

Dr. Klaus Leiter, Dr. Gerhard Walder

KALKBESKYTTELSESPROCES
BASERET PÅ
BIOMINERALISERING

Dr. Klaus Leiter, Dr. Gerhard Walder

KALKBESKYTTELSESPROCES
BASERET PÅ
BIOMINERALISERING

6. februar 2016

INDHOLD

	Side
1	Indledning 7
2	Teknisk gennemgang af katalysatorteknologi 8
3	Dimensionering og udformning af enheder til praktisk brug 12
3.1	Teknisk beskrivelse af processen 12
3.2	Design af kalkbeskyttelsesanlæg til boligkomplekser og bygninger til boliglignende anvendelse 14
3.3	Design af kalkbeskyttelsesanlæg til centrale vandvarmesystemer i boligkomplekser og på hoteller, kollegier og plejehjem 20
4	Eksempler på anvendelse 27
4.1	Opvarmning af varmt brugsvand i et industrianlæg 27
4.1.1	Beskrivelse af anlægget 27
4.1.2	Systemoplysninger 28
4.1.3	Resultater 30
4.2	Kaserne i Ingolstadt 32
4.2.1	Beskrivelse af anlægget 32
4.2.2	Design med kortvarig spidsbelastning 33
4.2.3	Testfase og resultater 34
5	Resumé 39
6	Referencer 42

1. INDLEDNING

I afsnit 1.3 ”Grundlæggende principper for kalkbeskyttelse gennem krystallisering” beskrives procesprincippet for Watercryst-katalysatorteknologien i detaljer. Katalysatorteknologien anvender konsekvent de kendte virkemåder fra biomineralisering (krystallisering) til at designe egnede, ”intelligente” overflader, hvormed man kan danne de mindste kalkkrystaller ud fra de i vandopløste calcium- og karbonationer. Disse kalkkrystaller frigives i vandet, hvor de fungerer som kimkrystaller.

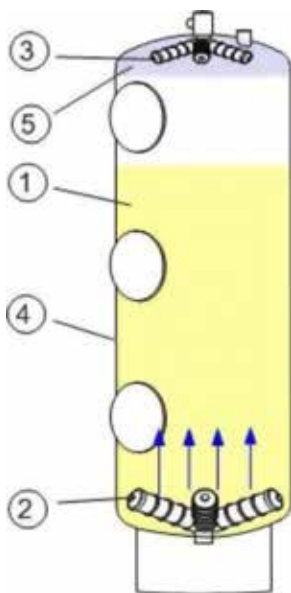
I overmættet vand, som skal udskille kalk for at nå sin ligevægt, vokser kimkrystallerne udpræget.

Vækstprocesser på rør- og kedelvægge undertrykkes, kalken bindes til kalkkrystallerne og skylles ud af installationssystemet, når vandet tappes af.

Forskellige kalkbeskyttelses anlæg, hvoraf nogle er beskrevet nedenfor i denne artikel, er DVGW-certificerede og opfylder navnlig arbejdsarkene DVGW W512 [8] og DVGW W510 [7].

2. TEKNISK GENNEMGANG AF KATALYSATORTEKNOLOGI

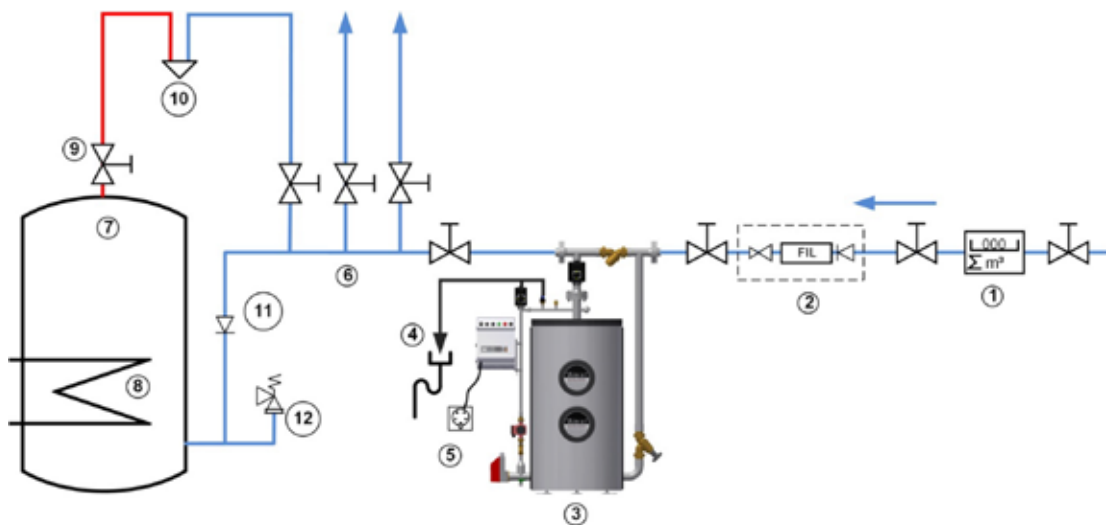
Katalysatorgranulatet befinder sig i en beholder eller patron; det vand, som skal behandles, strømmer så jævnt som muligt fra bunden til toppen gennem katalysatorgranulatet. Vandstrømmen får katalysatorgranulatlaget til at udvide sig - dette optimerer transporten af de calcium- og karbonationer, der er opløst i vandet, til overfladen af katalysatorgranulatet, og fjerner de kalkkrystalkerner, der dannes fra granulatlaget. Det er ikke altid muligt at arbejde med et stort granulatlag i hele strømningområdet; man optimerer således beholderens størrelse til den gennemsnitlige strømning, der kan forventes.



Figur 1: Skematisk fremstilling af vandstrømmen i et stort anlæg: Det vand, der skal behandles, strømmer nedefra ind i granulatbeholderen (4) med katalysatorgranulatet (1). Filterstjernen (2) fordeler vandet jævnt i beholderen så vandet kan strømme jævnt gennem katalysatorgranulatet. Vandstrømmen får granulatlaget til at udvide sig. Vandet forlader granulatbeholderen via filterstjernen (3) og føres videre. Filterlaget (5) består af et særligt granulat, der er lettere end vand, og som opbevares omkring filterstjernen (3). Det har til opgave at stabilisere filterstjernen (3) mekanisk

ved høje strømningshastigheder (øverste filterlag) og beskytter samtidig filterstjernerens mellemrum mod tilstopning af finkornet katalysatorgranulat.

Afhængigt af anvendelsesstedet i installationssystemet skelnes der mellem varmtvandsløsninger, basisbeskyttelsesløsninger og koldvandsløsninger. Koldvandsløsninger installeres enten i hovedvandledningen efter vandmåleren, partikelfilteret og trykbegrænseren (se figur 2) for at beskytte hele installationssystemet, eller de installeres i koldvandsforsyningsledningen til den centrale vandvarmer for at beskytte vandvarmeren og varmtvandsinstallationen.



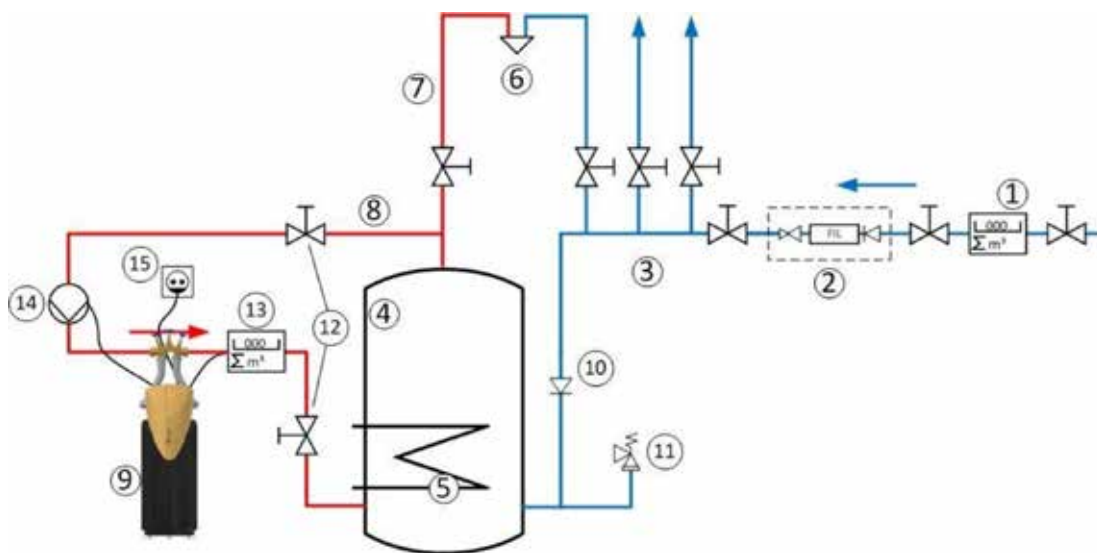
Figur 2: Installationsdiagram af et BIOCAT KS 14000-kalkbeskyttelses anlæg ved brugsvandstilslutningen. (1) Vandmåler; (2) Drikkevandsfilter bestående af trykbegrænser, filter; (3) BIOCAT KS-enhed KS 14000; (4) Afløb; (5) Stikkontakt CEE-16A; (6) Koldvandsfordeler med stigrør; (7) Varmtvandsbeholder; (8) Varmveksler; (9) Stigrør til varmt vand; (10) Vægmonteret batteri; (11) Returløbssikring i henhold til EN 1717; (12) Overtryksventil.

Af hensyn til sikkerheden i sig selv og for at undgå, at katalysatorgranulatet forurenes med mikroorganismer, desinficeres behandlingsenheden med katalysatorgranulatet termisk ved opvarmning senest hver fjerde dag. Ved at skylle anlægget med koldt vand, skylles det varme vand ud, og katalysatorgranulatlaget rengøres.

Varmvandsløsninger gennemføres ved at installere anlægget i egen bypass-ledning til den eksisterende lagertank og cirkulere vandet (se figur 3). Denne driftsform har tre fordele:

1. Ved høje vandtemperaturer dannes der meget hurtigere krystalkerner på katalysatorgranulatet.
2. Et lagersystem lagrer varmt vand; dette giver mere tid til vandbehandling, og anlægget behøver ikke at være konstrueret til flowspidser. Beholderstørrelsen kan flowoptimeres til cirkulationspumpens kapacitet.
3. Ved driftstemperaturer over 60 °C (dette er foreskrevet for større anlæg i DV-GW-arbejdsark W551 [9]) er der ikke behov for termisk desinfektion, da driftsformen i tilstrækkelig grad forhindrer mikroorganismer i at formere sig.

Disse forhold gør det muligt at anvende små, kompakte enheder.



