

Versuch 1

Benetzung von Oberflächen

Sekundarstufe I

Versuch 1.1.

Wasser auf *hydrophilen* Oberflächen

MATERIAL

- Kaffeefilter (weiß)
- Schreibmaschinenpapier
- Hochglanzpapier
- Pasteurpipetten
- Lineal oder Geodreieck
- Schülermikroskop
- Schreibtischlampe
- Becherglas mit Wasser

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Betrachte die unterschiedlichen Papiertypen (Kaffeefilter, Schreibmaschinenpapier, Hochglanzpapier) bei 40-facher und 100-facher Vergrößerung unter dem Schülermikroskop. Verwende dazu Auflicht, z. B. durch Platzierung einer Schreibtischlampe neben dem Mikroskop.

Gib mit der Pipette je einen Tropfen Wasser auf die verschiedenen Papiertypen. Achte darauf, dass die Tropfen möglichst das gleiche Volumen besitzen. Miss nun die Durchmesser der entstandenen Wasserflecken oder -tropfen mit dem Lineal oder dem Geodreieck.

BEOBACHTUNG

Je glatter das Papier ist bzw. je weniger porös es unter dem Mikroskop erscheint, desto geringer ist der Durchmesser und desto größer die Wölbung des Wassertropfens. Der Kaffeefilter saugt den Tropfen vollständig auf, während der Tropfendurchmesser auf dem Hochglanzpapier sehr gering ist.

ERKLÄRUNG

Papier besteht aus „Wasser liebenden“ (hydrophilen) Zellstofffasern. Die Oberfläche der Fasern übt Adhäsionskräfte auf das Wasser aus. Je weiter die Fasern im Papier auseinander liegen, desto mehr Oberfläche bieten sie dem Wasser und desto besser verteilt es sich auf ihnen.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4.4 im Textheft

Versuch 1 Benetzung von Oberflächen Sekundarstufe I

Versuch 1.2. Lotus-Effekt* – Wasser auf *hydrophoben* Oberflächen

MATERIAL

- Wachspapier (Butterbrotpapier)
- Salatblatt (Kopfsalat)
- Kohlrabiblatt
- Becherglas mit Wasser
- Pasteurpipette

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Gib mit der Pipette einen Wassertropfen auf das Wachspapier und beobachte das Verhalten des Tropfens beim Neigen des Papiers. Wiederhole den gleichen Vorgang mit dem Salat- und Kohlrabiblatt, wobei Du vor dem Neigen der Blätter den aufgetragenen Tropfen unter der Lupe betrachtest.

Tauche aufmerksam die Pflanzenblätter (Salat, Kohlrabi) in ein wassergefülltes Becherglas und ziehe sie wieder heraus. Wiederhole denselben Vorgang, nachdem Du die Oberfläche der Pflanzenblätter an einer Stelle fest zwischen Daumen und Zeigefinger gerieben hast.

* Schreibweise nach Prof. Dr. Wilhelm Barthlott, Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen, Bonn

BEOBACHTUNG

Der Wassertropfen läuft im Gegensatz zum Salatblatt vom Wachspapier und Kohlrabiblatt rückstandsfrei ab und hat dabei eine nahezu vollständig kugelige Form. Mit der Lupe ist auf dem Wachspapier und dem Kohlrabiblatt unter dem Tropfen eine silbrige Schicht zu erkennen.

Werden Salatblatt und Kohlrabiblatt in die Wasserschale getaucht, ist beim Kohlrabiblatt die silbrige Schicht noch deutlicher zu erkennen. An den Stellen, die zwischen den Fingern gerieben wurden, verschwindet sie. Vom Kohlrabiblatt läuft das Wasser nach dem Herausziehen aus dem Becherglas rückstandsfrei ab, vom Salatblatt nicht.

ERKLÄRUNG

Die Beschichtung des Wachspapiers und die oberste Schicht der Kohlrabiblätter stellen eine extrem wasser abweisende (superhydrophobe) Oberfläche dar. Beim Kohlrabiblatt besteht die Oberfläche aus hügeligen Mikrostrukturen, die mit Wachs-Nanokristallen besetzt sind. Diese Kristalle bestehen aus demselben Stoff wie die Beschichtung des Wachspapiers. Die Form des Wassertropfens wird hier überwiegend von seiner eigenen Oberflächenspannung bestimmt.

Die silbrige Schicht, die unter dem Tropfen bzw. beim Eintauchen in Wasser sichtbar wird, entsteht durch Totalreflexion des Lichts an der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser. Durch Reiben wird die Oberfläche des Kohlrabiblattes beschädigt, sodass ihre superhydrophoben Eigenschaften verloren gehen.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4.4 im Textheft

Versuch 1

Benetzung von Oberflächen

Sekundarstufe I

Versuch 1.3.

