betydeligt supplement på 25 % af vandforsyningen. Den centrale struktur gør det nemt at koble andre supplerende teknologier på nettet f.eks. i form af oppumpet grundvand.

Backup: Backup kan sikres ved at bibeholde det højdebeholdersystem, der findes i dag, og som kan opbevare op til 4 døgn forbrug. Derudover kan man ved at sikre at recirkuleringsgraden kan øges, sikre en vis backupkapacitet overfor svigt i indtaget af havvand.

Reservoir: Scenariets rygrad er baseret på afsaltning af havvand fra Øresund, der i princippet vil fungere som et udtømmeligt reservoir. Ved at bibeholde det højdebeholdersystem, der eksisterer i dag, kombineret med en rentvandstank ved anlægget, som det også kendes fra almindelige vandværker, vil det være muligt at etablere et rentvandsreservoir i størrelsesordenen 4-5 dages forbrug. Mulighederne for at etablere reservoirer af urensset spildevand er begrænsede, men for at udjævne belastningen på filtreringsanlægget skal der etableres et tankanlæg som en del af recirkuleringsanlægget. Kapaciteten af et sådant anlæg antages at være i størrelsesordenen 1-2 døgn forbrug.

**Politiker- og forbrugerafcept****Værre end referencescenariet**

Scenariet er mere bæredygtigt end referencescenariet, da det bygger på to ressourcer, der ikke kan udtømmes. Men scenariet går imod princippet om at bygge vandforsyningen på en ressource, der ikke kræver intensiv rensning. Membranprocesserne er stadig meget energikrævende, også selvom energiforbruget ved membranprocesser er faldet drastisk over de senere år. Det forventes, at havvand vil have et ry som en uæstetisk vandressource, og at recirkuleret vand vil have et ry som en meget uæstetisk vandressource.

En politisk og/eller forbrugermæssig opbakning kan måske opstå ved at markedsføre anlægget som miljømæssigt bæredygtigt.

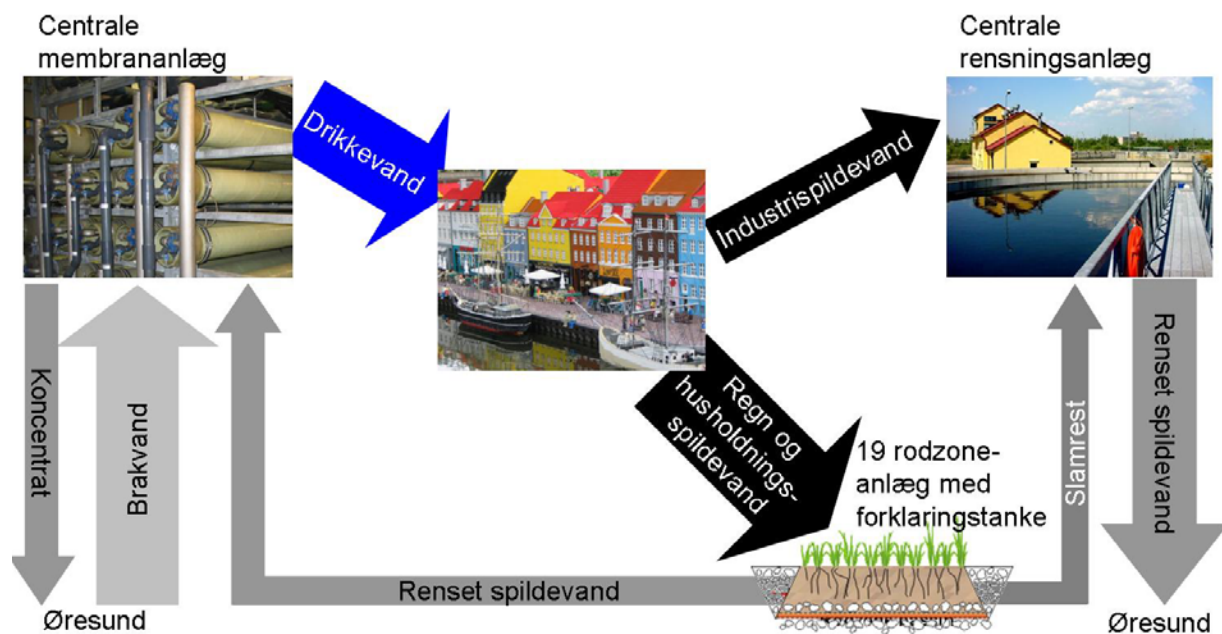
**Demonstrationsværdi****Bedre end referencescenariet**

Recirkulering af spildevand til brug i vandforsyningen vil givetvis skabe opmærksomhed på verdensbasis, hvor der i de fleste andre tilfælde er tale om indirekte recirkulering. Afsaltning af denne skala vil være nyt i Østersøregionen og scenariet vil dermed vække en vis opsigt. På trods af, at systemet ikke lægger op til brugerinddragelse og er et skjult system, vil det formentlig være nødvendigt at ”markedsføre” systemet og derigennem skabe forståelse fra brugerne.

**Usikkerhed****Værre end referencescenariet**

Økonomien i vandforsyningen er behæftet med store usikkerheder. Det er uklart, om der er risiko for ophobning af sundhedsskadelige stoffer i systemet som følge af recirkuleringen. Det er også meget usikkert, hvordan havvand og recirkuleret spildevand vil blive modtaget som vandressourcer.

### 4.3. Den naturlige vandfabrik



#### Karakteristik og teknisk beskrivelse

Dette scenarium fokuserer på aktiv inddragelse af grønne områder til ”produktion” af vand og på synliggørelse. Vandforsyningen er central som i referencescenariet, mens afløbssystemet her er designet med henblik på en optimal behandling af hver af de to fraktioner regnvand og øvrigt spildevand. Ved at integrere recirkulering i grønne rekreative områder, skabes der offentlig opmærksomhed om vandhåndteringen og der etableres en ekstra ”grøn” barriere i recirkulationssystemet. Ideen er, at alt spildevand der genanvendes, passerer en ”grøn barriere”, inden det slutbehandles i filtreringsanlæg og distribueres. Al husholdningsspildevand renses i 19 centrale rodzoneanlæg, mens industrispildevand og regnvand renses på hvert sit anlæg. Rodzoneanlæggene vil dække et areal på 2-4 km<sup>2</sup>, hvilket svarer til 25-35 % af de 20 største grønne områder i København. Vandindvindingen er baseret på et membran anlæg, der skal sikre et kemisk og hygiejnisk stabilt produkt. Vandressourcen vil bestå af recirkuleret vand og havvand fra Øresund, fordelt så ca. 30 % af vandforsyningen dækkes af recirkuleret spildevand, og ca. 70 % dækkes af havvand. Udløbene fra de forskellige rensningsanlæg udnyttes i vandforsyningen efter sandfiltrering, mikrofiltrering og nano- eller omvendt osmose-filtrering. Afløbssystemet er delt op i tre strømme, hvoraf husholdningsspildevand og regnvand dækker hele byen. Industrispildevand og slam fra bundfældningstanke ledes fra industriområder og rodzoneanlæg til rensningsanlægget. Derudover skal der etableres et rørsystem, der forbinder rodzoneanlæggene med filtreringsanlæggene. I scenariet antages uændret vandforbrug.

#### Perspektiv

Den naturlige vandfabrik er et scenarium med stor forsyningssikkerhed og et grønt image. Der er store etableringsomkostninger forbundet med scenariet, hvilket medvirker til, at vandprisen bliver ret høj. Man vil kunne begynde en gradvis udfasning af grundvand med havvand inden for 5 år. Rodzoneanlæggene kan opbygges et af gangen, og med et anlæg om året giver det en etableringstid på ca. 20 år. Scenariets mest kritiske element vil være, om brugerne vil acceptere havvand og ikke mindst recirkuleret spildevand som vandressourcer, og om rodzoneanlæggene

vil kunne integreres æstetisk såvel som rent fysisk i de grønne områder, så det ikke påvirker den rekreative værdi uacceptabelt meget.

### **Økonomi**

### **Meget værre end referencescenariet**

Der forventes en produktionspris på 3-5 kr./m<sup>3</sup> inklusiv etableringsomkostninger uafhængigt af vandressourcen. Den del af vandforsyningen, der udgøres af recirkuleret spildevand, kan måske produceres lidt billigere, da elforbruget vil være lavere. Udgiften til drift og vedligeholdelse udgør ca. 4,80 kr./m<sup>3</sup>. Derved udgør de samlede omkostninger 8-10 kr. per leveret m<sup>3</sup>. Afløbsudgifterne er skønnet til 365 mio. kr./år svarende til 5 kr./ m<sup>3</sup> afløbsvand eller 11 kr./ leveret m<sup>3</sup>. Udgift til rodzonerensning er ca. 12,5 kr./m<sup>3</sup>. Øvrig rensning er ca. 3 kr. per leveret m<sup>3</sup>. Dvs. samlet udgift til afløb og rensning udgør ca. 26 kr./m<sup>3</sup>, svarende til 2,5 gange omkostningerne i referencescenariet.

### **Ressourcer**

### **Værre end referencescenariet**

Energiforbruget til vandforsyning er opgjort til 58 GWh eller 1,7 kWh per leveret m<sup>3</sup>. Energiforbrug til afløb og rensning er som i referencescenariet 6 MWh og 20 GWh/år (0,3 kWh per håndteret m<sup>3</sup>). Det samlede elforbrug for vandhåndteringen er i dette scenarium 78 GWh, svarende til 1,9 gange referencescenariets elforbrug eller 3 % af Københavns samlede elforbrug år 2003. Det forventes, at der skal etableres ca. 3000 km kloakledning. Til vandforsyning kan det eksisterende net bruges. Derudover skal der etableres rodzoneanlæg og bygges nye vandværker og eventuelt nye rensningsanlæg, hvis de eksisterende ikke kan anvendes.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Uændret i forhold til referencescenariet**

Der leveres samme vandkvalitet til hele forsyningsområdet og til samtlige brugere. Det forventes, at den hygiejniske kvalitet af vandet er som i referencescenariet. Den generelle vandkvalitet er muligvis bedre, som følge af at membranprocesserne også vil levere blødere vand og lavere saltkoncentrationer end i dagens drikkevand og være en barriere for eventuelle sundhedsskadelige stoffer, der hidtil ikke har været anset som problematiske. Det er uklart, om der er behov for desinfektion med f.eks. klor, hvorved smagen kan påvirkes. Remineraliseringen giver mulighed for at tilpasse smagen, så den ligger meget tæt på, hvad forbrugerne er vant til. Der vil være høj sikkerhed mod smittestoffer i spildevandet og vandforsyningen. En effektiv adskillelse mellem spildevandsstrømmen og vandforsyningen er i dette scenarium sikret gennem en "multiple barrier" strategi, hvor smitstoffer og brugere adskilles i flere omgange af den grønne barriere, mikrofiltrering, omvendt osmose og UV-belysning. Viser det sig, at et ukendt stof mod forventning har tendens til at passere membraner og ikke nedbrydes af f.eks. følgende UV-belysning, er der teoretisk risiko for, at stoffer opkoncentreres i vandforsyningen.

### **Miljøbelastning**

### **Bedre end referencescenariet**

Udledning af koncentratet fra afsaltningen kan give problemer lokalt, men dette kan reduceres ved udledning sammen med det øvrige spildevand. Udledningen af næringsstoffer er 355 t N/år og 55t P/år. Det antages, at slammængden reduceres med 50 % på grund af rodzoneanlæggene. Med tiden kan problematiske stoffer muligvis ophobes i rodzoneanlæggene, og jorden derfra kan blive forurenet. Vandføringen i Øresund måles i 100'er af km<sup>3</sup> per år, og kan betragtes som en uendelig ressource i modsætning til grundvandsressourcen, der udnyttes i referencescenariet. Den samlede CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren er 54.600 t/år (1,3 gange referencescenariet). CO<sub>2</sub>-udledningen svarer til 2 % af Købehavns samlede udledning i 2003 på 2,3 mio. tons.

**Fleksibilitet og robusthed****Uændret i forhold til referencescenariet**

Risikoen for fejl på de store anlæg er lille, og vandressourcens størrelse sikrer mod vandmangel. Pga. membranprocesserne har vandressourcens kvalitet mindre betydning for driftssikkerheden. At der benyttes 2 ressourcer samtidigt øger fleksibiliteten i tilfælde af, at den ene ressource er midlertidigt utilgængelig. Den meget centrale håndtering øger dog kraftigt konsekvenserne af et nedbrud i systemprocesserne. Rodzoneanlæggene kan stoppe til, og misbrug af afløbene til rodzoneanlæggene kan ødelægge de biologiske processer, f.eks. hvis der hældes opløsningsmidler i husholdningsafløbet. Effekten af dette kan minimeres ved at opretholde en overkapacitet på spildevandsanlæggene, så det vil være muligt at bypasse en del af rodzoneanlæggene i forbindelse med vedligehold eller andre driftsforstyrrelser. Scenariet er fleksibelt i forhold til både stigning og fald i forbruget. Da membranelementerne løbende skal skiftes ud, vil det også være muligt løbende at op- og nedgradere anlæggets kapacitet med flere eller færre ”produktionslinier”. Det er ikke nødvendigt, at brugerne forstår principperne bag vandhåndteringen, bortset fra en forståelse af at husholdningsafløbene ikke må misbruges, da det kan give alvorlige følger for spildevandsbehandlingen.

Rygrad: Scenariets rygrad er afsaltning af havvand, som står for ca. 70 % af vandforsyningen.

Supplement: Afsaltningsanlægget er suppleret med vandproduktion i byens grønne områder, der udgør et betydeligt supplement på 30 % af vandforsyningen. Den centrale struktur gør det nemt at koble andre supplerende teknologier på nettet, f.eks. i form af oppumpet grundvand eller regnvand.

Backup: Backup kan sikres ved at bibeholde det højdebeholdersystem, der findes i dag, og som kan opbevare op til 4 døgn forbrug. Derudover kan man ved at have overkapacitet i afsaltningsanlægget etablere en backup til situationer med ekstra højt forbrug.

Reservoir: Scenariets rygrad er baseret på afsaltning af havvand fra Øresund, der i princippet er et udtømmeligt reservoir. Ved at bibeholde det højdebeholdersystem, der eksisterer i dag kombineret med en rentvandstank ved anlægget, som det også kendes fra almindelige vandværker, vil det være muligt at etablere et rentvandsreservoir i størrelsesordenen 4-5 dages forbrug. Mulighederne for at etablere reservoirer i forbindelse med rodzoneanlæggene er begrænsede, men også for at udjævne belastningen på anlæggene kan der etableres et tankanlæg som en del af anlægget. Kapaciteten af et sådant anlæg vil formentlig være i størrelsesordenen 1-2 døgn forbrug.