Figur 3: Installationsdiagram af et kalkbeskyttelsesanlæg BIOCAT WS 12k til behandling af varmtvandsinstallationer. (1) Vandmåler; (2) Drikkevandsfilter bestående af trykreduceringsventil og filter; (3) Koldvandssamling med stigrør; (4) Varmtvandsbeholder; (5) Varmeveksler; (6) Udtag for varmt vand med blandingsbatteri; (7)

Varmvandstigrør; (8) varmtvandscirkulationsrør; (9) BIOCAT WS 12k-kalkbeskyttelse-sanlæg til varmtvand; (10) returløbssikring i henhold til EN 1717; (11) overtryksventil; (12) vedligeholdelsesventil; (13) vandmåler for cirkulationsvolumenstrøm; (14) varmtvandscirkulationspumpe; (15) SCHUKO-stikdåse

Der findes koldt- og varmtvandsløsninger som standard til enfamiliehuse og boligkomplekser med mere end 1.000 boligenheder samt til erhvervs- og industribygninger fra Watercryst Wassertechnik GmbH & Co. KG, Haan, Tyskland. Watercryst udvikler og projekterer også kundespecifikke specialløsninger til industrielle og kommercielle anlæg.

Alle varianter opfylder kravene i den tyske drikkevandsforordning og har et aktuelt DVGW-typecertifikat op til en nominel gennemstrømningsmængde på 14.000 l/h. Anlæggene fås i forskellige størrelser. For anlæg med en højere nominel gennemstrømningshastighed og specialanlæg bekræftes overensstemmelsen med drikkevandsforordningen og a.a.R.d.T. ved individuelle test udført af DVGW's testcenter.

3. DIMENSIONERING OG UDFORMNING AF ANLÆG

3.1. Teknisk beskrivelse af processen

Bestemmelser om måling af effektiviteten af kalkreducerende processer i drikkevandssektoren findes i DVGW Code of Practice W512 [8] og DVGW Code of Practice W510 [7]. I definerede, parallelle kedelforsøg skal det påvises, at processen resulterer i en reduktion af kalktilførslen med mindst 80 %.

Alle moderne kalkbeskyttelses anlæg i henhold til DIN1988-200, afsnit 12.7 [1], som opfylder DVGW Code of Practice W510 [7], virker ved dannelsen af kalkkerner, der frigives som kimkrystaller i vandet. Grundlæggende gælder det, at jo højere tætheden af krystalkerner i vandet er, jo hurtigere etableres ligevægten mellem kalk og kulsyre, og jo bedre forløber processen.

I Watercryst-teknologien bestemmes krystalkernetætheden af kontakttiden for det vand, der skal behandles med katalysatorgranulatet. Jo længere kontakttid, jo større er antallet af krystalkerner, der dannes og frigives i vandet. Ved gennemstrømningsdrift kan kontakttiden (t_D) beskrives på følgende måde:

$$(1) \quad t_D = \frac{V_H}{Q}$$

V_H er katalysatorgranulatvolumen og Q udgør flowhastigheden gennem beholderen.

I en række forsøg efter DVGW W512 [8] blev med vekslende tapning erstattet af en konstant kontinuerlig strømning for at bestemme den mindste kontakttid (t_{Dmin}) for en given mængde katalysatorgranulat (V_H), som under betingelserne i prøvnings-specifikationen DVGW W512 [8] sikrer, at kalkaflejringen reduceres med 80 % i prøvekedlerne.

Målingerne blev udført både til varmtvandsapplikationer (en patron med katalysatorgranulat er placeret i en bypass-ledning rundt om tanken, og vandet cirkuleres konstant med en cirkulationspumpe) og til koldvandsapplikationer (enhed med katalysatorgranulat i kontinuerlig drift i koldvandsindløbet til varmtvandsbeholderen). På grundlag af den vandsammensætning, der anvendes i Watercryst-laboratorierne ($T=15\text{ °C}$: $SI=0,9$, $DC= - 50\text{ mg/l}$), fås følgende værdier for kontakttiderne:

Varmt vand	($T \geq 60\text{ °C}$):	$t_{D\min} \approx 60\text{ sekunder}$
Koldt vand	($T < 20\text{ °C}$):	$t_{D\min} \approx 150\text{ sekunder}$

Kendes den minimale kontakttid kan den minimale mængde katalysatorgranulat, der kræves til behandling af volumenstrømmen, i princippet beregnes ved hjælp af (1) for en given vandstrøm (Q).

$$(2) \quad V_H = Q \cdot t_{D\min}$$

Ved dimensionering af anlæggene til en specifik anvendelse skal den nødvendige kontinuerlige strømningshastighed bestemmes. I mange tilfælde, især ved vekslende brug med til tider store tidsmæssige udsving i vandudtagsprofilen, fører denne procedure til overdimensionerede anlæg, som det vil blive vist senere ved hjælp af et eksempel, især hvis udtagstoppene, som i boligbyggeri, kun er af kort varighed og forekommer ret sjældent i løbet af efterspørgselsperioden. Desuden fortsætter dannelsen og væksten af krystalkerner på overfladen af katalysatorgranulatet også i en stagneringsfase, indtil der er opnået ligevægt mellem kalk og kultsyre. Krystaltætheden i katalysatorgranulatlaget fortsætter derfor med at stige under stagnationen; når vandet næste gang tappes, skylles en øget kalkkrystal kimtæthed ind i anlægget.

DVGW-arbejdsark W512 [8] og de udvidede forsøg, der er formuleret i DVGW-arbejdsark W510 [7], beskriver også vekslende udtagningsprofiler. For denne profil har forfatterne udviklet en matematisk simuleringsmodel [19], der beskriver den tidsmæssige udvikling af frøkrystalkoncentrationen i kedlerne i et testanlæg i hen-

hold til DVGW-arbejdsanvisningsark W512 [8]. Denne model blev valideret i omfattende testserier.

De følgende kapitler viser, hvordan man kan foretage en praktisk relevant middelværdiberegning over tidsmæssigt varierende tappeprofiler, hvis nøjagtige forløb ikke er kendt, for at opnå et brugbart skøn over den nødvendige kontinuerlige gennemstrømningsmængde for kalkbeskyttelses anlægget.

Med disse designprincipper har man et praktisk anvendeligt værktøj i hånden til at kunne lave et behovsorienteret og økonomisk design af eventuelle aftapningsprofiler og installationssystemer.

3.2. Design af kalkbeskyttelses anlæg til boligkomplekser og bygninger med boliglignende anvendelse

For boligområder er det meget problematisk at fastsætte standardiserede vandudtagsprofiler på grund af de forskellige forbrugsmønstre og påvirkninger af forbrugsadfærden.

Kun for varmtvandsbehov er der fastsat tilsvarende standarder i DIN 4708-1 [3].

Ved dimensionering af rørnetværk specificeres flowhastigheden pr. sekund (hydraulisk peak-flow). DIN 1988-300 [2] indeholder tabeller, der viser, hvordan man kan bestemme det maksimale hydrauliske flow for forskellige bygninger (boligbyggeri, hoteller, kontor- og administrationsbygninger, hospitaler, skoler) ud fra det samlede flow fra sanitetsudstyret. Den således beregnede spidsvandføring repræsenterer imidlertid kun efterspørgselsspids, der forekommer sjældent, er kortvarige og har et tilsvarende lavt forbrug. I perioden 2006-2008 gennemførte DVGW flere undersøgelser af måleadfærd og dimensionering af vandmålere til boliger og opnåede interessante resultater, som også giver en nyttig tilgang til dimensionering af kalkbeskyttelses anlæg.

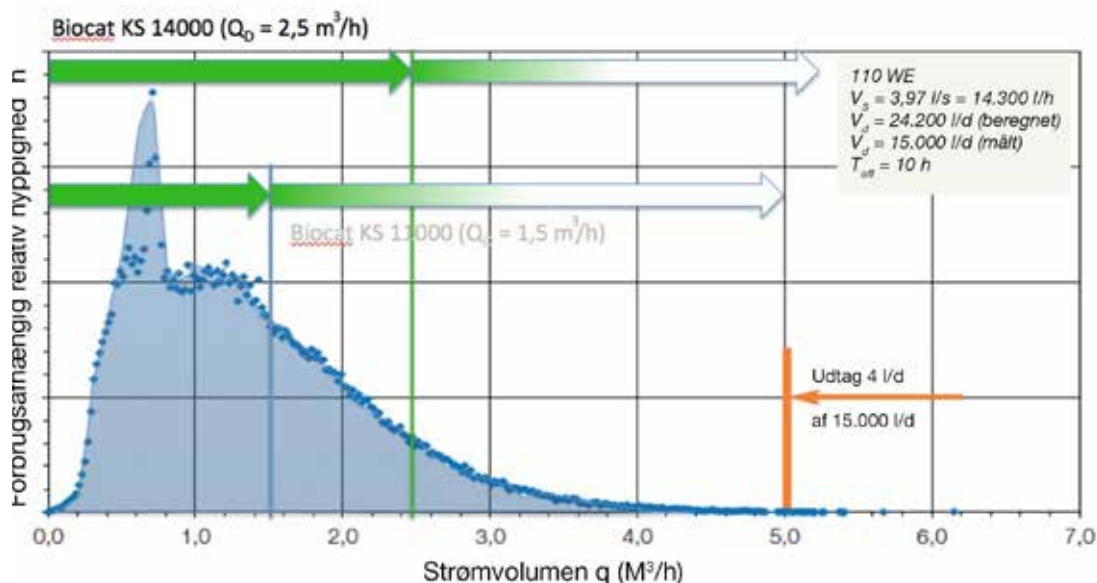
I det følgende betragtes boligkomplekset "Case C" med 110 enheder fra Hofmanns publikation [13] som et eksempel:

Forfatteren angiver, at det gennemsnitlige daglige vandforbrug i boligkomplekset er ca. 15.000 l. Figur 4 viser de relative hyppigheder af vandhaner med en bestemt volumenstrøm. De hyppigste forekommende vandhaner er med en volumenstrøm på mellem 200 l/h og 1 500 l/h. Vandhaner med en volumenstrøm på over 5 000 l/h udgør kun 0,3% af det daglige forbrug, dvs. 4 l ud af 15.000 l samlet forbrug.

Den beregnede peak vandmængde i henhold til DIN 1988-300 [2] for et boligkompleks med 110 enheder og gennemsnitligt udstyr er 14.300 l/h.

Den sædvanlige dimensionering af komponenter og apparater, der er installeret i drikkevandsinstallationen, er sådan, at komponenternes og apparaternes nominelle gennemstrømningshastighed skal være større end eller mindst lig med peak vandmængden. Baggrunden for dette tekniske krav er, at de enkelte komponenter ikke må generere for store tryktab ved de forventede peakflow-hastigheder eller ikke selv blive beskadiget af driftsformen.

Der tages også hensyn til disse hydrauliske krav ved udformningen af vandbehandlingsanlæg. Procesteknisk set fører en dimensionering i henhold til peak-flow hastigheden i overensstemmelse med DIN 1988-300 [2] imidlertid til en overdimensionering af anlæggene, hvilket hverken er teknisk eller økonomisk hensigtsmæssigt.



