



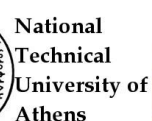
## Aufgabe O1/A4

# GEMEINSAMER LEITFADEN FÜR PRÄVENTIONSMASSNAHMEN ZUR SICHEREN HERSTELLUNG UND VERWENDUNG VON NANOMATERIALIEN IM STEINSEKTOR



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

"Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Billigung des Inhalts dar, welcher nur die Ansichten der Verfasser wiedergibt, und die Kommission kann nicht für eine etwaige Verwendung der darin enthaltenen Informationen haftbar gemacht werden."





## GEMEINSAMER LEITFADEN FÜR PRÄVENTIONSMASSNAHMEN ZUR SICHEREN HERSTELLUNG UND VERWENDUNG VON NANOMATERIALIEN IM STEINSEKTOR.

Dieser Bericht ist Bestandteil der Aufgabe "O1-A4. *Gemeinsamer Leitfaden für Präventionsmaßnahmen bei der sicheren Produktion und Verwendung von Nanomaterialien im Steinsektor*", *entsprechend dem intellektuellen Output 1 "Leitfaden für Risiko-, Gesundheits- und Umweltpräventionsmaßnahmen bei der sicheren Produktion und Verwendung von Nanomaterialien im Steinsektor"* des NanoSafe-Projekts.

Die Verwendung von Nanomaterialien stellt eine Revolution bei der Verbesserung der Leistung von Produkten aus Naturstein dar. Die mechanischen Eigenschaften von Steinmaterialien haben sich dank der Verwendung von Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen auf der Grundlage von Nanopartikeln und Nanokompositen verbessert. Doch im gleichen Maße, wie die Qualität des Materials durch die Anwendung dieser Nanokomposite gestiegen ist, wird die Sicherheit der Arbeitnehmer stark beeinträchtigt. Nanomaterialien sind eine unsichtbare Gefahr für die Gesundheit der Arbeitnehmer.

Trotz der Vorteile, die sie bieten, sind sich viele Arbeitnehmer nicht bewusst, dass sie mit ihnen arbeiten, und ihre schädlichen Auswirkungen sind noch nicht bekannt. Zahlreiche Studien belegen, dass von verschiedenen hergestellten Nanomaterialien, die aufgrund ihrer Größe auf zellulärer Ebene interagieren können, nachweislich Gesundheitsrisiken ausgehen.

Daher müssen die Anwender ihre Kenntnisse über mögliche gesundheitsschädliche Auswirkungen auf die Arbeitnehmer aktualisieren und Maßnahmen zur Risikokontrolle ergreifen.

Dank der in den vorangegangenen Studien durchgeführten Untersuchungen wurde ein methodischer Rahmen für Präventivmaßnahmen bei der Handhabung und Anwendung von Nanomaterialien in Produkten für den Steinsektor in das 3D-Schulungstool implementiert.

Die Entwicklung eines Leitfadens für Risiko-, Gesundheits- und Umweltpräventionsmaßnahmen bei der sicheren Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien im Steinsektor, der allen Beschäftigten in der Steinindustrie zur Verfügung steht, war die zentrale Aufgabe dieses ersten geistigen Outputs.

Der Leitfaden und alle Informationen über das Projekt sind unter der folgenden Internetadresse verfügbar:

- NanoSafe Projekt-Webseite: <https://www.nanosafeproject.eu/>



## Inhalt

1.	EINLEITUNG .....	4
1.	GRUNDKONZEPTE .....	5
1.1.	Nanotechnologie .....	5
1.2.	Nanomaterial.....	5
1.3.	Nanoprodukt .....	6
2.	NANOTECHNOLOGIE IM BAUSEKTOR .....	7
2.1.	Am häufigsten verwendete Nanomaterialien im Bauwesen .....	8
3.	NANOMATERIALIEN IM STEINSEKTOR .....	14
3.1.	Konsolidierer .....	14
3.2.	Wasserabweisende Mittel.....	16
3.3.	Ölabweisende Mittel.....	18
4.	ANWENDUNG VON NANOPRODUKTEN .....	19
4.1.	Anwendung im Labor .....	19
4.2.	Anwendung vor Ort.....	19
5.	DIE DAMIT VERBUNDENEN RISIKEN.....	21
5.1.	Toxikologische Eigenschaften .....	21
5.2.	Toxikologische Wirkungen .....	22
6.	PRÄVENTIONSMASSNAHMEN.....	25
6.1.	Organisatorische Maßnahmen.....	26
6.2.	Kollektive Schutzausrüstung: .....	26
6.3.	Persönliche Schutzausrüstung: .....	28
7.	BIBLIOGRAPHIE.....	34



## 1. EINLEITUNG

Die Nanotechnologie hat in den letzten Jahren die industrielle Entwicklung neuer Materialien dramatisch verändert. Die kontinuierlichen Fortschritte auf dem Gebiet der Nanotechnologie, ihre rasche Umsetzung in der gesamten Industrie und die große Anzahl von Nanomaterialien, die in verschiedenen Industriezweigen verwendet werden, treffen auf ein begrenztes Wissen über die Gesundheits- und Sicherheitsrisiken, die Nanomaterialien für Arbeitnehmer und die Umwelt mit sich bringen.

Nach großen Fortschritten in anderen Sektoren erreicht die große Revolution der Nanotechnologie nun auch den Bausektor und führt zu großen Veränderungen bei den traditionellen Methoden zur Herstellung von Baumaterialien. Daher ist es notwendig, die Risikobewertung und die Wirksamkeit der Präventivmaßnahmen zu überdenken, die üblicherweise an Arbeitsplätzen mit Exposition gegenüber Nano-Agenzien angewendet werden.



## 1. GRUNDKONZEPTE

Bevor wir uns mit Maßnahmen zur Vermeidung der Exposition gegenüber Nanomaterialien befassen, müssen wir einige Begriffe kennen:

### 1.1. Nanotechnologie

In den letzten Jahren ist der bekannteste Begriff im Zusammenhang mit der großen Entwicklung in der Welt der Wissenschaft und Technologie die Nanotechnologie. Der Begriff "Nanotechnologie" wurde erstmals 1974 von Professor Norio Taniguchi von der Tokyo University of Science verwendet, um die grundlegenden Konzepte der Manipulation von Materie auf Nanometerebene zu beschreiben (Quintili, 2012). Im Juli 1990 fand in Baltimore (USA) eines der ersten internationalen Symposien über Nanowissenschaften und Nanotechnologie statt, auf dem die Untersuchung von Nanomaterialien und Nanotechnologie offiziell als Teilbereich der Grundlagenwissenschaften definiert wurde.

Die Nanotechnologie ermöglicht die Herstellung neuer Materialien, Strukturen und Geräte mit außergewöhnlichen Eigenschaften, indem sie die unterschiedlichen Eigenschaften von Materialien auf der Nanoskala nutzt (Europäische Kommission, 2012b).

### 1.2. Nanomaterial

In Europa ist die gebräuchlichste Definition von Nanomaterialien die von der Europäischen Kommission empfohlene und die in den ISO-Normen enthaltene Definition einer breiten Palette von Nano-Begriffen.

Gemäß der Empfehlung 2011/696/EU1 der Kommission ist ein Nanomaterial: "Ein natürliches, zufälliges oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand oder als Aggregat oder Agglomerat enthält und bei dem für 50 % oder mehr der Partikel in der numerischen Partikelgröße eine oder mehrere Außenabmessungen im Größenbereich von 1 nm-100 nm liegen.

Nanomaterialien wurden in den 1980er Jahren populär und umfassen Partikel im Bereich von 1-100 nm, zumindest in einer Dimension. In diesen Größenordnungen gelten aufgrund der Vergrößerung der spezifischen Oberfläche pro Volumeneinheit nicht mehr die üblichen physikalischen Gesetze, sondern die Quantenphysik, die sich in anderen optischen, mechanischen, magnetischen, elektrischen, thermischen und biologischen Eigenschaften als üblich äußert.

Seit 1990 hat die Entwicklung der Nanotechnologie rasant zugenommen (Bystrzejewska et al. , 2009), was auf die Entwicklung von Synthesetechniken und Geräten zurückzuführen ist, die die Manipulation von Nanopartikeln ermöglichen (Nowack & Bucheli, 2007).



### 1.3. Nanoprodukt

Das Aufkommen der Nanotechnologie hat zur Entwicklung zahlloser neuer Anwendungen und Produkte geführt und die Einbindung von nanostrukturierten Materialien in kommerzielle Produkte, so genannte Nanoprodukte, gefördert. Der Trend zur Diversifizierung und Herstellung von Nanoprodukten wird in den kommenden Jahren exponentiell zunehmen, da sie den Verbrauchern als erschwingliche Wunderprodukte angeboten werden (Chih-cheng et al. 2012).

Die Vielfalt der Nanoprodukte hat sprunghaft zugenommen und wird dies auch weiterhin tun, darunter Textilien, Kosmetika, Farben, Nahrungsergänzungsmittel, elektronische Geräte, Reinigungsmittel und Baumaterialien (Wilson Center, 2015).



