

Tod durch Graphenoxid-Nanopartikel

28. August 2022 | Dr. Douglas Gabriel

Dieser Artikel geht auf einige der folgenden Fragen ein:

- Steckt ein teuflischer Plan hinter den superparamagnetischen Graphen/Eisenoxid-Nanopartikeln, die in den Blutbahnen von Menschen gefunden werden, die den Covid-Impfstoff erhalten haben oder am plötzlichen Kindstod gestorben sind?
- Könnte es sich bei der Superpermeation von Substanzen aus der Graphenfamilie in Lebensmitteln, Getränken, Wasser, Impfstoffen, Medikamenten, Kosmetika, Verpackungen und Arzneimitteln um eine geplante Verschwörung gegen die menschliche Gesundheit handeln?
- Werden im menschlichen Körper „Schaltkreise“ aus Graphenoxid geschaffen, um die vielen Nanopartikelmetalle zu kontrollieren, die den Menschen durch Impfstoffe und die Aufnahme von Lebensmitteln injiziert werden?
- Kann Graphenoxid „vorprogrammiert“ werden, bevor es in Injektionen, Lebensmittel und die Umwelt eingebracht wird?
- Ist der transhumanistische Plan der „aggressiven Fernsteuerung aller Dinge“ (Internet der Dinge, Internet der Körper) durch neue wissenschaftliche „verrückte“ Experimente an Menschen unter Verwendung der Nanomaterialien der Graphen-Familie tatsächlich möglich?

Was ist die Ursache für die tödlichen Blutgerinnsel?

Überall auf der Welt nehmen Ärzte den Covid-Impfstoff sowie menschliches Blut von geimpften Personen unter die Lupe und entdecken die erstaunlichsten und ekelerregendsten Ergebnisse, die beweisen, dass die Pharmaunternehmen die Impfstoffe mit Nanometallen, Graphen- und Eisenoxid-Nanostrukturen und vielen anderen Substanzen „unbekannter“ Herkunft versetzen. Diese Substanzen reichern sich in den Blutgefäßen an, da sie sich selbst organisieren und mit den magnetischen und elektrisch leitenden Materialien, die in den Impfstoffen enthalten sind, selbst replizieren. Das vorprogrammierte Graphenoxid baut nicht identifizierbare Strukturen in Blutgefäßen und Gewebe auf, die den Blutfluss blockieren und so Schlaganfälle und Herzinfarkte verursachen. Diese „Strukturen“ wurden ebenfalls analysiert und es wurde festgestellt, dass sie dieselben Stoffe enthalten.

Graphenoxid-„Quantenpunkte“, auch „böser Staub“ genannt, überwinden die Blut-Hirn-Schranke und lagern giftiges Graphenoxid im Mittelhirn ab, was zu Alzheimer- und Parkinson-ähnlichen Symptomen führt – auch spongiforme Enzephalitis genannt. Graphenoxid-Flocken, -Blätter, -Gewebe und 3D-Strukturen bilden Blutgerinnsel, die zu Gefäßverstopfungen und Herzproblemen führen, die wiederum den „Impftod“ verursachen, der heute als *Plötzlicher Erwachsenentod-Syndrom* bezeichnet wird. Viele dieser neuen Krankheiten und Symptome werden durch Graphenoxid-Substanzen verursacht oder verschlimmert, die unerwünschte und unnatürliche Strukturen im menschlichen Körper aufbauen, die fremde, vom Menschen geschaffene Substanzen sind und

Toxizität, Schaden und Tod verursachen. Graphenoxid organisiert Nanometalle in Schaltkreisen, die zu Sensoren, Aktivatoren, Antennen, Sendern, magnetischen Auslösern, bioelektrischen Geräten und Mechanismen für diagnostisches Feedback in der Magnetresonanztomographie werden. Ein Arzt kann diese Schaltkreise mit externen Geräten ablesen.

Big Pharma: ein Entvölkerungssyndikat reicher Eliten

Leider gerieten diese verrückten wissenschaftlichen und unmoralischen Forschungsprojekte während der gefälschten Pandemie außer Kontrolle, als alle Sicherheitsprotokolle ignoriert wurden. Die Menschen sind nun die Laborratten für den Impfstoff-Funktionsgewinn der Biowaffenexperimente, ohne Rücksicht auf unerwünschte Impfstoffreaktionen. Die größere Frage ist natürlich: Warum haben die CDC, die NIH, die WHO, der Kongress, die Gerichte und der Präsident diese Verbrechen gegen die Menschheit gebilligt? Traurigerweise ist die Antwort, dass dies die Standardarbeitsanweisung für Big Pharma ist. In Wirklichkeit ist Pharma keine Gesundheitsindustrie, sondern eine, die Krankheit und Tod fördert – ein pharmazeutisches Tötungsfeld zur Entvölkerung.

Es ist leicht zu verstehen, warum so viele Menschen glauben, dass Big Pharma ein Entvölkerungssyndikat reicher Eliten ist, die die Erdbevölkerung um Milliarden von Menschen verringern wollen – und zwar so schnell wie möglich, unbemerkt und völlig ungestraft. Leider scheint es keine andere Antwort zu geben als die Tatsache, dass dies alles eine geplante Eugenik-Politik von transnationalen pharmazeutischen (Impfstoff-) Syndikaten ist, die mit Big Pharma, der WHO, der CDC, den NIH und vielen anderen Behörden und Organisationen zusammenarbeiten.

Sehen wir uns zunächst den Beweis an, dass sich dieses schädliche Gift im Körper geimpfter Menschen befindet, und zwar mittels mikroskopischer Untersuchung. Es ist wichtig, sich daran zu erinnern, dass die meisten Covid-Impfungen diese Graphen/Eisenoxid-„Adjuvantien“ enthalten, insbesondere Kinderimpfstoffe seit 2008, Grippeimpfungen, Gürtelrose- und Lungenentzündungsimpfungen sowie viele medizinische Behandlungen und Verfahren.

Hunderte von Ärzten auf der ganzen Welt untersuchen jetzt die Covid-Impfstoffe und menschliche Blutproben unter dem Mikroskop und finden Ergebnisse, die wie aus einem schrecklichen Science-Fiction-Film zu stammen scheinen.

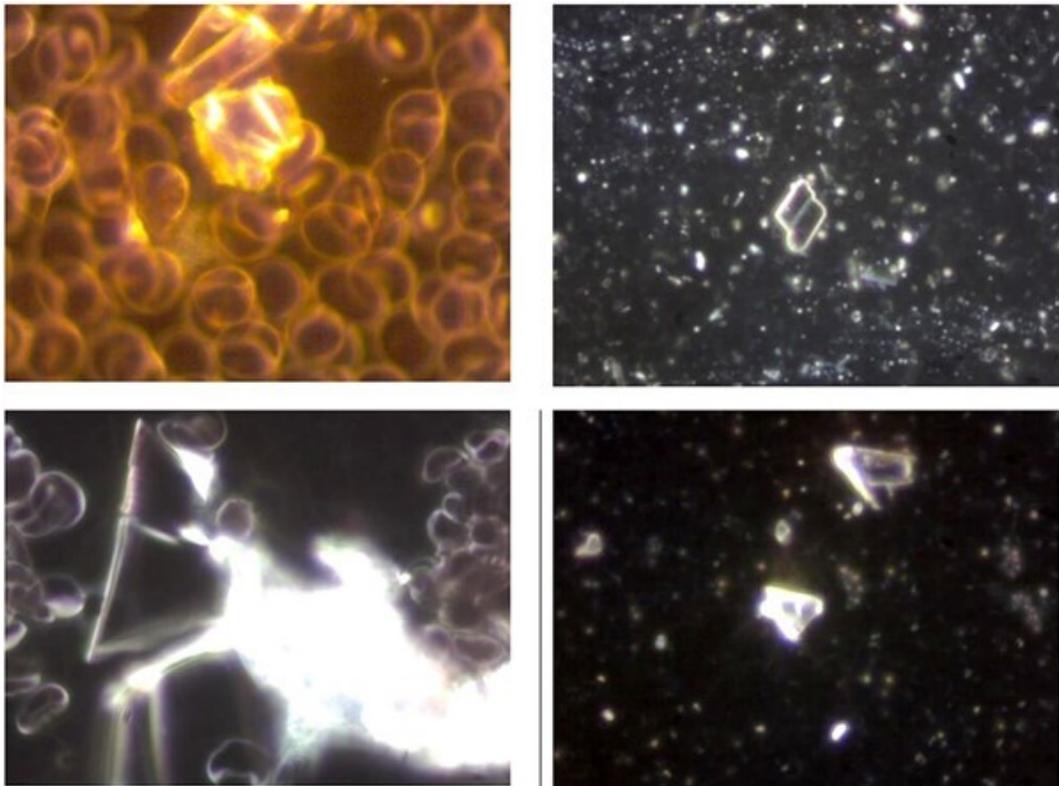
Aus einem Artikel von *The Defender* vom 25. August 2022 mit dem Titel „Toxische, metallische Verbindungen in allen COVID-Impfstoffproben gefunden – eine Analyse von deutschen Wissenschaftlern“, von *The Epoch Times*, Enrico Trigoso:

Eine Gruppe unabhängiger deutscher Wissenschaftler hat in allen COVID-19-Impfstoffproben, die sie unter Verwendung moderner medizinischer und physikalischer Messtechniken analysiert haben, „ausnahmslos“ toxische – meist metallische – Bestandteile gefunden. Die Arbeitsgruppe für Covid-Impfstoff-Analyse sagt, dass einige der toxischen Elemente, die in den Impfstoff-Fläschchen von AstraZeneca, Pfizer und Moderna gefunden wurden, nicht in den Inhaltsstofflisten der Hersteller aufgeführt waren. Die folgenden Metallelemente wurden in den Impfstoffen gefunden:

- Alkalimetalle: Cäsium (Cs), Kalium (K)
- Erdalkalimetalle: Calcium (Ca), Barium (Ba)
- Übergangsmetalle: Kobalt (Co), Eisen (Fe), Chrom (Cr), Titan (Ti)
- Seltene Erden Metalle: Cer (Ce), Gadolinium (Gd)

- Bergbaugruppe/Metall: Aluminium (Al)
- Kohlenstoffgruppe: Silizium (Si)
- Sauerstoffgruppe: Schwefel (S)

„Wir haben festgestellt, dass die COVID-19-Impfstoffe neben Verunreinigungen auch Substanzen enthalten, deren Zweck wir nicht bestimmen können“, heißt es in der Studie.