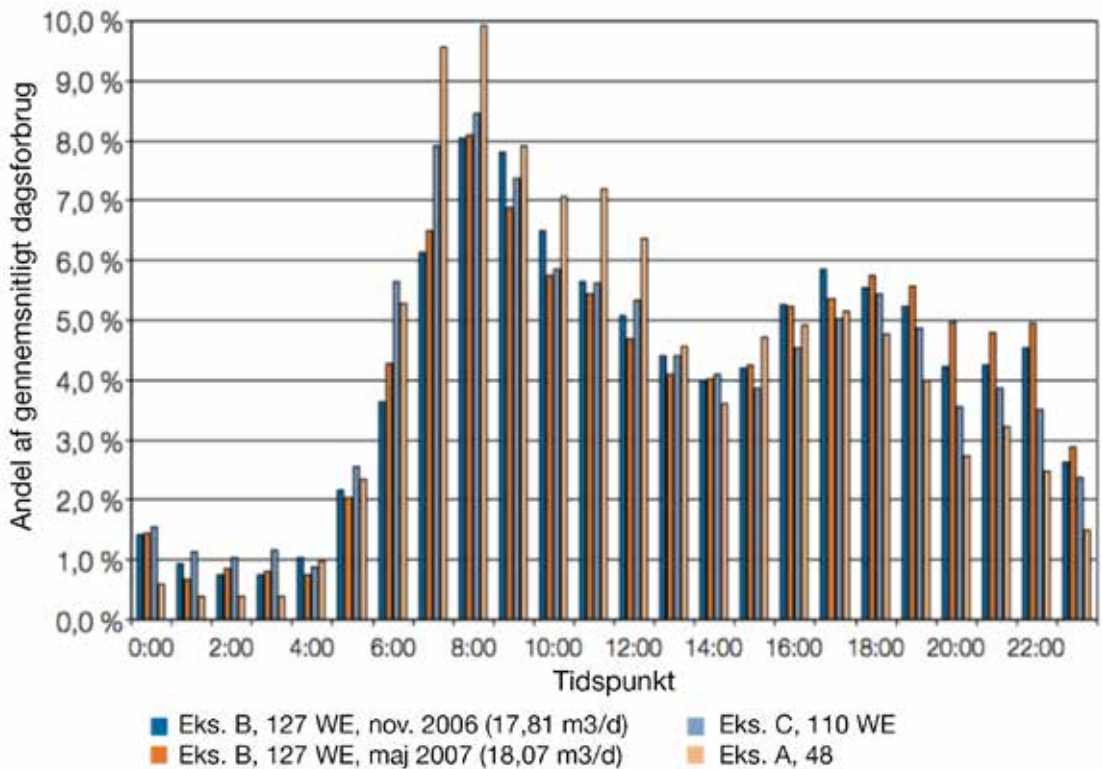
Figur 4: Forbrugsrelateret relativ hyppighed af tapninger afhængig af volumenstrømmen fra de respektive tapninger i henhold til Hofmann 2008 [13] for en beboelsesejendom med 110 enheder. Det beregnede gennemsnitlige daglige behov for en beboelsesejendom af denne størrelse er 24.200 l/d; der blev målt 15.000 l/d. Den maksimale gennemstrømningsmængde i henhold til DIN 1988-300 [5] er 14.300 l/h for en antaget normal installation.

Hvis der i ovenstående eksempel vælges et BIOCAT-kalkbeskyttelses anlæg med en kontinuerlig gennemstrømningshastighed på 1.500 l/h (BIOCAT KS 11000), kan ca. 70-75 % af det samlede vandforbrug pr. dag udnyttes. For de resterende 25 til højst 30 % af den daglige forbrugsmængde falder behandlingsydelsen langsomt fra en volumenstrøm på over 1.500 l/h, men er stadig mindst 50 % ved en volumenstrøm på 3.000 l/h.

Som det fremgår af figur 4, falder mængden imidlertid også samtidig. Ved 3000 l/h er andelen af det samlede daglige forbrug allerede meget lav. Desuden falder opholdstiden for den "svagere" behandlede vandmængde med stigende volumenstrøm, og dermed falder sandsynligheden for kalkaflejringer i drikkevandsinstallationen betydeligt. Dette kompenserer for den faldende rensningsydelse ved større volumenstrømme.

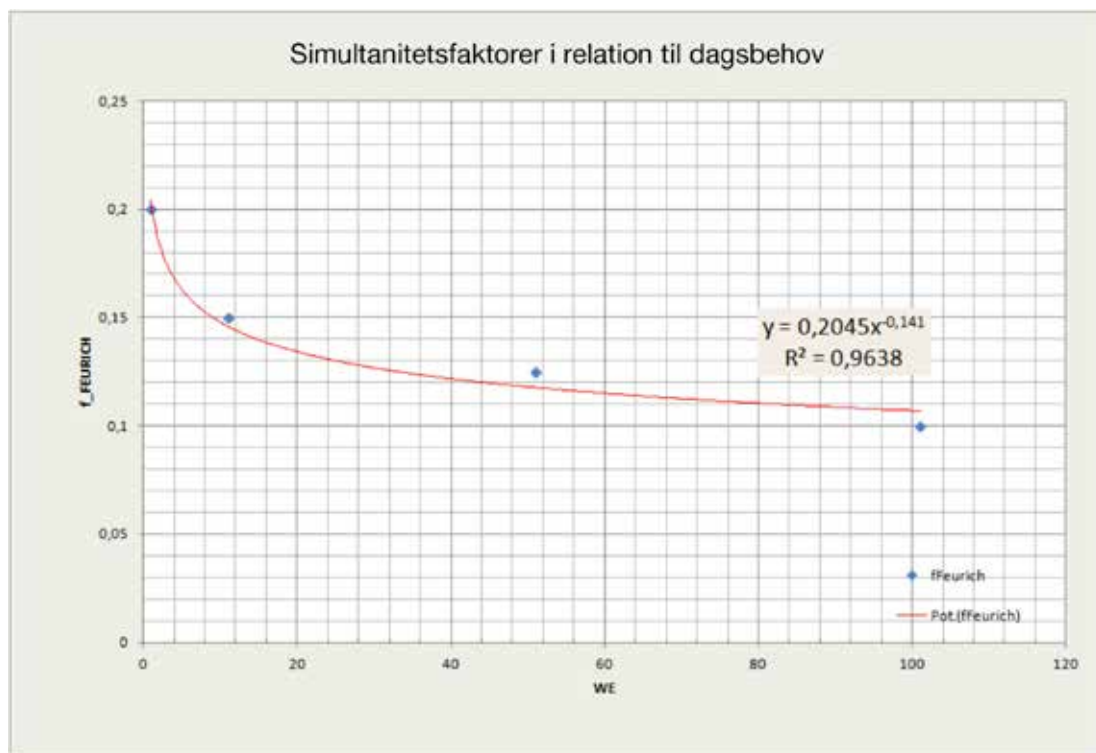
I tilfælde af vekslende behov eller vandudtagsprofiler og især i tilfælde af boligkomplekser og lejlighedslignende ejendomme (hoteller, kollegier, plejehjem osv.) kan konstruktionen derfor baseres på en maksimal timemiddelværdi, der er fastsat efter ejendommens behov.

Figuren er i god overensstemmelse med Feurichs [12] værdier, som er vist i figur 6 og tilnærmet ved hjælp af en potensfunktion 5, og som viser timegennemsnitsværdierne i den daglige cyklus som en procentdel af vandforbruget pr. dag for boligkomplekser med hhv. 48, 110 og 127 enheder fra Hofmanns undersøgelser [13]. Værdierne for den maksimale timemiddelværdi varierer fra 10 % for 48 boligenheder til 8 % for ejendomme med mere end 127 boligenheder.



Figur 5: Daglig variation af timemiddelværdierne for boligkomplekser af forskellig størrelse som en andel af det daglige forbrug ifølge Hofmann [13]. Maksimumværdierne ligger mellem 8 % og 10 %.

Systemkomponenter med vandlagring dimensioneres normalt i forhold til det maksimale vandbehov pr. time, da kortvarige peaks dækkes af vandlagringen (jf. Feurich [12], kapitel 12.3.4-1). Ved projektering af køleanlæg med Watercryst-teknologien giver denne fremgangsmåde, som vist ovenfor, en pragmatisk og teknisk sikker løsning for projekteringspraksis, fordi efterspørgselstoppene udjævnes både af katalysatorgranulatets bufferegenskaber (krystalkernedannelse under stagnation) og af den vandmængde, der er til rådighed i installationssystemet (rørføring og lager).



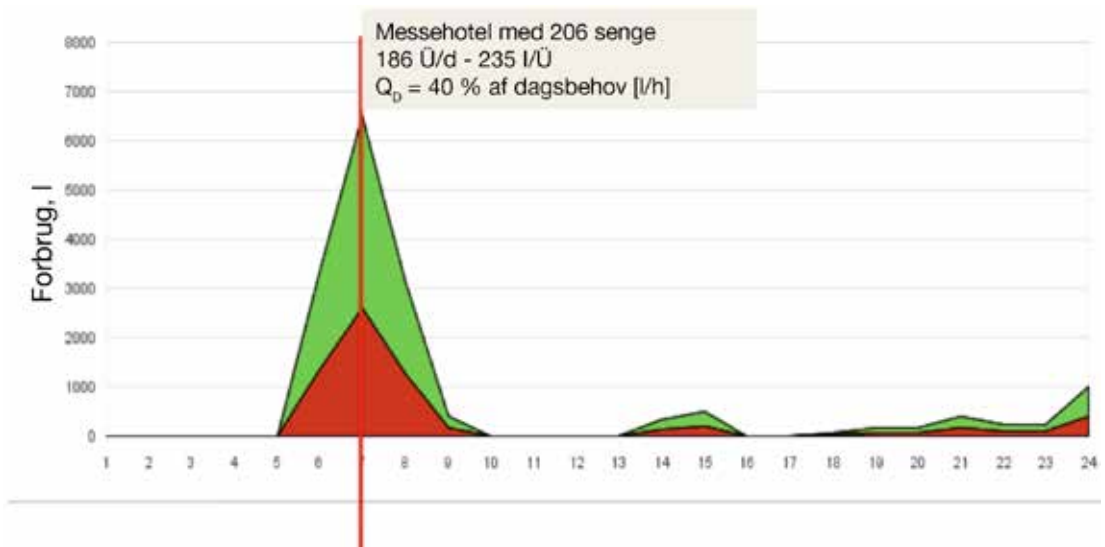
Figur 6: Simultanitetsfaktorer bestemt ud fra datapunkterne i henhold til Feurich [12] til bestemmelse af det maksimale timegennemsnit ud fra det daglige vandbehov i boligsektoren

I ovenstående eksempel beregnes et dagligt forbrug på 24.200 l/d for beboelses-ejendomme med gennemsnitsværdier (2,2 p/WE, 100 l/p/d) i henhold til VDI 3807 ark 3 [16], og med en simultanitetsfaktor på 0,1 i henhold til Feurich [12] beregnes et maksimalt timegennemsnit på 2.420 l/h. Hvis vi vælger et kalkbeskyttelses anlæg

