

**SIND NANOROBOTER EINE EFFEKTIVE
METHODE IN DER BEHANDLUNG
VON KREBSERKRANKUNGEN?**



**BEWERTUNG UND ANFERTIGUNG
EINES MODELLS**



Abiturjahrgang 2021

SEM IN A R A R B E I T

Rahmenthema des Wissenschaftspropädeutischen Seminars:
Naturwissenschaft Digital

Leitfach:
Chemie

Thema der Arbeit:
Sind Nanoroboter eine effektive Methode
in der Behandlung von Krebserkrankungen?
Bewertung und Anfertigung eines Modells

Verfasser/in: Magdalena Dorner

Kursleiter/in: StD Thomas Dietlein

Abgabetermin: 10.11.2020

Eingang im Sekretariat:

Bewertung	Note	Notenstufe in Worten	Punkte		Punkte
Schriftliche Arbeit				x 3	
Abschlusspräsentation				x 1	
Summe:					
Gesamtleistung nach § 29 (7) GSO (= Summe / 2 gerundet):					

Datum und Unterschrift des Kursleiters / der Kursleiterin

Inhalt

1. Einleitung.....	2
1.1. Bedeutung der Nanotechnologie in der modernen Welt.....	2
1.2. Generelle Infos.....	3
2. Wie können Nanoroboter Krebszellen abtöten?.....	3
2.1. Was sind Krebszellen?.....	3
2.2. Wie wird bisher gegen Krebszellen vorgegangen?.....	6
2.3. Wie kann man die „künstlichen Viren“ gezielt zum Tumor bringen?.....	8
2.4. Wie werden die Medikamente freigesetzt?.....	10
3. Wie weit ist die Forschung derzeit fortgeschritten?.....	11
4. Welche Probleme stehen den Forschern noch im Weg?.....	12
5. Warum sollte man auf Nanoroboter in der Behandlung von Krebs umsteigen?.....	13
6. Was spricht gegen einen Umstieg auf Nanoroboter?.....	14
7. Mein Modell.....	17
8. Fazit und eigene Bewertung.....	19
9. Quellen- und Literaturverzeichnis.....	12
9.1. Internetquellen.....	22
9.2. Videoquellen.....	23
9.3. Interview.....	23
9.4. Bildquellen.....	23

1. Einleitung

1.1 Bedeutung der Nanotechnologie in der modernen Welt

Wenn man über die heutige Zeit mit älteren Menschen spricht, wird man letztendlich oft das Fazit ziehen, dass durch die neue Technologie und die zahlreichen neuen Erfindungen, die im letzten Jahrhundert hervorgebracht wurden, alles schneller und größer geworden ist. Viele denken dabei an die schnellen Autos, die Hektik, die durch das Internet und die damit einhergehende Informationsflut entsteht, oder die riesigen Wolkenkratzer, die heutzutage die Skylines einer jeden Großstadt prägen. Was allerdings oft außer Acht gelassen wird sind die kleinen Dinge, die unser Leben erleichtern und bereichern, jedoch aufgrund ihrer Größe nicht so sehr ins Auge stechen, sofern sie überhaupt ohne Lupe zu erkennen sind. Hierfür gibt es unzählige Beispiele, sie reichen von den Nanochips in unseren Handys bis zu den Nanopartikeln in unserer Sonnencreme, die uns im Urlaub oder auch Zuhause vor den UV-Strahlen der Sonne schützen und so einen Sonnenbrand vom Leib halten. Sie sind ein täglicher Begleiter eines Jeden und obgleich sie nicht Jeder immer sofort wahrnimmt, steht eine jetzt schon große Industrie und eine riesige, immer noch wachsende, Forschung hinter der „Nano-Branche“. So wird jederzeit nach neuen Wegen gesucht, mit denen uns kleinste Teilchen helfen können oder wie wir bestehende Problemlösungen immer weiter schrumpfen lassen können. So ist dies neben den bereits genannten Anwendungen in der Computerindustrie und der Sonnencreme auch in der Medizin der Fall, wo die sogenannten „Nanoroboter“ als die große Hoffnung gegen den Krebs gelten. Derzeit forschen viele Unternehmen und Labore in der ganzen Welt an einer Methode mit Krebs erkrankte Menschen zu heilen und nicht wenige setzen dabei auf die mikroskopisch kleinen „Roboter“, die möglicherweise in nicht allzu ferner Zukunft unzählige Leben retten können. Im folgenden wird eben diese Nanotechnologie und ihr Einsatz in der Medizin genauer betrachtet und sich der Frage gestellt, ob Nanoroboter denn eine effektive Methode zur Bekämpfung von Krebs sind. Dafür wird zur Veranschaulichung von Vorstellung und Realität ein Modell erarbeitet und abschließend eine Bewertung vorgenommen.

1.2 Generelle Infos

Wenn von Nanometer die Rede ist, meint der Begriff eine Größenordnung, die einen milliardstel Meter beschreibt. Ein Nanometer ist damit etwas größer als der Durchmesser eines Atoms (ca. 0,1 Nanometer) und etwas kleiner als ein durchschnittliches Bakterium (500 Nanometer (Vgl. [8])). Dinge, die die Vorsilbe „Nano-“ tragen, sind also sehr sehr klein. So sind zum Beispiel die von Andreas Jordan entwickelten Nanopartikel aus Eisenoxid nur 15 Nanometer groß (Vgl. [9]). Im folgenden werden Nanoroboter, künstliche Viren und Nanopartikel als Synonyme verwendet. Hierbei ist allerdings wichtig zu beachten, dass Nanoroboter nicht wie sehr kleine herkömmliche Roboter fungieren, sondern eher äußerst kleine Partikel sind, die man für sich arbeiten lassen möchte. Der Begriff künstliche Viren kommt daher, dass man sich mit den verwendeten Nanopartikeln Eigenschaften von Viren künstlich zunutze macht. Da Viren auf natürliche Art und Weise Zellen des Körpers angreifen können, versucht man dieses Attribut der Viren zu kopieren, um so gezielt die Krebszellen im Körper zu bekämpfen.

2. Wie können Nanoroboter Krebszellen abtöten?

2.1. Was sind Krebszellen?

Krebszellen sind geschädigte Zellen, die sich vom Körper unkontrolliert vermehren und ausbreiten können (Vgl. [3]). Solche beschädigten Zellen entstehen, wenn eine Zelle durch

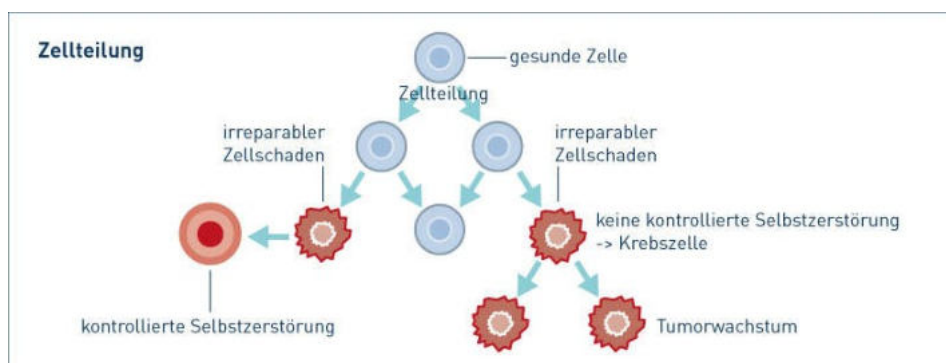
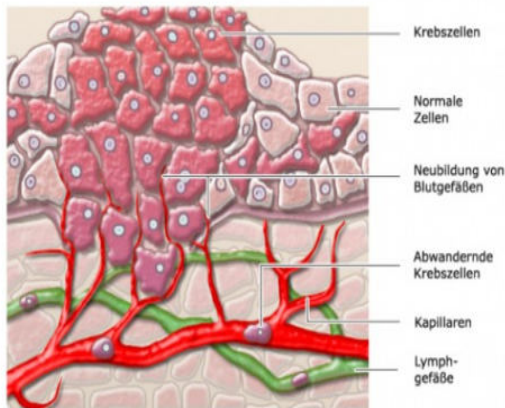


