

Kerstin Meurisch, Armin Reimers, Ilka Parchmann, Rainer Adelung und Fabian Schütt

Funktionale Nanomaterialien

Einblicke in die faszinierenden Möglichkeiten der Nanotechnologie

Wie ist es möglich, dass die Wissenschaft fortwährend neue Materialien entwickeln kann? Der nicht enden wollende Strom an neuen Strukturen mit neuen Anwendungen in der Materialwissenschaft scheint verwunderlich, wenn man bedenkt, dass all diese auf einer begrenzten Anzahl chemischer Elemente und Verbindungen beruhen. Die Entwicklung neuer Materialien ist vor allem deshalb möglich, weil deren funktionale Eigenschaften nicht allein von ihrem inneren chemischen Aufbau, sondern auch von ihrer spezifischen Oberflächenstruktur bestimmt werden können. Von außen spürbar wird der Einfluss von Oberflächenmerkmalen jedoch erst dann, wenn die Materialoberfläche im Verhältnis zum -volumen ausreichend groß ist. Dies ist bei den sogenannten Nanomaterialien der Fall.

Nanomaterialien enthalten einen gewissen Anteil an Partikeln, Poren oder Oberflächenstrukturierungen mit einer Größe von typischerweise 1–100 nm. Da die funktionalen Eigenschaften von Nanomaterialien von vielen Parametern gleichzeitig abhängen, insbesondere von der genauen Form, Größe und Anordnung der enthaltenen Nanostrukturen, eröffnet sich ein schier unerschöpflicher Reichtum an Kombinationsmöglichkeiten im Design von Neuartigem. Voraussetzung für die Nutzung dieses Potenzials in der Materialwissenschaft ist die moderne Nanotechnologie. Mit ihrer Hilfe ist es heutzutage möglich, Nanostrukturen im großen Maßstab und in genau geplanter Form und Größe reproduzierbar herzustellen.

Was macht Nanostrukturen so besonders?

Bei der Frage nach der Besonderheit von Nanostrukturen geht es, wie auch

grundsätzlich in den Materialwissenschaften, um Struktur-Eigenschafts-Beziehungen. Die Struktur einer Materialoberfläche unterscheidet sich von der im Materialvolumen. Die Teilchen an einer Oberfläche befinden sich an der Grenzfläche zu einem andersartigen Medium und erfahren deshalb zusätzliche Wechselwirkungen. Dies führt automatisch zu einem, im Vergleich zum Volumen, veränderten energetischen Zustand an der Oberfläche, aus dem wiederum eine veränderte Struktur mit veränderten Eigenschaften resultiert. Die veränderten Eigenschaften der Oberfläche werden makroskopisch erst spürbar, sobald diese nicht mehr von den Volumeneigenschaften komplett überdeckt werden. Das heißt, sobald ausreichend Oberfläche vorhanden ist. Ein hierfür empfindlicher Übergangsbereich im Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis liegt genau hier: im Nanobereich.

In der Welt der Nanostrukturen spielen die genaue **Größe, Form und Anordnung der Nanostrukturen** eine entscheidende Rolle. Diese Strukturmerkmale beeinflussen empfindlich, wie häufig die Elektronen auf ihrem Weg auf eine Energiebarriere treffen können. Betrachten wir jedoch makroskopisch, wie sich Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gase im Kontakt mit einer Oberfläche verhalten, so lautet eine vorrangig entscheidende Frage: Wie ist die **absolute Größe der Oberfläche**? Liegen Strukturen im Nanobereich vor, so ergeben sich sehr schnell eine riesige absolute Oberfläche und oberflächendominierte Eigenschaften, wie z. B. die Benetzbarkeit mit Wasser, katalytische, bioaktive oder haftende Effekte können durch Nanostrukturierung um viele Größenordnungen verändert werden. Ein berühmtes Beispiel hierfür ist der

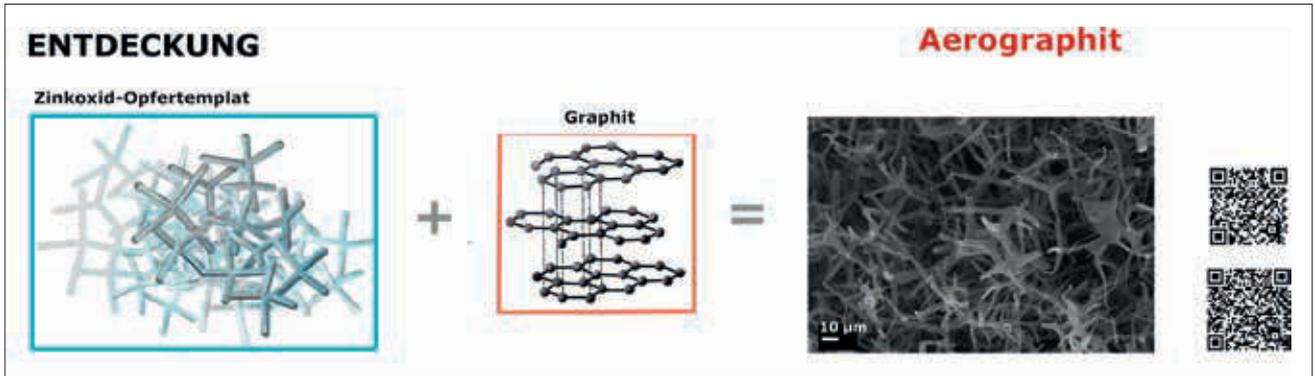
Klasse:	9 – 12
Themen:	Struktur und Funktion Funktionaler Nanomaterialien
Methoden:	Experiment; Rechercheaufgaben
Material	Versuchsanleitung zum Experiment „Die Schlange des Pharao“; Arbeitsblatt mit Rechercheaufträgen zu Nanowissenschaften

