



# BLØDT VAND I EN CIRKULÆR ØKO- NOMI

MILJØSTYRELSEN  
FEBRUAR 2017

[[WWW.RAMBOLL.COM](http://WWW.RAMBOLL.COM)]

RAMBOLL

# **BLØDT VAND I EN CIRKULÆR ØKONOMI**

**FEBRUAR 2017**

**RAMBØLL MANAGEMENT CONSULTING A/S**

PREPARED BY: KMF, FINN, SBR, JKRN, JOHF, EBOR

CONTROLLED BY: JKRN

APPROVED BY: JKRN

VERSION: 10

## Indhold

<b>1.</b>	<b>SAMMENFATNING</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>INDLEDNING</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>VANDFORSYNINGEN I DANMARK</b>	<b>10</b>
3.1	Hårdhed og vandmængder	10
<b>4.</b>	<b>OVERORDNET METODE</b>	<b>13</b>
<b>5.</b>	<b>ERFARINGER FRA HOLLAND OG SVERIGE</b>	<b>15</b>
5.1	Holland	15
5.2	Sverige	18
<b>6.</b>	<b>TEKNISK ANALYSE</b>	<b>21</b>
6.1	Kalkfældning	21
6.2	Ionbytning	23
6.3	Nanofiltrering	25
6.4	Osmoseanlæg	26
6.5	Andre anlæg til påvirkning af kalk i drikkevand	26
6.6	Valg af metode i analysen	27
<b>7.</b>	<b>POTENTIELLE KONSEKVENSER VED CENTRAL BLØDGØRING AF DRILLEKVADET</b>	<b>29</b>
7.1	Vandforsyningerne	29
7.2	Private husholdninger	29
7.3	Private og offentlige virksomheder	31
7.4	Særligt vandforbrugende virksomheder	31
7.5	Den generelle sundhedstilstand	32
7.6	Øvrige effekter	35
<b>8.</b>	<b>PROJEKTET</b>	<b>36</b>
8.1	Formål	36
8.2	Basisscenarie og projekialternativer	36
8.3	Forudsætninger og datainput	37
<b>9.</b>	<b>SAMFUNDSØKONOMISK KONSEKVENSVURDERING</b>	<b>58</b>
9.1	Samfundsøkonomiske resultater fordelt på aktører	63
9.2	Følsomhedsanalyse	68
<b>10.</b>	<b>BLØDT VAND OG CIRKULÆR ØKONOMI</b>	<b>72</b>
<b>11.</b>	<b>LITTERATURLISTE</b>	<b>74</b>

## **BILAG**

**Bilag 1 – beregning af vandmængder og hårdheder**

**Bilag 2 – Fordeling af særligt vandforbrugende virksomheder i hårdhedszoner**

**Bilag 3 – Kommunernes hårdhedsniveau**

## 1. SAMMENFATNING

I store dele af Danmark er der et højt indhold af kalk i det indvundne grundvand. Der er store regionale forskelle på vandets hårdhed, men både på Sjælland, Fyn og Jylland er der betragtelige områder, hvor kalkniveauet i vandet er så højt, at det kan være til gene for forbrugerne. Det høje kalkindhold i drikkevandet kan både have økonomiske konsekvenser for de enkelte forbrugere, men kan også medføre en negativ miljøpåvirkning som følge af et højt forbrug af kemikalier og sæbe til rengøring og vask.

Miljøstyrelsen har derfor bedt Rambøll Management Consulting om at undersøge de samfundsøkonomiske konsekvenser ved at indføre central blødgøring af drikkevandet i Danmark. Analysen skal opgøre de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger forbundet med en central blødgøring af drikkevandet for alle relevante aktører. Konkret belyses de positive og negative konsekvenser ved at mindske hårdheden i drikkevandet til hhv. 6 °dH, 10 °dH og 14 °dH.

Rambøll Management Consulting er i opgaveløsningen blevet bistået af Rambøll Water i Danmark, Sverige og Holland. Endvidere har Miljøstyrelsen samt Styrelsen for Patientsikkerhed bidraget med input til analysen.

I Sverige og Holland har man anvendt central blødgøring af drikkevandet i mange år. Det er i begge lande frivilligt for vandforsyningerne at anvende blødgøring, men der er fastsat en række krav til drikkevandskvaliteten, som de skal overholde. Generelt har der været stor tilfredshed med implementeringen af central blødgøring af drikkevandet i både Holland og Sverige. Endelig er der hverken i Holland eller Sverige dokumenteret negative sundhedsmæssige konsekvenser ved blødgøring af drikkevand.

Drikkevandets hårdhed kan sænkes ved brug af flere forskellige teknologier. Hvilken teknologi der er mest hensigtsmæssig at anvende, afhænger af en række lokale forhold, herunder råvandets hårdhed, råvandets sammensætning, størrelsen på anlægget, muligheder for bortskaffelse af restprodukter mv. Der er overordnet set tre forskellige anerkendte teknologier til blødgøring af drikkevand:

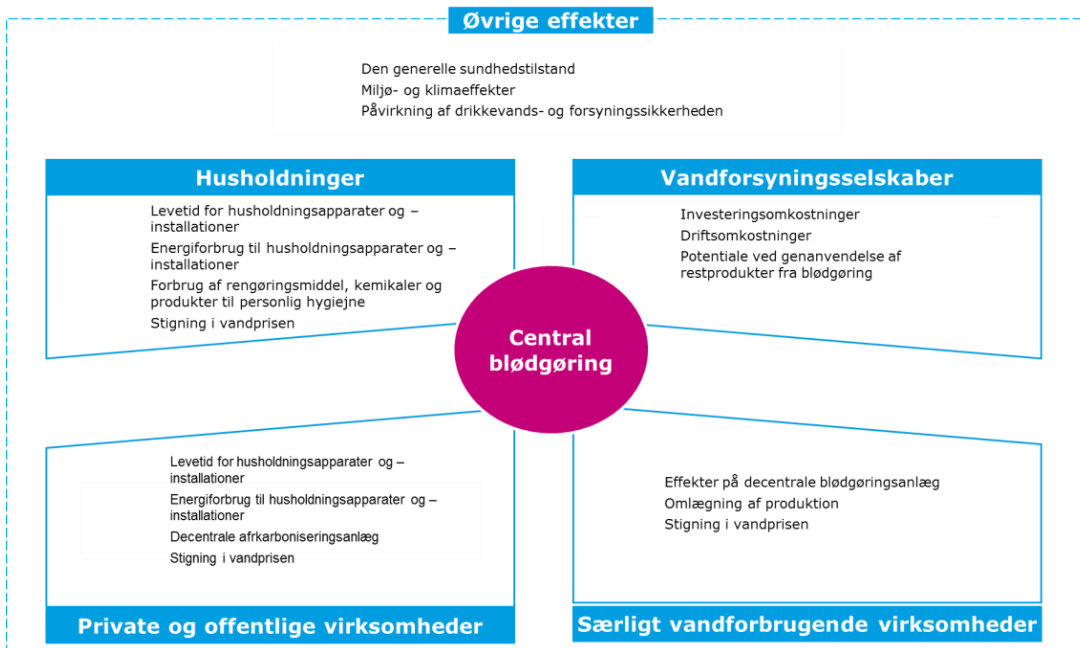
- Kalkfældning (også kendt som pelletmetoden) er den mest udbredte metode til central blødgøring af drikkevand. Ved denne metode fjernes kun calcium fra vandet. Alle andre stoffer bibeholdes, og der er således ingen følgevirkninger ved metoden. Blødgøring ved kalkfældning genererer kalkpellets som restprodukt. Disse pellets kan potentielt genanvendes i adskillige industrier og landbrugsmæssige sammenhænge.
- Ionbytning er også en udbredt metode. Her byttes calcium- og magnesium ioner typisk med natriumioner. Det behandlede vand frigøres således fuldstændigt for calcium og magnesium og opnår en blødhed på 0 °dH. For at opnå en hårdhed, der er højere end 0 °dH, foretages der en opblanding af det blødgjorte vand med ikke-blødgjort vand. Processen danner spildevand, der skal afledes. Der findes i dag ingen processer, hvor dette kan genanvendes. Ionbytning kan anvendes på såvel store som små anlæg og ved alle hårdhedsgrader.
- Ved både nanofiltrering og osmoseanlæg anvendes fine membraner, hvorigennem vandet pumpes ved stort tryk. Ved osmoseanlæg er membranen finere, og kræver derfor et højere tryk. Af de to metoder er kun nanofiltrering relevant ift. central blødgøring i en dansk kontekst, da de øgede omkostningerne til osmoseanlægget overstiger de fordele, der opnås ift. nanofiltrering.

I analysen kan der ikke tages højde for de lokale forhold, da der er over 2.600 vandforsyninger i Danmark. Det er i analysen derfor antaget, at der ved store anlæg (produktionskapacitet på mere end 1.000.000 m<sup>3</sup>/år) anvendes kalkfældning, mens der ved mindre anlæg (produktionskapacitet på under 1.000.000 m<sup>3</sup>/år) anvendes ionbytning. Ved små anlæg (produktionskapacitet på under 200.000 m<sup>3</sup>/år) vurderes etableringen af blødgøring urealistisk.

En central blødgøring af drikkevandet har potentielt betydning for mange forskellige aktører. Som konsekvens af blødgøringen vil vandpriserne stige, da vandforsyningerne operer efter 'hvile i sig selv princippet', hvilket betyder, at forsyningernes omkostninger til indvinding og distribuion af drikkevand overvælttes til forbrugerne i form af vandprisen.

Effekterne for de enkelte aktører er illustreret i figuren nedenfor og nærmere beskrevet i teksten under figuren.

**Figur 1.1: Oversigt over relevante aktører og forventede effekter**



Kilde: Rambøll

*De private husholdninger* vil opleve en række positive effekter i form af 1) forlænget levetid af husholdningsapparater og –installationer, 2) mindre energiforbrug for vaskemaskiner, 3) mindre brug af rengøringsmidler og produkter til personlig hygiejne samt 4) mindre tidsforbrug til afkalkning.

*De private og offentlige virksomheder* oplever en række af de samme effekter som husholdningerne. Herudover vil virksomhederne opleve en øget omkostning i forbindelse med mindre afkarboniseringsanlæg på fx kaffemaskiner, da en centralblødgøring af drikkevandet medfører, at filterkapaciteten på disse reduceres.

Der er endvidere en række *særligt vandforbrugende virksomheder*, som vil blive påvirket af en central blødgøring af drikkevandet. Disse virksomheder er kendetegnet ved enten et meget højt vandforbrug (fx landmænd) og/eller ved, at de anvender decentral vandbehandling (fx erhvervsvaskerier). Udover samme effekter som de øvrige private og offentlige virksomheder vil disse også opleve en række effekter på deres decentrale blødgøringsanlæg. De fleste virksomheder, hvor vand indgår direkte i produktionen, anvender lokal vandbehandling. Der er dog eksempler på virksomheder, der anvender vandet direkte i produktionen. For disse vil en central blødgøring kunne medføre en engangsudgift i forbindelse med ændringer i deres produktioner, herunder fx opskrifter.

*Sundhedseffekterne* er ofte diskuteret i forbindelse med en central blødgøring af drikkevandet. Den samlede sundhedsmæssige effekt af blødgøring anses af Styrelsen for Patientsikkerhed dog som værende meget begrænset. Dette skyldes primært et højt mineralindtag igennem kosten, hvorfor mineralindtaget fra drikkevand ikke anses som være afgørende for sundheden. Styrelsen for Patientsikkerhed fremhæver dog, at der kan være et informationsbehov rettet mod de borgere,

der er særligt udsatte ift mineralindtag. På den baggrund er der i indeværende analyse ikke medtaget nogle sundhedsmæssige effekter i forbindelse med opgørelsen af de samfundsøkonomiske konsekvenser ved blødgøring af drikkevandet.

Endelig vil der være en række *øvrige effekter* ved central blødgøring af drikkevandet, som påvirker samfundet som helhed. Dette drejer sig blandt andet om et reduceret forbrug af rengøringsmidler mv. som har en positiv miljøpåvirkning.

En central blødgøring kan endvidere bidrage til en cirkulær og grøn økonomi igennem forlængede levetider, reduceret energiforbrug og mindre udledning af kemikalier i forbindelse med personlig hygiejne og rengøring.

Der er i Danmark store regionale forskelle på hårdheden af drikkevandet i Danmark. Nogle steder er drikkevandet meget hårdt, mens det andre steder er blødt. Der kan derfor også forventes forskelle i potentialerne ved central blødgøring af drikkevandet.

De centrale resultater af analysen er præsenteret i tabellen nedenfor, der viser de samfundsøkonomiske resultater ved de tre projekialternativer. Resultaterne i tabellen angiver de samfundsøkonomiske resultater, hvis central blødgøring indføres i de områder i Danmark, hvor der forventes en samfundsøkonomisk gevinst.

**Tabel 1.1: Samfundsøkonomisk analyse for de fordelagtige områder i de tre alternativer.**

NPV, mio. DKK	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Vandforsyninger (investering og drift) <sup>1</sup>	-1.347	-817	-775
Private husholdningerne	36.398	24.213	18.390
Private og offentlige virksomheder <sup>2</sup>	448	689	487
Særligt vandforbrugende virksomheder <sup>3</sup>	-98	-48	-52
Øvrige effekter <sup>4</sup>	-2.760	-1.697	-1.352
<b>Total, nettonutidsværdi</b>	<b>32.641</b>	<b>22.340</b>	<b>16.697</b>

Kilde: Rambøll

Note: Bemærk at omkostningerne til at dække vandforsyningernes investerings- og driftsomkostninger er overvæltet på den enkelte forbruger i form af højere vandpris.

"1": Af tekniske årsager oplever vandforsyningerne en negativ gevinst selvom de overvælter deres omkostninger til forbrugerne igennem højere vandpriser. Dette skyldes, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens deres indtægter falder over en periode på 30 år og derfor tilbagediskonteres, hvorved værdien nedjusteres. Indeholder ikke effekter på husholdningsapparater og –installationer, afkarboniseringsanlæg mv., da disse er lagt sammen med 'Private og Offentlige virksomheder'. Denne effekt for vandforsyningerne er begrænset, da antallet af husholdningsapparater og –installationer forventes at være begrænset.

"2": Indeholder også effekterne på husholdningsapparater og –installationer, afkarboniseringsanlæg mv. for de særligt vandforbrugende virksomheder og vandforsyningerne

"3": Indeholder kun effekterne på driften af de decentrale blødgøringsanlæg (mindre salt og vand til regenerering af blødgøringsanlæggene) samt stigningen i vandprisen, mens effekterne for husholdningsapparater og –installationer, afkarboniseringsanlæg mv. er lagt sammen med gruppen 'Private og offentlige virksomheder'.

"4": De øvrige effekter dækker over nettoafgiftsfaktoren, mindre spildevand fra de særligt vandforbrugende virksomheder og emissioner. Da investeringen og driften af blødgøringsanlæggene finansieres igennem højere vandpriser er der ikke indregnet en skatteforvriddning i forbindelse med finansieringen.

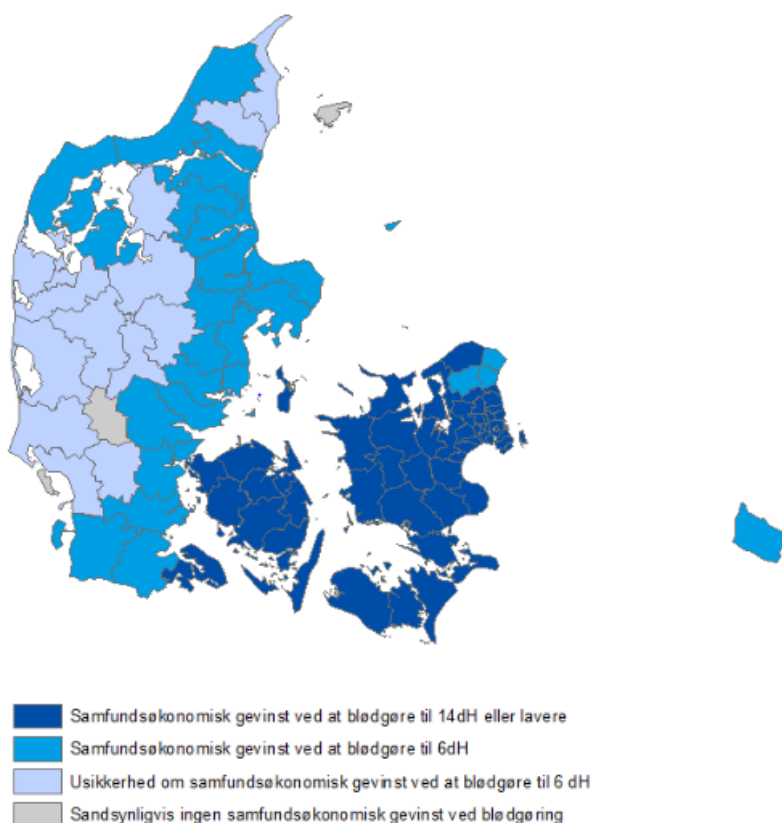
Det fremgår af tabellen, at alle projekialternativer er samfundsøkonomisk rentable. Den største samfundsøkonomiske gevinst findes i projekialternativ I, mens den er mindst i projekialternativ III.

Analysen viser, at det er de private husholdninger, der har de største gevinster ved blødgøring. Disse gevinster kommer fra forlængede levetider af husholdningsapparater- og installationer, mindre energiforbrug fra vaskemaskiner, mindre forbrugertid til afkalkning af kaffemaskiner og elkedler samt mindre forbrug af rengøringsmidler mv.

De private og offentlige virksomheder vil ligeledes opleve en positiv gevinst, mens de særligt vandforbrugende virksomheder vil have forøgede omkostninger efter en central blødgøring af drikkevandet i forbindelse med deres decentrale blødgøringsanlæg. Af tekniske årsager oplever vandforsyningerne en negativ gevinst selvom de overvælter deres omkostninger til forbrugerne igennem højere vandpriser. Dette skyldes, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens deres indtægter falder over en periode på 30 år og derfor tilbagediskonteres, hvorved værdien nedjusteres.

Figuren nedenfor illustrerer for hvilket blødgøringsniveau, der vil være en samfundsøkonomisk gevinst forskellige steder i landet.

**Figur 1.2: Geografisk inddeling af potentialerne ved central blødgøring**



Kilde: Rambøll

Overordnet set viser figuren, at der i store dele af landet vil være en samfundsøkonomiske gevinst ved at blødgøre, men at der ligeledes er en mindre del af landet, hvor der sandsynligvis ikke er en samfundsøkonomisk gevinst ved at indføre central blødgøring af drikkevandet, eller hvor der er usikkerhed om gevinsten.



## 2. INDLEDNING

Grundvandet i dele af Danmark har et højt indhold af kalk – særligt omkring København, hvor hårdheden i visse områder er over 30 °dH. Der er ligeledes store områder på Sjælland, Fyn og Jylland, hvor kalkniveauet i vandet er så højt, at vandet karakteriseres som temmelig hårdt vand (hårdhed over 12 °dH).

Det er almindeligt kendt, at hårdt drikkevand medfører en række gener for forbrugerne. Disse gener er blandt andet kalkaflejringer i fx husholdningsapparater og -installationer samt på sanitet og fliser i baderum. Kalk i husholdningsapparater og -installationer reducerer levetiden og vil i nogle tilfælde medføre et øget energiforbrug, da ledningsevnen reduceres betragteligt i fx vaske-maskiner. Udover de direkte økonomiske konsekvenser kan et højt kalkindhold i drikkevandet medføre en negativ miljøpåvirkning, da et højt kalkniveau nødvendiggør et højt forbrug af rengøringsmidler og sæbe til rengøring og vask.

Der er tidligere gennemført en række analyser af konsekvenserne ved blødgøring af drikkevandet i Danmark. Analyserne har haft varierende fokus og har vist forskellige resultater.<sup>1</sup> De tidligere analyser har haft særligt fokus på de danske husholdninger og i mindre grad de private og offentlige virksomheder. Miljøstyrelsen har derfor bedt Rambøll Management Consulting om at gennemføre en analyse, hvor fokus er på alle aktører i samfundet, som kan forventes at blive påvirket af en central blødgøring af drikkevandet.

Konkret er formålet med indeværende analyse at belyse de positive og negative konsekvenser for alle berørte aktører i samfundet ved at mindske hårdheden i drikkevandet til hhv. 6 °dH, 10 °dH og 14 °dH. Analysen bygger på tre hoveddele, som tilsammen danner grundlaget for den samfundsøkonomiske analyse: 1) Gennemgang af erfaringer med central blødgøring af drikkevand i Sverige og Holland, 2) analyse af de forskellige teknologier til blødgøring af drikkevand og 3) opgørelse af konsekvenserne ved en central blødgøring af drikkevandet for de forskellige aktører i Danmark.

Rambøll Management Consulting er i opgaveløsningen blevet bistået af Rambøll Water i Danmark, Sverige og Holland (benævnes efterfølgende samlet som Rambøll). Endvidere har Miljøstyrelsen samt Styrelsen for Patientsikkerhed bidraget med input til analysen.

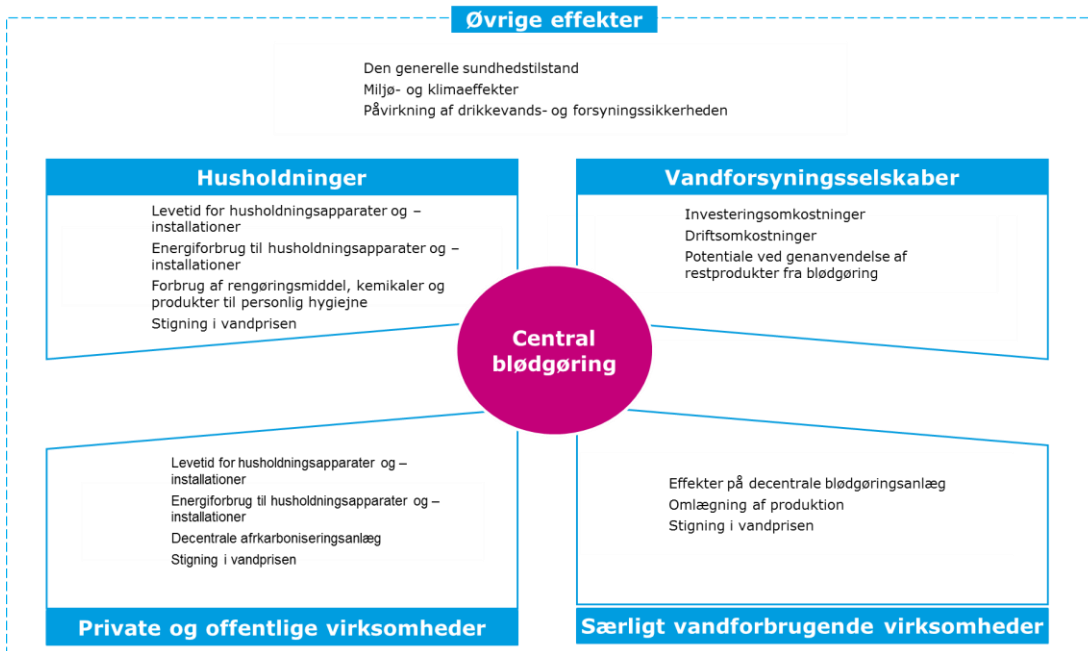
Da der er store regionale forskelle på vandets hårdhed i dag, vil der naturligt være regionale forskelle på konsekvenserne ved at blødgøre drikkevandet til de tre ønskede hårdhedsniveauer. I analysen er der – udover en klassisk samfundsøkonomisk analyse – derfor også gennemført en analyse, der indikerer i hvilke dele af Danmark, det samfundsøkonomisk er rentabelt at indføre en central blødgøring af drikkevandet.

Figuren nedenfor viser en oversigt over de relevante aktører, der kan forventes at blive påvirket af en central blødgøring af drikkevandet samt de potentielle konsekvenser, de vil opleve.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fx Central blødgøring af vand, COWI for Naturstyrelsen, maj 2011 og Samfundsøkonomisk analyse af central blødgøring af vand på Forsyning Ballerups værker – konsekvenser for husholdninger, Deloitte 18. november 2015.

<sup>2</sup> Aktørerne vil være de samme på tværs af geografiske områder men størrelsen på effekterne vil variere efter lokale forhold som fx vandets hårdhed i udgangspunktet.

Figur 2.1: Oversigt over relevante aktører og forventede effekter



Kilde: Rambøll

I analysen er fokus således på konsekvenserne for de private husholdninger, vandforsyningerne, de private og offentlige virksomheder, særligt vandforbrugende virksomheder. Herudover vil der være en række øvrige effekter, som ikke kan henføres til nogle af de øvrige aktører.

Rambøll har i analysen analyseret en række særligt vandforbrugende virksomheder, som er kendetegnet ved et højt vandforbrug og/eller ved, at de i dag gennemfører en decentral blødgøring af drikkevandet, inden de anvender det i deres produktion.

En blødgøring af drikkevandet forventes blandt andet at medføre et mindre energiforbrug på nogle husholdningsapparater, forøget levetid på både husholdningsapparater og -installationer samt et mindre forbrug af kemikalier til afkalkning og rengøring. En central blødgøring af drikkevandet kan dermed bidrage til en cirkulær økonomi, hvilket er behandlet sidst i analysen.

Rapporten er inddelt i otte forskellige kapitler med hvert sit fokus.

I **Kapitel 3** sættes rammerne for analysen ved en kort beskrivelse af vandsektoren i Danmark, herunder antal vandforsyninger, de lovgivningsmæssige rammer samt en beskrivelse af den eksisterende hårdhed af drikkevandet. **Kapitel 4** indeholder en overordnet beskrivelse af den anvendte metode i analysen, og hvordan de tre hoveddele hænger sammen og bidrager til den samfundsøkonomiske analyse.

**Kapitel 5** indeholder en beskrivelse af erfaringerne fra Sverige og Holland med central blødgøring af drikkevandet, mens **kapitel 6** beskriver de forskellige teknologier til blødgøring af vand og afsluttes med en beskrivelse af, hvilke forhold der er afgørende for valg af blødgøringsmetode.

I **Kapitel 7** beskrives de potentielle konsekvenser for de enkelte aktører i samfundet med udgangspunkt i de aktører og konsekvenser, der er beskrevet i Figur 2.1.

**Kapitel 8** indeholder en beskrivelse af selve projektet, herunder basisscenarie og de enkelte projekialternativer. Afsnittet indeholder endvidere en kvantificering af effekterne for de enkelte aktører ved de forskellige projekialternativer.

På baggrund af input fra de øvrige kapitler indeholder **kapitel 9** den samfundsøkonomiske analyse, hvor konsekvenserne for samfundet som helhed estimeres. Kapitlet indeholder endvidere en

følsomhedsanalyse samt en vurdering af, i hvilke områder af landet der kan forventes en positiv samfundsøkonomisk gevinst ved at indføre en central blødgøring af drikkevandet.

Endelig indeholder **kapitel 10** en kort beskrivelse af, hvordan en central blødgøring af drikkevandet kan bidrage til en cirkulær økonomi.

### 3. VANDFORSYNINGEN I DANMARK

I Danmark fremstilles drikkevand fra indvinding af grundvand. For at mindske omkostninger forbundet med langstrakt transport af det indvundne drikkevand placeres vandforsyningerne, hvor grundvandet indvindes. Den danske vandforsyning er således karakteriseret ved sin decentrale struktur med mange vandforsyninger. Det danske drikkevand produceres lokalt på ca. 2.600 almene vandforsyninger.<sup>3</sup> Ca. 97 pct. af danskerne modtager drikkevand fra en af disse vandforsyninger, mens de resterende får vand fra en privat vandbrønd, som typisk kun forsyner én husholdning.

Der er stor variation i størrelsen på de almene vandforsyninger. I de store byer er der typisk store vandforsyninger, der leverer vand til flere hundrede tusinde mennesker hver dag. De kommunalt ejede vandforsyninger står for mere end to tredjedele af den samlede vandproduktion, og er således klart den største aktør på markedet. Herudover drives der i Danmark mange mindre privatejede vandforsyninger. De mindste af disse leverer vand helt ned til 10 ejendomme. Her er det typisk forbrugerne, som modtager vandet, der er ejere. Endelig er der også en del private brønde og borer, der primært anvendes af industrien til erhvervsvanding.

Der er i dansk lovgivning fastsat en række kvalitetskriterier for drikkevand, som skal overholdes af alle vandforsyninger uanset størrelse og ejerforhold.<sup>4</sup> De enkelte kommuner er myndighed på vandforsyningsområdet og er forpligtet til at føre tilsyn med, om vandforsyningerne lever op til kravene til drikkevandets kvalitet. Blandt andet er det obligatorisk at kontrollere drikkevandet for indhold af nikkel, arsen, bakterier og pesticider. Herudover kan den enkelte kommune vedtage, hvilke yderligere stoffer drikkevandet skal kontrolleres for.

Der er betydelige geografiske variationer i prisen, som vandforsyningerne afkræver forbrugerne for vandet. Forbrugernes egenbetaling til drikkevand kan opdeles i følgende komponenter:

- Et fast bidrag (fx tilslutningsbidrag).
- En variabel afgift pr. m<sup>3</sup> vand forbrugt.
- Faste årlige afgifter (fx til fælles forsyning, drikkevandsbidrag, statsafgift på drikkevand).

Prisen dækker behandling og levering af rent drikkevand. For vandforsyningerne omfatter behandling og levering af drikkevand grundvandssikring, indvinding, behandling og levering af rent vand.

I overensstemmelse med Vandsektorloven fastsættes et prisloft for den individuelle vandforsyning. Dette prisloft angiver den øverste ramme for vandprisen, som vandforsyningerne må pålægge forbrugerne.

#### 3.1 Hårdhed og vandmængder

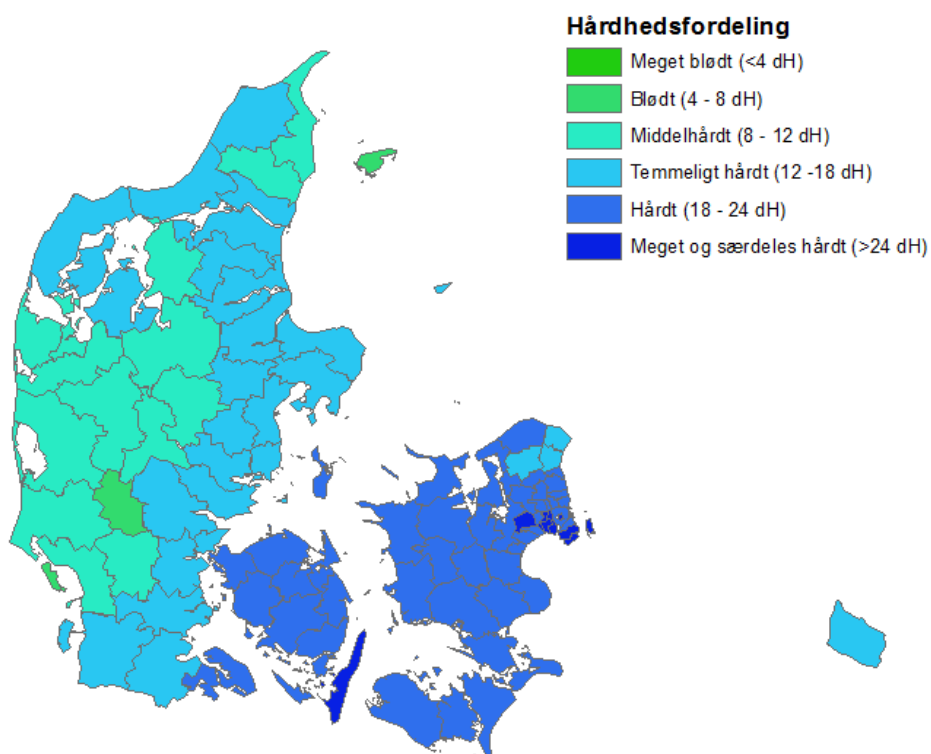
Vandets hårdhed afgøres af koncentrationen af calcium og magnesium i vandet. Begge mineraler forekommer naturligt i råvand som følge af, at vandet passerer over eller igennem kalksten eller kalkområder, hvorved calcium- og magnesium-ioner opløses i vandet.

I Danmark er der stor variation i vandets hårdhed og selv inden for et forsyningsområde kan hårdhedsgraden variere meget. Blandt andet opleves der i Vandcenter Syds forsyningsområde en variation i hårdhedsgrader fra 13 °dH til 22 °dH. Der kan dog trækkes generelle tendenser på tværs af kommuner. Dette afspejles i nedenstående hårdhedskort, som er baseret på data fra GEUS.

<sup>3</sup> De almene vandforsyninger er fordelt med cirka 155 kommunale og cirka 2.500 private værker.

<sup>4</sup> BEK nr. 802 af 01/06/2016 'Drikkevandsbekendtgørelsen'.

Figur 3.1: Den geografiske hårdhed af drikkevandet i Danmark



Kilde: GEUS og egne beregninger

Som det fremgår af hårdhedskortet, er der især i hovedstadsområdet meget hårdt vand. Det er derfor ikke tilfældigt, at det er hovedstadsområdets forsyningsselskab HOFOR, der som det første forsyningsselskab er i gang med at installere blødgøringsanlæg på deres vandforsyninger.<sup>5</sup>

Baggrunden for denne blødgøring er bl.a., at HOFOR har oplevet et forbrugerønske om at slippe for besvær med at fjerne kalk fra badeværelser, husholdningsmaskiner, varmtvandsanlæg, installationer mv. Ligeledes fandt HOFOR på baggrund af interviews med en række erhvervsvirksomheder, kontorejendomme og boligselskaber, at disse dagligt oplever problemer på grund af meget kalk i vandet. Andre forsyningsselskaber forholder sig dog mere skeptisk overfor blødgøring af drikkevand og appellerer til, at erfaringer fra HOFOR afventes, førend der træffes beslutning om central blødgøring.

Generelt er tendensen, at forsyningsselskaber i områder med relativt hårdt vand oplever en vis efterspørgsel fra forbrugerne, hvilket afleder store overvejelser om central blødgøring. Dog oplever vandforsyningerne, at forbrugerne generelt har mangelfuld information omkring blødgøring, hvilket afspejler sig i urealistiske forventninger til effekten. Forsyningsselskaber i områder med blødt til middelhårdt vand udviser en meget lille interesse for blødgøring, da forbrugerne ikke oplever et problem.

Danskernes vandforbrug har været faldende igennem de senest 20 år, men har dog ligget relativt stabilt de seneste 4-5 år. Den faldende tendens kan findes for såvel husholdningerne som private og offentlige virksomheder.<sup>6</sup>

Ifølge GEUS var den samlede indvunden vandmængde i 2015 på ca. 340 mio. m<sup>3</sup> vand, hvoraf størstedelen af vandet karakteriseret som 'Hårdt', jf. tabellen nedenfor.

<sup>5</sup> HOFOR forventer, at blødgøring vil blive indført på alle HOFOR's vandforsyninger inden år 2024.

