

## ARBEITSBLATT 1 Sekundarstufe I und II

### Kapitel 1 – EINFÜHRUNG: WINZIGE WELTEN, WERTVOLLE WIRKUNGEN

- 1.) Beschreiben Sie das Prinzip der Selbstorganisation am Beispiel des Erbmoleküls DNA! Recherchieren Sie im Internet, welche dreidimensionalen Strukturen außerdem noch aus Nucleinsäuren (DNA und RNA) entstehen können!

Die Selbstorganisation ist als bestimmendes Prinzip der lebendigen Natur weit verbreitet. So besteht die Desoxyribonucleinsäure aus zwei Einzelsträngen von so genannten Nucleotiden. Sie enthält die Erbinformation der Lebewesen.

Nucleotide sind kleine Bausteine, bestehend aus den drei Bestandteilen Phosphorsäure, einem Monosaccharid (Pentose) und einer von fünf Nucleinbasen (Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C), Thymin (T) oder Uracil (U)).

Während in der DNA nur die vier Basen A, G, C und T verwendet werden, wird in der Ribonucleinsäure (RNA) die Nucleinbase Thymin gegen Uracil ausgetauscht. Nucleotide unterscheiden sich somit durch die eingebaute Nucleinbase und durch den Zucker, welcher bei der DNA die Desoxyribose bzw. bei der RNA die Ribose ist.

Die Nucleinsäuren sind insofern gute Beispiele für das Prinzip der Selbstorganisation, als die Dimerisierung von zwei Einzelsträngen DNA oder RNA zu Doppelsträngen hauptsächlich durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Basen Adenin und Thymin (RNA: Uracil), beziehungsweise Guanin und Cytosin geschieht und in der Folge eine Doppelhelix ausbilden. Auch die Bildung natürlicher „Nanomaschinen“ ist ein Selbstorganisationsvorgang. Wegen der Form und Interaktion einzelner Eiweißstoffe (Proteine) – durch Wasserstoffbrücken, ionische Wechselwirkungen und Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Aminosäuren auf ihrer Oberfläche – können Proteinkomplexe wie etwa die Ribosomen entstehen, die neue Proteine aus einzelnen Aminosäuren herstellen.

- 2.) Unter der Annahme, dass ein Atom ein würfelförmiges Volumen der Kantenlänge 0,17 nm beansprucht: Wie viel Prozent der Atome befinden sich ca. auf der Oberfläche bei  
(a) einem Würfel mit 1 cm Kantenlänge?

- 0,001  
 0,0001  
 0,00001

- (b) einem Würfel mit 5 nm Kantenlänge?

- 5  
 20  
 80

## ARBEITSBLATT 1

## Sekundarstufe I und II

- 3.) Die Eigenschaften von Nanostrukturen unterscheiden sich im Vergleich zu denen makroskopischer Strukturen. Wie sehen diese Unterschiede aus? Recherchieren Sie im Internet und finden Sie dazu einige Beispiele!

Abhängig von Größe, Form und Beschaffenheit der Nanostrukturen ergeben sich im Vergleich zu makroskopischen Körpern Veränderungen der Leitfähigkeit, des magnetischen Verhaltens, des Schmelz- und Siedepunktes, der Zähigkeit, Bruchfestigkeit, Farbe etc.. Grund hierfür sind veränderte Zustände der Elektronen, für die im Nanokosmos die Gesetze der Quantenphysik zum Tragen kommen.

Mit nanoanalytischen Instrumenten stoßen Wissenschaftler tief in den Nanokosmos vor. Durch ihre Anwendung erfährt man bedeutend mehr über die Ordnung elementarer Bausteine in bekannten und neuen Materialien, zum Beispiel in Metallen oder Keramik. Physikalische und chemische Effekte neuer Werkstoffe lassen sich dadurch wesentlich präziser erklären oder vorhersagen.

Die Materialeigenschaften einer nanostrukturierten Probe werden in starkem Maße von den Oberflächenatomen mitbestimmt.

Nanostrukturierte Materialien sind nichts Neues. Die Chrysotil-Fasern (Weißasbest) gehören z.B. dazu, aber auch Knochen, Zähne und Muschelschalen. Letztere bestehen aus Verbundmaterialien (Kompositmaterialien), die aus Proteinen und eingebetteten harten, nanokristallinen anorganischen Substanzen wie Apatit bestehen. Die Festigkeit dieser Materialien kommt erst durch den Verbund der Komponenten zustande. Chemiker gehen schon lange mit Teilchen in der Größe von Nanometern um. Neuartig ist, dass man jetzt beginnt, die Herstellung von nanostrukturierten Substanzen mit einheitlicher Partikelgröße und in geordneten Mustern zu beherrschen. Damit eröffnen sich Möglichkeiten, Materialien mit ganz bestimmten und reproduzierbaren, von der Teilchengröße abhängigen Eigenschaften herzustellen. Begonnen hat diese Entwicklung mit der Entdeckung der Kohlenstoff-Nanoröhren.

Kohlenstoff-Nanoröhren sind Zylinder mit einem Durchmesser von nur wenigen Nanometern, die in Längen von bis zu 20 cm hergestellt werden können. Die Wand dieser Zylinder besteht aus einem hexagonalen Gitter von Kohlenstoffatomen, das auch in den einzelnen Ebenen des Graphits vorliegt. Auf den ersten Blick ähnelt die Struktur der einer „aufgerollten“ Graphitstruktur. Kohlenstoff-Nanoröhren haben seit ihrer Entdeckung die Phantasie vieler Wissenschaftler beflügelt. Während einige der Anwendungsvorschläge lediglich Visionen geblieben sind, stehen andere nahe einer technischen Realisierung. Neuartige Verfahren zur chemischen Modifikation der Röhren versprechen einen weiteren Ausbau der Anwendungsperspektiven. So können Nanoröhrchen je nach Struktur als Halbleiter, Leiter oder Supraleiter (bei tiefen Temperaturen) eingesetzt werden. Sie zeichnen sich zudem durch eine hohe Wärmeleitfähigkeit sowie durch eine hohe Strombelastbarkeit aus. Letztere ist etwa 100-mal höher als die von Kupferdrähten.

Ein weiteres Beispiel sind Netzwerke aus Silber-Nanodrähten. Sie finden Anwendung als transparente Elektroden für Dünnschichtsolarzellen. Dieser Typ Solarzelle bietet den großen Vorteil einer höheren mechanischen Flexibilität, kann also gebogen und gezogen werden.

## ARBEITSBLATT 2

## Sekundarstufe I und II

### Kapitel 2 – FORSCHUNG: AUGEN UND FINGER IM UNSICHTBAREN

- 1.) Fertigen Sie ein Plakat an, auf welchem die Meilensteine auf dem Weg zu einem Mikroskop für den Vorstoß in den Nanokosmos abgebildet sind!

Jahr	Entwicklung
1924	Der Wissenschaftler Louis de Broglie erkannte, dass Elektronen gleichzeitig Teilchen- und Wellencharakter besitzen und deshalb als Elektronenstrahlen vergleichbare Eigenschaften haben wie das Licht. Diese Erkenntnis bereitere den Weg zum Bau eines Mikroskops für den Vorstoß in die Nanowelt.
1926	Entwicklung der Elektronenlinse durch Hans Busch
1931	Bau des ersten Elektronenmikroskops (ein <u>Transmissionselektronenmikroskop (TEM)</u> ) durch Ernst Ruska und Max Knoll und Bau des ersten elektrostatischen Elektronenmikroskops durch Reinhold Rüdenberg
1937	Entwicklung des ersten Raster-Transmissionselektronenmikroskops (STEM) durch Manfred von Ardenne
1939	Siemens bringt das erste kommerzielle TEM in den Handel.
1942	Entwicklung des ersten Rasterelektronenmikroskop (REM) von Vladimir Zworykin und anderen
1965	Erstes kommerzielles REM durch Cambridge Scientific Instruments
1989	Gerasimos Danilatos entwickelt das Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM), welches ein geringeres Vakuum im Probenraum erfordert.
aktuell	Der Einzug der Computertechnik in den letzten Jahren führte zu einer ständigen Verbesserung bei der Justierung der Linsen und der Kompensation von Aberrationen und damit zu einer erheblichen Verbesserung der Qualität der Bilder.

- 2.) Tragen Sie in der Tabelle die vier wesentlichen Unterschiede zwischen einem Lichtmikroskop und einem Elektronenmikroskop ein!

