

Lerneinheit

Nanotechnologie im Energiesektor

Name des Autors: Sean Kelly, Nikolina Latkovic

Letztes Bearbeitungsdatum: [21.12.2021]

Das Thema

Erste Einführung

Die Nachfrage nach Energie steigt, aber auch einige der damit verbundenen Probleme, wie der Klimawandel, nehmen zu. Wenn wir von Energie sprechen, meinen wir alles, von der Elektrizität, die wir in unseren Häusern verbrauchen, bis hin zu der Art und Weise, wie wir unsere Autos, Flugzeuge und Züge antreiben. Die Nanotechnologie hat das Potenzial, die Art und Weise zu verändern, wie wir Energie gewinnen, speichern und nutzen, und gibt uns die Möglichkeit, Energie sauberer, effizienter und billiger zu machen.

Dies ist ein Bereich von wachsendem Interesse, nicht nur als Marktchance, sondern auch, um den Herausforderungen zu begegnen, die unsere Abhängigkeit von umweltschädlichen Energiequellen verursacht hat, nämlich die Auswirkungen des Klimawandels und der Umweltverschmutzung. Während sich die Gesellschaft weg von ihrer Abhängigkeit von der Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energieerzeugung entwickelt, sehen wir in der Nanotechnologie eine Möglichkeit, einige der technischen Herausforderungen zu lösen um dies voranzutreiben. Neue Nanomaterialien können uns helfen, die Energiegewinnung zu verbessern, z. B. durch effizientere Solarzellen, Energie besser zu speichern, z. B. durch bessere Batterien für Elektrofahrzeuge, und Energie zu nutzen, z. B. durch die Herstellung besserer Isoliermaterialien für Gebäude, die den Energieverbrauch senken.

Es ist wichtig zu verstehen, dass es keine einzelne Änderung in der Energiewertschöpfungskette der Gewinnung, Speicherung und Nutzung von Energie gibt, die allein den Klimawandel bremsen kann. Wir müssen uns um Anpassungen und technische Verbesserungen im gesamten Energiekreislauf bemühen, damit wir saubere Energie erzeugen, sicher speichern und effizient nutzen können.

Praxisbezug - Hierfür benötigen Sie die Kenntnisse und Fähigkeiten

In diesem Abschnitt erfahren Sie, wie die Nanotechnologie im gesamten Energiesystem eingesetzt werden kann, von der Energiegewinnung über die Speicherung bis hin zur Nutzung. Es werden einige Beispiele von Anwendungen gezeigt, die bereits im Einsatz sind, sowie einige zukünftige Möglichkeiten, die noch in der Entwicklung sind.

Überblick über die Lernziele und Kompetenzen

In *Nanotechnologie in der Energiewertschöpfungskette* erfährst du, wie die Nanotechnologie in der gesamten Energiewertschöpfungskette eingesetzt werden kann.

In *Einige Nanowerkstoffe und Nanostrukturen, die in der Energiewertschöpfungskette verwendet werden*, erfährst du etwas über einige der Nanowerkstoffe und Nanostrukturen, die für den Einsatz im Energiesektor in Frage kommen.

In *Nanotechnologie für Energie im Automobilssektor* werden wir uns näher mit einem spezifischen Bereich der Energienutzung befassen, nämlich dem des Automobilssektors.

Lernziele	Detailziele
LO_Nanotechnologie in der Energiewertschöpfungskette_01	FO_BB01_01 Was ist die Energiewertschöpfungskette? FO_BB01_02 Nanotechnologien, die in der gesamten Energie-Wertschöpfungskette eingesetzt werden können FO_BB_01_03 Einige Beispiele für Nanotechnologien im Energiebereich
LO Einige Nanomaterialien und Nanostrukturen, die in der Energiewertschöpfungskette verwendet werden_02	FO_BB02_01 Beispiele für die Verwendung von Nanomaterialien im Energiesektor FO_BB02_02 Graphen und seine Verwendung im Energiesektor FO_BB02_03 Kohlenstoff-Nanoröhren und ihre Verwendung im Energiesektor FO_BB02_04 Silber-Nanopartikel und ihre Verwendung im Energiesektor
LO_Nanotechnologie für Energie im Automobilssektor_03	FO_BB03_01 Nanotechnologie in Autobatterien FO_BB03_02 Warum leichtere Autos den Energieverbrauch reduzieren FO_BB03_03 Einsatz von Nanotechnologie zur Verringerung der Reibung und zur Energieeinsparung