Abbildung 1 Zellteilung gesunde Zellen zu Krebszellen

interne oder externe Einflüsse Schäden am Erbgut erhält und diese bei einer Zellteilung weitergibt (siehe Abbildung 1). Die Schäden am Erbgut können auf verschiedene Arten und Weisen entstehen. So ist es möglich, dass die Schäden am Erbgut durch äußere Einflüsse wie

Strahlung oder chemische Substanzen entstehen. Auch kann ein gewisser Lebensstil wie Bewegungsmangel, Rauchen oder Übergewicht das plötzliche Auftreten von Krebs begünstigen. Im Tabakrauch z.B. befinden sich viele Bestandteile, welche eine krebserregende Wirkung haben (ca. 90 Substanzen im Tabak). Stoffe, die krebserregend oder krebserregend sind, nennt man auch „Karzinogene“. „Natürlich können diese Bestandteile der Tabakpflanze selbst sein, aber einige der Karzinogene entstehen auch bei der Verbrennung oder während der Verarbeitung, Trocknung oder Lagerung von Tabak“ (Vgl. [11]). Ein häufiger Karzinogener Stoff beim Rauchen ist der Teer, er enthält krebserregende Substanzen wie z.B. Kohlenwasserstoffe, Benzole und anorganische Stoffe. Der Grund für die karzinogene Wirkung ist die Bildung von sogenannten karzinogenen Metaboliten, also Zwischenprodukten beim Stoffwechsel. Dadurch, dass Benzol am Ring oxidiert wird, entsteht ein hoch reaktives Produkt („Epoxid“), das mit vielen umliegenden biologischen Verbindungen reagiert und so Schäden an diesen verursachen kann. Auf diese Weise entstehen auch Schäden an der DNA und Krebszellen können entstehen. Andererseits kann so ein Schaden auch ohne einen äußeren Einfluss bei der Replikation der DNA (Desoxyribonukleinsäure) für die Zellteilung entstehen. In der Synthesephase des Zellzyklus kann also zum Beispiel ein Fehler im Auslesen und Kopieren der DNS auftreten, der dann bei der Mitose (Vgl. [1]) an den Tochterkern weitergegeben wird. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, dass die Schäden an der Erbinformation von Stoffen ausgelöst werden, die der Körper selbst bei dem Zellstoffwechsel herstellt. Normalerweise zerstört der Körper solche defekten Zellen von selbst, falls jedoch diese kontrollierte Selbstzerstörung einmal ausbleibt, kann sich diese Zelle unkontrolliert vermehren und mit anderen fehlerhaften Zellen zu einem Tumor (= Geschwulst/Schwellung (= Wucherungen von Zellen, die sich überschießend vermehren)) zusammenschließen. Natürlich kann ein Tumor nicht innerhalb von ein paar Tagen heran wachsen, sondern braucht Jahre, ja sogar manchmal Jahrzehnte, um sich vollständig entwickeln zu können. Ist dieser Tumor bösartig, ein sogenannter maligner (lat. Malus = Schlecht) Tumor, wird er Krebs genannt. Solch ein Tumor kann nun durch sein wildes Wachstum gesundes Gewebe verdrängen und der Krebs so die Funktionen des gesunden Gewebes, beispielsweise Organen, einschränken. Außerdem können diese malignen Tumore durch Blut- oder Lymphbahnen (siehe Abbildung 2) Tochtergeschwülste (Metastasen) in



Invasive Krebserkrankung

Abbildung 2: Tumorzelle wächst in gesunde Zellen ein und bildet neue Blutgefäße

Fettgewebe, Muskeln, Sehnen und Knochen betreffen. Zuletzt gibt es noch die Blastome, auch embryonale Tumore genannt, die während der Gewebe und Organentwicklung entstehen. Außerdem gibt es noch den benignen Tumor (= Gutartig) und den semi-malignen Tumor (= Halb bösartig). Der Gutartige Tumor bildet im Gegensatz zum Malignen Tumor keine Metastasen und zerstört auch kein anderes Gewebe, sondern verdrängt es nur. Da nur beim malignen Tumor von Krebs gesprochen wird, liegt hier keine Krebserkrankung vor. Bei den gutartigen Tumoren kommt es meist nach dem ersten operativen Eingriff, um den Tumor zu entfernen, zu keinem erneuten Ausbruch. Denn der Tumor grenzt sich, durch sogenannte Kapseln klar vom umliegenden Gewebe ab. (Vgl.[3]) Es muss aber natürlich erst einmal erkannt werden, ob es eine Krebszelle oder eine gesunde Zelle ist. Daher werden ein paar Unterschiede, die es einfacher machen, dies zu erkennen genannt. Zum einen vermehren sich, wie oben schon erläutert, Krebszellen ohne Signale des Körpers, also der Wachstumsfaktoren, wohingegen gesunde Zellen diese Wachstumsfaktoren zum vermehren benötigen. Demzufolge findet die Zellteilung beim Krebs unbegrenzt statt, während die Zellteilung der gesunden Zellen begrenzt ist, da die Chromosomen bei der Mitose jeweils am Ende verkürzt werden (= Telomere = Einsträngiger Strang am Ende des Chromosoms) und ab einer gewissen Länge keine Teilung mehr stattfinden kann. Die Krebszellen können sich durch Botenstoffe wie z.B. VEGF (vascular endothelial growth factor) ihre eigenen neuen Blutgefäße

entfernteren Körperregionen bilden, was es dem Tumor erlaubt schneller und an mehreren Orten zu wachsen und größer zu werden. Dabei gibt es drei verschiedene Arten von Tumor Geweben. Zum Einen gibt es die sogenannten Karzinome, auch Epithel genannt. Sie verdecken innere Organe und äußere Oberflächen im Körper wie z.B. Deckgewebe der Haut, der Schleimhaut und der Drüsengewebe. Dann gibt es noch die Sarkome, welche in Binde- und Stützgeweben entstehen und somit

bilden, wodurch sie besser versorgt werden. Gesunde Zellen hingegen haben eine konstante Menge und Verteilung der Blutgefäße, um mit genügend Sauerstoff und Nährstoffen versorgt zu werden. Zu guter Letzt sieht man den Unterschied auch gut daran, dass gesunde Zellen einen festen Standort im Körper haben und sich nicht wie Krebszellen im Körper frei vermehren und in umliegendes Gewebe einwachsen können.

2.2. Wie wird bisher gegen Krebszellen vorgegangen?

Krebszellen können schon jetzt auf viele verschiedene Arten entfernt werden, wie z.B. durch die Chemotherapie, welche wahrscheinlich die bekannteste Therapie gegen den Krebs ist. Hier verwendet man Zytostatika (Zytostase bedeutet aus dem griechischen übersetzt soviel wie „Zellstillstand“), also Medikamente welche den schnellen Vermehrungszyklus der Krebszellen hemmen, weshalb sie auch gut geeignet sind um Metastasen zu verhindern. Bei der Chemotherapie unterscheidet man zwischen drei Phasen: Erstens die Induktionsphase. Sie ist eine intensive Chemotherapie, die dazu führt, dass der Tumor sich nach einer gewissen Zeit zurückbildet. Zweitens die Konsolidierungsphase, in der man mit verringerter Dosis den Tumor-Rückgang der ersten Phase stabilisiert. Drittens die Erhaltungsphase, die letzte der drei Phasen. Sie ist eine weniger aggressive Therapie, die über einen längeren Zeitraum verabreicht wird, und somit dem Wiederaufleben der Tumorzelle vorbeugt und es verhindert. (vgl. [6]) Sie zieht sich somit meist über einen längeren Zeitraum von mehreren Tagen oder Wochen, in dem der Patient immer wieder in das Krankenhaus gehen muss, um sich die Infusionen mit den Zytostatika verabreichen zu lassen. Diese werden entweder als Einzelmedikamente oder in einer Kombination mit anderen Medikamenten gegeben. (Vgl. [12]) Die Chemotherapie kann auch in Zusammenhang mit der Strahlentherapie oder einer Operation verwendet werden. Natürlich können die Krebszellen auch rein operativ entfernt werden, ohne eine Chemotherapie zu nutzen. Hierbei werden vorher Medikamente verabreicht, um den Tumor vor der Operation zu verkleinern. Dadurch, dass sich der Tumor verkleinert hat, kann er leichter operativ entfernt werden. Statt durch Medikamenten kann man den Tumor aber auch durch eine Strahlentherapie verkleinern. Die Strahlentherapie wird zwar gerne im Zusammenhang mit Operation und Chemotherapie verwendet, aber man kann Maligne Tumore auch nur mit Hilfe von Strahlentherapie bekämpfen. Durch die

