

Und sie funktioniert doch

Neue Erkenntnisse über den Wirkungsmechanismus der elektrostatischen Wasserbehandlung durch Untersuchungen mit dem Hochleistungs-Lichtmikroskop Ergonom 400

Kurt Olbrich und Dr. Rupert Wögerbauer

Die Diskussion um die physikalische Wasserbehandlung ist in vollem Gange. In einer neueren Veröffentlichung (HR 9/92, d.Red.) äußert der Autor, Dr. Wagner, wiederholt, daß jeglicher Ansatz zu einer naturwissenschaftlichen Erklärung des Wirkungsprinzips der physikalischen Wasserbehandlung ebenso fehlen würde wie der gesicherte Nachweis der Wirksamkeit. Dabei liefert die Theorie der homogenen Kristallkeimbildung, wie sie von Wögerbauer dargestellt wurde, eine hinreichende Beschreibung der beobachteten Phänomene. Über die Wirksamkeit von PWGs liegen eine Reihe von seriösen Beobachtungen vor, die nicht mit den z.T. simplen Erklärungsversuchen der Gegner vom Tisch zu wischen sind.

Inzwischen sind zahlreiche Aktivitäten im Gange, um die Wirksamkeit von PWGs unter exakten Versuchsbedingungen zu belegen und um zu zahlenmäßig faßbaren Meßwerten zu kommen. Allerdings gestalten sich die dafür notwendigen Versuchsaufbauten komplizierter, zeit- und kostenintensiver, als dies zunächst der Fall zu sein schien. Ferner ist zu bedenken, daß erhebliche Unterschiede in den Wirkungsmechanismen zwischen der elektrostati-

sehen Wasserbehandlung und anderen Verfahren zu erwarten sind, wenglich zunehmend erkennbar wird, daß die Herbeiführung der homogenen Keimbildung ein gemeinsamer Faktor sein könnte. Der Auslösemechanismus sowie weitere Abläufe dürften jedoch von System zu System erheblich unterschiedlich sein.

Außer den Bemühungen, die Wirksamkeit meßtechnisch zu erfassen, um von subjektiven Beobachtungen loszukommen, wird natürlich auch an der Deutung der naturwissenschaftlichen Zusammenhänge weiter intensiv geforscht, stellen diese doch den sichersten Weg zur Weiterentwicklung der Geräte dar. Von den Kritikern wird immer wieder zu Recht gefordert, daß naturwissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse über den Wirkungsmechanismus erforderlich seien, wenglich dies für andere Verfahren nicht im vergleichbaren Maße angemahnt wird.

Um zu einem vertieften Verständnis der Wirkungsmechanismen bei der elektrostatischen Wasserbehandlung zu kommen, wurden umfangreiche Untersuchungen am Institut für interdisziplinäre Grundlagenforschung, Kurt Olbrich, durchgeführt. Das von Olbrich entwickelte Hochleistungs-Lichtmikroskop "Ergonom 400" eröffnete dabei ungewöhnliche Möglichkeiten. Das Verfahren der lichtmikroskopischen Untersuchung von entsprechenden Proben hat nur dem ersten Anschein nach Ähnlichkeit mit den von Kronenberg durchgeführten Arbeiten, da die weitaus größte Zahl von Beobachtungen im Wasser und nicht an Verdunstungsrückständen erfolgte. Derartige Beobachtungen führen nur dann zu erfolgversprechenden Ergeb-

Bild 1: Schematische Darstellung des Maitron-Systems (Sanitärteil)

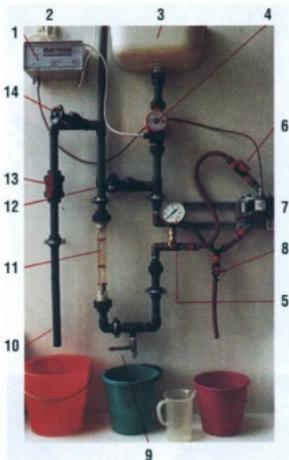


Bild 2: Versuchsstand zur elektrostatischen Wasserbehandlung (Versuchsaufbau Olbrich)

1. Maitron-Elektronik,
2. Ein- und Ausschalter der Wasserpumpe
3. Vorratsbehälter für Wasserproben (mit Innenverschluss der Ablauföffnung)
4. stufenlos regulierbare Flügelradpumpe
5. Druckmanometer, 6. Absperrhahn
7. Maitron-Anlage, 8. Absperrhahn
9. Absperrhahn, 10. Wasserauslauf
11. Durchflußmesser, 12. Absperrhahn
13. Absperrhahn, 14. Absperrhahn

nissen, wenn das verwendete Mikroskop über besondere Eigenschaften verfügt, auf die später noch genauer eingegangen werden wird.

