



Gundsømagle Vandværk A.m.b.a

Blødgøring af drikkevand

Beslutningsgrundlag for valg af løsning

Marts 2025

WATER TECHNOLOGIES

KRÜGER  VEOLIA



Udarbejdet af: Mia Keller-Krüger

Kontrolleret af: Rasmus Boe-Hansen

Udgave: 1

Projektnummer: 1300 84900

Krüger A/S – Veolia Water Technologies, Danmark

SØBORG
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AALBORG
Indkildevej 6C
DK-9210 Aalborg SØ
T +45 9818 9300
kruger@kruger.dk

AARHUS
Haslegårdsvænget 18
DK-8210 Aarhus V
T +45 8746 3300
kruger@kruger.dk

SERVICE
Langebjerg 29A
DK-4000 Roskilde
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AQUACARE
Fabriksparken 50
DK-2600 Glostrup
T +45 4345 1676
aquacare@kruger.dk



Indholdsfortegnelse:

1 Sammenfatning	4
2 Indledning	5
3 Blødgøring og reduktion af kalkudfældning	5
4 Blødgøringsteknologier	6
4.1 Membranfiltrering	6
4.2 Traditionel ionbytning	7
4.2.1 Afledning af vand fra regenerering	10
4.3 CARIX	10
5 Sammenligning af blødgøringsmetoder	12



1 Sammenfatning

Gundsømagle Vandværk ønsker mulighederne for blødgøring af drikkevandet fra værket undersøgt.

Der findes flere relevante processer til blødgøring af drikkevand, som hver har deres fordele og ulemper. Denne rapport sammenligner tre velgennemprøvede processer såvel teknisk, miljømæssigt som økonomisk.

En oversigt over de forskellige teknikker og det generelle princip for blødgøring er vist i Tabel 1.

Tabel 1 Oversigt over udvalgte blødgøringsteknikker, typisk placering i rensprocessen, forbrugsstoffer og spild/restprodukter

	Membranfiltrering	Ionbytning	CARIX
Forbehandling	Ittning, filtrering	Ittning, filtrering	Ittning, filtrering
Efterbehandling	pH justering	Evt. pH justering	CO ₂ afblæsning
Forbrug	Antiscalant, CIP kemikalier	Salt (NaCl)	Kuldioxid
Rest/spild	Rejektvand (ca.20%)	Eluat (højt saltindhold) (ca. 2%)	Eluat (ca. 6%)
Arealbehov	Mellem	Mellem	Ikke mulig
Etableringsomkostninger	Mellem	Lav	Høj
Driftsomkostninger	Høj	Lav	Mellem

Endeligt valg af metode må foretages af Gundsømagle Vandværk, ud fra de krav, Forsyningen vægter højest:

- Ionbytning: Hvis anlægsøkonomi er afgørende, anbefales det at gå videre med denne løsning.
- Membranfiltrering: Hvis der ønskes større robusthed ifht. ændringer i råvandskvaliteten (natrium m.m.), vurderes denne løsning at være mest hensigtsmæssig.
- CARIX: Lægges der stor vægt på minimal miljøbelastning herunder ingen tilførsel af skadelige kemikalier til vand eller afløb, vurderes denne løsning at være den mest hensigtsmæssige.

Ved ionbytningsprocessen fjernes de hårdhedsdannende ioner calcium og magnesium fra vandet og erstattes med natriumioner. Ulempen ved denne proces er derfor primært et højt indhold af natrium i drikkevandet, som ligger tæt på den gældende kravværdi for drikkevand og sekundært, at der skal benyttes forholdsvis store mængder salt til regenereringen af ionbytteren i størrelsesordenen 130 kg per døgn. Hvis udfordringen med det forhøjede natriumindhold samt den forholdsvis store tilkørsel af salt til anlægget vurderes at være uacceptabel, er det en af de øvrige processer, der skal anvendes.



De andre processer er anlægsøkonomisk dyrere, men rent teknisk også brugbare til blødgøring af vandet fra Gundsømagle Vandværk.