Lotus-Effekt – Selbstreinigung von Blättern: *hydrophile* und *hydrophobe* Verschmutzung

MATERIAL

- Pflanzenblätter wie in Versuch 1.2.
- Fein zerriebener Gartenlehm
- Ruß (z. B. durch Verbrennen von Papier erzeugt)
- Bunsenbrenner oder Spiritusbrenner
- Pasteurpipette
- Becherglas mit Wasser

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Bestäube ein Salat- und ein Kohlrabiblatt jeweils mit Gartenlehm und Ruß. Achte dabei bitte auf die Verschmutzungsgefahr von Kleidung und Händen. Gib mit der Pipette einen Wassertropfen auf diese Schicht und neige das Blatt leicht, sodass der Tropfen ablaufen kann.

BEOBACHTUNG

Auf dem Kohlrabiblatt hinterlässt der Tropfen beim Abfließen eine saubere Spur; beim Salatblatt hingegen bleibt auf der Blattoberfläche entlang der Ablaufspur eine leichte Verschmutzung zurück. Bei genauer Betrachtung erkennt man, dass die Lehmteilchen in den Wassertropfen aufgenommen werden, während die Rußteilchen nur auf seiner Oberfläche anhaften.

ERKLÄRUNG

Beim Kohlrabiblatt bewirkt der Lotus-Effekt, dass die Adhäsion hydrophiler Teilchen (Lehm) und hydrophober Teilchen (Ruß) am Wassertropfen viel größer ist als an der Blattoberfläche. Daher nimmt der Tropfen die Schmutzteilchen beim Abfließen mit.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4.4 im Textheft

Versuch 1

Benetzung von Oberflächen

Sekundarstufe I

Versuch 1.4.

Textilien mit *hydrophober* Nano-Beschichtung

MATERIAL

- Nanobeschichtetes Stoffstück 8 x 12 cm (Schmitz-Werke GmbH + Co. KG)
- Fein zerriebener Gartenlehm
- Ruß (z. B. durch Verbrennen von Papier erzeugt)
- Feuerzeug oder Streichhölzer
- Pasteurpipette
- Becherglas mit Wasser
- Unterlage (Glas- oder Metallplatte)
- Holz- oder Metallklammer

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Spanne das Stofftuch mit der Klammer auf die Glas- oder Metallplatte. Gib einen Wassertropfen mit der Pipette auf den Stoff und beschreibe dessen Form und Aussehen an der Grenzfläche zwischen Stoff und Wasser sowie dessen Verhalten beim Neigen der Unterlage.

Gib nebeneinander eine kleine Menge Ruß und Lehm auf das Tuch und lasse einen Wassertropfen darüber laufen.

BEOBACHTUNG

Auf dem Stofftuch zeigt der Wassertropfen eine stark abgerundete Form und läuft bereits bei leichter Neigung des Untergrundes ab. Zwischen Tropfen und Stoffoberfläche ist eine silbrige Schicht zu erkennen. Beim Abfließen durch die Ruß- und Lehmproben hinterlässt der Tropfen eine saubere Spur.

ERKLÄRUNG

Der Effekt entsteht durch eine spezielle Textilbeschichtung mit Partikeln in einer Größe unter 100 nm. Sie sitzen dicht an dicht auf der Faser und bilden eine Art Schutzhülle für die Textilmatrix. Aufgrund der geringen Partikelgröße können die Nanoteilchen so dicht nebeneinander stehen, dass kein Schmutzpartikel zwischen die Teilchen passt. Verunreinigungen liegen dadurch lose auf dem Textil und können durch einfaches Abspülen mit Wasser (z. B. Regen) entfernt werden. Dieser Selbstreinigungseffekt ist nachhaltig und wird großtechnisch in der Textilindustrie eingesetzt, z. B. bei Markisen, Zelten und Sonnenschirmen.

HINWEIS

Die Textilausrüstung ist empfindlich gegen mechanischen Abrieb. Dabei entstehen keine freien Nanopartikel, aber der Effekt kann verschwinden. Daher darf das Textil nicht längere Zeit mit Fingernägeln oder scharfen Gegenständen behandelt werden. Bei kurzzeitigem Kratzen kann es zur Ausbildung von heller gefärbten Spuren kommen, die im Allgemeinen nicht den Effekt, aber das Erscheinungsbild des Textils negativ beeinflussen.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4.4 im Textheft

Versuch 1 Benetzung von Oberflächen Sekundarstufe I

Versuch 1.5. Erzeugung des Lotus-Effekts auf einer CD-ROM

CHEMIKALIEN

- Aceton
- Wasser

MATERIAL

- CD-ROM
- Injektionsspritze
- Kapillarpipetten

SICHERHEITSHINWEISE



Aceton:
H: 225-319-336;
P: 210-233-305+351+338

Bitte tragen Sie bei allen Arbeiten Kittel, Handschuhe und Schutzbrille!

Aceton ist leicht entzündlich, wiederholter Kontakt kann zu spröder und rissiger Haut führen. Seine Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.

ENTSORGUNG

Bitte das Aceton als nicht halogenhaltigen organischen Abfall entsorgen und im Zweifelsfall die Vorschriften des kommunalen Abfallentorgers beachten.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Schneide aus der CD ein Viertel heraus und bedecke es mit der Spritze zügig mit einer Schicht Aceton. Wenn das Aceton verdunstet ist, trage erneut Aceton auf, lasse es abermals verdunsten und bedecke die Oberfläche ein drittes Mal mit Aceton. Nachdem sich auch dieses verflüchtigt hat, bedecke das CD-Stück mit einer Schicht Wasser und warte, bis das Wasser ebenfalls verdunstet ist. Nachdem die Oberfläche vollständig trocken ist, bringe mit der Spritze etwas Wasser auf.

