

# Winzige Magneteilchen reinigen Wasser und gewinnen Rohstoffe zurück

Neuartige, mit Nanomagneten »gespickte« Reinigungsteilchen können im Wasser gelöste Rohstoffe wie Kupfer, aber auch Giftstoffe wie Quecksilber gezielt an sich binden. Danach lassen sie sich mit einem großen Magneten aus dem Wasser ziehen. Dabei wird nicht nur das Wasser dekontaminiert; man gewinnt auch wertvolle Rohstoffe zurück. Die Teilchen selbst sind ebenfalls wiederverwendbar.

Wasser ist das Lebenselixier schlechthin. Ohne das »kühle Nass« wäre auf der Erde kein Leben möglich. Aber auch Landwirtschaft und Industrie benötigen große Mengen an Wasser, das durch die Nutzung häufig mit Nährstoffdünger oder Schwermetallen verunreinigt wird. Unkontrollierte Nährstoffeinträge können in Flüssen, Seen und Meeren zu schädlichem Algenwachstum führen. Gelangen hochtoxische Substanzen in das Wasser, droht sogar eine schleichende Vergiftung der Bevölkerung. In asiatischen Ländern sind bereits etliche Trinkwasservorräte mit Arsen belastet. Da die Zahl der Menschen auf unserem Planeten ungebrochen wächst, nehmen die Probleme zu: Sauberes Wasser wird immer knapper, und auch manche wichtigen Rohstoffe gehen langsam zur Neige.

Was liegt da näher, fragten sich Forscher vom Fraunhofer Institut für Silicatforschung in Würzburg, als die im Wasser gelösten Rohstoffe wieder herauszuziehen – und dabei gleichzeitig das Wasser zu reinigen? Man würde auf diese Weise zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen. »Dachrinnen etwa enthalten Zink, das sie gegen Rost schützt«, erklärt Karl Mandel, Materialforscher und Geowissenschaftler aus dem Würzburger Team. »Durch Abrieb gelangt das Metall ins Regenwasser – und anschließend ins Grundwasser. Bislang galt dieses Zink als verloren.« Ideal wäre es, wenn man mit einer Art »Greifer« in die Abwässer »hineinlangt« und die darin gelösten Substanzen wieder herausholen könnte. Das Wasser wäre gereinigt, und die zurückgewonnenen Rohstoffe wie Zink könnten in der Industrie wiederverwendet werden.

## Studienpreis-Juror Christian Schwägerl

»Schwermetalle und Phosphate verschmutzen Gewässer. Aber zugleich steckt im Phosphat kostbarer Rohstoff für die Düngung von Äckern. Wird dieser Rohstoff knapp, ist das eine Gefahr für die Welternährung. Der Geo- und Materialwissenschaftler Karl Sebastian Mandel entwickelte kleine Spezialpartikel, die sich, ins Abwasser gegeben, gezielt mit den enthaltenen Schad- und Wertstoffen verbinden und anschließend mit einem Magneten herausziehen lassen. Seine anspruchsvolle theoretische und experimentelle Arbeit hat großes und wichtiges Anwendungspotenzial.«

»Hightech-Produkte wie Computer, Fernseher und Autos enthalten bis zu 60 verschiedene wertvolle chemische Elemente«, sagt Mandel. Er leitet seit Oktober 2013 den Bereich »Partikeltechnologie und Grenzflächen« am Würzburger Fraunhofer Institut. Im Rahmen seiner Doktorarbeit setzte der gebürtige Münchener die von ihm und seinen Kollegen entwickelten Ideen erstmals praktisch um. Als »Greifer« nutzt Mandel kleine magnetische Partikel, die feinstverteilt dem Abwasser zugegeben werden und die darin enthaltenen Stoffe selektiv binden. Danach werden die Teilchen mit Hilfe eines großen Magneten aus dem Wasser herausgezogen. Damit ist das Wasser schon einmal gereinigt. Anschließend werden die Partikel in eine Waschlösung gegeben, die die gebundenen Stoffe wieder löst. Die auf diese Weise recycelten Rohstoffe lassen sich in der Industrie wiederverwenden. Auch die Reinigungspartikel selbst können danach erneut zum Einsatz kommen.