Lichtmikroskop	Elektronenmikroskop
Verwendet das <b>sichtbare Licht</b> als Quelle, um das Objekt zusammen mit Glaslinsen / transparenten Linsen und Projektionswand zu betrachten.	Verwendet <b>Elektronen</b> und <b>Elektromagnete</b> , die den Elektronenstrahl bündeln, um die Objekte zu betrachten.
Erlaubt Vergrößerung bis zu 1000X, bei einem Auflösungsvermögen von nur 200 nm	Erreicht eine Vergrößerung bis 500 000X bei einer deutlich höheren Auflösung (derzeit etwa 0,1 nm)
Benötigt kein Vakuum	Vakuum erforderlich
Auswechselbare Linsen und Objektive	Regelbares Magnetfeld

- 3.) Teilen Sie sich in Gruppen auf und recherchieren Sie, mit welchen weiteren Verfahren man Nanostrukturen sichtbar machen kann! Jede Gruppe stellt anschließend ein Analyseverfahren vor.

## ARBEITSBLATT 2

## Sekundarstufe I und II

### **Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)**

Die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) ist eine mikroskopische Technik, bei der ein zwischen einer Katode und Anode erzeugter Elektronenstrahl durch eine ultradünne Probe gesendet wird. Die Anode hat an ihrem Boden ein Loch, durch das die beschleunigten Elektronen austreten können und ihren Weg durch das Gerät zum Präparat finden, wobei die Elektronen im Strahlengang mit der Probe reagieren. Die sogenannten TEM-Linsen sind Spulen, die von einem elektromagnetischen Feld umgeben sind, das sie selbst verursachen. Dieser Elektronenstrahl, nochmal gebündelt von einem Kondensator, fließt durch das zu mikroskopierende Präparat hindurch und wird leicht abgelenkt. Die Elektronen treffen auf einen Leuchtschirm, der das Bild der durchstrahlten Probe zeigt. Je nach Ordnungszahl der Atome, aus denen die Probe besteht, der Höhe der Beschleunigungsspannung und der gewünschten Auflösung kann die sinnvolle Probendicke von wenigen Nanometern bis zu einigen Mikrometern reichen. Je höher die Ordnungszahl und je niedriger die Beschleunigungsspannung sind, desto dünner muss die Probe sein.

### **Raster-Elektronenmikroskopie (REM)**

Beim Raster-Elektronenmikroskop (REM) wird der zwischen Katode und Anode erzeugte Elektronenstrahl zu einem möglichst kleinen Fleck gebündelt und zeilenweise über den zu untersuchenden Probenbereich geführt. Das Rasterelektronenmikroskop basiert so auf der Abrasterung der Objektoberfläche mittels eines feingebündelten Elektronenstrahls. Der komplette Vorgang findet im Hochvakuum statt, um Wechselwirkungen mit Atomen und Molekülen in der Luft zu vermeiden. Bei einem häufig verwendeten Messverfahren mit diesem System, der Sekundärelektronenmikroskopie (SEM), werden aber nicht die Elektronen, mit denen das Objekt bestrahlt wird, sondern die durch die Bestrahlung aus der Probe herausgeschlagenen Elektronen gemessen: Vergleichbar mit Lichtstrahlen, die von einer Fensterscheibe reflektiert werden, verlassen sie die Probe auf der Seite, wo der Elektronenstrahl eingetreten ist. Die Verteilung dieser Elektronen wird über einen Detektor und einen Verstärker in optische Signale umgewandelt und auf einem Bildschirm angezeigt.

### **Rastersondenmikroskopie**

Bei der Rastersondenmikroskopie wird in der Regel eine spitze Nadel von wenigen 100 Mikrometern Länge (und optimalerweise mit einem Ende aus nur einem Atom) an die Probenoberfläche herangeführt und rasterförmig darüber hinwegbewegt. Dabei „fühlt“ der Sensor eine abstandsabhängige physikalische Wechselwirkung, die als Messsignal dient. Das Signal wird im Computer in ein dreidimensionales Bild umgewandelt. So erzeugte Bilder ähneln oft der Oberfläche eines Eierkartons mit Mulden und Ausbuchtungen. Jeder „Berg“ entspricht bei entsprechend hoher Auflösung einem Atom. Rastersondenmikroskope können optische, magnetische oder elektrische Wechselwirkungen messen. Sie eignen sich nicht nur für die Grundlagenforschung, sondern auch für die atomgenaue Qualitätskontrolle in der Nanotechnologie. Am häufigsten wird das Rastertunnelmikroskop (engl.: Scanning Tunneling Microscope, STM) mit der Nanotechnologie in Verbindung gebracht. Dieses beeindruckend leistungsfähige Forschungsinstrument kann einzelne Atome sichtbar machen. Für seine Entwicklung erhielten die Forscher Gerd Binnig, Heinrich Rohrer und Ernst Ruska 1986 den Nobelpreis für Physik.

Beim STM wird eine spitze Nadel bis auf eine Entfernung von einem Nanometer an die zu untersuchende Oberfläche herangeführt. Bei Anlegen einer Spannung fließen elektrisch geladene Teilchen zwischen der Nadelspitze und der Probenoberfläche („Tunnelstrom“). Linienweise fährt die

## ARBEITSBLATT 2

### Sekundarstufe I und II

Spitze dann über die Oberfläche hinweg, ohne sie zu berühren und erzeugt so ein Raster von der Oberfläche bis hin zur atomaren Auflösung.

#### **Expansionsmikroskopie**

Bei ihrer Recherche können die Schüler auf eine neue Variante der hochauflösenden Mikroskopie stoßen, die in der Nanotechnologie noch keine breite Anwendung hat, wohl aber bei der Untersuchung biologischer Proben. Das zentrale Element dieser Methode ist die Aufbereitung der Proben. Sie ermöglicht Nanoimaging, also die Visualisierung von kleinsten Strukturen. Die Proben werden dabei in ein quellfähiges Hydrogel eingebettet und homogen dreidimensional ausgedehnt, so dass der Abstand zwischen den Molekülen größer wird und diese dann in vergrößerter Auflösung beobachtet werden können. Eine neue Strategie der Expansionsmikroskopie namens „Magnify“ verzichtet auf die chemische Behandlung zur Verankerung der Proben. Hier wird ein neuartiges mechanisch stabiles Gel verwendet, das Nukleinsäuren, Proteine und Lipide festhält. So bleiben die Moleküle intakt, und es können mehrere Arten von Biomolekülen in einer einzigen Probe markiert werden. Magnify erhöht die Expansionsrate um 11-fache linear oder das  $\sim 1.300$ -fache des ursprünglichen Volumens. Die Methode ist auf eine Vielzahl von Probenpräparaten und Gewebetypen anwendbar und kann mit Standardmikroskopen angewendet werden.

## ARBEITSBLATT 3 (Teil 1)

### Kapitel 3 – PRODUKTION: WERKSTATT FÜR WINZLINGE

- 1.) Bottom-up und top-down sind Ansätze, die nicht nur in der Bionik Anwendung finden, sondern auch in der Nanowissenschaft. Was unterscheidet beide voneinander? Kennen Sie Beispiele?

Bottom-up	Top-down
Bottom-up (engl.: „von unten nach oben“) bedeutet, dass durch gezielte Handhabung von Atomen oder Molekülen komplexe Strukturen aufgebaut werden.	Top-down (engl.: „von oben nach unten“) hingegen beschreibt die fortschreitende Verkleinerung von Strukturen.
Beispiel: In einer wässrigen Tetrachlorgoldsäure (HAuCl <sub>4</sub> )-Lösung bilden sich in Gegenwart von Trinatrium-Citrat (Natriumsalz der Zitronensäure) unter Rühren bei 100 °C Goldkolloide (Ø ca. 15 nm)	Beispiel: Mittels besonderer Kugelmöhlen werden körnige Substanzen bis zur Größe von Nanoteilchen zerkleinert, z. B. um Nano-Farbpartikel für hochauflösende Tintenstrahldrucker herzustellen.

- 2.) Was ist ein Sol und wie kann ein Sol zum Gel werden?

Ein Sol ist eine kolloidale Lösung, in der Partikel oder Makromoleküle in einer Flüssigkeit dispergiert stabil vorliegen, und zwar so, dass ihre Wechselwirkungen untereinander sehr klein sind (Stabilisierung). Sole sind damit gleichzeitig nanopartikuläre Dispersionen. Aus einem Sol kann ein Gel werden, z.B. durch Verdampfen des Lösungsmittels, wodurch die Anziehungskräfte der Soleteilchen untereinander gesteigert werden. Auf diese Weise findet eine Aggregation zu größeren Teilchen mit insgesamt kleinerer Oberfläche statt. Es entstehen Niederschläge mit definierten Eigenschaften.

- 3.a) Wie entsteht die rote Färbung von Goldnanoteilchen

Die im Bottom-up-Beispiel erzeugten Goldteilchen haben einen Durchmesser von durchschnittlich 15 nm und erscheinen weinrot. Wegen der geringen Partikelgröße nehmen die Elektronen der Goldatome andere Energiezustände an. Dies hat Einfluss auf die Reflexion, Interferenz und Brechung des Lichts.

