

**vfa-Positionspapier
„Nanobiotechnologie/Nanomedizin“**

ZUSAMMENFASSUNG

Kennzeichen der Nanotechnologie ist, dass sie mit Materialien arbeitet, die zwischen ca. 1 und 100 bis 1.000 Nanometer groß bzw. klein sind. Ein Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters.

Deutschland nimmt in der Nanotechnologie, die als Querschnittstechnologie in verschiedenen Feldern zum Einsatz kommt, im internationalen Vergleich eine starke Position ein. Die Nanobiotechnologie, d.h. die Anwendung in den Bereichen Medizin, Pharmazie und Biowissenschaften birgt das Potenzial, die Diagnose- und Therapiemöglichkeiten für bisher nicht oder nicht ausreichend behandelbare Erkrankungen weiter zu verbessern.

Spezielle Gefahren oder Probleme im Hinblick auf ethische, rechtliche oder soziale Belange werden im medizinisch-pharmazeutischen Bereich bislang nicht gesehen. Bereits heute werden nanobiotechnologische Methoden eingesetzt, deren Sicherheitsprüfung über die Bestimmungen im Arzneimittelgesetz geregelt und im Zulassungsverfahren etabliert sind.

Zu den längst etablierten Anwendungen im Nanomaßstab zählt das Hochdurchsatz-Screening, mit dessen Hilfe neue Zielstrukturen und Wirkstoffe gesucht werden. Außerdem gibt es bereits heute Nanopartikel, die lokal Wirkstoffe freisetzen (z.B. ein Nanopartikelbasiertes Paclitaxelpräparat gegen Krebs) oder nanostrukturierte Oberflächen zur Herstellung bioaktiver Prothesen. Weiterhin haben seit 2010 mehrere Nano-Krebstherapien die Zulassung als Medizinprodukt zur Behandlung von Gehirn- und Lebertumoren bekommen. Darüber hinaus befinden sich viele weitere Nanobiotechnologie-Projekte im Bereich der Lebenswissenschaften in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.

Der vfa spricht sich dafür aus, diese Technologieführerschaft im Bereich der Nanobiotechnologie systematisch weiter auszubauen, das Potenzial der Nanomedizin zum Wohle der Patienten auszuloten und die Entwicklungen in diesem Bereich im Interesse der Patienten unter Beachtung der Kriterien der Sicherheit und Wirksamkeit voranzutreiben.

Seite 1/11

Inhalt

Seite 2/11

A) Die Grundlagen.....	3
Womit beschäftigt sich die Nanobiotechnologie?.....	3
Was ist das Ziel der Nanobiotechnologie? Wie sehen mögliche Anwendungsfelder aus?.....	3
Welche Risiken birgt die Nanobiotechnologie?.....	4
B) Momentane Situation.....	5
Zulassung von nanobiotechnologischen Arzneimitteln	5
Die Position der EMA zur Nanobiotechnologie.....	5
Bereits angewandte Therapiemethoden auf nanobiotechnologischer Basis	6
Die Nanobiotechnologie auf internationaler Ebene	6
Die Nanobiotechnologie in Deutschland.....	7
C) Position des vfa	8
Appendix I – Nanobiotechnologien in der Entwicklung.....	10

A) Die Grundlagen

Seite 3/11

Womit beschäftigt sich die Nanobiotechnologie?

Die Nanotechnologie zählt ebenso wie die Biotechnologie zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts, da beide als typische Querschnittstechnologien eine Vielzahl von Technologiefeldern grundlegend verändern und dadurch ein enormes Innovations- und Wachstumspotenzial aufweisen.

Nanotechnologie

Kennzeichen der Nanotechnologie ist, dass sie mit Materialien arbeitet, die zwischen ca. 1 und 100 bis 1.000 Nanometer groß bzw. klein sind. Ein Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters. Zum Vergleich: Der Durchmesser eines menschlichen Haars beträgt 50.000 Nanometer, 100 Nanometer entsprechen dem Durchmesser eines Grippe-Virus oder – noch anders veranschaulicht – ein Meter verglichen mit einem Nanometer entspräche dem Durchmesser der Erde im Vergleich zu dem einer Centmünze. Diese kleinen Teilchen haben ganz andere mechanische, chemische, optische, elektrische, magnetische und sonstige Eigenschaften als herkömmliche Materialien.