**Politiker- og forbrugeraccept****Uændret i forhold til referencescenariet**

Scenariet er mere bæredygtigt end referencescenariet, da det bygger på to ressourcer, der ikke kan udtømmes. Det producerede vand kan ikke leve op til principperne for indvinding af vand baseret på en ressource, der ikke kræver intensiv rensning. Membranprocesserne er meget energikrævende, også selvom energiforbruget ved membranprocesser er faldet drastisk over de senere år. Det forventes, at havvand vil have ry som en uæstetisk vandressource og at recirkuleret vand vil have et ry som en meget uæstetisk vandressource. Omvendt giver rodzoneanlæggene scenariet et grønt/naturligt image.

En politisk og/eller forbrugermæssig opbakning kan måske opstå ved at markedsføre anlægget på dets grønne profil.

**Demonstrationsværdi****Meget bedre end referencescenariet**

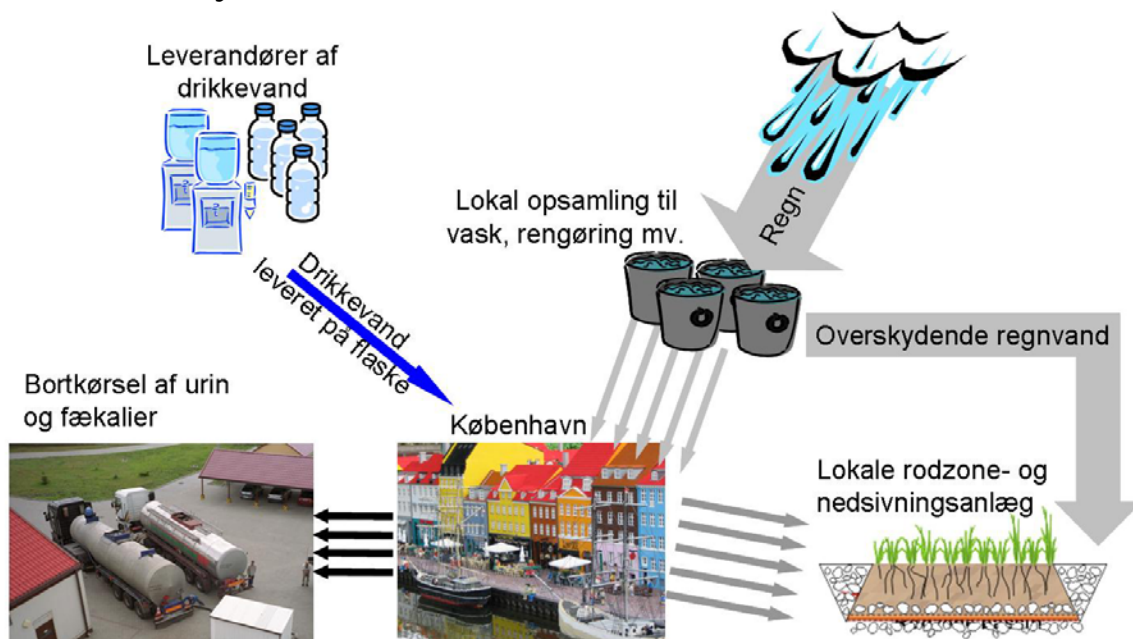
Afsaltning i denne skala vil være nyt i Østersøregionen, og scenariet vil dermed vække en vis opsigt. Recirkulering af spildevand til brug i vandforsyningen vil givetvis skabe opmærksomhed på verdensbasis. De store rodzoneanlæg vil også vække international opsigt og vil være opsigtsvækkende elementer i bybilledet. På trods af, at systemet ikke lægger op til brugerinddragelse og er et skjult system, vil det formentlig være nødvendigt at ”markedsføre” systemet og derigennem skabe interesse for brugerne.

**Usikkerhed****Meget værre end referencescenariet**

Økonomien i vandforsyningen er behæftet med store usikkerheder. En væsentlig økonomisk post i dette scenarium er afløbsdelen, der fysisk er tre gange så stor som i referencescenariet, og etableringsomkostningerne af sådant et system er meget usikre. Rodzoneanlæggene er behæftet med stor usikkerhed, hvad angår både økonomi og effektivitet. Det er også meget usikkert, hvordan den politiske og forbrugermæssige accept vil være af afsaltet havvand/spildevand, når man står med valget mellem disse ressourcer og overudnyttelse af ferskvandsressourcen.



#### 4.4. Grøn by



##### Karakteristik og teknisk beskrivelse

I dette scenarium er der fokus på grønne og ”lavteknologiske” løsninger til vandhåndtering og på en minimering af antallet af rør i byen. Vand til forsyning produceres lokalt. Urin og fækalier opsamles med henblik på anvendelse. Opsamlet regn bruges til håndvask, tøjvask og rengøring. Afhængig af kvaliteten af det opsamlede vand er det formodentlig nødvendigt med f.eks. UV-behandling, før vandet anvendes til personlig hygiejne. Ideen med scenariet er først at udnytte lokale vandressourcer til forsyning og dernæst genbruge vandet lokalt til at gøre byen grønnere. Gråt spildevand behandles i rodzoneanlæg så lokalt som muligt, dvs. på ejendoms- eller karréniveau, og vandet nedsives efter rensning via faskiner. Rodzoneanlægget kræver forbehandling med bundfældningstank. Slammet fra bundfældningstanken drænes og komposteres lokalt. Urin og fækalier opsamles gennem brug af urinseparerende tørklosetter med henblik på lokal kompostering af fækalier. Øvrigt organisk affald fra husholdningen komposteres også. Urin eksporteres til landbrugsarealer udenfor kommunen, mens komposten genbruges lokalt eller eksporteres ud af området. Det forudsættes i dette scenarium, at der købes 2 liter drikkevand på flaske per person pr. dag, da det med lokale grønne rensemetoder er vanskeligt at sikre den nødvendige vandkvalitet til drikkevand. Det antages, at vandforbruget reduceres med omkring 40 % som følge af brugerinddragelsen i vandhåndteringen, og den anderledes forsyningspraksis. Brugernes aktive indsats er et centralt element i scenariet.

##### Perspektiv

Den grønne by er et scenarium med et image som meget bæredygtigt. Der er meget store omkostninger forbundet med nyanlæg i scenariet og kun meget lidt af den eksisterende infrastruktur videreføres. Dette resulterer i en høj vandpris. Den fysiske udbygning kan begyndes med meget kort varsel, men med etablering af 2000 regnvandsanlæg og 100.000 m<sup>2</sup> rodzoneanlæg om året, hvilket nok er i overkanten af det mulige, vil en etablering tage ca. 25 år. Dertil kommer den borgeruddannelse, der er nødvendig. Københavnerne skal vænnes til at bruge 40 % mindre vand og håndtere egen urin og fækalier. Dette kan meget vel kræve mindst samme

tidshorisont som den fysiske etablering. De mest kritiske elementer er at sikre, at det indsamlede regnvand har en tilstrækkelig kvalitet, om det fysisk er muligt at etablere alle de nødvendige installationer (ikke mindst rodzoneanlæggene), om det vil være muligt at uddanne københavnernes til næsten at halvere deres vandforbrug og håndtere urin og fækalier, og om den høje grad af nedsivning kan lade sig gøre på en måde, så grundvandsstigningen under byen ikke kommer til at udgøre for stort et problem.

### **Økonomi**

### **Meget værre end referencescenariet**

Udgiften til vandforsyning er estimeret til ca. 70 kr./m<sup>3</sup>. Prisen for håndtering af gråt spildevand er ca. 20 kr./m<sup>3</sup>, eller i alt ca. 1800 mio. kr. per år. Udgifter til rensning, urinopsamling og kompostering er estimeret til 572 mio. kr./år. Dertil kommer udgift til transport og endelig disponering af urin og fækalier uden for byen. Samlet er prisen væsentligt højere (>4 gange) end referencescenariet, hvilket for en stor dels vedkommende skyldes meget høje krav til nyanlæg. Med dette scenarium afskrives værdien af den eksisterende vandforsyning, afløb samt rensningsanlæggene, i alt ca. 10 mia. kr.

### **Ressourcer**

### **Bedre end referencescenariet**

Elforbruget er generelt meget lavt i forhold til referencescenariet. Samlet er energiforbruget vurderet til 8,8 GWh for både vandforsyning og rensning (1/5 af referencescenariet). Der vil årligt blive produceret 240.000 m<sup>3</sup> urin og 38.000 ton fækalier. Hertil kommer en ukendt mængde filterslam fra regnvandsanlæg, der formentlig kan afbrændes på forbrændingsanlæg. Det er en meget lille del af den eksisterende infrastruktur, der kan genanvendes. Der skal etableres anlæg til opsamling af regnvand, rodzoneanlæg og infiltrationsfaskiner, samt etableres rørføring til både vandforsyning og spildevandshåndtering. Der vil også være et ressourceforbrug i forbindelse med håndtering af flaskevand.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Værre end referencescenariet**

Dette scenarium indebærer store ændringer i forhold til vandkvalitet og hygiejne. Vandet, der produceres lokalt, er desinficeret for at undgå, at brugeren får kontakt med smitstoffer, men drikkevand forsynes alligevel via flasker. Særligt børns risiko for at indtage regnvand i forbindelse med bad, leg mv. bør overvejes nøje i et videre studie af dette scenarium. Der burde ikke være nogen væsentlig risiko forbundet med bortskaffelse af spildevand via rodzoner og nedsivning, og der vil være samme høje sikkerhed mod smittestoffer i spildevandet som i referencescenariet. Vand-kemien kan gøre vandet problematisk i forbindelse med vask af f.eks. tøj, eller korrosion. På den anden side kan det bløde regnvand medføre et sænket sæbe- og kemiforbrug. Urinopsamlingen kan foregå i et lukket system, hvor risikoen for kontakt med brugeren er meget lille, mens fækalier skal opsamles og flyttes via f.eks. poser af brugeren selv til komposteringsbeholderen.

### **Miljøbelastning**

### **Bedre end referencescenariet**

Dette ”grønne” scenarium har et lavt energiforbrug, og recirkuleringen af næringsstoffer er stor i forhold til referencescenariet. Med tiden kan der i rodzoneanlæggene ophobes en del miljøfremmede stoffer, så jorden kan blive klassificeret som foruren. Der er et meget stort arealforbrug i forbindelse med regnopsamlingstanke, nedsivning, rodzone og komposteringsbeholdere. Hverken vandressourcer på Sjælland eller havvandsressourcer belastes af scenariet udover øget afstrømning via vandløb og grundvand. Den samlede CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren er 6.000 t/år (1/7 af referencescenariet).

**Fleksibilitet og robusthed****Værre end referencescenariet**

Scenariet er, set fra et by-perspektiv, meget robust på grund af sin decentrale struktur. Er der fejl et enkelt sted i systemet, vil det øvrige system være upåvirket af dette. Til gengæld betyder den decentrale struktur, at overvågning og kontrol af anlæg er en meget større opgave.

Regnvandsopsamling er en naturligt varierende proces, hvilket er en svaghed i forhold til forsyningssikkerheden. Scenariet er helt afhængigt af lokal deltagelse, og af at vandforbruget kan reduceres med 40 %. Det skal overvejes nøje, hvordan man sikrer funktionen blandt den del af befolkningen, der ikke kan anvende systemet på normal vis f.eks. på grund af alder, sygdom, uvilje mv. Scenariet er meget lidt fleksibelt overfor stigning i vandforbruget.

Rygrad: Rygraden i scenariet består af opsamlet regnvand.

Supplement: Udover flaskevand indgår der ikke noget supplement i vandforsyningen. En oplagt mulighed for at supplere vandforsyningen er oppumpning af grundvand. En væsentlig del af spildevand og regnvand nedsives lokalt og det vil være en naturlig udbygning af scenariet at udnytte den øgede grundvandsmængde.

Backup: Udover at mængden af flaskevand kan øges, er der ikke noget backupsystem i scenariet. Afstanden mellem anlæggene vil være meget kort og de omkringliggende anlæg kan fungere som backup, hvis et enkelt anlæg fejler. Backupkapaciteten vil være ret begrænset, da det enkelte anlægs mulighed for at øge vandproduktionen, vil være ret lille.

Reservoir: Vandressourcen i scenariet er regnvand, hvorfor det vil være nødvendigt med etablering af betragteligt beholdervolumen i forbindelse med anlæggene, formentlig i størrelsesordenen 20-40 døgn forbrug. Det areal, der vil være til rådighed for opmagasinering af rent vand, vil være begrænset. Vandforsyning er baseret på lokal forsyning, så det højdebeholdersystem, der er i referencescenariet vil blive nedlagt.

**Politiker- og forbrugeraccept****Uændret i forhold til referencescenariet**

Scenariet er baseret på regnvandsopsamling og gør København uafhængig af vandressourcer udenfor kommunen, hvilket giver scenariet en meget bæredygtig profil. Der kræves en massiv opbakning blandt politikere og ikke mindst brugere, for at systemet kan fungere. Det er uvist, hvilket ry regnvand vil have som ressource. Det vil kræve en meget systematisk og fokuseret indsats at reducere vandforbruget med 40 %. Det vil formentlig være en grænseoverskridende oplevelse for en stor del af brugerne at skulle håndtere deres fækalier så direkte, som scenariet kræver. Dette problem vil dog kunne løses med ny teknologi. Lugtgener i forbindelse med komposteringen vil også kunne give scenariet et negativt ry.