## 2. NANOTECHNOLOGIE IM BAUSEKTOR

Auch der Bausektor hat bisher viele Innovationen im Zusammenhang mit der Nutzung der Nanotechnologie erfahren. Die Anwendungen der Nanotechnologie in Baumaterialien bieten heute neue Möglichkeiten in diesem Sektor, indem sie Materialien mit spezifischen und fortschrittlichen Eigenschaften hervorbringen, wie z. B. höhere mechanische Festigkeit, längere Haltbarkeit, Korrosionsbeständigkeit, Feuerbeständigkeit, superhydrophobe Materialien, selbstreinigend, antibakteriell usw.

Dennoch befindet sich die Nanotechnologie in der Bauindustrie im Vergleich zu anderen Sektoren in einem frühen Entwicklungs- und Expansionsstadium. Diese Situation ist durch die traditionelle Trägheit des Sektors gerechtfertigt, wenig in Innovationen zu investieren und Ideen zu nutzen, die von anderen Wissenschaften und Industrien eingebracht wurden, und das hohe Anfangskapital, das für die Bereitstellung von Nano-Instrumenten für Forschung und technische Entwicklung erforderlich ist, ist ebenfalls nicht motivierend.

Andererseits sind Nanoprodukte im Vergleich zur akzeptablen Leistung und zum Preis bestehender Produkte möglicherweise nicht wettbewerbsfähig, obwohl der wichtigste Faktor für die langsame Verwendung von Nanomaterialien in diesem Sektor der Mangel an Wissen über Nanotechnologie in der Industrie und die fehlende Verbindung zwischen Forschung und industrieller Entwicklung ist.

Das Potenzial nanotechnologischer Anwendungen kann jedoch nicht ignoriert werden, und es wird erwartet, dass die Verwendung von Nanoprodukten im Bauwesen zunehmen wird, da nur geringe Mengen benötigt werden, um die Eigenschaften der Produkte zu erreichen, und die Kosten für Nanomaterialien sinken dürften, wenn sie in großen Mengen hergestellt werden.

Die Nanotechnologie ist in der Lage, die Eigenschaften herkömmlicher Materialien zu verbessern oder neue zu entwickeln (Hanus & Harris, 2013); einige Beispiele für mögliche Anwendungen werden im Folgenden aufgeführt.

- Erstens kann bei Zementderivaten durch die Zugabe von Kohlenstoffnanoröhrchen und Nanofasern die Festigkeit des Zements verdoppelt werden (Nasibulina et al. , 2010). Mit Nano-Silika lassen sich auch hochfeste Betone herstellen, die bis zu 500 MPa erreichen können (Schmidt et al. , 2013).
- Bei Beschichtungen ist es möglich, durch den Zusatz von Nanosilber antimikrobielle Eigenschaften zu erzielen, z. B. für den Einsatz in Krankenhäusern (Kumar, Vemula, Ajayan, & John, 2008).
- Eine weitere Lösung, um mögliche Straßenschäden durch eindringendes Wasser zu verhindern, besteht darin, den Boden mit hydrophoben Eigenschaften auszustatten und gleichzeitig seine geotechnischen Eigenschaften zu verbessern (Ugwu, Arop, Nwoji, & Osadebe, 2013).



Im Bausektor werden Nanomaterialien häufig in Form von Zusatzstoffen, Beschichtungen und Behandlungen verwendet. Studien in der Schweiz und in Japan zeigen, dass Nanomaterialien wie Ag, CeO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bereits im Bausektor zu finden sind. Trotz ihres Vorkommens in verschiedenen Baumaterialien sind Produkte, die Nanopartikel in ihrer Zusammensetzung enthalten und in diesem Sektor verwendet werden, in Europa immer noch Nischenprodukte, über die derzeit nur sehr wenige Informationen vorliegen, sowohl in Bezug auf die Gesundheit als auch auf die Umwelt.

## 2.1. Am häufigsten verwendete Nanomaterialien im Bauwesen

### TITANDIOXID (TiO<sub>2</sub>)

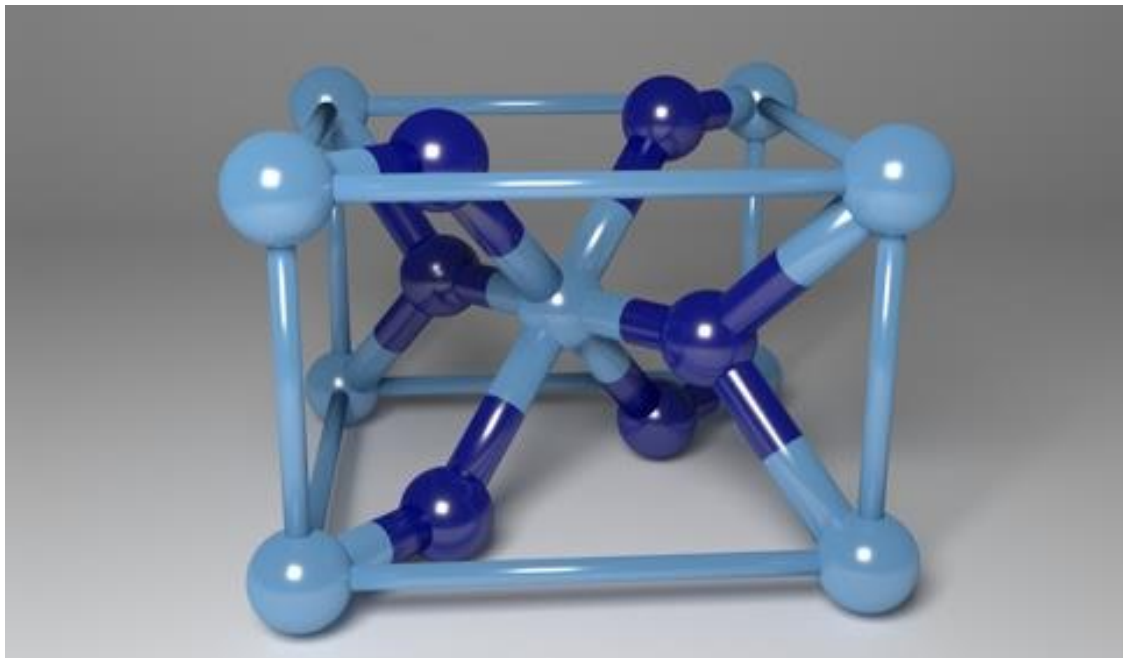


Abb 1. Titandioxide. Quelle: [www.nanomateriales.lineaprevencion.com](http://www.nanomateriales.lineaprevencion.com)

Die wichtigsten Anwendungen vor Ort sind die folgenden:

- **Strukturen:**  
Beton und Zement: in Außenbeschichtungen für selbstreinigende Oberflächen.
- **Veredelungen und Beschichtungen:**
  - Farben bieten photokatalytische und selbstreinigende Funktionen.
  - Oberflächenbeschichtungen auf Holz schützen das Holz vor ultravioletter Strahlung.
  - Isolierung/Verkleidung: Bei Fensterverglasungen hat es beschlagemmende, schmutzabweisende, selbstreinigende und photokatalytische Eigenschaften.



- **Isolierung/Gehäuse:**  
Fenster/Gläser: in Verglasungen, hat Antibeslag, Schmutzresistenz, selbstreinigende und photokatalytische Eigenschaften.
- **Installationen:** in Solarzellen zur Energieerzeugung.
- **Infrastrukturen:** in Asphalt, Straßenbelägen, Lärmschutzwänden und Tunneln: für Langlebigkeit, Lärmreduzierung, Reduzierung von Luftschadstoffen. Photokatalytische Aktivität in Tunnelwänden.

## ZINKOXID (ZnO)

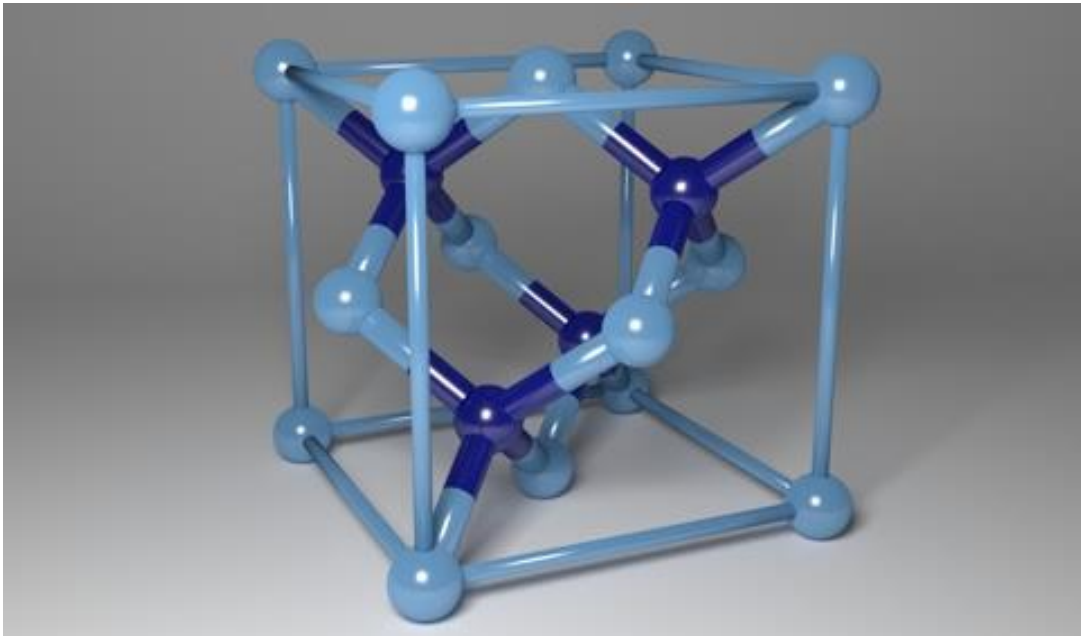


Abb 2. Zinkoxide. Quelle: [www.nanomateriales.lineapreencion.com](http://www.nanomateriales.lineapreencion.com)

Die wichtigsten Anwendungen vor Ort sind die folgenden:

- **Veredelungen und Beschichtungen:**
  - Farben: bieten Beständigkeit, photokatalytische Aktivität, biozide Aktivität, Selbstreinigung, Erhaltung der Transparenz, hydrophob.
  - Oberflächenbeschichtungen auf Holz: Sie schützen das Holz vor ultravioletter Strahlung (UV).