- 3.b) Welche Bereiche bieten Potenzial für den Einsatz von farbigen Nanoteilchen?

Eine wichtige Anwendung ist die Herstellung von strukturbasierten Farbstoffen, die keine herkömmlichen Farbpigmente enthalten. Auch finden die Nanofarbpigmente als neuartige Designelemente Anwendung. Mit ihnen lassen sich zahllose neue Möglichkeiten in der Farbgestaltung von Spritzgussteilen, Folienoberflächen, Glas, Keramik und Stein, aber auch von Schmuckgegenständen, Karosserieblechen oder Kleiderstoffen realisieren.

- 4.) Fertigen Sie eine Infografik zum Thema Gasphasensynthese an. Gehen Sie dabei auf folgende Fragen ein/ erfüllen Sie die folgenden Aufgaben:

## ARBEITSBLATT 3 (Teil 1)

- Wie funktioniert die Gasphasensynthese?  
((hier Folie 8 ppt einfügen))

Als Ausgangsstoffe dienen Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe, die im Gasphasenreaktor in einen Gasstrom eingebracht werden und eine sehr heiße Zone durchlaufen. Flüssige und feste Stoffe werden dazu vorher durch Verdampfen oder Zerstäuben in Gase, fein verteilte Tröpfchen oder Partikel umgewandelt. Bei unterschiedlichen Ausgangsstoffen ist auch eine Kombination dieser Prozesse möglich. Die Synthese läuft in mehreren aufeinander folgenden Reaktionsschritten ab: Zuerst bildet sich in der Nukleationsphase kleinere Komplexe (Primärteilchen), deren Oberflächen sich während der Wachstumsphase durch Anlagerung von weiteren Atomen oder Molekülen schnell vergrößern. Die so entstandenen Vorläuferteilchen stoßen aneinander und verwachsen im nächsten Schritt, der Aggregationsphase, zu den gewünschten Nanomaterialien. Mehrere Aggregate können lose, durch Van-der-Waals-Kräfte gebundene Agglomerate bilden.

- Stellen Sie verschiedene Gasphasenreaktoren vor und beschreiben Sie ihre Funktion!

Es werden verschiedene Arten von Gasphasenreaktoren eingesetzt, darunter der *Flammenreaktor*, der *Heißwandreaktor* und der *Plasmareaktor*. Sie unterscheiden sich in der Art der Energiezufuhr.

*Flammenreaktoren* dienen schon seit längerem der Herstellung von Metalloxid-Nanopulvern in großer Menge und Reinheit. Bei 1.000 °C bis 2.400 °C durchlaufen die Ausgangsstoffe die Flammenzone in gerade einmal 10 bis 100 Millisekunden. Dabei bilden sich Primärteilchen von wenigen Nanometern Größe. Durch Aggregation der Primärteilchen entstehen die gewünschten Pulver. Ein Gramm solcher Nanopulver besitzt eine spezifische Oberfläche von bis zu 400 Quadratmetern.

*Heißwandreaktoren* sind im Vergleich zu anderen Gasphasensystemen sehr einfach aufgebaut. Die für die Reaktion benötigte Wärme – ca. 1.700 °C – wird in einem elektrischen Rohrofensystem erzeugt und über die heißen Wände des Rohres in den Reaktor transportiert. Dadurch kann man die Reaktionstemperatur sehr genau einstellen. Weil keine Flammenerzeugung mit Gasen im Reaktor nötig ist, können reduzierende, oxidierende oder inerte Bedingungen für das Reaktionsgasgemisch frei gewählt werden.

- Nennen Sie verschiedene Produkte, die mithilfe der Gasphasensynthese hergestellt werden!

Mit der Gasphasensynthese werden viele Produkte im industriellen Maßstab hergestellt, darunter Titandioxid-Nanoteilchen, die unter Ausnutzung der Lichtenergie chemische Reaktionen katalysieren. Ein weiteres Beispiel ist nanoskaliges Siliziumdioxid, das beispielsweise Silikonkautschuk und anderen Kunststoffen als Verdickungsmittel und Verstärkerfüllstoff zugesetzt wird, um deren Festigkeit und Elastizität zu steigern.

## ARBEITSBLATT 3 (Teil 2)

### Kapitel 3 – PRODUKTION: WERKSTATT FÜR WINZLINGE

5.) Beschreiben Sie kurz beide Verfahren:

CVD	PVD
<p>(engl.: Chemical Vapor Deposition)</p> <p>Unter dem Begriff chemische Gasphasenabscheidung versteht man eine Gruppe von Beschichtungsverfahren, die in der Dünnschichttechnologie eingesetzt werden. Bei der chemischen Gasphasenabscheidung werden mindestens zwei flüchtige Verbindungen mit einem Gasstrom („Prozessgas“) in eine Reaktionskammer eingeleitet, in der sich das zu beschichtende Werkstück befindet. Unter Energiezufuhr findet auf der Oberfläche des Werkstücks eine chemische Reaktion statt. Das Verfahren wird bei sehr niedrigen Drucken durchgeführt (0,01 bis 10 Hektopascal), damit die Abscheidung einer Schicht an der Oberfläche des Werkstücks geschieht und nicht bereits eine Bildung von festen Partikeln in der Gasphase erfolgt.</p> <p>Diese Methode kann im Gegensatz zu physikalischen Beschichtungsverfahren auf Oberflächen mit dreidimensionalen Oberflächenstrukturen angewendet werden. So entstehen beispielsweise die metallischen Schichten auf winzigen Gräben in der Feinstruktur von Computerchips.</p>	<p>(engl.: Physical Vapor Deposition, PVD)</p> <p>Bei der physikalischen Gasphasenabscheidung wird ein festes Beschichtungsmaterial durch Beschuss mit Laserstrahlen, Ionen, Elektronen oder durch Lichtbogenentladung in einer Beschichtungskammer verdampft. Der Dampf bewegt sich frei durch die Kammer oder wird durch elektrische Felder zu dem Werkstück geleitet, das beschichtet werden soll. Damit sich die Dampfteilchen als Schicht darauf ablagern können und nicht schon vorher an Gasteilchen in der Kammer gestreut werden, arbeitet man auch bei diesem Verfahren bei einem Unterdruck von bis zu 10 Pascal.</p> <p>Der Dampf breitet sich ausgehend von seiner Quelle in einer Richtung aus. Um die gesamte Oberfläche eines Objekts beschichten zu können und keine Bereiche im „Schatten“ auszulassen, muss das Werkstück daher während der Beschichtung gedreht werden. Bei Kontakt mit dem Werkstück scheiden sich die Dampfteilchen auf dessen Oberfläche durch Kondensation ab.</p> <p>Durch Diffusion breiten sich die Teilchen anschließend gleichmäßig entlang der Oberfläche aus, bis sie einen energetisch günstigen Platz gefunden haben.</p>

## ARBEITSBLATT 4 (Teil 1) Sekundarstufe I und II

### Kapitel 4 – PRAXIS UND PERSPEKTIVEN: MEHR NUTZEN IM ALLTAG

- 1.) Erstellen Sie eine Infografik für die Klasse: Wo werden Nanoteilchen in der Automobilindustrie eingesetzt?

((Graphik in Anlehnung an Folie 4-1))

---

- 2.) Titandioxid-Nanopartikel haben vielseitige Funktionen. Beschreiben Sie hier zwei davon!

<b>Beispiel 1</b> Titandioxid (TiO <sub>2</sub> )-Nanopartikel wirken photokatalytisch.	<b>Beispiel 2</b> Titandioxid- Nanoteilchen helfen aufgrund ihrer photokatalytischen Aktivität auch dabei, die Luft sauber zu halten.
<b>Wirkungsweise?</b> Bei Bestrahlung mit UV-Licht zersetzen sie Wasser zu OH-Radikalen und bilden daraus zusammen mit Luftsauerstoff Wasserstoffperoxid (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).	<b>Wirkungsweise?</b> Bei Tageslicht können sie mittels der Photokatalyse Moleküle durch Oxidation vollständig zersetzen. Auf diese Weise könnte zukünftig in Großstädten die Belastung der Luft mit Stickoxiden aus Autoabgasen reduziert werden.
<b>Wo werden die Partikel eingesetzt?</b> Wasserstoffperoxid ist für die meisten Mikroorganismen toxisch, daher können TiO <sub>2</sub> -Teilchen Metallflächen in Operationssälen steril halten.	<b>Wo werden die Partikel eingesetzt?</b> Ein neuartiger Fassadenputz und Wandfarben beispielsweise beseitigen durch Beimischung von Titandioxid-Partikeln Schadstoffe und unangenehme Gerüche aus der Raum- oder Außenluft.