Vergleich von Kristallen im Blut und im Impfstoff; links werden kristalline Formationen im Blut von mit Comirnaty (BioNTech/Pfizer) geimpften Probanden gefunden, die Bilder rechts zeigen, dass diese Art von Kristallen auch in Comirnaty-Impfstoffen vorkommt.

In einem Artikel von *The Expose* mit dem Titel: „Nachwirkungen der Covid-Injektion: Studie zeigt, dass 94 Prozent der ‚Impfstoff‘-Empfänger Blutgerinnselbildung und Fremdkörper aufweisen“ von Rhonda Wilson, stellt die Autorin am 24.8.2022 fest:

„Eine italienische Studie, die vor zwei Wochen im *International Journal of Vaccine Theory, Practice, and Research* veröffentlicht wurde, ergab, dass fast jeder, der geimpft wurde, nach der Covid-Impfung Anomalien aufwies. In 94 Prozent des Blutes der Geimpften fanden sich eine Verklumpung der roten Blutkörperchen und das Vorhandensein von Partikeln unterschiedlicher Form und Größe. Die Studie begann im März 2021. Mit Hilfe der Dunkelfeldmikroskopie analysierten die Forscher Blutproben von 1006 Personen, die wegen verschiedener Erkrankungen an das *Giovannini Biodiagnostic Centre* überwiesen wurden, nachdem sie mit mRNA-Impfstoffen von Pfizer, BioNTech oder Moderna geimpft worden waren.“

In der Studie stellten die Autoren fest, dass die Impfstoffe zumindest das Spike-Protein von SARS-CoV-2 enthalten sollen, aber auch Fremdpartikel enthalten können. „Zu diesen Fremdbestandteilen gehören auch metallische Objekte, wie Lee et al. (2022) in dieser Zeitschrift bereits gezeigt haben und wie unsere Ergebnisse bestätigen. Von den 1006 analysierten Fällen zeigten nur 58 – das entspricht 5,77 Prozent der Gesamtzahl – bei der mikroskopischen Analyse nach der letzten mRNA-Injektion mit dem Impfstoff von Moderna oder Pfizer ein völlig normales hämatologisches Bild. Das Blut von 948 Geimpften – 94 Prozent der Studienteilnehmer – wies einen Monat nach der mRNA-Injektion eine Aggregation der roten Blutkörperchen und das Vorhandensein von Partikeln unterschiedlicher Form und Größe unklarer Herkunft auf.

Blutgerinnsel, die von Leichenbestattern gefunden wurden, sind in die ganze Welt geschickt worden, um von unabhängigen Teams untersucht zu werden. Das Einzige, was sicher ist, ist, dass irgendetwas die injizierten Metalle aufnimmt und sie im ganzen Körper zu „Killergerinnseln“ aufbaut. Diese Gerinnsel haben Substanzen und Strukturen in sich, die nicht identifizierbar sind und von niemandem erklärt werden können. Aber sie sind offensichtlich dazu bestimmt, den Wirtskörper, der die Injektionen erhält, zu töten.

Tödliches Graphenoxid

Graphenoxid-Flocken organisieren sich selbst, bewegen sich aufeinander zu und bilden Schichten wie ein unabhängiger Roboter. Deshalb werden sie in Hydrogelen für die langsame Freisetzung von Medikamenten in einem Pflaster verwendet, einem Pflaster, das erkennen kann, was die Graphenoxid-Empfänger über die chemische Funktion der Leber, der Bauchspeicheldrüse oder der meisten anderen erkrankten Bereiche aussagen. Ein Arzt kann auch ein mit Graphenoxid „befallenes“ Organ auslesen und dann elektrische oder magnetische Befehle geben, damit ein Hydrogel eine bestimmte Menge an Medikamenten freisetzt. Graphenoxid kann Wunder bewirken, weil es monoatomar ist – ein Atom dick, entweder als „Punkt“, Flocke, Blatt, Röhre, Netz oder Buckyball/Fulleren.

Graphen ist Kohlenstoff, und Kohlenstoff ist die Quelle für organische Prozesse, weil er scheinbar amorph ist, wie Siliziumdioxid in der anorganischen Welt. In Form von GO-Folien verbindet sich GO in Länge und Breite in alle Richtungen (Supraleitung), und die Wissenschaftler sagen, es sei 2D – was es nicht ist. Trotzdem ist eine GO-Schicht transparent, elektrisch leitfähig, 100-mal stärker als Stahl, selbstorganisierend und selbstreplizierend, wenn bestimmte elektromagnetische und Magnetfelder vorhanden sind. Graphenoxid kann das Gerüst für so ziemlich alles sein, ob organisch oder anorganisch.

Graphenoxid in Form von Nanoröhrchen hat eine teuflische Industrie der Nanotechnologie hervorgebracht, die weitaus bösartiger ist, als den meisten Menschen bewusst ist, und die dennoch die meisten Aspekte ihres Lebens durch unzählige Anwendungsfälle berührt, bei denen es sich nicht nur um medizinische Anwendungen handelt. Graphenoxid und Eisenoxid (beide superparamagnetisch) sind überall zu finden, besonders aber in Impfstoffen, Medikamenten und Lebensmitteln. Sie sollen die Verabreichung von Impfstoffen kontrollieren und steuern, sind aber auch dafür bekannt, dass sie ein gängiges Adjuvans sind, eine Substanz, die als „fremd“ (xenobiotisch/menschlich) angesehen wird und eine Immunreaktion hervorruft, weil sie als Antigen oder Krankheitserreger angesehen wird, der dem Körper schaden will. Graphenoxid gilt schon in kleinsten Mengen als giftig (zytotoxisch) und reichert sich im Körper an. Dennoch wird es überall eingesetzt, auch in den mit

Lipiden beschichteten Nanoröhren, die Impfstoffe und andere Arzneimittel liefern. Außerdem ist es mutagen, d. h. es verursacht DNA-Schäden und fortgesetzte Mutationen, wie dies auch bei mRNA-Impfstoffen kürzlich nachgewiesen wurde.

Graphenoxid in Form von Nanonetzen kann Punkte, Flocken, Röhren und Platten zu animierten Nanonetzen kombinieren, die sich selbst organisieren, selbst replizieren und den Aufbau von gewebeähnlichem Material im Kreislaufsystem steuern, sowie zu Nanokreisen, die auf bestimmte Organe (Gehirn, Herz, Eierstöcke, Hoden, Leber usw.) ausgerichtet sind und die Nutzlast innerhalb der Nanoröhre zum Zielorgan tragen. All diese Dinge geschehen bereits, es handelt sich nicht um wissenschaftliche Vorhersagen, sondern um wissenschaftliche Tatsachen. Diese Arten von unmenschlichen, mechanischen, lebensfeindlichen Systemen werden bereits jetzt eingesetzt, genehmigt von der FDA, CDC, NIH, WHO, AMA usw., um Krebszellen in einer Vielzahl von Organen gezielt anzugreifen. Ärzte können große Mengen an Graphenoxid injizieren und mit einem Magneten zu einem bestimmten Organ bewegen, ein Hydrogel injizieren und die Freisetzung weiterer Nanoröhrchen aus dem Hydrogel mit einer Telefon-App steuern, um Telemedizin zu betreiben.

Diese GO-Nanotechnologien führen in Verbindung mit mRNA zum tödlichsten Völkermord in der Geschichte der Menschheit, denn wir haben bisher nur die ersten Ergebnisse gesehen. Einigen Schätzungen zufolge sind über zwölf Millionen Menschen in direktem Zusammenhang mit der aktuellen Impfung gestorben. Ungezählte andere haben schreckliche Nebenwirkungen. Dabei sind die Millionen von Menschen noch gar nicht berücksichtigt, die durch dieselben Todesimpfungen gestorben sind, die kontinuierlich gegen Grippe, Lungenentzündung, Gürtelrose oder verabreicht werden, dazu gehören auch die Standard-Kinderimpfungen. Zu dem durch Impfungen ausgelösten Plötzlichen Kindstod kommt nun das Syndrom des Plötzlichen Erwachsenentod hinzu, und die Gesundheitsbehörden sehen aktiv weg, während Hunderte von Sportlern vor den Augen der Zuschauer auf dem Spielfeld tot umfallen. Und trotzdem wurde der Impfstoff nicht vom Markt genommen und die Schuldigen nicht strafrechtlich verfolgt.

Graphenoxid in Form von Fullerenen (sphärische Kohlenstoffmoleküle) wird noch wenig genutzt. Es handelt sich um eine künstlich hergestellte 3D-Struktur, die aus GO-Blättern gefaltet wird und auch andere geometrische 3D-Körper bilden kann. Dies ist etwas völlig anderes als C-60, eine natürlich vorkommende Substanz, von der man annimmt, dass sie aus Meteoriten stammt. Das in der Natur vorkommende C-60 (Fullerene), das in dem seltenen Mineraloid Schungit vorkommt, hat nichts mit den in Labors hergestellten GO-Molekülen zu tun. Wissenschaftler glauben, dass Fullerene (C-60) aus dem Weltraum stammen und eine hoch entwickelte Form von Kohlenstoff sind, die kosmischer Hitze ausgesetzt war. Es gibt auch C-70, C-80 und andere Kohlenstoffverbindungen, die im Weltraum gefunden wurden und bei denen der Kohlenstoff enormer Hitze ausgesetzt war, was eine Möglichkeit ist, Graphenoxid zu erzeugen – verbrennen Sie ein Steak auf Ihrem Grill und Sie haben einfaches Graphenoxid.

Sub-Natur statt Höherentwicklung

Es ist ziemlich wahrscheinlich, dass sich mit der Entwicklung der menschlichen Intelligenz auch der Kohlenstoff in seinen vielen organischen Formen durch einen natürlichen Prozess der Metamorphose entwickelt. Wir verdanken unser Leben dem Kohlenstoff, und wenn in unserem Sonnen-

system und im Kosmos bereits perfektere Formen des Kohlenstoffs existieren, dann können wir den Kohlenstoff natürlich in höhere Formen und Funktionen verwandeln.

