KRÜGER VEOLIA

Borup Vandværk

Nyt vandværk med blødgøring

Dimensioneringsgrundlag

Anlægs- og procesdesign

FORSLAG

Marts 2020

WATER TECHNOLOGIES

Udarbejdet af: Jens Sølling, Florian B. Wagner

Kontrolleret af: Jørgen Iversen, Peter Borch Nielsen

Udgave: 1 / 16. marts 2020

Projektnummer: 1300 83756

Indholdsfortegnelse:

1. Baggrund og formål **5**

2. Nuværende og fremtidige kapacitetskrav **6**
2.1 Forbrugsmønster 6
2.1.1 Døgnforbrug 6
2.1.2 Timeforbrug 6
2.1.3 Resulterende døgn- og timefaktorer 8
2.2 Vandbehov 9
2.3 Kapacitetsbehov 10
2.4 Resulterende kapacitetsevne 10

3. Energibehov **12**
3.1 Forbrugsmønstre 12
3.2 Produktionsscenarier 12

4. Procesdesign **15**
4.1 Råvandskvalitet 15
4.2 Scenarier 16
4.3 Iltning 17
4.4 Filtrering 18
4.5 Filterskylning og skyllevandsbehandling 21
4.6 Rentvandsbeholder og -udpumpning 23
4.7 Option: UV-behandling 24

5. Valg af blødgøringsmetode **25**
5.1 Baggrund: Blødgøring og reduktion af kalkudfældning 25
5.2 Teknologier 26
5.3 Overordnet teknisk sammenligning 27
5.3.1 CARIX ionbytning 28
5.3.2 Membranfiltrering (LPRO) 29
5.3.3 Plastic Air Softening (PAS) 31
5.4 Sammenligning af teknologier 32
5.4.1 Drikkevandskvalitet 32
5.4.2 Spildevand 33
5.4.3 Muligheder for afledning af spildevand fra CARIX og membran 35
5.5 Groft økonomisk overslag 36
5.5.1 CARIX ionbytning 36
5.5.2 Membrananlæg 36
5.5.3 PAS anlæg 37
5.6 Omkostninger ved afledning af spildevand til kloak vs. afledning til recipient 38

Appendiks A: Beregningsmetodik **39**

BILAG 1: Kapacitetsberegninger **40**

BILAG 2: Vandkvalitet og boredata **41**

BILAG 3: PEARL-beregninger **42**

1. Baggrund og formål

Borup Vandværk ønsker at etablere et nyt vandværk, blandt andet med henblik på at blødgøre drikkevandet til forbrugerne, men også for at kunne tilgodese det fremtidige behov for drikkevand i vandværkets nuværende og fremtidige forsyningsområde.

Data til brug for dimensioneringen af det fremtidige vandværk er indhentet fra Borup Vandværks SRO (døgn- og timeforbrug), mens vandkvalitet og boredata er indhentet fra GEUS' Jupiterdatabase.

På baggrund af de indhentede data er der foretaget kapacitetsberegninger til dimensionering af et kommende vandværk, og der er udarbejdet forslag til anlægs- og procesdesign, som kan tilfredsstille kravene til drikkevandskvalitet og forsyningssikkerhed.

Der er i dette FORSLAG til dimensioneringsgrundlag m.m. indlagt en række scenarier, som Borup Vandværk skal tage stilling til. Når Borup Vandværk har gjort dette, vil rapporten blive gjort ENDELIG, så den kan danne grundlag for den efterfølgende projektering af det kommende vandværk.

Den endelige rapport vil blive udformet, så dimensioneringsgrundlag samt anlægs- og procesdesign kan anvendes som bilag for en egentlig ansøgning om et nyt procesanlæg hos ressource myndigheden, Køge Kommune.

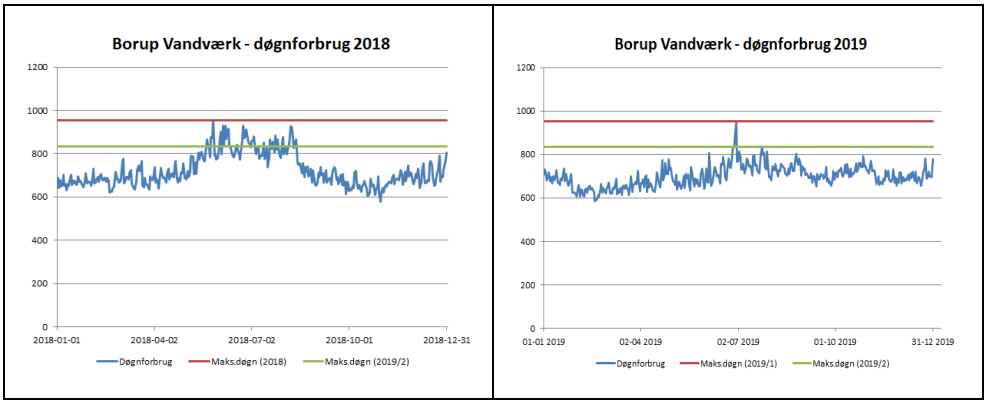
2. Nuværende og fremtidige kapacitetskrav

2.1 Forbrugsmønster

Borup Vandværk har udleveret døgnforbrug for 2018 og 2019, samt timeforbrug for 2019. På baggrund heraf er der med udgangspunkt i metodikken beskrevet i Appendiks A foretaget en analyse af forbrugsmønstret og bestemt døgn- og timefaktorer til brug for en fremskrivning af kapacitetsbehovet.

2.1.1 Døgnforbrug

Variationerne i døgnforbruget er vist i nedenstående figur 2.1.



Figur 2.1 Døgnforbrug 2018 og 2019

Det fremgår af figur 2.1, at der i 2018 generelt var et forhøjet vandforbrug hen over hele sommeren.

I 2019 er der kun en enkelt dag, søndag den 30. juni, hvor det maksimale døgnforbrug på 953 m³/døgn tangerer forbruget i sommeren 2018. Det næsthøjeste døgnforbrug i 2019 er på 834 m³/døgn.

På den venstre graf i figur 2.1 repræsenterer den grønne linje et døgnforbrug på 834 m³/døgn. Hvis der dimensioneres efter dette forbrug, vil der være perioder med samme forbrugsmønster som i 2018, som der ikke vil være den fornødne kapacitet til.

Borup Vandværk skal derfor meddele accept til, at det fremtidige vandværk dimensioneres efter maks.døgnet i 2019, hvilket giver den bedste sikkerhed for fremtidige forbrugsvariationer over året.

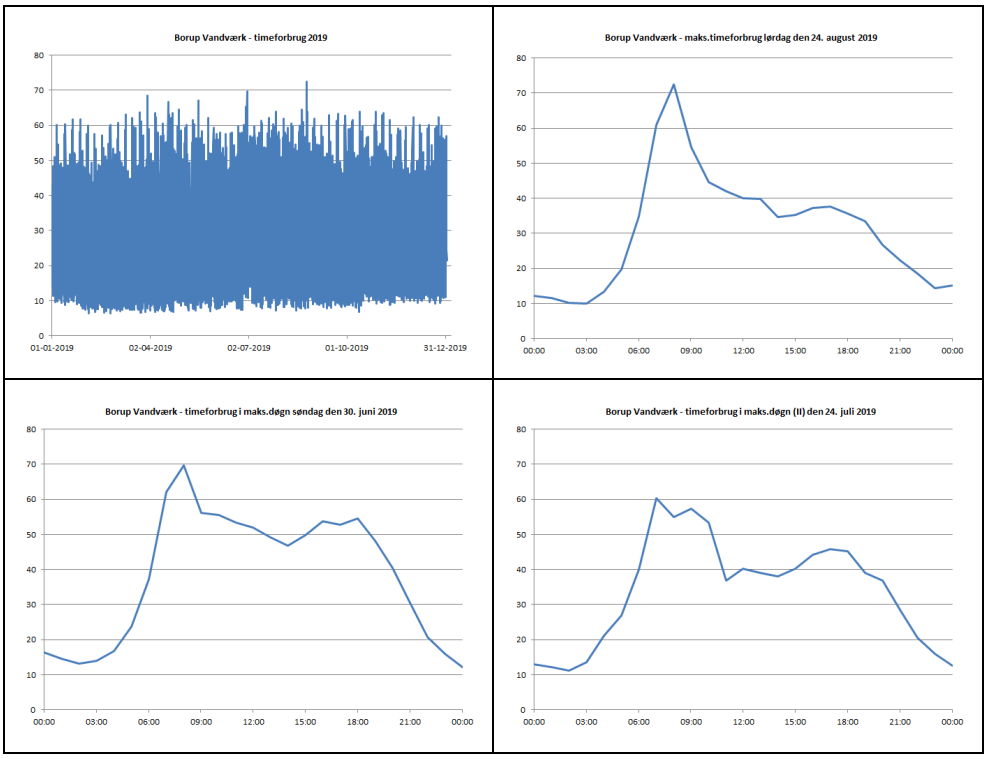
2.1.2 Timeforbrug

I 2019 varierer timeforbruget som vist i figur 2.2, øverst til venstre.

Det maksimale timeforbrug på 72,5 m³/t er registreret lørdag den 24. august 2019 kl. 8.00 ; se figur 2.2, øverst til højre. Forbruget over dette døgn er atypisk i forhold til et normalt døgn og ikke sammenfaldende med det maksimale døgn, som er vist på figur 2.2 nederst til venstre.

I det maksimale døgn er det maksimale timeforbrug registreret til 69,7 m³/t søndag den 30. juni 2019.

Det maksimale timeforbrug i det døgn med næsthøjest døgnforbrug er registreret til 60,3 m³/t onsdag den 24. juli 2019 kl. 7.00.



Figur 2.2 Timeforbrug i udvalgte døgn i 2019

Borup Vandværk skal meddele accept til, at det fremtidige vandværk dimensioneres efter det maksimale timeforbrug den 24. august 2019, hvilket giver den bedste sikkerhed for fremtidige forbrugsvariationer over døgnet.

