



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Landeswettbewerb Jugend forscht

RHEINLAND-PFALZ



Ferrofluide Theorie und Praxis

Daniel Knoll

Schule:

Eduard-Spranger-Gymnasium
Schneiderstraße 71
76829 Landau

Eduard-Spranger-Gymnasium
Landau i. d. Pfalz

Daniel Knoll

Ferrofluide – Theorie und Praxis

Facharbeit im Leistungskurs Chemie

betreut von Herrn Treis

Jahrgangsstufe 12
Schuljahr 2009/2010

VORWORT

Kräfte, deren Ursache nicht auf den ersten Blick erkennbar ist, üben auf Menschen eine große Faszination aus. Eine solche Kraft ist beispielsweise der Magnetismus. Dieser faszinierte mich schon sehr lange Zeit, weswegen sich meine Facharbeit unbedingt mit diesem Thema beschäftigen sollte. Um eine chemische Komponente hinzuzufügen, befasst sich diese Facharbeit mit der Chemie von Flüssigkeiten, die eine Wechselwirkung mit magnetischen Feldern zeigen. Diese sogenannten Ferrofluide werden im Labor hergestellt, die dahintersteckende Theorie erklärt und zwei praktische Anwendungen experimentell durchgeführt.

Ferrofluide sind schon seit längerer Zeit bekannt und haben vielfältige Verwendungsmöglichkeiten. Eine Möglichkeit liegt darin, eine besondere Eigenschaft dieser Flüssigkeiten zu benutzen, die auftritt, wenn ein Magnetfeld in die Nähe gebracht wird: Die spezifische Dichte der Flüssigkeit steigt proportional zur Stärke des Magnetfelds an. Dadurch kann man beispielsweise vorher eingefüllte Gegenstände aus verschiedenen Metallen trennen, indem man die Magnetfeldstärke langsam erhöht und die nacheinander obenauf schwimmenden Kugeln abschöpft ("Schwimm-Sink-Verfahren" [1])

"In der Erprobung sind magnetische Partikel in der Krebsbekämpfung (Hyperthermie) und als Trägersubstanzen für lokal zu applizierende Medikamente (drug-targeting)" [2].

Desweiteren haben Ferrofluide, die auf einem unpolaren Trägermittel basieren eine weitere Verwendungsmöglichkeit, die momentan noch nicht ausgereift ist. Bezüglich der erst vor kurzem versunkenen Ölbohrinsel stellt sich die Frage, wie man das auslaufende Öl möglichst gründlich und vor allem schnell von der Wasseroberfläche bekommt. Ein selbst ersonnener Ansatz sieht folgendermaßen aus: Nimmt man ein auf Kohlenwasserstoffbasis aufgebautes Ferrofluid und bringt es mit dem Ölteppich in Kontakt, vermischen sich die beiden Stoffe und auch das Öl wird magnetisierbar und kann mittels eines Elektromagneten abgetrennt werden.

Diese Methode ist zwar sehr umweltfreundlich, schnell und gründlich, aber finanziell nicht tragbar, solange keine kostengünstigen Herstellungsmethoden gefunden werden.

Am Ende stehen verschiedene Ferrofluide, ein Schwimm-Sink-Verfahren zur Materialtrennung und eine simulierte Reinigung von mit Öl verunreinigtem Wasser.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort

1 Einleitung

1.1	Ferrofluide		
1.1.1		Aufbau.....	1
1.1.2		Besonderheiten.....	2
1.1.3		Geschichte.....	2
1.2	Herstellungsmethodik.....		3

2 Hauptteil

2.1	Theorie.....		4
2.2	Herstellung.....		6
2.3	Anwendung		
2.3.1		Schwimm-Sink-Verfahren.....	10
2.3.2		Säuberung von Wasser.....	12

3 Schlussteil

3.1	Fazit.....		13
	Literaturangaben.....		14

1 EINLEITUNG

1.1 FERROFLUIDE

„Dispergiert man magnetische Nanopartikel in einem flüssigen Träger, erhält man eine magnetische Flüssigkeit (oder auch Ferrofluid).“ [3]

Ferrofluid (lat. *ferrum* = „Eisen“; *fluidus* = „fließend“) bedeutet „flüssiges Eisen“ oder ferromagnetische Flüssigkeit.

1.1.1 Aufbau :

Das Kernmaterial besteht aus Nanopartikeln (Herleitung des Namens von der Größe, welche zwischen 1 und 100 nm liegt), die aus einem ferro- oder ferrimagnetischen Stoff bestehen (Nickel, Cobalt, Eisen, Magnetit, Maghemit etc.) [2]. Diese werden entweder durch das Top-Down-Verfahren hergestellt, welches Kristalle von beispielsweise Magnetit zu nanometergroßen Partikeln vermahlt, oder durch das - auch in dieser Arbeit verwendete - Bottom-Up-Verfahren. Bei diesem Verfahren geht man von einzelnen Atomen oder Ionen aus, welche dann auf die gewünschte Größe durch Fällungsreaktionen gebracht werden.

