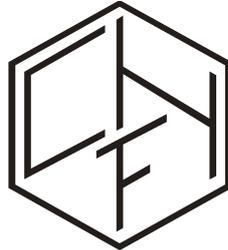


Institut Dr. Flad



Projektarbeit

Thema

Superparamagnetische Nanokomposite und Ferrofluide

Markus Schneider

und

Toni Rippel

- Lehrgang 61 -

Betreuung: Annegret Pfeiffer

Schuljahr 2011 / 12

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt an dieser Stelle dem Institut Dr. Flad für die Bereitstellung aller für die Projektarbeit benötigten Chemikalien sowie für die Möglichkeit auch an Samstagen das Labor benutzen zu dürfen.

Des Weiteren möchten wir Frau Annegret Pfeiffer für die Betreuung der Projektarbeit und für die gute Beratung danken.

Herrn Markus Schneider möchte ich für die gute und unkomplizierte Zusammenarbeit danken.

Inhaltsverzeichnis (Rippel T.)

<u>Vorwort.....</u>	<u>1</u>
<u>Zusammenfassung.....</u>	<u>1</u>
<u>1 Summary.....</u>	<u>2</u>
<u>Begriffsklärung.....</u>	<u>2</u>
<u>Allgemeiner Überblick über die Nanotechnologie.....</u>	<u>8</u>
<u>Anwendungsgebiete.....</u>	<u>9</u>
<u>Risiken.....</u>	<u>10</u>
<u>Versuche.....</u>	<u>11</u>
<u>2 Fazit.....</u>	<u>35</u>
<u>Quellenverzeichnis.....</u>	<u>36</u>
<u>Anhang.....</u>	<u>36</u>

Vorwort

Im Rahmen unserer Projektarbeit während unserer Ausbildung als Chemie-Technische Assistenten haben Herr Markus Schneider und Toni Rippel das Thema Superparamagnetische Nanokomposite und Ferrofluide bearbeitet. Das Thema stellte sich ziemlich schnell als sehr interessant heraus. Wir stießen auf ziemlich viele vermarktete Anwendungen sowie etliche Firmen und Universitäten, die auf diesem Gebiet forschen. Es gibt auch bereits etliche Versuche, die man selbst durchführen kann. Man kann auch komplette Versuchssets kaufen. Zu nennen wäre da der Versuchskoffer des Bundesdeutschen Kompetenzzentrums CC-Nanochem e.V., deren Ferrofluid wir auch testen konnten. Über das Internet konnten wir auch viele Versuche miteinander vergleichen und stellten fest, dass es nicht so einfach werden würden ein Ferrofluid herzustellen, bei dem die Magnetfeldlinien als Stacheln aus der Oberfläche hervortreten.

Als sehr reizvolle neue Erfahrung stellte es sich heraus, dass es sehr interessant ist, in einem Labor auf eigene Faust zu experimentieren und verschiedene neue Lösungswege zu finden und auszuprobieren.

Zusammenfassung

In dieser Projektarbeit geht es um superparamagnetische Nanokomposite und Ferrofluide. Zuerst werden die verwendeten Begriffe erklärt. Dann folgen die geschichtliche Entwicklung und die Herstellung. Des Weiteren werden einige Anwendungsgebiete vorgestellt sowie auf die daraus resultierenden Risiken hingewiesen. Der erste durchgeführte Versuch ist die Abtrennung von Kupferionen, stellvertretend für weitere Schwermetall-Ionen, mit superparamagnetischen Nanopartikeln. Die folgenden zwei Versuche beschreiben die Herstellung von Ferrofluiden mit dem Ziel, eine Rosensweig-Instabilität zu zeigen. Zu dem kommt noch ein Versuch, ein Ferrofluid aus einer Laserdruckerpatrone herzustellen.

1 Summary

This project report is about superparamagnetic nanocomposite and ferrofluids. First the used terms and definitions are explained. In the following the historical development and the implementation of the production are shown. Furthermore applications and potential risks are introduced. The first test procedure is about separating copper-ions, as a sample for other heavy metals, from a solution with superparamagnetic nanocomposite. The second experiment is about fabricating a ferrofluid with Rosensweig-Instability. Subsequently an experiment is performed to produce a ferrofluid with the content of a laser printer cartridge.

Begriffsklärung

Das folgende Kapitel soll die in dieser Projektarbeit verwendeten Begriffe erklären und die für dieses Thema nötigen physikalischen Grundlagen liefern.

1.1 Magnetismus

1.1.1 Grundlagen des Magnetismus und Geschichtliches

Magnetismus ist der Überbegriff für alle auf magnetischen Kräften beruhenden physikalischen Erscheinungen. Magnetismus wurde ca. im Jahre 500 v. Chr. im alten Griechenland entdeckt, wo man herausfand, dass geriebener Bernstein Papierschnipsel anzieht. Weiterhin wurden in der Stadt Magnesia Steine entdeckt, welche eine Kraftwirkung auf Eisenteilchen zeigten, wodurch die Stadt Namensgeber für das Phänomen wurde, welches wir heute Magnetismus nennen. Seit der Renaissance (um 1500) beschäftigten sich sehr viele Forscher mit dem Phänomen des Magnetismus, wobei sie aber sehr oft die Elektrizität mit dem Magnetismus verwechselten, da beide ähnliche Kräfte aufweisen.

Quelle [1]: <http://de.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie> (6.9.2011)

Anders als viele andere Forscher bewertete Coulomb diese beiden Phänomene aber als grundsätzlich anders.

Er bestätigte seine Begründung 1785 damit, dass es im Gegensatz zur Elektrizität unmöglich ist einen Magneten in Nord und Südpol aufzuteilen.

Eine vollständige Erklärung aller vlektrischen und vagnetischen Erscheinungen lieferte 1864 dann der Physiker James Clerk Maxwell, welcher beide Phänomene mit mathematischen Gleichungen beschreiben konnte. Von ihm stammen die heute bekannten Maxwellgleichungen, welche die elektrischen und magnetischen Felder vollständig beschreiben. Die Maxwellgleichungen erklären die Elektrizität und den Magnetismus mit Hilfe von Feldlinien.

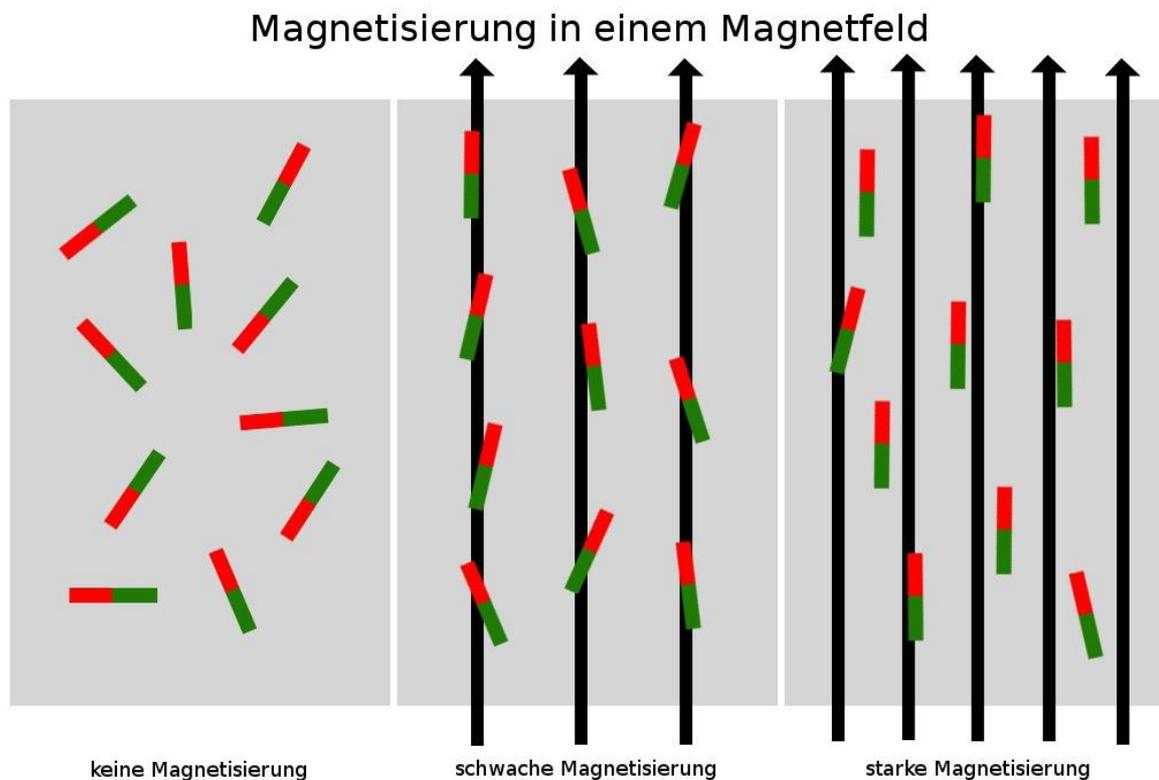


Abb.1: Magnetisierung in einem Magnetfeld

1.1.2 Paramagnetismus, Ferromagnetismus und Superparamagnetismus

Paramagnetismus und Ferromagnetismus bezeichnen unterschiedliche magnetische Eigenschaften eines Materials. Ein ferromagnetischer Stoff wird beispielsweise von einem Magneten stark angezogen. Ein paramagnetischer Stoff wird hingegen nur leicht angezogen. Sobald ein Material in die Nähe eines Magnetfeldes gelangt wird dieses magnetisiert, wobei die Stärke und die Richtung der Magnetisierung vom Material abhängen. Diese Magnetisierung wird mit Hilfe des Para- und des Ferromagnetismus beschrieben. Es sind weitere Arten der Magnetisierung bekannt, auf welche wir aber nicht weiter eingehen, da sie für die Versuche und deren Verständnis nicht von Bedeutung sind. Die Magnetisierung eines Materials kann dem äußeren Magnetfeld gleichgerichtet oder entgegengerichtet sein. Bei einem paramagnetischen Stoff ist sie dem Magnetfeld gleichgerichtet, wodurch dieser angezogen wird. Bei einem ferromagnetischen Stoff ist die Magnetisierung dem äußeren Magnetfeld ebenso gleichgerichtet, es kommt aber zusätzlich zu einer Wechselwirkung der Elektronenspins, wodurch ein ferromagnetischer Stoff wesentlich stärker angezogen wird als ein paramagnetischer. Bei Raumtemperatur gibt es aber nur wenige Stoffe, welche sich ferromagnetisch verhalten. Dazu gehören Eisen, Kobalt und Nickel. Ferromagnetische Stoffe zeigen ein weiteres Phänomen, denn sie behalten teilweise ihre Magnetisierung, wenn das äußere Magnetfeld entfernt wird. Ohne die Magnetwirkung eines äußeren Magnetfeldes sind die Spins jedes Atoms eines paramagnetischen Stoffes statisch orientiert (Abb.1: linkes Bild). Also entspricht die Magnetisierung insgesamt Null.

