

Szerkezet

- Kiindulási helyzet
- Cink - a horganyzott vízvezetékekben és máshol használt fém.
- Kalcium-karbonát - a vízben képződik, különösen, ha a vizet felmelegítik (aragonitképződés versus kemény mészlakódás).
- Fémek, különösen a cink korróziója és a feszültségsorozat mentén történő korróziója
- Vízkörforgási rendszerek -Vízkeringési folyamatok
- Az AQUABION® elve
- AQUABION® cinkfelszabadítással kapcsolatos vizsgálati eredmények
- Kiegyensúlyozási megfontolások (az AQUABION® súlyvesztése)
- A vízben lévő cink egészségügyi vonatkozásai fogyasztáskor - (WHO és ivóvízrendelet)
- A legfontosabb megállapítások összefoglalása - kilátások

1 Kiindulási helyzet

Az ION Deutschland GmbH cink-áldozati anódrendszert (AQUABION®) forgalmaz a korrózió és a vízkőlerakódás elleni galvanikus vízkezeléshez. Prof. Kenneth M. Persson a Lundi Műszaki Egyetemről (<https://www.lunduniversity.lu.se/lucat/user/73fa053aff3d26a31e6e4ae893da9d9e>) nyilvánosan reagált a svéd www.aquabion.se weboldalon található tartalomra, és kifejtette a cinkkel történő galvanikus vízkezeléssel kapcsolatos nézeteit, amelyről itt tudományos vitát kezdeményezünk.

2 Cink a horganyzott vízvezetékekben és máshol használt fém.

A www.chemie.de oldalon olvasható, hogy "A cink egy kémiai elem, amelynek szimbóluma "Zn" és atomi száma "30". A cinket az átmeneti fémek közé sorolják, de ebben a csoportban különleges helyet foglal el, mivel tulajdonságai zárt d-héja miatt inkább az alkáliföldfémekhez hasonlítanak. Kékesfehér, rideg fém, és többek között vas- és acélalkatrészek galvanizálására, valamint esőcsatornákhöz használják."

A (www.initiative-zink.de/) szerint a talaj cinktartalma 10 és 300 mg/kg között van. Az érclelőhelyekben a cink a természetes geológiai és geokémiai folyamatok következtében 5 és 15 % között (50 000-150 000 mg/kg) dúsul fel. Az érc általában szfalerit vagy wurtzit formájában tartalmaz cinket, más néven cinkblende (ZnS) formájában. A körülbelül 55 % cinkre dúsított cinkérc még mindig körülbelül 20 % ként tartalmaz a koncentrátumban. A cinkkoncentrátumok emellett mindig tartalmaznak vasat, ólmot és ezüstöt is, változó arányban, mivel ezek az elemek gyakran együtt fordulnak elő az érceken (www.initiative-zink.de/basiswissen/das-metall-zink/zinkerzeugung/). Ezenkívül nem elhanyagolható mennyiségben kadmium is előfordul, mivel a cink és a kadmium társul egymással [Kunz, P.M., E. Böhm, U. Hauser: Bericht zum Cadmium-Hearing Berlin (Nov. 1991)].

A WIKIPEDIA-ból [<https://de.wikipedia.org/wiki/Zink>]: "Egy másik cinkérc a galmei, amely mind a szmithsonitra (más néven *cinkszpari*) $ZnCO_3$ (kb. 52 % cink), mind a willemitre $Zn_2[SiO_4]$ utal. Vannak még ritkább cinkásványok is, mint a cinkit (más néven *vörös cinkérc*) ZnO (kb. 73 % cink), hemimorfit $Zn_4(OH)_2[Si_2O_7]$ (54 % cink), adamin $Zn_2(AsO_4)(OH)$ (kb. 45 % cink), minrekordit $CaZn[CO_3]_2$ (kb. 29 % cink) és franklinit (Zn,Fe,Mn) $(Fe_2Mn_2)O_4$ (16 % cink). Jelenleg összesen több mint 300 cinkásványt ismerünk (2010-től)".

A horganyzott acélcsövekből készült csöveket már hosszú évek óta használják a szaniter- és fűtéstechnikában, és ma már gyakran találkozunk velük mindenütt, ahol a víz nem melegszik fel, vagy nem melegszik 60 °C fölé, például a klimatechnikában. A vízben található ásványi anyagok összetételétől függően a cinkbevonaton általában oxigénnel együtt egy oxidréteg képződik, amely megvédi a cső anyagát a korróziótól. A cinkbevonat hatékonysága és tartóssága alapvetően a gyártási eljárástól és a víz minőségétől, de más fémekkel való érintkezéstől is függ (kulcsszó: "elektrolízis", <http://www.meisinger->).

ingenieurleistungen.de/trinkwasserinstallation-rohrleitungsmaterialien-im-vergleich/). Amikor a víz felforrósodik, ez az oxidréteg kémiailag instabillá válik, és először a cinkréteg, majd az acél korrodálódik.

Minden fémről ismert, hogy vizes rendszerekben korrózióknak van kitéve, ami azt jelenti, hogy a csövek, armírozások és egyéb fémtestek ötvözeteiben található összes fém megtalálható a vízben, még ha csak nyomokban is. A WHO és az európai előírások erre vonatkozóan határ- és irányértékeket adnak meg, amelyeket a 9. fejezetben mutatunk be: A cinkre vonatkozóan a WHO 3 mg/L-ben határozza meg a fogyasztók számára elfogadható irányértéket; Európában 1972 óta 0,1 (EU) és 5 mg/L (TrinkwV) között ingadozik: 1990-ben a TrinkwV 5 mg/L-t határozta meg irányértékként 12 órás stagnálás után 2 év, a telepítés után legfeljebb 2 év elteltével. A jelenlegi kutatások szerint az EU nem rendelkezik határ- vagy irányadó értékekkel az ivóvízben lévő cinkre vonatkozóan.

A fémeknek a fémfelületekről korrózióval történő kioldódása (elektrokémiai fémoldódás) legalábbis minden szakértő számára ismert; ebből a szempontból nem meglepő, hogy a "rozsdamentes" rozsdamentes acélok, mint például a V4A acél "W Nr. 1.4401 (X5CrNiMo17-12-2), AISI 316", amely a DVGW W541: A háztartási ivóvízlevesítőművekben rozsdamentes acélból készült csövekre vonatkozó követelmények alapja című munkalapján szerepel (az 1.4404, 1.4521 és 1.4571 mellett), nem oldódnak ki a nyomelemek, amelyeket a 2.1. ábra mutat. Ezt a rozsdamentes acélt gyakran használják vízforralókban fűtőfelületként is.

SÜDWESTFALEN
Edelstahlwerke Südwesfalen GmbH

RSH-Austenit, Spurenelemente, im Allgemeinen nicht schädlich:	
Element	bis %
Al	0.10
B	0.007
Ca	0.02
Cu ¹⁾	0.8
Mo	0.7
N	0.11
Nb	0.10
Ti	0.10
V	0.20
Co	0.50
W	0.20

Max.-Werte sonstiger Spuren:
As, Sn, Sb, Zr, Te, Ce, Cd, Se, Zn:
max. je 0.01 %

1) Bis 1,0 % positiver Einfluss, nur bei Hochtemperatur-Einsatz max. 0,5 %

2.1. ábra Nyomelemek az ausztenites rozsdamentes acélban (Ingrid Hofmann, Deutsche Edelstahlwerke Specialty Steel GmbH & Co. KG www.dew-stahl.com).

3 Kalcium-karbonát - a vízben képződik, különösen, ha a vizet felmelegítik (aragonitképződés versus kemény mészkőképződés).

A kalcium-karbonát (CAS-szám: 471-34-1) a természetben főként három változatban fordul elő:

- mint kalcit (kalcit, kettős tüske, kréta) → trigonális,
- aragonitként (a kokolitban: algahéjak, krétában megkövesedett) → orthorhombikus
- mint Vaterit → hexagonális

az üledékes mészkő, a metamorf márvány, a sztalaktit, a mészpala, a krétakőzet és az üledékes kőzetek, az oolit és a sztramatolit eleme. Az élő természetben a kalcium-karbonát megtalálható többek között a rákfélék, korallok, kagylók és csigák exoskeletonjában. Egyéb módosulatok

- Monohidro-kalcit (kalcium-karbonát monohidrátja) és
- Ikait (kalcium-karbonát hexahidrátja)

Kalcit

A kalcit (kalcit, kalcitpala, kettőspala) a karbonátok és nitrátok ásványi osztályába tartozó CaCO_3 - kémiai kalcium-karbonát - igen gyakori ásvány. Moláris tömege 100,087 g/mol, a kalcit vízoldhatósága 20 °C-on 0,00066 g/100 g H_2O . [http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_caco3.htm (08/06/2018)]

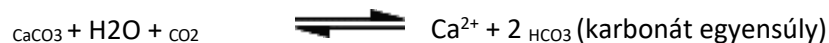
A kalcit trigonálisan kristályosodik, és különböző kristály- és halmazállapotú formákat alakít ki. Tiszta formájában a kalcit színtelen és átlátszó. A fény többszörös fénytörése a rácshibák vagy a polikristályos képződés miatt fehérnek tűnhet, ennek megfelelően az átlátszóság csökken, és a kristály az idegen szennyeződések miatt sárga, rózsaszín, vörös, kék, zöld, barna vagy fekete színt vehet fel (lásd a 3-1. táblázatot).

Magmás, üledékes és metamorf képződmények; szinte minden kőzetben repedésekben lévő kristályok formájában; forrásoknál (meszes szinterteraszok); barlangokban (cseppkövek és cseppkövek). [http://www.seilnacht.com/Minerale/calcarag.htm (2018.06.08.)]. A kalcit előfordulhat szilárd (pikkelyes), valamint szemcsés, szálas vagy kristályos formában, és az összes ásvány közül kristályos formában mutatja a legnagyobb változatosságot. A mészkő üledékes kőzet. Önmagában vagy más ásványokkal társulva fordul elő.

A kalcit gyakran biomineralizációval képződik. A tengeri sünök kapszulái kalcit egykristályokból állnak. A messze legnagyobb kalcitlelőhelyek tengeri üledékképződésre vezethetők vissza. A korallzátonyok is részben kalcitból állnak. [www.seilnacht.com/Minerale/calcarag.htm (08.06.2018)]

Exkuzus a mész-karbonsav egyensúlyról és a vízkeménységről

A szénsavas vízben a kalcium-karbonát vízben oldódó kalcium-hidrogén-karbonáttá alakul át.



A folyamat során keletkező kalciumionok alkotják a vizes oldatok vízkeménységének nagy részét. megoldások.

A vízben oldott kalcium- és magnéziumvegyületek tartalma határozza meg a vízkeménységet. Minél magasabb a tartalmuk, annál keményebb a víz. A kalciumot és a magnéziumot ezért keménységképzőknek is nevezik. A keménységet millimol/literben (mmol/L), korábban gyakrabban német keménységi fokban (°dH) fejezik ki. A német mosó- és tisztítószerokról szóló törvény (WRMG; Wasch- und Reinigungsmittelgesetz a 2013. július 17-én kihirdetett változatban (BGBl. I. 2538. o.) 9. §-a szerint, amelyet legutóbb a 2017. július 18-i törvény 3. §-a (BGBl. I. 2774. o.) módosított), a vizet három keménységi tartományba osztják: 2,5 mmol/L felett a víz "keménynek" minősül.

Amikor a kemény vizet felmelegítik vagy elpárologtatják, a hidrogén-karbonát a fent bemutatott karbonát egyensúly szerint visszaáll CaCO_3 -ra. A vízvezetékben vagy a fűtőrudakon kalcit képződik, amely **kazánkő** néven ismert. [www.seilnacht.com/Chemie/ch_caco3.htm (08/06/2018)]

A 3500 méteres tengerszéllyel, az úgynevezett kalcitkompenzációs mélységtől kezdve a kalcit teljesen feloldódik a vízben. Ennek következtében sem a kalcittartalmú üledékek, sem a kagylóhéjak vagy csontvázak nem maradnak meg ebben a mélységben. [www.seilnacht.com/Minerale/calcarag.htm (08.06.2018)]

Aragonit

Eltérő rendelkezés hiányában az alábbi információk a

<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?lang=de&mineral=Aragonit> és a <http://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=2&l=A&name=Aragonit> oldalról származnak 2018. június 8-án: Az aragonit a karbonátok ásványi osztályába tartozó gyakori ásvány. Különböző formákban kristályosodik (lásd a 3.1. táblázatot): Előfordulnak prizmatikus kristályok, valamint ásványi aggregátumok, amelyek lehetnek gömbölydedek vagy oolitikusan sávozottak, oszloposak és dendritikusak (fásak), valamint párhuzamos szálúak, sugárirányban sugárzóak vagy csücskösek.

Tiszta formájában az aragonit szintelen és átlátszó. A fény többszörös fénytörése miatt

Azonban fehér színűnek is tűnhet rácshibákkal vagy polikristályos képződményekkel. Az aragonit a hasonló szerkezetű és/vagy összetételű ásványok csoportjának, az aragonitcsoportnak (először "Aragon") a névadó ásványa.

Előfordulás: A vulkáni kőzetek üregeiben, érclelőhelyek oxidációs zónájában (aragonit vasvirágzás); a tengervízben csapadékként (Vörös-tenger); kénes lelőhelyeken (Etna); forrásokban csapadékként; számos kagyló és csiga héja aragonitból áll. [http://www.seilnacht.com/Minerale/calcarag.htm 2018.06.08-tól]

Az aragonitnak számos szín- és alakváltozata létezik:



- *Vasvirág*: korallszerű növekedés, túlnyomórészt fehér vagy fehér-szürkés színű; világoskék vagy halványkék-zöld vasvirágok is ritkán fordulnak elő.
- *Borsókő* vagy *pisolit*: többnyire koncentrikus kagylók vagy sugárirányú gömbök, túlnyomórészt fehér-szürkés színűek.
- *Nicholsonit*: [szmithsonit](#) ($Zn[CO_3]$) adalékok miatt többnyire fehér, sárgás, zöldes vagy enyhén rózsaszínes színű.
- *Pezsgőkő*: hullámos, többnyire fehér, szürke, sárgás vagy vöröses sávós mészkőszinter.
- *Sr-aragonit*: stronciumot tartalmazó aragonit.
- *Tarnowitzit*: többnyire fehér, szürkétől a feketéig vagy sárgáig változó színű a finoman elszórt cerrusit ($Pb[CO_3]$) zárványok miatt.


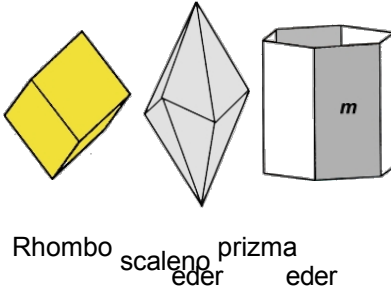
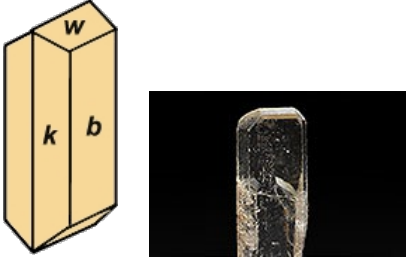


Az aragonit normál körülmények között (20 °C és légköri nyomás) metastabil, a stabil fázis a kalcit. Oldószer jelenléte vagy viszonylag kis nyomás alkalmazása, például mozsárban, elegendő az aragonit kalcitá alakításához.

Az aragonit ritkán rakódik le édesvízben; az egyes lerakódások tengeri környezetre jellemzőek. Mivel a magnézium előnyben részesíti az aragonit képződését a kalcitéval szemben, az aragonit ma már inkább tengeri környezetben képződik. A magnéziumon kívül más fémek, például stroncium, ólom, bárium és kalcium-szulfát nyomai, valamint az 50 Celsius-fok feletti hőmérséklet az aragonit javára billenti az egyensúlyt.

Az aragonit a gyöngyház és így a gyöngyök fő alkotóeleme. A kőkorallok váza szintén aragonitból áll.

