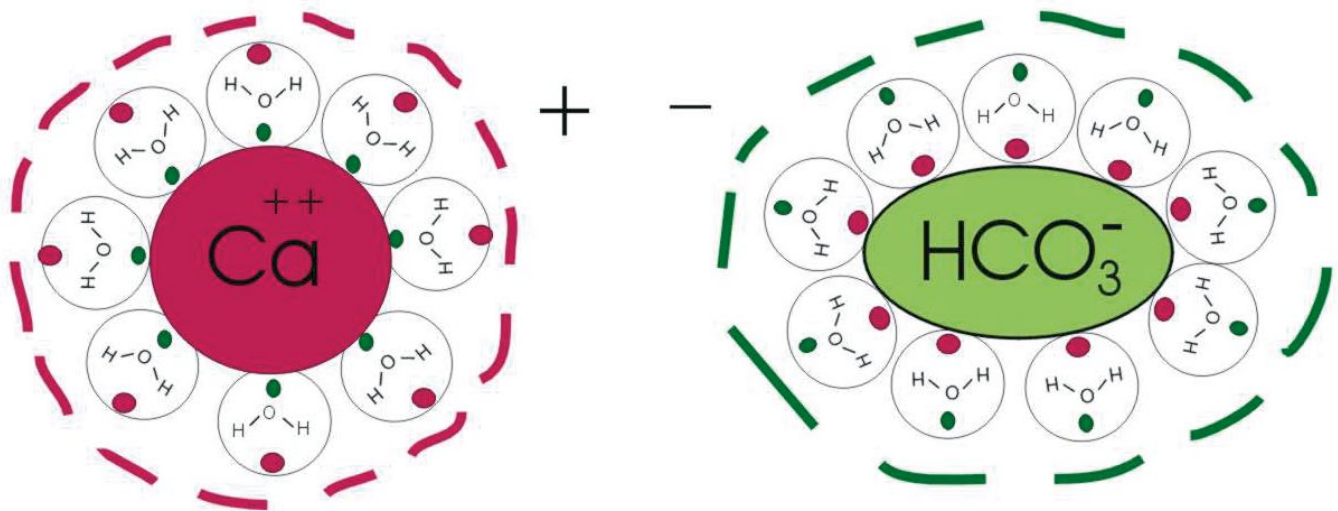


Traitement physique de l'eau

Le pourquoi du comment



Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

1. Introduction

L'utilisation du traitement physique de l'eau fait l'objet d'après discussions depuis les vingt dernières années. Durant cette période, son efficacité a été, d'une part, prouvée et, d'autre part, continuellement remise en question et refusée. Pour quelles raisons ? En suivant attentivement les débats, diverses raisons apparaissent mais que nous ne nous attacherons pas à aborder dans cette démonstration. Il semble plutôt nécessaire d'examiner les fondements physiques pouvant expliquer le mode d'action de ces processus, et ce, en vue de les libérer de ce reproche de supercherie et reconnaître les brebis galeuses qui ont conduit à ce reproche. Ce qui suit vise à tenter d'éclaircir ces questions.

En marge de ma propre expérience, qui s'est avérée positive et démontrait clairement l'efficacité de ce processus, tout au moins avec l'appareil installé sur mes conduites (1), il existe un certain nombre d'informations provenant d'institutions les plus renommées, telles que l'Université Louis-et-Maximilien de Munich qui corrobore les résultats que j'ai moi-même obtenus. Dans cette institution, le remplacement des tubes laser en raison de la formation de buée dans le liquide de refroidissement, qui avait été nécessaire auparavant, a pu être évité après l'installation d'un système de traitement physique de l'eau. Des hôtels et des sociétés de formation ainsi que de nombreuses conversations avec des particuliers confirment cette action, bien que le non-fonctionnement soit également souvent déploré. Puisque dans la plupart des cas, les particuliers ne connaissent pas le fabricant de l'appareil (et il est souvent évoqué que le produit en question est peu coûteux, acheté au supermarché), nous pouvons tirer la conclusion qu'il existe certains appareils qui ne répondent pas aux conditions physiques nécessaires pour être efficaces. Pour autant, nous ne pouvons pas conclure que le principe du traitement en lui-même est inutile et ne fonctionne pas.

Malheureusement, cette impression est aussi souvent donnée dans des publications sérieuses, souvent sans donner de preuve scientifique ou de preuve orientée vers son action et qui lui rende justice.

Avant de pouvoir expliquer l'action du traitement physique de manière probante, nous devons commencer par préciser pourquoi les conduites d'eau s'encrassent. C'est pourquoi nous entrevoyons le calcaire comme

une cible justifiant le traitement physique de l'eau.

2. Le calcaire

Chimiquement parlant, le calcaire est du carbonate de calcium (CaCO_3). Ce composé n'est pas soluble dans l'eau. Question : Alors comment peut-on le dissoudre dans l'eau ? Réponse : Lorsque l'eau contenant du dioxyde de carbone passe au travers de sols calcaires, du calcaire se libère et se mélange à l'eau sous forme de carbonate acide de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Cela est rendu possible du fait que le dioxyde de carbone CO_2 mélangé à l'eau H_2O forme de l'acide de carbone H_2CO_3 . Comme chacun le sait dans la vie de tous les jours, les produits de nettoyage acides sont nécessaires pour éliminer les dépôts de calcaire. Souligner la différence entre le calcaire dissous et le calcaire non dissous semble relever d'un exercice de style, mais c'est précisément là que réside le manque d'arguments en faveur de l'action de ces appareils.

La question suivante se pose alors : pourquoi le calcaire se sépare-t-il de toute façon ? La quantité dissoute de carbonate acide de calcium dans l'eau potable n'atteint jamais la limite de saturation qui, si elle est dépassée, entraîne la séparation de la substance dissoute sous forme de cristaux.