2.1.3 Resulterende døgn- og timefaktorer

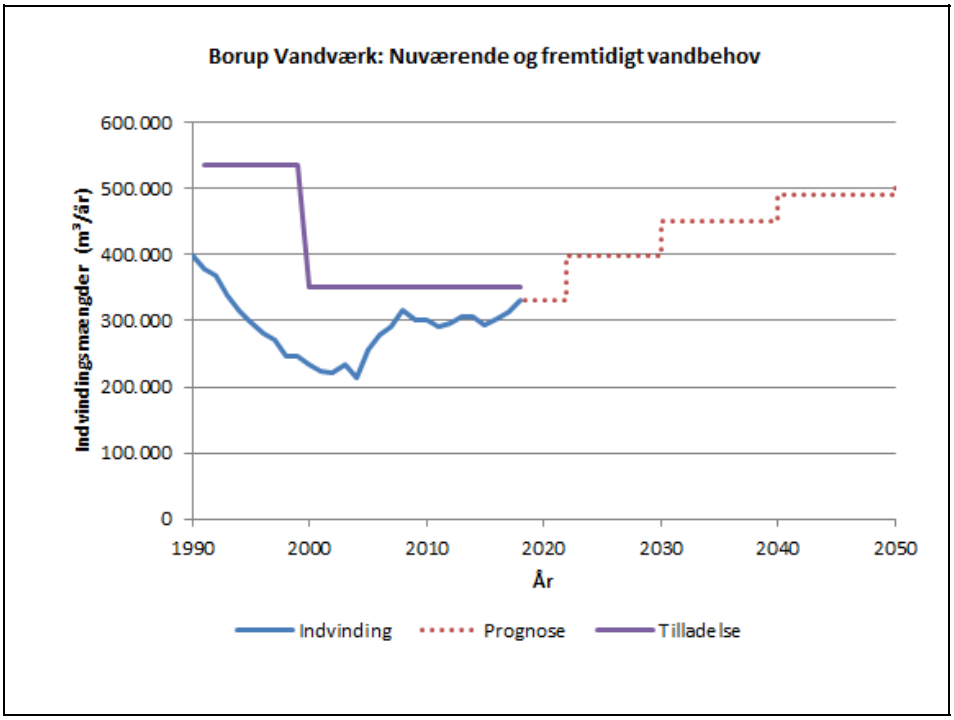
Se tabel 2.1.

		2018	2019
Indvinding	m³/år	268.139	-
Udpumpning	m³/år	263.869	255.096
Middeldøgn	m³/døgn	723	699
Min. døgn	m³/døgn	578	587
	Dato	30.10.2018	18.02.2019
Maks. døgn (I)	m³/døgn	953,4	952,7
	Dato	27.05.2018	30.06.2019
Døgnfaktor	dim.løs	1,32	1,36
Næsthøjeste maks. døgn (II)	m³/døgn	930,4	834,2
	Dato	24.06.2018	24.07.2019
Døgnfaktor	dim.løs	1,29	1,19
Middeltime	m³/time	-	29,1
Min. time	m³/time	-	6,4
	Dato	-	04.02.2019 kl. 03.00
Maks.time i maks.døgn	m³/time	-	69,7
	Dato	-	30.06.2019 kl. 08.00
Timefaktor	dim.løs	-	1,76
Maks.time	m³/time	-	72,5
	Dato	-	24.08.2019 kl. 08.00
Timefaktor	dim.løs	-	1,83
Resulterende døgn- og timefaktorer			

Tabel 2.1 Resulterende døgn- og timefaktorer

2.2 Vandbehov

Se figur 2.4 og tabel 2.1.



Figur 2.4 Nuværende og fremtidigt vandbehov

Etape	Omfang	Vandbehov m³/år
0	Borup, Kløvested, Slimminge og Stubberup	330.000
1	Etape 0 + Nr. Dalby-Kimmerslev	400.000
2	Etape 1 + Gummersmarke-Kulerup og Hønske Valore	450.000
3	Etape 2 + Ladager og Vollerslev Gørslev	490.000
4	Etape 3 + diverse	500.000

Tabel 2.2 Vandbehov fordelt på forventede udbygningsetaper

2.3 Kapacitetsbehov

Se tabel 2.3.

	Enhed	0	1	2	3 og 4
Årsforbrug	1.000 m³/år	330	400	450	500
Maks.døgn	m³/d	1.248	1.509	1.714	1.862
Middeldøgn	m³/d	918	1.110	1.260	1.369
Maks.time i maks.døgn	m³/t	95	115	131	142
Maks.time i middeldøgn		70	85	96	104
Råvand, maks.	m³/t	54	66	75	81
Råvand, middel		40	50	55	60
Behandling, maks.	m³/t	54	66	75	81
Behandling, middel		40	50	55	60
Beholder, maks.	m³	525	634	720	783
Beholder, middel		386	466	530	575
Udpumpning, maks.	m³/t	95	115	131	142
Udpumpning, middel		70	85	96	104

Tabel 2.3 Kapacitetsbehov i de forskellige udbygningsetaper

2.4 Resulterende kapacitetsevne

Den resulterende kapacitetsevne afhænger af, hvor stor redundans der ønskes igennem vandbehandlingssystemet, fra boringer til forbruger.

I forbindelse med en fastlæggelse af redundansen anbefales det skelne mellem kontrollerede og ukontrollerede driftsstop.

Et kontrolleret driftsstop er indarbejdet i den almindelige vedligeholdelse og kan derfor afgrænses til perioder uden for årets spidsbelastningsperioder. Ved et kontrolleret driftsstop kan forsyningen opretholdes ved at indbygge redundans i vandforsyningens enkelte anlægselementer (råvandsboringer, vandbehandling (iltning og filtrering), beholdere og udpumpning).

Et ukontrolleret driftsstop er i sagens natur ikke planlagt og kan udløse en beredskabssituation. Såfremt der ønskes større klarhed over anlæggets oppe- / nedetider anbefales det, at der i forbindelse med den endelige projektering udfærdiges en egentlig RAM-analyse (Reliability, Availability and Maintainability).

Med udgangspunkt i kontrollerede driftsstop kan redundansen beregnes ud fra det antal elementer, der er indeholdt i hver anlægsdel (boringer, vandbehandling, beholder og udpumpning).

Se den resulterende kapacitetsevne i tabel 2.4.

		0	1	2	3 og 4
Årsforbrug	1.000 m³/år	330	400	450	500
Råvand, krav	m³/t	40 - 54	50 - 66	55 - 75	60 - 81
Råvand, 2 boringer		2 x 40	2 x 50	2 x 55	2 x 60
Råvand, 3 boringer		3 x 20	3 x 25	3 x 28	3 x 30
Råvand, 4 boringer		4 x 14	4 x 17	4 x 19	4 x 25
Behandling, krav	m³/t	40 - 54	50 - 66	55 - 75	60 - 81
Behandling, 2 linjer		2 x 40	2 x 50	2 x 55	2 x 60
Behandling, 3 linjer		3 x 20	3 x 25	3 x 28	3 x 30
Behandling 4 linjer		4 x 14	4 x 17	4 x 19	4 x 25
Beholder, krav	m³	386-525	466-634	530-720	575-783
Beholder, 2 stk., 2 linjer		2 x 386	2 x 466	2 x 530	2 x 575
Beholder, 2 stk., 3 linjer		2 x 320	2 x 350	2 x 410	2 x 450
Beholder, 2. stk., 4 linjer		2 x 290	2 x 340	2 x 400	2 x 420
Udpumpning, krav	m³/t	70 - 95	85 - 115	96 - 131	104-142
Udpumpning, 3 pumper		3 x 35	3 x 43	3 x 48	3 x 52
Udpumpning, 4 pumper		4 x 24	4 x 29	4 x 33	4 x 36
Udpumpning, 5 pumper		5 x 19	5 x 23	5 x 27	5 x 29
		Etape 1		Etape 2	

Tabel 2.3 Kapacitetsbehov i de forskellige udbygningsetaper, inkl. redundans

Det fremgår af tabel 2.3, at kravet til den samlede kapacitetsevne på både vandbehandling og beholdervolumen bliver mindre, jo flere linjer vandværket indrettes med. Det skyldes, at en stadig mindre del af vandværket skal være ude af drift i forbindelse med kontrolleret service og vedligehold i middeldøgnet.

Det betyder også, at kravet til beholdervolumenet bliver mindre, når antallet af linjer forøges.

Besparelsen ved et mindre beholdervolumen skal i sidste ende vejes op imod det øgede antal behandlingslinjer.

Borup Vandværk skal beslutte, hvor mange linjer der skal etableres på det nye vandværk. Såfremt Borup Vandværk ønsker en etapevis etablering af vandværket, er der i tabel 2.3 foreslået, hvilke anlægselementer der kan etableres i etape 1 (med gult), og hvilke der kan udbygges til i etape 2 (med grønt).

3. Energibehov

3.1 Forbrugsmønstre

Strømforbruget på et vandværk er et produkt af indvindingsmønstret på kildepladsen(-erne) og forbrugsmønstret ude hos forbrugerne. Derudover vil der i mindre omfang være strømforbrug på vandværket til drift af kompressorer samt skyllelufts- og skyllevandspumper. Sidstnævnte regnes i disse overslagsbetragtninger for negligibelt.

Indvindingsmønstret vil typisk blive fordelt så jævnt over døgnet som muligt, da det belaster grundvandsressourcen mest harmonisk og stiller mindre krav til behandlingskapaciteten på vandværket. Det forudsættes, at pumperne i indvindingsboringerne driver vandet igennem hele systemet, fra boringer over vandbehandlingen og ind i rentvandsbeholderen.

I det følgende forudsættes det, at:

- solcelleanlægget leverer strøm til det nye vandværk og de 3 boringer, som Borup Vandværk kan overtage fra Nr. Dalby - Kimmerslev Vandværk
- anlægget kan dække strømforbruget i perioden kl. 8 - 16
- de 3 boringer tilsammen kan levere 70 m³/t. Vandbehov derudover tages fra Borup Vandværks kildeplads i Borup
- Rentvandspumperne skal løfte vandet 40 meter

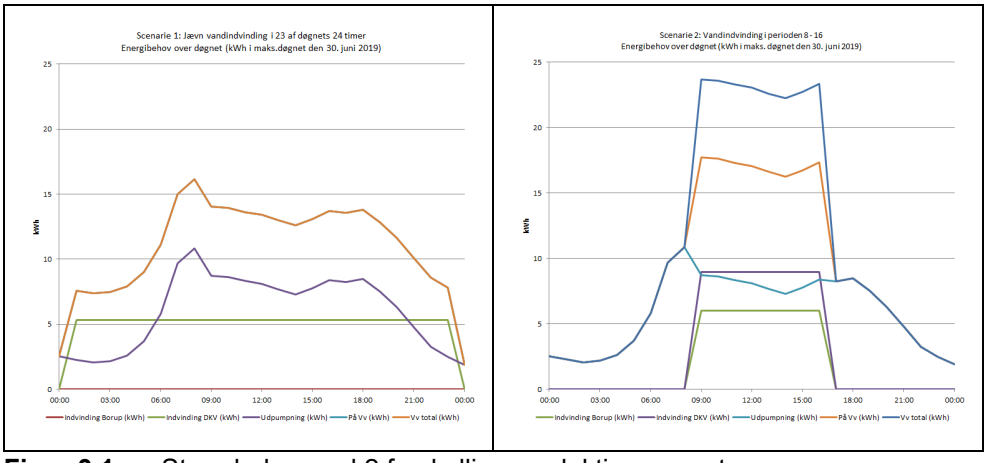
Hvis Borup Vandværk ønsker at udnytte solcelleanlægget mest optimalt, kan vandværket vælge at koncentrere produktionen i den periode fra kl. 8 - 16, hvor anlægget forudsættes at producere mest strøm.