- **Nanotechnologie im Energiesektor**

Die Nachfrage nach Energie steigt weltweit mit dem Wachstum der Bevölkerung und der Wirtschaftstätigkeit. Wir alle brauchen Energie, um unsere Autos zu fahren, unsere Häuser zu heizen, unsere Elektronik zu betreiben und die Lebensmittel zu produzieren, die wir essen und die Waren, die wir kaufen. Die traditionellen Energiequellen, auf die wir uns verlassen, nämlich Kohle, Gas und Öl, liefern immer noch den größten Teil der weltweiten Energieproduktion. Es gibt jedoch zwei Hauptgründe, warum diese Energiequellen in der Zukunft nicht nachhaltig sind. Erstens sind diese fossilen Brennstoffe eine endliche Ressource und werden irgendwann zur Neige gehen. Zweitens führt die Verbrennung fossiler Brennstoffe zum Klimawandel, und es besteht die Notwendigkeit, die Menge an Kohlenstoff, die wir in die Atmosphäre freisetzen, zu reduzieren.

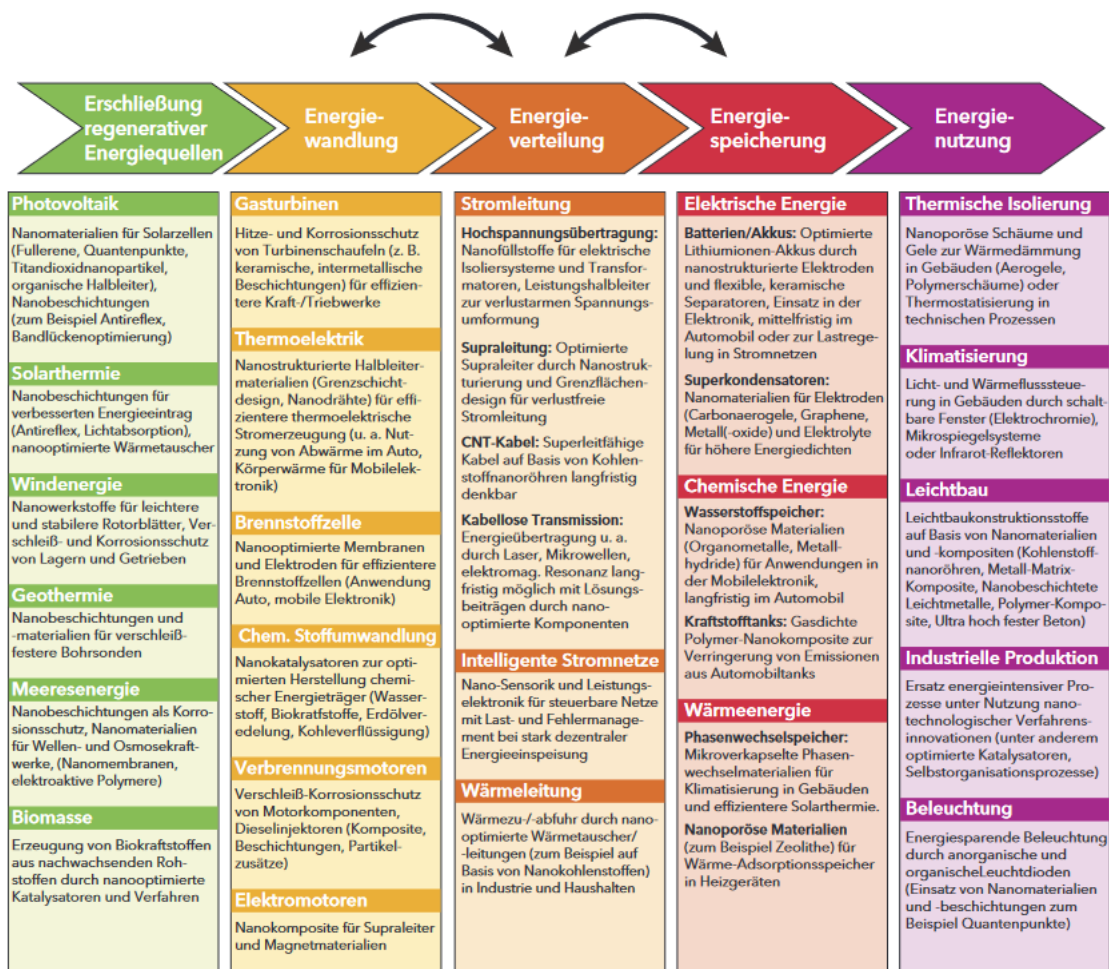


Quelle: <https://pixabay.com/images/id-4550711/>

Die Nanotechnologie spielt bereits in allen Bereichen der Energieversorgungskette eine Rolle, und es besteht auch die Hoffnung, dass sie uns helfen wird, sauberere Energie zu gewinnen, Energie effizienter zu speichern und die von uns erzeugte Energie effektiver zu nutzen. Die Nanotechnologie ist ein weites Feld, so dass es nicht die eine Lösung für den Energiesektor gibt, sondern eine Reihe von Möglichkeiten, die in der gesamten Energiewertschöpfungskette genutzt werden können. Die Energiewertschöpfungskette erstreckt sich von:

- Energiegewinnung - oder die Möglichkeit, verschiedene Energiequellen zu nutzen;
- Energieumwandlung - Umwandlung von Energie von einer Form in eine andere, z. B. von Wind (kinetische Energie) in Elektrizität;
- Energieverteilung - Transport von Energie von einem Ort zum anderen, z. B. das Stromversorgungsnetz eines Landes;
- Energiespeicherung - die Fähigkeit, Energie zu speichern, bis sie gebraucht wird, wie eine Batterie;
- Energienutzung - wie kann die Nanotechnologie uns helfen, die Energie effizienter zu nutzen, z. B. durch eine bessere Isolierung unserer Häuser oder die Verringerung des Gewichts von Autos, damit sie weniger Kraftstoff verbrauchen.