Si l'on observe les points où se trouvent les dépôts calcaires sur les conduites, la réponse vient d'elle-même. Les premières traces visibles de dépôts calcaires apparaissent au niveau des coudes de tuyaux, des ramifications et des points d'arrivée (robinets) et surtout les zones d'eau chaude. Dans ce dernier cas, nous nous devons de faire la différence entre les conteneurs d'eau chaude qui ne sont généralement pas touchés par ces dépôts, à la différence des barres chauffantes, des spirales chauffantes ou des échangeurs de chaleur, des surfaces qui transmettent de la chaleur à l'eau et qui sont toujours affectés.

Pourquoi ces traces ? La réponse est assez simple : il doit y avoir un gradient d'énergie qui entraîne l'ouverture des cages à eau (voir ci-dessous) autour des ions dissous afin qu'ils puissent interagir entre eux. Dans le même temps, l'équilibre de l'acide carbonique doit être perturbé, ce qui signifie qu'il doit y avoir un manque local de CO_2 . Ensuite, les éléments recherchent un point de cristallisation (noyau) où débiter la cristallisation. Ces traces se situent toujours

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

sur les parois des tuyaux, elles représentent la base solide sur laquelle les cristaux peuvent croître. C'est à partir de cela que se développe un nombre croissant de divers dépôts d'éléments, dont des résidus calcaires que l'on désigne sous le nom de « tarte ». Ces derniers se composent de carbonate de calcium mélangé à des composés de magnésium, de gypse, de silicates et de composés de fer (d'où la couleur jaune-brunâtre). Ces sédimentations favorisent la corrosion et réduisent la transmission de chaleur des barres chauffantes et des échangeurs de chaleur.

Comment est-il possible qu'il y ait des différences locales d'énergie dans l'eau ? Cela s'explique facilement dans le cas de barres chauffantes puisque la chaleur est transmise par l'eau. Dans les coudes de tuyaux, l'eau accélère et l'énergie nécessaire à ce processus provient de l'énergie intérieure de l'eau et a pour conséquence les changements de pression et de température. Il en va de même pour les ramifications et les points d'arrivée. Ici, des turbulences apparaissent, également avec l'énergie interne de l'eau et ayant pour mêmes conséquences.

Si l'on observe de plus près des conduites qui ont été utilisées depuis des années, il apparaît que les incrustations commencent toujours au niveau des coudes ou ramifications et qu'elles se développent ensuite dans les sections droites. Lors d'une obstruction des conduites, ce sont généralement ces zones qui sont affectées, alors que la majeure partie du système de canalisations est encore en parfait état de fonctionnement et peut laisser passer l'eau.

Que se passe-t-il chimiquement pendant la cristallisation ? La formule suivante (1) l'explique :



Tout d'abord, il faut remarquer que les réactions décrites en cas de formation calcaire peuvent également se produire dans le sens inverse, c.-à-d. que le calcaire peut également se dissoudre à nouveau (voir ci-dessus). La réaction qui a lieu dépend de l'équilibre calcaire / acide carbonique. Si la présence de CO₂ est plus importante, le calcaire est dissous, et dans le cas contraire, il est sécrété. Ces processus dépendent également des changements de pression et de température, c.-à-d. de paramètres physiques.

À ce stade, il convient de parler des cristaux de calcaire. Il est connu que la plupart des substances définies comme solides sont des cristaux. Ces cristaux se divisent en 7 systèmes cristallins et 32 classes de cristaux, lesquels diffèrent les uns des autres par leur structure en réseau.

Le calcaire peut cristalliser selon deux structures différentes qui sont totalement identiques d'un point de vue chimique. Les structures en réseau sont différentes mais liées. Ensuite se forme le type de réseau aragonite (image n°1) ou calcite (image n°2). Alors que la structure chimique est la même, la modification produite dépend des circonstances thermodynamiques (pression, température). Comme les photos le montrent, on constate que, dans les deux cellules unitaires, un axe se distingue par sa longueur. Cela signifie qu'un cristal se développe plus rapidement que les autres dans cette direction. La vitesse de croissance est anisotrope, c.-à-d. qu'elle dépend de la direction.

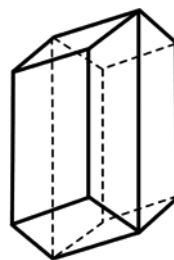


Image n°1 Cellule unitaire d'une aragonite (système rhombique)

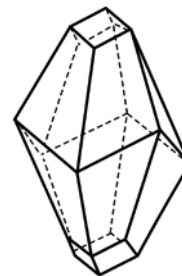


Image n°2 Cellule unitaire d'une calcite (système trigonal)

Cela explique que les cristaux qui se développent sans être dérangés prennent la forme d'une aiguille. Si la vitesse de croissance était la même dans toutes les directions de l'axe, des cristaux globuleux se formeraient. Dans le réseau de type calcite se produit une cristallisation de carbonate de magnésium MgCO₃ et FeCO₃ et cela explique pourquoi ces substances se retrouvent également dans la formation du calcaire. D'un autre côté, l'anhydrite (gypse séché ou gypse [CaSO₄ 2H₂O]) correspond au type de réseau de la calcite. Les phosphates et les sulfates, tout comme les silicates de calcium et de magnésium, cristallisent également dans des réseaux similaires. Cela favorise leur intégration aux dépôts. Pour eux aussi, les noyaux de cristallisation présents servent de point de départ à une ségrégation dans l'eau et non à un dépôt sur

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

les parois des tuyaux ou sur les barres chauffantes, en particulier dans l'eau chaude – dans laquelle ces compagnons de l'eau se dissolvent souvent en premier. **Que font donc les appareils lorsqu'ils produisent les effets attendus ?**

1. Ils ne convertissent pas le calcaire. En quoi devraient-ils consister ? Les dispositifs font que l'hydrogénocarbonate de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se transforme en carbonate de calcium CaCO_3 , lequel est électriquement et chimiquement neutre dans l'eau. Ce solide a pour particularité d'empêcher la cristallisation du cristal sur un solide déjà existant mais se forme dans l'eau en circulation. Un tel cristal se forme selon les lois de la nature et présente des paramètres typiques variables pour chaque substance.