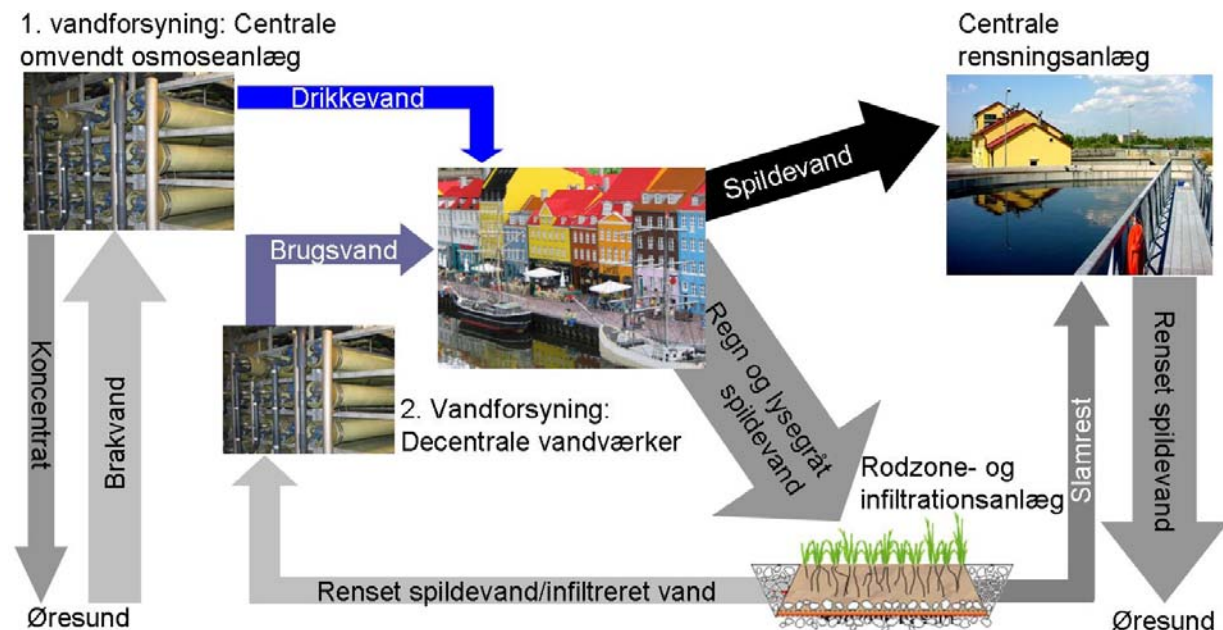
**Demonstrationsværdi****Meget bedre end referencescenariet**

Både for professionelle og brugere vil dette scenarium have en enorm demonstrationsværdi. Storskala regnvandsopsamling i storbyer er kun set meget få steder, og også storskala separat urin- og fækaliehåndtering vil være nyt på verdensplan. København vil få et omdømme, der vil være provokerende og vække opsigt globalt. Der er tale om et meget åbent og synligt system. En massiv markedsføring af scenariet er en væsentlig forudsætning for accepten hos brugerne, og alle bør inddrages i planlægningen og implementeringen.

**Usikkerhed****Meget værre end referencescenariet**

De største usikkerheder i dette scenarium knytter sig til mængden af regnvand, der er tilgængeligt for byens vandforbrug, arealbehovet for nedsivning af vand og omkostninger til etablering af nye forsyningssystemer. Væsentlige spørgsmål som det praktiske design af regnvands-opsamlingen og nedsivning af regn og spildevand er ikke besvaret her. Dette medfører store usikkerheder omkring økonomi, ressourceforbrug og den praktiske gennemførlighed. Det er også uklart, om der vil være vilje til at aftage urin og kompost i landbruget. Der er i dag overskud af næringsstoffer i landbruget pga. den store svineproduktion, der er i Danmark. Hvis scenariet blev gennemført nu, vil det formentlig være vanskeligt at afsætte næringsstofferne til landbruget.

## 4.5. Flerstrengt forsyning



### Karakteristik og teknisk beskrivelse

Scenariet har fokus på et København, hvor to eller flere aktører udbyder vand til vandforsyning i forskellige kvaliteter som led i en liberalisering af kommunens strukturer. I et system distribueres en 1. kvalitet, der har drikkevandskvalitet, og i et andet system distribueres en 2. kvalitet, der ikke lever op til drikkevandskrav, men som kan anvendes til alle formål undtagen at drikke. Den gode kvalitet vand er baseret på afsaltet havvand. Den sekundære kvalitet bruger opsamlet regnvand og lysegrå spildevand som ressource. Sort og grå spildevand sendes til konventionelt rensningsanlæg. Det lysegrå spildevand ledes til infiltration eller rodzoneanlæg, der enten kan være på ejendoms-, gade- eller kvarter-skala. I scenariet er det antaget, at alt regnvand ledes gennem rodzoneanlæg. På decentrale vandværker bruges enten udløbet fra rodzoneanlæggene eller oppumpet infiltrationsvand. Vandet filtreres og desinficeres før det distribueres. Der er altså tale om et tostrengt afløbssystem, et centralt net til sort og grå spildevand og decentrale net til lysegrå spildevand og regnvand. På samme måde er der tale om tostrengt forsyningssystem, et centralt net til 1. kvalitets vandet og decentrale net til 2. kvalitets vandet. Det antages, at vandforbruget er uændret i forhold til referencescenariet, og at de to vandforsyninger hver dækker 50 % af vandforsyningen. Spildevandsrensning kan også tænkes liberaliseret, hvorfor rensemetoden kan variere fra bydel til bydel.

### Perspektiv

Flerstrengt forsyning er et scenarium med et liberalt, men også grønt og bæredygtigt image. Der er ret store omkostninger forbundet med nyanlæg i scenariet, hvilket resulterer i en noget højere vandpris end i referencescenariet. Den fysiske udbygning kan begyndes med meget kort varsel. Med etablering af dobbelt rørføring i 10.000 boliger om året og etablering af 100.000 m<sup>2</sup> rodzoneanlæg om året, hvilket nok er i overkanten af det mulige, vil en etablering tage minimum 25 år. Hvis man lader den dobbelte rørføring blive etableret i den takt, boligerne naturligt bliver renoveret i, står man overfor en tidshorisont på 50 år eller mere. Det mest kritiske element i

scenariet er, om 2. kvalitets vandforsyningen fungerer hensigtsmæssigt og om 2. kvalitetsvandet bliver accepteret af forbrugerne. Dertil kommer de praktiske problemer med etablering af den dobbelte rørføring i boligerne, specielt i ældre og små boliger.

### **Økonomi**

### **Værre end referencescenariet**

Udgiften til vandforsyning er vurderet til 153 mio. kr./år for 1. kvalitets vand og ca. 100 mio. kr./år for 2. kvalitets vand. Samlede omkostning til vandforsyning er ca. 250 mio. kr. Heri er ikke inkluderet udgifter til etablering af lokale 2. kvalitets distributionsnet. Udgifterne til spildevandsrensning er: sort og gråt spildevand ca. 210 mio. kr./år. Lysegråt og regnvand ca. 580 mio. kr./år inklusiv etablering. I alt ca. 790 mio. kr. for spildevandsrensning. Samlet er omkostningerne ca. 1,7 gange de samlede omkostninger i referencescenariet. En ukendt andel af den eksisterende infrastruktur skal afskrives.

### **Ressourcer**

### **Værre end referencescenariet**

Elforbruget ligger lidt over referencescenariet, hvilket primært skyldes, at en del af vandforsyningen skal afsaltes. Samlet er energiforbruget vurderet til 51 Gwh/år for både vandforsyning og rensning, svarende til 1,2 gange referencescenariet. Det eksisterende vandforsyningsnet kan videreføres til 1. kvalitetsvandet. Hertil kommer etablering af rodzone, afsaltningsanlæg, lokale vandværker og lokale forsynings- og afløbsnet. Kun en begrænset del af afløbssystemet bevares.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Værre end referencescenariet**

Dette scenarium indebærer store ændringer i forhold til vandkvalitet og hygiejne. Vandet, der produceres lokalt, er desinficeret for at undgå, at brugeren får kontakt med smitstoffer. 1. kvalitets vandet vil hygiejnisk være ligeså godt eller bedre end i referencescenariet. Remineraliseringen sikrer, at man smagsmæssigt også kan komme meget tæt på referencescenariet. Det er vigtigt at sikre, at specielt børn ikke kommer til at drikke 2. kvalitets vandet.

### **Miljøbelastning**

### **Bedre end referencescenariet**

Den samlede CO<sub>2</sub> udledning er vurderet til 41.000 t/år, lidt lavere (90 %) end referencescenariet. Udledningen til Øresund, på 330 t N og 48 t P om året, er lidt lavere end referencescenariet. Med tiden kan der i rodzoneanlæggene ophobes en del miljøfremmede stoffer, så jorden kan blive klassificeret som forurenede. Der er et meget stort arealforbrug i forbindelse med nedsivning, rodzoner og lokale vandværker. Vandressourcen på Sjælland belastes ikke af scenariet udover øget afstrømning via vandløb og grundvand.

### **Fleksibilitet og robusthed**

### **Bedre end referencescenariet**

Scenariet er meget robust på grund af det dobbelte leveringssystem, hvor 1. kvalitetsvandet er baseret på havvand, der er en meget stabil ressource. Den decentrale struktur af 2. kvalitetsvandet sikrer, at lokale fejl får begrænset konsekvenser. Svigter den ene kvalitet, vil den anden altid være til rådighed. Rodzoneanlæggene er ret ufleksible overfor stigninger i vandforbruget. Scenariet er afhængigt af, at brugerne forstår, hvad 2. kvalitetsvandet må bruges til, og også at brugerne er villige til at bruge den. Det vil nok være nødvendigt at opretholde en overkapacitet i begge forsyningsystemer, hvilket vil give robusthed overfor stigning i vandforbruget.

Rygrad: Scenariet er baseret på to vandressourcer, afsaltet havvand og recirkuleret spildevand, der hver især antages at udgøre 50 % af vandforsyningen.

Supplement: De to vandforsyninger supplerer hinanden indbyrdes.

Backup: For at kunne imødekomme efterspørgslen, vil der både i 1. kvalitetssystemet og i 2. kvalitetssystemet være en vis overkapacitet, som også vil kunne fungere som backup. Derudover er vandforsyningen til dels centraliseret, så det højdebeholdersystem med kapacitet til ca. 4 dages forbrug, der indgår i referencescenariet, vil kunne bibeholdes.

Reservoir: Højdebeholdersystemet bibeholdes, så kombineret med en rentvandstank ved anlægget, vil der være et rentvandsreservoir på 4-5 døgn forbrug. Scenariet er delvist baseret på afsaltning af havvand fra Øresund, der i princippet vil fungere som et udtømmeligt råvandsreservoir. 2. kvalitetssystemet er delvist baseret på opsamling af regnvand, og det vil være nødvendigt at etablere et betragteligt beholdervolumen, formentlig i størrelsesordenen 10-15 døgn.

### **Politiker- og forbrugeraccept**

### **Bedre end referencescenariet**

Rodzoneanlæggene og den høje genanvendelsesgrad af regnvand og gråt spildevand giver scenariet et grønt og bæredygtigt image. Liberalisering af vand, som mange betragter som en menneskeret kan vække modstand hos en del af brugerne, men til gengæld vil andre blive tiltrukket af det frie valg. Det forventes, at havvand vil have et uæstetisk ry som vandressource og at recirkuleret vand vil have et meget uæstetisk ry som vandressource. Scenariet er afhængigt af, at brugerne er interesseret i at benytte den billigere 2. kvalitetsforsyning. Rodzoneanlæggenes arealkrav kan nogle steder give begrænsninger i gårdmiljøer og grønne områder.

### **Demonstrationsværdi**

### **Meget bedre end referencescenariet**

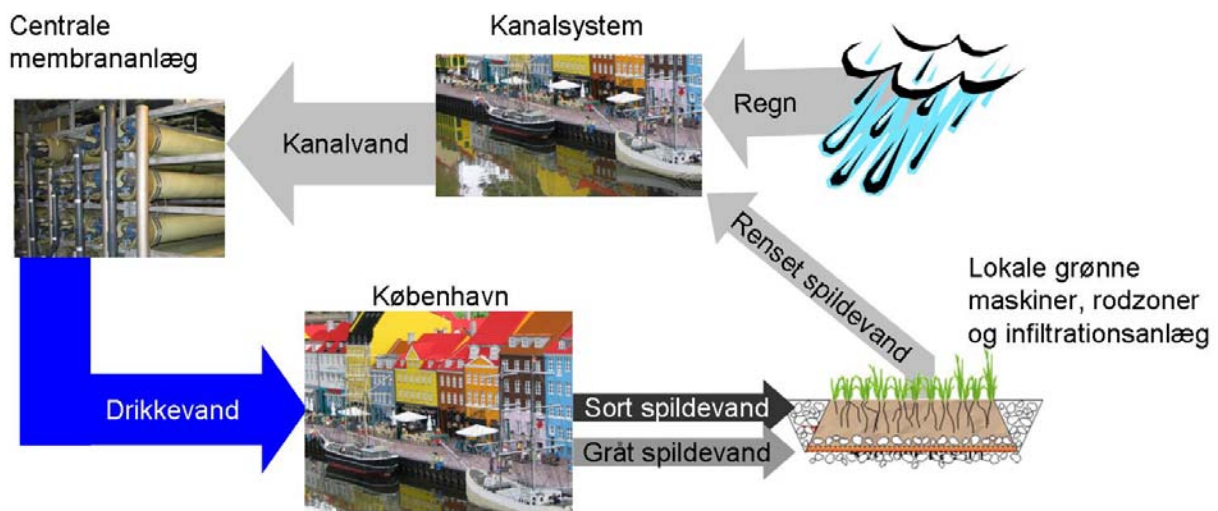
Scenariet vil have en ganske stor demonstrationsværdi. Det liberale vandforsyningssystem med to kvaliteter er ikke set før i så stor skala. Rodzoneanlæg er heller ikke set før som rensemetode i den skala.

### **Usikkerhed**

### **Meget værre end referencescenariet**

Der er store usikkerheder i de økonomiske forudsætninger, idet scenariet er sammensat på en måde, der ikke er set før. Det er usikkert, om der kan findes plads til rodzoneanlæg og de decentrale vandværker.

## 4.6. Den blå by



### Karakteristik og teknisk beskrivelse

I dette scenarium er der fokus på at synliggøre vand og udnyttelse af flere af vandets værdier. Vandet bringes ind som centralt element i byens arkitektur. København omdannes til Nordens Venedig, hvor dynamisk opmagasineret i et system af kanaler bliver et identitetsskabende vartegn for byen. Alle vandfraktioner inkluderes i kanalsystemet efter fornøden rensning. Kanalernes udløb reguleres, så vandstanden holdes indenfor et passende interval. Vand fra tage ledes direkte i kanalerne, andet regnvand ledes til kanalerne via grusfaskiner langs kanalerne. Grusfaskiner fungerer som filtrering inden vandet ledes til kanalen. Spildevand renses decentralt i *grønne maskiner*, der er biologiske rensningsanlæg bestående af rækker af økosystemer, hvor mikroorganismer, planter, dyr o.l. rens vandet i tanke og biofiltre. De grønne maskiner integreres i grønne områder, offentlige bygninger, skoler etc. Efter rensning ledes spildevandet til kanalerne. Vandforsyning leveres via en eller få "vandfabrikker", der bruger vand fra kanalerne som ressource. Vandet renses højteknologisk med mikrofiltrering, omvendt osmose og desinfektion til en god kvalitet. Eventuelt etableres en drikkevandsforsyning via flasker. Det er ikke kun kanalerne, der skal synliggøre vandet, vand skal være byens identitet, så vand bliver også centrale elementer i kultur, kunst og fritidsliv. De forskellige anlæg til rensning og vandforsyning gøres til arkitektoniske værdier, der lægges mærke til. Ideen er at udnytte så mange af vandets værdier som muligt og ikke kun bruge vand til at opfylde fysiologiske og hygiejniske behov i boligerne, samt at være bæremiddel for affald, men også udnytte den rekreative, den æstetiske og den kunstneriske værdi af vand. På grund af byens blå/grønne identitet antages det, at vandforbruget reduceres med 20 %.

