



KRÜGER  VEOLIA

Havdrup Vandværk A.m.b.A.

Teknologier til blødgøring af drikkevandet

Sammenligning - opdateret udgave

August 2021

WATER TECHNOLOGIES



Udarbejdet af: Peter Borch Nielsen

Kontrolleret af: -

Udgave: 1.1 (opdateret med nyeste data fra PAS teknologien)

Projektnummer: 1300 - 21111

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 Indledning	4
2 Forudsætninger for beregninger og sammenligning	5
3 Blødgøringsteknologier oversigt	6
4 Sammenligning af mulige teknikker til Havdrup Vandværk	7
4.1 Rentvandskvalitet	7
4.2 Vandspild	8
4.3 Kemikalieforbrug	9
4.4 Økonomi	9
4.5 Andre forhold	10
5 Konklusion	11



1 Indledning

I forbindelse med at Havdrup Vandværk overvejer at blødgøre drikkevandet, er Krüger blevet anmodet om at lave generelle beregninger for og sammenligninger af forskellige parametre ved udvalgte blødgøringsmetoder.

Udover de beregnede parametre i nærværende rapport skal der i forbindelse med valg af metode også tages stilling til bl.a. arbejdsmiljø, bygningsmæssige, teknologiske og økonomiske forhold før en optimal teknologi kan vælges til Havdrup Vandværk.

I denne rapport er der sammenlignet forhold for følgende blødgøringsteknologier:

- Kalkpille (pellet) med natriumhydroxid og kuldioxid dosering
- Traditionel ionbytning med salt (NaCl) til regenerering
- CARIX ionbytning med kuldioxid til regenerering
- Membranfiltrering med LPRO membraner
- Plastic Air Softening (PAS)



2 Forudsætninger for beregninger og sammenligning

Som forudsætning for beregningerne og sammenligningen er der benyttet råvands- og drikkevandskvalitet hentet fra GEUS's Jupiter database samt data tilsendt af Havdrup Vandværk.

Der er benyttet standard data for teknologierne og deres normale effektivitet. Denne kan variere afhængigt af specifikke leverandørers design, men giver erfaringsmæssigt passende præcise resultater, således at beregningerne giver et godt udgangspunkt for sammenligning af teknologierne.

Specifikke kriterier for beregningerne:

- Drikkevandsproduktion på 220.000 m³/år
- Maksimal timeproduktion på 50 m³/time til rentvandsbeholder - dvs. Excl. eventuelt vandspild.

Generelle kriterier:

- Ønsket hårdhed i rentvandet på 6 - 12 °dH.
- Drikkevandskravene iht. gældende drikkevandsbekendtgørelse skal overholdes.
- Vandet må ikke være kalkaggressivt - dvs. opløse kalk - ved 10° C. Til denne vurdering benyttes Langlier Saturation Indekset (LSI), som ikke må være mindre end 0,0
- Kalkfældningspotentialet ved 90°C (CCPP₉₀) bør maksimalt være 60 mg/l for at forbrugerne kan opleve en positiv effekt af blødgøringen, ifølge udenlandske erfaringer.
- Vedrørende korrosion af varmtforzinket stål bør Larson - Skold indekset være under 1,0 og indholdet af hydrogenkarbonat ligge mellem 100 - 300 mg/l ifølge bl.a. Miljøstyrelsens arbejdsrapport nr. 12 af 2005.
- Vedrørende korrosion af kobber bør indekset: [hydrogenkarbonat / 2*sulfat] (beregnet i mg/l) være større end 1,0, indholdet af hydrogenkarbonat ligge mellem 100 - 240 mg/l og pH over 7,5 ifølge bl.a. Miljøstyrelsens arbejdsrapport nr. 12 af 2005 og DS439.