Leider haben unsere Voodoo-Hexendoktor-Wahnsinns-Wissenschaftler keine dieser Ideen in Betracht gezogen, da sie sich aktiv in eine „Graphen-Welt“ aus ein-, zwei- und dreidimensionalen, von Menschen geschaffenen Monstrositäten entwickeln, indem sie eine Frankenstein-Mutation (mRNA ist mutagen) in das neue Graphenoxid, den genetisch veränderten Menschen, injizieren, eine neue Spezies, die aus der 3D-Welt in die 2D-Graphen-Welt gefallen ist.

Der Mensch kann zu einer objektiven Sicht der Zeit gelangen und eine Welt der geistigen Ausdauer (4D) anstelle der Illusion der linearen Zeit (3D) betreten. Die moderne materialistische Wissenschaft hat sich zu zweidimensionalen Nanonetzen entwickelt, die menschliche neuronale Netze mit 2D-Nanoblättern nachahmen, die mit ihrem 1D-Nano-Graphenstaub „falsches“ menschliches Gewebe aufbauen, das dazu bestimmt ist, Menschen zu töten, was letztendlich zum 0D-Tod führt. Dies ist eindeutig die geplante Eliminierung aller, die das Geheimnis nicht kennen: „Nimm keine Injektionen irgendeiner Art“.

Die Graphen-Welt ist eine Welt der Unternatur, ein Schritt zurück in unmoralische Tier-, Pflanzen- und Mineralreiche, kein Schritt vorwärts in höhere Formen von Kohlenstoff in der Super-Natur, die Teil des menschlichen Aufstiegs sind. Graphenoxid ist ein von Menschenhand geschaffenes Unter-Element, das nur in die Dunkelheit und den entsetzlichen medizinischen Völkermord führen kann, den wir um uns herum in allen Bereichen der Medizin erleben. Jede Person, die an der Erforschung von tödlichen Viren und Impfstoffen beteiligt ist, ist ein Feind der Menschheit. Die Verwendung von GO zur Verabreichung von Impfstoffen ist teuflisch, und wenn man dann noch mRNA hinzufügt, hat man eine wirklich böse Gruppe von Mördern.

Diese Art von Experimenten an „uninformierten“ Menschen schafft eine neue Spezies kranker und sterbender Menschen und ein elitäres pharmazeutisches Syndikat, das offen für die Entvölkerung durch Injektionen, giftige Lebensmittel, giftige Chemtrail-Luft, eine krankmachende medizinische Industrie, wirtschaftliche Sklaverei, psychologische unterschwellige Programmierung und die Massenhypnose der Medienpropaganda eintritt, die der Welt eine gefälschte Pandemie verkauft – die Angst vor Virus X. Virus X, die prophezeite Pandemie riesigen Ausmaßes, ist in den synthetischen Virus eingearbeitet, der in einem P-4-Biowaffenlabor hergestellt und an alle anderen sicheren P-4-Biolabore in der ganzen Welt verteilt wurde.

Diese biologische Massenvernichtungswaffe wurde mit finanzieller Unterstützung von Dr. Anthony Fauci und den National Institutes of Health, dem CDC und der Weltgesundheitsorganisation der Vereinten Nationen entwickelt. Die Vereinten Nationen sind ein klarer anti-amerikanischer Kriegsakteur, der die verfassungsmäßigen Freiheiten der USA durch pharmazeutischen Terrorismus mit einer gefälschten Pandemie übernommen hat, die mit Lügen und schlechten Protokollen unterstützt wurde und Millionen von Menschen getötet hat. Dies wurde durch die Verabschiedung von Gesetzen durch den Kongress ermöglicht, die dies zuließen: Der *All Hazards and Pandemic Act* (Gesetz über alle Gefahren und Pandemien) von 2019.

Eisenoxid als Impfstoffadjuvans ist seit 2008 in den meisten Kinderimpfstoffen enthalten. Graphenoxid ist überall in der Umwelt vorhanden und dennoch giftig, wie in jeder Studie über seine Toxizität nachgewiesen wurde. Und dennoch treibt die medizinische Industrie die Entwicklung voran,

ohne über den Schaden nachzudenken, der den Menschen zugefügt wird. Diese Big-Pharma-Ärzte und Drogenhändler sind Individuen, die sich in unmoralische Tiere verwandelt haben, die jetzt sogar unter dem liegen, was ein Tier einem anderen Tier antun würde. Die dämonischen Kräfte, die an diesem globalen pharmazeutischen Dritten Weltkrieg beteiligt sind, sind ganz real und wollen alle Menschen in maschinell ausgestattete Cyborgs verwandeln, die per Knopfdruck „gestoppt“ oder „kontrolliert“ werden können, indem man transhumane ‚Feuchtwerte‘ im menschlichen Körper aktiviert. Dieser ruchlose Plan wurde von Richard C. Walker patentiert und nennt sich „Die aggressive Fernsteuerung von allem“, die nur durch einen AUS-Knopf in jedem Menschen, der mit Hilfe der Nano-Graphen-Technologie geschaffen wurde, vollständig verwirklicht werden kann.

Was ist Graphenoxid?

Graphenoxid (GO) ist eine einatomige Kohlenstoffschicht, bei der beide Oberflächen der Schicht durch sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen modifiziert sind, die in einem sich wiederholenden Muster von Sechsecken miteinander verbunden sind. Das Interesse an Graphen und seinen Derivaten [Graphenoxid (GO) und reduziertes GO (rGO)] ist aufgrund ihrer hervorragenden mechanischen, thermischen, elektrischen, optischen und chemischen Adsorptionseigenschaften enorm. In den letzten Jahren haben Materialien auf Graphenbasis viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen und wurden für viele praktische Anwendungen in verschiedenen Branchen genutzt. Jüngste Entwicklungen zur Graphen-Synthese aus Lebensmitteln, die Verwendung von Graphen für Lebensmittelanalysen und auf Graphen basierende Analysemethoden zum Nachweis (z. B. der Zusammensetzung, von Verunreinigungen, Toxinen und flüchtigen organischen Verbindungen) werden genutzt, um die Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln zu ermitteln. Es gibt auch antibakterielle Eigenschaften von Nanomaterialien auf Graphenbasis und ihre Anwendungen in Lebensmittelverpackungen.

Nanomaterialien der Graphen-Familie lösen lokale und systemische toxische Wirkungen aus, führen *in vitro* und *in vivo* zu Genotoxizität, verändern das Darm-Mikrobiom, verursachen Genmutationen und sind ungenießbar. Weitere Studien zur Toxikologie und Risikobewertung sind erforderlich, insbesondere bei der Verwendung in Lebensmitteln oder Injektionen jeglicher Art.

Es wurden verschiedene Anwendungen für Graphen-Nanomaterialien (GFN) in der Lebens- und Futtermittelkette vorgeschlagen. Es ist jedoch notwendig, eine Risikobewertung durchzuführen, bevor sie marktreif werden und eine Exposition der Verbraucher nachgewiesen wird. Zu diesem Zweck hat die EU-Behörde für Lebensmittelsicherheit einen Leitfaden veröffentlicht, der kürzlich aktualisiert wurde, um toxikologische Gefahren im Zusammenhang mit GFN nach oraler Exposition zu identifizieren und zu charakterisieren. GFN scheinen der gastrointestinalen Verdauung zu widerstehen und können nicht absorbiert, verteilt und ausgeschieden werden, was zu toxischen Wirkungen auf verschiedenen Ebenen, einschließlich Genotoxizität, führt. Auch die Dosis spielt eine wichtige Rolle, denn es wurde berichtet, dass niedrige Dosen toxischer sind als hohe Dosen, weil GFN dazu neigen, im Verdauungssystem zu aggregieren, was das interne Expositionsszenario verändert. Daher sind weitere Studien, einschließlich einer gründlichen toxikologischen Bewertung, erforderlich, um die Menschheit vor den noch unbekanntem Auswirkungen von GFN zu schützen.

Obwohl Graphenoxid – wie Graphen – ebenfalls ein zweidimensionales Material ist, unterscheiden sich seine Eigenschaften stark von denen des Graphens. Es absorbiert kein sichtbares Licht, hat im

Vergleich zu Graphen eine geringere elektrische Leitfähigkeit und weist eine deutlich höhere chemische Aktivität auf. Seine hohe Elektronenbeweglichkeit ist 100-mal schneller als die von Silizium; es leitet Wärme 2-mal besser als Diamant; seine elektrische Leitfähigkeit ist 13-mal besser als die von Kupfer; es absorbiert nur 2,3 Prozent des reflektierten Lichts; es ist undurchlässig, so dass selbst das kleinste Atom eine defektfreie einlagige Graphenschicht mit einer Dicke von etwa 0,33 Nanometern nicht durchdringen kann. In einer 1 mm dicken Graphitplatte befinden sich etwa 3 Millionen Graphenschichten. Härter als Diamant und elastischer als Gummi, härter als Stahl und leichter als Aluminium – Graphen ist das stärkste bekannte Material.

Einige der vielversprechendsten Anwendungen von Graphen werden in der Elektronik (als Transistoren und Verbindungselemente), in der Detektion (als Sensorelemente) und im Wärmemanagement gesehen. Die ersten Graphen-Feldeffekttransistoren (FETs) wurden bereits entwickelt und für analoge Nano-Kommunikation oder digitale Nano-Anwendungen eingesetzt.

Immer mehr Forschergruppen machen sich die programmierbaren Selbstorganisationseigenschaften von Nukleinsäuren zunutze, um rationell gestaltete Nanoformen, Nanomaschinen und nanoelektronische Geräte zu schaffen, die sich für viele verschiedene Anwendungen selbst zusammenbauen können. Zu diesen Geräten gehören Nano-Router, Nano-Antennen und Nano-Leiterplatten. Forscher im Bereich der medizinischen Nanotechnologie haben Nanobots entwickelt, eine populäre Bezeichnung für Moleküle mit einer einzigartigen Eigenschaft, die es ihnen ermöglicht, für die Ausführung einer bestimmten Aufgabe programmiert zu werden.