Membranfiltrering og CARIX processerne vil give en samlet set bedre vandkvalitet end ionbytning og er tilsvarende lette pasningsmæssigt. Begge processer er anlægs- og driftsøkonomisk dyrere end ionbytning.

Membranfiltrering kan være problematiske ift. godkendelse af myndighederne pga. membranmaterialerne. Bl.a. er membranerne ikke godkendt til drikkevandsproduktion i Tyskland.

CARIX processen er forholdsvist udbredt i Tyskland til drikkevandsbehandling og ét anlæg på nuværende er i drift i Danmark og er teknisk/miljømæssigt bedømt mest optimal, men dyrest i anlægsomkostninger og stiller med et stort arealbehov som ikke er til stede på Gundsømagle Vandværk.

Krügers vurderer derfor umiddelbart, at den mest passende blødgøringsproces for Gundsømagle Vandværk er traditionel ionbytning grundet lavere anlægs- og driftsomkostninger forbundet hermed samt arealbehov.

2 Indledning

Gundsømagle Vandværk ønsker mulighederne for blødgøring af drikkevandet fra værket undersøgt.

Der findes flere relevante processer til blødgøring af drikkevand, som hver har deres fordele og ulemper.

Denne rapport sammenligner de forskellige processer såvel teknisk, miljømæssigt som økonomisk (kvalitativt) og skal udgøre basis for et beslutningsgrundlag for Gundsømagle Vandværk for hvilken løsning, der er mest optimal for blødgøringen af vandet herfra.

3 Blødgøring og reduktion af kalkudfældning

Ved blødgøring af vand forstås en reduktion af vandets indhold af calcium og/eller magnesium.

Vandets totale hårdhed er defineret som:

$$\text{Hårdhed}[\text{°dH}] = \frac{[\text{Ca}]}{7,13} + \frac{[\text{Mg}]}{4,35}$$

, hvor $[\text{Ca}]$ = koncentrationen af calcium (mg/l)
 $[\text{Mg}]$ = koncentrationen af magnesium (mg/l)

Typisk reduceres vandets totale hårdhed til 6 – 12 °dH inden det pumpes ud på ledningsnettet.

Derudover reduceres vandets kalkfældningspotentiale (CCPP), som er et udtryk for hvor meget kalk (CaCO_3) der teoretisk kan udfældes fra vandet. Erfaringer fra udlandet viser at CCPP skal reduceres til under 60 mg-kalk/l ved 90 °C for at forbrugerne oplever en positiv effekt.

Ved etablering af blødgøringsanlæg opnås flere positive effekter som:

- Reduktion af belægninger i varmevekslere og lign.



- Mindre lokalt forbrug af detergenter/sæbe/rengøringskemikalier.
- Generelt færre belægninger i rør, armaturer og på overflader.

Der kan dog også forekomme negative effekter afhængig af den valgte teknologi så som:

- Ændring af vandkemi: Tilførsel af natrium
- Øget korrosion af rørmaterialer
- Øget vandspild.
- Øget energiforbrug.

De potentielle sundhedsproblemer, der er relateret til blødgøring, skyldes hovedsagelig ændringer i vandets indhold af natrium, fluorid, calcium og magnesium. Nogle studier har vist en sammenhæng mellem højt indtag af natrium og højt blodtryk, men sammenhængen er ikke entydig. Calciummangel er tæt knyttet til knogleskørhed, og magnesium beskytter mod sukkersyge og hjerte-kar sygdomme. Styrelsen for Patientsikkerhed har dog konkluderet, at den samlede sundhedsmæssige effekt af blødgøring er meget begrænset, da mineralindtaget fra drikkevand ikke anses for at være afgørende for sundheden.

4 Blødgøringsteknologier

Der findes flere veldokumenterede blødgøringsteknologier, som alle er i drift på enten danske eller udenlandske vandværker i bl.a. Sverige, Tyskland og Holland. De mest benyttede teknikker, som vurderes relevante for Gundsømagle, er kort beskrevet i det følgende.