Es gibt viele verschiedene Nanotechnologien, die in der gesamten Energiewertschöpfungskette eingesetzt werden können (siehe unten).



Quelle: Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung - Land Hessen, *Anwendung von Nanotechnologien im Energiesektor* (2015)¹

Beispiel

Solarzellen

Solarzellen werden derzeit aus Halbleitermaterialien hergestellt und erreichen einen Wirkungsgrad von etwa 10-15 %, was bedeutet, dass sie nicht so viel Sonnenenergie in Strom umwandeln, wie gewünscht wird. Nanoskalige Siliziumpartikel werden verwendet, um die Menge an Sonnenlicht zu reduzieren, die von der Solarzelle reflektiert wird, und das neue Design ermöglicht es, das Licht besser zu leiten und auf der Solarzelle zu absorbieren und nicht zu reflektieren, wodurch der Wirkungsgrad des Panels verbessert wird. Auch wenn das am häufigsten verwendete Material für die Herstellung von Solarmodulen derzeit kristallines Silizium ist, zeichnen sich neue vielversprechende Alternativen ab, wie zum Beispiel Perowskit. Nanostrukturierte Perowskit-Solarzellen sind im Vergleich zu den bestehenden Silizium-Solarzellen deutlich effizienter, doch einige technologische Probleme müssen noch gelöst werden um eine praktikable Alternative darzustellen.

Beispiel

Windkraftanlagen

Windräder werden eingesetzt, um den Wind zu nutzen und ihn in Elektrizität umzuwandeln, dies stellt eine gute erneuerbare Energiequelle dar. Die Rotorblätter müssen sowohl stark als auch leicht

sein, damit sie den enormen Kräften, denen sie ausgesetzt sind, standhalten können, aber dennoch leicht genug sein, um sich effizient zu drehen. Die Kanten der Rotorblätter können aus einem Graphen-Verbundstoff hergestellt und somit geschützt werden. Dadurch wird die Haltbarkeit der Kanten verbessert und verhindert, dass sie beschädigt werden und dadurch ihre aerodynamische Effizienz verringert wird. Dies trägt dazu bei, das Risiko einer Beschädigung zu verringern und spart somit die Kosten für die Wartung oder den Austausch des gesamten Rotorblatts.