3.1. táblázat A kalcit és az aragonit összehasonlítása

Jellemzők	Kalcit	Aragonit
	 <p>A kalcitkristályok általában vastagok vagy kerekerek, mint például ezen a Zacatecasból származó kalcitszállán.</p>	 <p>Az aragonitkristályok gyakran tűszerűek és hegyesek. Ezen a mexikói példányon az aragonit kalcitra nő.</p>

<p>Növekedési feltételek</p>	<p>A kalcit akkor keletkezik, amikor a CO₂ kiáramlik a vizes kalcium-hidrogén-karbohidrát oldatból.</p>	<p>A kristályosodási oldatban lévő magnéziumionok megakadályozzák a kalcit növekedését, és elősegítik az aragonit növekedését.</p>
<p>Összetétel</p>	<p>Kalcium-karbonát (CaCO₃) Gyakran mangántartalom, de más karbonátokkal vegyes sorozatban is, gyakran nyomokban ólom, vas, cink, bárium, stroncium vagy kobalt</p>	<p>Kalcium-karbonát (CaCO₃) Más elemekből csak nagyon csekély szennyeződések vannak jelen.</p>
<p>Oldhatóság savakban</p>	<p>Savakban, például sósavban pezsgéssel és szén-dioxid CO₂ kialakulásával:</p> 	<p>Szintén CO₂-t képez savakkal, de jobban oldódik szénsavas vízben, mint a kalcit. Az aragonit jobb oldhatósága lehetővé teszi a kémiai kimutatást.</p>
<p>Kristály rendszer</p>	<p>Trigonális rendszer</p>	<p>Orthorombikus rendszer</p>
<p>Kristályok</p>	<p>A kristályok nagyon gyakoriak Jellemző a három alapforma, a romboéder, a szkalenoéder és a prizma, és számos trachten is létezik:</p> 	<p>Nagyon ritkák a jól felismerhető prizmás, pinakoid és dipiramis kristályok, többnyire túszerű vagy cseppköves aggátokat találunk.</p> 
<p>Ikrek</p>	<p>Az ikrek sokféle formában fordulnak elő a kalcitban, és a gyűjtők által áhítottak:</p> 	<p>Az aragonit gyakran ikerkőzet, mint például ez a spanyolországi Minglanillából származó hármás:</p> 

[<http://www.seilnacht.com/Minerale/calcarag.htm>] 08.06.2018-től

Vaterite

Eltérő rendelkezés hiányában az alábbi információk a <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Vaterit> 2018. június 8-i oldalról származnak: A Vaterit a karbonátok ásványi osztályába tartozó, meglehetősen ritka ásvány. Hatszögletes kristályrendszerben kristályosodik, és csak apró, szálas vagy prizmás, hatszögletes habitusú kristályok alakulnak ki belőle kb. 0,1 mm-ig, vagy gömbölyded aggregátumok. A Vaterit alacsony hőmérsékleten történő hidrotermikus kicsapódással képződik ásványokban gazdag forrásokban, de szerves szövetekben is: Epekövek és vesekövek alkotórésze. A kalcit és az aragonit mellett a kísérő ásványok közé tartozik a tobermorit és a kaolinit.

Egyéb karbonátos ásványok

A fent részletesebben ismertetett kalcitokon, aragonitokon és vateriton kívül ezek közé tartoznak a következők is

- Smithsonit: $ZnCO_3$ (cink-karbonát),
- Dolomit: $(CaCO_3-MgCO_3)$ és
- Cerrusit: (ólom II-karbonát; fehér ólomérc)

Smithsonite

Az alábbi magyarázatok - eltérő rendelkezés hiányában - a [www.steine- und-minerale.de/atlas.php?f=2&l=S&name=Smithsonite](http://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=2&l=S&name=Smithsonite) 2018. június 8-i számából származnak: Smithsonit ($ZnCO_3$, cink-karbonát) cinkszpári vagy nemes galmei néven is ismert. Trigonálisan kristályosodik, tiszta formában színtelen és átlátszó. A rácshibák vagy a polikristályos képződés okozta többszörös fénytörés miatt azonban áttetsző fehér is lehet.

A kovácsonitot más galmei-ásványokkal együtt egészen a 18. század végéig cinkforrásként használták a sárgaréz cementálás útján történő előállításához (a cink, amely melegítéskor gáznemű formában disszociál a galmeiból, a rézpelyhekbe diffundál, és ötvözetként sárgaréz keletkezik).

Dolomit

A magyarázatok a [http://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=3&l=D&name=Dolomit%20\(Gestein\)](http://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=3&l=D&name=Dolomit%20(Gestein)) honlapról származnak, 2018.06.08-án: A dolomitő legalább 90 százalékban a dolomit ásványból áll: kémiai képlete $CaMg(CO_3)_2$, $(CaCO_3-MgCO_3)$. Alacsonyabb dolomittartalom dolomitos mészkövet eredményez. A dolomitő ideális esetben fehér, gyakran elefántcsontszínű, világosszürke, szürkessárga vagy zöldesszürke. A dolomit kőzetek vagy a dolomit elsődleges kicsapódásával, vagy a mészkőiszap másodlagos dolomitizálódásával keletkeznek. A legújabb kutatások a kénbaktériumok és a rothadás jelentőségét mutatják ki a dolomit keletkezésében a braziliai lagúnák legújabb példáin. [Krause et al: *Microbial nucleation of Mg-rich dolomite in exopolymeric substances under anoxic modern seawater salinity*. Új betekintés egy régi rejtélybe. In: *Geology* 40. No. 7, 2012].

A granulált dolomitot szilícium-dioxid-mentes (SiO_2 -mentes) szűrőanyagként használják a vízkezelésben. A dolomitot a víztisztítás különböző egyéb alkalmazásaihoz dolomitból ($CaMg(CO_3)_2$) kb. 900 °C-on égetett dolomittá ($CaMgO_2 = CaO-MgO$) alakítják át. Alacsonyabb égetési hőmérsékleten félig égetett dolomit ($CaCO_3-MgO$) is készül. Alacsonyabb égetési hőmérsékleten félig égetett dolomit ($CaCO_3-MgO$), más néven *Magno* keletkezik, amelyet az ivóvízkezelésben savtalanításra (a felesleges CO_2 megkötésére) használnak. A MgO komponens előnyösen reagál.

Cerrusite

Eltérő rendelkezés hiányában az alábbi információk a <https://www.edelsteine-mineralien-gemotion.at/mineralien/cerrusit/> honlapról származnak, 2018. június 8-án: A fehér ólomérc néven is ismert ceruzit kémiailag ólom II karbonát. A ceruzit orthorombikusan kristályosodik, és általában prizmás, lemezes vagy piramis alakú kristályok, de finom szemcsés és por alakú aggregátumok is kialakulnak.

A cerusszit a karbonáttartalmú ólomlelőhelyek oxidációs zónájában található tipikus ásvány, amely többek között a galenitből (galén) képződik. Itt olyan ásványok társaságában fordul elő, mint a

szmit- honit (lásd fentebb), de az anglesit, a malachit, a hemimorfit és a piromorfit is. A következőkkel kapcsolatban

ez utóbbival fehéres-szürkésbarna bevonatot képez, amelyet ólomföldnek neveznek. A finoman elosztatott galénnel (lásd fent) feketére színezett ceruzsitot fekete ólomércnek nevezik.

Egyéb ismert karbonátok

- Ammónium-karbonát: $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, más néven hungarocell-só.
- Kálium-karbonát: K_2CO_3 , káliumkarbonát néven ismert.
- Magnézium-karbonát: MgCO_3 , magnézia néven ismert (keserű spárga).
- Nátrium-karbonát: Na_2CO_3 , más néven szódadikarbóna vagy mosószóda.
- Nátrium-hidrogén-karbonát: NaHCO_3 , nátrium-hidrogénkarbonát néven ismert (szódadikarbóna).

Exkuzus a vízben oldódó karbonátok képződéséről - a kemény víz kiindulópontja

Az alkáli-karbonátok viszonylag jól oldódnak vízben, míg a többiek csak kevésbé oldódnak. A vizes oldatok erősen lúgosan reagálnak: A karbonátion CO_3^{2-} bázisként reagál egy vízmolekulával, hidrogén-karbonátiont és hidroxidiont képezve:

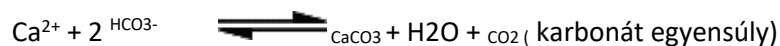


Erős savakkal a karbonátok és a hidrogén-karbonátok bomlanak, és így keletkeznek szén-dioxid és a megfelelő sók. A nátrium-karbonát például sósavval reagálva nátrium-kloridot, vizet és szén-dioxidot képez:



Kalcit- és aragonitképződés a víz felmelegedése vagy elpárolgása során

Míg eddig főként azt vizsgáltuk, hogy a CaCO_3 kicsapódása geomorfológiai és (bio-)kémiai úton hogyan zajlott a múltban, most azt fogjuk megvizsgálni, hogy mi történik az ivó- és technológiai vízben lévő (újraoldott) karbonátokkal, amikor a kalciumtartalmú vizet melegítjük, amelyben a (fentiekben vázolt) újraoldott hidrogén-karbonátok vannak jelen:



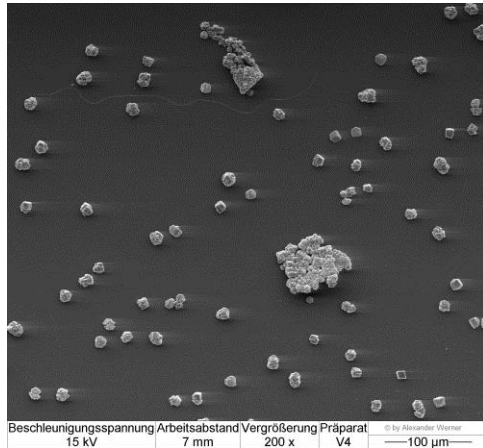
Amikor a kemény vizet melegítjük vagy elpárologtatjuk, CaCO_3 keletkezik, amint azt a fenti karbonát egyensúly mutatja. A **kazánkövek** is nevezett kalcit általában a vízvezetékben vagy a fűtőrudakon képződik [http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_caco3.htm (2018.06.08.)].

Ez a közös nézet minden tankönyvben szerepel. Amit Coetzee és társai [Coetzee P.P., M. Yacoby, S. Howell (1996) *The role of zinc in magnetic and other physical water treatment methods for the prevention of scale*, Water SA 22 p. 319-326] a fémek vízben való hatásáról publikáltak, amikor a fizikai - és különösen a mágneses - vízkezelő rendszerek megfigyelt hatásait vizsgálták, azt nagyrészt figyelmen kívül hagyták: Akkor a szerzők azt találták, hogy a mágnesekből és a fémekből felszabaduló cink nyomokban

a házak felületei elegendőek voltak ahhoz, hogy "lelassítsák a kalcium-karbonát magképződési sebességét, és elősegítsék a kalcit helyett az aragonit kristályosodását még olyan körülmények között is, amikor a kalcit lenne a preferált kristályforma".

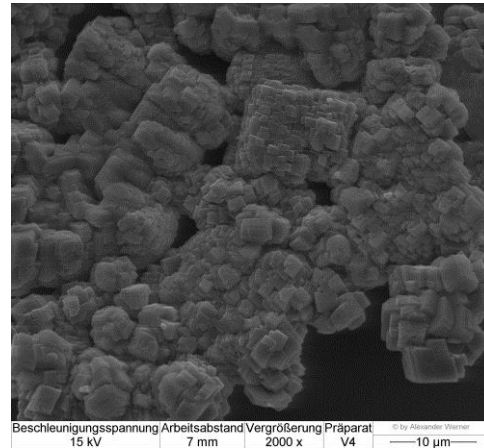
1998-ban Coetzee és munkatársai a Rand Afrikaans Egyetem Kémiai és Biokémiai Tanszékéről, PO Box 524, Johannesburg 2006, Dél-Afrika [Coetzee P.P., M. Yacoby, S. Howell and S Mubenga (1998) *Scale reduction and scale modification effects induced by Zn and other metal species in physical water treatment*, Water SA Vol. 24 No. 1 January 1998 p. 77-84] "legalább $0,06 \times 10^3$ Zn/Ca tömegarányra volt szükség ahhoz, hogy a Zn mérhető hatást okozzon. Ca > 300 mg/L esetén a Zn 100 mg/L-ig történő hozzáadása elhanyagolható hatással volt a nukleációs sebességre és a kristálymorfológiára. A Cu csak fele olyan hatásosnak bizonyult, mint a Zn, míg a Mg-nak a Zn-nél 1000-szer nagyobb koncentrációban kellett jelen lennie ahhoz, hogy hasonló hatást érjen el. A kolloid Fe_2O_3 csökkentette az indukciós időt. A laboratóriumi vizsgálatokban a Zn vízkőcsökkenésre gyakorolt di- rektális hatása körülbelül 77 ± 6 % volt, és 300 mg/l Ca oldattal érték el, amelyhez 200 mg/l Zn-t adtak.

Werner, A. 2008-ban az AQUABION® AB-S15-t mésztartalmú ivóvízben vizsgálta [*Untersuchungen zur Wirksamkeit der chemischen und physikalischen Wasserenthärtung*, Facharbeit Alexander-von-Humboldt-Gymnasium, Schweinfurt, Kollegstufe 2008], és az AQUABION® AB-S15-n keresztül történő 30 perces keringés után a SEM-felvételeken egyértelmű változásokat talált a kristályok morfológiájában (ábra). 3.1a és b): "Több kisebb aggregátum helyett most sok kis aggregátum, valamint néhány különösen nagy, közel 100 µm átmérőjű mészkristály-aggregátum található.



3.

1a.



ábra200x nagyítás3.1b. ábra2 ,000x nagyítás

Hasonló megfigyeléseket lehet tenni a háztartásban, amikor új vízforralót vásárol: A rozsdamentes acél fűtőlemez kezdetben elegendő fémiont eluál (lásd a fenti 2.1. ábrát) ahhoz, hogy a kalcium-karbonát lemezke- vagy gömb alakban kicsapódjon, és ne kavics (kalcit) formájában rakódjon le a cserélő felületére, hogy a vízáramlással együtt letörölhető vagy a csövekből kiüríthető legyen.

Ha a Coetzee et al. (1998) által fentebb megadott 0,00006 Zn-iont 1 Ca-ionhoz viszonyítva vesszük alapul, akkor ez fordítva azt jelenti, hogy egy Zn-ion 16 000 Ca-iont alakít át a kalcium-karbonát aragonit formájává.

Freij és társai [Freij, S. J., A. Godelitsas, A. Putnis: *Crystal growth an dissolution processes at the calcite-water interface at the presence of cink ions*, Journal of Crystal Growth 273 p. 535-545 (2005) írják, hogy az aragonit képződését is fokozza a cink hozzáadása a kalcitfelülethez.

4 Fémek, különösen a cink korróziója és a feszültségsorozat mentén történő korróziója

"A korrózió egy fémes anyagnak a környezetével való reakciója, amely mérhető változást okoz az anyagban A legtöbb esetben ez a reakció elektrokémiai jellegű, de bizonyos esetekben kémiai vagy fémfizikai jellegű is lehet. [a DIN EN ISO 8044 Fémek és ötvözetek korróziója - Alapfogalmak: www.din.de/de/norm-draft/din-en-iso-8044/224898155 (02-2015. évi állapot szerint)] szerint. A korrózióhoz mindig egy egymást befolyásoló korróziós rendszer tartozik (lásd a 4.1. ábrát).

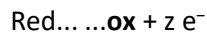


4.1. ábra Korróziós rendszer [Galetz előadás, 2014, www.metalle.uni-bayreuth.de/en/download/teaching_downloads/Vorl_Metalle2/Vorlesung-Bayreuth_WS2014_waessrige-Korrosion.pdf]

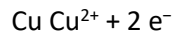
A fémfelületeken lévő víz tehát mindig kémiai és elektrokémiai reakciókat eredményez, amelyekben a fémionok a hőmérséklettől, a pH-értéktől, a kloridtartalomtól és a jelen lévő egyéb fémektől függően oldódnak, és galvánelem alakul ki. Itt jön a képbe a "fémek feszültségssorozata": 4.2. ábra.