2. Au final, ces cristaux ne possèdent pas de caractéristiques particulières mais des formes spéciales qui ne s'attachent plus les unes aux autres et empêchent ainsi la calcification. À ce stade, le mécanisme décrit est efficace.

3. L'eau

Pour mieux appréhender les processus suivants, il convient de donner quelques détails concernant l'eau. Car celle-ci ne se limite pas à la simple formule H_2O . Les deux atomes d'hydrogène et l'atome d'oxygène forment un triangle équilatéral et un angle d'environ 110° , comme le montre l'image n°3.

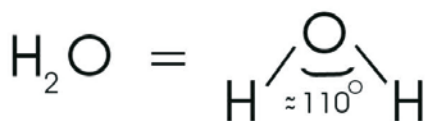


Image n°3 Structure angulaire d'une molécule d'eau

C'est la raison pour laquelle de nombreuses caractéristiques distinguent l'eau d'autres molécules similaires. Deux gaz qui interagissent forment un liquide et non du gaz et, dans le cas, p. ex., du dioxyde de carbone CO_2 (une substance solide et du gaz !), une molécule bien plus lourde. En raison de cette position en angle, les molécules d'eau forment des chaînes et des agrégats qui sont à l'origine de l'état fluide.

C'est peut-être la raison pour laquelle l'eau pourrait développer une « mémoire » dans laquelle elle adopterait des structures dans les chaînes et les agrégats qui ne changeraient pas même lorsque l'eau serait en déplacement. Ces chaînes et agrégats sont maintenues ensemble par des forces de Van de Waals, des forces de dispersion ou des ponts d'hydrogène. Cette interaction repose sur l'attraction de dipôles électriques que l'on retrouve dans les molécules présentant des liaisons polarisées ou une structure angulaire.

À l'Université de Stuttgart, des recherches scientifiques sont menées sur ce problème et les premiers résultats montrent que le comportement de l'eau est influencé par les champs électriques et magnétiques. Ces phénomènes sont connus depuis longtemps mais n'ont jamais été étudiés scientifiquement.

Cette forme de molécule entraîne une autre caractéristique particulière. L'eau présente un caractère dipolaire. Grâce à la liaison, les deux éléments s'efforcent d'obtenir une configuration de gaz inerte dans l'enveloppe de leurs électrons externes. Dans le cas de l'hydrogène, on observe deux électrons, dans le cas de l'oxygène, huit. Il manque deux électrons à l'oxygène et un à l'hydrogène. Dans la molécule, les trois atomes disposent au total de deux électrons de liaison, de sorte que toutes les molécules peuvent atteindre une configuration de gaz inerte.

Dans toutes les liaisons homopolaires de divers atomes, la liaison est polarisée, c'est-à-dire que la paire d'électrons de liaison se déplace en direction du partenaire de liaison ayant l'affinité électronique la plus élevée, dans ce cas l'atome d'oxygène. Si la molécule d'eau est placée dans un champ électrique, elle s'aligne de manière à ce que les molécules d'oxygène soient orientées vers le côté électrique positif et les molécules d'hydrogène vers le côté électrique négatif. La molécule d'eau est ainsi chargée un peu plus négativement du côté de l'oxygène et un peu plus positivement du côté de l'hydrogène.

Cette caractéristique, associée à la forme de la molécule, joue un rôle important dans la capacité de dissolution de l'eau et dans le traitement physique de cette dernière. À ce point, il n'est possible d'évoquer que brièvement d'autres anomalies : lorsque l'eau passe à l'état solide (glace), sa densité diminue. Si la glace est mise sous

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

pression, elle se liquéfie à nouveau. Normalement, les liquides sous pression passent à un état solide, cristallin. Ces quelques indications montrent déjà qu'il existe probablement beaucoup plus de choses sur l'eau que ce que la recherche moderne a découvert jusqu'à présent

4. La physique et la chimie

Que se passe-t-il d'un point de vue physique et chimique à l'utilisation d'un système de traitement d'eau physique ?

Du fait qu'il existe un grand nombre de principes d'application différents, allant de l'introduction d'aimants dans les conduites d'eau à l'injection de germes cristallins dans l'eau, autour desquels se fixent les particules de calcaire, nous n'examinerons ici qu'un seul principe, souvent proposé et souvent controversé.

Les processus sont décrits sur la base d'un dispositif dont la forme se rencontre souvent et dont les effets sont remis en question. L'image n° 4 illustre cet appareil. L'essai expliqué ici repose sur les fonctionnalités et le mode d'action de ce dispositif. Il s'agit d'un boîtier noir duquel sortent deux câbles qui sont enroulés autour de la conduite. Ces câbles transmettent des oscillations à

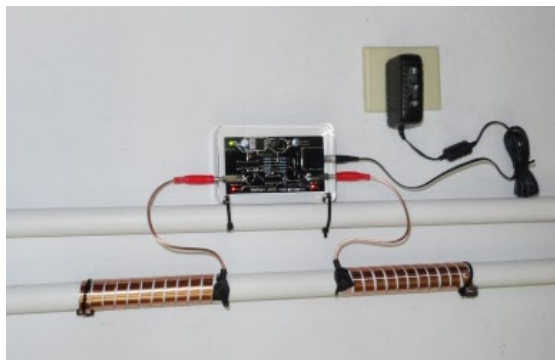


Image n°4 : Agencement général du traitement physique de l'eau

l'eau qui doivent « convertir » le calcaire dissous et le rendre inoffensif. La présente formule a été choisie à dessein car celle-ci correspond essentiellement à la description des fonctions des dispositifs proposés dont on peut déjà douter de l'honorabilité et du sérieux. Quel type d'oscillation est transmis ?