Um die irreversible Agglomeration der Teilchen zu verhindern, die, aufgrund magnetischer Kräfte zwischen den Partikeln, auftreten würden, bedient man sich einer Art Platzhalter, der eine sterische Hinderung darstellt. „Dazu werden langkettige Moleküle oder Makromoleküle mit funktionellen Gruppen eingesetzt“[4]. Dabei ist darauf zu achten, „daß die funktionelle Gruppe eine Bindung zu den magnetischen Partikeln herstellt und der langkettige Rest in der Trägerflüssigkeit löslich ist“ [4].

„Die Trägerflüssigkeit bestimmt wesentliche makroskopische Eigenschaften einer magnetischen Flüssigkeit, wie z.B. Viskosität, Dampfdruck, Wärmeleitfähigkeit sowie Verträglichkeit mit anderen Medien“[5]. Oft verwendet werden, bei ölbasierten Ferrofluiden, längerkettige Kohlenwasserstoffe wie n-Octan und n-Decan. [6]

1.1.2 Besonderheiten:

Die beschichteten Partikel befinden sich aufgrund ihrer geringen Größe im „*Grenzbereich des Magnetismus*“ [7], da ihre Magnetisierung bei einem geringeren Durchmesser gänzlich verschwinden würde.

Außerdem ist bei ihrer Größe von ungefähr 10 nm nur die Ausbildung einer einzigen magnetischen Domäne möglich, was dazu führt, dass die Partikel permanent magnetisch gesättigt sind und nur durch ihre zufällige Ausrichtung keine makroskopische Magnetisierung aufweisen. [8]

Bei Anlegen eines Magnetfelds richten sich die einzelnen Domänen aus, wodurch eine makroskopische Magnetisierung entsteht, die allerdings nach Entfernen des Felds verschwindet, da die Brownsche Bewegung dazu führt, dass sich die einzelnen Domänen wieder zufällig ausrichten.

1.1.3 Geschichte:

Schon vor etwas mehr als 150 Jahren versuchte man Wasser magnetische Fähigkeiten, durch geschicktes Hinzufügen von Eisenspänen, zu verleihen. Da sich besonders die NASA von diesem Stoff besonderen Nutzen bei Weltallmissionen versprach, ist es nicht verwunderlich, dass das erste Ferrofluid in den 60er Jahren von einem NASA-Mitarbeiter namens Stephens Pappell hergestellt wurde. Die theoretischen Grundlagen zu Ferrofluiden sind größtenteils auf Ronald E. Rosensweig zurückzuführen, nach dem auch die sogenannten Rosensweig-Instabilitäten benannt sind.[6] Diese treten auf, wenn man ein Ferrofluid in ein sehr starkes Magnetfeld einbringt.