BEOBACHTUNG

Das Wasser perlt an der Kunststoffoberfläche des CD-Stücks ab und kann diese nicht mehr benetzen. Vorausgesetzt, die Oberfläche konnte vorher gut abtrocknen, weist sie den Lotus-Effekt auf.

ERKLÄRUNG

Die Oberfläche einer CD besteht aus Polycarbonat, einem hydrophoben Kunststoff. Polycarbonat ist lichtdurchlässig und leicht zu verarbeiten. In der Beschichtung einer CD liegt es normalerweise im Glaszustand vor, d. h. es ist nicht auskristallisiert, sondern seine langen Molekülketten liegen wirr und ungeordnet vor. Bedeckt man eine CD mit Aceton, so wird ein gewisser Anteil der Oberfläche gelöst. Da in Lösung nun die Polycarbonatketten frei beweglich sind, können sie sich unter geeigneten Umständen zu Kristallen zusammenlagern. Wird Wasser hinzugegeben, bilden sich kleine Kristallisationskeime. Diese sorgen dafür, dass nach dem Abdampfen des Wassers die Oberfläche des CD-Stücks mit kleinen, feinen Kristallen überzogen ist, welche der Oberfläche eine Rauigkeit im Nanomaßstab und damit einen Lotus-Effekt verleihen.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4.4 im Textheft

Versuch 2 Farbefekte durch Nanoschichten Sekundarstufe I

MATERIAL

- Kunststoffolie mit nanobeschichteten Glimmer-Plättchen (Merck KGaA)

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Überprüfe unter Drehen und Neigen die Farbigkeit der Folie unter Licht.

BEOBACHTUNG

Je nach Blickwinkel zeigt die Folie eine andere Farbe.

ERKLÄRUNG

Die in die vorliegende Folie eingearbeiteten Pigmente unterscheiden sich von konventionellen Pigmenten durch ihre physikalischen und geometrischen Eigenschaften. Sie basieren auf Plättchen aus dem Mineral Glimmer, die mit Metalloxid-Nanoschichten belegt werden. Die blickwinkelabhängige Farbwirkung entsteht durch Interferenzeffekte an den Grenzflächen zwischen Nanoschicht und Glimmerplättchen. Anwendungen der Pigmente ergeben sich im Automobilbau, in Kunststoffen, in Druckfarben und Lacken.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4.3 im Textheft

Versuch 3 Elektrochromes Glas

Sekundarstufe II

CHEMIKALIEN

- Destilliertes Wasser
- Kaliumhexacyanoferrat(III) ($K_3[Fe(CN)_6]$)
- Salzsäure 0,05 M
- Eisen(III)-chlorid-Hexahydrat ($FeCl_3 \cdot 6 H_2O$)
- Kaliumchlorid
- Ammoniakwasser

MATERIAL

- Bechergläser (50 ml, 100 ml, 200 ml)
- Regelbare Gleichspannungsquelle mit Feineinstellung (alternativ: unregelte Gleichspannungsquelle, bspw. 1,5 Volt-Zelle und ein regelbares Potentiometer [50 k Ω , 10 Umdrehungen])
- Ohmmeter
- Empfindliches Amperemeter oder Multimeter
- Leitfähiges Glas (Kann nach dem Versuch mit konzentriertem Ammoniakwasser gereinigt werden.)
- Graphitelektrode
- Kabel und Krokodilklemmen
- Stativmaterial und Klammern
- Laborwaage
- Kurzzeitmesser

SICHERHEITSHINWEISE

Bitte tragen Sie bei allen Arbeiten Kittel, Handschuhe und Schutzbrille!



Eisen(III)-chlorid

H: 302-315-318-317

P: 280-301+312-302+352-305+351+338-310-501

Eisenchloride sind gesundheitsschädlich beim Verschlucken und reizen die Haut. Es besteht die Gefahr ernster Augenschäden. Bei Kontakt mit den Augen sind diese gründlich mit Wasser auszuspülen und umgehend ein Arzt aufzusuchen.



Ammoniumhydroxid

H: 314-335-400

P: 273-280-301+330+331-304+340-305+351+338-309+310

Ammoniakwasser wirkt stark ätzend, reizt die Atemwege und verursacht schwere Augenschäden.

Weitergehende Sicherheitsinformationen sind über die GESTIS-Stoffdatenbank abrufbar:
<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp>

ENTSORGUNG

Kaliumhexacyanoferrat-Lösungen und Kaliumchlorid-Lösungen werden in den Sammelbehälter für neutrale Salzlösungen gegeben.

Eisen(III)-chlorid-Lösung wird in den Sammelbehälter für giftige anorganische Rückstände sowie Schwermetallsalze und ihre Lösungen geben.