<sup>6</sup> DANVA, 2016. Vand i tal 2016

**Tabel 3.1: Indvunden vandmængde fordelt på hårdhedszoner, 2015**

Hårdhedszone	<i>m<sup>3</sup> vand</i>
Meget blødt (<4)	0
Blødt (4-8)	3.028.407
Middelhård (8-12)	55.931.875
Temmelig hård 1 (12-18)	114.553.677
Hårdt (18-24)	158.652.013
Meget og særdeles hårdt (>24)	8.530.287
<b>I alt</b>	<b>340.696.259</b>

Kilde: Udtræk fra GEUS og Rambøll

Tabellen viser endvidere, at en lille del af det indvunden vand har en hårdhed under 8 °dH (under 1 pct.), mens ca. 3 pct. af vandet har en hårdhed på mere end 24 °dH.

## 4. OVERORDNET METODE

Analysen bygger på tre hoveddele, som tilsammen danner grundlaget for den samfundsøkonomiske analyse. I dette kapitel beskrives det overordnede formål og metode til de tre dele, samt hvordan de indgår i den samfundsøkonomiske analyse.

Den *første del* af analysen (kapitel 5) er en gennemgang af erfaringerne med central blødgøring af drikkevand i Sverige og Holland. Formålet hermed er at opsamle de generelle erfaringer og baggrunden for blødgøring af drikkevand i de to lande. Erfaringerne fra Holland og Sverige indgår som input i den tekniske analyse samt i kortlægningen af de potentielle effekter ved blødgøring af drikkevandet i Danmark. Indsamlingen af erfaringerne fra Sverige og Holland er baseret på en gennemgang af den eksisterende litteratur samt interviews med en række relevante aktører i de to lande.

Formålet med *anden del* af analysen (kapitel 6) er at kortlægge de forskellige teknologier, der findes til blødgøring af drikkevand. Den tekniske analyse afsluttes med en beskrivelse af, hvilke forhold der er afgørende for valg af blødgøringsteknologi. Den tekniske analyse er gennemført som en kombination af gennemgang af den eksisterende litteratur, erfaringerne fra Sverige og Holland samt interviews med relevante aktører i Danmark.

Den *tredje del* af analysen (kapitel 7 og 8) omhandler en kortlægning af effekterne for aktører, som kan forventes at blive påvirket af en central blødgøring af drikkevandet (se Figur 2.1 for en illustration heraf). Der foreligger allerede en række analyser, som har fokuseret på at opgøre effekterne særligt for husholdningerne og for vandforsyningerne. Nærværende analyse tager udgangspunkt i de tidligere analyser, men alle effekter er blevet kvalificeret ved uafhængige kilder og suppleret med effekter, der tidligere ikke har været opgjort. I kapitel 8 er effekterne samt kilderne til fastlæggelsen af de enkelte effekter nærmere beskrevet.

Analysen af de samfundsøkonomiske konsekvenser (kapitel 9) ved en blødgøring af drikkevandet i Danmark bygger på de tre ovenfor beskrevne hoveddele. Endvidere følger analysen Finansministeriets retningslinjer for samfundsøkonomiske beregninger. Udover de samfundsøkonomiske konsekvenser fokuserer analysen endvidere på de regionale forskelle i de samfundsøkonomiske konsekvenser. Endelig gennemføres der følsomhedsanalyser for at illustrere, hvor følsom analysens resultater er for ændringer i centrale input.

Der er i den samfundsøkonomiske analyse antaget, at investeringen i blødgøringsteknologier finansieres igennem højere vandpriser og finansieres dermed direkte af forbrugerne. Der er i analysen derfor ikke indregnet et skatteforvridningstab ved investeringen i blødgøringsteknologier.<sup>7</sup>

Data for indvunden vandmængde og hårdhed stammer fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS).<sup>8</sup> Vandmængden og hårdheden i den enkelte kommune baseres på hjemstedskommunen for den enkelte indvinding. Der tages i analysen således ikke højde for, at vandforsyningerne forsyner andre kommuner end deres hjemstedskommune med vand. I bilag 1 er en beskrivelse af den anvendte metode til fastlæggelse af data for vandmængder og hårdheder.

Der er imidlertid store variationer i hårdheden af det indvundne vand inden for en kommune. Hårdheden af drikkevandet i en kommune er derfor udregnet som den gennemsnitlige hårdhed (vægtet med den indvundne vandmængde). I beregningerne af omkostningerne ved at blødgøre drikkevandet på vandforsyningerne er der taget højde for den faktiske hårdhed af drikkevandet på den enkelte vandforsyning og dermed, hvor meget vand der skal blødgøres i den enkelte kommune.

<sup>7</sup> Finansieringen igennem højere vandpriser vil medføre en lavere disponibel indkomst for forbrugerne. Der vil således også herved være et forvridningstab, som der dog ikke er taget højde for i analysen.

<sup>8</sup> Vandmængden er baseret på nyeste tilgængeligt data for de enkelte indvindinger, mens hårdheden af de enkelte forsyninger er beregnet som et gennemsnit for perioden 2010-2015.

I analysen er det endvidere valgt at følge den hårdhedsinddeling, som GEUS anvender. Disse er gengivet i tabellen nedenfor.

**Tabel 4.1: Hårdhedsniveauer**

Niveau	Hårdhedsgrad °dH
Meget blødt vand	< 4
Blødt vand	4 – 8
Middelhårdt vand	8 – 12
Temmelig hårdt vand	12 – 18
Hårdt vand	18 – 24
Meget hård vand	24 – 30
Særdeles hårdt vand	> 30

Kilde: GEUS

Da hårdheden er angivet i intervaller, anvendes median – dvs. at der i analysen anvendes en hårdhed på 6 °dH i de kommuner, der ligger i områder med 'blødt vand'. Dette medfører, at der i analysen ses bort for områder med 'meget blødt' og 'blødt vand', da disse i udgangspunktet har en hårdhed, der er lig med eller lavere end hårdheden i de analyserede projekialternativer.

På samme måde ses der i projekialternativ II (hårdhed på 10 °dH) bort fra områder med 'middel-hårdt vand' og derunder. I projekialternativ III (hårdhed på 14 °dH) vil der være områder med 'temmelig hårdt vand', der i udgangspunktet har en hårdhed under 14 °dH. Disse områder sorteres i analysen fra, mens de resterende områder i denne kategori indgår med en gennemsnitlig hårdhed på 16 °dH.<sup>9</sup>

Endvidere er områderne 'meget hårdt' og 'særdeles hårdt' slået sammen, når effekterne opgøres - fx levetid på et apparat eller installation. Dette er primært gjort, fordi der er en forventning om en aftagende effekt af kalk ved lave og høje hårdheder. Sammenhængen mellem fx levetidsforlængelser og hårdheden i vandet er således logistisk, da den forventes at aftage ved lave og høje hårdhedsgrader. Denne antagelse sikrer endvidere, at effekterne i områder med hårdt vand ikke overestimeres.

Der er herudover foretaget en række antagelser i fastlæggelsen af værdier til analysen om fx antal vaskemaskiner, levetid ved forskellige hårdheder osv. Disse er nærmere beskrevet i kapitel 8 og 9.

Omkostningerne til central blødgøring er estimeret på vandværksniveau. Investerings- og driftsomkostningerne på vandværksniveau er summeret på kommuneniveau. For hvert alternativ beregnes en ny gennemsnitlig hårdhed på kommuneniveau på baggrund af vandforsyningernes blødgøring. I analysen antages det endvidere, at det kun er vandforsyninger med en kapacitet over 200.000 m<sup>3</sup>, hvor der implementeres blødgøring (se afsnit 6.6).

Denne antagelse medfører, at den gennemsnitlige hårdhed for en kommune godt kan være større end hårdheden i de enkelte projekialternativer (fx 10 °dH). Dette kan forekomme, hvis der er mange små vandforsyninger med en kapacitet under 200.000 m<sup>3</sup> i en kommune, som ikke blødgør, hvorved den gennemsnitlige hårdhed i kommunen ikke vil være som i projekialternativet. Derudover er det antaget, at det kun er vandforsyninger i kommuner med en gennemsnitlig hårdhed over alternativets hårdhed, som investerer i blødgøringsanlæg. Dette betyder, at nogle få vandforsyninger med en hårdhed over projekialternativt, men som ligger i kommuner med en gennemsnitlig hårdhed under projekialternativet, ikke blødgør.

Endelig er omkostninger og effekter summeret på de eksisterende hårdhedsgrupper (se Figur 3.1), hvorefter det er analyseret, hvorvidt det er fordelagtigt at blødgøre i området eller ej.

<sup>9</sup> Hvilket er gennemsnittet for kategorien, hvis alt under hårdhed 14 sorteres fra.



## 5. ERFARINGER FRA HOLLAND OG SVERIGE

Formålet med dette kapitel er en kortfattet opsamling af erfaringerne med central blødgøring af drikkevand fra hhv. Holland og Sverige. Begge lande har mange års erfaring med blødgøring, så selvom vandforsyningssektoren er struktureret anderledes end i Danmark, vil erfaringerne være relevante at trække på i en dansk kontekst. Konkret vil de følgende emner blive afdækket i dette kapitel:

- Baggrund for central blødgøring af drikkevand.
- Erfaringer med implementering.
- Valg af teknologi.
- Effekter.

Grundet forskellig strukturering og erfaring behandles disse emner separat for hhv. Holland og Sverige.

### 5.1 Holland

Vandforsyningssektoren i Holland er kendetegnet ved få, store vandforsyningselskaber. Der er således i dag kun 10 vandforsyningselskaber, som producerer og distribuerer drikkevand til hele landet. Til sammenligning er der i Danmark cirka 2.600 vandforsyningselskaber. Som i Danmark udvindes størstedelen af drikkevandet i Holland fra grundvandsmagasiner og en mindre del fra overfladevand.

#### *Baggrund for central blødgøring af drikkevand*

I Holland indgår blødgøring som en del af vandforsyningselskabernes vandbehandling i det omfang, det er nødvendigt. Central blødgøring blev implementeret i starten af 1970'erne, og i dag bliver omkring 50 pct. af det producerede drikkevand blødgjort for at opnå den krævede vandkvalitet.<sup>10</sup>

Baggrunden for forslaget om blødgøring af drikkevandet var initialt baseret på et ønske om 1) at undgå brugen af decentrale blødgøringsanlæg, hvor det var vanskeligt at sikre tilstrækkelig høj drikkevandskvalitet, 2) at opnå økonomiske fordele (reduceret kalkaflejring af køkkenudstyr, slid på tøj, forbrug af vaskemiddel) og 3) at forbedre smagen og reducere kalkpletter.

Senere blev endnu en faktor introduceret i diskussionen - reduceret indtag af kobber og bly fra distributionsnettet. Dette skyldes, at kobber og bly opløses lettere ved lave pH-værdier. Hårdt vand med et højt indhold af karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) har en lav pH-værdi. Hvis hårdt vand distribueres til forbrugerne igennem bly- og kobberør, vil der derfor grundet rørrkorrosion være en øget koncentration af kobber og bly i vandet, som medfører øget eksponering for den enkelte forbruger.<sup>11</sup>

Efter implementeringen af central blødgøring af drikkevandet faldt kobberkoncentrationen i drikkevandet hos forbrugerne til under grænseværdien, mens blykoncentrationen blev bragt under grænseværdien på 90 pct. af anlæggene. På de resterende 10 pct. af anlæggene var det ikke muligt at reducere blykoncentrationen til under grænseværdien, hvorfor myndighederne har forbudt brugen af blyør i distributionsnettet.

#### *Implementering*

Blødgøring udføres i Holland primært ved kalkfældning (også kaldet pelletmetoden). Dog er der enkelte anlæg, som blødgør drikkevandet ved nanofiltrering.

Implementeringen af central blødgøring af drikkevandet i Holland startede i årene 1975-1982 som mindre og eksperimentelle installationer, da der var stor usikkerhed om de mulige sundhedseffekter.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Calcium and magnesium in Drinking Water. Public Health Significance. WHO 2009.

<sup>11</sup> Calcium and magnesium in Drinking Water. Public Health Significance. WHO 2009.

<sup>12</sup> Advice on Softening by Water Works (in Dutch: English summary). Council for Public Health, Rijswijk, The Netherlands (1975).

Der er i Holland fastsat et minimumskrav for hårdhed i behandlet drikkevand på 6 – 8 °dH. Der er imidlertid ingen lovgivningsmæssige krav til vandets maksimale hårdhed. Det betyder, at de hollandske vandforsyninger implementerer blødgøring på frivillig basis. Vandforsyningsselskaberne skal dog overholde de hollandske drikkevandskrav i forhold til indhold af kobber, pH-værdi osv. samt minimumskravene til hårdheden i vandet. Udgifterne til blødgøring er inkluderet i vandregningen og er dermed direkte betalt af forbrugerne.<sup>13</sup>

#### *Teknologivalg*

I Holland er der en lang række forskellige faktorer, der er bestemmende for valg af teknologi, herunder lokale forhold som fx størrelse af anlæg, tilgængeligheden af uddannede operatører og muligheder for bortskaffelse af restprodukt. Herudover er også investerings- og driftsomkostningerne ved de forskellige metoder samt råvandets og det behandlede vands sammensætning afgørende for valg af teknologi.

Blødgøring i pellet-reaktorer er den mest udbredte teknologi til blødgøring af drikkevandet i Holland. Metoden er en billig og veletableret teknologi, som egner sig til både store og mindre (i en hollandsk kontekst) installationer. Driften af pellet-reaktorer er simpel, og processen generer udelukkende pellets, som primært består af CaCO<sub>3</sub> som restprodukt. Dette kan i nogen grad anvendes i industrien – fx til gødning af landbrug. Endvidere har forsøg vist, at pelletsene kan genanvendes i reaktorerne, men dette er forsat på forsøgsstadiet<sup>14</sup>.

Enkelte steder i Holland anvendes membranfiltrering til blødgøring af drikkevandet. Som et restprodukt af metoden dannes et koncentrat, der indeholder suspenderede stoffer, ioner, bakterier og pesticider. Der er ingen mulighed for at genanvende dette restprodukt, og der er begrænsede muligheder for bortskaffelse. Membranfiltrering anvendes endvidere kun på steder, hvor mere end ét parameter skal fjernes fra vandet (fx hårdhed, mikroforurenende stoffer, smag mv.).

I Holland anvendes ionbytningsprocesser kun i et begrænset omfang. I en undersøgelse foretaget af KWR Watercycle Research Institute vurderes ionbytningsprocessen bedst egnet til blødgøring af mindre vandmængder, da behandling og bortskaffelse af saltlagen er en stor udfordring. Bortskaffelse af saltlagen kan bedst ske ved opløsning i havet, men der er ofte lange afstande fra vandforsyningsanlæggene til havet, hvorfor dette i praksis ikke er muligt.

I Holland anvendes en række forskellige vandbehandlingsprocesser, som varierer afhængigt af kvaliteten af råvandet. Før vandet kan blødgøres i pellet-reaktoren, kan det være nødvendigt at behandle vandet. Det vil typisk være nødvendigt i tilfælde, hvor råvandet indeholder høje koncentrationer af jern, mangan og ammonium. Disse mineraler fjernes ved luftfiltrering efterfulgt af sandfiltrering (RSF). I Holland anvendes der ikke klor til desinfektion, og UV anvendes kun ved behandling af overfladevand. UV anvendes efter kulfiltrering til at fjerne de bakterier, som kan vokse på kulfiltrene.

Endvidere anvendes luft- og kulfiltrering til at fjerne pesticider og mikroforurenende stoffer fra overfladevand. Udover fjernelse af pesticider forbedrer kulfiltrering også vandets smag og fjerner lugt fra drikkevandet.

#### *Effekter*

I Holland findes der begrænsede data om de opnåede effekter ved en central blødgøring af drikkevandet. Den primære årsag hertil er formentlig, at man har anvendt central blødgøring siden starten af 1970'erne og decentral blødgøring før det. Derfor er beslutningen truffet i en tid, hvor der ikke var samme fokus på et analytisk beslutningsgrundlag.

<sup>13</sup> Der er endvidere ingen krav til vand, der naturligt har en hårdhed på under 1 mmol/L.

<sup>14</sup> Schettters, M. J. A. 2015: Circular economy in drinking water treatment: Reuse of ground pellets as seeding material in the pellet softening proces

Der har generelt været stor tilfredshed med implementeringen af central blødgøring af drikkevandet i Holland. I 2005 udførte WML Water Company i Limburg-provinsen (sydøst) en survey om vandets hårdhed og forbrugernes tilfredshed hermed<sup>15</sup>. Denne survey viste en generel tilfredshed med blødgøring og villighed til at betale ekstra for blødgjort vand.

I denne survey blev afkalkning af husholdningsapparater også undersøgt. Resultaterne viste en sammenhæng mellem vandets hårdhed, og hvor ofte det er nødvendigt at afkalke apparaterne.

Tilfredsheden med central blødgøring i Holland skal også ses i sammenhæng med, at det har vist sig at være relativt billigt. En hollandsk analyse viser, at en gennemsnitsfamilie betaler mellem 15 og 190 kr. ekstra årligt for vand pga. blødgøring, men at de kan forvente en gevinst på mellem 150 og 2.200 kr. pr. år. Gevinsten kan henføres til besparelse på vedligehold af varmtvandsudstyr, lavere energiforbrug, reduceret tilkalkning af sanitære fittings og lavere forbrug af vaskemiddel<sup>16</sup>. Herudover bidrager blødgjort vand til at mindske energiforbruget og derved CO<sub>2</sub>-udledning. Dette skyldes, at kalkaflejringer øger energiforbruget af apparater og installationer, fx centralvarmeanlæg og elkedler. Endvidere demonstrerer nogle studier et fald i anvendelsen af skyllemiddel i Holland efter indførelsen af central blødgøring af drikkevandet, hvilket har en positiv effekt på miljøet<sup>17</sup>.

I 2010 blev der i Holland gennemført et omfattende studie af sammenhængen mellem hårdheden, niveauet af magnesium i drikkevandet og antallet af hjertekar-sygdomme<sup>18</sup>. I analysen blev der taget højde for en række andre faktorer, som kan påvirke risikoen for hjertekar-sygdomme. Disse faktorer var fx alder, spisevaner, rygning, forhøjet blodtryk, diabetes, BMI, fysisk aktivitetsniveau mv.

I studiet fandt man for både mænd eller kvinder ingen sammenhæng mellem hårdheden og magnesiumindholdet i vandet og risikoen for hjertekar-sygdomme. For mænd med et lavt indtag af magnesium fra fødevarer fandt studiet dog nogle indikationer på, at magnesiumindholdet i vandet kan påvirke risikoen for hjertetilfælde samt hjertekarsygdomme. Det bemærkes dog i analysen, at der er store usikkerheder forbundet hermed, og at fødevarer generelt set er en langt vigtigere kilde til indtag af calcium og magnesium end drikkevand<sup>19</sup>.

I Holland har en række industrier decentrale blødgøringsanlæg, da de anvender blødt vand fx i varmeanlæg og nedkølingsanlæg. Endvidere har en række fremstillingsvirksomheder også decentrale blødgøringsanlæg, herunder medicinalvirksomheder, fødevarerproducenter og bryggerier.

Disse industrier ønsker generelt at fjerne alt kalken i vandet og dermed anvende helt blødt vand. Indførelsen af central blødgøring af drikkevandet har således ikke ændret disse industriers behov for eget decentralt blødgøringsanlæg. Der er således ikke opnået en betydelig effekt i disse industrier.

Decentral blødgøring anvendes også i industrier, som ikke kræver helt blødt vand, eksempelvis vaskerier, slagterier og drivhuse. Indførelsen af central blødgøring af drikkevandet har medført, at denne type virksomheder ikke længere har brug for deres eget blødgøringsanlæg, såfremt det leverede vand har den ønskede hårdhed.

<sup>15</sup> WML, Watercompany Limburg 2005. Studie en beleid kalkafzettendheid. Investigation and policy of scaling. Project number 89095-680150 (in Dutch).

<sup>16</sup> Calcium and Magnesium in Drinking Water. Public Health Significance. WHO 2009.

<sup>17</sup> Water hardness: Reasons and criteria for softening and conditioning of drinking water. Global Water Research Coalition. Report by Kiwa Water Research, AwwaRF, TZW, Veolia. April 2007.

<sup>18</sup> L.J. Leurs, L.J. Schouten, M.N. Mons, R.A. Goldbohm, P.A. van den Brandt. 2010. Relationship between Tap Water Hardness, Magnesium, and Calcium Concentration and Mortality due to Ischemic Heart Disease or Stroke in the Netherlands. *Environmental Health Perspectives* 118 (3).

<sup>19</sup> Rubenowitz E., Axelsson G., Rylander R. 1996. Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction. *Am J Epidemiol* 143(5):456-462.

## 5.2 Sverige

I Sverige er der 290 kommuner, som er ansvarlige for at levere drikkevand til husholdningerne. Nogle kommuner har etableret kommunalt ejede drikkevandsforsyninger, andre kommuner samarbejder om driften. I 2010 var der 1.757 kommunale vandbehandlingsanlæg i Sverige. Ca. 85 pct. af husholdningerne i Sverige forsynes med vand fra et sådan vandbehandlingsanlæg. Den resterende andel af husholdninger, ca. 15 pct., har privat drikkevandsforsyning<sup>20</sup>. I de fleste tilfælde er kommunerne både ejer og ansvarlige for driften af anlæggene. I de resterende tilfælde har kommunerne udliciteret driften og vedligeholdelsen til private samarbejdspartnere.

I Sverige anvendes der forskellige typer af råvand. Overfladevandsanlæggene producerer ca. 50 pct. af den total mængde drikkevand, mens grundvand og grundvand fra kunstig infiltration hver producerer ca. 25 pct. af den totale drikkevandsmængde.

Central blødgøring af drikkevandet har i Sverige været anvendt siden starten af 1970'erne. Der findes dog ingen nyere studier af anvendelsen af central blødgøring af drikkevandet i Sverige, hvorfor følgende er baseret på erfaringer hos tre svenske kommuner (Uppsala, Tierp og Trelleborg)<sup>21</sup>.

### *Baggrund for central blødgøring af drikkevand*

Hårdheden i råvandet varierer i Sverige fra 0 til 20 °dH. Det hårdeste grundvand findes i Sydsverige i området omkring Uppsala og øerne Öland og Gotland, mens råvandet i den nordlige del af Sverige generelt er blødt.

I *Uppsala* er central blødgøring af drikkevandet indført på baggrund af en efterspørgsel fra forbrugere. Herudover har der været et ønske om at reducere kobberindholdet i såvel drikke- som spildevandet, hvilket har været en konsekvens af korrosion af rørinstallationerne i de enkelte huse.

I *Tierp* er beslutningen om indførelsen af blødgøring af vandet truffet af kommunalbestyrelsen på baggrund af et forbrugerønske om mindre hårdt vand. I beslutningsprocessen har indførelsen af kemiske processer i vandbehandlingen været et centralt emne i afvejningen af fordele og ulemper ved blødgøringen, hvor forbrugerønsket i sidste ende blev afgørende.

Tilbage i 1960'erne og 1970'erne var baggrunden for en central blødgøring af drikkevandet i *Trelleborg* et ønske om at reducere indholdet af calcium og magnesium og dermed hårdheden i drikkevandet. I dag er fokus dog ligeledes på at reducere alkaliniteten for dermed at reducere korrosion i installationerne.

### *Implementering*

Ifølge svensk lovgivning er det frivilligt for de enkelte vandforsyninger, om de vil implementere en central blødgøring af drikkevandet.

I *Uppsala* er indførelsen af blødgøringen sket i samarbejde mellem den kommunale vandforsyning (Uppsala Vatten & Avfall AB), dens rådgivere og den svenske Fødevarerstyrelse.

I *Tierp* sker implementeringen i samarbejde med den svenske Fødevarerstyrelse. Man er på nuværende tidspunkt ikke så langt i implementeringen, at der er opnået driftserfaringer med det nye anlæg.

Blødgøring af drikkevandet begyndte i *Trelleborg* i 1960'erne, hvorfor det i dag er vanskeligt at finde oplysning om selve implementeringen. I Trelleborg samarbejdes der løbende med den svenske fødevarerstyrelse om anlæggenes drift og udvikling.

<sup>20</sup> Dricksvattenteknik 1 Vatten i natur och samhälle, Svenskt Vatten, publikation U6, 2010.

<sup>21</sup> Det nyeste studie af anvendelsen af central blødgøring af drikkevandet i Sverige er baseret på data fra 1995, som blev gennemført af VA-Forsk. (Avhårdning av dricksvatten – tillämpning i Sverige, VA-Forsk, rapport Nr 35, 2003.).

I alle tre kommuner finansieres den centrale blødgøringen direkte af forbrugerne igennem prisen på det leverede vand.

#### *Teknologivalg*

I en svensk kontekst afhænger valg af teknologi ligeledes af en lang række faktorer, herunder lokale forhold som fx størrelse af anlæg, tilgængeligheden af uddannede operatører og muligheder for bortskaffelse af restprodukt. Herudover er også investerings- og driftsomkostningerne ved de forskellige metoder samt råvandets og det behandlede vands sammensætning afgørende for valg af teknologi.

*I Uppsala* er der to vandbehandlingsanlæg, hvor drikkevandet er blevet blødgjort siden 2005/2006. Råvandets hårdhed før blødgøring er ca. 17-18 °dH og sænkes til ca. 6-7 °dH efter behandlingen. Blødgøringen foretages på alle værker ved hjælp af pellet-reaktorer, som har været anvendt fra starten. Udover, at pelletmetoden er den mest udbredte og dermed afprøvede teknologi, har det desuden været afgørende for valget af metode, at pelletmetoden reducerer bicarbonat- og calciumindholdet uden at reducere magnesiumindholdet.

Erfaringerne med metoden er generelt gode, og det fremhæves, at anlæggene kan driftes og vedligeholdes af forsyningsselskabernes egne medarbejdere efter en mindre oplæring. Der har efter ibrugtagning af blødgøringsanlæggene dog været rapporteret om smags- og lugtproblemer i ledningsnettet. Det er dog ikke oplyst, hvorledes dette er løst eller hvad der har været årsagen hertil.

Det er konstateret, at metoden kræver, at der sker en efterfølgende filtrering af vandet for at fjerne de sidste rester af fældet materiale. Dette er nødvendigt for at overholde kravene til drikkevandet i Sverige, hvilket også er tilfældet i Danmark. I vandværker med dobbelt filtrering kan blødgøringen med fordel placeres mellem de to filtre, hvormed efterfiltret opfanger kalkresterne.

*I Tierp* har man på nogle vandbehandlingsanlæg blødgjort vandet centralt siden starten af 1970'erne, andre steder siden 1980'erne og atter andre steder er man i gang med implementeringen. Der anvendes henholdsvis ionbytning og nanofiltrering til blødgøring. Råvandets hårdhed i Tierp er før blødgøringen ca. 13-14 °dH og sænkes til ca. 6-8 °dH efter behandlingen. I Tierp har man tidligere afprøvet et omvendt osmoseanlæg, men da dette aldrig kom til at fungere tilfredsstillende i forhold til drikkevandskvalitet og brug af kemikalier, er anlægget nu udskiftet med et nanomembrananlæg.

*I Tierp* er erfaringen, at det ved store vandforsyninger er mest hensigtsmæssigt og økonomisk fordelagtigt at anvende nanomembranmetoden til blødgøring, mens ionbytningsanlæg altid foretrækkes på små værker. Erfaringerne med ionbytningsmetoden er, at anlæggene kan vedligeholdes og driftes af forsyningsselskabernes egne medarbejdere. Erfaringen med nanomembrananlæggene er derimod, at de kræver mere uddannelse af driftspersonalet, inden de kan drive anlæggene i normal drift.

*I Trelleborg* implementerede man central blødgøring af drikkevandet i 1960'erne og 1970'erne. Råvandets hårdhed er her før blødgøringen ca. 15-20 °dH og sænkes til ca. 7-9 °dH efter behandlingen. Der anvendes ionbytningsanlæg med natriumklorid til degenerering af vandet på alle værker. Det er dog forventningen, at efterhånden som de eksisterende anlæg skal udskiftes, vil det blive til pellet-anlæg.

Erfaringerne med ionbytningsanlæggene er positive, da de ikke kræver meget service i dagligdagen, ligesom der ikke skal håndteres andre kemikalier end salt. Yderligere vurderes det positivt, at det er muligt at optimere processen i forhold til intervallet mellem regenerering af anlægget, hvormed vandspild og saltforbrug reduceres.

*I Trelleborg* har man oplevet to negative effekter ved anvendelsen af ionbytningsanlæggene. For det første medfører ionbytningsanlæggene høj alkalinitets korrosion i metalrør i såvel ledningsnet-

tet som ved forbrugerne. For det andet kan saltoplageringen og håndteringen på værket let give problemer i forhold til de omkringliggende bygningskonstruktioner og installationer.

#### *Effekter*

Efter implementeringen af blødgøringsanlæggene i Sverige har forbrugerne generelt været tilfredse med resultatet.

I *Uppsala* har man konstateret, at en stor del af de private forbrugere har fjernet deres eget decentrale blødgøringsanlæg efter, at den centrale blødgøring af drikkevandet er indført. Der er endvidere ikke konstateret ændringer i folkesundheden, ej heller udfordringer for erhvervs kunder som konsekvens af implementeringen af central blødgøring af drikkevandet.

Restproduktet fra pelletmetoden anvendes i *Uppsala* som fyldmateriale ved anlægsarbejde samt til surhedsregulering i søer og elve.

I *Tierp* har man ikke undersøgt effekter ved den centrale blødgøring af drikkevandet. Dog er det vandforsyningernes erfaringer, at forbrugerne er meget opmærksomme på kalkindholdet i drikkevandet. I perioder, hvor anlæggene ikke har været i drift fx pga. rengøring, har de typisk modtaget klager fra forbrugerne om kalkaflejninger og lignende problematikker med kalk i drikkevandet. Endvidere rapporteres der om indikationer på, at der anvendes mindre sæbe efter indførelsen af blødgøringen. Erhvervs kunderne i *Tierp* har ikke oplevet væsentlige ændringer i deres oplevelse af vandkvalitet, men har oplevet en positiv effekt i forhold til, at de anvender mindre salt i deres decentrale ionbytningsanlæg. Det har dog ikke været muligt at kvantificere dette yderligere.

I *Trelleborg* findes der ingen officielle data for effekter ved indførelsen af central blødgøring. De gennemførte interviews indikerer, at der har været effekter i form af forlænget levetid for vaske- og opvaskemaskiner i husholdninger samt et mindre forbrug af sæbe. Der har før indførelsen af central blødgøring været klager fra forbruger, hvis hår blev farvet grønt på grund af vandkvaliteten. Dette fænomen har ikke været observeret efter indførelsen af den centrale blødgøring.

## 6. TEKNISK ANALYSE

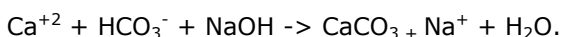
Formålet med den tekniske analyse er at kortlægge de eksisterende tekniske løsninger, herunder fordele og ulemper samt anvendeligheden i en dansk kontekst. I det efterfølgende er de enkelte løsninger beskrevet, og kapitlet afsluttes med anbefalinger til valg af teknologi i en dansk kontekst.

### 6.1 Kalkfældning

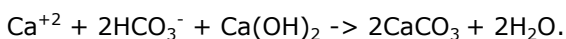
Den mest udbredte metode til central blødgøring af drikkevand er kalkfældning også kaldet pelletmetoden, hvor vandets hårdhed reduceres ved, at vandets calcium udfældes på sandkorn i en reaktor indeholdende en mættet natriumhydroxid- eller calciumhydroxidopløsning (læsket kalk). Ved anvendelse af kalkfældning er det alene calcium, der fjernes fra vandet, mens alle andre stoffer bibeholdes i vandet. Der er således ingen følgeeffekter ved metoden.

Ved at tilsætte natriumhydroxid til vandet reagerer natriumhydroxiden med vandets indhold af calcium og bikarbonat under dannelse af calciumkarbonat, så det udfælder sig på små sandkorn, der tilsættes i reaktoren.

Den kemiske proces ved anvendelse af natriumhydroxid er:



Anvendes alternativt calciumhydroxid er den kemiske proces:



Som det fremgår af de kemiske processer, anvendes der ved tilsætning af calciumhydroxid dobbelt så meget bikarbonat end ved anvendelse af natriumhydroxid. Afhængigt af vandets naturlige indhold af bikarbonat kan det derfor være nødvendigt at tilsætte natriumkarbonat (soda) for at få udfældningen til at fungere.

Ved tilsætning af den mættede opløsning i reaktoren hæves vandets pH-værdi til ca. 8,5-8,8, hvorfor der kan være behov for efterfølgende at tilsætte syre for at bringe pH-værdien ned. Det er endvidere nødvendigt at foretage en efterfiltrering af vandet for at fjerne små kalkpartikler, inden vandet kan sendes ud til forbrugerne. Efterfiltreringen kan dog oftest udføres i vandværkets normale filtre ved at indsætte reaktoren enten efter iltningen eller efter forfiltreringen, således at det meste jern er fjernet, inden vandet ledes gennem reaktoren.

Ved processen afledes der vand i forbindelse med aftapningen af pellets. Dette vand vil have en pH-værdi på ca. 8,3-8,8 og må derfor eventuelt neutraliseres, inden det ledes til kloakken.

#### 6.1.1 Teknisk beskrivelse af anlægget

Pellet-anlægget tilpasses altid den aktuelle vandkvalitet, da udformningen afhænger af hårdheden, vandkvaliteten i øvrigt, pH-værdien og vandtemperatur. En typisk reaktor er mindst fem meter høj med en diameter på ca. 2,5 meter i den nedre del og ca. tre meter i den øvre del.

Figuren nedenfor viser en typisk reaktor af den type, der anvendes i Holland.

**Figur 6.1: Eksempel på Pelletreaktorer**

Kilde: Rambøll

Vandet tilledes i bunden af reaktoren, mens podningsmaterialet i form af fine sandkorn (0,2-0,6 mm) tilsættes i midten af reaktoren. Calciumcarbonat vil udfældes på sandkornene, som herved vokser til typisk 1 -1,5 mm i diameter og bliver tungere for dermed at falde mod bunden, hvor de kan aftappes. Den opadgående vandhastighed reguleres efter bundfældningshastigheden, således at der sikres en passende opholdstid i reaktoren. Det er endvidere væsentligt, at hastigheden er tilstrækkelig høj til at holde pellets svævende over reaktorbunden, da man ellers risikerer, at pellets cementerer på bunden og ikke kan tappes af reaktoren.

Designet af reaktoren skal så vidt muligt sikre, at der ikke opstår en overmætning af calciumcarbonat i udløbet, hvilket sikres ved højden af reaktoren samt diameteren i toppen af reaktoren. PH-værdien i vandet kontrolleres løbende, og der tilsættes syre, såfremt der er behov for neutralisering.

Derudover findes forskellige designs for dyser i indløbet samt for doseringsudstyr af kemikalier.

Reaktoren kan principielt placeres alle steder i en sædvanlig vandbehandling, alt efter hvor det med en given råvandskvalitet er mest hensigtsmæssigt. Placeres reaktoren efter iltningen og før filtreringen, vil det iltede jern i råvandet udfældes sammen med calcium i pellets. Placeres reaktoren efter filtreringen, vil det kræve en ekstra filtrering for at fjerne de mindste kalkpartikler.

Pellet-anlæg er typisk på 100 m<sup>3</sup>/h, men kan også være større. Et moderne vandværk er i dag opdelt i flere linjer af hensyn til at kunne spore eventuelle forureninger, hvilket typisk giver linjer i størrelsesordenen 100 m<sup>3</sup>/h, hvormed der kan etableres en reaktor pr. linje.