energiereichen (ionisierenden) Strahlen, welche verwendet werden, kann man die DNA im Zellkern des Tumors zerstören. So wird die Krebszelle zum Absterben gebracht bzw. das Wachstum des Krebses wird gestoppt. Diese Therapie ist jedoch sehr aufwendig, da sie für jeden Patienten individuell vorbereitet werden muss, um den Tumor genau treffen zu können. Zuerst wird der Patient in ein CT (= Computertomografie) gebracht, wo Querschnitt-Bilder vom Körper gemacht werden müssen, um den Tumor genau sehen zu können. Anhand der durch die Computertomografie erzeugten Bilder kann man den Tumor gut erkennen und so genau markieren, um die darum liegenden Organe nicht mit den Krebszellen zusammen zu treffen. Die Markierungen auf der Haut des Patienten dürfen dementsprechend während der gesamten Behandlungszeit nicht entfernt werden und der Patient sollte immer in der selben Position liegen, damit keine Fehler unterlaufen können. Da die Organe meist beweglich sind, werden kleine Gold-Marker in sie injiziert, um sie auf den Röntgenbildern besser erkennen zu können, was sicher stellen soll, dass im Laufe der Behandlung mit Sicherheit kein Organ zu Schaden kommt. Damit wird dann überprüft, ob das Bestrahlungsfeld immer an der selben Stelle ist. Die Strahlentherapie ist deshalb auch eine sehr sichere Behandlung, weil durch den doch recht großen Aufwand im Vorfeld der eigentlichen Behandlung ein hoher Sicherheitsstandart erzielt werden kann und auch während der Behandlung ist durchgehend ein Facharzt anwesend. Somit können Risiken nahezu ausgeschlossen werden. Die Behandlung zieht sich meist zwischen sechs bis acht Wochen hin, wobei die Dosis der Bestrahlung von Tag zu Tag stetig erhöht wird, um das Gewebe, das von den hochenergetischen Strahlen auf ihrem Weg zum Tumor durchquert

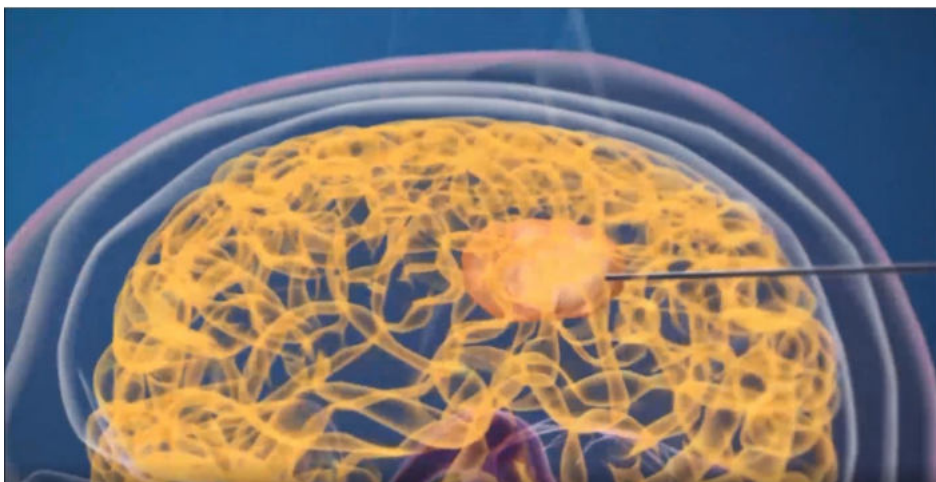


Abbildung 3: Nanopartikel werden direkt in den Tumor eingefügt

wird, zu schonen. (Vgl. [13]) Durch die Firma MagForce werden Nanopartikel aber auch jetzt schon durch das NanoTherm

Therapiesystem in der Bekämpfung von Krebs verwendet. Hier werden Nanopartikel aus Magnetit, einem magnetischen Eisenoxid, direkt in den Tumor eingebracht (siehe Abbildung 3). Sie breiten sich dann in den Zwischenräumen der Tumorzellen aus (siehe Abbildung 4).

Darauf folgend wird der Patient in das Therapiegerät gebracht, wo man an der Stelle des Tumors ein magnetisches

Wechselfeld entstehen lässt, das bis zu 100.000 Mal in der Sekunde seine Polarität ändert.

(vgl. [7]) Dadurch beginnen die



Abbildung 4: Links: gesunde Zellen; Rechts: Tumorzellen, zwischen denen sich die Nanopartikel (Blau) ausbreiten

Nanopartikel sich mit der Polung des Magnetfeldes zu bewegen und erzeugen auf diese Weise Wärme. Dieser Vorgang wird von außen genau überwacht und reguliert, um sicherzustellen, dass die Teilchen nicht zu heiß werden. Durch diese im Tumor selbst erzeugte Hitze, sterben die Krebszellen entweder durch aktive Selbstzerstörung oder dadurch, dass sie anschwellen bis sie platzen, ab. Das Tumor Wachstum ist somit gestoppt. Nun werden die zerstörten Zellen vom Körper selbst abgebaut und ersetzt. Bei der NanoTherm Therapie werden die Nanopartikel nur einmal injiziert, jedoch wird die Therapie in den folgenden Wochen noch mit sechs Behandlungen, die jeweils eine Stunde dauern, fortgeführt. (Vgl. [7])

2.3. Wie kann man die „künstlichen Viren“ gezielt zum Tumor bringen?

Zum einen gibt es die Idee, wie bei der Nanotherm Therapie, die Nanopartikel mit einer Spritze direkt in den Tumor zu injizieren. (Vgl. [7]) Oder wie bei der Magnetic Drug Targeting Methode, bei der die magnetischen Nanopartikel ins Blut injiziert werden und mit einem Magneten zum Tumor geführt werden, da beim Tumor das Magnetfeld stärker ist und sich somit dort die meisten Nanopartikel anreichern. Auf diese Methode wird später nochmals

genauer eingegangen. Zum Anderen gibt es die Methode, dass die künstlichen Viren in der Nähe des Tumors in die Blutbahn injiziert werden (siehe Abbildung 5), wodurch die