Ammoniakwasser wird mit Wasser verdünnt und durch Zugabe von Salzsäure neutralisiert, wobei ein pH-Wert von 6 – 8 eingestellt werden sollte. Anschließend kann die Lösung in den Behälter für neutrale Salzlösungen gegeben werden.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Zunächst werden die benötigten Lösungen angesetzt.

Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung 0,05 M: 1,65 g in 100 ml dest. Wasser lösen

Eisen(III)chlorid-Lösung 0,05 M: 1,35 g in 100 ml dest. Wasser lösen, einen Tropfen 0,05 M HCl hinzufügen

Kaliumchloridlösung 1,0 M: 18,6 g in 250 ml dest. Wasser lösen, zwei Tropfen 0,05 M HCl hinzufügen

1. Mischen Sie in einem 50 ml-Becherglas 5 ml 0,05 M HCl, 10 ml 0,05 M $K_3[Fe(CN)_6]$ -Lösung und 10 ml 0,05 M $FeCl_3 \cdot 6H_2O$. Diese Lösung sollte direkt vor dem Versuch frisch angesetzt werden.
2. Identifizieren Sie die leitfähig beschichtete Seite der Glasplatte, in dem Sie mit einem Ohmmeter bzw. Multimeter den elektrischen Widerstand messen. Die leitfähige Schicht weist einen Widerstand von etwa 20 – 30 Ω auf.
3. Spannen Sie nun die Glasplatte in eine passende Stativklemme und befestigen ihr gegenüber eine Graphitelektrode mit einer weiteren Klemme. Tauchen Sie nun beide Elektroden in die in Schritt 1 hergestellte Lösung und achten Sie darauf, dass die Graphitelektrode die leitfähige Schicht nicht berührt.
4. Messen Sie die Eintauchtiefe der Glasplatte und berechnen Sie die Größe der Fläche, welche in die Lösung eintaucht und davon ausgehend die benötigte Stromstärke, um eine Stromdichte von $40 \mu A/cm^2$ zu erzielen.
5. Schließen Sie nun die Glasplatte und die Graphitelektrode, das Amperemeter und die Spannungsquelle mithilfe der Kabel und Krokodilklemmen in Reihe, und zwar so, dass die Graphitelektrode den positiven Pol darstellt. Stellen Sie nun zügig die Spannung so ein, dass ein Strom der in Schritt 4 berechneten Stärke fließt und lassen Sie diese Spannung für 60 Sekunden angelegt.
6. Spülen Sie nun die beschichtete Glasplatte mit dest. Wasser ab. Nach 60 Sekunden Reaktion ist die Schicht mit bloßem Auge sichtbar und hat eine Dicke von etwa 50 Nanometern. Durch Wahl entsprechend längerer Reaktionszeiten (gestaffelt in 30 Sekundenschritten) können Schichten von bis zu 300 nm Dicke erzeugt werden.
7. Die Graphitelektrode und die elektrochrom beschichtete Glasplatte werden nun in ein 50 ml-Becherglas mit 25 ml 1,0 M KCl-Lösung getaucht und mithilfe der Stativklemmen fixiert. Achten Sie darauf, dass die Krokodilklemmen nicht in die Lösung eintauchen.

8. Nun wird folgender Zyklus durchlaufen:

1. Glaselektrode am Minuspol angeschlossen, 1,5 Volt angelegt
2. Beide Elektroden direkt miteinander verbunden, 0 Volt angelegt (die Beschichtung gewinnt meist an Stabilität, wenn zunächst Schritt 1. und 2. einige Male durchlaufen werden).
3. Glaselektrode am Pluspol angeschlossen, 1,5 Volt angelegt
4. Beide Elektroden direkt miteinander verbunden, 0 Volt angelegt
5. Wiederholen Sie Schritt 1. bis 4. mehrfach

BEOBACHTUNG

An der Glaselektrode bildet sich eine Berliner Blau-Schicht. Ihre Lichtdurchlässigkeit ändert sich in Abhängigkeit von der angelegten Spannung und ihrer Polarität.

ERKLÄRUNG

1. In der Lösung ist nur dreiwertiges Eisen vorhanden, sowohl in den Kationen als auch in den Hexacyanoferratanionen. Die Bildung eines sogenannten Charge-Transfer-Komplexes ist nicht möglich.

2. Glas ist ein Nichtleiter, auf das leitfähige Schichten aufgebracht werden können. Bei der in diesem Versuch verwendeten Elektrode handelt es sich um eine ITO-Glaselektrode (ITO, *indium doped tin oxide*, engl. für indiumdotiertes Zinnoxid)

3. und 4.

Die Beziehung zwischen Stromstärke, Elektrodenfläche und Abscheidungsgeschwindigkeit der Berliner Blau-Schicht wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$(40 \cdot 10^{-6} \text{ A/cm}^2) \cdot (\text{C/A sec}) \cdot (\text{mol}[e^-]/96485 \text{ C}) \cdot (\text{mol}[\text{Fe}_7(\text{CN})_{18}]/3 \text{ mol}[e^-]) \cdot N_A \cdot \{(1,02 \text{ nm})^3/\text{Molekül}\} \cdot (10^{-7} \text{ cm/nm}) = \mathbf{0,88 \text{ nm/ sec}}$$

Dabei bedeuten: A – Stromstärke in Ampere; C – Ladungsmenge in Coulomb; mol – Stoffmenge; N_A – Avogadrokonstante ($6,022 \cdot 10^{23}/\text{mol}$). Der sechste Term der Gleichung beschreibt das sogenannte Volumen der Elementarzelle von Berliner Blau.