## SILIZIUMDIOXID (SiO<sub>2</sub>)

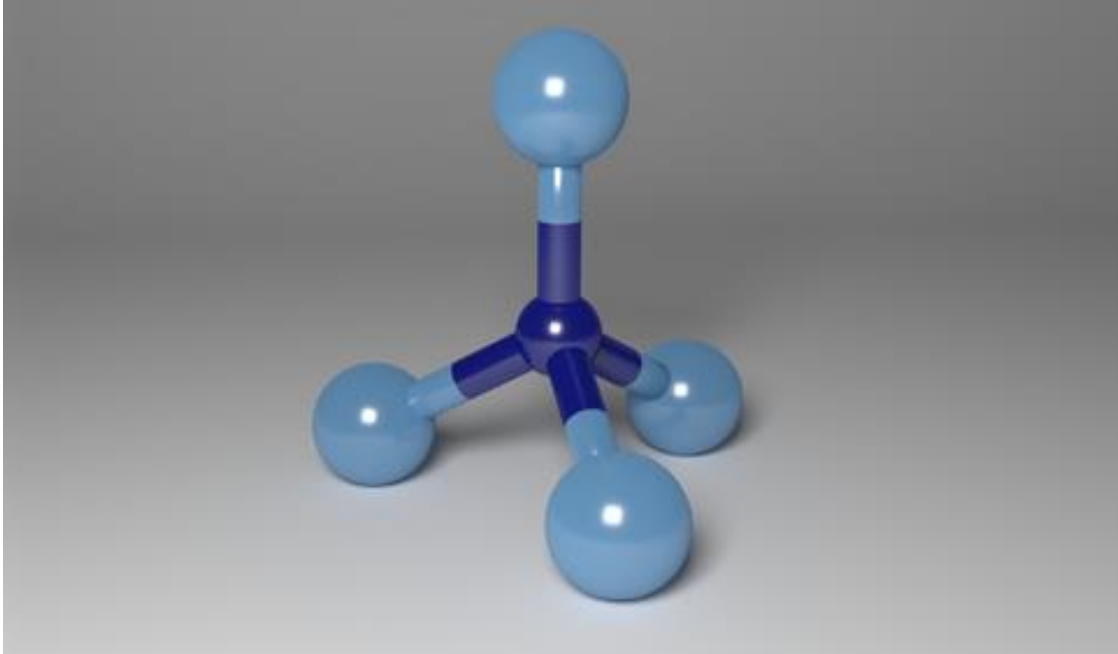


Abb 3. Siliziumdioxide. Quelle: [www.nanomateriales.lineaprevencion.com](http://www.nanomateriales.lineaprevencion.com)

Die wichtigsten Anwendungen vor Ort sind die folgenden:

- **Beton und Zement:** Beton und Zement: Er stellt hochfeste Betone und Zemente her, verbessert die mechanische Festigkeit, schützt sie vor Korrosion, erhöht ihre Haltbarkeit und macht sie wasserdurchlässiger.
- **Veredelungen und Beschichtungen:**
  - o Keramische Materialien: werden in Beschichtungen verwendet und haben kühlende, antireflektierende und feuerbeständige Eigenschaften.
  - o Farben: Verbessert die Haftung und Haltbarkeit.
  - o Oberflächenbeschichtungen auf Holz: Sie werden auf die Oberfläche aufgetragen und schützen das Holz, indem sie es hydrophob machen.
- **Isolierung/Gehäuse:**  
Fenster/Gläser: In Glas schützt dieses Nanomaterial vor Feuer oder Hitzequellen und hat sogar antireflektierende Eigenschaften.



## KOHLENSTOFF-NANORÖHRCHEN (CNT)

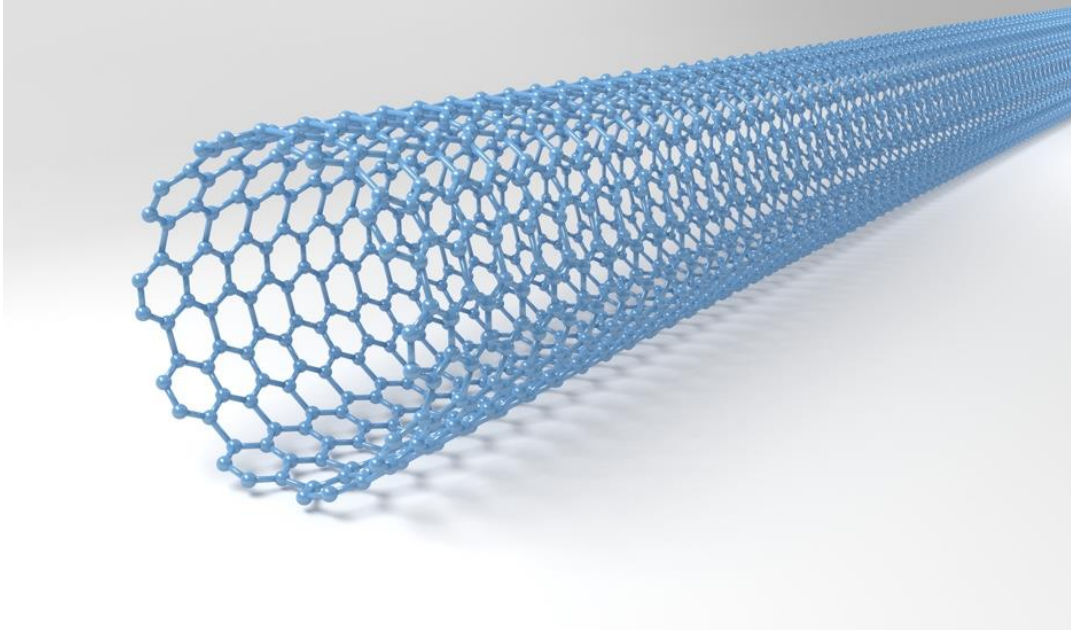


Abb 4. Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Quelle: [www.nanomateriales.lineaprevencion.com](http://www.nanomateriales.lineaprevencion.com)

Die wichtigsten Anwendungen vor Ort sind die folgenden:

- **Strukturen:**
  - Beton und Zement: In Beton verbessert es die mechanischen Eigenschaften.
  - Stahl: Dieses Nanomaterial wurde als möglicher Ersatz für Stahldrähte in der Zukunft identifiziert.

## KUPFEROXID (CuO)

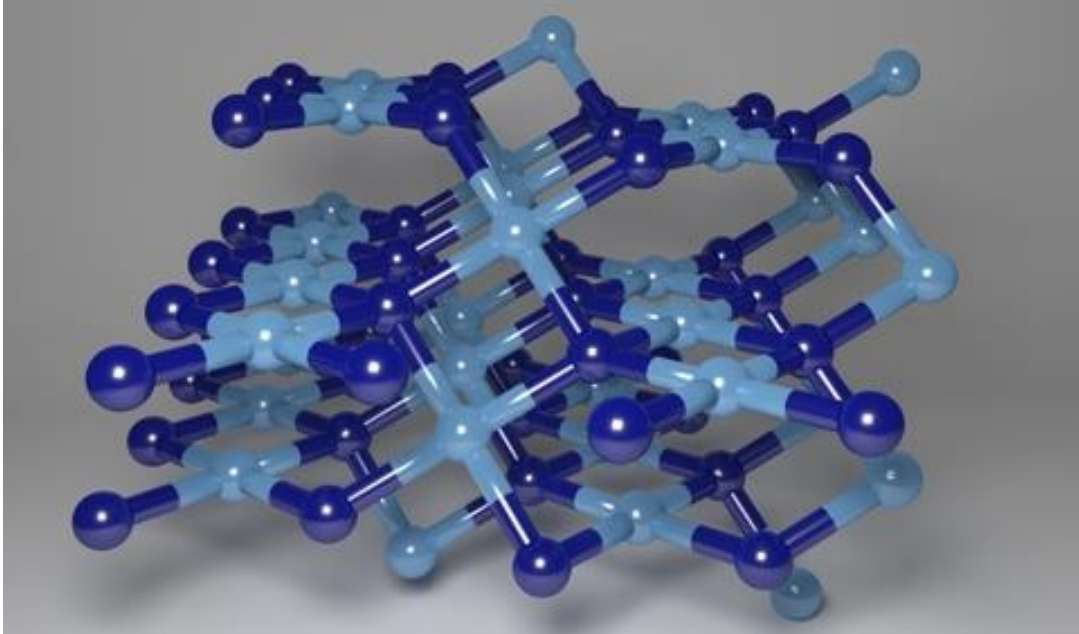


Abb 5. Kupferoxide. Quelle: [www.nanomateriales.lineaprevencion.com](http://www.nanomateriales.lineaprevencion.com)

Die wichtigsten Anwendungen vor Ort sind die folgenden:

- **Strukturen**  
o Stahl: erzeugt korrosionsbeständige Stähle und erleichtert die Schweißbarkeit.