Die Nanobiotechnologie ist an der Schnittstelle zwischen den beiden Schlüsseltechnologien Nano- und Biotechnologie angesiedelt. Sie schlägt die Brücke zwischen der unbelebten und belebten Natur und zielt darauf ab biologische Funktionseinheiten in grundlegender Hinsicht zu verstehen sowie funktionale Bausteine im nanoskaligen Maßstab unter Einbeziehung technischer Materialien, Schnittstellen und Grenzflächen kontrolliert zu erzeugen.

Was ist das Ziel der Nanobiotechnologie? Wie sehen mögliche Anwendungsfelder aus?

Im Bereich der Lebenswissenschaften ist die Nanobiotechnologie derzeit vor allem darauf ausgerichtet, den nanoskaligen Bereich für die Miniaturisierung und die Unterstützung bzw. Kontrolle biotechnologischer und biologischer Prozesse zu nutzen. Ziel ist die Entwicklung nanoskaliger biomolekularer Bausteine und Analyseinstrumente zur Untersuchung der Zellbiologie auf zellulärer und molekularer Ebene. So werden z. B. Techniken zum Umgang mit kleinsten Probenvolumina oder sogar zur Untersuchung einzelner Moleküle entwickelt. Dadurch können Chip-basierte Untersuchungstechniken weiter miniaturisiert werden, um die gezielte und schnelle Untersuchung kleinster Probenmengen zu ermöglichen. Experten erhoffen sich dadurch ganz neue Einsichten in die zellbiologischen Funktionen. Aber auch die Entwicklung neuer biokompatibler und biologisch abbaubarer Materialien wird vorangetrieben.

Weitere Forschungsprogramme zielen darauf ab, neue Therapieoptionen unter Einsatz nanobiotechnologischer Methoden zu entwickeln. Vorrangig wird hierbei an Systemen gearbeitet, die Gene oder Arzneistoffe zielgerichtet an den Ort ihrer Wirkung bringen (Wirkstofftransport/ Drug Delivery Systems). Nanopartikel als Arzneistoffträger sollen dabei helfen herkömmlichen, aber auch modernen Wirkstoffen wie Peptiden, Proteinen und Nukleinsäurederivaten den Weg zu bahnen und diese am gewünschten Wirkort freizusetzen. Ziel ist die Effektivität der Therapien zu erhöhen und die Verträglichkeit der Substanzen zu verbessern.

Seite 4/11

Welche Risiken birgt die Nanobiotechnologie?

Die OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) hat nach eingehenden Überprüfungen festgehalten, dass eine Risikobewertung von Nanomaterialien auf Basis der vorhandenen OECD-Prüfrichtlinien möglich ist – wie bei anderen Forschungsgebieten auch sind jedoch Anpassungen erforderlich, an denen alle Verantwortlichen arbeiten¹.

Spezielle Risiken sind für die Nanobiotechnologie im medizinisch-pharmakologischen Bereich bislang nicht bekannt.

Diese Einschätzung findet sich auch im nach wie vor gültigen „Reflection Paper on Nanotechnology-based products for human use“ (EMA/CHMP/79769/2006) der europäischen Zulassungsbehörde EMA vom Juni 2006². Bereits heute werden im medizinisch-pharmazeutischen Bereich nanobiotechnologische Methoden eingesetzt. Dazu zählt das Hochdurchsatz-Screening, das mit Biosensoren im Nano-Maßstab arbeitet, und mit dessen Hilfe neue Zielstrukturen und Wirkstoffe gesucht werden. Dieses hat einen festen Platz in der Arzneimittelentwicklung eingenommen.

B) Momentane Situation

Seite 5/11

Zulassung von nanobiotechnologischen Arzneimitteln

Inzwischen sind nach der positiven Bewertung durch die europäische Arzneimittelagentur EMA einige Medikamente EU-weit zugelassen worden, bei denen der Wirkstoff entweder in Liposomen (kleine, von einer Phospholipidmembran umhüllte Bläschen) eingebettet ist oder selbst im Nano-Skalenbereich vorliegt. Zu den Liposom-basierten Arzneimitteln gehören Krebspräparate mit den Wirkstoffen Doxorubicin und Mifamurtid, zur zweiten Gruppe Medikamente mit den Wirkstoffen Paclitaxel gegen Krebs, Aprepitant gegen starke Übelkeit von Krebspatienten durch Chemotherapien und Sirolimus zur Vermeidung der Abstoßung nach Organtransplantation.