Hovedkomponenterne kan forventes at have en levetid på 20-25 år, mens doseringsudstyr forventes at have en levetid på ca. 15 år grundet belastningen med aggressive kemikalier.

#### 6.1.2 Restprodukt og anvendelse heraf

Ved kalkfældning efter filtrering produceres pellets, som består af calciumkarbonat, normalt med et sandkorn i midten. I Holland, hvor kalkfældning er den mest udbredte teknologi til blødgøring, bliver der produceret ca. 80.000 tons pellets/år.

Pellets kan potentielt bruges som råmateriale i adskillige industrielle og landbrugsmæssige sammenhænge (fx som mineraler, materialer til konstruktion eller i landbrug). At de producerede kalkpellets indeholder sandkorn medfører dog, at de ikke er anvendelige til formål, hvor der ellers kunne være store afsætningsmuligheder – fx i produktionen af papir, glas, tæpper og madvarer.



Det er endvidere muligt at rense disse pellets, således at de består af ren kalk. Disse pellets kan herefter genanvendes, som podemateriale i en blødgøringsanlæg. Forsøg i Holland har vist, at produktionen af rene kalkpellets fra genanvendt kalk er både teknisk og økonomisk muligt. Herudover viser projektet, at blødgøringen med genanvendt kalk giver samme resultater som blødgøring, hvor granatsand er podningsmateriale.

Flere industrier kan endvidere have interesse i anvendelse af rene kalkpellets produceret fra pelletmetoden, fx tæppeproducenter. Samlet set øger genanvendelsen af kalkpellets bæredygtigheden af blødgøringsprocessen og kan som følge heraf bidrage til en cirkulær økonomi.

Udfordringen i at genanvende pellets i en dansk kontekst er primært at opnå en fornuftig økonomi i salget af restproduktet blandt andet som følge af den geografiske spredning af vandforsyningerne, der vil give en betydelig transportomkostning til en oparbejdningsfabrik. Den geografiske spredning af vandforsyninger vil derfor have betydning for, hvorvidt det er muligt at sælge pellets til oparbejdning eller det alene er muligt at afsætte til lokale landmænd som jordforbedningsmateriale.

### 6.1.3 Krav til bygninger

Selve reaktoren kræver en rumhøjde på mindst 6-7 meter, hvilket ikke altid vil være muligt i bymæssige områder. I forhold til indeklima stilles der ikke særlige krav ud over, hvad der er normalt for de danske vandforsyninger. Dog bør der for at holde anlægget kondensfri være affugtning i rummet, hvor reaktoren placeres.

I forhold til kemikalierum skal disse opfylde Arbejdstilsynets krav til lagertanke, ventilation, spildopsamling mv. Hertil kommer, at anlæggene skal indrettes således, at operatøren ikke kommer i kontakt med kemikalierne og ikke skal foretage tunge løft.

Kemikalierum kan indrettes fælles for flere reaktorer.

### 6.1.4 Begrænsninger

Begrænsningen ved pelletmetoden ligger i, at den kun fjerner det meste calcium, mens magnesium, som også bidrager til vandets hårdhed, ikke fjernes, hvilket er tilfældet ved andre metoder såsom ionbytningsmetoden.

Calciumindholdet i drikkevandet kan med pelletmetoden reduceres til ca. 20 mg/l, hvilket giver en hårdhed på ca. 2,8 °dH. Der er derfor en begrænsning på, hvor meget magnesium der må være i vandet for at få en bestemt hårdhed. Dette fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 6.1: Sammenhæng mellem hårdhed og maksimal indhold af magnesium**

Ønsket hårdhed	Maks. magnesium indhold (mg/l)
6 °dH	14
10 °dH	31
14 °dH	49

Kilde: Rambølls egne beregninger.

Metoden egner sig endvidere bedst til større vandforsyninger, hvor processen kan styres optimalt via et konstant flow over anlægget og med konstant tryktab over reaktoren. Ved mindre vandforsyninger, hvor produktionen er mere fluktuerende, kan det være vanskeligt at styre doseringen korrekt, da doseringen er afhængig af tryktabet i overreaktoren. Det er dermed vanskeligt at holde de ønskede vandkvalitet, og der er risiko for at pellets i reaktoren vil falde til bunds og cementseres sammen.

## 6.2 Ionbytning

En udbredt metode til blødgøring af vand er ionbytningsanlæg, hvor calciumioner ( $\text{Ca}^{+2}$ ) og magnesiumioner ( $\text{Mg}^{+2}$ ) byttes, typisk med natriumioner ( $\text{Na}^{+}$ ). Efter blødgøringen vil det behandlede vand være frit for calcium og magnesium og dermed ikke have nogen hårdhed. Det er derfor nød-

vendigt at opblende det blødgjorte vand med ikke-blødgjort vand for at opnå en hårdhed større end 0 °dH.

Når ionbyttmassen, også kaldet resinen, er mættet med calcium- og magnesium-ioner skal massen regenereres, hvilket sker ved at tilsætte en stærk opløsning af natriumklorid. Dette danner eluat, som indeholder calcium- og magnesium-ioner samt natrium og klorid i store koncentrationer. Regenereringen sker ved først at skylle anlægget med en koncentreret saltopløsning og derefter skylle med en præcist udregnet mængde rent vand. Regenereringen kan udføres såvel medstrøms som modstrøms. Anvendes modstrømsmetoden spares der vand og salte, specielt på store anlæg.

Der er i udgangspunktet ingen følgevirkninger ved at anvende ionbytning til blødgøring. Det blødgjorte vands indhold af natrium stiger dog med henholdsvis 1,15 mg natrium pr. mg calcium og 1,89 mg natrium pr. mg magnesium i råvandet. Dette vil dog sjældent have betydning, idet vandkvalitetskravet har en grænseværdi på 175 mg/l.

### 6.2.1 Teknisk beskrivelse af anlægget

Ionbytningsanlæg til central blødgøring etableres typisk som to eller tre parallelle anlæg pr. produktionslinje, således at der kan opretholdes en permanent flow over anlægget, mens en unit er under regenerering.

Hver enhed består af en tank udført i stål med en polyethylenbelægning, der kan modstå det særdeles aggressive miljø i anlægget.

I drift løber vandet igennem ionbytningsmassen med en hastighed på 20-60 m<sup>3</sup>/h og er herefter færdigbehandlet. Ved regenerering af ionbyttmassen stoppes vandtilførslen, hvorefter den kraftige natriumkloridopløsning tilføres tanken, indtil de byttede ioner er fjernet. Herefter tilsættes rent vand. Den typiske vandmængde til regenerering svarer til 2 pct. af det behandlede vand.

Regenereringen styres normalt via flowet over anlægget således, at når der er ionbyttet en given vandmængde, stoppes anlægget automatisk for at regenereres.

Den koncentrerede natriumkloridopløsning produceres på store anlæg i en brine maker, som medfører færre saltpåfyldninger på anlægget. Brine makeren er desuden i stand til at anvende billige salttyper. Ved mindre anlæg produceres salt-brinen ved at lede vandet igennem en beholder med saltklumper, hvilket giver en mindre koncentration i brinen.

Hovedkomponenterne kan forventes at have en levetid på 15 til 20 år grundet belastningen med aggressive kemikalier.

Processen udvikler eluat, som skal udledes til kloakken, da det indeholder store mængder calcium- og magnesiumioner samt natrium og klorid. Eluatet udgør ca. 2 pct. af den behandlede vandmængde. Afhængigt af de lokale forhold vil der kunne blive pålagt afledningsafgift på den mængde eluat, der udledes til kloak.

### 6.2.2 Spildprodukt og anvendelse heraf

Der dannes ikke spildprodukter ved blødgøringen, men alene eluatet.

### 6.2.3 Krav til bygning

Tankene til ionbytningen er typisk op til tre meter høje og kræver dermed en rumhøjde op til fire meter. I forhold til indeklima stilles der ikke særlige krav ud over, hvad der er normalt for de danske vandforsyninger. Dog bør der for at holde anlægget kondensfri være affugtning i rummet, hvor reaktoren placeres.

I forhold til kemikalierum skal disse opfylde Arbejdstilsynets krav hertil i forhold til lagertanke, ventilation, spildopsamling mv. Hertil kommer, at anlæggene skal indrettes således, at operatøren

ikke kommer i kontakt med kemikalierne og ikke skal foretage tunge løft. Dette kan specielt på mindre anlæg være en udfordring, da en brine maker sjældent installeres her på grund af prisen.

Kemikalierum kan indrettes fælles for flere anlæg. Man skal endvidere være opmærksom på, at der skal være mulighed for tilkørsel af kemikalier.

#### 6.2.4 Begrænsninger

Der er ingen begrænsninger på anvendelsen af ionbytningsmetode som blødgøringsmetode, idet metoden kan anvendes på såvel store som små anlæg samt på alle hårdhedsgrader.

### 6.3 Nanofiltrering

En nyere metode til blødgøring af vand er nanofiltrering, hvor vandet pumpes igennem anlægget ved stort tryk. Herved fjernes divalente ioner og dermed også calcium og magnesium. Der findes forskellige typer af membraner, som er mere eller mindre fine og dermed fjerner forskellige mængder af divalente ioner.

Flere grundvandskilder i Holland har en kombination af høje koncentrationer af hårdhed, sulfat og/eller organisk mikroforurenende stoffer. I disse tilfælde opleves membranfiltrering som en oplagt teknologi til at fjerne alle disse uønskede stoffer.

Nanofiltreringsanlæg kan foruden fjernelse af divalente ioner fjerne organiske stoffer (NVOC), hvilket kan være en fordel ved udnyttelse af lettere forurenede vand. Da det behandlede vand normalt skal opblandes med ikke-behandlet vand for at opnå den ønskede hårdhed, vil denne følgevirkning være afhængig af opblandingsgraden, med mindre det er muligt at blande med ikke-forurenede vand.

Membranprocessen filtrerer primært alle divalente ioner fra, men monovalente ioner passerer gennem membranen. Processen drives ved at presse vandet igennem filteret med højt tryk. Herved dannes to typer af vand, hhv. permeat og koncentrat.

Permeat er det behandlede vand, som indeholder færre divalente ioner men flere monovalente ioner end råvandet. Koncentratet indeholder de tilbageholdte ioner og udgør typisk 10-20 pct. af den behandlede vandmængde. Koncentratet er ikke anvendeligt til drikkevand og må som udgangspunkt bortledes på samme måde som ved ionbytningsmetoden.

Ved nanofiltrering filtreres en betydelig del af bikarbonatet fra, mens kuldioxid ikke påvirkes. PH-værdien vil derfor falde i permeat og der vil være aggressiv kulsyre. Det er derfor nødvendigt at neutralisere permeat med enten Magno Dol eller natronlud.

#### 6.3.1 Teknisk beskrivelse af anlægget

Selve anlægget består af et kar, hvor filteret er placeret. Dertil kommer et pumpearrangement uden for karet samt et kemikalierum. For at undgå udfældning af okker og mangan i nanofiltrene skal anlægget placeres efter den sædvanlige vandbehandling.

Ved nanofiltrering opnås permeat med en hårdhed på ned til 1 °dH, hvorfor det er nødvendigt at blande permeat med ikke-blødgjort vand for at få den ønskede hårdhed.

Da koncentratet med de tilbageholdte ioner udgør 10-20 pct. af den tilførte behandlede vandmængde, kan det være fordelagtigt at opbygge anlægget med et hovedfilter og derefter et nanofilter for at hente yderligere permeat ud. Hermed er det muligt at reducere spildet til ca. 15 pct.

Ved tilbageholdelsen af calcium og magnesium i membranen er der risiko for, at filteret tilkalker, hvilket kan modvirkes ved at tilsætte særlige anti-scalingsmidler. Disse forhindrer dannelsen af kalkbelægninger og som vil blive i koncentratet og dermed ikke kommer i drikkevandet.

Hovedkomponenterne kan forventes at have en levetid på ca. 20 år, mens filtrene forventes at have en levetid på syv år.

Der udledes spildevand i form af koncentratet, men dette vand indeholder ikke fremmede stoffer og koncentrationen er ca. fire gange så høj, som i drikkevandet.

### 6.3.2 Spildprodukt og anvendelse heraf

Som beskrevet genererer membranfiltreringsprocessen permeat (en ren vandstrøm) og koncentrat (en koncentreret strøm som indeholder alle stoffer tilbageholdt i membranen), som blandt andet indeholder suspenderede stoffer, ioner, bakterier og pesticider. Der dannes således ikke et biprodukt ved processen, der kan anvendes direkte til andet formål. I Holland betragtes den største ulempe ved brugen af membranfiltrering som manglen på en pålidelig metode til at behandle koncentratet, samt at der er begrænsede muligheder for bortskaffelse heraf.

### 6.3.3 Krav til bygning

Der er ingen specielle krav til de rum, som nanofiltreringen står i, udover hvad der er normalt på et vandværk, hvilket vil sige affugtning for at undgå kondens på anlægget.

I forhold til kemikalierum skal disse opfylde Arbejdstilsynets krav hertil i forhold til lagertanke, ventilation, spildopsamling mv. Hertil kommer, at anlæggene skal indrettes således, at operatøren ikke kommer i kontakt med kemikalierne og ikke skal foretage tunge løft. Kemikalierum kan indrettes fælles for flere anlæg.

Metoden opbygges af moduler på typisk 20 m<sup>3</sup>/h, som kan sammenbygges parallelt, således at der kan behandles den ønskede mængde på én linje.

### 6.3.4 Begrænsninger

Anvendelsen af Nanofiltrering begrænses på grund af at koncentratet skal bortledes til kloak.

## 6.4 Osmoseanlæg

Blødgøring af vand ved osmose er i princippet tilsvarende nanofiltreringen, men med anvendelse af finere membraner, der tilbageholder alle salte og kemiske stoffer i vandet. De finere membraner kræver et væsentlig højere tryk over membranen samt et større membranareal for at have samme kapacitet som et nanofiltreringsanlæg. Dermed er anlægsomkostningerne tilsvarende højere og driftsomkostningen væsentlig højere grundet energiforbrug, ligesom vandtabet er markant større.

Osmoseanlæg kendes fra for eksempel laboratorier og lignende, hvor der er behov for helt rent vand. Metoden er dog set i forhold til central blødgøring i en dansk kontekst ikke relevant, da der ikke opnås væsentlige fordele i forhold til nanofiltrering.

Metoden kan have sin berettigelse, hvor det er nødvendigt at fjerne andre stoffer fra grundvandet, fx afsaltning af havvand eller hvor det er nødvendigt at anvende forurenat vand.

## 6.5 Andre anlæg til påvirkning af kalk i drikkevand

Der findes flere metoder, der har det til fælles, at kalken ikke fjernes fra vandet, men derimod ændrer krystalform. Den i dag mest udbredte metode på vandforsyninger er ultralydspåvirkning af vandet ved afgang fra værket. Enkelte værker i Danmark har ældre anlæg, som påvirker vandet med et magnetisk felt. Disse typer anlæg sælges også i mindre udgaver til fx boligforeninger.

Normalt udfældes calciumkarbonat i rør og på varmeplader mv. Ved at påvirke vandet med ultralyd viser undersøgelser, at calciumkarbonat udfældes som aragonit og evt. vaterit. Fordelen ved disse krystaller er, at de er bløde og dermed ikke danner de hårde aflejringer, som calcit danner.

Der beskrives eksempler på, at metoderne medfører, at kalkbelægninger i rør opløses efter indførelse, men der foreligger dog ikke dokumentation herfor eller undersøgelser af, hvorfor dette er tilfældet.

Opløsningen af eksisterende belægninger i forsyningsledningerne er som udgangspunkt positivt set ud fra et kapacitets og energimæssigt synspunkt. Der er imidlertid ikke udført undersøgelser, der beskriver, hvilken konsekvens metoderne har på den naturlige biofilm i rørene, fx i forhold til risikoen for organisk vækst ved forurening af vandet. Tilsvarende er det ikke undersøgt, om der er forøget risiko for forurening i den periode, hvor belægningerne forsvinder.

Der beskrives eksempler på vandforsyninger, hvor man ikke har opnået den forventede effekt, hvilket antageligt kan tillægges vandtypen. Der forefindes imidlertid ikke dokumentation for sammenhængen mellem effekt og vandkvalitet.

## 6.6 Valg af metode i analysen

Den optimale blødgøringsmetode for den enkelte vandforsyning kræver, at en lang række lokale forhold tages i betragtning. En række helt centrale punkter er fx:

- Vandets hårdhed kontra ønsket hårdhed efter behandlingen. Ved stor forskel kan det være fordelagtigt at behandle størsteparten af vandet (pelletmetoden), mens det ved mindre forskelle kan være hensigtsmæssigt at behandle en delstrøm med efterfølgende opblanding med hovedstrømmen, hvilket kan tale for ionbytning.
- Råvandskvaliteten har betydning for, hvilken placering blødgøringsanlægget skal have i processen, men kan også have betydning for, hvilken efterbehandling der skal foretages for at overholde drikkevandskravene til fx bikarbonat.
- Etablering i forbindelse med nyt behandlingsanlæg. I forbindelse med etablering af nye behandlingsanlæg vil blødgøringen kunne indarbejdes optimalt i den samlede proces, således at kapaciteter og flow passer sammen og der kan indarbejdes de ønskede sikkerhedsmarginer.
- Etablering på eksisterende værk. Ved indpasning i en eksisterende vandbehandling skal det overvejes, hvilken betydning blødgøringen vil have for flowet i det eksisterende anlæg, specielt på anlæg, hvor der ikke er løbende produktion. Dette kan desuden have betydning for eventuel etablering af ekstra beholderkapacitet for at kunne udjævne produktionen.
- Mulighed for afledning af spildevand. Vælges en metode, der kræver mulighed for at aflede et koncentrat, skal det undersøges, om det er muligt at udlede dette til enten recipient eller til kloak.
- Mulighed for etablering af nødvendige arealer for anlægget. Det vil normalt ikke være et problem ved nybyggeri, hvor bygningen kan disponeres efter den samlede proces, men ved etablering på et eksisterende værk, kan det være et problem at anvise den nødvendige plads på et i forhold til processen fornuftigt sted.
- Logistiske udfordringer for kørsel med kemikalier mv. til og fra værket. Ved eksisterende værker skal det vurderes, om det er muligt at komme sikkert frem med kemikalier uden risiko for forurening af kemikalierne under håndteringen.
- Anlægspris skal vurderes såvel særskilt som i en totaløkonomisk betragtning.
- Driftspris, herunder eventuel afledningsafgifter for spildevand. I driftsprisen skal også indgå eventuel vagtordning i forbindelse med serviceringen af blødgøringsanlægget, afhængigt af hvor stor redundans anlægget etableres med. Driftsprisen indgår i den totaløkonomiske beregning sammen med levetiden.
- Den lokale forsyningsstrategi bør i forbindelse med indførelse af central blødgøring ligeledes revurderes set i forhold til, om de eksisterende værker er den rigtige kombination og har den

rette kapacitet. Da investeringen i blødgøring er betydelig, vil investeringen kunne ændre på allerede forudsatte planer.

- Behov for eventuel ekstra beholderkapacitet.
- Opdeling i produktionslinjer. Hvis værket ikke allerede er opdelt i produktionslinjer, kan det overvejes at gøre dette i forbindelse med etableringen af blødgøring. Er værket allerede opdelt i linjer, skal det vurderes, om blødgøringsanlægget skal følge opdelingen og dermed bestå af flere anlæg, således at sporbarheden opretholdes.

I denne analyse kan de lokale forholds indflydelse på valget af blødgøringsmetode naturligvis ikke tages med i betragtningen grundet antallet af vandforsyninger. I den samfundsøkonomiske analyse er det valgt at benytte to blødgøringsteknologier afhængigt af det enkelte anlægs kapacitet. Valget af disse metoder er baseret på erfaringerne fra Holland og Sverige samt de anlæg, der i øjeblikket planlægges opført i Danmark.

I Danmark etableres i dag såvel pellet-anlæg og ionbytningsanlæg, hvor de store anlæg er pellet-anlæg, mens mindre anlæg typisk er ionbytningsanlæg. Således forventer såvel HOFOR og Frederiksberg Vand etablering af pellet-anlæg, mens Tårnby Vand påtænker etablering af ionbytningsanlæg.

Erfaringen fra Holland er, at der her stort kun anvendes pellet-anlæg, hvilket i væsentlig grad tillægges, at værkerne i Holland generelt er meget store, hvorfor pelletmetoden ofte er den mest økonomiske og bedst kan styres på anlæg med jævnt flow. I Sverige vælges i højere grad nano-filtrering samt ionbytning. Nogle påtænker dog at overgå til pellet-anlæg på store værker.

I den samfundsøkonomiske analyse antages følgende om implementering af blødgøringsanlæg.

#### **Store anlæg**

Ved store anlæg med en produktionskapacitet på mere end 1.000.000 m<sup>3</sup>/år forudsættes anvendt fældningsmetode (pellet) som blødgøringsmetode i analysen, da denne vurderes samlet set at være den bedst egnede og økonomisk mest optimale metode for denne type anlæg.

#### **Mindre anlæg**

Ved anlæg med en produktionskapacitet på under 1.000.000 m<sup>3</sup>/år forudsættes det i analysen at ionbytningsmetoden anvendes som blødgøringsmetode, da denne generelt set vurderes at være den bedst egnede og økonomisk mest optimale metoden.

#### **Små anlæg**

For de små værker med en kapacitet på under 200.000 m<sup>3</sup>/år er det i analysen vurderet mindre realistisk at der etableres blødgøring, hvorfor disse anlæg ikke indgår i analysen. Grænse på 200.000 m<sup>3</sup>/år skal ses i sammenhæng med, at disse forsyninger ikke er omfattet af vandsektorlovens benchmarkingregler og generelt drives på andre præmisser.

Det skal bemærkes, at der i forbindelse med valg af teknologi på den enkelte vandforsyning er behov for at gennemføre en lokal analyse, hvor der tages højde for de forhold, som er beskrevet ovenfor. Man kan med andre ord ikke benytte ovenstående valg af teknologi baseret på kapacitetstørrelse som rettesnor for en lokal implementering.

## 7. POTENTIELLE KONSEKVENSER VED CENTRAL BLØDGØRING AF DRIKKEVANDET

I dette kapitel beskrives de potentielle konsekvenser for de forskellige aktører i samfundet ved en central blødgøring af drikkevandet.

### 7.1 Vandforsyningerne

Nogle vandforsyninger oplever i dag en negativ konsekvens af meget kalk i drikkevandet i form af kalkbelægning i forsyningsrørene. Dette medfører en reduceret levetid og et forøget energiforbrug i forbindelse med udpumpning af drikkevandet til forbrugerne. En reduktion af kalkniveauet i drikkevandet kan derfor potentielt medføre en positiv gevinst. Denne gevinst er imidlertid vanskelig at kvantificere og værdisætte, hvorfor den ikke indgår i opgørelsen af de samfundsøkonomiske gevinster.

Korrosion af forsyningsrørene er endvidere et vigtigt opmærksomhedspunkt for vandforsyningerne. Tidligere analyser peger på, at en central blødgøring af drikkevandet ikke vil ændre på de parametre, der er hovedårsagen til korrosion, herunder vandflow, temperatur, pH, biofilm, mv<sup>22</sup>. Det skal endvidere bemærkes, at stålør i dag kun benyttes i begrænset omfang i Danmark, mens langt de fleste ledninger i dag er PE-rør, der ikke korroderer. Der forventes således ikke effekt på rørrorrosionen ved indførelsen af central blødgøring af drikkevandet i Danmark.

Vandforsyningerne vil også opleve en række effekter i forbindelse med deres daglige drift. En central blødgøring af drikkevandet vil betyde, at vandforsyningerne skal gennemføre en vandbehandlingsproces, som de ikke er vant til. Dette kræver blandt andet uddannelse af medarbejdere, men - afhængig af blødgøringsmetode og anlægsopbygning - kan der også være et behov for at kunne tilkalde service døgnet rundt i tilfælde af, at anlægget automatisk stopper på grund af afvigelser i vandkvaliteten. Disse effekter indgår i analysen i forbindelse med vandforsyningernes driftsomkostninger til at blødgøre drikkevandet.

Endelig vil blødgøring af drikkevandet medføre, at vandforsyningerne vil stå tilbage med et restprodukt. Som beskrevet i den tekniske analyse er anvendelsesmulighederne af dette restprodukt i dag ikke særligt udbredt. Dog vil der ved brug af pelletmetoden kunne opstå en mulighed for at anvende kalkpelletsene til fx gødning o. lign., men det er endnu ikke lykkedes at skabe en reel efterspørgsel efter dette. Der kan derfor potentielt være en fremtidig økonomisk gevinst for de vandforsyninger, der vælger at anvende pelletmetoden, hvis det lykkedes at skabe en efterspørgsel efter disse pellets (Se endvidere kapitel 10). Disse gevinster indgår imidlertid ikke i indeværende analyse, da det ikke har været muligt at værdisætte disse potentielle gevinster.

### 7.2 Private husholdninger

De private husholdninger vil opleve en prisstigning på drikkevand som konsekvens af indførelsen af central blødgøring. Dette skyldes, at vandprisen fastsættes som omkostningerne til levering af drikkevand og til spildevandshåndtering. Når vandforsyningernes omkostninger til levering af vand stiger, vil forbrugerne derfor opleve en prisstigning.

Herudover kan effekterne for de private husholdninger overordnet set dels op i fire forskellige dele<sup>23</sup>:

- Effekter i forbindelse med ændringer i levetiden for husholdningsapparater og -installationer.
- Effekter i forbindelse med ændringer i energiforbruget.
- Effekter i forbindelse med ændringer i brug af rengøringsmiddel og produkter til personlig hygiejne.

<sup>22</sup> Naturstyrelsen 2011: Central blødgøring af drikkevandet.

<sup>23</sup> Udover de nævnte effekter i dette afsnit kan der også være effekter i forbindelse med mindre vedligeholdelse af fx varmtvandsbeholdere og vekslere. Disse er dog i analysen ikke medtaget, da de forventes marginale, og at det er usikkert, hvorvidt denne vedligeholdelse faktisk forekommer i dag.

- Effekter i forbindelse med ændringer i tidsforbruget til afkalkning og rengøring.

En central blødgøring af drikkevandet vil medføre en reduktion af tilkalkningen af en række husholdningsapparater og -installationer, som medfører en forøget levetid af disse. Der er dog en række andre faktorer, der er bestemmende for, hvor tit et husholdningsapparat eller installation udskiftes. Dette er blandt andet ændringer i mode, udskiftning ved større renovationer eller at apparaterne eller installationer går i stykker af andre årsager end tilkalkning. Det antages i analysen, at disse faktorer er konstante på tværs af basisscenariet og projekialternativerne, hvorfor de ikke ændres ved en blødgøring af drikkevandet. Derfor er der i analysen fokuseret på at estimere forskellen i levetiden for de enkelte apparater mellem basisscenariet og de enkelte projekialternativer uden af tage hensyn til øvrige faktorer, der påvirker, hvornår forbrugerne udskifter deres husholdningsapparater og -installationer.

Det antages endvidere, at selvom kaffemaskiner, elkedler, opvaskemaskiner, varmtvandsbeholdere og vekslere samt toiletter og vandhaner afkalkes og vedligeholdes efter forskrifterne, vil der fortsat være en ændring i levetiden ved en ændring i hårdheden i drikkevandet<sup>24</sup>. Denne analyse følger dermed de tidligere analyser på området. Vandvarmere medtages ikke i analysen, da de primært er installeret i fritidsboliger, hvor forbruget er begrænset. Videre vurderes der kun at være en begrænset effekt på disse ved blødgøring.

Energiforbruget i husholdningsapparater og -installationer kan ligeledes blive påvirket ved en central blødgøring af drikkevandet. I analysen er det antaget, at kaffemaskiner og elkedler afkalkes efter forskrifterne, hvorfor en ændring i drikkevandets hårdhed udelukkende vil medføre marginale ændringer i energiforbruget ved en central blødgøring. Disse er derfor ikke inkluderet i analysen. Der er i analysen heller ikke medtaget en ændring i energiforbruget for opvaskemaskiner, da disse har et blødgøringsanlæg som regulerer hårdheden, hvorfor energiforbruget ikke ændres ved en ændring af hårdheden i drikkevandet.

For vaskemaskiner forventes det derimod, at der er en sammenhæng mellem hårdheden i drikkevandet og energiforbruget. Det skyldes, at tilkalkningen medfører, at der dannes kalkbelægninger på fx varmelegemer, som gør, at det tager længere tid at varme vandet op. Det vurderes endvidere, at danskerne i begrænset omfang afkalker deres vaskemaskiner, hvorfor tilkalkningen påvirkes af hårdheden i drikkevandet. Dette skyldes formentligt, at tilkalkning af vaskemaskiner er mindre synlig end fx tilkalkning af kaffemaskiner.

Ændringer i energiforbruget for vandvarmere og vekslere er endvidere ofte medtaget i tidligere analyser. På baggrund af dialog med producenter, installatører og forskere er Rambølls vurdering, at der ikke forventes en signifikant reduktion i energiforbruget for husholdningsinstallationer ved blødgøring af vandet<sup>25</sup>.

Dette skyldes, at den termostatiske styring sikrer en ensartet temperatur. Så længe der er overskydende kapacitet i reguleringen, vil der ikke spares på energien, idet termostaten holder en bestemt temperatur. Videre vil en reduktion i lagervolumen for varmtvandsbeholdere først have effekt på energiforbruget i tilfælde, hvor beholderen er meget tilkalket. I praksis vil varmeovergangen derfor være væsentligt reduceret inden, at der opleves en effekt på beholdervolumen.

Ved reduceret varmeovergang kan der opleves længere ventetid på varmt vand for forbrugerne. Dette vurderes dog at være en kvalitativ effekt, der ikke værdisættes. Videre kan der potentielt være en besparelse for forbrugerne i kraft af, at tilkalkede vekslere kan medføre øget returvandstemperatur. Den potentielle besparelse herved forekommer, da nogle fjernvarmeværker pålægger afgift for høj returvandstemperatur. Dette vurderes dog at være af mindre betydning og vanskeligt at værdisætte, hvorfor det ikke inddrages i analysen.

Brug af rengøringsmidler og produkter til personlig hygiejne påvirkes ligeledes ved en ændring i drikkevandets hårdhed. For at disse ændringer indtræffer, kræver det imidlertid en række ad-

<sup>24</sup> Brusere er ikke medtaget i analyse, da det vurderes, at der grundet afkalkning ikke er ændret levetid ved varierende hårdhedsgrader.

<sup>25</sup> Interview med blandt andet Danfoss, DTU og SEAS-NVE.



færdsændringer hos de private husholdninger. Hvis en husholdning fx ikke anvender vaskeanvisning på vaskepulver, men blot doserer, som de 'plejer', vil en blødgøring af drikkevandet ikke ændre på forbruget af vaskepulver. Det antages i analysen, at husholdningerne handler rationelt og tilpasser sig hårdheden i drikkevandet, men der foretages følsomhedsanalyser, der viser, hvordan de samlede resultater påvirkes af ændringer i adfærdseffekter.

Blødgøringen af drikkevandet forventes at nedsætte behovet for afkalkning af kaffemaskiner og elkedler, hvilket nedsætter kemikalieforbruget. Ligeledes kan det forventes, at der anvendes mindre rengøringsmidler til rengøring af baderum. Endelig vil blødere vand medføre et mindre behov for at anvende salt i opvaskemaskinen og mindre vaskepulver i forbindelse med vask af tøj.

Blødgøring af drikkevandet kan også potentielt medføre ændringer i tidsforbruget til afkalkning og rengøring. Blødere vand vil potentielt også kunne medføre, at det vil være mindre tidskrævende at rengøre baderum. Det er dog vores vurdering, at rengøring af baderum ofte – udover rengøring af kalk – også omhandler rengøring af andre årsager. Det vurderes derfor, at blødere vand ikke umiddelbart vil påvirke tidsforbruget i forbindelse med rengøring<sup>26</sup>.

### 7.3 Private og offentlige virksomheder

Private og offentlige virksomheder vil som de private husholdninger opleve en stigning i vandprisen. Samtidig kan de forventes at opleve de samme effekter på almindelige husholdningsapparater og -installationer som private husholdninger. En blødgøring af vandet vil således medføre en reduktion af tilkalkning, som kan resultere i forlængede levetider og reduceret energiforbrug for kaffemaskiner, elkedler, vaskemaskiner og opvaskemaskiner<sup>27</sup>.

For private og offentlige virksomheder er det videre udbredt at have installeret mindre decentrale blødgøringsanlæg i forbindelse med fx industrikaffemaskiner og industriopvaskemaskiner i kantiner. Det er oftest afkarboniseringsanlæg, der benyttes i denne forbindelse. Afkarboniseringsanlæg er meget følsomme overfor sammenhængen (og ændringer) mellem hårdheden og alkalinitet i vandet. En central blødgøring af drikkevandet vil medføre, at dette forhold ændres. Dette forventes at resultere i, at filterkapaciteten på afkarboniseringsanlæggene reduceres med op til 50 pct. (se afsnit 8.3.3 for en nærmere beskrivelse her)<sup>28</sup>.

Der forventes kun i begrænset grad effekter på virksomhedernes rengøringsadfærd. Dette skyldes, at private og offentlige virksomheder generelt har hyppig rengøring primært pga. hygiejnehensyn. Her vil der således ske rengøring og afsprøjtning af overflader og apparatur på daglig basis, hvorfor der ikke vil opleves gener ved tilkalkning. En ændring i kalken i vandet vil derfor ikke påvirke virksomhedernes tids- og kemikalieforbrug til rengøring. I analysen medtages derfor ingen ændringer i tidsforbruget til rengøring eller i brugen af rengøringsmidler for private og offentlige virksomheder.

### 7.4 Særligt vandforbrugende virksomheder

De særligt vandforbrugende virksomheder har enten et meget højt vandforbrug (fx landmænd) og/eller anvender decentral vandbehandling (fx erhvervsvaskerier). Disse virksomheder vil opleve en række effekter ved en central blødgøring af drikkevandet - afhængigt af hvordan de foretager decentral vandbehandling. Dog vil de alle opleve en prisstigning på vandet som konsekvens af indførelsen af den centrale blødgøring.

De virksomheder, der i dag anvender decentral vandbehandling, er kendetegnet ved, at de anvender meget blødt vand (hårdhed tæt på 0 °dH) til hele eller dele af deres produktion. Ved en central blødgøring af drikkevandet til 6 °dH, 10 °dH eller 14 °dH vil virksomhederne således fortsat have behov for deres eget blødgøringsanlæg. Effekten for disse virksomheder kan derfor forventes at være en række driftsbesparelser, da de skal blødgøre drikkevandet mindre end i dag. Det skal

<sup>26</sup> Vi følger dermed tidligere analyser, som heller ikke medtager en effekt på tidsforbruget til rengøring

<sup>27</sup> Der er dog en forventning om, at virksomhederne i gennemsnit har lidt dyrere apparater end de private husholdninger. De forventes også at bruge dem lidt mere end private husholdninger, hvorfor den forventede længere levetid af de lidt dyrere apparater forventes at blive udlignet af et lidt større brug af maskinerne.