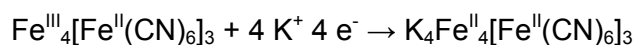
5. und 6.

In diesem Schritt wird Kaliumhexacyanoferrat(III) ($\text{K}_3[\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6]$) an einer Glaselektrode elektrochemisch zu Kaliumhexacyanoferrat(II) ($\text{K}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$) reduziert. Dieses reagiert anschließend mit dreiwertigem Eisen (aus dem Eisen(III)chlorid) zu unlöslichem Berliner Blau ($\text{Fe}^{\text{III}}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]_3$), das sich auf der Elektrode niederschlägt. Berliner Blau ist ein sogenannter Charge Transfer-Komplex. Der Übergang von Elektronen zwischen zweiwertigen und dreiwertigen Eisenzentren erfolgt unter Absorption von sichtbarem Licht. Da diese Absorption im orange-roten Bereich um eine Wellenlänge von 680 nm erfolgt, erscheint der Lichtanteil, welcher die Verbindung passiert, blau.

7. und 8.

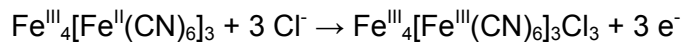
Hier werden nun in Abhängigkeit von angelegter Spannung und Polung unterschiedliche Farbtintensitäten durchlaufen:

In Schritt 8.1. findet eine Reduktionsreaktion statt, gemäß der Gleichung:



Die Schicht ist vollständig entfärbt.

In Schritt 8.3. findet eine Oxidationsreaktion statt, gemäß der Gleichung:



Die Schicht ist tiefblau gefärbt. Dabei stammen die benötigten Kalium- und Chloridionen aus der KCl-Lösung.

In Schritt 8.2. und 8.4. bildet sich bei einer angelegten Spannung von 0 Volt ein Gleichgewichtszustand zwischen vollständig oxidierte und vollständig reduzierte Form des Berliner Blaus; entsprechend liegt auch die Farbintensität zwischen den beiden Maximalwerten.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4 im Textheft

Versuch 4 Herstellung magnetischer Flüssigkeiten (Ferrofluide)

Sekundarstufe II

CHEMIKALIEN

- $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (270,3 g/mol)
- $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ (198,8 g/mol)
- NaOH (40 g/mol)
- VE-Wasser
- Ölsäure
- n-Decan
- pH-Papier

MATERIAL

- Waage (Genauigkeit mindestens $\pm 0,01$ g)
- Trockenschrank
- Spatel; Becherglas 50 ml
- 2 Bechergläser 50 ml
- Becherglas 100 ml
- Becherglas 400 ml
- Heizplatte mit Magnetrührer
- Magnetrührer
- 2 kleine Magnetrührfische (ca. 2 cm Länge)
- Magnetrührfisch (ca. 5 cm Länge)
- Thermometer
- Papierfilter (möglichst fein)
- Stabmagnet (Neodym)

SICHERHEITSHINWEISE

Bitte tragen Sie bei allen Arbeiten Kittel, Handschuhe und Schutzbrille!



Eisen(III)-chlorid

H: 302-315-318-317

P: 280-301+312-302+352-305+351+338-310-501



Eisen(II)-chlorid

H: 302-315-318

P: 280-302+352-305+351+338

Eisenchloride sind gesundheitsschädlich beim Verschlucken und reizen die Haut. Es besteht die Gefahr ernster Augenschäden. Bei Kontakt mit den Augen sind diese gründlich mit Wasser auszuspülen und umgehend ein Arzt aufzusuchen.



Natriumhydroxid

H: 290-314

P: 280-301+330+331-309+310-305+351+338-308+310

Natriumhydroxid ist stark ätzend. Beim Lösen in Wasser kommt es zu starker Wärmeentwicklung. Bei Kontakt mit den Augen sind diese gründlich mit Wasser auszuspülen und umgehend ein Arzt aufzusuchen.



n-Decan

H: 226-304

P: 210-260-262-301+310-331

n-Decan wirkt entfettend auf die Haut, reizt die Augen und kann mit Luft explosionsfähige Gemische bilden.

Weitergehende Sicherheitsinformationen sind über die GESTIS-Stoffdatenbank abrufbar:
<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp>

ENTSORGUNG

Bitte entsorgen Sie das Ferrofluid als nicht halogenhaltigen organischen Abfall und beachten Sie im Zweifelsfall die Vorschriften Ihres kommunalen Abfallentsorgers.

Eisenchloridlösungen in den Sammelbehälter für giftige anorganische Rückstände sowie Schwermetallsalze und ihre Lösungen geben.