Die Position der EMA zur Nanobiotechnologie

Die EMA hat neben einer Expertengruppe auch eine spezielle Website zur Nanomedizin eingerichtet:

http://www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?curl=pages/special_topics/general/general_content_000345.jsp&3

Dort veröffentlicht die EMA regelmäßig die zugelassenen nanobiotechnologischen Arzneimittel sowie Leitlinien und andere Dokumente für den Umgang mit Nanotechnologie im Bereich der Humanmedizin bzw. für die Entwicklung von Medikamenten im Bereich Nanomedizin:

- Joint Ministry of Health, Labour and Welfare/ European Medicines Agency reflection paper on the development of block-copolymer-micelle medicinal products (EMA/CHMP/13099/2013)
- Reflection paper on the data requirements for intravenous liposomal products developed with reference to an innovator liposomal product (EMA/CHMP/806058/2009/Rev. 02)
- Reflection paper on surface coatings: general issues for consideration regarding parenteral administration of coated nanomedicine products (EMA/325027/2013)
- Reflection paper on the data requirements for intravenous iron-based nano-colloidal products developed with reference to an innovator medicinal product (EMA/CHMP/SWP/620008/2012)

Das zuletzt aufgeführte Dokument enthält Anforderungen an die Entwicklung von Eisen-Nanosimilars. Als Nanosimilars werden Nanobiotechnologie-basierte Arzneimittel bezeichnet, die einem Referenzarzneimittel mit abgelaufenem Patentschutz ähneln.

Bereits angewandte Therapiemethoden auf nanobiotechnologischer Basis

Seite 6/11

Es existieren bereits einige nanobiotechnologische Arzneimittel, darunter solche, bei denen Nanopartikel eingesetzt werden, die lokal Wirkstoffe freisetzen (z.B. ein Nanopartikel-basiertes Paclitaxelpräparat gegen Krebs) oder nanostrukturierte Oberflächen zur Herstellung bioaktiver Prothesen. Mehrere Nano-Krebstherapien haben seit 2010 die Zulassung als Medizinprodukt zur Behandlung von Gehirn- und Lebertumoren bekommen; bei dieser Behandlung werden Nano-Eisenpartikel in das Tumorgewebe gespritzt und dann mit Hilfe eines magnetischen Wechselfelds zum Vibrieren angeregt. Die dadurch entstehende Wärme tötet die Tumorzellen ab. Die selektive Aufnahme von magnetischen Nanopartikeln in Tumorzellen erlaubt dabei eine gezielte lokale Erwärmung, ohne das gesunde Gewebe zu stark in Mitleidenschaft zu ziehen. Weitere Tumorindikationen befinden sich in der klinischen Erprobung.

Darüber hinaus befinden sich weitere konkrete Nanobiotechnologie-Projekte im Bereich der Lebenswissenschaften in unterschiedlichen Entwicklungsstadien (siehe [Appendix I](#)).

Die Nanobiotechnologie auf internationaler Ebene

Die ‚International Organization for Standardization‘ (ISO) hat ein eigenes technisches Komitee zur Nanotechnologie (TC 229) gegründet, dessen drei Arbeitsgruppen zu den Themen Terminologie und Nomenklatur, Messung und Charakterisierung sowie Gesundheit, Sicherheit und Umwelt einheitliche Standards für die Nanotechnologie erarbeitet haben. Für Europa ist der ‚European Action Plan‘ etabliert worden, der die Haltung der Europäischen Kommission hinsichtlich der gesellschaftlichen und ethischen Aspekte der Nanotechnologie darlegt sowie die Unterstützung für Innovation, Forschung und Entwicklung – inklusive einer entsprechenden Risikoforschung – auf diesem Gebiet unterstreicht. Das Europäische Parlament hat im September 2006 die Nanomedizin als vielversprechenden interdisziplinären Bereich bezeichnet, der das Potenzial aufweise, Durchbrüche hinsichtlich früher Diagnose und kosteneffizienter Therapie für eine Vielzahl von Krankheiten zu ermöglichen. Im Rahmen von „Horizont 2020“ – dem FP7-Nachfolger – werden von 2014 bis 2020 insgesamt 70 Milliarden Euro in Forschung und Innovation investiert⁴. Davon fließen rund 13,5 Milliarden Euro in den sogenannten Bereich für „Leadership in enabling and industrial technologies“, der auch die Nanotechnologie beinhaltet. Zusätzlich wurden Förderungen auf dem Gebiet in Form von privaten Investments getätigt.