Wenn Graphenoxid in den Körper injiziert wird und mit biologischem Blut oder Gewebe in Kontakt kommt, nimmt das GO Wasserstoff auf und wird zu Graphenhydroxid. Die OH (Hydroxy)-Gruppen können dann ein Proton abspalten, was eine negative Ladung hinterlässt, die sich auf die gesamte Graphenschicht auswirkt und sie stark sauer und schädlich für rote Blutkörperchen macht. Außerdem ist es unglaublich scharf und wirkt wie eine Rasierklinge, die Blutgefäße, Gewebe und Organe durchschneidet. Selbstorganisierende GO-Röhren und -Blätter können Kapillaren und Arterien verstopfen, mit verheerenden Auswirkungen, wenn dies im Herzen und in der Lunge geschieht.

Im Körper verursacht Graphenoxid Thrombogenität, Blutgerinnung, postinflammatorisches Syndrom oder systemische oder Multiorganentzündungen, Veränderungen des Immunsystems, Zusammenbruch des Immunsystems, Zytokinstürme, Neurodegeneration und mutagene Wirkungen, die die DNA des Wirts verändern. Eingeatmetes Graphenoxid breitet sich gleichmäßig im gesamten Alveolartrakt aus und verursacht bilaterale Lungenentzündungen, Schleimhautentzündungen sowie Geschmacks- und Geruchsverluste. Die Toxizität von Graphenoxid im menschlichen Körper verhält sich wie SARS-CoV-2 und erzeugt die gleiche Symptomatik.

Graphen, Graphenoxid (GO), Kohlenstoff-Nanoröhren und alle Nanomaterialien aus der Graphenfamilie (GFN) sind in fast allen ihren Formen toxisch und verursachen Mutagenese (Krebs, Chromosomenveränderungen), Zelltod, Apoptose, Nekrose und die Freisetzung freier Radikale. Sie führen zu Immunsuppression, Schädigung des zentralen Nervensystems, des Kreislaufs, des endokrinen Systems, der Fortpflanzungsorgane und der Harnwege, was zum anaphylaktischen Tod führen kann, sowie zu Funktionsstörungen mehrerer Organe. Die Toxizität nimmt in der Lunge rasch zu und verursacht Zytokinstürme, die zu bilateraler Lungenentzündung, Genotoxizität und DNA-Schäden führen.

Mehrere typische Mechanismen, die der Toxizität von Graphenoxid-Nanomaterialien zugrunde liegen, wurden in zahlreichen Studien aufgedeckt, zum Beispiel physikalische Zerstörung, oxidativer Stress, DNA-Schäden, Entzündungsreaktion, Apoptose, Autophagie und Nekrose. Bei diesen Mechanismen sind Toll-like-Rezeptoren, transformierender Wachstumsfaktor-beta (TGF- β) und Tumor-Nekrose-Faktor-alpha (TNF- α) in das Netzwerk der Signalwege involviert, und oxidativer Stress spielt eine entscheidende Rolle. Viele Experimente haben gezeigt, dass Graphenoxid-Nanomaterialien in zahlreichen biologischen Anwendungen toxische Nebenwirkungen haben. Nach Angaben der US-amerikanischen FDA haben Graphen, Graphenoxid und reduziertes Graphenoxid sowohl in vitro als auch in vivo toxische Wirkungen. Nanomaterialien aus der Graphen-Familie (GFN) sind von der FDA der USA nicht für den menschlichen Verzehr zugelassen.

Graphenoxid wird in einer Vielzahl von nano-medizinischen Anwendungen eingesetzt, darunter Tissue Engineering (Gewebezucht), Krebsbehandlung, medizinische Bildgebung und Medikamentenabgabe. Seine physiochemischen Eigenschaften ermöglichen eine Struktur, die das Verhalten von Stammzellen reguliert und das Potenzial hat, bei der intrazellulären Verabreichung von DNA, Wachstumsfaktoren und synthetischen Proteinen zu helfen. Aufgrund seines einzigartigen Verhaltens in biologischen Umgebungen wird GO in Krebstherapien verwendet. Es wird auch in Impfstoffen und in der Immuntherapie eingesetzt, unter anderem als Adjuvans und Träger von biomedizinischen Materialien mit doppeltem Verwendungszweck. Im September 2020 meldeten Forscher des *Shanghai National Engineering Research Center for Nanotechnology* in China ein Patent für die Verwendung von Graphenoxid in einem rekombinanten Impfstoff an, der gegen SARS-CoV-2 entwickelt wird.

Die Eigenschaften von Graphen sind aus physikalischer, thermodynamischer, elektronischer, mechanischer und magnetischer Sicht außergewöhnlich. Aufgrund seiner Eigenschaften kann es als Supraleiter, kristallisierte Graphen-Nanoantenne und Graphen-Quantenpunkt-Nanorouter verwendet werden. Graphen ist ein Material, das elektromagnetische Wellen absorbiert, Signale sendet und empfängt und eine Antenne ist, die es ermöglicht, fortschrittliche Elektronik im Nano- und Mikromaßstab zu entwickeln. Graphen ist ein radio-modulierbares Nanomaterial. Das Graphenmolekül hat auch die Fähigkeit, in Abhängigkeit von der elektromagnetischen Umgebung und der Temperatur Elektronen in andere biologische Substanzen zu injizieren. Graphen wird bei Raumtemperatur und darüber aktiviert.

Graphen kann Strahlung vervielfachen, indem es als Nanoantenne oder als Signalverstärker, als Transistor, fungiert. Durch die Einwirkung von elektromagnetischer Strahlung kann das Material in kleinere Partikel, die so genannten Graphen-Quantenpunkte (GQD), zerfallen, deren Eigenschaften und physikalische Besonderheiten verbessert werden, da sie die elektromagnetischen Signale und damit die Strahlungsdistanz verstärken, insbesondere in Umgebungen wie dem menschlichen Körper. Graphen-Quantenpunkte können verschiedene Morphologien annehmen, z. B. sechseckig, dreieckig, kreisförmig, buckelig oder unregelmäßige Polygone und geometrische Körper.

Der Alptraum von Graphenoxid-Schaltkreisen in der menschlichen Nahrung ist ein tödliches Frankenstein-Monster. So lautet die Schlagzeile von Mark Wilson: Essbares Graphen ist da, und Elektronik in Ihrer Nahrung ist im Kommen. Marks Artikel hebt die von Jeff Fitlow von der Rice University durchgeführte Forschung hervor, die einen Laser verwendet, um essbare Schaltkreise in Lebensmittel zu schneiden. Die Forscher haben einen kommerziellen Laser erfolgreich eingesetzt,

um den Oberflächenkohlenstoff in Lebensmitteln – wie Toast, Kokosnussschalen, Kartoffeln und Pfadfinderkekse – in Graphen zu verwandeln. Ohne den Einsatz eines speziellen Vakuums oder Reinraums kann Graphen zu einem unglaublich dünnen, essbaren Schaltkreis geformt werden. Graphen kann Brennstoffzellen bei der Energiespeicherung, Funkgeräte bei der Datenübertragung, leuchtende Elemente beim Aufleuchten und alle möglichen Sensoren unterstützen und sogar ein vorprogrammiertes Stück Toastbrot liefern, das Ihren Körper steuern kann. Diese Graphen-Schaltkreise sehen aus wie eine dunkle, tintenfarbene Tätowierung, ein bisschen wie verbrannter Toast. Aber man darf nicht vergessen, dass Graphen ungenießbar, giftig und ein Nervengift ist.

Eisenoxid- und Graphen-Technologie

Eisenoxid-Nanostrukturen (IONs) in Kombination mit Graphen oder seinen Derivaten – z. B. Graphenoxid und reduziertes Graphenoxid – sind vielversprechend für die Entwicklung effizienter Nanokomposite zur Verbesserung der Leistung moderner Geräte in vielen Anwendungsbereichen. Aufgrund der besonderen elektrischen und elektrokatalytischen Eigenschaften, die Kompositstrukturen im Nanomaßstab aufweisen, wurden in den letzten Jahren verstärkt Anstrengungen unternommen, um die Eigenschaften von Nanokompositen auf der Basis von Ionen und Graphen für die Entwicklung effizienterer elektrochemischer Sensoren anzupassen.

Die einzigartigen Merkmale von IONs, z. B. starke magnetische Eigenschaften, geringe Toxizität, hohe Adsorptionsfähigkeit für die Immobilisierung gewünschter Biomoleküle und gute Biokompatibilität, zusammen mit den eleganten Eigenschaften dieses neuen Mitglieds der Kohlenstofffamilie, z. B. hohe elektrische/thermische Leitfähigkeit, große Oberfläche und elektrokatalytische Eigenschaften, haben viele Interessen geweckt, um Schwierigkeiten bei der Umsetzung neuer wissenschaftlicher Ideen zu überwinden oder die Leistung vieler aktueller Geräte und Methoden zu verbessern.

Die katalytische Aktivität von Graphen-IONs kann durch eine verbesserte elektronische Kommunikation, z. B. durch Ladungsübertragung zwischen Katalysator und Träger, verbessert werden. Darüber hinaus verleihen die Synergieeffekte von Graphenschichten und ION-Komponenten dem Nanokomposit neuartige physikalisch-chemische Eigenschaften und verbessern folglich die elektrochemische Leistung. Daher gelten Graphen-IONs-Nanokomposite als eines der vielversprechendsten Hybridmaterialien, die die Entwicklung effizienterer elektrochemischer Sensoren fördern können.

Hydrogel und Graphenoxid

Aufgrund ihrer gewebeähnlichen mechanischen Eigenschaften werden Hydrogele zunehmend für biomedizinische Anwendungen eingesetzt; ein bekanntes Beispiel sind weiche Kontaktlinsen. Diese gelartigen Polymere bestehen zu 90 Prozent aus Wasser, sind elastisch und besonders biokompatibel. Hydrogele, die auch elektrisch leitfähig sind, ermöglichen zusätzliche Anwendungsfelder, etwa bei der Übertragung elektrischer Signale im Körper oder als Sensoren. Graphen und Graphenderivate (z. B. Graphenoxid (GO), reduziertes Graphenoxid (rGO)) wurden in Hydrogele eingearbeitet, um die Eigenschaften (z. B. mechanische Festigkeit) herkömmlicher Hydrogele zu verbessern oder neue Funktionen (z. B. elektrische Leitfähigkeit und Medikamentenbeladung und -abgabe) zu entwickeln. Einzigartige molekulare Wechselwirkungen zwischen Graphen-Derivaten und verschie-

denen kleinen oder Makromolekülen ermöglichen die Herstellung verschiedener funktioneller Hydrogele, die für unterschiedliche biomedizinische Anwendungen geeignet sind. Zur Herstellung elektrisch leitfähiger Hydrogele werden herkömmliche Hydrogele in der Regel mit stromleitenden Nanomaterialien aus Metallen oder Kohlenstoff wie Gold-Nanodrähten, Graphen oder Kohlenstoff-Nanoröhrchen gemischt.