Certaines descriptions ne parlent même pas de la

transformation du calcium, à se demander si les producteurs viennent de l'époque des alchimistes. Certains affirment que le matériau du tuyau n'a pas d'importance et que le dispositif peut même éliminer les incrustations de calcaire déjà existantes. Comment les oscillations peuvent-elles y parvenir ? Sérieusement, qui réfléchit à comprendre ne serait-ce qu'un peu de physique et de chimie trouve déjà suffisamment d'arguments prétendument scientifiques pour remettre en cause le fonctionnement.

Comment agit un dispositif qui empêche véritablement les dépôts calcaires dans les conduites ? À ce stade, la première question qui se pose est de savoir en quoi celui-ci consiste pour répondre à cette demande. La réponse est simple : il doit créer les conditions rendant propice l'acheminement d'hydrogénocarbonate de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ par l'eau sous forme de cristaux et l'empêcher de se fixer aux parois des tuyaux sous forme de cristaux de carbonate de calcium CaCO_3 .

Les possibilités physiques et électriques qu'un système de traitement physique de l'eau efficace peut offrir sont examinées ci-après. Cela signifie simplement qu'il doit avoir pour effet que le calcaire dissous ne se fixe pas sous forme cristalline sur les parois ou les points de contact avec les canalisations, les appareils et les accessoires en contact avec l'eau. Cela n'est possible que si le calcaire dissous se cristallise dans l'eau avant d'entrer en contact avec ces zones. L'eau doit ainsi présenter deux conditions :

1. Les noyaux de cristallisation doivent être présents ou avoir été créés,
2. L'équilibre calcaire / acide carbonique doit être modifié pour que le calcaire dissous devienne solide.

L'expérience a démontré que l'introduction de champs magnétiques ou électriques dans l'eau peut avoir des effets semblables, avec un taux de réussite moins important néanmoins. Dans ce qui suit, notre observation se limite aux effets des champs électriques, mais il est possible d'en déduire les conditions dans lesquelles les champs magnétiques peuvent également être efficaces.

Si l'on observe l'image n°4, nous pouvons voir les deux enrouleurs à travers lesquels les impulsions sont transmises. Nombreux sont les producteurs qui désignent ces enrouleurs comme étant des « bobines »,

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

même si d'un point de vue électrique ce n'est pas le cas. De ce fait, aucun couplage « inductif » n'est possible et si inductance il y avait, le dispositif tomberait en panne dans le cas de conduites en fer, mais ce n'est pas le cas. L'enrouleur représente une partie d'une capacité, il est à la surface du condensateur, l'autre étant l'eau. L'enrouleur est un compromis technique ; une bobine métallique placée autour d'un tuyau sur la même longueur pourrait avoir une capacité légèrement plus importante, mais elle devrait également être adaptée à chaque diamètre de conduite. Les câbles habituels pour haut-parleurs sont vendus par mètres et s'adaptent sans problème aux différents diamètres de tuyaux.

Comment, avec cette disposition, un champ électrique peut-il être créé dans l'eau, même à travers tous les matériaux des tuyaux ? C'est là le point où les doutes sont les plus grands. Avec cette disposition, on obtient un effet physique largement répandu dans la vie quotidienne électrique mais peu connu : l'influence. L'image n°5 illustre le principe du processus sur la base d'un condensateur.

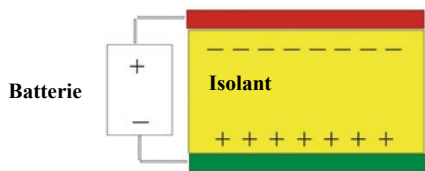


Image n°5 : Séparation des charges grâce à l'influence

Lorsqu'une tension est transmise vers les deux plaques de condensateur, elle provoque un déplacement de charge dans le diélectrique (isolant), qui est l'opposé de la charge des plaques. Lorsque les plaques sont déchargées, la polarisation de l'isolant disparaît également, car dans ce dernier, les électrons ne peuvent pas se déplacer, à l'exception des électrons liés. En revanche, si deux feuilles de métal superposées (conducteur électrique) sont placées dans le champ électrique entre les plaques du condensateur, la séparation des charges est la suivante : la surface d'une feuille de métal reçoit une charge négative (opposée à la plaque positive du condensateur) tandis que l'autre feuille reçoit une charge négative équivalente. Ce phénomène est appelé « influence ». Si les deux plaques sont séparées dans le champ électrique, l'une d'elle présente une charge négative (surplus d'électrons)

tandis que l'autre est positive (manque d'électrons).

Un condensateur est imperméable à la tension continue mais pas à la tension alternative. Tel état de fait est utilisé lorsqu'il s'agit d'introduire des champs électriques alternatifs dans les canalisations. L'image n°6 représente un instantané de ce processus. Vous pouvez voir que le matériau du tuyau n'a aucune influence sur les effets du condensateur dans la disposition présentée.

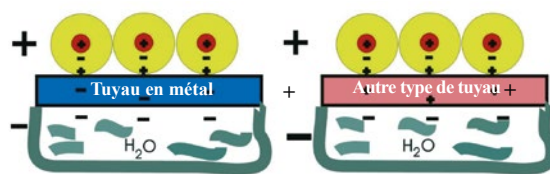


Image n°6 : Transfert d'un champ électrique dans l'eau par le processus d'influence

Si le fil d'enroulement est chargé par un pôle d'une source d'énergie, la même charge électrique de signe opposé est liée à la conduite d'eau par influence (car l'eau vient de la terre). S'il s'agit d'un transfert de charge temporaire périodique, ou, respectivement une charge et une décharge, ou de ce que l'on appelle la production d'un courant de déplacement – comme dans un condensateur (apparemment) influencé par du courant alternatif – entre le fil d'enroulement isolé et la paroi du tuyau (ceci peut être calculé avec l'équation de Maxwell). Il s'agit de la continuation d'un courant de conduction alternatif (+-+-+...) ou pulsatoire (0+0+0+0...ou 0-0-0-0...) qui se développe entre le tuyau (y compris l'eau) et le sol.

