

Central blødgøring af drikkevand i Danmark ?

Henrik Aktor (AKTOR innovation)

INDLEDNING

Hvad er blødgøring ?

Blødgøring er i dagligdagen velkendt fra almindelige husholdningsmaskiner som opvaskemaskiner, hvor der er indbygget en ionbytningsharpiks – man tilsætter med mellemrum salt som anvendes til at regenerere harpikset. Blødgøring er at reducere vandets hårdhed (Ca^{2+} og Mg^{2+}) som har betydning for bl.a. sæbeforbruget og tendensen til kalkudfældninger ved opvarmning af vandet.

Hårdheden opgives i °dH (tyske grader hårdhed), og kan karakteriseres efter skalaen i tabel 1. Vands hårdhed er en af de ældste af de moderne måleparametre for vands egenskaber pga. betydningen for kedeldrift i dampmaskinens barndom. I starten for at vælge mellem egnede vandtyper til kedeldrift og senere i forbindelse med egentlig vandbehandling (blødgøring).

Tabel 1. Den tyske hårdhedsskala

Hårdhed i °dH	Karakteristik
0 – 4	Meget blødt
4 – 8	Blødt
8 – 12	Middelhårdt
12 – 18	Temmelig hårdt
18 – 30	Hårdt
Over 30	Meget hårdt

Central blødgøring af drikkevand på vandværket er en videregående vandbehandlingsmetode som anvendes i stigende omfang i udlandet – f.eks. hos vores svenske naboer på Vomb-verket (Sydvatten) og Bulltofta (Malmö).

Hvorfor kan central blødgøring være aktuelt ?

Kan central blødgøring være et seriøst alternativ i Danmark ? Det bør vurderes på grundlag af fordele og ulemper for vandforbrugerne, samfund og miljø. Grundlæggende er det et spørgsmål om den *forbrugeroplevede* omkostning ved anvendelse af distribueret drikkevand. Den er nemlig forskellig fra vandforsyningens og omfatter udover den traditionelle vandpris vi aflevere til vandforsyningen også:

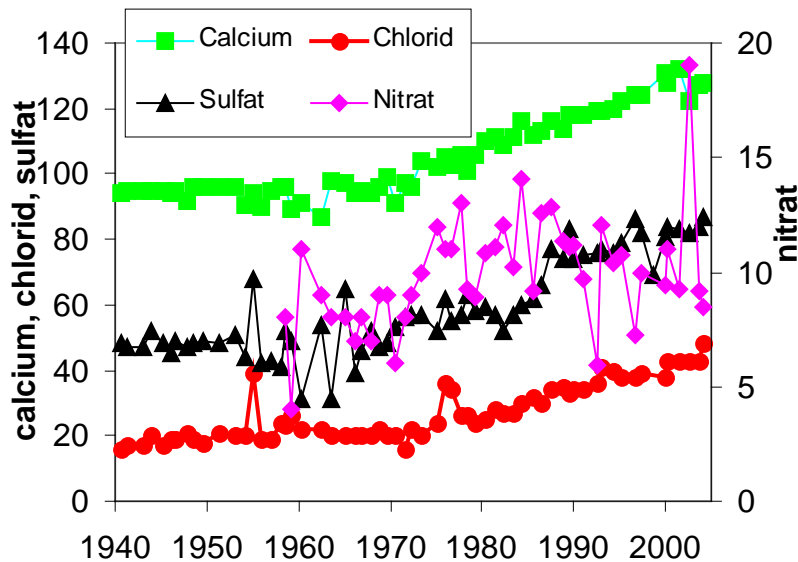
- Tekniske problemer i installationer
- Miljøeffekter fra spildevand
- Forøget forbrug af energi og vaskemidler

VANDETS HÅRDHED – ER DET VANDFORSYNINGENS ANSVAR ?

De ovenfor nævnte forhold bliver traditionelt opfattet som forbrugerens – og til dels også installatørernes og de projekterendes – ansvar og problem. At det bliver taget alvorligt af private forbrugere og industri er ingen vist i tvivl om – det vidner afkalkningsmidler, magnetiske vandbehandlere og talrige forespørgsler til vandforsyningen om vandkvaliteten (dvs. hårdheden i langt de fleste tilfælde).