---

- 3.) Erklären Sie Ihren Mitschülern den Begriff Ferrofluid! Im Internet finden sich viele Beispiele, die Sie für eine kleine Präsentation nutzen können. In welchen Bereichen profitiert man von den Eigenschaften von Ferrofluiden?

Ferrofluide Stoffe bestehen aus nanoskaligen, stark magnetischen Nanopartikeln in einer Trägerflüssigkeit. Magnetische Nanopartikel kommen unter anderem in der medizinischen Diagnostik und Krebstherapiestudien zum Einsatz.

Sie sind auch in bestimmten Schmier- und Dichtstoffen enthalten und sorgen so dafür, dass diese unter Einwirkung von Magnetfeldern exakt zu der gewünschten Position dirigiert werden können. Durch denselben Effekt eignet sich das Ferrofluid sehr gut als schaltbares Dämpfungsmittel. Deshalb werden Ferrofluide heute

unter anderem als Schwingungsdämpfer in Lautsprecherboxen eingesetzt. Auch sind sie geeignet, um das Wärmemanagement bei immer kleiner werdenden elektronischen Geräten zu verbessern.

#### 4.a) Welche optischen Phänomene erzeugen die Blickwinkel abhängige Farbigkeit von Nanoschichten?

Antireflexbeschichtungen für Glas- oder Kunststoffabdeckungen von Armaturen und Karosserien, deren Lackierung Nanoteilchen oder Nanoschichten enthalten, können blickwinkelabhängig in unterschiedlichen Farben erscheinen. Forscher aus der Industrie setzen hierbei auf optische Effekte, die nicht durch gelöste Partikel, sondern durch nanometerdünne Metalloxidschichten auf einer Trägersubstanz entstehen. Durch sie erhalten beispielsweise Autolacke eine edle Erscheinung und Farbtiefe.

#### 4.b) Wie kann man die Farbe bei einer Pigmentfolie aus Nanoplättchen beeinflussen, ohne die Dicke der Metalloxid-Nanoschicht zu verändern?

Werden Nanokugeln gleichmäßig in eine Kunststoffolie eingebracht, lassen sich Materialien herstellen, die nicht nur abhängig vom Blickwinkel unterschiedlich farbig erscheinen, sondern ihre Farbe auch bei Dehnung verändern. Wird die Folie gedehnt, ändert sich der Abstand der Kugeln im Material - bei gleichzeitiger Beibehaltung der Metalloxid-Nanoschicht. Daraus resultieren andere optische Eigenschaften, die in Sensoren eingesetzt werden und auf einen Blick erkennen lassen, ob ein Material mechanisch beansprucht wird. Auch in der Elektronik können solche Schichten dazu beitragen, Licht als Informationsträger zu nutzen und gezielt zu leiten.

1

## ARBEITSBLATT 4 (Teil 2)

## Sekundarstufe I und II

### Kapitel 4 – PRAXIS UND PERSPEKTIVEN: MEHR NUTZEN IM ALLTAG

5.) Teilen Sie sich in Kleingruppen auf und diskutieren Sie folgende Fragen zum „Lotus-Effekt“

- Welchen Zweck hat er in der Natur?  
Der Lotuseffekt führt bei Blattoberflächen von Pflanzen zu einer geringen Benetzbarkeit, wie sie bei der Lotospflanze *Nelumbo* und vielen anderen Pflanzen beobachtet werden kann. Wasser perlt in Tropfen oder rutscht von den Blättern ab und nimmt dabei auch Schmutzpartikel und Krankheitserreger auf der Oberfläche mit. Verantwortlich dafür ist die spezielle mikro- und nanoskopische Architektur der Oberfläche, die eine Haftung von Schmutzpartikeln minimiert und so dafür sorgt, dass Krankheitserreger wie Bakterien oder Pilze nicht in die Pflanze eindringen können.
- Inwieweit hat die Grenzflächenspannung Einfluss auf den Effekt?  
Die Benetzung eines Stoffes mit Wasser und Luft als umgebendem Medium hängt vom Verhältnis der Grenzflächenspannungen Wasser / Luft, Festkörper/ Wasser und Festkörper / Luft ab. Stoffe mit einer hohen Grenzflächenspannung (zum Beispiel Glasplatte) werden besser benetzt als solche mit niedriger Grenzflächenspannung (zum Beispiel Wachspapier). Auf einer Glasplatte dehnt sich der Wassertropfen in der Regel zu einem Film aus einzelnen Wassermolekülen aus. Eine Beschichtung des Glases mit Nanowachs-Kügelchen führt zu einer extrem Wasser abweisenden (superhydrophoben) Oberfläche, von der Wassertropfen idealerweise vollständig abperlen.
- Inwieweit hat die Rauigkeit Einfluss auf den Effekt?  
Eine hydrophile Oberfläche wird umso benetzbarer, je rauer sie ist. Eine hydrophobe Oberfläche hingegen wird durch Aufrauung superhydrophob. Genau dies ist beim Lotus-Effekt der Fall: Die Luft wird zwischen den hydrophoben – weil mit Nano-Wachskristallen besetzten – Mikrostrukturen und dem Wassertropfen eingeschlossen. Auf der rauen Oberfläche wird die Kontaktfläche zwischen Blatt und Wassertropfen dadurch extrem klein – der Tropfen rollt scheinbar reibungslos ab.
- Ist der „Lotus-Effekt“ auf einem Dachziegel ewig haltbar?  
Der Lotus-Effekt auf Dachziegel unterliegt einem natürlichen Verschleiß, der von der Sonnenstrahlintensität sowie sonstigen Wetter- und Umweltbedingungen abhängig ist.
- Wie unterscheiden sich „Lotus-Effekt“ und „easy-to-clean Effekt“?  
Viele leicht zu reinigende Oberflächen beruhen auf dem sogenannten „easy-to-clean Effekt“. Er wird durch die von verschiedenen Chemikalien (z. B. Polysilazane) hervorgerufene Wasser und Fett abweisende Wirkung von glatten chemischen Schichten erzeugt. Auf Badezimmerkacheln und Duschkabinenverglasungen findet man diese hydrophoben Schichten schon in vielen Haushalten. Auf der Oberfläche geschieht folgendes: Ein Wassertropfen rollt über Schmutzteilchen hinweg und schleppt sie eine Strecke weit mit. Die Haftung des Schmutzes am Wassertropfen ist aber nicht

stark genug, um sie vollständig von der Oberfläche zu spülen. Bei einer Beschichtung mit Nanopartikel ist die Haftung der Schmutzpartikel auf der Oberfläche geringer, sodass sie mit den Wassertropfen besser von der Oberfläche entfernt werden.

- Wird sich ein Wassertropfen auf einer Antibeslag-Nanoschicht abkugeln oder ausbreiten?

Bei einer extrem Wasser abweisenden (superhydrophoben) Oberfläche kugelt sich der Wassertropfen idealerweise vollständig ab und berührt den Untergrund nur in einem Punkt, als befände er sich auf einer heißen Herdplatte.

Präsentieren Sie anschließend in der Klasse Ihre Ergebnisse!

---

- 6.) Nennen Sie drei Anwendungen von Nano-Bentonit.

Beispiel	Anwendung
1. Flammschutz	Als Hilfsstoff zusammen mit mineralischen Flammschutzmitteln für einen besseren Flammschutz von Kunststoffen, zum Beispiel in Kabelverkleidungen.
2. Zusatz zu Verpackungskunststoffen	Sie machen zum Beispiel Verpackungsfolien gas- und wasserdichter oder erlauben die Kombination von Kunststoffen, die man früher nicht miteinander mischen konnte.
3. Bauwerksabdichtungen	Eine der Besonderheiten von Nano-Bentonit ist die hervorragende Quellbarkeit in Wasser. Die Wassermoleküle dringen sehr leicht zwischen die Schichten des Kieselsäure-Minerals ein und bewirken dessen Verteilung in Form von Plättchen, die nur einen Nanometer dick sind. Werden die Plättchen mit organischen Molekülen beschichtet, lassen sie sich auch in organischen Polymeren verteilen, Dadurch eröffnen sich dem Nano-Ton Abdichtungsanwendungen, die man mit anderen Füllstoffen nicht erreicht.

- 7.) Warum und unter welchen Bedingungen wird ein Filter aus Fasermaterial umso wirkungsvoller, je dünner die Fasern sind?