4.1 Membranfiltrering

Ved membranfiltrering fjernes hårdheden i vandet rent fysisk ved at filtrere vandet gennem en membran, der tilbageholder calcium og magnesium. Andre komponenter i vandet vil samtidig blive tilbageholdt afhængigt af membranens tæthed. Membranfiltrering producerer således en konstant god vandkvalitet.

Filtrering gennem membraner giver et tryktab, som bliver større, jo tættere membranen er – dvs. energiforbruget stiger med tættere membraner. Der bør derfor vælges en membrantype, der primært fjerner hårdhed fra vandet og ikke alle salte.

Såkaldte nanofiltrering- eller LPRO (Low Pressure Reverse Osmosis) membraner vil være passende at anvende, da de typisk tilbageholder ladede ioner som calcium, magnesium og sulfat. Derudover tilbageholdes også en mindre del af andre ioner som natrium, klorid og hydrogenkarbonat samt organisk stof afhængigt af membranvalget. Tilbageholdelsen af hydrogenkarbonat medfører et fald i pH i det rensede vand (kaldet permeat) som betyder at vandet bliver aggressivt. Vandet skal derfor neutraliseres efter membranbehandling. Det kan enten ske ved opblanding med vand der bypasses anlægget, der kan tilføres et basisk kemikalie eller kuldioxid kan afblæses inden udpumpning.

Forud for en membranfiltrering skal råvand gennemgå en traditionel vandbehandling for bl.a. at fjerne suspenderet stof som okker, der hurtigt vil tilstoppe membranoverfladen. Derudover skal vandet forfiltreres i et 1 – 5 µm filter. Alligevel vil der ved vandets passage af membranoverfladen være stoffer, der ikke kan passere, og som opkoncentreres. Herved udfældes partikler, som tilstopper membranoverfladen. For at reducere dette og samtidig opnå en passende stor udnyttelsesgrad af tilløbsvandet, skal der tilsættes såkaldte antiscaling kemikalier til tilløbsvandet. Det er typisk fosfatholdige kemikalier, som

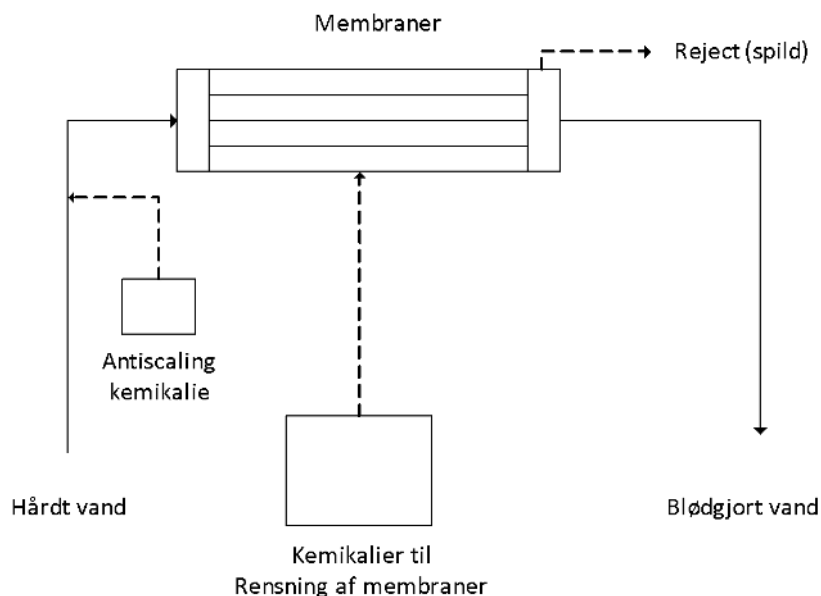


er godkendt til brug i drikkevand (i udlandet). Kemikalierne kan ikke passere membranen og kommer derfor ikke i drikkevandet, men i rejectet (spild).