3.2 Produktionsscenarier

Ovennævnte giver anledning til følgende 2 produktionsscenarier:

- Scenarie 1: Drikkevandsproduktion fordelt jævnt over døgnet
- Scenarie 2: Drikkevandsproduktion koncentreret i perioden kl. 8 - 16

På baggrund af forbrugsfordelingen i maks.døgnet den 30. juni 2019 er energibehovet på en tilsvarende dag på det nye vandværk beregnet. Resultatet fremgår af figur 3.1 og tabel 3.1.



Figur 3.1 Strømbehov ved 2 forskellige produktionsmønstre

	Scenarie	1	2
	Enhed		
Indvinding (DKV)	kWh/døgn	122	73
	kWh (8 - 16)	43	73
Indvinding (Borup)	kWh/døgn	0	48
	kWh (8 - 16)	0	48
Udpumpning	kWh/døgn	147	147
	kWh (8 - 16)	65	65
Energibehov i alt	kWh/døgn	269	267
Energibehov vandværk	kWh/døgn	269	220
	kWh (8 - 16)	107	138
Kapacitetskrav (minimum - uden redundans)			
Maks. døgn (30. juni 2019)	m³/d	943	
Indvinding	m³/t	41	118
Vandbehandling	m³/t	41	118
Beholderanlæg	m³	370	670
- Højde = diameter	m	8,0	9,8
Udpumpning	m³/t	69	69

Tabel 3.1 Energiforbrug og krav til produktionsanlæggets kapacitet

Det fremgår af tabel 3.1, at solcelleanlægget skal levere henholdsvis 107 kWh og 138 kWh i perioden kl. 8 - 16 for at dække det nye vandværks strømforbrug ved de 2 produktionsmønstre på et døgn med maksimalt døgnforbrug, svarende til den 30. juni 2019.

Det samlede energibehov for de 2 scenarier er næsten ens. Den meget lille forskel skyldes, at der i scenarie 2 benyttes boringer på Borup Kildepladsen med et lavere tryktab end på Nr. Dalby-Kimmerslev Kildepladsen.

I de 2 scenarier skal solcelleanlægget dimensioneres for henholdsvis 107 og 138 kWh i perioden kl. 8 - 16, svarende til henholdsvis 40 og 51 % af det samlede energibehov. Efterhånden som vandbehovet øges, vil forskellen mellem de 2 scenarier blive stadig mindre og blive 0, når det jævne indvindingsbehov i scenarie 1 bliver 70 m³/t.

Det fremgår ligeledes af tabel 3.1, at en produktion koncentreret i perioden kl. 8 - 16 vil stille meget store krav til vandværkets indvindings-, behandlings- og beholderanlæg.

Borup Vandværk skal derfor meddele accept til, at et fremtidigt solcelleanlæg dimensioneres i henhold til scenarie 1. NB: Energibehovet skal korrigeres, så det afspejler et fremtidigt vandbehov på 500.000 m³/år, svarende til at der i

perioden kl. 8 - 16 vil være behov for 164 kWh på det nye vandværk til at dække indvindingen fra de 3 boringer ved Nr. Dalby-Kimmerslev og udpumpningen fra det nye vandværk.

4. Procesdesign

4.1 Råvandskvalitet

I bilag B er samlet analysedata fra seneste boringskontrol af boringer til Borup Vandværk. Boringerne vil blive benyttet til fremtidig forsyning af det nye vandværk, og der anbefales følgende prioritering:

- 1. prioritet: boringer med DGU nr. 212.681, 212.764, 212.1109
- 2. prioritet: boringen med DGU nr. 212.41B
- 3. prioritet: boringen med DGU nr. 212.688
- boringer med DGU nr. 212.756 og 212.990 prioriteres lavest, pga. af hhv. højt indhold af natrium og klorid (212.756) og en lav specifik kapacitet (212.990).

Den dimensionsgivende råvandskvalitet er beregnet på baggrund af, at boringerne med en mere behandlingskrævende vandkvalitet, er i drift samtidigt. Udvalgte parameter, og krav til rentvand, er vist nedenunder:

Tabel 4.1 Udvalgte parameter af den dimensionsgivende råvandskvalitet og krav til rentvand

Parameter	Enhed	Maks. indhold i blandet råvand	Rentvand (Krav)
Jern	mg/l	*1,3*	0,05
Mangan	mg/l	*0,04*	0,02
Ammonium	mg/l	*1,2*	0,05
Metan	mg/l	*0,15*	0,01
Svovlbrinte	mg S/l	< 0,05	0,05
Turbiditet	FNU	-	0,3
pH	-	7,3	7,0 – 8,5
Aggressiv kuldioxid	mg/l	< 5	vandet må ikke være aggressivt
Hårdhed	°dH	*17,2*	8 - 12
$CCPP_{90}$[1]	mg/l $CaCO_3$	*103*	< 60
LSI[2]	-		> 0,0
Larson index[3]	-		< 1,0

[1] Kalkfældningspotentiale ved 90 °C
[2] Kalkopløsningsindex
[3] Korrosionsindex

Råvandet indeholder for høje koncentrationer af jern, mangan, ammonium, og metan, hvorfor vandet skal behandles for disse stoffer. Derudover ønsker Borup Vandværk at få reduceret vandets hårdhed og kalkfældningspotentiale.

Udover ovenstående, skal vandkvalitetskravene iht. Den til enhver tid gældende bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandværker overholdes.

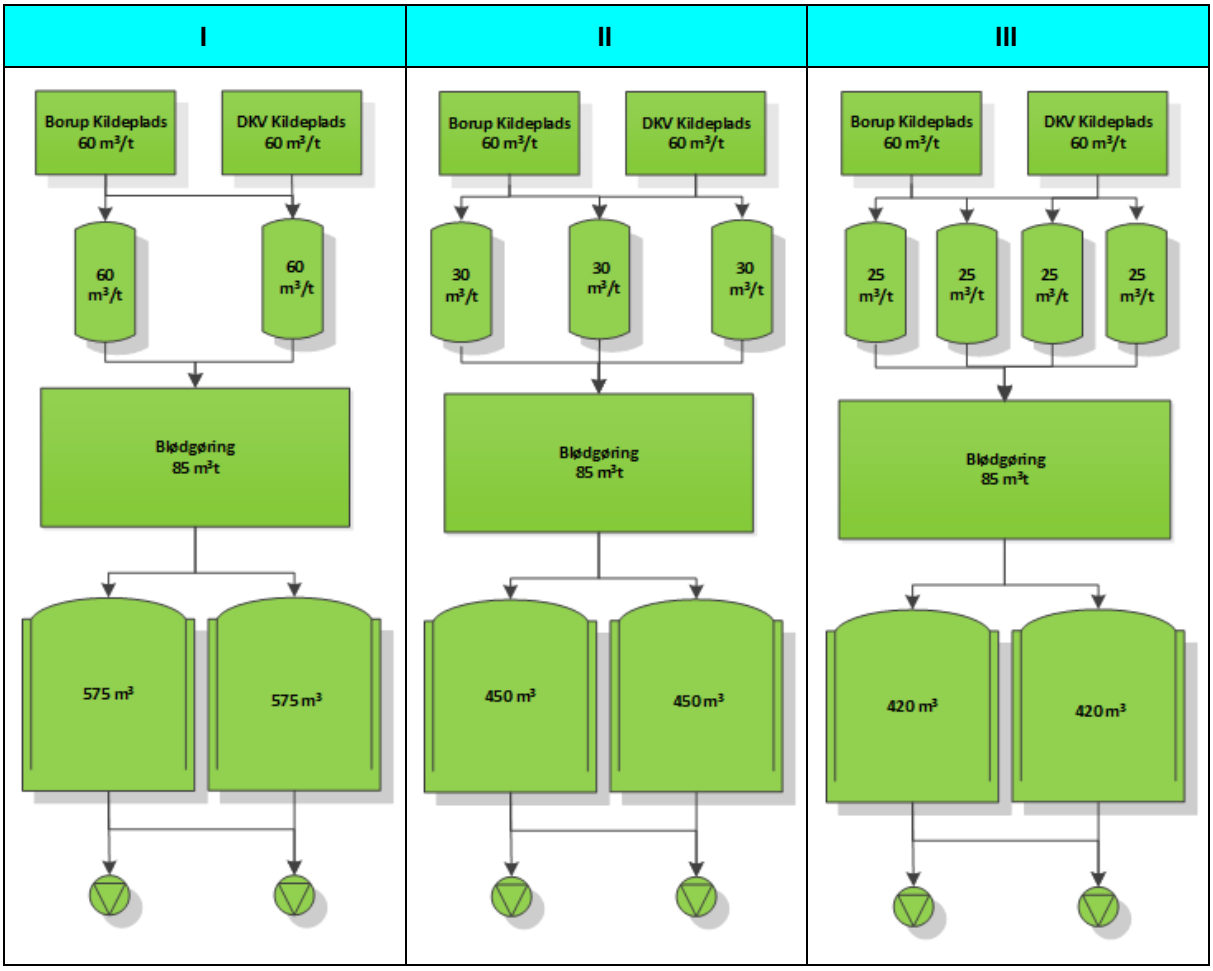
Det i det følgende beskrevne vandbehandlingsanlæg er ikke dimensioneret til fjernelse af uorganiske sporstoffer og/eller organiske mikroforureninger.