Geckofuß: Winzige Härchen auf seinen Zehen vergrößern die absolute Oberfläche seiner Füße stark. Eine geschickte Anordnung der Härchen sorgt außerdem dafür, dass trotz Rauigkeiten, die auf jeder Oberfläche vorhanden sind, viele Haare die Oberfläche berühren. Dies ermöglicht es dem Gecko, mit den meisten natürlichen und künstlichen Oberflächen bei jedem Schritt eine sehr große Kontaktfläche zu etablieren. Diese ist dann, dank der Härchen, so groß, dass die eigentlich schwachen Oberflächenwechselwirkungen (Van-der-Waals und andere schwache intermolekulare Kräfte) in ihrer Summe ausreichen, um sein Körpergewicht an der Wand zu halten.

Die besonderen Grenz- und Oberflächeneffekte der „Nanowelt“ ermöglichen es der Materialwissenschaft, bekannte Stoffe mit neuen Funktionen auszustatten und so innovative funktionale Materialien für zukünftige Technologien zu entwickeln. Dies gelingt sogar schon mit nur einem chemischen Element.

Funktionale Nanomaterialien aus Kohlenstoff

Kohlenstoff ist allotrop. Ein chemisches Element wird dann als allotrop bezeichnet, wenn es im gleichen Aggregatzustand in unterschiedlichen



1 | Im Jahre 2012 wurde das Herstellungsverfahren für Aerographit entdeckt.

Strukturformen auftreten kann. Kohlenstoff ist für die Materialwissenschaft besonders interessant, denn es bietet eine Vielzahl natürlicher und synthetischer Allotrope mit jeweils unterschiedlichen, herausragenden Materialeigenschaften.

Kristallisiert kommt Kohlenstoff in der Natur am häufigsten in Form von **Graphit** vor. Graphit wird nicht nur in Bleistiftminen oder als Schmiermittel verwendet, sondern auch in vielen Bereichen der modernen Technik, da es außerdem elektrisch leitend und äußerst hitzebeständig ist. Ebenfalls in der Natur existieren, wenn auch seltener, Diamanten und Fullerene als weitere Kohlenstoffmodifikationen. **Diamant**, ein fester Bestandteil vieler Schneidwerkzeuge, ist das härteste natürlich vorkommende Material und besitzt eine thermische Leitfähigkeit, die um ein Vielfaches höher ist als die von Kupfer. Noch seltener in der Natur sind **Fullerene**. Diese hohlen, geschlossenen Moleküle besitzen eine starke Elektronenaffinität und kommen u. a. in der Absorberschicht organischer Solarzellen zum Einsatz.

Im Lauf der letzten Jahrzehnte wurden weitere Allotrope des Kohlenstoffs synthetisch hergestellt und intensiv erforscht. Zwei prominente Beispiele sind die **Kohlenstoffnanoröhren** und das **Graphen**. Beide Nanomaterialien zeichnen sich durch herausragende mechanische Eigenschaften und gute elektrische Leitfähigkeit aus, sowie durch die extrem hohen Stromdichten, denen diese standhalten können. Die unterschiedlichen Geometrien, 1D bei Kohlenstoffnanoröhren und 2D bei Graphen, erlauben unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten. Beispielsweise bilden Kohlenstoffnanoröhren als Zusatz in

Kunststoffen schon in kleinsten Mengen (<1%) ein leitfähiges Netzwerk, das die elektrostatische Aufladung verhindert. Das Graphen ermöglicht es, eine gleichzeitig leitfähige und transparente Oberfläche zu erzielen, da es nur eine Atomlage dick ist.

Für viele technische Anwendungen, z. B. in der Energiespeicherung, ist es jedoch notwendig, diese Nanomaterialien zu größeren, makroskopischen Strukturen zusammenzusetzen, ohne deren besondere „nanobasierten“ Eigenschaften wieder zu verlieren. Die Wissenschaft hat dabei verschiedene Wege gefunden, die dies ermöglichen. So lassen sich beispielsweise die unterschiedlichen Allotrope des Kohlenstoffs als „Nanobauteile“ für neuartige, schaumartige Gerüstmaterialien verwenden, die sich durch außergewöhnliche Eigenschaften auszeichnen. Die so hergestellten Kohlenstoffschäume können dabei so leicht sein, dass sie in etwa die Dichte von Luft besitzen. Sie zählen demnach zu der Klasse der sogenannten **Aeromaterialien**, der leichtesten Materialien der Welt.

Der folgende Einblick in laufende Forschungsprojekte einer Arbeitsgruppe der Materialwissenschaften in Kiel verdeutlicht, wie neue funktionale Nanomaterialien mit neuen Eigenschaften entwickelt werden können, indem lediglich die Form der eingesetzten Nanostrukturen verändert wird, während die chemische Verbindung und dreidimensionale Anordnung des Materials gleichbleiben.