Das Verfahren der elektrostatischen Wasserbehandlung

Grundgedanke des Verfahrens ist, daß Wasser in einem elektrostatischen Feld bewegt wird. Der Begriff des elektrostatischen Feldes hat in den vergangenen Diskussionen immer wieder Anlaß zu Mißverständnissen und Fehlinterpretationen gegeben.

Es soll daher kurz eine entsprechende Erklärung dieses Begriffes gegeben werden, wobei auf die Darstellung von Schwab zurückgegriffen wird.

Das elektrostatische Feld ist den ruhenden Feldern zuzuordnen, für die gilt: $\delta/\delta t = 0$. Daneben gibt es ein quasi-stationäres elektrisches Feld, das zu den sich langsam ändernden Feldern gehört.



Feld, so kann dem Feld hierdurch keine Energie (Arbeit) entnommen werden, das Feld kann ohne Energiezufuhr aufrechterhalten werden. Man drückt dies mathematisch dadurch aus, daß das Linienintegral

$$\oint E ds = 0 \text{ ist (E Feldstärke, s Wegstrecke).}$$

Das für die hier beschriebenen Versuche verwendete Maitron-System erzeugt ein elektrostatisches Feld, indem zwei vom Wasser isolierte Elektrodenplatten mit einer positiven Gleichspannung von ca. 6 KV beaufschlagt werden. Das sich auf Erdpotential befindliche Wasser dient als Gegenelektrode. Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung des Maitron-Systems.

Der Versuchsstand

Um die Versuchsabläufe möglichst überschaubar und reproduzierbar zu gestalten, wurde ein relativ einfacher Versuchsaufbau installiert, der jedoch die Erfassung der wichtigsten hydraulischen Parameter ermöglicht und der die Behandlung verschiedener Wasserproben gestattet (Bild 2).

Das zu behandelnde Wasser wird aus einem Behälter (3) über eine stufenlos regulierbare Flügelradpumpe (4) der Maitron-Anlage zugeführt. Vor der Anlage können mittels des Auslaufhahns (8) Proben des unbehandelten Wassers entnommen werden. Nach Durchströmen der Maitron-Anlage erfolgt die Druckmessung mit einem Manometer (5), die Messung der Durchflußgeschwindigkeit (11) und schließlich die Entnahme des behandelten Wassers (10).

Das Mikroskop

Das Mikroskop Ergonom 400 (Bilder 3 und 4) schließt die Lücke zwischen den herkömmlichen Lichtmikroskopen und dem Rasterelektronenmikroskop. Zwei Besonderheiten sind hierbei wichtig:

Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop haben zwar eine große Tiefenschärfe, die Proben müssen jedoch bedampft werden; eine Darstellung in Eigenfarben ist nicht möglich.

Bei klassischen Lichtmikroskopen nimmt die Tiefenschärfe mit zunehmender Vergrößerung ab. Eine solche Kopplung von Tiefenschärfe und Vergrößerung kennt das Olbrichsche Mikroskop nicht. Die Tiefenschärfe ist in einem weiten Bereich nahezu unabhängig von der Vergrößerung einstellbar. Dadurch sind lichtmikroskopische Wiedergaben in den Eigenfarben der Objekte mit bisher unbekannter räumlicher Tiefe möglich (Bild 5).

Darüber hinaus verschiebt das Mikroskop auch die Auflösungsgrenze weit über die allgemein definierten $\lambda/2$ hinweg in Bereiche, die zunächst physikalisch nicht sofort verständlich sind und die scheinbar der Abbeschen Mikroskoptheorie widersprechen. Hier hilft nur der praktische Versuch, d.h. man kann die Leistungsfähigkeit des Olbrichschen Mikroskopes nur anhand geeigneter Versuchsobjekte nachvollziehen. Der Beweis für diese Möglichkeiten übersteigt den Rahmen dieser Darstellung und kann daher hier nur an einem Beispiel demonstriert werden (Bild 6).