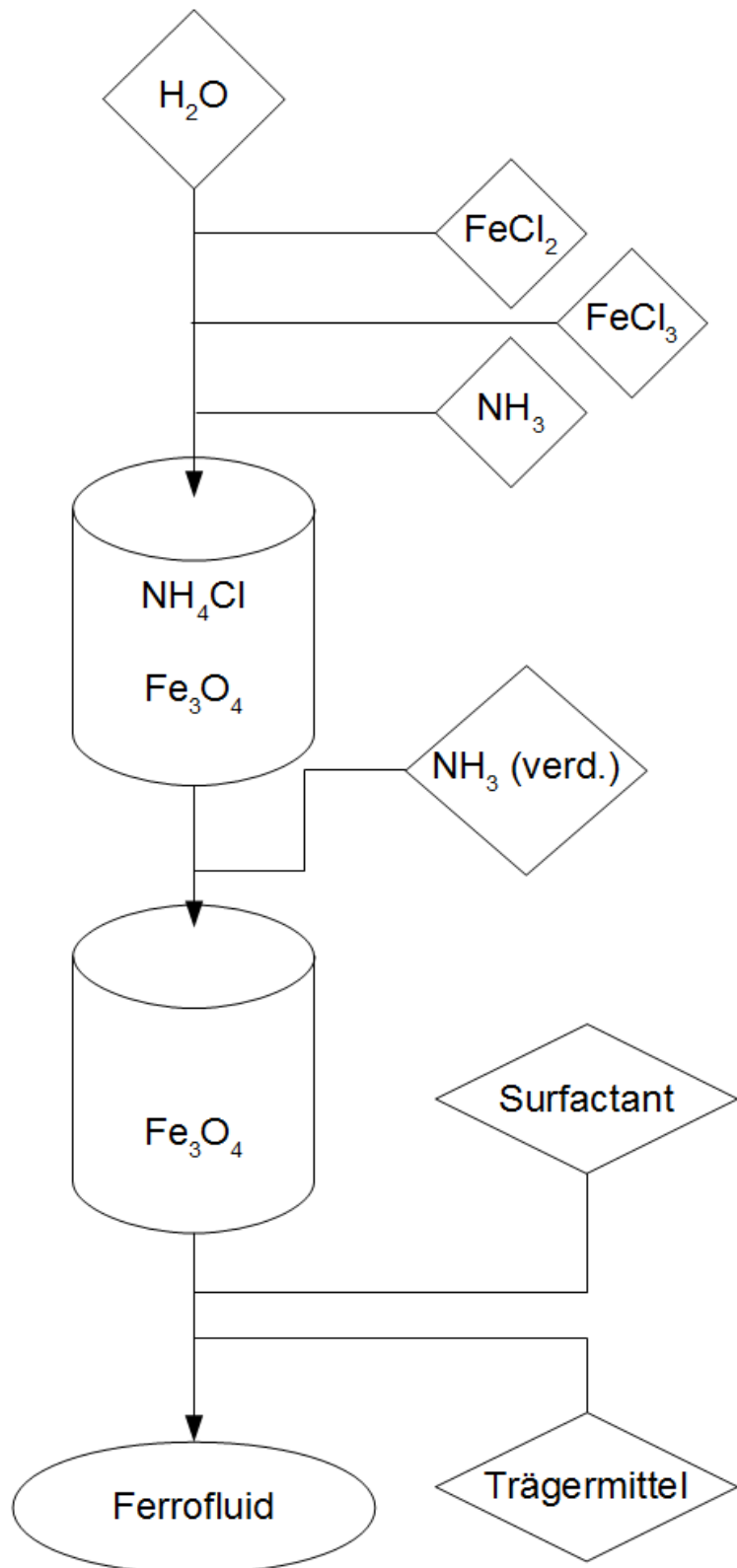
1.2 HERSTELLUNGSMETHODIK

Zunächst werden die beiden Eisensalze Eisen(II)-Chlorid und Eisen(III)-Chlorid in Wasser gelöst und in ein Becherglas gegeben, in das langsam Ammoniak hinzugegossen wird. Dabei muss ständig gerührt werden. Es bildet sich - unter anderem - Magnetit als feinpartikuläre Aufschlämmung.

Im zweiten Schritt werden Rückstände mit stark verdünntem Ammoniak herausgespült, deren Großteil aus Ammoniumchlorid besteht, aber auch Spuren von Sulfaten, Nitraten und anderen Chloriden enthalten kann.[10]

Zuletzt wird der Surfactant (**Surface Active Agent**) und die Trägerflüssigkeit unter Erhitzen und starkem Rühren hinzugefügt. Der Surfactant heftet sich an die Nanopartikel und löst diese anschließend im Trägermittel.

Das Ferrofluid ist entstanden.

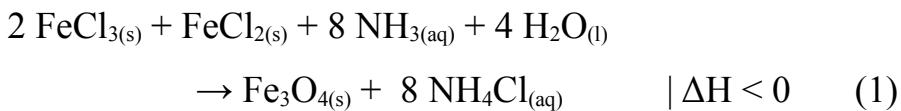


2 HAUPTTEIL

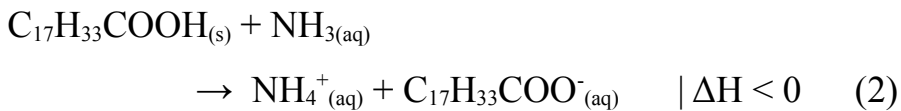
2.1 THEORIE

Um das Kernmaterial herzustellen, bedient man sich in diesem Fall des Bottom-Up-Verfahrens (vgl. S. 3). Eine Lösung von Eisen(II)- und Eisen(III)-Salzen ergibt in einer ammoniakalischen Fällung (Gleichung 1), mit dem Sauerstoff im Wasser, Magnetit (Fe_3O_4). Hierbei ist zu beachten, dass die Ammoniaklösung so langsam wie möglich zugegeben wird, da Partikel entstehen müssen, die 5-15 nm im Durchmesser messen. Ein zu schnelles Zugeben führt zur Agglomeration der Nanopartikel und es bilden sich zu große Teilchen, die später durch die Erdgravitation sedimentieren. Man benutzt einen wesentlich höheren Anteil an Ammoniak, als das stöchiometrische Verhältnis verlangen würde, da es in einem weiteren Reaktionsschritt noch verwendet wird. Der Ansatz wird mit einer stark verdünnten Ammoniak- oder Natronlaugelösung gewaschen, um Rückstände zu entfernen, die die spätere Qualität des Ferrofluids verschlechtern können. Nach dem letzten Waschgang ist immer noch der überschüssige Ammoniak enthalten, welcher im nächsten Schritt verwendet wird. Man gibt etwas Wasser zur Verflüssigung hinzu und fügt eine geringe Menge des Surfactants (meist Ölsäure) bei. Da Ölsäure wasserunlöslich ist, erhitzt man das Gemisch, während die Ölsäure mit dem überschüssigen Ammoniak zu Ammoniumoleat reagiert (Gleichung 2). Dieses Salz löst sich nun im Wasser, welches die Nanopartikel enthält, wird durch das Erhitzen wieder zersetzt und lagert sich mit dem polaren Ende an die Magnetitteilchen an, wodurch eine Art Hülle entsteht, die zum einen dafür sorgt, dass die Teilchen voneinander sterisch getrennt sind und zum anderen in unpolaren Trägerflüssigkeiten nach dem Prinzip "Gleiches löst sich in Gleichem" gelöst werden kann. Die nun beschichteten Partikel werden nun mit einem starken Magneten am Boden fixiert und der Überstand dekantiert. Die am Boden befindliche Paste kann nun mit einem unpolaren Lösungsmittel (üblicherweise Decan) gelöst werden. Während des gesamten Prozesses muss der Ansatz permanent gerührt werden, um eine Koagulation der Teilchen zu verhindern. Einzige Ausnahme bildet der Waschvorgang, bei dem die Teilchen sich langsam am Boden absetzen.