4.2 Scenarier

Overordnet set består vandbehandlingsanlægget af

- Iltning af vand og afblæsning af gasser
- Filtrering af vand i lukkede dual-media dybdefiltre
- Blødgøring af vand
- Opbevaring af rentvand
- Udpumpningsanlæg
- UV-behandling (Option)

I det følgende beskrives 3 forskellige scenarier:



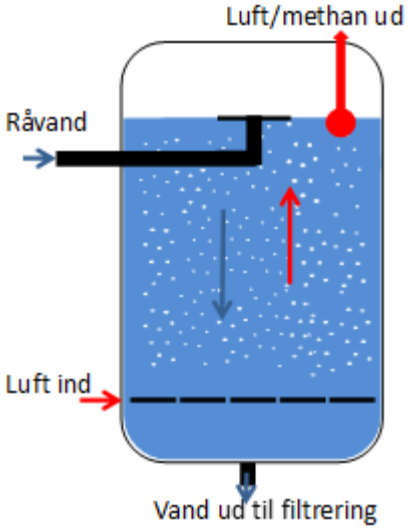
Figur 4.1 Tre forskellige forslag til fremtidig anlægsdesign

4.3 Iltning

Råvandet ledes til 2 parallelle iltningsenheder. Her tilføres råvandet ilt, og opløste gasser, såsom metan, afblæses. Efter beluftningen indeholder råvandet fortsat jern, mangan, ammonium, og evt. rester af metan, hvilket oxideres kemisk og biologisk i filtrene. Iltforbruget til de kemiske og biologiske processer ved filtreringen er maksimalt ca. 5 mg/l. Ønskes der minimum 5 mg/l opløst ilt i rentvandet, skal der opløses minimum (5 + 5) = 10 mg/l ilt til vandet før filtrene.

Råvandet indeholder > 0,1 mg/l metan. Ved metan-koncentrationer højere end 0,1 mg/l, skal metan afblæses under beluftningen, fordi højere metan-koncentrationer kan medføre problemer i de efterfølgende behandlingstrin.

Beluftningen af vandet kan foretages i Krügers Oxydator™, hvor trykket i vandet opretholdes. Her tilføres luft igennem diffusorer i bunden af en lukket tryktank, hvor vandet passerer luften i modstrøms retning. Herved opnås en effektiv udnyttelse og opløsning af luftens ilt samt afblæsning af metan. Princippet er vist i figur 4.2.



Figur 4.2 Princip for Oxydator™

Med Krügers Oxydator™ afblæses / udluftes derudover gasser som for eksempel metan og aggr. CO_2 betydeligt mere effektivt end med in-line beluftning med kompressor.

Luften filtreres gennem F8 filter inden indblæsning i vandet for at undgå partikulær og mikrobiologisk forurening.

Iltningseffektiviteten kan overvåges med on-line iltmåling.

Hvis der - ud fra en prioritering af boringer - kan garanteres et metanindhold i råvandet på < 0,1 mg/l, kan der i stedet for Oxydator evt. benyttes in-line beluftning med kompressor og statisk mikser (hvilket vil være økonomisk gunstigere).

Uafhængig af hvilket scenarie (*I*, *II*, eller *III*), dimensioneres det med 2 Oxydatorer, med en behandlingskapacitet på 60 m^3/t, hver. Dimensioneringsparametre ses nedenfor:

Tabel 4.2 Design-parametre Oxydator™

Iltningsanlæg type	**Krüger Oxydator™**	
Antal oxydatorer	2	stk.
Tankdiameter	1.400	mm
Tankareal	1,5	m^2
Vandniveau over diffusorer	2,0	m
Antal diffusorer per oxydator	9	Stk
Diffusortype	Elastox Type C, silikone	
Vandmængde per oxydator, maks.	60	m^3/t
Luftmængde per oxydator	120	Nm^3/t
Antal blæsere	2	Stk
Ydelse per blæser	120	Nm^3/t
Iltkoncentration i vand i afgang	≧ 10	mg O_2/l
Kommentar	Overskudsluft udluftes i toppen	
Dimensionsgivende metan koncentration i råvand (maks. tilladelig, ved maks. råvandsflow)	0,15	mg/l

4.4 Filtrering

Der foretages en ligelig vandfordeling til filtrene via flowmålere og reguleringsventiler på hvert filter. Filtrene kan opbygges i lukkede enheder som enkeltfiltre med dual-mediefiltermateriale placeret ovenpå bærelag og dysebund (mulighed 1). Alternativt kan dobbeltfiltrering (med for- og efterfiltre) benyttes (mulighed 2).
Filtrene skal drives vandfyldte med automatisk udluftning i toppen.

Vandet behandles ved filtrering gennem filtrene uden forudgående henstandstid. Herved fjernes indhold af jern og mangan fra vandet ved en såkaldt katalytisk proces. Dette betyder, at iltningen af jern og mangan og omdannelsen til suspenderet stof i form af okker og brunsten primært sker i selve filteret og rensegraden for stofferne forbedres. Samtidig reduceres skyllevandsforbruget i forhold til traditionelle filterprocesser. Ammonium og nitrit omsættes til nitrat ved biologiske processer i filterlaget.

Antal filtre samt design-parametre er forskellige for de 3 scenarier, og er vist i tabel 4.3 (mulighed 1; enkeltfiltrering) og tabel 4.4 (mulighed 2; dobbelt-filtrering).

Tabel 4.3 Designdata for filtre - enkeltfiltrering (mulighed 1)

Anlægsscenarie	**I**	**II**	**III**	
Antal filtre	2	3	3 - 4*	stk.
Filterdiameter	Ø 3600	Ø 2500	Ø 2300	mm
Areal per filter	10	4,9	4,1	m^2
Maksimal behandlingskapacitet	60	30	25	m^3/t/filter
Maks. kapacitet, total, N	120	90	100	m^3/t
Filterhastighed, maks.	6,0	6,1	6,1	m/t
Filtermateriale	Filtralite NC 1,5 – 2,5 mm; 1000 mm dybde Kvartssand 0,8 – 1,4 mm; 1000 mm dybde Bærelag; 200 mm			-
Filtermateriale dybde, total	2200	2200	2200	mm inkl. bærelag
*Antallet kan som beskrevet i afsnit 2 udbygges, når vandbehovet opstår; se også tabel 2.3.				

Tabel 4.4 Designdata for filtre - dobbeltfiltrering (mulighed 2)

Anlægsscenarie	**I**	**II**	**III**	
Antal filtre	2+2	3+3	3 - 4* + 3 - 4*	stk.
Diameter, **for- og efter**filter	Ø 2800	Ø 2000	Ø 1800	mm
Areal per filter	6,1	3,1	2,5	m^2
Maksimal behandlingskapacitet	60	30	25	m^3/t/filter
Maks. kapacitet, total, N	120	90	100	m^3/t
Filterhastighed, maks.	9,8	9,7	10	m/t
Filtermateriale, **for**filter	Filtralite NC 1,5 – 2,5 mm; 1600 mm dybde Bærelag; 200 mm			-
Filtermateriale, **efter**filter	Kvartssand 0,8 – 1,4 mm; 1500 mm dybde Bærelag; 300 mm			-
Filtermateriale dybde, total; for- + efterfilter	1800 + 1800	1800 + 1800	1800 + 1800	mm inkl. bærelag
*Antallet kan som beskrevet i afsnit 2 udbygges, når vandbehovet opstår; se også tabel 2.3.				

Fordelen med mulighed 2 (dobbeltfiltrering) er, at en større hastighed over filtrene kan opretholdes, hvilket vil medføre en bedre udnyttelse af filtermateriale med henblik på fjernelse af suspenderet stof. Derudover bliver filtrene mindre dybe.

Der anbefales anvendt dual-medie med Filtralite™, hvilket vil forbedre den biologiske filterdrift samt reducere skyllevandsforbrug og -flow.

Der anbefales endvidere anvendt patenteret teknologi til forbedring af de biologiske processer og dermed forbedret ammoniumfjernelsen (Filtraflo NIT™).

Kvartsmaterialet i filterlaget skal være skarpkantet, vasket og tørret. For kvartslaget i filterlaget skal uensformighedstallet være mindre end 1,4. Der må maksimalt være 10 % overkorn og 5 % underkorn i materialet målt med Camsizer. Filtermaterialet skal være frit for indhold af organisk stof ved leveringen.

Filtrene udføres med dysebund, hvor der skal benyttes minimum 55 dyser per m^2 filterbund for at sikre en effektiv returskylning. Dyserne skal være forberedt for kombineret luft og vandskylning.

Afstanden fra toppen af filterlaget til skyllevandsudløbet *skal være minimum 70 cm* for at undgå udskylning af filtermateriale. Samtidig skal vandniveauet i filteret kunne drænes ned til umiddelbart over filterlaget inden der startes en filterskylning.

I afgangen fra hvert (efter-)filter installeres on-line turbiditetsmåler og evt. ilt-måler.

4.5 Filterskylning og skyllevandsbehandling

- Data og designparametre i dette afsnit 4.5 er baseret på mulighed 1, enkeltfiltrering -

Filterskylning
Et filter returskylles efter tilførsel af et valgt antal m^3 vand eller med maksimum antal dages interval eller højt tryktab eller høj turbiditet i afgangen fra filteret. Det kriterium der først nås, afgør skylleintervallet.

Skylningen foretages efter følgende procedure – driften af de parallelle filtre fortsættes:

1. Stop af filtrering.
2. Nedsænkning af vandniveau i filter til ca. 10 cm over filterlag.
3. Luftskylning ved ca. 60 m/t i ca. 5 minutter (variabel).
4. Pause indtil luften er afgasset fra filteret.
5. Vandskylning ved 25 - 35 m/t (regulerbar) i ca. 7 minutter eller indtil filteret er rent.
6. Stilstand i variabel tid.
7. Start af filtrering og evt. filtermodning ved f.eks. 30 - 50 m^3/time (justérbart flow). Dvs. det filtrerede vand ledes retur til fælles filtermanifold i en indstillet tid eller indtil turbiditeten af vandet er under 0,3 FNU.
8. Tilledning af filtreret vand til rentvandsbeholder.

Skylleproceduren forberedes til også at kunne udføres med en fase med kombineret luft/vand.

Luften til skylleluftsblæseren filtreres gennem minimum ePM1 60 filter inden indblæsning i filteret. Blæseren udstyres med trykmåling og flowmåling.

Skyllevandet tages fra rentvandsbeholderne. Skyllepumpen udstyres med tryk- og flowmåler. Der anbefales installation af 2 skyllepumper og 1 (2, hvis der alltid ønskes redundans) skylleluftblæser.

Tabel 4.5 Designdata returskylningsudstyr

Scenarie	I	II	III	
Skyllevandspumpe ydelse, maks.[1]	350	175	145	m^3/t
	35	35	35	m/t
Skyllevandspumpe ydelse, min.[1]	80	40	35	m^3/t
	8	8	8	m/t
Skylleluftblæser ydelse (fast)	600	300	250	m^3/t
	60	60	60	m/t
Behandlet kapacitet mellem skylning	ca. 5.000	ca. 2.500	ca. 2.200	m^3/filter

[1] regulerbar ydelse

En filterskylningscyklus med modning tager ca. 60 minutter.