Natriumhydroxidlösung wird mit Wasser verdünnt und durch Zugabe von Salzsäure neutralisiert, wobei ein pH-Wert von 6 – 8 eingestellt werden sollte. Anschließend kann die Lösung in den Behälter für neutrale Salzlösungen gegeben werden.

n-Decan in den Sammelbehälter für halogenfreie organische Lösemittel und Lösungen halogenfreier organischer Stoffe geben.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

1. Fällung

In das 100-ml-Becherglas werden 5,43 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (orange) eingewogen und 30 ml VE-Wasser zugegeben.

In das 50-ml-Becherglas werden 2,0 g $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ (hellgrün) eingewogen und 20 ml VE-Wasser zugegeben.

Unter Rühren lösen sich nach ein paar Minuten die Salze. Danach werden die beiden klaren Lösungen im 100-ml-Becherglas vereinigt und gut vermischt. Das 50-ml-Becherglas wird mit wenig VE-Wasser nachgespült.

8 g NaOH werden in das 400-ml-Becherglas eingewogen und 200 ml VE-Wasser zugegeben. Unter kräftigem Rühren (großer Magnetührfisch) wird das NaOH aufgelöst. **(Vorsicht: Die Lösung wird warm!)**

Die Metallsalzlösung wird unter weiterem starken Rühren zügig zur NatronlaugeLösung gegeben, wobei sich eine schwarze Suspension von Nano-Magnetit bildet, die magnetisierbar ist. Die Suspension wird 15 Minuten gerührt.

2. Reinigung

Nach Ablauf der 15 Minuten wird das Becherglas von der Rührplatte genommen und der schwarze Niederschlag zum Sedimentieren gebracht: Dazu wird die Suspension stehen gelassen, bis der Feststoff sich vollständig abgesetzt hat. Die überstehende Flüssigkeit wird abdekantiert. Dieser Vorgang dauert etwa 30 Minuten.

Anschließend werden zu dem schwarzen Niederschlag 200 ml VE-Wasser gegeben, die Suspension aufgeschlämmt und kräftig gerührt. Die Abtrennvorgänge werden so oft wiederholt, bis der pH-Wert der überstehenden Flüssigkeit etwa 10 beträgt (die Zugabe von Wasser sollte mindestens viermal erfolgen).

3. Oberflächenbehandlung

Zu dem schwarzen, gewaschenen Niederschlag werden 200 ml VE-Wasser gegeben, die Suspension wird kräftig gerührt. Das Thermometer wird nun so befestigt, dass es einige Zentimeter in die (immer noch gerührte) Lösung eintaucht. Die Suspension wird auf ca. 80°C erhitzt. Bei dieser Temperatur werden 2,8 g Ölsäure zugegeben und weitere 15 Minuten gerührt. Es bildet sich eine zähe Paste, die sich vom Wasser trennt.

Die überstehende Flüssigkeit (oft dunkelbraun) wird abdekantiert. Die verbleibende schwarze Paste wird noch einmal mit ca. 200 ml VE-Wasser gewaschen.

Abschließend wird die hergestellte Paste im Trockenschrank (idealerweise unter Vakuum) bei maximal 55°C getrocknet, um Restwasser zu entfernen. (Falls kein Trockenschrank vorhanden ist, wird das Wasser soweit wie möglich entfernt).

4. Dispergierung (unter dem Abzug)

Die schwarze Paste wird mit 25 ml n-Decan versetzt. Nach 15 Minuten hat sich ein großer Teil der modifizierten Partikel redispergiert.

Das Ferrofluid wird durch einen Papierfilter filtriert und in einem 50-ml-Becherglas aufgefangen.

Falls die Trocknung in Schritt 3 nicht vollständig ist, bilden sich zwei unmischbare Phasen: eine organische Decanphase und darunter ein paar Wassertropfen. Nur das obere organische Ferrofluid wird filtriert.

5. Test: Verhalten des Ferrofluids im Magnetfeld

Nähern Sie einen Permanentmagneten dem Ferrofluid von der Unterseite des Becherglases und bewegen Sie den Magneten horizontal und vertikal.

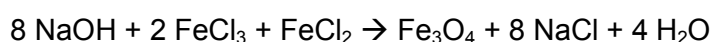
BEOBACHTUNG

Das Ferrofluid bildet im Magnetfeld eine Halbkugel und lässt sich mit dem Magneten bewegen. Bei Verwendung eines starken Neodym-Magneten bildet das Ferrofluid so genannte „Rosensweig-Stacheln“ aus.

ERKLÄRUNG

1. Fällung

Die zugrunde liegende chemische Reaktion hat folgende Reaktionsgleichung:



Das Eisenoxid fällt in Form von ca. 10 Nanometer großen Magnetit-Primärpartikeln aus. NaOH liegt im Überschuss vor, während die Eisensalze im stöchiometrischen Verhältnis eingesetzt werden.

Der hergestellte Magnetit (Fe_3O_4) besitzt die Struktur des sogenannten inversen Spinelltyps und lässt sich als $\text{Fe(II)(Fe(III))}_2\text{O}_4$ beschreiben. Die Fe(II)- und Fe(III)-Ionen besetzen verschiedene Gitterplätze (Tetraeder- oder Oktaeder-Lücken) im Kristall. Die 15 Minuten Reifungszeit nach der Fällung sind erforderlich, um diese Ordnung im Kristall zu erzielen.