Fällungsreaktionsgleichung:



Ölsäure – Anlagerung:



Stabilisation:

Es ist nicht selbstverständlich, dass der kolloidale Zustand stabil bleibt. "Die Partikel tendieren dazu, die freie Oberflächenenergie durch Aggregation und Agglomeration zu minimieren." [11] Dies kann entweder durch elektrostatische Stabilisierung oder, wie schon weiter oben erwähnt, durch sterische Stabilisierung verhindert werden.

Die elektrostatische Stabilisierung kann nur in "Medien mit freien Ionen" [11] stattfinden, da sie auf folgendem Prinzip beruht. Jedes geladene Teilchen erhält in solch einem Medium eine "Hülle aus Gegenionen" [11], die von anderen Hüllen nach der physikalischen Regel "Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab" eine Gegenkraft erfährt, die entgegen der Van der Waals Kraft wirkt, die zwischen den geladenen Teilchen auftritt.

Zur Anwendung in dieser Facharbeit kommt die sterische Stabilisierung, die auch entropische Abstoßung genannt wird. Diese Namensgebung rührt von der Funktionsweise her: Langkettige Moleküle werden auf der Oberfläche "chemisorbiert oder gebunden" [11].

Wenn sich nun zwei solch beschichtete Teilchen gegenseitig berühren, durchdringen sich die langkettigen Moleküle und die "Gesamtenergie in diesem Bereich" [11] steigt. Um diesen Energieanstieg zu vermeiden, lösen sich die beiden Teilchen voneinander und "werden redispergiert" [11].

2.2 HERSTELLUNG

Versuch 1:

Vorgaben: Kern – Magnetit; Surfactant – Laurinsäure;

Trägerflüssigkeit – Hexan

Durchführung mit Ergebnissen:

Zuerst wurden die beiden Eisensalze Eisen(II)- und Eisen(III)-Chlorid in insgesamt 33 ml Wasser gelöst. Es bildete sich neben der gelben Eisenlösung ein „brauner Schlamm“, der ungefähr die Hälfte des gesamten Volumens ausmachte. Entfernt wurden diese unerwünschten Teilchen zunächst improvisatorisch mittels eines Filters.

Die nunmehr fast klare, gelbe Flüssigkeit wurde mit 16,7 ml Ammoniak (konz.) gefällt, wobei der Ammoniak in einem Zeitraum von 1 Minute hinzugegeben wurde. Die Lösung färbte sich beinahe sofort vollkommen schwarz und behielt diese Farbe bei, bis die Sedimentation der Nanopartikel durch einen Magneten am Boden stark beschleunigt wurde.

Es trat eine Separation zweier Phasen auf, wobei die obere aus klarem Wasser bestand, welches dann abdekantiert werden konnte. Die untere Phase wurde 7 Mal mit einer 10^{-4} molaren Natronlauge gewaschen.

Nach dem Hinzufügen von 1,8 g Laurinsäure wurde der Bodensatz über einem Wasserbad erhitzt, um die wasserunlösliche Säure zu verflüssigen. Durch starkes Rühren von Hand verband sich das polare Ende der Laurinsäure mit den leicht geladenen Nanopartikeln.

Der hochviskose Bodensatz wurde mit 50 ml n-Hexan versetzt und kurz gerührt, wodurch ein sehr flüssiges Ferrofluid entstand, das auf einen starken Neodymmagneten am Boden des Glases mit einer „Glockenbildung“ reagierte.

Das entstandene Ferrofluid ist mit unpolaren Flüssigkeiten vermischbar und trennt sich sofort von Wasser ab. Es eignet sich bedingt für die Reinigung von ölverschmutztem Wasser, da es nach dem Vermischen mit dem Öl eine geringere Magnetisierbarkeit aufweist.

