

Junge Wissenschaft

Jugend forscht in Natur und Technik

Young Researcher

The European Journal of Science and Technology

Medienpartner des
Wissenschaftsjahres 2009



IM KOSMOS DER NANOTEILCHEN

**Hightech im
kleinsten Maßstab**

Themen:

Datenspeicher mit Tiefgang // Dem Vogelflug ein
wenig näher // Protection from Tsunami Waves? //
Lied mit geheimer Botschaft // Parkplätze im Überblick

Außerdem im Heft: nanoTruck // Pakt für Frauen in MINT-Berufen //
Nanotechnologie - Entwicklungen, Chancen, Risiken //
Nanotoxikologie - Es gibt immer zwei Seiten // Studienführer und vieles mehr...





62

Nanotoxikologie - es gibt immer zwei Seiten

Nanoteilchen haben faszinierende Eigenschaften, die bisher ungeahnte Anwendungen versprechen. Doch wie bei jeder neuen Entwicklung, gibt es nicht nur Chancen sondern auch Risiken. In der Nanotoxikologie werden Methoden entwickelt, mit denen die Giftigkeit von Nanopartikeln bestimmt werden können. Ein Einblick in die Laborarbeit und das wissenschaftliche Spannungsfeld.



12

Der nanoTruck: Hightech aus dem Nanokosmos

Die Nanotechnologie aus den Laboren der Wissenschaft holen und die Menschen frühzeitig über dieses chancenreiche Technologiefeld zu informieren und neue Entwicklungen und Ideen zu fördern - dieses Ziel verfolgt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit seinem nanoTruck.

Editorial 3

Inhalt 4 - 5

Neues 6 - 11

Wenn Strömungsforscher Autos designen 6

Die besondere Nachricht: Nanotrojanische Pferde 7

Graphen - eine zweidimensionale Kohlenstoffmodifikation 7

Äquivalenzprinzip im Weltraumtest 8

Eine Antenne für mehrere Reize 8

Auf dem Weg zur künstlichen Nase 9

Nano zum Surfen 10

Junge Wissenschaft - Der DIN-Preis für Studierende 11

Magazin I 12 - 17

Hightech aus dem Nanokosmos 12

Pakt für Frauen in MINT-Berufen 14

Leserbrief 17

Wie aus Jungforschern junge Wissenschaftler werden 17

Magazin II 60 - 76

Nanotechnologie - Entwicklungen, Chancen, Risiken 60

Nanotoxikologie - Es gibt immer zwei Seiten 62

Studium & Beruf: Nanotechnologie 66

Mikrotechnologie und mehr am Institut für Mikrosystemtechnik der Universität Freiburg 70

Buchrezensionen 73

Jugend forscht 18 - 59

Datenspeicher mit Tiefgang
Reversible holographische Datenspeicherung mit Spiropyran-derivaten 18

Dem Vogelflug ein wenig näher
Ein alternatives Steuersystem für Flächenflugzeuge mit Profilveränderung 25

Protection from Tsunami Waves?
Experimental study on the effect of underwater barrier on tsunami waves 33

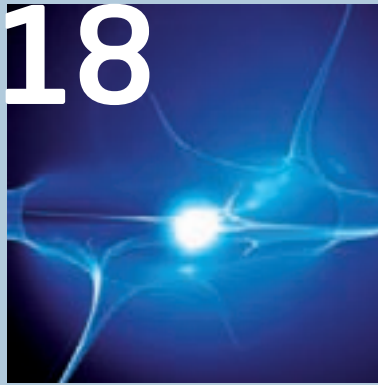
Lied mit geheimer Botschaft
Verschlüsseln von Sprache durch Musik 41

Parkplätze im Überblick
Elektronische Infrastrukturanalyse zur Verbesserung der Parkplatzsituation 50

Datenspeicher mit Tiefgang

Um Daten mit hoher Dichte zu speichern, wird aktuell die Holographie als Methode erforscht. Ein interessantes Filmmaterial sind hierbei die photochromen Spiropyrane.

Autoren: Dominik Hangleiter, Michael Noll, Jannes Gladrow



Dem Vogelflug ein wenig näher

Vögel können während des Flugs die Form ihrer Flügel verändern und so steuern. Diese prinzipielle Idee wurde für ein Modellflugzeug übernommen, um durch eine Profilveränderung der Tragflächen die Funktion der Querruder zu ersetzen.

Autor: Thomas Hewel



Protection from Tsunami Waves?

In Modellversuchen wurde untersucht, durch welche Maßnahmen die zerstörerische Kraft eines Tsunamis verringert werden kann. Als besonders wirksam erwiesen sich Unterwasserhindernisse nahe der Küste.

