

**MITTEILUNGEN ZUM  
GEWÄSSERSCHUTZ**

**NR. 30**

**Elektromagnetische  
Wasserbehandlung**

**Fallstudien in Abwasseranlagen  
und Trinkwasser-Anwendungen**



**Bundesamt für Umwelt, Wald und  
Landschaft (BUWAL)**

### 3.2.1 Approvisionnement en eau potable avec de l'eau dure

En plus des enquêtes sur les stations d'épuration, une étude de cas sur l'utilisation des champs électromagnétiques dans l'approvisionnement en eau potable a été réalisée dans le cadre de la thèse de doctorat. Le secteur de l'eau potable et les dépôts qui y ont lieu représentent un système beaucoup moins complexe sur le plan chimique que les stations d'épuration des eaux usées.

L'étude de cas sur l'eau potable qui fait l'objet de l'enquête est un approvisionnement en eau potable indépendant du réseau municipal d'eau potable, qui est alimenté par trois puits d'eau extrêmement dure.

L'eau potable dure entraîne d'importants problèmes de calcaire qui ont nécessité un entretien régulier et important à différents endroits du système qui utilise l'eau potable. Les problèmes de calcaire les plus intenses se sont manifestés dans le refroidissement des compresseurs de réfrigération, dans la cuisine (nettoyage de la vaisselle, des vitres et de l'acier chromé) et sur les barres chauffantes de trois chaudières. Étant donné que les propositions d'assainissement classiques (ajout de stabilisateurs de dureté à l'eau brute, systèmes de contre-osmose pour les humidificateurs et l'eau potable, systèmes d'adoucissement pour la cuisine ou revêtement interne des tuyaux) sont coûteuses et ne sont peut-être pas sans poser de problèmes d'un point de vue bactériologique ou corrosif en fonctionnement alterné, un essai a été réalisé avec des champs électromagnétiques.

#### Expérimentation avec des champs électromagnétiques

L'étude de la formation de tartre dans les tuyaux de refroidissement des compresseurs de réfrigération a été réalisée à titre de comparaison "avant/après" : Au début de l'expérience, un morceau de tuyau qui avait été installé dans la ligne pendant deux ans a été scié et remplacé par un nouveau tuyau correspondant (même matériau provenant de la même livraison). Ce nouveau morceau de tuyau a été à nouveau découpé un an plus tard. Cela a permis de comparer des tuyaux identiques au même endroit sur une période d'observation de 3 ans. L'opération n'a pas été modifiée pendant la période où les tuyaux ont été installés. La température de fonctionnement de l'emplacement des tubes d'essai sciés se situe entre 28 et 30 °C.

#### Résultats

1. constatations visuelles : la différence d'épaisseur de la couche formée est frappante. **En supposant que la densité des croûtes est la même, six fois moins de matériel s'est déposé sous l'influence d'ondes électromagnétiques, dans la même période, que dans des conditions de référence.**
2. composition chimique : dans les deux cas, le dépôt est principalement constitué de carbonate de calcium. Par rapport au total la quantité totale de calcium précipité, la teneur en fer ne semble pas avoir été influencée par les champs électromagnétiques.
3. diffraction sur poudre : l'analyse des dépôts formés dans les tubes de refroidissement a montré que **la composition minérale était différente par rapport à celle de la référence** : là où de l'aragonite pure avait été trouvée avant l'installation de l'équipement électromagnétique, l'analyse aux rayons X des dépôts formés dans des conditions expérimentales a montré des proportions approximativement égales de calcite et aragonite.
4. SEM - images :  
Dans le cas de l'échantillon de référence, les micrographies électroniques à balayage montrent de belles aiguilles et prismes d'aragonite agrégés en faisceaux ou dispersés. Le

précipité formé sous l'influence du champ ne montre (même à un grossissement de 5000 fois) qu'une accumulation poreuse et non structurée de cristaux microcristallins.

### **Conclusions de l'étude de cas sur l'eau potable**

L'étude de cas dans le secteur de l'eau potable, un système relativement pur par rapport aux stations d'épuration des eaux usées, a permis des observations plus différenciées et plus instructives.