Die Reaktion auf ein Magnetfeld ist aufgrund der relativ geringen Magnetitkonzentration schon sehr gering, weswegen weitere Versuche durchgeführt werden.

Versuch 2:

Vorgaben: Kern – Magnetit; Surfactant – Stearinsäure;

Trägerflüssigkeit – Hexan

Durchführung mit Ergebnissen:

Die Vorgehensweise ist größtenteils mit der von Versuch 1 gleichzusetzen, bis auf die Beschichtung der Nanopartikel. Hier wurde Stearinsäure statt Laurinsäure verwendet, um den Einfluss der Länge des unpolaren Teils des Surfactanten untersuchen zu können.

Nachdem unter Erhitzen und Rühren die Stearinsäure mit den Nanopartikeln reagiert war, zeigten sich erste Unterschiede zu Versuch 1. So war es keine zähflüssige Masse sondern eine beinahe erstarrte Agglomeration.

Auch ein Verdünnen mit Hexan erbrachte keinen Erfolg. Längerkettige Fettsäuren sind also ungeeignet als Surfactant.

Versuch 3:

Vorgaben: Kern – Magnetit; Surfactant – Laurinsäure;

Trägerflüssigkeit – Hexan

Durchführung mit Ergebnissen:

Wie schon aus den Vorgaben zu erkennen handelt es sich dieses Mal um den gleichen Versuch wie 1. Einziger Unterschied, der Waschvorgang wurde ausgelassen, um dessen Einfluss festzustellen.

Das Ferrofluid, das sich bildete, war sehr klumpig, enthielt feste Bereiche und reagierte zwar auf ein Magnetfeld, allerdings dauerte es relativ lange, bis es nach Entfernen des Magnets wieder vollkommen flüssig war.

Versuch 4:

Vorgaben: Kern – Magnetit; Surfactant – Laurinsäure;

Trägerflüssigkeit – keine

Durchführung mit Ergebnissen:

Variation gegenüber Versuch 1 stellt das Weglassen der Trägerflüssigkeit dar, die aber

nicht den Kern dieses Versuchs ausmacht. Vielmehr wurde diesmal nach einer Lösung gesucht, den in Versuch 1 erwähnten „braunen Schlamm“ zu vermeiden. Nach kurzem Experimentieren zeigt sich, dass er von unvollständigem Lösen des Eisen(II)-Salzes stammt. Ein Hinweis meines Chemielehrers und einer Chemikerin, die am NTK arbeitet, wo die Versuche durchgeführt wurden, erbrachten die Lösung. Der „Schlamm“ bestand aus Eisenhydroxid, welches sich dann auch durch Zugabe von einer kleinen Menge Säure und leichtem Erhitzen löste. Aus bisher ungeklärten Gründen war dieses Ferrofluid das erste, welches sogenannte Rosensweig-Instabilitäten aufwies, was eigentlich für die Qualität des Ferrofluids spricht, allerdings verhielt es sich nicht wie eine Flüssigkeit sondern eher wie ein feinputikulärer Feststoff ohne Surfactant. Das Weglassen des Trägermittels hat generell keinen großartigen Einfluss, außer das Ferrofluid weniger zähflüssig zu belassen.

Die Kombination aus Nanopartikel und Surfactant ist schon ein Ferrofluid, wenn auch ein Hochviskoses.

Versuch 5:

Vorgaben: Kern – Magnetit; Surfactant – Ölsäure;

Trägerflüssigkeit – Heptan

Durchführung mit Ergebnissen:

Dieser Versuch wurde mit einem anderen Eisen(II)-Salz durchgeführt, welches vom Eduard-Spranger-Gymnasium stammte. Bis zur eigentlichen Fällung verlief alles nach Plan. Ab diesem Zeitpunkt allerdings entstanden keine Nanopartikel sondern eine zähflüssige braune Masse, die sehr stark nach Ammoniak roch. Es war Eisenhydroxid entstanden, da das Eisen(II)-Chlorid schon sehr alt war und beinahe der gesamte Inhalt von Fe^{2+} -Ionen zu Fe^{3+} -Ionen oxidiert war. Da nunmehr keine Mischung der beiden Eisenionen in der Lösung vorlag, konnte kein Magnetit entstehen sondern nur Fe(III)-Hydroxid.