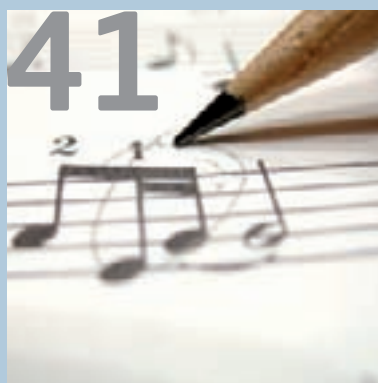
Autorin: Narges Kaynia



Lied mit geheimer Botschaft

Mit der hier vorgestellten Verschlüsselungsmethode können geheime Botschaften in musikalischen Kompositionen versteckt werden, und die Frage nach der Aussage von Musikstücken erhält eine völlig neue Bedeutung.

Autorin: Christiane Licht



Parkplätze im Überblick

Welche Stadt kennt schon die genaue Zahl ihrer Parkplätze? Das Ablaufen aller Straßen und das Zählen sind zu aufwändig. Warum es dann nicht mal aus der Luft versuchen?

Autoren: Tim Wieschalla, Christian Kuckuck, Christin Parschau



Junge Wissenschaft-Jugend forscht in Natur und Technik

Junge Wissenschaft veröffentlicht Originalbeiträge junger Autoren bis zum Alter von 23 Jahren mit anspruchsvollen Themen aus allen Bereichen der Naturwissenschaften und Technik.

Gründungs Herausgeber:
Prof. Dr. rer. nat. Paul Dobrinski †

Herausgeber:
Prof. Dr. Manfred Euler
Dr. Dr. Jens Simon
Dr.-Ing. Sabine Walter

Beirat:
Dr. J. Georg Bednorz
Nobelpreisträger
IBM Research Division
Forschungslaboratorium Zürich

Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c.
Manfred Eigen
Nobelpreisträger,
Max-Planck-Institut für
Biophysikalische Chemie,
Göttingen

Prof. Dr. Gerhard Ertl
Nobelpreisträger
Fritz-Haber-Institut der
Max-Planck-Gesellschaft, Berlin

Prof. Dr. Ernst O. Göbel
Präsident der Physikalisch-
Technischen Bundesanstalt,
Braunschweig und Berlin

Dr. Uwe Groth
Dr. Groth und Partner
Unternehmensberatung
VDI Projektleitung
„Jugend entdeckt Technik“

Prof. Dr. Elke Hartmann
Universität Halle
VDI Bereichsvorstand
„Technik und Bildung“

Dr. Uta Krautkrämer-Wagner
Geschäftsführerin der Stiftung
„Jugend forscht“ e. V.,
Hamburg

Prof. Dr. Bernd Ralle
Schriftführer der Zeitschrift MNU,
Fachbereich Chemie,
Universität Dortmund

Wolfgang Scheunemann
Geschäftsführer der dokeo GmbH,
Stuttgart



Thomas Hewel, *1989
Domat/Ems/ Schweiz

Schule:
Bündner Kantonsschule

Eingang der Arbeit:
Juli 2008

Zur Veröffentlichung angenommen:
September 2008



Dem Vogelflug ein wenig näher

Ein alternatives Steuersystem für Flächenflugzeuge mit Profilveränderung

Um die starren Tragflächen von heutigen Flugzeugen weiter in Richtung des „full adaptive wing“ zu entwickeln, machte ich es mir zur Aufgabe, ein alternatives Steuersystem für Flächenflugzeuge zu entwickeln. Die Funktion der Querruder sollte durch eine Profilveränderung der Tragflächen ersetzt werden. Durch adaptive Flügel können sowohl die Flugleistungen verbessert, wie auch der Widerstand gesenkt werden.

1 Einleitung

Variable Profile sind in der Natur selbstverständlich. Ein Falke zum Beispiel hat im Sturzflug eine gänzlich andere Flügel- und auch Körperform als im Steigflug oder im Segelflug. Würde der Falke im Sturzflug dasselbe Profil beibehalten wie beim Segeln, könnte er nie schnell flüchtende Tiere erbeuten und umgekehrt könnte er nicht mit wenig Energie weite Strecken zurücklegen.

Dabei passen Vögel nicht nur ihre Profilform an die jeweilige Situation an, sondern sie besitzen einen so genannten „full adaptive wing“, das heißt ihre Flügel sind voll anpassungsfähig. Sie können die Spannweite, die Tiefe, die Dicke, die Wölbung, die Pfeilung, die Oberfläche, die Randbereiche, die V-Stellung, die Verwindung und noch einige andere

Dinge verändern. Den lokalen Anstellwinkel zum Beispiel ändern sie, indem sie den ganzen Flügel asymmetrisch verdrehen. Dies löst extreme Reaktionen aus. Die Oberfläche wird von den Federn beeinflusst. Diese sind stark, haltbar und leicht, sie haben eine glatte Oberschicht und man kann sie biegen und verdrehen. Nebenbei dient jede der ca. 10.000 Federn als Luftstromsensor, der mit dem Gehirn verbunden ist. Diese Datenmenge ist verglichen mit der, welche von den Sensoren einer F-117 gemessen wird, riesig und ermöglicht so eine bedeutend bessere Anpassung an den momentanen Flugzustand. Und falls doch mal etwas beschädigt wird, können Vögel sich sogar selber reparieren [6], [11].