Filter bestehen aus einem Gewirr übereinander liegender Fasern, an deren Oberfläche sich Teilchen ablagern können. Die Eigenschaften der Fasern entscheiden darüber, wie wirksam ein Filter ist. Je dünner man eine Faser aus einer definierten Materialmenge herstellt, umso länger wird sie. Je mehr Faserlänge verarbeitet wird, desto größer die Filteroberfläche und damit die Filterleistung. Mittlerweile gelingt es, so genannte Nanofasern herzustellen, die, als hauchdünne Schicht auf klassische Filtermedien aufgetragen, die Filterleistung deutlich verbessern. Weil herkömmliche Filter durch diese Behandlung nicht dicker werden, kann man mit den Nanofasern bereits vorhandene Filteranlagen ohne großen Aufwand optimieren.

2

### Kapitel 4 – PRAXIS UND PERSPEKTIVEN: MEHR NUTZEN IM ALLTAG

- 8.) Teilen Sie sich in drei Gruppen auf, bearbeiten Sie jeweils eines der folgenden Themen und stellen Sie es als Minipräsentation der Klasse vor! Ziel ist es, wichtige Fakten in maximal zwei bis drei Minuten zu präsentieren.

#### Gruppe 1: Zeolithe und ihre Anwendungen (A 1)

##### Aspekte:

- Zeolithe (Alumosilikate) sind natürlich vorkommende Mineralien, allerdings gibt es mittlerweile zahlreiche gezielt hergestellte synthetische Varianten dieses Minerals.
- Ob künstlich hergestellt oder natürlichen Ursprungs, alle Zeolithen haben eine sehr poröse Struktur mit zahlreichen Mikro- und Nanoporen und dadurch eine sehr große, innere Oberfläche.
- Diese Eigenschaft macht sie ideal für viele Anwendungen, bei denen sich andere Substanzen an diese Oberfläche anlagern, um Stoffgemische zu trennen, z. B. bei der Wasserenthärtung durch Ionenaustausch oder für die Trennung von Kohlenwasserstoffgemischen bei der Erdölverarbeitung und für die gezielte Gewinnung bestimmter organischer Verbindungen, die selektiv in den Hohlräumen festgehalten und anschließend extrahiert werden können.
- Aber auch als Katalysatoren spielen Zeolithe in der Industrie eine große Rolle, z. B. bei der katalytischen Abgasreinigung in der Zementproduktion oder im Einsatz als „saure Zeolithe“ bei Säure-Base-Reaktionen.

#### Gruppe 2: Korrosionsschutz dank Nanotechnologie

##### Aspekte:

- Die Korrosion von Stahl und anderen Materialien verursacht jährlich beträchtliche Schäden. Jeder, der schon einmal ein älteres Auto hatte, das irgendwann dem Rost zum Opfer fiel, kennt das. Doch auch in der Industrie gibt es viele Bereiche, in denen Korrosionsschäden zu Betriebsausfällen und damit zu erheblichen Kosten Alkalien standhalten.
- In chemischen Produktionsanlagen müssen Behälter und Rohre den Kontakt mit Säuren oder Laugen unter häufig extremen Bedingungen standhalten. Bis vor Kurzem setzte man für Antikorrosionsbeschichtungen Materialien auf der Basis von Chrom (VI) ein – dessen Verwendung ist allerdings aufgrund seiner umwelt- und gesundheitsschädlichen Eigenschaften seit 2007 in Europa weitestgehend verboten.
- Hier kann die Nanotechnologie helfen, bessere Alternativen zu finden. Wissenschaftler arbeiten an einem Verfahren, das insbesondere in den Bereichen Bauwesen und Transport zum Einsatz kommen soll. Die Antikorrosionsbeschichtung beinhaltet Mikro- und Nanocontainer mit Substanzen, die der Korrosionsreaktion entgegenwirken. Bei mechanischem oder chemischem Angriff werden diese Stoffe freigesetzt, und zwar punktgenau nur an der betroffenen Stelle. So entsteht eine selbstheilende Oberflächenbeschichtung.

## ARBEITSBLATT 4 (Teil 3) Sekundarstufe I und II

Gruppe 3: Kohlenstoffnanoröhren und Verbundwerkstoffe (A 3)

Formt man im Gedankenexperiment eine zweidimensionale Graphitlage zu einer Rolle und verknüpft zwei

gegenüberliegende Kanten miteinander, erhält man ein einwandiges oder mehrwandiges Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Für diese winzigen Röhren ist in der Fachsprache die Abkürzung SW-CNT (engl.: single-wall carbon nanotubes) geläufig.

Diese Röhrchen können elektrisch leitende oder halbleitende Eigenschaften aufweisen, womit sich z. B. Kunststoff-Formteile erzeugen lassen, die statisch aufladbar sind. In der Automobilindustrie arbeitet man nach diesem Prinzip an Kunststoff-Karosserien, die Pulverlacke binden, ohne dass ein organisches Bindemittel eingesetzt werden muss.

Die Dichte von CNTs beträgt nur etwa ein Sechstel derjenigen von Stahl. Gleichzeitig ist ihre Zugfestigkeit im Vergleich zu der von Stahl bis zu dreißigmal höher. CNTs eignen sich zur Verstärkung von Kunststoffen, Metallen und auch von Textilien in unterschiedlichen Verbundmaterialien.

So lässt sich zum Beispiel die Bruchfestigkeit eines Epoxydharzes durch Beimengung von etwa einem Gewichtsprozent mehrwandiger CNTs um fast ein Viertel steigern. Man erreicht so mit weniger Materialeinsatz die gleiche Stabilität. Auch im Flugzeugbau werden entsprechende Leichtbaumaterialien auf CNT-Basis bereits heute eingesetzt.

## ARBEITSBLATT 5

## Sekundarstufe I und II

### Kapitel 5 – BESSERE GESUNDHEITSVERSORGUNG

1.) Auf welchem Prinzip beruht der Schwangerschaftstest mit Goldnanopartikeln?

Goldnanopartikel eignen sich für Schwangerschaftstests aus verschiedenen Gründen: Erstens ist Gold es chemisch inert, also reaktionsträge, so dass störende Reaktionen mit anderen Stoffen nicht stattfinden.

Zweitens lässt sich das Gold gleichmäßig mit bestimmten Eiweißstoffen, den Antikörpern, beschichten, die eine gewünschte Substanz in der Probe durch die sogenannte Antigen-Antikörper-Reaktion erkennen und binden. Der Schwangerschaftstest beruht auf dem Nachweis des humanen Choriongonadotropins (hCG), eines Hormons, das bei einer gesunden Frau ausschließlich in der Schwangerschaft gebildet wird. Man kann es schon in sehr geringen Mengen im Blut oder Urin nachweisen. Gibt man hCG-haltigen Urin über einen Teststreifen mit Antikörper beschichtetem Nanogold, tritt eine Verklumpung der Teilchen ein. In dieser Form können Sie einen Filter im Testsystem nicht mehr passieren und bleiben auf ihm als roter Niederschlag zurück. Ist hingegen kein hCG in der Urinprobe vorhanden, können die Nanogoldteilchen den Filter passieren.

2.) Recherchieren Sie, wie Nanopartikel in der Krebstherapie eingesetzt werden können! Diskutieren Sie anschließend in der Klasse über Nanomaterialien in der Medizin und beurteilen Sie gemeinsam Vor- und Nachteile!

Magnetische Nanopartikel kommen nicht nur in der medizinischen Diagnostik zum Einsatz, sondern werden aktuell auch für die Krebstherapie getestet. Eine vielversprechende Anwendungsmöglichkeit von Nanopartikeln ist das sogenannte „Magnetische Drug Targeting“, (SEON), das am Universitätsklinikum Erlangen durchgeführt wird.

Dabei handelt es sich um den magnetisch gezielten Transport von Wirkstoffen zu bestimmten Orten, wie beispielsweise zu Tumoren. Eisenoxid-Nanopartikel, an die ein Chemotherapeutikum gebunden ist, werden über die Blutbahn mit einem starken Magneten gezielt in die Tumorregion gezogen. Auf diese Weise können hohe lokale Konzentrationen des Wirkstoffs in der Tumorregion erzielt werden und schont gleichzeitig den restlichen Körper. Die Ergebnisse im Tiermodell zeigten bereits hervorragende Ergebnisse. Dennoch sind noch viele Forschungsschritte notwendig, um die Methode sicher anwenden zu können und biologische Wechselwirkungen besser zu erkennen.

[https://www.nanowissen.bayern.de/forschung/mit\\_nanopartikeln\\_gegen\\_krebs/index.htm](https://www.nanowissen.bayern.de/forschung/mit_nanopartikeln_gegen_krebs/index.htm)  
25.07.23

Die an der Berliner Charité entwickelte so genannte Magnetflüssigkeits-Hyperthermie arbeitet mit Nanopartikeln aus Eisenoxid. Durch Injektionen oder über die Blutbahn gelangen sie in die Krebsgeschwulst. Durch eine speziell gestaltete biochemische Oberfläche betrachten die Krebszellen sie als Nährstoff. Hat sich die gesamte Krebsgeschwulst schließlich mit Nanopartikeln "vollgefressen", schalten die Mediziner ein neu entwickeltes Magnetfeldtherapie-System ein. Das für den Menschen ungefährliche Magnetwechselfeld erwärmt die Nanopartikel, nicht aber das gesunde Gewebe. Die Krebszellen bekommen gleichsam hohes Fieber und sterben ab. Für ihre

Beseitigung sorgt dann der menschliche Körper selbst. Die Nanopartikel werden ausgeschieden und über den normalen Stoffwechsel abgebaut.

