



NANOYOU LehrerInnen Training Kit zu Nanotechnologien, Experimentmodule (11-13 Jährige)

Arbeitsblatt für das Schülerlabor

EXPERIMENT C: KOLORIMETRISCHE GOLD-NANOSENSOREN

Name der SchülerIn:.....

Datum:.....

In diesem Experiment werdet Ihr die Eigenschaften von *Goldnanopartikeln* untersuchen und deren Anwendungsmöglichkeiten als kolorimetrische Sensoren. In diesem Arbeitsblatt werden wir euch einige Hintergrundinformationen sowie Anleitungen zur Vorbereitung der Experimente geben.

Ziele:

- ✚ Lernen, wie man Goldnanopartikel im Schullabor herstellt.
- ✚ Verstehen, wie sich Größenmaßstäbe auf die Eigenschaften eines gewöhnlichen Materials wie Gold auswirken
- ✚ Verstehen, wie Goldkolloide als Sensoren bei der medizinischen Diagnostik eingesetzt werden können

Diese Laboraktivität besteht aus drei Teilen:

Teil A: Den Kolloid eines Goldnanopartikels synthetisieren

Teil B: Das Vorhandensein eines Goldnanopartikels ermitteln

Teil C: Testen, wie der Goldkolloid als kolorimetrischer Sensor dienen kann

Bevor Ihr anfangt ... Beantwortet folgende Fragen:

F1. Welche Farbe hat Gold?

.....

F2. Was wisst Ihr über die Eigenschaften von Gold?

.....

.....



NANOYOU LehrerInnen Training Kit zu Nanotechnologien, Experimentmodule (11-13 Jährige)

F3. Nennt drei Anwendungen oder Gebrauchsmöglichkeiten von Gold

.....
.....

Lest die Absätze 1A & 1B

1A. Die Eigenschaften von Gold

Gold (Au, Ordnungszahl 79) ist das biegebarste und verformbarste aller Metalle, es kann zu sehr dünnen Goldblättern verarbeitet werden und diese können nach Belieben gerollt oder gebogen werden. Diese Eigenschaft ist seit Jahrhunderten bekannt und seit Jahrhunderten wird Gold auch entsprechend verarbeitet. Die Farbe von **reinem Gold** ist metallisch gelb („golden“). Ihr habt vermutlich bereits von „Rotgold“ oder „Weißgold“ gehört, diese sind jedoch nicht aus purem Gold. Es handelt sich dabei um *Goldlegierungen*, die weitere Metalle beinhalten, wie Kupfer oder Silber.

Gold ist **sehr stabil und nicht toxisch**. Deshalb wird es sehr oft bei der Schmuckherstellung und auch von ZahnärztInnen bei der Zahnbehandlung verwendet. Außerdem ist es gegenüber Luft chemisch inert und wird von den meisten Chemikalien nicht beeinträchtigt. Gold ist auch ein guter **Wärme- und Stromleiter** (dies verdankt es dem Umstand, dass die Leitungselektronen sich frei um den Nukleus bewegen können); es ist **korrosionsresistent** und wird deshalb für elektronische Kontakte und anderen elektronischen Anwendungen verwendet. Gold findet auch zahlreiche weitere Anwendungen: Zum Beispiel dünne Goldschichten (so dünn, dass die Schichten durchsichtig sind) werden auf das Fensterglas von großen Gebäuden angebracht, um die Menge des vom Fenster reflektierten Lichts zu erhöhen. Somit wird im Sommer die Klimaanlage weniger beansprucht, um das Gebäude kühl zu halten.

1B. Kolloide und Lösungen

Wenn sich Goldnanopartikel innerhalb eines Materials (z. B. Wasser) befinden, bilden sie ein **Kolloid**. Ein Kolloid ist etwas anderes als eine Lösung. Eine *Lösung* ist eine chemische Mixtur, bei der die Moleküle einer Substanz gleichmäßig in eine andere Substanz verteilt (dispergiert) werden (wie zum Beispiel eine Salzlösung); ein *Kolloid* ist eine andere Art chemischer Mixtur: Die Partikel der dispergierten Substanz sind nur in der Mixtur suspendiert, sie sind dort nicht vollkommen aufgelöst. Ein Kolloid besteht aus Partikeln in der Größenordnung von 5-1000nm.