## SILBER (Ag)

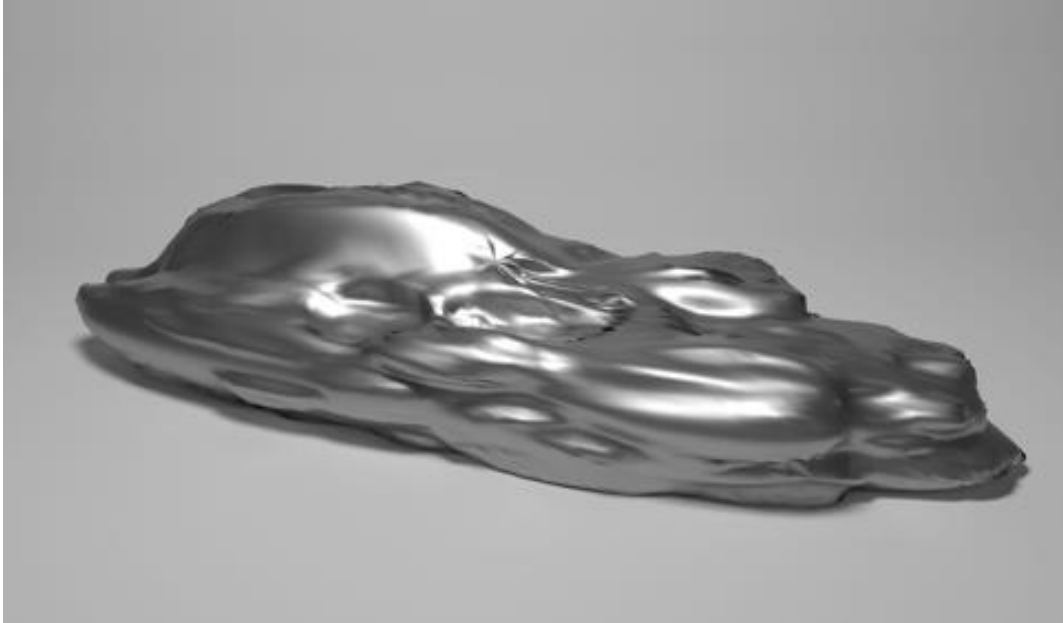


Abb 6. Silber. Quelle: [www.nanomateriales.lineaprevencion.com](http://www.nanomateriales.lineaprevencion.com)

Die wichtigsten Anwendungen vor Ort sind die folgenden:

- **Veredelungen und Beschichtungen:**
  - o Farben: Die Nanomaterialien in diesem Material, das als Farbe aufgetragen wird, haben antibakterielle Eigenschaften.
- **Isolierung/Gehäuse:**
  - o Fenster/Glas: hat selbstreinigende Eigenschaften auf Glas.



### 3. NANOMATERIALIEN IM STEINSEKTOR

Im Natursteinsektor gibt es zahlreiche Situationen, in denen man Nanopartikeln ausgesetzt ist. Diese Situationen reichen vom Schneiden von Steinmaterial über das Auftragen von Farben oder Lacken bis hin zum Auftragen von Nanobehandlungen.

Das Schneiden von Steinmaterial mit einer Säge, das Polieren, das Abfegen von Staub usw. erzeugen eine Suspension von Nanopartikeln, die über die Atemwege und sogar über den Verdauungstrakt in den Körper eindringen können, wie im Falle des Auftragens von Lacken oder Farben.

Aufgrund ihrer größeren Komplexität und ihres innovativen Interesses werden wir uns auf Nanobehandlungen konzentrieren. Auf dem Markt sind derzeit zahlreiche Behandlungen zur Vorbeugung von Steinverfall erhältlich. Die beliebtesten Behandlungen sind heute Verfestigungsmittel und wasserabweisende Mittel, und neben konventionellen Behandlungen sind in letzter Zeit auch Behandlungen mit Nanopartikeln auf den Markt gekommen.

Neben Festigungsmitteln und wasserabweisenden Mitteln gibt es auch, wenn auch in geringerem Maße, ölabweisende Mittel.

#### 3.1. Konsolidierer

Die Verfestigung ist eine Behandlung, die darauf abzielt, die Porosität zu verringern und die Kohäsion des Steins zu erhöhen und damit seine mechanische Festigkeit zu steigern. Damit die Verfestigung wie vorgesehen funktioniert, muss das Verfestigungsmittel homogen aufgetragen werden und tief eindringen, wobei letzteres von Faktoren wie der porösen Struktur des Steins, den chemischen Eigenschaften des Verfestigungsmittels und dem Anwendungssystem abhängt.

Die Merkmale, die ein Konsolidierer erfüllen muss, sind die folgenden (Wheeler G. , 2005):

- Sie muss die mechanische Festigkeit des Materials erhöhen.
- Es muss in das Innere des Gesteinsmaterials eindringen.
- Die Veränderbarkeit des verfestigten Gesteins muss geringer sein als die des unbehandelten Gesteins.
- Muss den Durchgang von Wasserdampf durch das Gestein ermöglichen, um die Ansammlung von Wasser und Salzen zu verhindern.
- Es muss mit dem Gestein verträglich sein und darf keine schädlichen oder mit den Gesteinsbestandteilen reagierenden Verbindungen bilden.
- Aus physikalischer Sicht sollten die Eigenschaften des behandelten Materials denen des unbehandelten Materials ähneln, um das Auftreten von Spannungen zwischen der behandelten Schicht und dem inneren Substrat zu vermeiden.

- Ein gutes Verfestigungsmittel sollte das Aussehen des Steins nicht verändern. Der Stein darf durch die Behandlung keine Farb- oder Glanzveränderungen erleiden. Darüber hinaus muss es langfristig gegen Umwelteinflüsse, insbesondere gegen ultraviolette Strahlung, beständig sein.

Der Aufstieg der Nanomaterialien hat dazu geführt, dass sie in allen Bereichen eingesetzt werden, auch im Natursteinsektor. In den letzten Jahren wurden Nanomaterialien mit verfestigender Wirkung entwickelt, um viele der Nachteile herkömmlicher Verfestigungsmittel zu überwinden.

Die Verbesserungen wurden durch die nanometrische Größe der Nanopartikel (1-100 nm) ermöglicht, die ihnen eine größere spezifische Oberfläche und damit eine höhere Reaktivität verleiht (Miranda, 2006; Berlanga, 2013).

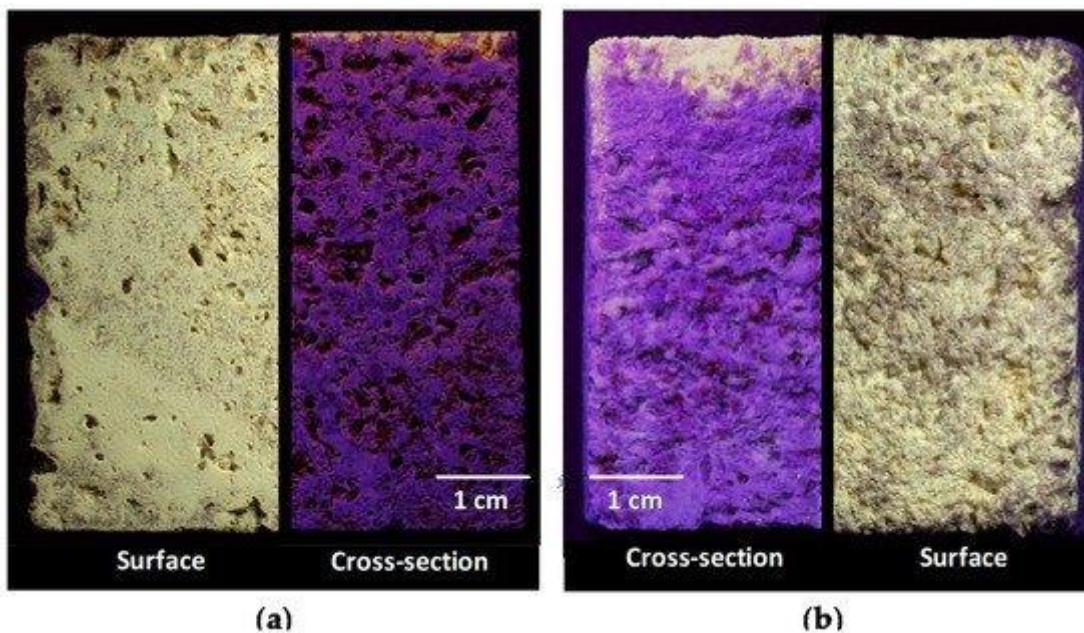


Abb. 7. Mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{ZnO}$  NPs unter UV-Licht behandelter Naturstein. Quelle: Kulturelles Erbe - Wissenschaft, Materialien und Technologien

Zu den Eigenschaften der Verfestigungsmittel, die durch die Tatsache, dass die Partikel nanometrisch sind, verbessert werden, gehören die Erhöhung der Penetrationsfähigkeit der Produkte (D'Armada und Hist, 2012), eine größere Fähigkeit, mit dem Substrat zu reagieren, eine größere Beschichtungskapazität, ohne die Atmungsaktivität negativ zu beeinflussen, und die Vermeidung der Rissbildung des Verfestigungsmittels.