Doch all diese Anpassungen sind technisch noch nicht umgesetzt und deshalb

besitzen Vögel immer noch unvergleichlich bessere Flugeigenschaften als von Menschen gebaute Starr- und Drehflügler. Bei heutigen Flugzeugen sind starre Tragflächen Standard. Zur Steuerung behilft man sich mit ebenfalls starren, beweglichen Querrudern, Seitenrudern und Höhenrudern. Die Steuerung mit Rudern hat aber den Nachteil, dass an den Gelenken große Kräfte wirken, dass der Widerstand stark anwächst und dass die Form aerodynamisch ungünstig ist. Allerdings versuchten schon die Gebrüder Wright den Flug der Vögel nachzuahmen, indem sie die Tragfläche ihres Flugzeugs verwunden. Doch wegen ungenügender Stabilität kam man davon wieder ab. Erst mit der Entwicklung von Gleitschirmen und ähnlichen Fluggeräten kamen variable Flügelprofile in der Fliegerei auf. Gesteuert wird ein

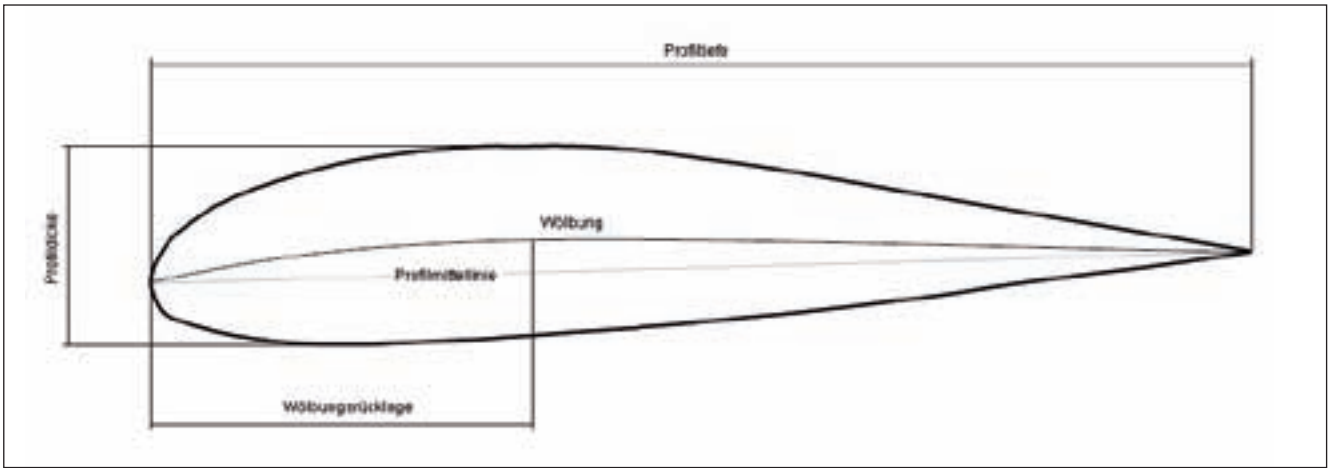


Abb. 1: Profilparameter eines Beispielprofils

Gleitschirm durch Gewichtsverlagerung des Piloten und durch Veränderung des Flügelprofils über Steuerleinen.

Da man allerdings stark an besseren Flugleistungen interessiert ist, wird vermehrt an der Umsetzung dieser Anpassungsfähigkeit geforscht. Doch nicht alle Maßnahmen sind erforderlich oder sinnvoll. Zum Beispiel muss sich ein Flugzeug nicht selber reparieren können. Auch noch extremere Reaktionen bei Flugmanövern von Kampffjets sind nicht nötig, da hier heute schon der Mensch und nicht die Maschine der limitierende Faktor ist. Anpassungen, welche erforscht und umgesetzt werden sollten, sind solche, die einen Energiespareffekt haben oder zu stabileren und somit sichereren Fluglagen führen.

In meinem Projekt habe ich mich auf einen kleinen Teil beschränkt und diesen versucht technisch umzusetzen und zu testen. Ich habe mich mit der Veränderung und Anpassung der Profildicke und Wölbung befasst und bin zu den im Folgenden beschriebenen Ergebnissen gekommen.

In anderen Forschungsprojekten wurden schon andere Methoden zur Veränderung der Flugeigenschaften entwickelt und erprobt. In manchen Fällen werden diese Entwicklungen auch eingesetzt, so zum Beispiel in der F-111. Dieser Kampffjet besitzt Schwenkflügel, wodurch er die Pfeilung verändern kann. Wenn er diese nach vorne schwenkt, wird er sehr wendig. Wenn er sie nach hinten schwenkt, verändert sich die Strömungsgeschwindigkeit normal zum Profil, wodurch der Luftwiderstand verkleinert wird. Dadurch kann er sogar Überschallgeschwindigkeiten erreichen [15].