<sup>28</sup> Baseret på interviews leverandører af afkarboniseringsanlæg.

nævnes, at de virksomheder, som i dag gennemfører omfattende lokal vandbehandling, hvor blødgøring blot er ét element, kan forventes at opleve meget marginale effekter ved en central blødgøring.

En central blødgøring af drikkevandet kan endvidere have en effekt for de virksomheder, der anvender vandet direkte i deres produktion. Det kan blandt andet være i form af, at de skal ændre deres produktion, da vandsammensætningen ændres ved blødgøringen. Det vurderes dog, at langt de fleste virksomheder, der anvender drikkevand direkte i deres produktion, gennemfører en grundig vandbehandling først<sup>29</sup>.

## 7.5 Den generelle sundhedstilstand

De potentielle sundhedseffekter ved en blødgøring af drikkevandet har været et centralt element i de tidligere gennemførte analyser. I dette afsnit beskrives de potentielle effekter baseret på en gennemgang af den eksisterende litteratur. Litteraturgennemgangen er foretaget i samarbejde med Styrelsen for Patientsikkerhed.

Blødgøringsprocesser såsom pelletmetoden og ionbytning ændrer i varierende grad indholdet af calcium, fluorid og magnesium i vandet. Indtagelsen af disse mineraler kan have en indflydelse på sundheden, hvorfor det er relevant at afdække mulige helbredspåvirkninger hos brugere af blødgjort drikkevand.

Flere nationale og internationale analyser har forsøgt at afdække sundhedseffekter og sundhedsmæssige risici ved blødgøring af drikkevand. I eksisterende litteratur er positive effekter ved blødgøring kun i begrænset grad beskrevet, hvorimod fokus oftest er på negative effekter så som øget forekomst af caries, hjertelaterede sygdomme og andre mineralrelaterede sygdomme.

### *Caries*

Den eksisterende litteratur har blandt andet haft fokus på effekten af forekomsten af caries, der forårsages af demineralisering af tændernes ydre emalje og senere den indre mineralstruktur<sup>30</sup>. Demineraliseringen forårsages af syre, som produceres af bakterier i biofilmen, der naturligt forefindes på tændernes overflade. Over tid kan biofilmen modnes, fx ved stadig tilførsel af kulhydrater og dårlig mundhygiejne, så den bliver til egentlige belægninger, hvorved caries kan udvikle sig til læsioner på tænderne.

Calcium og fluorid har en præventiv effekt på forekomsten af caries. Calcium bidrager til remineralisering af emaljen og har betydning for spytkirtlernes funktion. Fluorid medvirker til hæmning af demineralisering og øger remineraliseringsraten. Calcium og fluor fra drikkevand kan således have en indvirkning på cariesforekomsten enten via direkte kontakt mellem vand og tænder (mundskyl) eller igennem kosten. Da blødgøring af vand reducerer vandets fluorid- og calciumkoncentration, er det nærliggende at forvente, at en central blødgøring af drikkevandet kan have en effekt på antallet af cariestilfælde.

### *Hjertekar-sygdomme*

Det er endvidere undersøgt i litteraturen, om en reduktion af calcium og magnesium i drikkevandet har en effekt på hjertekar-sygdomme. Et adækvat indtag af calcium har i nogle studier vist tendens til en nedsat risiko for forhøjet blodtryk og derved nedsat risiko for blodpropper eller blødning i hjernen, ligesom magnesiumunderskud har været forbundet med hjerterytmeforstyrrelser, forhøjet blodtryk og åreforkalkning<sup>31</sup>.

### *Knogleskørhed (osteoporose)*

En anden sundhedseffekt, der er beskrevet ved flere studier, er mineralindtagets effekt på knogleskørhed (osteoporose). Calcium er vist at medvirke til genopbygningen af knoglemassen og der-

<sup>29</sup> Interviews med blandt andet Fødevarer og Landbrug samt producenter

<sup>30</sup> Rygaard, M. & Albrechtsen, H. J. 2012: Redegørelse om sundhedseffekter af blødgøring i København specielt med fokus på caries

<sup>31</sup> Cotruvo, J. & Bartram J. 2009: Calcium and Magnesium in Drinking-Water: Public health significance

ved til at reducere risikoen for osteoporose<sup>32</sup>. Derfor kan et reduceret calciumindtag medvirke til en stigning i tilfælde af knogleskørhed.

#### *Nyresten*

Det er ligeledes undersøgt, om calciumindtaget påvirker risikoen for nyresten, da nyresten typisk består af calciumoxalat. Her er det forholdet mellem indtag af oxalsyre via madvarer og calcium via mad og vand, der primært er undersøgt<sup>15</sup>. Hvorvidt et reduceret calciumindtag forventes at påvirke risikoen for nyresten positivt eller negativt afhænger af, hvordan calcium indtages. Indtages calcium via kosten eller drikkevand sammen med oxalsyre, menes det at risikoen for nyresten reduceres, på grund af binding af oxalsyre i tyndtarmen.

#### *Tarmkræft*

I et enkelt studie argumenteres der ligeledes for, at calciumindtaget fra drikkevand påvirker risikoen for tarmkræft. Teorien er, at calciumindtag kan medvirke til at begrænse effekten af nitratindtag fra drikkevandet, hvor der er vist en mulig sammenhæng mellem højt nitratindtag og risiko for tarmkræft<sup>33</sup>.

#### *Børneeksem*

Endelig argumenteres der i litteraturen for, at en nedsættelse af vandets hårdhed medfører et mindre behov for brug af sæbe og vaskemidler i husholdningerne. Dette vil kunne have en positiv effekt på den del af befolkningen, der lider af atopisk dermatit (børneeksem), da en mindre belastning af huden gør denne mindre sårbar for allergener, der beskadiger hudens barriere og dermed øger risikoen for bakterievækst<sup>15</sup>. Herved kan blødgøring af vand potentielt have en positiv effekt på antallet og alvorligheden af eksemtilfælde, særligt børneeksem.

Det har kun i begrænset omfang været muligt at dokumentere sammenhængen mellem ovenstående sundhedslidelser og variationer i vandets hårdhed og indhold af mineraler. Dette skyldes primært, at de undersøgte lidelser kan forårsages af en række forhold, hvorfor effekten af én faktor kan være svær at dokumentere.

Mineralindtaget igennem drikkevand udgør en begrænset del af det samlede mineralindtag. Den største kilde til mineralindtag er kosten, der i Danmark oftest er rigeligt mættet med mineraler, hvorfor ændringer i vandets mineralindhold ikke vil have en mærkbar sundhedseffekt<sup>34</sup>. Styrelsen for Patientsikkerhed vurderer således at det primært vil være særligt udsatte grupper og personer, der i forvejen har et underskud i indtaget af calcium, fluorid og magnesium, der ved blødgøring skal være opmærksomme på et nedsat indtag via vandet. De særligt udsatte grupper vurderes af Styrelsen for Patientsikkerhed at dreje sig om kronisk syge med mineralmangel-tilstande, der har et kendt nedsat indtag eller optag af mineraler fra kosten. Videre kan befolkningsgrupper, der indtager kost som afviger væsentligt fra gennemsnittet eller hvor andre forhold påvirker effekten (eks. ved primært vandindtag ved flaskevand eller ved begrænset hudoptag af sollys) have et øget behov for calcium-indtag i forhold til baggrundsbefolkningen.

#### *Caries*

Nogle steder i den eksisterende litteratur indikeres en sammenhæng mellem vandets calcium- og fluoridindhold og tilfælde af caries. Disse indikationer baserer sig dog for calciums vedkommende udelukkende på generelle betragtninger om en sammenhæng mellem mineralindtag og forekomsten af caries og ikke på forskning om forholdet mellem mineraler i drikkevand og cariesforekomst. Videre har en dansk undersøgelse ikke kunne påvise signifikante forskelle mellem antallet af cariestilfælde i områder med naturligt forekommende variationer i hårdhedsniveauer i vandet<sup>1</sup>. Styrelsen for Patientsikkerhed vurderer således at resultatet viser, at der er mange andre årsager til forskelle i cariesforekomst end hårdheden af drikkevandet. Styrelsen for Patientsikkerhed vurderer derfor, at effekten af blødgøring af vand varierer i forskellige sammenhænge og ikke uden videre kan måles samfundsøkonomisk. Derfor er Styrelsen for Patientsikkerhed enige i, at der ikke

<sup>32</sup> Heaney R. P. 2000: Calcium, dairy products and osteoporosis

<sup>33</sup> Chiu H.-F. et al. 2011: Does calcium in drinking water modify the association between nitrate in drinking water and risk of death from colon cancer?

<sup>34</sup> Pedersen, A. et al. 2015: Danskernes kostvaner 2011-2013

kan etableres grundlag for at medtage caries-relaterede sundhedseffekter i den samfundsøkonomiske analyse.

#### *Hjertekar-sygdomme*

Effekten af blødgøring af drikkevandet på hjertekar-sygdomme er ligeledes belagt med stor usikkerhed. WHO har i en større rapport fra 2009 gennemgået litteratur og forskning omkring calcium og magnesium i drikkevand og de helbredsmæssige effekter. I denne gennemgang blev der ikke fundet epidemiologisk evidens for en sammenhæng mellem hårdheden i drikkevand og hjertekar-sygdomme<sup>2</sup>. Styrelsen for patientsikkerhed vurderer derfor, at der på nuværende tidspunkt ikke er tilstrækkelig evidens for en væsentlig ændret risiko for hjerte-kar sygdomme ved blødgøring af drikkevandet.

Der er dog en vis anerkendelse af at et lavt indtag af magnesium kan øge mortalitetsrisikoen for hjertekar-sygdom og risikoen for blødning eller blodprop i hjernen. Styrelsen for Patientsikkerhed har på nuværende tidspunkt ikke kendskab til yderligere dokumentation for en sammenhæng mellem mineralindholdet i vandet og hjertekar-tilfælde. Derfor synes det ikke hensigtsmæssigt at inddrage effekten på hjertekar-sygdomme i datamodellen, da disse indikationer er for usikre til, at kunne værdisættes. Desuden vil blødgøringsmetoder der bibeholder et naturligt magnesium niveau resultater i at mortalitetsrisikoen for hjertekar-sygdomme ikke vil øges ved en blødgøring af drikkevandet.

#### *Knogleskørhed (osteoporose)*

Da danskere generelt har rigeligt dagligt indtag af calcium og magnesium i kosten, hvor af drikkevandet kun udgør en lille del, tolker Styrelsen for Patientsikkerhed risikoen for osteoporose på baggrund af blødgøring af drikkevand som meget lav, om end det ikke kan udelukkes, at der kan være en effekt hos grupper med en marginal calciumindtagelse via kosten. Årsagen hertil er hovedsageligt, at drikkevandet ikke er den primære kilde til calcium. Styrelsen for Patientsikkerhed mener derimod, at indtaget af calcium fra kosten, særligt fra mælkeprodukter, kan have en indflydelse på risikoen for osteoporose.

#### *Nyresten*

Effekten af calciumindtaget på forekomsten af nyresten er ligeledes belagt med væsentlig usikkerhed. Dette skyldes primært, at forskningsområdet er forholdsvis nyt. Et enkelt studie indikerer korrelationer mellem tilfælde af nyresten og vandets calcium- og magnesiumindhold<sup>35</sup>. Styrelsen for Patientsikkerhed vurderer, at denne viden skal efterprøves yderligere, førend den giver anledning til at medtage risiko for nyresten som en sundhedseffekt ved blødgøring af vand.

#### *Tarmkræft*

Det samme gør sig gældende for risikoen for tarmkræft ved blødgøring af drikkevandet. Det ene studie, der indikerer en sammenhæng mellem calciumindholdet i drikkevand og risiko for tarmkræft, er foretaget på postmenopausale kvinder med et betydeligt indtag af kød. Derfor er det ikke et direkte studie af effekterne af vandets calcium- og nitratindhold på risikoen for tarmkræft. Styrelsen for Patientsikkerhed vurderer, at studiet for nuværende står alene, hvilket medfører svag evidens på området.

#### *Børneeksem*

Endelig er resultaterne for den positive effekt på eksemtilfælde ved en reduktion af calciumindholdet i vandet uklare. Studier har påvist en stærk sammenhæng mellem børneeksemtilfælde og vandets hårdhed i England, Japan og Spanien<sup>36</sup>. Det har dog ikke været muligt at identificere en kurerende effekt af blødgjort vand på konstaterede børneeksemtilfælde. Styrelsen for Patientsikkerhed vurderer derfor, at effekten skal belyses yderligere, før den kan kvantificeres og værdisættes<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> Schrøder, S. et al. 2015: Does drinking water influence hospital-admitted sialolithiasis on an epidemiological level in Denmark?

<sup>36</sup> McNally, N. J. 1998: Atopic eczema and domestic water hardness; Miyake, Y et al. 2004: Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area; Arnedo-pena, A. & Bellido-blasco, J. 2007: Dureza del agua de consumo doméstico y prevalencia de eczema atópico en escolares de Castellón

<sup>37</sup> Thomas, K. et al. 2011: A Randomised Controlled Trial of Ion-Exchange Water Softeners for the Treatment of Eczema in Children

Det fremhæves i flere studier, at sundhedseffekten vil variere alt efter, hvilken metode der benyttes til blødgøring. Eksempelvis fremhæver en analyse, at ionbytning kan have større effekt på hjerte-karsygdomme end pelletmetoden, da ionbytning i højere grad end pelletmetoden udtrækker magnesium fra vandet<sup>38</sup>. Variationen i effekten fra metode til metode beror dog på en antagelse om, at selv små ændringer i mineralindholdet i det blødgjorte vand kan dokumenteres at have en sundhedsmæssig effekt. Styrelsen for Patientsikkerhed vurderer at de små ændringer i mineralindholdet, som hver blødgøringsmetode vil give, generelt ikke vil medføre en signifikant forskel i måden hvorpå blødgøringsmetoderne vil påvirke de sundhedsmæssige effekter af en central blødgøring af drikkevandet. Derfor finder Rambøll ikke belæg for, at skelne mellem sundhedseffekten ved forskellige metoder i denne analyse.

## 7.6 Øvrige effekter

Udover sundhedseffekter, som er beskrevet ovenfor, består de øvrige effekter af miljø- og klimaefekter samt effekter for drikkevands- og forsyningssikkerheden. Disse effekter fremkommer som en konsekvens af de beskrevne effekter i de foregående afsnit (afsnit 7.1-7.4).

Ændringen i energiforbruget fra vaskemaskiner påvirker det samlede energiforbrug i samfundet og dermed udledningen af CO<sub>2</sub>. Ligeledes vil et mindre forbrug af rengøringsmidler og produkter til personlig hygiejne have en miljømæssig effekt for samfundet som helhed.

Anvendelsen af videregående vandbehandling som fx blødgøring vil som regel også medføre en øget risiko for, at noget ikke fungerer som planlagt. Indførelsen af blødgøring kan dermed påvirke enten drikkevandssikkerheden, altså vandkvaliteten, eller kan medføre, at anlægget stoppes, hvormed forsyningssikkerheden påvirkes.

Ved en konsekvent monitoring af blødgøringsprocessen med særlig vægt på kontrol af det færdige vand kan man reducere risikoen for, at der leveres vand af dårlig kvalitet til forbrugerne. Det har dog den konsekvens, at overskridelse af kvalitetskravene vil medføre, at anlægget stoppes, indtil årsagen er fundet og rettet. Hermed påvirkes forsyningssikkerheden afhængigt af, i hvilken sammenhæng værket indgår, fx om andre værker automatisk kan tage over. Erfaringerne fra Holland og Sverige peger dog på, at det ikke er en problematik, som de oplever. Der forventes derfor heller ingen større udfordringer hermed i en dansk kontekst.

---

<sup>38</sup> Nordvand A/S 2015: Samfundsøkonomisk screening af blødgøring af vand på Norvands anlæg

## 8. PROJEKTET

I dette kapitel beskrives selve analysen, herunder formål samt basisscenarie og de tre projekialternativer.

### 8.1 Formål

Som beskrevet i indledningen er der en række gener for forbrugerne forbundet med et højt kalkindhold i drikkevandet. Dette er blandt andet tilkalkning af husholdningsapparater og -installationer samt stort forbrug af vaske- og rengøringsmidler. Endvidere er der en række virksomheder, som i dag anvender blødgjort vand, som blødgøres i decentrale blødgøringsanlæg. Dette skyldes primært et ønske om at fjerne kalk, men også andre mineraler (fx magnesium) fra drikkevandet, inden det anvendes i produktionen.

Erfaringerne fra Holland og Sverige er endvidere, at der blandt forbrugerne er stor tilfredshed med en central blødgøring – på trods af, at råvandet i Sverige og Holland i udgangspunktet er mindre hårdt end i Danmark.

Hovedformålet med analysen er derfor at undersøge de samfundsøkonomiske konsekvenser ved at indføre central blødgøring af drikkevandet i Danmark. I analysen sammenholdes de positive konsekvenser for de forskellige aktører med omkostningerne ved at blødgøre vandet. En række af konsekvenserne er imidlertid vanskelige at kvantificere og værdisætte, hvorfor disse inddrages kvalitativt i analysen.

### 8.2 Basisscenarie og projekialternativer

Dette afsnit indeholder en beskrivelse af basisscenariet og de analyserede projekialternativer. En nærmere beskrivelse af forudsætninger og datainput fremgår af afsnit 8.3.

*Basisscenariet* beskriver den forventede fremtidige situation, hvis ingen af projekialternativerne gennemføres. Basisscenariet er således det scenarie, som projekialternativer skal sammenlignes med, når de samfundsøkonomiske konsekvenser skal vurderes.

Vandforbruget i Danmark har generelt været faldende de seneste år – særligt i husholdningerne, hvor det er faldet med ca. 15 pct. de sidste 10 år<sup>39</sup>. Det er dog forventningen, at vandforbruget nu har nået - eller indenfor kort tid når – et naturligt leje, hvor det kræver store ændringer af samfundet at nedsætte det yderligere<sup>40</sup>. I analysen forudsættes det derfor, at vandforbruget i analyseperioden fastholdes på det nuværende niveau.

I analysen forudsættes det endvidere, at råvandets hårdhed er konstant i hele analyseperioden. Vandprisen og spildevandsafgiften, som består dels af en fast del og en variabel del, varierer fra vandforsyning til vandforsyning. I analysen antages det dog, at denne er konstant per m<sup>3</sup> i hele landet og over analyseperioden og udelukkende påvirkes af omkostningerne ved at implementere central blødgøring af drikkevandet<sup>41</sup>. I forbindelse med en beslutning om en lokal implementering af blødgøring er der behov for at gennemføre en konkret analyse baseret på de lokale forhold, herunder vandprisen.

I analysen undersøges endvidere tre forskellige *projekialternativer*. I projekialternativerne antages overordnet set den samme udvikling i vandforbruget som i basisscenariet<sup>42</sup>. Projekialternativerne adskiller sig udelukkende i form af den hårdhed, som drikkevandet blødgøres til:

<sup>39</sup> Kilde: Danva.

<sup>40</sup> Baseret på desk research, interview med Danva og egne vurderinger.

<sup>41</sup> Denne antagelse medfører, at i områder hvor vandprisen er under gennemsnittet vil gevinsterne være undervurderet og omvendt i områder, hvor priserne er højere end gennemsnittet.

<sup>42</sup> Dog vil de særligt vandforbrugende virksomheder opleve et mindre vandforbrug i forbindelse med regenerering af deres blødgøringsanlæg, mens vandforsyningerne vil opleve et øget vandforbrug i forbindelse med blødgøringsprocessen.

- Projektalternativ I: Hårdhed på 6 °dH.
- Projektalternativ II: Hårdhed på 10 °dH.
- Projektalternativ III: Hårdhed på 14 °dH.

Ændringen i vandprisen mellem basisscenariet og de tre projektalternativer afhænger alene af omkostningerne til investeringen og driften af de centrale blødgøringsanlæg. Det er således i analysen antaget, at omkostningerne ved central blødgøring på langt sigt finansieres igennem højere vandpriser, mens investeringen på kort sigt finansieres som et lån, som den enkelte vandforsyning optager.

### 8.3 Forudsætninger og datainput

Som tidligere beskrevet, bidrager den samfundsøkonomiske analyse med en vurdering af, hvilket af de opstillede projektalternativer (eller basisscenariet), der giver det bedste afkast for samfundet som helhed. Analysen vil således vise de nationale gevinster og omkostninger forbundet med de enkelte projektalternativer.

Til den samfundsøkonomiske konsekvensvurdering anvendes en række generelle forudsætninger på tværs af basisscenariet og projektalternativerne. Disse generelle forudsætninger fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 8.1: Generelle forudsætninger**

Element	Værdi
Diskonteringsrente <sup>1</sup>	4 %
Nettoafgiftsfaktor <sup>2</sup>	32,5 %
Prisniveau	Faste 2016-priser
Analyseperiode	30 år (2017-2046)
Analyseår	2016
Generel udvikling i vandforbruget	Konstant
Gens. vandforbrug pr. år pr. person <sup>3</sup>	38,8 m <sup>3</sup>
Gens. Vandprisen inkl. moms pr. m <sup>3</sup> (basisscenariet) <sup>3</sup>	24 kr.
Gens. Spildevandsprisen inkl. moms pr. m <sup>3</sup> (basisscenarie og projektalternativer) <sup>4</sup>	24 kr.
Elpris pr. kWh <sup>5</sup>	2,27 kr.

Kilde: "1": Finansministeriet (2013): 'Ny og lavere samfundsøkonomisk diskonteringsrente'.

"2": Transportøkonomiske enhedspriser 1.6

"3": Danva (2016): Vand i tal 2016. Gns. vandpris på tværs af Danmark.

"4": DST: Vandregnskab, økonomi 2014. Tallet er taget for industrien...

"5": Energitilsynet: *Elprisstatistik 3. kvartal 2016*

I de efterfølgende afsnit præsenteres forudsætningerne, der er lagt til grund for estimerne af effekterne for de enkelte aktører.

#### 8.3.1 Vandforsyningerne

Vandforsyningerne vil opleve en række øgede udgifter i forbindelse med investeringen og driften af blødgøringsanlæggene.

Som beskrevet i den tekniske analyse anbefales det, at pelletmetoden anvendes ved anlæg med en produktionskapacitet på over 1 mio. m<sup>3</sup>, mens der på anlæg mellem 0,2-1,0 mio.m<sup>3</sup> anvendes ionbytningsmetoden. De enkelte dele af teknologierne har forskellige levetider, men samlet set vurderes den tekniske levetid for anlæggene at være ca. 30-35 år<sup>43</sup>. De samfundsøkonomiske konsekvenser analyseres over en 30-årig periode, hvorfor der i analyseperioden ikke er behov for reinvesteringer.

Omkostningerne for vandforsyningerne består dels af en investeringsomkostning og en driftsomkostning pr. produceret m<sup>3</sup> vand. Begge dele fremgår af nedenstående tabel.

<sup>43</sup> For at simplificere beregningerne antages levetiden af anlæggene i analysen at være 30.

**Tabel 8.2: Investering og driftsomkostninger (**

Element	Investering (mio.kr) <sup>3</sup>	Mer-driftsom- kostning pr. m <sup>3</sup> <sup>4</sup>	Spildevandsafgift pr. m <sup>3</sup> <sup>5</sup>
Pelletmetode <sup>1</sup>	37,1	1,18	0,24
Ionbytning <sup>2</sup>	13,9	0,74	0,48

Kilde: Desk research, interviews samt Rambøll

Note: Mer-driftsomkostningerne er i tabellen angivet for vand, der blødgøres 10 °dH. Hvis vandet skal blødgøres mere(mindre) stiger(falder) mer-driftsomkostningerne.

"1": Investeringssomkostninger i pelletmetoden er vist for et vandværk der indvinder 2.500.000 m<sup>3</sup> vand om året. Investeringssomkostningerne stiger/falder jo større/mindre vandværk.

"2": Investeringssomkostninger i Ionbytning er vist for et vandværk der indvinder 1.000.000 m<sup>3</sup> vand om året. Investeringssomkostningerne stiger(falder) jo større(mindre) vandværk.

"3": Investeringssomkostninger indeholder omkostninger til bygninger, selve anlægget, styring af anlæg og ændringer i eksisterende anlæg.

"4": Driftsomkostningerne til blødgøring indeholder omkostninger til vandtab, drift og vedligehold ved blødgøring. For Ionbytningsmetoden indeholder driftsomkostningerne også transport- og saltomkostninger.

"5": Spildevandsafgiften er beregnet ved spildevandsprisen for industri på 24 kr., fordelt på vandtabet ved blødgøring, hvilket er 1% af blødgjort vand i pelletmetoden og 2% af blødgjort vand i ionbytningsmetoden.

### 8.3.2 Private husholdninger

Udgangspunktet for at kunne estimere effekterne for de private husholdninger er en opgørelse af, hvor mange husholdningsapparater og -installationer der er i danske husholdninger. Disse oplysninger findes imidlertid ikke i nogen officielle kilder, hvorfor det har været nødvendigt at foretage en række estimater heraf.

Estimaterne for antallet af de forskellige husholdningsapparater og -installationer fremgår af tabellen nedenfor.

**Tabel 8.3: Antal husholdningsapparater og -installationer i husholdninger**

Type	Antal
Kaffemaskine <sup>1</sup>	2.870.000
Elkedel <sup>2</sup>	2.870.000
Opvaskemaskine <sup>3</sup>	1.950.000
Vaskemaskine <sup>4</sup>	2.180.000
Varmtvandsbeholdere og veksler (villaer) <sup>5</sup>	1.560.000
Varmtvandsbeholdere og veksler (etageboliger) <sup>6</sup>	35.000
Toiletter <sup>7</sup>	4.400.000
Vandhaner <sup>8</sup>	8.880.000

Kilde: Tidligere analyser, Danmarks Statistik, Foreningen af Producenter og Importører af Elektriske Husholdningsapparater, interviews med VVS'ere og hvidevareproducenter og egne vurderinger.

Note: Estimaterne er afrundet til hele tusinder.

"1": Baseret på en antagelse om én kaffemaskine pr. husstand og 2,65 mio. husstande og 215.000 ubeboede fritidsboliger.

"2": Baseret på en antagelse om én elkedel pr. husstand og 2,65 mio. husstande og 215.000 ubeboede fritidsboliger.

"3": Beregnet på baggrund af, at 68 pct. af husstande har en opvaskemaskine og 2,65 mio. husstande og 215.000 fritidsboliger.

"4": Beregnet på baggrund af, at 76 pct. af husstande har en vaskemaskine og 2,65 mio. husstande og 215.000 fritidsboliger.

"5": Baseret på en antagelse om én varmtvandsbeholder/veksler pr. husstand og 1,16 mio. parcelhuse, 400.000 dobbelthuse og 11.000 anden bolig.

"6": Baseret på en antagelse om 0,033 varmtvandsbeholder/veksler pr. bolig og 1,0 mio. etageboliger og 32.000 kollegier.

"7": Baseret på en antagelse om to toiletter pr. bolig i almindelig parceljendom og et toilet pr. bolig i etagejendom. 1,16 mio. parcelhuse, 400.000 dobbelthuse, 11.000 anden bolig og 1,0 mio. etageboliger og 32.000 kollegier for etagejendomme. 215.000 fritidsboliger medtages under etagejendomme.

"8": Baseret på en antagelse om fire vandhaner pr. bolig i almindelig parceljendom og to vandhaner pr. bolig i etagejendom. 1,16 mio. parcelhuse, 400.000 dobbelthuse, 11.000 anden bolig og 1,0 mio. etageboliger og 32.000 kollegier for etagejendomme. 215.000 fritidsboliger medtages under etagejendomme.

Estimaterne er foretaget med udgangspunkt i registerdata og vurderinger af antallet af apparater pr. husstand. For de almindelige husholdningsapparater og for vandhaner og toiletter er det forud-



sat, at de forefindes i såvel helårsboliger som fritidsboliger. Derfor er fritidsboliger medtaget i antalsberegningen.

Varmtvandsbeholdere og vekslere er opdelt på villaer og etageejendomme, hvilket skyldes, at levetiden og prisen varierer alt efter størrelsen af installationen. Et anlæg i en etageejendom er således dyrere end i en villa og vil forventeligt have lidt kortere levetid grundet større slid.

En anden forudsætning for beregninger af effekterne er prissætning af de enkelte apparater og installationer. Derfor er der for alle faktorer beregnet en gennemsnitlig nypris på baggrund af forbrugerpriser. Da det er forbrugerpriser, er alle priser beregnet inklusiv moms. Prissætningerne fremgår af tabellen nedenfor.

**Tablet 8.3: Prissætning for husholdningsapparater og-installationer for husholdninger (kr. inkl. moms)**

Type	Kroner (inkl. moms)
Kaffemaskine <sup>1</sup>	950
Elkedel <sup>2</sup>	300
Opvaskemaskine <sup>3</sup>	4.400
Vaskemaskine <sup>4</sup>	4.750
Varmtvandsbeholdere og vekslere (villaer) <sup>5</sup>	10.000
Varmtvandsbeholdere og vekslere (etageboliger) <sup>6</sup>	22.000
Toiletter <sup>7</sup>	4.000
Vandhaner <sup>8</sup>	2.000
Salt til opvaskemaskine (kr./kg.) <sup>9</sup>	5
Vaskepulver (kr./kg.) <sup>10</sup>	40
Sæbe (kr./liter) <sup>11</sup>	145
Kalkfjerne til kaffemaskiner/elkedler (kr./liter) <sup>12</sup>	15
Værdi af fritidstimer - pris for rengøring (kr./time) <sup>13</sup>	85

Kilde: Tidligere analyser, Foreningen af Producenter og Importører af Elektriske Husholdningsapparater, Forbrugerrådet Tænk, Pricerunner, interviews med VVS'ere og hvidevareproducenter og egne vurderinger.

Note: estimaterne er afrundet til hele halvtredser.

"1": Der er beregnet gennemsnitspris for kapsel- og espressomaskiner (1.200 kr.) og filtermaskiner (650 kr.). Dette ganges med antal solgte maskiner (kapsel-/espressomaskiner: 191.500 og filtermaskiner: 160.750) for at beregne gennemsnitspris.

"2": Der er beregnet gennemsnitspris for almindelige elkedler.

"3": Der er beregnet gennemsnitspris for fritstående opvaskemaskiner.

"4": Der er beregnet gennemsnitspris for alle typer af vaskemaskiner (frontbetjent, topbetjent mv.).

"5": Der er beregnet gennemsnitspris for standardinstallation. Installationsudgifter er inkluderet i gennemsnitspris.

"6": Der er beregnet gennemsnitspris for standardinstallation. Installationsudgifter er inkluderet i gennemsnitspris. Prisen er gennemsnitligt højere pr. installation for etageejendomme end for parcelhuse, da disse installationer har større kapacitet.

"7": Den beregnede gennemsnitspris er inklusiv installationsudgifter.

"8": Den beregnede gennemsnitspris er inklusiv installationsudgifter.

"9": Der er beregnet gennemsnitspris for almindeligt groft opvaskesalt.

"10": Der er beregnet gennemsnitspris for almindeligt vaskepulver.

"11": Der er beregnet gennemsnitspris for almindelige shower gel- og shampoo-produkter.

"12": Baseret på søgninger på nemlig.com og coop.dk.

"13": Transportøkonomiske enhedspriser til samfundsøkonomiske analyser (2016).

Det skal understreges, at de ovenstående prissætninger er gennemsnitspriser. I mange hjem vil der eksempelvis forekomme kaffemaskiner, der er væsentligt billigere eller dyrere end 950 kr. Videre kan det bemærkes, at prissætning for de almindelige husholdningsapparater generelt er lidt højere end i tidligere undersøgelser. Dette skyldes, at flere aktører, herunder Foreningen af Producenter og Importører af Elektriske Husholdningsapparater (FEHA), påpeger, at danskernes købemønster udvikler sig i retning af, at der indkøbes dyrere apparater og installationer.

En af de væsentlige effekter for husholdningsapparaterne er ændringen i deres forventede levetid. De anvendte levetidsestimater for husholdningsapparater er opstillet i tabellen nedenfor.

**Tabel 8.4: Levetider for husholdningsapparater ved forskellige hårdhedsgrader (år)**

Hårdhed	Kaffemaskine	Elkedel	Opvaskemaskine	Vaskemaskine
<4	13	13	16	16
4-8	13	13	16	16
8-12	11	11	14	14
14	10	10	13	13
12-18	10	10	13	13
18-24	7	7	10	10
>24	7	7	10	10

Kilde: Eksisterende analyser, Forbrugerrådet Tænk, interview med hvidevareproducenter samt egne vurderinger.

Note: Der er angivet gennemsnitslevetid for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet levetiden ved 10 dH. For hårdhedsniveauer på <6 °dH forudsættes der ikke en ændring i levetiden, hvorfor der er angivet levetid ved 6 °dH. På samme vis forudsættes der ikke reduceret levetid ved hårdhedsniveauer på >24 °dH., hvorfor der er angivet levetid ved 24 °dH. Levetsangivelser er afrundet til hele år. Der er i opgørelsen af levetider endvidere forudsat en lineær sammenhæng mellem vandets hårdhed og levetiden omkring de relevante hårdhedsgrader.

Det er vanskeligt at finde faktiske data for levetiden for de enkelte husholdningsapparater for de enkelte hårdheder. Der er på den baggrund gennemført en følsomhedsanalyse, der viser, hvor robuste analysens resultater er over for ændringer i levetiden. De angivne levetider bygger på en kombination af gennemgang af eksisterende analyser, interviews med centrale aktører samt Rambølls vurderinger. Estimerne er derudover kvalificeret i dialog med en række aktører, herunder Forbrugerrådet Tænk og hvidevareproducenter.

Som for ændringer i levetiden er det også vanskeligt at finde data for energiforbruget for de enkelte husholdningsapparater. De anvendte estimater for energiforbruget for husholdningsapparater er præsenteret i tabellen nedenfor.

**Tabel 8.5: Energiforbrug for husholdningsapparater ved forskellige hårdhedsgrader (MJ/år/husstand)**

Hårdhed	Kaffemaskine <sup>1</sup>	Elkedel <sup>1</sup>	Opvaskemaskine <sup>2</sup>	Vaskemaskine
<4				395
4-8				395
8-12				405
14	Uændret	Uændret	Uændret	415
12-18				420
18-24				435
>24				440

Kilde: Eksisterende analyser, Forbrugerrådet Tænk, interview med hvidevareproducenter samt egne vurderinger.

Note: Der er angivet gennemsnitslevetid for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet levetiden ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på <6 °dH forudsættes der ikke en ændring i levetiden, hvorfor der er angivet levetid ved 6 °dH. På samme vis forudsættes der ikke reduceret levetid ved hårdhedsniveauer på >24 °dH., hvorfor der er angivet levetid ved 24 °dH. MJ-angivelser er afrundet til nærmeste femtal.

"1": Det forudsættes, at kaffemaskiner og elkedler afkalkes, hvorfor hårdheden af vandet ikke har effekt på energiforbruget.

"2": Det forudsættes, at opvaskemaskiner har et blødgøringsanlæg, hvorfor hårdheden af vandet ikke har effekt på energiforbruget.