Einige Nanotechnologien für den Energiesektor

Im Energiesektor können verschiedene Lösungen aus dem Bereich der Nanotechnologie eingesetzt werden, wobei unterschiedliche Nanomaterialien oder Nanostrukturen unterschiedliche Funktionen und eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten bieten.

Definition

Nanomaterial

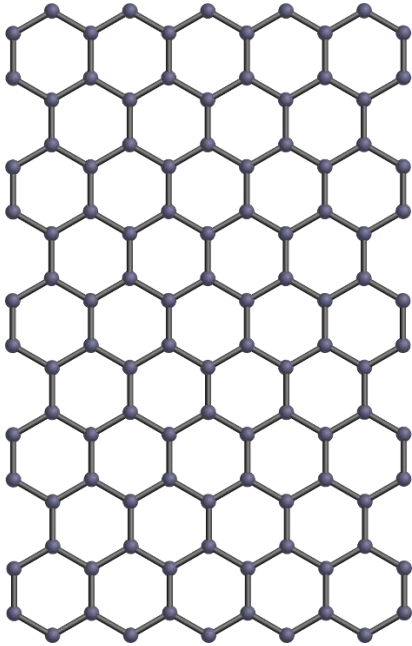
Ein Nanomaterial kann definiert werden als ein Material, bei dem eine oder mehrere seiner Dimensionen zwischen 1 und 100 Nanometern liegen. Wir befassen uns hier hauptsächlich mit technisch hergestellten Nanomaterialien, d. h. mit Materialien im Nanobereich, die gezielt in dieser Größe hergestellt wurden, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen.

Nanostruktur

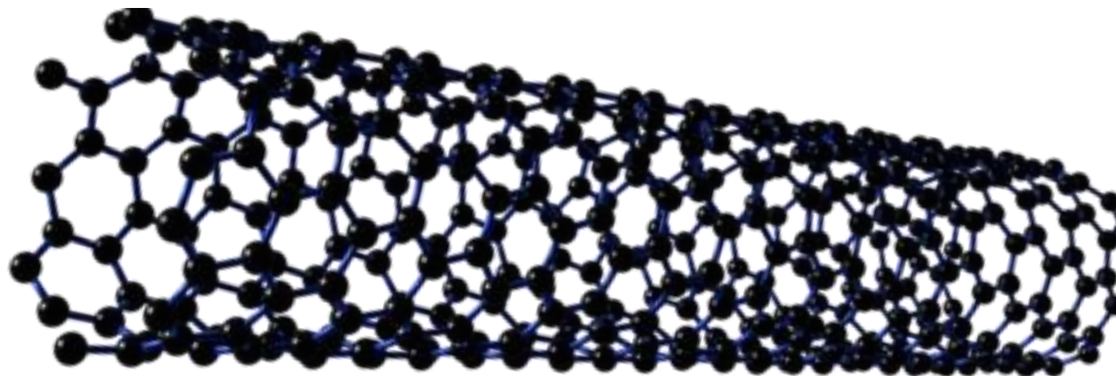
Eine Nanostruktur ist eine Struktur mit mindestens einer Dimension im Bereich von 1 bis 100 Nanometern. Beispiele können eine eindimensionale Nanostruktur (wie eine nanotexturierte Oberfläche), eine zweidimensionale Nanostruktur mit zwei Dimensionen im Nanomaßstab (wie ein Kohlenstoff-Nanoröhrchen) oder eine dreidimensionale Struktur mit allen drei Dimensionen im Nanomaßstab (wie ein Nanopartikel) sein.

Eine Vielzahl von Nanomaterialien kann im Energiesektor verwendet werden, wobei die möglichen Einsatzgebiete von der Funktionalität und den physikalischen Eigenschaften des Materials abhängen. Natürlich können einige Materialien verwendet werden, weil sie elektrisch leitfähig sind, während andere aufgrund ihrer Festigkeit oder Haltbarkeit eingesetzt werden. Einige Materialien haben mehrere Eigenschaften, die nützlich sein können. Nanomaterialien werden oft in Verbindung mit anderen Materialien verwendet, von denen viele nicht die Größe von Nanomaterialien haben, und dienen dazu, zusätzliche Funktionen zu bieten. So kann ein Nanomaterial einem Verbundwerkstoff hinzugefügt werden, um ihn elektrisch leitfähig zu machen, oder weil es ihm mehr Festigkeit verleiht oder es isolierender macht. Es gibt eine so große Vielfalt an Nanomaterialien, die verwendet werden können, dass es unmöglich ist, sie hier alle aufzuzählen. Daher werden einige Beispiele angeführt, um zu zeigen, wie einige Nanomaterialien im Energiesektor verwendet werden könnten.