Der Einsatz dieses Mikroskops erlaubt bisher ungeahnte Einblicke in den Mikrokosmos unseres Trinkwassers, die optische Dokumentation von Kristallwachstum und -auflösung. Unabhängig von theoretischen Erörterungen können Fluktuationen um Gleichgewichtszustände visuell dokumentiert werden.

Um die Auswirkungen des elektrostatischen Feldes dokumentieren zu können, wurden Versuche durchgeführt, die es ermöglichen, im Mikroskop, direkt im Wasser - nicht an Verdunstungsrückständen -, die Einwirkung elektrostatischer Felder zu demonstrieren. Wichtig ist bei allen nachfolgenden Erläuterungen, die Vergrößerung und die Tiefenschärfe des

Bild 3: Das Lichtmikroskop Ergonom 400

Bild 4: Elektronik und Videoaufzeichnungsgeräte zum Mikroskop Ergonom 400

Ruhende Felder sind durch ruhende oder mit zeitlich konstanter Ladungsdichte gleichförmig bewegte Ladungen gekennzeichnet, die Feldgrößen sind keine Funktion der Zeit. Technisch wird ein solches Feld im Falle des elektrostatischen Feldes durch Gleichspannung erzeugt. In enger Beziehung hierzu steht das quasi-statische elektrische Feld. Dies ist so zu verstehen, daß in langsam veränderlichen elektrischen Feldern die zeitliche Änderung der Flußdichte und die Dichte des Verschiebungsstromes nur sehr kleine Werte annimmt.

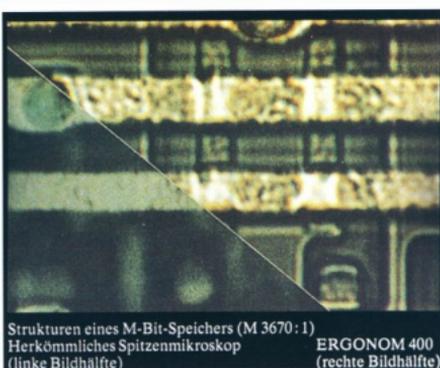
Eigenschaften des elektrostatischen Feldes

Elektrostatische Felder verursachen Kraftwirkungen auf geladene Teilchen. Bewegt man ein solches Teilchen längs eines beliebigen, in sich geschlossenen Weges im



Bild 5: Schematische Darstellung der Tiefenschärfe des Mikroskops Ergonom 400

Bild 6: Beispiel für die Tiefenschärfe und Auflösung des Ergonom 400: Strukturen eines M-Bit-Speichers (Vergrößerung 3670fach)



Strukturen eines M-Bit-Speichers (M 3670: 1)
 Herkömmliches Spitzmikroskop (linke Bildhälfte) ERGONOM 400 (rechte Bildhälfte)

Mikroskops Ergonom 400 richtig einzuordnen. Erst dann ist nachvollziehbar, daß die Vorgänge im elektrischen Feld und damit der Modellcharakter der Versuche gewährleistet ist. So wurde die elektrostatische Beaufschlagung des Wassers mit einer Untersuchungskammer nachvollzogen, die die makroskopischen Verhältnisse im Maitron-Gerät möglichst praxisnah simuliert.

Mikroskopische Dokumentationen unter statischen wie dynamischen Verhältnissen geben Einblick in die Vorgänge. Die Untersuchungskammern stellen Eigenkonstruktionen dar, die angelegte statische Gleichspannung entstammt einer serienmäßigen Maitron-Elektronik. Das gesamte Bildmaterial wurde auf Videobänder aufgezeichnet und hiervon dann die nachfolgend gezeigten Aufnahmen ausgedruckt.

Unbehandeltes Wasser

(Wasserversorgung Mainstockheim, Analyse siehe Anhang).

Bild 7 zeigt unbehandeltes Wasser in der Untersuchungskammer (Vergrößerung 400fach).

Durch die große Tiefenschärfe entsteht der Eindruck, daß das Rohwasser voll mit Schwebeteilchen beladen sei. Dieser Eindruck täuscht, da der Blick durch die gesamte Schichtdicke des Wassers in der Kammer (ca. 4mm) auf die Ebene des Fotos übertragen wurde. Die Größe der einzelnen Teilchen bewegt sich in der Größenordnung zwischen ca. 1 und 5 Mikrometer.