Som det fremgår af tabellen, forudsættes det, at energiforbruget for kaffemaskiner, elkedler og opvaskemaskiner ikke påvirkes af blødere vand. For elkedler og kaffemaskiner skyldes det, at det forudsættes, at der afkalkes, hvorfor der ikke opstår kalkbelægning, der kan medføre et øget energiforbrug. Da effekten på afkalkning af elkedler og kaffemaskiner indgår i analysen som en adfærsændring, medtages der ikke et ændret energiforbrug (se tabel 8.6).

For opvaskemaskiner forudsættes det, at de har indbygget blødgøringsanlæg, hvorfor vandets hårdhed ikke influerer på energiforbruget.

Som for husholdningsapparater er det vanskeligt at finde data for levetider for husholdningsinstallationer ved forskellige hårdheder i vandet. De anvendte levetider i analysen er angivet i tabellen nedenfor.

**Tabel 8.6: Levetider for husholdningsinstallationer ved forskellige hårdhedsgrader (år)**

Hårdhed	Varmtvandsbeholdere og vekslere (villaer)	Varmtvandsbeholdere og vekslere (etageejendomme)	Toiletter	Vandhaner
<4	32	29	27	26
4-8	32	29	27	26
8-12	28	27	24	24
14	24	25	21	21
12-18	23	25	20	20
18-24	15	22	16	16
>24	15	22	16	16

Kilde: Eksisterende analyser, interview med VVS'er og hvidevareproducenter samt egne vurderinger.

Note: Der er angivet gennemsnitslevetid for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet levetiden ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på <6 °dH forudsættes der ikke en ændring i levetiden, hvorfor der er angivet levetid ved 6 °dH. På samme vis forudsættes der ikke reduceret levetid ved hårdhedsniveauer på >24 °dH., hvorfor der er angivet levetid ved 24 °dH. Levetsangivelser er afrundet til hele år.

Som det fremgår af tabellen, er husholdningsinstallationerne kendetegnet ved at have en relativt lang levetid for alle hårdheder, mens der særligt for varmtvandsbeholdere og vekslere er en stor levetidsforlængelse ved mindre hårdt vand.

Som beskrevet i afsnit 7.2 vil en blødgøring af drikkevandet også medføre en række effekter i forbindelse med rengøring og afkalkning af kaffemaskiner, elkedler og baderum. Disse effekter fremgår af tabellen nedenfor.

**Tabel 8.8: Adfærdsændringer vedrørende afkalkning og rengøring (husstand/år)**

Hårdhed	Kalkfjerner til kaffemaskine og elkedel (liter) <sup>1</sup>	Forbrugertid til afkalkning (minutter) <sup>2</sup>	Produkter til rengøring af baderum mv. (liter) <sup>3</sup>	Salt til opvaske-maskine (kg) <sup>4</sup>
<4	3	90	2	1
4-8	3	90	2	1
8-12	4	115	2	1
14	5	135	3	1
12-18	5	140	3	1
18-24	6	170	4	2
>24	6	180	4	2

Kilde: Eksisterende analyser, Forbrugerrådet Tænk samt egne vurderinger

Note: Der er angivet gennemsnitslevetid for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet levetiden ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på <6 °dH forudsættes der ikke en ændring i levetiden, hvorfor der er angivet levetid ved 6 °dH. På samme vis forudsættes der ikke reduceret levetid ved hårdhedsniveauer på >24 °dH., hvorfor der er angivet levetid ved 24 °dH. Kilo- og literforbrug er afrundet til nærmeste hele tal.

"1": Baseret på antagelse om 2 maskiner pr. husstand, der afkalkes hver anden måned og brug af 1/2 liter pr. gang samt Forbrugerrådet Tænks anbefaling om, at man som minimum gør det hver 4 måned og hver uge i meget hårde områder.

"2": Baseret på antagelse om, at der benyttes 15 minutter pr. maskine pr. afkalkning.

"3": Baseret på antagelse om gennemsnitlig rengøring.

"4": Baseret på antagelse om 15 liter vand pr. opvask og 180 årlige opvask.

Effekterne er estimeret ved at tage udgangspunkt i forbruget hos en gennemsnitsfamilie. Eksempelvis er forbruget af kalkfjerner til kaffemaskiner og elkedler beregnet ud fra en forudsætning om, at der i områder med lav hårdhed i vandet ( $\leq 6$  °dH) afkalkes hver fjerde måned, som ifølge Forbrugerrådet Tænk er minimum uanset kalkniveauet i drikkevandet. I områder med meget hårdt vand ( $\geq 24$  °dH) og derover er det derimod antaget, at det er nødvendigt at afkalke maskinerne hver anden måned. For hver afkalkning antages det, at der anvendes 1/2 liter kalkfjerner. Herefter er de øvrige punkter beregnet ved lineær interpolation.

Endelig vil de private husholdninger også opleve en ændring i forbruget af vaskepulver og produkter til personlig pleje. Forbruget af disse ved forskellige hårdheder fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 8.9: Adfærdsændringer vedrørende tøjvask og personlig hygiejne (husstand/år)**

Hårdhed	Vaskepulver (kg) <sup>1</sup>	Produkter til personlig hygiejne (liter) <sup>1</sup>
<4	6	4
4-8	6	4
8-12	10	4
14	12	5
12-18	12	5
18-24	18	6
>24	18	6

Kilde: Eksisterende analyser, Forbrugerrådet Tænk samt egne vurderinger

Note: Der er angivet gennemsnitslevetid for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet levetiden ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på <6 dH forudsættes der ikke en ændring i levetiden, hvorfor der er angivet levetid ved 6 °dH. På samme vis forudsættes der ikke reduceret levetid ved hårdhedsniveauer på >24 °dH., hvorfor der er angivet levetid ved 24 °dH. Kilo- og literforbrug er afrundet til nærmeste hele tal.

"1": Baseret på antagelse om gennemsnitlig tøjvask og 2,1 personer i gennemsnit pr. husstand.

"2": Baseret på antagelse om gennemsnitlig badfrekvens og 2,1 personer i gennemsnit pr. husstand.

Forbruget af vaskepulver er estimeret på baggrund af det gennemsnitlige antal tøjvask i en almindelig husstand og forbruget af vaskepulver pr. vask ved forskellige hårdhedsgrader. For sæbe til personlig hygiejne er der taget udgangspunkt i én persons forbrug ved forskellige hårdhedsgrader. Dette er herefter multipliceret med det gennemsnitlige antal personer i en dansk husstand for at få et estimat for forbruget i en husstand.

### 8.3.3 Private og offentlige virksomheder

De private og offentlige virksomheder vil opleve en række af de samme effekter som husholdningerne, jf. afsnit 7.3. I analysen antages det endvidere, at effekterne på levetidsforlængelse og ændringer i energiforbrug er det samme i private og offentlige virksomheder som i husholdninger. For en beskrivelse heraf henvises derfor til afsnit 8.3.2.

For at kunne finde den samlede effekt for de private og offentlige virksomheder er der behov for en opgørelse af antallet og priserne for husholdningsapparaterne og -installationerne.

Antallet af husholdningsapparater og -installationer er estimeret med udgangspunkt i Danmarks Statistiks data om antallet af virksomheder fordelt på antal medarbejdere. Der skelnes ikke mellem private og offentlige virksomheder, da effekterne forventes at være ens for disse.

I tabellen nedenfor fremgår antallet af husholdningsapparater og -installationer i de private og offentlige virksomheder.

**Tabel 8.10: Antal husholdningsapparater og-installationer for virksomheder**

Type	Antal
Kaffemaskine <sup>1</sup>	185.000
Elkedel <sup>2</sup>	185.000
Opvaskemaskine <sup>3</sup>	150.000
Vaskemaskine <sup>4</sup>	113.000
Varmtvandsbeholdere og veksler <sup>5</sup>	81.000
Toiletter <sup>6</sup>	189.000
Vandhaner <sup>7</sup>	692.000
Afkarboniseringsanlæg <sup>8</sup>	130.000

Kilde: Eksisterende analyser, Danmarks Statistik, Foreningen af Producenter og Importører af Elektriske Husholdningsapparater, interviews med VVS'er og hvidevareproducenter samt egne vurderinger.

Note: Estimerterne er afrundet til hele tusinder.

"1": Det er antaget, at virksomheder med 1-9 ansatte har én almindelig kaffemaskine (118.285). Virksomheder med 0 ansatte vurderes ikke at have kaffemaskine, der ikke indgår i husholdningen. Virksomheder med +9 ansatte (22.451) vurderes at have enkelte kaffemaskiner som supplement til maskiner med blødgøringsanlæg. Det antages, at virksomheder med +9 ansatte i gns. har tre almindelige kaffemaskiner.

"2": Det er antaget, at virksomheder med 1-9 ansatte har én elkedel. Virksomheder med 0 ansatte vurderes ikke at have elkedler, der ikke indgår i husholdningen. Virksomheder med +9 ansatte (22.451) vurderes at have enkelte kedler som supplement til maskiner med blødgøringsanlæg. Det antages, at virksomheder med +9 ansatte i gns. har tre almindelige elkedler.

"3": Det er antaget, at virksomheder med 1-9 ansatte har én opvaskemaskine (118.285). Virksomheder med 0 ansatte vurderes ikke at have opvaskemaskine, der ikke indgår i husholdningen. Virksomheder med +9 ansatte (22.451) vurderes at have enkelte opvaskemaskiner som supplement til centrale maskiner med blødgøringsanlæg. Det antages, at virksomheder med +9 ansatte i gns. har 1,5 opvaskemaskiner, der ikke er koblet på blødgøringsanlæg.

"4": Det er forudsat, at der i gennemsnit er 0,8 maskiner pr. virksomhed med +1 ansatte (140.736).

"5": Det er forudsat, at der i gns. er 0,8 installationer pr. virksomhed, da nogle virksomheder vil have mere end én installation og nogle virksomheder vil dele installation.

"6": Er beregnet ved at antage, at virksomheder med 0 ansatte i gns. har 0 vandhaner (159.064 virksomheder), virksomheder med 1-9 ansatte har fire vandhaner (118.285 virksomheder), virksomheder med 10-19 ansatte har 6 vandhaner (11.390 virksomheder), virksomheder med 20-49 ansatte har 10 vandhaner (6.903 virksomheder), virksomheder med 50-99 ansatte har 15 vandhaner (2179 virksomheder) og virksomheder med +100 ansatte har 25 vandhaner (1979 virksomheder).

"7": Er fastlagt ud fra lovkrav om, at der skal være et toilet pr. 15 ansatte. Virksomheder med 0 ansatte aftages i gns. at have 0 toilet (159.064 virksomheder), virksomheder med 1-9 ansatte har et toilet (118.285 virksomheder), virksomheder med 10-19 ansatte har to toiletter (11.390 virksomheder), virksomheder med 20-49 ansatte har tre toiletter (6.903 virksomheder), virksomheder med 50-99 ansatte har fem toiletter (2179 virksomheder) og virksomheder med +100 ansatte har otte toiletter (1979 virksomheder).

"8": Baseret på interview med leverandører af afkarboniseringsanlæg.

Antallet af husholdningsapparater er antaget at være afhængigt af antallet af medarbejdere i virksomheden. Endvidere er det antaget, at virksomheder med 0 medarbejdere ikke indgår, da fx deres kaffemaskine indgår i den private husholdning.

Som det fremgår af tabellen, estimeres der at være ca. 130.000 mindre afkarboniseringsanlæg i de private og offentlige virksomheder. En central blødgøring af drikkevandet medfører, at filterkapaciteten på disse reduceres med op til 50 pct. Det betyder med andre ord, at disse skal skiftes op mod dobbelt så tit som før indførelsen af central blødgøring. I analysen antages det, at filterkapaciteten i gennemsnit reduceres med 25 pct., hvorved det antages, at filtrene skal skiftes 25 pct. gange oftere. Prisen pr. udskiftning er i analysen sat til 1.000 kr.<sup>44</sup> Dette er uafhængigt af, hvor meget vandet blødgøres, men indtræffer, så snart forholdet mellem vandets hårdhed og alkalinitet ændres.

For varmtvandsbeholdere vil der være en reduktion i udgiften til rensning. Denne udgift er ikke medtaget for husholdninger, men medtages for de private virksomheder, da de forudsættes i højere grad at foretage rensning.

Ændringen i øget udgift til skift af filtre i afkarboniseringsanlæg og reduceret udgift til rensning af varmtvandsbeholdere fremgår i tabellen nedenfor.

<sup>44</sup> Baseret på interview med leverandører af afkarboniseringsanlæg

**Tabel 8.11: Udgiftsændringer vedrørende filterskift og rensning af varmtvandsbeholdere**

Hårdhed	Rensning af varmtvandsbeholdere (kr./år)
<4	1.200
4 - 8	1.200
8 - 12	1.500
14	1.800
12 - 18	1.900
18 - 24	3.400
>24	3.500

Kilde: Eksisterende analyser, interviews med installatører samt egne vurderinger

Note: Der er angivet gennemsnitslevetid for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet levetiden ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på <6 °dH forudsættes der ikke en ændring i levetiden, hvorfor der er angivet levetid ved 6 °dH. På samme vis forudsættes der ikke reduceret levetid ved hårdhedsniveauer på >24 °dH., hvorfor der er angivet levetid ved 24 °dH. Kroner er afrundet til nærmeste tusinde

Priserne for de enkelte apparater og installationer i de private og offentlige virksomheder antages i gennemsnit at være højere end i husholdningerne. Overordnet forudsættes det således, at virksomhederne indkøber marginalt dyrere husholdningsapparater, ligesom nogle installationer vil være dyrere grundet større kapacitet end i en normal villaejendom. De anvendte priser fremgår i tabellen nedenfor.

**Tabel 8.12: Prissætning for husholdningsapparater og -installationer (kr. inkl. moms)**

Type	Kroner inkl. moms
Kaffemaskine <sup>1</sup>	1.000
Elkedel <sup>2</sup>	350
Opvaskemaskine <sup>3</sup>	4.600
Vaskemaskine <sup>4</sup>	5.400
Varmtvandsbeholdere og -veksler <sup>5</sup>	22.000
Toiletter <sup>6</sup>	4.000
Vandhaner <sup>7</sup>	2.000
Afkarboniseringsanlæg (filtre) <sup>8</sup>	1.000

Kilde: Tidligere analyser, Foreningen af Producenter og Importører af Elektriske Husholdningsapparater, Forbrugerrådet Tænk, Pricerunner, interviews med VVS'ere og hvidevareproducenter og egne vurderinger.

Note: Estimaterne er afrundet til hele halvtredsere.

"1": Der er beregnet gennemsnitspris for kapsel- og espressomaskiner (1.200 kr.) og filtermaskiner (650 kr.). Dette ganges med antal solgte maskiner (kapsel-/espressomaskiner: 191.500 og filtermaskiner: 160.750) for at beregne gennemsnitspris.

"2": Der er beregnet gennemsnitspris for almindelige elkedler.

"3": Der er beregnet gennemsnitspris for fritstående opvaskemaskiner.

"4": Der er beregnet gennemsnitspris for alle typer af vaskemaskiner (frontbetjent, topbetjent mv.)

"6": Der er beregnet gennemsnitspris for standardinstallation. Installationsudgifter er inkluderet i gennemsnitspris. Prisen svarer til prisen i en etageejendom.

"7": Den beregnede gennemsnitspris er inklusiv installationsudgifter.

"8": Den beregnede gennemsnitspris er inklusiv installationsudgifter.

#### 8.3.4 Særligt vandforbrugende virksomheder

I det efterfølgende beskrives effekterne for de særligt vandforbrugende virksomheder. For hver af de identificerede brancher beskrives de potentielle effekter. De særligt vandforbrugende virksomheder indgår på brancheniveau i den samfundsøkonomiske analyse og indgår dermed på lige fod med de andre aktører i samfundet. Det skal bemærkes, at de særligt vandforbrugende virksomheder – udover konsekvenserne beskrevet nedenfor – også vil opleve de samme konsekvenser som de private og offentlige virksomheder.

### Erhvervsvaskerier

De danske erhvervsvaskerier omsætter årligt for 2,7 milliarder kroner og beskæftiger 2.700 fuldtidsansatte<sup>45</sup>. Vaskerierne strækker sig fra mindre vaskerier/reenserier til store centralvaskerier for landets sygehuse med egen vandforsyning. Generelt for hele branchen er, at vaskerierne anvender helt blødt vand, som blødgøres ved hjælp af ionbytning. Anvendelsen af helt blødt vand begrundes i et ønske om dels at mindske sliddet på maskinerne og dels for at spare på kemikalieforbruget.

Erhvervsvaskeriernes Brancheforening (BVT) har i samarbejde med Teknologisk Institut estimeret, at det årlige vandforbrug for hele branchen er ca. 1,64 millioner m<sup>3</sup> vand. I analysen er det endvidere kun relevant at medtage vaskerier (og dermed vandbrug), der får leveret vand fra de kommunale forsyningselskaber. På baggrund af desk research samt interviews med brancheorganisationen og repræsentanter fra branchen vurderes det, at ca. 1,20 millioner m<sup>3</sup> vand om året leveres fra kommunale forsyningssekslaber<sup>46</sup>. Størstedelen af dette vand benyttes til vask af tøj mm. I analysen antages det derfor, at 100 pct. af vandet blødgøres.

En central blødgøring af drikkevandet til en hårdhed på hhv. 6, 10 eller 14 °dH medfører imidlertid ikke, at erhvervsvaskerierne ikke selv skal blødgøre vandet yderligere. Dette skyldes, at vaskerierne, som tidligere beskrevet, anvender helt blødt vand (hårdhed på ca. 0 °dH). Effekten for erhvervsvaskerierne kan derfor isoleres til, at de kan forventes at anvende mindre salt til ionbytningsanlægget samt vandforbrug til regenerering af anlægget, da det modtagne vand er blødere end før den centrale blødgøring<sup>47</sup>.

En virksomhed, der i dag ligger i et område, hvor vandet har en hårdhed på 12 °dH og som i fremtiden vil modtage vand med en hårdhed på 6 °dH, vil således opleve, at deres saltforbrug og vand til regenerering halveres. I tabellen nedenfor fremgår forbruget af salt og vand ved varierende hårdhedsgrader.

Det antages, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dH kræver brug af 48 g. salt. Endvidere antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dH kræver 0,6 liter vand til regenerering af anlægget. Det forventede saltforbrug og vandforbrug pr. m<sup>3</sup>, der skal blødgøres for erhvervsvaskerier i forskellige hårdhedszoner, er illustreret i tabellen nedenfor.

**Tabel 8.13: Salt og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> ved at reducere vandets hårdhed til 0 for forskellige hårdhedszoner**

Hårdhedsniveau (°dH)	Saltforbrug kg/m <sup>3</sup>	Vandforbrug L/m <sup>3</sup>
<4	0,144	2,6
4-8	0,288	7,8
8-12	0,480	13,0
12-18	0,720	19,5
18-24	1,008	27,3
>24	1,152	31,2

Kilde: Interviews samt egne beregninger.

Note: Der er angivet gennemsnitsforbrug for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet forbruget ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på >24 °dH. er angivet forbruget ved 24 °dH.

For at beregne den potentielle besparelse for erhvervsvaskerierne er det endvidere nødvendigt at kende prisen på salt. I analysen anvendes en saltpris på 2.600 kr. pr. tons<sup>48</sup>.

For at kunne estimere effekten for vaskerierne er det nødvendigt at kende deres geografiske placering, da den eksisterende hårdhed i drikkevandet er forskellig. I bilag 2 er der angivet en fordeling af vaskerierne på kommuneniveau, som er baseret på branchekodedata fra Experian KOB-databasen.

<sup>45</sup> Erhvervsvaskeribranches årsrapport 2016.

<sup>46</sup> Grønt Nationalregnskab – DST.

<sup>47</sup> Der ses i analysen bort fra den eventuelle effekt af, at ionbytningsanlægget får en forlænget levetid. Denne effekt er behæftet med stor usikkerhed og det vurderes tvivlsomt, om der overhovedet vil være en reel effekt.

<sup>48</sup> Estimeret med udgangspunkt i priser oplyst fra vaskerierne. Prisen er lavere end listeprisen fra BWT, men for ikke at overvurdere besparelsen bruger vi et gennemsnit af de oplyste omkostninger fra vaskerierne.

Vaskeriernes besparelse skal ses i sammenhæng med den forventede stigning i vandprisen, der vil komme som konsekvens af den centrale blødgøring af drikkevandet. Den forventede prisstigning pr. m<sup>3</sup> vand afhænger dels af den nuværende hårdhed, hvilken hårdhedsgrad vandet efter den centrale blødgøring har, og hvilken teknologi der indføres på de enkelte vandforsyninger.

### Sygehuse

Der er ca. 45 offentligt ejede hospitaler i Danmark, hvoraf mange er sammenlagt i organisatoriske hospitalsenheder. Det offentlige udbud suppleres af ca. 20 privathospitaler, der i varierende grad er specialiseret i bestemte lidelses- og behandlingsområder. Sygehusene beskæftiger samlet over 106.000 fuldtidsansatte fordelt på læger, sygeplejesker og øvrigt sundhedsfagligt personale, samt diverse hjælpefunktioner såsom administration, hospitalsportører og maskinmestre.

Samlet forbruger sygehusene ca. 3,0 millioner m<sup>3</sup> vand om året<sup>49</sup>. Heraf indvinder sygehusene selv ca. 10 pct., så vandet kommer primært fra de kommunale forsyningsselskaber. Det er ca. halvdel af sygehusenes vandforbrug, der blødgøres, så sygehusene blødgør i alt ca. 1,5 millioner m<sup>3</sup> vand om året<sup>50</sup>.

Sygehusene anvender overordnet to metoder til blødgøring af vand: Blødgøring ved ionbytning og afkarboniseringsanlæg og omvendt osmose ved membranfiltrering. Sygehusene vil fortsat have behov for at blødgøre vandet, selvom vandet blødgøres centralt.

Ionbytning og mindre afkarboniseringsanlæg benyttes til formål, hvor der ikke er behov for "helt rent" vand (laborativand). Dette er fx til opvaskemaskiner i sygehusenes centrale køkkener, terapibade, dampkedler mv.

Der vil for ionbytningsanlæg være en besparelse i saltforbruget samt i vandforbruget til regenerering af anlægget, da blødere vand kræver mindre salt og vand til regenerering. For mindre afkarboniseringsanlæg kan der forventes en negativ effekt ved blødgøring, da kapaciteten af et afkarboniseringsanlæg afhænger af forholdet mellem hårdhed og alkalinitet. Denne effekt er dog medtaget i effekterne for virksomheder generelt, hvorfor den ikke medtages som en særlig effekt for sygehusene. På samme vis indgår effekter for almindelige husholdningsapparater i de generelle effekter.

En mindre del af det blødgjorte vand fra ionbytningsanlæg, ca. 1/3 af vandet svarende til 0,5 millioner m<sup>3</sup>, videreføres efterfølgende til omvendte osmoseanlæg. Her opnås der et mindre saltindhold og fuld kontrol med vandets mineralindhold. Behandlingen sker primært ved membranfiltreringsanlæg og vandet bruges primært til laboratorierelaterede opgaver og patientnære analyser, herunder autoklavering, endoskopiundersøgelser. Der vil ikke være signifikante effekter på omvendt osmoseanlæg ved blødgjort vand.

For sygehusene vil effekterne således vedrøre reduceret salt- og vandforbrug til ionbytningsanlæg. Der vil dermed være en besparelse i salt og vand til regenerering af størstedelen af de 1,5 millioner m<sup>3</sup> vand årligt, der primært blødgøres ved ionbytning. Derfor værdisættes der i analysen en besparelse i salt- og vandforbrug for blødgøring af 1,5 millioner m<sup>3</sup> vand årligt.

Reduktionen i salt- og vandforbrug til blødgøring i ionbytningsanlæg følger en lineær sammenhæng, hvor en halvering af hårdheden (fx fra 12 °dH til 6 °dH) vil medføre en halvering af saltforbruget til anlægget og vand til regenerering. Det antages, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 dH kræver brug af 48 g. salt. Endvidere antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dH kræver 0,6 liter vand til regenerering af anlægget. Det forventede saltforbrug og vandforbrug pr. m<sup>3</sup>, der skal blødgøres for hospitaler i forskellige hårdhedszoner, er illustreret i tabellen nedenfor.

<sup>49</sup> Danmarks Statistik: Indvinding og forbrug (Vandregnskab).

<sup>50</sup> Baseret på interviews og vandforbrug hos Odense Universitetshospital, Hospitalsenhed Midt og Amager og Hvidovre Hospital.



**Tabel 8.14: Salt- og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> ved at reducere vandets hårdhed til 0 for forskellige hårdhedszoner**

Hårdhedsniveau (°dH)	Saltforbrug kg/m <sup>3</sup>	Vandforbrug L/m <sup>3</sup>
<4	0,144	2,6
4-8	0,288	7,8
8-12	0,480	13,0
12-18	0,720	19,5
18-24	1,008	27,3
>24	1,152	31,2

Note: Der er angivet gennemsnitsforbrug for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet forbruget ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på >24°dH. er angivet forbruget ved 24 °dH.

For at beregne den potentielle besparelse for sygehusene er det endvidere nødvendigt at kende prisen på salt. For sygehuse anvendes samme saltpris som for erhvervsvaskerier – dvs. 2.600 kr. pr. tons.

For at beregne effekterne for sygehusene er det videre nødvendigt at kende deres geografiske placering i henhold til vandets hårdhedszoner. Herved kan der etableres en baseline for sygehuses nuværende hårdhed, hvorved beregning af effekterne ved blødgøring muliggøres. Sygehuses geografiske fordeling i hårdhedszoner fremgår af bilag 2.

Effekten på sygehusene skal ses i sammenhæng med den forventede stigning i vandprisen, der vil følge af en central blødgøring af vandforsyningen. Den forventede prisstigning pr. m<sup>3</sup> vand afhænger dels af den nuværende hårdhed, hvilken hårdhedsgrad vandet efter den centrale blødgøring har, og hvilken teknologi der indføres på de enkelte vandforsyninger.

#### Vaskehaller

Der findes ingen tilgængelig data for antallet af vaskehaller i Danmark, og det har heller ikke ved kontakt til brancheforeninger, ejere eller producenter af vaskehaller været muligt at opgøre antallet.

Brancheforeningen (Energi- og Olieforum) får årligt indrapporteret fra de enkelte kæder (fx OK) antallet af bilvaske i vaskehaller. I 2015 så man for første gang i flere år en stigning i antal bilvaske i vaskehaller, da der blev gennemført ca. 7,8 mio. bilvaske. Selvom udviklingen i 2015 kunne tyde på, at vandforbruget kan forventes at være stigende i de kommende år, blandt andet som følge af adskillige kampagner fra BRF og EOF m.fl. omkring de miljømæssige fordele, holdes niveauet i analysen konstant på 2015-niveau.

Vandforbruget i de enkelte vaskehaller afhænger i høj grad af, om vaskehallen er svanemærket eller ikke. De svanemærkede vaskehaller har et biologisk rensningsanlæg tilkøbet, som gør, at vandet kan renses og genanvendes. Da renselanlægget er biologisk, tilsættes der ingen kemikalier til processen. Til disse anlæg anvendes ca. 27 liter "nyt" vand per bilvask. For de ikke-svanemærkede vaskehaller er vandforbruget per vask noget højere – omkring 130 liter.

Hos OK er langt de fleste vaskehaller svanemærkede, og vaskehalsproducenten Washtec har også installeret biologiske renselanlæg hos blandt andet Circle K<sup>51</sup>. Det vurderes, at ca. 2/3 af vaskehallerne i Danmark har biologiske renselanlæg tilknyttet, hvilket giver et vægtet gennemsnitligt vandforbrug på 60 liter pr. vask. Ved at antage, at det gennemsnitlige vandforbrug pr. vask er 60 liter, svarer dette til et samlet vandforbrug på ca. 468.000 m<sup>3</sup> vand om året.

<sup>51</sup> <http://www.ok.dk/privat/hjaelp/bilen/bilvask/hvor-finder-jeg-den-naermeste-bilvaskehal>

I både de svanemærkede og de ikke-svanemærkede vaskehaller blødgøres vandet ned til en hårdhed på 0° dH. Dette gøres ved ionbytning med salte. Vaskehallerne får al deres vand fra kommunale forsyningselskaber.

En central blødgøring af drikkevandet til en hårdhed på hhv. 6, 10 eller 14 °dH medfører imidlertid ikke, at vaskehallerne ikke selv skal blødgøre vandet yderligere, da de som beskrevet ovenfor anvender vand med en hårdhed på 0° dH. Effekten for vaskehallerne kan derfor isoleres til, at de kan forventes at anvende mindre salt til ionbytningsanlægget samt mindre vandforbrug til regenerering af anlægget, da det modtagne vand er blødere end før den centrale blødgøring<sup>52</sup>.

Som for erhvervsvaskerierne antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dH kræver brug af 48 g. salt. Endvidere antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dH kræver 0,6 liter vand til regenerering af anlægget. Det forventede saltforbrug og vandforbrug pr. m<sup>3</sup>, der skal blødgøres for erhvervsvaskerier i forskellige hårdhedszoner, er illustreret i figuren nedenfor<sup>53</sup>.

**Tabel 8.15: Salt og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> ved at reducere vandets hårdhed til 0 for forskellige hårdhedszoner**

Hårdhedsniveau	Saltforbrug kg/m <sup>3</sup>	Vandforbrug L/m <sup>3</sup>
<4	0,144	2,6
4-8	0,288	7,8
8-12	0,480	13,0
12-18	0,720	19,5
18-24	1,008	27,3
>24	1,152	31,2

Kilde: Interview samt egne beregninger

Note: Der er angivet gennemsnitsforbrug for intervallerne. For intervallet 8-12 dH. er eksempelvis angivet forbruget ved 10 dH. For hårdhedsniveauer på >24 dH. er angivet forbruget ved 24 dH.

For at kunne estimere effekten for vaskehallerne er det nødvendigt at kende deres geografiske placering, da den eksisterende hårdhed i drikkevandet er forskellig. I bilag 2 er der angivet en fordeling af vaskehallerne på de enkelte hårdhedszoner, som er baseret på antallet af biler i hver enkelt kommune.

Effekten for vaskehallerne skal ses i sammenhæng med den forventede stigning i vandprisen, der vil følge af en central blødgøring af vandforsyningen. Den forventede prisstigning pr. m<sup>3</sup> vand afhænger dels af den nuværende hårdhed, hvilken hårdhedsgrad vandet efter den centrale blødgøring har, og hvilken teknologi der indføres på de enkelte vandforsyninger.

#### *Rensningsanlæg*

Rensningsanlæg påvirkes primært af central blødgøring ved, at forbruget af vaskemiddel, opvaskemiddel og rengøringsmiddel/afkalker falder. Disse produkter indeholder alle traditionelt set fosfor, som skal udfældes på renseanlægget ved brug af et fældningskemikalie, eks. jernklorid.

Disse stoffer skal dog, som følge af et EU-forbud der træder i kraft i 2017, begrænses til et absolut minimum<sup>54</sup>. Der forventes derfor udelukkende en marginal effekt i behovet for at udfælde fosfor på rensningsanlæggene ved en ændring i brugen af vaskemiddel samt rengøringsmiddel og dermed kun et lille fald i omkostninger til fældningskemikalier.

Da kalk fungerer som et hjælpestof til udfældning af fosfor, kan der dog som følge af en lavere hårdhed i vandet komme øgede omkostninger til kalk, som tilsættes vandet på renseanlægget i forbindelse med udfældning af fosfor.

Der er derved to modsatrettede effekter, i og med at mængden af fosfor falder ved mindsket hårdhed i drikkevandet, men udgiften til fældning af fosfor potentielt stiger ved mindsket hårdhed.

<sup>52</sup> Der ses i analysen bort fra den eventuelle effekt af, at ionbytningsanlægget får en forlænget levetid. Denne effekt er behæftet med stor usikkerhed, og det vurderes som tvivlsomt, om der overhovedet vil være en reel effekt.

<sup>53</sup> For vaskehaller anvendes en saltpris på 2.600 kr. pr. ton.

<sup>54</sup> MST - <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/kemikalier/regulering-og-regler/faktaark-om-kemikalierreglerne/vaske-og-rengoeringsmidler/>

I analysen medtages derfor ingen effekt for renseanlæg ved central blødgøring af drikkevandet.

#### Fjernvarmeværkerne

Fjernvarmeværkerne i Danmark forsyner over 1,6 mio. boliger og ca. 3,5 mio. danskere med varme<sup>55</sup>. I selve varmeproduktionen og –forsyningen indgår store mængder vand. Dette skyldes, at der løbende spædes vand til distributionsnettet for at kompensere for ledningstab (fordampning og utætheder). Dette vand blødgøres ned til 0 °dH inden brug, bl.a. for at mindske korrosion af rør og belægninger af kalk i kedler og varmevekslere.

Det årlige forbrug af spædevand er 1,1 mio. m<sup>3</sup>, og værkerne indvinder selv kun en meget lille og aftagende mængde heraf<sup>56+57</sup>. Vi antager derfor i analysen, at hele vandmængden kommer fra den kommunale vandforsyning.

Da fjernvarmeværkerne allerede har decentrale blødgøringsanlæg, som fjerner al hårdhed i vandet, vil central blødgøring af drikkevandet ned til en hårdhed på 6, 10 eller 14 °dH ikke føre til, at den decentrale blødgøring kan undværes.

Gennem interviews med repræsentanter fra branchen og brancheforeningen vurderes det, at størstedelen af værkerne anvender ionbytning til blødgøring<sup>58</sup>. Derfor ligger effekten på fjernvarmeværkerne i forbruget af salt til disse anlæg samt vandforbrug til regenerering af anlæggene.

I analysen antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dH kræver brug af 48 g. salt. Endvidere antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dH kræver 0,6 liter vand til regenerering af anlægget. Det forventede saltforbrug og vandforbrug pr. m<sup>3</sup>, der skal blødgøres for fjernvarmeværkerne i forskellige hårdhedszoner, er illustreret i figuren nedenfor.<sup>59</sup>

**Tabel 8.16: Salt og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> ved at reducere vandets hårdhed til 0 for forskellige hårdhedszoner**

Hårdhedsniveau	Saltforbrug kg/m <sup>3</sup>	Vandforbrug L/m <sup>3</sup>
<4	0,144	2,6
4-8	0,288	7,8
8-12	0,480	13,0
12-18	0,720	19,5
18-24	1,008	27,3
>24	1,152	31,2

Kilde: Interview samt egne beregninger

Note: Der er angivet gennemsnitsforbrug for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet forbruget ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på >24 °dH. er angivet forbruget ved 24 °dH.

For at kunne estimere effekten for fjernvarmeværkerne er det nødvendigt at kende deres geografiske placering, da den eksisterende hårdhed i drikkevandet er geografisk forskellig. I bilag 2 angives en fordeling af vaskehallerne på kommuneniveau, som er baseret på indberettet spædevand for hvert enkelt værk. Det er i fordelingen på kommuneniveau antaget, at værket forsyner den kommune, de har postadresse i.

Effekten for fjernvarmeværkerne skal ses i sammenhæng med den forventede stigning i vandprisen, der vil følge af en central blødgøring af drikkevandet. Den forventede prisstigning pr. m<sup>3</sup> vand afhænger dels af den nuværende hårdhed, hvilken hårdhedsgrad vandet har efter den centrale blødgøring, og hvilken teknologi der indføres på de enkelte vandforsyninger.