Til økonomisk sammenligning er benyttet følgende enhedspriser:

Tabel 1 Enhedspriser

Post	Enhed	Enhedspris
El	kr/kWh	1,58
Personale, eksternt	kr/time	500
Natriumhydroxid, 27%	kr/kg	2,5
Kuldioxid	kr/kg	1,25
Kvarts sand	kr/kg	1,2
Natriumklorid	kr/kg	1,4
Antiscalant	kr/kg	60
Spildevandsafgift	kr/m ³	32 (< 500 m ³), 25,6 (> 500 m ³)
Membraner	kr/stk	5.000
PP elementer - PAS	kr/m ³	10.000



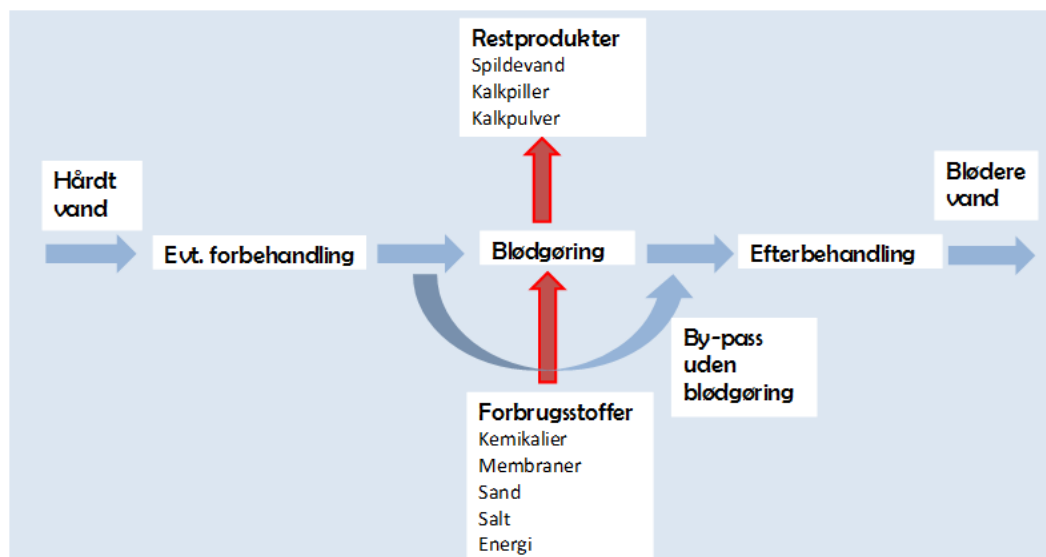
3 Blødgøringsteknologier oversigt

Der findes flere veldokumenterede centrale blødgøringsteknologier, som er i drift i Danmark samt på udenlandske vandværker i bl.a. Sverige, Tyskland, Frankrig og Holland.

En oversigt over udvalgte relevante teknikker og det generelle princip for blødgøringen er vist nedenstående. Såfremt Havdrup Vandværk ønsker en dybere teknisk forklaring af de enkelte metoders funktion, kan Krüger tilbyde at gennemgå dem på et møde efter nærmere aftale.

Tabel 2 Oversigt over udvalgte blødgøringsteknikker

Teknik	Typisk for-behandling	Typisk efter-behandling	Forbrug	Rest/spild
Kalkpille (Pellet)	ingen	Iltning, filtrering (UV)	NaOH, sand, kuldioxid	kalkpiller
Membran (LPRO)	Iltning, filtrering	pH justering (UV)	antiscalant	vand med opkoncentrerede salte
Traditionel ionbytning	Iltning, filtrering	UV	salt (NaCl)	saltvand
PAS	Iltning, filtrering	-	luft	kalkslam
CARIX	Iltning, filtrering	Risetårn	kuldioxid	'danskvand' med fjernet kalk



Figur 1 Generelt princip for central blødgøring af drikkevand. De enkelte enhedsprocesser, forbrugsstoffer og restprodukter varierer fra teknik til teknik.



4 Sammenligning af mulige teknikker til Havdrup Vandværk

4.1 Rentvandskvalitet

Den beregnede rentvandskvalitet for Havdrup Vandværk er vist i nedenstående tabel.