Sobald ein äußeres Magnetfeld in die Nähe dieser Spins gebracht wird, werden diese magnetisiert und richten sich entlang der Magnetfeldlinien aus, wodurch sie das äußere Magnetfeld leicht verstärken (Abb.1: mittleres Bild). Bei einem ferromagnetischen Stoff ist diese Wechselwirkung sehr groß, wodurch sich die Spins fast exakt parallel zu den Magnetfeldlinien ausrichten und dadurch das äußere Magnetfeld stark verstärken (Abb.1: rechtes Bild).

Quelle [3]: de.wikipedia.org/wiki/Paramagnetismus(6.9.2011)

Quelle [4]: de.wikipedia.org/wiki/Ferromagnetismus(6.9.2011)

Quelle [5]: <http://www.supermagnete.ch/magnetismus/diamagnetismus> (6.9.2011)

Ferromagnetismus ist im täglichen Leben im Gegensatz zu Paramagnetismus sehr leicht zu beobachten. Ein Beispiel für Ferromagnetismus wäre zum Beispiel ein Magnet, welcher an einer Eisenwand haften bleibt.

Die Wechselwirkung eines paramagnetischen Stoffes und eines Magnetfeldes ist dagegen nicht direkt mit dem bloßen Auge beobachtbar, da sie nur verschwindend gering ist.

Paramagnetische Stoffe werden genauso wie ferromagnetische von einem Magnetfeld angezogen aber eben nur wesentlich schwächer.

Superparamagnetismus beschreibt die magnetische Eigenschaft sehr kleiner Teilchen eines ferromagnetischen Materials, welches nach dem Abschalten des Magnetfelds keine bleibende Magnetisierung halten kann.

Je kleiner die Teilchengröße wird, desto weniger Weiss-Bezirke (Bezirke in welchen die Spins exakt parallel zu den Magnetfeldlinien sind) existieren in diesem Teilchen, wodurch die ferromagnetische Wirkung immer kleiner wird.

Sind die Teilchen nun so klein, dass nur noch ein einziger dieser Bezirke besteht, spricht man von Paramagnetismus. In diesen Fall sind nun alle Spins in einem Teilchen parallel.

Der Festkörper als Ganzes verhält sich dadurch nun paramagnetisch mit der Besonderheit, dass die Spins jetzt nicht mehr einzeln sondern in Blöcken auf ein äußeres Magnetfeld reagieren.

1.2 Ferrofluide

Schon seit etwa 150 Jahren ist bekannt, dass durch geschicktes Zugeben von Eisenpartikeln Wasser magnetische Eigenschaften bekommen kann. Leider setzten sich die Eisenpartikel aber nach kurzer Zeit wieder ab, wodurch das Wasser seine magnetische Eigenschaft wieder verlor. Diesem Problem wollte man entgegentreten, indem man die Eisenpartikel wesentlich kleiner machte, damit sie ein Kolloid mit dem Wasser bilden konnten. Leider verklumpten die Eisenpartikel nun. Erst in den 60er Jahren konnte dieses Problem durch spezielle Zusammensetzungen gelöst werden. Das erste Patent eines Ferrofluids ging 1965 an die NASA, welche damit versuchte Treibstoff magnetisch zu machen, um ihn somit in der Schwerelosigkeit transportieren zu können. Ferrofluid wird weiterhin auch als Magnetofluid bezeichnet.



Abb.2: Ferrofluid mit Rosensweig-Effekt, welcher das Austreten der Magnetfeldlinien zeigt

1.3 Aufbau eines Ferrofluids

Ein Ferrofluid besteht aus einer kolloidalen Suspension von magnetischen Nanopartikeln, welche sich in einer Trägerflüssigkeit befinden. Die Partikel sind zwischen 2 und 20 nm groß, wodurch sie für das menschliche Auge nicht mehr sichtbar sind. Wir sehen die Partikel nur als eine Art Paste oder Schleim. Ein einzelner Tropfen eines Ferrofluids kann bis zu einer Billiarde Nanopartikel enthalten. Diese Nanopartikel werden auch kleinste Magnete der Welt genannt und zeigen den Grenzbereich des Magnetismus. Die Partikel müssen mit einem Material beschichtet werden, damit sie nicht verklumpen und somit ihren

Magnetismus verlieren. Die Partikel setzen sich durch ihre Größe weder durch die Schwerkraft noch durch ein Magnetfeld aus der Trägerflüssigkeit ab. Das häufigste Material, aus welchem die Magneteilchen hergestellt werden, ist Magnetit (Fe_3O_4), sie können aber auch aus Kobalt- und Nickelverbindungen hergestellt werden. Als Trägerflüssigkeit haben sich Kohlenwasserstoffe wie Octan oder Petroleum als sehr praktisch herausgestellt. Es ist zudem möglich als Trägerflüssigkeit Wasser zu verwenden.

Mechanische Eigenschaften eines Ferrofluids:

Von allen mechanischen Eigenschaften haben bis heute hauptsächlich Viskosität, Dichte und der Aggregatzustand eine wesentliche Bedeutung für technische Anwendungen. Die Viskosität eines Magnetfluides hängt von der Trägerflüssigkeit sowie von der Größe der Feststoffanteile ab. Zudem verändert sich die Viskosität je nachdem ob und wie stark eine Magnetisierung stattfindet. Je stärker ein angelegtes Magnetfeld ist desto höher wird die Viskosität, da sich dann die Magneteilchen zu langen Ketten zusammenlagern. Ohne ein angelegtes Magnetfeld nimmt die Viskosität, wie bei fast jeder Flüssigkeit, mit zunehmender Temperatur ab.

Allgemeiner Überblick über die Nanotechnologie

Der Begriff Nanotechnologie stammt vom griechischen Wort nanos ab, welches Zwerg bedeutet. Ein Nanometer ist der milliardste Teil eines Meters. Diese Größenverhältnisse sind nur schwer vorstellbar, als Beispiel für diese Größe kann das Blutkörperchen verwendet werden, welches zirka 7000 nm groß ist. Nanopartikel sind mit dem bloßen Auge nicht sichtbar. Ein menschliches Haar müsste man 80 000 Mal spalten, um eine Dicke von einem Nanometer zu erhalten.

Nanotechnologie ist ein Überbegriff für eine Vielzahl von Anwendungen und Produkten, welche kleinste Partikel besitzen und dadurch ganz besondere Eigenschaften erhalten.

Ein Material, das auf die Größe von Nanopartikeln reduziert wird, kann sich auf einmal ganz anders verhalten als vorher.

Die Palette neuer Produkte mit Nanotechnologie ist breit, sie reicht von selbstreinigenden Fensterscheiben über Trinkgläsern und Medikamenten bis hin zu Kosmetika.

Viele Effekte, wie sie heute in der Nanotechnologie verwendet werden, können auch in der Natur beobachtet werden.

So haben z.B Fliegen nanogroße Haare an ihren Beinen, wodurch sie an Wänden und Decken laufen können.

Der bekannteste Effekt ist der Lotuseffekt, bei welchem feine Nanostrukturen dafür sorgen, dass Wasser und Schmutz am Blatt der Lotusblume einfach abperlen.

[2] Bundesministerium für Bildung und Forschung: „Aktionsplan Nanotechnologie 2015“

Anwendungsgebiete

Als Dichtung:

Die häufigste Verwendung finden Ferrofluide als Dichtung. Mit Hilfe eines Permanentmagneten wird das Ferrofluid an der abzudichtenden Stelle gehalten und kann somit selbst enormem Druck widerstehen. Sobald ein Loch in der Dichtung entsteht, wird es durch nachrückendes Ferrofluid, welches vom Magneten angezogen wird, wieder verschlossen. Diese Dichtungen, werden seitdem die Umweltschutz-Gesetzgebung immer strikter wird, auch immer öfter in der Chemischen Industrie eingesetzt, z.B. um das Austreten von toxischen Stoffen in die Atmosphäre zu verhindern.

Zur Stofftrennung:

Magnetfluide können auch dafür verwendet werden, nichtmagnetische Stoffe verschiedener Dichte voneinander zu trennen, oder wie in unseren Versuchen, um Schwermetalle aus Lösungen abzutrennen.