Elektrostatisch behandeltes Wasser

(Wasserversorgung Mainstockheim)

Um in der Mikroskopuntersuchungskammer ein dem Maitron-Verfahren vergleichbares elektrostatisches Feld aufzubauen, wurden am Rand der Kammer zwei Elektroden vom Wasser isoliert eingeführt und diese mittels der Maitron-Elektronik

jeweils mit einer positiven Spannung von 6 KV versorgt. Um eine dem Maitron-Gerät vergleichbare Feldverteilung zu erzielen, mußte über eine zusätzliche Mittelelektrode die Verbindung zum Erdpotential der Wasserversorgung sichergestellt werden. Eine große Zahl von Vergleichsversuchen ergab, daß die am Versuchsstand erzielten Effekte mit den im Modellversuch direkt unter dem Mikroskop gewonnenen Beobachtungen übereinstimmen. Nach unserem derzeitigen Verständnis für die Vorgänge bei der elektrostatischen Wasserbehandlung muß von zwei zeitlich mehr oder weniger parallel verlaufenden Effekten ausgegangen werden:

1. der Konglomeration der im Wasser mitgeführten Schwebeteilchen
2. der Auslösung der homogenen Keimbildung und Konglomeration der so entstandenen Kristallite (Mikrokrystalle).

1. Die Konglomeration der Schwebeteilchen

In Bild 8 ist zu erkennen, daß sich unter Einwirkung des elektrostatischen Feldes die statistische Gleichverteilung der Schwebeteilchen aufhebt und diese sich zu immer dichteren Teilchensammlungen zusammenlagern. Die im Feld bewirkte Ladungsverschiebung innerhalb der Teilchen und ihre im Vergleich zum Volumen große spezifische Oberfläche dürften für diesen Effekt verantwortlich sein. In der Abfolge der Bilder 9 und 10 ist die fortschreitende Zusammenlagerung gut zu erkennen. Aus zahlreichen Versuchs wiederholungen ergab sich, daß die so zusammengelagerten Teilchen zu Konglomeraten heranwachsen, deren lineare Erstreckung bei ca. 20 Mikrometer endet. In Bild 11 ist ein typisches Endprodukt dieser Konglomeratbildung dargestellt, die Einzelpartikel sind noch gut zu erkennen. Die in den Untersuchungskammern erhaltenen Bilder entsprechen weitgehend



Bild 7: Unbehandeltes Wasser aus der Wasserversorgung Mainstockheims (Vergrößerung 400fach)

Bild 8: Beginnende Konglomeration der Schwebeteilchen nach Einschalten des Maitron-Gerätes (Vergrößerung 400fach)

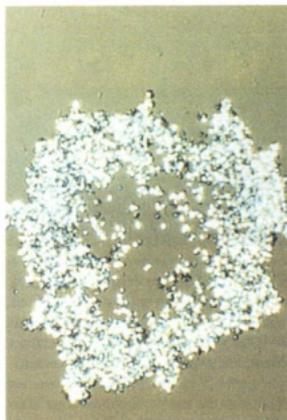
denen, die man beobachtet, wenn man Wasserproben untersucht, die im Versuchsstand das Maitron-Gerät durchströmt haben.

2. Die homogene Kristallkeimbildung

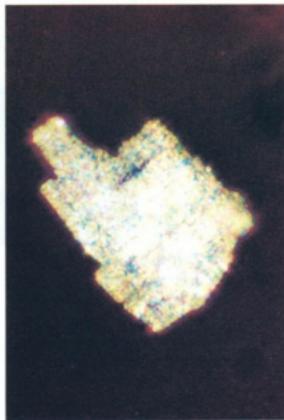
Parallel zur Konglomeration der Schwebeteilchen läßt sich mit einer entsprechenden Mikroskopier- und Beleuchtungstechnik



9



10



11



13



14

zeigen, daß durch das angelegte elektrische Feld im Wasser eine homogene Keimbildung ausgelöst wird, der zweite entscheidende Effekt bei der elektrostatischen Wasserbehandlung. Allerdings mußte, um den optischen Beweis für die Auslösung der homogenen Keimbildung zu erbringen, auf eine höher auflösende und erheblich lichtempfindlichere Videokamera zurückgegriffen werden, die nur für Schwarz/Weiß-Technik zur Verfügung stand.