Graphene: Eine sehr dünne Schicht aus Kohlenstoff, die als 2D-Material bezeichnet wird, da sie in einer Richtung gemessen ein großes Molekül sein kann, aber trotzdem nur ein Atom dick ist. Graphen wird oft als das dünnste Material der Welt bezeichnet, ist aber auch eines der stärksten Materialien der Welt und zudem elektrisch leitfähig. Aufgrund seiner interessanten physikalischen Eigenschaften ist Graphen ein Kandidat für viele verschiedene Anwendungen, auch im Energiesektor. An Batterien, die mit Graphen hergestellt werden, wird derzeit als flexible und leichte Alternativen zu herkömmlichen Batterien auf Metallbasis geforscht. Sie können gleichzeitig schneller aufgeladen werden und die Energie länger halten. Graphen ist nicht nur leicht und stark, sondern hat auch eine große Oberfläche, die es ermöglicht, mehr Energie zu speichern, was es zu einem idealen Material für den Einsatz in der Energiespeicherung macht.



Kohlenstoff-Nanoröhrchen: Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) sind eine zu einem Zylinder aufgerollte Schicht aus Kohlenstoffatomen, die entweder einwandig (eine aufgerollte Schicht) oder mehrwandig (Zylinder aus Kohlenstoff in anderen Zylindern aus Kohlenstoff) sind, und haben einzigartige und interessante Eigenschaften. Die funktionellen Eigenschaften der verschiedenen CNTs hängen von ihren unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften ab, wie Durchmesser, Länge oder Chiralität (Verdrillung). Sie gehören zu den steifsten und stärksten Materialien, die hergestellt werden können, viel stärker als z. B. Stahl, sind aber gleichzeitig sehr leicht. Aufgrund dieser Eigenschaften eignen sie sich ideal zur Verstärkung von Verbundwerkstoffen, wie sie z. B. in den Flügeln von Windkraftanlagen verwendet werden, wo sie die Festigkeit erhöhen können. CNT sind auch ein vielversprechendes Material für den Einsatz in der Energiespeicherung, wo sie die Graphitelektroden in wiederaufladbaren Lithium-Ionen-Batterien ersetzen können. Da sie dünner und leichter gemacht werden können und außerdem sehr leitfähig sind, könnten CNTs es ermöglichen, Batterien viel leichter zu machen, was z. B. für Fahrzeugbatterien nützlich ist.



Silber-Nanopartikel Silber scheint aufgrund der hohen Materialkosten kein naheliegendes Material für die Energieerzeugung oder -speicherung zu sein. Auf der Nanoskala kann jedoch eine kleine Menge an Material weit reichen! Silbernanopartikel, auch bekannt als AgNPs (Ag = lat. *Argentum* = Silber), haben

eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit. Die elektrische Leitfähigkeit von Silber beträgt $6,30 \times 10^7$ m/ohm, im Vergleich zu Kupfer mit $5,96 \times 10^7$ m/ohm, was Silber zu einem besseren Leiter macht. Dies macht es ideal für den Einsatz in der gedruckten Elektronik, wo es Tinten hinzugefügt werden kann, um leitfähige Tinten herzustellen. Tinten mit AgNPs im Gemisch wurden für den Einsatz in Solarzellen in Erwägung gezogen, wo die Möglichkeit, die Platten zu drucken, anstatt sie mit der herkömmlichen Fotolithografie herzustellen, die Herstellungszeit und -kosten senken würde.