In der Medizintechnik:

Weiterhin finden Ferrofluide Verwendung in der Medizintechnik. Magnetische Flüssigkeiten können injiziert werden und mit Hilfe von außen angelegten Magneten an bestimmten Stellen, wie z.B. in einem Tumor, gesammelt werden. Durch das sehr schnelle und häufige Umdrehen des Magnetfeldes kann dann gezielt im Tumor Hitze entwickelt werden, um diesen zu zerstören.

Oberflächenfunktionalisierung und Veredelung:

Oberflächen mit einem Lotuseffekt werden hergestellt, an denen weder Schmutz noch Flüssigkeiten haften bleiben.

HiFi-Anlagen:

Lautsprecherboxen enthalten Ferrofluid, um die an der Spule entstehende Wärme abzutransportieren und die Schwingungen zu dämpfen.

In Kosmetikprodukten:

Nanotechnologisch hergestelltes Titandioxid wird in einigen Sonnencremes als UV-Schutz verwendet. Diese haben den Vorteil gegenüber größerer Titandioxid-Partikeln, dass sie transparent sind.

Risiken

Die Risiken und Gefahren der Nanotechnologie sind zurzeit noch nicht ausreichend erforscht, wodurch Vermutungen derzeit nicht bestätigt werden können.

Ein großes Problem ist, dass Nanopartikel so klein sind dass sie überall haften bleiben und somit, wenn sie eingeatmet werden, wahrscheinlich sehr lange in der Lunge haften bleiben können. Nachgewiesen wurde auch, dass Nanopartikel über die Lunge oder die Nasenschleimhäute direkt ins Blut und ins Gehirn gelangen können. Wie sie sich dort verhalten, konnte noch nicht geklärt werden. Es wurde jedoch gezeigt, dass sie in der Lage sind, Gewebsschranken wie die zum Gehirn zu überwinden, woraus man schließen kann, dass sie auch in einen Fötus gelangen können. Vielleicht können sie auch direkt über die Haut aufgenommen werden. In einigen Kosmetikprodukten werden Nanopartikel als Trägerstoffe für Geruchs- und Farbstoffe verwendet, welche direkt auf die Haut aufgetragen werden wie Sonnencremes. Eisenoxid-Nanopartikel werden auch als Kontrastmittel eingesetzt, obwohl Krankheiten wie Alzheimer und Parkinson nachweislich durch eine Störung der Eisenkonzentration im Gehirn entstehen. Es wird außerdem vermutet, dass Nanopartikel die DNA schädigen und Krebs auslösen können. Nachweise können jedoch erst durch Langzeitstudien erbracht werden. Wie sich Nanopartikel, welche durch Wegwerfprodukte in die Umwelt gelangen, im Boden und Gewässern verhalten, wird zurzeit noch erforscht.

Quelle [6]: Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft - Nanotechnologie

Versuche

1.4 Kupferabtrennung aus Lösungen mit SPNC

1.4.1 Versuchsbeschreibung

Superparamagnetische Nanokomposite zur Entfernung von Kupfer-Ionen aus einer CuSO_4 -Lösung



Abb.3: Magnetisierte Superparamagnetische Nanokomposite aus dem Nanokoffer
Dieser Versuch soll die Möglichkeit der Abtrennung von Schwermetall-Ionen aus einer Lösung mit Hilfe von superparamagnetischen Nanopartikeln einfach verständlich und durchführbar vorstellen. Anschließend besteht die Möglichkeit die Nanopartikel zu recyceln und zu trocknen.

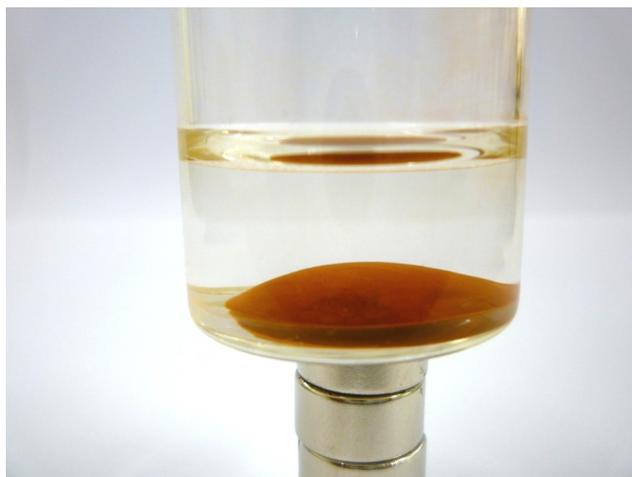


Abb.4: Mit einem Neodym-Magneten abgetrennte SPNC's

Quelle [7]: Bundesdeutsches Kompetenzzentrum CC-Nanochem e.V.

Benötigte Materialien:

Für diesen Versuch werden folgende Materialien und Chemikalien benötigt:

- Nanopartikel (mindestens 0,2g)
- starker Magnet (am besten superstarker Neodym Magnet)
- mehrere Rollrandgläser oder andere gut verschließbare Gefäße.
- Ca. 0,5g Kupfersulfatpentahydrat ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$)
- demineralisiertes oder destilliertes Wasser
- konzentrierter Ammoniak
- verdünnte Salzsäure ca. 1 molar (zum Recyceln der Nanopartikel)
- 2 Pasteurpipetten oder ähnliches
- Analysenwaage
- Uhrglas/Filterpapier/Porzellantiegel (zum Trocknen der Nanopartikel)
- 1L Maßkolben

Durchführung:

Es werden 0,4985 g Kupfersulfatpentahydrat eingewogen und in einem Literkolben in etwas Wasser gelöst. Nun werden mindestens 10 mL konzentriertes Ammoniak hinzugegeben, bis die Lösung eine klare tiefblaue Farbe annimmt. Es bildet sich ein Kupferamminkomplex, welcher für den Versuch benötigt wird. Der Kolben wird nun bis zur Marke mit demineralisiertem Wasser aufgefüllt und gut geschüttelt. Nun werden 10 mL dieser Kupferammin-Lösung in ein Rollrandglas (oder ähnliches) umgefüllt und mit ca. 20 mL Wasser nochmals verdünnt. Anschließend werden 0,2 - 0,3 g der SPNC's (Superparamagnetische Nanokomposite) abgewogen und in das Rollrandglas gegeben. Das Ganze wird nun verschlossen und für ca. 2 min geschüttelt.

In gleicher Weise, nur ohne SPNC's, wird eine Vergleichslösung hergestellt. Nun wird der Neodym-Magnet an den Boden des Rollrandglases gehalten, damit sich die Nanokomposite am Boden sammeln und wieder eine klare Lösung entsteht. Die klare Lösung wird nun abdekantiert (oder abpipettiert) und in ein weiteres Rollrandglas gegeben. Nun wird diese Lösung mit der vorher hergestellten

Vergleichslösung verglichen.

Beobachtung:

Die behandelte Lösung ist nicht mehr so blau wie die unbehandelte. Leider ist der Farbunterschied aber nicht sehr stark, da die Stammlösung durch die Verdünnung nur noch leicht blau ist. Dennoch ist ein Farbunterschied erkennbar, welcher beweist, dass ein Teil der Kupfer-Ionen von den SPNC's gebunden und somit aus der Lösung abgetrennt wurde.

Hintergrund:

Die verwendeten SPNC's bestehen aus ca. 30 nm großen Fe_2O_3 – Partikeln, welche mit 200 nm bis 2 μm großen Glaspartikeln beschichtet sind. An diese Glasoberfläche wurden Aminogruppen angebracht, welche die Komplexierung der Schwermetall-Ionen zu Folge haben.

Sobald die SPNC's in die ammoniakalische Cu-Lösung gegeben werden, bildet sich ein Komplex zwischen den Aminogruppen der Glaspartikel und der Kupfer-Ionen, womit diese aus der Lösung abgetrennt werden.

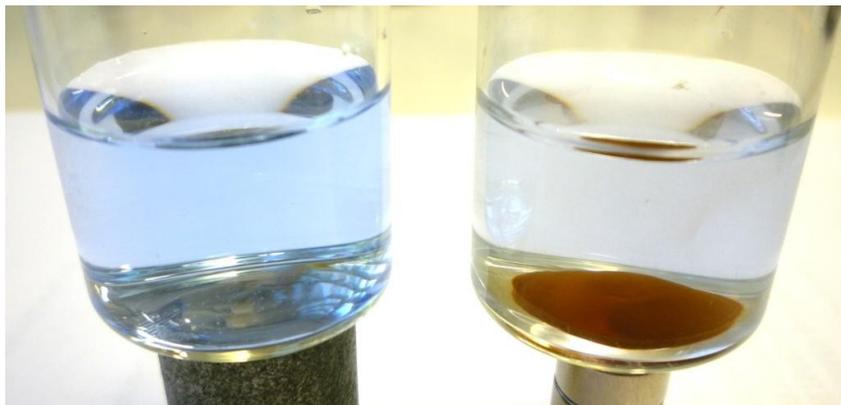


Abb.5: Kupferammin-Lösung vor und nach der Kupferabtrennung mit SPNC's

1.4.2 Quantitative Auswertung

Diesen Versuch haben wir durchgeführt, um herauszufinden wie viel Kupfer man quantitativ mit den SPNC's abtrennen kann bzw. wann einer Sättigungsbeladung erreicht ist. Dazu haben wir die Farbintensität der Lösungen mit dem Photometer bestimmt. Als Wellenlänge haben wir 625nm genommen, da dies der Farbe von Kupfertetramminkomplexen entspricht. Mit einer Verdünnungsreihe haben wir eine Kalibrierkurve erstellt.

