

Dr. Karl Sebastian Mandel

Wasserreinigung und Rohstoffrecycling mit nanomagnetischen Helfern

Der vorliegende Beitrag wurde beim Deutschen Studienpreis 2014 mit einem 1. Preis in der Sektion Naturwissenschaften ausgezeichnet. Er beruht auf der 2013 an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Silicatforschung eingereichten Dissertation »Wasserreinigung und Rohstoffrecycling mit nanomagnetischen Helfern« von Dr. Karl Sebastian Mandel.

Wasserreinigung und Rohstoffrecycling mit nanomagnetischen Helfern

Dr. Karl Sebastian Mandel

Verschiedenste Stoffe – von Düngemitteln bis Schwermetallen - verschmutzen weltweit Wasser, welches dadurch zu flüssigem Müll, zu Abwasser wird. Durch „nanomagnetische Helfer“ könnte es bald möglich sein, die Substanzen aus dem Wasser wieder heraus zu holen – so werden sie erneut für Industrie oder Landwirtschaft nutzbar gemacht und ganz nebenbei das Wasser gereinigt.

Jeder Mensch braucht täglich Wasser, denn ohne ist kein Leben möglich. Doch auch für nahezu jeden industriellen oder landwirtschaftlichen Prozess wird das kühle Nass benötigt. Wird Wasser genutzt, ist es jedoch nicht mehr nur reines H₂O, vielmehr kommen etliche andere Substanzen hinzu, beispielsweise Nährstoffdünger oder Schwermetalle. Fließen nährstoffreiche Abwässer unkontrolliert in Seen und Flüsse, führt dies zu Algenwachstum, und letztendlich stirbt dort alles andere Leben. Noch dramatischer ist die Lage, wenn Schwermetalle ins Wasser gelangen: Arsen beispielsweise ist ein hochtoxischer Stoff. Vor allem in asiatischen Ländern sind etliche Trinkwasservorräte damit belastet. Werden Menschen Arsen ausgesetzt, sind schwere, oft tödlich endende Krankheiten die Folge. So haben sich die schleichend letale Wirkung dieses Giftstoffes Gerüchten zufolge bereits die Feinde Napoleons zunutze gemacht um seinem Leben ein Ende zu bereiten.

Es ist unumstößlich: Wasser ist eine lebenswichtige Ressource und muss sauber gehalten werden. Es wird jedoch immer mehr verschmutzt, da es unvermeidbar ist, dass die Nutzung mit steigender Weltbevölkerung zunimmt. Doch nicht nur sauberes Wasser wird in Zukunft immer rarer.

Jeder Mensch strebt nach Wohlstand. Dazu gehören auch Güter wie Computer, Fernseher, Autos – Hightechprodukte, die mehr als 60 verschiedene wertvolle chemische Elemente beinhalten. Doch auch ganz einfache Produkte, wie eine Dachrinne, enthalten Wertstoffe – im Beispiel ist es Zink, das die Regenrinne vor Rost schützt. Auch die Landwirtschaft benötigt wertvolle Rohstoffe, zum Beispiel Phosphat als essenziellen und nicht substituierbaren Dünger. Die Liste ließe sich beliebig fortsetzen und zeigt unsere Abhängigkeit von nahezu allen chemischen Elementen, die als Rohstoffe abgebaut werden. Der Abbau erfolgt in großen Bergbaugebieten in vielen Teilen dieser Erde. Der steigende Rohstoffhunger führt jedoch – abgesehen von der zunehmenden Umweltzerstörung in den Abbaugebieten - schon heute zu Lieferengpässen und täglich werden die Stimmen lauter, die vor einem Zur-Neige-Gehen gehen wichtiger Ressourcen warnen. Die chemischen Elemente gehen jedoch nicht verloren – sie landen auf

Deponien und gelangen letztendlich oft über Umwege feinst verteilt in Abwässer – so beispielsweise auch das Zink aus dem Abrieb der Dachrinne. Bisher sind solche Stoffe, sobald sie ins Abwasser gelangen, meist verloren – man spricht hier von Dissipation - und tragen einzig zur Verschmutzung des Wassers bei.