Einblick in die Entwicklung funktionaler Nanomaterialien

In einer Zusammenarbeit der Universität Kiel mit der Technischen Universität Hamburg wurde 2012 das zu

dem Zeitpunkt leichteste Material der Welt, das sogenannte Aerographit, entwickelt (s. **Abb. 1**) [1]. Hergestellt wird Aerographit auf Basis eines dreidimensionalen Netzwerks aus Zinkoxid-Tetrapoden (s. **Abb. 1**, links), die in einer kombinierten Gasphasenabscheidung und -ätzung gleichzeitig mit Kohlenstoff überzogen und aufgelöst werden. So entsteht eine Struktur aus miteinander verbundenen Hohlröhren, deren Wandstärke nur wenige Nanometer beträgt (s. **Abb. 1**, rechts). Das resultierende Aerographit ist nicht nur extrem leicht, sondern auch elektrisch leitfähig, pechschwarz und erstaunlich stabil. Bei mechanischer Beanspruchung durch Stauchung oder Dehnung kann sich dieses Netzwerk aufgrund seiner auf Tetrapoden basierten Struktur, ähnlich wie ein Akkordeon, ein- und auffalten [2]. Über die QR-Codes in **Abbildung 1** gelangt man jeweils zu Pressemitteilungen der Universität Kiel und der technischen Universität Hamburg zur Entdeckung und Charakterisierung des Aerographits.

Die Entdeckung des Aerographits markierte den Startpunkt der Forschung an Kohlenstoff-Aeromaterialien in Kiel. In den vergangenen Jahren wurden weitere, auf Tetrapoden basierende Aero-Kohlenstoffmaterialien mithilfe eines alternativen, nasschemischen Verfahrens hergestellt und untersucht. Hierzu gehören beispielsweise das 2017 entwickelte, dreidimensionale **Geflecht aus Kohlenstoffnanoröhren** (s. **Abb. 2**) [3] und das **Aerographen** (s. **Abb. 2**, oben), welches im Herbst 2021 für Aufsehen sorgte. Die Nanobauteile liegen zunächst in einer Suspension vor, die auf das Zinkoxid-Netzwerk aufgebracht wird. In einem späteren Schritt kann das

© Kerstin Meurisch

Zinkoxid-Opfertemplat durch Ätzen entfernt werden und die gewünschten hohlwandigen Strukturen entstehen.

Aufgrund seiner extrem dünnwandigen Struktur und der daraus resultierenden geringen Masse besitzt das Aerographen, neben einer guten elektrischen Leitfähigkeit, fast keine Wärmekapazität. Diese Eigenschaftskombination ermöglicht es, kleine Explosionen präzise gesteuert elektrisch zu erzeugen [4]. Ähnlich wie bei einer Glühbirne, fließt durch das Anlegen einer Spannung ein Strom durch das kohlenstoffbasierte Aeromaterial. Der elektrische Widerstand im Aerographiten in Kombination mit der geringen Wärmekapazität sorgt dabei für eine Erwärmung innerhalb von Millisekunden auf mehrere 100 °C. Durch seine, im Verhältnis zum Volumen, große Oberfläche gibt das Aeromaterial die Wärme augenblicklich an die in seiner Hohlstruktur enthaltene Luft ab, die sich daraufhin schlagartig ausdehnt. Aufgrund der offenen Struktur des Materials kann die expandierende Luft nahezu ungehindert als Druckwelle aus dem Material austreten und es entsteht eine kontrollierbare Miniexplosion. Schon weniger als ein Gramm des stromdurchflossenen Aerographen

 <p>Bessere Anwendungsmöglichkeiten für Laserlicht</p>	 <p>Wie ein künstliches Nervensystem</p>
---	--

Tab. 1 | Links zu Pressemitteilungen der Universität Kiel zu weiteren Materialneuerungen

reicht dabei aus, um ein Gewicht von mehreren Kilogramm innerhalb von Millisekunden anzuheben. Diese Miniexplosionen könnten beispielsweise in der Medizin eingesetzt werden, um kleine Mengen an Flüssigkeit kontrolliert durch einen Schlauch zu pumpen. Die besonderen thermischen Eigenschaften machen Aerographen jedoch auch für andere Anwendungen interessant. Denkbar wäre hierbei ein sich selbst reinigendes Luftfiltersystem, in welchem die zunächst gefilterten Bakterien und Viren in einem weiteren Schritt über Hitze abgetötet werden könnten.

Die in diesem Artikel vorgestellten drei Kohlenstoff-Aeromaterialien markierten wiederum nur den Anfang der aktuellsten Materialentwicklungen. Denn in der Kombination der Grundstruktur mit weiteren, umhüllenden organischen Matrixmaterialien [5] oder anderen, die Struktur ergänzenden Nanopartikeln [6], liegt großes Potenzial für weitere Neue-

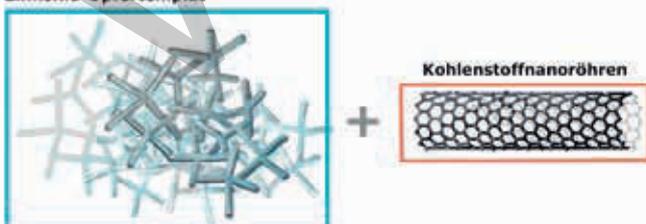
rungen. Die QR-Codes in **Tabelle 1** verweisen zu den Pressemitteilungen der Universität Kiel über weitere Materialneuerungen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Nanotechnologie mit ihren unzähligen Strukturen eröffnet den Materialwissenschaften eine einzigartige Spielweise für die Entwicklung neuer funktionaler Materialien für zukünftige Technologien. In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Hamburg haben beispielsweise Kieler Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler innerhalb der letzten zehn Jahre, auf Grundlage ein und derselben chemischen Verbindung und dreidimensionalen Gerüststruktur, verschiedenartige Kohlenstoffschäume entwickelt. Die besonderen Eigenschaften dieser ultraleichten Aeromaterialien lassen sich zum