### Perspektiv

Den blå by er et scenarium præget af det blå/grønne image og ideen om at udnytte alle vandets værdier. Scenariet vil give byen et helt nyt udseende, hvor vand har en endnu mere fremtrædende rolle i bybilledet end i dag. Der er store etableringsomkostninger forbundet med scenariet, hvilket er medvirkende til, at vandprisen bliver høj. Etablering af grønne rensningsanlæg vil kunne begynde karré- eller kvartervis inden få år. Påbegyndelsen af infiltrationsfaskiner og kanalsystemet vil kræve en forudgående omlægning af trafikken, hvilket vil tage tid at få på



plads. Der skal nok påregnes en tidshorisont på minimum 15 år, før kanalsystemet kan begyndes. Den samlede etableringstid vil formentlig være på 50 år eller mere. For at scenariet kan gennemføres, kræver det en stærk politisk vilje og engagement. Det mest kritiske element i scenariet er, om byen vil være villig til en så omfattende omlægning.

### **Økonomi**

### **Meget værre end referencescenariet**

Scenariet vil kræve meget store investeringer i infrastruktur. Der skal etableres et net af grønne rensningsanlæg, filteranlæg til det grå spildevand, vandrensningsanlæg og ikke mindst systemet af infiltrationsfaskiner og kanaler. Derudover bliver det nødvendigt med en større omlægning af trafikken, da nogle vejarealer skal inddrages til kanaler, og inddragelse af bygningsarealer til etablering af de grønne maskiner. De mest omfattende af disse investeringer vil uden tvivl være kanalsystemet og den deraf følgende nødvendige trafikomlægning. Disse investeringer er meget vanskelige at estimere. Der er derfor ikke beregnet egentlige vandpriser for dette scenarium, da investeringerne skal komme fra mange andre budgetter end vandsektoren, såsom kultur, byplanlægning, trafik m.m. Den rene produktionspris for vandforsyning vil være ca. 8-10 kr./m<sup>3</sup>. Pris for afløb og rensning vil ligge på 15-25 kr./m<sup>3</sup>. Værdien af det eksisterende afløbssystem og rensningsanlæggene (4,6 og 1,6 mia. kr.) afskrives helt, da afløbssystemet ikke bruges i scenariet.

### **Ressourcer**

### **Meget værre end referencescenariet**

Energiforbruget til vandforsyning er opgjort til 72 GWh (1,7 gange referencescenariet). Det høje energiforbrug skyldes hovedsageligt store udgifter til pumpning og beluftning i de grønne rensningsanlæg. Det er muligt, at disse udgifter vil kunne optimeres, da der er ret begrænsede driftserfaringer med grønne rensningsanlæg i dag. Der vil være et stort ressourceforbrug til at etablere et helt nyt vandkredsløb, og der skal opbygges både ny vandforsyning og spildevandsrensning.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Værre end referencescenariet**

Der leveres den samme vandkvalitet til hele forsyningsområdet og til samtlige brugere. Det forventes, at den hygiejniske kvalitet af vandet er som i referencescenariet. Den generelle vandkvalitet er muligvis bedre, som følge af at membranprocesserne også vil levere blødere vand og lavere saltkoncentrationer end i dagens drikkevand og være en barriere for eventuelle sundhedsskadelige stoffer, der hidtil ikke har været anset som problematiske. Eventuelt kan der etableres distribution af drikkevand på flasker, hvilket vil sikre kvaliteten af drikkevandet. For at sikre, at der ikke er smitstoffer i udledningen fra de grønne rensningsanlæg desinficeres vandet inden udledning til kanalsystemet. Det er uklart, om kanalvandet vil kunne udgøre en smittefare.

### **Miljøbelastning**

### **Værre end referencescenariet**

Udledningen af koncentratet fra membranfiltrering af drikkevand og spildevand kan give lokale problemer. Udledningen af næringsstoffer vil blive reduceret betragteligt, men det er dog vanskeligt at give et præcist bud hvor meget. Dels kendes rensegrader i de grønne maskiner ikke særlig godt, dels er det uvist, hvor meget udveksling, der vil være mellem kanalsystem og Øresund. Den samlede CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren er 53.000 t/år (1,2 gange referencescenariet). CO<sub>2</sub>-udledningen svarer til 2 % af Københavns samlede udledning i 2003 på 2,3 mio. tons.

**Fleksibilitet og robusthed****Bedre end referencescenariet**

Vandforsyning baseres i princippet på tre ressourcer, havvand, regnvand og recirkuleret spildevand, hvilket giver en stor forsyningssikkerhed og robusthed mod ændringer i forbrug. Det er uvist, hvor følsomme de grønne rensningsanlæg er overfor lav og høj belastning, men de anlæg, der kendes i dag, er opbygget i linjer, hvilket giver en vis fleksibilitet, da der kan åbnes og lukkes linjer ved ændringer i behov. Det er også muligt at lade linjer køre på reduceret belastning. Belastningen kan muligvis udjævnes med en foropmagasineret spildevand. Infiltrationsfaskinerne langs kanalens sider vil kunne stoppe til. Brugere skal være bevidste om deres brug af husholdningskemikalier, da rensningsanlæggene er følsomme overfor den type belastninger. Scenariet ligger op til at være identitetsskabende og giver mulighed for, men kræver ikke aktiv deltagelse fra forbrugere.

Rygrad: Scenariets rygrad er de centrale vandfabrikker, der producerer drikkevand med kanalvandet som ressource. Både regnvand og rensset spildevand ledes til kanalerne.

Supplement: Der indgår ikke noget supplement i scenariet. Som en udbygning af det meget blågrønne image, vil det være naturligt i mindre grad at supplere vandforsyningen med grønne rensningsteknologier, der allerede indgår i spildevandsrensningen.

Backup: Backup kan sikres ved at etablere en overkapacitet i vandfabrikkerne. Da vandforsyningen er central, kan højdebeholdersystemet bibeholdes, og kombineret med en rentvandstank ved anlæggene, vil der være en backup på 4-5 døgn forbrug.

Reservoir: Kanalsystemet vil fungere som råvandsreservoir og have et volumen, der kan måles i måneders forbrug. Højdebeholder og rentvandstanke vil have et volumen på 4-5 døgn forbrug.

**Politiker- og forbrugeraccept****Bedre end referencescenariet**

Scenariet er blandt de mest visionære og omfattende af scenarierne. Scenariet har et stærkt blå/grønt image og er tænkt som et led i en større sammenhæng, etableringen af København som Nordens Venedig. Men der er også nogle barrierer, der skal overkommes. Scenariet vil kræve meget store investeringer og kræve, at nogle arealer, bl.a. vejarealer, bliver inddraget til andre formål, end de har i dag. Det producerede vand kan ikke leve op til principperne for indvinding af vand baseret på en ressource, der ikke kræver intensiv rensning. Membranprocesserne er meget energikrævende, på trods af at energiforbruget ved membranprocesser er faldet drastisk over de senere år. Også de grønne rensningsanlæg er energikrævende, hvilket trækker ned i det grønne image. Det skader også det blå/grønne image, at havvand har et uæstetisk ry som vandressource, og at recirkuleret vand har et meget uæstetisk ry som vandressource. Det er uklart, hvordan regnvand som vandressource vil blive opfattet, men det kan forventes, at det vil have et lidt urent ry.

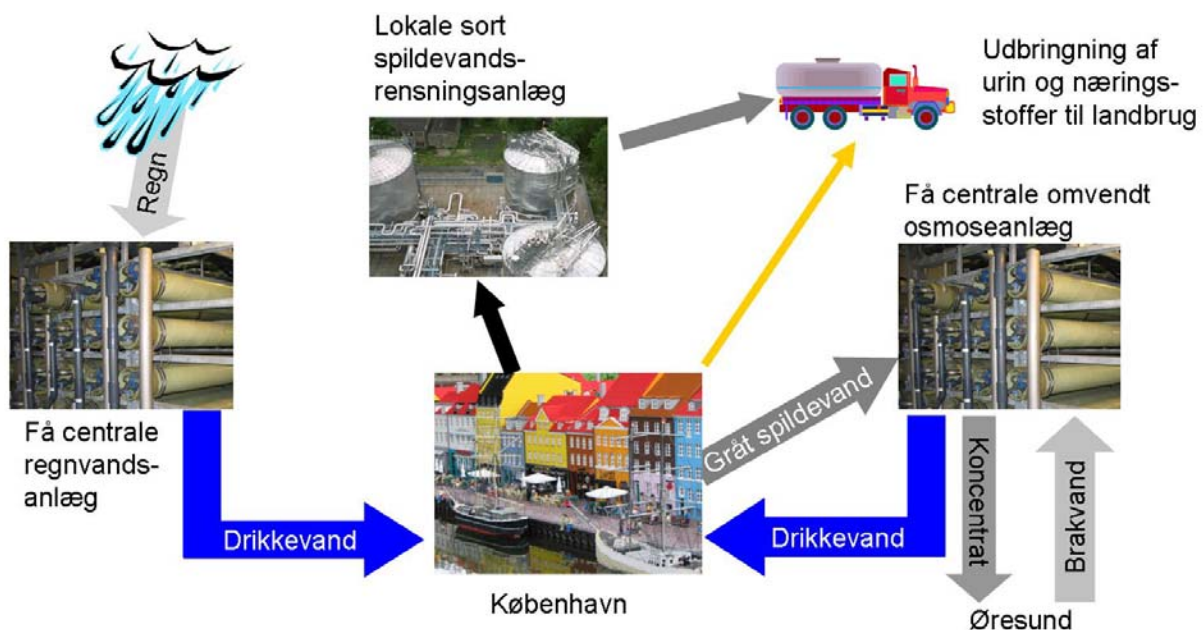
**Demonstrationsværdi****Meget bedre end referencescenariet**

Scenariet vil være revolutionerende på verdensplan. Det er ikke set før, at vandhåndtering integreres så tæt med byudvikling, og det vil vække opsigt. De grønne rensningsanlæg er heller ikke set i den skala før, ligesom recirkulering af spildevand til brug i vandforsyningen givetvis vil skabe opmærksomhed på verdensbasis. Scenariet lægger op til brugerinddragelse, ikke så meget i vandhåndteringen, men i de tilknyttede aktiviteter forbundet med at udnytte vandets værdier.

**Usikkerhed****Meget værre end referencescenariet**

Scenariet er forbundet med meget store usikkerheder. Det er usikkert om scenariet byplanmæssigt overhovedet lader sig gøre. Ressourceforbrug, miljøbelastning og økonomi er også meget usikker. Scenariet er afhængigt af koordinering af flere budgetter, da vandsektorens budget ikke kan løfte scenariet alene. Det er uvist, hvilke vanskeligheder det vil resultere i.

## 4.7. Spildevandskonstruktion



### Karakteristik og teknisk beskrivelse

Dette scenarium har fokus på optimeret genanvendelse af næringsstoffer og energi via design af spildevandstrømmene. Vand til vandforsyning produceres centralt af regnvand og recirkuleret gråt spildevand, og efter behov suppleres med havvand. Næringsstoffer fra husholdninger udnyttes mest muligt. Toiletter er urinseparerende, der ikke bruger vand i urindelen, men bruger vand i fækaliedelen. Urin indsamles separat. Fækaliedelen fra toiletet og vand fra køkkenvaske renses på små lokale "sort spildevandsrensingsanlæg". Rensningsanlæggene målrettes mod genopsamling af næringsstoffer. Industrispildevand renses lokalt hos den enkelte industri eller industriområde, rensningen optimeres i forhold til genanvendelse. Det kan være forskelligt fra sted til sted, hvad der kan genanvendes, nogle steder er det organisk stof til biogasproduktion, andre steder er det næringsstoffer, og måske kan andre stoffer som tungmetaller også genindvindes. Gråt spildevand samles på et eller flere vandværker, hvor det renses til drikkevandskvalitet. Al tilgængelig regnafstrømning samles i et eller få centrale regnvandsvandværker, hvor regnvandet renses til drikkevandskvalitet. De to vandfraktioner, der distribueres i samme forsyningsnet, kan stort set dække behovet for vandforsyning. Et eventuelt resterende behov dækkes af havvand, der afsaltes på samme omvendt osmoseanlæg, som genanvender spildevandet. I scenariet antages, at der anvendes urinsortende toiletter uden vandforbrug til urindelen. Dette resulterer i en reduktion i vandforbruget på ca. 25 % (30 l/p/d) svarende til, at vandforbruget bliver ca. 100 l/p/d.

### Perspektiv

Spildevandskonstruktion er et scenarium med et bæredygtigt, men også højteknologisk image.

Scenariet er baseret på genanvendelse af det grå spildevand og udnyttelse af regnvand, hvilket giver det bæredygtige præg, men alle installationer er højteknologiske løsninger. Den høje udnyttelse af næringsstoffer bidrager også til det bæredygtige image. Der er i Danmark i dag overskud af næringsstoffer i landbruget pga. en meget høj produktion af svin, men det er ikke

sikkert, at den situation vil fortsætte i fremtiden. Scenariet har et begrænset investeringsbehov. Man vil formentlig kunne bruge en stor del af de eksisterende kloaker til opsamling af gråt spildevand og regnvand. Vandforsyningsnettet vil også kunne videreføres. En gradvis overgang til den nye vandforsyning vil kunne begynde i løbet af fem år og være afsluttet inden for 20 år. De sorte spildevandsanlæg etableres karre- eller gadevis, i alt skal der etableres i størrelsesordenen 3-5000 anlæg og 500 industrianlæg. Med etablering af 200 anlæg om året vil etableringen tage 17-27 år. Scenariets mest kritiske elementer er, om næringsstofferne kan genanvendes til en rimelig pris og med et rimeligt energiforbrug, og om brugerne vil acceptere genanvendelsen af spildevand.

### **Økonomi**

### **Værre end referencescenariet**

Den samlede udgift er fundet til ca. 857 mio. kr./år for vandforsyning og spildevandshåndtering. Dette er 1,4 gange referencescenariet. Der er dog en række ting, der ikke er inkluderet i prisen: nye toiletter og rørføring til urin og sort spildevand i boliger, supplerende vandforsyning med afsaltet havvand, udgift til genanvendelse af næringsstoffer fra industri, slutrensning af rest fra vandfabrik og indtjening fra genindvinding af ressourcer. En stor del af den eksisterende infrastruktur bibeholdes.