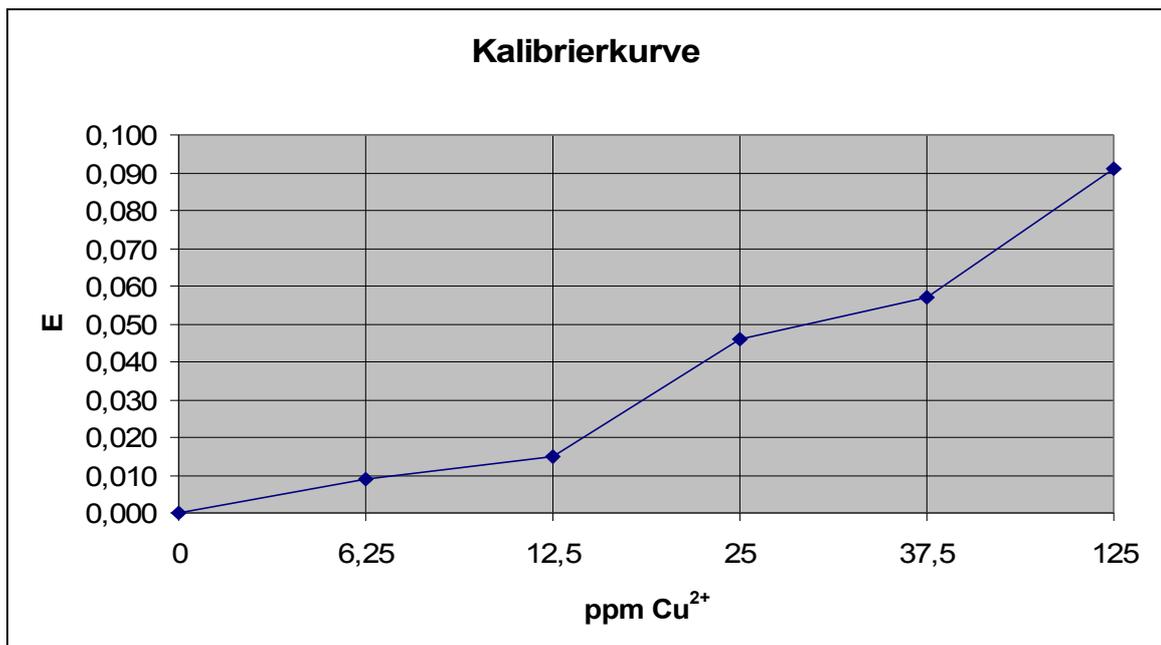


Abb.5: Kalibrierkurve

Standardabweichung der Blindprobe: $E=0,0008$

Nachweisgrenze: $E=0,002$

Bestimmungsgrenze: $E=0,005$

Nachdem aus mehreren 125 ppm Cu²⁺-Lösung mit den SPNC's das Kupfer abgetrennt wurde, wiesen die Proben immer noch eine Extinktion von 0,011 auf, was bedeutet, dass immer noch 7% Cu²⁺ enthalten waren. Allerdings deuten wir das Ergebnis so, dass immer noch SPNC's in der Lösung enthalten waren, die sich noch nicht abgesetzt hatten und somit nicht durch den Magneten abgetrennt wurden. Somit ist eine genaue quantitative Messung der Sättigungsbeladung der SPNC's nicht möglich, da die SPNC's sehr lange kolloidal in der Lösung bleiben.

1.4.3 Qualitative Auswertung

Zur Optimierung des Versuchs Kupferabtrennung aus Lösungen mit SPNC's haben wir den Versuch mit verschiedenen Konzentrationen von Kupfersulfatpentahydrat und verschiedenen Verdünnungen mit Wasser durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zu sehen.

Tab. 1: Verdünnungsreihe zur Kupferabtrennung mit SPNC's

Verdünnung/Konzentration	125ppm Cu	250ppm Cu	375ppm Cu
Unverdünnt	+	++	++
+ 10ml Wasser	++	++	++
+ 20ml Wasser	+++	+	+

+ nur sehr schwer erkennbarer unterschied

++ gut erkennbarer unterschied, Lösung aber weiterhin leicht blau

+++ gut erkennbarer Unterschied und komplette Entfärbung der Lösung



Abb.6: Verdünnungen der Kupferammin-Lösungen in Rollrandgläsern vor der Kupferabtrennung

Bei den Konzentrationen von 250ppm und 375ppm ist die Lösung nach dem

Abtrennen immer noch bläulich, wodurch es wesentlich schwerer wird den Farbunterschied zu erkennen.

Nur bei 125ppm und zusätzlichen 20 mL Wasser ist der Farbunterschied gut sichtbar und die gereinigte Lösung ist komplett farblos. Diese Verdünnung haben wir deshalb auch für die Versuchsanleitung verwendet.

Um die Ergebnis noch einmal zu bestätigen, haben wir den Versuch noch einmal wiederholt und empfehlen für Versuche im Rahmen einer Lehrerfortbildung den Versuch mit 10 mL 125 ppm Cu^{2+} -Lösung als Amminkomplex und 10 mL Wasser mit 0,15 g SPNC's durchzuführen, da es bei der Verdünnungen mit 20 mL Wasser wesentlich länger dauert bis sich die SPNC's abgesetzt haben, da die Magnetfeldwirkung mit der Entfernung nachlässt.

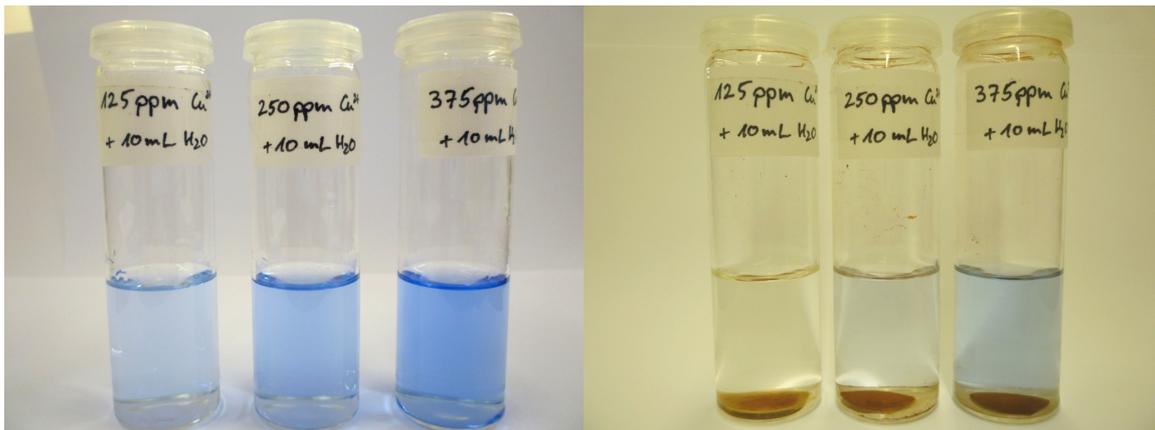


Abb.7: Versuchsreihe mit 10 mL Kupferamminlg. mit versch. Konzentrationen und 10 mL Wasser

1.4.4 Recycling

Die SPNC's werden mit Hilfe von Salzsäure recycelt.

Durchführung:

Die abgetrennten SPNC's werden nun zweimal mit je 10 mL demineralisiertem Wasser ausgewaschen. Nun werden ca. 15 mL 0,1 molarer Salzsäuren hinzugegeben und geschüttelt. Die SPNC's werden nun wieder von der Lösung abgetrennt. Zur abgetrennten Flüssigkeit werden nun ein paar Tropfen konzentriertes Ammoniak hinzugegeben und die Farbe beobachtet.

Beobachtung:

Nach der Zugabe des Ammoniaks wurde die abgetrennte Lösung nur ganz leicht bläulich. Zudem bildeten sich gelbliche Flocken in der Lösung. Die blaue Farbe ist der Hinweis, dass die zuvor komplexierten Kupfer-Ionen nun wieder von den SPNC's abgelöst wurden.

Hintergrund:

Durch die Änderung des pH-Wertes wird die Komplexierung der Kupfer-Ionen wieder aufgehoben, wodurch sie wieder in Lösung gehen. Nach der Zugabe des Ammoniaks bildet sich wieder der Kupferamminkomplex, wodurch der leichte Blauschimmer entsteht.

1.4.5 Trocknen der SPNC's

Trocknen auf einem Uhrglas:

Die SPNC's werden wieder mit dem Magneten von der Lösung abgetrennt und auf ein Uhrglas gegeben. Dieses Uhrglas wird nun bei ca. 100°C für 10-20 Minuten in den Trockenschrank gestellt. Anschließend werden die SPNC's vom Uhrglas abgekratzt und in ein verschließbares Behältnis gefüllt.

Vorteile: Das Trocknen geht sehr schnell und sehr einfach.

Nachteile: Es entstehen beim Umfüllen der SPNC'S vergleichbar große Verluste, da sie nur mit sehr wenig Wasser nachgespült werden können. Zudem haften die SPNC's stark am Uhrglas, welches beim Ablösen leicht verkratzt.

Trocknen in einem Porzellantiegel:

Die SPNC's werden wieder mit dem Magneten von der Lösung abgetrennt und mit wenig Wasser aufgeschlämmt. Anschließend werden sie in einen Porzellantiegel gefüllt. Dieser wird bei geringer Hitze über einem Brenner getrocknet.

Hinweis: Dabei ist darauf zu achten, dass die Lösung nicht anfängt zu kochen und aus dem Tiegel spritzt. Deshalb empfiehlt es sich das Trocknen unter einem Abzug und sehr langsam durchzuführen. Wenn das Wasser verdampft ist, muss sofort der Brenner entfernt werden, damit die SPNC's nicht schmelzen.