Az elektrokémiai feszültségssorozat (RedOx-sorozat) a RedOx-párok listája a standard elektródpotenciáljuk szerint (= RedOx-potenciál standard körülmények között). Az elektrokémiai feszültségssorozatból levezethető egy anyag RedOx viselkedése. Minden RedOx-reakciót két pár ír le; a reakciók iránya az elektrokémiai feszültségssorozatból megjósolható.

Fémek esetében maga a fém és a hozzá tartozó ion RedOx párt alkot:



például



A Cu a redukált forma ("Red...") és a Cu^{2+} az oxidált forma ("...ox"). A RedOx potenciál jelzi az ionok elektronfelvételi készségét. A nemesfémek ionjai hajlandóbbak az elektronok felvételére, mint a nem nemesfémek ionjai, ezért van az, hogy standard körülmények között a Cu/ Cu^{2+} pár RedOx-potenciálja jelentősen pozitívabb, +0,35 V, mint a Zn/ Zn^{2+} páré, -0,76 V. Ez azt jelenti, hogy a Zn (kevésbé nemes) erősebb redukálószer, azaz redukálja a reaktánsát, és maga is oxidálódik, elektronokat ad le (ha például egy Zn rudat Cu^{2+} sóoldatba merítünk, a cinkatomok cink $^{2+}$ ionokká oxidálódnak, amelyek oldatba kerülnek, míg az oldatban lévő réz $^{2+}$ ionok cink ionokká oxidálódnak elektronok leadásával).

A felszabaduló elektronok redukálódnak és lerakódnak a cinklemezen. A rézréteg azonban nem tudja megakadályozni a cinkrúd további oldódását.

Elektrochemische Spannungsreihe

↑ Unedel
↓ Edel

z.B. Eisen in 10^{-6} -molarer Lösung geht dann in Lösung, wenn das Elektrodenpotential größer -0.614 V ist:
->Korrosion findet statt

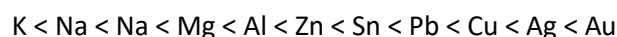
Me/Me $^{z+}$	Standardelektrodenpotentia 1 U 0 für a = 1 mol/l [V]	Potential U für a = 10^{-6} mol/l [V]
Na/Na $^+$	-2,71	-3,06
Mg/Mg $^{2+}$	-2,38	-2,55
Al/Al $^{3+}$	-1,66	-1,78
Ti/Ti $^{2+}$	-1,63	-1,80
Mn/Mn $^{2+}$	-1,19	-1,36
Zn/Zn $^{2+}$	-0,76	
Cr/Cr $^{3+}$	-0,74	-0,86
Fe/Fe $^{2+}$	-0,44	-0,61
Ni/Ni $^{2+}$	-0,23	-0,40
Sn/Sn $^{2+}$	-0,14	-0,31
Pb/Pb $^{2+}$	-0,13	
Fe/Fe $^{3+}$	-0,04	-0,15
H/H $^+$	0,00	0,00
13% Cr-Stahl(1.4021, 1.4006)	+0,28	
Cu/Cu $^{2+}$	+0,34	+0,16
Cu/Cu $^+$	+0,52	+0,17
Ag/Ag $^+$	+0,80	+0,45
Sauerstoffoxidation (pH = 7)	+0,82	
Cr-Ni-Stahl (1.4301), passiv	+0,83	
Cr-Ni-Mo-Stahl (1.4401), passiv	+0,86	
Pt/Pt $^{4+}$	+1,20	
Au/Au $^{3+}$	+1,50	+1,38

Normalpotentiale ausgewählter Metalle bei 25°C und 1 bar Druck in einmolarer und in 10^{-6} -molarer Lösung.

-> Es gibt eine Konzentrationsabhängigkeit des Elektrodenpotentials eines Redox-Paares (Me $^{z+}$ + z* e $^-$)

4.2. ábra Fémek elektrokémiaifeszültségssorozata [Galetz (2014) előadása] A

feszültségssorozat a kiválasztott sorozatokra összefoglalható:



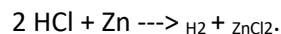
a 4.2. ábrából, hogy a cink az ólom és a réz előtt oldódik, és arra következtetünk, hogy ha cinkből és rézből galvánelemet építünk fel, a cink oldott állapotba kerül.

Oldott állapotban a cink tehát ZnOH^+ (aq) vagy Zn^{2+} (aq) formában van jelen. A nem ionos ZnCO_3 (oldhatóság 0,21 g/l) formában is megtalálható.

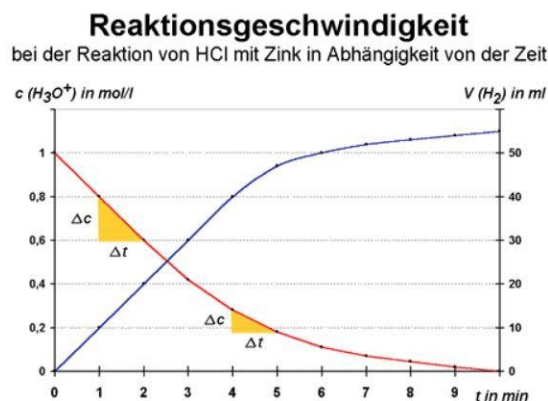
A víz hőmérséklete növeli a felületi támadást (az "ökölszabály" érvényes: ha a hőmérséklet 10 Kelvinnel (10 °C) nő, a reakciósebesség megduplázódik).

A pH-értéknek nagy jelentősége van a tűzhorganyzott acélcsövek esetében: az alacsony, 6,9 alatti pH-értékek gyorsabb cinkeltávolításhoz vezetnek, míg a magasabb, 7,9-es és magasabb pH-értékek az alacsonyabb korróziós sebesség mellett a hatékony védőrétegek kialakulását is elősegítik [Rückert, J.: *Influence of the pH value, oxygen content and flow velocity of cold drinking water on the corrosion behaviour and protective layer formation of hot-dip galvanised steel pipes*, Werkstoffe und Korrosion 30, pp. 9-34, Verlag Chemie, GmbH, Weinheim (1979)].

A "cink a vízben" korróziós rendszerben az oxigén és a szénsav magas koncentrációja, valamint a kloridok, szulfátok és nitrátok magas sókoncentrációja továbbra is korróziófaktor szerepet játszik. Egy hidrogénbontó ásványi savakkal végzett iskolai kísérletben, a példában 1 mol/l hígított sósav (HCl) esetén a reakció (a 4.1. ábrán) azt mutatja, hogy milyen gyorsan és mennyi hidrogén (H_2) keletkezik, ha cinklemezeket helyezünk a hígított HCl-oldatba [www.seilnacht.com/Lexikon/reaktge.htm 2018.06.12-től]:



A sósav koncentrációja kezdetben 0,2 mol/l*percenként csökken. A H_2 -termelés sztöchiometrikan arányos a cink oldódásával. Ez függ a reaktánsok koncentrációjától (a cinkpor esetében nagyobb lesz a cinklemezhez képest nagyobb felület miatt).



4.1. ábra Hidrogénképződés HCl-oldatból cinklemezzel behelyezve

[<http://www.seilnacht.com/Lexikon/reaktge.htm> from 12/06/2018]

A horganyzott csövek kora (a telepítés időtartama) és a víz stagnálása a horganyzott csövekben hatással van a víz cinkkoncentrációjára. Egyrészt korrózió következik be, másrészt fedőréteg képződik: Rückert (1979) megállapította, hogy a pH-tól független oxigéntartalom és az áramlási sebesség kezdeti korrózióhoz vezet, de nagyon rövid idő alatt mikroszkopikus cink-hidroxidréteg képződik, ami a korróziós sebesség erőteljes csökkenéséhez vezet. A cink-hidroxidréteg újrafeloldódási sebességét és így a korróziós sebességet később a pH-érték és az áramlási sebesség határozza meg, és ettől függően ennek a cink-hidroxidrétegnek a karbonátosodásával stabilizálják, így a cink további oldódása a cink-hidroxidréteg/vízfázis határán nem következik be.

A cinkionok az úgynevezett "pórusmechanizmus" [Rückert (1979)] révén távoznak a vizes környezetbe. A pórusdiffúzió által meghatározott cserefolyamatok a makroszkopikus rétegben igen összetettek, mivel függnek többek között a hidrogén és a

hidrogén-karbonátionok dinamikájától függ. A korrózió sebessége azonban az idő növekedésével csökken. A végső bevonatrétegek jó hosszú távú védőhatásához feltételezik, hogy az átalakulás, azaz a cink lebomlása a makroszkopikus primer rétegben olyan lassan megy végbe, hogy az oldott cinket tartalmazó anyagot a víz alkotórészeinek kalcium, szilícium, foszfor és a csőanyagból származó vas vegyületei egymás után fel tudják váltani, így egy sűrű, szilárdan tapadó bevonatréteg marad fenn - ez az eset azonban alacsony pH-értékeknél nem adott [Rückert (1979)]. Ez a hatás felerősödik, ha a pórusokat a víz alkotórészeinek lerakódása és a vasvegyületek beépülése zárja el, ami különösen magasabb kiindulási pH-értékeknél figyelhető meg.

Az áramlási sebesség hatása a korróziós folyamatokra, a felületi réteg kialakulására és átalakulására idővel olyan mértékben csökken, hogy a növekvő felületi réteggel járó pórustranszportfolyamatok sebességmeghatározóvá válnak, mivel a folyadék diffúziós rétegében bekövetkező változásoknak csak kisebb hatása van a transzportfolyamatokra, szemben a felületi réteg sokkal nagyobb gátlásaival.

Esettanulmány (4.1. táblázat):

Rinck [Rinck, A.: *Über die Brauchbarkeit massiver Zinkrohre für Wasserleitungszwecke*, Zeitschrift für Untersuchung der Nah- rungs- und Genussmittel, lásd még *Angewandte Chemie*, Volume 27, p. 72-75, online megjelent: 18 January (2006)] egy 48 cm hosszú, 26 mm széles és 3 mm átmérőjű köpenyátmérőjű cinkcső levágott darabját használta a cinkcsőből történő cinkkivonás vizsgálatára. A cinkcsövet kívülről és belülről mechanikusan tisztították, amíg fényes fémfelületet nem kapott, majd egy egyliteres, üvegdugóval ellátott hengerbe helyezték és vízzel leöntötték. Az idő, amely alatt a víz érintkezett a cinkcsővel, 1, 2 és egyszer 8 nap volt. Minden vizsgálat előtt a külső felületeket ismét fényesre csiszolták, hogy a fém fényes legyen, és így eltávolítsák az esetleges fedőrétegeket (egy vizsgálati tételben a dörzsölést kihagyták, hogy megállapítsák, hogy a kialakult réteg hatással van-e a leválási viselkedésre).

4.1. táblázat Cinkfelszabadulás cinkcsőből (kolorimetriásan meghatározva) [Rinck, A. (2006)].

Nyomozás	Típusa használt Víz	Időtartam napokban	Cink [mg/L]
1	Desztillált víz	1	20
2	Csapvíz a városi vízművekből kes (7,4 dH)	1	12
3	Szénsavas víz	1	150
4	Desztillált víz	2	50
5	Csapvíz a városi vízművekből kes (7,4 dH)	2	14
6	Szénsavas víz	2	280
7	Csapvíz a városi vízművekből kes(7,4 dH)	8	20

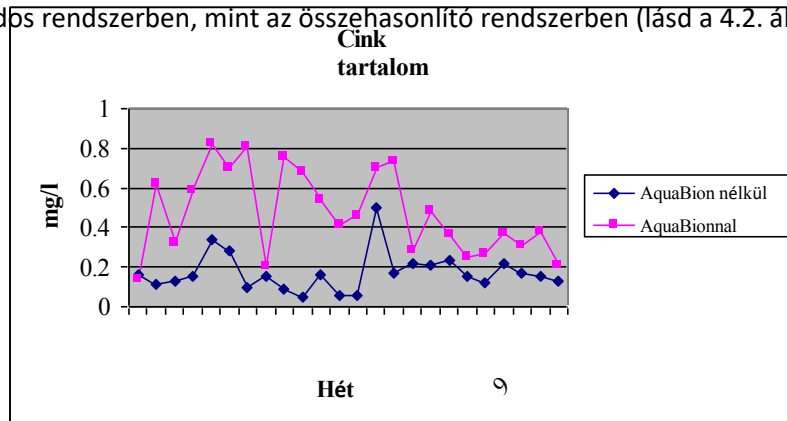
A 4.1. táblázat a következőket mutatja:

1. Az oldott cink mennyisége az expozíció időtartamával nő, de nem arányosan.
2. A szabad szénsav növekedésével a cink oldhatósága is nő.
3. Hosszabb expozíció esetén fedőréteg-rendszer alakul ki, amely csökkenti a cink oldhatóságát.

4. A desztillált víz nagyobb mennyiségű cinket old fel, mint a csapvíz, annak ellenére, hogy eredetileg nem tartalmaz szén-dioxidot, és pH-értéke 7-es. A desztillált víz azonban a környezeti levegővel érintkezve azonnal CO_2 -t vesz fel, és a pH-értéke gyorsan 5 körüli értékre csökken.

Az 50 mg/l körüli cinktartalomtól kezdve a víz opálos vagy tejszerű zavaros megjelenésű volt. Egy év alatt a cink oldhatósága 2-3 mg/literre csökkent, amikor a víz hosszabb ideig állt a csőben [Rinck, A. (2006)].

Woon, K.H. és C.X. Qi 2007-ben vizsgálta [A Study of Effectiveness of Galvanic Water Treatment, Singapore Polytechnic School of Building Environment Diploma Work]. 2007-ben [A Study Effectiveness of Galvanic Water Treatment, Singapore Polytechnic School of Building Environment Diploma Work] Woon, K.H. és C.X. Qi 9 héten keresztül vizsgálta a cinkszintet két vízkeringtető rendszerben (AQUABION®-val és anélkül), és azt találták, hogy a cinkkoncentráció mindig magasabb volt az áldozati anódos rendszerben, mint az összehasonlító rendszerben (lásd a 4.2. ábrát).



4.2. ábra A cinkkoncentráció alakulása két azonos vízkörforgató rendszerben áldozati anódrendszer nélkül és áldozati anódrendszerrel (AQUABION®) [Woon, Qi (2007)].

5 Vízkörforgási rendszerek - vízkőlerakódási és biofouling folyamatok

A hűtővíz-keringtető rendszereket az jellemzi, hogy két meghatározó bemenettel rendelkeznek (lásd az 5.1. ábrát):

1. a pótvízbevitel és
2. a bemeneti környezeti levegő.