Nanotechnologien im Automobilsektor

Energie für bestimmte Verwendungszwecke, z. B. im Verkehrswesen, muss gespeichert werden, um sie bei Bedarf nutzen zu können. In Autos wird dazu Benzin oder Dieselmotorkraftstoff verwendet, der dann verbrannt wird, um die darin enthaltene Energie für den Antrieb unserer Autos und Lastwagen freizusetzen. Die Energiespeicherung in Kraftfahrzeugen ist ein Bereich, in dem die Nanotechnologie als eine bahnbrechende Technologie hervorgehoben wurde, die uns allen erhebliche Vorteile bringen wird. Neben der effizienteren Speicherung von Energie ist es aber auch hilfreich, wenn die Energie effizienter genutzt wird und Energieverluste verringert werden. Dies ist ein weiterer Bereich, in dem die Nanotechnologie einen erheblichen Einfluss haben kann.

Nanotechnologie in Batterien für Elektroautos

Wir alle sind daran gewöhnt, dass viele Produkte, die wir täglich benutzen, Batterien enthalten. Von unseren Mobiltelefonen bis zu unseren Autos sind wir auf verschiedene Arten von Batterien angewiesen, um elektrische Energie zu erhalten. Batterien sind eines der Hauptthemen, an die man denkt, wenn man über Energiespeicherung spricht, und es gibt sie in allen möglichen Formen und Größen und für verschiedene Zwecke.

Autos sind für etwa 12 % der gesamten Kohlendioxidemissionen in der EU verantwortlich, und ab 2035 wird es ein Verbot für neue, mit fossilen Brennstoffen betriebene Autos geben. Ziel ist es, die Umstellung auf emissionsfreie Motoren zu fördern, was einen raschen Übergang zu alternativen Energiequellen für den Verkehr erfordert und bedeutet, dass immer mehr Autos mit elektrischen Batterien betrieben werden. Autobatterien müssen sowohl leistungsstark als auch leicht sein, und die Nanotechnologie kann Materialien bereitstellen, die sowohl Energie gut speichern können als auch leicht sind.



Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Nanotechnologie in einer Batterie einzusetzen. Durch die Beschichtung der Elektrodenoberfläche mit Nanopartikeln kann die Leistung einer Batterie erhöht und die Aufladezeit verkürzt werden. Dadurch vergrößert sich die Elektrodenoberfläche, und es kann mehr Strom zwischen der Elektrode und den Chemikalien im Inneren der Batterie fließen. Alternativ können die derzeitigen Graphitelektroden in Lithium-Ionen-Batterien durch CNTs ersetzt werden, wodurch die Speicherkapazität verdoppelt werden kann.

Neue Batterietechnologien stehen im Mittelpunkt zahlreicher laufender Forschungsprojekte sowohl im akademischen Bereich als auch in der Industrie. Ein Hindernis, das den massenhaften Einsatz von Nanomaterialien in unseren Autos verhindert, sind die Kosten für die Herstellung von Nanomaterialien in großem Maßstab. Die Lösung dieser Aufgabe wird dazu beitragen, diese Technologien für den Einsatz in der nächsten Generation von Elektroautos zu erschließen.

Leichtere Autos dank Nanotechnologie

Leichtere Autos haben auf den ersten Blick nichts mit Energie zu tun. Leichtere Autos tragen jedoch dazu bei, die Energiemenge zu verringern, die für den Antrieb unserer Autos benötigt wird. Leichtere Autos, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, verbrauchen weniger Kraftstoff und setzen weniger CO₂ frei. Leichtere Elektroautos tragen dazu bei, die Größe der für den Antrieb benötigten Batterien zu verringern, was die Herstellung und den Verkauf der Autos günstiger macht. Um Autos leichter zu machen, reicht es jedoch nicht aus, das leichteste verfügbare Material zu verwenden, denn sonst würden wir alle in Autos aus Papier herumfahren! Wir müssen auch an die Sicherheit denken, d. h. wir müssen ein Material verwenden, das sowohl leicht als auch stabil ist.