Basierend auf den Marktprognosen ist ein exponentielles Wachstum des Weltmarktes nanotechnologischer Produkte zu erwarten. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Prognosen zum Teil auf sehr unterschiedlichen Definitionen und Bewertungsansätzen basieren und somit nicht direkt vergleichbar sind.

Seite 7/11

Die Nanobiotechnologie in Deutschland

In Deutschland befassten sich Ende 2013 laut dem nano.DE-Report des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vom Mai 2014 rund 1.130 Unternehmen in unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette mit der Entwicklung, Herstellung und Vermarktung nanotechnologischer Produkte und Verfahren. Dabei waren 288 Großunternehmen und 845 kleine und mittlere Betriebe gelistet. Das Gros ist dabei auf Nanopartikel-basierte Arzneimittel zurückzuführen, gefolgt von Nanopartikel-basierten Medizinprodukten und Diagnostika. Die Zahl der Arbeitsplätze in der deutschen Nanotechnologie lag zu dem Zeitpunkt bereits bei über 70.000.

Im Jahr 2010 lag die Zahl der Patentanmeldungen in Deutschland nach den USA und Japan auf Platz 3. In Bezug auf die Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen belegten die deutschen Nanoforscher 2010 den vierten Platz.

Eine Analyse zu den kommerziellen Nanomedizin-Aktivitäten in Deutschland aus dem Jahr 2008 zeigt, dass mehr als 50 Prozent der Unternehmen, die in diesem Bereich tätig sind, Nanotechnologien nutzen, um Wirkstofftransportsysteme zu entwickeln. Die Zahl der Unternehmen, die Nanotechnologie-basierte Implantate (19 Prozent) und Produkte für die In-vitro Diagnostik (17 Prozent) entwickeln, fällt dagegen bereits deutlich niedriger aus. Im Bereich Nanotechnologie-basierter Therapieverfahren, in denen gänzlich neue Therapien zum Einsatz kommen, sind hingegen nur 3 Prozent der Unternehmen tätig⁵.

Eine Studie des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) hat Ende 2007 gezeigt, dass sich zwei Drittel der befragten Deutschen von der Nanotechnologie insgesamt mehr Nutzen als Risiken versprechen und eine Weiterentwicklung befürworten.

Im April 2010 veröffentlichte das BfR eine weitere Studie zur Wahrnehmung der Nanotechnologie, in der eine Risiko-, Chancen- und Nutzeneinschätzung anhand der Online-Beiträge sowie die Erwartungshaltung der Online-Sprecher an Forschung und Entwicklung dargelegt wurde. In den einzelnen thematischen Bereichen der Nanotechnologie zeigen sich dabei deutliche Unterschiede. Die höchsten Anteile an Beiträgen mit einer positiven Beurteilung der Nanotechnologie finden sich in den Themenbereichen Medizin, Textilindustrie und Fahrzeugbau mit jeweils knapp unter 50%. Ihnen stehen 18 bis 26% negative Beurteilungen und 24 bis 31% neutrale bzw. nicht einzuordnende Beurteilungen gegenüber.

2013 veröffentlichte das BfR den Abschlussbericht der 2012 durchgeführten Nachfolgestudie „Nanoview“. Dieser Studie zufolge ist der Großteil der Bevölkerung weitestgehend positiv gegenüber der Nanotechnologie eingestellt. Das BfR wies jedoch auch darauf hin, dass das allgemeine Wissen über die Nanotechnologie gegenüber 2007 nachgelassen hat, während das Wissen über konkrete Anwendungsbereiche von Nanotechnologien besser ist als noch vor fünf Jahren. Im öffentlichen Dialog sollten also weiterhin die großen Chancen der Nanobiotechnologie und die bereits heute den Patienten zugutekommenden Anwendungen der Nanobiotechnologie herausgestellt werden, um Verständnis für diese neue Technologie auf breiter gesellschaftlicher Basis zu wecken und Ängsten und Vorbehalten vorzubeugen. Dabei sollte eine deutliche Abgrenzung zu den möglichen bzw. spekulativen Risiken der Nanotechnologie im Allgemeinen vorgenommen werden. Im Rahmen der „Nanoview“-Studie hat das BfR auch eine Kommunikationsstrategie zur Deckung der Informationsbedürfnisse entwickelt, die sich an den Studienergebnissen orientiert.