Der er ingen lovkrav til grundvandets hårdhed som bør ligge i mellem 5° og 30° dH. Vandforsyningen har indtil nu haft begrænset mulighed for at styre vandkvalitetens udvikling i form af videregående vandbehandling. Imidlertid er det hårde grundvand også i sig selv et resultat af vandindvindingen.

- Vandindvinding skaber uundgåeligt sænkning af vandspejlet. Når vandspejlet sænkes kan der trænge atmosfærisk ilt ned i jordlagene, hvilket ofte fører til iltning af mineralet pyrit. Denne pyritoxidation forøger grundvandets hårdhed og indholdet af sulfat og i nogle tilfælde også som en yderligere bivirkning grundvandets indhold af tungmetaller – især nikkel der kan blive et selvstændigt vandkvalitetsproblem.
- Landbrugets dræning og udbringning af ikke-omsat husdyr gødning giver forurening og dermed hårdt vand når jorden er kalkholdig (som den jo er i det meste af Danmark)
- Vejsaltning og lossepladser tilfører Na^+ ioner der udbytter Ca^{2+} og Mg^{2+} fra lerminerale



Figur 1. Udviklingen i grundvandets sammensætning på en storkildeplads pga. vandspejls-sænkninger og ændret arealanvendelse giver en øget hårdhed.

Vandforsyningen har således et indirekte ansvar gennem vandindvindingens påvirkning af naturen samt som råstof indvinder i beskyttelsen af grundvandet overfor arealbetinget stofudvaskning i vandforsyningens indvindingsopland.

DE FORBRUGEROPLEVEDE UDGIFTER

Djævelske argumenter for avanceret vandbehandling

Hvorfor kunne Forbrugeren være interesseret i central blødgøring – Forbrugeren ønsker jo urensset drikkevand ?

Jo, det kunne være pga. de tekniske gener der følger af anvendelsen af det hårde drikkevand:

- Hårdt vand har forøget kalkfældningspotentiale efter normal vandbehandling (beluftning). Det giver risiko for unøjagtige vandmålere, tilstoppede snavssamlere, defekte kontraventiler osv.
- Opløseligheden af tungmetaller forøges pga. lav pH samt stabile komplekser med bikarbonat og sulfat f.eks. CuHCO_3^-
- Korrosions risiko øges for de galvaniserede stålrør når de kombineres med kobberholdige fittings og ventiler

Der har i de senere år været en del markante eksempler på installationer i nybyggeri der efter en kort periode har måttet udskiftes med meget store udgifter til følge.

Miljøeffekter fra spildevand

En andet væsentligt aspekt er de miljømæssige og økonomiske effekter af det forøgede forbrug af vaskemidler (se tabel 2). Forbrugerne i områder med hårdt vand (> 20 °dH) kan samlet spare miljøet

for 4.100 ton vaskemidler årligt hvis drikkevandet – vaskevandet – var blødgjort (tabel 3). Det er en belastning der også har økonomisk betydning løseligt opgjort til over 100 mio. kr. årligt.

Tabel 2. Miljøeffekter fra spildevand i forskellige hårdhedsområder /ref. 1/

	< 10 °dH	10-20 °dH	> 20 °dH
Forbrug af vaskemidler kg/person/år	4,4	5,8	7,8
Iltforbrug g COD/vask	25	34	47
Fosfor belastning g/vask	1,3	1,8	2,4
Sparet udgift til vaskemiddel ved blødgøring < 10° dH kr./person/år	0	38	92
Besparelse procent	0	23	43

Tabel 3. Samlede miljøeffekter fra spildevand i forskellige hårdhedsområder /ref. 1/

	forbrugere Mio.	Personligt forbrug af vaskemidler			
		Kg/person	Ton total	Ton sparet ved blødgøring	Procent sparet af totalforbrug i DK (%)
< 10 °dH	0,729	4,4	3.200	0	0
10-20 °dH	3,316	5,8	19.200	4.600	15
> 20 °dH	1,211	7,8	9.400	4.100	13
Total i DK	5,256		32.000	8.800	27

Forøget forbrug af energi pga. hårdt vand

Anvendelsen af hårdt vand giver et øget energiforbrug i en række tekniske installationer hos private forbrugere og i industrien. Det gælder rorringet funktion af alle typer varmevekslere i kontakt med hårdt vand pga. udfældning af kedelsten der giver forøget energiforbrug – f.eks.:

- Solfangere hvor netop varmevekslerens areal og effektivitet er afgørende for økonomien
- Brugsvand opvarmet med fjernvarmevand giver forhøjet returløbs temperatur – afkøling er noget alle forbrugere af fjernvarme ved giver kontant bonus (eller straf).
- Tomgangstid forøges i f.eks. vaskemaskiner.
- Effektivitet i industrielle køleprocesser forringes

En del af de direkte økonomiske besparelser ved blødgøring af drikkevandet er samlet i tabel 4. Der er tale om betydelige beløb svarende til 4,1 kr. pr. m³ svarende til omkring 250 mio. kr. årligt for de ca. 1.2 mio. forbrugere med hårdt vand

Tabel 4. Årlige besparelser (DKK) i husholdningen ved blødgøring /ref. 2/

	10-20 °dH
Vaskemidler	31,-
Blødgøringsmidler	7,-
Rengøringsmidler	1,90
Afkalker	22,-
Regenereringssalt	3,70
Sæbe	1,20
Energiomkostninger i øvrigt	13,-
Varmt brugsvand	120,-
Forøget vandforbrug	12,-
I alt	210,-
Besparelse pr. m ³	4,10

TEKNIKKEN BAG CENTRAL BLØDGØRING

Man kan inddele de ofte anvendte metoder til central blødgøring i fire hovedgrupper:

- Konventionel blødgøring
- Blødgøring i pellet reaktor
- Blødgøring med ionbytter (CARIX = Carbondioxide Regenerated Ion Exchangers)
- Blødgøring med membranprocesser (primært nanofiltrering og omvendt osmose)

I Danmark er der erfaringer fra drift af pilotanlæg beregnet til central blødgøring:

1. Konventionel blødgøring (Herlev vandværk; 1990).
2. Blødgøring i pellet reaktor (Odense 1990 -1992)
3. Blødgøring med membranprocesser (Odense 1988-89)

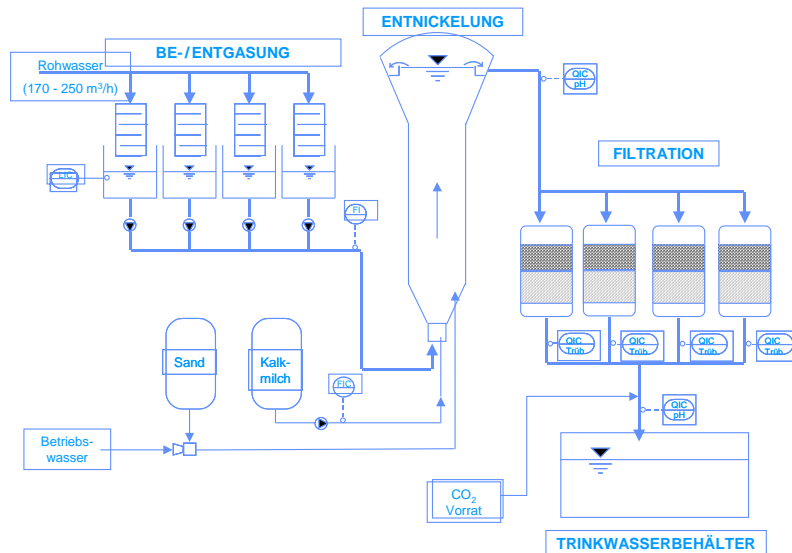
I konventionel blødgøring udfældes kalk som slamflok i en bundfældningstank efter en pH stigning fremkaldt ved at tilsætte kalkmælk, natronlud eller i nogle tilfælde kraftig afblæsning af CO₂ (figur 2).

1. $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{NaOH} \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$