Dans les conditions données par l'eau potable locale, le réseau de canalisations et les champs utilisés, les changements suivants ont été observés :

- **La quantité de calcaire déposé a été réduite par l'effet électromagnétique par un facteur de 6.**
- La quantité de fer déposée ne dépend pas du champ électromagnétique. En raison de la réduction de la quantité de calcaire déposé, la teneur en fer est considérablement plus élevée sous l'influence du champ (effet de dilution).
- La modification cristalline du précipité restant sur la paroi du tube a changé sous l'influence des champs électromagnétiques. Alors que la référence consistait en aragonite, la structure cristalline de l'expérience consiste en un mélange d'environ 1:1 de calcite et d'aragonite.
- Le SEM **montre de façon très impressionnante que l'habitude du cristal est modifiée:** L'échantillon de référence montre des aiguilles d'aragonite bien formées, alors que dans l'échantillon de l'expérience, aucune forme cristalline n'est visible, même à haute résolution.

Les observations décrites ici ne doivent pas être généralisées. Ils ont été observés dans la situation décrite dans ces conditions expérimentales. Des observations similaires ont été décrites dans la littérature scientifique.

### 3.2.1 Trinkwasserversorgung mit hartem Wasser

Im Rahmen der Dissertation wurde neben den Kläranlageuntersuchungen eine Fallstudie über den Einsatz elektromagnetischer Felder in einer Trinkwasserversorgung durchgeführt. Der Trinkwasserbereich und die darin stattfindenden Ablagerungen stellen chemisch ein weit weniger komplexes System als Kläranlagen dar.

Bei der untersuchten Trinkwasser-Fallstudie handelt es sich um eine vom kommunalen Trinkwassernetz unabhängige Trinkwasserversorgung, die durch drei Fassungen mit einem äusserst harten Wasser gespeisen wird.

*Tabelle 3.5.: Mittlere Trinkwasserzusammensetzung*

pH	7.8 (- 8.4)
Leitfähigkeit	1000 - 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Alkalinität	4 mM (-6 mM)
Ca <sup>2+</sup>	2.6 mM
Mg <sup>2+</sup>	1.2 mM
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ca. 1.8 mM (geschätzt)

Das harte Trinkwasser führt zu grossen Kalkproblemen, die an verschiedenen Orten in der Anlage, die das Trinkwasser nutzt, regelmässige und aufwendige Unterhaltsarbeiten erforderten. Am intensivsten waren die Kalkprobleme in der Kühlung der Kältekompressoren, in der Küche (Geschirr-, Gläser- und Chromstahlreinigung) und an den Heizstäben dreier Boiler. Da konventionelle Sanierungsvorschläge (Zudosierung von Härtestabilisatoren ins Rohwasser, Gegenosmoseanlage für die Luftbefeuchter und das Trinkwasser, Enthärtungsanlagen für die Küche, oder aber Innenbeschichtung der Rohre) kostspielig und bei alternierendem Betrieb möglicherweise in bakteriologischer resp. korrosiver Hinsicht nicht unproblematisch sind, wurde ein Versuch mit elektromagnetischen Feldern unternommen.