Die große Herausforderung war, die für dieses Verfahren geeigneten Spezialpartikel zu entwickeln. Sie müssen magnetisch sein, weil sie sonst nicht von dem großen Magneten aus dem Wasser herausgezogen werden könnten. Theoretisch kämen daher kleine dauermagnetische Teilchen in Frage – etwa ein zu feinem Pulver zermahlener Stabmagnet. »Doch wenn man ein solches Pulver ins Wasser gäbe, würden sich die Partikel sofort gegenseitig magnetisch anziehen und als große Klumpen zu Boden sinken«, erklärt Mandel. »Beabsichtigt hingegen ist, dass die Fängerpartikel zunächst ganz frei im Abwasser schweben.«

## Vorstoß in Nano-Dimensionen

Einen Ausweg aus dem Dilemma versprach die Nanotechnologie. Diese Forschungsrichtung befasst sich mit Teilchen in der Größe von wenigen Nanometern. »Größenmäßig verhält sich ein Nanoteilchen zu einem Fußball wie ein Fußball zur gesamten Erdkugel«, sagt Mandel. Das Faszinierende an solchen Nanopartikeln ist, dass sie sich in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften radikal von ihren deutlich größeren Pendanten unterscheiden. Das gilt auch für magnetische Materialien in Nanodimensionen. »Ein solches Nanopartikel »vergisst« seinen Magnetismus«, erklärt Mandel. »Genauer gesagt rotiert seine magnetische Ausrichtung willkürlich in alle Richtungen – ähnlich einer »verrückt gewordenen« Kompass-



Karl Sebastian Mandel (29) studierte von 2005 bis 2008 Geowissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität sowie der Technischen Universität München und von 2008 bis 2010 Materialwissenschaften an der Universität Ulm und der University of Oxford (UK). Anschließend promovierte er zu »Superparamagnetic Nanocomposite Particles for Water Purification and Resources Recovery« an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, wo er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig war. Seit Oktober 2013 ist er Leiter des Bereichs »Partikeltechnologie und Grenzflächen« am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung in Würzburg.

*Beitragstitel* **Wasserreinigung und Rohstoffrecycling mit nanomagnetischen Helfern**

**Dr. Karl Sebastian Mandel**

Promotion an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC

Telefon +49 · 931 · 410 04 02

E-Mail [karl-sebastian.mandel@isc.fraunhofer.de](mailto:karl-sebastian.mandel@isc.fraunhofer.de)





nadel.« Sobald jedoch ein großer Magnet in die Nähe des Nanopartikels gebracht wird, »erinnert« es sich wieder an seinen Magnetismus – und wird vom Magneten angezogen. Man erhält also einen »schaltbaren« Magneten.

»Der große Vorteil ist, dass sich solche magnetischen Nanopartikel im Wasser nicht gegenseitig anziehen. Sie können sich deshalb sehr fein im Wasser verteilen«, erklärt der Preisträger. Allerdings bringen ihre winzigen Abmessungen auch Nachteile: So sind etwa die Kräfte, mit denen sie von einem großen Magneten angezogen werden, äußerst schwach.

Karl Mandel musste sich daher eines weiteren Tricks bedienen: Er platzierte eine große Zahl der winzigen Nanomagneten in einem Trägermaterial – einer glasartigen Substanz. »Sie werden in dieses Matrixmaterial eingebunden wie Rosinen in ein Brötchen«, erklärt der Preisträger. Auf diese Weise erhielt er

größere Partikel, deren Durchmesser mit 20 Mikrometern knapp unter dem eines menschlichen Haares liegt. Da in diesen größeren Partikeln etliche Nanomagneten verteilt sind, werden sie von einem externen Magneten deutlich stärker angezogen. Dennoch bleibt in den größeren Partikeln der Nanoeffekt erhalten; ihr Magnetismus ist also weiterhin »schaltbar«. Werden sie in Wasser gegeben, verhalten sie sich – wünschgemäß – wie feinste Schwebstoffe, verteilen sich also sehr gleichmäßig. Ungeachtet dessen lassen sie sich mit einem großen Magneten im Handumdrehen einsammeln und aus dem Wasser ziehen.

### Molekulare Greifer

Nun musste Mandel nur noch Ausschau nach geeigneten »Greifern« halten. Solche Greifer sollen sich möglichst selektiv an einen Zielstoff im Abwasser binden. Damit wird die Partikel-

oberfläche auf ganz spezielle Weise für die einzufangenden Elemente empfänglich gemacht. Meist sind die Zielstoffe – beispielsweise Schwermetalle oder Phosphat – als Ionen im Wasser gelöst.

Zum Einfangen dieser Ionen setzte Mandel spezielle Moleküle ein, die an Krebscheren erinnern. Diese Scheren können nur Stoffe ganz bestimmter Größe und Ladung festhalten, was für die gewünschte Selektivität sorgt. Weiterhin als »Fänger« geeignet sind aus Schichten aufgebaute Materialien. Diese Schichten lassen sie mit exakt definierten Abständen entwickeln, so dass nur Stoffe ganz bestimmter Größe zwischen ihnen eingelagert werden können. Dazu muss allerdings auch die elektrische Ladung stimmen, denn sonst würden die Stoffe mittels elektrostatischer Kräfte abgestoßen statt eingelagert.