### **Ressourcer**

### **Meget værre end referencescenariet**

Energiforbruget er opgjort til 81 GWh, 1,9 gange elforbruget i referencescenariet. Der vil årligt blive "produceret" 240.000 m<sup>3</sup> urin og omkring 100.000 m<sup>3</sup> fækalier, hvoraf en del antages anvendt til biogasproduktion. Herudover kommer etableringen af vandfabrik til gråt spildevand og regnvand, industrirensning, sorte spildevandsanlæg, opsamlingstanke, nye toiletter og rørføring i boligerne til det sorte spildevand. En stor del af den eksisterende rørføring videreføres.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Værre end referencescenariet**

Der leveres samme vandkvalitet til hele forsyningsområdet og til samtlige brugere. Det forventes, at den hygiejniske kvalitet af vandet er som i referencescenariet. Den generelle vandkvalitet er muligvis bedre, som følge af at membranprocesserne også vil levere blødere vand og lavere saltkoncentrationer end dagens drikkevand og være en barriere for eventuelle sundhedsskadelige stoffer, der hidtil ikke har været anset som problematiske. Det er uklart, om der kan ske en opkoncentrering af ukendte stoffer, der ikke fjernes i rensningen. Selv om der skal remineraliseres efter rensning af vandet, kan smagen variere, fordi fordelingen af spildevand og regnvand ikke er konstant. Rensningsanlæggene til det sorte spildevand og urinindsamlingen bør ikke udgøre en hygiejnisk risiko. Anlæggene vil være lukkede systemer hvor brugere ikke direkte håndterer strømmene. Der kan være en smitterisiko når slam og urin skal fjernes.

### **Miljøbelastning**

### **Bedre end referencescenariet**

Udledningen af næringsstoffer vil være 18 t N/år og 6 t P/år. Lokalt kan der være et betragteligt arealbehov til tankanlæg og sorte spildevandsanlæg. Vandressourcen på Sjælland belastes ikke af scenariet, og belastning af havvandsressourcen er begrænset pga. genanvendelsen af næringsstoffer. Den samlede CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren fra energiforbruget er 42.000 t/år. Dette er lidt lavere end referencescenariet, hvilket skyldes, at der ikke er CO<sub>2</sub> udledning pga. slamforbrænding.

**Fleksibilitet og robusthed****Bedre end referencescenariet**

Med hensyn til forsyningssikkerhed er scenariet meget robust, da der kan suppleres med havvand, hvis gråt spildevand og regnvand ikke kan dække behovet. Det betyder også, at scenariet er robust overfor ændringer i vandforbruget. Risikoen for fejl på et så stort anlæg er lille. På grund af membranprocesserne er vandressourcens kvalitet af mindre betydning for driftssikkerheden. Scenariet er uafhængigt af brugernes deltagelse.

Rygrad: Scenariets rygrad udgøres af vandforsyning med opsamlet regnvand og recirkuleret spildevand, der udgør størstedelen af vandforsyningen.

Supplement: Som supplement afsaltes havvand

Backup: Ved at opretholde en overkapacitet i afsaltningsanlægget kan det fungere som backup.

Reservoir: Specielt i tilknytning til regnvandsrensningsanlægget vil det være nødvendigt at etablere opmagasinering for at udjævne belastningen på anlægget og for at kunne efterkomme efterspørgslen på vand, formentlig i størrelsesordenen 25 døgn forbrug. Da vandforsyningen er centraliseret, kan højdebeholdersystemet bibeholdes, og kombineret med rentvandstanke ved anlæggene er der et reservoir på 4-5 døgn forbrug.

**Politiker- og forbrugeraccept****Bedre end referencescenariet**

Scenariet er i meget høj grad baseret på genanvendelse af både vand og næringsstoffer, og ressourcer fundet i kommunen, hvilket giver scenariet en meget bæredygtig profil. Den høje recirkuleringsgrad af spildevand vil kræve en del overtalelse at få brugerne til at acceptere den tætte kobling mellem spildevand og vandforsyning. Det kan dog være en formildende omstændighed, at toiletspildevandet er skilt fra recirkuleringen. Der kan være lugtgener i forbindelse med de sorte rensningsanlæg. Det er vigtigt at få designet genanvendelsesdelen af scenariet rigtigt, så det får det bæredygtige udtryk, som var ønsket. Her er det bl.a. væsentligt at holde energiforbruget nede. At scenariet er baseret på højteknologiske løsninger giver også scenariet et højteknologisk image, hvilket måske kan appellere til nogle, som ikke er så interesserede i bæredygtighed.

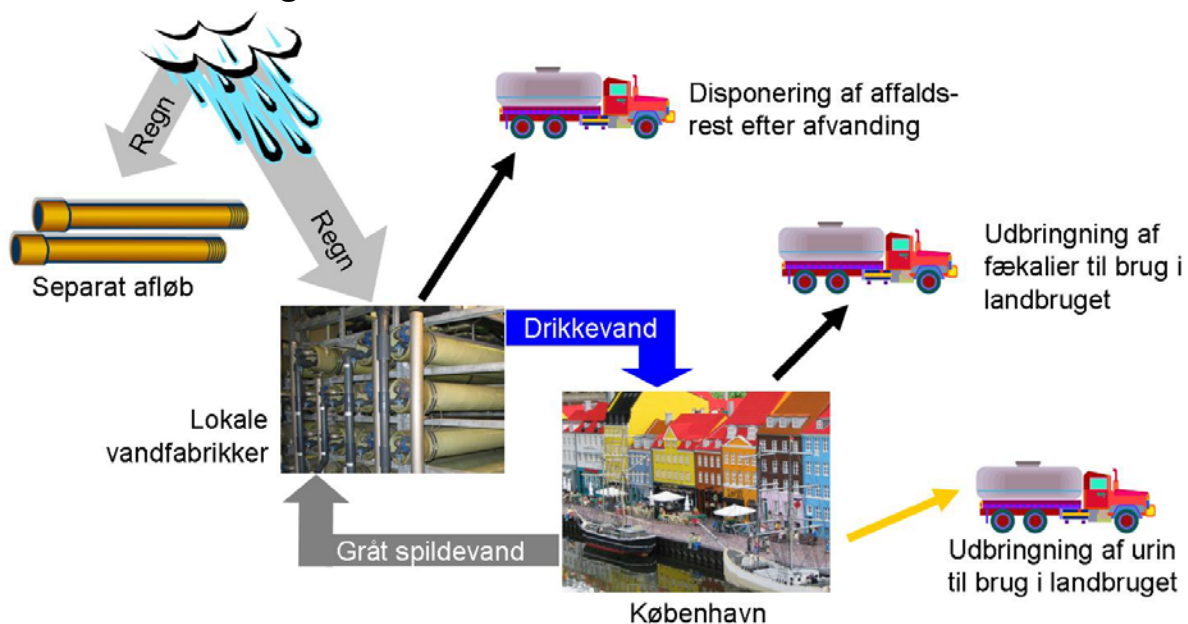
**Demonstrationsværdi****Meget bedre end referencescenariet**

Scenariet vil have stor demonstrationsværdi. Den høje recirkuleringsgrad af gråt spildevand som indgår direkte i vandforsyningen, regnvandsindsamling og den lokale håndtering af urin og fækalier er alle hidtil usete på verdensplan i den skala, der er tale om her. Det specialiserede sorte spildevandsanlæg rummer gode muligheder for eksport.

**Usikkerhed****Meget værre end referencescenariet**

Der er flere meget store usikkerheder i scenariet. Økonomien er meget usikker, fordi scenariet er baseret på teknologier, der enten kun eksisterer i mindre skala eller på forsøgsstadiet, og det er uvist, hvilke økonomiske konsekvenser det vil have, når de opskaleres til Københavns niveau. Særligt de lokale rensningsanlæg til sort spildevand er i dag kun på forsøgsstadiet og kræver færdigudvikling, før de kan etableres i stort tal. Det er usikkert, om næringsstofferne kan genanvendes med et acceptabelt energiforbrug. Det er også usikkert, om det recirkulerede spildevand kan renses til en tilfredsstillende kvalitet, og om det vil vinde accept hos brugerne. Det er endeligt også uvist i hvilken grad landbruget kan og vil anvende de genindvundne næringsstoffer, både nu og om 45 år.

#### 4.8. Det teknologiske lokalsamfund



#### Karakteristik og teknisk beskrivelse

Det teknologiske lokalsamfund har fokus på højteknologiske løsninger på lokal skala. Vandfabrikken er rensningsanlæg og vandværk i samme enhed i størrelsesorden 20 -150 personækvivalenter. Fabrikken modtager spildevand og regnvand fra tage, gårdmiljøer og andre befæstede overflader, og renses til vandforsyningskvalitet. I alt skal der opsamles regnvand fra et areal, der er ca. halvanden gang så stort som det samlede tagareal for at dække byens behov for vand. Der er ikke noget spildevand fra toiletterne, som er vandfri, men alt øvrigt spildevand renses og recirkuleres via vandfabrikken. Urin og fækalier opsamles hver for sig og udbringes til landbruget, hvor næringsstofferne genanvendes. Vandfabrikkerne er små højteknologiske og høj-effektive enheder. Der regnes med, at minimum 75 % af indløbet bliver til vandforsyningsvand. Affaldsresten, der ikke bliver til forsyningsvand, ledes enten til lokale anlæg, der også håndterer industrispildevand for yderligere rensning, eller afhentes efter afvanding via en tankbilsordning. Regnvand, der ikke udnyttes til drikkevandsforsyning, afledes på samme måde som separat regnvand afledes i referencescenariet. Industrispildevand håndteres også lokalt og udledes via samme rørsystem som regnvandet. Således er der tale om et scenarium, der bygger på lokal håndtering uden at kræve brugerens aktive deltagelse. Scenariet har et meget kort kredsløb, hvor der ikke går ret lang tid fra, at vandet er spildevand, til det igen er drikkevand. Udover den besparelse de vandfri toiletter giver, antages det, at der er en reduktion i det øvrige vandforbrug på ca. 20 %, svarende til en samlet reduktion i vandforbruget på ca. 40 %. Afhængig af vandfabrikkernes effektivitet og forbrugernes accept, kan drikkevandsdelen forsynes via en flaskeordning.

#### Perspektiv

Det teknologiske lokalsamfund er et scenarium med et højteknologisk, men også bæredygtigt image. Vandressourcerne findes meget lokalt, hvilket giver et bæredygtigt image. Scenariet har et begrænset investeringsbehov, da rensningsanlæg og vandværk er samme enhed, og der ikke skal etableres og vedligeholdes et omfattende ledningsnet. Der er en risiko for, at scenariet vil have et

meget højt energiforbrug, dels håndteres urin og fækalier via tankbiler, og evt. skal spildet i vandfabrikken også afhentes med bil, dels er det forudsat, at vandfabrikken har en høj effektivitet, hvilket med nutidens teknologi er ensbetydende med højt energiforbrug. Scenariet er bygget op omkring teknologi, der ikke eksisterer i dag og som skal udvikles, før en egentlig etablering af scenariet kan begynde. Det betyder, at udbygningen tidligst kan begynde om 15-20 år. Med en gennemsnitsstørrelse på vandfabrikkerne på 100 personækvivalenter, skal der etableres ca. 5000 anlæg. Med opførelsen af 200 anlæg om året vil det tage 25 år at bygge vandfabrikker i hele byen. Det giver en samlet etableringstid på 40-45 år. De to mest kritiske elementer i scenariet er det meget lukkede kredsløb, der betyder, at man drikker det vand, der var spildevand i går. Det er usikkert, om brugerne mentalt kan acceptere dette. Derudover er scenariet afhængigt af, at der udvikles et vandhåndteringsanlæg, der kan rense spildevand og producere vandforsyningsvand til en rimelig pris og med et rimeligt energiforbrug.

### **Økonomi**

### **Meget værre end referencescenariet**

Den samlede udgift er estimeret til ca. 964 mio. kr./år for vandforsyning og spildevandshåndtering (1,6 gange referencescenariet). Der er dog en række emner, der ikke er inkluderet i dette overslag, blandt andet nye toiletter og rørføring til urin og fækalier, slutbehandling af slam fra rensningsanlæggene og udgifter til vandbesparende foranstaltninger (armaturer, nye vaskemaskiner m.m.). Det er uklart hvor meget af infrastrukturen, der kan bibeholdes, men en stor del af de nuværende anlægsaktiver i vandforsyning og rensning (6 mia. kr.) vil blive afskrevet.

### **Ressourcer**

### **Værre end referencescenariet**

Energiforbruget er opgjort til 49 GWh per år og er 1,2 gange elforbruget i referencescenariet. Der vil årligt blive ”produceret” 240.000 m<sup>3</sup> urin og omkring 100.000 m<sup>3</sup> kompost, der antages at kunne bruges til produktion af biogas. Herudover kommer etableringen af lokale vandfabrikker, opsamlingsstanke, nye toiletter, rørføring i boligerne til urin og fækalier. En stor del af den eksisterende infrastruktur afskrives.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Værre end referencescenariet**

Scenariet er baseret på små høj-effektive vandfabrikker, dette vil sikre en vandkvalitet på niveau med store afsaltningsanlæg, som er lige så god som kvaliteten i referencescenariet. Remineralisering vil være nødvendig efter vandbehandling, hvilket vil gøre at smagen kan tilnærmes referencescenariet. Da der er tale om små lokale anlæg, kan der være variationer i kvaliteten fra anlæg til anlæg. Urinopsamlingen kan foregå i et lukket system, hvor risikoen for kontakt med brugeren er meget lille, mens fækalier skal opsamles og flyttes via poser af brugeren selv til komposteringsbeholderen. På grund af den høje recirkuleringsgrad er der en særlig risiko for at stoffer opkoncentreres i vandforsyningen, hvis de kan passere rensningsprocesserne.

### **Miljøbelastning**

### **Bedre end referencescenariet**

Udledningen af næringsstoffer er 89 t N/år og 17 t P/år, svarende til 25 % og 30 % af referencescenariet. Vandressourcen på Sjælland belastes ikke af scenariet, og belastningen af havvandsressourcen er begrænset pga. genanvendelsen af næringsstoffer. Lokalt kan der være betragtelige arealbehov til diverse installationer, hvilket kan give problemer. Den samlede CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren fra energiforbruget er 26.000 t/år, hvilket på grund af fraværet af slamforbrænding, er 56 % af referencescenariets udledning.