Ein anderes, schon länger bekanntes Beispiel für anpassungsfähige Flügel, sind Segel. Das Segel eines Segelbootes kann als Flügel mit variablem Profil angesehen werden, welcher einen Vortrieb statt eines Auftriebs erzeugt. Dieser ist vom Anstellwinkel und der Wölbung abhängig. Auch hier werden Forschungen betrieben, um die Wölbung besser an die Anforderungen anzupassen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Einfluss der Profildicke und der Wölbung auf den Auftrieb

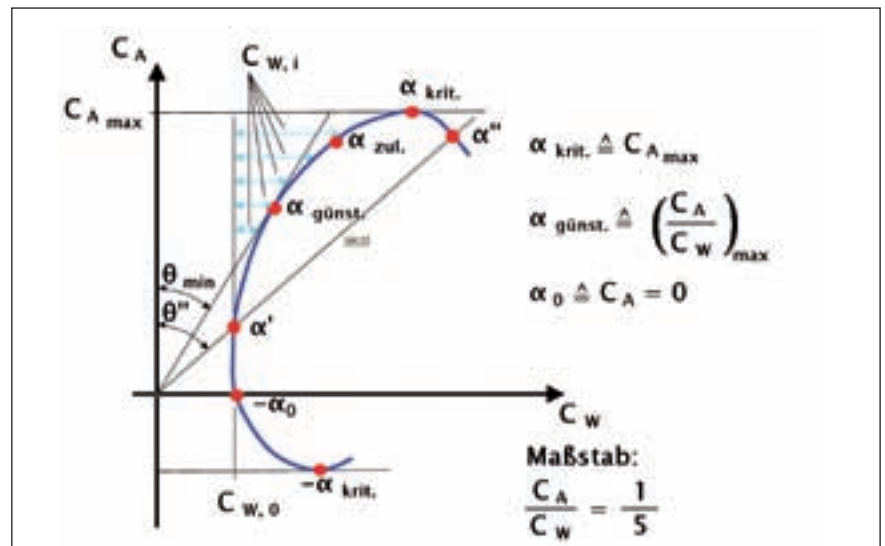
Die Wölbung ist die Linie, welche einem Weg im gleichen Abstand von der Ober- und Unterseite des Profils folgt (siehe Abb. 1). Sie wird auch als Skelettlinie bezeichnet, um die sich die Dickenform biegt. Die Profildicke gibt den größten Abstand zwischen Ober- und Unterseite an [4]. Die Profildicke und die Wölbung haben eine Auswirkung auf den Auftrieb,

da durch Vergrößerung dieser beiden Werte eine größere Druckdifferenz zwischen Tragflügelober- und Unterseite erreicht werden kann [8].

Flache Profile eignen sich besser für schnell fliegende Flugzeuge, da sie weniger Luftwiderstand erzeugen, während dickere und stark gewölbte Profile bei einem Flugzeug zu besseren Langsamflugeigenschaften führen, wie dies bei Seglern und Trainingsflugzeugen gewünscht ist. Bei flachen Profilen können die Langsamflugeigenschaften durch Auftriebshilfen wie Landeklappen verbessert werden, wodurch das Profil verlängert und stärker gewölbt wird und langsamere, stabilere Landeanflüge möglich werden [10].

Die Beeinflussung des Auftriebs durch die Profildicke und die Wölbung habe ich mir bei dem Steuerungssystem zu Nutzen gemacht. Wenn man den oberen

Abb. 2: Beispiel einer Polare mit den wichtigsten Punkten [14]



Holm hebt und damit auch die Depron-schicht, wird das Profil dicker und der Auftrieb und Widerstand größer.

2.2 Die Profilpolare

Die oben beschriebenen Eigenschaften von Flügelprofilen kann man sehr gut aus so genannten lilienthalschen Polardigrammen herauslesen. Hierzu werden die Auftriebs- und Widerstandskräfte bei verschiedenen Anstellwinkeln, aber konstanten Anströmbedingungen im Windkanal gemessen. Trägt man die ermittelten Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte mit dem Anstellwinkel als Parameter in einem Diagramm ab, so erhält man eine Profilpolare (siehe Abb. 2).

Durch eine solche Darstellung erkennt man schnell, welcher maximale Auftriebsbeiwert mit einem bestimmten Profil erzielt werden kann. Man sieht, bei welchem Anstellwinkel dieser erreicht wird, bei welchem kritischen Anstellwinkel es zu einem Strömungsabriss kommt, in welchem Winkel der Flügel angeströmt werden muss, damit der Widerstand am geringsten ist oder wann kein Auftrieb erzeugt wird. Der aerodynamisch günstigste Anstellwinkel ist dort zu finden, wo die Tangente an die Polare durch den Nullpunkt des Diagramms anliegt. Der Winkel zwischen Tangente und x-Achse des Diagramms ergibt den gesuchten Winkel. Erfasst man nicht nur den Profilwiderstand, sondern den des gesamten Flugzeugs, so liegt die daraus resultierende Polare weiter rechts, wobei die einzelnen Punkte jeweils um den Widerstandsbeiwert der Flügel-Rumpf-Kombination verschoben werden. Man erhält die Gesamtpolare, die schließlich für die Beurteilung der Leistungen eines Flugzeuges maßgebend ist [14].