Tabel 3 Beregnet rentvandskvalitet - rød markering angiver over 10% overskridelse af et krav/ønske, gul markering angiver mindre end 10% overskridelse

Parameter	Enhed	Blødgøring med					Uden blødgøring	Krav / ønske
		Pellet	Ionbytning	Membran	CARIX	PAS		
Calcium	mg/l	33	39	49	55	54	110	-
Magnesium	mg/l	19	7	8	10	19	19	-
Hårdhed	°dH	9	7	9	10	12	20	6 - 12
pH	-	8,0	7,5	7,7	7,7	8,0	7,5	7,5 - 8,5
Hydrogen-karbonat	mg/l	326	383	191	170	211	383	100 - 240
Natrium	mg/l	93	128	11	23	23	23	< 175
Sulfat	mg/l	36	36	16	36	36	36	< 250
Klorid	mg/l	29	29	14	29	29	29	< 250
Flourid	mg/l	0,31	0,47	0,23	0,47	0,47	0,47	< 1,5
LSI	-	0,4	0,05	0,05	0,05	0,4	0,5	> 0,0
CCPP ₉₀	mg/l	54	62	43	39	51	144	< 60
Larson indeks	-	0,3	0,3	0,2	0,6	0,4	0,3	< 1,0
Kobber indeks	-	4,5	5,3	6,0	2,3	2,9	5,4	> 1,0

- Pelletblødgøring opfylder alle krav/ønsker med undtagelse af indholdet af hydrogenkarbonat, som har en overskridelse ift. korrosionsindeks for kobber. Overskridelsen vurderes af mindre betydning, også set i forhold til det nuværende rentvands sammensætning, hvorfor teknikken vurderes som tilfredsstillende og brugbar mht. den producerede drikkevandskvalitet.
- Ionbytning med salt opfylder ikke kravet til CCPP₉₀, men overskridelsen er begrænset. Derudover overskrides kravet til indholdet af hydrogenkarbonat ift. korrosionsindeks for kobber. Denne overskridelse vurderes af mindre betydning, også set i forhold til det nuværende rentvands sammensætning. Teknikken vurderes som brugbar og acceptabel mht. den producerede drikkevandskvalitet.
- Membrananlæg og CARIX opfylder alle drikkevandskrav med god margin og producerer generelt den bedste drikkevandskvalitet med det laveste kalkfældningspotentiale. Teknikkerne vurderes som meget tilfredsstillende og brugbare ift. den producerede drikkevandskvalitet.



- PAS teknikken leverer vand med den højeste hårdhed. Teknikken vurderes som tilfredsstillende og brugbar ift. den producerede drikkevandskvalitet.

4.2 Vandspild

Vandspildet fra blødgøringsprocesserne er beregnet og er meget varierende.

Tabel 4 Beregnet vandspild fra blødgøringsprocesserne

	Enhed	Pellet	Ionbytning	Membran	CARIX	PAS
Vandspild	m ³ /år	200	4400	28000	11500	200

Det ekstra vandspild skal indvindes og produceres i det nuværende vandværk samt afledes til recipient eller kloak.

Spildevandets vejledende sammensætning er beregnet og angivet nedenstående.

Tabel 5 Beregnet afløbsvands-kvalitet

Parameter	Enhed	Blødgøring med				
		Pellet	Ionbytning	Membran	CARIX	PAS
Calcium	mg/l	40	2400	550	1150	66
Magnesium	mg/l	19	410	94	200	19
pH	-	Ca. 8	Ca. 7,5	Ca. 8	Ca. 6,5	Ca. 8
Natrium	mg/l	87	3200	100	23	23
Sulfat	mg/l	36	36	180	36	36
Klorid	mg/l	29	13000	130	29	29

Generelt kan det være meget problematisk at få tilladelse til at aflede vandspild fra ionbytning både til kloak og ferskvandsrecipient på grund af et meget højt indhold af bl.a. klorid.