Skyllevandsproduktionen per skylning er afhængig af filtrets diameter, men det forventes en samlet produktion svarende til maksimalt 0,8 % af vandproduktionen eller ca. 500.000 m^3/år*0,008 = 4.000 m^3/år.

Der kan installeres en turbiditetsmåler i fælles skyllevandsafgang. Målingen skal foretages således iltbobler ikke kan give anledning til fejl.

Skyllevandsbehandling
Skyllevandet udledes til parallelle bundfældningsbeholdere for bundfældning af suspenderet slam inden afledning af klaret vand til recipient.

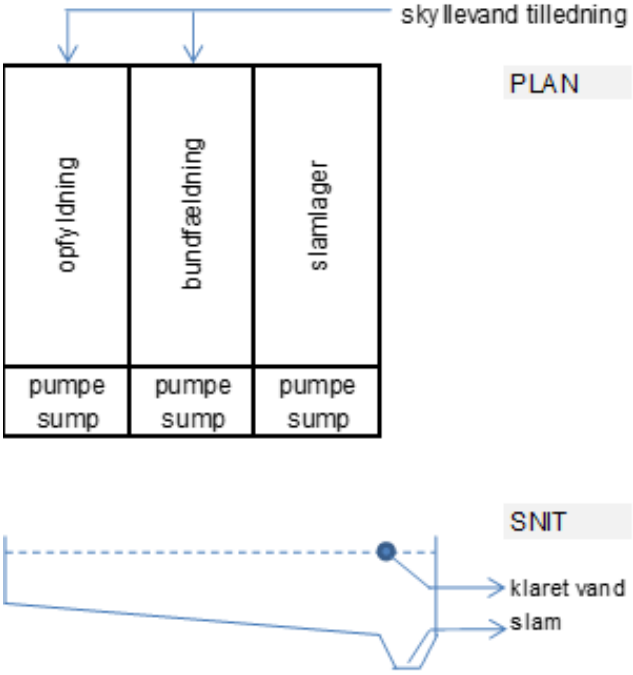
Okkerslammet ønskes fjernet periodisk fra beholderne. Der produceres ca. følgende mængder tørstof årligt:

1,3 g/m^3 Fe *500.000 m^3/år * 1,6 /1000	=	1.040 kg
0,04 g/m^3 Mn *500.000 m^3/år * 1,6/1000	=	32 kg
0,1 g/m^3 P * 500.000 m^3/år * 3/1000	=	80 kg
0,05 g/m^3 C * 500.000 m^3/år * 2,5/1000	=	63 kg
0,1 g/m^3 Ca * 500.000 m^3/år * 2,5/1000	=	125 kg
Totalt	**=**	**1.340 kg**

Ved en opkoncentrering til et gennemsnitligt tørstofindhold på minimum 2 % vil slammet maksimalt udgøre 1340/0,02/1000 = 67 m^3 efter et års drift.

Hver bundfældningsbeholders volumen dimensioneres efter at kunne indeholde minimum halvdelen af alle filtrenes normale skyllevolumener. Der laves 3 parallelle overdækkede beholdere, hvor to fungerer som bundfældningsbassiner og den resterende er slamlager. Alternativt kan skyllevandsanlægget laves som én bundfældningsbassin + evt. slamlager.

Figur 4.3 viser et eksempel på designet af skyllevands-/slambassiner. Tilløbet til bundfældningsbassinerne og bunden skal indrettes således at bunden skylles ren ved første tilførsel af skyllevand, således manuel rengøring minimeres.



Figur 4.3 Principskitse af design af skyllevands-/slambassiner

Efter ca. 12 - 16 timers bundfældning kan det klarede vand pumpes til recipient (efter filtrering) via flyderindtag med et flow på 15 m^3/time.

Turbiditeten i det klarede vand skal måles on-line. Ved stigende turbiditet over et setpunkt stoppes udpumpningen og beholderen tømmes med slampumpe til slamlageret. I bundfældnings- og tømmeperioden fyldes den parallelle tank med filterskyllevand. Klaret vand fra slamlageret pumpes via overløb retur til bassinet, der er under opfyldning.

Tabel 4.6 Designdata for skyllevands- og slambassin

Antal bassiner	3	stk.
Eff. volumen per bassin	50	m^3
Areal per bassin	Ca. 25	m^2

Efter behov tømmes slamlageret ved pumpning til tankbil eller afløb. Slamlageret's volumen kan også være mindre end volumenet af skyllevandsbassiner; dette vil medføre hyppigere interval for afhentning af slam med tankbil.
Der laves mulighed for vandspuling af bunden, pumpesumpen og slamledninger.

4.6 Rentvandsbeholder og -udpumpning

Det filtrerede vand ledes til 2 separate rentvandsbeholdere, som forventes at være fritliggende og inspicerbare samt udført i rustfrit stål. Alternativer, f.eks. I form af dobbeltskrogede plasttanke til nedgravning kan også indgå i overvejelserne.

Al luftudligning i rentvandsbeholderne foretages gennem minimum ePM1 60 filter.

Rentvandet udpumpes trykstyret til ledningsnettet. Udpumpningskapaciteten under normal drift er maksimalt 142 m^3/t ved fuld produktion.

Der installeres regulérbare pumper i henhold til tabel 4.7.

Tabel 4.7 Rentvandsbeholdere og udpumpning

Scenarie	**I**	**II**	**III**	
Antal rentvandsbeholdere	2			stk.
Volumen, effektivt	575	450	420	m^3/stk.
Beholdermateriale	F.eks. rustfrit stål			-
Antal pumper, ledningsnet	4 - 5 stk.á 29 m^3/t*			
Flow, maks.	95 - 142 m^3/t			
Tryk, maks.	4 bar (skøn)**			

* Antallet kan som foreslået i afsnit 2 udbygges i takt med vandbehovet; se også tabel 2.3.
** Afgangstrykket skal verificeres inden endelig projektering

4.7 Option: UV-behandling

Der forberedes installation af UV behandling og UVT måling af rentvandet i udpumpningen til ledningsnettet.

UV anlægget skal give en certificeret dosis efter US-EPA retningslinjer på 400 J/m^2 ved maksimalt flow, 'end of lifetime' for lamper og minimal UV transmission i vandet. Med et maksimalt NVOC indhold på 2,0 mg/l i rentvandet er den teoretiske beregnede UVT(10mm) på 90 %. Der fratrækkes 2 % som sikkerhed.

Såfremt der ønskes fuld redundans på UV-behandlingen, installeres der 2 UV-anlæg, som hver kan klare spidsbelastningen i middeldøgnet. Anlæggene vælges med styring af ballaststrømmen for at reducere energiforbruget og skal kunne kobles til og fra styret af flowet. Anlæggene skal være af lavtryks typen, have automatisk rengøring i form af viskersystem og intensitetsmåler.
Tabel 4.8 angiver vejledende data for UV anlægget.

Der installeres on-line UV transmissionsmåler i afgangen fra hver rentvandstank til overvågning af vandets UV transmission.

Tabel 4.8 Designdata for UV anlæg

Antal	2	stk
Maksimal hydraulisk kapacitet per stk	104	m^3/t
Dosis, certificeret (USEPA)	400	J/m^2
UV-transmission (10 mm)	88	%
Lampetype	Lavtryk	-
Andet	Viskersystem for rengøring, styring af ballaststrøm, intensitetsmåler	

5. Valg af blødgøringsmetode

5.1 Baggrund: Blødgøring og reduktion af kalkudfældning

Ved blødgøring af vand foretages en reduktion af vandets hårdhed ved at fjerne calcium og magnesium ioner fra vandet.

Vandets totale hårdhed er defineret som: [Ca]/7,13 + [Mg]/4,35 [°dH]

hvor [Ca] = koncentrationen af calcium (mg/l)
[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.
- Ændring i vandkemi: Reduktion af nikkel for nogle teknologier

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

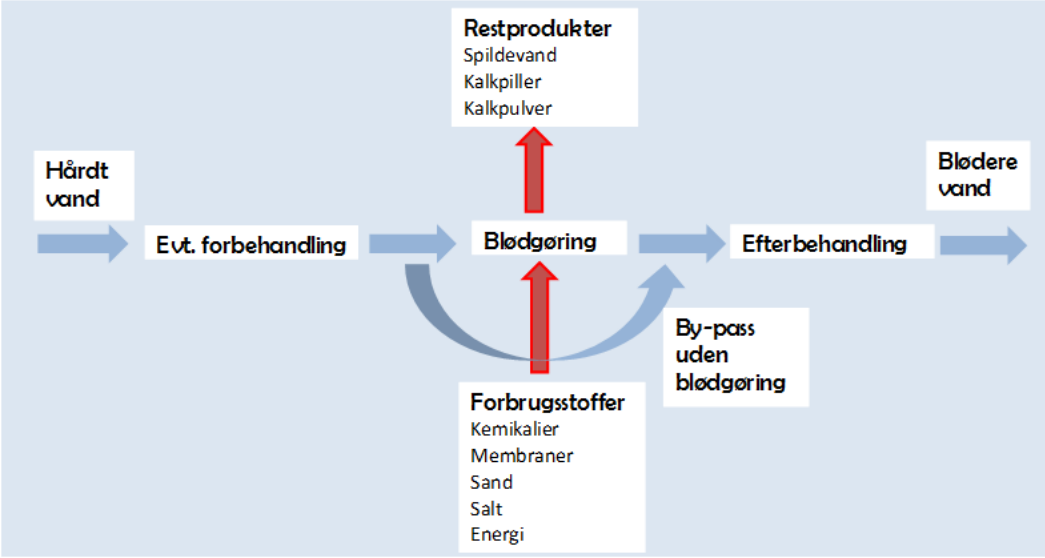
- Ændring af vandkemi: tilførsel af natrium
- Øget korrosion af rørmaterialer
- Øget vandspild.
- Øget energiforbrug.

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.

5.2 Teknologier

Der findes flere veldokumenterede centrale blødgøringsteknologier, som er i drift i Danmark samt på udenlandske vandværker i bl.a. Sverige, Tyskland, Frankrig og Holland. Teorien bag de mest benyttede teknikker er kort beskrevet i det følgende.

En oversigt over de forskellige teknikker og det generelle princip for blødgøring er vist i figur 5.1 og tabel 5.1.