2.3 Die Reynoldszahl

Eine weitere wichtige Kennzahl bei der Untersuchung von Strömungsverhalten ist die Reynoldszahl. Sie beschreibt das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften und ist somit abhängig von der Geschwindigkeit, der Dichte und der Viskosität des Fluids (Luft), wie auch von der charakteristischen Länge des umströmten Gegenstandes (z.B. Tragflächenprofil). Man kann verschiedene Aussagen durch die Reynoldszahl machen. Eine ist, dass man zum Beispiel einem Profil eine Reynolds-Zahl zuordnen kann, welche die Strömungsgeschwindigkeit beinhal-

tet, bei der die Strömung von laminar zu turbulent übergeht. Diese wird auch als kritische Reynolds-Zahl bezeichnet und wird meist experimentell bestimmt. Ein anderer Ansatzpunkt ist, dass man durch die Reynoldszahl das optimale Profil für einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich herausfinden kann [21]. Für das von mir entwickelte Konzept habe ich allerdings noch nicht die kritische Reynoldszahl ermittelt, was aber in einem weiteren Schritt zur Optimierung sicher Sinn machen würde.

2.4 Stand der Technik im bemannten Flug

Wie schon erwähnt sind heute starre Tragflächenprofile üblich, welche nur durch Klappen verändert werden können. Diese Klappen sind allerdings schon sehr weit entwickelt und erzielen somit eine gute Steuerfunktion. Große Verkehrsflugzeuge haben nicht nur an der Hinterkante Veränderungsmöglichkeiten, sondern auch die Vorderkante ist mit so genannten Krügerklappen und Vorflügeln ausgestattet. Diese sind zwar nicht direkt Auftriebshilfen im Sinne der an der Hinterkante angebrachten Landeklappen, sondern sie verschieben den maximal erreichbaren Auftriebsbeiwert nach oben [10]. Für solche Tragflächen mit veränderlichem Profil wurden schon einige Patente angemeldet. Unter anderem das Patent DE 10 2004 062 998 A1 von Airbus Deutschland GmbH mit der Bezeichnung „Flügel, insbesondere Tragflügel eines Flugzeugs, mit veränderlicher Profilform“ [23]. Bei diesem System wird allerdings nicht das ganze Profil verändert, sondern nur die Hinterkante. Im Gegensatz zu starren Klappen mit nur einem Gelenk, bilden sich hier keine Kanten und die Kräfte werden weitgehend verteilt.

Ein anderes Patent, DE 00 0002 907 912 A1, von Dornier GmbH beschreibt einen Flügel mit flexibler Nase. Das Profil kann im vorderen Bereich nach unten geklappt werden, wodurch der Nasenradius an die erforderliche Situation angepasst werden kann. [22]

Das Patent DE 40 02 972 A1 von Günter Waldherr beschreibt ein Profil, das in drei gegeneinander verstellbare Segmente unterteilt ist. Die Außenhaut besteht hierbei aus einem ausreichend flexiblen, aber formhaltigen Material. Mit dieser Methode kann der Flügel über die gesamte Län-

ge stark verändert werden, was eine sehr große Wirkung auf den Auftrieb hat. [24] Ein Patent der Prospective Concepts AG, EP 0 851 829 B1, unter anderem von Andreas Reinhard, beschreibt einen adaptiven pneumatischen Flügel für Starrflügel-Fluggeräte. Zwischen der Ober- und Unterseite befinden sich pneumatische Kammern, welche den Flügel in Form halten. Durch weitere Kammern kann die Form des Profils variiert werden [25].

Weitere Anpassungen der Flügel an die erforderlichen Leistungen wurden für militärische Zwecke entwickelt. Bei diesen Systemen wird allerdings nicht das Profil sondern die Pfeilung der Tragfläche verändert. An Tragflächen mit gerader Vorderkante (kleiner Pfeilwinkel) kommt es schon bei geringerer Geschwindigkeit zum Abreißen der Strömung an der Tragflächenoberseite als bei gepfeilten Tragflächen.