### **Probleme in der Klimatisierung**

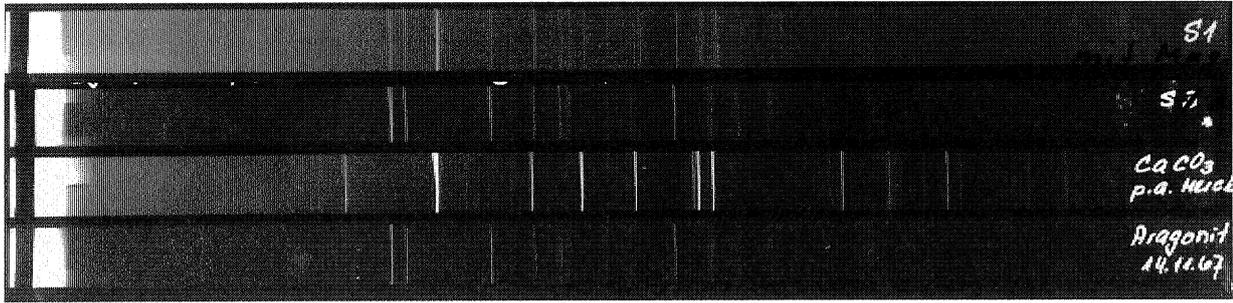
In der Kühlung der Kältekompressoren wird das Kühlwasser von ca. 10° auf 28-30°C erhitzt. Das führt zu einem 1.26-fachen Anstieg der CaCO<sub>3</sub>-Übersättigung (Fig. 3.13.).

### **Versuch mit elektromagnetischen Feldern**

Die Untersuchung der Kalkbildung in den Kühlrohren der Kältekompressoren wurde als ein Vergleich "vorher/nachher" durchgeführt: Zu Versuchsbeginn wurde ein Rohrstück, das zwei Jahre in der Leitung eingebaut gewesen war, herausgesägt und durch ein entsprechendes neues Rohr (gleiches Material aus gleicher Lieferung) ersetzt. Dieses neue Rohrstück wurde ein Jahr später wiederum herausgesägt. Somit ergab sich ein Vergleich identischer Rohre am gleichen Ort über einen Beobachtungszeitraum von 3 Jahren. Am Betrieb wurde in der Zeit, als die Rohre montiert waren, nichts geändert. Die Betriebstemperatur an der Stelle der herausgesägten Versuchsrohre liegt zwischen 28 und 30°C.

### **Resultate**

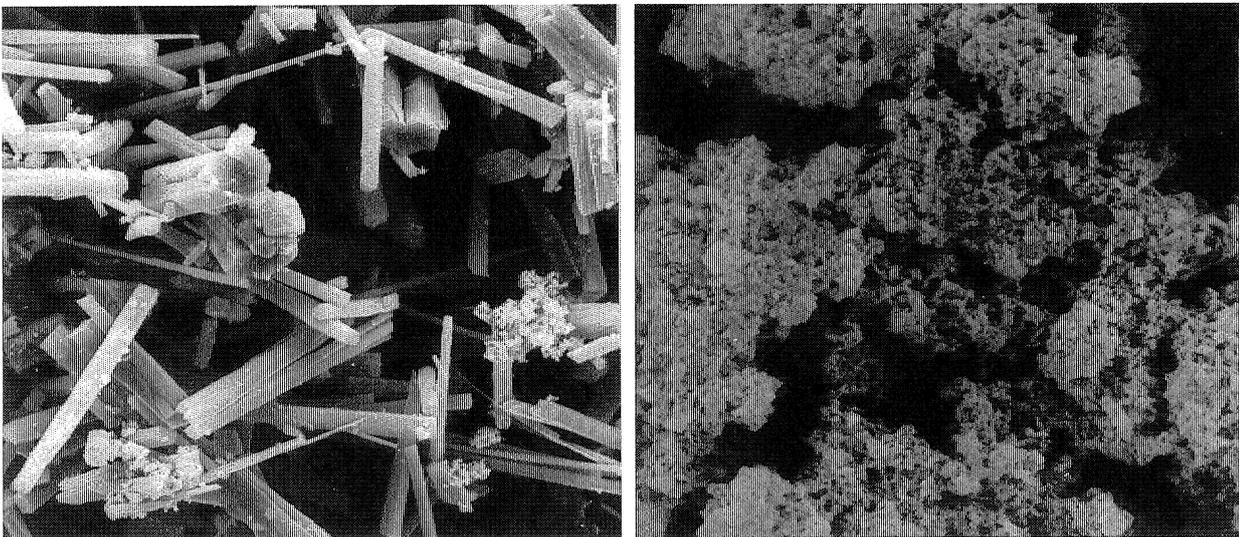
1. Optischer Befund: Auffallend ist der Unterschied in der Dicke der gebildeten Schicht. Unter der Annahme, dass die Dichte der Krusten gleich ist, hat sich unter Feldeinfluss in dergleichen Zeit sechs mal weniger Material abgelagert als unter Referenzbedingungen.
2. Chemische Zusammensetzung: Die Ablagerung besteht in beiden Fällen zur Hauptsache aus Calciumcarbonat. Im Gegensatz zur totalen ausgefallenen Calciummenge scheint der Eisengehalt durch die Felder nicht beeinflusst worden zu sein.
3. Pulverdifraktometrie: Die Untersuchungen der in den Kühlrohren gebildeten Ablagerungen ergab, dass die mineralische Zusammensetzung im Vergleich zu der Referenz anders ist: Wo vor Installation der elektromagnetischen Geräte reiner Aragonit gefunden worden war, fanden sich in der Röntgenanalyse der unter Versuchsbedingungen entstandenen Ablagerungen ca. gleich grosse Anteile an Calcit und Aragonit.