Die Bildabfolge 12 bis 20 wurde mit 515facher Vergrößerung erstellt, die kleinsten erkennbaren Partikel liegen in der

Größenordnung von 400 bis 500 Nanometer. Bild 12 zeigt zunächst das unbehandelte Wasser. Die Bilder 13 bis 15 machen deutlich, daß nach dem Anlegen des elektrostatischen Feldes zunächst eine zunehmende Zahl von Materieanhäufungen entsteht, geregelte kristalline Strukturen sind jedoch noch nicht zu erkennen.

Ab Bild 16 sind Ansätze von Ecken und Kanten erkennbar, die Ausbildung von Kristallflächen tritt ein, bis schließlich in Bild 20 die endgültige Größe der Partikel mit einer linearen Erstreckung von ca. 20 bis 25 Mikrometer erreicht ist.

Da das Mikroskop Ergonom 400 die

Möglichkeit bietet, solche Partikel bei gesteigerter Auflösung weiter zu vergrößern, entstanden eine Reihe ungewöhnlicher mikroskopischer Bilder, die zusätzliche Informationen lieferten und das Verständnis vertieften.

Die Bilder 21 und 22 zeigen so, daß die im Bild 20 abgebildeten Partikel durch Zusammenlagerung kleinerer Kristallite entstanden, die sich an Flächen passend aneinander fügten; die Korngrenzen sind gut erkennbar. Um dies noch deutlicher zu dokumentieren, wurde eine Probe mit behandeltem Wasser bis auf das 4000fache vergrößert.



12



15



Bilder 9 und 10 : Verdichtung zu Konglomeraten (Vergrößerung 400fach)

Bild 11: Endstufe der Konglomeratbildung (Vergrößerung 800fach)

Bild 12: Unbehandeltes Wasser vor Einsetzen der Kristallkeimbildung (Vergrößerung 515fach)

Bilder 13 bis 15: Durch Einwirkung des elektrostatischen Hochspannungsfeldes beginnt das Vorstadium kristalliner Phasen (Vergrößerung 515fach)

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Durch den Einsatz des Hochleistungs-Lichtmikroskops Ergonom 400 und der Konstruktion entsprechender Beobachtungskammern sowie durch Prüfstandsversuche konnte am Trinkwasser der Gemeinde Mainstockheim und an anderen Wässern die Wirkung eines elektrostatischen Feldes auf das Wasser in einer großen Zahl von aussagekräftigen Bildern dokumentiert werden. Der Informationsgehalt ist besonders hoch zu bewerten, da die Beobachtungen in Echtzeit direkt im Wasser erfolgten.

Durch die optische Dokumentation konnte schlüssig gezeigt werden, daß bei der elektrostatischen Wasserbehandlung zwei Vorgänge entscheidend sind:

1. Die Konglomeration der im Wasser erhaltenen Schwebeteilchen
2. Die Auslösung der homogenen Kristallkeimbildung mit anschließender Konglomeration der Kristallite.

Letztendlich zeigen solche hochauflösenden Mikroskopbilder auch eindrucksvoll, daß Fluktuationen um den Gleichgewichtszustand Fest/Flüssig von Bedeutung sind. So zeigt Bild 26 das homogene Wachstum von Kristallen über Schrauben- und Stufenversetzungen, während Bild 27 einen Kristall mit typischen Auflösungserscheinungen wiedergibt. Kanten und Flächen sind konkav gewölbt.

Abschließende Betrachtung

Sicherlich sind auch nach den durchgeführten Untersuchungen nicht alle Fragen bezüglich der elektrostatischen Wasserbehandlung gelöst. Es dürfte jedoch anhand der vorgelegten Bilddokumente unstrittig sein, daß der Einsatz des Mikroskops Ergonom 400 in Verbindung mit weiteren Untersuchungsmethoden wichtige Er-

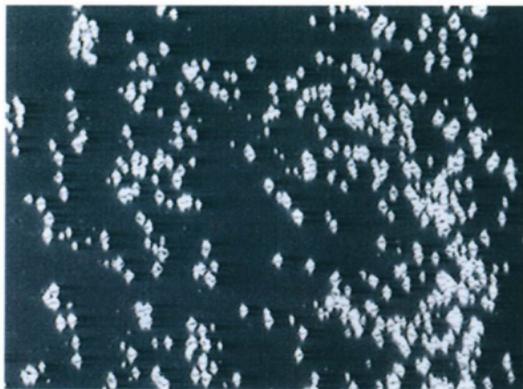
Die Bilder 23 bis 25 belegen so, daß die Einzelkristallite bei einer linearen Abmessung von ca. 4-7 Mikrometer über Begrenzungen durch Ecken, Kanten und Flächen verfügen, einem typischen Merkmal der kristallinen Materie.