Cela provient d'une part d'un champ électrique alternatif ou pulsatoire orienté dans la direction longitudinale du tuyau et d'autre part d'un champ de Foucault magnétique centré autour du tuyau. Les mesures ont démontré qu'une tension effective de ≈ 1 volt se produit entre l'enrouleur et l'eau, et qu'il existe un courant de déplacement de $\leq 5 \mu\text{A}$.

À ce stade, il convient de prêter davantage attention au calcaire dissous dans l'eau. L'image n°7 illustre les raccordements. Le calcaire dissous – carbonate acide de calcium – se sépare sous la forme d'un double ion calcium chargé positivement et de deux ions hydrogénocarbonate chargés négativement. Ces ions sont entourés d'une cage d'eau. Les molécules d'eau

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

se déposent autour du calcium de sorte que l'oxygène pointe vers le calcium et l'hydrogène vers l'extérieur. Les forces électrostatiques maintiennent ces groupes ensemble. Le carbonate restant est entouré de la même façon sauf que les atomes d'oxygène des molécules d'eau pointent vers l'extérieur. L'ensemble de ces agrégats présente une charge positive ou négative.

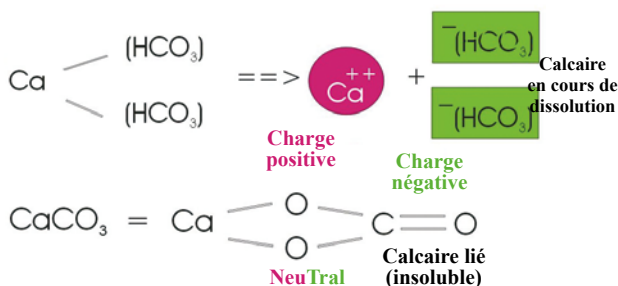


Image n°7 : Représentation schématique du calcaire dissous et lié

Une représentation schématique est donnée sur l'image n°8, il suffit d'imaginer les agrégats comme de minuscules sphères. Leur diamètre varie entre 1 et 2 nanomètres (nm), en supposant la présence de 100 à 200 molécules d'eau. Si l'on calcule la masse de ces agrégats, il apparaît que la masse de grappes de Ca, ainsi que la masse des restes de bicarbonate, se situe entre 30×10⁻²² g et 60×10⁻²² g. Ces résultats sont intéressants pour le traitement de l'eau.

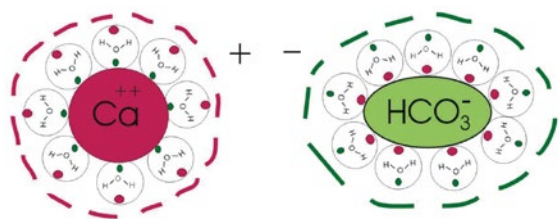


Image n°8 : État du calcaire dissous dans l'eau (schématique)

Pour en revenir au champ électrique alternatif induit, il faut savoir que le champ alternatif périodique à l'intérieur du tuyau influence les ions ou les molécules dipolaires enfermés dans des cages d'eau contenues dans l'eau de manière à se déplacer d'une direction du tuyau

à l'autre au rythme du champ alternatif. L'oscillation électrique donne lieu à une oscillation de la matière qui se propage axialement. En termes physiques, il s'agit d'une onde longitudinale mécanique (acoustique) ou d'une onde de choc. Des zones de surpression et de dépression alternent. Dans les champs atomiques et moléculaires, cela provoque localement une adhésion de CO₂. Si la fréquence d'oscillation est propice, les cages d'eau se désintègrent, causant ainsi une réduction locale de la concentration de CO₂. L'équilibre calcaire / acide carbonique est localement perturbé et, en même temps, les ions de calcaire dissous qui sont libérés de la cage d'eau peuvent se rencontrer et réagir entre eux : une molécule de calcaire a été produite, qui sert maintenant de noyau de cristallisation.*) D'autres molécules sont absorbées par ce noyau et forment un cristal calcaire dans l'eau. Ce cristal calcaire est électriquement neutre et ne réagit plus dans l'eau courante. Ainsi, ce cristal calcaire n'est plus absorbé par les dépôts calcaires existants sur les parois des canalisations.

Pour parvenir à un tel résultat, le champ électrique alternatif doit contenir des fréquences capables de conduire à des oscillations de résonance des cages d'eau. Comme toutes les eaux du robinet conformes au Décret allemand sur l'eau potable sont différentes en ce qui concerne la quantité de minéraux dissous, la valeur du pH et la conductivité, la formation du champ électrique alternatif subit également une influence non négligeable. On constate par ailleurs un changement du débit. Les appareils qui travaillent sur la base d'une seule fréquence peuvent également déclencher ce cycle par hasard, mais la plupart du temps, ils n'y parviennent pas.

Quelques données techniques sur le dispositif examiné ici sont connues, de même que des expériences positives sur son effet. Il est donc logique d'évaluer théoriquement et (dans la mesure du possible) pratiquement l'efficacité du dispositif à l'aide de ces informations.

Le système est fourni avec deux enrouleurs. Chacun des enrouleurs reçoit des impulsions présentant une fréquence d'horloge de 10 Hz, une durée d'impulsion de 50 ms et une période de repos de 50 ms avant de se désexciter. Lorsque l'un est au repos et désexcité, l'autre reçoit les impulsions. Chaque impulsion présente une réponse en fréquence située entre 3 kHz et 15 kHz

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

sur une durée de 50 ms. Du fait qu'aucune technique d'évaluation n'était adaptée, la réponse en fréquence n'a pu être mesurée. Si l'on compte 10 oscillations par kHz, la durée de l'impulsion est approximativement atteinte. À ce stade, il convient de souligner une fois de plus qu'il ne s'agit que d'une tentative d'explication générale de l'efficacité de l'appareil. Il n'est pas possible de prendre en considération la complexité d'oscillations excitées, dont notamment le chevauchement de différentes formes d'ondes (harmoniques).