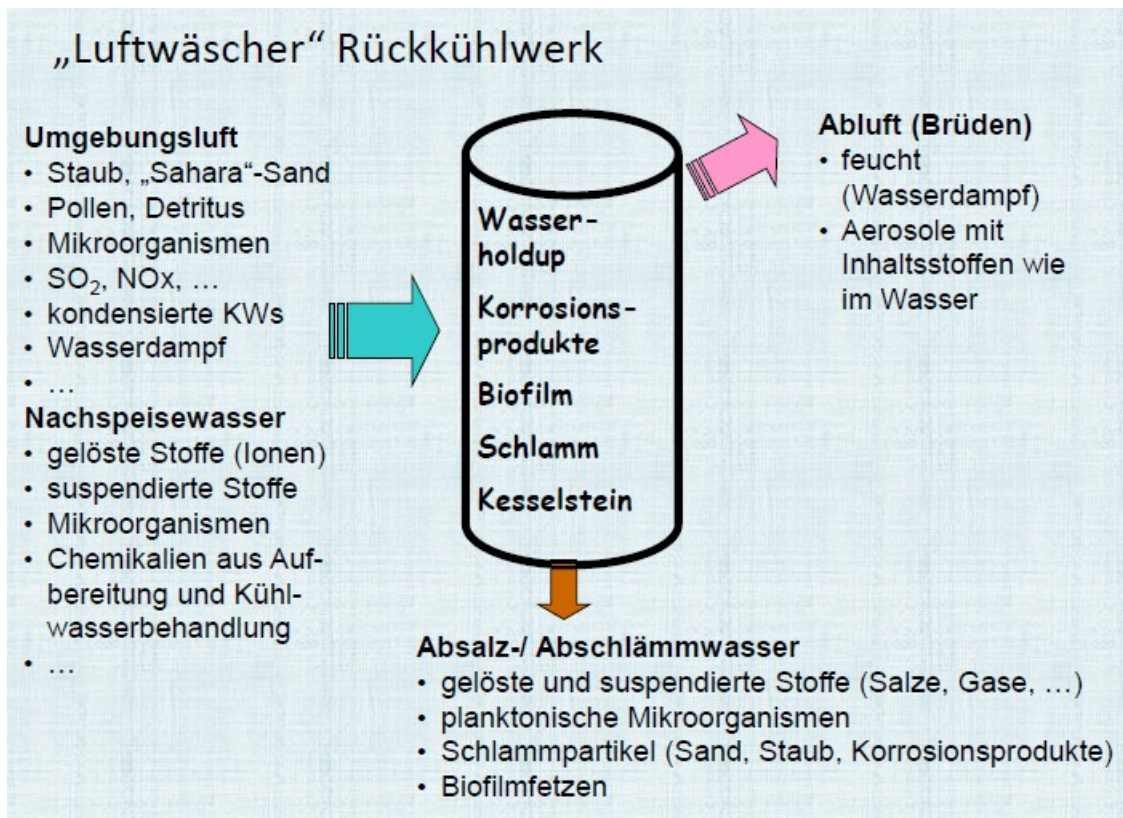
Egyébként a nyitott visszahűtőegységekkel ellátott hűtővíz-keringtető rendszerek a környezeti levegő légmósinak tekinthetők [Kunz, P.M.: Legionella, TAE szeminárium a visszahűtőegységekről (2017. január).

A hűtés olyan termodinamikai folyamat, amelynek során egy rendszerből hőt, azaz hőenergiát vonnak el, ami hideget eredményez. A hő átadódik a környezeti levegőnek (a hőátadó közegnek). Számos ipari folyamat során a technológiai hő átkerül a hőátadó közegbe, a vízbe, amelyet aztán egy visszahűtő berendezésben levegővel hűtenek, hogy a ciklusban a hőátadó közeg vizet többször is felhasználják. Költségek miatt a visszahűtő rendszert gyakran nyíltan, hűtőtornyon keresztül működtetik.

A felhasznált víz minősége határozza meg a nyitott visszahűtő rendszer működtetéséhez szükséges erőfeszítést; a rendszer azonban egy másik bemeneti tényezővel is rendelkezik: a környezeti levegővel. A hűtőtorny "sajnos" egyben környezeti levegőmosó is. Ezért a környezeti levegőből folyamatosan gáz- és szilárd anyagok kerülnek a visszahűtőrendszerbe. A nyitott visszahűtő berendezés üzemeltetőjének ezért mindig el kell végeznie a hűtővíz kezelését. A nem vízgőzből származó illékony anyagok a víz elpárolgása révén koncentrálnak a vízben. Ezért gyakran adnak hozzá olyan anyagokat, amelyek megakadályozzák a vízkőlerakódást (= kéregképződés a hőcserélő felületén). A legtöbb esetben ezért a hűtővíz egy bizonyos részét is leengedik (sózzák), és friss

pótvízzel helyettesítik.

kicsérélődik. Ezenkívül korróziógátló szereket adnak a fém csővezetékek védelmére, és tartósítószerket adnak a hőcserélő felületein a biofilm növekedésének korlátozására, mivel ez akadályozza a hőátadást.



5.1. ábra: Leltár input-output elemzés egy hűtőtornyhoz [Kunz, P.M. (2017)]

Ahol a víz nyomokban szerves és szervetlen anyagokkal terhelt, ott a kemo- és fotoszintézis folyamatok elkerülhetetlenül élénk mikroorganizmusok fejlődéséhez vezetnek, ami a nyitott hűtővízrendszerekben vizuálisan is látható, szép "zöld-barna" színben.

"biofilm" ismerhető fel: ezt nevezzük biofoulingnak (lásd az 5.2. a és b ábrát).



5.2. a és b ábra: Biofilmek a visszahűtőműben és a visszahűtőműben [Kunz, P.M. (2017)]

A vízkő és a biofouling a hőátadási teljesítmény csökkenéséhez vezet, a biofilmek pedig fészkelőhelyként szolgálnak a kórokozók számára, különösen a veszélyes legionella baktériumoknak, amelyek a gőzzel együtt terjednek a dolgozók munkahelyein, és a környezetben is elterjednek, ha nagy tömegben halmozódnak fel a visszahűtőrendszerben.

A biofilm kialakulásának előfeltételei egyrészt a mikroorganizmusok jelenléte (ezek a pótvízből, de főként a levegőből származnak (lásd az 5.1. ábrát), másrészt az energia- és építőanyagforrások (amelyek szintén a levegőből, de magából a vízből és a pótvízkezeléshez vagy a hűtővízkör vízkezeléséhez használt vegyszerekből is származnak). Harmadszor, meg kell jegyezni, hogy az ökológiai peremfeltételeknek lehetővé kell tenniük a növekedést. A nyitott hűtővízrendszerekben általában minden összetevő jelen van ahhoz, hogy a vízkő és a mikrobiális kolonizáció kialakulhasson:

A mikroorganizmusok mindig élnek a nyitott hűtővízkörökben - mind az áramlási fázisban, mind a holt terekben és a csővezetékek falán, az áramlási eltérésektől függően többé-kevésbé vastag biofilmekben. A tápanyagok elérhetőségétől függően szaporodnak, a biocidok használatának típusától és gyakoriságától függően pedig "stressztűrőbbé" válnak - és nem lehet őket "minimalizálni". Mindannyian, akik naponta (többször is) fogat mosunk, tudjuk, hogy a meglévő biofilmet nem lehet teljesen eltávolítani a rendszerből (mint a fogmosásnál: a vegyi anyagok (fogkrém), a mechanika (kefe) és az áramlás (öblítés és szájöblítő) ellenére sem).

Az autotróf mikroorganizmusok energia- és építőanyag-szükségletüket a fotoszintézis során fényenergia elnyelésével és szén-dioxid asszimilálásával fedezik, míg a heterotrófok szerves táplálékot vesznek fel és hasznosítanak, ami összetett, többnyire kapcsolt átalakítási folyamatokkal jár. Ezek a különböző sejtes életformákban túlnyomórészt azonos vagy hasonló elvek szerint zajlanak. Energia- és építőanyag-ellátásuk tekintetében azonban alapvető különbségek vannak, amint azt az 5.1. táblázat is világossá teszi: A biomassza szerves anyag nélkül is felépíthető vízben, amennyiben a CO₂ rendelkezésre áll.

az.

5.1. táblázat: A mikroorganizmusok táplálkozási módjai

Diéta	Energiaforrás	Hidrogénforrás	Építőanyagforrás
kemo-organo-heterotróf	szerves anyag	szerves anyag	szerves anyag
fotolito-autotróf	Fény	H ₂ O, H ₂ S	CO ₂
kemo-lito-autotróf	szervetlen anyag	szervetlen anyag	CO ₂
fotoorgano-autotróf	Fény	szerves anyag	CO ₂

A kemolitho-autotróf baktériumok szervetlen oxidálható vegyületeket, például szén-monoxidot, szulfidot, ammóniumot és nitritet, kétértékű vasat és hidrogént használnak energiaforrásként, miközben a szén-dioxidot szerves szénvegyületekké redukálják a belőlük nyert energiával. Ennek az anyagcserének a végtermékei szulfát, nitrát, háromértékű vas és víz, valamint szerves biomassza. Az így felépített szerves vegyületeket aztán a heterotróf mikroorganizmusok ismét hasznosíthatják, így a biomassza folyamatos növekedése várható. Érdekeség, hogy a heterotróf és autotróf szervezetek mellett vannak olyan fajok is, amelyek képesek mixotróf módon CO₂-t és acetátot hasznosítani (*Nitrobacter*, *Desulfovibrio vulgaris*). Nem minden szervezet képes azonban a növekedéshez szükséges összes vegyületet (vitaminok, purinok vagy piramidinok) saját maga szintetizálni, ilyenkor más szervezetek jelenlététől függenek. Ez a folyamat valójában csak akkor korlátozódik, ha egy alapvető tápanyagkomponens (szén, nitrogén vagy foszfor) kimerül.

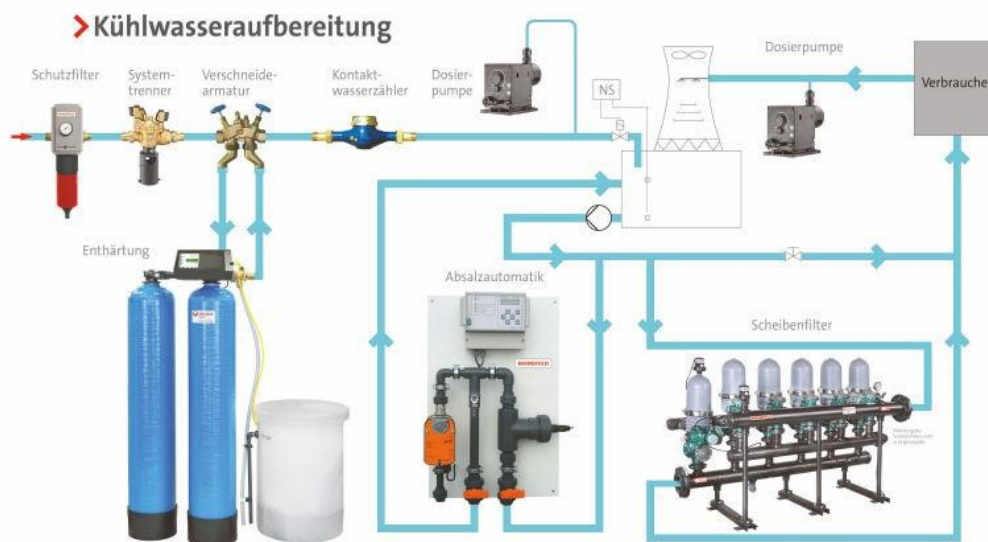
A biofilmek kialakulása a felületeken azonban nem magyarázható egyetlen mechanizmussal. A növekedést három összetevő határozza meg:

- Mikroorganizmusok (faj, mikrobiális összetétel, sejtek száma, növekedési fázis, tápláltsági állapot, felületi töltés, hidrofóbitás).
- Felület (kémiai összetétel, felületi feszültség, felületi töltés, érdesség, hidrofilitás).
- Víz (hőmérséklet, pH-érték, oxigénkoncentráció, redox-potenciál, szerves és anorganikus összetevők, viszkozitás, felületi feszültség, áramlási viszonyok).

A vízkörforgató rendszerek mikrobiális megtelepedésének megelőzése, megakadályozása vagy legalábbis korlátozása érdekében a mikroorganizmusok ellen ma is küzdöttek és küzdenek; a vízhez - hol folyamatosan, hol időszakosan - számos antimikrobiális anyagot adnak [lásd KUNZ, P.M. és G. FRIETSCH. Mikrobicid anyagok a biológiai szennyvíztisztító telepeken. Springer-Verlag (1986)]. Ha egy rendszerben egyszer kialakult egy biofilm, lehetetlen megszabadulni tőle. A biofilmes organizmusok sokkal kevésbé érzékenyek a biocidokra, különösen a bennük vagy konzorciumokban lévő sejtek védettek.

- A mikroorganizmusok a biofilmben védve vannak.
- A túlélő mikroorganizmusok újra megfertőzik a rendszert.
- Az elpusztult mikroorganizmusok táplálékforrást képeznek más mikroorganizmusok számára, és a növekedés alapját képezik.

Ma már ismert, hogy a legionellák makrofágokban (anaerob módon) jól tudnak növekedni és szaporodni, mivel a makrofágok lízisre ható emésztőanyagai nem támadják meg őket. A hűtővíz-keringtető rendszerek hőmérséklete gyakran olyan, hogy a legionellák jól tudnak szaporodni (45 °C körül).



5.3. ábra: A hűtőkör diagramja a hűtővíz kezelésével együtt

[http://www.veoliawatertechnologies.de/wasseraufbereitung/anwendungen/kuehlwasser_klimawasser/ from 22/06/2018]

A "Warsteinben" legalább két halálesettel járó legionellózisos megbetegedési hullám oka az eddigi megállapítások szerint egy warsteini fémipari vállalat visszahűtő üzeme, amelyet a Wester folyóvízzel tápláltak, és amelybe a helyi sörgyár szennyvíztisztítójából származó aeroszokok kerültek [https://www.wp.de/staedte/warstein-und-umland/legionellen-experte-exner-hofft-auf-erkenntnisse-fuer-die-wissenschaft-id8484786.html 2018. június 22-től]. A vizsgálatok egyértelműen kimutatták, hogy a visszahűtőműből származó legionella baktériumok genetikailag azonosak voltak a betegséget okozó baktériumokkal. Ezért egyértelmű, hogy a visszahűtőműből származó szennyezett aeroszokok okozták a megbetegedéseket. Minden érintett számára érdekes lehet, hogy a vállalat visszahűtő üzeme mind a környezeti levegőn keresztül (lásd fentebb), mind a folyóvízzel, mint pótvízzel fertőződött Legionellával. A legionella baktériumok elszaporodtak a hűtőrendszerben, majd az aeroszokokon keresztül a gőzökben is elterjedtek.

Valóban vannak módok arra, hogy a visszahűtő üzemeket ellenőrzés alatt tartsuk:

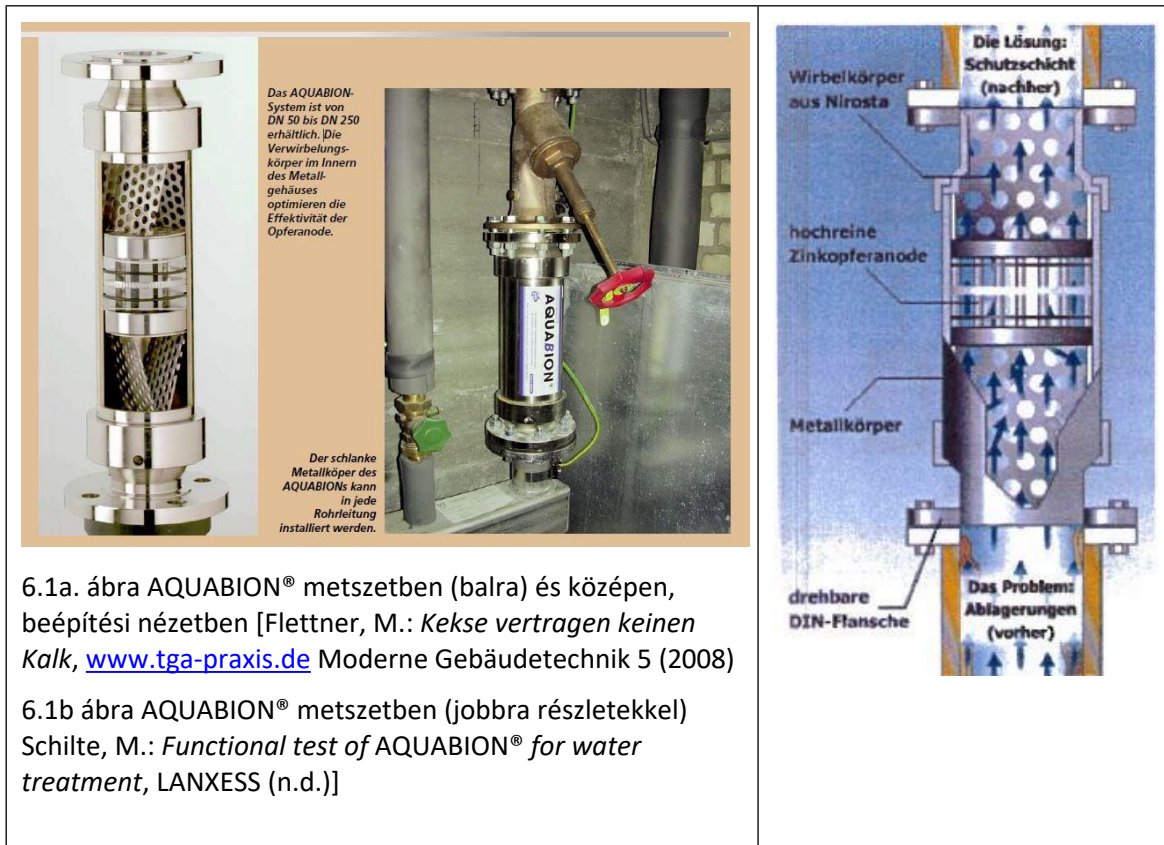
1. A VDI 2047-2-t elfogadják és követik.
2. A biomassza/biofilmképződési potenciált pedig biofolyamat-technikai intézkedésekkel csökkentik [Kunz, P.M.: Mikrobiologische Aspekte bei mehrfach verwendeten Betriebswässern im Handwerk, Gewerbe und in der Industrie. DWA Higiéniai Nap 2016]

6 Az AQUABION® elve

Az AQUABION® egy belső galvanikus elemmel ellátott elektrolízis nélküli csőszerelevény, amely egy cink-áldozati anódból cinkionokat bocsát ki a rajta átfolyó vízbe (lásd a 6.1. ábrát).