Man kann kolloidales Gold herstellen, indem man eine *Lösung* von Gold-Ionen Au^{3+} mit einer Zitrat-*Lösung* vermischt. Die Größe der Nanopartikel kann durch die Konzentration der Zitrat-*Lösung* reguliert werden. Letztere wirkt ebenfalls als



Trinatriumcitrat-Lösung

Tetrachloraurat-Lösung

Kolloidales Gold
herstellen

F4. Schafft in Wasser aufgelöster Zucker eine kolloidale Lösung? Gibt eine Erklärung.

.....
.....

F5. Schafft Sand und Wasser (Schlammwasser) eine kolloidale Lösung? Gibt eine Erklärung.

.....
.....

Kolloide existieren in der Natur und können in der Form einer Emulsion vorkommen (wie z. B. Milch), Gel (Gelatine), Aerosol (Nebel) sowie viele andere Formen. Sogar Vanillesoße ist ein Kolloid! Selbst Nanopartikel sind in natürlichen Kolloiden zu finden. Zum Beispiel ist Milch ein Kolloid, das aus einer in Wasser gemachten Emulsion von Kaseinmizellen (kleine Knäuel von Kaseinproteinen) und Liposomen (flüssige Fetttropfen) besteht. Kaseinmizellen stellen einen Typ von natürlichen Nanomaterialien dar.

Ein einfache Methode, um **zu testen, ob eine Mixtur eine Lösung oder ein Kolloid ist**, ist ein Laserstrahl durch diese Mixtur leuchten zu lassen:

Das Licht wird nur durch das Kolloid gestreut, wie man es bei den hier unten gezeigten zwei Kolloiden sehen kann. Wenn man einen Laserstrahl durch eine Lösung scheinen lässt, so bleibt der Laserstrahl unsichtbar.



Achtung: Niemals einen Laserstrahl in die Nähe der Augen kommen lassen oder direkt in einen Laserstrahl schauen!!

Experiment 1A: Den Kolloid eines Goldnanopartikels synthetisieren

* Bei diesem Experiment werdet Ihr die Farbe von Goldnanopartikeln (oder "Nano-Gold") untersuchen.

Schaut der Demonstration der LehrerIn zu (oder dem Video) und tragt eure Beobachtungen in die Tabelle ein. (Beobachtet genau, wie sich während der Reaktionszeit die Farbe ändert.)

F6. Tragt eure Beobachtungen in die Tabelle ein

Die Farbe der HAuCl_4 Lösung (vor der Reaktion)	Die Farbe unmittelbar, nachdem Citrat zugeführt wurde	Die Farben während der Reaktion	Die Farbe des endgültigen Goldkolloids

Eine der interessanten Eigenschaften von Nanopartikeln ist, dass ihre Farben nicht nur von ihrer Zusammensetzung (das Material aus dem sie bestehen) abhängt, sondern auch von dem Bereich, in dem ihre Elektronen frei eindringen können, also von ihrer Größe! Die Farbwechsel, die wir in diesem Experiment beobachten, werden nicht durch die chemischen Eigenschaften der Partikel verursacht, sondern eher durch die Änderung ihrer Größe.



Bild 7: Darstellung der Selbstorganisation von Nanopartikeln: (links) Wachstumsmechanismen von Goldnanodrähten, die zunächst aggregiert sind und dann zu Nanopartikeln zusammengebrochen sind (rechts). (Bildreferenz: Nachdruck mit Erlaubnis von Pong et al., J. Phys. Chem. C 2007, 111, 6281-7. Copyright 2003 American Chemical Society.)

F7. Warum sind eurer Meinung nach während der Reaktion einige Zwischenfarben zu sehen?

.....
.....