Le système est censé pouvoir traiter en toute sécurité 5 000 litres d'eau par heure. Dans le cas d'un tuyau de 1,27 cm de diamètre, le débit d'une colonne d'eau sera de 11,3 mm/ms, pour une conduite de 2,54 cm, ce serait 2,8 mm/ms et pour un tuyau de 5,10 cm 0,7 mm/ms. Comme la longueur de l'effet d'un champ électrique alternatif est de ≈ 500 mm (le producteur indique $\approx 1\ 000$ mm), cela signifie que cette distance est juste couverte. Chaque cage d'eau ionique a suffisamment de temps pour se désagréger.

Qu'en est-il de la vitesse de réaction des composants chimiques ? L'institut Max Born de Berlin, spécialisé dans l'optique non linéaire et la spectroscopie transitoire, a examiné la vitesse de formation des molécules reposant sur les molécules d'eau, et ce, à l'aide d'un ensemble de lasers spéciaux. Le résultat varie entre 10 et 20 femtosecondes ($1\text{ fs} = 10^{-15}$ secondes). Ce temps est aussi inconcevablement court que l'univers est inconcevablement grand. La distance parcourue par la lumière en 1 fs nous donne une idée approximative de la brièveté de ce temps : $\approx 0,3\ \mu\text{m}$. Le temps que met la lumière pour parcourir 6 mm permet de former 1 000 molécules. Il est donc très probable que la formation de molécules et de noyaux cristallins ait lieu dans la section traitée.

5. Couches de protection et incrustations

À ce stade, la formation d'incrustations n'est que brièvement évoquée dans les processus au niveau des coudes. L'eau qui s'écoule accélère dans les coudes des tuyaux. L'eau qui s'écoule dans le rayon extérieur est plus rapide que l'eau qui s'écoule dans le rayon intérieur. Selon l'équation simplifiée de Bernoulli (2), la somme de la pression statique et de la pression dynamique est constante :

$$P_{\text{dyn}} + P_{\text{stat}} = \text{const.} \quad (2)$$

Lorsque l'eau s'écoule plus rapidement, la pression dynamique augmente et la pression statique se réduit. Cela signifie que du CO_2 s'échappe du rayon intérieur par rapport au rayon extérieur, et que l'équilibre calcaire / acide carbonique est rompu. Le calcaire se libère, cherche un point de cristallisation et le trouve sur les parois du rayon intérieur. Peu à peu, une couche de calcaire épitaxiale se développe, dans laquelle d'autres minéraux se déposent à leur tour. Sur cette surface irrégulière, des turbulences se développent, de même que dans les embranchements des conduites en raison des variations de pression, de sorte que, dans les deux cas, des dépôts de calcaire se forment. Comme l'eau, et donc le CO_2 , s'évapore dans les robinets et les pommes de douche, des dépôts de calcaire s'y forment également. Sur les surfaces chauffées, le CO_2 est également évacué de la zone environnante la plus proche, de sorte que ces surfaces constituent également des points de cristallisation privilégiés pour le calcaire.

Pour deux raisons, la présence de calcaire dans l'eau potable est importante et, par conséquent, une quantité minimale correspondant à une dureté de l'eau de 8,4 °d est stipulée par le Décret allemand relatif à l'eau potable. D'une part, l'eau potable fournit une grande partie du calcium dont le corps a besoin et, d'autre part, les restes de bicarbonate dissous réagissent avec le métal de la canalisation et forment ainsi une couche protectrice de carbonate métallique. Cela est plus particulièrement important à l'utilisation de tuyaux en cuivre (voir ci-après). L'image n°9 illustre en détail une couche de protection. Vous pouvez voir comment les cristaux se développent sur la surface métallique. Ces nombreux cristaux recouvrent la surface et protègent le tuyau contre la corrosion.

L'image n°10 le montre encore mieux. Il s'agit d'une image réalisée au microscope électronique d'une couche protectrice de phosphate produite artificiellement contre la corrosion. Les phosphates cristallisent dans un système cristallin similaire à celui des carbonates. Avec le temps, cette qualité souhaitable du calcaire devient un inconvénient, car de plus en plus de dépôts calcaires se développent dans ces couches protectrices, qui constituent des points de cristallisation idéaux. Lentement, on assiste à une obstruction des conduites qui apparaît tout d'abord au niveau des coudes et des ramifications.

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke



Image n°9 : Couche protectrice de calcaire

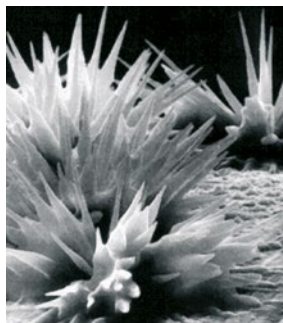


Image n°10 : Couche protectrice de phosphate



Image n°11 : Dépôts de poussière calcaire

Comme indiqué ci-dessus, c'est à partir de là que les incrustations se développent dans les sections droites du tuyau. Ce processus a lieu tant qu'il y a du calcaire dissous dans l'eau. Mais la plus grande partie du calcaire charriée par l'eau est évacuée de la canalisation sans se déposer. En effet, avec une consommation d'eau de 100 m³ par an et une dureté de l'eau de 28 °d, environ 45 kg de calcaire sont transportés dans les canalisations. Si le calcaire a été transformé en cristaux dans l'eau comme décrit ci-dessus, le calcaire est évacué de la canalisation avec l'eau sous la forme d'un fin cristal submicroscopique, empêchant ainsi une cristallisation sur les parois des canalisations. Les cristaux calcaires se déposent de manière irrégulière, comme illustré dans l'image n°11. Cette condition est identique même dans l'eau chaude. Des applications ont montré que d'autres minéraux dissous se déposent sur les noyaux de cristallisation et tombent au fond des chaudières à eau sous forme de poussière sans se développer davantage sur les barres chauffantes. De cette manière, 2 kg de dépôts de poussière calcaire ont pu être retirés d'une chaudière à eau de 150 litres après un an de fonctionnement, les barres de chauffage étant absolument exemptes de calcaire. Des utilisateurs