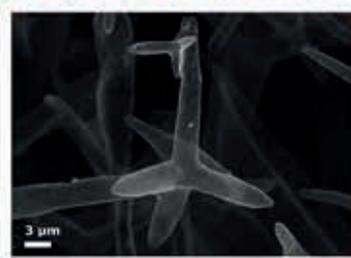
ENTWICKLUNG 1

Zinkoxid-Opfertemplat



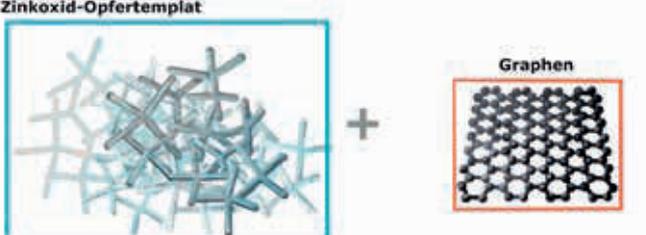
Kohlenstoffnanoröhren

Aero-Kohlenstoffnanoröhren




ENTWICKLUNG 2

Zinkoxid-Opfertemplat



Graphen

Aerographen




© Kerstin Meurisch

21 | Mithilfe eines abgewandelten Verfahrens können weitere Aero-Kohlenstoffmaterialien hergestellt werden.

Benjamin Pölloth, Hannah Röhrig, Monika Conrad und Stefan Schwarzer

Wie funktioniert der Antigenschnelltest auf SARS-CoV-2?

Ein Modellexperiment zum Aufbau und zur Funktion von Lateral-Flow-Tests

Für viele Schülerinnen und Schüler gehört es seit Sommer 2021 zur täglichen Routine: Das gemeinschaftliche Testen auf das Coronavirus mit sogenannten Antigenschnelltests. Etwas genauer betrachtet, handelt es sich bei solchen „Schnelltests“ um Antigen-Lateral-Flow-Tests (vgl. **Abb. 1**). Sie liefern in wenigen Minuten ein Ergebnis und können ohne zusätzliche Hilfsmittel und ohne besondere Ausbildung benutzt werden. Auch wenn ihre Sensitivität nur ca. 70% der Sensitivität von PCR-Tests beträgt [1], spielen Antigenschnelltests zur Kontrolle des Infektionsgeschehens u. a. an Schulen eine wichtige Rolle. Lateral-Flow-Tests sind aus dem Alltag z. B. als Schwangerschaftsschnelltests bekannt, wofür sie seit den 1970er-Jahren eingesetzt werden [2]. Die Kontroll- und Testlinie in Antigen-Schnelltests erscheinen rot, da dort Goldnanopartikel gebunden werden. In einem Schnellteststreifen sind ca. 0,26 mg Gold enthalten [2], was beim derzeitigen Goldpreis von ca. 52 €/g dem überschaubaren Betrag von 1,35 ct entspricht. Durch die Alltagsnähe bieten Antigenschnelltests somit Anknüpfungsmöglichkeiten für die Besprechung von Themen der Nanochemie, wie sie in den Bildungsstandards der KMK [3] und in den Lehr- und Bildungsplänen vieler Länder gefordert werden. Um das Thema für den Unterricht zu erschließen, wird hier ein Modellexperiment zur grundsätzlichen Funktionsweise von Antigenschnelltests vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf der Rolle von Goldnanopartikeln. Ihre Farbe und Bindungsfähigkeit zu Proteinen dient dabei als Beispiel, um Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zu illustrieren, da die Eigenschaften auf das

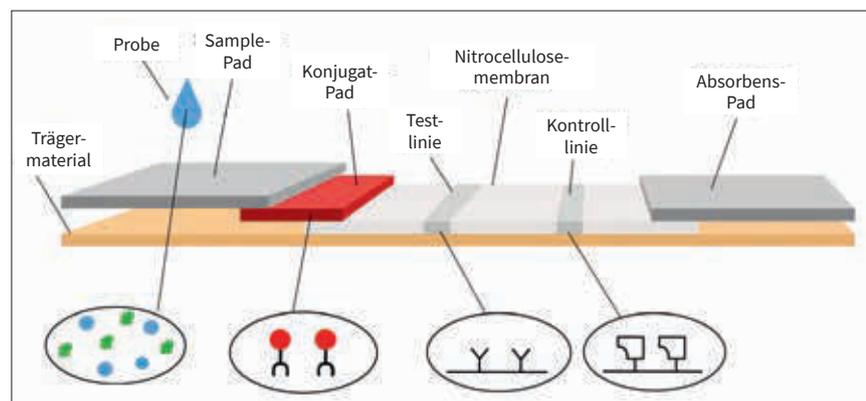
Verhältnis von Größe zu Oberfläche zurückgeführt werden können. Ein Interview mit Monika Conrad, die als Doktorandin an Lateral-Flow-Tests an der Universität Tübingen forscht, gibt authentische Einblicke in dieses aktuelle Forschungsgebiet der analytischen Chemie. Die in diesem Artikel vorgestellten Experimente und Materialien eignen sich somit, um auch ohne vertiefte biochemische oder analytische Kenntnisse das hochaktuelle Thema von Antigenschnelltests im Unterricht aufzugreifen.