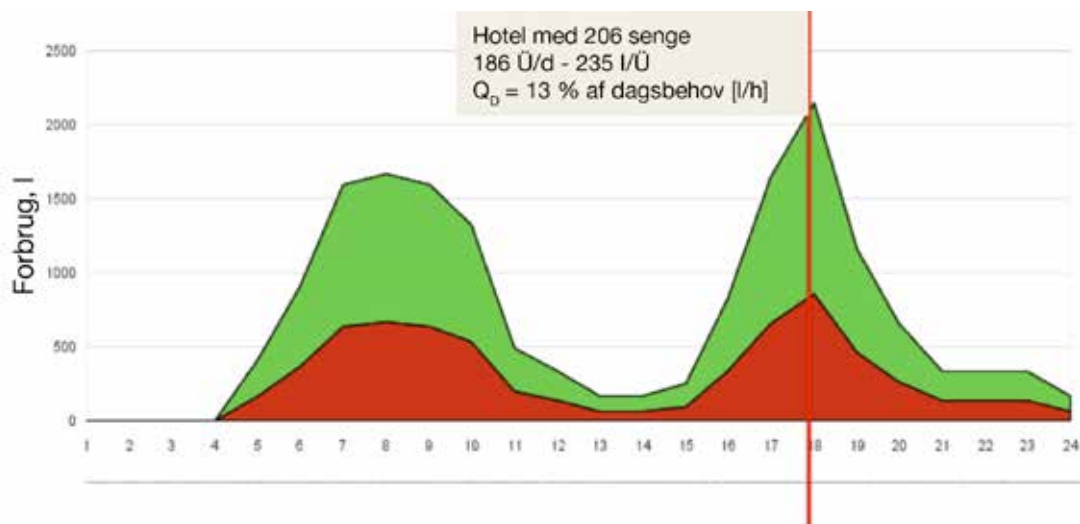
med en kontinuerlig gennemstrømning på 2.500 l/h (BIOCAT KS 14000), kan vi se af figur 4, at mindst 90 % af det tappede vand er fuldt rensat. De resterende 10 % af tappestederne med højere gennemstrømningshastigheder er, som allerede beskrevet i detaljer ovenfor, ubetydelige for processens succes.

Den schweiziske standard SIA 385 [15] kan anvendes til at bestemme maksimale timeværdier ud fra hotellernes daglige forbrug. De maksimale timegennemsnitsværdier beregnes ud fra det daglige forbrug afhængigt af hotellets hovedforbrugspunkter på følgende måde:

Hoteltyp	Simultanitetsfaktor til beregning af det maksimale timegennemsnit ud fra den daglige efterspørgsel i henhold til SIA 385-5 [15].	Eksempel
Messehotel	0,4	Figur 7
Turisthotel	0,2	
Vandrerhjem	0,13	Figur 8



Figur 7: Daglig variation af timemiddelværdierne for et messehotel med 206 senge og et behov på 235 l/Ü (overnatninger), antaget i henhold til VDI 3807, blad 3 [16]. Den maksimale timemiddelværdi er 40 % af det daglige behov. (Det grønne område er det samlede vandbehov, det røde område er varmtvandsbehovet).



Figur 8: Daglig variation af timemiddelværdierne for et hotel med 206 senge og et behov på 235 l/Ü, som antaget i henhold til VDI 3807, blad 3 [16]. Den maksimale timemiddelværdi er 13 % af det daglige behov. (Det grønne område er det samlede vandbehov, det røde område er varmtvandskravet).

3.3. Design af kalkbeskyttelsesplanlæg til centrale vandvarmesystemer i boligkomplekser, hoteller, kollegier og plejehjem

For centrale vandvarmeanlæg i beboelsesejendomme indeholder DIN 4708 [3],[4] et regelsæt for beregning af varmebehovet for en given bygning. Varmebehovet til opvarmning af drikkevand i beboelsesejendomme er underlagt store tidsmæssige og kvantitative udsving. Der er altid en ophobning af vandforbrug i badeperioden. I DIN 4708-1 [3] er der angivet en frekvensfordeling til beskrivelse af varmebehovet $W(N,t)$, som er afledt af statistiske undersøgelser af varmtvandsforbruget i beboelsesejendomme i henhold til efterspørgselsteoriens love.

$$(3) \quad W(N,t) := W_B \cdot \left[N \cdot \operatorname{erf}\left(0.244 \cdot \frac{1 + \sqrt{N}}{\sqrt{N}} \cdot t\right) + \sqrt{N} \cdot \operatorname{erf}\left(3.599 \cdot \frac{1 + \sqrt{N}}{\sqrt{N}} \cdot t\right) \right]$$

Med t som efterspørgselstiden, N det dimensionsløse efterspørgselsindeks som antallet af lejligheder, WB varmebehovet for et badekar - for et standardbadekar er $WB = 5820$ Wh (opvarmning af 140 liter fra 10 °C til 45 °C). "erf" er fejlfunktionen. I henhold til efterspørgselsteorien er efterspørgselstiden t symmetrisk omkring punktet $t=0$ i de gaussiske fordelinger.

I DIN 4708-2 [11] bestemmes efterspørgselsindekset N ud fra antallet af lejligheder, n , hvor antallet af rum, r , antallet af beboere, p , og sanitetsudstyret er det samme (antal vandhaner til opvarmet vand, v , vandhanebehov, wv) i forhold til en enhedslejlighed på følgende måde:

$$(4) \quad N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot v \cdot w_v)}{3,5 \cdot 5820}$$

$3,5 \times 5820$ Wh er varmebehovet for en flad enhed ($r=4, p=3,5, v=1, wv=5820$ Wh).

Af forholdet (3) kan der på en enkel måde udledes en tappprofil, $Q(N,t)$, ved at antage, at varmebehovet dækkes af vand, der opvarmes fra 10 °C til 60 °C:

$$(5) \quad Q(N,t) = \frac{\frac{\partial}{\partial t} W(N,t)}{C_v \cdot \Delta T} = \frac{\frac{\partial}{\partial t} W(N,t)}{4180 \cdot 50}$$

med C_v for vandets varmekapacitet og T for temperaturforskellen mellem varmt og koldt vand.

På denne måde kan konstruktionen af kalkbeskyttelses anlæg til centrale vandforsynings anlæg forbindes med DIN 4708-1 [3]. I designdiagrammerne for de grundlæggende beskyttelses anordninger findes derfor beboelsesejendommens behovskoefficient N eller vandvarmesystemets ydeevne koefficient NL som vejledende parametre.

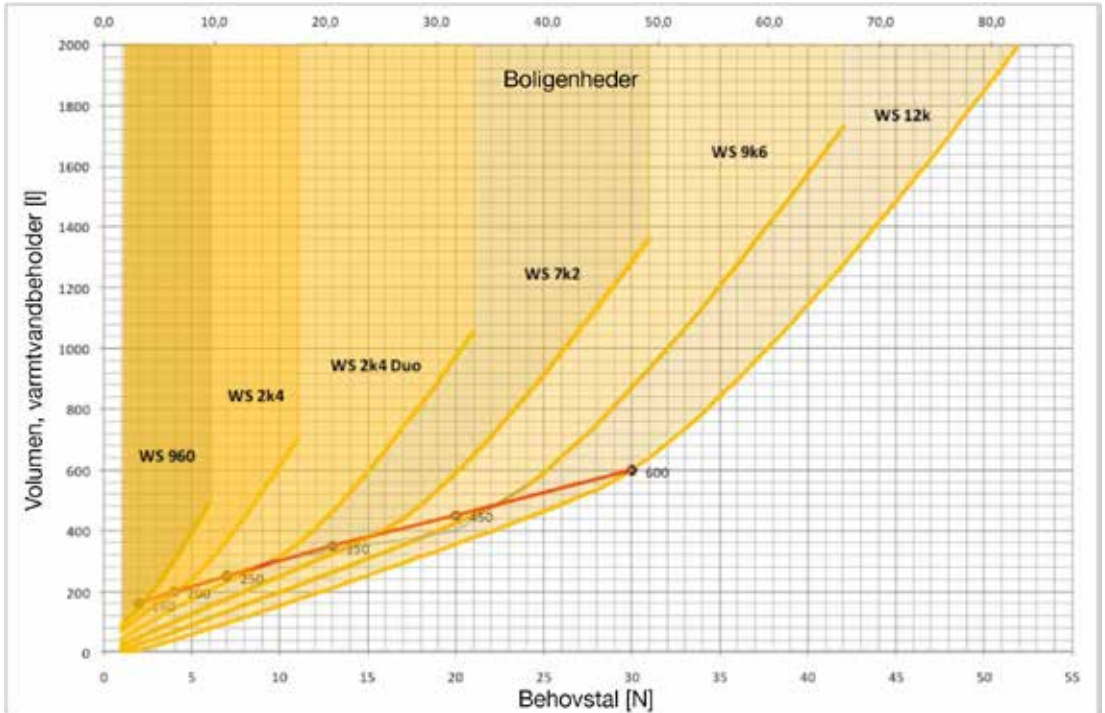
Ved bestemmelse af ydelsesindekset NL i henhold til DIN 4708-3 [5] defineres akkumulerings-temperaturen som 60 °C og koldvands-indløbstemperaturen som 10 °C ($\Delta T=50$ °C). Dette gør det muligt at opstille en simpel sammenhæng mellem den tidsafhængige varmebehovskurve $W(N,t)$ og det tidsafhængige varmtvandsforbrug $V(N,t)$:

$$(6) \quad V(N,t) = \frac{W(N,t)}{C_v \cdot \Delta T} = \frac{W(N,t)}{4200 \cdot 50}$$