Figur 5.1 Generelt princip for central blødgøring af drikkevand

Tabel 5.1 Oversigt over udvalgte blødgøringsteknikker, typisk placering i renseprocessen, forbrugsstoffer og spild/restprodukter

Teknik	Typisk for-behandling	Typisk efter-behandling	Forbrug	Rest/spild
Kalkpille (Pellet)	ingen	Iltning, filtrering (UV)	Lud, sand, kuldioxid	kalkpiller
Membran (LPRO)	Iltning, filtrering	pH justering	Antiscalant	Konc. vand
Traditionel ionbytning	Iltning, filtrering	UV, evt. pH justering	Salt (NaCl)	Saltvand
CARIX ionbytning	Iltning, filtrering	Luft stripning	kuldioxid	Konc. vand
Elektrolytisk kalkfældning	Iltning, filtrering	Luft stripning	'strøm'	kalkslam
PAS[1]	Iltning, filtrering	-	luft	kalkslam

[1] Dansk patentanmeldt teknik under udvikling

5.3 Overordnet teknisk sammenligning

I tabel 5.2 er udvalgte tekniske fordele og ulemper ved de enkelte metoder oplistet.

Tabel 5.2 Udvalgte fordele og ulemper ved de forskellige blødgøringsmetoder

Metode	Fordele	Ulemper
Pellet blødgøring	• Kendt teknologi • Fjerner ikke Mg • Meget lavt vandspild	• Forøgelse af natriumindhold i drikkevand (blødg. med NaOH) • Arbejdskrævende (høj kompleksitet og stort pasningsbehov) • Kemikaliehåndtering (NaOH eller $Ca(OH)_2$) • Stort højdekrav • Bortskaffelse af kalkpiller
Ionbytning, kationbytter (traditionel ionbytning)	• Kendt teknologi • Ikke særlig arbejds-krævende (lav kompleksitet og lille pasningsbehov) • Lavt vandspild • Lille-mellem arealkrav	• Forøgelse af natriumindhold i drikkevandet • Risiko for kimvækst fra ionbyttermateriale • Saltholdigt skyllevand skal bortskaffes
Ionbytning, kat- og anionbytter (CARIX)	• Ingen tilførsel af natrium til drikkevand • Ikke særlig arbejdskrævende (middel i kompleksitet, men lille pasningsbehov) • Forbruger kuldioxid • Kan fjerne også andre stoffer - f.eks. klorid, NVOC, etc.	• Mellem-stort arealkrav • Højere vandspild end traditionel ionbytning • Højere startomkostninger end traditionel ionbytning
Membran-filtrering	• Fjerner også andre stoffer - f.eks. pesticider, klorid, NVOC, etc. • Kendt teknologi • Lille højde- og arealkrav	• Evt. uønskede indholdsstoffer i anti-scalant. • Relativt stort vandspild
Elektrolyse	• Lavt vandspild • Ingen tilsætning af kemikalier	• Begrænset reduktion af hårdheden • Sundhed: Risiko for dannelse af klorgas og trihalomethaner i drikkevandet • Bortskaffelse af udfældet kalkslam • Relativt stort arealkrav
PAS	• Lavt vandspild • Ingen tilsætning af kemikalier	• Ingen fuldskalaanlæg i drift og ingen referencer • Bortskaffelse af udfældet kalkslam • Relativt stort areal- og højdekrav

Til nærmere undersøgelse er der valgt følgende blødgøringsteknikker:

1. CARIX-ionbytning
2. LPRO-membran
3. PAS (Plastic Air Softening)

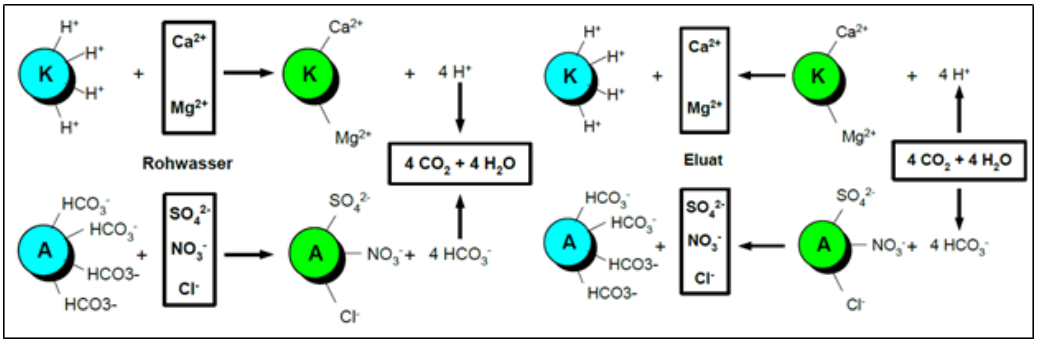
I det følgende er disse tre mulighederne beskrevet mere detaljeret.

5.3.1 CARIX ionbytning

Ionbytning ved CARIX metoden adskiller sig fra den traditionelle ionbytning, ved at der benyttes ionbyttermaterialer, som både kan fjerne calcium, magnesium, sulfat, klorid og nitrat efter en specifik valgt opbygning med 2 forskellige ionbyttermaterialer. Ved driften dannes kuldioxid i vandet som afblæses i en efterfølgende luft stripning. Dvs. drikkevandet tilføres ingen tilsætningsstoffer. CARIX kan også benyttes som ren kationbytter (fjerner kun Ca og Mg).

Ved regenereringen tilsættes kuldioxid under tryk hvorved de adsorberede stoffer frigives fra ionbytteren og afledes som spild.

Princippet for processen er vist i figur 5.2.



Figur 5.2 Princip for CARIX ionbytningsproces. K: kationbytter, A:anionbytter. Driftssituation vist til venstre og regenerering til højre.

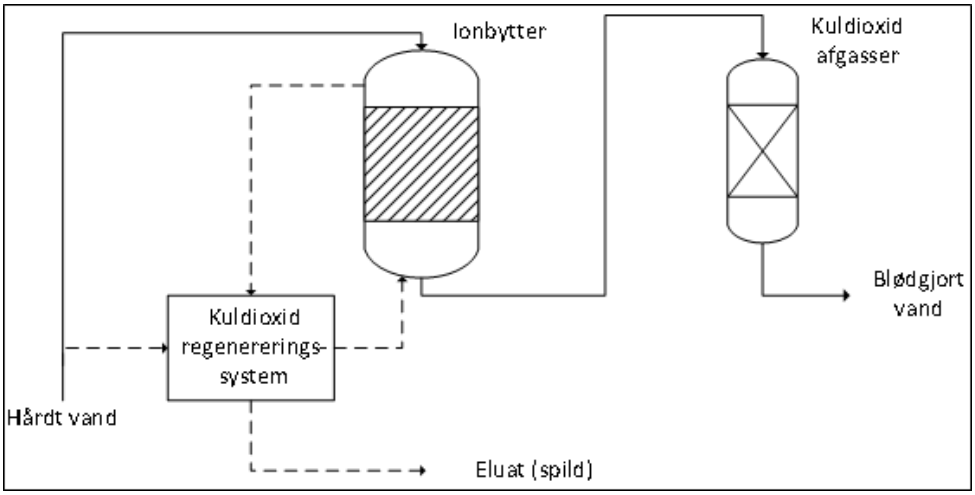
Ionbytteren er svagere end den traditionelle ionbytter, hvorfor blødgøringen er mindre effektiv, og der skal benyttes et større ionbyttervolumen.

Fordelen ved denne proces er, at den ikke benytter natriumklorid (salt) til regenereringen, men i stedet kuldioxidgas. Herved øges indholdet af natrium ikke i det behandlede vand, og spildevandet til afledning (eluatet) indeholder kun de ioner, der er fjernet fra afløbsvandet.

Op til 95 % af den benyttede kuldioxid kan genbruges, hvorved kuldioxid forbruget til regenereringen reduceres. Vandspildet ved processen er højere end ved den traditionelle ionbytningsproces og udgør typisk 3-6 %.

CARIX benyttes typisk til vandværker med en produktion over 50 m^3/time, da startomkostningerne til udstyret og styringen er forholdsvis høje. Men anlægget er tilsvarende traditionel ionbytning fuldautomatisk og kan driftes diskontinuert og er ikke krævende i forhold til vedligehold og service.

Et princip for CARIX ionbytningen er vist i figur 5.3, og billeder af et anlæg er vist i figur 5.4.



Figur 5.3 Principeksempel af CARIX ionbytningsproces.

Figur 5.4 Billede af CARIX ionbytter anlæg

5.3.2 Membranfiltrering (LPRO)

Ved membranfiltrering fjernes hårdheden fra vandet rent fysisk ved at filtrere vandet gennem en membran, der tilbageholder både calcium og magnesium. Andre molekyler i vandet vil samtidig blive tilbageholdt i større eller mindre grad afhængig 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. Tilbageholdelsen af hydrogenkarbonat medfører et fald i pH i det rensede vand, hvilket gør vandet aggressivt efter behandlingen. Det skal derfor enten tilføes et basisk kemikalie eller opblandes med andet vand til neutralisering af aggressiviteten, eller kuldioxid skal afblæses, inden det kan udpumpes.

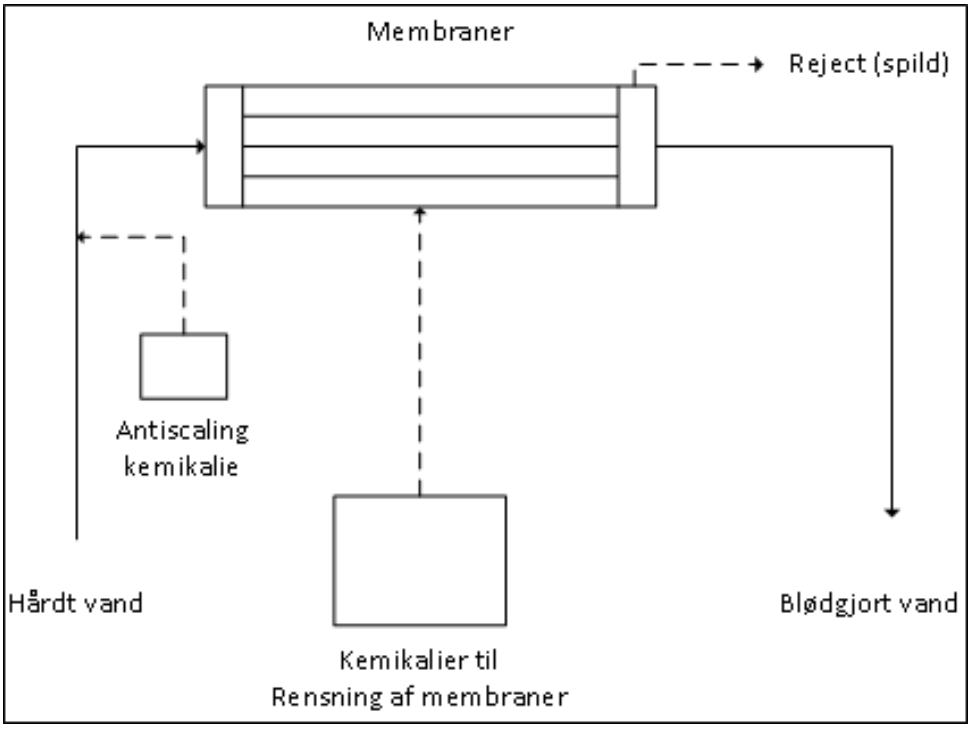
Forud for en membranfiltrering skal råvand gennemgå en traditionel vandbehandling for bl.a. at fjerne suspenderet stof som okker, der ellers hurtigt vil tilstoppe membranoverfladen. Derudover skal vandet forfiltreres i et 1 – 5 µm filter. Alligevel vil der ved vandets passage af membranoverfladen være 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 og eventuelt syre til tilløbsvandet. Det er bl.a. fosfatholdige kemikalier, som er godkendt til brug i drikkevand i udlandet. Antiscaling kemikalierne passerer principielt ikke membranen og kommer derfor ikke i drikkevandet men i rejectet (spild), som også er stærkt kalkfældende. I nyere anlæg har det vist sig, at der med nogle antiscaling kemikalier måles pesticidnedbrydningsproduktet AMPA i drikkevandet. Det undersøges pt. nærmere.