2. Reinigung

In diesem Syntheseschritt werden das als Nebenprodukt anfallende NaCl sowie überschüssiges NaOH abgetrennt. Dies ist wichtig, damit die Partikeloberflächen frei sind und weiter reagieren können.

3. Oberflächenbehandlung

Die reaktiven Eisenoxidteilchenoberflächen werden mit Ölsäure versetzt. Dies ermöglicht nicht nur eine Umpolung (bzw. Hydrophobierung für organische Umgebungen) der Partikel. Viel wichtiger ist die Trennung der Partikel untereinander durch die organische Umhüllung. So wird verhindert, dass die Nanopartikel in größeren Brocken agglomerieren und ihre spezifischen „Nano-Eigenschaften“ verlieren.

Wenn die überstehende Flüssigkeit nach der Oberflächenbehandlung eine dunkelbraune Farbe besitzt, ist dies ein Zeichen dafür, dass der Waschvorgang nicht hinreichend gründlich war. Das Produkt lässt sich in diesem Fall aber dennoch zum Ferrofluid weiterverarbeiten.

4. Dispergierung

Die Oberflächenbehandlung ermöglicht eine Redispergierung in unpolaren Lösungsmitteln, z. B. n-Decan, n-Heptan, Toluol, verschiedenen Ölen etc. Dabei entsteht eine scheinbar homogene, magnetische Flüssigkeit, ein sogenanntes Ferrofluid. Diese magnetische Flüssigkeit wird von einem Magnetfeld angezogen, ohne dass sich die Partikel absetzen.

5. Test: Verhalten des Ferrofluids im Magnetfeld

Die magnetischen Nanoteilchen ordnen sich entlang der magnetischen Feldlinien an. Nebeneinander liegende Teilchen stoßen sich wie parallel nebeneinander liegende Stabmagneten ab. Die Verteilung der Partikel beeinflusst wiederum das einwirkende Magnetfeld und führt bei starken Magnetfeldern zur Bildung der sogenannten „Rosensweig-Stacheln“.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 4 und 5 im Textheft

Versuch 5 Herstellung von Goldnanopartikeln in wässriger Dispersion Sekundarstufe II

CHEMIKALIEN

- 160 mg Tetrachlorogoldsäure (HAuCl₄)
- 0,5 g Trinatriumcitrat
- Destilliertes Wasser

MATERIAL

- 1 ml-Messpipette
- Pipettierhilfe
- Glasstab
- Becherglas 100 ml
- Becherglas 50 ml
- Magnetrührer mit Heizplatte
- Rührfisch
- Laborthermometer

SICHERHEITSHINWEISE

**Bitte tragen Sie bei allen Arbeiten Kittel, Handschuhe und Schutzbrille!
Arbeiten Sie unter dem Abzug!**



Tetrachlorogoldsäure:

H:302-314-317;

P: 280-301+330+331-302+353-305+351+338+309-310

Tetrachlorogoldsäure verursacht Verätzungen. Eine Sensibilisierung durch Hautkontakt ist möglich. Bei Kontakt mit den Augen sind diese gründlich mit Wasser auszuspülen. Suchen Sie anschließend umgehend einen Arzt auf.

Weitergehende Sicherheitsinformationen sind über die GESTIS-Stoffdatenbank abrufbar:
<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp>

ENTSORGUNG

Die Dispersion ist nur zwei bis drei Tage stabil. Bitte entsorgen Sie nach Beendigung des Experiments die Rückstände der Goldnanopartikel-Dispersion als Schwermetallabfall und beachten Sie im Zweifelsfall die Vorschriften Ihres kommunalen Abfallentsorgers. Überschüssige Natriumcitratlösung kann im Abfluss entsorgt werden.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- 0,5 g Trinatriumcitrat in das 100-ml-Becherglas geben und unter Rühren mit dem Glasstab in 100 ml destilliertem Wasser lösen
- 160 mg Tetrachlorogoldsäure in das 50-ml-Becherglas geben und auf dem Magnetrührer mit dem Rührfisch in 19 ml destilliertem Wasser lösen
- Unter Rühren auf 100°C erhitzen und 1 ml Trinatriumcitratlösung zugeben
- 30 Minuteniterrühren und beobachten

BEOBACHTUNG

Die Lösung verfärbt sich langsam rot.

ERKLÄRUNG

Die meisten Verfahren zur Herstellung von Nanoteilchen gehen von Vorläuferverbindungen aus: Bei Edelmetallen (z. B. Platin, Palladium oder Rhodium) werden oft die Salze der Essigsäure verwendet, im speziellen Fall unseres Experiments ist es aber die Tetrachlorogoldsäure.

Unter den beschriebenen Reaktionsbedingungen bilden sich die Nanoteilchen durch Reduktion der Goldverbindung zum null-wertigen Edelmetall. Als Reduktionsmittel dient das Trinatriumsalz der Citronensäure. Darüber hinaus lagern sich die Citrat-Anionen an der Oberfläche der Goldnanoteilchen an und erzeugen so eine negative Oberflächenladung. Dadurch stoßen sich die Nanopartikel ab und können nicht zu größeren Komplexen verklumpen.