**Fleksibilitet og robusthed****Meget værre end referencescenariet**

Scenariet er relativt sårbart mht. forsyningssikkerhed. Hvis et anlæg bryder sammen, er der ikke anden vandforsyning. Afstanden mellem anlæggene er dog meget lille, så i begrænset omfang vil det være muligt at låne lidt vand i nabobygningen. Den decentrale struktur betyder, at overvågning og kontrol af anlæg er en stor opgave. Fordelen er, at et sammenbrud ikke vil påvirke ret mange personer. Forsyningssikkerheden kan øges ved at have rentvandstanke med kapacitet til et par dages forbrug, men da det er lokale anlæg, som skal installeres i kældre og lignende, og anlægget også skal have tilkoblet en råvandstank, er det begrænset hvor meget plads, der vil være til rådighed. Scenariet er uafhængigt af brugerens aktive deltagelse, hvilket gør at scenariet er robust overfor brugerens villighed til at deltage. Der vil dog være brug for en udvidet viceværtsordning til drift af lokale anlæg.

Rygrad: Scenariets rygrad udgøres af de lokale vandfabrikker, der renser spildevand og regnvand til vandforsyningsvand. Ca. 60 % af vandforsyningen udgøres af recirkuleret spildevand og 40 % stammer fra opsamlet regnvand.

Supplement: Udover at vandforsyningen er baseret på to ressourcer, er der ikke noget supplement indbygget i scenariet.

Backup: Afstanden mellem anlæggene vil være meget kort, og de omkringliggende anlæg kan fungere som backup for hinanden, hvis et enkelt anlæg fejler. Backupkapaciteten vil være ret begrænset, da det enkelte anlægs mulighed for at øge vandproduktionen, vil være lille på grund af begrænsninger i ressourcernes størrelse

Reservoir: Vandressourcen i scenariet udgøres blandt andet af regnvand, hvorfor det vil være nødvendigt med etablering af betragtelige beholdervolumener i forbindelse med anlæggene, formentlig i størrelsesordenen 20 døgn forbrug. Det areal, der vil være til rådighed for opmagasinering af rent vand vil være begrænset. Vandforsyning er baseret på lokal forsyning, så det højdebeholdersystem, der er i referencescenariet, vil blive nedlagt

**Politiker- og forbrugeraf accept****Bedre end referencescenariet**

Scenariet er i meget høj grad baseret på ressourcer fundet i kommunen og på genanvendelse af både vand og næringsstoffer, hvilket giver scenariet en meget bæredygtig profil. Men scenariet har også i kraft af de lokale vandfabrikker og urin/fækalie-systemet en højteknologisk og lokal profil, hvilket måske kan appellere til nogle, som ikke er så interesserede i bæredygtighed. Scenariet er baseret på en meget høj grad af recirkulering af spildevand, og det vil kræve en del overtalelse at få brugerne til at acceptere denne tætte kobling mellem spildevand og vandforsyning. Det vil dog være en formildende omstændighed, at toiletspildevandet er skilt fra. Det er vigtigt at være opmærksom på energiforbruget, da et for højt energiforbrug kan være med til at spolere det bæredygtige image.

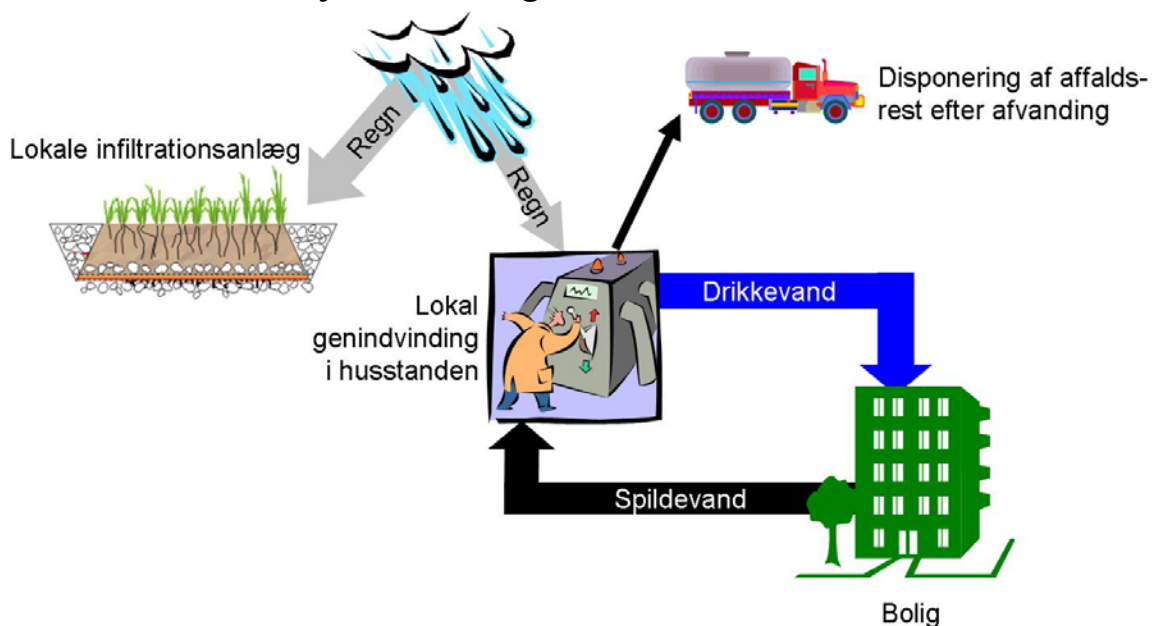
**Demonstrationsværdi****Meget bedre end referencescenariet**

Scenariet har en stor demonstrationsværdi. Lokal vandforsyning baseret på regnvand og spildevand i en hel storby er uset på verdensplan. Rensningsanlæg og vandværk i samme enhed og også helt nyt. Kombinationen af bæredygtighed og højteknologi vil også interessere mange. Hvis det lykkes at udvikle en velfungerende vandfabrik til en god pris, rummer det store muligheder for eksport.

**Usikkerhed****Meget værre end referencescenariet**

Scenariet er bygget om omkring en teknologi, vandfabrikkerne, der ikke eksisterer i dag, og gennemførligheden af scenariet afhænger af, om det er muligt at udvikle en vandfabrik, der kan omdanne spildevand til drikkevand til en rimelig pris og med et rimeligt energiforbrug. Da teknologien endnu ikke eksisterer, bliver økonomi, ressourceforbrug og miljøbelastning også meget usikker. Det er usikkert, om næringsstofferne kan genanvendes med et acceptabelt energiforbrug. Der er i dag overskud af næringsstoffer i landbruget pga. den store svineproduktion, og hvis scenariet blev gennemført nu, vil det formentlig være vanskeligt at afsætte næringsstofferne til landbruget. Men det er ikke sikkert, at denne situation også gælder om 45 år, når scenariet kan være udbygget. Det er usikkert, om spildevand som vandressource kan vinde accept, når koblingen mellem spildevand og vandforsyning er så tæt som i dette scenarium.

#### 4.9. Den selvforsynende bolig



##### Karakteristik og teknisk beskrivelse

Dette scenarium er lokal vandhåndtering i ekstrem grad, hvor vandkredsløbet lukkes i den enkelte bolig. Spildevand er den primære ressource for vandforsyningen. Det tab, der er dels i forbruget, dels i selve vandhåndteringsenheden, og som vil være på 20 % til 25 %, kompenseres med regnvand. Anlægget, der renser spildevandet og leverer vandforsyningen, er et højteknologisk kompakt anlæg på størrelse med en vaskemaskine. Fra anlægget vil være en slamrest på 10-15 % af indløbet, der opsamles i en tank (eventuelt fælles for flere husstande) og tømmes med tankbil efter behov. I det omfang, det er muligt, håndteres det resterende regnvand også på matriklen. Ca. 2/3 af tagvandet skal bruges i vandforsyningen, resten håndteres vha. grønne terrasser, så afløbet fra tagene bliver håndteret i boligen eller på taget. På befæstede arealer infiltreres så meget vand som muligt, dels vha. faskiner, dels ved etablering af permeable overflader. I dette scenarium betragtes kun boligernes vandforbrug, og industriforbrug er ikke inkluderet. Det antages, at vandforbruget reduceres med 30 %, svarende til et vandforbrug på ca. 90 l/p/d. Regnvand håndteres også så lokalt som muligt med grønne tage, permeable belægninger, infiltrations faskiner m.m.

##### Perspektiv

*Den selvforsynende bolig* er recirkulering i en grad, der er tæt på processerne i rumkapsler, dog med tilføjelsen af regnvand. Scenariet har et højteknologisk image og vil være revolutionerende vandhåndtering på verdensplan. Men scenariet repræsenterer også en ekstrem form for bæredygtighed, hvor vandressourcen findes inden for den enkelte matrikel. Scenariet er bygget op omkring teknologi, der ikke eksisterer i dag og som skal udvikles, før en egentlig etablering af scenariet kan begynde. Det betyder, at udbygningen tidligst kan begynde om 15-20 år. Der er i dag ca. 280.000 husstande i København, og hvis der ombygges 10.000 husstande om året, vil den samlede etableringstid være ca. 50 år. Lader man ombygningen følge det naturlige etableringstempo i bygningsmassen, kan etableringstiden blive op mod 75-100 år. De to mest kritiske elementer i scenariet er det meget lukkede kredsløb, der betyder, at man drikker det vand,

som var spildevand i går. Det er usikkert om brugerne mentalt kan acceptere dette. Derudover afhænger scenariet af, at der udvikles et vandhåndteringsanlæg, som kan rense spildevand og producere vandforsyningsvand til en rimelig pris.

### **Økonomi**

### **Meget værre end referencescenariet**

Det er meget vanskeligt at vurdere økonomien for dette scenarium, da det er baseret på ikke-eksisterende teknologi. Da der er tale om teknologi på meget lille skala, som er meget kompakt, må man forvente at prisen bliver højere end tilsvarende teknologier i større skala. Prisen for konventionel rensning og rensning med omvendt osmose er ca. 15 kr./m<sup>3</sup>. Prisen for rensning i dette scenarium vil ligge over denne pris, omkring 20 kr./m<sup>3</sup>. Prisen for selve vandhåndteringsenheden må forventes at ligge over den samlede pris for minirensningsanlæg og små vandværker, omkring 15.000-20.000kr./personækvivalent. Udgiften til håndtering af regnvand vil ligge omkring 15-20 kr./m<sup>3</sup>. Alt i alt forventes håndteringen at være meget dyrere end i referencescenariet. Hele den eksisterende infrastruktur afskrives (10 mia. kr.)

### **Ressourcer**

### **Værre end referencescenariet**

Som med økonomien er det også meget vanskeligt at vurdere ressourceforbruget. Elforbruget i vandhåndteringen må forventes at blive højere end ved afsaltning af havvand. Dertil kommer en mængde slam/affald fra håndteringsenheden, der skal bortskaffes.

### **Hygiejne og vandkvalitet**

### **Meget værre end referencescenariet**

Det er hensigten, at boligens eget vandværk skal levere vand i drikkevandskvalitet, men det er usikkert, om dette er muligt. Spildevand og slam fra vandrensningen håndteres i et lukket system, så smitterisikoen fra håndteringen skulle være minimal. Næsten 80 % af råvandsressourcen er spildevand, og dette indebærer en risiko for, at der kan ske en opkoncentrering af skadelige stoffer i vandforsyningen. Der vil være nogen variation i smag og kvalitet fra anlæg til anlæg. Mulighederne for justering af smag vil nok være begrænsede i så lille et anlæg.

### **Miljøbelastning**

### **Meget værre end referencescenariet**

Scenariet vil have en høj CO<sub>2</sub>-udledning pga. det formodede høje energiforbrug i vandhåndteringsenheden. Sluthåndteringen af slam fra anlægget kan blive et problem, men formentlig kan det brændes i forbrændingsanlæg, hvilket vil øge CO<sub>2</sub>-udledning yderligere. Den lokale håndtering af regnvand vil øge grundvandstanden betragteligt nogle steder, hvilket særligt i det indre København vil være et stort problem. Afhængigt af hvordan regnvandet håndteres, vil der være et stort arealbehov til regnvandshåndteringsanlæg. Vandressourcen på Sjælland belastes ikke af scenariet, og belastningen af Øresund reduceres kraftigt.

### **Fleksibilitet og robusthed**

### **Meget værre end referencescenariet**

Et meget lille og kompakt vandrensingsanlæg vil formentlig ikke være særligt fleksibelt overfor ændringer i forbrug, og scenariet vil derfor være afhængigt af, at forbruget kan holdes nede på de estimerede 90 l/p/d. Da anlægget er installeret inde i boligen, er det begrænset, hvor meget bufferkapacitet, der kan etableres, dels i form af en råvandstank før anlægget, dels i form af en rentvandstank efter anlægget. Den decentrale struktur betyder, at overvågning og kontrol af anlæg er en stor opgave, og derfor vil anlægget have svært ved at håndtere særlige situationer som f.eks. et stort antal gæster. Sætter anlægget ud, er boligen uden vand indtil anlægget er repareret. Scenariet er afhængigt af, at brugeren kan acceptere, at hans eget spildevand også er hans drikkevand, hvilket uden tvivl vil være en stor barriere for mange.

Til gengæld er scenariet robust overfor stigning i vandforbruget, der stammer fra en stigning i befolkningen, da der i forbindelse med nye boliger vil blive installeret nye anlæg. I bygninger med mange beboere og lille tagareal vil der være problemer med at skaffe den nødvendige mængde regnvand til supplering af vandforsyningen.

Rygrad: Scenariets rygrad udgøres af mikrorenseanlæggene, der renser og recirkulerer spildevand i husstandene

Supplement: Tab ved forbrug og i mikrorenseanlægget kompenseres med opsamlet regnvand.

Backup: Afstanden mellem anlæggene vil være meget kort, og de omkringliggende anlæg kan fungere som backup for hinanden, hvis et enkelt anlæg fejler. Backupkapaciteten vil være ret begrænset, da det enkelte anlægs mulighed for at øge vandproduktionen vil være lille pga. af begrænsninger i ressourcernes størrelse

Reservoir: Det vil være nødvendigt at etablere et betragteligt beholdervolumen til opsamling af regnvand, formentlig minimum 20 døgn forbrug. Det areal, der vil være til rådighed for opmagasinering af rent vand, vil være meget begrænset, da opmagasineringen foregår i den enkelte husstand. Vandforsyning er baseret på lokal forsyning, så højdebeholdersystemet i referencescenariet vil blive nedlagt

### **Politiker- og forbrugeraccept**

### **Uændret i forhold til referencescenariet**

Scenariet repræsenterer selvforsyning og bæredygtighed i ekstrem grad, med håndtering på den mindst tænkelige skala. Samtidig repræsenterer scenariet også den mest højteknologiske profil blandt scenarierne. Den meget korte afstand fra spildevand til drikkevand er en barriere, som det vil kræve meget arbejde at få brugerne til at acceptere.