Experiment 1 B: Das Vorhandensein eines Goldnanopartikels ermitteln

*** Bei diesem Experiment werdet Ihr testen, ob eine Mixtur eine Lösung oder ein Kolloid ist**

F8. In dem Videoclip (oder der Demonstration der LehrerIn) ist Gold zunächst eine **Lösung** gewesen und wurde dann zum **Kolloid**. Was ist mit jedem dieser beiden Begriffe gemeint? [Entsprechend der Informationen, die Ihr bekommen habt und der Demonstration, die Ihr gesehen habt]

.....
.....

Lasst einen Laserstrahl durch folgende Proben leuchten. Das Vorhandensein von Kolloiden kann anhand des Streuverhaltens des Laserstrahls, wenn dieser auf einen Partikel trifft, ermittelt werden.

Achtung: Niemals direkt in einen Laserstrahl schauen!!!

F9. Tragt eure Beobachtungen in die Tabelle ein

Probe	Beobachteter Effekt: Laserstrahl gestreut/nicht gestreut
Wasser	
Wasser mit ein paar Tropfen Milch	
Milch	
Salzwasser	
HAuCl ₄ + Wasser	
Trisodiumcitrat	
Goldnanopartikel (Kolloidales Gold rot)	

F 0. Gibt auf Grund eurer Beobachtungen an, welche der Mixturen, die Ihr getestet habt, ein Kolloid ist? Warum?

.....

.....

Beachtet, dass die Reaktion zweier Lösungen, die beide keine Nanopartikel enthalten (HAuCl_4 + Wasser + Trisodiumcitrat), durch Selbstorganisation ein Kolloid mit Nanopartikeln geschaffen hat (Goldnanopartikel).

F11. Schreibt in euren eigenen Worten, was Ihr von den Experimenten 1A and 1B gelernt habt.

.....

.....

.....

.....

Experiment 1C: Testet, wie der Goldkolloid als **kolorimetrischer Sensor** dienen kann

*** Bei diesem Experiment werdet Ihr sehen, ob ein Goldkolloid-Nanosensor zwischen einem Elektrolyten (in unserem Fall ist es Salz) und Zucker unterscheiden kann.**

Bevor Ihr mit dem Experiment beginnt ... Lest den Abschnitt 1.C

1C. Die Anwendung eines Goldkolloids in der Medizin (als Biosensor)

Heutzutage werden die vielen Einsatzmöglichkeiten von Gold in der Nanomedizin erforscht. Hier behandeln wir eine dieser Einsatzmöglichkeiten: seine Anwendung als kolorimetrischer Biosensor. Allgemein gesprochen ist ein *Sensor* eine Vorrichtung, die in der Lage ist, eine oder mehrere spezifische chemische Gattungen innerhalb einer Mixtur zu erkennen, und sein/ihr Vorhandensein anhand der Messung von chemischen Veränderungen zu „*signalisieren*“. Ein *Biosensor* ist eine Vorrichtung, die in der Lage ist, ein spezifisches Molekül, wie z. B. eine bestimmte Art von Antikörpern, ein DNA-Fragment, etc., aufzuspüren. Dieses Molekül wird wegen seiner Eigenschaft, das Vorhandensein einer bestimmten Virus- oder Bakterienart oder eines bestimmten genetischen Problems zu bestätigen, ausgewählt.

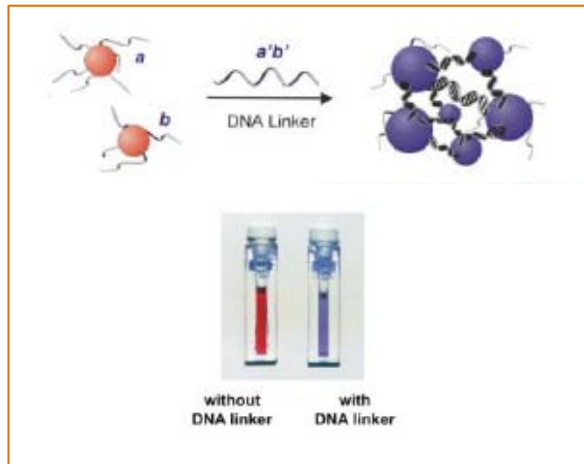


Bild 3. Ein Goldkolloid-Nanosensor. (Bildreferenz: Nachdruck mit Erlaubnis von Jin et al., Journal of American Chemical Society (2003), 125 (6), 1643- . Copyright 2003 American Chemical Society.)