Wäre es deshalb nicht reizvoll, wenn man in die Abwässer mit einer Art „Greifer“ „hineinlangt“ und die darin gelösten Stoffe herausholen könnte? Das Wasser wäre gereinigt, und die Stoffe könnten für industrielle Zwecke wieder eingesetzt werden.

Genau dies wollte ich in meiner Dissertation mit einem materialchemischen und prozesstechnischen Ansatz versuchen.

Was also könnte ein geeigneter „Greifer“ sein?

Kleine Spezialpartikel sind hier die innovative Lösung. Diese Partikel können feinst verteilt dem Abwasser zugegeben werden und dann darin enthaltene Stoffe selektiv chemisch binden (Adsorption). Der Trick dabei: Da die Partikel magnetisch sind, können sie mit ihrer Fracht einfach mit einem Magneten aus dem Abwasser herausgezogen werden. Das Wasser ist gereinigt. Der an die Partikel gebundene Stoff wird dann wieder abgewaschen (Desorption) und kann so in einer Waschlösung gesammelt und beispielsweise für industrielle Prozesse wiederverwertet werden. Die Partikel werden zu neuem Abwasser gegeben, um erneut ihre Reinigungsaufgabe durchzuführen. Die Teilchen lassen sich also stets im Kreislauf führen und „greifen“ so immerzu aufs Neue Zielstoffe aus Abwasser. Das Prinzip des Prozesses ist in Abbildung 1 dargestellt.

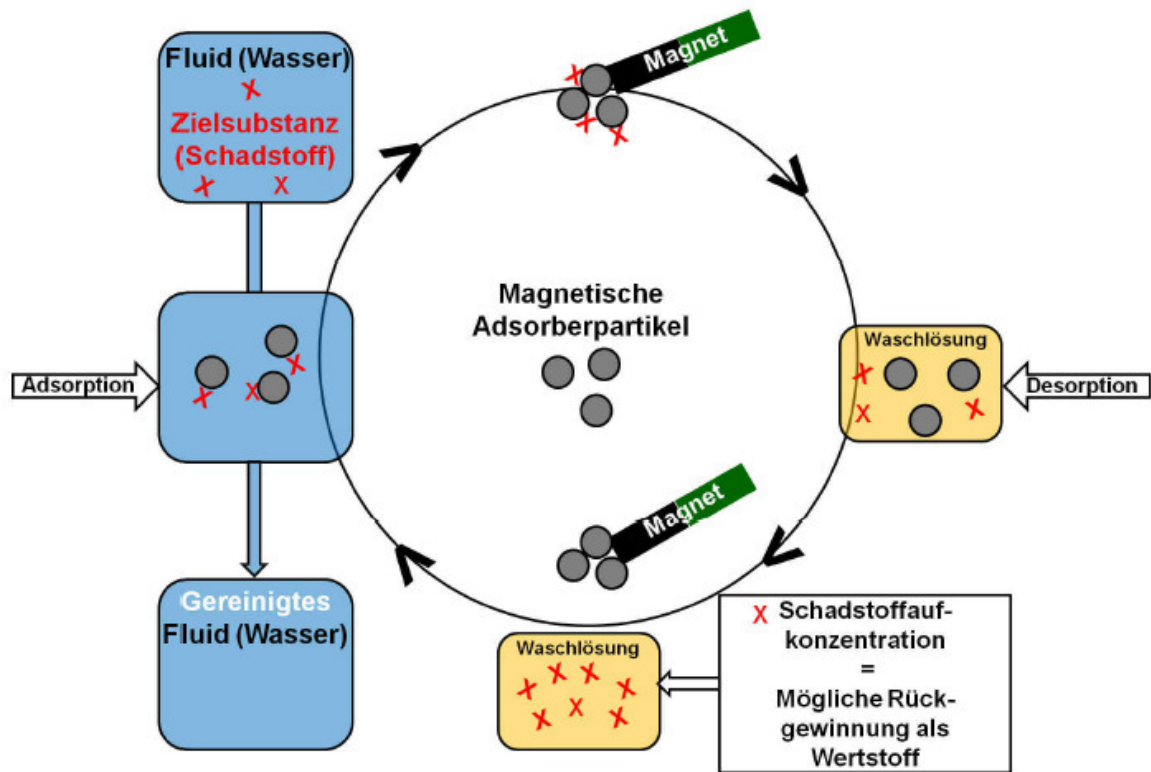


Abbildung 1: Verunreinigungen in Wasser werden an magnetische Partikel gebunden (Adsorption). Diese werden magnetisch abgetrennt, aufgereinigt (Desorption des gebundenen Stoffes) und erneut verschmutztem Wasser zugeführt, das so gereinigt werden kann. Die abgetrennten Stoffe können als Wertstoffe wieder eingesetzt werden.