Forschung und Studien

Um den Wahrheitsgehalt und die Wirksamkeit der obigen Aussagen über die Materialien der Graphen-Familie zu demonstrieren, stellen wir im Folgenden eine Reihe von Forschungsprojekten vor, die den „Stand der Technik“ in Bezug auf die Erforschung von Graphen-Oxid in seinen vielen Formen zusammenfassen. Vieles von dem, was oben gesagt wurde, mag alarmistisch oder sogar wie ein wildes Science-Fiction-Märchen vom Transhumanismus geklungen haben, aber die nachstehenden Forschungsarbeiten zeigen, dass alle Experimente an Menschen mit Graphen-Substanzen schon seit vielen Jahren in großem Umfang durchgeführt werden. Die „Innovationen“ in der Nanopartikel-Forschung sind nicht „illegal“, sollten aber von jedem moralisch denkenden Wissenschaftler, Arzt oder vernünftigen Menschen auf jeden Fall „nicht erlaubt“ werden.

Um der Innovation willen ist die Menschheit jetzt eine kollektive Laborratte, an der moralisch bankrotte Mediziner experimentieren, die das Evangelium der transhumanen Manipulation der Bausteine der DNA, der menschlichen Organe, der Gewebebildung, der neurologischen Kontrolle durch Wetworks und des unmenschlichen mechanischen Denkens predigen, das die „Präzisionsmedizin“ und die Nanobiologie beherrscht. Im Grunde genommen sollte die Nanobiologie ein Oxymoron, ein Gegensatzpaar, sein und nicht die derzeitige medizinische, experimentelle Behandlung, der Impfstoff oder das tödliche medizinische Verfahren. Vom Menschen hergestelltes, giftiges Graphen gehört nicht in den menschlichen Körper. Nach der Lektüre dieser Studien werden Sie mit dem Autor darin übereinstimmen, dass die Verwendung von Graphenoxid sofort eingestellt werden muss und die Schuldigen für diese abscheulichen Verbrechen gegen die Menschheit vor Gericht gestellt werden müssen.

Graphen und Eisenoxid in Impfstoffen

Aus: ACS Publications, February 17, 2021, *In Situ Transforming RNA Nanovaccines from Polyethylenimine Functionalized Graphene Oxide Hydrogel for Durable Cancer Immunotherapy*, Yue Yin, Xiaoyang Li, Haixia Ma, Jie Zhang, Di Yu, Ruifang Zhao, Shengji Yu, Guangjun Nie, and Hai Wang

Zusammenfassung: Messenger-RNA (mRNA)-Impfstoffe sind vielversprechende Kandidaten für die Krebsimmuntherapie, da sie für tumorassoziierte Antigene kodieren können und ein ausgezeichnetes Sicherheitsprofil aufweisen. Leider sind die der RNA innewohnende Instabilität und die Translationseffizienz die größten Einschränkungen für RNA-Impfstoffe. Hier berichten wir über ein injizierbares Hydrogel aus Graphenoxid (GO) und Polyethylenimin, das nach subkutaner Injektion mindestens 30 Tage lang mRNA und mit Adjuvantien (R848) beladene Nanovakzine erzeugen kann. Die freigesetzten Nanovakzine können die mRNA vor dem Abbau schützen und eine gezielte Abgabe an die Lymphknoten ermöglichen. Die Daten zeigen, dass dieses transformierbare Hydrogel die Zahl der Antigen-spezifischen CD8⁺ T-Zellen deutlich erhöhen und anschließend das Tumor-

wachstum mit nur einer Behandlung hemmen kann. Gleichzeitig kann dieses Hydrogel einen antigenspezifischen Antikörper im Serum erzeugen, der wiederum das Auftreten von Metastasen verhindert. Insgesamt zeigen diese Ergebnisse das Potenzial des PEI-funktionalisierten transformierbaren GO-Hydrogels für eine wirksame Krebsimmuntherapie.

Die Food and Drug Administration (FDA) hat viele Arten von Eisenoxid-Nanopartikeln für den klinischen Einsatz zugelassen, z. B. zur Behandlung von Eisenmangel, als Kontrastmittel für die Magnetresonanztomographie (MRT) und als Plattform für die Verabreichung von Medikamenten. In einer Studie untersuchten die Forscher die kombinierte Verwendung von Eisenoxid-Nanopartikeln (superparamagnetische Fe₃O₄-Nanopartikel) als Plattform für die Verabreichung von Impfstoffen und als Immunpotenzierer und untersuchten, wie diese Formulierung die Zytokinexpression in Makrophagen und dendritischen Zellen (DCs) *in vitro* und das Tumorstadium *in vivo* beeinflusst. Ihre Eisenoxid-Nanopartikel förderten die Aktivierung von Immunzellen und die Zytokinproduktion in hohem Maße und lösten starke humorale und zelluläre Immunreaktionen aus. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass dieses auf Nanopartikeln basierende Verabreichungssystem über ein großes Potenzial verfügt, als Impfstoff gegen Viren eingesetzt zu werden.

Superparamagnetische Eisenoxid-Nanopartikel (SPIONs) werden als Kontrastmittel in der Magnetresonanztomographie zur Tumordiagnose und Theranostik eingesetzt. Es gab jedoch Sicherheitsbedenken in Bezug auf SPIONs bei Zirrhose, die mit überschüssigem eiseninduziertem oxidativem Stress zusammenhängt. Die Analyse der Toxizitätswege mittels PCR-Array ergab, dass die hohe Dosis von SPIONs signifikante Veränderungen in der Expression einer bestimmten Untergruppe von Genen in der Zirrhoseleber hervorrief. All diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Eisenüberschuss einer hohen SPION-Dosis ein Risikofaktor für Zirrhose sein könnte, da er sich durch einen erhöhten Lipidstoffwechsel, eine Störung der Eisenhomöostase und möglicherweise einen verschlimmerten Verlust der Leberfunktionen auswirkt.

Gegenwärtig werden Nanopartikel für verschiedene biomedizinische Anwendungen eingesetzt, wo sie die Labordiagnostik und -therapie erleichtern. Speziell für die Verabreichung von Arzneimitteln finden Nanopartikel aufgrund ihrer einzigartigen Fähigkeiten und ihrer vernachlässigbaren Nebenwirkungen nicht nur in der Krebstherapie, sondern auch bei der Behandlung anderer Krankheiten zunehmend Beachtung. Unter allen Arten von Nanopartikeln haben biokompatible superparamagnetische Eisenoxid-Nanopartikel (SPIONs) mit geeigneter Oberflächenarchitektur und konjugierten Liganden/Proteinen für die Verabreichung von Medikamenten große Aufmerksamkeit auf sich gezogen.

Superparamagnetische Eisenoxid-Nanopartikel (SPIONs) haben aufgrund ihrer hervorragenden superparamagnetischen Eigenschaften wie kontrollierbare Größe, großes Oberflächen-Volumen-Verhältnis und Ungiftigkeit Aufmerksamkeit erregt. Die Oberflächenfunktionalisierung von SPIONs mit therapeutischen Molekülen, einschließlich antimikrobieller Wirkstoffe, wurde bereits erfolgreich in der Nanomedizin eingesetzt. Durch Anlegen eines externen Magnetfeldes können mit antimikrobiellen Wirkstoffen beladene SPIONs an die gewünschte Infektionsstelle gelenkt werden, was eine direkte und spezifische therapeutische Wirkung mit minimalen Nebenwirkungen ermöglicht. Der große Vorteil von SPIONs sind ihre magnetischen Eigenschaften, die eine direkte Zuführung von Stoffen in den pathogenen Bereich ermöglichen, ohne den gesamten Organismus zu beeinflussen, was ein zunehmendes Interesse an der Entwicklung antimikrobieller SPIONs weckt.

Wenn sie intravenös infundiert werden, können diese SPIONs zum Nachweis und zur Charakterisierung kleiner fokaler Läsionen in der Leber verwendet werden. Sie können auch oral verabreicht werden, um den Verdauungstrakt sichtbar zu machen, und sie können als Biomarker zur Bewertung der Wirksamkeit von Behandlungen verwendet werden. Es sind jedoch noch weitere Untersuchungen mit markierten SPIONs auf dem Gebiet der molekularen Bildgebung erforderlich.

Superparamagnetische Eisenoxid-Nanopartikel (SPION) wurden für verschiedene biomedizinische Anwendungen untersucht, z. B. für Kontrastmittel, Eisenersatztherapien, die Verabreichung von Arzneimitteln, die Gewebereparatur, die Hyperthermie, die Ausrichtung von Zellen und Geweben und die Transfektion. SPIONs haben einen Eisenoxidkern, der mit einer organischen oder anorganischen Schicht überzogen ist. Nackte SPIONs können toxisch sein, da sie chemisch reaktiv sind. Daher verhindert die Beschichtung die Aggregation und Agglomeration der Nanopartikel und verringert die Oxidation des Eisenoxids. SPIONs werden vor allem für die Magnetresonanztomographie und die gezielte Verabreichung von Medikamenten und Antigenen an die gewünschten Stellen untersucht.

SPIONs wurden von der FDA für die Behandlung von Anämie bei erwachsenen Patienten mit chronischer Nierenerkrankung zugelassen. SPIONs werden auch für die nichtinvasive Diagnose von chronischen Lebererkrankungen, nichtalkoholischer Steatohepatitis, Zirrhose, Lebertumoren, Magnetresonanztomographie, Lymphknoten-Bildgebung, Knochenmark-Bildgebung und Bildgebung atherosklerotischer Plaques verwendet.