In einem Goldkolloid-Biosensor resultieren die Messergebnisse durch eine Veränderung der Aggregation von Nanopartikeln, die das Kolloid bilden. **Da die Farbe von der Größe abhängig ist, bewirkt die Veränderung der Aggregation einen Farbenwechsel des Kolloids.** Deshalb wird dieser Sensor als *kolorimetrischer* Sensor bezeichnet (das Wort kolorimetrisch wird vom lateinischen „color“ abgeleitet).

Testet euren Goldkolloid und setzt ihn als Sensor ein!

Benötigte MATERIALIALEN:

Chemische Substanzen:

- Das Goldkolloid, das in dieser Synthese (Teil 3.) erstellt wird, sollte in einer Menge von etwa 15 ml zur Verfügung stehen.
- 0.5 g NaCl, es kann auch ersatzweise feines Küchensalz verwendet werden
- 2 g Zucker
- 1 frisches Ei
- 1 Liter destilliertes Wasser

Laborgläser/Laboraausstattung:

- Augenschutz
- Latex- oder Nitril-Handschuhe
- Papiertücher

- Zylinder: 10ml Zylinder, 50ml Zylinder und 500 ml Zylinder
- Glaspipetten: 5 ml Pipette and 25 ml Pipette, 10 Pasteur-Pipetten
- 50 ml Erlenmeyerkolben oder Messbecher
- 2 entsorgbare Plastikkapseln für das Auswiegen - ein Spachtel
- Glasflaschen: Flasche à 500 ml, 2 kleine Flaschen à 25 ml oder 2 Messbecher à 25 ml, 6 Fläschchen
- 1 durchsichtiger Plastikbehälter

Vorsichtsmaßnahmen

Handhabt diese Materialien entsprechend der MSDS-Bestimmungen und beachtet die im Umgang mit Chemikalien nötigen Sicherheitsmaßnahmen. Tragt Sicherheitsbrillen und Gummihandschuhe. Festkörper sollen nicht inhaliert werden und der Kontakt mit der Haut, den Augen oder der Kleidung ist zu vermeiden. Wascht euch nach der Handhabung der Chemikalien gründlich die Hände.

METHODE:

- 1) Teilt den rubinroten Kolloid in sechs Fläschchen auf, die je etwa 3 ml fassen.
- 2) Benutzt ein Fläschchen zur Kontrolle und die anderen fünf, um die verschiedenen kolorimetrischen Tests durchzuführen.

Testet jetzt euer Goldkolloid und setzt ihn als Sensor zur Untersuchung des Salzes (NaCl) ein.

F12. Tragt eure Beobachtungen in die Tabelle ein.

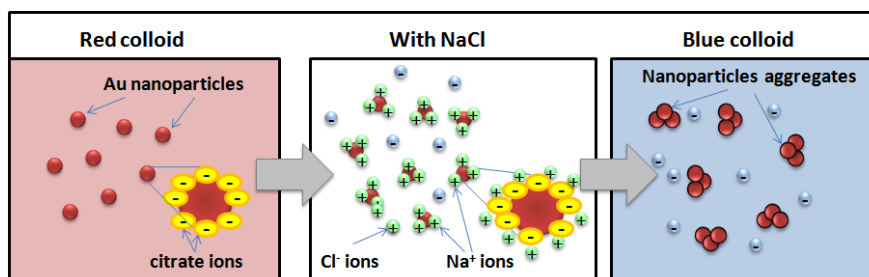
Probe	TEST	Beobachteter Effekt (Farbwechsel)
Kontrollfläschchen	-	
Fläschchen 1	Fügt 6 Tröpfchen der NaCl Lösung hinzu	
Fläschchen 2	Fügt 15-20 Tröpfchen NaCl hinzu	
Fläschchen 3	Fügt 10 Tröpfchen der Zuckerlösung hinzu	