Die Luftströmung, die bis dahin eng am Profil anliegt, löst sich ab und der Auftrieb sinkt. Steigt die Geschwindigkeit noch weiter, entstehen an der Profilloberseite örtliche Überschallzonen, die das Verhältnis Auftrieb - Widerstand noch weiter verschlechtern. Das Auftreten dieses Problems kann in höhere Geschwindigkeitsbereiche verschoben werden, indem die Vorderkante der Tragflächen mehr oder weniger gepfeilt wird. Eigentlich gibt es für jede Mach-Zahl einen optimalen Pfeilwinkel, bei dem das Verhältnis zwischen Auftrieb und Widerstand optimal ist. Aus dieser Erkenntnis entstanden Flugzeuge mit veränderlicher Tragflügelgeometrie wie die russische MiG-23, und die amerikanischen Versionen F-111 und F-14 [14]. Unter der Mach-Zahl versteht man im Allgemeinen das Verhältnis von der Geschwindigkeit eines Objekts (in diesem Fall ein Flugzeug) zur Schallgeschwindigkeit. Bei Mach 1 handelt es sich somit um die Schallgeschwindigkeit, wobei diese von der Umgebungstemperatur abhängt und dadurch verschiedene Werte annehmen kann.

Patente oder andere Dokumente, die ein System beschreiben, bei dem die Tragflächenoberseite verändert wird, um das Profil anzupassen, habe ich bei meiner Recherche nicht gefunden.

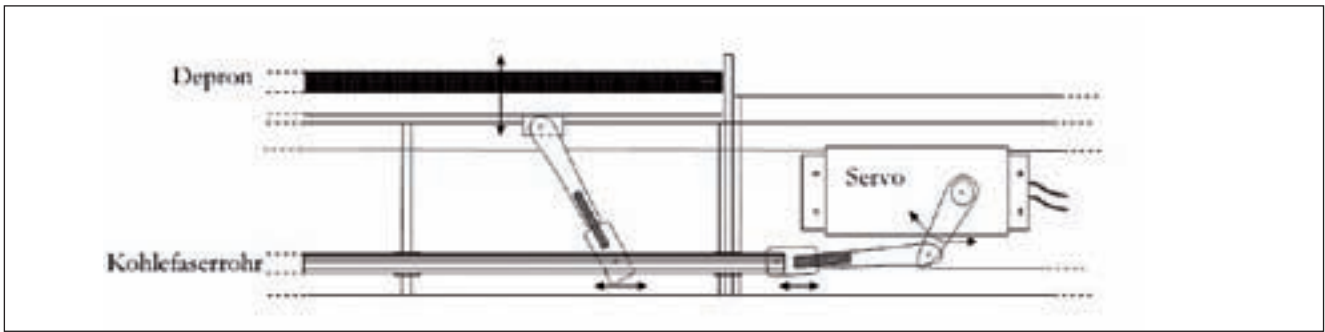


Abb. 3: Gestängeskizze

3 Bau und Erprobung einer Tragfläche mit veränderlichem Profil

3.1 Planung

Bei der Planung mussten mehrere Lösungsansätze miteinander verglichen und die beste Idee schließlich verfeinert werden. Zur Auswahl standen dehnbare und biegbare Materialien. Es wurde eine Lösung gewählt, bei der die Oberseite der Tragfläche mit einer Depronplatte bedeckt wird, welche sich am hinteren Ende verschieben lässt (siehe Abb. 3). Depron ist ein Polystyrolschaum mit glatterer und feinerer Oberfläche als Styropor [9].

Nun stellte sich noch die Frage, wie die Mechanik, mit der der obere Holm bewegt werden sollte, am besten gestaltet werden konnte. Auch hier kristallisierte sich mit der Zeit eine Lösung heraus, bei welcher die auftretenden Kräfte nicht direkt auf den Servomotor wirken, sondern von einem 4 mm Kohlefaserrohr aufgenommen werden. Andere Mechanismen waren zu groß, zu kompliziert oder von der Hebelwirkung her ungeeignet.

Als Profil des Modells wählte ich das von

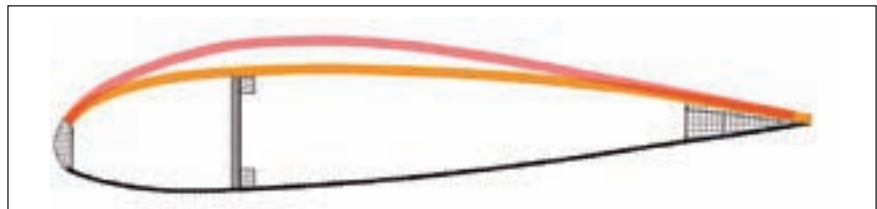


Abb. 4: Minimale und maximale Profilveränderung

einem meiner Modellflugzeuge. Ich entschied mich, zuerst einen kleinen Tragflächenabschnitt zu bauen. So hatte ich später die Möglichkeit, ohne große Veränderungen eine zweite Tragfläche zu bauen, die an den Rumpf des Fliegers passte. Dadurch konnte ich das ganze System unter realen Bedingungen testen. Von diesem Flugzeug übernahm ich auch den grundlegenden Rippenaufbau der Tragfläche.