Zu den am weitesten verbreiteten Konsolidierungsmitteln, die derzeit verwendet werden, gehören:

## KALK-NANOKONSOLIDIERUNGSMITTEL



Die Zugabe von kolloidalen Calciumhydroxid-Nanopartikeln, deren Lösungsmittel ein Alkohol ist, begünstigt eine höhere Karbonisierungsgeschwindigkeit, eine vollständige Umwandlung sowie eine höhere Konzentration und Eindringtiefe des Calciumhydroxids in das behandelte Material (De Rosario, I. , 2017).

## SILIZIUMDIOXID-NANOKONSOLIDIERUNGSMITTEL

Eine andere Art der Behandlung mit Nanopartikeln sind Siliziumdioxid-Nanoverfestiger. Diese Bindemittel werden auf der Grundlage einer kolloidalen Dispersion von Nanosilika in einer wässrigen Dispersion formuliert. Nachdem das Wasser verdunstet ist, aggregieren die Silika-Nanopartikel zu einer Silika-Matrix (Ripoll, A. , 2020). Dabei handelt es sich im Wesentlichen um kolloidale Dispersionen von nanometrischem Siliziumdioxid, die beim Trocknen ein Kieselgel bilden, ähnlich dem, das bei der Reaktion von Ethylsilikat mit dem Gesteinsmaterial entsteht, und so Klebeeigenschaften hervorrufen.

### 3.2. Wasserabweisende Mittel

Wasserabweisende Mittel verringern die Wasseraufnahme durch die Steinoberfläche, indem sie die Oberflächenspannung des Steins verändern und so das Eindringen von Wasser in die Tiefe verhindern, aber dennoch das Entweichen von Wasser von innen nach außen ermöglichen.

Ein gutes wasserabweisendes Mittel sollte die folgenden Eigenschaften aufweisen (Villegas et al. , 2003; Amoroso und Fassina, 1983):

- Kein oder minimaler Einfluss auf die optischen Eigenschaften des Steinmaterials.
- Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse und UV-Strahlung, um eine gewisse Wirksamkeit der Behandlung über einen längeren Zeitraum zu gewährleisten.
- Gute Haftung auf dem Untergrund und Waschbeständigkeit.
- Leichte Anwendung.
- Undurchlässigkeit für Wasser im flüssigen Zustand.
- Durchlässigkeit für Wasserdampf. So kann das Wasser, wenn es in flüssigem Zustand in das Innere des Steins eindringt, verdampfen.
- Reversibilität oder Wiederbehandelbarkeit.
- Bei der Anwendung entstehen keine schädlichen Nebenprodukte.



Abb 8. Mit wasserabweisendem Mittel behandelter Naturstein. Quelle: CSIRO.

Wie die verfestigenden Nanoprodukte sind auch die wasserabweisenden Nanoprodukte in den letzten Jahrzehnten auf den Markt gekommen. Da es sich auch hier um nanometrische Partikel handelt, verbessert sich ihr Eindringvermögen, so dass sie eine bessere Leistung als herkömmliche Behandlungen bieten.

Durch den Zusatz von Nanopartikeln wird die wasserabweisende Wirkung manchmal verbessert, und es kann sogar eine Superhydrophobie erreicht werden.

Der Zusatz von anorganischen Nanopartikeln wie Siliziumdioxid, Aluminium-, Zinn- und Titanoxiden zu handelsüblichen Polysiloxanen führt nach dem Auftragen auf den Stein zu einer gewissen Oberflächenrauhigkeit und einer Verringerung der Oberflächenenergie, wodurch der Stein hydrophobe Eigenschaften erhält (Manoudis, 2009).

Neben den anorganischen Partikeln sind auch Siliziumdioxid-Nanopartikel von besonderem Interesse. Sie haben sich als Verfestigungsmittel und wasserabweisende Mittel auf silikatischem Gestein, Granit und Sandstein bewährt (Pérez, N. , 2017). Diese Nanopartikel, die einer Mischung aus organischen und anorganischen Silika-Oligomeren in Gegenwart eines Tensids zugesetzt werden, ermöglichen die Herstellung superhydrophober Oberflächen (Facio und Mosquera, 2003).

Andere Nanopartikel, die zur Erzielung der wasserabweisenden Wirkung verwendet werden, sind Nano-Hydroxyapatite, die, wenn sie TEOS zugesetzt werden, die mechanischen



Eigenschaften und die Beständigkeit bei beschleunigten Alterungstests erheblich verbessern (De Rosario, 2017).

### 3.3. Ölabweisende Mittel

In den letzten Jahren wurde die Verwendung von Materialien, die einen Anti-Graffiti-Schutz mit hydrophoben Eigenschaften bieten, stark gefördert, um die Instandhaltungskosten zu senken und Restaurierungsmaßnahmen zu minimieren. Für diese Anwendungen müssen Beschichtungen hergestellt werden, die gleichzeitig hydrophobe und oleophobe Eigenschaften aufweisen, um das Eindringen von Flecken in die Poren des Steins zu verhindern oder zu begrenzen. Solche Materialien wurden erfolgreich mit langen Kohlenwasserstoffseitenketten oder fluorierten Verbindungen hergestellt, wobei letztere die oleophoben Eigenschaften liefern. Andere wirksame Strategien beinhalten die Zugabe von Nanopartikeln in fluoridierte Polymere. Obwohl die Bedeutung von Steinbeschichtungen, die nicht nur Wasser, sondern auch andere Stoffe abweisen können, anerkannt ist, wird in der aktuellen Literatur der Schwerpunkt auf das Schutzverhalten gegenüber Wasser gelegt, während die Oleophobie der Oberfläche weit weniger untersucht wird.



## 4. ANWENDUNG VON NANOPRODUKTEN

Die Wirksamkeit einer Behandlung hängt von der Behandlungstiefe, dem in der porösen Struktur erzeugten Verteilungsmuster und anderen Faktoren wie der Angemessenheit der angewandten Behandlung, der Art des Materials, der Konzentration der Behandlung, der Kontaktzeit, den Arbeitsbedingungen usw. ab.

Es lassen sich zwei Arten von Anwendungsmethoden unterscheiden:

### 4.1. Anwendung im Labor

Wenn das Gesteinsmaterial bewegt und in ein Labor transportiert werden kann, sind die Anwendungsmethoden oft effektiver als die In-situ-Anwendungsmethoden. Zu den Anwendungsmethoden im Labor gehören:

#### 4.1.1. Eintauchen

Eine Methode zur Anwendung von Behandlungen im Tauchbad. Bei diesem Verfahren wird das Steinmaterial vollständig in die Behandlung eingetaucht. Sie wird in der Regel bei Umgebungsdruck und -temperatur durchgeführt, obwohl diese Parameter variiert werden können. verschiedene Druck- und Temperaturbedingungen. Es ist ratsam, die Behandlungslösung nach und nach hinzuzufügen, damit die Luft aus dem porösen System entweichen kann.

Eine Variante dieser Methode besteht darin, sie unter Vakuum durchzuführen, was in der Regel zu einer höheren Penetration führt. Bei dieser Methode sind ein Vakuumbehälter, ein Lösungsbehälter und eine Pumpe erforderlich. Wenn ein ausreichend niedriger Druck erreicht ist, wird das Eindringen der Lösung erleichtert. Wenn das Objekt vollständig bedeckt ist, wird das Ventil geschlossen, wodurch der Druck eine Weile aufrechterhalten wird, und dann wird die Pumpe geschlossen, wodurch der atmosphärische Druck wieder erreicht wird.

#### 4.1.2. Kapazität

Eine weitere Methode zur Anwendung der Behandlung ist die Kapillarwirkung. In diesem Fall wird das Steinmaterial in einen Behälter gelegt, der abgedeckt werden kann, um das Verdampfen des Lösungsmittels zu verhindern. Die Lösung dringt durch die poröse Struktur in das Material ein. Wie im vorherigen Fall wird die Lösung langsam zugegeben, damit die Luft aus dem porösen System entweichen kann.

### 4.2. Anwendung vor Ort

Wenn die Anwendung an Ort und Stelle erfolgen muss, ist es im Allgemeinen schwieriger, eine hohe Penetration zu erreichen. Zu den am häufigsten verwendeten Arten der In-situ-Anwendung gehören:



#### 4.2.1. Gesprühte oder aerosolierte Lösungen

Mit dieser Methode wird eine gute Eindringtiefe erreicht. Das reine Lösungsmittel oder eine sehr verdünnte Lösung muss verdampft werden, um die Diffusion zu begünstigen und damit die Penetration zu erhöhen, die durch die Verwendung heißer Lösungen und die schrittweise Erhöhung ihrer Konzentration erhöht wird.