Versuch 6:

Vorgaben: Kern – Magnetit; Surfactant – Laurinsäure;

Trägerflüssigkeit – Hexan

Durchführung mit Ergebnissen:

Bis zum letzten Schritt, dem Hinzufügen des Trägermittels, entsprach der Vorgang

genau Versuch 1. Allerdings hatte das Ferrofluid diesmal Eigenschaften einer magnetrheologischen Flüssigkeit, was dazu führte, dass es in der Position und Form verblieb, in die ein Magnet es brachte, sich also nicht wieder verflüssigte. In einer Anleitung zur Herstellung fand ich eben jenes Problem beschrieben. Leider wurde nichts über die Ursachen verraten, aber zur „Symptombekämpfung“ wurde empfohlen, das Ferrofluid nochmals mit stark verdünntem Ammoniak zu waschen. Dieser Vorgang zeigte Erfolg, der aber leider von mir dadurch zunichte gemacht wurde, dass ich einen weiteren Waschvorgang durchführen wollte, um das maximale Potential des Ansatzes auszuschöpfen. Dies führte dazu, dass sich ein seifiger Schaum auf der Oberfläche des Ferrofluids bildete und die Magnetpartikel ausfielen. Auf irgendeine Art und Weise war es mir „gelingen“ mithilfe des alkalischen Ammoniaks und der Fettsäure eine Verseifung durchzuführen.

Versuch 7:

Vorgaben: Kern – Magnetit; Surfactant – Ölsäure;

Trägerflüssigkeit – Hexan

Durchführung mit Ergebnissen:

Die Variation bestand hierbei in der Ölsäure statt der Laurinsäure, die laut einer Doktorarbeit besser geeignet sei. Diesmal verlief alles planmäßig, die Fällung funktionierte, das Beschichten mit Ölsäure bereitete keine Probleme und auch das Versetzen mit ein wenig Hexan verlieh dem Ferrofluid die richtige Viskosität. Allerdings blieben wieder Rosensweig-Instabilitäten aus, so dass hier eine Versuchsreihe Platz finden könnte, um diese zu generieren.

2.3 ANWENDUNG

2.3.1 Schwimm-Sink-Verfahren

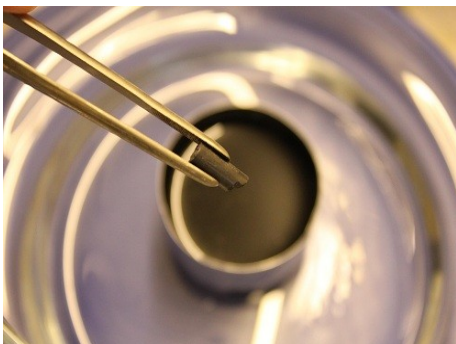
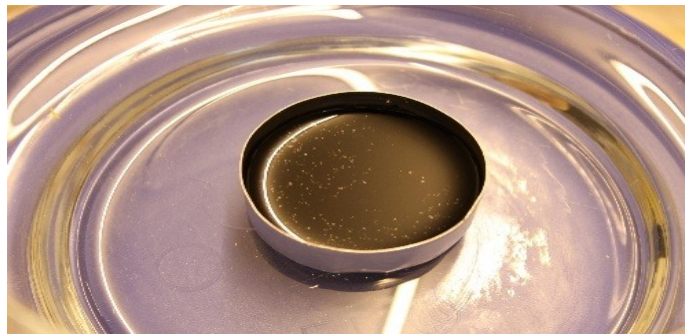
Das Schwimm-Sink-Verfahren dient dazu, verschiedene Materialien aufgrund ihrer verschiedenen Dichten zu trennen. Dies wird durch die Tatsache ermöglicht, dass ein Ferrofluid seine "scheinbare Dichte durch Anlegen eines Magnetfeldes" [1] erhöht. Gibt man ein Ferrofluid in das Innere eines Elektromagneten und füllt ein Gemisch aus verschiedenen Materialien ein, so schwimmen diese bei langsamem Erhöhen der Magnetfeldstärke nacheinander, geordnet nach ihrer Dichte, nach oben und können abgeschöpft werden.

Dieser Versuch konnte nicht am NTK durchgeführt werden, da die Zeit langsam knapp wurde und auf eine E-Mail von mir keine Reaktion stattfand. Aus diesem Grund wurde dieser völlig ungefährliche Versuch zuhause ausgeführt.

Der Versuchsaufbau:

Eine Aluminiumschale wurde mit einem Ferrofluid befüllt und aus Sicherheitsgründen in eine Glasschale gestellt.

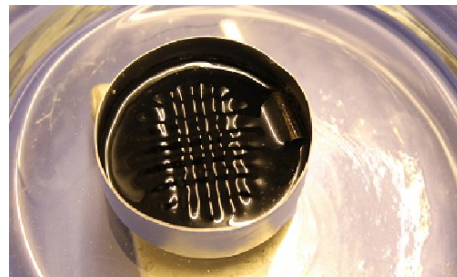
Nacheinander wurden nun verschiedene Materialien (Graphit, Holz, Glas, Nordisches Gold) in das Ferrofluid gegeben und anschließend ein Magnetfeld angelegt.