Bemerkung: Schlägt ein frisches Ei auf und entnimmt etwas Eiweiß mit einer Pasteur-Pipette (etwa 1 ml oder 2-3 volle Pasteur-Pipetten), fügt das Eiweiß anschließend in ein leeres Glasfläschchen und fügt eine Pasteur-Pipette voll destillierten Wassers hinein. Rührt alles behutsam zusammen: Es wird sich dabei Schaum bilden, also lässt die Mixtur eine Minute lang ruhen, sodass sich der Schaum etwas zurückbildet. Dann nehmt das Fläschchen mit dieser Lösung, indem Ihr das Fläschchen von ganz unten anfasst, um Schaum/Luftbläschen zu vermeiden. Fügt dieser weißen Mischung aus Wasser und Ei dem Goldkolloid hinzu.

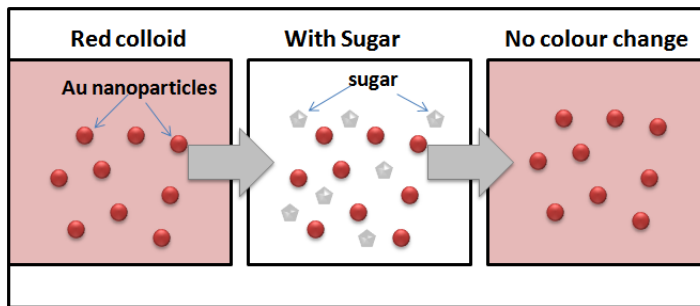
Testet es!

Probe	TEST	Beobachteter Effekt (Farbwechsel)
Fläschchen 4	Fügt etwas Eiweiß hinzu	
Fläschchen 5	Tut 6 Tröpfchen NaCl in das Fläschchen 4	

Falls ein Elektrolyt hinzugefügt wird, wie etwa NaCl (Salz), haften die Nanopartikel aneinander (Aggregation), und bewirken, dass die Lösung eine **dunkelblaue Farbe** annimmt. Falls eine hohe Konzentration an Salz hinzugefügt wird, aggregieren die Nanopartikel in der Art, dass sie nach unten sinken (Präzipitation) und **die Lösung schließlich klar wird und eine schwarze Ablagerung am Boden des Fläschchens zu sehen ist**.

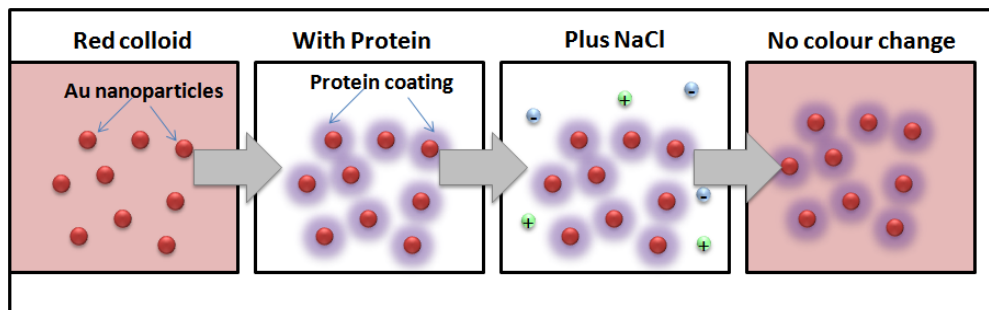


Falls ein schwacher Elektrolyt oder ein Nicht-Elektrolyt zugefügt wird (z. B. Zucker) wird die elektrostatische Abstoßung zwischen dem Gold und dem Citrat-Ionen nicht unterbrochen und die Lösung bleibt **rot**.