#### 4.2.2. Anwendung mit Pinsel oder Rolle

Das Auftragen mit einem Pinsel oder einer Rolle ermöglicht im Allgemeinen keine gute Penetration.

#### 4.2.3. Direkte Anwendung

Bei der direkten Anwendung wird eine hohe Kontaktzeit angestrebt. Zu diesem Zweck werden Tampons verwendet, die mit Plastikmaterial überzogen sind, um die Verdunstung zu verhindern. Diese Methode ermöglicht die Anwendung auf großen Flächen, vorausgesetzt, es ist ein Mechanismus zur Rückgewinnung der überschüssigen Lösung vorhanden.

Dieses System kann durch die Erzeugung von Druckverhältnissen unterhalb des Atmosphärendrucks verbessert werden, so dass nach dem Auftragen der überschüssigen Lösung die Luft abgesaugt wird, damit die Lösung an der Oberfläche des Steinmaterials haftet.



## 5. DIE DAMIT VERBUNDENEN RISIKEN

Es gibt nur wenige wissenschaftliche Daten über die Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern. Daher muss geprüft werden, ob die Partikel in Nanogröße ein anderes Risiko darstellen als Partikel in Nicht-Nanogröße mit derselben Zusammensetzung.

Mit abnehmender Partikelgröße steigt die spezifische Oberfläche und damit die Reaktivität des Partikels. Die Reaktivität steigt. Aufgrund dieser Vergrößerung können Partikel in Nanogröße andere gesundheitsschädliche Wirkungen im Körper hervorrufen als Partikel ohne Nanogröße mit der gleichen chemischen Zusammensetzung, da sie im Körper auf unterschiedliche Weise interagieren können.

Wenn Nanopartikel im Vergleich zu denselben Partikeln neuartige physikalisch-chemische Eigenschaften aufweisen, besteht die Möglichkeit, dass dies mit neuen toxikologischen Eigenschaften einhergeht. Toxikologischen Eigenschaften einhergehen kann. Daher hängen die mit Nanomaterialien verbundenen Risiken hauptsächlich mit der Partikelgröße zusammen. hauptsächlich mit der Partikelgröße zusammen.

### 5.1. Toxikologische Eigenschaften

Einige der toxikologischen Eigenschaften von Nanomaterialien sind:

**-Translokation:** Aufgrund ihrer nanometrischen Dimension können Nanomaterialien Teile biologischer Systeme erreichen, die für größere Partikel normalerweise nicht zugänglich sind. Dazu gehört eine erhöhte Fähigkeit, Zellgrenzen zu überschreiten oder von der Lunge in den Blutkreislauf und von dort in alle Organe des Körpers zu gelangen, oder sogar durch Ablagerung in der Nase direkt ins Gehirn zu gelangen. Dieser Prozess wird als Translokation bezeichnet, und im Allgemeinen können Nano-Objekte viel leichter verlagert werden als andere größere Strukturen.

**-Toxizität:** Nanopartikel haben eine viel größere Oberfläche als die gleiche Masse an großen Partikeln. In dem Maße, in dem die Oberfläche ein Faktor für die Toxizität ist, bedeutet dies eindeutig, dass die toxischen Auswirkungen von Partikeln im Nanomaßstab möglicherweise zunehmen.

**-Biopersistenz:** Einige Nanopartikel (z. B. Nanodrähte) weisen einen hohen Anteil an biopersistenten Erscheinungsbildern auf, die eine ähnliche Morphologie und Haltbarkeit wie Asbestfasern aufweisen und daher wahrscheinlich in der Lunge verbleiben, wenn sie eingeatmet werden, und dort Entzündungen und schließlich Krankheiten verursachen.

**-Löslichkeit:** Es hat sich gezeigt, dass die Verkleinerung einiger Nano-Objekte mit einer erhöhten Löslichkeit verbunden ist. Dieser Effekt könnte zu einer erhöhten Bioverfügbarkeit von Stoffen führen, die bei der großen Partikelgröße als unlöslich oder schwer löslich gelten.



## 5.2. Toxikologische Wirkungen

Die toxikologischen Auswirkungen von Nanomaterialien auf den Körper hängen hauptsächlich davon ab:

**Faktoren im Zusammenhang mit der Exposition:** Eintrittswege in den Organismus, Dauer und Häufigkeit der Exposition und Umweltkonzentrationen. Die Ablagerung und Aufnahme von Nanopartikeln in den Körper erfolgt hauptsächlich auf drei Wegen: durch Einatmen, über die Haut und über den Verdauungstrakt.

Je nach Form und chemischer Zusammensetzung des Nanomaterials kann es über die Atemwege in verschiedene Teile der Atemwege eindringen und dort abgelagert werden. Dies ist der Hauptexpositionsweg für Bauarbeiter, insbesondere bei der Bearbeitung von Nanomaterialien, bei der Staub [Schneiden, Schleifen, Bohren, Aufbohren usw. ] oder Nebel [Farbspritzern] entsteht.

Der dermale Weg muss berücksichtigt werden, da kleinere Partikel mit größerer Wahrscheinlichkeit die Haut durchdringen, so dass dieser Weg bei Arbeiten, bei denen ein großer Teil des Körpers des Arbeitnehmers mit Nanomaterialien in Berührung kommt, an Bedeutung gewinnt.

Nanomaterialien können auch über den Verdauungstrakt in den Körper gelangen, und zwar durch schlechte Hygienepraktiken beim Umgang mit Nanomaterialien oder durch das Verschlucken von Materialien, die in den oberen Atemwegen zurückgehalten werden.

**Faktoren in Bezug auf den exponierten Arbeitnehmer:** individuelle Anfälligkeit, körperliche Aktivität am Arbeitsplatz, Ablagerungsort und der Weg, auf dem die Nanomaterialien in den Körper gelangen.

**Faktoren im Zusammenhang mit den Nanomaterialien:** intrinsische Toxizität des Nanomaterials.

Obwohl es nur sehr wenige Informationen über die Sicherheitsrisiken gibt, die von Nanomaterialien ausgehen können, ist bekannt, dass die Brand- und Explosionsgefahr die größte Gefahr darstellt.

Die Partikelgröße bzw. die spezifische Oberfläche ist einer der Faktoren, die für die Entzündbarkeit und die Explosionskraft einer Staubwolke verantwortlich sind. Aufgrund ihrer Größe können sie lange Zeit in der Luft verbleiben, was die Möglichkeit der Bildung explosionsfähiger Staubwolken erhöht, und aufgrund ihrer größeren Oberfläche können sich Nanopartikel leicht elektrostatisch aufladen, was die Entzündungsgefahr erhöht.

Allerdings können partikelförmige Nanomaterialien in Form von Staub ein Explosionsrisiko darstellen, während die entsprechenden Materialien ein Explosionsrisiko darstellen können. ein Explosionsrisiko darstellen können, während die entsprechenden Materialien keins darstellen



können. In der Regel werden nur geringe Mengen gehandhabt, so dass die Explosionsgefahr stark reduziert ist.

Einige Nanomaterialien sind als explosionsgefährlich einzustufen und erfordern daher besondere Arbeitsbedingungen (inerte Atmosphären).

Studien über die toxischen Auswirkungen von Nanomaterialien zeigen zum Beispiel, dass Titandioxid- und Zinkoxid-Nanopartikel, die in Sonnenschutzmitteln verwendet werden, bei Mäusen DNA-Schäden verursachen können.

Einer der ersten Todesfälle infolge der Exposition gegenüber Nanopartikeln wurde 2009 gemeldet, als zwei weibliche Angestellte einer Fabrik in China an Lungenfibrose starben, die durch das Vorhandensein von Nanopartikeln aus Acrylharzen verursacht wurde.

Einige der oben genannten Gesundheitsrisiken, die von den im Bauwesen verwendeten Nanomaterialien ausgehen, werden im Folgenden beschrieben.