In diesem Versuch haben Sie kugelförmige Nanopartikel mit einer durchschnittlichen Größe von 17 – 25 nm hergestellt. In der Kugelform liegen die Nanoteilchen in ihrer einfachsten, elektrostatisch sehr günstigen Form vor. Ihre charakteristische, rote bis purpurrote Farbe in Dispersion entsteht durch die sogenannte *Plasmon-Resonanz*: Weil Nanoteilchen ein sehr großes Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis aufweisen, liegen bei ihnen sehr viele Elektronen des Atomverbandes als „Elektronengas“ (*Plasmon*) auf der Partikeloberfläche. Diese freien leitenden Elektronen treten mit dem elektromagnetischen Feld des auftreffenden Lichts in Wechselwirkung und werden gemeinsam zu Schwingungen angeregt. Sichtbares Licht in einem Wellenlängenbereich von 525 bis 590 nm wird absorbiert.

Neben diesem Farbeffekt verursachen die Elektronen auf der Partikeloberfläche auch eine erhöhte chemische Reaktivität. Nanogold kann als Katalysator eingesetzt werden (siehe Versuch 6).

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 3 im Textheft

Versuch 6 Katalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid mit Goldnanopartikel-Dispersion

Sekundarstufe II

CHEMIKALIEN

- Goldnanopartikeldispersion aus Versuch 5
- 20 ml 30-prozentige Wasserstoffperoxidlösung (H₂O₂)
- Destilliertes Wasser

MATERIAL

- Drei 10 ml-Messpipetten
- Pipettierhilfe
- 2 Reagenzgläser
- 2 passende Verschlussstopfen aus Gummi
- Reagenzglasständer
- Stück schwarze Pappe (DIN A4)

SICHERHEITSHINWEISE

Bitte tragen Sie bei allen Arbeiten Kittel, Handschuhe und Schutzbrille!



Wasserstoffperoxid

H: 227-332-302-314

P: 220-261-280-305+351+338-310

Weitergehende Sicherheitsinformationen sind über die GESTIS-Stoffdatenbank abrufbar:

<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp>

ENTSORGUNG

Bitte entsorgen Sie nach Beendigung des Experiments die Rückstände der Goldnanopartikel-Dispersion als Schwermetallabfall und beachten Sie im Zweifelsfall die Vorschriften Ihres kommunalen Abfallentorgers.

Verdünnte Wasserstoffperoxidlösung ohne Nanopartikel kann im Abfluss entsorgt werden.

Glasgeräte, die mit Nanopartikeln in Berührung gekommen sind, werden mit Wasser gut ausgespült. Die Spüllösung wird ebenfalls im Schwermetallabfall gesammelt.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Reagenzglas 1 und 2 jeweils mit 10 ml Wasserstoffperoxidlösung befüllen
- In Reagenzglas 1 (Reaktionsansatz) 10 ml Goldnanopartikel-Dispersion hineinpipettieren
- In Reagenzglas 2 (Kontrollansatz) 10 ml destilliertes Wasser hineinpipettieren
- Beide Reagenzgläser schnell mit Gummistopfen verschließen und den Inhalt durch mehrmaliges Überkopfschwenken mischen
- Die Reagenzgläser zur Beobachtung der Reaktion in den Reagenzglasständer stellen und vor schwarzer Pappe als Hintergrund beobachten

BEOBACHTUNG

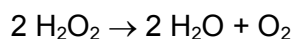
In Reagenzglas 1 (Reaktionsansatz) bilden sich an der Wand kleine Gasblasen, die langsam nach oben steigen.

In Reagenzglas 2 (Kontrollansatz) ist dieser Effekt nicht zu beobachten.

ERKLÄRUNG

Viele chemische Reaktionen laufen sehr langsam ab, weil ihre Aktivierungsenergie sehr hoch ist. Solche Reaktionen bezeichnet man als exergon. Exergone Reaktionen werden durch Zusatz eines Katalysators beschleunigt. Der Katalysator senkt die Aktivierungsenergie, weil auf seiner Oberfläche Zwischenbindungen mit den Reaktanden zu einem aktivierten Komplex ausgebildet werden. Diese Zwischenbindungen werden im Lauf der Reaktion wieder gelöst, sodass der Katalysator bei der Reaktion nicht verbraucht wird.

Makroskopisches Gold ist als sehr reaktionsträge (inert) bekannt. Deshalb laufen beispielsweise Schmuckstücke aus Gold auch nicht an. Bei Goldnanoteilchen liegen jedoch, verglichen mit größeren Goldpartikeln, wesentlich mehr Elektronen auf der Oberfläche als im Inneren des Teilchens, und die chemische Reaktivität nimmt deshalb stark zu. Goldnanopartikel sind extrem aktive Katalysatoren. Sie helfen unter anderem bei der chemischen Spaltung von umweltschädlichen Stoffen im Boden und im Trinkwasser. In diesem Experiment haben Sie die Spaltung von Wasserstoffperoxid katalysiert:



Die sichtbaren Gasbläschen in Reagenzglas 1 bestehen demnach aus Sauerstoff.

Hintergrundinformationen siehe Kapitel 3 im Textheft