Vandspildet ved membranfiltrering er stort og udgør typisk 10 – 20 % af indløbsvandet og skal udledes til afløb. Spildet varierer afhængigt af membrantypen og opbygningen af anlægget.

Med mellemrum skal membranoverfladen rengøres kemisk for at fjerne belægninger, som ikke helt kan undgås selv ved tilsætning af antiscaling kemikalier. Det gøres ved at recirkulere sure og/eller basiske kemikalier gennem membranen. Disse kemikalier skal neutraliseres før udledning til afløb. Levetiden af selve membraner er typisk 5 - 10 år afhængigt af driften og rengøringen. Figur 1 viser en principskitse af en membranproces.

Membrananlæg kan benyttes både til mindre og større vandværker, da anlæggene er fuldautomatiske og ikke kræver større pasning og vedligehold.



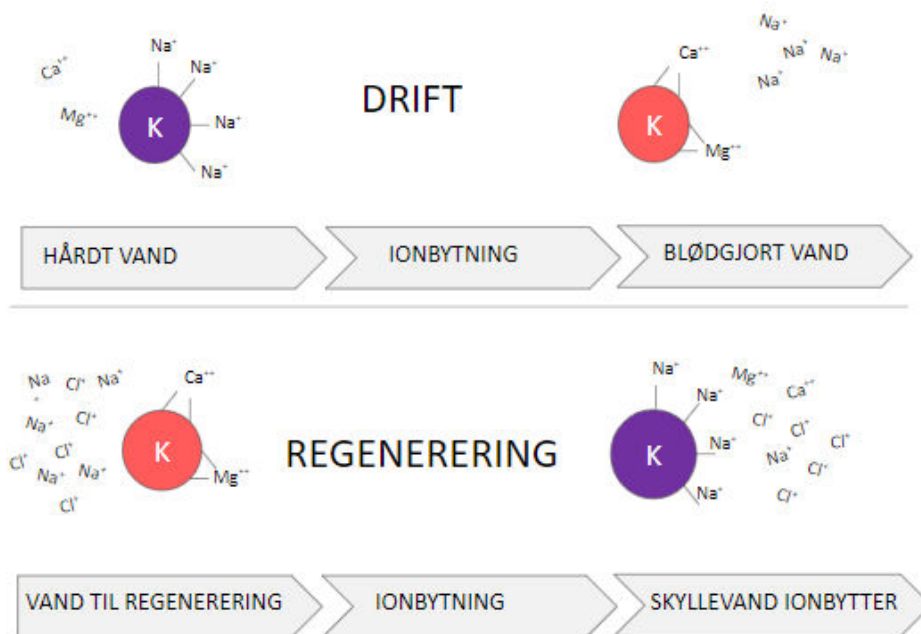
Figur 1: Principskitse af membranproces

Grundet et højt forventet vandspild, samt høje anlægs- og driftsomkostninger, undersøges membranfiltrering til blødgøring af vand fra Gundsømagle Vandværk ikke yderligere.

4.2 Traditionel ionbytning

Ved blødgøring med traditionel ionbytning fjernes calcium og magnesium ved at det adsorberes til et specialfremstillet organisk granuleret ionbyttermateriale under samtidig frigivelse af natrium fra ionbytteren:

Principeksempel:



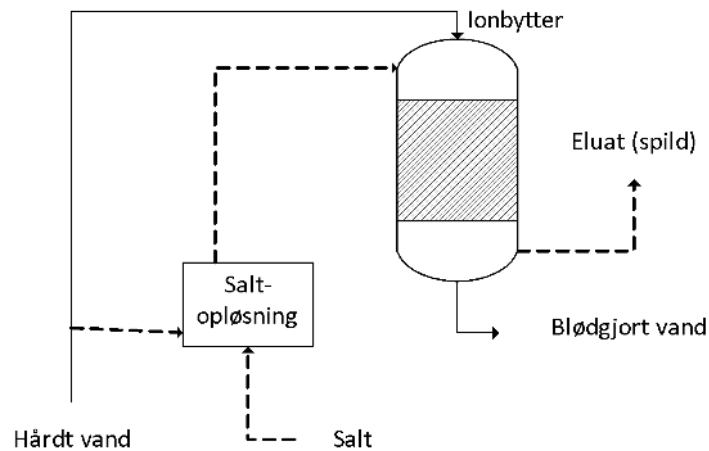
Figur 2: Princip for traditionel ionbytning