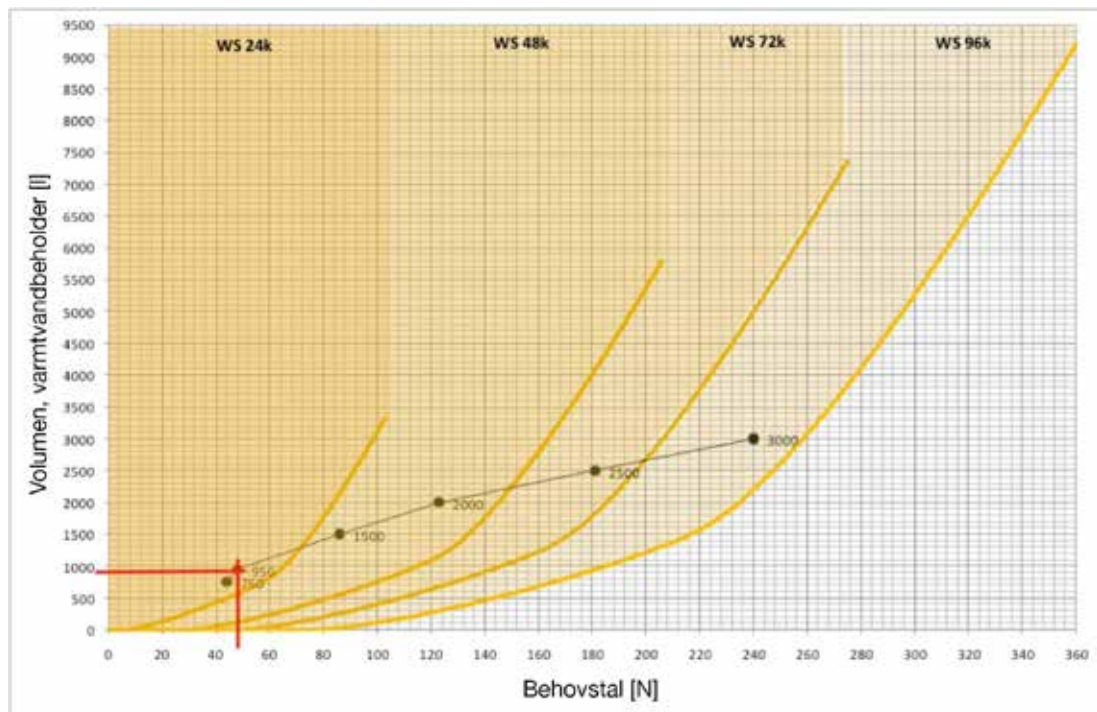
Hvis man tager udgangspunkt i de N-afhængige profiler for varmtvandsudtag, skal det på ethvert tidspunkt t være sådan, at der ved udløbet af lagertanken kan udtages fuldstændigt behandlet vand, eller med andre ord, at den varmtvandsmængde $V(t)$, der udtages indtil tidspunkt t , altid er dækket af den behandlede vandmængde, der er til stede i lagertanken til tidspunkt $t=0$, og den vandmængde, der er efterbehandlet til tidspunkt t via katalysatorgranulatet:

$$(7) \quad V(N,t) \leq V_{Sp} + \frac{V_H}{t_{z \min}} \cdot t$$

Ud fra denne sammenhæng kan det nødvendige lagervolumen V_{Sp} beregnes for hver efterspørgselskoefficient N og katalysatorgranulatmængde V_H for at behandle alt varmtvand fuldstændigt i henhold til regnearket DVGW W512 [8] på ethvert tidspunkt ved anvendelse af varmtvandsprofilen $V(N,t)$ i henhold til DIN 4708-1 [3]. Resultaterne er vist i de følgende diagrammer for varmtvandsanlæg.

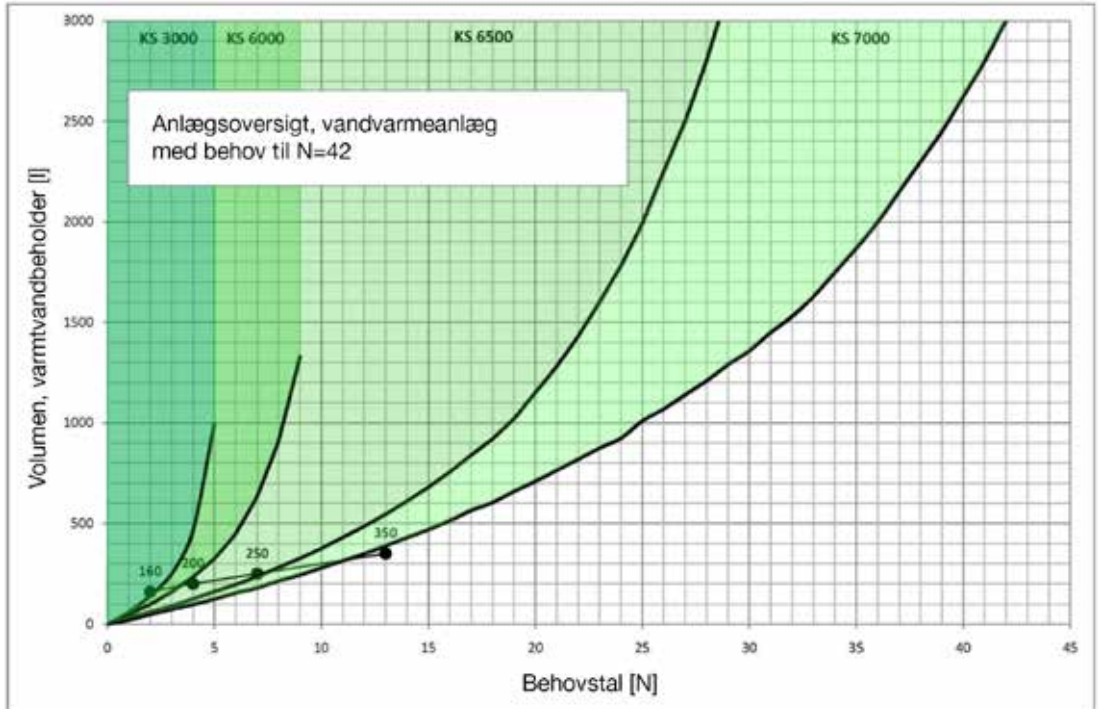


Figur 9: Designdiagram for BIOCAT WS-kalkbeskyttelses anlæg i varmtvandsområdet, som installeres i en separat bypass-ledning rundt om varmtvandsbeholderen. Konstruktionsparametrene er efterspørgselskoefficienten N i henhold til DIN 4708-1 [3] [3] (antallet af WE) og den tilgængelige lagertankstørrelse. Typiske lagertankstørrelser, der er tilgængelige på markedet med et ydelsesindeks i intervallet $NL = 1$ til 30, er vist med den røde linje.

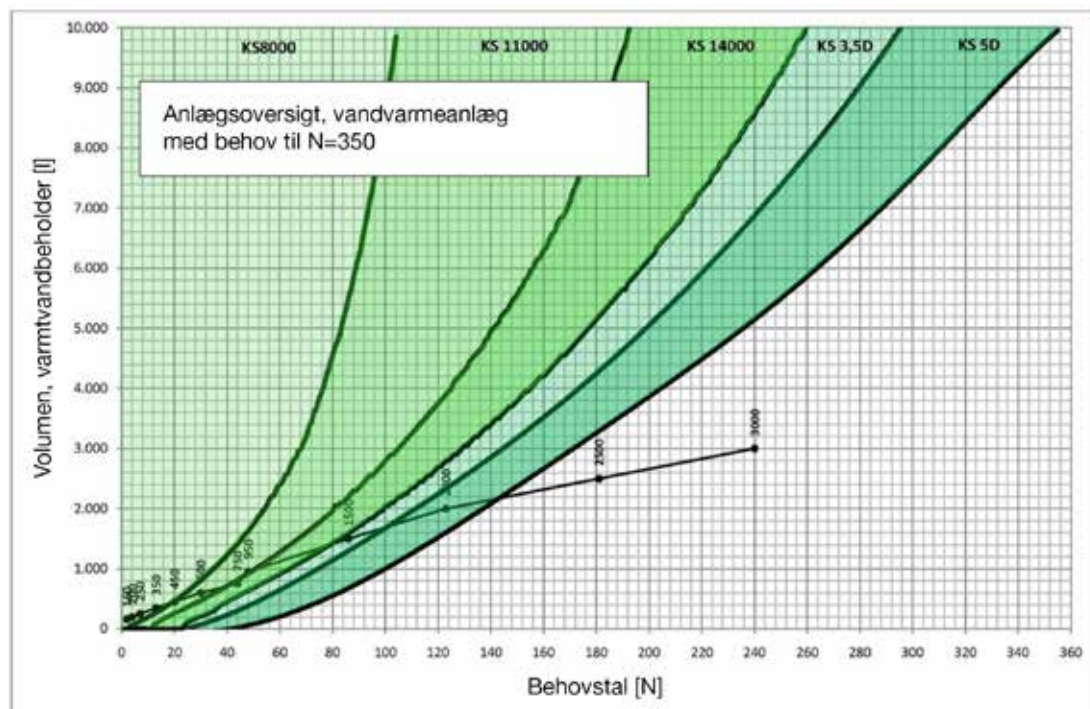


Figur 10: Konstruktionsdiagram for BIOCAT WS-kalkbeskyttelses anlæg i varmtvandsområdet, som installeres i en separat bypass-ledning rundt om varmtvandsbeholderen. Konstruktionsparametrene er efterspørgselskoefficienten N i henhold til DIN 4708-1 [3] [3] (antallet af WE) og den tilgængelige lagertankstørrelse. Typiske cylinderstørrelser, der er tilgængelige på markedet med et ydelsesindeks i intervallet $NL = 40$ til 240 , er vist med den sorte linje.

Hvis BIOCAT KS-enhederne installeres i koldvandstilførslen til varmtvandsvarmeren, gælder de samme generelle betingelser.



Figur 11: Konstruktionsdiagram for BIOCAT KS-kalkbeskyttelses anlæg til varmtvandssektoren, som installeres i koldvandstilføringen til varmtvandsbeholderen. Konstruktionsparametrene er efterspørgselskoefficienten N i henhold til DIN 4708-1 [3] [3] (antallet af WE) og den tilgængelige lagertankstørrelse. Typiske opbevarings-tankstørrelser, der er tilgængelige på markedet med et ydelsesindeks i intervallet $NL = 1$ til 13 , er angivet som sorte prikker.



Figur 12: Konstruktionsdiagram for BIOCAT KS-kalkbeskyttelsesplanlægning til varmtvandsområdet, som installeres i koldvandsindløbet til varmtvandsbeholderen. Konstruktionsparametrene er efterspørgselskoefficienten N i henhold til DIN 4708-1 [3] [3] (groft sagt: antallet af WE) og den tilgængelige lagertankstørrelse. Typiske opbevaringstankstørrelser, der er tilgængelige på markedet med et ydelsesindeks i intervallet $NL = 15$ til 240, er angivet som sorte prikker.

Designet af kalkbeskyttelsesplanlægning til boligkomplekser og lejlighedslignende ejendomme (hoteller, plejehjem, kollegier osv.) med et centralt drikkevandsopvarmningssystem i overensstemmelse med DIN 4708-2 [11] udføres ved hjælp af de ovenfor viste designdiagrammer på grundlag af det for ejendommen bestemte behovstal og varmtvandsbeholderens størrelse.

4. EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE

4.1 Opvarmning af drikkevand i et industrianlæg

4.1.1 Beskrivelse af anlægget

Swarovski er verdens førende producent af slebet krystal samt naturlige og kunstige ædelstene. Med et bæredygtigt valg af energikilder, effektiv brug af vedvarende energi og innovative energiteknologier forfølger Swarovski konsekvent målet om, at minimere miljøpåvirkningen og optimere energieffektiviteten. I den forbindelse blev vandsopvarmningssystemet i fabrik 1 renoveret i efteråret 2005, og samtidig blev overskudsvarmen fra den nye østlige kompressorstation anvendt som energikilde til opvarmning af vand.

Brugsvandet kommer fra værkets egen dybe brønd, er hårdt (15,9 °dH; T= 15 °C; SI= 0,2; Dc= -9,1 mg/l; T= 60 °C; SI=0,6; Dc= -32,9 mg/l) og aflejrer kalk ved opvarmning, hvilket fører til dyre fejlfunktioner i det tekniske udstyr allerede efter kort tids drift og virker som en reel energibremse.