Működési elve a külső áram nélküli katódos korrózióvédelem mechanizmusán alapul. A cél általában a vízzel érintkező fémek rozsdásodás elleni védelme (mint például a vízforrásokban). A fent leírtak szerint egy kevésbé nemes fémet használnak, amelyet feláldoznak az értékesebb fémetért.

Amikor két ilyen különböző fémtestet egy víztömegben keresztül érintkezésbe hoznak, áram folyik, amelyet az áldozati anód oxidációjának RedOx reakciója táplál. Az áram mindössze néhány milliamper.



6.1a. ábra AQUABION® metszetben (balra) és középben, beépítési nézetben [Flettner, M.: *Kekse vertragen keinen Kalk*, www.tga-praxis.de Moderne Gebäudetechnik 5 (2008)

6.1b ábra AQUABION® metszetben (jobbra részletekkel) Schilte, M.: *Functional test of AQUABION® for water treatment*, LANXESS (n.d.)]

A reakció a következőképpen zajlik (a Zn-Fe példáján keresztül magyarázva): Zn^{2+} vagy Fe^{2+} oxidálódik. Ez 1,9 V potenciálkülönbséget eredményez a cink és a vas között (standard potenciálok 25 °C-on; 101,3 kPa; pH = 0; ionaktivitás = 1) a fent bemutatott feszültségsorozatnak megfelelően (lásd a 2. ábrát). Mivel a cink a hidrogénnel szembeni -2,38 V-os potenciálkülönbséggel lényegesen negatívabb potenciállal rendelkezik, mint a vas a -0,44 V-os értékével, a cink az anódon oxidálódik, a vas pedig elektronokat felvéve redukálódik. Az elektronok most H_2 -re és 2 OH-ra bontják a vizet. A vas nem változik, mivel a cink által felszabaduló elektronokat el tudja nyelni. A cink viszont lassan oldódik.

Az AQUABION® esetében a sárgaréz ház és a cink áldozati anód közötti vezető kapcsolat az áramló vízzel jön létre: itt a víz összetételétől függően kb. 0,7-1,0 volt cellafeszültségű galvánelem jön létre [Werner, A. *Untersuchungen zur Wirksamkeit der chemischen und physikalischen Wasserenthärtung*, Facharbeit Alexander-von-Humboldt-Gymnasium Schweinfurt, Kollegstufe 2008].

Amint a 6.1b. ábrán jobbra látható, a cink áldozati anód előtt és után rozsdamentes acél (rozsdamentes acél) turbulenciatesteket szerelnek fel. Ezeket úgy tervezték, hogy felkavarják a vízben lévő lebegő részecskéket és koptatják a cink áldozati anódot. Ennek célja, hogy nagy érintkezési felületet hozzanak létre és tartsanak fenn.

Nem zárható ki, hogy a turbulens testek galvánelemet is képeznek az áldozati cinkanóddal.

7 AQUABION® cinkfelszabadítással kapcsolatos vizsgálati eredmények

A következőkben az AQUABION® készülékkel végzett saját vizsgálati eredményeinket mutatjuk be, amelyeket más kutatócsoportok munkái egészítenek ki.

7.1 Vizsgálati eredmények az IBV-nél az AQUABION® segítségével történő cinkfelszabadításról [Kunz P.M., I. Sommer: "*Untersuchungen zur Zink-Abgabe eines Opferanodensystems*, Ergebnis-Bericht STZ- IBV (vom 28.03.2008)].

- Összefoglalva megállapítható, hogy az AQUABION® jelentős mértékben bocsát ki cinket a közegbe, amire ebben a nagyságrendben nem számítottunk: 4 hónapos működés után még mindig 0,9 mg/L*d körül volt a keringetett vízben.
- Megerősíthető, hogy a keménységképző anyagok (ebben az esetben CaO) úgy vannak befolyásolva, hogy nem rakódnak le jelentősen a fűtőfelületeken.
- Úgy tűnik - a felületek idővel történő passzíválódása és így a közegben végbemenő ellentétes folyamatok miatt nem lehet véglegesen kijelenteni -, hogy a keménység és a pH-érték növekedésével több cink kerül a közegbe.

Annak érdekében, hogy az AQUABION® cinkfelszabadulásának különböző technológiai peremfeltételek mellett történő megalapozására a 7.1-1. táblázatban bemutatott vizsgálat sorozatot végezték el a lehetséges cinkbeviteli források (a szivattyú fémtengelye, a pH-mérő szonda fém hőmérője, a deionizált víz cinktartalmának ingadozása stb.) hatásának meghatározására. Az alábbiakban néhány mennyiségi eredményt vázolunk fel.

7. 1-1. táblázat Az előzetes vizsgálatok áttekintése [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

Vizsgálati szám	Nyomozás	Eredmény
U-1	Elemezze a demineralizált vizet cinktartalom és keménység szempontjából.	A felhasznált demineralizált víz cinktartalma és keménysége.
U-2	A keménység fok mesterséges beállítására vonatkozó vizsgálatok	CaO-val mesterségesen lehet beállítani a keménység mértékét. A CaO-nak a CO ₂ befecskendezhető.
U-3	Cinkbetét az AQUA- BION® acél csőcsatlakozásokkal történő beépítéskor	Az acél hatalmas mennyiségű cink bejutását okozza a rendszerbe.
U-4	A cinkbevitel vizsgálata rézcsövek használata esetén és Műanyagok AQUABION® nélkül	Az által, hogy acélcsövek helyett rézcsöveket használunk, a perip- a cinkbevitel csökkenthető.
U-5	A demineralizált víz elvonási idejének hatása a cinktartalomra	Az elvonási idő nincs hatással a demineralizált víz cinktartalmára.
U-6	A fém hőmérő és a szivattyú hatása a cink bemenetére	Az üzembe helyezés során jelentős mennyiségű cink kerül a rendszerbe (fémhőmérő használata és a szivattyú futási ideje a vizsgálat megkezdése előtt). Ez szükségessé teszi a kezdeti cinktartalom ellenőrzését minden esetben, mielőtt minden egyes vizsgálatról.
U-7	Az AQUABION® cinkbevezetése rézcsövekhez csatlakoztatva	A cink bevitele a mg-os tartományban van, így a cinkkoncentráció meghatározása a küvettás vizsgálatokra van lehetőség.

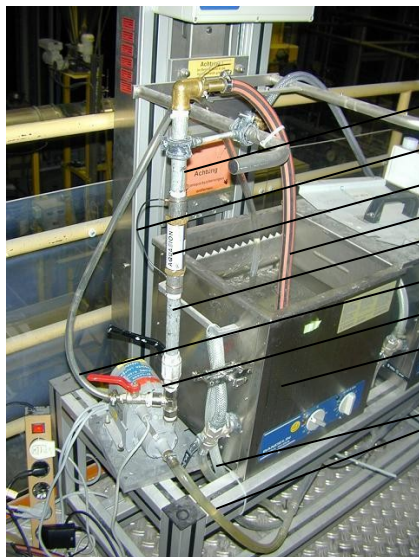
A cinkfelszabadulás vizsgálata az AQUABION® acél csőcsatlakozásokkal történő beépítésekor

A 7.1-1. ábra mutatja a vizsgálati elrendezést: az AQUABION®-t két rövid acélcsődarab és több sárgaréz csatlakozó segítségével szerelték fel. 10 liter lágyított demineralizált vizet egy hőfürdőben egy meghatározott ideig szivattyúztunk (lásd a 7.1-2. táblázatot). Ezután a víz cinktartalmát HACH-LANGE küvettás tesztekkel határozták meg.

7.1-2. táblázat Az AQUABION® cinkbehatolásának vizsgálati eredményei acél csőszakaszokkal való beépítés esetén [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

A vizsgálat időtartama	Cink (mg/L)
1 nap pH 6, 40°C és 9,6°dH mellett	9,69
1 nap pH 6, 40°C és 13,6°dH mellett	10,9
1 nap pH 6, 40°C és 19,2°dH mellett	7,86
1 nap, csak demineralizált víz	3,07
4 nap, csak demineralizált víz	6,17

Az eredmények azt mutatták, hogy az AQUABION® acélcsövekkel és sárgaréz csatlakozókkal való összekapcsolása a szivattyúzott vízbe nagy mennyiségű cink bevitelét eredményezi, amely nem feltétlenül csak az AQUABION®-ból származik.



- Acélcső túlfutási potenciál kiegyenlítés
- AQUABION®
- Szivattyú leeresztő acélcső áramlási bypass
- Szivattyú Rozsdamentes acéltartály (ultrahangos tartály) Szivattyú bemeneti nyílása

7.1-1. ábra: Vizsgálati elrendezés AQUABION® + acél csőcsatlakozásokkal [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

A cinkfelszabadulás vizsgálata rézcsövek és műanyag csatlakozások használata esetén (AQUABION® nélkül)

A tartályként egy 20 literes üvegakváriumot használtak, amelyet 10 liter keményített deionizált vízzel töltöttek fel. A pH-értéket 6,0-ra állítottuk be HCl-lel, a vizet külső fűtőfürdő segítségével 40 °C-ra melegítettük, majd a vizet 23 órán keresztül szivattyúval körbe-körbe pumpáltuk. A szivattyú áramlási sebessége 2,5 L/perc (150 L/h) volt. Ezután meghatároztuk a víz cinktartalmát.

Az eredmények - amelyeket a 7.1-3. táblázat mutat - azt mutatják, hogy a vizsgálati elrendezés nem volt hatással a víz keménységére, de a cinktartalom 0,53 mg/l-rel nőtt. A vezetőképesség kb. 10 µS/cm-rel nőtt, míg a pH-érték 6-ról 4-re csökkent. A vezetőképesség kb. 10 µS/cm-rel nőtt, míg a pH-érték 6,1-ről 4,8-ra csökkent.

7.1-3. táblázat A cink bejutására vonatkozó vizsgálat eredményei rézcsövek és műanyag csatlakozók használata esetén AQUABION® nélkül

Idő pont	pH	Vezetőképesség [µS/cm]	Hőmérséklet [°C]	Cink [mg/L]	Keménység	Ca [mg/L]	Mg [mg/L]

					[°dH]		
--	--	--	--	--	-------	--	--

[h]							
0	6,1	39,1	39,7	< NG (0.156)	0,85	6,0	< NG
0,5	5,7	39,4	41,2	-	-	-	-
1,0	5,3	39,9	42,0	-	-	-	-
1,5	5,2	40,5	42,0	-	-	-	-
2,0	4,9	41,0	41,6	-	-	-	-
22,0	4,8	49,7	39,8	-	-	-	-
23,0	4,8	49,7	39,5	0,688 (kettős meghatározás)	0,86	6,1	< NG

A pH-érték csökkenése a levegőből származó CO₂ kioldódásával magyarázható. Acélcövek helyett rézcövek használatával a perifériás cinkbevitel jelentősen csökkenthető. A fém hőmérő és a szivattyú hatását a cinkbevitelre 0,04 mg Zn/d-ben határozták meg.

A cink behatolásának vizsgálata rézcövek és műanyag kötések használata esetén AQUABION® -val

Ezután az AQUABION®-t a 20 literes akváriummal összekötött csőrendszerben a két rézcsőcsatlakozással együtt telepítették a rendszerbe, és a tesztsorozat folytatódott. (Ekkor az AQUABION® már 2 hete működött, így a kezdeti korrózió miatti kezdeti cinkfelszabadulásnak már le kellett volna zárulnia. Továbbá a pH-mérő hőmérője e tesztsorozat során 23 órán át volt a tesztsomóban. A hőmérő nélkül a pH-érték beállítása után a 7.1-5. táblázatban megadott értékeket mértük.

7.1-4. táblázat A cink behatolásáról szóló tanulmány eredményeirézcövek és AQUABION® műanyag kötések használata esetén [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

Időzítés [h]	pH []	Vezetőképesség [µs/cm]	Hőmérséklet [°C]	Cink [mg/L]	Keménység [°dH]	Ca [mg/L]	Mg [mg/L]
0	6,1	39,1	39,7	< NG (0.156)	0,85	6,0	< NG
0,5	5,7	39,4	41,2	-	-	-	-
1,0	5,3	39,9	42,0	-	-	-	-
1,5	5,2	40,5	42,0	-	-	-	-
2,0	4,9	41,0	41,6	-	-	-	-
22,0	4,8	49,7	39,8	-	-	-	-
23,0	4,8	49,7	39,5	0,688 (kettős meghatározás)	0,86	6,1	< NG

7.1-5. táblázat Az AQUABION® cinkbevitelére vonatkozó vizsgálatok eredményei rézcövekhez csatlakoztatva, a hőmérővel való minimális érintkezési idővel [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

Időzítés [h]	pH []	Vezetőképesség [µs/cm]	Hőmérséklet [°C]	Cink [mg/L]	Keménység [°dH]	Ca [mg/L]	Mg [mg/L]
0	6,0	-	42,6	0,051 < NG	-	-	-
23	5,4	-	39,3	1,11	-	-	-

A vizsgálatok azt mutatják, hogy az AQUABION® 23 órán belül mg-os nagyságrendű cinket szabadít fel. Az első tesztsorozatban mért magasabb érték egyértelműen a mechanikus hőmérőnek köszönhető.

Egyébként nem találtak cinkkomplexet: A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy az oldott cink értékei megegyeztek az összes cinktartalommal.

Analízisek a keringtető rendszerben a beépített AQUABION® réz csatlakozókkal

Az előzetes vizsgálatok során szerzett tapasztalatok alapján a következő eljárást követték a fő vizsgálatok során:

- 1) 6 liter ionmentesített vizet az intézet saját vízellátásából egy külső fűtőfűrdőben elhelyezett üvegakváriumban melegítettek fel a kívánt hőmérsékletre.
- 2) Ezzel párhuzamosan a szükséges mennyiségű CaO-t két 4 literes tételben ioncserélt vízben oldották fel a teljes tétel keménységének beállításához, CO₂-t tartalmazó ioncserélt vízben buborékolással, és szintén a szükséges hőmérsékletre hozták (a CaO-t előzőleg finomra őrölték).
- 3) A kívánt hőmérséklet elérését követően a CaO-oldatot hozzáadták a 6 liter ionmentesített vízhez, és bekapcsolták a szivattyút (a szivattyú kb. 150 l/h teljesítményű).
- 4) A pH-értéket ezután NaOH vagy HCl hozzáadásával állítottuk be. Ehhez egy kereskedelmi forgalomban kapható pH-elektrodát használtunk. Ügyeltünk arra, hogy a pH-méréshez szükséges hőmérőt csak rövid időre merítsék a vizsgálati keverékbe, mivel az is cinket bocsát ki. Emiatt a pH-beállítást 10 perc után törölték, még annak kockázatára is, hogy az elért pH-érték nem felelt meg száz százalékban a célértéknek.
- 5) A tartályt jól lefedték egy fedéllel, hogy a víz elpárolgása miatti koncentrációnak ellenálljanak.
- 6) A pH-érték beállítása után kezdeti mintát vettek, meghatározták a kezdeti paramétereket, és megkezdték a vizsgálati fázist.
- 7) A mintákat 1 óra és 23 óra elteltével vettük, és a következő paramétereket határoztuk meg. A 23 órás minta esetében a maradék térfogatot előzetesen meghatároztuk méréssel, és az elpárolgott vizet ionmentesített vízzel töltöttük fel, csökkentve a 2x100 ml minta térfogatával.