Dvs. efter blødgøringen indeholder det producerede vand et forhøjet indhold af natrium, mens andre vandkvalitetsparametre ikke ændres. Natriumindholdet skal reduceres ved opblanding med andet vand med lavere natriumindhold for at vandkvalitetskravet kan overholdes. Dette kan være begrænsende for den mulige endelige hårdhed og kalkudfældningspotentiale.

Ionbyttermassen udvælges specifikt til blødgøring og er ilagt et traditionelt lukket filter. Det hårde vand filtreres gennem ionbyttermassen med en filterhastighed på typisk 10 – 20 $m^3/m^2/time$. Ionbytteren er forholdsvis finkornet og for at undgå tilstopning af materialet, skal tilløbsvandet være forfiltreret i et traditionelt sandfilter.

Når alt natrium er udskiftet med calcium og magnesium, skal ionbytteren regenereres med nyt natrium. Dette sker ved en speciel skylleproces, hvor der bl.a. tilføres nyt natrium fra en saltopløsning. Samtidig skylles de bundne calcium- og magnesiumioner ud af ionbyttermassen. Regenereringen tager typisk op til 2 timer og skal udføres dagligt. Det muligt at have flere ionbytterfiltre i parallel drift, hvor ét filter konstant står i regenerering/vent position, men da blødgøring ikke er et kritisk behandlingstrin kan der på Gundsømagle Vandværk nøjes med ét ionbytterfilter. Vandspildet fra regenereringen udgør typisk 2 % og er stærkt saltholdigt vand.

Levetiden af selve ionbyttermassen er typisk 10 år. Figur 3 viser en principskitse af en ionbytter proces.



Figur 3: Principskitse af ionbytterproces

Krav til den resulterende hårdhed i vandet bør sættes med hensyn til et kalkfældningspotentiale (CCPP) ved 90°C, der giver den ønskede effekt ved forbrugerne, samt at vandet indhold af natrium ikke må overskride 175 mg/l.

Ved behandling af vand fra Gundsømagle Vandværk er der i Tabel 2 vist vejledende beregnede data for et ionbytteranlæg.

Tabel 2 Vejledende data for et ionbytningsanlæg til Gundsømagle Vandværk med 20 m³/time kapacitet

	Enhed	Værdi	
Indløbsflow	m ³ /time	20 ⁴	
Vandspild	%	2	
	m ³ /døgn	6,4	
Klorid i spildevand	g/l	19	
Filtre	stk.	1	
Driftstid mellem regenerering	timer	8	
Saltforbrug	kg/reg	66	
	kg/døgn	132	
Vandkvalitet ud af proces før evt. efterbehandling/opblanding (mg/l)			
	Udløb	Råvand ¹	Krav ²
Hårdhed	< 1	21	-
Calcium	1,3	128	-
Magnesium	0,14	14	< 50
Natrium	192	20	< 175



Klorid	55	55	< 250
Sulfat	57	57	< 250
pH ³	7,8	7,3	7,0 - 8,5

¹ Råvand fra Gundsømagle vandværk (gennemsnit)

² Krav til drikkevand i afgang fra vandværket

³ Vandet må ikke være aggressivt

⁴ Antaget døgnproduktion på 320 m³/time og 16 timers drift

4.2.1 Afledning af vand fra regenerering

Ionbyttermaterialet skal jævnligt regenerere for at tilbagevinde den blødgøringskapacitet som opbruges efterhånden som materialet mættes med calcium og magnesium.