<sup>55</sup> Dansk Fjernvarme

<sup>56</sup> Dansk Fjernvarmes benchmarking nøgletal (2015)

<sup>57</sup> DST Indvinding og vandforbrug (2014)

<sup>58</sup> Nogle værker anvender i tillæg omvendt osmose til at fjerne andre stoffer fra vandet, samt afiltning, men da vandet blødgøres inden, er disse processer uafhængige af hårdheden

<sup>59</sup> I analysen anvendes en saltpris på 2.600 kr. pr. ton.

### *Svømmehaller*

I Danmark er der ca. 150 offentlige og private svømmehaller og -bade fordelt i hele landet. Disse har meget varierende størrelser, faciliteter og anvendelsesmønstre - fra små lokale bade til store anlæg med flere bassiner, rutsjebaner og spa-faciliteter.

Svømmehallerne filtrerer alt vand, der benyttes til svømmefaciliteter. Filtreringen sker eksempelvis ved UV-filtrering og foretages med henblik på desinficering og udfældning af urenheder. Herved opnås en vandkvalitet, der ikke kompromitterer besøgendes hygiejne. En central blødgøring af vandet vil ikke påvirke svømmehallernes behov for filtrering af hygiejnehensyn. Derfor vil der ikke være en effekt på det generelle filtreringsbehov. På baggrund af dialog med en række svømmehaller og -bade vurderes det endvidere, at mindre kalk i vandet ikke vil påvirke cirkulationspumper mv. Der vurderes ligeledes ikke at være en signifikant effekt på levetiden og rengøringsbehovet for svømmehallernes installationer.

I svømmehaller, der selv producerer klor, vil der som oftest være et mindre ionbytningsanlæg tilkoblet klorelektrolyseanlægget. Effekten for disse anlæg vil være begrænset. Endvidere har enkelte svømmehaller i dag et ionbytningsanlæg installeret til at forsyne brusere, dampbade og lign. med blødt vand. Det vurderes dog at være et begrænset antal, hvorfor effekten for disse anlæg ikke medtages.

Da svømmehallerne foretager daglig almindelig rengøring af hygiejniske hensyn, vil der ikke umiddelbart være besparelse på rengøring. Der kan for svømmehallerne være en mindre besparelse i form af reduceret rengøring af brusehoveder, brusekabiner og vandhaner (perlatorer). Det vurderes dog, at besparelsen er begrænset, hvorfor der ikke medtages konsekvenser for svømmehaller i analysen.

### *Hoteller og konferencecentre*

I Danmark består hotelbranchen af ca. 52.000 værelser fordelt på 738 hoteller og med en samlet omsætning på ca. 11 milliarder om året fordelt på 14 millioner overnatninger. Der findes 128 kursus- og konferencecentre med en omsætning på knap 2 milliarder kr.<sup>60</sup>.

Branchen bruger samlet ca. 3,3 millioner m<sup>3</sup> vand om året, hvoraf ca. 100.000 m<sup>3</sup> hentes op fra egen forsyning, og resten købes ved en central vandforsyning<sup>61</sup>. Det er i dag udelukkende kun vand til brug i køletårne og køkkenmaskiner (vaskemaskiner, kaffemaskiner mm.), der blødgøres. Denne blødgøring sker i decentrale anlæg ved de enkelte maskiner, og der avendes forskellig teknologi, hvor alt fra afkarbonisering i kaffemaskiner til mindre omvendt osmoseanlæg til brug i deres køletårne

Der foreligger ingen eksisterende analyser af effekterne for hotel- og konferencecentre ved en central blødgøring af drikkevandet. Der foreligger endvidere ingen overvejelser om de potentielle effekter fra brancheforeningens side. Det efterfølgende er derfor udelukkende baseret på interviews med rengørings-, teknik- og driftspersonale samt udtalelser fra ledelsen på en række hoteller.

Hotellerne mener selv, at de kan få stor gavn af en eventuel blødgøring i form af mindsket rengøring, slid, afkalkning af brusere og vandhaner, udskiftning af inventar på badeværelser mm. Hotellerne har dog svært ved at kvantificere den faktiske besparelse, men nævner, at de bruger meget tid på rengøring som konsekvens af kalkindholdet. Afkalkning af alle brusehoveder 1-2 gange årligt for hoteller i samme kæde i områder med hårdt vand mod omkring 1 gang for hoteller i områder med blødt vand. En af de større besparelser vil fremkomme ved mindsket afkalkning af brusehovederne. Der findes i Danmark 52.000 værelser, hvoraf ca. 70 % ligger i zonerne 'temmelig hårdt' til 'meget hårdt'.<sup>62</sup> Man vurderer derfor, at man kan afkalke brusehovederne mindre hyppigt og derved spare både tid og rengøringsmiddel på ca. 36.400 værelser.

<sup>60</sup> Disse tal er indhentet fra Danmarks statistik og omhandler kun hoteller med over 40 senge.

<sup>61</sup> Danmarks Statistik - Grønt nationalregnskab

<sup>62</sup> Egen analyse med udgangspunkt i data fra Experian KOB database og GEUS Jupiter

En yderligere besparelse vil opstå i form af deres RO blødgøringsanlæg med ionbytning kombineret med omvendt osmose. Her vil de kunne mindske forbruget af salt og regenereringsvand. Dog er den mængde, de bruger i forvejen så lille, at de ikke helt har styr på, hvor stor udgiften samt forbruget er.

Nogle kæder overvejer i øjeblikket at investere i blødgøringsanlæg, hvilket muligvis kan undgås, hvis vandet, der modtages, er blødere.

#### *Medicinalindustrien*

Medicinalindustrien er baseret på relativt få men meget store aktører. Den danske brancheorganisation for lægemiddelsproducenter, LIF, repræsenterer 34 danske såvel som udenlandske forskningsbaserede lægemiddelsvirksomheder, hvilket dækker omkring 95 % af branchen i Danmark. Størstedelen af den medicin, der sælges i Danmark, er ikke produceret i Danmark, hvorved omsætningen for medicinindustrien er et dårligt mål for produktionen. I stedet kan eksporten bruges som et mål for produktionen, da der jf. LIF ca. 99 % af den samlede danske produktion eksporteres. Eksporten er på 85,7 mia. kr.

Jævnfør Danmarks Statistik har medicinalindustrien et vandforbrug på ca. 3,6 millioner m<sup>3</sup> vand om året, hvoraf de selv pumper ca. 100.000 m<sup>3</sup> op<sup>63</sup>. Det har ikke været muligt at få oplyst hvor meget blødgjort vand, de enkelte producenter benytter i produktionen. Grunden hertil er, at producenterne konkurrerer på kapacitet, og mængden af forbrugt blødt vand vil kunne bruges som mål for kapaciteten. Det har dog været muligt at få bekræftet tidligere oplyste tal fra nogle deltagere i branchen, som fortæller, at ca. 50 % blødgøres til brug i produktion og forskning.

I medicinalindustrien anvendes en blødgøringsteknologi, der er mere avanceret end standardmetoderne som fx ionbytning. Producenterne har i deres produktion brug for den helt rigtige sammensætning af vandet og benytter sig af teknologien Water For Injection (WFI).

Producenterne oplyser, at en central blødgøring af drikkevandet vil medføre meget begrænsede effekter for denne proces. De forventer derfor ingen effekt ved en central blødgøring på de eksisterende anlæg. Producenterne nævner dog, at der i forbindelse med opbygning af nye produktionsfaciliteter formentligt vil være en effekt af blødere drikkevand. Det har imidlertid ikke været muligt at estimere denne effekt, hvorfor den ikke værdisættes i analysen.

#### *Bryggerier*

De danske bryggerier har en samlet produktion på ca. 0,6 mio. m<sup>3</sup> øl og ca. 0,5 mio. m<sup>3</sup> læskedrik. I denne produktion forbruges store mængder vand. Der bruges fx mellem 3,2 og 8,8 liter vand per produceret liter øl, hvoraf 1,2 liter indgår direkte i produktet<sup>66</sup>. Dette svarer til, at der i dag anvendes ca. 5,6 mio. m<sup>3</sup> vand i drikkevareindustrien.

En del af det anvendte vand stammer imidlertid fra egne vandforsyninger, og ifølge Danmarks Statistik udgør dette ca. 20 pct.<sup>67</sup> Der er imidlertid store forskelle mellem de enkelte bryggerier. Fx modtager Carlsberg under halvdelen af deres vand fra den kommunale vandforsyning.

Der findes ingen samlet opgørelse over hvor stor en del af vandet, de enkelte bryggerier blødgør, og hvilken teknologi, der benyttes dertil. Igennem interviews med brancheforeningen, de større danske bryggerier og desk research vurderes det dog, at stort set alle bryggerier blødgør deres vand decentralt.

Endvidere vurderes det, at de større bryggerier i Danmark primært anvender omvendt osmose til blødgøring af vand. En undtagelse er dog Carlsberg, der i dag blødgør deres vand ved brug af ultralyd. En central blødgøring af drikkevandet vil ikke have nogen effekt på bryggeriernes blødgø-

<sup>63</sup> Danmarks Statistik – Grønt regnskab

<sup>64</sup> Bryggeriforeningen – tal om øl

<sup>65</sup> Interviews med repræsentanter fra branchen

<sup>66</sup> Miljøstyrelsens branchestandard (2015)

<sup>67</sup> DST - VANDRG2 (2015)

ring, da driftsomkostningerne for både ultralyds- og omvendt osmoseteknologien ikke afhænger af drikkevandets hårdhed.

De fleste mikrobryggerier anvender ionbytning, og der vil ved denne teknologi jf. tidligere afsnit være en ændring i saltforbrug og vand til regeneration ved en central blødgøring af drikkevandet. Det har ikke været muligt at opgøre vandforbruget separat for mikrobryggerierne, men det vurderes, at deres samlede vandforbrug er begrænset, hvorfor effekterne for disse ikke værdisættes i analysen.

### Slagterier

I fødevarerindustrien stilles der store krav til kvaliteten af procesvandet. Lovgivningen inden for fødevarer- og veterinærområdet kræver bl.a., at slagterierne anvender vand af drikke kvalitet. Slagteribranchen opdeles typisk i svineslagteri, kreaturslagteri og fjerkræslagteri. Herudover er der mindre slagterier, der foretager slagting af bl.a. heste, får, lam osv.<sup>68</sup>

I en procesindustri som slagteri anvendes store mængder af vand til rengøring i slagteprocessen, køleanlæg, den daglige rengøring mv. Vandets hårdhed har derfor betydning både for den optimale rengøring i slagteprocessen og i forhold til, hvorvidt den daglige rengøring efterlader aflejringer af kalk på udstyr og fliser.

Det estimeres, at den samlede slagteribranche forbruger cirka 5,92 millioner m<sup>3</sup> vand per år<sup>69</sup>. Lidt under halvdelen af vandet kommer fra de kommunale forsyningsselskaber<sup>70</sup>. Slagterierne blødgør cirka 15 pct.<sup>71</sup> af deres vand. Dette drejer sig primært om det vand, der anvendes til fremstilling af varmt vand og vandforsyning til kondensatorer på køleanlæg. Vand til almindeligt forbrug og rengøring blødgøres ikke. Danish Crown undersøgte i 2012 mulighederne for at reducere kemikalieforbruget ved at anvende blødgjort vand til rengøring.<sup>72</sup> Det skal bemærkes, at Danish Crown efterfølgende har valgt ikke at implementere dette.

Den andel af vandet, som slagterierne blødgør, svarer således til cirka 0,9 millioner m<sup>3</sup> vand per år. En central blødgøring af drikkevandet til enten 6 °dh, 10 °dh eller 14 °dh vil ikke ændre på slagteriernes behov for at blødgøre dele af deres vand, da den ønskede hårdhed er tæt på 0°dh.

Slagterierne anvender typisk ionbytning til blødgøring af vand. Det betyder, at de 0,9 millioner m<sup>3</sup> vand per år, der skal blødgøres, passerer igennem et ionbytningsanlæg. Der vil for ionbytningsanlæg være en besparelse i saltforbruget samt i vandforbruget til regenerering af anlægget, da blødere vand kræver mindre salt og vand til regenerering.

For slagterierne vil effekten forbundet med en central blødgøring af drikkevand således primært vedrøre reduceret salt- og vandforbrug til ionbytningsanlæg. Herudover vil en blødgøring af vandet potentielt betyde en reduktion i kemiforbruget forbundet med rengøring, hvilket kan lede til en væsentlig besparelse.

Reduktionen i salt- og vandforbrug til blødgøring i ionbytningsanlæg følger en lineær sammenhæng, hvor en halvering af hårdheden (eks. fra 12 °dh til 6 °dh) medfører en halvering af saltforbrug til anlægget og vand til regenerering. Det antages, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dh kræver brug af 48 g. salt. Endvidere antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dh kræver

<sup>68</sup> "Industriens vandforbrug og indholdsstoffer i spildevand fra udvalgte virksomheder fordelt på brancher, 2015. Miljø- og fødevarerministeriet, miljøstyrelsen.

<sup>69</sup> Tal fra "Industriens vandforbrug og indholdsstoffer i spildevand fra udvalgte virksomheder fordelt på brancher, 2015. Miljø- og fødevarerministeriet, miljøstyrelsen. Beregnet på baggrund af Danmarks Statistiks oplysninger om antallet af slagtinger, samt oplysninger om vandforbrug per slagtet dyr.

<sup>70</sup> DST – VANDRG2 (2015)

<sup>71</sup> Denne andel varierer med slagteritypen. I svineslagterier drejer det sig om 15-20 pct., mens fjerkræslagterier blødgør cirka 5 pct. af vandet

<sup>72</sup> Ifølge "Grønt regnskab Danish Crown 2011/2012" undersøges det om blødgøring af rengøringsvandet potentielt kan reducere kemiforbruget.

0,6 liter vand til regenerering af anlægget. Det forventede salt- og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> vand, der skal blødgøres i forskellige hårdhedszoner er illustreret i figuren nedenfor<sup>73</sup>.

**Tabel 8.17: Salt og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> ved at reducere vandets hårdhed til 0 for forskellige hårdhedszoner**

Hårdhedsniveau	Saltforbrug kg/m <sup>3</sup>	Vandforbrug L/m <sup>3</sup>
<4	0,144	2,6
4-8	0,288	7,8
8-12	0,480	13,0
12-18	0,720	19,5
18-24	1,008	27,3
>24	1,152	31,2

Note: Der er angivet gennemsnitsforbrug for intervallerne. For intervallet 8-12 °dH. er eksempelvis angivet forbruget ved 10 °dH. For hårdhedsniveauer på >24 °dH. er angivet forbruget ved 24 °dH.

For at kunne estimere effekten for slagterierne er det nødvendigt at kende deres geografiske placering, da den eksisterende hårdhed i drikkevandet er forskellig. I bilag 2 er der angivet en fordeling af slagterierne på kommuneniveau. Denne fordeling er baseret på antallet af slagterier, der ligger i de forskellige hårdhedszoner, fundet i Experian KOB database.

Effekten for slagterier skal ses i sammenhæng med den forventede stigning i vandprisen, der vil følge af en central blødgøring af vandforsyningen. Den forventede prisstigning pr. m<sup>3</sup> vand afhænger dels af den nuværende hårdhed, hvilken hårdhedsgrad vandet efter den centrale blødgøring har, og hvilken teknologi der indføres på de enkelte vandforsyninger.

#### Mejerier

Mejeribranchen i Danmark består af flere mindre mejerier samt ét mejeri, der er blandt de største i verden. Mejerierne har en bred variation af produktstrømme, der strækker sig fra gængse mælkeprodukter såsom mælk, fløde, syrnede produkter, smør og ost, over specialiteter til mælkebase-rede ingredienser. Mejeriernes processer varierer med produkttype, men generelt kræver produktionen rent vand i forskellige kvaliteter. Typisk er drikkevandskvaliteten ikke tilstrækkelig til at kunne indgå direkte i produktionen. En stor mængde vand anvendes til kondensatorer på køleanlæg, kølevand, varmevekslere og centrifuger. Det er væsentligt, at vandet, der anvendes til disse dele, er blødgjort, da der ellers vil opstå kalkbelægninger.

Det estimeres, at den samlede mejeribranche forbruger cirka 6,65 millioner m<sup>3</sup> vand per år<sup>74</sup>. Ca. 57 pct. af vandet kommer fra de kommunale forsyningsselskaber<sup>75</sup>. Mejerierne blødgører cirka 20 pct. af deres vand, hvilket svarer til, at ca. 0,75 millioner m<sup>3</sup> vander fra de kommunale vandforsyninger blødgøres hvert år<sup>76</sup>.

Der kunne potentielt være en effekt for mejerierne i forbindelse med anvendelse af blødt vand til rengøring af udstyr og lign. Ingen af mejerierne har dog lavet undersøgelser af disse potentialer, da de vurderes at være marginale.

En centralblødgøring af drikkevandet til enten 6 °dh, 10 °dh eller 14 °dh vil ikke ændre på mejeriernes behov for at blødgøre dele af deres vand, da ønsket er en hårdhed tæt på 0 °dh.

Mejerierne anvender typisk ionbytning til blødgøring af vand. Det betyder, at de ca. 0,75 millioner m<sup>3</sup> vand pr. år, der skal blødgøres, passerer igennem et ionbytningsanlæg. Der vil for ionbytningsanlæg være en besparelse i saltforbruget samt i vandforbruget til regenerering af anlægget, da blødere vand kræver mindre salt og vand til regenerering.

<sup>73</sup> I analysen anvendes en saltpris på 2.600 kr. pr. ton.

<sup>74</sup> Tal fra "Industriens vandforbrug og indholdsstoffer i spildevand fra udvalgte virksomheder fordelt på brancher", 2015. Miljø- og fødevarerministeriet, miljøstyrelsen. Rapportens oplysninger om vandforbruget er fundet via grønne regnskaber og miljøberegninger.

<sup>75</sup> DST – VANDRG2 (2015)

<sup>76</sup> Dette er ved at blive valideret.

I mejeriernes produktion er der et behov for, at en mindre del af det blødgjorte vand demineraliseres. Denne viderebehandling sker vha. et omvendt osmose-anlæg (RO-anlæg). Her anvendes en membranteknologi til fremstilling af demineraliseret vand. Dette anvendes bl.a. som spædevand til dampkedler og det laboratorierelaterede arbejde. Det antages, at der ikke vil være signifikante effekter på omvendt osmoseanlæg ved en central blødgøring af drikkevandet.

For mejerierne vil effekten forbundet med en central blødgøring af drikkevand således primært vedrøre reduceret salt og vandforbrug til ionbytningsanlæg. Herudover vil en blødgøring af vandet potentielt betyde en reduktion i kemiforbruget til rengøring, hvilket kan lede til en væsentlig besparelse.

Reduktionen i salt- og vandforbrug til blødgøring i ionbytningsanlæg følger en lineær sammenhæng, hvor en halvering af hårdheden (eks. fra 12 °dh til 6 °dh) medfører en halvering af saltforbrug til anlægget og vand til regenerering. Det antages, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dh kræver brug af 48 g. salt. Endvidere antages det, at blødgøring af 1 m<sup>3</sup> vand med 1 °dh kræver 0,6 liter vand til regenerering af anlægget. Det forventede salt- og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> vand, der skal blødgøres i forskellige hårdhedszoner, er illustreret i figuren nedenfor.

**Tabel 8.18: Salt og vandforbrug pr. m<sup>3</sup> ved at reducere vandets hårdhed til 0 for forskellige hårdhedszoner**

Hårdhedsniveau	Saltforbrug kg/m <sup>3</sup>	Vandforbrug L/m <sup>3</sup>
<4	0,144	2,6
4-8	0,288	7,8
8-12	0,480	13,0
12-18	0,720	19,5
18-24	1,008	27,3
>24	1,152	31,2

Note: Der er angivet gennemsnitsforbrug for intervallerne. For intervallet 8-12 °dh. er eksempelvis angivet forbruget ved 10 °dh. For hårdhedsniveauer på >24 °dh. er angivet forbruget ved 24 °dh.

For at kunne estimere effekten for mejerierne er det nødvendigt at kende deres geografiske placering, da den eksisterende hårdhed i drikkevandet er forskellig rundt om i landet. I bilag 2 angives en fordeling af mejerierne på kommuneniveau. Denne fordeling er baseret på antallet af mejerier, der ligger i de forskellige hårdhedszoner, fundet i Experian KOB database.

Effekten for mejerierne skal ses i sammenhæng med den forventede stigning i vandprisen, der vil følge af en central blødgøring af vandforsyningen. Den forventede prisstigning pr. m<sup>3</sup> vand afhænger dels af den nuværende hårdhed, hvilken hårdhedsgrad vandet efter den centrale blødgøring har, og hvilken teknologi der indføres på de enkelte vandforsyninger.

### Landbrug

De danske landbrug er i dag en stor forbruger af vand – særligt i forbindelse med markvanding og væske til dyrene. Landbruget anvender i dag en kombination af vand fra de kommunale værker, vand fra egne borer og markvand. De lokale vandforsyninger modtager i stigende grad henvendelser fra landmænd, som ønsker at blive frakoblet det lokale vandværk<sup>77</sup>.

Landbruget anvender i dag ikke blødgjort vand, og der forventes ingen betydelige konsekvenser ved en central blødgøring af drikkevandet. Dog peges der på, at mælkeproducenterne kan opleve en effekt i forbindelse med tilkalkning af mælkeroboter. Det har imidlertid ikke været muligt at kvantificere eller værdisætte den effekt, hvorfor den ikke medtages i den samfundsøkonomiske analyse.

I forbindelse med blødgøringen af drikkevandet tilsættes en række kemikalier (fx natriumhydroxid) til vandet. Det vurderes dog ikke, at dette vil have nogle konsekvenser for de økologisk land-

<sup>77</sup> Danske vandforsyninger: Vandposten, november 2016



mænd, da vandet fortsat lever op til kravene om drikkevand. Endvidere er drikkevand ikke et område, der er reguleret i forhold til at opnå økologimærkningen<sup>78</sup>.

#### *Gartnerier*

De danske gartnerier fremstiller en bred variation af produkter såsom pryddplanter, væksthuse og frilandsgrøntsager, planteskoleprodukter samt snitblomster og grønt. Vandbehov og kravene til vandkvalitet varierer med produkttypen. Det vurderes af DANVA<sup>79</sup>, at et dansk gartneri, der har blandede afgrøder på friland, forbruger mellem 1.000-1.500 m<sup>3</sup> pr. år per hektar, mens et dansk gartneri med blandede afgrøder i væksthuse benytter 1,0-1,5 m<sup>3</sup> pr. år pr. m<sup>2</sup>.

Andelen af det anvendte vand, der kommer fra de kommunale vandforsyninger, varierer mellem gartnerier. På baggrund af interviews med branchen kan det konstateres, at nogle gartnerier anvender 100 pct. regnvand, mens andre anvender 100 pct. drikkevand. Det vurderes dog, at gennemsnitligt ca. 80 pct. af det anvendte vand er regnvand, mens ca. 20 pct. er drikkevand, der leveres fra de kommunale forsyningsselskaber.

De danske gartnerier blødgør generelt ikke det vand, de anvender, men foretager en vandbehandling, der er tilpasset den enkelte produktions gødningsplaner. Den ændring, der følger af en central blødgøring af drikkevandet, vil uanset den opnåede blødhed medføre, at gartnerierne er nødt til at omlægge deres gødningsplaner - selv i de tilfælde, hvor kun en lille del af det samlede forbrugsvand kommer fra forsyningsselskaberne. På baggrund af interviews vurderes det, at ændringer i gødningsplanen vil koste ca. 1.200 kr. pr. kultur, gartneriet har. For hver kultur, skal der foretages en gødningsplansændring. Antallet af kulturer varierer mellem gartnerierne, men gennemsnitligt vil de hver have 5 til 6 stk. Der vil herudover for nogle gartnere være ekstra udgifter forbundet med jordanalyser, der skal følge op på de ændringer, der foretages.

Effekten for gartnerierne kan derfor isoleres til den engangsudgift, der er forbundet med en forventelig omlægning af gødningsplaner og efterfølgende jordanalyser. Dette følger som en direkte konsekvens af, at det modtagne vand er blødere end det, den oprindelige produktion var tilrettelagt omkring<sup>80</sup>. Denne omkostning har ikke været mulig at estimere og indgår derfor ikke i analysen.

#### *Øvrige fødevarerproducenter*

Der er udover de ovenfor nævnte brancher en række fødevarerproducenter, der anvender vand direkte i produktionen af deres produkter. Produktionen hos fødevarerproducenterne er meget varieret lige fra juice og saftvand over diverse kødprodukter til morgenmads-, konfekt- og bageriprodukter.

For producenter af fødevarer er det afgørende, at der er stor kontrol med vandets mineralindhold og generelle kvalitet, da det indgår direkte i produkterne. Dette er dels i kraft af levedsmiddel- og bakteriehensyn dels i kraft af, at smagsvariationer i vandet ikke skal give sig udslag i produkternes smag. Derfor behandler langt de fleste fødevarerproducenter vandet, der indgår direkte i produktionen.

Det er forskel på, hvilke metoder fødevarerproducenterne anvender til at blødgøre vandet, ligesom graden af blødgøring varierer. De enkelte vandbehandlingsanlæg er lavet, så de imødekommer den enkelte virksomheds helt specifikke behov. Der vurderes generelt ikke at være en effekt for fødevarerproducenter, der blødgør vandet, da der fortsat vil være behov for behandling af vandet, før det indgår i fødevarerproduktion.

Derfor vil den primære effekt være den forøgede vandpris, der følger af central blødgøring af vandet. For enkelte ionbytningsanlæg kan der være en besparelse i salt og vand til regeneration, men denne effekt vurderes for usikker til at værdisætte i den samfundsøkonomiske analyse.

<sup>78</sup> Baseret på drøftelser med Økologisk Landsforening

<sup>79</sup> <http://www.hfb.dk/fileadmin/templates/hfb/dokumenter/beregning/Vandforbrug.pdf>

<sup>80</sup> Der ses i analysen bort fra eventuelle effekter af ændringen i gødningsplanerne, fx ift. øget eller mindsket tilsætning. Denne effekt er behæftet med stor usikkerhed, og det vurderes som tvivlsomt, om der overhovedet vil være en reel effekt.

Der er enkelte fødevarereproducenter, som anvender drikkevand direkte i deres produktion. Et eksempel herpå er Toms Gruppens produktionsanlæg i Ballerup, hvor der produceres chokolade- og sukkervarer. Her indgår vand fra den offentlige forsyning direkte i produktionen af en række produkter såsom chokolade, marcipan og marmelade<sup>81</sup>. I sådanne tilfælde kan der være en udgift til evt. afdækning af konsekvenser for og tilpasning af opskrifter, da ændringer i mineralsammensætningen i vandet kan medføre smagsforskydninger.

### 8.3.5 Den generelle sundhedstilstand

Det må konkluderes, at den samlede sundhedsmæssige effekt af blødgøring må anses for begrænset. Styrelsen for Patientsikkerhed bekræfter, at danskernes mineralindtag via kosten generelt er højt, hvilket medvirker til, at et reduceret mineralindtag fra vandet ikke vurderes at være en væsentlig faktor for sundheden i Danmark.

Det er endvidere bemærket, at sundhedseffekter ikke er afdækket eller lagt til grund for overvejelser om blødgøring af vand i lande, der er sammenlignelige med Danmark. Eksempelvis har Tyskland og Belgien, der skønnes at have lignende ernæringsmæssige forhold og samme holdning til den ernæringsmæssige værdi af mineralindtaget via drikkevandet som Danmark, baseret beslutningen om blødgøring af vandet på en række studier, der afdækker konsekvenser for samfund, miljø og økonomi. Det er i disse lande ikke fundet nødvendigt at afdække sundhedsmæssige konsekvenser forud for beslutningen om central blødgøring<sup>1</sup>.

I Holland er sundhedseffekterne i nogen grad blevet undersøgt i forbindelse med implementeringen af central blødgøring af vand. Her er det dog primært positive sundhedseffekter, der er undersøgt. Eksempelvis er det påvist, at kobber- og blykoncentrationen i drikkevandet er reduceret ved blødgøring, da kobber og bly fra distributionssystemerne i mindre grad opløses i det blødgjorte vand. Denne effekt er ikke relevant i Danmark, da langt de fleste rør er af plastik.

I forbindelse med denne undersøgelse har Styrelsen for Patientsikkerhed fremhævet, at selvom der for normalbefolkningen ikke skønnes at være en sundhedsmæssig effekt af blødgøringen af drikkevandet, kan der være et informationsbehov rettet imod eksempelvis borgere, der i forvejen har et lavt mineralindtag og sundhedspersonale, der er i kontakt med udsatte grupper, da sundhedsmæssig information til disse grupper, kan blive nødvendigt. I forbindelse med en central blødgøring af drikkevandet kan man derfor med fordel udarbejde informationsmateriale til fx sundhedspersonalet i kommunerne og borgerne om, at blødgøringen kan forværre en eksisterende underskudstendens for risikogrupper.

På baggrund af de store usikkerheder ved opgørelsen af sundhedseffekterne, kvantificeres og værdisættes disse ikke i analysen. Styrelsen for Patientsikkerhed er enige i denne vurdering.

### 8.3.6 Øvrige effekter

De øvrige effekter skyldes som beskrevet ændringer i energiforbruget og deraf tilhørende ændringer i emissioner af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser. Endvidere kan der forventes en positiv miljøeffekt pga. et lavere forbrug af rengøringsmiddel mv. Disse opgøres og værdisættes efter de gældende retningslinjer og er nærmere beskrevet i afsnit 9.1.5.

I vurderingen af risikoen ved den anvendte metode er det væsentligt at vurdere på den faktiske konsekvens ved en fejl på anlægget. Kan en fejl medføre, at der sendes skadelige stoffer ud til forbrugerne, eller vil det være uskadelige stoffer, som påvirker anvendeligheden? For eksempel vil der ved pellet-anlæg kunne sendes vand med forhøjet PH-værdi samt med øget indhold af natrium- eller calciumhydroxid ud til forbrugerne. Selvom der vil ske en vis opblanding med ikke blødgjort vand, vil konsekvensen være så alvorlig, at der skal sættes særligt store sikkerheds- og forsigtighedsforanstaltninger i værk for at hindre et sådant tilfælde. Problematikken omkring udledning af basisk vand kan tillige have betydning for hvor i vandbehandlingen, blødgøringen placeres. Med en placering før efterfilteret vil udledning af basisk vand kunne ødelægge den biologiske man-

<sup>81</sup> Deloitte 2015: Samfundsøkonomisk analyse af central blødgøring af vand på Forsyning Ballerups værker samt bekræftet efterfølgende af Toms i forbindelse med denne analyse.

ganfjernelse i filteret, hvilket er vanskeligt at genoprette. En placering efter efterfilteret er derfor at foretrække, men kræver i så fald en ekstra filtrering.

Ved ionbytning er forholdet anderledes, i det en fejl i anlægget vil bevirke, at der vil kunne blive sendt en fortyndet saltlage ud til forbrugerne, hvormed konsekvensen er langt mindre for forbrugerne. Dette må naturligvis ikke bevirke, at der slækkes på sikkerheden, men alene indgå i overvejelserne ved valg af metode.

Ved etablering af nye samt ved modernisering af eksisterende vandforsyninger er et centralt designkrav, at vandets vej gennem værket er fuldt ud sporbart. Det betyder, at man tilstræber, at man i normal drift så vidt muligt ikke blander vandet fra indløbet på værket og frem til udpumpningen, hvorved sporbarheden bliver størst mulig. Ved indførelse af blødgøring bør der ikke indgås kompromis ift. denne opdeling, hvilket vil have betydning for antallet af anlæg og størrelsen på de enkelte anlæg blødgøringsanlæggene.

Indførelse af central blødgøring vil således skulle overvejes meget nøje specielt i forhold til drikkevandssikkerheden, da der kan være risiko for forurening af drikkevandet. I forhold til forsyningsikkerheden skal risikoen for pludselige stop i produktionen ligeledes vurderes. Set i relation til Holland er problematikken her anderledes, da værkerne typisk er større og dermed har flere forbundne anlæg, hvormed forsyningsikkerheden er meget stor set i forhold til udfald af et enkelt anlæg. De svenske forhold er mere sammenlignelige med de danske i forhold til forsyningsikkerheden, dog med den forskel, at der i visse områder af landet også anvendes overfladevand i kombination med grundvand. Under danske forhold vil det i de tætbefolkede områder næppe være et problem, at et anlæg må stoppes, mens det i områder med få værker kan være en større udfordring, som kræver særlige foranstaltninger for opretholdelse af produktionen i tilfælde af anlægssvigt under blødgøringen.

Det har ikke været muligt at kvantificere eller værdisætte konsekvenserne i forbindelse med forsynings- og drikkevandssikkerheden, hvorfor disse ikke er medtaget i den samfundsøkonomiske analyse.

## 9. SAMFUNDSØKONOMISK KONSEKVENSVURDERING

I dette kapitel beskrives de samfundsøkonomiske konsekvenser ved en central blødgøring af drikkevandet i Danmark for de tre opstillede projekialternativer. Konsekvenserne beskrives samlet og for hver af de relevante aktører i samfundet. Beregningen af de samfundsøkonomiske konsekvenser tager udgangspunkt i de effekter og forudsætninger, der er beskrevet i kapitel 8.

De samfundsøkonomiske konsekvenser ved central blødgøring af drikkevandet i Danmark ved de tre alternativer fremgår af nedenstående tabel. Tabellen viser nettonutidsværdierne for de tre alternativer, som er beregnet over en 30-årig projektperiode tilbagediskonteret til i dag. En positiv nettonutidsværdi betyder, at der er en samfundsøkonomisk gevinst ved alternativet i forhold til baseline.<sup>82</sup>

**Tabel 9.1: Samlet samfundsøkonomisk analyse for de tre alternativer (NPV, mio. kr.)**

NPV, mio. DKK	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Vandforsyninger (investering og drift) <sup>1</sup>	-1.524	-1.164	-868
Private husholdninger	36.209	23.635	18.572
Private og offentlige virksomheder <sup>2</sup>	231	191	347
Særligt vandforbrugende virksomheder <sup>3</sup>	-138	-99	-62
Øvrige effekter <sup>4</sup>	-2.874	-1.922	-1.437
<b>Total, nettonutidsværdi</b>	<b>31.903</b>	<b>20.641</b>	<b>16.552</b>
Gens. vandprisstigning (kr./m <sup>3</sup> )	1,10	0,79	0,52

Kilde: Rambøll

Note: Bemærk at omkostningerne til at dække vandforsyningernes investerings- og driftsomkostninger er overvæltet på den enkelte forbruger i form af højere vandpris.

"1": Af tekniske årsager oplever vandforsyningerne en negativ gevinst selvom de overvælter deres omkostninger til forbrugerne igennem højere vandpriser. Dette skyldes, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens deres indtægter falder over en periode på 30 år og derfor tilbagediskonteres, hvorved værdien formindskes. Indeholder ikke effekter på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv., da disse er lagt sammen med 'Private og Offentlige virksomheder'. Denne effekt for vandforsyningerne er begrænset, da antallet af husholdningsapparater og -installationer forventes at være begrænset.

"2": Indeholder også effekterne på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. for de særligt vandforbrugende virksomheder og vandforsyningerne.