- **TITANDIOXID (TiO<sub>2</sub>).** Das Einatmen kann entzündliche und genotoxische Wirkungen hervorrufen. Die Entzündung, die manchmal reversibel sein kann, hängt vom Verhältnis Oberfläche pro Masseneinheit sowie von der Dauer und Konzentration der Exposition ab. Studien zeigen, dass die Toxizität der Anatasform von TiO<sub>2</sub> größer ist als die der Rutilform. In In-vitro-Studien induziert TiO<sub>2</sub>-Anatas oxidativen Stress im menschlichen Lungengewebe mit DNA-Schäden. Bei langfristiger Exposition gegenüber TiO<sub>2</sub>-Anatas wurden krebserregende Wirkungen beobachtet. TiO<sub>2</sub> wird nicht durch die intakte Haut absorbiert.
- **ZINKOXID (ZnO).** Studien zeigen, dass es oxidative Stressreaktionen im Lungengewebe und DNA-Schäden verursacht. Beim Einatmen wurden entzündliche Wirkungen auf die Lunge und systemische Wirkungen beobachtet; die Verteilung im Körper wird durch die Löslichkeit der Partikel beeinflusst. In In-vitro-Studien wurden genotoxische Wirkungen beobachtet, während In-vivo-Studien negativ verliefen. Die dermale Absorption ist begrenzt und es wurden keine lokalen Auswirkungen beobachtet.
- **SILIZIUMDIOXID (SiO<sub>2</sub>).** Die Toxizität hängt von der vorhandenen kristallinen Struktur ab. Amorphes Siliziumdioxid hat im Gegensatz zu kristallinem Siliziumdioxid eine geringe Toxizität und verursacht keine fortschreitende Fibrose. Silikastaub besteht hauptsächlich aus amorphem Siliziumdioxid, kann aber je nach Herstellungsverfahren einen höheren oder niedrigeren Anteil an kristallinem Siliziumdioxid enthalten.
- **KOHLENSTOFF-NANORÖHRCHEN (CNT).** Sie können einwandig (SWCNT) oder mehrwandig (MWCNT) sein. Sie üben eine pulmonale Toxizität aus: Entzündung, Fibrose und epithelioide Granulome. Die Toxizität der CNT hängt von der Art der Nanoröhren (SWCNT oder MWCNT), der Steifigkeit und dem Verhältnis Länge/Durchmesser ab. Die Toxizität wird auch durch das Syntheseverfahren und das Vorhandensein aktiver



Gruppen, z. B. von Carbonsäuren, beeinflusst. Bei der Synthese werden Katalysatoren wie Eisen und Nickel verwendet, die als kleine Verunreinigungen zurückbleiben und die Toxizität erhöhen können. Ähnliche Reaktionen wie bei Asbest können für Nanoröhren jeglicher Zusammensetzung angenommen werden, die in Form von losen Fasern und nicht als kurze oder verwickelte Fasern vorliegen. Es wurde festgestellt, dass CNT, die länger als 20 µm sind, mit Mesotheliomen in Verbindung gebracht werden.

- **KUPFEROXID (CuO).** Nanometrische CuO-Partikel sind giftiger als stabilisiertes metallisches Kupfer. Die Löslichkeit dieses Nanomaterials und die Freisetzung von Kupfer sind für die toxische Wirkung verantwortlich und führen zu einer Entzündungsreaktion.
- **SILBER (Ag).** Die toxischen Wirkungen von Silberpartikeln in Nanogröße sind nur unzureichend bekannt. Nach dem Einatmen werden sie über das Blut verteilt und können sich in verschiedenen Geweben anreichern und Auswirkungen auf die Leber und das Immunsystem haben. Über den Geruchsnerv können sie das Gehirn erreichen. Es ist bekannt, dass Silber in Nanogröße eine tödliche Wirkung auf Bakterien und Fibroblasten hat.



## 6. PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Bei der Sammlung von Informationen zur Ermittlung der Gefahren jedes einzelnen Nanoprodukts sollte der Schwerpunkt auf der Suche nach Daten über seine physikalisch-chemischen Merkmale und Eigenschaften liegen. Informationen können aus Etiketten (Piktogrammen), Sicherheitsdatenblättern, Empfehlungen der Europäischen Kommission und anderen Quellen wie Datenbanken oder wissenschaftlicher Literatur entnommen werden. Datenbanken oder wissenschaftlicher Literatur.

Die zu ergreifenden Präventivmaßnahmen werden an die jeweilige Arbeitssituation angepasst, je nach den verwendeten Nanomaterialien und den verfügbaren Informationen über die Exposition. Für die geeignete Auswahl dieser Maßnahmen sind Kenntnisse über die Art des Prozesses, die Eigenschaften der vorhandenen Nanomaterialien, die potenziellen Expositionen (Häufigkeit und Dauer der Tätigkeiten), die Verfahren, die Dauer der Tätigkeiten), die Verfahren, die Merkmale des Arbeitsplatzes usw. erforderlich.

Die Exposition gegenüber gefährlichen Stoffen ist so weit wie möglich zu vermeiden, vorzugsweise durch Beseitigung des Stoffes, Vermeidung der Exposition oder Ersetzen des Stoffes durch einen weniger gefährlichen Stoff. Wenn die Verwendung und Erzeugung von Nanomaterialien nicht beseitigt oder durch weniger gefährliche Materialien und Verfahren ersetzt werden kann, muss die Exposition der Arbeitnehmer durch technische Maßnahmen zur Quellenkontrolle, organisatorische Maßnahmen und persönliche Schutzausrüstung als letztes Mittel minimiert werden.

Bei der Durchführung von Präventivmaßnahmen ist es ratsam, eine gut etablierte Kontrollhierarchie zu befolgen:

- **Prozessänderung:** Um die Exposition zu minimieren, können Änderungen an den Arbeitsverfahren vorgenommen werden, z. B. die Verringerung der Menge an Nanomaterial bei bestimmten Tätigkeiten oder der Ersatz von Nanomaterialien in Pulverform durch eine andere Darreichungsform, bei der das Nanomaterial in einem flüssigen Medium oder in einer festen Matrix eingebettet ist.
- **Isolierung/Einschluss:** Tätigkeiten, bei denen es zu einer Freisetzung von Nanomaterialien am Arbeitsplatz kommen kann, müssen in separaten Einrichtungen oder in Einrichtungen durchgeführt werden, in denen die Handhabung von einem geschützten Bereich aus erfolgt.
- **Technische Begrenzungsmaßnahmen:** Sie zielen darauf ab, die Emission des Schadstoffs an der Emissionsquelle zu verringern, indem eine physische Barriere zwischen dem Arbeitnehmer und dem Nanomaterial geschaffen wird. Zu den technischen Kontrollmaßnahmen gehören lokale Absaugsysteme.



## 6.1. Organisatorische Maßnahmen

- Minimierung der Zahl der exponierten Arbeitnehmer.
- Reduzieren Sie die Belichtungszeit.
- Begrenzen und beschildern Sie Arbeitsbereiche mit Piktogrammen, die auf das mögliche Vorhandensein von Nanomaterialien und die zu treffenden Schutzmaßnahmen hinweisen.
- Minimieren Sie die Menge an partikelförmigem Nanomaterial, die zu einem bestimmten Zeitpunkt verwendet wird.
- Regelmäßige Schulung und Unterrichtung der exponierten Arbeitnehmer über die potenziellen Risiken und die zu ergreifenden Präventivmaßnahmen.
- Halten Sie die Arbeitsräume in einem ordnungsgemäßen Zustand und sauber. Reinigen Sie Böden, Geräte, Werkzeuge und Arbeitsflächen regelmäßig mit feuchten Tüchern oder einem Staubsauger mit Filter. oder einem Staubsauger mit einem sehr effizienten "absoluten" Luftfilter der Gruppe H (HEPA), Klasse H14 oder höher (ULPA). Druckluft, Besen, Bürsten oder starke Wasserstrahlen dürfen nicht verwendet werden. oder starke Wasserstrahlen dürfen nicht verwendet werden.

## 6.2. Kollektive Schutzausrüstung:

Die Konstruktion des Abzugs und die Durchflussmenge sind entscheidend für den ordnungsgemäßen Betrieb. Im Zusammenhang mit diesen Kontrollsystemen sind folgende Aspekte zu beachten:

- Verwenden Sie Abzüge, die die Quelle so weit wie möglich einschließen und sich so nah wie möglich an der Quelle befinden.
- Verwenden Sie Filtersammelsysteme mit hocheffizienten HEPA-Filtern der Klasse H14 oder ULPA.
- Die Rohrleitungen des Absaugsystems müssen resistent gegen die gehandhabten Nanomaterialien sein, da diese reaktiver sein können als ihre nicht nanoskaligen Gegenstücke. Örtliche Absauganlagen sind wahrscheinlich die am häufigsten eingesetzten Maßnahmen in der Industrie. Das Ziel eines lokalen Absaugsystems ist es, den Schadstoff so nah wie möglich am Entstehungsort (Quelle) zu erfassen und zu verhindern, dass er sich in den Expositionsbereich des Arbeitnehmers ausbreitet. Die Auswahl des am besten geeigneten Belüftungssystems hängt vom Prozess, der Gefährlichkeit des Schadstoffs, der zu kontrollierenden Quelle und den Expositionsgrenzen des entsprechenden Nanomaterials ab.