Im Herbst 2016 hat das Bundeskabinett den vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) eingebrachten Aktionsplan Nanotechnologie 2020 beschlossen. In diesem Plan werden die vielfältigen Aktivitäten zur Nanotechnologie ressortübergreifend gebündelt. Nanomaterialien, so das Ziel des Aktionsplans, sollen sicher und umweltverträglich hergestellt und genutzt werden. Zugleich soll die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Forschung und deutscher Hersteller gestärkt werden. Der Aktionsplan ist Teil der neuen Hightech-Strategie⁶.

C) Position des vfa

Deutschland nimmt in der Nanotechnologie einschließlich der Nanobiotechnologie im internationalen Vergleich eine starke Position ein. Die noch relativ junge Forschungsrichtung birgt das Potenzial, die Diagnose- und Therapiemöglichkeiten für bisher nicht oder nicht ausreichend behandelbare Erkrankungen weiter zu verbessern.

Der vfa spricht sich dafür aus, dieses Potenzial zum Wohle der Patienten auszuschöpfen und die hier vorhandene Technologieführerschaft systematisch weiter auszubauen. Spezielle Gefahren oder Probleme im Hinblick auf ethische, rechtliche oder soziale Belange werden im medizinisch-pharmazeutischen Bereich bislang nicht gesehen, zumal das Arbeiten mit kleinsten Partikeln in diesem Bereich bereits lange etabliert ist. Die Prüfung und Gewährleistung der Sicherheit der Patienten ist über die Bestimmungen im Arzneimittelgesetz sowie im Zulassungsverfahren geregelt.

Das von einigen Stakeholdern geforderte „Nano“-Produktregister und eine spezielle „Nano“-Kennzeichnung erachtet der vfa im Arzneimittelbereich aufgrund der daraus resultierenden Doppelregulierung sowie der Überschneidungen mit bestehenden Informations- und Kennzeichnungspflichten als nicht notwendig.

Seite 9/11

Eine Studie des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) hat Ende 2007 gezeigt, dass sich zwei Drittel der befragten Deutschen von der Nanotechnologie insgesamt mehr Nutzen als Risiken versprechen und eine Weiterentwicklung befürworten. Im Jahr 2013 wies das BfR darauf hin, dass das allgemeine Wissen über die Nanotechnologie gegenüber 2007 nachgelassen hat, während das Wissen über konkrete Anwendungsbereiche der Nanotechnologien im Vergleich zur ersten Studie zunahm. Im öffentlichen Dialog sollten also weiterhin die großen Chancen der Nanobiotechnologie und die bereits heute den Patienten zugutekommenden Anwendungen der Nanobiotechnologie herausgestellt werden, um Verständnis für diese neue Technologie auf breiter gesellschaftlicher Basis zu wecken und Ängsten und Vorbehalten vorzubeugen. Dabei sollte eine deutliche Abgrenzung zu den möglichen bzw. spekulativen Risiken der Nanotechnologie im Allgemeinen vorgenommen werden. Außerdem hat das BfR auch eine Kommunikationsstrategie zur Deckung der Informationsbedürfnisse entwickelt, die sich an den Studienergebnissen orientiert.

Dieses Vorgehen begrüßt der vfa, da so eine effiziente und optimale Information für die Bevölkerung erreicht werden kann. Dadurch wird wesentlich dazu beigetragen die Chancen, die die Nanobiotechnologie für die Patienten, die Forschung, den wissenschaftlichen Fortschritt, die öffentliche Gesundheit und auch für den Forschungs- und Wirtschaftsstandort Deutschland bietet, optimal zu nutzen.