Sobald das Wasser fast komplett verdampft ist, wird der Tiegel nun für ca. 10 Minuten bei ca. 100°C im Trockenschrank getrocknet. Nach dem Trocknen werden die SPNC's nun abgekratzt und in ein verschließbares Behältnis gefüllt.

Vorteile: Die Verluste beim Umfüllen sind wesentlich geringer, da mehr Wasser zum Nachspülen verwendet werden kann. Zudem verkratzt der Porzellantiegel nicht.

Nachteile: Das Trocknen ist sehr aufwendig und dauert wesentlich länger als bei den anderen Methoden. Zudem können die SPNC's bei Unachtsamkeit zerstört werden.



Abb.8: Rollrandglasdeckel als Beispiel für Verluste während des Versuchs

Trocknen auf einem Filterpapier:

Wenn diese Trockenmethode verwendet wird, müssen die Nanopartikel nicht von der Lösung getrennt werden. Sie werden einfach mitsamt der Lösung durch einen Filter abfiltriert. Anschließend können alle Rückstände aus den Gefäßen mit demineralisiertem Wasser nachgespült werden. Nach dem Filtrieren wird das Filterpapier vorsichtig aufgefaltet und auf ein Uhrglas gelegt. Nun wird das Filterpapier bei ca. 100°C für 5-10 Minuten im Trockenschrank getrocknet. Anschließend werden die SPNC's vom Filterpapier mit Hilfe eines Spatels abgeschabt und in ein verschließbares Behältnis gefüllt.

Vorteile: Einfachste und schnellste Methode. Weiterhin können die Gefäße mit viel Wasser nachgespült werden, wodurch beim Umfüllen so gut wie keine Verluste entstehen.

Nachteile: Der einzige Nachteil beim Trocknen auf einem Filterpapier besteht darin, dass sie nicht komplett rückstandslos vom Filterpapier abgeschabt werden können.

Trocknen auf einem oberflächenbehandeltem Uhrglas:

Von der Projektarbeitsgruppe „Nanobeschichtete Oberflächen“ haben wir uns ein beschichtetes Uhrglas anfertigen lassen. Trockene SNPC's bleiben aufgrund ihrer geringen Größe darauf haften, jedoch SPNC's in einer Lösung laufen rückstandsfrei davon ab.



Abb.9: Trockene Nanopartikel auf einem oberflächenbehandeltem Uhrglas

Wir haben nun die recycelten abgetrennten SPNC's mit dem Restwasser auf dieses Uhrglas gegeben und das Wasser über einem Brenner abgedampft. Dabei haben wir immer wieder die SPNC's mit einem Magneten zusammengesammelt. Sobald das Wasser abgedampft ist, entsteht auf dem Uhrglas eine Art Kuchen, welcher als gesamtes nahezu rückstandsfrei vom Uhrglas abgeleitet. Beim Trocknen auf diese Weise hat man noch weniger Verluste als auf einem unbeschichteten Uhrglas.



Abb.10: Abdampfen des Wassers der SPNC-Suspension

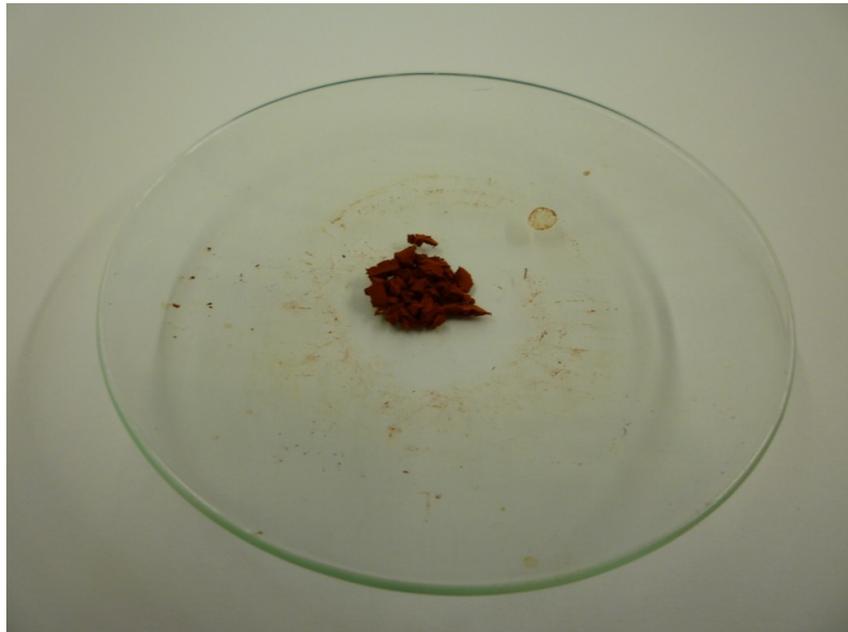


Abb.11: Auf einem oberflächenbehandeltem Uhrglas getrocknete SPNC's

Nachdem die SPNC's recycelt wurden, können sie nun wieder erneut zum Abtrennen eingesetzt werden. Wenn der Versuch sehr oft durchgeführt wird und einem das Trocknen zu aufwendig und der dadurch entstehende Verlust zu groß ist, können die SPNC's auch in flüssiger Form in demineralisiertem Wasser aufgehoben werden. Man kann sie zwar dann nicht mehr einwiegen, aber wenn man sie portionsweise in den Rollrandgläsern aufbewahrt, kann man sie direkt weiter verwenden. Diese Methode würden wir empfehlen, da die Verluste während der Versuche und während des Trocknens ziemlich hoch sind und jedes Umfüllen in ein anderes Gefäß vermieden werden muss.

1.5 Herstellung von Ferrofluiden mit Rosensweig-Instabilität

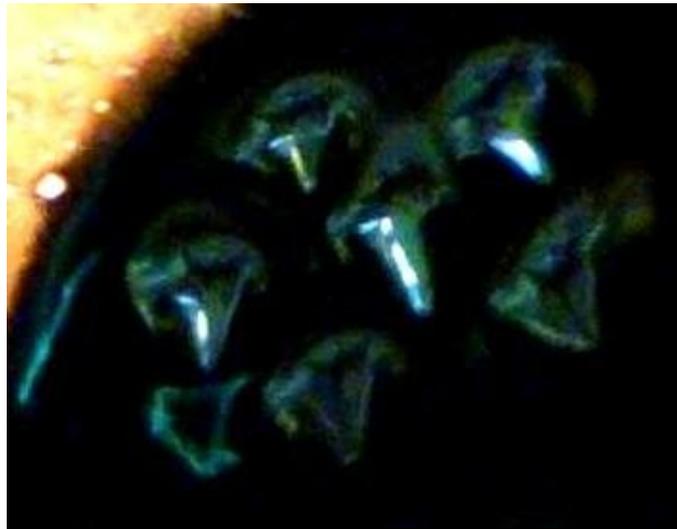


Abb.12: Ferrofluid mit Rosensweig-Effekt aus eigener Herstellung

1.5.1 Magnetitherstellung

Herstellung mit der Niederschlagsmethode:

Man lässt kleine chemisch hergestellte Magnetitpartikel bis zu einer gewissen Größe anwachsen und dann ausfallen. Ausgangsstoffe hierfür sind Eisen(II)chlorid und Eisen(III)chlorid, welche sich zu Fe_3O_4 (Magnetit) verbinden.

Reaktionsgleichung:



Quelle [8]: de.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid (12.9.2011)

Quelle [9]: www.uni-saarland.de/fak7/hartmann/cfn/Dokumente/Manuals/Ferrofluide.pdf
(12.9.2011)

Quelle [10]: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/arbeiten/Nanotechnologie.pdf>
(12.9.2011)

Quelle [11]: DR. HERRMANN Markus: wis – Wissenschaft in die Schule: Unterrichtsmaterialien
(12.9.2011)

Quelle [12]: http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx_rfnanoteachbox/snc_nanochemie_FFL_text_01.pdf
(12.9.2011)

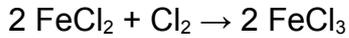
Reagenzien:

Herstellung der Eisensalze:

Eisen(II)chlorid: Durch Reaktion von Eisen mit Salzsäure



Eisen(III)chlorid: Durch Einleiten von Chlorgas in eine Eisen(II)chlorid-Lösung



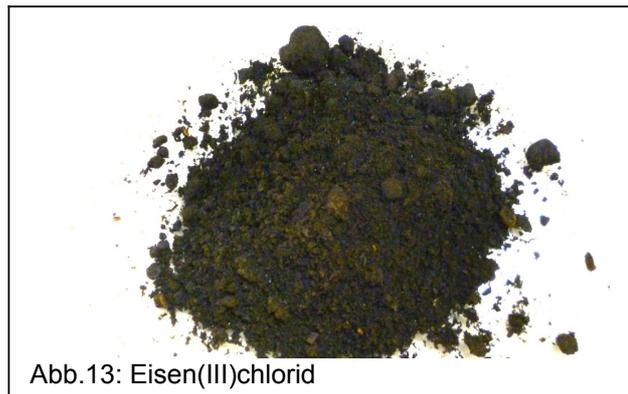
Lässt man das Lösungsmittel verdampfen, fallen die Eisensalze aus.

1.5.2 Versuchsbeschreibung

Wir versuchen hier ein Ferrofluid, das heißt eine magnetische Flüssigkeit, herzustellen. Diese sollte den Rosensweig-Effekt, also das Heraustreten der Magnetfeldlinien aus der Oberfläche, zeigen.