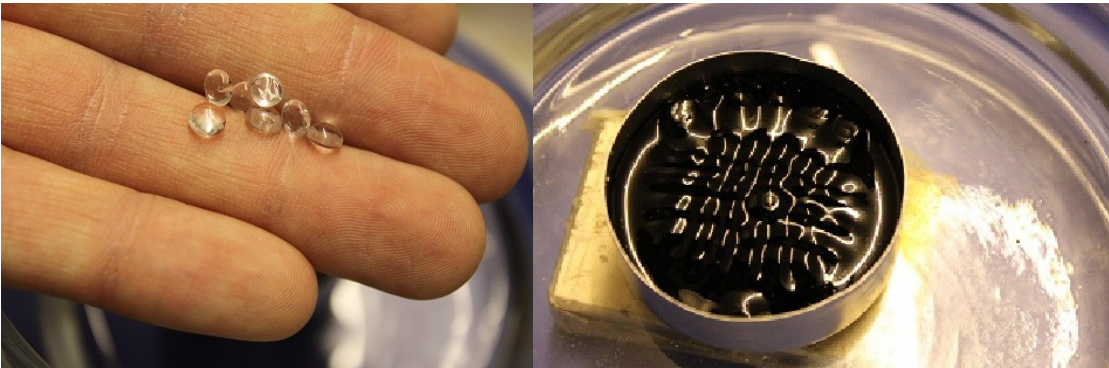
Aluminiumschale lag.

Ergebnisse:

Der erste Versuch wurde mit Graphit aus einer Bleistiftmine durchgeführt. Nach Anlegen eines Magnetfeldes schwamm die Bleistiftmine obenauf, während sie vor dem Anlegen auf dem Boden der



Beim zweiten Versuch wurden mehrere Glasperlen in das Ferrofluid gegeben:

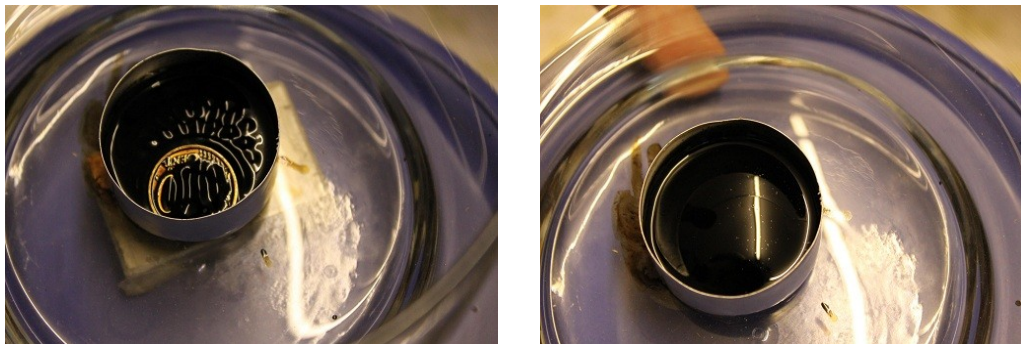


Die
Glasperlen
schwamm
wieder
nach
Anlegen
eines

Magnetfelds obenauf und könnten nun abgeschöpft werden. Die Erhebungen in der Mitte der Aluminiumschale sind Rosensweig-Instabilitäten (vgl. S. 3), die Glasperlen befinden sich am oberen Rand.

Der Versuch mit Holz scheiterte, da sich das Holz einerseits mit dem Ferrofluid vollzog und somit sich farblich nicht vom Hintergrund abhob und andererseits, aufgrund zu geringer Dichte, auf dem Ferrofluid schwamm, obwohl noch kein Magnetfeld angelegt war.

Der letzte Versuch mit nordischem Gold (größtenteils Kupfer) sah folgendermaßen aus:



Die Münze
schwamm
wieder
obenauf. Als
allerdings ein
schwächerer
Magnet

angelegt wurde (rechts) reichte dieser nicht aus, um die Münze schwimmen zu lassen. Hätte das ganze Experiment mithilfe eines Elektromagneten stattgefunden, wäre die Münze erst nach Erhöhen des Magnetfelds auf einen Wert, der einer Stärke zwischen dem starken und dem schwachen Magnet entspricht, auf der Oberfläche geschwommen.

2.3.2 Säuberung von Wasser

Die Säuberung von Wasser, das mit Öl verschmutzt ist, stellt oft eine komplizierte Herausforderung dar. Es gibt verschiedene Arten der Säuberung, bei der eine darin besteht, das Öl einfach abzuschöpfen. Dies ist aber nur sehr langsam möglich, da sonst zuviel Wasser mit abgeschöpft wird. Hier setzt nun mein alternativer Lösungsvorschlag an: Anstatt das Öl einfach abzusaugen, wird es mit einem hochkonzentrierten Ferrofluid versetzt und damit selbst magnetisierbar. Das Ferrofluid muss natürlich einen Surfactanten besitzen, der es in unpolaren Lösungsmitteln zu lösen vermag. Der Versuch wurde ebenfalls aus vorher genannten Gründen zuhause durchgeführt.



Versuchsaufbau: Ein Glasgefäß wurde zu drei Vierteln mit Wasser befüllt und dann eine geringe Menge Rapskernöl darauf verteilt. Sehr schön im Bild zu erkennen: Die Phasentrennung zwischen Wasser und Öl (oben).