Vandspildet ved membranfiltrering er stort og udgør typisk 15 – 20 % af indløbsvandet til membranen. Spildet varierer afhængig 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 og syre. Det gøres ved at recirkulere sure og/eller basiske kemikalier gennem membranen. Disse kemikalier skal neutraliseres før udledning til afløb. Levetiden af selve membranerne er typisk 5 - 10 år afhængig af drift og rengøring.

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

Figur 5.5 viser en principskitse af en membranproces og figur 5.6 viser et billede af et membranfiltreringsanlæg.



Figur 5.5 Principskitse af membranproces

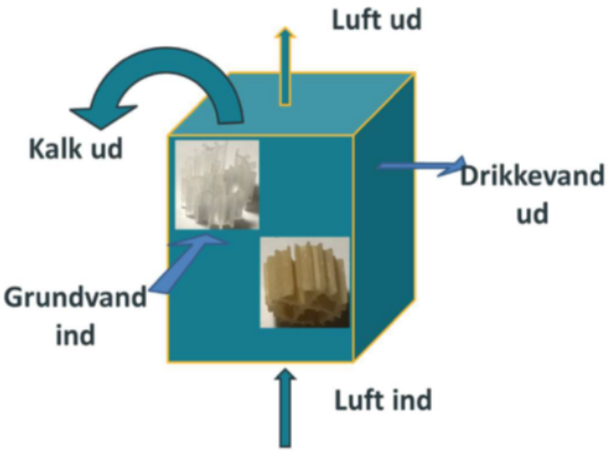
Figur 5.6 Billede af LPRO membraner til blødgøring

5.3.3 Plastic Air Softening (PAS)

PAS teknologien er en dansk patentanmeldt teknik, der er under udvikling.

Metoden fungerer ved, at der ved kraftig luftindblæsning i vandet udfældes kalk på små plastikelementer af PP eller PE. Kalken fjernes løbende som kalkslam der ved induceret turbulens brækkes af overfladen af plastikelementerne. Der kan typisk fjernes op til ca. 50% af vandets hårdhed ved processen. Kalkslammet transporteres med skyllevand til en klaringstank, hvor kalken bundfælder. Hovedparten af skyllevandet returneres til processen og kalken overføres til en lagertank, hvor det drænes for restvand. Restproduktet er kalkpartikler (10 - 100 mikrometer), der kan anvendes som f.eks. landbrugskalk (dette er dog afhængig af muligt indhold af tungmetaller som for eksempel nikkel, Ni).

Metoden vurderes at være færdigudviklet til kommercialisering indenfor et år. Den vil typisk være egnet til mindre vandværker og har en fordel i at der ikke produceres spildevand og der ikke benyttes kemikalier. Der kræves en forholdsvis lang opholdstid af vandet i beluftningskammeret på ca. 1 - 1½ time, hvilket kræver noget bygningsvolumen.



Figur 5.7 Princip af PAS anlæg og billede af forsøgsanlæg på ca. 10 - 15 m^3/t

NB.:
Der er ikke foretaget detaljerede beregninger af den resulterende vandkvalitet ved denne metode, men kun et estimat. Beregningen bør gennemføres af teknologi-leverandøren.

5.4 Sammenligning af teknologier

5.4.1 Drikkevandskvalitet

Baseret på den dimensionsgivende råvandskvalitet og Krügers kemiske simuleringsprogram er de resulterende drikkevandskvaliteter beregnet for de forskellige blødgøringsteknikker.

Tabel 5.3 viser udvalgte parametre for de forskellige teknikker.

Tabel 5.3 Vejledende beregnet drikkevandskvalitet med udvalgte blødgøringsteknikker

Teknologi		DV uden blø.[1]	CARIX[2]	Membran	PAS[3]
Calcium	mg/l	80	40	46	~ 40
Magnesium	mg/l	26	19	15	~ 25
pH	-	7,7	7,7	7,6	~ 8,2
Bikarbonat	mg/l	413	263	240	~ 290
Natrium	mg/l	30	30	17	30
Hårdhed[4]	°dH	17,2	10,0	10,0	~ 11,5
Sulfat	mg/l	3	3	2	3
Klorid	mg/l	30	30	17	30
NVOC	mg/l	2,0	2,0	1,3	2,0
$CCPP_{90}$[5]	mg/l	129	41	42	~ 60
LSI[6]	-	0,57	0,15	0,10	0,69
Larson index[7]	-	0,13	0,21	0,13	0,19

[1] Drikkevandskvalitet uden blødgøring
[2] Kun *kation*bytter
[3] Estimeret
[4] Hårdhed - ønskes mellem 8-12 °dH
[5] Kalkfældningspotentiale ved 90 °C - anbefales < 60 mg/l
[6] Kalkopløsningsindex - skal være > 0,0
[7] Korrosionsindex - skal være < 1,0

Beregningerne viser, at alle tre teknologier kan overholde den ønskede hårdhed mellem 8-12 °dH.

Derudover kan alle teknologier opnå et $CCPP_{90}$ under eller tæt på 60 mg/L.

Beregningerne viser derudover, at der kan produceres vand, der ikke er kalkaggressivt (LSI ≥ 0) for alle teknologier.

Vandet er heller ikke korrosivt (Larson index < 1,0) mod varmforzinket stål.

CARIX ionbytning og blødgøring med membran er i stand til at levere en god blødgjort vandkvalitet med meget lavt kalkfældningspotentiale ved 90 °C.

Som nævnt tidligere er beregningerne for PAS kun estimater, og der kan sandsynligvis opnås en lidt lavere hårdhed og også et lidt lavere $CCPP_{90}$ end 60 mg/l, om end ikke så lavt $CCPP_{90}$ som CARIX- eller membran-blødgøring.

5.4.2 Spildevand

Spildevandsproduktionen *eksklusiv* skyllevand fra den traditionelle vandbehandling med sandfiltre er overslagsmæssigt beregnet til ca.:

- CARIX: 4 %
- Membran: 10 %
- PAS: 1 %

For CARIX ionbytning og membran indeholder spildevandet en opkoncentrering af stoffer, som er blevet fjernet fra vandet. Spildevandet fra PAS-anlæg genereres ifm. udtagning af kalkslam. Spildevandets sammensætning, efter afdræning, kan derfor sammenlignes med kvaliteten i selve PAS-anlægget.

CARIX og membran genererer ‘kun’ spildevand, og PAS genererer også et kalk restprodukt, som skal bortskaffes.

Spildevand - CARIX-ionbytning
Vandspildet ved CARIX ionbytning er middel-stort og udgør ca. 4 % af den samlede indvinding.

For Borup Vandværk er spildet ca. 58 m^3/d, hvilket er et gennemsnitsværdi, som er baseret på en årsproduktion på 500.000 m^3/år. Den vejledende sammensætning ses i tabel 5.4.

Tabel 5.4 Gennemsnitlig vandkvalitet af spildevand fra CARIX

Parameter	Enhed	Indhold
pH	-	6,5
Calcium	mg/l	1.050
Magnesium	mg/l	200
Natrium	mg/l	30
Bikarbonat	mg/l	4.150
Klorid	mg/l	30
Sulfat	mg/l	3
Total-N	mg/l N	0,2
Total-P	mg/l P	0,1
Suspenderet stof	mg/l	< 10
Jern	mg/l	< 1
Mangan	mg/l	< 0,1

Spildevand - membran
Som nævnt ovenfor, er vandspildet ved membranfiltrering relativt stort. Spildet varierer afhængigt af membrantypen og opbygningen af anlægget.

For Borup Vandværk er spildet ca. 140 m^3/d, svarende til 20 % af indløbsvandet til membrananlægget, og til ca. 10 % af den samlede indvinding. Denne værdi er et gennemsnitsværdi, som er baseret på en årsproduktion på 500.000 m^3/år.

Tabel 5.5 Gennemsnitlig vandkvalitet af spildevand fra membrananlæg

Parameter	Enhed	Indhold
pH	-	8,3
Calcium	mg/l	400
Magnesium	mg/l	130
Natrium	mg/l	150
Bikarbonat	mg/l	2.050
Klorid	mg/l	160
Sulfat	mg/l	15
Total-N	mg/l N	1
Total-P	mg/l P	1,5
Opløst ilt	mg/l	10
Suspenderet stof	mg/l	0,2
Jern	mg/l	0,25
Mangan	mg/l	0,05
$CCPP_{10}$	mg/l	752

Skyllevand - PAS
Der produceres under 1 % spildevand fra afdræning af kalkslam. Spildevandets sammensætning efter afdræning, kan derfor sammenlignes med kvaliteten i selve PAS-anlægget eller med rentvand.

Det kan sandsynligvis afledes til kloak eller opblandes med det eksisterende filterskyllevand og afledes med dette til recipient, såfremt der foreligger myndighedstilladelse.

5.4.3 Muligheder for afledning af spildevand fra CARIX og membran

Skyllevand fra CARIX ionbytning og fra membran-anlægget indeholder lavere mængder af klorid end skyllevandet ved traditionel ionbytning med regenerering med NaCl, dog alligevel en opkoncentrering af de stoffer, der er blevet fjernet fra vandet gennem behandlingen. Bl.a. indeholder spildevandet fra membran højere koncentrationer af total kvælstof, hvilket kan medføre udfordringer mht. afledning til recipient.