Denne regenerering sker ved skyl med stærkt saltholdigt vand. Fra denne skylning vil der således opstå en spildstrøm som skal bortledes. Da regenereringen sker overstøkiometrisk, (dvs. der skal anvendes 50-100 % mere NaCl end teoretisk nødvendigt), vil denne spildstrøm stærkt saltholdig og med en meget høj hårdhed. Vandspildet fra regenereringen udgør typisk 2 % af produktionen.

Der er følgende muligheder for afledning af vand på Gundsømagle Vandværk:

- Kloakken - medfører afløbsafgift. Kan muligvis være begrænset af mængden af klorid i vandet
- Vejafvandingssø - ejet af Roskilde Kommune
- Roskilde Fjord - vil kræve ledning fra vandværket til fjorden
- Opsamling og deponi

Vejafvandingssøen er beliggende indenfor et par hundrede meter af Gundsømagle Vandværk (ejes af Roskilde Kommune, vedligeholdelse foretages af FORS).

Afledning til Roskilde Fjord vil kræve, at der etableres en ny ledning, som vil være omkostningsfuld.

Grunden er de høje mængder af klorid i spildevandet, kan afledning til kloak i nogle tilfælde også være problematisk i forhold til korrosion af betonafløbsledninger og eventuelt skadeligt for de biologiske processer på renseanlægget. Den anbefalede grænseværdi er på 1.000 mg/l med henvisning til vejledning nr. 2 (2006) fra Miljøstyrelsen vedrørende tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg. Indholdet af klorid i spildevandet forventes langt over denne grænseværdi (ca. 19 g/l).

En tilladelse til afledning til (fersk-/regnvands-)recipient, vurderes usandsynlig, pga. den høje indhold af klorid.

4.3 CARIX

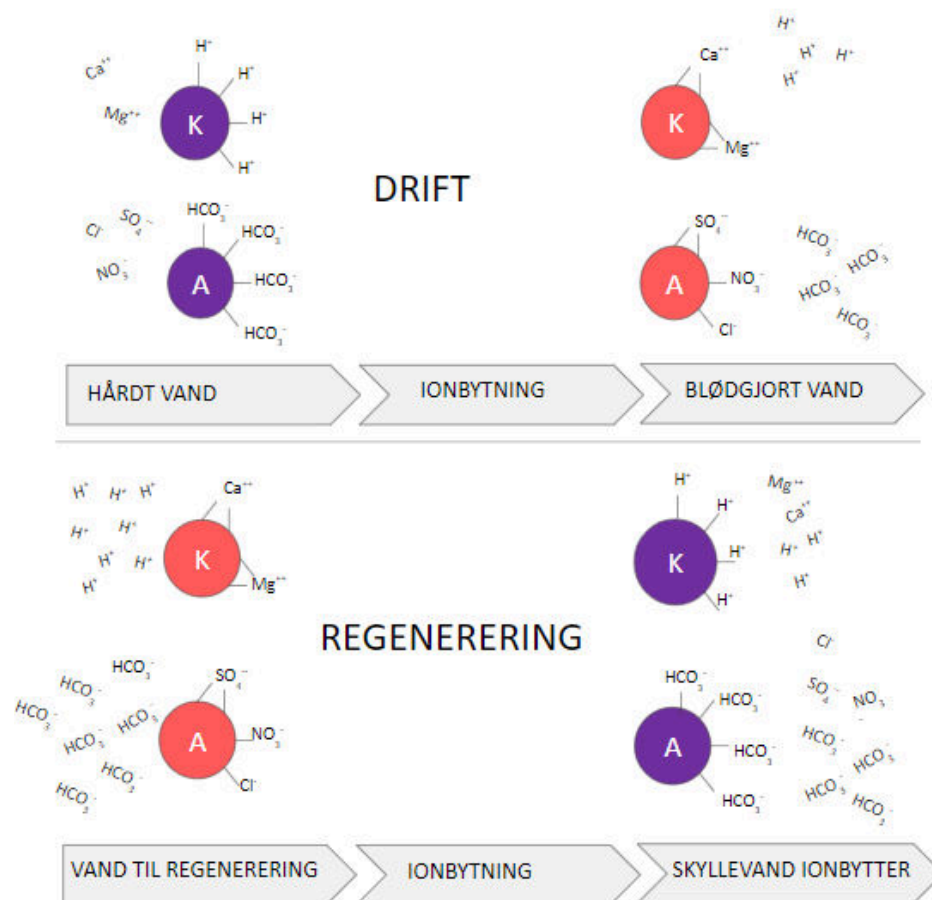
CARIX står for *CAarbon dioxide Regenerated Ion eXchangers* og er som navnet antyder en ionbytningsmetode, som dog adskiller sig fra den traditionelle ionbytning, ved at der anvendes kuldioxid istedet for natriumklorid til regenerering af ionbyttermaterialer. Derudover er det også muligt at reducere vandets indhold af sulfat, klorid og nitrat såvel som calcium, magnesium, efter en specifik valgt opbygning med to forskellige ionbyttermaterialer.