2 Principles of nanomedical drug delivery

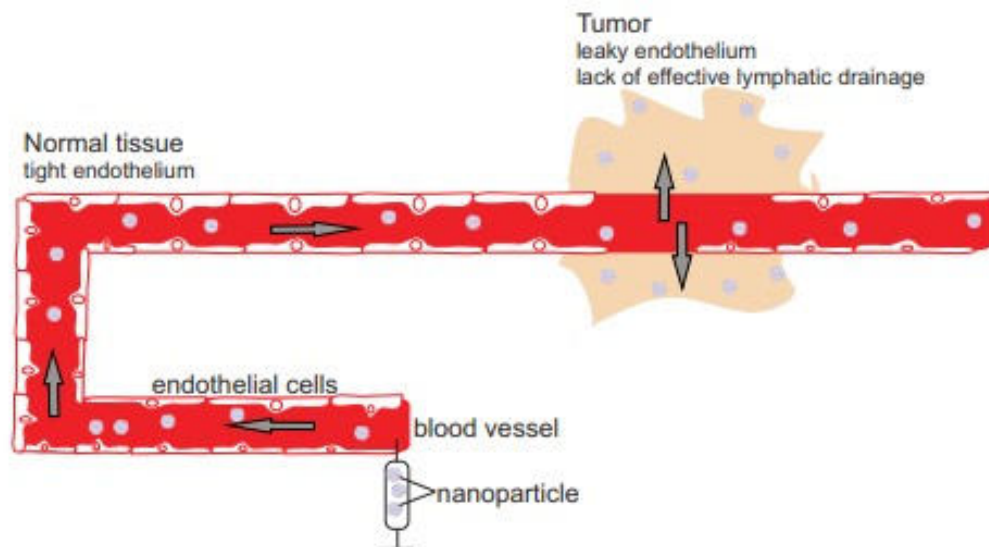


Abbildung 5: Blutgefäß, in das Nanopartikel injiziert werden
Nanopartikel mit dem Blutstrom zur Krebszelle „schwimmen“ können. Da Krebszellen sich ihre eigenen kleinen Zugänge zu den Blutarterien bilden (Dieser Vorgang wird auch Angiogenese genannt) (Vgl. [5]), wodurch sie z.B. besser an Wachstumsfaktoren gelangen, werden auch viele der Nanopartikel in den Tumor gelangen. Zudem gibt es noch eine vierte Idee, wie die Nanopartikel in das Gewächs kommen können. Man nutzt das Rezeptor-Liganden-System aus. Das bedeutet, dass jede Zelle an ihrer Oberfläche ein ganz spezifisches Muster an Proteinen hat, durch das man sie erkennen kann. Daher kann man einfach, ein für das Muster der betroffenen Zelle spezifisches, „Gegenstück“ an die Oberfläche des „Nanoroboters“ anbringen. Man wendet also das Schlüssel-Schloss-Prinzip an. Das Schlüssel-Schloss-Prinzip kann man sich so vorstellen, dass jede Oberfläche der Krebszelle, weil Krebszellen bekanntermaßen für Wachstumsfaktoren sehr empfänglich sind, beispielsweise zu einem gewissen Wachstumsfaktor passt. Dieser Wachstumsfaktor kann also genau an der Zelle andocken, weil er – wie ein Schlüssel in ein Schloss – genau zu den Rezeptoren auf der Oberfläche der Krebszelle passt. Nun versucht man diesen „Schlüssel“, also das Muster auf der Oberfläche des Wachstumsfaktors, künstlich nachzubilden und auf dem Nanopartikel anzubringen. Dieser passt nun auch in das Schloss – sprich die Rezeptoren

der Krebszelle. (Vgl. [14]) Diese Methode würde es möglich machen, dass durch einen möglichen „Schlüssel“, der nur in Krebszellen und keine gesunden Zellen passt, ausschließlich der Tumor bekämpft werden könnte und keine Nebenwirkungen an anderen Zellen auftreten könnten. Dadurch, dass aber auch jede Krebszelle unterschiedliche Muster an der Oberfläche hat, wird das eine sehr personalisierte Therapie, da jeder Patient für seine Krebszellen spezifische Nanopartikel individuell angefertigt bekommen muss.

2.4. Wie werden die Medikamente freigesetzt?

Da man vor hat die Arzneimittel zu verwenden und an die Nanopartikel zu binden, welche auch bei der Chemotherapie verwendet werden, stellt sich die Frage: „Wie kann das funktionieren?“. Zum Einen kann man eine Redoxreaktion ausnutzen, da das Milieu außerhalb und innerhalb des Tumors unterschiedlich ist. Außerhalb findet man einen relativ neutralen Ph-Wert, wohingegen innerhalb ein reduzierendes Milieu herrscht. Das bedeutet das die Redoxreaktion, die die Nanopartikel eingehen können nicht mehr in einem neutralen Gleichgewicht liegt, sondern das Gleichgewicht zu Gunsten der Reduktion verschoben ist. Das ermöglicht eine Reaktion, bei der Elektronen aufgenommen werden können. (Vgl. [4]) Wenn nun also das Material, aus dem diese Nanopartikel bestehen, so gewählt wird, dass es bei der Elektronenaufnahme die Verbindung zum Medikament wieder löst, dann kann in den Krebszellen eine Freisetzung des Medikamentes gewährleistet werden. Auf diese Weise sollte es den Forschern möglich sein die Medikamente zielgerichteter als bisher einzusetzen und den Tumor direkt anzugreifen. Zum Anderen könnte man mit Lichtimpulsen arbeiten, d.h. wenn die Partikel im Tumor sind, wird mit Licht auf die Stelle des Tumors gestrahlt, damit auch nur dort die Zytostatika freigesetzt werden. Natürlich geht dies nicht mit normalem Licht, da das nicht durch die ganzen Hautschichten des Menschen gelangen kann. Man verwendet daher infrarotes Licht oder ultraviolettes Licht, wobei das ultraviolette Licht meist besser geeignet ist, da es mehr Energie hat als infrarotes Licht und somit besser durch die Hautschichten durchdringen kann. (Vgl. [14]) Aber man braucht nicht unbedingt ein Medikament an bzw. in den „künstlichen Viren“. Man kann auch einfach mit einem Magnetwechselfeld die Nanopartikel zum Schwingen bringen, wodurch sie sich erhitzen. D.h.

der Tumor wird von Innen erhitzt, wodurch er anfängt zu platzen bzw. sich selbst zu zerstören. (Vgl. [7])

3. Wie weit ist die Forschung derzeit fortgeschritten?

In der Tierforschung gab es im Klinikum rechts der Isar schon einige der ersten Fortschritte. Die Forscher nahmen hierfür krebserkrankte Katzen und spritzten ihnen magnetische Nanopartikel aus Eisenoxid. Danach wurden die Katzen in ein großes Magnetfeld gelegt und der Magnet wurde dort wo der Tumor war besonders verstärkt, wodurch sich die Nanopartikel dort besonders anreicherten. Eine solche Verstärkung des magnetischen Feldes an der Stelle des Tumors könnte man beispielsweise damit herbeiführen, dass man mehrere elektromagnetische Felder so anlegt, dass sich die Felder gleichgerichtet am Tumor überschneiden und somit dort die Wirkung von mehreren Feldern auftritt und so insgesamt am stärksten ist. Wie schon oben genannt, ist einer der Fortschritte das Projekt der MagForce, welches schon bei Hirntumoren und Prostatakrebs am Menschen angewendet wird. Es gibt allerdings, wie eingangs bereits angedeutet, noch eine vielversprechende Therapie, die auf Magnetismus basiert, und zwar das sogenannte „Magnetic Drug Targeting (MDT)“. Mit dieser Methode soll die Effektivität der Wirkung der Medikamente erhöht werden und es sollen möglichst viele unerwünschte Nebenwirkungen vermieden werden. Die Idee hinter der Methode ist, dass die Medikamente von den Nanopartikeln zum Ort der Anwendung gebracht werden, um so Nebenwirkungen an deren Stellen auszuschließen, da diese dann gar nicht erst mit dem Medikament in Kontakt kommen. Zu Beginn werden also die Medikamente an den magnetischen Nanopartikeln festgemacht. Die Nanoroboter sind also nur „Taxis“, die die Medikamente von einem Ort zum anderen bringen. Daraufhin spritzt man diese „künstlichen Viren“ dann in die Blutbahn des zu behandelnden ein und legt ein magnetisches Feld an, dem die Nanoteilchen dann folgen, das seine maximale Stärke am Ort der Krankheit erreicht. So kann sichergestellt werden, dass sich dort die allermeisten der magnetischen Teilchen auf ihrem Weg durch den Blutkreislauf dort anreichern. Ist dies geschafft, wird dafür gesorgt, dass die Nanopartikel sich wieder von den Medikamenten trennen und diese so ihre volle Wirkung an Ort und Stelle entfalten können. Diese Methode