Da ich nun wusste, welche Dimensionen das Modell haben sollte (siehe Tab. 1) und welche Materialien ich benötigte, fing ich an, die Rippen zu planen. Bei dem ersten, kleineren Modell sollte die Depronplatte an der Endleiste unter einer Lasche aus Balsaholz hin und her gleiten. Die Profilverdickung legte ich auf 10 mm fest, wo-

bei ich eine Abweichung von 5 mm nach unten und ebenfalls 5 mm nach oben einplante, so dass die Mittelstellung mit der ursprünglichen Form übereinstimmte (siehe Abb. 4).

Nach dem Bau dieses Modells beschloss ich, noch ein weiteres in dieser Größe zu bauen, da noch ein paar Verbesserungen vorgenommen werden sollten, bevor es an die vollständige Tragfläche ging. Unter anderem veränderte ich die Führung für das Depron: Diese sollte nun unter der Oberfläche sein, so dass keine Widerstand erzeugende Kante mehr vorhanden war. Das Depron bildete jetzt mit der Endleiste die hintere Kante des Profils.

An den zwei Modellen sah man, dass alles gut funktionierte und ich mit der Planung der Tragfläche beginnen konnte. Als erstes musste ich einen Grundrissplan zeichnen. Hier entschied ich mich, dass nur in einem Teil der Tragfläche das Profil verändert werden sollte. Dieser Teil hatte die Länge, die auch das Querruder der Vorlage hat. So konnte ich in den mittleren, robusten Abschnitt gut die Aufnahme für eine Flügelsteckung einplanen. Während des Baus kamen noch weitere kleinere Veränderungen hinzu.

3.2 Bau

3.2.1 Erstes und zweites Modell

Als die größten Planungen abgeschlossen waren, wie Profil und Anlenkungen usw., wollte ich die theoretischen Überlegungen erst in der Praxis, d. h. in einem kleinen

Tabelle 1: Wichtige Flugzeug- und Profilparameter (*Angaben in Prozent der Profiltiefe)

Gesamtgewicht	2725 g	
Rumpflänge	1290 mm	
Spannweite	1460 mm	
Flügelfläche	38.69 dm ²	
Flächenbelastung	70 g/dm ²	
Profiltiefe	265 mm	
Profildicke*	min: 15,26 %	max: 20,22 %
Profilwölbung*	min: 0,57 %	max: 3,05 %
Veränderung*	2,48 %	

Modell testen. Nach kurzer Zeit war das Grundgerüst fertig (Abb. 5). Nun mussten noch die Gelenkstangen, welche die Schubstange mit dem beweglichen Holm verbinden und die Kräfte übertragen, angefertigt werden. Als letztes kam noch das Depron oben drauf. Da die Spannungen im Depron zu groß gewesen wären, wenn es einfach über das Profil gebogen worden wäre, musste ich es zuerst durch erhitzen in die gewünschte Form bringen. Nachdem das Gestänge eingebaut war, sah ich schnell, dass das System gut funktionierte. Das Depron ließ sich ohne großen Kraftaufwand heben, und genug Stabilität war auch gegeben.

Doch aufgrund der Profilform in der oberen Stellung beschloss ich, noch ein zweites Modell in dieser Größe zu bauen. Da ich das Gestänge noch einmal verwenden konnte, musste ich nur noch die Balsaholzteile verleimen und ein Stück Depron biegen. Doch was noch ein wenig Zeit in Anspruch nahm, war die Veränderungen einzuplanen und umzusetzen.

3.2.2 Tragfläche

Wie auch bei den vorherigen Modellen wurden die Rippen zuerst mit dem unteren Holm und der Endleiste verleimt, es folgten die Nasenleiste und der obere Holm. Als die vordere Verplankung angebracht war, brauchte ich noch eine Flügelsteckung, um die linke mit der rechten Tragfläche zu verbinden (Abb. 6). Das Außenrohr klebte ich in die nachträglich gebohrten Löcher in einem Winkel von zwei Grad, so dass die Tragfläche später eine V-Stellung von vier Grad hatte. Dies war wichtig, damit sich das Flugzeug bei einem eventuellen Ausfall des Systems auch noch mit dem Seitenruder steuern ließ. Nun musste ich noch die Gelenkstangen produzieren und die Führung für das Depron herstellen, aus einem 1 mm Stahldraht, welcher in einem 2 mm Rohr läuft.

Um die Depronplatte zu biegen, benötigte ich eine Form, auf der das Depron erhitzt werden konnte. Bevor ich allerdings das Depron anklebte, verplankte ich noch das starre Stück und die untere, hintere Seite. Was noch fehlte, war der Servomotor, mit dem die Gelenkstange bewegt wird (siehe Abb. 7). Als auch die zweite Flügelhälfte soweit fertig war, wurde der Flügel mit Oracover®-Bügel folie bespannt. Um das Depron vor aggressiven Ölrückständen in den Abgasen des Motors zu schützen,

überzog ich es mit einer farblosen, transparenten Klebefolie. Das fertig gestellte Modellflugzeug zeigt Abb. 8.