Stand: Oktober 2017

Appendix I – Nanobiotechnologien in der Entwicklung

Seite 10/11

- "Biochips" für Tests, mit denen Krankheiten wie Alzheimer, Krebs, Multiple Sklerose oder rheumatoide Arthritis rasch und frühzeitig erkannt werden können
- Nanopartikel-basierte Kontrastmittel: diese binden gezielt an kranke Zellen und sollen eine wesentlich schnellere und bessere Diagnostik ermöglichen
- Nanoskalige Polymerkapseln, mit denen Chemotherapeutika direkt zum Tumor gebracht und dort mittels eines Laserpulses freigesetzt werden; dadurch kann das umliegende gesunde Körpergewebe geschont werden
- Nanopartikel, die die Blut-Hirn-Schranke überwinden können und so z. B. zur gezielten Behandlung von Hirntumoren beitragen
- Nanopartikel, die wegen ihrer kleinen Größe leicht die Zellmembranen durchdringen können und so einen kontrollierten, zielgerichteten Transport von Arzneistoffen ermöglichen
- Beschichtungen (z. B. Herzschrittmacher, neuronale Implantate, Gefäßprothesen), die einerseits mechanisch beanspruchbar und andererseits biokompatibel mit hoher spezifischer Oberfläche sind; diese sollen die Ankopplungseigenschaften verbessern
- Ummantelungen z. B. von Insulin-produzierenden Inselzellen oder von Leberzellen; dadurch könnten Abstoßungsreaktionen bei der Übertragung verringert oder sogar vermieden werden
- Verpackung von Insulin mittels Nanotechnologie, sodass es oral verabreicht werden kann
- Therapeutika gegen Alzheimer, die mittels Nanotechnologie die Blut-Hirn-Schranke passieren können
- Nano-Gel zur Regeneration von Knorpelmasse
- Nanopartikel mit Antigenen für spritzenlose Impfungen
- Nanopartikel mit Antigenen, die durch eine schnelle Antikörperbestimmung im Blutserum helfen eine Infektion besser diagnostizieren zu können
- „Gentaxis“ als Grundlage für die effiziente und sichere somatische Gentherapie. Die große Herausforderung der Gentherapie besteht darin Gene, die im Vergleich zu den bisherigen Wirkstoffen Riesenmoleküle darstellen, gezielt in möglichst viele Zielzellen einzuschleusen. Mit der Gentherapie sollen Krankheiten behandelt werden, indem bestimmte DNA-Sequenzen in den Organismus eingebracht werden. Diese DNA-Sequenzen sollen fehlerhafte (veränderte oder fehlende) Gene ersetzen,

um vererbare Krankheiten zu heilen oder die Produktion zusätzlicher Stoffe in der Zelle zu ermöglichen. Letzteres kann zum Beispiel zur Stimulation der Immunabwehr genutzt werden. Bisher verwendet die Gentherapie dazu Träger-Viren. Problematisch ist bei diesem Verfahren ein unkontrolliert erfolgreicher Einbau der DNA-Sequenzen, wodurch auch vitale Genfunktionen beeinträchtigt werden könnten. Gentaxis basiert auf Nanopartikeln, an deren Oberfläche die DNA-Sequenzen haften. Die Nanopartikel selbst werden unverändert wieder ausgeschieden, während die DNA in den Zellkernen verbleibt.

- Zellfreie Bewegungsmodelle (z. B. Proteinmotoren), die für nanoskalige Manipulationen, kontrollierte Bewegungen von Objekten oder spezifischen Substanztransport herangezogen werden können. Die Anwendungsmöglichkeiten liegen vorrangig im biotechnologischen, biomedizinischen und chemischen Bereich⁷.
- Nanomagnetomedizin (magnetische Arzneimitteltherapie), bei der die DNA-Sequenzen mit magnetischen Nanopartikeln verbunden und mittels eines Magnetfeldes spezifisch in die Zielzellen geleitet werden.

Quellen:

- (1) <http://www.oecd.org/science/nanosafety/>
- (2) http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Regulatory_and_procedural_guideline/2010/01/WC500069728.pdf
- (3) http://www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?curl=pages/special_topics/general/general_content_000345.jsp&
- (4) <http://www.horizont2020.de/einstieg-nano.htm>
- (5) http://www.nanoinvest.com/market-prospect_d.htm
- (6) https://www.bmbf.de/pub/Aktionsplan_Nanotechnologie.pdf
- (7) https://www.hessen-nanotech.de/mm/Nanomed_Final_Internet.pdf