Falls ein Stabilisator eines hochmolekularen Gewichts zugefügt wird, wie z. B. ein Protein oder ein Polyethylenglykol, absorbiert es an der Oberfläche der Nanopartikel, mit dem Effekt die Aggregation zu verhindern, selbst bei einer hohen Salzkonzentration.

*Für diese Übung wird Eiweiß benutzt, da dieses eine sehr kostengünstige Proteinquelle darstellt (zum größten Teil Ovalbumin).



*Bildreferenz: L. Filipponi, iNANO, Aarhus University, Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0

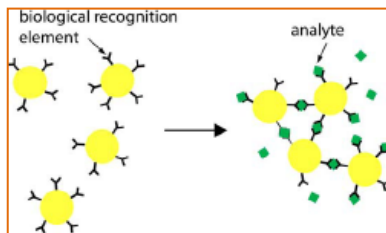
F13. Wie spürt Goldkolloid Elektrolyte auf, wie z. B. Salz? (Welche Hinweise habt Ihr dafür?)

.....

F14. Warum gibt es einen Unterschied im Farbwechsel bei dem Experiment mit Salz und dem Experiment mit Zucker?

.....

Die Tatsache, dass der Farbwechsel nur von der Aggregation abhängt, macht aus den Goldnanopartikeln ein nützliches Werkzeug für die medizinische Diagnostik. Alles, was man dazu braucht, ist dem Molekül, das es zu identifizieren gilt, ein Goldnanopartikel anzuhängen. Diese Moleküle sind zahlreich und sind relativ einfach an die Goldnanopartikel anzuhängen. Sobald die zu identifizierenden Moleküle gefunden wurden, werden die verschiedenen Nanopartikel zusammengezogen und aggregiert. Ein Farbwechsel wird damit sichtbar.



Schematische
Darstellung eines
kolloidalen Biosensors

Ein Gebiet, auf dem die Forschung sehr aktiv ist, ist die Entwicklung zukünftiger miniaturisierter Biosensoren, die ÄrztInnen in ihrer Praxis nutzen können, um eine spezifische Erkrankung einer PatientIn mittels solcher Sensoren feststellen zu können.

Zum Beispiel: Schnelltest zur Erkennung einer Meningokokken-Erkrankung, um Leben retten zu können. Dieser Test nutzt Goldnanopartikel, die mit Antikörpern umhüllt sind, die ein Protein anziehen, das in Meningokokkenbakterien vorkommt. Falls diese Bakterien vorhanden sind, werden die Partikel gebunden und durch den Farbwechsel zuverlässig erkannt.



<http://mams.rmit.edu.au/otr11n41ry9q.jpg>

ENSORGUNG DES GOLDKOLLOIDS

Nach dem Experiment müssen alle Restbestände des Goldkolloids folgendermaßen entsorgt werden: Man füge genug NaCl Lösung zum Kolloid hinzu, um die Ausfällung hervorzurufen. Die Lösung muss mindestens 30 Minuten ruhen (Es wird sich eine dunkle Ablagerung der Restmenge

bilden). Diese Restmenge ist durch ein Papierfilter zu filtern und anschließend mit dem Filter als normaler Feststoffabfall zu entsorgen. Die klare Flüssigkeit ist in einem mit Wasser gefüllten Waschbecken zu entsorgen.

.....

Quellenreferenz:

Diese Übung wurde teilweise von dem Experiment übernommen und bearbeitet, das in der folgenden Publikation veröffentlicht wurde: „Colour my nanoworld“, Journal of Chemical Education, Vol. 81(4), 2004; eine detailliertere Beschreibung der Goldkolloidsynthese findet man in: Keating et al., Journal of Chemical Education 1999, Vol. 76, No. 7 pp. 949-955.

Nutzungsbedingungen für die Abbildungen:

Die Nutzung urheberrechtlich geschützter Bilder bedarf der vorhergehenden Genehmigung der Rechteinhaber. Die Bilder stammen von L. Filipponi, iNANO, Aarhus University und können gemäß der Nutzungsbestimmungen von Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0 gemeinsam genutzt werden.