(<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/heilung-durch-nano-449986>) 25.07.23

3.) Wie kann Nanotechnologie dabei helfen, Medikamente wirksamer zu machen?

Beispiel	Wirkungsweise
Ferrofluide in Kontrastmitteln	Einsatz als Kontrastmittel in der medizinischen Bildgebung. Durch Magnetfelder können sie an einer gewünschten Stelle im Körper positioniert werden.
Ferrofluide in der Tumorbekämpfung	Behandlung einer bestimmten Form von Hirntumoren (Glioblastom). In Wasser gelöste Eisenoxidnanoteilchen mit einer speziellen Beschichtung werden in den zu bekämpfenden Tumor injiziert und dann dank ihrer Oberflächenbeschichtung von den Tumorzellen aufgenommen. Anschließend wird der Patient einem starken Magnetfeld ausgesetzt. Die Eisenoxidnanopartikel werden dadurch in Schwingung versetzt und erzeugen Wärme. Die Tumorzellen werden zerstört oder zumindest geschwächt, sodass sie anschließend mit einer Chemotherapie oder einer Strahlenbehandlung wirksam bekämpft werden können. Das umliegende, gesunde Gewebe wird weitgehend geschont.
Nanopartikel auf Zahnimplantate	Studien deuten darauf hin, dass bioaktive Moleküle einer nanotechnologisch hergestellten Oberfläche eines Zahnimplantats dessen sanfte Einbettung in den Körper ermöglichen. Die extrem dünne knochenähnliche Nano-Beschichtung enthält Substanzen, die Knochenzellen an sich binden. Dadurch wird eine Brücke zum Kieferknochen geschaffen, die die Implantate schneller und auch fester und dauerhafter anwachsen lässt.
Infektionsschutz durch Nanoschichten	Wird ein herkömmlicher Blasenkatheter in die Harnröhre eingeführt, so kommt es trotz hoher Hygienestandards manchmal zu einer bakteriellen Besiedlung der Katheteroberfläche, die zahlreiche Probleme nach sich ziehen kann. Eine etwa 50 Nanometer dünne Schicht aus ungeordnetem (amorphem) Kohlenstoff verhindert eine solche Besiedlung der Oberfläche.

## ARBEITSBLATT 6 (Teil 1)

## Sekundarstufe I und II

### Kapitel 6 – UMWELTSCHUTZ UND ENERGIE

1.) Welche Beiträge zum Umweltschutz leisten Nanomaterialien im Lackierprozess?

Beitrag 1	Beitrag 2	Beitrag 3
Ersatz von umwelt-problematischer Chromsäure durch ein Sol-Gel-Verfahren. Im Sol liegen Nanoteilchen von 40 bis 50 nm Durchmesser aus siliziumorganischen Verbindungen (Silanen) vor, die beim Aushärten durch Vernetzung ein festes, dreidimensionales Gel bilden.	Geringerer Einsatz von Lösemitteln, bessere Selbst-Haftung an Metallen und Kunststoffen, weniger Arbeitsschritte	Einsparung von Wasser und Energie, weniger Abfälle. Der Rohstoffeinsatz sinkt, weil der neue Lack dünnere aber ansonsten gleichwertige Schichten bildet.

2.a) Warum muss herkömmliches Glas für Abdeckungen von Solaranlagen besonders behandelt werden?

Selbst hochwertiges Glas lässt höchstens 90 Prozent des Sonnenlichts hindurch. Zwei Prozent der Strahlung werden vom Glas absorbiert und gestreut, acht Prozent werden an den Grenzflächen der Scheibe reflektiert. Ursache der Reflexion an einer Glasoberfläche ist der Unterschied im Brechungsindex zwischen Luft und Glas,

2.b) Aus welchem Material und mit welchem Verfahren wird die beschriebene Antireflexschicht hergestellt?

Das Sol besteht aus Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>)-Kügelchen mit einem Durchmesser zwischen 20 und 50 nm, die in einem Lösungsmittelgemisch verteilt sind. Das zuvor gereinigte Abdeckglas für die Solarmodule wird in eine Wanne mit dem Beschichtungs-Sol getaucht und wieder herausgezogen. Das Sol bleibt gleichmäßig verteilt auf dem Glas zurück. Beim Trocknen der Platten bildet sich durch Vernetzung der Teilchen aus dem Sol ein Gel, das anschließend bei 650 °C fest in das Glas eingebrannt und mit diesem gehärtet wird.

2.c) Worin liegt der Vorteil der neuen Beschichtung und mit welchen Zahlen lässt er sich belegen

Bringt man eine Antireflexschicht aus Nano-Siliziumdioxidkügelchen auf beiden Seiten des Glases auf, kann deutlich mehr Lichtenergie durch die Scheibe gelangen, da der Brechungsindex stark verkleinert worden ist. Zudem verhindert die Nano-Schicht starke Verschmutzungen.

Mit der neuen Beschichtung kann fast das gesamte in der Energiegewinnung genutzte Wellenlängenspektrum des Sonnenlichts (400 nm bis 2.500 nm) die Abdeckscheiben der Solarmodule durchdringen. Die Reflexion wird von acht auf zwei Prozent gesenkt.

3.a) Mit welchen Verfahren kann man poröse Nanomaterialien erzeugen?

Um hochporöse, leichte Hochleistungswerkstoffen mit kontrollierter Porenstruktur, mechanischen Eigenschaften und zusätzlicher Funktionalität zu erzeugen, lassen sich zum Beispiel polymere

Nanokomposite als konforme Beschichtungen auf porösen Substraten, wie z. B. offenzelligen Schäumen „züchten“. Die Beschichtung wird in diesem Verfahren durch abwechselnden schichtweisen Aufbau aus Schichten von Nano-Ton und Polymer erzeugt. So entstehen hochverstärkte Nanokomposite mit einer konventionellen Struktur und hoher mechanischer Festigkeit und Steifigkeit mit großer innerer Oberfläche.

Aber auch Zeolithe können mit nanoskalierten Oberflächen versehen werden. Aufgrund ihrer großen inneren Oberfläche können so wirkungsvolle Katalysatoren erzeugt werden.

3.b) Wodurch entsteht die extrem große Oberfläche dieser Materialien?

Zeolithe bestehen beispielsweise aus einer mikroporösen Gerüststruktur aus  $\text{AlO}_4^-$ - und  $\text{SiO}_4^-$ -Tetraedern. Dabei sind die Aluminium- und Silicium-Atome untereinander durch Sauerstoffatome verbunden. Je nach Strukturtyp ergibt sich dadurch eine Struktur aus gleichförmigen Poren und/oder Kanälen, in denen Stoffe adsorbiert oder aber Nanopartikel eingebracht werden können.

3.c) Nennen Sie Anwendungsbeispiele für solche porösen Nanomaterialien mit großer Oberfläche!

Anwendung 1	Anwendung 2	Anwendung 3
<p>Zeolithe in der Erdölaufbereitung oder auch bei der Herstellung synthetischer Kraftstoffe sorgen für gezielte Trennprozesse bei der Aufarbeitung von Kohlenwasserstoffen. Weitergehende Forschungen könnten zu neuen Trennverfahren in Raffinerien führen, so dass sich mit geringerem Energieaufwand besonders hochwertige Kraftstoffe erzeugen ließen.</p>	<p>Im Gesundheitswesen werden poröse Materialien als künstliche Gewebegerüste eingesetzt, mit denen weit ausgebreitete Schäden repariert werden können, die für den natürlichen Heilungsprozess zu groß sind.</p>	<p>Aerogele als Dämmmaterial. Sie verdanken ihre Eigenschaften einer schwammartigen Struktur mit Poren von nur wenigen Nanometern Durchmesser. Diese Poren machen üblicherweise 99,98 Prozent des Volumens eines Aerogels aus. Aufgrund ihrer winzigen Abmessungen kann sich das darin eingeschlossene Gas, meist Luft, kaum bewegen, so dass Wärme in diesem Material kaum weitergeleitet werden kann.</p>

1 2

## ARBEITSBLATT 6 (Teil 2)

### Kapitel 6 – UMWELTSCHUTZ UND ENERGIE

Fertigen Sie ein Plakat oder eine Infografik an! Entscheiden Sie sich dabei für ein Thema und beantworten Sie dabei folgende Fragen:

- 4.a) Aus welchen Bestandteilen besteht Beton?  
Zement, Kies, Sand und Wasser sowie Zuschläge
- 4.b) Was passiert bei seiner Verfestigung?  
Kommen die Zementkörner mit Wasser in Berührung, lösen sich sog. Klinkerbestandteile (z. B. Tricalciumsilikat,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) und bilden unter Wasseraufnahme Calciumsilikathydrat-Keime (CSH), die auf der Oberfläche zunächst sehr langsam wachsen. Durch Anlagerung weiterer Moleküle entstehen lange Nadeln, die sich ineinander verhaken und den Zement immer mehr verfestigen.
- 4.c) Wie können Nanoteilchen dazu beitragen, dass bei der Verwendung von Beton Energie gespart wird?  
Ohne Hilfsmittel dauert die Aushärtung von Beton bis zu 12 Stunden. Schneller geht es durch Erhitzen auf  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , das verbraucht aber Strom.  
Um die Betonhärtung ohne Energieverbrauch zu beschleunigen wird bereits beim Anmischen ein Hilfsstoff zugeführt. Dieser besteht aus CSH-Nanokristallen, an denen die Kristallisation beschleunigt abläuft, und zwar nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in den Zwischenräumen. Die Aushärtungszeit wird dadurch halbiert und die fertige Betonstruktur sieht genauso aus wie ohne den Nano-Zusatz.
- 5.a) Welche Verfahren kennen Sie, um aus Meerwasser Trinkwasser zu gewinnen?  
Mehrstufige Entspannungsverdampfung, Elektrodialyse, Gefrierverfahren
- 5.b) Was sind die Nachteile dieser Verfahren?  
Hoher Energieeinsatz, geringe Effizienz
- 5.c) Wie kann Nanotechnologie dazu beitragen, aus Meerwasser Trinkwasser zu gewinnen?  
Einsatz von Ultrafiltrationsanlagen mit Nanoröhren und anschließender Umkehrosmose.

6.a) Erläutern Sie das Funktionsprinzip einer Leuchtdiode!

In Leuchtdioden wird elektrische Energie über Elektrolumineszenz direkt in Licht umgewandelt. Ihr Herzstück sind Schichten aus halbleitenden Materialien, die oft nur wenige Nanometer dünn sind und Licht freisetzen, wenn sie von elektrischem Strom durchflossen werden. Im Halbleiter rekombinieren Elektronen und Löcher mit Elektronenmangel. Klassischerweise werden in LEDs anorganische einkristalline Halbleiter verwendet, beispielsweise Galliumarsenid.

6.b) Was ist der Unterschied zwischen herkömmlichen LEDs und OLEDs?

Eine organische Leuchtdiode (englisch organic light-emitting diode, OLED) ist ein leuchtendes Dünnschichtbauelement aus organischen halbleitenden Materialien. Es unterscheidet sich von den anorganischen Leuchtdioden (LED) dadurch, dass die elektrische Stromdichte und damit auch die Leuchtdichte geringer sind und keine einkristallinen Materialien erforderlich sind. Im Vergleich zu herkömmlichen (anorganischen) Leuchtdioden lassen sich organische Leuchtdioden daher in Dünnschichttechnik kostengünstiger herstellen, ihre Lebensdauer und Lichtausbeute sind jedoch noch geringer als die herkömmlicher Leuchtdioden.

6.c) Wo „steckt“ in Leuchtdioden die Nanotechnologie?

Die teilweise sehr komplexen Strukturen sowohl der LED's als auch der OLED's lassen sich nur durch die präzise Handhabung und Erzeugung unterschiedlicher nanodünner Schichten herstellen.

(Für detailliertere Informationen siehe FCI-Infoserie zum Thema „Chemie und Energie“, Kap. 5)

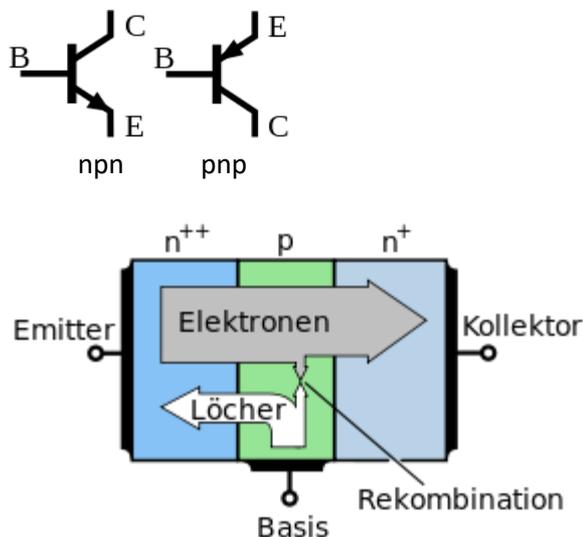
## ARBEITSBLATT 7

## Sekundarstufe I und II

### Kapitel 7 – INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE

- 1.) Recherchieren Sie im Internet das Funktionsprinzip des Transistors und die Geschichte seiner Entwicklung!

Transistoren werden vorwiegend verwendet, um Ströme zu schalten, zu verstärken oder zu steuern. Der so genannte Bipolartransistor wird durch einen elektrischen Strom angesteuert. Die Anschlüsse werden mit Basis, Emitter, Kollektor bezeichnet (in Schaltbildern abgekürzt durch die Buchstaben B, E, C).



Ein kleiner Steuerstrom auf der Basis-Emitter-Strecke führt zu Veränderung im Basisbereich des Bipolartransistors und kann dadurch einen großen Strom auf der Kollektor-Emitter-Strecke steuern. Je nach Dotierungsfolge im Aufbau unterscheidet man zwischen npn- (negativ-positiv-negativ) und pnp-Transistoren (positiv-negativ-positiv). Dotierung bedeutet in diesem Zusammenhang das Einbringen von Fremdatomen bei dem Herstellungsprozess in eine Schicht des hochreinen Halbleitermaterials, um die Kristallstruktur zu verändern. Bipolartransistoren sind grundsätzlich immer selbstsperrend, d. h. ohne die Ansteuerung mittels eines kleinen Stromes durch die Basis-Emitter-Strecke sperrt der Transistor den Stromfluss auf der Kollektor-Emitter-Strecke vollständig.

Am 23. Dezember 1947 präsentierten John Bardeen und Walter Brattain ihrem Kollegen William Shockley in den Bell Laboratories von AT&T den ersten Bipolartransistor, eine Bauform, die bis in die späten 1960er Jahre dominierte. Dieser konnte elektrische Signale verstärken, ohne empfindliche und stromfressende Vakuumröhren. Der Grundstein für einen der größten technologischen Umbrüche der Menschheitsgeschichte war gelegt.

Für die Recherche weiterer Typen von Transistoren siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Transistor#Bipolartransistor>

2.a) Welche Verfahren zur Glättung von Oberflächen kennen Sie?

Holz: Hobeln, Schleifen

Metall: Schleifen, Sandstrahlen, Polieren

2.b) Warum müssen Wafer zur Produktion von Computerchips „nanoglat“ sein?  
Wie kann man das erreichen?

Computerchips werden aus hochreinen Silizium-Einkristallen hergestellt. Diese sogenannten Wafer entstehen durch Zersägen eines sehr reinen, zylindrischen Siliziumkristalls mit einer Bandsäge. Damit auf dem Wafer die winzigen und hoch präzisen Leiterbahnen der integrierten Schaltkreise aufgebracht werden können, ist ein sehr glattes „Fundament“ erforderlich. Deshalb wird der Wafer mit dem Verfahren der chemisch-mechanischen Glättung gleich mehrfach poliert. Das dabei verwendete Schleifmittel muss sehr fein sein und darf keine Kratzer erzeugen. Deswegen enthält es Nanopartikel aus Ceroxid.

3.) Was verbirgt sich hinter dem Begriff AMOLED? Recherchieren Sie im Internet zu den Grundlagen und der Bedeutung dieser Technologie für moderne Displays!

Der Begriff AMOLED ist eine Abkürzung, bei der das "AM" für "Active Matrix" steht und das "OLED" für "Organic Light Emitting Diode". Es handelt sich also um eine Aktiv-Matrix aus organischen Leuchtdioden.

In AMOLED-Displays (und ganz allgemein von OLED-Displays) stellt jeder Pixel beziehungsweise jede Diode eine eigenständige Lichtquelle dar, die sich einzeln an- und ausschalten lässt. Die Steuerung der einzelnen Pixel erfolgt über eine schachbrettförmig angeordnete Aktiv-Matrix. Dies geschieht durch einen elektrischen Impuls, der die Leuchtdioden aktiviert. Jeder Pixel setzt sich aus einem grünen, einem blauen und einem roten Subpixel zusammen. Die wahrgenommene Farbe ergibt sich aus den jeweils aktivierten Subpixeln. Soll ein Pixel die Farbe Schwarz darstellen, bleiben sämtliche Subpixel ausgeschaltet.