A HACH-LANGE küvettás tesztekkel végzett cink meghatározásokat a rézionok 50 mg/L feletti koncentráció felett megzavarják (a rézcsöveken és az AQUABION® sárgarézön keresztül történő bejutás), amint azt csak később vettük észre. Egy esetben egy hétvége után a mérési eredmények annyira jelentősen eltértek a többitől, hogy ezt észrevettük, és megismételték a teszt sorozatot: e hétvégi hatás nélkül az eredmények ezután illeszkedtek a képbe.

Néhány részletes megállapítás

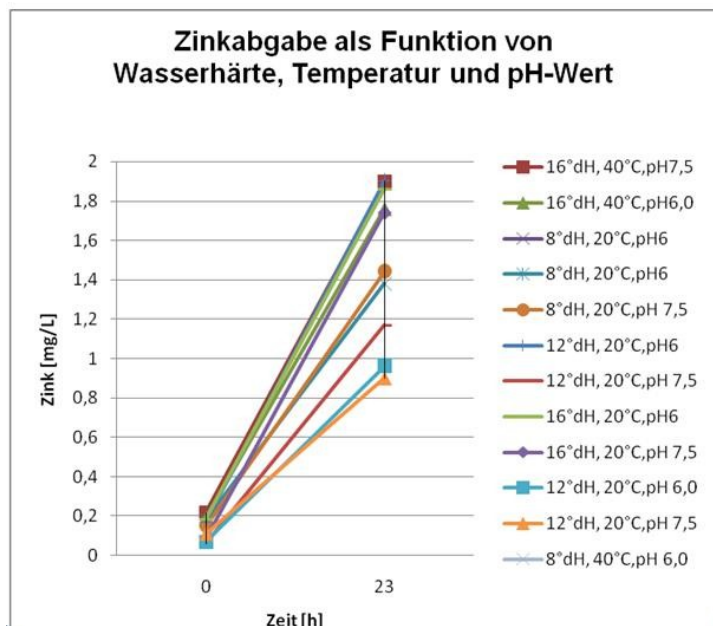
- Az AQUABION® a 23 órás vizsgálati időszak alatt a vizsgálati paraméterektől függően 0,9 és 1,9 mg/l közötti mennyiségű oldott cinket bocsát ki a közegbe (lásd a 7.1-2. ábrát).
- A cink ezekben a vizsgálati paraméterekben nem komplexen kötött.
- A vezetőképesség és a vízkeménység nem változott jelentősen a vizsgálatok során (a vízkeménység ingadozása a legkisebb CaO-részecskék utólagos feloldódásával, illetve a CO₂ kivonásával vagy feloldódásával magyarázható).
- A cink felszabadulása magasabb vízkeménység esetén kissé magasabb (8°dH versus 16°dH).
- A cinkfelszabadulás alacsonyabb pH-értékeknél alacsonyabb volt, mint magasabb pH-értékeknél (lásd a 7.1-3. ábrát).
- Az eredmények azt mutatják, hogy a cink felszabadulása a vizsgálati idő növekedésével enyhén csökken.
- A keménység nem változik a vizsgálati körülmények között a vizsgálatok során.
- A cinkfelszabadulás a keménységgel együtt nő (lásd a 7.1-4. és 7.1-5. ábrát).

Körülbelül 6 hét leállás után az AQUABION®-t újra üzembe helyezték, és a cinkfelszabadulás ellenőrzésére használták:

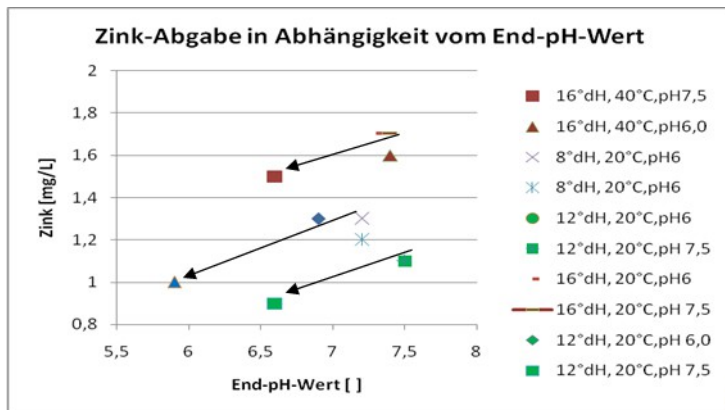
pH = 6,0

Keménység = 16 °dH

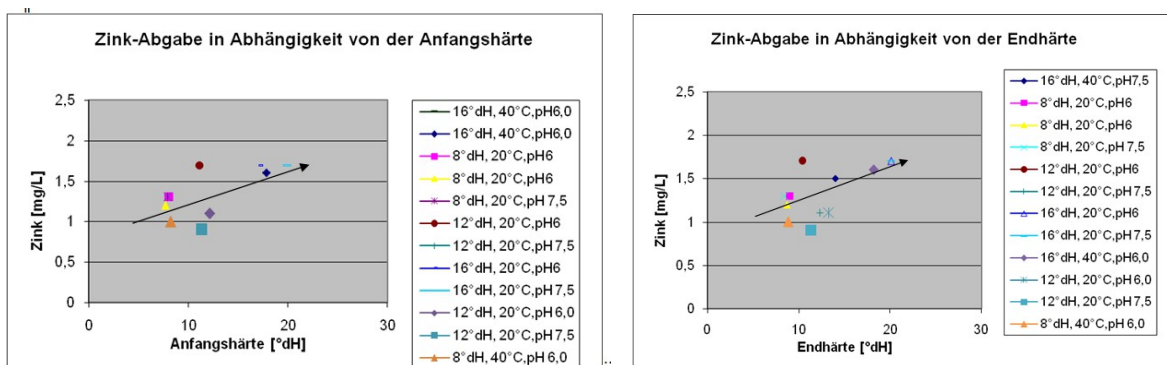
(lásd a 7.1-6. táblázatot és a 7.1-6. ábrát). Az eredmények azt mutatják, hogy a keménység már az elején 1,5 °dH-val csökkent, míg a pH-érték szinte állandó maradt.



7.1-2. ábra: Cinkfelszabadulás a vízkeménység, a hőmérséklet és a pH-érték függvényében



7.1-3. ábra Cinkfelszabadulásvégső pH-érték függvényében [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

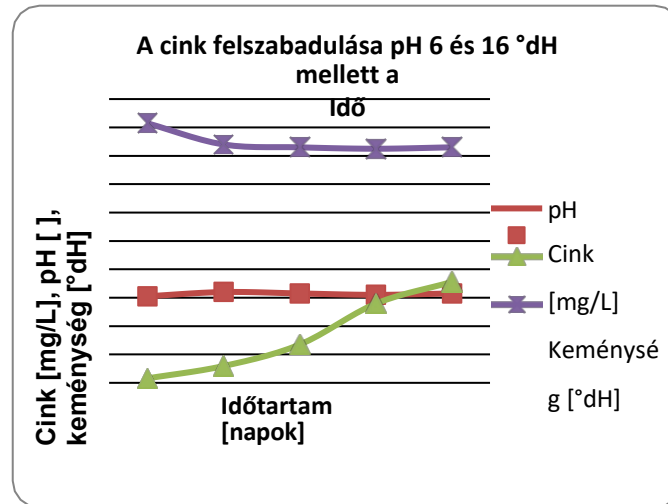


7.1-4+ 7.1-5 ábra Cinkfelszabadulás a kezdeti és a végső keménység függvényében

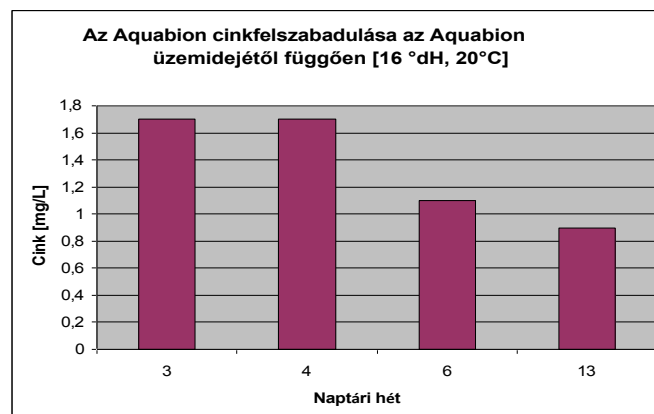
A keménység változása feltehetően a CaO teljes feloldódásának problémája miatt következik be (a legkisebb fel nem oldódott részecskék is magasabb eredményt adhatnak az analízisben). A cink oldódása 11 nap alatt szinte állandó volt, és összesen 0,9 mg/L oldott cinket tett ki naponta. Ha ezt az értéket összehasonlítjuk az azonos keménységi és pH-érték paraméterekkel végzett korábbi vizsgálatokkal, a 7.1-7. ábra azt mutatja, hogy minél tovább fut az AQUABION®, annál kevesebb cink szabadul fel a közegben.

7.1-6. táblázat CinkfelszabadulásAz AQUABION® használata hosszabb élettartam után (üzemidő 11 nap, pH 6, 16°dH, 20°C) [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

Nap	pH	Cink [mg/L]	Keménység [°dH]	Hőmérséklet [°C]
0	6,1	0,312	18,3	19,5
1	6,4	1,18	16,8	23,1
3	6,3	2,69	16,6	21
8	6,2	5,58	16,5	21,5
11	6,3	7,11	16,6	23,2



7.1-6. ábra Acinkfelszabadulás és a keménység alakulásaüzemidő növekedésével (üzemidő 11 nap, pH 6, 16°dH, 20°C) 6 héttel az első teszt sorozat után [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].



7.1-7. ábra Az AQUABION® cinkfelszabadulásaaz AQUABION® futási idejének függvényében [16 °dH, 20°C] [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].

A korábban AQUABION®-mal kezelt víz elpárolgásából származik.

- Amikor a kezelt víz elpárolgott, a szilárd felületeken szinte egyáltalán nem képződött vízkő.

Minden esetben 1,5 liter 1. tétel 16°dH, pH 7,5, 20 °C és 2. tétel 16°dH, pH 6,0, 40 °C < 1,5 literét párologtatták el 2 új merülőfűtő segítségével, hogy szimulálják a hőcserélőt. A következő súlynövekedéseket határoztuk meg a merülőhevítőnél:

1. készítmény: 0,08 g (20°C)
2. készítmény: 0,06 g (40°C)

Eredetileg 1,6 g CaO/10 litert mértek be, azaz összesen 0,24 g CaO-t 1,5 literenként.

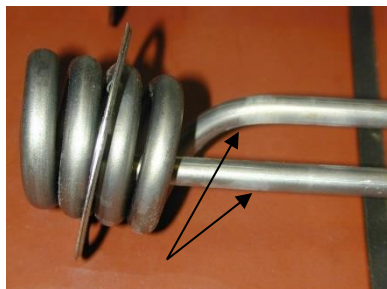
Az eredmények azt mutatják, hogy csak nagyon kevés mészkő rakódott le a merülő fűtőtesteken. A legtöbbje a párolgás után a főzőpohár alján volt. Feltűnő volt, hogy magán a főzőpoháron nem képződött mészkő. [Kunz, P.M., I. Sommer (2008)].



7.1-8a ábra:
elrendezés



Merülő fűtőberendezés 7.1-8b ábra: Vizsgálati
a párolgatás előtt



7.1-8c ábra: A 7.1-8d+e ábra
a
Sommer (2008)]



szerinti merülőfűtés:



Mészmaradványok a csésze alján.
párolgási folyamat üveg [minden fotó: Kunz, P.M., I.

7.2 A LANXESS vizsgálati eredményei az AQUABION® [Schulte M., Galvánelem funkcionális vizsgálata vízkezeléshez, LANXESS (n.d.)]

A szemmel láthatóan fényes fűtőrudak vizuális összehasonlítását gyakorlati használatban lévő (hat hónapos) fröccsöntő egységeken végezték. Az AQUABION® fűtőrudak kevésbé erős lerakódásokat mutattak, a lekapart lerakódások vizuálisan egyértelműen különböztek a mennyiség és az összetétel tekintetében (7.2-1. ábra).

Auswertung Heizstäbe



Die nächsten Bilder zeigen die Ablagerungsmenge, die bei der Reinigung von 2 Heizstäben abgefallen ist.



7.2-1. ábra

Leválási mennyiségek a fűtőelemek tisztítása után [Schulte, M. (n.d.)].

7.3 Tanulmányi eredmények a Szingapúri Műszaki Főiskolán a hőcserélők vízkőmentesítéséről az AQUABION® használatával [Min, G.WH. és L.C. Yong: Study of Effectiveness of Galvanic Protection on reducing scaling at heat exchangers, Singapore Polytechnic School of Built Environment, Diplomaterv (2009)].

A szerzők a vízkeringető rendszer tesztjei során azt találták, hogy a fűtőelemek 30%-a korrodálódott az AQUABION® nélkül, míg csak 10%-a, amikor az AQUABION®-t beépítették a rendszerbe (lásd a 7.3a. és 7.3b. ábrán látható vizuális összehasonlítást).



7.3. ábra Fűtőelemek vízkeringető rendszerekben (a: balra: AQUABION® nélkül és b: jobbra: AQUABION®-val) [Min, Yong (2009)].

7.4 Vizsgálati eredmények az IWW-nél hűtővíz-keringető rendszerekben a biofilmek növekedésének csökkentése érdekében az AQUABION® használatával [IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser: Report 10275/2009/21100, S. Schulte, (Jan. 2010)].

Az AQUABION® aktív anódrendszer hatásának vizsgálatához két forgódugattyús reaktort használtak, amelyeket az IWW kiválasztott hűtőkör-rendszereinek gyakorlati körülményei alapján zárt körfolyamatban működtettek. Az AQUABION® rendszert az egyik reaktor körforgásában alkalmazták, míg a második reaktor kontrollként szolgált. A cinkkoncentrációkat az AQUABION® -kal ellátott reaktorrendszer vízfázisában mértük. Ezek azt mutatták, hogy az aktív anódrendszer a teljes vizsgálati időszak alatt cinket (cinket ionos formában) bocsátott ki.

A biofilm jellemzésekor megállapították, hogy négy hét elteltével az AQUABION® rendszerből származó biofilmben felhalmozódott a cink. Az AQUABION® hatása elsősorban a biofilm kialakulását befolyásolta, kevésbé a baktériumkoncentrációt a vízfázisban. Kimutatható volt, hogy az AQUABION® rendszerbe telepített cső 5 hét vizsgálat után láthatóan kevésbé volt eltömődött, mint a kontrollrendszerből származó cső. Az is egyértelmű volt, hogy a kontrollrendszer csövében lévő bevonat sárgásbarna színű volt, míg az AQUABION®-ban lévő biofilm fehér színű. Ez egyértelművé teszi, hogy a két rendszerben a biofilm nemcsak a biofilm vastagsága, hanem az összetétel tekintetében is különbözik: a vizsgálat első két hetében mindkét vizsgálati rendszerben a rövid rudak domináltak, amelyek homogén módon tapadtak a szelvény felületére. A kísérlet harmadik hetétől kezdve baktériumaggregátumok alakultak ki, és kimutatható volt a protozoonok jelenléte. Szignifikáns különbség a fonalas baktériumok jelenléte volt csak a kontrollrendszerben. A fonalas baktériumok térhálósodása miatt az őket tartalmazó biofilmek általában nagyobb stabilitással rendelkeznek,

- az AQUABION® rendszerben a hűtővízben lévő baktériumok tenyésztetősége legalább tízszeresére csökkent (egyhetes tesztelés után akár 1000-szeresére is),
- a tenyésztető *Legionella spec.* száma az AQUABION® rendszerben legalább tízszeresére, 2 hét és 5 hét vizsgálat után pedig 1000-szeresére volt alacsonyabb, mint az AQUABION® nélküli referenciarendszerben,
- a biofilm baktériumok tenyésztetőségének csökkenését a cinkionok adták. Ezt a csökkenést a *Legionella spec.* tenyésztetőségére vonatkozóan a vízfázisban is kimutatták.