**Fig. 3.15.:** Pulverdiffraktogramm der Ablagerungen aus der Probe, die unter Feldeinfluss entstanden war (oberste Abbildung), der Referenzprobe ohne Feldeinfluss (2. Abbildung) sowie Vergleichsaufnahmen mit reinem Calcit und reinem Aragonit. Die Referenzprobe besteht aus reinem Aragonit (keine Calcitlinien). Die Probe aus dem Versuch besteht ca. hälftig aus Calcit und Aragonit.

4. REM - Aufnahmen:

Die Rasterelektronenmikroskopaufnahmen zeigen im Fall der Referenzprobe schöne Aragonitnadeln und -prismen, die zu Bündeln aggregiert oder vereinzelt vorliegen. Die unter Feldeinfluss entstandene Ausfällung zeigt (selbst bei 5000-facher Vergrößerung) nur eine poröse, unstrukturierte Anhäufung mikrokristalliner Kristalle.



**Fig. 3.16.:** Rasterelektronenmikroskopaufnahmen aus dem Kühlrohr der Kältekompressoren bei einer 200-fachen Vergrößerung: die Abbildungen links (Referenz) zeigt schöne Aragonitnadeln, die Abbildung rechts (unter Feldeinfluss entstandene Ablagerung) zeigt keine erkennbaren kristallinen Strukturen.

### Folgerungen aus der Trinkwasser-Fallstudie

Die Fallstudie im Trinkwasserbereich, einem - verglichen mit Kläranlagen - verhältnismässig reinen System, führten zu differenzierteren und aufschlussreichen Beobachtungen.

Unter den Bedingungen, die durch das örtliche Trinkwasser, das Leitungsnetz und die zum Einsatz gekommenen Felder gegeben wurden, konnten folgende Änderungen festgestellt werden:

- Die abgeschiedene Kalkmenge wurde durch das elektromagnetische Feld um den Faktor 6 reduziert.
- Die abgeschiedene Eisenmenge ist nicht feldabhängig. Durch die Verringerung der abgeschiedenen Kalkmenge ist der prozentuale Eisenanteil wesentlich grösser unter Feldeinfluss (Verdünnungseffekt).
- Die Kristallmodifikation der an der Rohrwand verbleibenden Ausfällung änderte sich unter dem Einfluss der elektromagnetischen Felder. Während die Referenz aus Aragonit bestand, besteht die kristalline Struktur aus dem Versuch aus einem ca. 1:1-Gemisch von Calcit und Aragonit.
- Im REM zeigt sich sehr eindrücklich, dass der Kristallhabitus verändert wird: Die Referenzprobe zeigt schön ausgebildete Aragonitnadeln, während in der Probe aus dem Versuch auch in hoher Auflösung keine kristallinen Formen sichtbar sind.

Die hier beschriebenen Beobachtungen dürfen nicht verallgemeinert werden. Sie wurden in der beschriebenen Situation unter diesen Versuchsbedingungen beobachtet. In der Literatur sind z.T. ähnliche Beobachtungen beschrieben worden.