### **Demonstrationsværdi**

### **Meget bedre end referencescenariet**

Scenariet vil have meget stor demonstrationsværdi. Ideen om, at en bolig midt i storbyen er selvforsynende, bryder fuldstændig med århundreders byplanlægning, hvor byerne har været afhængige af leverancer fra oplandet, og dette vil vække opsigt på verdensplan. Hvis det lykkedes at få udviklet et velfungerende anlæg til en god pris og med et fornuftigt energiforbrug, rummer anlægget store muligheder for eksport. Den ekstreme form for bæredygtighed kombineret med højteknologi er provokerende og strider mod opfattelsen om, at bæredygtighed er lig med lavteknologi.

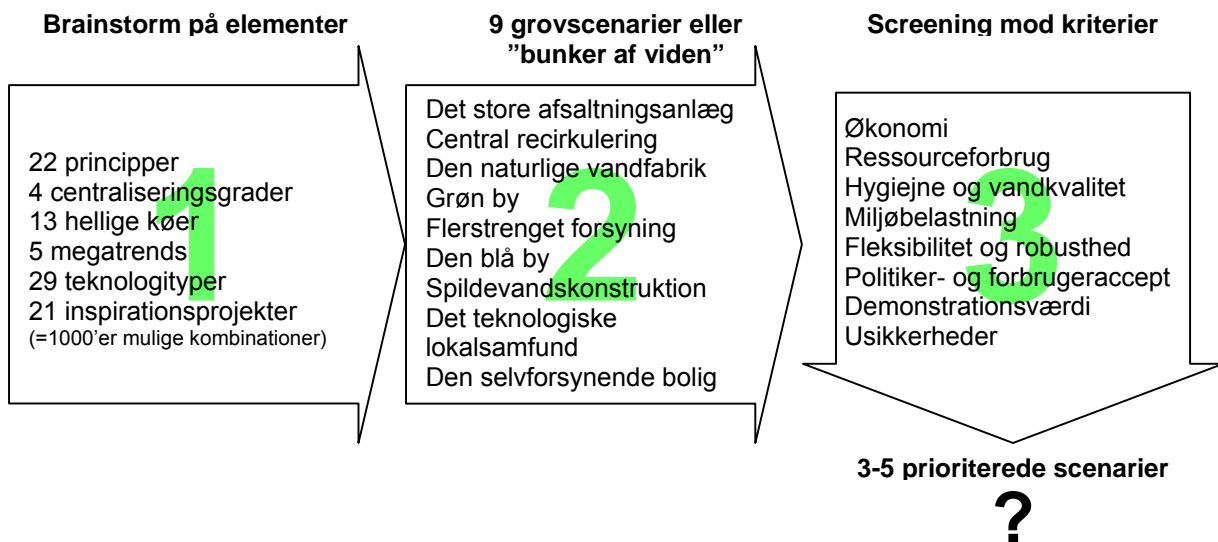
### **Usikkerhed**

### **Meget værre end referencescenariet**

Der er meget stor usikkerhed omkring scenariet. Scenariet er bygget op omkring en teknologi, den kompakte vandhåndterings enhed, der i dag kun kendes fra ekstreme og lukkede miljøer som rumstationer og biosfærer. Gennemførligheden af scenariet afhænger af, om det er muligt at udvikle et anlæg, der kan omdanne spildevand til drikkevand til en rimelig pris og med et rimeligt energiforbrug. Da teknologien endnu ikke eksisterer, bliver økonomi, ressourceforbrug og miljøbelastning også meget usikker. Det er usikkert, om man kan få brugerne til at acceptere den høje genanvendelsesgrad, der også inkluderer recirkulering af spildevandet fra toilettet. Selv om anlægget er kompakt, vil det optage noget plads i boligen, og det er usikkert, hvordan dette vil blive modtaget.

## 5. Vurdering af scenarierne

Et samlet overblik over scenarieindholdet findes i bilag 4. I det følgende uddrages og diskuteres enkelte pointer fra dette bilag, men først en kort opsummering af processen frem til en udpegning af 3-5 scenarier, som forventes at indbefatte de mest interessante perspektiver for en videre analyse. Se Figur 1.



Figur 1 Skitse af processen fra idéer til prioriterede scenarier.

Resultatet af vurderingen af de 9 scenarier er sammenfattet i Tabel 8. Scenarierne *Det store afsaltningsanlæg* og *Central recirkulering* skiller sig ud ved at være de eneste scenarier, der ikke får vurderingen "meget værre end referencescenariet" i forhold til noget kriterium. Forklaringen ligger formentlig i, at de to scenarier ligner det nuværende system meget, og at der primært er tale om ændringer på ressourcesiden, hvor der introduceres havvand og recirkuleret spildevand. Det vil dog være forkert at konkludere de 2 scenarier som vindere i sammenligningen, da der stadig hersker store usikkerheder omkring økonomien, den praktiske udførsel af scenarierne og måske vigtigst, den forbrugermæssige og politiske accept. Det er dog på den nuværende baggrund oplagt at medtage disse scenarier i det videre arbejde.

Bortset fra vurderingen af usikkerhed er *Flerstrengt forsyning* også fri for øvrige vurderinger som "meget værre". Omvendt ses det af tabellen at *Den selvforsynende bolig* klarer sig markant dårligere end de øvrige scenarier. Scenariet er et eksempel på, at vand- og spildevandshåndteringen ikke må gøres mere besværlig end nødvendigt, og selvom at denne "rumstations-løsning" integrerer vand og spildevand i ekstrem grad, er løsningen fragmenteret fra det øvrige samfund. De øvrige scenarier er sværere at skille ud fra mængden alene på baggrund af kriterievurderingerne og indtil videre er scenarierne 1 *Det store afsaltningsanlæg*, 2 *Central recirkulering* og 5 *Flerstrengt forsyning* de eneste, der skiller sig positivt ud, mens 9 *Den selvforsynende bolig* ikke vurderes som et reelt bud på fremtidens system.

Tabel 8 Opsummering af vurderingen af hvert enkelt scenarium i forhold til referencescenariet.

	Økonomi	Ressourcer	Hygiejne/ vandkvalitet	Miljøbelastning	Fleksibilitet og robusthed	Accept (politisk/ forbruger)	Demonstrations- værdi	Usikkerhed
1 Det store afsaltningsanlæg								
2 Central recirkulering								
3 Den naturlige vandfabrik								
4 Grøn by								
5 Flerstrengt forsyning								
6 Den blå by								
7 Spildevandskonstruktion								
8 Det teknologiske lokalsamfund								
9 Den selvforsynende bolig								

Vurdering i forhold til referencescenariet:

Meget værre	Værre	Uændret	Bedre	Meget bedre
-------------	-------	---------	-------	-------------

Tabel 9 viser hvilke vandressourcer de forskellige scenarier er baseret på. Havvand er den eneste af de tilgængelige ressourcer, der alene kan udgøre en stabil rygrad i et forsyningssystem. De øvrige ressourcer, regnvand og spildevand har en variation og størrelse, der gør at de primært egner sig som supplerende vandforsyning.

Tabel 9 Overblik over vandressourcerne i scenarierne.

	Havvand	Regnvand	Spildevand	Flaskevand	Grundvand
1 Det store afsaltningsanlæg	X				
2 Central recirkulering	X		X		
3 Den naturlige vandfabrik		X	X	X	X
4 Grøn by		X		X	
5 Flerstrengt forsyning	X	X	X		
6 Den blå by		X	X		
7 Spildevandskonstruktion	X	X	X		
8 Det teknologiske lokalsamfund		X	X		
9 Den selvforsynende bolig		X	X		
Samlet	4	7	7	2	1

De scenarier, hvor rygraden er baseret på andre ressourcer end havvand, er afhængige af betydelige reduktioner i vandforbruget, en høj effektivitet og en kombination af flere ressourcer. Flaskevand er kun medtaget i to scenarier, men i realiteten indgår flaskevand i alle scenarier. Der er allerede i dag et salg af kildevand på flaske, og dette salg er stigende. Flere scenarier vil givetvis betyde et øget salg af vand på flaske også uden officielle reguleringer.

Da den fornyelige grundvandsressource under København er meget lille (Hauger og Binning, 2006) er det nødvendigt med kunstigt skabt grundvand før denne ressource kan udgøre en væsentlig del af vandforsyningen. Indledende beregninger i forbindelse med denne rapport viser, at de arealer, der kræves for at infiltrere grundvand, er så store, at det vil blive vanskeligt at skabe betydelige mængder kunstigt infiltreret vand. Dette forklarer, at grundvand kun indgår som ressource i et scenarium. Tabellen understreger således behovet for alternativer til grundvandsressourcen, hvis selvforsyningsgraden skal sikres.

I Tabel 10-A kan scenariernes centraliseringsgrad ses. Det altdominerende princip i moderne vandforsyning og spildevandsrensning er centraliserede systemer. Et eksempel på supplerende vandforsyning, der går imod denne tendens er lokale regnvandsopsamlingsanlæg, på husstands eller ejendomsniveau. Der er i dag ca. 100 anlæg i København, hvor regnvand opsamles og bruges til andre formål end havevanding. I alt 7 scenarier indeholder elementer af lokal karakter. Fordelen ved lokale systemer er, at hele eller dele af de dyre distributionssystemer spares væk, til gengæld skal der etableres et større antal små vand- og spildevandsrensningsenheder. Scenarierne 1, 2 og 5, der tidligere er peget ud som interessante, har alle centrale elementer. Desuden vil det være relevant at inkludere scenariet 8 *Det teknologiske lokalsamfund* i det videre arbejde, for at undersøge konsekvenserne af et lokalt orienteret scenarium.

**Tabel 10 Overblik over scenariernes centraliseringsgrad og brugerinddragelse.**

	A) Centraliseringsgrad			B) Brugerinddragelse		
	Lokal	Både lokalt og centralt	Central	Afhængig	Delvist afhængig	Uafhængig
1 Det store afsaltningsanlæg			X			X
2 Central recirkulering			X			X
3 Den naturlige vandfabrik		X			X	
4 Grøn by		X		X		
5 Flerstrengt forsyning		X			X	
6 Den blå by		X				X
7 Spildevandskonstruktion		X			X	
8 Det teknologiske lokalsamfund	X				X	
9 Den selvforsynende bolig	X			X		
Samlet	2	5	2	2	4	3

Scenariernes afhængighed af brugernes deltagelse fremgår af Tabel 10-B. Strategien anvendt i de sidste 100 års vandforsynings- og spildevandsystemer i København har betydet, at brugerne inddrages så lidt som muligt i både vandforsynings- og spildevandshåndtering. Blandt andet som konsekvens af stigende individualisering og liberalisering kan det forventes, at der blandt brugerne vil være et stigende ønske om at deltage i vandhåndteringen og at have et valg mht. hvordan vand håndteres (Eilersen, 2005). Som tabellen viser, er et flertal af scenarierne ”delvist afhængige” eller ”uafhængige af brugerinddragelse”. En fuldstændig afhængighed af brugernes inddragelse stiller ekstra krav om oplysning, så systemet fungerer sikkert for alle uanset alder, uddannelsesniveau, sygdom og erfaring med systemet. Dette spændende aspekt optræder i scenariet 4 *Grøn by*, der således også kunne være interessant at få med i det videre arbejde.

Tabel 11 viser hvilke teknologier, der indgår i de forskellige scenarier. 3 grupper af teknologi er repræsenteret i 5 scenarier: membranteknologi, konventionel spildevandsrensning og grønne teknologier. Det har vist sig vanskeligt at sammensætte en selvforsynende vandforsyningsstrategi og leve op til vandkvalitetskravene uden at inkludere membranteknologi. I andre dele af verden som de Arabiske lande, visse asiatiske lande, USA og Australien er forventningerne til membranteknologier meget store, og mange storskala-anlæg er blevet opført i de seneste år eller er i støbeskeen. Havet ligger tæt på, og det vil være naturligt for København at undersøge membranteknologiernes potentiale. Der eksisterer en række mere eller mindre veldokumenterede teknologier, der inddrager jord, planter og dyr i behandlingen af spildevand. Der er behov for at



afdække disse teknologiers egnethed som betydende supplement i en storbys vandhåndterings-system.

**Tabel 11** Oversigt over anvendte teknologier i scenarierne

	Membran-teknologi	Konventionel spildevandsrensning	Konventionel vandrensning	Regnvandsanlæg	Infiltration	Grønne teknologier	Vandfabrik	Næringsstofudnyttelse
<b>1</b> Det store afsaltningsanlæg	X	X						
<b>2</b> Central recirkulering	X	X						
<b>3</b> Den naturlige vandfabrik	X	X				X		
<b>4</b> Grøn by				X	X	X		X
<b>5</b> Flerstrengt forsyning	X	X			X	X		
<b>6</b> Den blå by					X	X	X	
<b>7</b> Spildevandskonstruktion	X	X	X	X				X
<b>8</b> Det teknologiske lokalsamfund			X	X			X	X
<b>9</b> Den selvforsynende bolig				X	X	X	X	
<b>Samlet</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Teknologierne er grupperet som følger:

**Membranteknologi:** Omvendt osmose, nano- og mikrofiltrering.

**Konventionel spildevandsrensning:**

Spildevandsrensning som det foregår på moderne danske rensningsanlæg med fjernelse af partikler, organisk stof og næringsalte.

**Konventionel vandrensning:** luftning, iltning og sandfiltrering.

**Regnvandsanlæg:** Opsamling af vand fra befæstede arealer, opmagasinering og eventuel desinfektion.

**Infiltration:** Faskiner, sivedræn, rodzoneanlæg uden tæt bund.

**Grønne teknologier:** Rodzoneanlæg og anden anvendelse af planter, dyr og lignende grønne rensemetoder.

**Vandfabrik:** En enhed der modtager spildevand og producerer drikkevand

**Næringsstofudnyttelse:** Genindvinding af næringsstoffer fra spildevandet med henblik på genanvendelse.

Det ses af Tabel 11, at de fem tidligere fremhævede scenarier (1, 2, 4, 5 og 8) tilsammen dækker alle teknologikategorierne.

Da scenarium 1 *Det store afsaltningsanlæg* i praksis kan betragtes som et ekstrem af mulighederne i scenarium 2 *Central recirkulering*, hvor recirkuleringen af spildevand er 0 %, kan man betragte scenarierne 2, 4, 5 og 8 som de væsentligste repræsentanter for alle de øvrige scenarier.