signalent que les échangeurs de chaleur servant à l'alimentation en eau chaude dans le cas du chauffage urbain restent également exempts de calcaire du côté secondaire. Depuis l'installation du dispositif examiné il y a quatre ans, aucun nettoyage n'a été nécessaire. Le calcaire a été rendu inoffensif mais n'a pas été éliminé et est toujours physiologiquement présent. Autre conséquence du phénomène, les gouttes d'eau qui sèchent sur les surfaces laissent une poussière calcaire qui peut s'enlever avec un chiffon humide. Mais si celle-ci demeure dans un environnement humide pendant un certain temps, elle peut se dissoudre localement sous l'influence du CO₂ présent dans l'air et si elle sèche à nouveau, une cristallisation peut apparaître à la surface : cette incrustation ne peut être éliminée qu'à l'aide d'un détartrant.

Mais ces appareils sont également censés éliminer les dépôts existants et prévenir la rouille ou la corrosion. Est-ce possible ? Et le cas échéant, comment est-ce que cela fonctionne ?

6. Élimination des dépôts et protection contre la corrosion

En préambule, quelques informations sur l'élimination des dépôts de calcaire : si l'on examine de plus près l'équation (1), nous constatons que la réaction chimique peut se produire non seulement de gauche à droite (ségrégation du calcaire), mais aussi de droite à gauche (dissolution du calcaire). Là encore, l'équilibre calcaire / acide carbonique joue un rôle crucial. En cas d'excédent d'acide carbonique, le calcaire se dissout. Chaque molécule de calcaire dissoute et cristallisée dans l'eau produit une molécule d'acide carbonique. Cet acide carbonique attaque peu à peu les dépôts calcaires et les dissout sur les parois des tuyaux, les débarrassant ainsi du calcaire. Selon le niveau des incrustations dans la conduite (dureté de l'eau, durée de vie), ce processus peut prendre entre six mois et deux ans. Pendant ce temps, de légers dépôts calcaires se forment à nouveau à l'extérieur de l'eau. Une fois ce processus terminé, il n'y a plus d'incrustations. Le calcaire est éliminé, mais la couche protectrice de carbonate est maintenue.

Bien entendu, les cristaux calcaires présents dans l'eau sont également soumis à cette influence. Mais les cristaux produits dans l'eau ont pu se développer dans un état de quasi-apesanteur et il se forme donc une structure cristalline qui ne présente que quelques défauts

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

de réseau tels que des lacunes, des atomes interstitiels, des atomes et des molécules de substitution, des défauts de déplacement et d'empilement. Par conséquent, ces cristaux offrent une cible moins grande que l'incrustation présentant ces erreurs et donc également une plus grande surface, et une énergie interne plus importante. C'est pourquoi cette incrustation est davantage la cible d'attaques, souvent avec une dissolution sélective, ce qui conduit à l'éruption de particules calcaires plus grossières qui peuvent s'accumuler dans les aérateurs.

À présent, l'équation (1) présente un état stationnaire équilibré. Mais dans la nature, il n'existe pas d'équilibres fixes, seulement des équilibres fluides. Au point de fusion de l'eau, par exemple, la glace et l'eau existent au même moment et sont donc en équilibre. Cela signifie que statistiquement, en une unité de temps, la même quantité de molécules d'eau passe de l'état liquide à l'état solide que les molécules d'eau produites par la fonte de la glace.

L'équilibre est maintenu. La ségrégation calcaire ainsi que la dissolution du calcaire décrites dans l'équation (1) sont également soumises à ce processus statique, s'il n'y a pas d'intervention extérieure. Les processus dans la section traitée ne captureront pas toutes les molécules présentes. Même en quantités moindres, il y aura toujours du calcaire dissous dans la canalisation, qui peut également se séparer, puis se dissoudre à nouveau. Mais comme le traitement physique de l'eau intervient en faveur de la dissolution du calcaire et de l'élimination des dépôts, il empêche la formation de nouvelles incrustations. Statistiquement, il est possible qu'au cours de ces processus, les surfaces qui ne sont pas encore couvertes de cristaux de carbonate métallique (voir les images n°9 et n°10) forment ce type de cristaux et rendent ainsi la couche de protection contre la corrosion plus épaisse.

Le mécanisme décrit dans le cadre de la formation d'une couche protectrice n'est pas le seul effet empêchant la corrosion. Étant donné qu'une couche protectrice est déjà présente, il ne devrait normalement pas y avoir de corrosion, mais comme l'expérience l'a montré, il n'y a pas de corrosion. Pour quelle raison ?

La technologie donne lieu à un processus de corrosion que l'on appelle élément d'aération. L'image n°12 décrit ce processus. Le fer est un conducteur électrique, l'eau est un électrolyte. Lorsqu'une goutte d'eau repose

sur le fer, un élément électrolytique se forme, il ne manque plus que la tension électrique. Au bord de la goutte d'eau, le contact entre l'oxygène et la surface métallique est plus fort et le centre de la goutte est moins ventilé. Une différence de potentiel se crée donc entre ces deux zones, le bord de la goutte d'eau devenant une cathode (surplus d'électrons) et le centre de la goutte d'eau une anode (manque d'électrons). En tant qu'électrolyte, l'eau offre à présent un circuit électrique fermé entre l'anode et la cathode. Du côté de l'anode, les ions chargés positivement dans le métal concerné se dissolvent, réagissent avec l'eau et se déposent sous forme de rouille, tandis que les électrons traversent le métal jusqu'à la cathode. En théorie, le processus est le même pour le cuivre.