Funktionsweise eines Antigen-Lateral-Flow-Tests

Der Begriff „Antigen“ beschreibt ganz allgemein Strukturen – das können z. B. Moleküle, Proteine, Viren oder Bakterien sein – auf deren Eindringen der menschliche Körper mit der Produktion von Antikörpern reagiert, Antigene sind also „*antibody generators*“. Ein solches Antigen ist demnach auch SARS-CoV-2 (*severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*), der

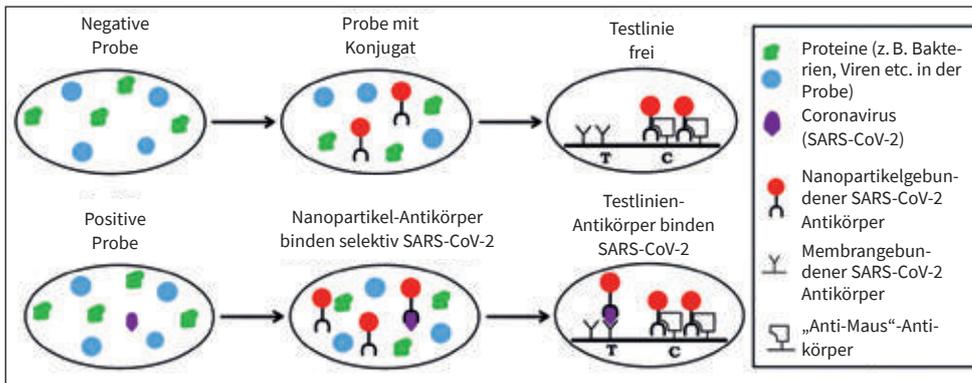
Klasse:	9–13
Thema:	Goldnanopartikel, Antigenschnelltests
Basis-konzept:	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
Methode:	Modellexperiment
Material:	M1: Schülerexperiment M2: Funktionsweise von Antigenschnelltests M3: Interview mit Monika Conrad  (Download)

Erreger von Covid-19 [4]. Antikörper spielen eine zentrale Rolle in der Immunabwehr, da sie Antigene als Eindringlinge von außen kennzeichnen und dadurch ihre Bekämpfung durch das Immunsystem ermöglichen. Antikörper müssen dafür sehr spezifisch an ein Antigen binden können (vgl. **Abb. 2**, S. 26). Dies wird ermöglicht über ein Netzwerk nicht kovalenter Wechselwirkungen (insbesondere Wasserstoffbrückenbindungen und Dispersionskräfte) zwischen den komplementären Oberflächen von



1 | Aufbau eines Antigenschnelltests und symbolische Darstellung der Bestandteile auf Teilchenebene (Legende s. **Abb. 2**)

© Benjamin Pölloth, Hannah Röhrig



© Benjamin Pölioth, Hannah Röhrig

2 | Schematische Funktionsweise eines Antigenschnelltests. Die Darstellungen sind rein symbolisch gewählt und insbesondere die Größenverhältnisse zwischen Antikörper und Antigenen sind nicht maßstabsgetreu.

Antigenen und Antikörpern [5]. In Antigenschnelltests wird genau diese Eigenschaft von Antikörpern – Antigene gezielt binden zu können – ausgenutzt. Dafür werden z. B. Antikörper auf das Coronavirus verwendet, die von einer Maus produziert wurden. Durch biochemische Prozesse lassen sich diese Antikörper einfach und schnell vervielfältigen. Für eine Verwendung in Antigenschnelltests müssen die Antikörper aber zuerst noch sichtbar gemacht werden: Bei Lateral-Flow-Tests wird das in den meisten Fällen durch Goldnanopartikel realisiert, die eine intensive rote Farbe haben, relativ stabil und einfach zu synthetisieren sind. Antikörper sind Proteine und enthalten deshalb auch die natürliche Aminosäure Cystein. Die Seitenkette von Cystein besitzt eine Thiolgruppe (SH), die mit der Oberfläche der Goldnanopartikel wechselwirken kann. Die genaue Natur dieser Bindung ist noch nicht endgültig aufgeklärt. Neuere Untersuchungen weisen aber darauf hin, dass es sich um Dispersionswechselwirkungen (Van-der-Waals-Kräfte) zwischen den leicht polarisierbaren Schwefelatomen und der energiereichen Oberfläche der Goldnanopartikel handelt [6].

Um einen Antigenschnelltest herzustellen, werden zunächst SARS-CoV-2-Antikörper aus Tieren (meist Mäusen) in biochemischen Prozessen vervielfältigt und anschließend an Goldnanopartikel gebunden. Diese fertige wässrige Lösung wird auf das sogenannte Konjugat-Pad aufgetragen, das aus Glasfaser besteht, und dann getrocknet (vgl. **Abb. 1**). Neben dem Konjugat-Pad dient das Sample-Pad zum Auftragen der Probenlösung.

Der normalerweise sichtbare Testbereich ist eine Nitrocellulose-Membran mit aufgebrachtener Test- und Kontrolllinie. Das Absorbens-Pad aus Cellulose nimmt schließlich die Lösung am Ende des Tests wieder auf.