Nanomaterialien bieten mehrere Möglichkeiten zur Gewichtseinsparung bei Fahrzeugkarosserien. Nanoverbundstoffe ermöglichen Gewichtseinsparungen und bieten ein sehr günstiges Verhältnis zwischen Gewicht und Festigkeit. Es können Polymer-Nanoverbundstoffe hergestellt werden, die nanoskalige Füllstoffe wie Nanoton oder CNTs in einer Polymermatrix enthalten. Die Zugabe von Nanomaterialien verleiht dem Polymer mehr Festigkeit, während es nicht so viel schwerer als herkömmliche Polymerfüllstoffe wird. Außerdem können auch Nanomaterialien verwendet werden, die zusätzliche Funktionen wie elektrische Leitfähigkeit bieten und es ermöglichen, dass in zukünftigen Autos auch elektrische Leitungen ersetzt werden können. Durch den Einsatz von Nanomaterialien könnte eine Gewichtseinsparung von 20 % und in einigen Fällen sogar noch mehr erzielt werden, was zu einer Verringerung der für den Antrieb des Fahrzeugs benötigten Energiemenge beitragen würde.

Definition
Nanokomposit Ein Nanokomposit ist ein Material, das Nanomaterialien in eine Matrix aus Standardmaterialien einschließt. Beispiele in der Natur sind die Knochen im menschlichen Körper. Zu den hergestellten Beispielen gehören Polymer-Nanoverbundstoffe, d. h. Kunststoffe, denen Nanomaterialien zugesetzt werden, um funktionelle Effekte zu erzielen, wie z. B. die Erhöhung der Festigkeit der Materialmatrix, in die sie eingefügt werden.

Wie Motoren „reibungslos“ funktionieren

In Motoren gehen etwa 10-15 % des Kraftstoffverbrauchs durch Reibung verloren, wenn sich Teile gegeneinander bewegen. Dies ist bei den derzeitigen Motoren für fossile Brennstoffe der Fall, z. B. wenn der Kolben an der Zylinderwand reibt, wird aber auch bei Elektroautos mit Antriebswelle ein Problem bleiben. Reibungsbedingte Energieverluste können durch den Einsatz von Nanotechnologie verringert werden, die dazu beiträgt, die Auswirkungen der Reibung zu reduzieren und Autos energieeffizienter zu machen.