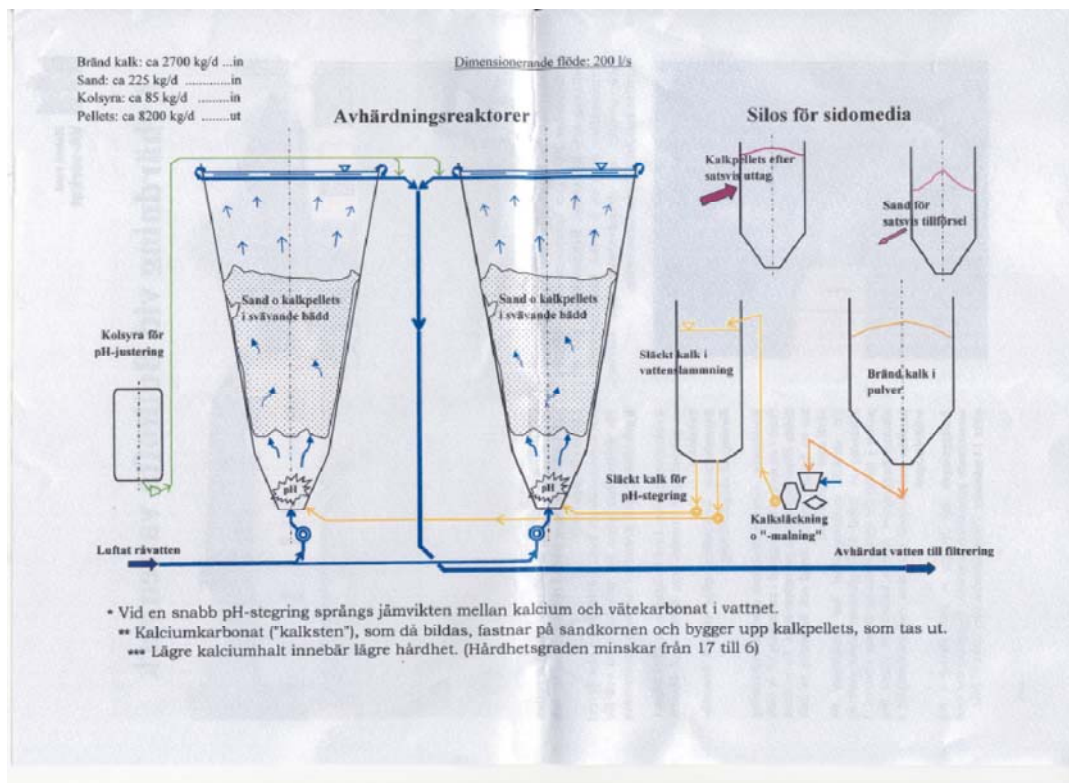


Figur 2. Konventionel blødgøring i Herlev 1990 med proces 3 (og med forfatteren)

Blødgøring udføres mest økonomisk med den såkaldte pellet reaktor metode hvor kalkudfældning udføres i en opstrøms fluid bed reaktor (se figur 3 og figur 4). Kalken udfælder på overfladen af de sandkorn der holdes svævende i reaktoren med meget store filterhastigheder (50 – 150 m/time). Reaktorerne findes i et antal forskellige udformninger afhængigt af kemikalier og andre proceskrav (f.eks. forudgående vandbehandling).



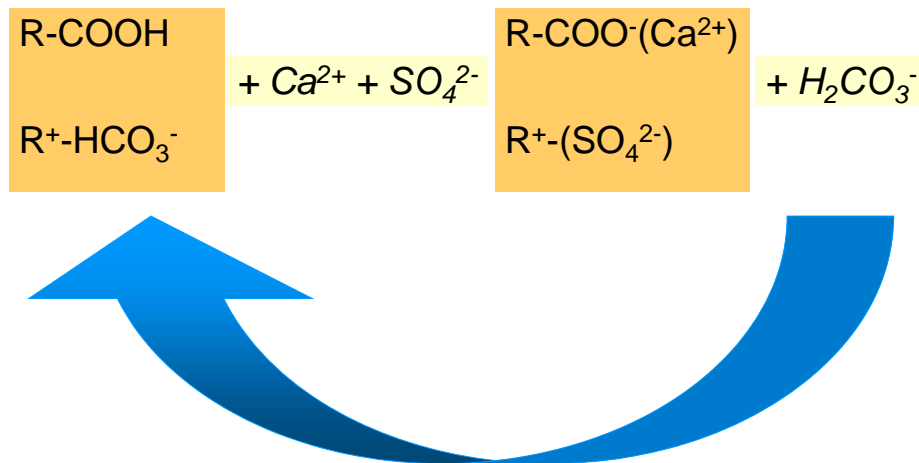
Figur 3. Flowskema for vandbehandling med blødgøring vha. pellet reaktor i Kevelar, Tyskland der også omfatter fjernelse af nikkel i blødgøringsprocessen.



Figur 4. Blødgøring (700 m³/t) i koniske pellet reaktorer på Bultofta, Malmö vandforsyning.