Der Antigenschnelltest funktioniert dann folgendermaßen (vgl. **Abb. 2**, [2, 7]):

- Zur Durchführung des Tests wird die Probe, also z. B. ein Nasenabstrich oder Speichel, in eine Pufferlösung gegeben, um den richtigen pH-Wert einzustellen. Die Lösung wird auf das Sample-Pad aufgebracht und läuft anschließend aufgrund von Kapillarkräften durch den Teststreifen, bis sie vom Absorbens-Pad aufgenommen wird. Dieses Prinzip ist vergleichbar mit einer Dünnschicht- oder Papierchromatografie [8].
- Am Konjugat-Pad nimmt die Probelösung die an Goldnanopartikel gebundenen Antikörper auf. Enthält die Probelösung Coronaviren, werden diese von den Antikörpern – und damit indirekt an die Goldnanopartikel – gebunden. Das Virus ist somit markiert. Da die Antikörper spezifisch mit Coronaviren reagieren (in **Abb. 2** durch passende geometrische Formen symbolisiert), bleiben sie ungebunden, wenn die Lösung keine Coronaviren enthält.
- Die gesamte Probe passiert schließlich die Testlinie. Auch hier sind SARS-CoV-2-Antikörper gebunden. Antikörper können an verschiedenen Stellen (Epitope) eines Virus binden. Deshalb wird hier ein Antikörper eingesetzt, der an einer anderen Stelle des Virus bindet als die Goldnanopartikel gebun-

denen Antikörper. In einer positiven Probe bindet das Coronavirus am Antikörper und damit an der Testlinie. Da das Virus aber bereits über den Konjugat-Antikörper an den Goldnanopartikel gebunden ist, erscheint die Testlinie auf makroskopischer Ebene rot.

- Auch auf der Kontrolllinie befinden sich Antikörper. Diese sind meist speziesspezifisch. Das bedeutet, dass diese Antikörper alle Antikörper binden können, die von einer bestimmten Spezies (z. B. Mäusen) stammen. Für die Konjugat-Antikörper in Antigenschnelltests werden meist Antikörper aus Mäusen vervielfältigt. Deshalb befinden sich auf der Kontrolllinie oft „Anti-Maus“-Antikörper. Die Kontrolllinie erscheint also auf Stoffebene immer dann rot, wenn das Fließmittel die Antikörper enthält, der Test somit funktionsfähig ist.

Fachdidaktische Überlegungen

Die Beschäftigung mit Lateral-Flow-Tests ermöglicht verschiedene Anknüpfungspunkte im Chemieunterricht. Die Tests bieten sie sehr gutes Beispiel, um Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zu diskutieren. Für die Funktionsweise von Antigenschnelltests sind schließlich sowohl die intensive rubinrote Farbe von Goldnanopartikeln entscheidend als auch ihre Fähigkeit Proteine zu binden. Beide Eigenschaften lassen sich unter Bezug auf die Größe von Nanopartikeln erklären: Die genaue Ursache der Farben von Nanopartikeln lässt sich in der Schule zwar nicht umfassend erklären, da sie auf quantenchemischen Effekten basiert [9]. Dennoch kann nachvollziehbar illustriert werden, wie eine Änderung der Strukturen auf Teilchenebene zu neuen Eigenschaften auf Stoffebene führen kann. So sind während der Synthese der Goldnanopartikel (s. **Experiment 1**) z. B. im Leidenfrost-Reaktor verschiedene Farbumschläge zu beobachten, die direkt mit der Größe der Nanopartikel zusammenhängen [10]. Die Fähigkeit

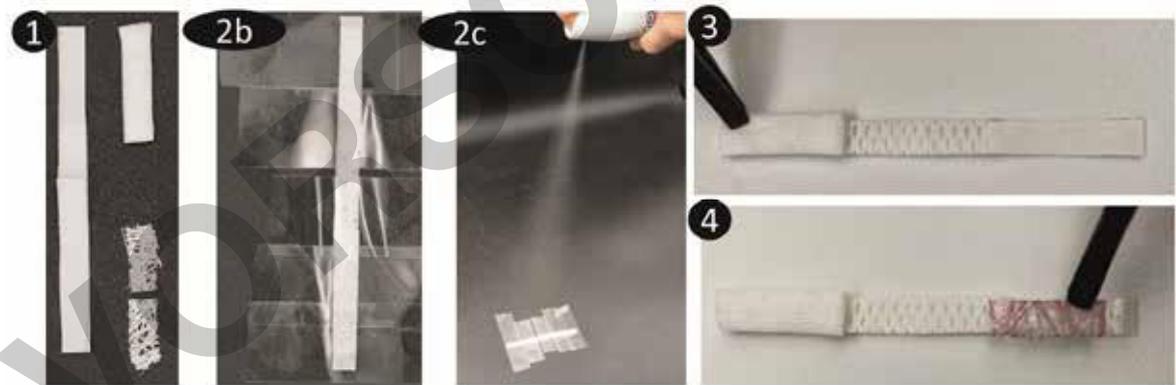
Bau eines Lateral-Flow-Tests

Material

Schere, Kunststoffpinzette, transparentes Klebeband, weißes Heftpflaster zum Selbstzuschneiden, Kosmetik-Wattepad, Sprüheodorant (aluminiumhaltig), Phosphatpufferlösung, Glasfasermatte, in Nanopartikel eingelegte Glasfasermatte (Vorsicht: Nicht mit der Hand oder Metall berühren!)