A két reaktorrendszer működtetésekor feltűnő volt, hogy az AQUABION® készítményben több flokk üledezett le, mint a kontrollreaktorban. A csapadék kémiai elemzése azt mutatta, hogy a két tesztrendszerből származó flokkok összetétele nagyon hasonló volt. A kalciumkoncentráció azonos volt, 56,6 és 56,7 mg/l (megjegyzés: az IWW nem különböztette meg, hogy a kalcium aragonit vagy kalcit formában volt-e jelen). Az egyetlen jelentős különbség a csapadék cinkkoncentrációja volt: míg a kontrollreaktorból származó csapadékban nem volt kimutatható cink, addig az AQUABION® -ből származó flokkok 14 mg/l cinket tartalmaztak.

8 Számviteli megfontolások

A fentiek szerint a kalcit (vízkő) helyett az aragonit kialakulásához **mindössze 1 cinkionra** van szükség **ahhoz, hogy a víz kalciumával együtt mintegy 16 000 karbonátmolekulát** alakítson át olyan ásványgá, amely nem rakódik le a hőcserélő felületén. A cink sztöchiometrikusan nem vesz részt az aragonitképződés reakciójában.

Ebből a szempontból csak az érdekes, hogy a cink áldozati anód milyen mértékben "kopik" az évek során. További megfontolás tárgya kell, hogy legyen, hogy a "kiégett áldozati anódok" a feladat értelmében még mindig hatékonyak-e, nevezetesen, hogy hozzájárulnak-e az aragonitképződéshez a kalcitképződés helyett. Ehhez minden bizonnyal kísérleti üzemméretű elemzésekre lesz szükség, és különösen az alábbi 8.1. táblázat működési paramétereinek értékelésére.

Az AQUABION® súlyvesztésére vonatkozó vizsgálati eredmények [Flettner, M.: *Weight loss of various AQUABION® in use over several years*, személyes közlés 2018/06/12].

A 8.1. táblázat különböző AQUABION® modellek aktuális vizsgálati eredményeit mutatja be különböző üzemidők után, az üzemeltetési feltételek (mint például az áramlási sebesség, vízkeménység, pH-értékek és hasonló) megemlítése nélkül.

Figyelemre méltó, hogy csak az AB H50 modellben oldódott fel az anód kb. 10%-a 8 év után, ami 142 g abszolút és 17,75 g/a relatív értéket jelent, feltételezve, hogy az anyagvesztés évente azonos. Az AB S 20 modellnél szintén csak egy esetben állapítottak meg 10%-os anyagvesztést (abszolút: 19 g), ami relatív értelemben csak 2,7 g/év. Ugyanennek a modellnek a többi készüléke csak 5% körüli értéket mutatott ki, ami csak kb. 1,3 g/évnek felel meg, ismét ugyanazt az évi anyagvesztést feltételezve. Az AB S15 modellnél ez még kevesebb: egyszer 9%, ami 0,7 g/évnek felel meg, ha ugyanazt az éves anyagvesztést feltételezzük (egyébként még kevesebb).

A fent idézett vizsgálatok azt mutatták, hogy az AQUA- BION® a telepítést követő első hetekben kevesebb mint 1 mg/l áramlást oldott ki a cink-áldozati anódból.

A fent említett átlagszámokat ebből a szempontból úgy kell tárgyalni, hogy az értékek kezdetben magasabbak, majd idővel (esetleg egy-két év elteltével) az említett átlagértékek alatt vannak.

Tény, hogy 5-7 év elteltével az áldozati cink-anód anyagának 90 %-a (vagy még több) sértetlen marad.

9 A vízben lévő cink egészségügyi vonatkozásai fogyasztáskor - (WHO és ivóvízrendelet)

A cink esszenciális nyomelem, amelyből az emberi szervezet 2-3 grammot tartalmaz (Zn formájában²⁺), túlnyomórészt több mint 300 enzimben, ahol katalitikus reakciókban vesz részt, és a fehérjékben, amelyeket stabilizál [Hasse, H.; L. Rink: *Das essenzielle Spurenelement Zink*, Biologie in unserer Zeit 40, Heft 5 (2010)]. A Német Táplálkozástudományi Társaság által a felnőttek cinkbevitelére ajánlott referenciaértékek 7-10 mg/l (nők és férfiak esetében).

A cinkmérgezés viszonylag ritka, mivel az akut mérgezéshez szükséges dózist az emberben hányás előzi meg. Az Európai Bizottság Élelmiszerügyi Tudományos Bizottsága szerint 25 mg/l (krónikus) bevitel nem jelent problémát [Hasse, H.; L. Rink (2010)].

8.1. táblázat: Különböző áldozati anódok tömegvesztése különböző modellekben különböző üzemidők után [Flettner, M. személyes közlések (2018)].

Modell	AQUABION® Serien Nr.	Einbau Datum	Gewicht Neugerät	Gewicht Anode Neu	Austausch Datum	Gewicht Altgerät	Gewicht Anode Alt	Gewicht Anode Alt nach Säurebehandlung
AB D 10			0,195 kg	0,035 kg				
AB D 20				0,231 kg				
AB S 15			0,4 kg	0,055 kg				
1	ABS15-003285-AB	09.2009			10.2017	0,437 kg	0,052 kg	0,050 kg
2	15005967	10.2010			08.2017	0,436 kg	0,051 kg	0,050 kg
3	15007507	06.2011			02.2018	0,415 kg	0,054 kg	0,053 kg
4	15007514	07.2012			07.2017	0,413 kg	0,052 kg	0,051 kg
5	15008568	11.2011			01.2017	0,425 kg	0,054 kg	0,052 kg
6	15011306	11.2012			01.2018	0,424 kg	0,053 kg	0,051 kg
7	15011347	11.2012			11.2017	0,420 kg	0,052 kg	0,050 kg
8	15011642	12.2012			12.2017	0,420 kg	0,053 kg	0,052 kg
9	15011666	01.2013			01.2018	0,408 kg	0,051 kg	0,051 kg
10	15011671	01.2013			03.2018	0,412 kg	0,053 kg	0,051 kg
11	15014232	12.2013			03.2018	0,406 kg	0,049 kg	0,046 kg
12	15014919	03.2014			02.2018	0,407 kg	0,048 kg	0,047 kg
13	15020595	06.2016			03.2018	0,405 kg	0,054 kg	0,051 kg
14	15020677	07.2016			03.2018	0,405 kg	0,053 kg	0,052 kg
AB S 20			1,4 kg	0,201 kg				
1	ABS20-005530-AB	12.2009			12.2016	1,4 kg	0,182 kg	0,182 kg
2	20007438	07.2011			03.2017	1,5 kg	0,197 kg	0,194 kg
3	20008214	06.2012			02.2018	1,5 kg	0,185 kg	0,184 kg
4	20008229	06.2012			05.2017	1,5 kg	0,197 kg	0,195 kg
5	20008513	11.2012			01.2018	1,5 kg	0,196 kg	0,194 kg
6	20008719	01.2013			03.2018	1,5 kg	0,193 kg	0,192 kg
7	20010054	03.2014			01.2018	1,5 kg	0,194 kg	0,192 kg
8	20011005	10.2014			03.2018	1,5 kg	0,197 kg	0,194 kg
9	20011622	03.2015			01.2018	1,5 kg	0,196 kg	0,194 kg
10	20012521	08.2015			04.2018	1,5 kg	0,198 kg	0,194 kg
11	20014623	11.2016			04.2018	1,4 kg	0,192 kg	0,192 kg
12	20015371	04.2017			04.2018	1,5 kg	0,194 kg	0,193 kg
AB H 20			2,1 kg	0,441 kg				
1	20002629	07.2011			02.2018	2,1 kg	0,430 kg	0,424 kg
2	20003058	01.2013			01.2018	2,1 kg	0,428 kg	0,420 kg
3	20003060	01.2013			02.2018	2,1 kg	0,425 kg	0,420 kg
AB H 25			3,8 kg	0,660 kg				
1	ABH25-000779-PA	11.2007			02.2013	3,7 kg	0,641 kg	0,632 kg
2	ABH25-001364-AB	10.2009			11.2014	3,5 kg	0,636 kg	0,631 kg
3	25002053	06.2012			02.2018	3,7 kg	0,636 kg	0,635 kg
4	25002060	07.2012			10.2017	3,7 kg	0,658 kg	0,658 kg
5	25002208	04.2013			04.2018	3,8 kg	0,653 kg	0,649 kg
AB H 32			4,7kg	1,021 kg				
AB H 40				1,228 kg				
AB H 50			7,3 kg	1,442 kg				
1	50000085	04.2010			März 2018	7,4 kg	1,3 kg	1,3 kg

Tekintettel a cinkfehérjék nagy számára, nem meglepő, hogy a természet olyan szabályozó mechanizmusokat talált, amelyek az evés és ivás révén történő cinkfelvétel ingadozó mennyiségét puffereplik, így a cink az egészséges emberekben nem válik egészségügyi problémává.

A WHO ivóvízminőségre vonatkozó iránymutatásai

[WHO Library Cataloguing-in-Publication Data: *Guidelines for drinking-water quality* - 4th ed. (1. *Portable water - standards*) (2. *Water - standards*) (3. *Water quality - standards*) (4. *Guidelines*) I. Egészségügyi Világszervezet ISBN 978 92 4 154815 1 (NLM-osztályozás: WA 675) (2011)] magyarázza a cinket:

"A cink alapvető nyomelem, amely szinte minden élelmiszerben és ivóvízben megtalálható sók vagy szerves komplexek formájában.

A cink fő forrása általában az élelmiszer. Bár a felszíni és felszín alatti vizek cinktartalma általában nem haladja meg a 0,01-0,05 mg/l-t, a csapvízben a cink csövekből való kioldódása miatt a koncentráció sokkal magasabb lehet.

Irányadó érték megállapításának mellőzésének indoka: az ivóvízben lévő koncentrációban **nem káros az egészségre** (1993-as értékelési év; fő hivatkozás WHO (2003) Zinc in drinking water).

A legújabb, embereken végzett vizsgálatok szerint egy hivatalos irányadó érték levezetése - jelenleg még - nem szükséges. A **3 mg/l feletti** cinket **tartalmazó** ivóvíz **azonban nem elfogadható** a fogyasztók számára.

EU-szintű környezetminőségi szabványok - kémiai állapot

[www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/fluesse/ueberwachung-bewertung/chemisch#textpart-1]

A kémiai állapotra vonatkozó környezetminőségi előírásokat az EU egész területén a 2008/105/EK irányelv határozza meg. A kémiai állapotot az EK vízügyi keretirányelv 33 elsőbbségi anyagára és a régebbi veszélyes anyagokról szóló irányelv (76/464 irányelv, új: 2006/11/EK) további 8 Európa-szerte szabályozott anyagára vonatkozó, az egész EU-ra kiterjedő környezetminőségi előírások határozzák meg. A 2008/105/EK környezetminőségi előírásokról szóló irányelv előírásait 2011-ben beépítették a felszíni vizekről szóló rendeletbe. A környezetminőségi előírásokról szóló irányelvet 2013. augusztus 12-én módosították (2013/39/EU). Összesen 45 elsőbbségi anyagot szabályoz, amelyeket 2016-ban vettek át a felszíni vizekről szóló rendeletbe: **A cink nincs köztük.**

Felszíni vizekről szóló rendelet Felszíni vizek védelméről szóló rendelet

[A 2016. június 20-i felszíni vizekről szóló rendelet (BGBl. I. 1373. o.) a 2011.7.20-i V 753-13-3 I 1429 (OGewV) helyébe lép.]

A német OGewV [2016] foglalkozik a vízminőségi előírásokkal, és meghatározza, hogy mely anyagkoncentrációk jelzik a "jó ökológiai állapotú vizek" állapotát. A cinkre vonatkozóan a környezetminőségi szabvány 800 mg/kg lebegőanyag vagy üledék határértéket határoz meg a felszíni vizekben éves átlagban (hivatkozás: Bundesgesetzblatt I 2016,1410 - 1413).

A német ivóvíztörvény

A hatályos TrinkwV [ivóvízrendelet (2001) a 2016. március 10-én közzétett változatban (BGBl. I. 459. o.), legutóbb a 2017. július 17-i törvény 2. cikkével (BGBl. I. 2615. o.) módosított, legutóbb a 2018.01.03-i rendelettel módosított (lásd alább a részleteket)] **nem tartalmaz előírásokat a cinkre vonatkozóan.** Az 1990. évi ivóvízrendeletben az ivóvíz cinktartalmára vonatkozóan 5 mg/l irányértéket (nem határértéket) határoztak meg. Ezt az értéket nem szabad túllépni, miután a víz 12 órán keresztül állt a csőben. A horganyzott acélcsővek beépítését követő 2 évig az irányelvi értéket az élettartam figyelembevétel nélkül alkalmazták.

A cink mint anyag a vízminőségtől függően, a technika állása szerint használható; a **horganyzott csövek az ivóvízben (hidegvíz-rendszerekben) megengedettek.** [www.ifau.org/trinkwasser/smetalltwinfo-uebersicht.htm].

A módosított ivóvízrendelet [TrinkwV (2001)] célja az volt, hogy az ivóvizet olyan módon biztosítsák, hogy annak használata vagy fogyasztása ne okozzon károsodást vagy kárt az embereknek. Az "új" alkalmazási területet az jelenti, hogy a rendelet előírja, hogy az alkalmazási terület már nem a főelzáró berendezésnél ér véget, hanem most már kiterjed arra a pontra, ahol az ivóvizet a fogyasztó veszi (pl. a konyhában a csapnál vagy a zuhanyzóban a zuhanyfejnél).

Alapelv: Az ivóvíznek olyan minőségűnek kell lennie, hogy fogyasztása vagy felhasználása valószínűleg ne okozzon kárt az emberi egészségnek, különösen kórokozók révén.

Az ivóvízben lévő cinket a jelenlegi német ivóvízügyi jogszabályok nem szabályozzák - bár van néhány dolog, amit érdemes szem előtt tartani.

A 2018. január 3-i, az **ivóvízre vonatkozó rendeletek átalakításáról szóló rendelet az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről** szóló 98/83/EK tanácsi irányelv II. és III. mellékletének módosításáról szóló, 2015. október 6-i (EU) 2015/1787 bizottsági irányelv (HL L 260., 2015.10.7., 6. o.) végrehajtását szolgálja. L 260, 2015.10.7., 6. o.), és előírja, hogy a legutóbb a 2017. július 17-i törvény (BGBl. I. 2615. o.) 2. cikkével módosított ivóvízrendelet [TrinkwV, 2001] 2016. március 10-én közzétett változatát (BGBl. I. 459. o.) ismét módosítani kell. A rendelet az emberi fogyasztásra szánt víz, a továbbiakban ivóvíz minőségét szabályozza.

A 3. szakasz (1) bekezdése a következőket határozza meg: "ivóvíz": a víz bármely halmazállapotban és függetlenül attól, hogy a vizet csővezetéken, vízszállító járműveken, szárazföldi, vízi vagy légi járművek fedélzetén lévő ivóvíztartályokból vagy lezárt tartályokban történő ellátásra szánják,

a) minden olyan víz, amelyet eredeti állapotában vagy kezelés után ivásra, főzésre, ételek és italok készítésére, vagy különösen az alábbi háztartási célokra szánnak:

- Testápolás és tisztítás,
- Az élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő tárgyak tisztítása,
- Olyan tárgyak tisztítása, amelyek az emberi testtel nem csak átmenetileg érintkeznek;

b) minden olyan víz, amelyet élelmiszeripari vállalkozás emberi fogyasztásra szánt termékek vagy anyagok előállításához, kezeléséhez, tartósításához vagy forgalomba hozatalához használ.