Auch hier zeigt sich, daß sich offensichtlich ähnlich wie bei den im Wasser befindlichen Schwebeteilchen, bedingt durch elektrostatische Kräfte, eine Zusammenballung durch Aneinanderlagerung ergibt: es bilden sich Konglomerate aus kleineren Kristalliten. Die von Wögerbauer gemachten theoretischen Aussagen über die Bedeutung der homogenen Kristallkeimbil-

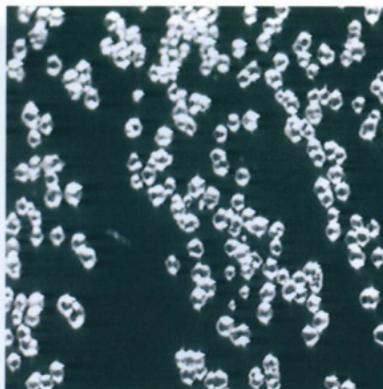
dung bei der physikalischen Wasserbehandlung fanden durch die Mikroskopuntersuchungen so eine experimentelle Bestätigung.

Durch den Vorgang der Konglomeration wird offensichtlich ein weiterer wichtiger Aspekt erkennbar:

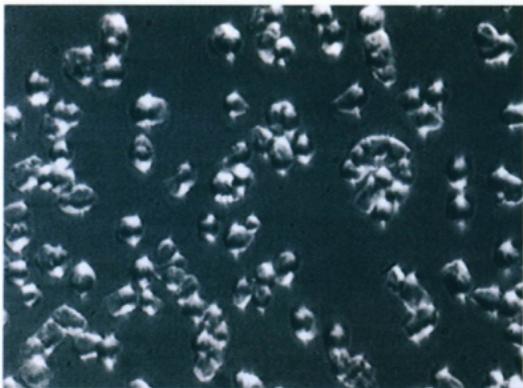
Durch die Zusammenlagerung werden die an den Oberflächen auftretenden freien Bindungskräfte zu einem erheblichen Teil gegenseitig kompensiert, die Fähigkeit der Partikel sich an Fremdoberflächen anzulagern daher wesentlich reduziert, so daß entsprechende Ablagerungen, z. B. an Rohrwandungen, vermieden werden.