Udfordringen for kalkbeskyttelsesteknologien var nu på den ene side at holde behandlingsomkostningerne så lave som teknisk muligt på grund af de enorme vandmængder, der blev omdannet (30 m³/h kontinuerlig belastning og en 30-minutters spidsbelastning på 56 m³/h), og på den anden side miljøreglerne, der gælder som følge af den direkte udledning af spildevandet til recipienten.

Konventionelle behandlingsmetoder som blødgøring via ionbytning eller dosering af inhibitorer opfylder ikke de økonomiske eller miljømæssige krav under disse forhold, da der skal tilsættes store mængder behandlingskemikalier som salte og polyphosphater til vandet og spildevandet, og de er derfor generelt udelukket. Hos D. Swarovski KG har man andre steder i flere år udført kalkbeskyttelse med kuldioxid dosering, især til teknisk vand. Metoden har vist sig at være en meget omkostningsvenlig procedure med god effektivitet.

Tilsætning af kuldioxid til vandet sænker pH-værdien ved dannelse af kulsyre og øger dermed kalkopløseligheden i vandet. For at sikre en pålidelig kalkbeskyttelse

skal der tilsættes tilstrækkeligt med kuldioxid til vandet, således, at vandet selv ved den højeste systemtemperatur er undermættet eller maksimalt mættet. For vandet i den østlige brønd svarer dette til en kuldioxidtilsætning på 31 mg/l ved en systemtemperatur på 60 °C (driftstemperatur) og 68 mg/l kuldioxid ved en systemtemperatur på 80 °C (under den ugentlige termiske desinfektion af TWEA).

Da brugsvandet skal overholde drikkevandsbekendtgørelsen, er kuldioxid dosering af brugsvandsbehandlingen ikke en udtrykkeligt godkendt proces.

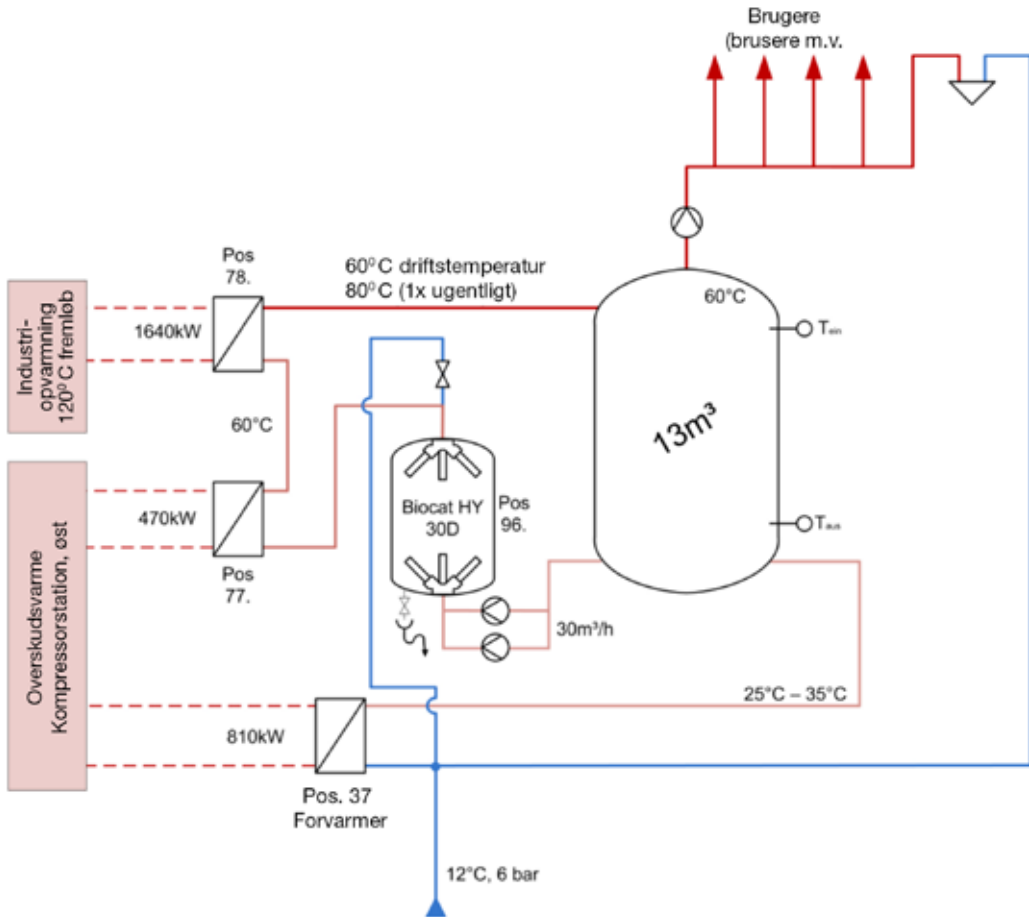
I sin søgen efter en effektiv og økonomisk effektiv kalkbeskyttelsesløsning, som samtidig opfylder de høje krav til drikkevandskvaliteten med så lille en miljøpåvirkning som muligt, besluttede Swarovski sig for Watercryst-kalkbeskyttelsesteknologien.

4.1.2 Anlægsdata

Vandopvarmningssystemet er udformet som et lagertank-opladningssystem (opladningspumpe 30 m³/h, lagertankvolumen 13 m³/h, driftstemperatur 60 °C) med forvarmingsfase. Den kontinuerlige gennemstrømning er 30 m³/h, 30-minutters spidsbelastning 56 m³/h og 10-minutters spidsbelastning 108 m³/h. Varmtvandsbeholderen fyldes op til 60 °C på 26 minutter. Kølekapaciteten fra kompressorstationen (varmegenvinding) er op til 1,7 MW.

BIOCAT-kalkbeskyttelses anlægget blev konstrueret som et særligt system med en kontinuerlig behandlingskapacitet på 30 m³/h og integreret direkte i akkumulerings-tankens opladningskredsløb. Dette sikrer, at lagertanken altid genopfyldes med den fulde behandlingskapacitet, og at den fulde kalkbeskyttelseskapacitet er til rådighed for hele TWEA og de tilsluttede varmtvandsanlæg og produktionsanlæg, selv ved spidsbelastninger på 56 m³/h. BIOCAT-kalkbeskyttelses anlægget er integreret direkte i lagertankens ladekredsløb. I forvarmingsfasen hæves temperaturen til maksimalt 35 °C. Selv om vandet allerede i dette temperaturområde er kalkafvisende, viser de praktiske erfaringer, at der ikke er behov for kalkbeskyttelsesforanstaltninger i forbindelse med varmevekslerens konstruktion (rørskåleveksler), da levetiden er længere end de foreskrevne inspektionsintervaller.

Den regelmæssige termiske desinfektion af BIOCAT-specialanlægget, som er nødvendig for en hygiejnisk drift, er sikret ved påfyldning af lagertanken i det omfang, at BIOCAT-kalkbeskyttelses anlægget også opvarmes til 80 °C.



Figur 13: Skematisk oversigt over vandopvarmningssystemet i den østlige kompressorstation med BIOCAT-kalkbeskyttelses anlægget BIOCAT HY 30D. Vandet kommer fra den østlige brønd og opvarmes til 25-35 °C, afhængigt af udtagnings- og kølekapaciteten. I opladningskredsløbet, der er beregnet til en kontinuerlig ydelse på 1,7 MW eller en kontinuerlig volumenstrøm på 30 m³/h, opvarmes vandet til 60 °C. I lagertanken er der installeret et kalkbeskyttelses anlæg, BIOCAT HY 30D. BIOCAT-kalkbeskyttelses anlægget er integreret i ladekredsløbet og forhindrer kalkaflejringer i lagertanken, pumperne, reguleringsventilerne og pladevarmevekslerne i ladekredsløbet samt i drikkevandsinstallationen nedenunder.



Figur 14: BIOCAT HY 30-specialanlæg i opladningskredsløbet i en 13 m³ varmtvandsbeholder.

4.1.3 Resultater

Uden effektive foranstaltninger til beskyttelse mod kalk viser erfaringen, at pladevarmevekslere kalker så meget til i løbet af 3-4 måneder, når den lokale vandkvalitet og de forbrugte vandmængder tages i betragtning, at pladevarmevekslerne ikke længere kan skylles og skal udskiftes. Forringelsen af varmeoverføringsydelsen som følge af den gradvise kalkaflejring i varmeveksleren var en vigtig indikator for at iværksætte passende rensningsforanstaltninger i tide. I denne henseende var BIOCAT-kalkbeskyttelsesplanlægningen overbevisende efter kun få måneders drift, da der ikke kunne observeres tegn på et fald i overføringsevnen. I forbindelse med den obligatoriske tekniske inspektion blev BIOCAT-anlæggets kalkbeskyttelsesvirkning også kontrolleret - med et klart resultat: På trods af de store vandmængder, der

blev overført, og de høje temperaturer, kunne der ikke konstateres kalkaflejringer hverken i pladevarmevekslerne eller i lagertanken eller i smudsfilterne. Dette resultat blev også bekræftet ved yderligere inspektioner i de følgende år.



Figur 15: Kontrol af pladevarmevekslere, varmtvandsbeholdere og smudsfiltere under det årlige eftersyn. BIOCAT-kalkbeskyttelses anlægget forhindrer pålideligt kalkaflejringer i pladevarmeveksleren og den efterfølgende varmtvandsinstallation. En forringelse af anlæggets energivenlig kan således undgås, og samtidig kan der leveres hygiejnisk perfekt varmt vand med en høj temperatur på 60 °C. Selv den ugentlige legionella-profylakse ved 80 °C fører ikke til kalkaflejringer.

De ansvarlige teknikere på Swarovski-fabrikken er ikke kun begejstrede for succesen, som har været ubegrænset i mere end 10 år, men også for de opnåede omkostningsbesparelser, især i forhold til CO₂-dosering, som allerede var kendt for at være meget omkostningsvenlig. Systemet har allerede tjent sig selv hjem efter 2 år, og driftsomkostningerne ligger i gennemsnit på ca. 4.500 EUR om året.

Hvis man vurderer Watercryst-kalkbeskyttelsesteknologien i forhold til en bæredygtig investeringspolitik og driftsledelse over en driftsperiode på 20 år, kan der opnås en omkostningsbesparelse på ca. 81.000 EUR og 60 tons CO₂ ved 2-holdsdrift, og ved fuld udnyttelse (3-holdsdrift) øges det opnåelige besparelspotentiale til 90 tons CO₂ og 112.000 EUR.

4.2 Militærkasernen i Ingolstadt

4.2.1 Anlægsbeskrivelse

I forbindelse med nybyggeriet af militærkasernen i Ingolstadt blev varmtvandsforsyningen omlagt til decentral opvarmning. I understationerne blev der installeret lageropladningssystemer i overensstemmelse med specifikationerne i den generelle modelplanlægning af varmforsyningen til de tyske væbnede styrker. En station leverer varmt vand til 225 personer og forsyner 112 brusere og 224 håndvaske med et lageropladningssystem bestående af en 800-liters lagertank og en højeffektiv rørbundtveksler på 240 kW.