Benötigtes Material:

- Fe⁺²-Salze
- Fe³⁺-Salze
- NaOH
- Ölsäure
- N-Decan
- Waage
- Bechergläser
- 1 Heizplatte mit Magnetrührer
- 1 Thermometer
- pH-Papier
- Stabmagnet (Neodym Magnet)



Durchführung:

Fällung:

Die Eisensalze werden eingewogen und in verdünnter HCl gelöst. Unter starkem Rühren werden die Lösungen zusammengegeben. Dann wird NH_4OH dazugegeben, was dazu führt, dass Magnetit ausfällt.

Reinigung:

Danach wird die Suspension so lange stehen gelassen, bis der Feststoff sich vollständig abgesetzt hat. Nun wird die Lösung abdekantiert.

Anschließend wird der Niederschlag mit demineralisiertem Wasser so lange ausgewaschen bis die Lösung einen pH-Wert von ca. 9 hat.

Oberflächenbehandlung:

Je nachdem ob man ein Ferrofluid auf wässriger- oder auf Petroleum-Basis herstellen will, wird die Oberflächenbehandlung durchgeführt. Diese hat den Zweck, dass die Magnetitteilchen eine Umhüllung bekommen und nicht verklumpen.

Verhalten im Magnetfeld:

Das Ferrofluid ist von Anfang an magnetisch, jedoch sollte erst mit einem Magneten getestet werden, wenn eine Oberflächenbehandlung stattgefunden hat, da sonst das Magnetit verklumpt.



Abb.15: Abtrennen des Ferrofluids mit Neodym-Magneten

1.5.3 Variante 1: auf Petroleum-Basis

Reagenzien:

Eisen(II)chlorid: 0,06 mol = 11,93 g $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Eisen(III)chlorid: 0,09 mol = 24,33 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Verd. Salzsäure: HCl c=2 mol/L

Ammoniumhydroxid: 28%-iges NH_4OH , 50 ml (+70% Überschuss)

Ölsäure: 4,45g = 5 mL $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$

n-Decan: 50 mL $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$

Durchführung:

Das Eisen(II)chlorid und das Eisen(III)chlorid werden getrennt voneinander in Wasser (evtl. verdünnter HCl) gelöst. Löslichkeit Eisen(II)chlorid in Wasser: 685 g/L > min. 17,4 mL Wasser für 11,93 g, Eisen(III)chlorid in Wasser: 920 g/L > min. 26,5 mL Wasser für 24,33 g (20°C). Anschließend werden die beiden Lösungen gemischt und dann langsam tröpfchenweise unter Rühren das Ammoniumhydroxid zugegeben. Zu der rechnerisch benötigten Menge Ammoniumhydroxid wird noch ein Überschuss von 50 mL hinzugegeben.

Der entstandene Niederschlag wird nun mehrere Male mit Wasser ausgewaschen. Der pH-Wert sollte nicht >9 sein. Dann wird er nochmals mit Wasser aufgeschlämmt, auf 90°C erhitzt und eine Mischung aus 5 mL Ölsäure und 50 mL n-Decan tröpfchenweise zugegeben. Durch die Ölsäure werden die Partikel untereinander durch eine organische Hülle getrennt, wodurch die Teilchen nicht verklumpen und ihre Nano-Eigenschaften nicht verlieren. Das n-Decan ist das Dispersionsmedium für die Nanopartikel.

Die Phasen trennen sich und die obenliegende wässrige Phase wird mit einer Pipette möglichst vollständig entfernt. Der restliche Niederschlag wird auf 130°C erhitzt um das restliche Wasser zu verdampfen. Nach dem Abkühlen wird noch etwas n-Decan hinzugegeben. Mit einem Magneten wird überprüft, ob sich Instabilitäten ausbilden.

1.5.4 Variante 2: auf wässriger Basis

Reagenzien:

Eisen(II)chlorid: 0,01 mol = 1,9881 g $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Eisen(III)chlorid: 0,02 mol = 5,4065 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Verd. Salzsäure: HCl $c=2$ mol/L

Ammoniumhydroxid: 29%-iges NH_4OH , 8,3335 ml (ca. 8,95 mL)

Tetramethylammoniumhydroxid: 25%iges $\text{C}_4\text{H}_{13}\text{NO}$, 5 mL

(oder: Tetra-n-Butylammoniumhydroxid)

n-Dekan: $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$

Durchführung:

Das Eisen(II)chlorid und das Eisen(III)chlorid werden getrennt voneinander in verdünnter HCl gelöst. Eisen(II)chlorid in min. 2,9 mL verd. HCl für 1,9881 g (5 mL) und das Eisen(III)chlorid in min. 5,88 mL verd. HCl (20 mL). Die beiden Lösungen werden gemischt und unter Rühren tropfenweise mit einer Bürette das Ammoniumhydroxid, verdünnt auf 250 mL, zugegeben. Zur Vereinfachung mit einem Magnetrührer, (oder besser mit einem nichtmagnetischen Rührer, betrieben mit einer Bohrmaschine, was uns jedoch zu aufwendig war), um die Bildung des Magnetits nicht zu beeinflussen. Man lässt den entstehenden Niederschlag absetzen, was sich mit einem Magneten beschleunigen lässt. Ist der Niederschlag nicht tiefschwarz, muss weiteres verdünntes Ammoniumhydroxid zugegeben werden. Die klare Flüssigkeit wird nun abdekantiert. Der Niederschlag wird weitere zwei Mal erneut aufgeschlämmt und ausgewaschen. Der pH-Wert sollte nicht >9 sein. Nach dem Absetzen wird die klare Flüssigkeit entfernt bis nur noch ein zähes Fluid übrig bleibt. Dazu müssen auch Teile der schwarzen Flüssigkeit mit abgegossen werden. Nun werden 5 mL Tetramethylammoniumhydroxid oder besser Tetra-n-Butylammoniumhydroxid zugegeben und 2 Minuten aufgeschwämmt. Dabei entsteht eine Umhüllung der Magnetit-Teilchen. Mittelfristig kann das Fluid durch Zugabe von n-Dekan konserviert werden, wenn es unter Luftabschluss aufbewahrt wird.

Auswertung / Ergebnis:

Es ist uns gelungen beide Ferrofluide herzustellen. Beide Fluide waren stark magnetisierbar. Jedoch konnten wir nur bei dem Ferrofluid auf Petroleum-Basis einen Rosensweig-Effekt feststellen. Doch leider ist die Herstellung nicht so einfach reproduzierbar. Zum einen ist es nicht sinnvoll und möglich mit den berechneten Mengenangaben zu arbeiten, da sich die Mengenverhältnisse laufend verändern, z.B. durch das Auswaschen des Niederschlags und durch das stetige Verdunsten der Reagenzien während der Herstellung. So war es uns nur kurz möglich den Rosensweig-Effekt zu sehen, da die Konsistenz des Ferrofluid sich rasch verändert hat.



Abb.17: Ferrofluid aus der Nanobox



Abb.16: Selbsthergestelltes magnetisiertes Ferrofluid auf wässriger Basis

Das Ferrofluid aus der Nanobox haben wir zum Vergleich getestet, jedoch ist dieses unserer Einschätzung nach zu dünnflüssig, zu rötlich (was eher auf Fe_2O_3 hinweist, statt auf Fe_3O_4) und es zeigte keinen Rosensweig-Effekt.

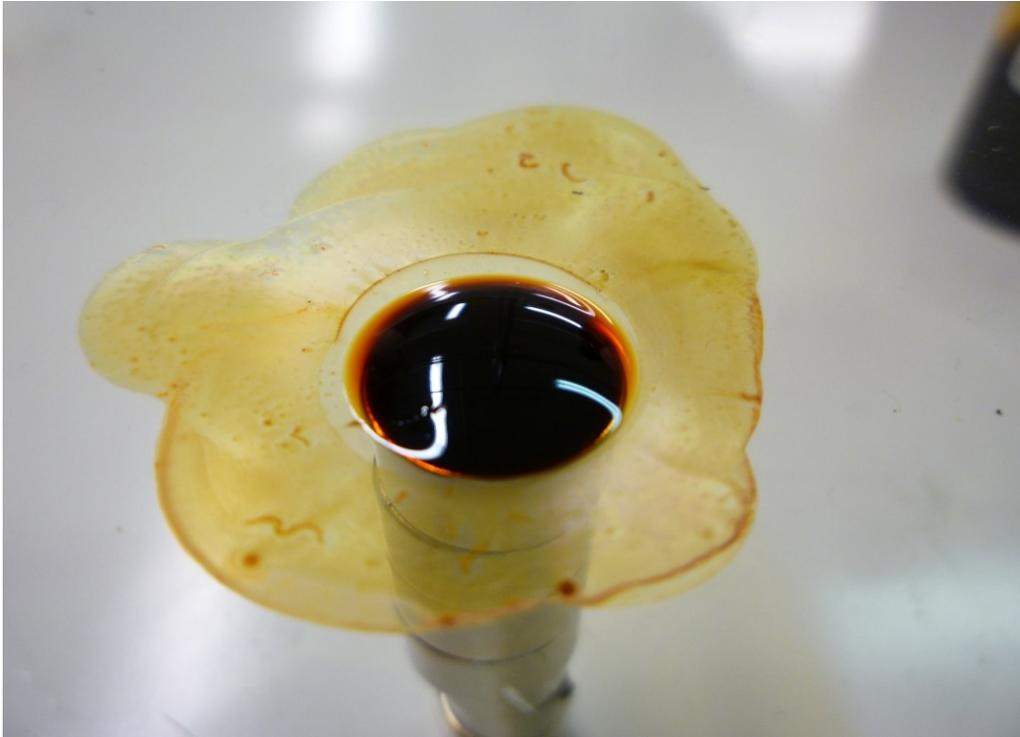


Abb.18: Magnetisiertes Ferrofluid aus der Nanobox auf einem Uhrglas

Da es in unserem Labor kein FeCl_2 gibt, haben wir unsere Versuche mit Eisenoxalat ($\text{Fe}(\text{COO})_2$) und Mohr'schem Salz ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$) durchgeführt. Eisenoxalat machte aber Probleme, da es zu schwer löslich ist und sich nur in konzentrierter HCl löst, was zur Folge hat, dass man zu viel NH_4OH zum Fällern braucht.