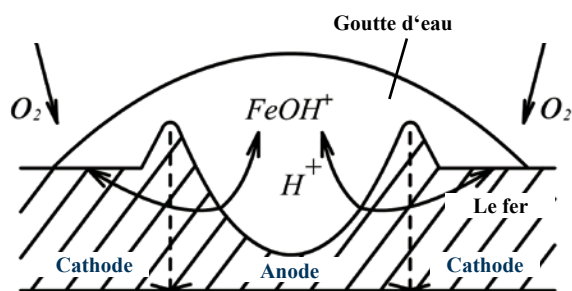


Image n°12 : Élément d'aération

En principe, le même processus se déroule dans nos tuyaux, la seule différence réside dans les raisons des différents contacts entre l'oxygène et les surfaces métalliques. L'image n°12 représente schématiquement cette constellation. Tant que l'eau n'est pas traitée physiquement, le calcaire a tendance à se déposer, comme expliqué ci-dessus. Entre les zones présentant de forts dépôts calcaires et les zones sans calcaire, le contact plus ou moins fort de l'oxygène dans l'eau affecte les surfaces avec une concentration différente. De cette manière, le même processus que dans l'élément d'aération se produit. Comme on le sait, la corrosion se produit le plus souvent dans les coudes, les embranchements et les pièces en T qui présentent des dépôts épais. Si ces dépôts sont éliminés en ne laissant que la couche protectrice, le contact avec l'oxygène est le même partout et un potentiel électrique ne peut plus se développer. Ce processus est particulièrement important pour les tuyaux en cuivre, car avec une teneur élevée en oxygène et des valeurs de pH inférieures à 6,5, le cuivre est particulièrement menacé par la corrosion et a une tendance particulière aux piqûres de corrosion.

Traitement physique de l'eau – Le pourquoi du comment

Dr.-Ing. Hartmut Jünke

Dans ces cas, une couche de protection épaisse est particulièrement importante, notamment en raison de l'impureté du cuivre (fournisseur de produits bon marché) qui favorise la formation d'éléments locaux. Ainsi, l'eau contient de plus en plus de cuivre, ce qui est néfaste pour la santé. Selon les recommandations du Ministère fédéral de la Santé, les bébés ne doivent pas boire l'eau du robinet dans pareilles situations. Les fournisseurs d'eau désignent le cuivre comme étant le « plomb du XXe siècle ».

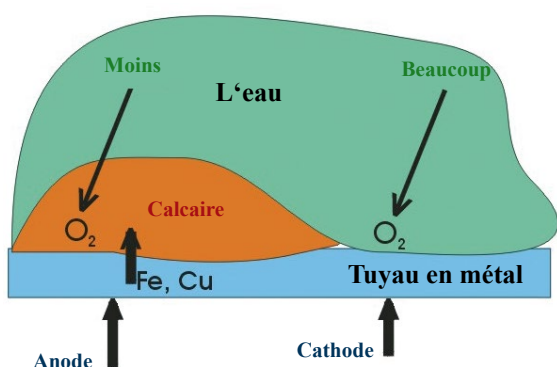


Image n°12a : Corrosion provenant de dépôts calcaires d'épaisseur différente

7. Observations finales

Les faits traités montrent que l'efficacité du traitement physique de l'eau n'a pas seulement été prouvée par les utilisateurs, mais qu'il existe également des preuves physico-chimiques théoriques et pratiques. La condition préalable est néanmoins que le dispositif proposé réponde plus ou moins aux paramètres décrits. En général, les exigences en matière de technologie électronique sont assez élevées, de sorte que, la plupart du temps, les appareils bon marché ne peuvent pas répondre à ces exigences.

Le mode d'action de ces dispositifs montre que les procédures d'essai habituelles visant à déterminer leur efficacité, en particulier les essais courts, sont vouées à l'échec et fournissent des résultats erronés. Une nouvelle procédure d'essai doit être mise au point, qui puisse également fournir une preuve quantitative des connexions théoriques décrites ici.

Je souhaite remercier le Professeur H. Ungenannt à Magdebourg, pour son soutien lors de l'interprétation

des processus électriques, Monsieur K. Matthies, Ingénieur à Berlin, pour son aide concernant la technologie d'évaluation, le Professeur W. Morgner à Eichenbarleben, pour les discussions critiques sur le présent travail et le bureau d'études pour le traitement physique de l'eau Helmut Siegmund à Königs-Wusterhausen, pour la mise à disposition de l'appareil.

⁽¹⁾ De plus amples informations concernant l'appareil peuvent être obtenues auprès de son fabricant, Christiani Wassertechnik GmbH, Köpenicker Str. 154, 10997 Berlin, Allemagne

Crédits photo :

- Images n°1 et n°2 : W. Kleber, Einführung in die Kristallographie (Introduction à la cristallographie), Verlag Technik Berlin, 1956
- Images n°4, 6, 9 et n°11 : Texte d'information de Christiani Wassertechnik GmbH
- Image n°10 : Texte d'information de BMW Group Plant Berlin
- Image n°12 : W. Schatt (éditeur), Einführung in die Werkstoffwissenschaft (Introduction à la science des matériaux), VEB Deutsche Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig

*) Les coraux bâtissent leurs bâtons de corail de la même façon. Au niveau de leurs pieds, ils possèdent des cellules végétales qui contiennent de la chlorophylle. Celle-ci produit de la matière organique (hydrates de carbone) à partir de l'eau et du CO₂ grâce à la lumière du soleil. Ainsi, l'équilibre calcaire / acide carbonique est également perturbé (réduction du CO₂), ce qui entraîne une sécrétion de calcaire formant les bâtonnets de corail. C'est la raison pour laquelle les coraux n'existent que dans les eaux peu profondes inondées de soleil, car ce n'est qu'à cet endroit que l'énergie solaire est suffisante pour le processus de photosynthèse.