## 6. Udfordringer

Et af delformålene ved dette projekt er at afklare nogle af de udfordringer, som Københavns Energi står overfor i processen med at sikre fremtiden en bæredygtig vand- og spildevandshåndtering. Tabel 8 viste, hvorledes usikkerheden er meget stor omkring mange delelementer i scenarierne. Som det kunne forventes, er den største udfordring at få bragt denne usikkerhed ned, så der kan tages beslutninger på et mere solidt grundlag. Det er oplagt at bringe denne usikkerhed ned ved at uddybe enkelte af scenarierne, så detaljeringsgraden bliver større og systemerne mere konkrete. Derved bevares den helhedsorienterede tilgang til den overordnede problemstilling, mens det afklares, hvilken viden der findes allerede og hvor der er behov for vidensudvikling.

Tabel 12 viser en række øvrige udfordringer for at mindske usikkerheden i planlægningen af fremtidens vand- og spildevandshåndtering i København. Den fremtidige planlægning skal inkludere risikovurderinger af alle de nævnte kriterier og f.eks. beskæftige sig med risikoen for ophobning af toksiske stoffer i recirkulationssystemer. Det er ligeledes vigtigt at undersøge om de barrierer, der etableres, er garanteret virksomme mod patogener og miljøfremmede toksiske stoffer, så folk ikke bliver syge af systemet.

**Tabel 12 Udfordringer for planlægningen af fremtidens vand- og spildevandshåndtering i København.**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevaringen af den helhedsorienterede tilgang til den overordnede problemstilling</li> <li>• Risikovurdering af planlagte tiltag</li> <li>• Afklare forbruger- og politikeraccept og effekten af oplysningskampagner</li> <li>• Betydningen af ændret kvalitet af forsyningsvandet, herunder betydningen af differentierede vandkvaliteter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokal vand- og spildevandshåndtering</li> <li>• Storskalaudnyttelse af regnvandsressourcen</li> <li>• Planlægning og praktisk udførsel af drastiske infrastrukturændringer på længere sigt</li> <li>• Udnyttelse af Øresund som drikkevandsressource</li> <li>• Recirkulation af spildevand</li> <li>• Sikring af ”rygrad” og beredskab i vandforsyningen</li> </ul>
---	---

En væsentlig udfordring er, at afklare hvad brugere og politikere kan acceptere af håndteringssystemer og ressourceudnyttelse. Som eksempel findes allerede undersøgelser af brugernes betalingsvillighed overfor grundvandsbeskyttelse og vandrensning. Alvorligheden af forbruger- og politikeraccepten er for nylig blevet understreget af en sag fra Sydney Water, Australien. Der var fremskredne planer for etablering af et stort afsaltningsanlæg, men efter massive folkelige protester er projektet nu lagt på hylden, på trods af, at der allerede er ofret ca. 0,5 mia. kr. på projektet (ABC, 2006). Som i Sydney må det forventes, at borgerne i København vil få stor betydning for hvilket forsynings-scenarium, der kan blive til virkelighed. Det er uklart, hvilken betydning oplysningskampagner kan have i det tilfælde af, at brugernes accept ikke bygger på rationelle overvejelser. Man kan stille spørgsmålene: Hvor stor er den mentale barriere overfor at bruge recirkuleret spildevand i vandforsyningen? Og hvordan recirkulerer man, så den barriere bliver så lille så mulig?

I flere af scenarierne nævnes mulighed for at den leverede vandkvalitet kan forbedres i forhold til i dag, når der benyttes mere intensive rensemetoder. Amerikanske studier har vist, at et sænket saltindhold i vandforsyningen har økonomiske effekter, der gør afsaltnings af vand attraktivt i flere tilfælde end ellers antaget (Characklis, 2004). Yderligere positive og negative effekter indenfor korrosion, sundhed, æstetik med mere, er endnu ikke klarlagt. Kan der leveres en bedre

vandkvalitet end i dag, og hvilken betydning har det, hvis vandkvaliteten forbedres eller forringes?

Det er nyttigt at undersøge, om lokal vandhåndtering er et reelt alternativ til den centrale strategi, der bruges i dag. Lokal vandhåndtering giver nogle reduktioner i form mindre vedligeholdelse af distributionsnet, mens der bør gøres nogen nærmere overvejelser, om det praktisk kan lade sig gøre at placere systemet på områder, hvor plads i forvejen er en mangelvare. Grønne rensemetoder har en tendens til at være pladskrævende, så det er sandsynligt, at kompakt vandhåndtering skal klares ved hjælp af små højteknologiske enheder. Men hvordan designes en sådan enhed, og hvor små kan disse enheder være?

Et krav om, at store mængder af regn og spildevand skal nedsives i byområdet, skaber behov for beregninger af hvordan og hvor meget vand, der kan nedsives i København. Muligheden for at genanvende regnvand og/eller spildevand, efter at det har været infiltreret og derved udnytte jordens renseregenskaber og opmagasineringspotentialer, bør også undersøges. Man kunne stille de følgende spørgsmål sigtet mod et byområde som København: Hvor meget vand kan vi nedsive eller på anden måde kunstigt infiltrere? Hvilken betydning har det for vandkvaliteten, og hvor længe skal vandet opholde sig i jorden?

Det er essentielt at afklare, hvilke miljømæssige, sociale og økonomiske konsekvenser, det vil have at afvikle nuværende og etablere ny infrastruktur. Dette gælder særligt transitionsomkostninger ved omstillingen fra et system til et andet, der her rækker fra effekten af at tørlagte åer igen får tilført vand, til afskrivning af nedlagte kloaker. Hvad koster det at ændre nævneværdigt på den eksisterende infrastruktur?

Betingelsen om en fuldstændig selvforsyning i Københavns Kommune favoriserer havvand. Det skyldes, at havvand i princippet er en uendelig og meget stabil vandressource. Det relativt rene vand i forhold til andre ferskvandsressourcer og der lave saltindhold i Østersøen bidrager også positivt til perspektiverne ved et afsaltningsanlæg. Men er Øresundsvand egnet til afsaltningsanlæg, og er afsaltet havvand et ligeså reelt alternativ, hvis det indgår i et scenarium, hvor der tillades en begrænset import af grundvand fra omegnen af København? Energiforbruget er relativt højt ved membranprocesserne, men hvordan er mulighederne for at sammenkoble vedvarende energi med vandproduktionen?

Det bør undersøges, hvordan spildevand kan recirkuleres i stor skala i et byområde. Der bør overvejes både højteknologiske og ”grønne” metoder. Herunder kan også recirkulering af næringsstoffer undersøges. Er det miljømæssigt og økonomisk rentabelt, at indsamle næringsstoffer fra urin og fækalier i en storby?

KE har hidtil arbejdet med de tidligere nævnte 3 grene af vandhåndteringen: rygrad, supplement og beredskab. I enkelte af scenarierne bliver disse kategorier delvist udvist, og det er som følge heraf uklart hvor meget reel rygrad og beredskab, der f.eks. er i de mere decentralt orienterede scenarier. Hvis der er behov for brugerinddragelse, skal det for eksempel sikres, at også den del af befolkningen, der pga. alder, sygdom, uvilje mv. ikke kan deltage på lige fod med den øvrige befolkning, alligevel er sikret forsyning. Hvordan sikres rygrad og beredskab?

Endelig bemærkes, at alle scenarierne vurderes at være dyrere end den nuværende vandforsyning. Det er nødvendigt at undersøge, om alle relevante økonomiske parametre er regnet med. Hvordan holdes omkostningerne nede?

## 7. Konklusion

Dette projekt har været fokuseret på en helhedsbetragtning af håndteringsprincipper, trends, hellige køer og forsyningsteknologier. For at sikre dette fokus på helheden frem for delelementer er der arbejdet med udgangspunkt i scenarier, der skal integrere vand- og spildevandssystemerne og samtidigt udfordre nogle gængse dogmer (hellige køer) indenfor området.

Workshoppen i juni 2005 gjorde det klart, at fagfolk mener, at der er vide muligheder for et opgør med de hellige køer/dogmer, som hersker på vand og spildevandsområdet. Kan et lignende opgør accepteres i en bredere kreds, vil der være meget få begrænsninger for, hvordan vand og spildevand kan håndteres i fremtiden. Konkret foreslås det at udfordre dogmerne i Tabel 13, der utilsigtet kan virke som barrierer for en integreret vand- og spildevandshåndtering.

**Tabel 13 Gængse dogmer, der kan virke som unødvendige barrierer for en integreret vand- og spildevandshåndtering.**

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vand er ikke en begrænset ressource</li> <li>• Spildevand kan drikkes</li> <li>• Drikkevandsproduktion må gerne være energikrævende</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vand må gerne leveres ustabilt når forbrugeren har mulighed for opmagasinering</li> <li>• Naturværdier må gerne berøres</li> <li>• Vandforsyningsvand behøver ikke at være ekstremt rent</li> </ul> |
|---|--|

Eneste ufravigelige dogme er, at alle skal have billig adgang til godt vand. Der rejses også tvivl, om vand er det bedste bæremiddel for urin og fækalier, og om at vandforsyningen skal være 100 % stabil, hvis folk kan opmagasinere små mængder vand.

Med baggrund i blandt andet ovenstående dogmer er der opstillet 9 scenarier, som hver varetager den samlede håndtering af vand og spildevand indenfor Københavns kommunegrænse. Derudover indeholder de 9 scenarier tilsammen alle de øvrige elementer, som en gruppe på 42 vandaktører (inklusiv projektgrupperne hos KE og M&R) har kunnet forestille sig være en del af fremtidens vandhåndtering i København. Der er således skabt scenarier, der rækker fra en vandforsyning baseret på central afsaltning af havvand, traditionelt afløb og spildevandsrensning til lukkede kredsløb indenfor den enkelte bolig.

Det er vigtigt at se de opstillede scenarier som få repræsentationer af alle de mulige scenarier, der kan opstilles for den fremtidige vandhåndtering. Deres oprindelse i en brainstorm blandt flere eksperter sikrer dog, at de tilsammen er et bredt idékatalog, der kan benyttes ved en senere uddybning af enkelte af scenarierne.

Udover at leve op til betingelsen om at gøre København selvforsynende med vand, er et væsentligt fællestræk for scenarierne, at de alle udfordrer den nuværende lovgivning og praksis på vand- og spildevandsområdet. Kravet om selvforsyning gør det nødvendigt at inddrage en eller flere af elementerne vist i Tabel 14.

**Tabel 14 Uomgængelige elementer i en integreret vand- og spildevandshåndtering indenfor kommunegrænsen.**

- 
- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avancerede decentrale teknologier (lokal håndtering af spildevand, desinfektion mm.).</li> <li>• Drastiske infrastrukturændringer (nye kloaksystemer, opmagasinering, arealudnyttelse).</li> <li>• Udnyttelse af regnvandsressourcen i storskala.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Havvand (afsaltning).</li> <li>• Differentierede vandkvaliteter (vandhanevand ≠ drikkevand).</li> <li>• Recirkulation af spildevand (direkte genanvendelse af spildevand).</li> </ul> |
|---|--|
- 

Tabellen understreger behovet for at tænke i nye baner, og ud over hvad den nuværende lovgivning og praksis på området foreskriver, når målet er en øget uafhængighed af eksterne ressourcer.

Det har vist sig nyttigt at anvende scenarier i beskrivelsen af fremtidens vandhåndtering, da det har tvunget fokus fra enkelthederne og over på det samlede system, som netop er kernen i en planlægning af fremtidens integrerede vand- og spildevandshåndtering.

Afsnittet ”Udfordringer” diskuterer en række af emner, det er nødvendigt at beskæftige sig med, før der kan udpeges en endelig vej for det videre planlægningsarbejde. Udfordringerne dækker flere tekniske og ikke-tekniske faggrupper. Næste skridt er at indsamle viden, som giver klarhed omkring muligheder og forskningsmæssige udfordringer. Igen her vil det være fornuftigt at bevare fokus på nogle enkelte scenarier for at sikre sammenhængen og relevansen af den viden der findes frem.

4 scenarier (se Tabel 15) viste sig i scenarieoverblikket at dække mange interessante perspektiver for fremtidens vand- og spildevandsforsyning. De samme 4 scenarier kan med fordel bruges som ramme for en videnssøgning, der er målrettet udfordringerne identificeret i denne rapport, da de tilsammen berører alle elementer i Tabel 14.

**Tabel 15 Fire scenarier med særligt potentiale som ramme for en kommende videnssøgning.**

- 
- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Central recirkulering</li> <li>• 4 Grøn by</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 Flerstrengt forsyning</li> <li>• 8 Det teknologiske lokalsamfund</li> </ul> |
|--|--|
- 

Det understreges at de 4 scenarier ikke er de mest realistiske og ikke må opfattes som endelige bud på systemer der kan implementeres i København. Det er scenarierne for ekstreme til og de tilknyttede usikkerheder for store. De store usikkerheder er også begrundelsen for ikke at forsøge en egentlig multikriterieanalyse med vægtning af kriterier og sensitivitetanalyse. Dette vil være mere formålstjenstligt i forbindelse med en senere uddybning af scenarierne, hvor usikkerhederne er kraftigt reducerede.

Endeligt anbefales det ved en uddybning af ovennævnte scenarier, at tillade at erstatte og supplere elementer i de udvalgte scenarier, efterhånden som detaljeringsgraden afklarer nye potentialer og begrænsninger. Ligeledes bør det overvejes at bløde op på kravet om absolut selvforsyning indenfor kommunegrænsen, da denne begrænsning blandt andet kan siges at favorisere havvand, som en stabil og ubegrænset ressource.

## 8. Litteratur

- ABC (2006) *Sydney's desalination plant put on hold*, nyhedsartikel fra [www.abc.net.au](http://www.abc.net.au) 8. februar 2006.
- Characklis, G.W. (2004) *Economic decision making in the use of membrane desalination for brackish water supplies*. J. AWRA
- Eilersen, A.M. (2006) *Fremtidens håndtering af vand og spildevand i København*, opsamling på workshop afholdt på KE 14/6/05, Institut for Miljø og Ressourcer, DTU. Vedlagt som bilag nr. 2.
- Hauger, M. B & Binning; P.J. (2006) *Integreret håndtering af vand og spildevand i København*, Institut for Miljø og Ressourcer, DTU.
- Kristensen, K; Juel-Berg, K og Ambrotious, O (2005) *Regnvandsopsamling fra tage i Københavns kommune*, Polyteknisk midtvejsprojekt, Institut for Miljø og Ressourcer, DTU.
- Københavns Energi (2001) *Vandforsyningsplan*
- Københavns Energi (2005) *Vandforsyningsnotat*
- Miljøkontrollen (2003) *Københavnernes grønne regnskab*
- Miljøkontrollen (2005) *Københavns Kommunes Grundvandsplan*.