Ionbytteren er svagere, hvorfor blødgøringen er mindre effektiv end med en traditionel ionbytter, og der skal benyttes et større ionbyttervolumen. Fordelen ved denne specielt miljøvenlige proces er derimod netop, at indholdet af natrium i det behandlede vand ikke øges og spildvandet til afledning (eluat) er ikke forurenet med natrium og klorid. Op til 95 % af den benyttede kuldioxid genbruges, hvorved kuldioxid forbruget til regenereringen bliver lavt.

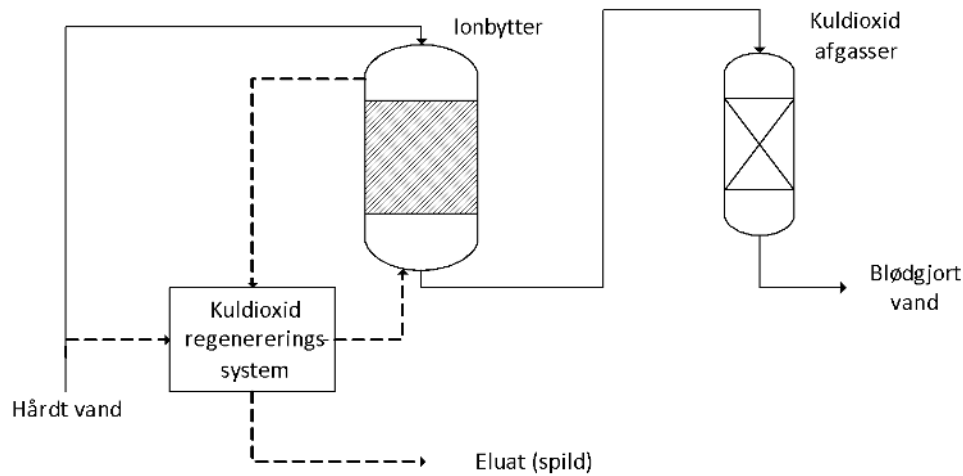
Ved ionbytningen dannes der kulsyre/kuldioxidgas i vandet, som afblæses efterfølgende i en afgasser for at undgå levering af aggressivt vand til ledningsnettet.

Principeksempel for processer ved CARIX ionbytning:



Figur 4: Princip for CARIX

Ved regenereringen vendes processen, således at der tilføres kuldioxid og de bundne ioner (her calcium og sulfat) frigives til vandfasen og skylles ud. Dvs. der tilføres ikke ekstra kemikalier til vandet end det eksisterende i råvandet.



Figur 5: Principskitse af CARIX-proces

Grundet et højt forventet arealsbehov, som ikke er tilstede ved Gundsømagle Vandværk, samt at vandværkets produktionskapacitet ligger uden for det optimale område, undersøges CARIX til blødgøring af vand fra Gundsømagle Vandværk ikke yderligere.