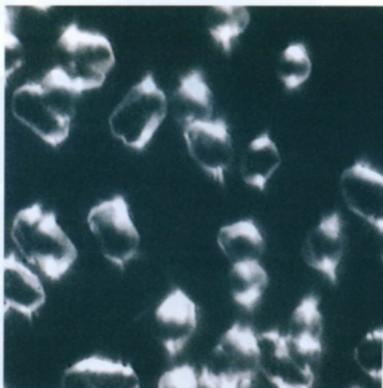
16



17



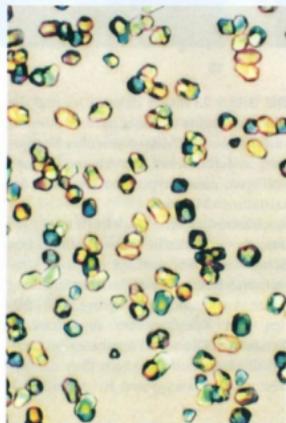
19



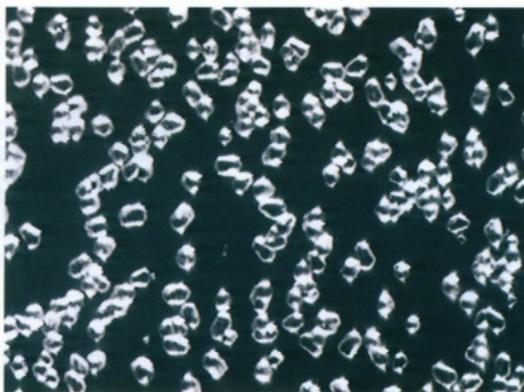
20



22



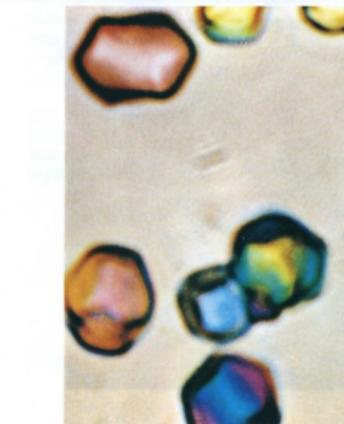
23



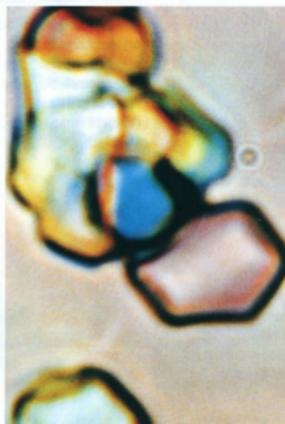
18



21



24



25

Bilder 16 bis 20: Entwicklung kristalliner Strukturen bis zur Konglomerat-Endstufe durch das elektrostatische Hochspannungsfeld (Vergrößerung 515fach)

Bilder 21 und 22: Die Endprodukte der kristallinen Strukturen sind aus Mikrokristallen aufgebaut, die sich über Korngrenzen zu Konglomeraten zusammenlagern (Vergrößerung 500fach)

Bilder 23 bis 25: Mikrokristalle im elektrostatisch behandelten Wasser. Kleinstkristalle lagern sich unter dem Einfluß des elektrostatischen Feldes aufgrund ihrer großen spezifischen Oberfläche zu Konglomeraten zusammen (Vergrößerung Bild 23: 540fach, Bild 24: 3050fach, Bild 25: 400fach)

kenntnisse zum Verständnis der elektrostatischen Wasserbehandlung geliefert hat und zukünftig noch interessante Forschungsergebnisse zu erwarten sind. Eine Erkenntnis läßt sich jedoch bereits jetzt festhalten:

Die ca. 20 Mikrometer großen Konglomerate, die sich aus winzigen Kristalliten (Mikrokristallen) aufbauen, haben offensichtlich z.T. andere Eigenschaften als Makrokristalle, da physikalische Gesetzmäßigkeiten eine Rolle spielen, die bei großen Kristallen kaum Einfluß auf deren Verhalten ausüben.

Der wichtigste Grund hierfür liegt darin, daß sich bei den Mikropartikeln (Kristalliten) das Verhältnis Volumen zu Oberfläche extrem zugunsten der Oberfläche verschiebt. Durch das Überwiegen der Oberflächenkräfte ist somit offensichtlich eine verstärkte Wechselwirkung mit elektrostatischen Feldern möglich.

Literatur

- 1/1 Fachverband Sanitär-Heizungs- und Klimatechnik Bayern, Info Spezial 12/92
- 2/2 Frahne, D., SBZ 11/91., Alfons W. Gentner Verlag Stuttgart
- 3/3 Frahne, D., SBZ 14/1992, Alfons W. Gentner Verlag Stuttgart
- 4/4 Frohne, H., Elektrische und magnetische Felder, Teubner Studienskripten, Stuttgart 1983
- 5/5 Kronenberg, J., Raum u. Zeit, Sonderdruck
- 6/6 Kronenberg, K., SHT 3/93, Krammer-Verlag Düsseldorf
- 7/7 Olbrich, Kurt, Firmenschrift
- 8/8 Rudert, M. und Müller, G., Chemiker-Zeitung 5/82

Anhang 1: Analysenzusammenstellung

Tagebuchnummer	1071		
Entnahmeort	Mainstockheim		
Bezeichnung	ZWV Gemeinde Mainstockheim, Brunnen am Brunnenkopf		
Entnahmestelle	Kitzingen		
Gesundheitsamt	Kitzingen		
Eingangsdatum	19.02.91		
Probenahme	18.02.91		