KLAR Forsyning har tidligere meddelt, at de ikke vil aftage spildevandet fra blødgøring med traditionel ionbytning, da koncentrationen af klorid i vandet er langt over den anbefalede grænseværdi på 1000 mg/l med henvisning til nedenstående vejledning.

Uddrag fra Vejledning nr. 2 (2006) fra Miljøstyrelsen vedrørende tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg:

‘Af hensyn til usikkerheden om korrosionsfaren ved chlorid anbefales det, at der tages udgangspunkt i den hidtil gældende grænseværdi for chlorid på 1.000 mg/l, men forstået således, at det i den konkrete situation kan være velbegrundet at fravige denne grænseværdi. Det anbefales dog, at kommunen ved en større afvigelse fra grænseværdien, f.eks. ved 4.000 – 5.000 mg/l, jævnlige inspicerer den offentlige kloaklednings tilstand umiddelbart nedstrøms den fysiske tilslutning af det chloridholdige spildevand. Dette vil kunne danne grundlag for et eventuelt senere påbud om at nedbringe chloridindholdet i afløbet, hvis der skulle opstå tegn på korrosion’. ‘Gennemsnitskoncentrationen af chlorid bør som udgangspunkt ikke være over 1.000 mg/l, jf. (VAV, 1983).’



Tilsvarende kan det være problematisk at få tilladelse til at aflede vandspild fra membrananlæg og CARIX til ferskvandsrecipient, da grundvandets salte er opkoncentreret i spildevandet - men nogle forsyninger har fået tilladelse.

Samlet vurderet er pellet og PAS anlæg de mest optimale ift. produktion og afledning af vandspild.

4.3 Kemikalieforbrug

Ved de forskellige blødgøringsmetoder forbruges forskellige materialer og kemikalier og der produceres eventuelt et kalkholdigt spildprodukt.

Tabel 5 Beregnet kemikalieforbrug og spildproduktion udover spildevand

Forbrugsmaterialer / spild	Enhed	Pellet	Ionbytning	Membran	CARIX	PAS
Natriumhydroxid 27,6%	tons/år	98				
PP elementer	m ³ /år					6,0
Kuldioxid	tons/år	3			72	
Kvarts sand	tons/år	2				
NaCl salt	tons/år		97			
Antiscalant	tons/år			0,4		
Kalkpiller	tons/år	45				
Kalkslam	tons/år					32

Pellet og ionbytning har det klart største forbrug af kemikalier, der skal tilkøres og opbevares på vandværket.

Pellet og PAS teknikken producerer kalkholdigt materiale, der skal opbevares og bortskaffes med lastbil.

CARIX har et forholdsvist stort oplag og forbrug af kuldioxid.

Membrananlægget kræver den mindste transport af forbrugsstoffer og faste restprodukter til og fra vandværket.

4.4 Økonomi

Økonomiske beregninger er udført ud fra de generelle forudsætninger og data.

Tabel 6 Beregnede driftsomkostninger

	Enhed	Pellet	Ionbytning	Membran	CARIX	PAS
Driftsomkostninger excl. spildevandsafgift	kr/m ³	1,7	0,8	0,7	0,7	1,2
Driftsomkostninger incl. spildevandsafgift	kr/m ³	1,7	1,3	3,9	2,1	1,2



Såfremt spildevandet kan afledes uden afgift til recipient vil CARIX, membrananlæg og ionbytning være de økonomisk mest optimale teknikker.

Hvis der skal betales spildevandsafgift vil PAS og ionbytning være økonomisk mest optimalt.

Anlægsomkostningerne for proces- og maskinanlæg samt bygning til blødgøringsanlæg ligger typisk i følgende rækkefølge for anlægsstørrelser svarende til Havdrup Vandværk:

Membran $\approx$ ionbytning $\ll$ PAS $\approx$ pellet $\approx$ CARIX.

Da specifikke forhold har stor betydning for anlægsomkostningerne kan der ikke i nærværende studie angives valide konkrete tal.

4.5 Andre forhold

I nedenstående tabel er angivet og sammenlignet udvalgte tekniske fordele og ulemper ved de enkelte metoder.