A 11. § "Az újrafeldolgozó szerek és fertőtlenítési eljárások jegyzéke" szerint az alábbiakat kell megemlíteni A Szövetségi Környezetvédelmi Ügynökség által vezetett 11. § szerinti lista 19. módosítása [Bekanntmachung der

A kezelési anyagok és fertőtlenítési eljárások jegyzéke az ivóvízrendelet 11. szakaszának megfelelően módosítás - (2017. decemberi állapot)]

Az ivóvíz előállítása, kezelése és elosztása során csak olyan kezelőanyagokat lehet használni, és csak olyan fertőtlenítési eljárásokat lehet alkalmazni, amelyek szerepelnek ebben a jegyzékben. Ez alól csak akkor lehet kivételt tenni, ha a Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal a TrinkwV [2001] 12. §-ában foglalt feltételek szerint engedélyt adott. A kezelési anyagok mindazok az anyagok, amelyeket az ivóvíz kinyerése, kezelése és elosztása során a vételezés helyéig használnak, és amelyek megváltoztathatják a vételezett ivóvíz összetételét (TrinkwV [2001] 3. § 8. sz. Csak olyan kezelési anyagok (beleértve ionjaikat is, ha azokat ioncserélőkkel vagy elektrolízissel adják hozzá) adhatók hozzá, amelyek az alábbi kezelési célok legalább egyikének eléréséhez szükségesek:

- a. A nemkívánatos anyagok eltávolítása a nyersvízből a vízművekben történő kezeléssel.
- b. Az elvezetett víz összetételének megváltoztatása, hogy megfeleljen az ivóvíz minőségére vonatkozó követelményeknek az elosztóhálózatban egészen a fogyasztói csapolási pontig. A követelmények túlmúthatnak az ivóvízrendelet követelményein, például a korróziós-kémiai tulajdonságok tekintetében. A víz összetételének megváltoztatása magában foglalja a műszaki célú további kezelést (pl. vízlágyítás).
- c. Kórokozók elpusztítása vagy inaktiválása: ... (itt nem releváns)

Mivel az AQUABION® nem követi a kezelési célok egyikét sem, és nem elektrolízis (ózon vagy hasonló ROS (reaktív oxigénfajok - oxigéngyökök) előállítására) a rendelet értelmében, az AQUABION® **megfelel az ivóvíznek, és alkalmazható az ivóvízágazatban** [Grunert, A. (UBA): személyes közlés 2018.06.07-től].

Az ivóvízrendelet [2001] 11. szakaszának megfelelően a kezelőanyagokra vonatkozó követelmények ellenőrzéséhez az "Emberi fogyasztásra szánt víz kezelésére szolgáló termékek" szabványosítási sorozat európai előírásait vették alapul. Ez a megközelítés biztosítja az ivóvíz előállításához használt kezelőanyagok minőségének nemzetközi harmonizációját. A termékszabványok teljes egészében alkalmazandók a kezelőanyagok minőségének biztosítására.

Ezt az egész EU-ban, így Svédországban is ugyanígy kezelik:

Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten (A dán élelmiszer-biztonsági hatóság szabályzata).

kelt 2017. szeptember 21-én. az állami egészségbiztosításról szóló rendelet 5., 6., 30. és 31. §-ának rendelkezéseivel.

5 § Dricksvatten nem tartalmazhat olyan anyagot, amelyet a dricksvatten kezelésére vagy terjesztésére használnak, vagy olyan anyagot, amely ilyen anyaghoz kapcsolódik, oly módon, hogy az alkalmazás módosításait kell végrehajtani. A driksvatten nem tartalmazhat olyan anyagot a telepítő számára, amelyet a driksvatten kezeléséhez vagy elosztásához használnak, vagy bármilyen más anyagot, amelyet ilyen anyaggal ragasztottak össze, olyan tartón, amely az anyagváltoztatáshoz szükséges.

Johan Eliasson szerint [2018. június 19-én kelt e-mail]: "Ezt a választ kaptuk a svéd hatóságoktól: Det finns inga gränsvärden för zink i dricksvattenföreskrifterna. Még ha vannak is korlátozások, akkor is lehet korlátozni a termék használatát. (Az ivóvízre vonatkozó előírásokban nincsenek határértékek a cinkre vonatkozóan. Még ha nincsenek is határértékek, akkor is szükség lehet intézkedésre, ha a víz egészségkárosítónak minősül. [Hälsningar, Johan Eliasson, 0451-131 00]". És 2018. június 25-én: "Ugyanez a rendelet a kereskedelmi forgalomba kerülő termékekről: Ja, dricksvattenföreskrifterna gäller även för kommersiella verksamheter (t. ex. restauranger) med egen brunn [Bo Eliasson, www.aquagruppen.se].

Az AQUABION® esetében figyelembe kell venni a DVGW W 204 "Az ivóvízellátás kezelőanyagai - kiválasztási, beszerzési és minőségbiztosítási szabályok" című munkalap követelményeit is. A listán nem szereplő ioncserélők és egyéb szűrőanyagok (pl. toronycsomagok, természetes homok a lassú homokszűréshez) ivóvízkezelésre történő alkalmazása, amelyek a lista bevezetése előtt (2017 decemberében) már üzemben voltak, a technológia és a bizonyított hatékonyság általánosan elismert szabályai szerint továbbra is használhatóak. Biztosítani kell, hogy az ioncserélőkből vagy más szűrőanyagokból ne kerüljenek olyan kémiai anyagok a kezelt vízbe, amelyek elkerülhető vagy elfogadhatatlan hatással vannak az egészségre és a környezetre.

→ **mint azt fentebb kifejtettük, a cinkionok 3 mg/l alatti koncentrációban [WHO] nem jelentenek kockázatot, ezért nincsenek határértékek az ivóvízre vonatkozóan Európa-szerte.**

□ □ **IWW fent említett eredményei (7.4. szakasz) azt mutatják, hogy az AQUABION® képes stabilizálni a víz higiéniai viszonyait, és például csökkenteni a biofilmképződést. és pozitív hatásai vannak a vízrendszerben lévő legionella tekintetében.**

Az ivóvízzel érintkező anyagokra és anyagokra vonatkozó higiéniai követelmények

A 2001. évi TrinkwV 17. szakaszának (3) bekezdésével összhangban a Szövetségi Környezetvédelmi Ügynökség az ivóvízzel érintkezésbe kerülő anyagokra és anyagokra vonatkozó különleges higiéniai követelményeket jogilag kötelező érvényű értékelési elvek formájában határozza meg. A Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal eddig irányelveket és ajánlásokat tett közzé az ivóvízzel érintkező anyagokra és anyagokra vonatkozóan. A higiéniai követelményeket jelenleg a DVGW-előírások is megfogalmazzák (pl. W 347). Ezek a következőkig érvényesek

a megfelelő, jogilag kötelező érvényű UBA-értékelési elvek meghatározása. A higiéniai követelményeket az egyes anyagokra vonatkozóan határozzák meg, és az alábbiakban sorolják fel.

A fémanyagokat fel kell venni az ivóvízhigiénéiára alkalmas fémanyagok pozitív listájára, amely az ivóvízzel érintkező fémanyagok értékelési alapjának részét képezi. A jelenlegi pozitív lista számos cinket tartalmazó ötvözetet tartalmaz [http://www.wgm-berlin.de/de/resources/UBA_Positivliste_metallene_Werkstoffe_Stand_2017.pdf 2018.06.22-től].

DIN 1988-200 Ivóvíz-berendezések műszaki szabályai. 200. rész: A típusú (zárt rendszerű) berendezés. Tervezés, alkatrészek, készülékek, anyagok; A DVGW műszaki szabálya, május (2012).

Általános (a 3.4. szakaszban: Anyagok, alkatrészek és készülékek)

Az ivóvízzel érintkező anyagoknak higiéniai szempontból biztonságosnak kell lenniük, és nem ronthatják az ivóvíz minőségét a TrinkwV [2001] előírásai szerint. Nem juttathatnak az ivóvízbe olyan anyagokat, amelyek koncentrációja magasabb, mint ami a technika általánosan elismert szabályai szerint elkerülhetetlen, vagy amelyek közvetlenül vagy közvetve csökkentik az emberi egészségnek a TrinkwV [2001] által előírt védelmét, vagy befolyásolják az ivóvíz szagát vagy ízét.

→ **□ fém anyagoknak meg kell felelniük a DIN 50930-6 szabvány követelményeinek.**

Az AVBWasserV [a *vízellátás általános feltételeiről* szóló, 1980. június 20-i *rendelet* (BGBl. I. 750., 1067. o.), legutóbb a 2014. december 11-i *rendelet* (BGBl. I. 2010. o.) 8. cikkével módosított (2014)] 12. § (4) bekezdése szerint csak olyan anyagok (alkatrészek és anyagok) és berendezések használhatók, amelyek megfelelnek a technológia elismert szabályainak. Az elismert tanúsító védjegye, pl. DIN/DVGW vagy DVGW tanúsító védjegye igazolja, hogy ezek a követelmények teljesülnek. A fémcsőanyagok szakszerű, a korrózió valószínűségét figyelembe vevő kiválasztására vonatkozó információkat és kritériumokat a DIN 50930-6 is tartalmazza. Az ivóvízvezetékek anyagát úgy kell megtervezni és kiválasztani, hogy ne legyen szükség ivóvízkezelő rendszerek alkalmazására.

Minden olyan rendszerelem, amely rendeltetészerűen érintkezik az ivóvízzel, megváltoztathatja a benne áramló víz minőségét. Ezeknek a változásoknak és dúsulásoknak az ivóvízrendeletben [2001] meghatározott határértékeken belül kell maradniuk, és azokat nem szabad túllépni. A határértékek és paraméterek betartásáért a tervező és a szerelő cég mellett az ivóvízlétesítmény üzemeltetője is felelős. A paramétereket az ivóvíz-létesítmény minden csapolási pontján (megjegyzés: az élelmiszeriparban) be kell tartani.

A különböző anyagok korróziós valószínűségéről a DIN 50930-6 és a DIN EN 12502 sorozatban található információk. Az ivóvíz kezelése, például a mechanikai szűrés, véd a részecskék okozta lyukkorrózió ellen. A meglévő rendszerekben kémiai adagolással csökkenthető a korrózió valószínűsége, amely egyébként károsodáshoz vezethet.

A lerakódások kialakulásának körülményeit nehéz meghatározni. A víz hőmérsékletének emelkedésével azonban nő a víz vízkő lerakódására való hajlam. Abban az esetben, ha vízkőlerakódásra kell számítani, ivóvízkezelésre lehet számítani (pl. vízlágyítás ioncserével a 12.6. pont szerint, vegyszerek adagolása a 12.5. pont szerint vagy vízkő elleni védőberendezésekkel a 12.7. pont szerint). A szilárd részecskék, függetlenül azok természetétől vagy eredetétől, lerakódnak a csövekben. Ennek eredményeképpen a csövekben különbözőképpen levegőztetett területeket hozhatnak létre, ahol a lerakódással borított fém anódként működik. A lerakódások a mikroorganizmusok elszaporodásának is kedvezhetnek. Mindkét jelenség korróziót okozhat, amely felismerhetetlen marad, és a csövek perforációjához vezethet.

lásd 12.7. Vízkő elleni védőberendezések: A vízkő elleni védőberendezések a magkristályok kialakulásának elve szerint működnek. A védőhatás a készülék által termelt mikroszkopikusan kicsi, fel nem oldott magkristályok segítségével érhető el, amelyekhez a keménységképzők előszeretettel kapcsolódnak, amikor a mész-karbonsav egyensúly beáll. A keményítőszerkezetek a vízben maradnak. A vízkő elleni védőberendezésekkel gyakorlatilag nincs vízlágyítás. A vízkő elleni védőberendezéseknek meg kell felelniük a DVGW W 510 szabványnak.

Az AQUABION® nem tartozik ebbe a bekezdésbe, mivel biztosan nem magkristályokat (oldatlan anyagokat) bocsát ki a környező vízbe, hanem oldott cinkionokat.

A vízkő elleni védőberendezések csökkentik a vízkő képződését a kezelt vízben anélkül, hogy megváltoztatnák az ivóvíz összetételét. Megvédik a fűtőtekerceket, a szelepeket, a csövek belső falát és a vízzel érintkező egyéb felületeket a lerakódásoktól. A vízkővédő készülék mérete a várható névleges áramlási sebességtől függ. A vízkővédő készüléket célszerű a mechanikus szűrő után felszerelni, hogy a szennyeződések és a homok ne mosódjanak be.

lásd 18.2. Katódos korrózióvédelem: Az ivóvízvezetékben a katódos korrózióvédelemre vonatkozó intézkedéseket csak a tárolók és az ivóvízmelegítők esetében alkalmazzák (lásd DIN 4753-10).

→ Itt az AQUA- BION® "katódos korrózióvédelem" az ivóvízben is megvalósítható.

10 A legfontosabb megállapítások összefoglalása - kilátások

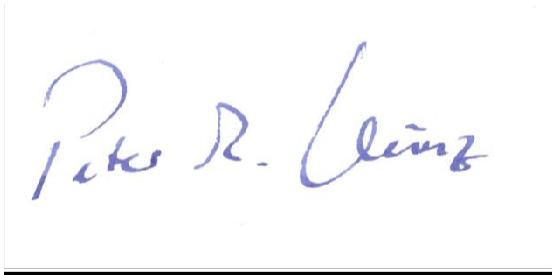
Az AQUABION® egy olyan berendezés, amely galvánelemek segítségével (elektromos áram nélkül) nem specifikus cinkionokat bocsát ki a cink-áldozati anódot körülvevő vízbe. Az AQUABION® abban különbözik az ivóvízhez bizonyos anyagokat (pl. magkristályokat képző anyagokat) adagoló rendszerektől, hogy a cinkionok az áldozati anódból szabadulnak fel. A feloldott cinkionok a víz elpárolgásakor vagy felmelegítésekor a vízben a kemény vízkő (kalcit) helyett kalcium-karbonát kristályok növekedését okozzák, amelyek különböznek a kalcittól: Különböző vizsgálatokban különösen az aragonitot találták gömbölyű vagy lemezkeszerű szerkezetben, amely sav nélkül könnyen eltávolítható vagy kitörölhető.

A cink kioldódása a cink-áldozati anódból az új berendezések telepítése után nagyobb mennyiségben történik (0,9 mg/l koncentrációt találtak) - azonban az áldozati anódok súlyvesztése kevesebb mint 10 %, illetve kevesebb mint 2 g/év volt 5 és több éves működés után (34 berendezés alapján).

Ez az oldott cink nem vesz részt a kalcium-karbonát képződésében, ezért nem jelenik meg a sztöchiometriai egyensúlyi egyenletben: a jelentések szerint egy cinkion a kemény vízben elegendő ahhoz, hogy több mint 16 000 kalcium-karbonát kristály kristály aragonit formába kristályosodjon.

Mivel a cink az ember számára nélkülözhetetlen (többek között azért, mert számos enzimekben használatos), a WHO jelenleg (az elmúlt 15 évben) nem látja indokoltnak, hogy határértéket állapítson meg a cinkre vonatkozóan. Fogyasztóvédelmi okokból a WHO 3 mg/l-es irányértéket határoz meg. A víz, beleértve azt is, amely az AQUABION® -on az első üzembe helyezés során átfolyik, ezért biztonságosan iható. Az európai, különösen a német és a svéd ivóvíz-szabályozás szintén nem határoz meg határértékeket az ivóvízben lévő cinkre vonatkozóan.

Az AQUABION® hatása kedvezően befolyásolja a csővezetékben/csövekben a biofilm kialakulását (kevésbé foglalt és stabil, kevésbé erős, kevesebb korróziós termék, mint a kontrollrendszerben). A tenyészthető *Legionella* spec. száma az AQUABION® rendszerben 2 hét után legalább 10-szer alacsonyabb volt, sőt 5 hetes vizsgálat után 1000-szer alacsonyabb, mint az AQUABION® nélküli referencia rendszerben. Az AQUABION®-nak tehát az ivóvíz szempontjából is pozitív higiéniai vonatkozásai vannak - különösen a legionella (adott esetben a zuhanyfejekből származó) legionella tekintetében.

A handwritten signature in blue ink that reads "Peter M. Kunz". The signature is written in a cursive style with a large initial 'P' and 'K'.

Prof. Dr. Peter M. Kunz, 03.07.2018