Eisenoxid-Nanopartikel in Nahrungsmitteln

Aus: Science of Food, November 20, 2017, Ist Nano im Essen sicher? Ermittlung der Faktoren, die das gastrointestinale Schicksal und die Toxizität von organischen und anorganischen Nanopartikeln in Lebensmittelqualität beeinflussen, David Julian McClements & Hang Xiao

Die Nanotechnologie bietet der Lebensmittelindustrie eine Reihe von neuen Ansätzen zur Verbesserung der Qualität, Haltbarkeit, Sicherheit und Gesundheit von Lebensmitteln. Dennoch gibt es Bedenken von Verbrauchern, Aufsichtsbehörden und der Lebensmittelindustrie hinsichtlich möglicher schädlicher Auswirkungen (Toxizität) im Zusammenhang mit der Anwendung der Nanotechnologie in Lebensmitteln. Insbesondere gibt es Bedenken hinsichtlich der direkten Einbringung von technisch hergestellten Nanopartikeln in Lebensmittel, wie z. B. solche, die als Abgabesysteme für Farbstoffe, Aromen, Konservierungsmittel, Nährstoffe und Nutrazeutika verwendet werden, oder solche, die zur Veränderung der optischen, rheologischen oder Fließeigenschaften von Lebensmitteln oder Lebensmittelverpackungen eingesetzt werden. Dieser Übersichtsartikel fasst die Anwendung von anorganischen (Silber, Eisenoxid, Titandioxid, Siliziumdioxid und Zinkoxid) und organischen (Lipide, Proteine und Kohlenhydrate) Nanopartikeln in Lebensmitteln zusammen, hebt die wichtigsten Eigenschaften von Nanopartikeln hervor, die ihr Verhalten beeinflussen, erörtert die Bedeutung der Lebensmittelmatrix und der Auswirkungen des Magen-Darm-Trakts auf die Eigenschaften von Nanopartikeln, hebt die potenziellen Toxizitätsmechanismen verschiedener Nanopartikel in Lebensmittelqualität hervor und betont wichtige Bereiche, in denen noch Forschungsbedarf besteht. Die Autoren weisen darauf hin, dass Nanopartikel bereits in vielen natürlichen und verarbeiteten Lebensmitteln enthalten sind und dass neue Arten von Nanopartikeln in der Zukunft von der Lebensmittelindustrie als funktionelle Inhaltsstoffe verwendet werden könnten.

Die Nanotechnologie kann zur Verbesserung der Qualität, Haltbarkeit, Sicherheit, Kosten und des Nährwerts von Lebensmitteln eingesetzt werden. In einigen Fällen ist nicht beabsichtigt, dass die in der Lebensmittelindustrie verwendeten Nanomaterialien in das Endprodukt gelangen, z. B. bei Verpackungen, Sensoren und antimikrobiellen Behandlungen, die zur Desinfektion von Lebensmittelherstellungsanlagen eingesetzt werden. Technisch hergestellte nanoskalige Materialien (ENM) können Lebensmitteln absichtlich zugesetzt werden oder sie können unbeabsichtigt in Lebensmittel gelangen (z. B. Nanopartikel in Verpackungsmaterialien, die in die Lebensmittelmatrix gelangen). ENMs können verwendet werden, um Nährstoffe, Nutrazeutika, Farb-, Geschmacks- und Konservierungsstoffe abzugeben, oder um die Beschaffenheit, das Aussehen oder die Stabilität von Lebensmitteln zu verändern. Nanoskalige Strukturen können in Lebensmitteln als Ergebnis routinemäßiger Verarbeitungsprozesse wie Homogenisierung, Mahlen und Kochen vorhanden sein.

In Lebensmitteln enthaltene Nanopartikel können entweder als organisch oder anorganisch eingestuft werden. Anorganische Materialien wie Silber, Eisenoxid, Titandioxid, Siliziumdioxid oder Zinkoxid werden häufig verwendet. Diese Partikel sind bei Raumtemperatur entweder kristalline oder amorphe Feststoffe, die kugelförmig oder nicht kugelförmig sein können, unterschiedliche Oberflächeneigenschaften und Beschichtungen aufweisen und je nach den bei ihrer Herstellung verwendeten Ausgangsmaterialien und Zubereitungsbedingungen unterschiedlich groß sind.

Anorganische Nanopartikel:

- Silbernanopartikel werden als antimikrobielle Mittel in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen eingesetzt.
- Zinkoxid-Nanopartikel können als Zinkquelle und in Lebensmittelverpackungen als antimikrobielle Mittel zur Verhinderung der Kontamination von Lebensmitteln und als Ultraviolettlicht-Absorber verwendet werden.
- Eisenoxid-Nanopartikel werden in Lebensmitteln als Farbstoffe oder als Quelle von bioverfügbarem Eisen verwendet und sind in verschiedenen Größen, Formen und kristallinen Formen erhältlich.
- Titandioxid-Nanopartikel werden als funktionelle Inhaltsstoffe in bestimmten Lebensmitteln verwendet, um charakteristische optische Eigenschaften wie erhöhte Helligkeit und Leuchtkraft zu erzielen.
- Siliziumdioxid-Nanopartikel werden bestimmten pulverförmigen Lebensmitteln als Antibackmittel zugesetzt, um die Fließeigenschaften zu verbessern, z. B. Salze, Puderzucker, Gewürze, Trockenmilch und Trockenmischungen.

Organische Nanopartikel:

- Lipid-Nanopartikel sind in vielen kommerziellen Lebensmitteln weit verbreitet, z. B. in Getränkeemulsionen wie Softdrinks, angereicherten Wässern, Fruchtsäften und Milchgetränken, die kleine, in Wasser dispergierte Öltröpfchen enthalten.
- Protein-Nanopartikel sind die in Kuhmilch und anderen Milchprodukten vorkommenden Kaseinmizellen, die kleine Cluster aus Kaseinmolekülen und Kalziumphosphationen sind.
- Kohlenhydrat-Nanopartikel werden in der Regel aus verdaulichen oder unverdaulichen polysacchariden wie Stärke, Cellulose, Alginat, Carrageen, Pektin und Xanthan zusammengesetzt und können im oberen Gastrointestinaltrakt (GIT) unverdaulich sein.

Einige organische Stoffe, die zur Herstellung von Lebensmittel-Nanopartikeln verwendet werden (z. B. Ballaststoffe und Mineralöle), können im oberen Verdauungstrakt nicht verdaut werden. Anorganische Nanopartikel werden ebenfalls nicht im Magen-Darm-Trakt verdaut. Alle Nanopartikel, die im oberen GIT nicht verdaut oder absorbiert werden, gelangen in den unteren GIT, wo sie das Mikrobiom auf negative Weise verändern können. Die Fähigkeit von anorganischen Nanopartikeln, Toxizität zu erzeugen, hängt oft mit ihrer chemischen Reaktivität zusammen, die von ihrer Zusammensetzung abhängt. So lösen sich beispielsweise einige anorganische Nanopartikel auf und setzen Ionen frei, die unerwünschte chemische oder biochemische Reaktionen fördern (z. B. Silbernanopartikel).

Verschluckte Nanopartikel reichern sich in zahlreichen Geweben an. Diese Nanopartikel wandern durch die Schleimschicht und werden dann durch aktive oder passive Transportmechanismen absorbiert. Nachdem sie in die Zellen aufgenommen worden sind, reichern sie sich in den Zellen an. Die Anreicherung von Nanopartikeln in bestimmten Geweben kann zu langfristigen Problemen führen, wenn sie oberhalb einer bestimmten Anreicherungsschwelle toxische Wirkungen zeigen. Dieser Wirkmechanismus ist wahrscheinlich am wichtigsten für anorganische Nanopartikel, die biopersistent sind (normalerweise nicht im Magen-Darm-Trakt verdaut oder metabolisiert werden).

Nanopartikel können durch eine Vielzahl unterschiedlicher Mechanismen Toxizität in Zellen erzeugen. Einer der wichtigsten Faktoren, die zur Toxizität von anorganischen Nanopartikeln beitragen, ist ihre Fähigkeit, reaktive Sauerstoffspezies (ROS) wie Singulett-Sauerstoff, Superoxid, Wasserstoffperoxid und Hydroxylradikale zu erzeugen. Diese ROS können dann Zellmembranen, Organellen und den Zellkern schädigen, indem sie mit Lipiden, Proteinen oder Nukleinsäuren interagieren. Infolgedessen können viele biochemische Funktionen, die zur Aufrechterhaltung der Lebensfähigkeit der Zelle erforderlich sind, wie die ATP-Produktion, die DNA-Replikation und die Genexpression, beeinträchtigt werden. In einer Reihe von Studien wurde über die Fähigkeit anorganischer Nanopartikel berichtet, die Bildung von ROS in Zellen zu erhöhen und Zytotoxizität zu erzeugen.

Die Fähigkeit von Nanopartikeln, die orale Bioverfügbarkeit von hydrophoben Stoffen stark zu erhöhen, hat negative Auswirkungen auf die Gesundheit, da sie die Aufnahme unerwünschter nicht-polarer Stoffe in Lebensmitteln, wie bestimmter Pestizide (Glyphosate usw.) und Hormone, fördern. So kann ein Lebensmittel, das Lipid-Nanopartikel enthält (z. B. ein Getränk, eine Soße, ein Dressing oder eine Creme), die Bioverfügbarkeit von hydrophoben Pestiziden in Obst oder Gemüse, das damit verzehrt wird, erhöhen.

Programmierbare lebende Systeme

From: Nature Reviews Materials, *Materials design by synthetic biology*, Tzu-Chieh Tang, Bolin An, Yuanyuan Huang, Sangita Vasikaran, Xiaoyu Jiang

In der synthetischen Biologie werden genetische Werkzeuge eingesetzt, um lebende Zellen und Organismen analog zur Programmierung von Maschinen zu entwickeln. In der synthetischen Materialbiologie werden technische Prinzipien aus der synthetischen Biologie und der Materialwissenschaft integriert, um lebende Systeme als dynamische und reaktionsfähige Materialien mit neuen

und programmierbaren Funktionen neu zu gestalten. In dieser Übersichtsarbeit erörtern wir Werkzeuge der synthetischen Biologie, einschließlich genetischer Schaltkreise, Modellorganismen und Designparameter, die für die Konstruktion intelligenter lebender Materialien eingesetzt werden können. Wir untersuchen nicht lebende und lebende selbstorganisierende multifunktionale Materialien, wie intrazelluläre Strukturen und künstliche Biofilme, und befassen uns mit dem Design und den Anwendungen hybrider lebender Materialien, einschließlich lebender Sensoren, Therapeutika und Elektronik sowie Energieumwandlungsmaterialien und lebender Baustoffe. Schließlich werden die Aussichten und Herausforderungen programmierbarer lebender Materialien erörtert und mögliche künftige Anwendungen aufgezeigt.