bietet eine aussichtsreiche Alternative zu der von MagForce angewandten Therapie, die doch einige große Unterschiede im Vergleich mit dem „MDT“. Und zwar werden bei der NanoTherm Therapie keine Arzneimittel mit dem Nanopartikel zum Tumor gebracht, bei der Magnetic Drug Targeting Methode jedoch schon. Laut des Universitätsklinikums in Erlangen ist dies eine viel versprechende Anwendungsmethode. In der Behandlung von Krebs wird ein Chemotherapeutikum (= Zytostatika) an einen Eisenoxid-Nanopartikel gebunden, welche dann in die Blutbahn injiziert werden. Mit einem starken Magneten werden die Nanopartikel mit Chemotherapeutikum dann durch die Blutbahn gezielt zur Tumorregion gezogen. Dieses Projekt klappt bisher auch gut in Tierversuchen, kann aber, aufgrund von unklaren biologischen Wechselwirkungen, noch nicht am Menschen angewandt werden. D.h. wenn sich das Arzneimittel in dem Tumor verteilt, wird das Nanopartikel noch immer dort sein. Das würde bedeuten, dass das Nanopartikel und das Medikament miteinander wechselwirken könnten und möglicherweise sogar zusammen reagieren und ein neues ungewolltes Produkt entstehen lassen, dass der Zelle dann im Endeffekt noch mehr schadet. Aber auch ohne Reaktion mit dem Medikament könnten die anwesenden Nanopartikel eventuell die Medikamente davon abhalten ihre volle Wirkung zu entfalten, indem die Nanopartikel mit Bestandteilen aus der Zelle wechselwirken. Das Ziel von Prof. Dr. med. Christoph Alexiou ist es, dass Nanofähren für diverse medizinische Wirkstoffe, in Zukunft, gezielt zum Wirkungsort/Tumor gebracht werden. Dadurch wird der restliche Körper von sämtlichen medikamentösen Nebenwirkungen verschont. (Vgl. [10]) Diese Methode ist bis her bei Prostatakrebs, Speiseröhrenkrebs und Glioblastomen (=besonders aggressive Tumore) anwendbar. (Vgl. [9])

4. Welche Probleme stehen den Forschern noch im Weg?

Viele Probleme fangen schon in der Forschung an, z.B. Welche Stoffe kann man an die Nanopartikel binden, um die Krebszellen zu zerstören? Sind diese Wirkstoffe dann auch im Menschen anwendbar, oder möglicherweise schädlich? Welche Materialien werden außen an der Hülle sein - Glas, Metallpartikel (z.B.Eisenoxide), Lipide (Fette) oder doch etwas anderes? Mit was für einer Oberfläche wird der Nanoroboter versehen? Wenn all die oben

genannten und noch mehr Fragen beantwortet wurden, werden die Nanopartikel im Labor außerhalb des Organismus getestet. Woraufhin sie auch schon, falls es in der Petrischale gut funktioniert hat, im Tierversuch anwendbar sind. (Vgl. [14]) Nach alledem hat man fast die Hälfte geschafft. Nun kommt es zum Test, ob diese „künstlichen Viren“ dann auch im Menschen angewendet werden dürfen. Hier hat man es aber gar nicht so leicht, da Nano ganz anders reguliert wird als andere Substanzen. Da alles unbedenklich für den Körper sein muss, müssen all die folgenden Fragen schon mal geklärt werden. Werden Nanopartikel von Zellen aufgenommen? Wird die Zellvitalität durch Nanopartikel verringert? Werden DNA und Zellteilung beeinflusst? Ab welcher Nanopartikel-Konzentration treten derartige Effekte auf? (Vgl. [10]). Nachdem diese Fragen geklärt wurden, dürfen die Nanopartikel jedoch immer noch nicht im Menschen angewendet werden. Zuletzt muss dann erst noch die Bioverteilung und der Abbau bzw. die Ausscheidung der Nanopartikel untersucht werden und dann eine Erstellung des Risikoprofils von Nanopartikeln bei medizinischer Anwendung erfolgen. (Vgl. [10]) Jedoch kann es nach den ganzen Tests sein, dass die Nanopartikel noch immer nicht im Menschen angewendet werden dürfen und man die Probleme, welche bei den eben genannten Tests auftauchten, noch einmal überprüfen und verbessern muss. Das macht das Entwickeln neuer Nanoteilchen für den Mensch äußerst schwer und aufwendig und sorgt außerdem für eine lange Forschungszeit, ehe erste Pilotversuche am Menschen vorgenommen werden könnten. Aber genau dieser Aufwand, bevor die Methoden zur Krebs Bekämpfung zugelassen werden, ermöglichen es in Zukunft viel versprechenden Fortschritte zu erzielen und beugen somit vor, dass die, die hiermit behandelt werden, Schäden oder Verletzungen davontragen oder sogar an der Therapie sterben könnten. Genau darum geben die Forscher, trotz der langen Zeit, welche sie aufwenden müssen nicht auf, um ihren Erfolg zu sehen und Menschen besser helfen zu können oder sie sogar ganz zu heilen bzw. vielleicht in Zukunft sogar die Krankheit Krebs komplett zu zerstören und auszurotten.

5. Warum sollte man auf Nanoroboter gegen Krebs umsteigen?

Natürlich stellt sich jetzt auch die Frage, wieso man überhaupt auf Nanotechnologie umsteigen soll, wenn es bisher auch schon recht gute und erfolgreiche Methoden gegen

Krebs gibt. Zum Einen wird bei herkömmlichen Methoden, wie zum Beispiel bei der Chemotherapie, meist der gesamte Körper beeinträchtigt, da die einzunehmenden Zytostatika nicht speziell nur den Tumor angreifen, sondern auch andere schnell wachsende Zellen. Darum leiden auch viele krebskranke Personen, während der Chemotherapie, an Haarausfall, weil das Medikament, das den Tumor bekämpft, auch die Haarzellen angreift. Zudem kann es sein, dass die Zytostatika den Magendarmtrakt beeinflussen und der Patient während der Chemo an Übelkeit oder Durchfall leidet. Oder die Medikamente beeinträchtigen manche Bestandteile des Blutes, wodurch während der Therapie Müdigkeit und eine schlechte Blutgerinnung keine Seltenheit sind. Auch deshalb muss der Patient sich während der Chemotherapie von kranken Menschen in seinem Umfeld fern halten, da durch den Angriff der Zytostatika auf Teile des Blutes das Immunsystem des Behandelten geschwächt wird und so schon leichte Erkrankungen schwere Folgen haben können. (Vgl. [12]) Auch tauchen bei der Strahlentherapie noch so manche Probleme auf, die meist abhängig von der Region und der Dosis der Strahlen sind. Es können zum Beispiel die Haut und die Schleimhäute entzündet werden oder bei Prostatakrebs kann es zu einer Blasenentzündung kommen. (Vgl. [13]) Zum Anderen wehren sich manche Tumore gegen die jetzigen Methoden wie Chemo- und Strahlentherapien und entwickeln Reparaturprogramme, wodurch sie den entstandenen Schaden beheben können und sich regenerieren. Die Lösung, die „Nanoroboter“ hier bieten, ist, dass Nanopartikel im Tumor durch das magnetische Wechselfeld anfangen zu schwingen und sich somit erwärmen. Durch die Erwärmung der Nanopartikel erwärmt sich auch der Tumor in dem sich das Nanopartikel befindet. Durch das Erreichen der 45 Grad Celsius Marke, kocht man sozusagen den Tumor, wodurch dann diese Mechanismen ausgeschaltet werden können. Man kann theoretisch auch direkt den Tumor auf 70 Grad Celsius erwärmen und den Tumor zerkochen, ohne das Gewebe rings herum zu zerstören. (Vgl. [10]) Nanopartikel gegen Krebs zu verwenden könnte auch die Chancen erhöhen, dass man z.B. bei einem Glioblastom (= aggressiver Tumor) länger überleben kann. Bei dieser Art von Tumor ist die durchschnittliche Lebensdauer noch ungefähr bei 12 Monaten, doch durch die NanoTherm Therapie konnte man die Lebensdauer um ein halbes Jahr verlängern. Außerdem könnte es sein, dass man in Zukunft nicht nur das Leben des Betroffenen für eine kurze Zeit verlängern kann, man könnte vielleicht sogar den Krebs ganz