Geruch, qualitativ	nicht wahrnehmbar
Färbung, qualitativ	nicht wahrnehmbar
Trübung, qualitativ	nicht wahrnehmbar
Bodensatz, qualitativ	nicht wahrnehmbar

pH-Wert, im Labor	7,27		
Chlorid (Cl ⁻)	40,2 mg/l	1134 mmol/m ³	
Nitrit (NO ₂ ⁻)	< 0,005 mg/l		
Ammonium (NH ₄ ⁺)	< 0,05 mg/l		
Nitrat (NO ₃ ⁻)	37 mg/l	603 mmol/m ³	
Oxidierbarkeit:			
als Kaliumpermanganat	1,08 mg/l		
als Sauerstoff	0,27 mg/l		
Säurekapazität bis pH 4,3	5,34 mmol/l	5340 mmol/m ³	
Gesamthärte	37,2 Grad dH		
Calcium (Ca)	198 mg/l	4940 mmol/m ³	
Magnesium (Mg)	49,4 mg/l	1621 mmol/m ³	
Natrium (Na)	16,7 mg/l	726 mmol/m ³	
Kalium (K)	4,2 mg/l	107 mmol/m ³	
Phosphat (PO ₄ ³⁻)	< 0,05 mg/l		
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	338 mg/l	3519 mmol/m ³	
Leitfähigkeit bei 25°C	1205 µS/cm		

pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung (nach Entwurf DIN 38404 Teil 10), berechnet für 18,0°C 7,08

Arsen (As)	< 0,0002 mg/l		
Blei (Pb)	< 0,003 mg/l		
Cadmium (Cd)	< 0,0002 mg/l		
Chrom (Cr)	< 0,002 mg/l		
Cyanid (CN ⁻)	< 0,002 mg/l		
Fluorid (F ⁻)	0,24 mg/l	12,6 mmol/m ³	
Nickel (Ni)	< 0,005 mg/l		
Quecksilber (Hg)	< 0,0002 mg/l		
PAK (C)	< 0,00001 mg/l		
LCKW*	< 0,001 mg/l		
Dichlormethan	< 0,01 mg/l		
Tetrachlorkohlenstoff	< 0,0001 mg/l		

*Summe aus 1,1,1 - Trichlorethan, Trichlorethylen und Tetrachlorethylen

Eisen	< 0,03 mg/l
Mangan	< 0,002 mg/l

Wasseranalyse der Gemeinde Mainstockheim (freigegeben durch Gemeinderatsbeschluß), Wasserentnahmestelle Brunnen, entsprechend den Wasserproben. Der Sulfatgehalt ist geogen bedingt und unterliegt bestimmten Schwankungen, die von der Fördermenge (und damit von der Jahreszeit) abhängen. Er steigt bis auf Werte knapp über 400 mg/l.

- /9/ Samerski, L., TGA Report Sonderveröffentlichung, SWI Bahmann GmbH
- /10/ SBZ Forum, SBZ 11/91, Gentner Verlag Stuttgart
- /12/ Schwab, Adolf J., Begriffswelt der Feldtheorie, Springer-Verlag 1987
- /13/ SHT-Diskussion, SHT8/92, Krammer-Verlag Düsseldorf
- /14/ Wagner, I., SBZ 23/92, Gentner Verlag Stuttgart
- /15/ Wagner, I., Vortrag Amersfoort, 11/91
- /16/ Wagner, I., gwf Wasser Abwasser, 5/89,
- /17/ Wögerbauer, R., SHT 11/91, Krammer-Verlag Düsseldorf
- /18/ Zentralverband Sanitär Heizung Klima, SBZ 23/92, Gentner Verlag Stuttgart

Bild 26: Homogenes Kristallwachstum über Schrauben- und Stufen-Versetzungen (Vergrößerung 1000fach)

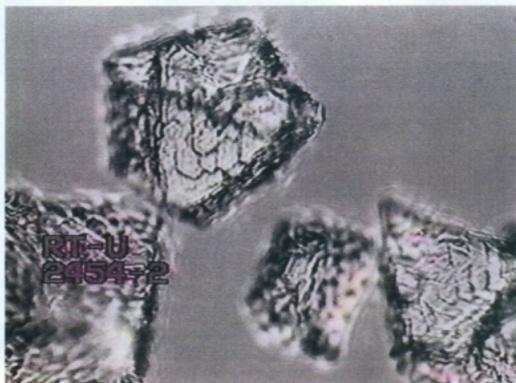


Bild 27: Auflösungserscheinungen zeigen sich durch konkav gewölbte Flächen und Kanten (Vergrößerung 1000fach). Alle Bilder: Kurt Olbrich