Drikkevandet fra den offentlige vandforsyning i byen Ingolstadt har en total hårdhed på ca. 20 °dH.

Efter en forholdsvis kort brugsperiode på ni måneder til ca. et år viste de installerede varmtvandsopvarmningssystemer et fald i ydeevne. Disse ydelsesreduktioner skyldtes kalkaflejringer i rørværmevekslerne. Efter åbningen af de første rørbundtværmevekslere blev det fulde omfang af kalkaflejringerne tydeligt. Nogle af aflejringerne var så massive, at det ikke var muligt at trække rørbundterne ud. Forsøg på at fjerne kalken ved hjælp af kalkopløsende kemikalier i et sådant omfang, at rørbundterne kunne trækkes ud, mislykkedes. Dette resulterede i omkostninger på ca. 7.000 EUR for en ny værmeveksler hver niende måned. Dertil kom arbejdstiden for installationsfirmaet og det ekstra arbejde for de ansatte på kasernen.

Den opgave, der fulgte af den konstaterede situation, var at søge efter mulige løsninger, der så vidt muligt kunne fjerne kalkaflejringer i rørværmevekslerne eller

reducere dem til et niveau, der var ubetydeligt for driften af de eksisterende rørvarmevekslere. Ingeniørfirmaet Wassernetz Ingenieurgesellschaft GmbH fik til opgave at løse dette problem.

Efter en intensiv undersøgelse af de systemer, der findes på markedet, og en undersøgelse af forbundsregeringens ejendomme, og efter at ti kaserner allerede var blevet udstyret med BIOCAT-anlæg, besluttede den statslige bygningsmyndighed i samarbejde med Bundeswehr Administration Süd og Bundeswehr Service Center Ingolstadt at anvende et andet BIOCAT-kalkbeskyttelses anlæg.

4.2.2 Design med kortvarig spidsbelastning

For at kunne klare den forventede spidsbelastning af drikkevand, især om morgenen og aftenen, blev designet gennemført på grundlag af antallet af brusebade i overensstemmelse med designreglerne for varmtvandsystemer i det tyske militær.

Brusebade defineres med følgende parametre:

Antal brusere	112
Vandhanetemperatur	38 °C
Varmtvandsbeholder	800 l
PHE-ydelse (alternativt 300 kW som ferskvandsstation uden varmtvandsbeholder)	240 kW
Lagertankens temperatur	60 °C
Koldvandstemperatur	10 °C
Brusemængde	10 l/min
Antal personer	225
Brusebadets varighed pr. person	4 min.
Samlet varighed af brusebadene	60 min

Ud fra disse installationer og forbrugsdata beregnes et varmtvandskrav på 5.040 l med en temperatur på 60 °C, som ønskes over en periode på 60 minutter. Det samlede vandbehov for brusebadet er på 9.000 l med en blandet temperatur på 38 °C. Da der kun er behov for beskyttelse af varmtvandsinstallationen, blev der installeret et BIOCAT KS 5D-kalkbeskyttelses anlæg med et kontinuerligt flow på 5 m³/h i indløbet til varmtvandsbeholderen.

4.2.3 Testfase og resultater

For at sikre de kommende, omfattende investeringer i kalkbeskyttelse fik ingeniørfirmaet til opgave at gennemføre en sammenlignende paralleltest over ca. 18 måneder.

Samtidig med idriftsættelsen af kalkbeskyttelses anlægget blev rørbundtveksleren i understation 33/100 og understation 33/200 fuldstændig rensset og eksisterende kalkaflejringer fjernet.

	<i>Dato</i>	<i>Understation 33/100 Måler, varmtvand</i>	<i>Understation 33/200 Måler, varmtvand</i>
Start af forsøget	13. nov. 2013	2.778,80 m ³	1.113,00 m ³
Afslutning af forsøget	06. juni 2015	3.427,12 m ³	1.755,30 m ³
		648,04 m ³	642,30 m ³
Kalkbeskyttelse		Biocat KS 5D	Ingen

Da varmtvandsforbruget i begge testsystemer var stort set identisk i testperioden, kan de to testsystemer sammenlignes meget godt, og de udsatte rørbundter i varmevekslerne viste et meget tydeligt resultat:

Den RBT, der blev anvendt i understation 33-200 uden et kalkbeskyttelsessystem, viser massive kalkaflejringer på op til 2 mm tykkelse efter 18 måneders drift (figur 16).



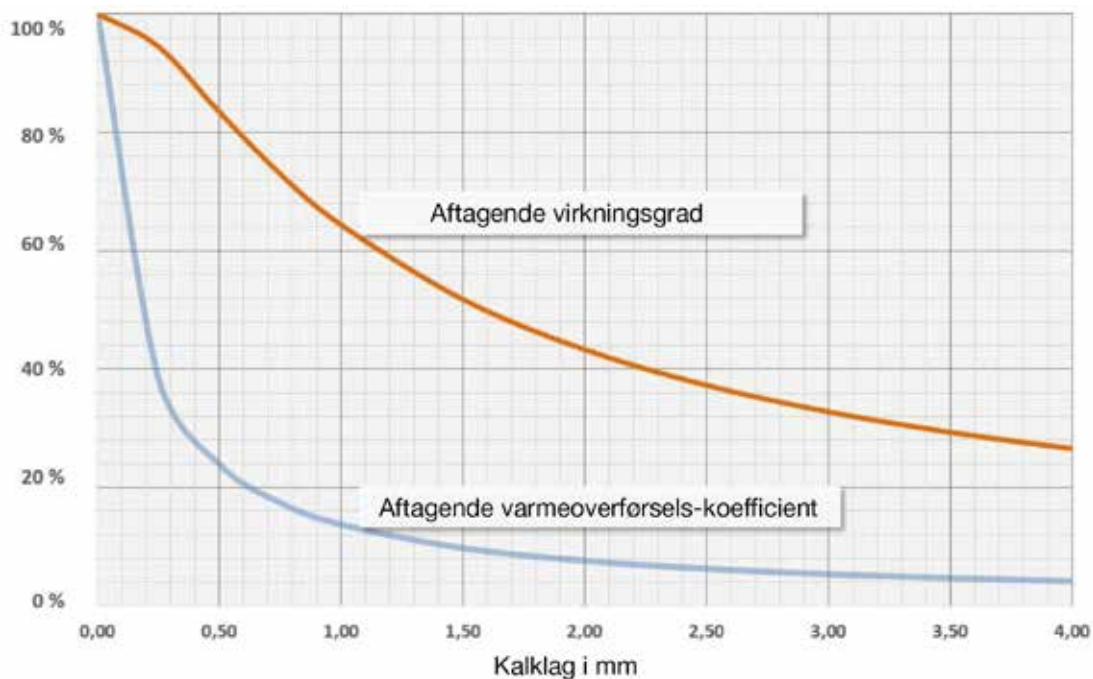
Figur 16: Efter 18 måneders drift har rørbundtet i understation 33/200 en kraftig inkrySTALLISERING af kalkaflejninger på 1-2 mm med et vandforbrug på 642 m³ uden kalkbeskyttelse. Dette begrænser allerede nu varmeoverførslen betydeligt og reducerer energieffektiviteten drastisk.

De fundne aflejninger (figur 16) viser også, at dele af kalkbelægningen er flækket af fra rørbundtet og er blevet skyllet ud i distributionsnettet. På lang sigt øger disse kalkaflejninger i distributionsnettet risikoen for driftsforstyrrelser i pumper og reguleringsarmaturer samt tilstopninger i varmtvandsinstallationens rørledninger.

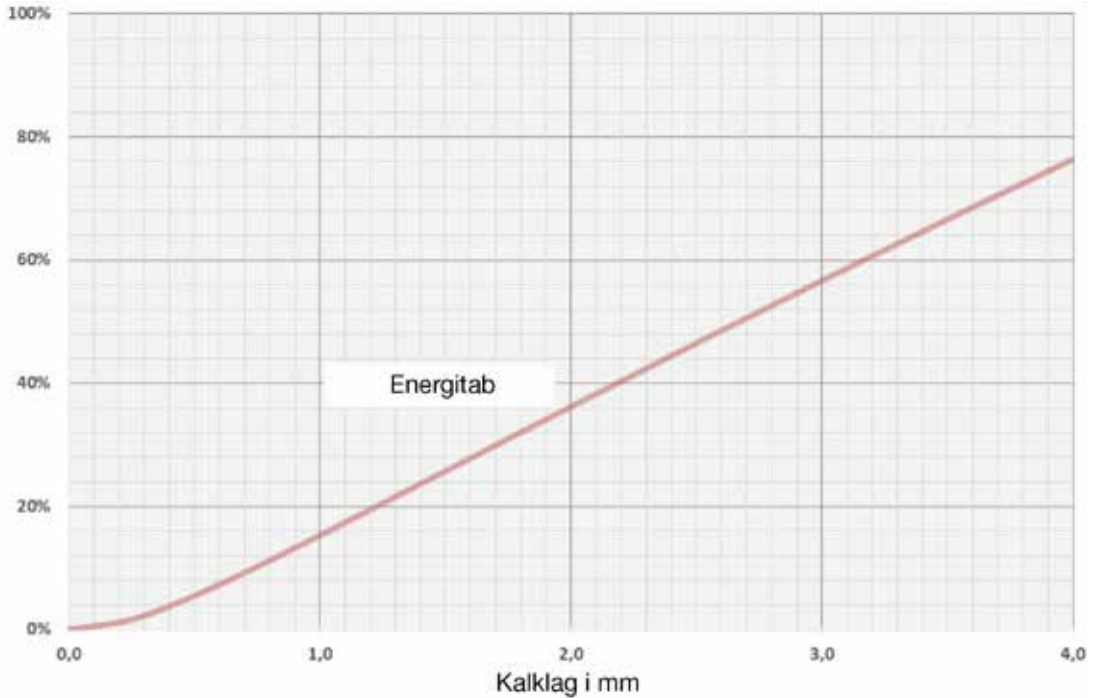
Det skal også bemærkes, at udnyttelsen af kasernen var ret lav i undersøgelsesperioden, og derfor var kalkaflejningerne på RBV'en, der blev drevet med ubehandlet vand, betydeligt mindre sammenlignet med drift ved fuld kapacitet. Ved fuld kapacitet blokerer RBV'erne fuldstændigt inden for 9-12 måneders drift.

Energieffektiviteten af opvarmningssystemet falder hurtigt med stigende tilkalkning af rørvarmeveksleren. Som simuleringsberegninger i figur 17 viser for en almindelig

rørvarmeveksler, falder virkningsgraden med 55 % og varmeoverførselskoefficienten med over 90 % med et 2 mm tykt kalklag. Som følge heraf stiger opvarmningstiden for 800 l varmtvandsbeholderen fra 24 min. til ca. 69 min., og energitabet udgør ca. 36 %, som det fremgår af figur 18.