zerstören, sodass der Patient sein Leben wieder ohne durch den Krebs bedingten Einschränkungen weiter glücklich durchleben kann. Auch könnte es sein, dass diese auf Nanotechnologie basierenden Methoden besser verträglich sind und den Patienten weniger Nebenwirkungen durch die Medikamente plagen würden, da der Körper ja nicht wie bisher an mehreren Stellen mit den Arzneimitteln in Kontakt kommen würde. Dies sind alles Argumente, weshalb man auf die Nanotechnologie in der Medizin gegen Krebs umsteigen sollte. Damit nur der Tumor und nicht der ganze Körper angegriffen wird, der Tumor sich nicht selbst reparieren kann und man das ganze Potential der Nanotechnologie ausschöpft, wodurch man in Zukunft vielleicht sogar irgendwann jede Art von Krebs heilen könnte.

6. Was spricht gegen einen Umstieg auf Nanoroboter?

Es kann sehr positiv sein Nanotechnologie gegen Krebs zu verwenden, aber es gibt auch negative Aspekte der Methode, wobei diese zum Teil lösbar sind. Natürlich können die kleinen „Nanoroboter“ auch als Waffe verwendet werden. Damit meine ich, dass manche Menschen diese zum Beispiel dafür verwenden könnten, um ihre Feinde von Innen heraus zu töten. Wenn man die Nanopartikel so umprogrammieren würde, alle Zellen im Menschen abzutöten, egal ob sie nun gesund sind oder nicht, wäre es möglich verheerenden Schaden an Organen oder ähnlichem anzurichten und so könnte dann auch der Tod des Betroffenen herbeigeführt werden. Aber man kann nicht sagen, dass sie nicht hergestellt, geschweige denn gegen Krebs eingesetzt werden dürfen, nur weil sie eine Waffe sein könnten. Denn alles, auch die herkömmlichen Medikamente, können als Waffe verwendet werden. Zum Beispiel Schlaftabletten: Sie werden gerne verwendet um besser und ruhiger schlafen zu können. Aber wenn man zu viel von ihnen nimmt bzw. jemand einem anderen zu viele z.B. ins Getränk mischt könnten die normalerweise „harmlosen“ Medikamente zum Tod führen. Dennoch sind sie erlaubt, wenn sie ärztlich empfohlen werden. Ein anderes Beispiel wäre das Internet: Es bietet uns viele unbestrittene Vorteile wie den unbegrenzten schnellen Zugang zu Information, den schnellen Informationsaustausch, die damit einhergehende globale Vernetzung oder die Möglichkeit seine Meinung in den sozialen Medien frei zu äußern. Aber

auch hier gibt es eine Kehrseite der Medaille: Hacker nutzen das Internet, um Anderen zu schaden, sie auszurauben und falsche Informationen zu verbreiten. Zusätzlich werden Menschen zu Gewalttaten angestiftet oder manchmal sogar für den Terrorismus rekrutiert. Aber niemand denkt daran deshalb das Internet abzuschaffen. Aus diesem Grund gibt es auch Gesetze, die für eine Regulierung in diesem Bereich sorgen und an die sich Jeder zu halten hat. Mit solchen Gesetzen für die Nanotechnologien sollte man auch einen weitestgehend sicheren Gebrauch gewährleisten können. Auch kann es zu Langzeitnebenwirkungen kommen. Hier sind solche gemeint, die bis jetzt noch nicht erforscht werden konnten, da sie erst nach jahrelanger Nutzung auftreten. Ein Beispiel wären hier die Zigaretten, die von den meisten Menschen anfangs als harmlos angesehen wurden, bis irgendwann bekannt wurde, dass das Rauchen das Risiko auf Krebs erhöht. Des Weiteren sind sich Forscher heutzutage immer noch uneins, ob möglicherweise viel telefonieren und die damit einhergehende Strahlung eventuelle Langzeitnebenwirkungen haben, da es noch keine Studien dazu gibt, die über viele Jahrzehnte reichen. So wird es auch bei der Nanotechnik die Meinung geben, dass diese bestimmt auf lange Sicht schädlich sein könnte. Aber solange dies nicht bewiesen werden kann dürfte es der Anwendung von Nanotherapien gegen Krebs aktuell nicht im Wege stehen. Es könnte auch zu noch unbekanntem Nebenwirkungen kommen, die bisher noch nicht erforscht wurden, wie z.B. Schäden an gesunden Zellen, Allergien, welche auftreten könnten, oder mehr. Aber die Nanopartikel werden ja eigentlich erst zugelassen, wenn sie im Menschen ohne einen Zweifel angewendet werden können und das Risiko, dass eine Allergie entsteht, besteht bei sehr vielen Sachen denen wir sogar im Alltag begegnen (z.B. Hausstauballergie, Heuschnupfen, ...) - es ist also nicht unbedingt etwas Ungewöhnliches. Wahrscheinlich wird die Person bevor die Nanopartikel gespritzt werden genau überprüft, welche Allergien bei der Behandlung auftreten könnten und somit würde hier auch vorgebeugt werden. Zuletzt könnte man die Gefahr sehen, dass sich die Krebszellen angesichts der neuen Bedrohung gegen ihre Existenz langsam weiterentwickeln und eventuell irgendwann eine Resistenz gegen die Nanotherapien entwickeln oder eine andere den gesunden Zellen schädliche Eigenschaft ausbilden. Dies basiert auf dem selben Prinzip wie die vorher schon genannten „Reparaturprogramme“, mit denen sich einige Tumore gegen die gängigen Behandlungen wie

die Chemotherapie wehren. So ist es durchaus nicht abwegig, dass die Krebszellen sich auch der neuen Gefahr stellen und sich evolutiv weiterentwickeln, um ihr Überleben in den neuen Bedingungen zu sichern. Hier ist allerdings anzumerken, dass so ein Prozess nicht von heute auf morgen geschehen kann, da solche Änderungen an den Abwehrmechanismen der Zellen nur über einen langen Zeitraum entstehen werden. Deshalb ist es in naher Zukunft vermutlich keine allzu große Gefahr. Außerdem bietet die Nanotechnologie, wie es immer wieder erwähnt wurde, nicht nur einen Lösungsansatz zur Bekämpfung von Krebszellen, weshalb man, sofern es doch jemals zu einer Resistenz auf eine Behandlung kommen sollte, noch einen Alternativplan hätte.