"3": Indeholder kun effekterne på driften af de decentrale blødgøringsanlæg (mindre salt og vand til regenerering af blødgøringsanlæggene) samt stigningen i vandprisen, mens effekterne på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. er lagt sammen med gruppen 'Private og offentlige virksomheder'.

"4": De øvrige effekter dækker over nettoafgiftsfaktoren, mindre spildevand fra de særligt vandforbrugende virksomheder og emissioner. Da investeringen og driften af blødgøringsanlæggene finansieres igennem højere vandpriser er der ikke indregnet en skatteforvridning i forbindelse med finansieringen.

Som det fremgår af tabellen vil alle tre projekialternativer over en 30-årig periode medføre en positiv nettonutidsværdi og dermed være samfundsøkonomisk rentabel.

Analysen viser overordnet set, at det er mest fordelagtigt, at blødgøre drikkevandet til en hårdhed på 6 °dH. Dette medfører en samlet gevinst på ca. 32 mia. kr. i nettonutidsværdi. Alternativ II, hvor vandet blødgøres til 10 °dH, er det næstmest fordelagtige alternativ med en samlet nettonutidsværdi på ca. 21 mia. kr., mens det mindst fordelagtige alternativ er alternativ III, hvor vandet blødgøres til 14 °dH.

I alle tre projekialternativer stiger vandprisen i de områder, hvor drikkevandet blødgøres. Dette skyldes, at vandforsyningerne overvælter deres omkostninger (investering og drift) til forbrugerne igennem højere priser. Vandprisen stiger mest i alternativ I, hvor den stiger med ca. 1 kr. pr. m<sup>3</sup>, mens den i alternativ III stiger med ca. 0,5 kr. pr. m<sup>3</sup>.

<sup>82</sup> En oversigt over kommunernes placering i hårdhedsgrupper i baseline og de enkelte projekialternativer fremgår af bilag 3.

Analysen viser endvidere, at det er de private husholdninger, der har de største gevinster ved blødgøring. Disse gevinster kommer fra forlængede levetider af husholdningsapparater- og installationer, mindre energiforbrug fra vaskemaskiner, mindre forbrugertid til afkalkning af kaffemaskiner og elkedler samt mindre forbrug af vaskemiddel, rengøringsmidler mv.

De private og offentlige virksomheder vil ligeledes opleve en positiv gevinst, mens de særligt vandforbrugende virksomheder vil have forøgede omkostninger til driften af deres decentrale blødgøringsanlæg.<sup>83</sup> Det skal bemærkes, at disse virksomheder også vil opleve en række positive effekter som alle andre private og offentlige virksomheder. Disse effekter er imidlertid lagt sammen med de øvrige private og offentlige virksomheder.

Af tekniske årsager oplever vandforsyningerne en negativ gevinst selvom de overvælter deres omkostninger til forbrugerne igennem højere vandpriser. Dette skyldes, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens deres indtægter falder over en periode på 30 år og derfor tilbagediskonteres, hvorved værdien nedjusteres. Endelig vil der være en række øvrige negative omkostninger for samfundet som helhed. Dette dækker over nettoafgiftsfaktoren, ændringer i spildevandspildevandsforsyningernes indtægter samt gevinster i forbindelse med lavere emissioner.

I afsnit 9.1 beskrives konsekvenserne for de enkelte aktører særskilt.

I tabellen nedenfor er de budgetøkonomiske konsekvenser for de enkelte aktører opgjort. Det skal bemærkes, at omkostningerne til investering og drift af blødgøringsanlæggene allerede i den samfundsøkonomiske analyse er overvæltet til forbrugerne.

**Tablet 9.2: Samlet budgetøkonomiske analyse for de tre alternativer(NPV, mio. kr.)**

NPV, mio. DKK	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Vandforsyninger (investering og drift) <sup>1</sup>	-	-	-
Private husholdninger <sup>2</sup>	33.545	22.052	17.430
Private og offentlige virksomheder <sup>3</sup>	231	191	347
Særligt vandforbrugende virksomheder <sup>4</sup>	-138	-99	-62
Staten (moms, afgifter og spildevand) <sup>5</sup>	-7.419	-4.846	-3.842

Kilde: Rambøll

Note: Bemærk at omkostningerne til at dække vandforsyningernes investerings- og driftsomkostninger er overvæltet på den enkelte forbruger i form af højere vandpris. For private aktører er resultaterne angivet i markedspriser, mens det for de offentlige aktører (staten og de offentlige virksomheder) er opgivet i faktorpriser.

"1": Indeholder ikke effekter på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv., da disse er lagt sammen med 'Private og Offentlige virksomheder'. Denne effekt for vandforsyningerne er begrænset, da antallet af husholdningsapparater og -installationer forventes at være begrænset.

"2": Indeholder ikke effekterne i forbindelse med tidsgevinsten ved afkalkning af kaffemaskiner og elkedler.

"3": Indeholder også effekterne på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. for de særligt vandforbrugende virksomheder og vandforsyningerne.

"4": Indeholder kun effekterne på driften af de decentrale blødgøringsanlæg (mindre salt og vand til regenerering af blødgøringsanlæggene) samt stigningen i vandprisen, mens effekterne på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. er lagt sammen med gruppen 'Private og offentlige virksomheder'.

"5": Indeholder ændringen i moms og afgifter fra de private aktører i forbindelse med længere levetid på husholdningsinstallationer og -apparater, ændring i elforbruget, køb af rengøringsmidler og produkter til personlig pleje mv. samt i forbindelse med ændringen i vandforbruget for vandforsyningerne og de særligt vandforbrugende virksomheder. Endvidere indeholder den også ændringen i indtægterne for spildevandsforsyningerne grundet det lavere vandforbrug i de særligt vandforbrugende virksomheder.

Som det fremgår af tabellen vil de private husholdninger samt de private og offentlige virksomheder have en positiv gevinst mens de særligt vandforbrugende virksomheder vil have en ekstra omkostninger i forbindelse med deres decentrale blødgøringsanlæg.

<sup>83</sup> Det skal bemærkes, at de særligt vandforbrugende virksomheder også vil opleve de samme effekter som de private- og offentlige virksomheder. Disse effekter er lagt sammen med gruppen 'private og offentlige virksomheder'.

Endvidere viser tabellen, at vandforsyningerne som konsekvens af deres 'hvile i sig selv princip' budgetøkonomisk ikke vil opleve en effekt over en 30-årig periode.<sup>84</sup>

Endelig vil staten opleve en negativ effekt i form af ændringer i moms- og afgifter som konsekvens af husholdningsapparaterne og -installationernes længere levetid, ændringer i elforbruget, mindre brug af rengøringsmidler mv.

I Tabel 9.1 ovenfor er de samfundsøkonomiske konsekvenser opgjort samlet set over en 30-årig periode. Nedenstående tabel viser illustrativt de samfundsøkonomiske konsekvenser pr. m<sup>3</sup> vand for et givent år efter implementeringen af central blødgøring.

**Tabel 9.3: Samfundsøkonomisk analyse for de tre alternativer pr. m<sup>3</sup> i et givent år**

DKK pr. m <sup>3</sup>	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Vandforsyninger (investering og drift) <sup>1</sup>	0,38	0,29	0,22
Private husholdninger	5,81	3,79	2,98
Private og offentlige virksomheder <sup>2</sup>	0,04	0,03	0,06
Særligt vandforbrugende virksomheder <sup>3</sup>	-0,02	-0,02	-0,01
Øvrige effekter <sup>4</sup>	-0,26	-0,15	-0,11
<b>Total, DKK pr m<sup>3</sup> i 2017</b>	<b>5,95</b>	<b>3,95</b>	<b>3,13</b>

Kilde: Rambøll

Note: Bemærk at omkostningerne til at dække vandforsyningernes investerings- og driftsomkostninger er overvæltet på den enkelte forbruger i form af højere vandpris.

"1": Af tekniske årsager oplever vandforsyningerne en positiv gevinst selvom de overvælter deres omkostninger en til en til forbrugerne igennem højere vandpriser. Dette skyldes, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens tallene i denne tabel viser konsekvenser for et givent år efter investeringen er foretaget. Indeholder ikke effekter på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv., da disse er lagt sammen med 'Private og Offentlige virksomheder'. Denne effekt for vandforsyningerne er begrænset, da antallet af husholdningsapparater og -installationer forventes at være begrænset.

"2": Indeholder også effekterne på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. for de særligt vandforbrugende virksomheder og vandforsyningerne.

"3": Indeholder kun effekterne på driften af de decentrale blødgøringsanlæg (mindre salt og vand til regenerering af blødgøringsanlæggene) samt stigningen i vandprisen, mens effekterne på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. er lagt sammen med gruppen 'Private og offentlige virksomheder'.

"4": De øvrige effekter dækker over nettoafgiftsfaktoren, mindre spildevand fra de særligt vandforbrugende virksomheder og emissioner. Da investeringen og driften af blødgøringsanlæggene finansieres igennem højere vandpriser er der ikke indregnet en skatteforvridning i forbindelse med finansieringen.

Som det fremgår af tabellen vil alle aktører - undtagen de særligt vandforbrugende virksomheder - et givent år efter implementeringen af central blødgøring af drikkevand have positive gevinster. Igen viser tabellen, at de private husholdninger vil have den største gevinst med på ca. 6 kr. pr. m<sup>3</sup> i alternativ I.

Grunden til at vandforsyningerne efter implementeringen oplever en positiv gevinst er fordi alle investeringsomkostningerne ligger i år 0. Den positive gevinst skyldes derfor, at den højere vandpris er større end deres driftsomkostninger et givent år, da stigningen i vandprisen også skal dække investeringsomkostningerne.

Der er som beskrevet i kapitel 3 store regionale forskelle på hårdheden af drikkevandet i Danmark. Nogle steder er drikkevandet meget hårdt, mens det andre steder er blødt. Der kan derfor også forventes forskelle i potentialerne ved central blødgøring af drikkevandet, som konsekvens af denne forskel i hårdheden i udgangspunktet.

<sup>84</sup> Vandforsyningerne vil også opleve en positiv effekt på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv., da disse er lagt sammen med 'Private og Offentlige virksomheder'. Denne effekt for vandforsyningerne er begrænset, da antallet af husholdningsapparater og -installationer forventes at være begrænset.

I Tabel 9.4 er det vurderet, for hvilke hårdhedsgrupper det er samfundsøkonomisk fordelagtigt at blødgøre drikkevandet.

**Tabel 9.4 Vurdering af samfundsøkonomisk gevinst ved at blødgøre drikkevandet fordelt på hårdhedsgrupper i de tre projekialternativer.**

	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Meget blødt (<4)	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>
Blødt (4-8)	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>
Middelhård (8-12)	Det kan være	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>	Sandsynligvis ikke <sup>1</sup>
Temmelig hårdt (12-18)	Det er fordelagtigt	Det kan være	Det kan være
Hårdt (18-24)	Det er fordelagtigt	Det er fordelagtigt	Det er fordelagtigt
Meget og særdeles hårdt (24<)	Det er fordelagtigt	Det er fordelagtigt	Det er fordelagtigt

Kilde: Rambøll

Note: "1": Bemærk at den gennemsnitlige hårdhed i drikkevandet i disse områder er lavere end det niveau, der blødgøres til i det givne projekialternativ. Det er derfor i analysen antaget, at der ikke investeres i blødgøringsteknologier i disse områder.

For de tre projekialternativer er der en række hårdhedszoner, hvor hårdheden er lig med eller lavere end det niveau, der blødgøres til i det enkelte projekialternativ. For disse områder er det således ikke relevant at investere i et blødgøringsanlæg, da der sandsynligvis ikke vil være nogen positiv effekt ved blødgøringen. Det er derfor i analysen antaget, at der ikke investeres i blødgøringsteknologier i disse områder.

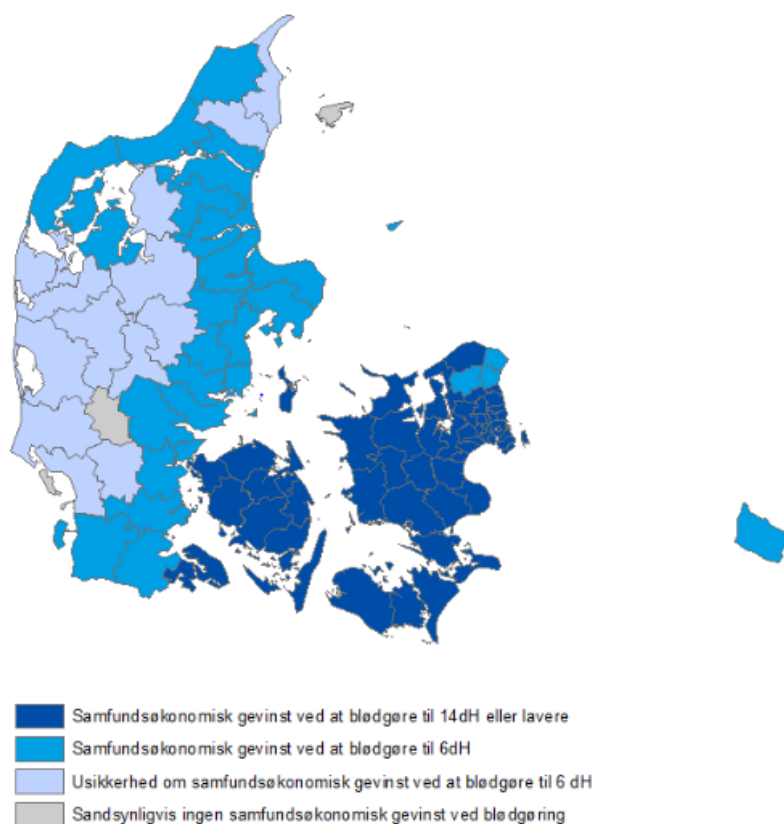
For områder med en hårdhed på 8-12 °dH kan det være fordelagtigt at blødgøre i alternativ I. Dette kræver dog formentligt, at det bliver endnu billigere, at investere og drive et blødgøringsanlæg. I alternativ II og III er den gennemsnitlige hårdhed i udgangspunktet på niveau med hårdheden efter blødgøringen, hvorfor det i analysen er antaget, at der ikke investeres i blødgøringsteknologier i disse områder.

For hårdhedsgruppen 12-18 °dH er det fordelagtigt at blødgøre i alternativ I, mens det kan være fordelagtigt i alternativ II og III. Det skal bemærkes, at analysen for projekialternativ III er baseret på, at hårdheden af drikkevandet i områder med temmelig hårdt vand er 16 °dH, jf. kapitel 4. Hvorvidt det er fordelagtigt afhænger af lokale forhold som vandets faktiske hårdhed, antallet af private og offentlige virksomheder kontra private husholdninger samt forhold, der kan påvirke investerings- og driftsomkostningerne.

I områder med en hårdhed på 18 °dH eller mere er der positive gevinster for alle tre alternativer, hvorfor det samfundsøkonomisk vil være fordelagtigt at anvende central blødgøring i disse områder.

Figuren nedenfor illustrerer for hvilket blødgøringsniveau, der vil være en samfundsøkonomisk gevinst forskellige steder i landet.

Figur 9.1: Geografisk inddeling af potentialerne ved central blødgøring



Kilde: Rambøll

Overordnet set viser figuren således, at der er en række områder, hvor der sandsynligvis ikke er en samfundsøkonomisk gevinst ved at indføre central blødgøring af drikkevandet, eller hvor der er usikkerhed om gevinsten.

Gennemføres de samfundsøkonomiske analyser udelukkende på baggrund af områder, hvor det er fordelagtigt, jf. Tabel 9.4, vil de samfundsøkonomiske konsekvenser være mere positive end det fremgår af Tabel 9.1. I tabellen herunder præsenteres den samfundsøkonomiske analyse udelukkende for de områder, hvor central blødgøring vurderes fordelagtigt. Dvs. for projekialternativ I er det områderne med "Temmelig hårdt", "Hårdt" og "Meget og særdeles hårdt" vand, mens det for projekialternativ II og II er områderne med "Hårdt" og "Meget og særdeles hårdt" vand.<sup>85</sup>

<sup>85</sup> Forskellen mellem resultaterne i tabel 9.1 og 9.4 er således at områder med "middel hårdt" vand ikke indgår i analysen for projekialternativ I, mens områder med "temmelig hårdt" vand ikke indgår i analysen for projekialternativ II og III.



**Tabel 9.5: Samfundsøkonomisk analyse for de fordelagtige områder i de tre alternativer.**

NPV, mio. DKK	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Vandforsyninger (investering og drift) <sup>1</sup>	-1.347	-817	-775
Private husholdninger	36.398	24.213	18.390
Private og offentlige virksomheder <sup>2</sup>	448	689	487
Særligt vandforbrugende virksomheder <sup>3</sup>	-98	-48	-52
Øvrige effekter <sup>4</sup>	-2.760	-1.697	-1.352
<b>Total, nettonutidsværdi</b>	<b>32.641</b>	<b>22.340</b>	<b>16.697</b>

Kilde: Rambøll

Note: Bemærk at omkostningerne til at dække vandforsyningernes investerings- og driftsomkostninger er overvæltet på den enkelte forbruger i form af højere vandpris.

"1": Af tekniske årsager oplever vandforsyningerne en negativ gevinst selvom de overvæltet deres omkostninger til forbrugerne igennem højere vandpriser. Dette skyldes, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens deres indtægter falder over en periode på 30 år og derfor tilbagediskonteres, hvorved værdien nedjusteres. Indeholder ikke effekter på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv., da disse er lagt sammen med 'Private og Offentlige virksomheder'. Denne effekt for vandforsyningerne er begrænset, da antallet af husholdningsapparater og -installationer forventes at være begrænset.

"2": Indeholder også effekterne på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. for de særligt vandforbrugende virksomheder og vandforsyningerne

"3": Indeholder kun effekterne på driften af de decentrale blødgøringsanlæg (mindre salt og vand til regenerering af blødgøringsanlæggene) samt stigningen i vandprisen, mens effekterne for husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv. er lagt sammen med gruppen 'Private og offentlige virksomheder'.

"4": De øvrige effekter dækker over nettoafgiftsfaktoren, mindre spildevand fra de særligt vandforbrugende virksomheder og emissioner. Da investeringen og driften af blødgøringsanlæggene finansieres igennem højere vandpriser er der ikke indregnet en skatteforvridning i forbindelse med finansieringen.

Som det fremgår af tabellen viser analysen, at nettonutidsværdien er positiv for alle tre alternativer og er dermed samfundsøkonomisk rentable. Endvidere fremgår det, at det som i Tabel 9.1 er alternativ I, der er mest fordelagtig.

Analysen viser endvidere, at der for alle tre alternativer er højere nettonutidsværdi ved kun at indføre central blødgøring af drikkevandet i områder, hvor det er fordelagtigt sammenlagt med at implementere det i alle relevante hårdhedszoner (se Tabel 9.1). Det er med andre ord samfundsøkonomisk mest fordelagtigt kun at indføre central blødgøring i de dele af Danmark, hvor vandet er hårdest.

### 9.1 Samfundsøkonomiske resultater fordelt på aktører

I det følgende vil den samfundsøkonomiske analyse blive fordelt på de relevante aktører i analysen:

- Vandforsyningerne (investering og drift)
- Private husholdninger
- Private og offentlige virksomheder
- Særligt vandforbrugende virksomheder
- Øvrige effekter

#### 9.1.1 Vandforsyningerne

Vandforsyningerne skal investere i blødgøringsanlæg for teknisk at kunne blødgøre vandet. Det er i analysen antaget, at vandforsyningerne kun investerer i et blødgøringsanlæg, hvis den gennemsnitlige hårdhed i råvandet i dag er større end hårdheden i det enkelte alternativ, samt hvis vandforsyningen indvinder mere end 200.000 m<sup>3</sup> årligt. Dette medfører, at investerings- og driftsomkostningerne er forskellige i de tre alternativer.

I Tabel 9.6 er vandforsyningerne nettonutidsværdier i de tre alternativer præsenteret.

**Tabel 9.6 Nettonutidsværdier for vandforsyningerne (Mio. kr.)**

	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Investering i blødgøringsanlæg <sup>1</sup>	-3.906	-2.984	-2.225
Driftsomkostninger blødgøring <sup>2</sup>	-5.703	-4.221	-3.046
Forøgede indtægter fra stigningen i vandprisen	8.085	6.041	4.403
<b>Vandforsyningerne, total<sup>3</sup></b>	<b>-1.524</b>	<b>-1.164</b>	<b>-868</b>

Kilde: Rambøll

Note: Indeholder ikke effekter på husholdningsapparater og -installationer, afkarboniseringsanlæg mv., da disse er lagt sammen med 'Private og Offentlige virksomheder'. Denne effekt for vandforsyningerne forventes at være begrænset, da antallet af husholdningsapparater og -installationer forventes at være begrænset.

"1": Baseret på at anlæg over 1 mio. m<sup>3</sup> anvender pelletmetoden, anlæg mellem 0,2-1 mio. m<sup>3</sup> anvender ionbytning og anlæg under 0,2 mio. m<sup>3</sup> aldrig vælger at blødgøre.

"2": Indeholder udgifter til bortskaffelse af restprodukt, men ikke mulige indtægter fra salg af pellets, da det ikke har været muligt at værdisætte denne (se endvidere kapitel 10).

"3": Af tekniske årsager oplever vandforsyningerne en negativ gevinst selvom de overvælter deres omkostninger til forbrugerne igennem højere vandpriser. Dette skyldes, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens deres indtægter falder over en periode på 30 år og derfor tilbagediskonteres, hvorved værdien nedjusteres.

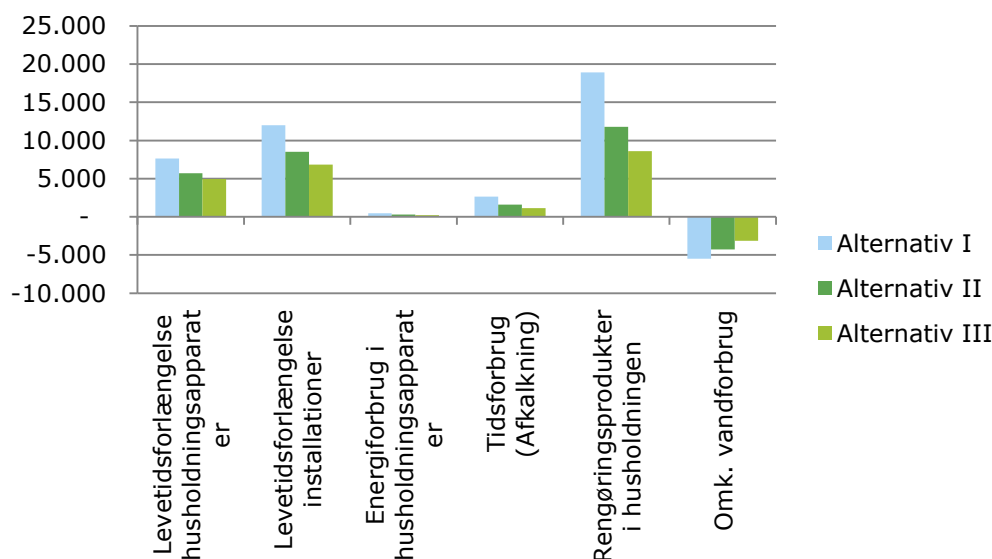
Det skal bemærkes, at selv om vandforsyningerne drives efter 'hvile i sig selv princippet' viser analysen, at vandforsyningerne kan forvente en negativ gevinst ved indførelsen af central blødgøring. Dette skyldes, at det i den samfundsøkonomiske analyse antages, at investeringsomkostninger ligger i år 0, mens indtægterne falder over en periode på 30 år og derfor tilbagediskonteres, hvorved værdien nedjusteres.

Tabellen viser, at vandforsyningerne har de største investerings- og driftsomkostninger i alternativ I og mindst i alternativ II og III. Dette skyldes, at der er flere vandforsyninger, der vil investere i blødgøringsanlæg i alternativ I samt at vandet blødgøres til en lavere hårdhed i alternativ I end i II og III.

### 9.1.2 Private husholdninger

De private husholdninger er den aktør, der har de største gevinster ved blødgøring af drikkevandet. I figuren nedenfor præsenteres de private husholdningers nettonutidsværdier fordelt på en række underposter i de tre alternativer.

**Figur 9.2 Nettonutidsværdi for private husholdninger (Mio. DKK)**



Kilde: Rambøll

Figuren viser, at der er store gevinster ved levetidsforlængelsen af husholdningsapparater og – installationer samt forbrug af rengøringsprodukter mv. i husholdningen. Herudover er der mindre gevinster for forbrugerne i form af mindre energiforbrug samt tidsforbrug i forbindelse med afkalkning.

Gevinsterne i form af reduceret brug af vaskemiddel, rengøringsmidler mv. kræver dog som tidligere beskrevet, at husholdningerne ændrer adfærd og faktisk anvender færre rengøringsprodukter mv., når vandet blødgøres.

Endelig får de private husholdninger en ekstra omkostning ved, at prisen på vand stiger som følge af vandforsyningernes omkostninger til indvinding og levering af vand stiger. Stigningen i vandprisen overgår dog ikke gevinsterne for de private husholdninger, hvorfor der for husholdningerne samlet set er en positiv gevinst ved indførelsen af central blødgøring af drikkevandet.

En gennemsnitlig husholdning i Danmark indeholder 2,15 personer<sup>86</sup> og forbruger 83,4 m<sup>3</sup> vand om året. Tabellen herunder opsummerer effekterne for en gennemsnitlig husholdning pr. år.

**Tabel 9.7: Årlig effekt af blødgøring på en gennemsnitlig dansk husholdning**

	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Gns. mer-omkostning til vandforbrug (Kr./år)	91	66	44
Gns. gevinst fra blødgjort vand (Kr./år)	859	574	447
<b>Nettoeffekt for gns. husholdning</b>	<b>767</b>	<b>508</b>	<b>404</b>

Kilde: Rambøll

Note: Eksemplet er udregnet for en gennemsnitlig husholdning i Danmark. Hvis der udelukkende ses på de områder hvor der blødgøres, vil effekterne pr. husstand være større.

Som det fremgår af tabellen vil den gennemsnitlige husholdning have en positiv gevinst i alle tre projekialternativer. Den årlige gevinst er ca. 400-800 kr. afhængig af, hvilket hårdhedsniveau drikkevandet blødgøres til.

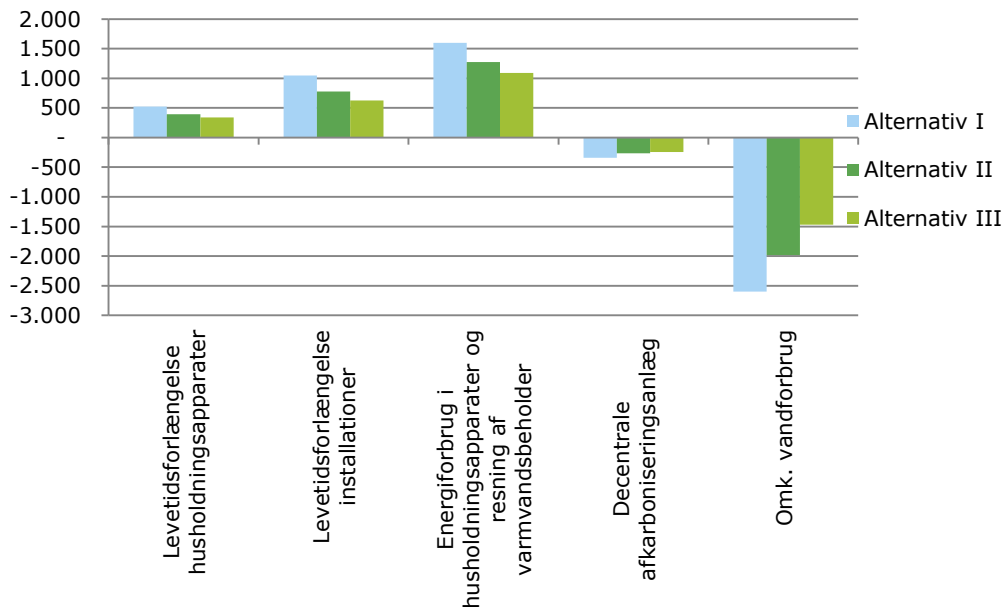
### 9.1.3 Private og offentlige virksomheder

De private og offentlige virksomheder har også en positiv nettonutidsværdi ved alle alternativer, jf. Tabel 9.1.

I Figur 9.3 præsenteres nettonutidsværdierne for de private og offentlige virksomheder fordelt på en række underposter.

<sup>86</sup> Kilde: Danva - Vand i tal, <http://www.e-pages.dk/danva/196/>

Figur 9.3 Nettonutidsværdi for private og offentlige virksomheder (Mio. DKK)



Kilde: Rambøll

Ligesom for de private husholdninger oplever de private og offentlige virksomheder positive gevinster ved, at deres husholdningsapparater og -installationer har længere levetid. Herudover oplever virksomhederne gevinster i form af reduceret energiforbrug i husholdningsapparater og rensning af varmtvandsbeholdere.

Virksomhederne forventes at have øgede omkostninger til deres decentrale afkarboniseringsanlæg. Dette skyldes, som beskrevet i afsnit 7.3, at kapaciteten på disse filtre forringes ved en central blødgøring, hvorved de skal skiftes oftere

Endelig har de private og offentlige virksomheder øgede omkostninger i forbindelse med deres vandforbrug, da vandprisen som tidligere beskrevet stiger.

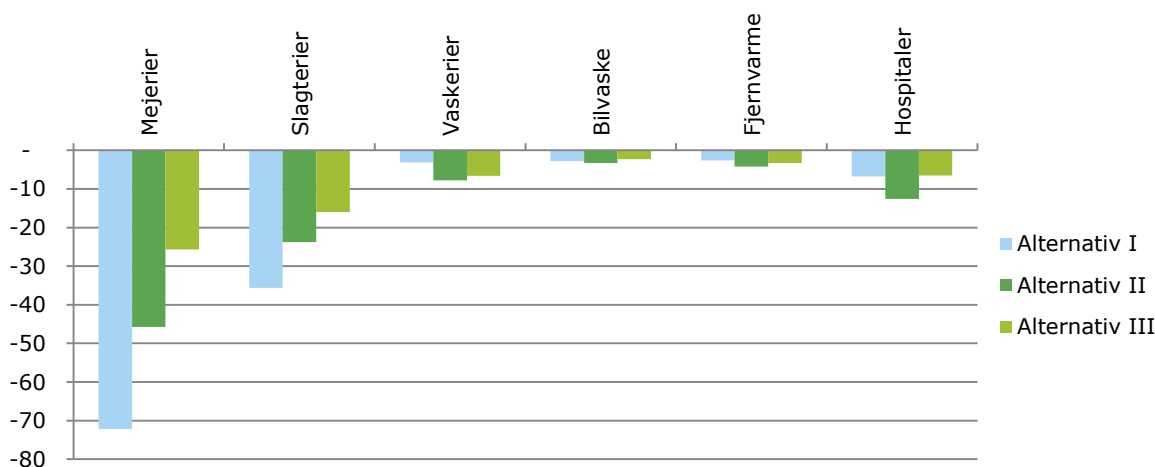
#### 9.1.4 Særligt vandforbrugene virksomheder

Effekterne ved en central blødgøring af drikkevandet for de særligt vandforbrugende virksomheder er i denne analyse isoleret til et mindre saltforbrug og forbrug af vand til regenerering i deres decentrale blødgøringsanlæg.

Endvidere skal det bemærkes, at de særligt vandforbrugende virksomheder også vil opleve en række positive effekter, som de øvrige private og offentlige virksomheder. Disse indgår imidlertid sammen med de øvrige private og offentlig virksomheder. Endvidere rammes de særligt vandforbrugende virksomheder også af de højere vandpriser som konsekvens af den centrale blødgøring af drikkevand.

I Figur 9.4 præsenteres resultaterne for de særligt vandforbrugende virksomheder, hvor det har været muligt at opgøre effekterne.

Figur 9.4 Nettonutidsværdi for meget vandforbrugende virksomheder (Mio. DKK)



Kilde: Rambøll

Figuren viser, at der for alle typer af særligt vandforbrugende virksomheder forventes at være en negativ nettonutidsværdi ved en blødgøring af drikkevandet. Virksomhedernes gevinster forbundet med mindre forbrug af salt og vand til deres decentrale blødgøringsanlæg kan således ikke opveje den forventede stigning i vandprisen.

Det skal dog understreges, at der kan forventes en række øvrige effekter for de særligt vandforbrugende virksomheder, fx effekter på deres produktionsapparat, behov for rengøring osv. Det har imidlertid ikke været muligt at kvantificere og værdisætte disse, hvorfor de ikke indgår i analysen. Det er endvidere heller ikke muligt at vurdere, i hvilken retning disse effekter vil påvirke resultaterne for disse virksomheder.

#### 9.1.5 Øvrige effekter

Udover de beskrevne effekter ovenfor vil der være en række øvrige effekter, som indgår i den samfundsøkonomiske analyse. Dette er effekter, som ikke kan henføres til nogle af aktørerne ovenfor, hvorfor de beskrives samlet under ét i dette afsnit.

Tabel 9.8 viser de øvrige effekter fordelt på en række underposter.

**Tabel 9.8 Nettonutidsværdi for samfundet (Mio. DKK)**

	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Spildevand <sup>1</sup>	-10	-6	-5
Nettoafgiftsfaktor <sup>2</sup>	-2.876	-1.924	-1.438
Emission <sup>3</sup>	12	8	6
<b>Samlet</b>	<b>-2.874</b>	<b>-1.922</b>	<b>-1.437</b>

Kilde: Rambøll

Note: Da investeringen og driften af blødgøringsanlæggene finansieres igennem højere vandpriser er der ikke indregnet en skatteforvridning i forbindelse med finansieringen

"1" Baseret på at vandforbruget på de særligt vandforbrugende virksomheder falder ved indførelsen af central blødgøring.

"2" Anvendes til omregning fra faktorpriser til markedspriser for udgifter og indtægter indeholdt i den budgetøkonomiske analyse. Der er således pålagt 32,5 pct. til alle udgifter og indtægter for det offentlige og virksomheder, herunder ændringer i moms og afgifter for private husholdninger og virksomheder.

"3": Emission dækker over emission af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> i forbindelse med ændringen af energiforbrug i vaskemaskinerne i private husholdninger og private og offentlige virksomheder.

Tabellen viser, at de øvrige effekter samlet set er negative for alle tre alternativer. Den negative effekt i forbindelse med spildevand skyldes, at spildevandsforsyningerne får lavere indtægter grundet ændringen i vandforbruget for de særligt vandforbrugende virksomheder.

Nettoafgiftsfaktoren er endvidere negativ og er pålagt alle offentlige omkostninger og gevinster, samt de private virksomheders omkostninger og gevinster. Dette inkluderer ændringer i moms- og afgiftsindtægterne for staten.

Endelig viser tabellen, at der er en gevinst ved mindre energiforbrug på udledningen af drivhusgasser. I disse emissions-værdier indgår værdien af udledning af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Udover disse udledninger er der også CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O. Disse værdisættes dog ikke, da energisektoren er underlagt kvotesystemet og Energistyrelsens forventede energipris allerede indeholder udgifter til CO<sub>2</sub>-kvoter.

Tablet 9.9 viser forskellen mellem baseline og de enkelte alternativer i udledningen af emissionsgasser pr. år.