Figur 17: Virkningsgraden og varmeoverførselskoefficienten for en rørveksler falder med henholdsvis 55 % og over 85 %, når kalkaflejringerne er 2 mm tykke. Derfor stiger det ekstra energiforbrug betydeligt som følge af længere opvarmningstider og de deraf følgende varmetab.



Figur 18: På grund af faldet i varmeoverførselskoefficienten med stigende tykkelse af kalkaflejringer, stiger energitabet i opvarmningssystemet hurtigt. Ved et 2 mm tykt kalklag må der forventes et energitab på op til 36 %.

Det sammenlignende system understation 33/100, som blev drevet med et BIOCAT KS 5D-anlæg i indløbet til opvarmningsanlægget, viser stort set ingen kalkaflejringer.



Figur 19: Rørbundtet i understation 33/100, der drives med vand fra BIOCAT-kalkbeskyttelses anlægget KS 5D, havde ingen kalkaflejringer efter 18 måneders drift og et vandforbrug på 648 m³.

Omkostningerne ved et BIOCAT KS 5D-anlæg er 33.000 EUR (2016) i anskaffelsesudgift og ca. 2.200 EUR (2016) i driftsomkostninger pr. år. Det betyder, at systemet er tjent ind efter senest 6 år. Hvis der også tages hensyn til de interne omkostninger og eksterne serviceydelser eller eventuelle følgeskader som følge af kalkaflejringer (øget hygiejnerisiko, energitab på grund af dårlig varmevekslereffektivitet), reduceres amortiseringsperioden til få år.

Den endelige vurdering fra ingeniørfirmaet er derfor helt klar:

”Anvendelsen af det kemikaliefri BIOCAT-kalkbeskyttelses anlæg til fremstilling af varmt drikkevand på kasernen i Ingolstadt reducerer kalkaflejringer i rørbundtsvarmeveksleren til et ubetydeligt niveau. Anvendelsen af denne vandbehandlings-teknologi er at betragte som fornuftig for Ingolstadt-kasernen og bør derfor også tilstræbes for de øvrige stationer under jorden.

5. RESUMÉ

Procesteknologien til kalkbeskyttelse ved hjælp af frøkrystaller, som beskrevet i DIN 1988-200 [1], har i de sidste 5-10 år etableret sig som en innovativ proces på markedet og opfylder a.a.R.d.T., som det gentagne gange kræves i den ændrede TrinkwV.

DVGW-arbejdsarkene W551 [9] til W553 [10] er i øjeblikket det eneste anerkendte regelsæt for legionellaproylaxse og -sanering. I tilfælde af kalkholdigt vand fører de anbefalede høje vandtemperaturer i områder med hårdt vand uundgåeligt til kalkinkrustationerne. Disse kalkinkrustationer hæmmer varmeoverførslen i varmevekslere og fører på mellemlang sigt til, at det ønskede temperaturniveau ikke længere kan opretholdes; inkrustationer fremmer også dannelsen af biofilm, som er et nødvendigt grundlag for legionellas spredning.

Reduceret varmeoverførsel vil også få større opmærksomhed i fremtiden i forbindelse med programmerne og de EU-dækkende forordninger om øget energieffektivitet for vandvarmere [11], da den gradvise forøgelse af effektiviteten af varmtvandssystemer, som kræves inden 2018, i praksis ikke vil være mulig i områder med hårdt vand på en bæredygtig måde uden passende kalkbeskyttelsesprocesser. I den forbindelse har FIGAWA allerede taget stilling til det enorme energi- og omkostningsbesparelspotentiale, som kalkbeskyttelsesforanstaltninger i drikkevandsopvarmningssystemer har, og henviser også til en nyere amerikansk undersøgelse [14].

Watercryst har gjort en stor indsats for at udvikle en procesbeskrivelse af katalysatorteknologien baseret på DVGW-arbejdsark W512 [8] og W510 [7] og for at validere den i laboratorieforsøg og efterfølgende i praktisk brug. Den procestekniske beskrivelse muliggør en behovsorienteret konstruktion til forskellige anvendelser samt opskalering til anlæg af enhver størrelse. Mange kalkbeskyttelses-anlæg, der har været anvendt med succes i mere end 10 år i en lang række forskellige applikationer, bekræfter denne fremgangsmåde.

I den offentlige og kommercielle sektor skal der tages hensyn til kravene i drikkevandsbekendtgørelsen [18] med hensyn til anmeldelse og dokumentation for

kalkbeskyttelsesprocesser baseret på blødgøring med ionbyttere eller dosering af anti-kalkmidler, der er godkendt i henhold til DIN 1988-200 [1]. Således skal driftsledere eller entreprenører og andre ejere (Usl) af drikkevandsinstallationer (vandforsyningsanlæg i henhold til § 3, 2e) hver uge skriftligt registrere de anvendte behandlingsstoffer samt deres koncentration i drikkevandet eller lade dem registrere og arkivere dem i mindst 6 måneder for til enhver tid på anmodning at kunne fremvise dem for forbrugerne. Dette gælder bl.a. for alle godkendte anti-kalkmidler (bl.a. polyphosphater) og korrosionsinhibitorer. Kun for regenereringssalt til blødgøringsanlæg har den tyske miljøstyrelse i den tredje ændring af drikkevandsforordningen fastsat en anden testhyppighed: Forbruget af regenereringssalt til blødgøringsanlæg skal kun registreres sammen med vandforbruget, når saltvandsbeholderen fyldes eller genopfyldes.

Alle kalkbeskyttelsesplaner i henhold til DIN 1988-200 afsnit 12.7 [1] fungerer uden behandlingsstoffer og ændrer ikke drikkevandets sammensætning. For operatøren gælder anmeldelsespligten, samt den ugentlige kontrol- og dokumentationspligt og de dermed forbundne omkostninger og udgifter for disse anlæg, ikke.

I DIN EN 806-5:udgave 2012-4 [6] foreskrives regelmæssig kontrol med 2 måneders mellemrum og rutinemæssig vedligeholdelse hver 6. måned for doseringsanlæg og blødgøringsanlæg. Anlæg til beskyttelse mod kalk i henhold til DIN 1988-200 afsnit 12.7 [1] er ikke omfattet af denne EN-standard.

Under hensyntagen til den tyske drikkevandsforordning [18] anbefales det dog også til brugeren at medtage kalkbeskyttelsesplaner i henhold til DIN 1988-200 afsnit 12.7 [1] i hygiejneplanen i henhold til VDI/DVGW 6023 [17] og at udarbejde en inspektions- og vedligeholdelsesplan sammen med producenten.

Med de moderne teknologier til beskyttelse mod kalk (stabilisering ved hjælp af kalkbeskyttelsesplaner i henhold til DVGW W510 [7], i henhold til DIN 1988-200 afsnit 12.7 [1]) har rådgiveren, installatøren og operatøren af drikkevandsinstallationer en anerkendt teknologi til rådighed, som opfylder målene for minimeringskravet i § 6, stk. 3, i TVO [18] inden for sit anvendelsesområde. På mange områder kan disse teknologier anvendes målrettet i overensstemmelse med kravene i drikkevandsbekendtgørelsen, og desuden kan forbrugernes ønsker om så uforandret drikkevand

som muligt opfyldes. Ved at fjerne behandlingsstoffer som natriumklorid og fosfater er denne kalkbeskyttelsesteknologi i vid udstrækning en bæredygtig og miljøvenlig teknologi. Som det også er blevet påvist, er teknologien overbevisende omkostningseffektiv ved drift med et højt vandforbrug sammenlignet med andre kalkbeskyttelsesteknologier inden for drikkevandsområdet.

6. REFERENCER

- [1] DIN 1988-200:2012-05: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) - Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW
- [2] DIN 1988-300:2012-05: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 300: Ermittlung der Rohrdurchmesser; Technische Regel des DVGW
- [3] DIN 4708-1:1994-04; Zentrale Wassererwärmungsanlagen; Begriffe und Berechnungsgrundlagen
- [4] DIN 4708-2:1994-04; Zentrale Wassererwärmungsanlagen; Regeln zur Ermittlung des Wärmebedarfs zur Erwärmung von Trinkwasser in Wohngebäuden
- [5] DIN 4708-3:1994-04; Zentrale Wassererwärmungsanlagen; Regeln zur Leistungsprüfung von Wassererwärmern für Wohngebäude
- [6] DIN EN 806-5:2012-04; Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 5: Betrieb und Wartung; Deutsche Fassung EN 806-5:2012
- [7] DVGW W 510:2004-04; Kalkschutzgeräte zum Einsatz in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen und Prüfungen
- [8] DVGW W 512:1996-09; Verfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Wasserbehandlungsanlagen zur Verminderung von Steinbildung
- [9] DVGW W 551:2004-04; Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen - Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums - Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen
- [10] DVGW W 553:1998-12; Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen
- [11] EUROPEAN COMMISSION: VERORDNUNG (EU) Nr. 814/2013 DER KOMMISSION vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern, 2013

- [12] FEURICH, HUGO: Warmwasserversorgung, Schwimmbadanlagen, Entwässerungsanlagen, Abwasserbehandlung, Installationsplanung, Rohrnetz-berechnung, Sanitärtechnik. Bd. 2. 8. Aufl. Düsseldorf : Krammer, 1999
- [13] HOFMANN, GEORG: Messverhalten überdimensionierter Wasserzähler in Wohngebäuden. In: Energie-Wasser-Praxis (2008), Nr. 11, S. 47–51
- [14] PAUL, D.D. ; GADKARI, V.V. ; EVERS, D.P. ; GOSHE, M.E. ; THORNTON, D.A. ; BATELLE MEMORIAL INSTITUTE, OH (Hrsg.): FINAL REPORT STUDY ON BENEFITS OF REMOVAL OF WATER HARDNESS (CALCIUM AND MAGNESIUM IONS) FROM A WATER SUPPLY : Battelle Memorial Institute 505 King Avenue Columbus, OH 43201 Prepared for Water Quality Association 4151 Naperville Road Lisle, Illinois 60532-1088, 2009
- [15] Sia Norm 385/5:Ausgabe 1991; Warmwasserversorgungen für Trinkwasser in Gebäuden“ Schweizer Ingenieur-und Architektenverein, Zürich
- [16] VDI 3807 Blatt 3:2015-11; Verbrauchskennwerte für Gebäude - Teilkennwerte Wasser
- [17] VDI/DVGW 6023:2013-04; Hygiene in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung
- [18] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001) in der Fassung der Bekanntmachung vom 2.August 2013 (BGBl. I S. 2877), zuletzt geändert durch Art.1 der Verordnung vom 18. Nov. 2015 (BGBl. I S. 2076)

WALDER, GERHARD ; LEITER, KLAUS: Kalkschutzverfahren auf Basis der Biomineralisierung. In: ENDE, D.: Physikalische und Energetische Wasserbehandlungsverfahren für Wärmeübertrager und Rohrleitungen. 1. Aufl. Essen : Publico Publications, 2006 — ISBN 3-934736-11-4, S. 228–248

WATERCryst[®]
grøn vandteknik