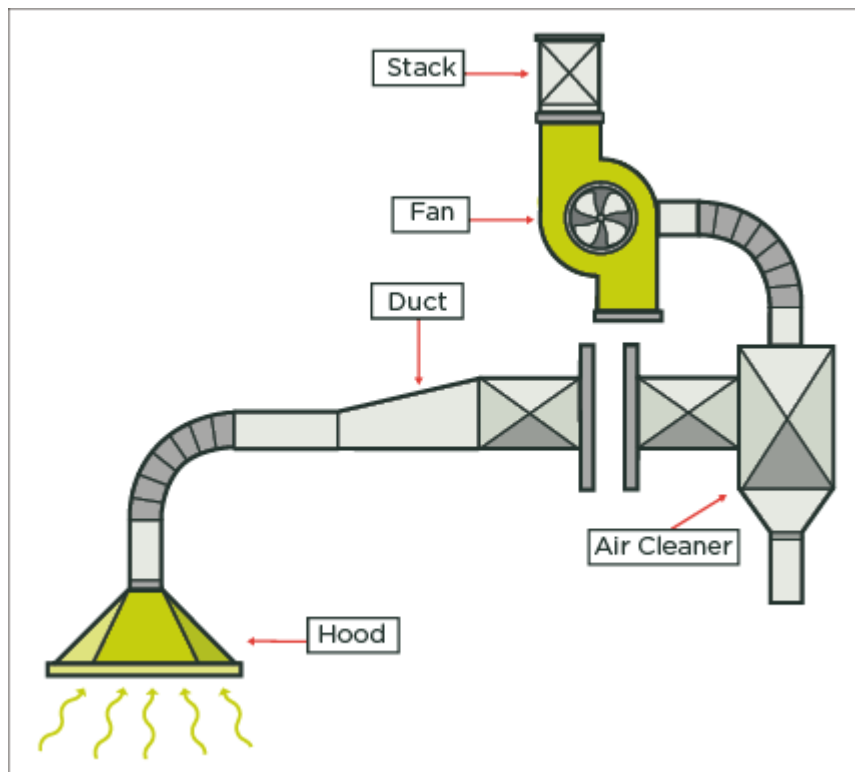


Abb 9. Lokales Absaugsystem. Quelle: ECL

- Verwenden Sie außerhalb der Arbeitsbereiche Klebepads, um die Verbreitung von Nanomaterialien zu vermeiden. Nanomaterialien

### 6.3. Persönliche Schutzausrüstung:

Für kurzfristige Routearbeiten können Vollmasken, Halbmasken und Viertelmasken mit P3-Partikelfiltern, die in austauschbare Filter eingebaut werden können, als Atemschutzgeräte verwendet werden. Bei längerer Exposition werden strombetriebene Filtergeräte mit P3-Partikelfiltern verwendet.



Abb 10. Vollmaske.



Abb. 11. Halbmaske.

Für den Handschutz wird die Verwendung von Schutzhandschuhen gegen Chemikalien und Mikroorganismen empfohlen, die EN 374-1:2016 entsprechen müssen, und bei Verwendung von Einweghandschuhen wird die Verwendung von zwei überlappenden Handschuhpaaren empfohlen, um eine größere Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beschädigung der Handschuhe zu gewährleisten.



Aufgabe O1/A4. GEMEINSAMER LEITFADEN FÜR PRÄVENTIONSMASSNAHMEN ZUR SICHEREN HERSTELLUNG UND VERWENDUNG VON NANOMATERIALIEN IM STEINSEKTOR.

---



Abb 12. Handschuhe.



Liegt das Nanomaterial in Pulverform vor, sollte Schutzkleidung getragen werden.



Abb. 13. Schutzkleidung.

Der Schutz der Augenschleimhäute muss durch unterschiedliche Arten von Augenschutz gewährleistet werden, je nachdem, in welcher Form die Kontaminante vorhanden ist.

- Schutzbrille: Laborbrille mit Universalfassung.



Abb. 14. Schutzbrille.

- Schutzbrille: "Taucher"-Typ, eng anliegender Augenschutz, der von einem Gummiband um den Kopf gehalten wird.



Abb. 15. Schutzbrille mit Gummi.



- Gesichtsschutz: von den Augenbrauen bis unter das Kinn und über die gesamte Breite des Kopfes des Mitarbeiters.



Abb. 16. Gesichtsschutz

Die wachsende Besorgnis über die Auswirkungen der Verwendung von Nanopulvern und anderen Nanomaterialien auf Gesundheit und Sicherheit konzentriert sich fast ausschließlich auf die potenziellen toxischen Wirkungen, aber auch das Brand- und Explosionsrisiko von Nanopulvern muss berücksichtigt werden.

Andererseits werden bei der Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien zwangsläufig erhebliche Mengen an Nanopartikeln in die Umwelt emittiert, die über verschiedenste Wege zu Menschen und anderen Organismen gelangen können.

Darüber hinaus führt dies unweigerlich zur Entstehung von Nanoabfällen, für die das Wissen über ihre Entsorgung sehr begrenzt ist und die Rechtsprechung unzureichend ist.



## 7. BIBLIOGRAPHIE

Adlakha-Hutcheon, G., Khaydarov, R., Korenstein, R., Varma, R., Vaseashta, A., Stamm, H., and Abdel-Mottaleb. (2009). M. NANOMATERIALIEN, NANOTECHNOLOGIE-Anwendungen, Konsumgüter und Vorteile. Nanomaterialien: Risiken und Vorteile.

Amoroso, G. y Fassina, V. 1983. Steinzerfall und Konservierung: Luftverschmutzung, Reinigung, Konsolidierung und Schutz, Materialwissenschaftliche Monographien, vol. 11, Elsevier, Amsterdam, 453 pp

Bartos, P. J. M. (2009). In Bittnar, Z Bartos, PJM Nemecek, J Smilauer, V Zeman, J. (Ed.), Nanotechnologie im Bauwesen: Ein Fahrplan für die Entwicklung

Becerra, J., Zaderenko, A. P. und Ortiz, P. (2019). Basisprotokoll für die Vor-Ort-Prüfung von konsolidierenden Nanopartikeln auf Steinkulturerbe.

Berlanga Mora, I. 2013. Síntesis y caracterización de nanomateriales 0D, 1D y 2D. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias. Departamento de Química Inorgánica.

Broekhuizen, F. V., Broekhuizen, P. V. (2009). Nanoprodukte in der europäischen Bauindustrie. Europäischer Verband der Bau- und Holzarbeiter und Europäischer Verband der Bauindustrie.

Bystrzejewska-Piotrowska, G., Golimowski, J., & L. Urban, P. (2009). Nanopartikel: ihre potentielle Toxizität, Abfall- und Umweltmanagement.

Chih-cheng L., Chun-hsien W., Pei-Yu C., Chien-Wei H. (2012). Eine empirische Studie zur Kommerzialisierungsleistung von Nanoprodukten.

Europäische Kommission. (2012a). Politiken. Abgerufen von [http://ec.europa.eu/nanotechnology/policies\\_en.htm](http://ec.europa.eu/nanotechnology/policies_en.htm)

Facio, D.S. y Mosquera, M.J. 2013. Einfache Strategie zur Herstellung superhydrophober Nanokompositbeschichtungen "in situ" auf einem Bausubstrat. ACS Appl Mater-Schnittstellen.

Golanski L, Guillot A, Tardif, F. (2010). "Experimentelle Bewertung einzelner Schutzeinrichtungen gegen verschiedene Arten von Nanoaerosolen: Graphit, TiO<sub>2</sub> und Pt", Schwerpunkt: Sicherheit von Nanopartikeln, Zeitschrift für Nanopartikelforschung.

Hanus, M. J., & Harris, A. T. (2013). Nanotechnologische Innovationen für die Bauindustrie. Fortschritte in der Materialwissenschaft.

INSST. Exposición potencial a nanomateriales en el sector de la construcción. [en línea]. Instituto Nacional de Seguridad y Salud Trabajo (INSST), 2018.

Kumar A, Vemula PK, Ajayan PM, John G. (2008). Silber-Nanopartikel-eingebettete antimikrobielle Farben auf Pflanzenölbasis.



Manoudis, P.N.; Tsakalof, A.; I. Karapanagiotis, I.; Zuburtikudis, I.; Panayiotou, C. 2009b. Herstellung von superhydrophoben Oberflächen für verbesserten Steinschutz. Oberflächen- & Beschichtungstechnik 203. 1322–1328

Miranda, R. 2006. Efectos de tamaño cuántico y su importancia para la reactividad y estabilidad de nanoestructuras. Revista Sistema madri+d, Especial Nanociencia y Nanotecnología. Monografía 15: 19-25

Nasibulina, L. I., Anoshkin, I. V., Shandakov, S. D., Nasibulin, A. G., Cwirzen, A., Mudimela, P. R., . . . Kauppinen, E. I. (2010). Direkte Synthese von Kohlenstoffnanofasern auf Zementpartikeln.

Ripoll Casas, Alba (2020). Piedra de Novelda: evaluación de consolidantes nanoparticulados.

Schmidt M, Amrhein K, Braun T, Glotzbach C, Kamaruddin S, Taenzer R.(2013). Nanotechnologische Verbesserung von Strukturmaterialien - Auswirkungen auf Materialeistung und Strukturdesign

Quintil, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño

Ugwu OO, Arop JB, Nwoji CU, Osadebe NN. (2013). Nanotechnologie als präventive technische Lösung für den Ausfall von Autobahninfrastrukturen. J

Villegas, R.; Baglioni, R.; Sameño Puerto, M. 2003. Tipología de materiales para tratamiento. En: Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamiento para la conservación de los edificios históricos. Villegas, R. y Sebastián Pardo, E. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Sevilla 2003. Cuadernos técnicos; 8. ISBN: 84-8266-370-4

Wheeler G. Alkoxysilane und die Konsolidierung von Stein. (2005). Das Getty Conservation Institute.

Leitlinien der WHO zum Schutz der Arbeitnehmer vor potenziellen Risiken durch hergestellte Nanomaterialien. ISBN 978-92-4-155004-8