Künstlich hergestellte lebende Materialien

Aus: MIT Libraries, *Towards engineering living functional materials*, 2021, Tang, Tzu-Chieh, Ph.D. Massachusetts Institute of Technology

Der Bereich der künstlich hergestellten lebenden Materialien (ELM) zielt darauf ab, die bemerkenswerten Eigenschaften der natürlichen Biologie zu rekapitulieren, um mit Hilfe gentechnisch veränderter Organismen neuartige, wachstumsfähige, multifunktionale Materialien zu schaffen. Die meisten einschlägigen Pionierarbeiten wurden mit Hilfe von Biofilmen im Nano- und Mikrobereich [GO] durchgeführt, die eher geringe Erträge liefern und in der Regel kostspielige Modifikationen erfordern. Zweitens wird die Freisetzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen (GVM) für den Einsatz in der Lebensmittel-, Wasser- oder Landwirtschaft oft als riskant angesehen, da nicht auszuschließen ist, dass Wildtyp-Organismen unerwünschte Eigenschaften, wie z. B. Antibiotikaresistenz, von den GVM übernehmen. Es sind erhebliche Anstrengungen erforderlich, um diesen Bedarf zu decken. Diese Dissertation beginnt mit einer Einführung in genetische Schaltkreise und einem ausführlichen Überblick über die aktuellen Trends in der synthetischen Materialbiologie, die zwei Hauptkategorien von ELMs umfasst: selbstorganisierende Funktionsmaterialien und hybride lebende Materialien. In den folgenden Kapiteln werden die Technologien beschrieben, die entwickelt wurden, um eine hohe Skalierbarkeit und einen sicheren Einsatz von ELMs in diesen beiden Kategorien und lebenden Geräten zu erreichen, die sich für reale Anwendungen eignen.

Toxizität von Graphenoxid

Aus: Biomedical Research International, Volume 2021 |Article ID 5518999, *Synthesis and Toxicity of Graphene Oxide Nanoparticles: A Literature Review of In Vitro and In Vivo Studies*, Asmaa Rhazouani, Halima Gamrani , Mounir El Achaby , Khalid Aziz, Lhoucine Gebrati, Md Sahab Uddin, and Faissal AZIZ, <https://doi.org/10.1155/2021/5518999>

Nanomaterialien wurden in den letzten Jahrzehnten in vielen Bereichen eingesetzt, darunter Elektronik, Biomedizin, Kosmetik, Lebensmittelverarbeitung, Bauwesen und Luftfahrt. Die Anwendung dieser Nanomaterialien im medizinischen Bereich könnte die Diagnose-, Behandlungs- und Präventionsverfahren verbessern. Graphenoxid (GO), ein oxidiertes Derivat von Graphen, wird derzeit in der Biotechnologie und Medizin zur Krebsbehandlung, Medikamentenverabreichung und zellulären Bildgebung eingesetzt. GO zeichnet sich durch verschiedene physikalisch-chemische Eigenschaften aus, darunter die Größe im Nanobereich, eine große Oberfläche und elektrische Ladung. Die toxische Wirkung von GO auf lebende Zellen und Organe ist jedoch ein limitierender Faktor, der seine

Verwendung im medizinischen Bereich einschränkt. In jüngster Zeit haben zahlreiche Studien die Biokompatibilität und Toxizität von GO in vivo und in vitro untersucht. Im Allgemeinen variiert die Schwere der toxischen Auswirkungen dieses Nanomaterials je nach Verabreichungsweg, der zu verabreichenden Dosis, der GO-Synthesemethode und den physikochemischen Eigenschaften.

Nanopartikel finden breite Anwendung in der Elektronik, Luftfahrt, Energie, Landwirtschaft, Kosmetik, Medizin, Textilherstellung und vielen anderen Bereichen. Sie werden derzeit zur Verabreichung von Medikamenten, Proteinen, Genen, Impfstoffen, Polypeptiden und Nukleinsäuren verwendet. GO ist ein Nanomaterial, das seit mehr als 150 Jahren bekannt ist und in vielen Anwendungen eingesetzt wird. In den letzten Jahren wurde Graphen im medizinischen Bereich genutzt, insbesondere für die DNA-Sequenzierung, die Entwicklung von Biosensoren und die Zelldifferenzierung und das Zellwachstum. Da Graphen in Wasser unlöslich ist, beschränken sich seine Anwendungen auf passive Plattformen für den Nachweis und die Zellarbeit.

Sein funktionelles Derivat GO hat einzigartige Eigenschaften, die es für biomedizinische Anwendungen effektiver machen. Es zeichnet sich durch seine Fähigkeit aus, in vielen Lösungsmitteln zu dispergieren, was seine Handhabung erleichtert. Darüber hinaus wird GO für die Verabreichung von Krebsmedikamenten in biologischen Zellen, für Aptamere zur ATP-Sondierung in Epithelzellen und für die Genübertragung verwendet. Diese Nanomaterialien haben eine große Oberfläche und können die Stabilität von Arzneimitteln aufrechterhalten, ohne die biologische Aktivität zu verändern, und zwar weit mehr als andere Nanomaterialien.

GO zeichnet sich durch Eigenschaften aus, die es für andere Bereiche wie Sensoren und Energiespeicherung attraktiv machen. Mit der Zunahme der Anwendungen steigt die Exposition gegenüber GO in allen Bevölkerungsgruppen. Dazu gehört die Exposition bei der Herstellung von Nanomaterialien und bei biomedizinischen Behandlungen. GO ist an vielen Anwendungen beteiligt, aber es gibt einen Hauptfaktor, der seine Verwendung einschränkt: seine Toxizität. Forscher stehen oft vor dem Problem, die positiven therapeutischen Wirkungen von GO mit den mit seiner Toxizität verbundenen Nebenwirkungen in Einklang zu bringen

- Lipid-Nanopartikel sind in vielen handelsüblichen Lebensmitteln weit verbreitet, z. B. in Getränkeemulsionen wie Erfrischungsgetränken, angereicherten Wässern, Fruchtsäften und Milchgetränken, die kleine, in Wasser dispergierte Öltröpfchen enthalten.
- Protein-Nanopartikel sind die Kaseinmizellen, die in Kuhmilch und anderen Milchprodukten vorkommen und aus kleinen Clustern von Kaseinmolekülen und Kalziumphosphat-Ionen bestehen.
- Kohlenhydrat-Nanopartikel werden in der Regel aus verdaulichen oder unverdaulichen Polysacchariden wie Stärke, Cellulose, Alginat, Carrageen, Pektin und Xanthan zusammengesetzt und können im oberen Magen-Darm-Trakt (GIT) unverdaulich sein.

Einige organische Stoffe, die zur Herstellung von Lebensmittel-Nanopartikeln verwendet werden (z. B. Ballaststoffe und Mineralöle), können im oberen Verdauungstrakt nicht verdaut werden. Anorganische Nanopartikel werden ebenfalls nicht im Magen-Darm-Trakt verdaut. Alle Nanopartikel, die im oberen GIT nicht verdaut oder absorbiert werden, gelangen in den unteren GIT, wo sie das Mikrobiom auf negative Weise verändern können. Die Fähigkeit von anorganischen Nanopartikeln, Toxizität zu erzeugen, korreliert oft mit ihrer chemischen Reaktivität, die von ihrer Zusammensetzung abhängt. So lösen sich beispielsweise einige anorganische Nanopartikel auf und setzen

Ionen frei, die unerwünschte chemische oder biochemische Reaktionen fördern (z. B. Silbernanopartikel).

Verschluckte Nanopartikel reichern sich in zahlreichen Geweben an. Diese Nanopartikel wandern durch die Schleimschicht und werden dann durch aktive oder passive Transportmechanismen absorbiert. Nachdem sie in die Zellen aufgenommen worden sind, reichern sie sich in den Zellen an. Die Anreicherung von Nanopartikeln in bestimmten Geweben kann zu langfristigen Problemen führen, wenn sie oberhalb einer bestimmten Anreicherungsschwelle toxische Wirkungen zeigen. Dieser Wirkmechanismus ist wahrscheinlich am wichtigsten für anorganische Nanopartikel, die biopersistent sind (normalerweise nicht im Magen-Darm-Trakt verdaut oder metabolisiert werden).

Nanopartikel können durch eine Vielzahl unterschiedlicher Mechanismen Toxizität in Zellen erzeugen. Einer der wichtigsten Faktoren, die zur Toxizität von anorganischen Nanopartikeln beitragen, ist ihre Fähigkeit, reaktive Sauerstoffspezies (ROS) wie Singulett-Sauerstoff, Superoxid, Wasserstoffperoxid und Hydroxylradikale zu erzeugen. Diese ROS können dann Zellmembranen, Organellen und den Zellkern schädigen, indem sie mit Lipiden, Proteinen oder Nukleinsäuren interagieren. Infolgedessen können viele biochemische Funktionen, die zur Aufrechterhaltung der Lebensfähigkeit der Zelle erforderlich sind, wie die ATP-Produktion, die DNA-Replikation und die Genexpression, beeinträchtigt werden. In einer Reihe von Studien wurde über die Fähigkeit anorganischer Nanopartikel berichtet, die Bildung von ROS in Zellen zu erhöhen und Zytotoxizität zu erzeugen.

Die Fähigkeit von Nanopartikeln, die orale Bioverfügbarkeit von hydrophoben Stoffen stark zu erhöhen, hat negative Auswirkungen auf die Gesundheit, da sie die Aufnahme unerwünschter nicht-polarer Stoffe in Lebensmitteln, wie bestimmter Pestizide (Glyphosate usw.) und Hormone, fördern. So kann ein Lebensmittel, das Lipid-Nanopartikel enthält (z. B. ein Getränk, eine Soße, ein Dressing oder eine Creme), die Bioverfügbarkeit von hydrophoben Pestiziden in Obst oder Gemüse, das damit verzehrt wird, erhöhen.