Konventionel ionbytningssteknik som det kendes fra vaskemaskiner hvor ionbytteren regenereres med salt (NaCl) er ikke anvendelig til central blødgøring, fordi der frigives store mængder Na⁺ som vil forringe drikkevandskvaliteten. Derfor er det udelukkende den specielle CARIX ionbytningssteknik

hvor der anvendes kulsyre til regenereringen som har fundet anvendelse – primært i Tyskland og Frankrig (se figur 5).



Figur 5. Schematisk afbildning af ionbytning med CARIX processen, hvor både kationer (Ca²⁺) og anioner (SO₄²⁻) bindes til ionbyteren der regenereres med kulsyre.

Ved nanofiltrering og omvendt osmose tilbageholdes en væsentlig del af procesvandets hårdhed. I Holland har man efterhånden stor erfaring med anvendelse af membranfiltrering til behandling af overfladevand. Fuldskala nanofiltrering med blødgøring (se figur 6) er bl.a. anvendt på Engelse værket (Vitens-Overissjel). I denne type proces tilsættes hjælpekemikalier til råvandet for at forhindre tilstopning af membranoverfladerne. Disse kemikalier ender i processens rejekt – altså det vand der forbliver på membranernes beskudte side. Behandling og slutdisponering af rejekt spildevandet er den største enkelt udgift ved driften af nanofiltrering.



Figur 6. Nanofiltrerings anlægget (OPTIFLUX) på Engelse (Vitens-Overissjel, Holland) under opførelse.

AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER

Den kraftige vandindvinding i kombination med intensivt landbrug og vejsaltning har ført til hårde og saltholdige vandtyper med dårlige tekniske egenskaber, hvilket har store økonomiske og miljømæssige konsekvenser. Dette gælder f.eks. korrosion på rørmaterialer, tilkalkning i varmevekslere og forøget energiforbrug samt miljøbelastning med tungmetaller, vaskeaktive stoffer (f.eks. LAS) og fosfor.

Der er væsentlige økonomiske, samfundsmæssige og miljømæssige gevinster ved at blødgøre vand til teknisk formål i den daglige husholdning og i industrien. Central blødgøring kan frigøre en stor del af dette potentiale og der er solide driftserfaringer fra anlæg i Holland, Tyskland og Sverige. I Tyskland er der gennemført en meget grundig undersøgelse af de samfundsmæssige og miljømæssige konsekvenser /ref. 2/. Den gennemsnitlige forbruger i områder med hårdt vand kan spare omkring 4 – 5 kr./m³ vand – primært pga. reducerede varmetab og vaskemiddelforbrug. I dag modtager 1,2 mio. danskere drikkevand med en hårdhed over 20 °dH og de kan spare 4000 ton vaskemidler årligt (svarende til mere end 100 mio. kr./år) ved blødgøring /ref. 1/.

Den centrale blødgøring har selvfølgelig også en pris – hvilket er anslået i tabel 5, hvor der er givet eksempel på totaløkonomien ved central blødgøring for et mellemstort vandværk (2 mio. m³ pr. år) og middelhårdt vand (10 – 20 °dH). Det er dog klart at der er betydelige samfundsmæssige gevinster ved central blødgøring – økonomiske og miljømæssige gevinster, der skal lægges oven i de daglige komfortmæssige gevinster på fliserne i brusebadet, i kedelen i køkkenet osv.

Tabel 5. Total økonomi (Danmark) ved indførelse af central blødgøring med udgangspunkt i anlægs- og driftsudgifter for et 2 mio. m³ pr. år anlæg og middelhårdt vand (10 – 20 °dH) /data fra ref. 1 og 2/

	Pellets	Ionbytning	Nano
Besparelse i husholdning kr./m ³	4,10	4,10	4,10
Investeringer (maskin og el) kr./m ³	0,70	1,10	0,80
Drift og vedligehold kr./m ³	0,50	0,60	0,90
Spildevand, bygninger, personale kr./m ³	≈ 1	≈ 1	≈ 1
Vandbehandling i alt kr./m ³	2,20	2,70	2,70
Besparelse kr./m ³	1,90	1,40	1,40
Besparelse DK mio. kr./år	430	320	320

REFERENCER

- /1/ Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 37, 2002: Reduktion af miljøbelastningen fra tøjvask – Effekten af blødgøring af brugsvand før vask
- /2/ Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung, 2004: Zentrale Enthärtung von Trinkwasser.