Abb.19: Geglühter, verriebener Magnetit

Bei dem Ferrofluid auf wässriger Basis machten wir den Versuch den Magnetit-Niederschlag zu glühen, um ihn dann in einer Reibschale noch stärker zu zerkleinern. Die magnetischen Eigenschaften des Fluids verschlechterten sich dadurch aber stark.

Dabei zeigte sich jedoch auch, dass das Magnetit, welches schwarz sein sollte, eher rötlich war. Wir schlossen daraus, dass ein zu hoher Anteil an Fe_2O_3 vorhanden sein musste. Als Folgerung daraus beschlossen wir nun mit einem Überschuss an Fe(II)-Salz zu arbeiten, ohne uns an die stöchiometrischen Verhältnisse zu halten.

Um das sehr häufige Absetzen lassen des Niederschlags zu beschleunigen, haben wir die Lösung zentrifugiert. Diese Methode stellte sich jedoch als unbrauchbar heraus, da die Magnetit-Partikel dabei zu stark verklumpen und außerdem kaum wieder aus dem Reagenzglas zu bekommen sind. Für diesen Teil des Versuchs hilft es nur geduldig zu sein und mit einem möglichst starken Magneten die Teilchen zu sammeln.

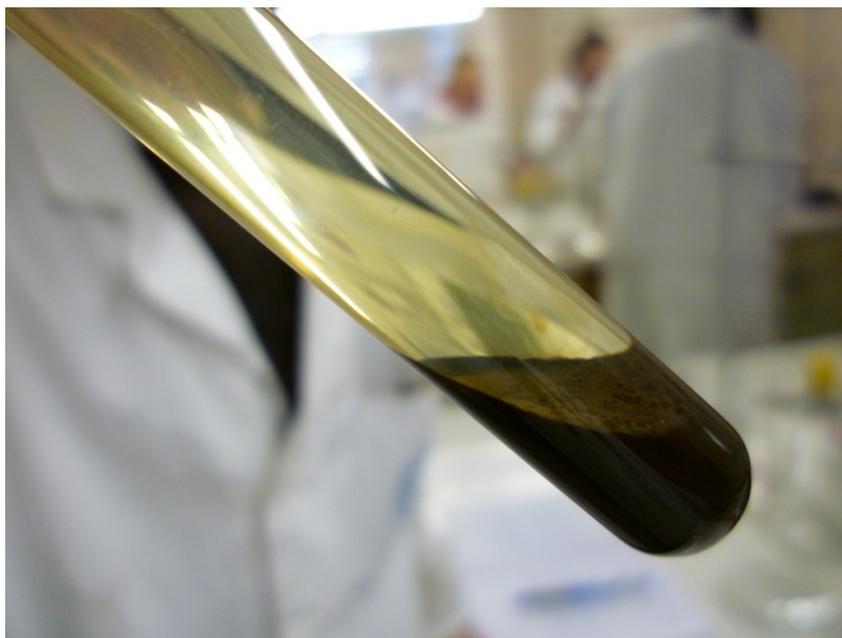


Abb.20: Abtrennversuch mit der Zentrifuge

Aus der Kombination von einem Überschuss an $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ und der Methode auf Petroleum-Basis entstand das Fluid mit dem sichtbaren Rosensweig-Effekt. Die Neodym-Magneten stellten sich dabei als eher zu stark heraus. Die Effekte wurden erst sichtbar, wenn man mit dem Magneten ein Stück Abstand vom Glas ließ. Die Stacheln, welche den Verlauf der Magnetfeldlinien zeigen, bilden sich dabei langsam aus. Ein Hauptproblem bei der Herstellung ist es, ein Fluid mit einer möglichst geringen Oberflächenspannung zu erhalten, damit die Stacheln sich auf der Oberfläche ausbilden können.

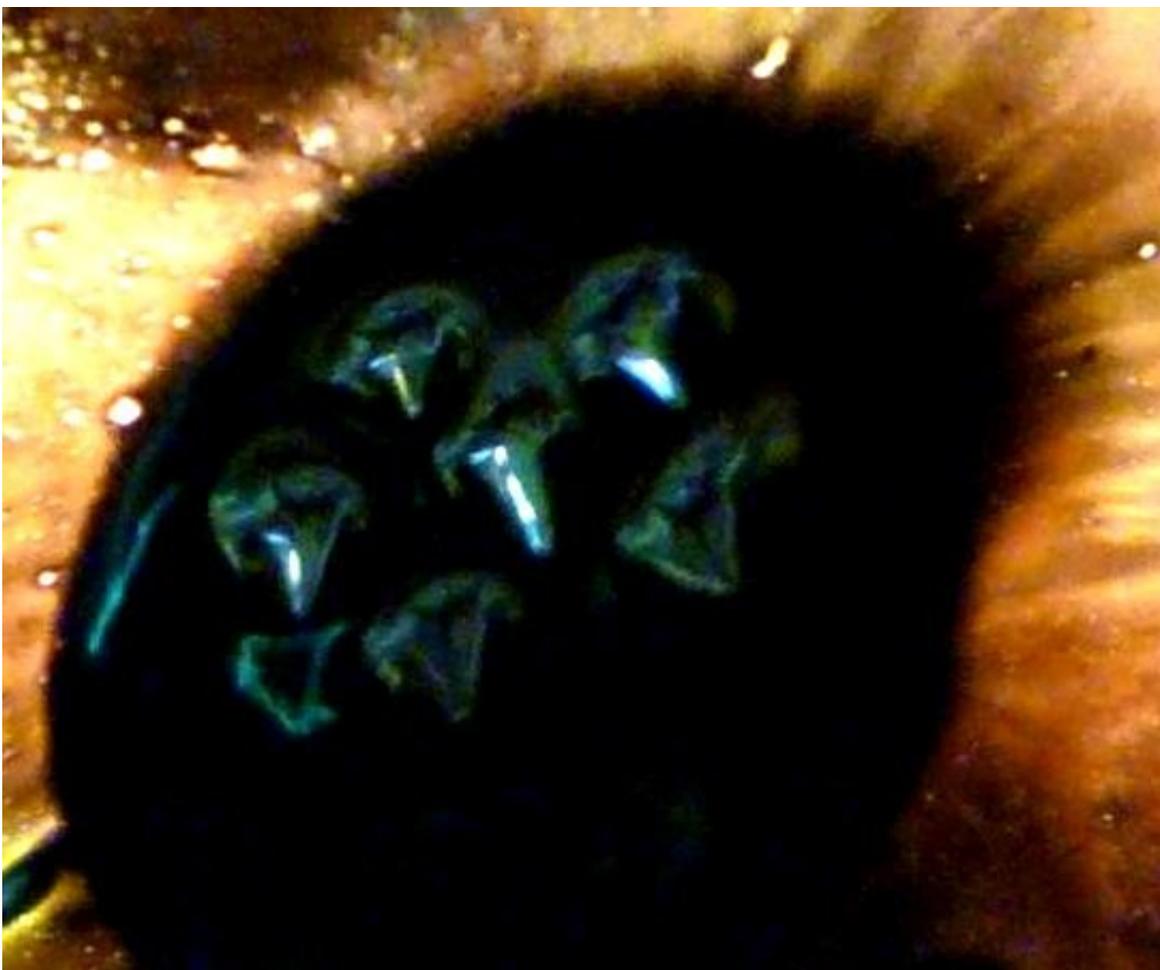


Abb.21: Ferrofluid auf Petroleum-Basis mit Rosensweig-Effekt aus eigener Herstellung

1.6 Herstellen eines Ferrofluids aus Laserdruckertoner

Benötigte Materialien:

- ca. 15 mL MICR Toner eines Laserdruckers
(Liste mit verwendbaren Tonern auf den nachfolgenden Seiten)
- ca. 30 mL Speiseöl
- mehrere Behältnisse
- viel Zeitung als Unterlage
- Putzmittel!!
- gegebenenfalls Handschuhe und alte Kleidung
- starker Magnet (am besten ein Neodymmagnet)

Durchführung:

Als erstes wird der Toner benötigt. Wenn dieser nicht als Nachfüllpackung vorliegt, muss zuerst die Tonerkartusche entleert werden. Dazu wird der Plastikstopfen (meist an der Seite der Kartusche und mit einem Sicherheitskleber versehen) abgenommen und der Toner ausgeleert. ! Vorsicht beim Ausleeren des Toners kann dieser sehr stark Stauben, was zu Atemproblemen führen könnte. Wenn das geschafft ist werden ca. 15 mL des Tonerpulvers in eines der Behältnisse gegeben. Dazu kommen nun ca. 30 mL des Speiseöls. Anschließend wird alles kräftig verrührt bis eine flüssige Mischung entsteht. Diese Lösung darf nicht zu flüssig und nicht zu fest sein. Gegebenfalls wird nochmals etwas Toner oder Speiseöl hinzugegeben. Anschließend wird der Neodymmagnet unter das Gefäß gehalten.