**Tablet 9.9 Forskel mellem baseline og alternativer i udledning af emissionsgasser pr. år (tons)**

	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
CO <sub>2</sub>	3.129	2.001	1.508
CH <sub>4</sub>	26	17	13
N <sub>2</sub> O	15	10	7
SO <sub>2</sub>	2	1	1
NO <sub>x</sub>	3	2	2

Kilde: Rambøll

Som det fremgår af tabellen vil alle tre alternativer medføre, at der udledes færre emissionsgasser sammenlignet med baseline. Den største reduktion i udledninger skal findes for CO<sub>2</sub>, mens reduktionerne i udledningen af de andre gasser er begrænset.

Endelig kan der forventes en række miljøeffekter i forbindelse med det forventede mindre forbrug af vaskemiddel, rengøringsmidler mv. Disse effekter er ikke værdisat og indgår dermed ikke i den samfundsøkonomiske analyse, men kan forvente at bidrage positivt til miljøet.<sup>87</sup>

Den forventede forskel mellem baseline og alternativer i brugen af disse fremgår af nedenstående tabel.

**Tablet 9.10 Forskel mellem baseline og alternativer i brugen af rengøringsmidler mv.**

	Enhed	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Kalkfjerner	liter	3.988.560	2.031.993	1.248.241
Salt	kg	922.321	911.342	848.804
Rengøringsmiddel, baderum	liter	3.106.199	1.893.636	1.248.241
Vaskepulver	kg	10.648.064	6.952.562	5.691.979
Produkter til personlig hygiejne	liter	3.106.199	1.893.636	1.248.241

Kilde: Rambøll

Som det fremgår af tabellen, vil de tre alternativer sammenlignet med situationen i dag medføre, at der anvendes mindre kalkfjerner, salt til opvaskemaskinen, rengøringsmidler, vaskepulver samt produkter til personlig hygiejne.

## 9.2 Følsomhedsanalyse

Analysen af de samfundsøkonomiske konsekvenser ved central blødgøring af drikkevandet i Danmark er forbundet med en række forskellige usikkerheder. Blandt andet findes der begrænset mængde data på effekternes størrelse, hvorfor der må forventes at være en vis usikkerhed forbundet med disse.

<sup>87</sup> Det skal bemærkes, at værdi af det mindre indkøb af rengøringsmidler mv. indgår i analysen.

For at tage højde for dette gennemføres der som en del af den samfundsøkonomiske analyse en række følsomhedsanalyser. I følsomhedsanalyserne ændres nogle af de centrale input, hvorved det tydeliggøres, hvor robust analysens resultater er overfor ændringer i disse. Følsomhedsanalyser gennemføres for følgende parametre:

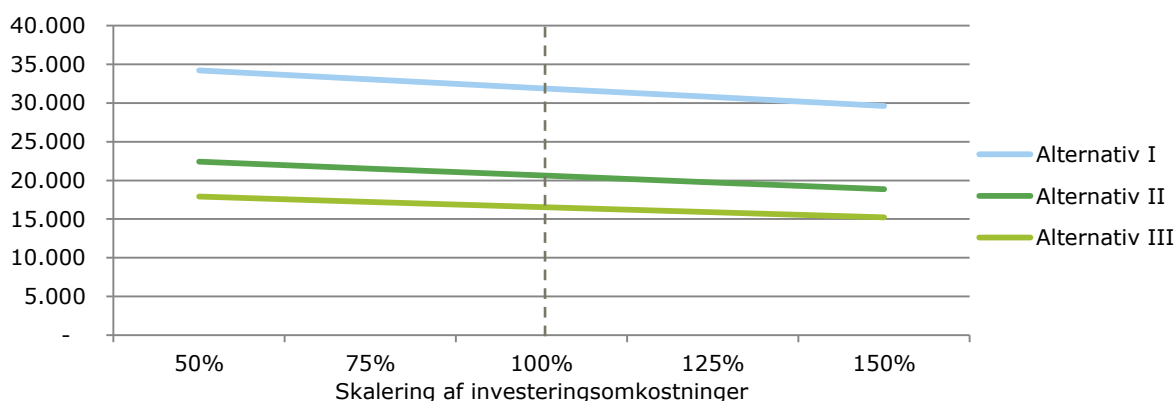
- Investeringsomkostningerne til blødgøringsanlæg.
- Driftsomkostningerne ved blødgøringsanlæg.
- Forbrugeradfærdsændringer (tidsforbrug og rengøringsmidler mv.).
- Levertidsændringen i apparater og installationer.
- Diskonteringsrenten.

I det efterfølgende beskrives de forskellige følsomhedsanalyser.

### 9.2.1 Investeringsomkostningerne

Figuren nedenfor viser, hvor følsom analysens resultater er ved ændringer i investeringsomkostningerne.

**Figur 9.5: Følsomhedsanalyse af ændringer i investeringsomkostningerne i blødgøringsanlæg (Nettonutidsværdier i mio. DKK)**



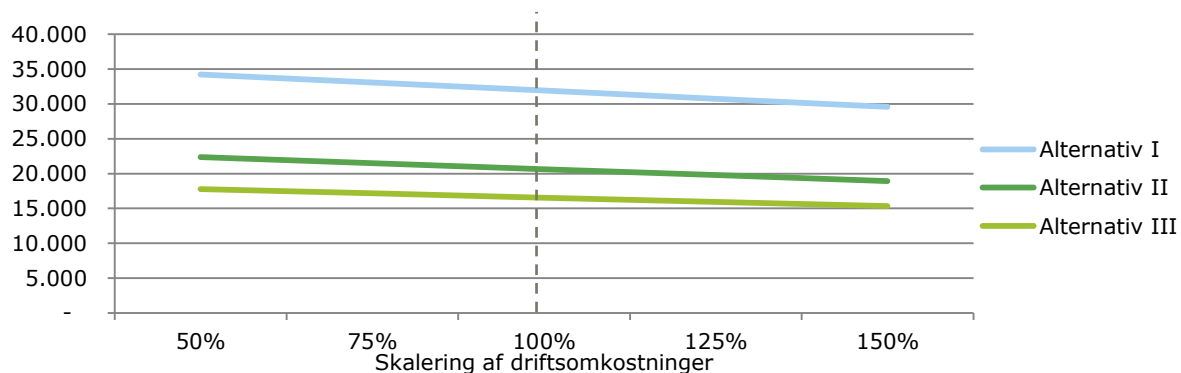
Kilde: Rambøll

Figuren viser, at resultaterne er robuste overfor ændringer i investeringsomkostningernes størrelse, da der i alle tilfælde er positive nettonutidsværdier. Endvidere viser figuren, at der ved lavere investeringsomkostninger kan forventes en mere positiv nettonutidsværdi end analysen viser.

Teknologier til blødgøring af drikkevand udvikler sig meget i disse år og bliver mere og mere effektive. Der kan derfor også forventes et fald i udgifter til at investere i disse anlæg i fremtiden.

### 9.2.2 Driftsomkostningerne

Figur 9.6 viser følsomhedsanalyse ved at ændre på blødgøringsanlæggenes løbende driftsomkostninger.

**Figur 9.6 Følsomhedsanalyse af driftsomkostningerne (Nettonutidsværdier i mio. DKK)**

Kilde: Rambøll

Figuren viser, at resultaterne er robuste overfor ændringer i driftsomkostningernes størrelse, da det i alle tilfælde er positive nettonutidsværdier. En stigning i driftsomkostninger vil derfor ikke ændre på analysens konklusioner om, at det er fordelagtigt at implementere central blødgøring af drikkevandet.

Som beskrevet i afsnittet ovenfor bliver blødgøringsteknologierne mere og mere effektive, hvorfor det kan forventes at driftsomkostningerne vil falde i fremtiden.

### 9.2.3 Forbrugeradfærd

Som tidligere beskrevet vil de positive effekter ved mindre tid til afkalkning af kaffemaskiner og elkedler samt mindre brug af rengøringsmidler mv. kræve en adfærd ændring fra de private husholdninger. Det er derfor usikkert i hvilken omfang og om disse effekter vil indtræffe.

Tabellen nedenfor viser nettonutidsværdierne for de tre projekialternativer i de tilfælde hvor der hhv. ikke medtages forbrugeradfærd ændringer, og hvor det antages, at ændringerne er 50 pct. lavere i forhold til, hvad der antages i analysen.

**Figur 9.7: Følsomhedsanalyse på forbrugeradfærdseffekterne (Nettonutidsværdier i mio. DKK)**

NPV (mio. dkk)	Alternativ I (6 °dH)	Alternativ II (10 °dH)	Alternativ III (14 °dH)
Ingen forbrugeradfærdseffekter	11.315	7.873	7.262
50 pct. forbrugeradfærdseffekter	21.609	14.257	11.907
Alle forbrugeradfærdseffekter (som tabel 9.1)	31.903	20.641	16.552

Kilde: Rambøll

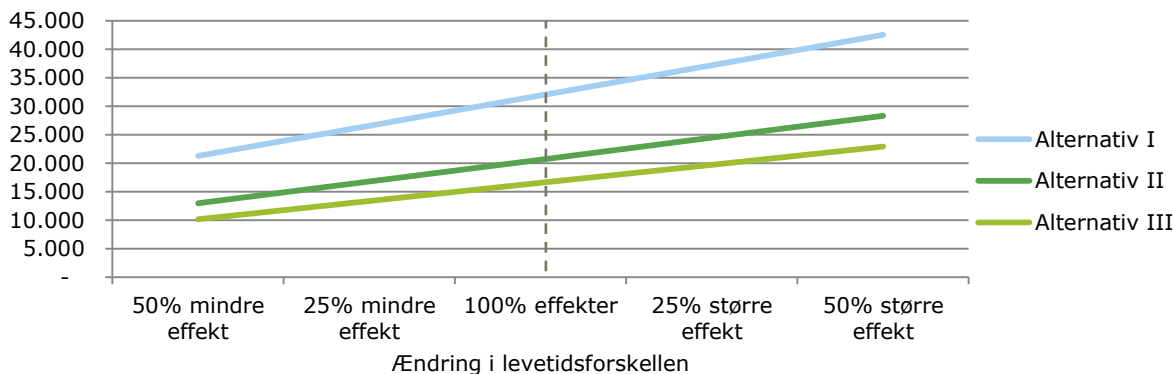
Tabellen viser, at selv uden effekter fra ændret forbrugeradfærd er alle projekialternativer fortsat positive, men dog noget mindre. Det er ikke muligt at vurdere, hvor hurtigt forbrugeradfærd ændringerne indtræffer, men set over en 30-årig periode må det forventes at nogle indtræffer. Vi vil derfor formentligt ikke opleve en situation, hvor der ingen forbrugeradfærd ændringer vil være.

### 9.2.4 Husholdningsapparater og – installationers levetid

I den samfundsøkonomiske analyse er der store positive effekter ved, at husholdningsapparater og – installationer i private husholdninger og private og offentlige virksomheder har en forlænget levetid. I denne følsomhedsanalyse skaleres levetidsændringen op og ned med hhv. 25 pct. og 50 pct.



**Figur 9.8 Følsomhedsanalyse på apparater og installationers levetid (Nettonutidsværdier i mio. DKK)**



Kilde: Rambøll

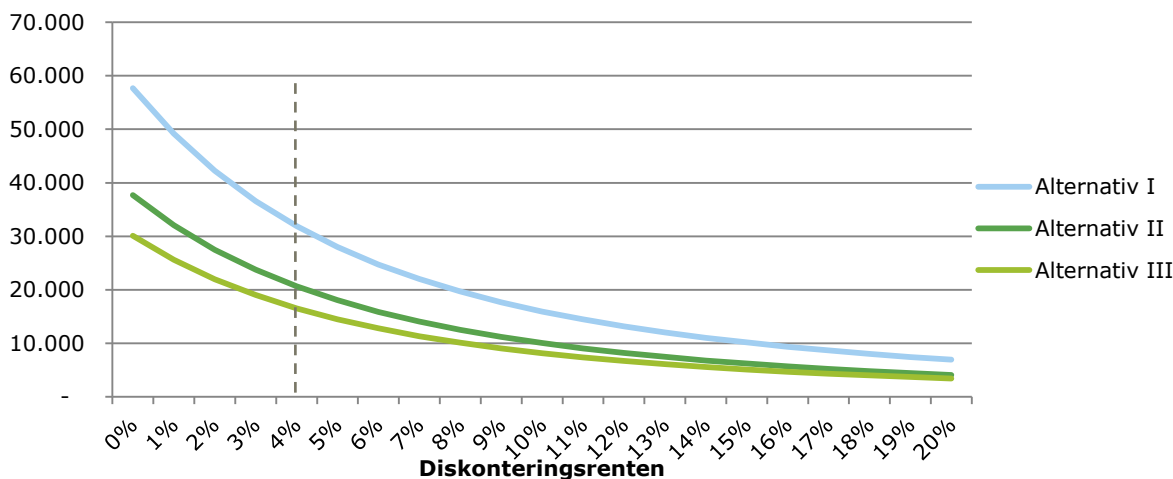
Figuren viser, at resultaterne er robuste overfor ændringer i levetiden af husholdningsapparater og installationer. Konkret viser figuren, at selv med en halvering af forskellen i levetiden mellem basisscenariet og de enkelte projekialternativer vil det stadig være samfundsøkonomisk rentabelt at implementere central blødgøring af drikkevandet.

### 9.2.5 Diskonteringsrenten

Som den sidste følsomhedsanalyse gennemføres en analyse af, hvad ændringer i diskonteringsrenten betyder for analysens resultat.

Figur 9.9 nedenfor viser resultaterne af følsomhedsanalysen.

**Figur 9.9 Følsomhedsanalyse på diskonteringsrenten (Nettonutidsværdier i mio. DKK)**



Kilde: Rambøll

Figuren viser, at resultaterne er robuste overfor ændringer i diskonteringsrenten. Det er først ved en diskonteringsrente over 20 pct., at projekialternativerne ikke længere er samfundsøkonomisk rentable.

## 10. BLØDT VAND OG CIRKULÆR ØKONOMI

Cirkulær økonomi er overordnet en betegnelse for en økonomisk model, hvor der er fokus på recirkulation af materialer og produkter med det mindst mulige værditab som følge<sup>88</sup>. Cirkulær økonomi bygger således på den modsatte tankegang end lineær økonomi, hvor produkter udvindes, produceres og kasseres med et markant ressourcespild til følge.

Dagsordenen om cirkulær økonomi er tæt knyttet til grøn økonomi og styrket miljøbevidsthed. Tankegangen udspringer af en erkendelse af, at der er begrænsede ressourcer, hvorfor vi må fokusere på at genanvende ressourcerne. Det er ikke tilstrækkeligt at effektivisere anvendelsen af ressourcer, da de fleste naturressourcer til tung produktion er begrænsede og tager mange tusinde år om at regenerere sig. I en cirkulær økonomi erstattes den såkaldte "end-of-life" tilgang således af anvendelse af vedvarende energi, begrænset anvendelse af kemikalier og en fokuseret reduktion af affald.

I industrien er der i stigende grad fokus på cirkulær økonomi, da der er betydelige økonomiske potentialer i bedre produktdesigns, effektiv produktion samt øget genanvendelse af materialer og komponenter. Denne udvikling er formentlig også foranlediget af stigende og fluktuerende priser på råmaterialer såsom metaller og landbrugsprodukter.<sup>89</sup>

Central blødgøring af vand kan i kraft af en række faktorer bidrage både positivt og negativt til en cirkulær og grøn økonomi.

Levetidsforlængelser for husholdningsapparater og -installationer, som er en direkte effekt af blødgøring af vand, vil i høj grad bidrage positivt til en cirkulær og grøn økonomi. Levetidsforlængelser medfører et reduceret råmaterialeforbrug til produktion og et mindre energiforbrug til produktion og transport af apparater og installationer (da der skal produceres færre). Herved opnås en direkte nettobesparelse på råmateriale- og energiforbrug til produktion af husholdningsapparater og -installationer ved central blødgøring af vand.

Endvidere vil en central blødgøring medføre en direkte reduktion i energiforbruget for en gennemsnitlig husstand og for virksomhederne. Dette primært i kraft af en reduktion af energiforbruget til vaskemaskiner, da mindre tilkalkede maskiner bruger mindre energi. Det lavere energiforbrug kan medføre mindre emission af luftforurenende stoffer i forbindelse med produktion af energi, hvorfor det bidrager til en cirkulær og grøn økonomi.

Der kan dog også argumenteres for en modsatrettet effekt, hvis der sker mindre udskift af apparater og installationer. Som oftest vil der være et lavere energiforbrug for nye apparater og installationer sammenlignet med ældre modeller, hvorfor det vil medføre et øget samlet energiforbrug, hvis ældre modeller benyttes længere. Da en værdisætning af den negative effekt forudsætter viden om den teknologiske udvikling de næste 30 år og indgående viden om forbrugsmønstre, værdisættes potentielle negative energieffekter ved kortere levetider ikke i den samfundsøkonomiske analyse.

Et andet element, der bidrager positivt til en cirkulær og grøn økonomi ved blødgøring, er den reducerede anvendelse og udledning af vaskemiddel, rengøringsmiddel og produkter til personlig pleje. Der vil således ske en reduktion af anvendelsen og udledningen af kemikalier, der anvendes til rengøring, tøjvask og personlig pleje (se afsnit 9.1.5). Færre kemikalier kan der også være en positiv effekt for rensningsanlæggene, da de skal udfælde mindre fosfor af vandet. Dette kan medføre et reduceret energi- og kemikalieforbrug på rensningsanlæggene.

I forsyningernes produktion af blødt vand kan der forekomme både positive og negative effekter på en cirkulær og grøn økonomi. Et element, hvor der er et markant uopdyrket potentiale, er anvendelse af restprodukter fra blødgøringsprocessen. Særligt pelletmetoden producerer restproduk-

<sup>88</sup> Miljø- og Fødevarerministeriet 2016: Kommissorium for Advisory Board for cirkulær økonomi

<sup>89</sup> Ellen MacArthur Foundation 2013: Towards the circular economy

ter i form af calcium karbonat-piller, der potentielt kan anvendes til kommercielle formål eller genanvendes i blødgøringsprocessen. Holland er førende i forskning inden for anvendelsen af restprodukter fra kalkudfældningsmetoden og har undersøgt en bred palette af potentielle anvendelser.

For det første er der lavet forsøg med at genanvende calcit fra det resterende calcium karbonat som podningsmateriale i blødgøringsprocessen. Her viser foreløbige undersøgelser, at det er teknisk muligt, og at det kan medvirke til at reducere evt. negative miljøeffekter ved transport i forbindelse med bortskaffelse af restprodukt med op til 5 pct.<sup>90</sup>. Anvendelse af calcit som podningsmateriale kan endvidere muliggøre en øget anvendelse til andre formål såsom gødning samt produktion af glas og papir. Her er det således en udfordring, at det normalt er sandkorn, der bruges som podningsmateriale, da det begrænser anvendelsesmulighederne.

Resultaterne fra Holland og fra andre forsøg er dog fortsat utilstrækkelige til at foretage endelige konklusioner, og det er kun i begrænset grad lykkedes at anvende restprodukter på en effektiv og økonomisk rentabel vis. Det samme er tilfældet ved de begrænsede erfaringer, der er med restprodukter i Danmark. HOFOR genererer i forbindelse med blødgøringsprocesser en mængde restkalk, der afhentes uden afregning af et kalkbrud. Anvendelsesmulighederne er her begrænsede, og HOFOR har ikke kunnet etablere en kommerciel indkomst på overskudskalken.

Som antydnet kan der være potentielle negative miljøeffekter ved blødgøringsprocesser, der producerer restprodukter, hvor det ikke er muligt at anvende restproduktet. I sådanne tilfælde vil restproduktet skulle transporteres væk fra de enkelte vandforsyninger, formentlig med tung godstrafik, hvilket medfører øget udledning af kuldioxid og kvælstofoxider. Såfremt der benyttes metoder, hvor der er en væsentlig produktion af restprodukter, vil det derfor være centralt at adressere spørgsmålet om anvendelse og genanvendelse.

En anden potentielt negativ effekt ved alle blødgøringsprocesserne er, at de producerer spildevand, der skal håndteres af rensningsanlæggene. Det vil således ikke være muligt at udlede spildevand fra blødgøringsprocesser direkte i vandløb og lignende. Her kan der være et øget ressourceforbrug til transport og rensning af spildevand.

---

<sup>90</sup> Schettters, M. J. A. 2015: Circular economy in drinking water treatment: Reuse of ground pellets as seeding material in the pellet softening proces

## 11. LITTERATURLISTE

Arnedo-pena, A. & Bellido-blasco, J. (2007): *Dureza del agua de consumo doméstico y prevalencia de eczema atópico en escolares de Castellón*. España 49, 295-301.

Bryggeriforeningen (2015): *Tal om øl*

Chiu, H.-F. et al. (2011). *Does calcium in drinking water modify the association between nitrate in drinking water and risk of death from colon cancer?*. Journal of water and health 9, 498-506.

Cotruvo, J. & Bartram, J. (2009). *Calcium and Magnesium in Drinking-water: Public health significance*, Geneva: World Health Organization.

Council for Public Health (1975): *Advice on Softening by Water Works*, Rijswijk, The Netherlands

COWI (2011): *Central blødgøring af drikkevand*, På bestilling fra Naturstyrelsen og DANVA

COWI (2012): *Supplering af samfundsøkonomisk vurdering af blødgøring*

COWI (2014): *Samfundsøkonomisk vurdering af blødgøring af vand til husholdninger i HOFOR'S ejerkommuner*

COWI (2015): *Miljøvurdering af blødgøring af vand*

Danish Crown: Grønt Regnskab 2011/2012

Danmarks Statistik: Vand og Spildevand, antal husholdninger, antal husholdningsapparater, Overnatninger på hoteller, feriecentre, campingpladser og vandrehjem mv.,

Dansk Fjernvarme (2015): *Benchmarking 2015*

Dansk Industri (2016): *Erhvervsvaskeribranchens årsrapport 2016*

DANVA: Vandposten, november 2016

DANVA (2013): *Vandforbrug*,  
<http://www.hfb.dk/fileadmin/templates/hfb/dokumenter/beregn/Vandforbrug.pdf>

DANVA (2015): *Vand i Tal*

Deloitte (2015): *Samfundsøkonomisk analyse af central blødgøring af vand på Forsyning Ballerups værker*

Ellen MacArthur Foundation (2013): *Towards the circular economy*

Energi- og olieforum (2015): *Statistik*

Energistyrelsen (2016): *Beregningsforudsætninger for samfundsøkonomiske analyser*

Energitilsynet (2016): *Elprisstatistik 2. kvartal 2016*

European Environment Agency (2016): *Circular economy in Europe – Developing the knowledge base*

Experian: KOB branchekodedatabase

FEHA (2015): *Hvidevarer og elektriske husholdningsapparater - afsætning i stk. på det danske marked*

Finansministeriet (1999): *Vejledning i udarbejdelse af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger*

Garcia, Antonio L. T., Godskedsen, Berit, Nielsen, Kristian D., Wind, Erik & Rothuizen, Erasmus D. (2009): *Life Cycle Assessment on Central Softening of Drinking Water in Copenhagen*, DTU

GEUS Jupiter database

Godskesen, B., Hauschild, M., Rygaard, M., Zambrano, K. & Albrechtsen, H. J. (2012): *Life cycle assessment of central softening of very hard drinking water*, JEM

Heaney, R.P. (2000). *Calcium, dairy products and osteoporosis*. Journal of the American College of Nutrition 19, 83S-99S.

HOFOR (2015): *Forbrugerne og det blødere vand*

HOFOR (2015): *Første spadestik: Nu er der blødere vand på vej til Brøndby*

HOFOR (2015): *Undersøgelse om opfattelse og adfærd i forbindelse med kalk i vandet*

HORESTA (2014): *Overnatningserhvervet*

HORESTA (2014): *Tendens*

Interviews:

- Best Water Technology
- Danva
- Danfoss
- DTU
- Teknologisk Institut
- Landbrug og Fødevarer
- Økologisk Landsforening
- Ekspertter fra Holland & Sverige
- Energiselskaber
- Hvidevareproducenter samt brancheforening for importører og producenter af elektriske husholdningsapparater
- Producenter af varmevekslere og varmtvandsbeholdere
- Brancheforening og repræsentanter fra branchen erhvervsvaskerier
- Brancheforening og repræsentanter fra branchen hoteller og conferencecentre
- Brancheforening og repræsentanter fra branchen medicinalproducenter
- Brancheforeninger for tankstationer og producenter af vaskehaller
- Repræsentanter fra gartnerier
- Repræsentanter fra mejerier
- Repræsentanter fra slagterier
- Repræsentanter fra svømmehaller
- Repræsentanter fra sygehuse
- Repræsentanter fra vandforsyninger i forskellige hårdhedszoner
- Repræsentanter fra øvrige fødevarerproducenter
- Vvs'ere og installatører

Kiwa Water Research, AwwaRF, TZW, Veolia (2007): Water hardness: Reasons and criteria for softening and conditioning of drinking water. Global Water Research Coalition

L.J. Leurs, L.J. Schouten, M.N. Mons, R.A. Goldbohm, P.A. van den Brandt (2010): Relationship between Tap Water Hardness, Magnesium, and Calcium Concentration and Mortality due to Ischemic Heart Disease or Stroke in the Netherlands, *Environmental Health Perspectives* 118 (3)

McNally, N.J. (1998). *Atopic eczema and domestic water hardness*. *Lancet* 352, 527-531.

Miljø- og Fødevareministeriet (2015): Industriens vandforbrug og indholdsstoffer i spildevand fra udvalgte virksomheder fordelt på brancher

Miljø- og Fødevareministeriet (2015): Miljøøkonomiske nøgletal

Miljø- og Fødevareministeriet (2016): *Drikkevandsbekendtgørelsen*, <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=180348>

Miljøstyrelsen: *Faktaark vaske- og rengøringsmidler*, <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/kemikalier/regulering-og-regler/faktaark-om-kemikalierereglerne/vaske-og-rengøringsmidler/>

Miljø- og Fødevareministeriet (2016): *Kommissorium for Advisory Board for cirkulær økonomi*  
Miyake, Y. et al. (2004). *Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area*. *Environmental Research* 94, 33-37.

Nielsen, Peter B. & Quinzanos, Sonsoles (2015): *Analyse af muligheder for central blødgøring*, Krüger

Nordvand A/S (2015). *Samfundsøkonomisk screening af blødgøring af vand på Nordvands anlæg*, Kgs. Lyngby: COWI A/S

Palmen, L., Hofs, B., Hijnen, W., Brand, T. v. d., Borsboom, M & Kolk, O. v. d. (2015): *Ontharden met calciet: met Hollandse kalkpellets de markt op*, KWR

Paul, D. D., Gadkari, V. V., Evers, D.P., Goshe, M. E. & Thornton, D. A. (2009): *Study on Benefits of Removal of Water Hardness (Calcium and Magnesium Ions) From a Water Supply*, Batelle

Pedersen, A. et al. (2015). *Danskernes kostvaner 2011-2013*, Kgs. Lyngby: DTU Fødevarerinstitutionen

Rubenowitz E., Axelsson G., Rylander R. (1996): *Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction*. *Am J Epidemiol* 143(5):456-462.

Rygaard, M. & Albrechtsen H. J. (2012). *Redegørelse om sundhedseffekter af blødgøring i København specielt med fokus på caries*, Kgs. Lyngby: DTU Miljø.

Rygaard, Martin, Arvin, E. & Binning, P. J. (2009): *The valuation of water quality: Effects of mixing different drinking water qualities*, WR

Rygaard, Martin, Arvin, E. & Binning, P. J. (2010): *Indirect economic impacts in water supplies augmented with desalinated water*, WST

Schettters, M. J. A., van der Hoek, J. P., Kramer, O. J. I., Kors, L. J., Palmen, Hofs, B. & Koppers, H. (2015): *Circular economy in drinking water treatment: reuse of ground pellets as seeding materiale in the pellet softening process*, WST

Schrøder, S. et al. (2015). *Does drinking water influence hospital-admitted sialolithiasis on an epidemiological level in Denmark?*, BMJ Open 2015;5:e007385.

Schullehner, J. & Hansen, B (2014). *Nitrate exposure from drinking water in Denmark over the last 35 years*. IOP Publishing: Environmental Research Letters 9

SVANA (2016): *Drikkevand*, <http://svana.dk/vand/vand-i-hverdagen/drikkevand/>

SVANA (2016): *Vandsektoren - regulering og organisering*

Svenskt Vatten (2010): *Dricksvattenteknik 1 Vatten i natur och samhälle*, publikation U6

Thomas, K. et al. (2011). *A Randomised Controlled Trial of Ion-Exchange Water Softeners for the Treatment of Eczema in Children*, PLoS medicine 8, e1000395.

Transportministeriet (2016): *Transportøkonomiske enhedspriser*

WHO (2009): *Calcium and magnesium in Drinking Water. Public Health Significance*

WML, Watercompany Limburg (2005): *Studie en beleid kalkafzettendheid. Investigation and policy of scaling*, Project number 89095-680150

## BILAG 1 – BEREGNING AF VANDMÆNGDER OG HÅRDHEDER

Data til beregning af indvindingsmængder og hårdhed er udtrukket fra den landsdækkende Jupiter-database (udtrukket 04-11-2016). Indvindingsmængder- og hårdhed lagres i Jupiter-databasen i tilknytning til Anlæg. Anlæg skal i den forbindelse forstås som vandforsyninger/forsyninger/kildepladser o.l.

Anlæggene kan være enkeltstående (typisk mindre vandforsyninger), men kan også være sammenknyttet i et system af anlæg og under-anlæg. Under-anlæg kan igen have under-anlæg tilknyttet. Således ses hos de større forsyninger typisk, at selskabet har et hoved-anlægs-nr. Herunder findes de enkelte vandforsyninger (med hvert deres anlægs-nr) og hver deres kildepladser (med egne anlægs-numre)

Indvindingsmængderne er typisk registreret ved de enkelte indvindinger (yderst i hierarkiet). De enkelte vandforsyninger indmelder de oppumpede mængder for hver af disse enheder årligt – som en årsmængde for det pågældende anlægs-nummer. En del (nogle få procent) af det indvundne vand anvendes til at renskylle filtre på vandværket og leveres derfor ikke til forbrugerne. De indvundne mængder, der er anvendt i denne analyse, stammer fra det senest indberettede år, som er anført.

Hårdhederne opgjort i dette datasæt er et udtryk for hårdheden i det behandlede vand, som leveres til forbrugerne. Analyserne af  $[Ca^{++}]$  og  $[Mg^{++}]$  stammer typisk fra rentvandsprøver eller udvidede drikkevandskontroller. Disse kontroller er lovpligtige, men frekvensen varierer afhængig af indvindings størrelse. Derfor er der medtaget analyser fra 2010 og frem – beregnet som et vægtet gennemsnit med hensyn til den indvundne mængde, som knytter sig til hårdheden.

Da hårdhederne således er knyttet til leveret/behandlet vand, er de derfor typisk registreret ved et anlæg, som ligger over de(t) anlæg, som selve indvindingen er knyttet til. For de helt små vandforsyninger er både hårdhed og indvindingsmængde dog knyttet til samme anlæg. Indvindingen for de enkelte under-anlæg er summeret og anført under hoved-vandværket sammen med hårdheden.

Hofor leverer store mængder vand, som er blandet fra flere indvindinger. På grund af Jupiter-databasens struktur er det desværre ikke muligt at sammenknytte hårdheder og indvindingsmængder. Derfor er det valgt at erstatte alle Jupiter-oplysninger vedrørende Hofors indvinding og forsyning og erstatte dem med tal, som er rekvireret direkte fra Hofor.



## BILAG 2 – FORDELING AF SÆRLIGT VANDFORBRUGENDE VIRKSOMHEDER I HÅRDHEDSZONER

**Tabel 11.1: Fordeling af vandforbrug i særligt vandforbrugende virksomheder på hårdhedsniveau**

Branche/hårdhedsniveau	< 4	4 - 8	8 - 12	12 -18	18 -24	≥ 24
Vaskerier	0 %	1 %	16 %	38 %	38 %	7 %
Sygehuse	0 %	1 %	13 %	66 %	13 %	7 %
Vaskehaller	0 %	4 %	22 %	50 %	20 %	4 %
Fjernvarmeværker	0 %	4 %	24 %	38 %	33 %	1 %
Svine slagterier	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %
Fjerkræ slagterier	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %
Andre slagterier	0 %	5 %	52 %	30 %	13 %	0 %
Mejerier	0 %	8 %	37 %	50 %	5 %	0 %

Kilde: Experians KOB database samt egne vurderinger

## BILAG 3 – KOMMUNERNES HÅRDHEDSNIVEAU

Kommune	Baseline	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
København	Hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Frederiksberg	Meget hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Dragør	Meget hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Hårdt
Tårnby	Meget hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Albertslund	Hårdt	Hårdt	Hårdt	Hårdt
Ballerup	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Brøndby	Meget hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Gentofte	Hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Gladsaxe	Hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Glostrup	Meget hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Herlev	Hårdt	-	-	-
Hvidovre	Meget hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Høje-Taastrup	Meget hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Ishøj	Hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Lyngby-Taarbæk	Hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Rødovre	Meget hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Vallensbæk	Meget hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Allerød	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Egedal	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Fredensborg	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Frederikssund	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Furesø	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Gribskov	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Halsnæs	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Helsingør	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Hillerød	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Hørsholm	Hårdt	Hårdt	Hårdt	Hårdt
Rudersdal	Hårdt	Blødt	Middelhårdt	Temmelig hårdt
Bornholm	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Greve	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Køge	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Lejre	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Roskilde	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Solrød	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Faxe	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Guldborgsund	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Hårdt
Holbæk	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Kalundborg	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Hårdt
Lolland	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Næstved	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Odsherred	Hårdt	Temmelig hårdt	Hårdt	Hårdt
Ringsted	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Slagelse	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Sorø	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Stevns	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Hårdt
Vordingborg	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Hårdt
Assens	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Faaborg-Midtfyn	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Kerteminde	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Langeland	Meget hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Middelfart	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Nordfyns	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Nyborg	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt

Kommune	Baseline	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Odense	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Svendborg	Hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Ærø	Hårdt	Hårdt	Hårdt	Hårdt
Billund	Blødt	Blødt	Blødt	Blødt
Esbjerg	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Fanø	Blødt	Blødt	Blødt	Blødt
Fredericia	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Haderslev	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Kolding	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Sønderborg	Hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Tønder	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Varde	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Vejen	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Vejle	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Aabenraa	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Favrskov	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Hedensted	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Horsens	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Norddjurs	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Odder	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Randers	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Samsø	Hårdt	Hårdt	Hårdt	Hårdt
Silkeborg	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Skanderborg	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Syddjurs	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Århus	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Herning	Middelhårdt	Blødt	Middelhårdt	Middelhårdt
Holstebro	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Ikast-Brande	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Lemvig	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Ringkøbing-Skjern	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Skive	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Struer	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Viborg	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Brønderslev-	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Dronninglund				
Frederikshavn	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Hjørring	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Jammerbugt	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Læsø	Blødt	Blødt	Blødt	Blødt
Mariagerfjord	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Morsø	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Rebild	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Thisted	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt
Vesthimmerland	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt	Middelhårdt
Aalborg	Temmelig hårdt	Middelhårdt	Temmelig hårdt	Temmelig hårdt

Kilde: GEUS og egne beregninger