Nach dem Hinzufügen von einigen Millilitern Ferrofluid verfärbte sich das Öl braun. Ein Teil des Ferrofluids löste sich nicht im Öl sondern sank auf den Boden (mitte), was aber dann mittels Umrühren rückgängig gemacht wurde. Am Schluss war beinahe das gesamte Ferrofluid in der oberen Phase gelöst. Das Einbringen eines, zum Schutz in einen Plastikbeutel gewickelten, Magneten führte dazu, dass das gesamte Öl in Richtung des Magneten gezogen wurde (unten). Gut zu erkennen: Die nunmehr wieder durchsichtige Oberfläche des Wassers. Diese Methode funktioniert also, ist aber durch den hohen Preis der Ferrofluide noch praxisuntauglich.

FAZIT

Zum Ende meiner Facharbeit möchte ich sagen, dass es ein äußerst lehrreiches Unterfangen war. Die vielen Rückschläge und deren Lösungen machten mir anschaulich, dass die Chemie keine lineare Wissenschaft ist, sondern vielmehr vom Experimentieren lebt.

Diese Facharbeit gibt zudem nur einen relativ kurzen Einblick in das spannende Themengebiet der Ferrofluide. Es gibt mehr als genug Möglichkeiten, eine weitere Facharbeit über Teile der vorliegenden Arbeit zu verfassen, die dann wesentlich mehr ins Detail gehen können.

Zum einen kann die Realisierung der Rosensweig-Instabilitäten wenn sie mit der dazugehörigen physikalischen Theorie erklärt wird eine Facharbeit schon füllen.

Zum anderen kann ein Gerät entworfen werden, das die Materialtrennung, die hier nur sehr kurz angerissen wurde, differenzierter ausführt, so dass wirklich verschiedene Stoffe auf einmal voneinander getrennt werden können.

Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, nach Ferrofluiden zu suchen, die eine möglichst hohe Magnetisierbarkeit aufweisen, die dann für die Säuberung von Wasser verwendet werden können. Vorteil wäre hierbei, dass bei genügend hoher Magnetisierbarkeit nur relativ wenig Volumen an Ferrofluid gebraucht wird, um ein verhältnismäßig großes Volumen an Öl soweit magnetisierbar zu machen, dass es mittels eines großen Magnet abgetrennt werden kann.

Weiterhin interessant wären Variationsreihen, wie genau sich die einzelnen Komponenten der Ferrofluide manipulieren lassen, um verschiedene Parameter zu verändern.

Die gesteckten Ziele dieser Facharbeit wurden erreicht und auch wenn es viele Stunden harter Arbeit im Labor und am Schreibtisch daheim gebraucht hat: Es hat sich gelohnt.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Ferrotec GmbH: "Ferrofluid/Weitere Anwendungen" URL:
<http://www.ferrotec-europe.de/de/htmls/fluid.other.php> [Stand: 06.05.2010]
- [2] Michael Wagener, "Untersuchungen zur Herstellung magnetischer Nanopartikel und magnetischer Flüssigkeiten auf Metallbasis", Fraunhofer IRB Verlag, 1999, S. 3
- [3] Michael Wagener, "Untersuchungen zur Herstellung magnetischer Nanopartikel und magnetischer Flüssigkeiten auf Metallbasis", Fraunhofer IRB Verlag, 1999, S. "Zusammenfassung"
- [4] Michael Wagener, "Untersuchungen zur Herstellung magnetischer Nanopartikel und magnetischer Flüssigkeiten auf Metallbasis", Fraunhofer IRB Verlag, 1999, S. 7
- [5] Michael Wagener, "Untersuchungen zur Herstellung magnetischer Nanopartikel und magnetischer Flüssigkeiten auf Metallbasis", Fraunhofer IRB Verlag, 1999, S. 8
- [6] Fabian Nickel, Timo Stein (2007): "Ferrofluid" . URL:
http://www.ferrofluide.de/ferrofluid_de.php [Stand 06.05.2010]
- [7] Uni, Saarland: "Ferrofluide" . URL: <http://www.uni-saarland.de/fak7/hartmann/cfn/Dokumente/Manuals/Ferrofluide.pdf> [Stand: 03.05.2010]
- [8] S. Odenbach, "Ferrofluids", Springer-Verlag ,Berlin/Heidelberg, 2002, S.3
- [9] Fabian Nickel, Timo Stein (2007): "Aufbau" URL:
http://www.ferrofluide.de/data/images/aufbau/ferro_web_aufbau.jpg
- [10] S. Odenbach, "Ferrofluids", Springer-Verlag ,Berlin/Heidelberg, 2002, S.12
- [11] Michael Wagener, "Untersuchungen zur Herstellung magnetischer Nanopartikel und magnetischer Flüssigkeiten auf Metallbasis", Fraunhofer IRB Verlag, 1999, S. 17