Tabel 7 Sammenligning af fordele og ulemper

Metode	Fordele	Ulemper
Pellet blødgøring	• Kendt teknologi • Fjerner ikke Mg • Meget lavt vandspild	• Forøgelse af natriumindholdet i drikkevandet • Arbejdskrævende (høj kompleksitet og stort pasningsbehov) • Flere kemikalier og stort forbrug • Stort højdekrav • Bortskaffelse af kalkpiller
Traditionel ionbytning	• Kendt teknologi • Ikke særlig arbejdskrævende (lav kompleksitet og lille pasningsbehov) • Lille-mellem arealkrav	• Forøgelse af natriumindholdet i drikkevandet • Saltvand skal bortskaffes • Stort forbrug og oplag af salt
Membran-filtrering	• Fjerner også andre uønskede stoffer - f.eks. Pesticider • Meget lille kemikalieforbrug • Meget god drikkevandskvalitet • Kendt teknologi • Lille højde- og arealkrav	• Tilsætning af anti-scalant som bortledes med spildevandet. • Stort vandspild • Afledning af vandspild
CARIX	• Forbruger kuldioxid • Kendt teknologi • Meget god drikkevandskvalitet	• Afledning af vandspild • Mellem-stort vandspild • Relativt stort areal- og højdekrav
PAS	• Lavt vandspild • Ingen tilsætning af kemikalier	• Ingen fuldskaalanlæg i drift og ingen referencer. • Bortskaffelse af udfældet kalkslam • Relativt stort areal- og højdekrav • Relativt dårligste blødgøringseffekt



5 Konklusion

Baseret på beregningerne og den kvalitative tekniske/økonomiske sammenligning, er der i nedenstående tabel lavet en sammenfattende vurdering af egnetheden af hver af teknologierne for Havdrup Vandværk.

Det endelige valg af blødgøringsproces til Havdrup Vandværk kan foretages på baggrund af nærværende rapport samt ud fra vandværkets specifikke forhold og ønsker og derudover ud fra hvad der kan opnås af mulige myndighedstilladelser efter samråd med Kommunen.

Tabel 8 Vurdering af egnethed af forskellige blødgøringsteknologier til anvendelse på Havdrup Vandværk.

Metode	Egnethed / kommentar
Pellet blødgøring	• Uegnet pga. af vandværkets størrelse, høj teknisk kompleksitet og forholdsvis stort pasningsbehov.
Traditionel ionbytning	• Delvist egnet. Spildevandsafledning til KLAR Forsyning er problematisk og skal afklares. Processen kan netop ikke overholde vejledende krav til kalkfældningspotentialitet ved 90 grader C (maks. 60 mg/l), hvorfor der ikke vil opnås samme effektivitet overfor kalkudfældninger som for de andre blødgøringsprocesser.
Membran-filtrering	• Egnet. Der vil være høje driftsomkostninger hvis spildevandet ikke kan afledes til recipient uden afgift. Meget stort vandspild, som kræver væsentligt højere indvinding og behandling af grundvand. Anlægsomkostninger vil være lavere end for eksempelvis CARIX
CARIX	• Egnet. Der vil være forholdsvis høje driftsomkostninger hvis spildevandet ikke kan afledes til recipient uden afgift. Stort vandspild, som kræver højere indvinding og behandling af grundvand. Forholdsvis høje anlægsomkostninger og areal/højdekrav.
PAS	• Delvist egnet. Teknologien er nyudviklet og der mangler langtidsdriftserfaringer og referencer. Vandets hårdhed vil være højere end for de andre blødgøringsprocesser. Forholdsvis høje anlægsomkostninger og areal/højdekrav.

Som videre tiltag kan det anbefales at kontakte KLAR Forsyning og Kommunen, for at undersøge mulighederne for at aflede spildevand til kloaksystemet eller til recipient for de forskellige teknikker. Dette forhold er meget afgørende for det videre valg af blødgøringsteknik.