Under alle omstændigheder, bør muligheder for afledning af spildevandet fra CARIX eller membran undersøges hos / med de relevante myndigheder.

5.5 Groft økonomisk overslag

Der benyttes følgende generelle forudsætninger for beregningerne:

Tabel 5.6 Generelle forudsætninger

			Kommentar
Produktion	m^3/år	500.000	Rentvand
	m^3/t, middel	90	Produktion i 22 t/d
	m^3/t, maks.	110	
Energipris	kr/kWh	1	Ekskl. moms
Spildevandsafledning	0-500 m^3 [kr/m^3]	41,40	Ekskl. moms
	501-20.000 m^3 [kr/m^3]	33,12	Ekskl. moms
	> 20.001 m^3 [kr/m^3]	16,56	Ekskl. moms
Driftspersonale	kr/t	350	Ekskl. moms

5.5.1 CARIX ionbytning

Det regnes med:

- Bygningsvolumen på ca. 1.800 m^3
- Driftspersonale: ca. 100 timer/år (2 timer/uge)
- Energiforbrug på ca. 75.000 kWh/år
- Samlet spildevandsmængde på ca. 21.000 m^3/år
- Forbrug på ca. 100 t CO_2/år

De samlede anlægs- og driftsomkostninger estimeres til ca. ***3,4 kr/m³*** *(total, ekskl. moms). Kan spildevandet fra CARIX ionbytning afledes til recipient, bliver de samlede udgifter til ca.* ***2,2 kr/m³****.*

5.5.2 Membrananlæg

I beregningen indgår bl.a.:

- Bygningsvolumen på ca. 1.000 m^3
- Driftspersonale: ca. 100 timer/år (2 timer/uge)
- Energiforbrug: 0,4 kWh/m^3 blødgøring; energiforbrug på ca. 100.000 kWh/år
- Antiscalant: 1.200 kg/år
- Spildevand: ca. 20 % af indløb til membrananlæg, samlet ca. 50.000 m^3/år
- Forfiltre: ca. 1 stk/måned

Derudover diverse mindre forbrug af UV lamper og materialer til service og vedligehold af anlægskomponenter.

Af arbejdsmiljømæssige fokuspunkter kan nævnes:

- Håndtering af kemikalier

De samlede anlægs- og driftsomkostninger for membran-anlægget estimeres til ca. ***5,2 kr/m³*** *(total, ekskl. moms). Kan spildevandet fra membran-anlægget afledes til recipient, bliver de samlede udgifter til ca.* ***2,0 kr/m³****.*

Risikoanalyse
Der kan fremhæves følgende ikke-udtømmende liste af risici:

- Afledning af spildevand fra blødgøringen til recipient kan være vanskelig af få tilladelse til, hvilket kan udelukke benyttelse af teknikken pga. driftsøkonomien.
- Der skal indvindes en betydelig mængde ekstra grundvand, som der skal være indvindingstilladelse samt behandlingskapacitet til i det eksisterende anlæg.
- Der kan forekomme udfældning af kalk i afløbet med koncentrat fra membrananlægget, hvilket der skal tages højde for ved afledningen.
- Der kan forekomme myndighedsrestriktioner for bygninger, som begrænser udformning og placering, hvilket ikke er undersøgt pt.

5.5.3 PAS anlæg

Oplysninger for anlægget må indhentes fra AAWater, som har anmeldt patent på denne teknik. Der er ikke lavet beregninger endnu for Borup Vandværk; nedenstående findes derfor kun grove betragtninger.

Anlægget består sandsynligvis af 5-7 stk reaktorer, ca. Ø (2,5 - 3,0) x 5 m opstillet parallelt, udført i rustfrit stål, 1 stk klaringstank med spidsbund i rustfrit stål, 2 stk blæsere til mammutpumper, lagercontainer med dræn til kalk, etc.

Det estimeres, at PAS anlægget kan placeres i en bygning med en indvendig højde på ca. 6,0 m og et samlet areal på ca. 200 m².

Energiforbrug estimeres til ca. 0,5 kWh/m³.

Derudover udskiftning af 20% af bærematerialе årligt samt diverse mindre forbrug af luftfiltre og materialer til service og vedligehold af anlægskomponenter.

AAWater vurderer, at anlægget kræver ca. 2 timers pasning per uge.

Af arbejdsmiljømæssige fokuspunkter kan nævnes:
- Støj fra blæserinstallationer
- Kalkstøv fra lagertank

I en tidligere forespørgsel hos AA-Water vedr. et PAS-anlæg, er de samlede anlægs- og driftsomkostninger blevet estimeret til ***2,2 kr/m³*** *(total, excl. moms); dog var det på en årsproduktion på 300.000 m³/år.*

En detajleret beregning af vandkvalitet og økonomi bør gennemføres af AA-Water, fordi PAS-teknologien kan blive økonomisk fordelagtig, hvis spildevandet fra CARIX ionbytning eller membran IKKE kan afledes til recipient.

Risikoanalyse
Der kan fremhæves følgende og ikke-udtømmende liste af risici:

- Der findes ingen PAS fuldskalaanlæg, hvorfor der mangler langtidserfaringer fra normal drift.
- Afledning af spildevand fra blødgøringen vurderes at skulle ske til kloak, men der mangler en endelig vurdering fra myndighederne.

- Der skal laves aftale vedrørende bortskaffelse af kalkslammet.
- Lyddæmpning af blæserinstallation skal foretages effektivt for at sikre et acceptabelt lavt lydniveau i forhold til naboer.
- Plastfyldlegemer skal være godkendt til drikkevand/fødevarer i henhold til certificering med f.eks. DKVand, DWGV, KIWA eller lignende ordning for at sikre, der ikke sker afsmitning af uønskede stoffer fra plastlegemerne til drikkevandet.
- Der vil forekomme kalkudfældninger på indersiden af reaktorerne, som kan kræve mekanisk/kemisk rengøring med f.eks. års interval.
- Der kan forekomme myndighedsrestriktioner for bygninger, som begrænser udformning og placering, hvilket ikke er undersøgt pt.

5.6 Omkostninger ved afledning af spildevand til kloak vs. afledning til recipient

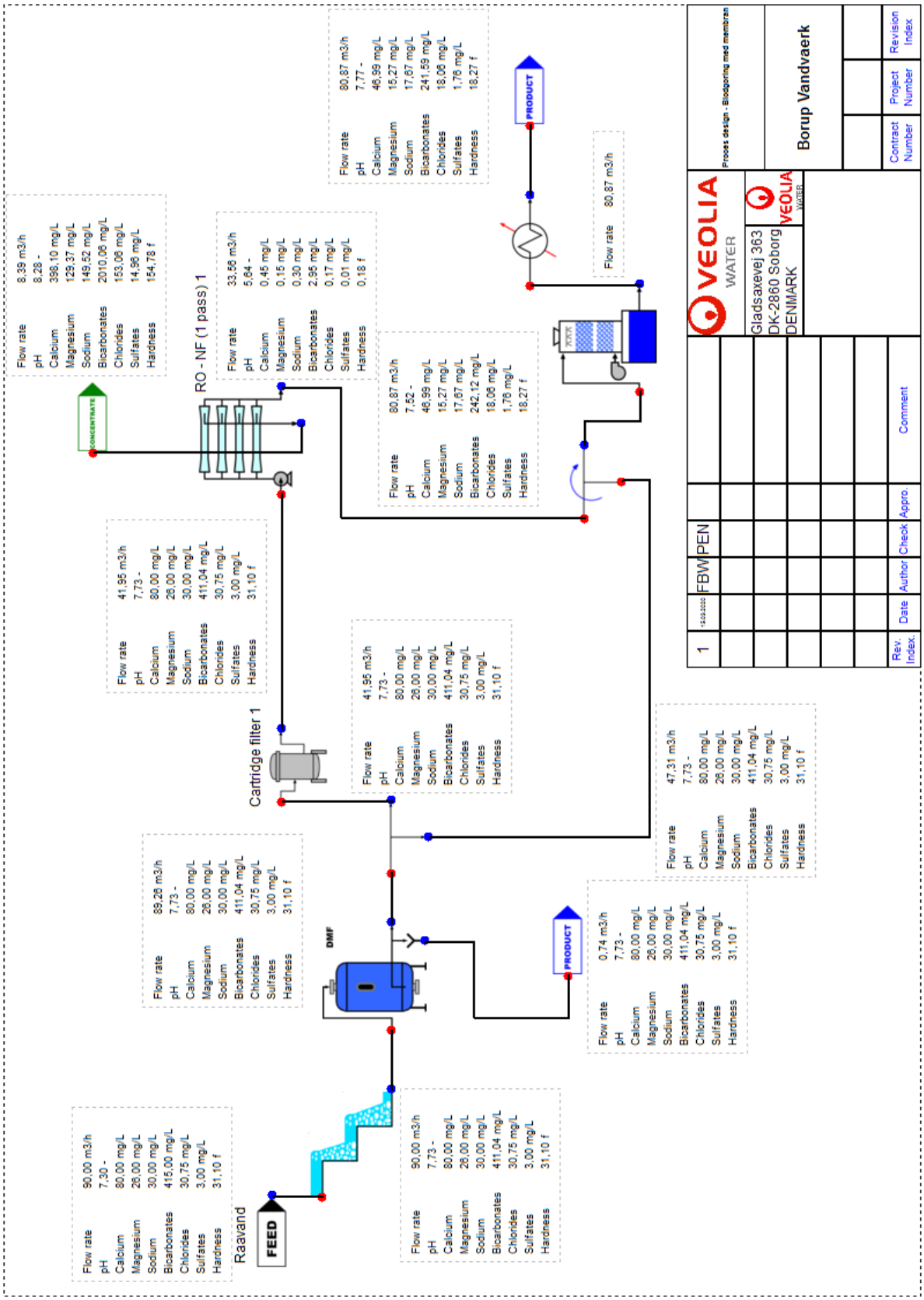
De samlede omkostninger er meget afhængige af, om spildevandet kan afledes til recipient eller ej. Tabel 5.7 giver en oversigt:

Tabel 5.7 Estimerede samlede udgifter inkl. spildevandsafgift og ekskl. spildevandsafgift

Anlægs- + driftsudgifter (kr./m³)			
Teknologi	**CARIX ionbytning**	**Membran**	**PAS**
MED spildevandsafgift	3,4	5,2	?
UDEN spildevandsafgift	2,2	2,0	?

Appendiks A: Beregningsmetodik

BILAG 1: Kapacitetsberegninger

BILAG 2: Vandkvalitet og boredata

BILAG 3: PEARL-beregninger