Die Herausforderung ist der Aufbau solcher Spezialpartikel. Klar ist, die Partikel müssen magnetisch sein. Naheliegender wäre es, kleine Dauermagnetische Partikel zu verwenden, beispielsweise feines Pulver, gewonnen aus einem aufgemahlene Stabmagneten. Sicher wird sich das Pulver magnetisch verhalten, jedoch stößt man auf ein Problem: Gibt man diese Dauermagneten in Wasser, werden sich die Teilchen sofort gegenseitig magnetisch anziehen und als große Klumpen rasch zu Boden sinken; so wie es in Abbildung 2 zu sehen ist.

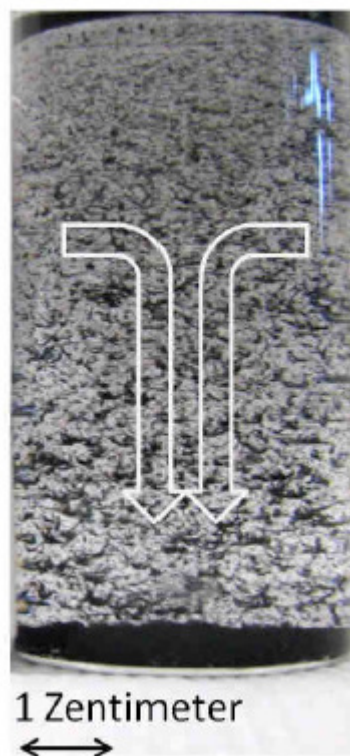


Abbildung 2: Wird ein Pulver aus dauermagnetischem Material in Wasser gegeben, ziehen sich die Partikel sofort magnetisch an und sinken zu Boden. Dies ist ungeeignet, da die Partikel zunächst als Schwebstoffe fein verteilt im Wasser vorliegen sollen, um Rohstoffe aus Abwässern an sich zu binden.

Um Stoffe im Wasser zu binden, müssen sich die Partikel zunächst fein im Abwasser verteilen lassen. Die Fängerpartikel sollten ganz frei im Abwasser schweben und zunächst gar nicht magnetisch sein.

An dieser Stelle kommt die Nanotechnologie zum Einsatz, die sich mit Materialien im Größenbereich von wenigen Nanometern beschäftigt. Zum besseren Verständnis der Größendimension „Nano“ hilft ein Vergleich: Ein Nanopartikel verhält sich in der Größe zu einem Fußball wie dieser Fußball zum gesamten Erdball.

Das Faszinierende an dieser kleinen Dimension: Viele physikalische und chemische Eigenschaften von Materialien werden plötzlich radikal andersartig. So auch bei magnetischen Materialien, die nanodimensioniert sind. Ein solches Nanopartikel „vergisst“ seinen Magnetismus. Genauer gesagt, rotiert seine magnetische Ausrichtung willkürlich in alle Richtungen – genau wie bei einer „verrücktgewordenen“ Kompassnadel. Wird nun allerdings ein großer Magnet in die Nähe des Partikels gebracht, „erinnert“ sich dieser an seinen Magnetismus – d.h., seine magnetische Orientierung ist auf den Magneten gerichtet und das Teilchen wird vom Magneten angezogen. Wird der Magnet entfernt, „vergisst“ dieses wieder seine Magnetisierung, man erhält so einen schaltbaren Magneten.

Vorteilhaft für die Anwendung im Abwasser ist, dass sich die Partikel durch diesen Nanoeffekt nicht gegenseitig magnetisch anziehen und dadurch gut verteilen, sich aber durch einen an das Wasser angenäherten großen Magneten „anschalten“ lassen.