AMOLEDs sind selbstleuchtend. Das heißt, bei elektrischer Aktivierung erzeugen die Dioden von selbst Licht. Auf diese Weise wird keine zusätzliche Hintergrundbeleuchtung benötigt, was die Herstellung sehr dünner AMOLED-Bildschirme ermöglicht.

4.) Recherchieren Sie im Internet die Bedeutung des Begriffes „Moore’s Law“! In welchem Zusammenhang steht er zur Nanotechnologie?

Unter Komplexität verstand Gordon Moore, der das Gesetz 1965 formulierte, die Anzahl der Schaltkreiskomponenten auf einem integrierten Schaltkreis. Gelegentlich ist auch von einer Verdoppelung der Integrationsdichte die Rede, also der Anzahl an Transistoren pro Flächeneinheit. Diese technische Entwicklung bildet eine wesentliche Grundlage der „digitalen Revolution“.

Bezogen auf die Entwicklung der Nanotechnologie bedeutet das, dass sich die Zahl der Anwendungsfelder für Nanotechnologie analog in bestimmten Zeitabständen verdoppeln wird. Für die Zukunft sagt der Verband der Chemischen Industrie voraus, dass 80 Prozent aller Nanotechnologie-Anwendungen im Bereich der Energieversorgung und -nutzung, beim Klimaschutz und in der Ressourcenschonung liegen werden.

## ARBEITSBLATT 8 (Teil 1)

Sekundarstufe I und II

### Kapitel 8 – SICHERHEIT:

#### VORAUSSCHAUEND UND VERANTWORTUNGSVOLL HANDELN

- 1.) Diskutieren Sie in der Klasse über zentrale Fragen in der nanotechnologischen Risikoforschung. Teilen Sie sich dabei in zwei Gruppen auf und nehmen Sie jeweils die Position der Befürworter und die der Kritiker ein! Erstellen Sie im Vorfeld eine Liste Ihrer Argumente um über möglichst viele Wirkungen (z. B. biologische Wirkung) von synthetischen Nanoteilchen diskutieren zu können.

Ausgehend von einer Aufstellung verschiedene Anwendungsgebiete sollten mögliche Pro- und Contra-Argumente diskutiert werden.

Beispiele von Anwendungsgebieten:

Medizin, Diagnostik und Therapie	Photokatalyse, Lichttechnik, Elektronik Batterien
Kosmetik und Sonnenschutz	Thermische Kraftwerke
Umwelt und Verpackungen	Brennstoff- und Solarzellen
Bakterizide Textilien	Automobil, Leichtbau, Korrosionsschutz
Abwasserreinigung und Energie	Chemie und Bauindustrie

Diskussionsaspekte für eine pro- und contra-Argumentation wären

- Aufnahmewege in Organismen
- Verteilung, Verweildauer und Ausscheidung
- Biologische/toxikologische Wirkungen (z. B. Entzündungsreaktionen, Allergien)
- Entwicklung von Testsystemen für Nanomaterialien
- Standardisierung der Testsubstanzen
- Etablierung von Messverfahren am Arbeitsplatz
- Geeignete Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer (z. B. Luftfilter)
- Kontinuierliche Weiterentwicklung von Handlungsempfehlungen für den sicheren Umgang mit Nanomaterialien

Pro	Contra

## ARBEITSBLATT 8 (Teil 2)

## Sekundarstufe I und II

### Kapitel 8 – SICHERHEIT:

#### VORAUSSCHAUEND UND VERANTWORTUNGSVOLL HANDELN

- 2.) Bei welchen natürlichen und technischen Prozessen entstehen Nanoteilchen?

Nanopartikel können auf natürlichem Wege (etwa Vulkanausbruch oder Waldbrand) entstehen, aber auch aus anthropogenen (vom Menschen verursachten) Quellen, wie Kfz- und Industrieabgase, in die Umwelt gelangen oder auch gezielt synthetisch hergestellt werden.

Einige Lebensmittelzusatzstoffe, die auch in nanoskaliger Form vorliegen können, werden bereits seit langem eingesetzt. Siliziumdioxid (E551) und Magnesiumoxid (E530) sind beispielsweise als Lebensmittelzusatzstoffe getestet und zugelassen. Bei der Herstellung entstehen Partikel in der Größe von ca. 5 - 50 nm.

- 3.) Warum ist es wichtig, frühzeitig die Auswirkungen von Nanoteilchen auf Mensch und Umwelt zu untersuchen?

Jede junge Technologie weist neben vielen Vorteilen auch eine Reihe von Nachteilen auf, die Beachtung finden müssen. Zu den möglichen Nachteilen zählen Gefahren in Bezug auf die Sicherheit, die Umwelt und die Gesundheit. Da Nanoteilchen so winzig sind, könnten sie eingeatmet werden. Dadurch ist es möglich, dass sie in den Blutkreislauf gelangen und von dort aus möglicherweise in jede Körperzelle eindringen können. Der mögliche Schaden ist bislang unklar. Daher fordern viele Verbände schon lange die Pflicht einer Kennzeichnung von Nanoprodukten. Bei den Vorteilen in Bezug auf die Kleidung ergab sich, dass Bakterien abgewehrt werden könnten. Ein möglicher Nachteil jedoch wäre, dass der mangelnde Kontakt dazu führt, dass der Mensch auf Keime umso sensibler reagieren wird. Bakterien könnten resistent werden, was wiederum zu einer Nutzlosigkeit im medizinischen Bereich führen würde. Ein weiterer fraglicher Punkt ist das Silber aus Nanoprodukten, welches über Abwässer in die Umwelt gelangt. Das giftige Schwermetall könnte die natürlichen Kreisläufe enorm stören und beeinträchtigen.

- 4.) Nennen Sie drei Ihnen bekannte Forschungsprojekte im Bereich Nanosicherheit!

Zum Beispiel:

- NanoCare,
- NanoNature,
- NanoSafe,
- NanoDerm
- NanoReg
- nanoSicherheit

## ARBEITSBLATT 9

### Sekundarstufe I und II

#### Kapitel 9 – ZUKUNFT: WINZLINGE AUF WACHSTUMSKURS

- 1.) Diskutieren Sie in der Klasse: Welche wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Vorteile bringt der Einsatz von Nanomaterialien mit sich?

#### Beispiele:

Wirtschaftliche Vorteile	Gesellschaftliche Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmutz-, wasser- und ölabweisend</li> <li>• Hohe Temperaturbeständigkeit</li> <li>• Dauerhafte Veredelung, erhöhte Werterhaltung</li> <li>• Optik von Oberflächen wird nicht beeinträchtigt</li> <li>• Witterungsschäden werden reduziert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hygieneschutz</li> <li>• Lebensmittelechtheit</li> <li>• Bakteriostatische und bakterizide Wirkung</li> <li>• Einsatz in der Medizin (gezielte Tumorbehandlung, Nanotransportsysteme, Oberflächenveredelung von Transplantationsorganen)</li> <li>• Energieersparnis</li> </ul>

- 2.) Welche Indikatoren zeigen die Leistungsfähigkeit eines Landes in der Nanotechnik an?

Ein guter Indikator ist die Zunahme der Anwendungsfelder von Nanotechnologie, wie sie in der Veranstaltungsreihe *Dialog Nanotechnologie 2023* erkennbar wird.\*

Indikator	Anwendungen
Analytik / Messtechnik / Sensorik	19
Automotive	17
Energie und Umwelt	19
Hoch- und Tiefbau	7
Informations- und Kommunikationstechnik	10
Maschinenbau	16
Materialien	18
Medizin	13
Prozesstechnologie	13

\*(<https://www.nanoingermany.de/de/dialog-nanotechnologie>)

- 3.) Beschreiben Sie zwei Branchenfelder, in denen Umsatzsteigerungen durch Nanomaterialien erzielt werden!

Branche	Innovation
Energie- und Umwelttechnik	Nanomaterialschichten auf Verglasungen für Photovoltaikanlagen steigern die Energieausbeute in Solarzellen Akkumulatoren-Technik
Automobil- und Bauindustrie	Betonzusätze für schnelleres und gezielteres Aushärten Aerogele: Nanoporen für exzellente Wärmedämmung
Medizintechnik oder der Optik,	Nanobeschichtungen erhöhen die Sicherheit bei Transplantationen
Lacke und Farben	Neue Nano-Lacke und -Farben sichern Haftfähigkeit und Umweltresistenz durch umweltschonende Anwendungen