Bauanleitung

1. Schneide aus dem weißen Pflasterbogen ca. 0,5 cm breite Streifen; aus der Glasfasermatte ein 0,5 x 1,0 cm großes Stück und aus dem Kosmetik-Wattepad ein 0,5 x 2,0 cm großes Stück.
2. Trage den Kontrollstreifen auf:
 - a. Lege die Wundauflage frei, indem du den Schutzstreifen mit der Schere kürzt.
 - b. Befestige den Pflasterstreifen mit transparentem Klebeband auf der Arbeitsfläche, sodass in der Mitte der Wundauflage ein schmaler Streifen frei bleibt. Drücke das Klebeband dabei nicht auf dem Pflaster fest.
 - c. Schüttele das Deodorant gut und sprühe es aus ca. 30 cm Entfernung für 3 Sekunden auf die Wundauflage.
 - d. Entferne das Klebeband vorsichtig.
3. Entferne den oberen Schutzstreifen des Pflasters und befestige am oberen Klebestreifen das zugeschnittene Kosmetik-Wattepad. Achte darauf, dass Wattepad und Wundauflage überlappen.
4. Bringe jetzt am unteren Klebestreifen mit einer Pinzette die mit Goldnanopartikeln getränkte Glasfasermatte auf. Achte wieder auf eine Überlappung mit der Wundauflage.
5. Schließe deinen Teststreifen ab, indem du unten noch ein Stück unbehandelte Glasfasermatte aufbringst, die mit der in Goldnanopartikeln getränkten Glasfasermatte überlappt.



Durchführung des Modelltests

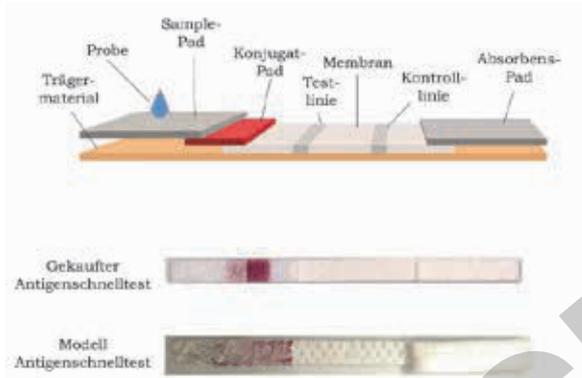
1. Tropfe auf das zuletzt aufgebrachte Glasfaserplattenstück die Phosphatpuffer-Lösung auf. Gib immer nur wenige Tropfen dazu und tropfe erst weiter, wenn keine Flüssigkeit mehr auf der Glasfaserplatte zu sehen ist.
2. Notiere deine Beobachtungen.

Bau eines Lateral-Flow-Tests

Arbeitsaufträge

1. Benennt die einzelnen Elemente des Modelltests (**Abb. 1**) und eines auseinandergebauten Originaltests! Überlegt, welches Element in eurem Modelltest fehlt.
2. Erklärt, weshalb die Linie, die ihr mit Deodorant aufgebracht habt, rot erscheint.
3. **Für Expertinnen und Experten:** Wiederholt den Zusammenbau des Teststreifens und verwendet dabei verschiedene Arten von Deodorants. Vergleicht die Ergebnisse mit den Inhaltsstoffen der Deodorants und stellt eine begründete Vermutung auf, welcher Inhaltsstoff für die Funktion des Kontrollstreifens entscheidend ist.
4. Ergänzt den Lückentext „Funktionsweise eines Antigenschnelltests“ mit den angegebenen Fachbegriffen.

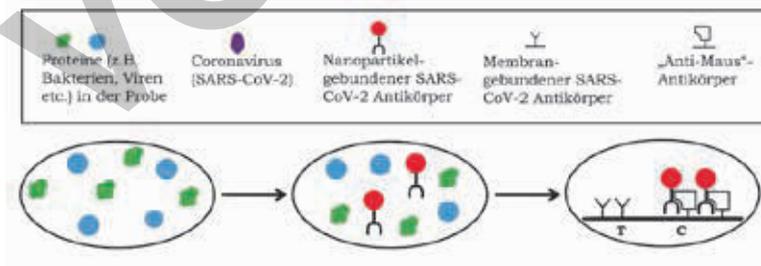
antibody generator, Antigen (2), Antikörper (6), Coronaviren (2), Goldnanopartikel (2), Immunsystem, negativ, positiven, spezifisch, Testlinie, Viren oder Bakterien



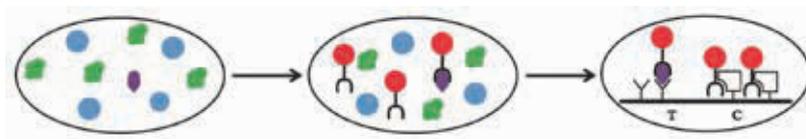
1 | Schematischer Aufbau eines Original-Lateral-Flow-Tests (oben) und des Modelltests (unten)

Funktionsweise eines Antigenschnelltests

In einem echten Antigenschnelltest werden ganz besondere Proteine verwendet, sogenannte **Antikörper**: Im Immunsystem spielen sie eine wichtige Rolle, da sie Eindringlinge markieren, die dann bekämpft werden können. Solche Eindringlinge können z.B. **Viren**, **Bakterien** oder andere Moleküle sein, man nennt sie **Antigene** (*antibody generator*). Die Wechselwirkung von **Antigen** und **Antikörper** ist sehr **spezifisch**, das bedeutet, nur ein ganz bestimmtes **Antigen** kann von einem **Antikörper** gebunden werden. In Corona Antigenschnelltests werden SARS-CoV-2-Antikörper an **Goldnanopartikel** gebunden. Sie werden dann auf das Konjugat-Pad aufgetragen.



Die dargestellte Probe ist **negativ**, sie enthält keine **Coronaviren**. Die an Nanopartikel gebundenen Antikörper binden nichts. Allerdings werden diese **Antikörper** selbst auf der Kontrolllinie gebunden. Dadurch sind auch die **Goldnanopartikel** dort gebunden und die Linie erscheint auf Stoffebene rot.