Es gibt nur ein Problem: Da die Nanopartikel derart winzig sind, sind auch die magnetischen Kräfte, die ein großer Magnet auf sie ausübt, sehr schwach. Deshalb benötigt man hier einen weiteren Trick: Viele von den kleinen Partikeln werden zu einem größeren Partikel mithilfe eines Matrixmaterials, beispielsweise einer glasartigen Substanz, verklebt und somit zusammengefasst. Das resultierende Partikel ist jetzt in etwa so groß, wie ein menschliches Haar dick ist. In dem Partikel befinden sich Abermillionen der kleinen Nanopartikel.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau des Partikels.

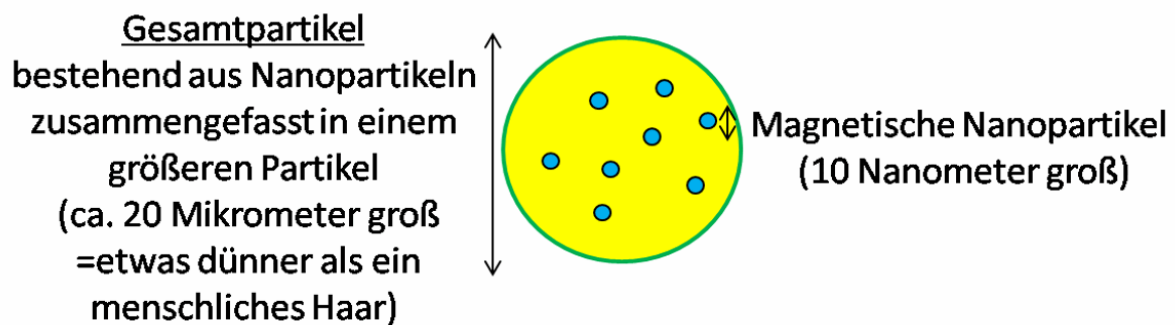


Abbildung 3: Nanopartikel zusammengefasst zu größeren Partikeln als magnetisch abtrennbare, schaltbare Partikel für die Abwasserreinigung.

Auf das so entstandene, größere Partikel übt ein Magnet nun - da so viele magnetische Nanopartikel zusammengeklebt sind - eine starke Kraft und damit Anziehung aus. Der Nanoeffekt - der schaltbare Magnetismus - bleibt jedoch auch in dem größeren Partikel erhalten!

Werden diese Partikel in Wasser gegeben, verhalten sie sich zunächst wie feinste Schwebstoffe, d.h., sie verteilen sich gleichmäßig im Wasser. Mit einem großen Magneten lassen sie sich jedoch sofort einsammeln und aus dem Wasser ziehen. Dass dies funktioniert, ist in Abbildung 4 zu sehen.

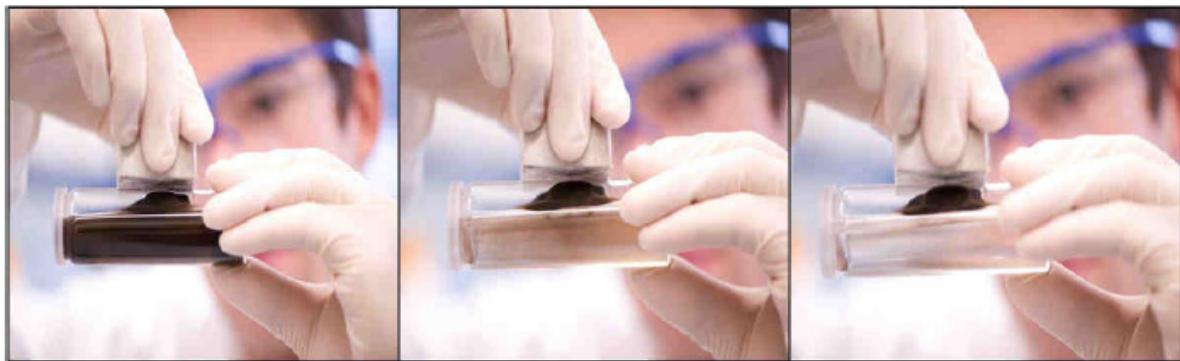
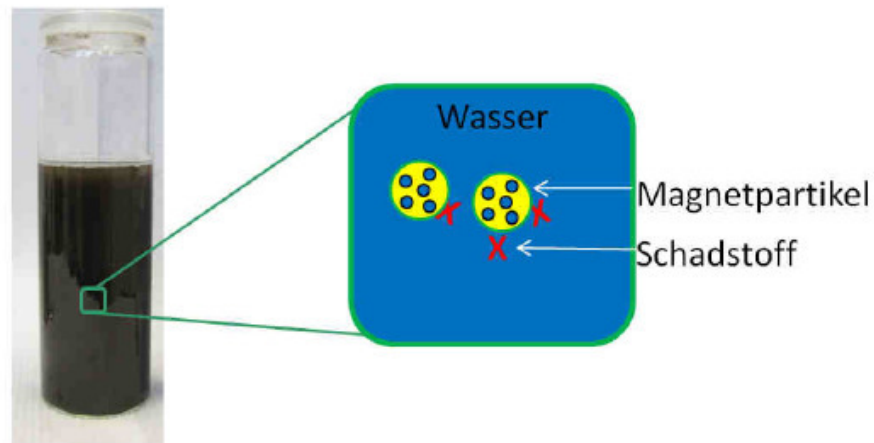