Selbstorganisation von Graphen zu Blutgefäß-Strukturen

Aus: *Materials Today Connecting the Materials Community*, March 19, 2020, *New graphene-based material self-assembles into vascular structures*

Ein internationales Team von Wissenschaftlern unter der Leitung von Alvaro Mata von der *University of Nottingham* und der *Queen Mary University London* im Vereinigten Königreich hat ein neues Material entdeckt, das in 3D gedruckt werden kann, um gewebeartige Gefäßstrukturen zu schaffen. In einer Veröffentlichung in *Nature Communications* berichten die Wissenschaftler über die Entwicklung eines Verfahrens zum 3D-Druck von Graphenoxid mit einem Protein, das sich in röhrenförmigen Strukturen organisieren kann, die einige der Eigenschaften von Gefäßgewebe nachbilden.

„Diese Arbeit bietet Möglichkeiten für die Biofabrikation, indem sie das gleichzeitige 3D-Bio-printing von oben nach unten und die Selbstmontage synthetischer und biologischer Komponenten von der Nanoskala aus von unten nach oben ermöglicht“, so Mata. „Hier stellen wir kapillarähnliche Fluidstrukturen im Mikromaßstab her, die mit Zellen kompatibel sind, physiologisch relevante Eigenschaften aufweisen und der Strömung standhalten können. Dies könnte die Nachbildung von Blutgefäßen im Labor ermöglichen und sich auf die Entwicklung sicherer und effizienter Medika-

mente auswirken, was bedeutet, dass Behandlungen den Patienten möglicherweise viel schneller erreichen könnten.“

Selbstorganisation ist der Prozess, bei dem sich mehrere Komponenten spontan zu größeren, genau definierten Strukturen zusammenfügen. Biologische Systeme nutzen diesen Prozess, um molekulare Bausteine kontrolliert zu komplexen und funktionellen Materialien zusammenzusetzen, die bemerkenswerte Eigenschaften aufweisen, wie die Fähigkeit zu wachsen, sich zu vermehren und robuste Funktionen zu erfüllen. Das neue Biomaterial wird durch die Selbstmontage eines Proteins mit Graphenoxid hergestellt. Dieser Selbstorganisationsprozess ermöglicht es den flexiblen Bereichen des Proteins, sich zu ordnen und an das Graphenoxid anzupassen, wodurch eine starke Wechselwirkung zwischen ihnen entsteht. Durch die Kontrolle der Art und Weise, wie die beiden Komponenten gemischt werden, ist es möglich, ihren Zusammenbau auf mehreren Ebenen in Gegenwart von Zellen zu steuern, um komplexe robuste Strukturen zu erzeugen.

Selbstorganisierende Graphen-Nanoröhrchen

Aus: Angewandte Chemie, Erstveröffentlichung: 14. März 2001, *Self-Assembling Organic Nanotubes*, T. Bong, Dr. Thomas D. Clark, Prof. Dr. Juan R. Granja, Prof. M. Reza Ghadiri

Hohle röhrenförmige Strukturen von molekularer Größe erfüllen in der Natur verschiedene biologische Funktionen. Beispiele hierfür sind die Gerüst- und Verpackungsfunktion von Mikrotubuli des Zytoskeletts bzw. von viralen Hüllproteinen sowie der chemische Transport und die Screening-Aktivitäten von Membrankanälen. Bei der Herstellung solcher röhrenförmigen Anordnungen machen biologische Systeme ausgiebig Gebrauch von selbstorganisierenden und selbstorganisierenden Strategien. Aufgrund zahlreicher potenzieller Anwendungen in Bereichen wie Chemie, Biologie und Materialwissenschaften wurden in letzter Zeit erhebliche Anstrengungen zur Herstellung künstlicher nanotubulärer Strukturen unternommen. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Konstruktionsprinzipien und die Herstellung synthetischer organischer Nanoröhren, wobei der Schwerpunkt auf nicht-kovalenten Prozessen wie Selbstorganisation und Selbstorganisation liegt.

Graphenoxid als Impfstoffträger und Adjuvans

Aus: Acta Biomaterialia, Volume 112, August 2020, Pages 14-28, *Recent progress of graphene oxide as a potential vaccine carrier and adjuvant*, WanJun Caoab, LinHea, Weidong Caob, Xiaobing Huangakun, Jiacheng Dai

Adjuvantien und Trägerstoffe wurden der Impfstoffformulierung in geeigneter Weise zugesetzt, um die Immunogenität des Antigens zu verbessern und eine lang anhaltende Immunität zu erzeugen. Graphenoxid (GO), das häufig für die Verabreichung von Biomolekülen eingesetzt wird, eignet sich hervorragend für die Aufnahme und Verabreichung von Antigenen und hat das Potenzial, das Immunsystem zu aktivieren. Allerdings verklumpt GO in biologischen Flüssigkeiten [Blutgerinnsel] und führt zum Zelltod; außerdem weist es eine schlechte Löslichkeit und Biokompatibilität auf. Um diese Einschränkungen zu beheben, wurden verschiedene Oberflächenmodifizierungsprotokolle eingesetzt, um wässrige kompatible Substanzen in GO zu integrieren und so seine Biokompatibilität wirksam zu verbessern. Noch wichtiger ist, dass diese Modifikationen funktionalisiertes GO mit überlegenen Eigenschaften als Träger und Adjuvans ausstatten. Aufgrund seiner einzigartigen physikalisch-chemischen Eigenschaften wird Graphenoxid in der Medizin häufig für die photothermi-

sche Behandlung von Krebs, die Verabreichung von Medikamenten, die antibakterielle Therapie und die medizinische Bildgebung eingesetzt. Unsere Arbeit beschreibt die Oberflächenmodifikation von Graphenoxid und fasst zum ersten Mal zusammen, dass funktionalisiertes Graphenoxid als Impfstoffträger dient und eine signifikante Adjuvansaktivität bei der Aktivierung der zellulären und humoralen Immunität aufweist.

Die Präzisionsmedizin informiert uns, dass Graphenoxid auf seine vielversprechenden Einsatzmöglichkeiten in einer Vielzahl von nanomedizinischen Anwendungen untersucht wurde, darunter Tissue Engineering, Krebsbehandlung, medizinische Bildgebung und Medikamentenabgabe. Seine physiochemischen Eigenschaften ermöglichen eine Struktur, die das Verhalten von Stammzellen reguliert, mit dem Potenzial, die intrazelluläre Zuführung von DNA, Wachstumsfaktoren und synthetischen Proteinen zu unterstützen, die die Reparatur und Regeneration von Muskelgewebe ermöglichen könnten. Aufgrund seines einzigartigen Verhaltens in biologischen Umgebungen wurde Graphenoxid auch als neues Material für die Krebsfrüherkennung vorgeschlagen. Es wurde auch für seine Verwendung in Impfstoffen und in der Immuntherapie erforscht, unter anderem als Adjuvans und Träger biomedizinischer Materialien mit doppeltem Verwendungszweck.

Es wurden mehrere typische Mechanismen aufgedeckt, die der Toxizität von Graphenoxid-Nanomaterialien zugrunde liegen, zum Beispiel physische Zerstörung, oxidativer Stress, DNA-Schäden, Entzündungsreaktion, Apoptose, Autophagie und Nekrose. Bei diesen Mechanismen sind Toll-like-Rezeptoren (TLR), transformierender Wachstumsfaktor-beta (TGF- β) und Tumor-Nekrose-Faktor-alpha (TNF- α) in das Netzwerk der Signalwege involviert, und oxidativer Stress spielt hier eine entscheidende Rolle. Viele Experimente haben gezeigt, dass Graphenoxid-Nanomaterialien bei vielen biologischen Anwendungen toxische Nebenwirkungen haben. Nach Angaben der US-amerikanischen FDA haben Graphen, Graphenoxid und reduziertes Graphenoxid sowohl in vitro als auch in vivo toxische Wirkungen. Nanomaterialien aus der Graphen-Familie (GFN) sind von der FDA der USA nicht für den menschlichen Verzehr zugelassen.

In Hydrogel integriertes Graphenoxid in der Medizin

Aus: Polymer Journal, Volume 52, pages 823-837, 8. Mai 2020, *Graphene oxide-incorporated hydrogels for biomedical applications*, Jongdarm Yi, Goeun Choe, Junggeon Park Young Lee

Graphen und Graphenderivate (z. B. Graphenoxid) wurden in Hydrogele eingearbeitet, um die Eigenschaften (z. B. mechanische Festigkeit) herkömmlicher Hydrogele zu verbessern und/oder neue Funktionen zu entwickeln (z. B. elektrische Leitfähigkeit und Medikamentenbeladung/-abgabe). Einzigartige molekulare Wechselwirkungen zwischen Graphenderivaten und verschiedenen kleinen oder Makromolekülen ermöglichen die Herstellung verschiedener funktioneller Hydrogele, die für unterschiedliche biomedizinische Anwendungen geeignet sind. In dieser Mini-Review werden die jüngsten Fortschritte bei GO-integrierten Hydrogelen für biomedizinische Anwendungen beleuchtet, wobei der Schwerpunkt auf ihrer spezifischen Verwendung als mechanisch starke Materialien, elektrisch leitfähige Gerüste/Elektroden und hochleistungsfähige Arzneimittelabgabehikel liegt.

Graphenoxid in Impfstoffen

Aus: Nanoscale, „Funktionalisiertes Graphenoxid dient als neuartiges Nano-Adjuvans für Impfstoffe zur robusten Stimulation der zellulären Immunität“, Ligeng Xu, Jian Xiang, Ye Liu, Jun Xu, Yinchuan Luo, Liangzhu Feng, Zhuang Liu und Rui Peng

Aufgrund ihrer einzigartigen physikalisch-chemischen Eigenschaften haben Graphenderivate in der Biomedizin große Aufmerksamkeit erregt. In dieser Studie haben wir Graphenoxid (GO) als Impfstoffadjuvans für die Immuntherapie unter Verwendung von Urease B (Ure B) als Modellantigen sorgfältig entwickelt. Unsere Arbeit stellt nicht nur ein neuartiges, hochwirksames Nano-Impfstoffadjuvans auf GO-Basis vor, sondern unterstreicht auch die entscheidende Rolle der Oberflächenchemie für das rationale Design von Nano-Adjuvantien.