7. Mein Modell

Das Ziel meines Modells ist es bildlich darzustellen, wie sich meine anfängliche Vorstellung von den „Nanoroboter“ im Kampf gegen den Krebs von den tatsächlichen Fakten unterscheidet. Hierfür fertigte ich mit dem Programm Fusion360 der Firma Autodesk ein dreidimensionales Modell eines Nanoroboters an, wie er, als ich das erste mal von dem Thema hörte, in meiner Vorstellung war. Dies stellte sich als ein größerer Aufwand heraus als ich anfänglich dachte, da ich einige Ansprüche an mein Modell stellte, die für mich als Anfänger äußerst kompliziert und aufwendig zu erstellen waren. Das Modell sollte bewegliche Arme haben, also mussten Gelenke zwischen den verschiedenen Gliedern eingefügt werden und der Oberkörper sollte sich um 360 Grad rotieren lassen. Dies hing mit meiner anfänglichen Idee der Nanoroboter zusammen, in der ich von ihnen als kleine von Menschen erstellte Roboter dachte, die durch eine Fernsteuerung bedient werden können und den Tumor mit ihren Krallen durchbohren und so die einzelnen Zellen abtöten. Diese Vorstellung werden die meisten Menschen haben, wenn sie das erste mal von den Nanorobotern hören, die den Krebs bekämpfen können. Dies liegt vor Allem daran, dass der Begriff eines Roboters in diesem Zusammenhang sehr irreführend ist. Bei einem Roboter denken alle an die aus den Science Fiction bekannten Maschinen, die entweder vom Mensch gesteuert oder gar eigenständig handeln und eine Mischung aus ihrer Programmierung und

ihrer Mechanik sind. Die Vorsilbe „Nano-“ vermittelt zwar, dass die Roboter klein sind, aber reicht nicht aus, um von dem Bild des Nanoroboters, der durch die Blutbahnen schwimmt und auf mechanischem Wege Zellen tötet, abzubringen. Dieses Bild wollte ich auch mit meinem Modell (Siehe Abbildung 6) rüber bringen. In dem Modell kann man sehen, dass der

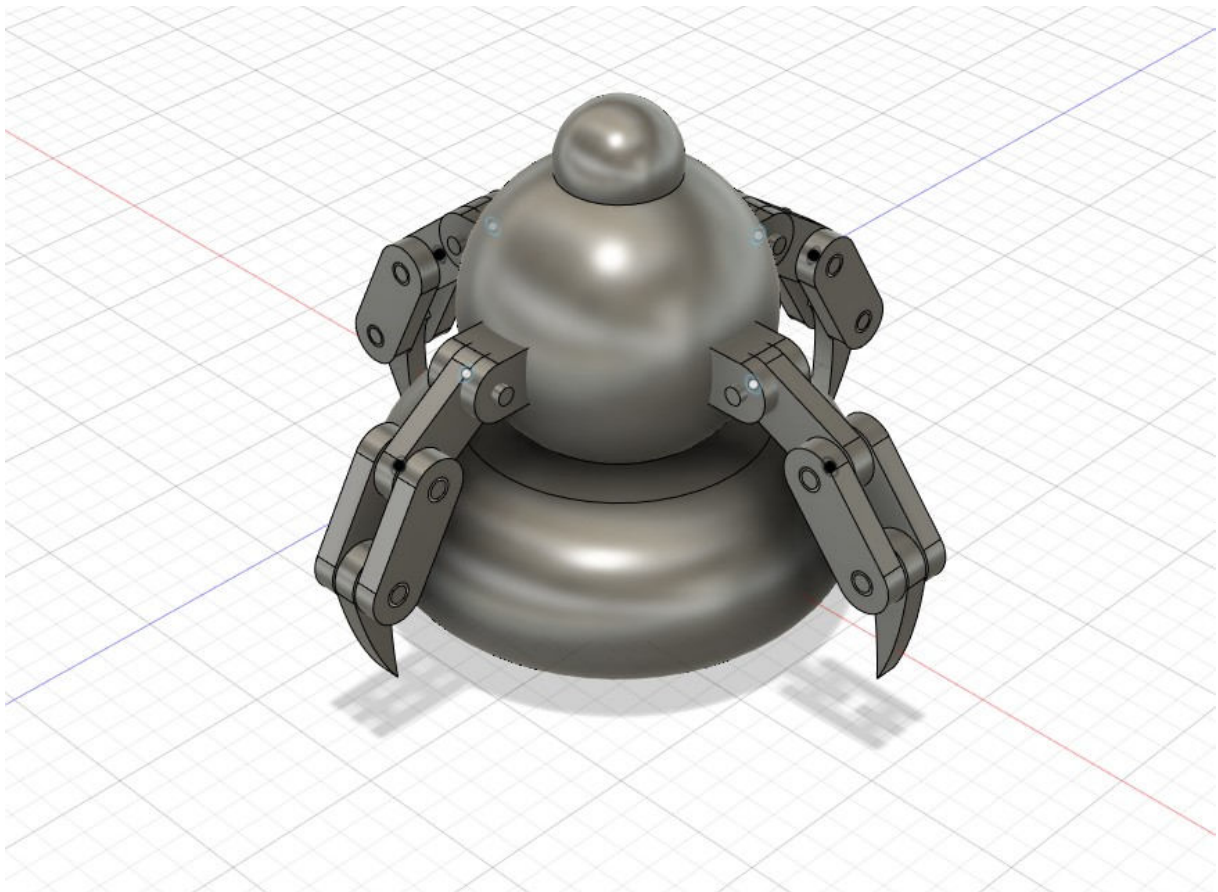


Abbildung 6: Mein Modell eines "Nanoroboters"

Roboter kleine Krallen am Ende eines jeden seiner vier Arme besitzt mit denen er Problemlos die Krebszellen erstechen kann. Außerdem lässt sich der Oberkörper drehen, was es ihm ermöglicht mittels der beweglichen Arme jeden Punkt um sich herum mit einer Kralle zu erreichen. Auf einen großen Kopf mit einem Gesicht oder ähnliches wurde bei diesem Modell allerdings bewusst verzichtet, da jedes unnötige Teil an dem Roboter ihn größer werden lassen würde, was natürlich eine Fortbewegung innerhalb der Blutgefäße erschweren würde. Nachdem nun mittels des Modells meine anfängliche stereotype Vorstellung der Nanoroboter klar aufgezeigt wurde, sollte noch auf den doch recht großen Unterschied zur Realität hingewiesen werden: Nach einiger Recherche wurde mir bewusst, dass die

Nanoroboter keine kleinen mechanischen und programmierten Roboter sind, sondern vielmehr ein sehr ausgeklügeltes System dahinter steckt. Die Nanoroboter werden deshalb auch treffender Nanopartikel bezeichnet, was ihre eigentliche Natur deutlich besser widerspiegelt: Sie sind kleine aus Glas, Lipiden oder Eisenoxiden bestehende Partikel, die durch clevere Systeme zum Tumor gebracht werden können. Des weiteren töten sie die Zellen nicht durch ihre „Krallen“ ab, sondern transportieren die Krebs bekämpfenden Medikamente direkt in den Tumor und laden diese nur dort ab, um für eine maximale Wirksamkeit zu sorgen oder zerstören die Zellen durch die Wärme, die sie bei der schnellen Bewegung in einem hochfrequent umgepolten magnetischen Feld entstehen lassen. Nach meinem Gespräch mit Frau Anna Magdalena Sauer im April 2020 wurde mir auch klar, warum die Nanoroboter auch oft „künstliche Viren“ genannt werden. Sie zerstören Zellen und verhalten sich im menschlichen Körper ähnlich wie es normalerweise die Viren tun, nur sind die Nanoroboter eben vom Menschen geschaffen. Man nutzt also die Eigenschaften von Viren, die den Menschen eigentlich schaden und sie krank machen, um eine schlimme Krankheit zu bekämpfen. Wie man eindrucksvoll an dem Modell und der in der Arbeit beschriebenen Realität sehen kann, klafft eine große Lücke zwischen den Vorstellungen, die bei den meisten Menschen aufgrund von Science Fiction oder irreführenden Begriffen erweckt wird und der Realität, in der man durch clevere chemische und physikalische Methoden, die mangelnde mechanische Kontrolle über die Nanopartikel ausgleicht, um sie dennoch für die Menschen gegen den Krebs arbeiten zu lassen. Dieser Gegensatz von Vorstellung und Realität ist eine der Sachen, die mich neben den faszinierenden Ideen in der Nanotechnologie-Forschung, mit am meisten fasziniert hat, weshalb ich dem Punkt auch mein Modell, das auch an einem 3-D-Drucker noch der Anschaulichkeit halber ausgedruckt wird, gewidmet habe.