Abbildung 4: Magnetisch schaltbare Partikel werden als Schwebstoffe in Abwasser gegeben. Haben sie Schadstoffe gebunden, lassen sie sich zusammen mit ihrer Fracht sehr einfach durch einen größeren Magneten „magnetisch anschalten“ und aus dem Wasser ziehen. (Diese Fotos wurden von K. Dobberke für das Fraunhofer ISC gemacht.)

Die letzte Herausforderung auf dem Weg zum idealen „Greifer“ in Form der Partikel ist es, deren Oberfläche so zu modifizieren, dass sie selektiv einen Zielstoff aus dem Abwasser an sich binden können. Hierzu muss die Partikeloberfläche auf ganz spezielle Weise für den Stoff empfänglich gemacht werden. Die „einzufangenden“ Elemente, wie Schwermetalle oder beispielsweise Phosphat, liegen in gelöster Form als Ionen unterschiedlicher Ladung und Größe vor. Zwei Beispiele sollen aufzeigen, wie dies ausgenutzt werden kann, um Stoffe selektiv an die Partikel zu binden:

Zum einen gibt es spezielle Moleküle, welche Ähnlichkeiten mit Krebschereen besitzen. Die Scheren können nur Stoffe ganz bestimmter Größe und Ladung festhalten – so entsteht Selektivität. Alternativ eignen sich Materialien, welche aus Schichten aufgebaut sind. Diese lassen sich so designen, dass zwischen den Schichten genug Platz bleibt, um Stoffe ganz bestimmter Größe einzulagern – die Ladung muss allerdings stimmen, sonst werden die Stoffe abgestoßen und nicht zwischengeschichtet.

Sind die „Krebschereen“ bzw. die speziellen Schichten synthetisiert, müssen diese auf die Partikel aufgebracht werden. Ist das gelungen, liegt ein Partikel mit einer Oberfläche, besetzt von „Krebschereen“ bzw. den speziellen Schichten, vor, sodass nun ganz bestimmte Stoffe aus dem Abwasser daran haften. Nach Anhaftung der gewünschten Stoffe kann das Partikel magnetisch „angeschaltet“ und mit seiner

Fracht aus dem Wasser gezogen werden. Durch Behandeln mit einer speziellen Lösung gelingt es den Zielstoff von den Partikeln zu waschen und in Reinform rückzugewinnen.

So wurde bisher gezeigt, dass verunreinigtes Wasser ganz gezielt von Quecksilber, Kupfer und Phosphat befreit und der jeweilige Stoff zurückgewonnen werden kann.

Mit dem entwickelten Verfahren könnte die Kläranlage zur Rohstofflagerstätte der Zukunft werden – und das Wasser wird ganz nebenbei gereinigt, um so den wertvollsten aller Stoffe zurückzugewinnen: das reine Lebenselixier H_2O .