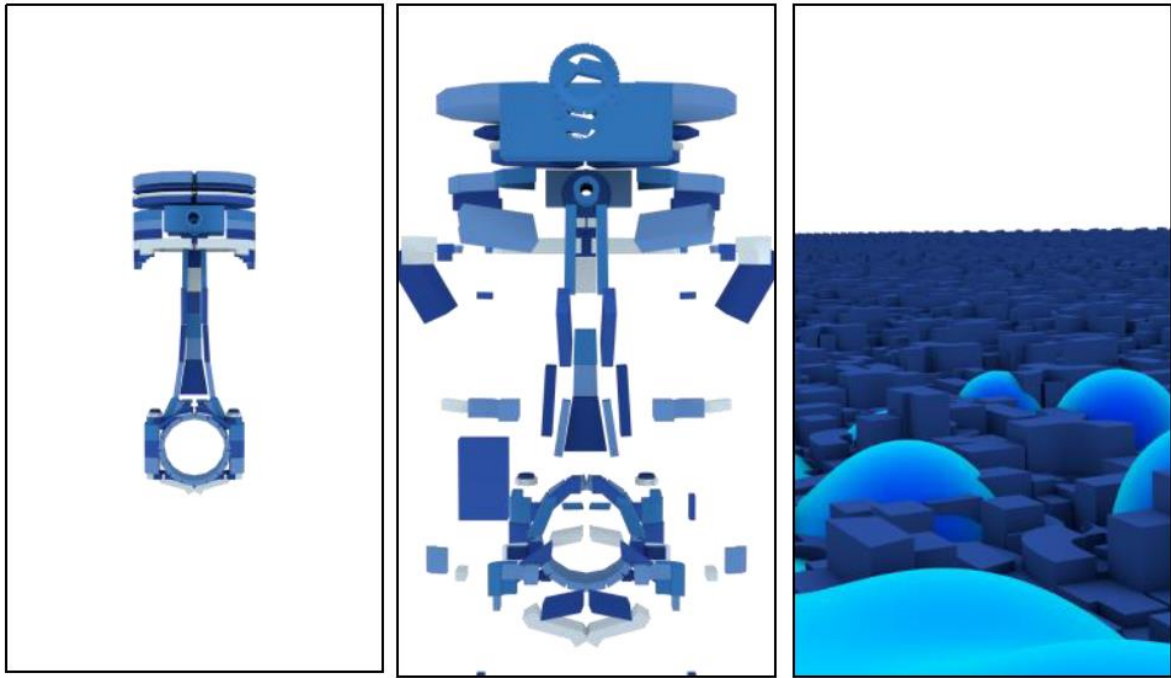


Auf dem Kolben und den Zylinderwänden können Nanobeschichtungen verwendet werden, die eine reibungsärmere Bewegung des Kolbens ermöglichen. Nanokristalline Beschichtungen aus Eisencarbid- und Borid-Nanomaterialien mit einer Größe von 60-130 nm sorgen für eine Oberfläche, die extrem hart ist, aber nur geringe Reibungseigenschaften aufweist. Diese tribologischen Beschichtungen werden von vielen Automobilherstellern in Betracht gezogen, um die Kraftstoffeffizienz zu verbessern.

Definition

Tribologie

Tribologie ist die Wissenschaft vom Kontakt zwischen Oberflächen oder die Untersuchung von interagierenden Oberflächen, die sich in Bewegung befinden. Sie befasst sich mit den Auswirkungen von Reibung, Schmierung und Verschleiß auf Oberflächen. Es ist wichtig, die Tribologie zu verstehen, wenn man sich viele mechanische Systeme ansieht, bei denen zwei Komponenten aneinander reiben.



Nanostrukturierte Beschichtungen auf einem Kolben zeigen, wie die Oberfläche mit der Schmierung interagiert (aus der Animation des SeeingNano-Projekts)

<https://www.youtube.com/watch?v=9uwGSv7oN8w> geteilt unter Creative Commons Lizenz)

1. Wissen speichern

Zusammenfassung

Dies war eine kurze Untersuchung der vielen Möglichkeiten, wie die Nanotechnologie im Energiesektor eingesetzt werden kann. Wir haben gelernt, dass die Nanotechnologie in der gesamten Energiewertschöpfungskette eingesetzt werden kann, von der Energiegewinnung über die Energiespeicherung bis hin zur Energienutzung. Die Abkehr von fossilen Brennstoffen ist notwendig, um die Auswirkungen des Klimawandels zu verringern. Außerdem handelt es sich um endliche Energiequellen mit denen wir sorgsam umgehen sollten. Die Umstellung auf erneuerbare Energien bedeutet, dass wir als Gesellschaft neue Technologien benötigen, die uns helfen, diese Energiequellen effizienter zu nutzen. Wind- und Solarenergie beispielsweise sind keine konstanten Energiequellen und hängen vom Wetter ab. Wir werden neue Wege der Energiespeicherung finden müssen, die wir sowohl in unseren Häusern als auch im Verkehr nutzen können.

Es gibt viele verschiedene Nanomaterialien, die im Energiebereich eingesetzt werden können. Wir haben drei von ihnen kennengelernt: Graphen, Kohlenstoff-Nanoröhren und Silber-Nanopartikel. Nanomaterialien können aufgrund ihrer funktionellen Eigenschaften wie Festigkeit und elektrische Leitfähigkeit oder ihrem geringen Gewicht genutzt werden. In Bezug auf den Verkehr haben wir gelernt, dass die Nanotechnologien wiederum auf unterschiedliche Weise eingesetzt werden können. Sie können zur Energiespeicherung in Autos mit Batterien verwendet werden. Sie können auch verwendet werden, um Autos leichter zu machen, so dass sie weniger Energie verbrauchen. Schließlich können sie auch verwendet werden, um Autos effizienter zu machen, indem sie die Reibung an beweglichen Teilen in Automotoren verringern

Es wurden nicht alle Anwendungen der Nanotechnologie behandelt, und nicht alle hier genannten Beispiele sind derzeit frei auf dem Markt erhältlich. Es gibt noch viel darüber zu lernen, wie wir die Nanotechnologie im Energiesektor nutzbar machen können. Es ist unwahrscheinlich, dass die Nanotechnologie die einzige Möglichkeit ist, die Technologie zur Bekämpfung des Klimawandels und zur Unterstützung des Übergangs von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energiequellen einzusetzen. Der Anwendungsbereich der Nanotechnologie ist jedoch sehr breit gefächert, und sie kann in der gesamten Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft eine Rolle spielen.