8. Fazit und eigene Bewertung

Nun stellt sich abschließend natürlich die große Frage: Sind Nanoroboter eine effektive Methode in der Behandlung von Krebserkrankungen? Die Frage lässt sich relativ simpel beantworten: Ja! Aber ich möchte dennoch eine etwas ausführlichere Antwort geben. Bei

meiner Recherche war ich sehr beeindruckt von den vielen Möglichkeiten die sich mit der Nanotechnologie in allen Lebensbereichen bieten, aber besonders angesprochen hat mich der Einsatz der Nanoroboter gegen den Krebs. Der wohl wichtigste Grund dafür ist, dass die Therapien, die auf der Nanotechnik basieren, noch lange nicht am Ende ihrer Entwicklung stehen und doch jetzt schon einige Vorteile gegenüber den herkömmlichen Methoden haben. So bietet MagForce heutzutage schon Menschen mit Gehirntumoren die Möglichkeit sich einer NanoTherm Therapie zu unterziehen und schafft es jetzt schon die Lebensspanne der Behandelten um eine relevante Zeit zu verlängern. Allein das ist für mich schon ein wichtiger Grund, weswegen ich daran glaube, dass die Nanoroboter eine effektive Methode gegen den Krebs sind. Aber des Weiteren stellen die Nano-Therapien in Aussicht, dass der Krebs in der Zukunft vielleicht sogar einmal Endgültig besiegt werden kann. Das vermittelt so viel Hoffnung in einer Zeit, in der Krebserkrankungen leider keine Seltenheit mehr sind und fast jeder eine an Krebs erkrankte Person in seinem Bekanntenkreis hat. Da wünscht sich jeder eine realistische Hoffnung auf eine Heilung und die Nanotechnologie bietet Therapien an, die in wenigen Jahren vielleicht schon eine solche Hoffnung erfüllen können, wenn die Forschung fortgeführt und womöglich sogar intensiviert wird. Zwar bin ich bei meiner Recherche im Rahmen dieser Arbeit auch auf einige Punkte gestoßen, die gegen die Nanoroboter sprechen, allerdings lassen sich eigentlich alle Argumente, die gegen den Einsatz von Nanopartikeln in der Medizin sprechen, durch einfache Lösungen wie Voruntersuchungen, hohe Sicherheitsstandards oder Gesetze schnell entkräften. Auch dieser Mangel an überzeugenden Argumenten gegen die „künstlichen Viren“ hat mich zu meiner Überzeugung bewegt, dass die Zukunft in der Krebstherapie ganz klar bei der Nanotechnologie liegt. Zu guter Letzt möchte ich nochmals die aus meiner Sicht wichtigsten Vorteile nennen, die sich uns durch die Nanotechnologie gegenüber den herkömmlichen Therapie-Methoden geboten werden: Zum Einen wird die Effektivität der Medikamente erhöht, was eine bessere Wirkung und womöglich niedrigere Dosierung zulässt und zum Anderen können die Patienten von teilweise sehr schlimmen Nebenwirkungen verschont werden. Diese beiden Punkte sind für mich die Hauptgründe, warum die Nanotherapie unsere beste und vielversprechendste Alternative zu den jetzigen Behandlungen von Krebs ist und warum sie unsere größte Hoffnung im Hinblick auf eine mögliche Heilung von

Krebskrankheiten sein sollte. Also Ja, ich bin der Meinung, dass Nanoroboter eine effektive Methode gegen Krebserkrankungen sind und auch noch effektiver werden können.

9. Quellen- und Literaturverzeichnis

9.1 Internetquellen

[1] Biologie seite: <https://www.biologie-seite.de/Biologie/Zellzyklus> 28.10.2020

[2] Chemie.de:

https://www.chemie.de/lexikon/Benzol.html#Gefahren_und_Vorsichtsma.C3.9Fnahmen

02.11.2020

[3] Deutscher Krebsinformationsdienst:

<https://www.krebsinformationsdienst.de/tumorarten/grundlagen/krebsentstehung.php>

05.11.2020

[4] Dr. Andreas Kremser, 26. April 2009: <https://forum.drak.de/thread/1944-reduzierendes-oxidierendes-milieu/> 08.11.2020

[5] gesundheitinformation.de, 5.Juni 2019: <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-krebszellen-wachsen-und-sich-ausbreiten.2263.de.html> 05.11.2020

[6] Lena Machetanz, Ärztin, Net Doktor, 15. Februar 2017:

<https://www.netdokter.de/therapien/chemotherapie/#:~:text=Grunds%3%A4tzlich>

%20unterscheidet%20man%20bei%20einer%20Chemotherapie%20drei%20Phasen%2C,wird
%2C%20um%20ein%20Wiederaufleben%20der%20Tumorzellen%20zu%20verhindern

28.10.2020

[7] MagForce, NanoTherm Therapie: <https://www.magforce.com/home/unsere-therapiesystem/> 05.11.2020

[8] Maria Ponkhoff, Helpster, https://www.helpster.de/die-groesse-von-bakterien-im-ueberblick_208974 20.10.2020

[9] Michael Ringelsiep, 04.07.2019: https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/krankheiten/krebs/pwienanotherapie_100.html 05.11.2020

[10] Nanowissen, Projektlaufzeit Dezember 2012 bis März 2015:

https://www.nanowissen.bayern.de/forschung/mit_nanopartikeln_gegen_krebs/index.htm

02.11.2020

[11] World Health Organisation, 2016: <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/de/12-moeglichkeiten/tabak/921-welche-krebserregenden-stoffe-kommen-im-tabak-vor>
02.11.2020

9.2 Videoquellen

[12] Chemotherapie: <https://www.youtube.com/watch?v=QjzCi53RAPw> 05.11.2020

[13] Strahlentherapie: <https://www.youtube.com/watch?v=gMdszrnkztA> 05.11.2020

9.3 Interview

[14] Mit Anna Magdalena Sauer am 02.04.2020

9.4 Bildquellen

Alle nicht weiter gekennzeichneten Bilder wurden vom Verfasser selbst erstellt.

Abbildung 1 Zellteilung gesunde Zellen zu Krebszellen: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.deutsche-familienversicherung.de/fileadmin/media/images/ratgeber/das-koennte-sie-auch-interessieren/zellteilung-bei-krebs.jpg&imgrefurl=https://www.deutsche-familienversicherung.de/krankenhauszusatzversicherung/ratgeber/artikel/krebserkrankung-symptome-ursachen-und-ernaehrung/&tbnid=Y9Ql2fDYMryFaM&vet=1&docid=Klnk1j-FuuHIMM&w=800&h=300&q=krebszellen+entstehung&source=sh/x/im> 07.11.2020

Abbildung 2 Tumorzelle wächst in gesunde Zellen ein und bildet neue Blutgefäße: <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-krebszellen-wachsen-und-sich-ausbreiten.2263.de.html> 07.11.2020

Abbildung 3 Links: gesunde Zellen; Rechts: Tumorzellen, zwischen denen sich die Nanopartikel (blau) ausbreiten: MagForce, NanoTherm Therapie: <https://www.magforce.com/home/unser-therapiesystem/> 07.10.2020

Abbildung 4 Nanopartikel werden direkt in den Tumor eingeführt: MagForce, NanoTherm Therapie: <https://www.magforce.com/home/unser-therapiesystem/> 07.11.2020

Abbildung 5 Blutgefäß, in die Nanopartikel injiziert werden: Dissertation: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/13822/1/Sauer_Anna.pdf 07.11.2020

Erklärung über die eigenständige Erstellung der Facharbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Dabei habe ich nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe. Die Seminararbeit ist in dieser oder ähnlicher Form in keinem anderen Kurs vorgelegt worden.

Lindenberg, den