5 Sammenligning af blødgøringsmetoder

I Tabel 3 og 4 er der lavet en sammenligning af de beskrevne blødgøringsmetoder ud fra Gundsømagle Vandværks specifikke forhold. Der er givet en karakter på 1 – 4, hvor 1 angiver dårligst og 4 angiver bedst evaluering. De enkelte parametre er ikke vægtet i betydning i denne tabel.

Tabel 3 Kvalitativ sammenligning af blødgøringsmetoder

Parameter	Membranfiltrering	Ionbytning	CARIX	Bemærkning
Arealsbehov	2	3	1	
Højde	4	3	1	
Levetid	2	3	3	For anlæg
Kemikalieforbrug	4	2	3	Mængder
Vandspild	1	3	2	
Energiforbrug	1	3	1	
Rentvandskvalitet	3	1	4	Overskridelser af f.eks. Natrium, aggressivt vand
Pasning/Vedligeholdelse	3	3	3	
Affaldsproduktion/forbrugsmaterialer	3	2	4	Mængde og miljøpåvirkning
Blødgøringseffektivitet	4	4	2	



Mulighed for myndighedsaccept	2	3	4	
Total score	29	30	28	

Tabel 1 Udvalgte fordele og ulemper ved de forskellige blødgøringsmetoder

	Membranfiltrering	Ionbytning	CARIX
Fordele	Fjerner også andre stoffer - f.eks. pesticider, klorid, NVOC, etc. Kendt teknologi. Lille højde- og arealkrav.	Kendt teknologi. Ikke særlig arbejdskrævende (lav kompleksitet og lille pasningsbeho). Lavt vandspild. Lille/mellem arealkrav.	Ingen tilførsel af natrium til drikkevand Ikke særlig arbejdskrævende (middel i kompleksitet, men lille pasningsbehov) Forbruger kuldioxid Fjerner også andre stoffer - f.eks. klorid, nitrat, etc.
Ulemper	Evt. uønskede indholdsstoffer antiscalant. Relativt stort vandspild.	Forøgelse af natriumindhold i drikkevandet. Risiko for kimvækst fra ionbytermateriale. Saltholdigt skyllevand skal bortskaffes.	Stort arealkrav. Højere vandspild end traditionel ionbytning. Højere startomkostninger end traditionel ionbytning.

Uden vægtning af parametrene viser Tabel 3 og 4, at hver proces har sine specifikke tekniske/miljømæssige fordele og ulemper. I forhold til de specifikke forhold på Gundsømagle Vandværk vægtes vandspild og arealbehov højt, hvorfor membranfiltrering og CARIX fravælges.

Såfremt der kan opnås tilladelse til udledning af spildevandet fra ionbytningsanlæg vurderes denne teknik som mest attraktiv til blødgøring af vandet på Gundsømagle Vandværk. I dette tilfælde, ville det være fordelagtigt, at prioritere indvindingsboringerne med lavt natrium indhold, for at reducere koncentrationen af dette stof i det rene, bløde, vand. Driftssikkerheden vurderes generelt som høj (kendt teknologi) med lav kompleksitet og pasningskrav.

Kan opnås tilladelse til afledning af skylle-/ spildevand til recipient, er blødgøring



med membran den også en økonomiske teknik. Blødgøring med membran-anlæg resulterer i en god vandkvalitet, da membranen ikke kun fjerner calcium (dvs. hårdhed), men også bl.a. NVOG. Driftssikkerheden vurderes generel som høj (kendt teknologi) med lav kompleksitet og pasningskrav.

CARIX-ionbytning leverer en god vandkvalitet, og kan være attraktiv, hvis tilladelse til skyllevands-afledning til recipient kan opnås. Teknologien fjerner, bl.a., også NVOG. Driftssikkerheden vurderes generel som høj (kendt teknologi) med lav kompleksitet og pasningskrav. Dog vurderes arealbehovet til teknologien for stort til Gundsømagle Vandværk.