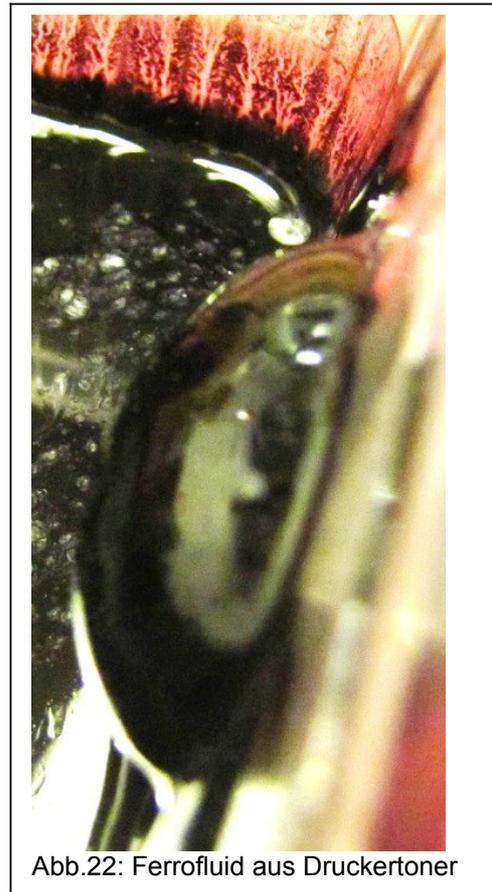


Abb.22: Ferrofluid aus Druckertoner

Quelle [13]: <http://www.inkcarts.com> (21.1.2012)

Quelle [14]: <http://www.youtube.com/watch?v=vsQh1AT6qUE> (21.1.2012)

Dabei sollte er schon sehr stark von der Lösung angezogen werden. Nun wird der Magnet am Gefäß entlang nach oben bewegt. Dabei sollte die Flüssigkeit mitwandern und schließlich an der Seite des Gefäßes die Rosensweig-Instabilität aufweisen.

Nun kann das Ferrofluid beispielsweise noch auf eine ebene Fläche gegossen werden und der Magnet darunter durchgeführt werden. Es sollten sich wieder Stacheln bilden und die gesamte Flüssigkeit dem Magneten nachwandern.

Hintergrund:

Der MICR Toner beinhaltet extrem feine Magnetpartikel, welche die Größe von Nanopartikeln erreichen. Deshalb reagieren sie in einem Magnetfeld auch ferromagnetisch. Durch das Öl werden die Partikel in eine kolloidale Lösung versetzt. Zudem verhindert das Öl das Verklumpen der Partikel. Wird nun der Magnet in die Nähe der



Abb.23: Ferrofluid aus Druckertoner mit magnetisierter Stelle

Lösung gebracht, zieht er diese nanogroßen Magnetpartikel an, welche aber nicht aus der Lösung abgetrennt werden können und deshalb das Öl mit sich ziehen.

Es wurde somit ein vollwertiges Ferrofluid hergestellt, welches je nach verwendetem Toner auch noch eine schöne Farbe aufweist.

Beobachtung:

Das hergestellte Ferrofluid wird extrem stark vom Magneten angezogen und bildet auch eine sehr große Wölbung. Leider bildete sich aber kein wirklich brauchbarer Rosensweig-Effekt aus. Wir vermuten, dass dies aber durch eine feinere Abstimmung von Öl und Tonerpulver trotzdem möglich wäre.

Je nach Konsistenz ändert sich das Magnetverhalten sehr stark. Es reichen ein paar Tropfen Öl zu viel um die Ausbildung der Wölbung stark zu verringern. Wir glauben, dass die Herstellung eines Ferrofluides aus Druckertoner auch mit Rosensweig-Effekt möglich ist. Da das Quellvideo sehr ungenau in der Beschreibung ist, vermuten wir, dass dort nicht alle verwendeten Substanzen angegeben wurden und es einen kleinen Trick gibt, mit welchem man den Rosensweig-Effekt auslösen kann.

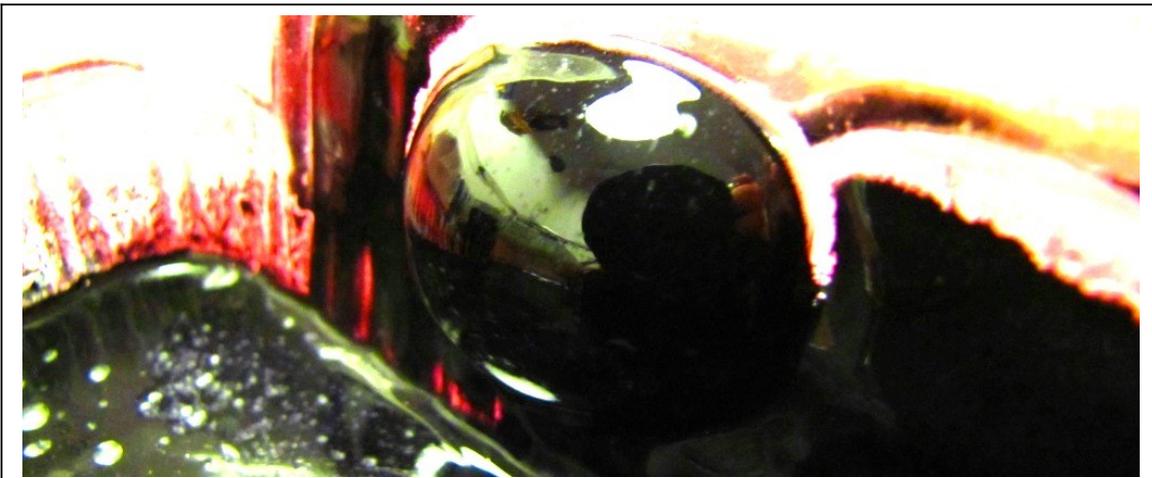


Abb.24: Ferrofluid aus Druckertoner mit einem Magneten an der Glaswand hochgezogen

Liste der für Versuch 3 verwendbaren Toner:

HP : (alle Laserdrucker verwenden MICR Toner!!)

Laserjet 1000-5000 und 8000 + 9000 Reihe

Lexmark

E230 - E342n oder OptraS1250 - OptraS2455n oder T520 - T644tn

Troy

608Mic - 632Mic oder Mic1100 - Mic9050

IBM

InfoPrint4100HD1 – InfoPrint4100Ps1

Unisys

UDS-9716 MICR oder UDS-9724 Micr

ACOM

MC5812 MICR

Canon

LBP-3360 / PC1060+1080 / D660+A680 / 710-880

Huntress Cop

T642

PRINTERM

Master Check Micr 12 Plus

Xerox

DocuPrint N4525

Image Excellence

T520 / T620

2 Fazit

Unsere Projektarbeit zum Thema superparamagnetische Nanokomposite und Ferrofluide war eine tolle Erfahrung. Wir haben während der Recherche und der Versuche sehr viel Neues dazugelernt. Für uns war es eine neue Erfahrung, ein Thema fast komplett vom Grund an selbst zusammenzustellen und geeignete Versuche zu finden und diese auszuarbeiten. Wir haben auch gelernt, dass die Herstellung eines einwandfrei funktionierenden Ferrofluids gar nicht so einfach ist, wie wir uns das zu Beginn der Projektarbeit vorgestellt hatten.

Weiterhin haben wir während unserer Projektarbeit herausgefunden, dass superparamagnetische Nanokomposite und Ferrofluide schon heute Verwendung in sehr vielen Bereichen wie z.B. der Medizin und der Oberflächenveredelung finden und eine Vielzahl weiterer Anwendungen derzeit erforscht und entwickelt werden.

Es war sehr interessant zu sehen, dass mit Schwermetallen verunreinigtes Wasser mit Hilfe von winzigen Partikeln und wenig Aufwand wieder gereinigt werden kann. Wir hoffen, dass diese Technik in Zukunft noch weiterentwickelt und verbessert wird, damit sie als umweltfreundliche und kostengünstige Alternative zur derzeitigen Reinigung des Wassers in Kläranlagen eingeführt werden kann.

Die Betreuung durch Frau Pfeifer war sehr unkompliziert und hilfreich. Auch unsere Zusammenarbeit hat problemlos funktioniert.

Quellenverzeichnis

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie> (6.9.2011)
- [2] Bundesministerium für Bildung und Forschung: „Aktionsplan Nanotechnologie 2015“
- [3] de.wikipedia.org/wiki/Paramagnetismus (6.9.2011)
- [4] de.wikipedia.org/wiki/Ferromagnetismus (6.9.2011)
- [5] <http://www.supermagnete.ch/magnetismus/diamagnetismus> (6.9.2011)
- [6] Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft - Nanotechnologie
- [7] Bundesdeutsches Kompetenzzentrum CC-Nanochem e.V.
- [8] de.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid (12.9.2011)
- [9] www.uni-saarland.de/fak7/hartmann/cfn/Dokumente/Manuals/Ferrofluide.pdf (12.9.2011)
- [10] <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/arbeiten/Nanotechnologie.pdf> (12.9.2011)
- [11] DR. HERRMANN Markus: wis – Wissenschaft in die Schule: Unterrichtsmaterialien (12.9.2011)
- [12] http://www.swissnanocube.ch/uploads/tx_rfnanoteachbox/snc_nanochemie_FFL_t_ext_01.pdf (12.9.2011)
- [13] <http://www.inkcarts.com> (21.1.2012)
- [14] <http://www.youtube.com/watch?v=vsQh1AT6qUE> (21.1.2012)

Anhang

E-Mail Verkehr

Begleitblatt zur Projektarbeit

Laborjournale