Bei einer **positiven** Probe werden die **Coronaviren** selektiv von an Nanopartikel gebundene Antikörpern gebunden. ...
 ...
 ... says.

zur Vollversion

Versuch

Sek. I/II
Schüler/Lehrer

Goldnanopartikel aus dem schwebenden Tropfenreaktor

Stefan Schwarzer

Zeit

20 Minuten

Information

Eine besonders faszinierende Synthesemöglichkeit von Goldnanopartikeln erfolgt im Leidenfrost-Reaktor, also einem auf einer sehr heißen Metalloberfläche schwebenden Wassertropfen (Abb. 1). Mai Thi Nguyen-Kim hat unsere Goldnanopartikelsynthese in einem Video, ab der Spielzeit 2:17, zusammengefasst [1].

Geräte und Chemikalien

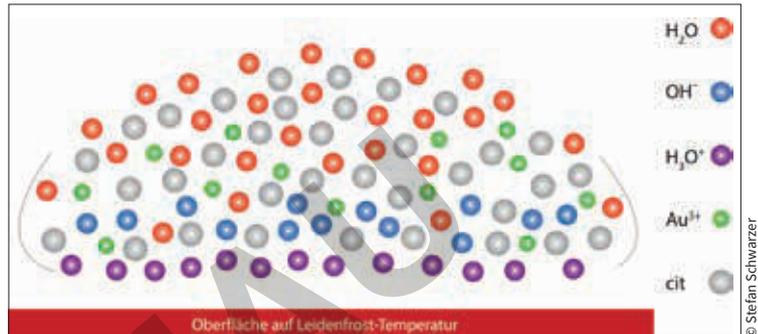
Heizrührer mit penibel gereinigter Metalloberfläche, Begrenzungsring, z. B. ein Aluminiumdichtring aus dem Kfz-Bedarf (z. B. Gesamtdurchmesser $\varnothing = 5,7$ cm, Innen-/Lochdurchmesser $\varnothing = 5$ cm, DIN 7603 Form A, Preis: ca. 6€, Bezugsquelle: online zu beziehen z. B. über eBay), Waage, Teflonspatel, eine 1-mL- und drei 10-mL-Messpipetten mit Peleusball, Tetrachloridogold(III)säure-Trihydrat (Sigma-Aldrich; , , Trinatriumcitrat-Dihydrat (Sigma-Aldrich), demineralisiertes Wasser [2].

Durchführung [2]

0,02 M Tetrachloridogold(III)säure-Lösung aus 0,136 g Tetrachloridogold(III)säure-Trihydrat in 20 mL demin. Wasser und gesondert 1,0 g Trinatriumcitrat-Dihydrat in 250 mL demin. Wasser herstellen. Parallel zum Ansetzen der Lösungen Heizrührer mit aufgelegtem Begrenzungsring auf ca. 300 °C bringen. Tropfenweise 10 mL demin. Wasser, 10 mL Citrat-Lösung und unmittelbar danach 0,2 mL Tetrachloridogold(III)säure-Lösung mithilfe der Pipette in den bestehenden Tropfen zugeben.

Hinweise: Ist der Leidenfrost-Tropfen nicht stabil, schafft das Polieren der Heizrühreroberfläche mit einem 1000er-Schleifpapier und/oder eine Temperaturerhöhung Abhilfe.

Achtung: Verbrennungsgefahr!



1 | Schematische Darstellung der Reaktionsbedingungen im Leidenfrost-Reaktor

Versuch

Sek. I/II
Schüler/Lehrer

Wie „dick“ ist Nano? Schichtdickenbestimmung einer Seifenblase

Michael Baum und Stefan Schwarzer

Zeit

15 Minuten



1a | Erzeugen einer Seifenblase



1b | Einfangen einer Seifenblase

Information

Es wird die Schichtdicke einer Seifenblasenhaut mittels Wiegen, Dichtebestimmung und Durchmessererfassung experimentell bestimmt (Abb. 1). Eine Seifenblasenflüssigkeit mit erhöhter Dichte, z. B. durch die Zugabe von Xanthan, gewährleistet die besten Ergebnisse. Die Schichtdickenberechnung kann händisch oder unter Zuhilfenahme eines Kalkulationsprogramms erfolgen.

Chemikalien für die Vorbereitung der Seifenblasenflüssigkeit

0,9 g Xanthan, 11 mL Glycerin, 140 mL destilliertes Wasser, 340 mL Detergenz, z. B. Fairy Ultra, werden sorgfältig verrührt. **Hinweise:** Ist die hergestellte Seifenblasenflüssigkeit zu viskos, kann mit destilliertem Wasser verdünnt werden. Lagerung in einer Kunststoffschraubflasche. Vor der Verwendung mindestens eine Nacht ruhen lassen.

Geräte und Chemikalien für den Schülerversuch

10-mL-Messzylinder, 50-mL-Becherglas, Strohhalm, 30-cm-Lineal, Kunststoffgefäß zum Auffangen der Seifenblase (z. B. der Fa. Curver, Volumen: 0,5 L, Durchmesser: 11 cm) mit Deckel, Taschenrechner bzw. PC

Durchführung

1. Dichtebestimmung: Leeren 10-mL-Messzylinder wiegen und Gewicht notieren. Seifenblasenflüssigkeit in diesen füllen, Füllwert (V_{Fl}) vermerken und den befüllten Messzylinder erneut wiegen, um die Masse der Flüssigkeit ($m_{\text{Fl}} = m_{\text{Zylinder voll}} - m_{\text{Zylinder}}$) zu erhalten. Die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{Fl}) kann als Quotient aus der Masse (m_{Fl}) und dem Volumen (V_{Fl}) berechnet werden.