Nachdem Mandel die Fängermaterialien künstlich hergestellt hatte, brauchte er sie nur noch auf die großen, mit Nanomagneteten »gespickten« Partikel aufzubringen. Als er und seine Kollegen die nunmehr voll funktionsfähigen Reinigungsteilchen bei Tests ins Abwasser einbrachten, blieben – je nach Art der Fänger-Moleküle – Quecksilber, Kupfer oder Phosphat wie gewünscht an ihnen haften. Anschließend fischte das Team die Reinigungsteilchen mit einem großen Magneten, der die winzigen Nanomagneteten einschaltete, mitsamt ihrer teils toxischen Fracht aus dem Abwasser heraus. Zum Abschluss wurden die Reinigungspartikel in eine Waschflüssigkeit gegeben, die die gebundenen Stoffe wieder von den Krebscheren oder aus den Schichten löste. Damit konnte Mandel nachweisen, dass das von ihm und seinen Kollegen entwickelte Konzept, verunreinigtes Wasser zu säubern und die enthaltenen Stoffe »in Reinform« zurückzugewinnen, auch praktisch funktioniert.

## Kläranlagen als Rohstoff-Sammelstellen

»Die Kläranlage der Zukunft könnte mit solchen oder ähnlichen Verfahren zu einer Rohstoff-Sammelstelle werden«, schwärmt Mandel, »und ganz nebenbei wird das Wasser gereinigt, jenes für das Leben auf unserem Planeten wertvollste Elixier.« Im Rahmen eines von der Baden-Württemberg-Stiftung geförderten Pilotprojekts arbeiten das Würzburger Fraunhofer-Institut, das Stuttgarter Institut für Siedlungswasserbau (ISWA) und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) bereits an einer Umsetzung in größerem Maßstab. Dabei sollen die von Karl Mandel entwickelten Reinigungsteilchen Abwasser eines kommunalen Lehr- und Forschungs-Klärwerks von Phosphat befreien. Zum »Herausfischen« der Reinigungspartikel wird ein am KIT entwickelter Magnetseparator dienen.

### Vier Fragen an Karl-Sebastian Mandel

#### Was war Ihr schönsten wissenschaftliches Erlebnis?

Als ich zum ersten Mal – nach vielen missglückten Versuchen – selbst hergestellte Nanopartikel im Elektronenmikroskop gesehen habe. Das war schon klasse! Ebenso toll ist es, völlig unerwartete Entdeckungen zu machen – wobei es in der Regel mit viel Folgearbeit verbunden ist, wenn man dem dann auf den Grund gehen will: Warum ist das so? Kriege ich das noch mal hin? Wofür ist das jetzt gut?

#### Was war Ihr größtes wissenschaftliches »Debakel«?

Ich würde es eher als »Zwiespalt« beschreiben: Einerseits mag ich es, meine Forschung für die Medien populärwissenschaftlich zu beschreiben. Auf der anderen Seite »schreit« der Wissenschaftler in mir, wenn ich diese oft stark vereinfachten Erklärungen lese. Denn natürlich ist die reale wissenschaftliche Situation ungleich komplizierter und komplexer, und vieles funktioniert in der Wissenschaft eben nicht so wunderbar einfach, wie es in der Zeitung oder im Fernsehen wirkt.

#### Welches Fachbuch außerhalb Ihrer Disziplin hat Sie begeistert?

Als ich von den Geowissenschaften zu den Materialwissenschaften wechselte, fand ich die Fachbücher zur Quantenphysik faszinierend. Das war eine ganz neue Welt für mich. Irgendwann begann ich diese komischen Hieroglyphen wie die Schrödinger-Gleichung zu verstehen – und war fasziniert davon, dass man damit tatsächlich reale Phänomene in unserer Umwelt erklären kann.

#### Welche wissenschaftliche Errungenschaft halten Sie für die wichtigste?

Viele Errungenschaften sind von enormer Bedeutung für unser heutiges Leben. Ohne Methoden der Energieerzeugung und Umwandlung in Elektrizität wäre unser Alltag undenkbar. Ohne Dünger könnten wir vermutlich nicht die nötigen Nahrungsmittel für die Weltbevölkerung produzieren, und ohne die vielen herausragenden Errungenschaften in der Medizin wäre unser Dasein in der Regel um viele Jahre kürzer. Schade, dass man mit wissenschaftlichen Errungenschaften Hass, Krieg und Grausamkeit nicht abstellen kann.