3.3 Erstflug

Um nun das System in der Praxis zu testen, führte ich einen Flug unter realen Bedingungen durch. Da ich die Eigenschaften der alten Tragfläche mit denen der neuen vergleichen wollte, flog ich erst ein paar Runden mit diesem. Dann wechselte ich auf die neue Tragfläche. Nach einem kurzen Steigflug bewegte ich die Servomotoren für die Profilveränderung und das Flugzeug neigte sich tatsächlich in die Kurve. Nach einigen weiteren Kurven war klar, dass das System recht gut und zuverlässig funktionierte, das Flugzeug jedoch auch bei vollem Ausschlag nur sehr langsam und träge um die Längsachse rotierte. In größerer Höhe versuchte ich eine vollständige Rolle, doch durch die langsame Rotation neigte sich das Flugzeug immer mehr in einen Sturzflug und ich musste das Flugmanöver abbrechen.

Bei diesem Testflug zeigte sich, dass die Flugleistungen durch eine Profilveränderung nicht mit denen von Querrudersteuerung mithalten können.

4 Windkanalmessungen

Im Folgenden bekam ich die Möglichkeit im Windkanal der ETH Zürich Messungen an meinem Modell durchzuführen. Der Einbau des Modells nahm fast einen ganzen Tag in Anspruch, da noch ein Stinger angebracht werden musste, um den Anstellwinkel zu fahren. Die Messungen selbst beanspruchten einen weiteren Tag, da mehrere Probleme behoben werden mussten: Als erstes wurde der Anstellwinkel nicht richtig angezeigt. Als dieses Problem behoben war, stellten wir fest, dass das Gebläse nach der Hälfte der Messung automatisch abschaltet. Grund hierfür war, dass nur eine Maschine lief und diese nach ein paar Minuten Laufzeit überlastet war.

Gemessen wurden sowohl die unveränderte Tragfläche mit Querruder, wie auch die neue mit veränderbarem Profil (siehe Tab. 2). Bei jeder Messung wurden Anstellwinkel von -10° bis 25° gewählt. Zuvor hatten wir den ungefähren kritischen Winkel, bei dem die Strömung abreißt, ausgetestet, indem wir die Ablösung der Strömung vom Profil mit einem Faden beobachtet hatten. Die Windgeschwindigkeiten von 6,3 m/s und 11,3 m/s legten



Abb. 5: Erstes Modell mit Gelenkstange



Abb. 6: Rohbau fertig



Abb. 7: Rohbau mit Depron



Abb. 8: Das fertig gestellte Modellflugzeug

wir nach Schätzwerten fest, da nicht bekannt war, welche Geschwindigkeit das Flugzeug im Normalflug erreicht.

Die erhaltenen Daten aus den Windkanalmessungen lassen sich am besten anhand der erstellten Diagramme beschreiben und erklären. In Abb. 9 und 10 sind zwei gemessene Profilpolare dargestellt, eine für die unveränderte Tragfläche mit inaktivem Querruder (Abb. 9) und eine für die neue

Unveränderte Tragfläche	Neue Tragfläche
beide Querruder inaktiv (neutral)	Profil mittlere Stellung
beide Querruder oben	Profil oben
beide Querruder unten	Profil unten
Querruder asymmetrisch	Profil asymmetrisch (links oben, rechts unten)

Tabelle 2: Übersicht der Vergleichsmessungen zwischen unveränderter und neuer Tragfläche

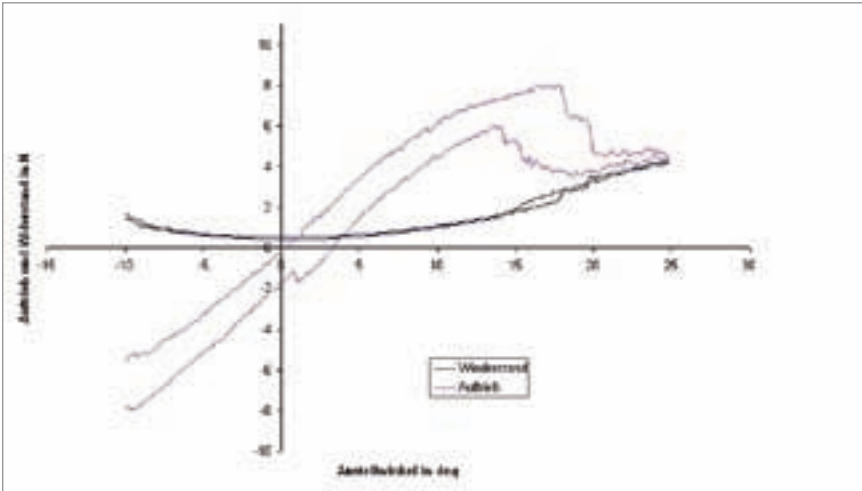


Abb. 9: Profilpolare der unveränderten Tragfläche mit inaktivem Querruder ($v= 6,3 \text{ m/s}$)

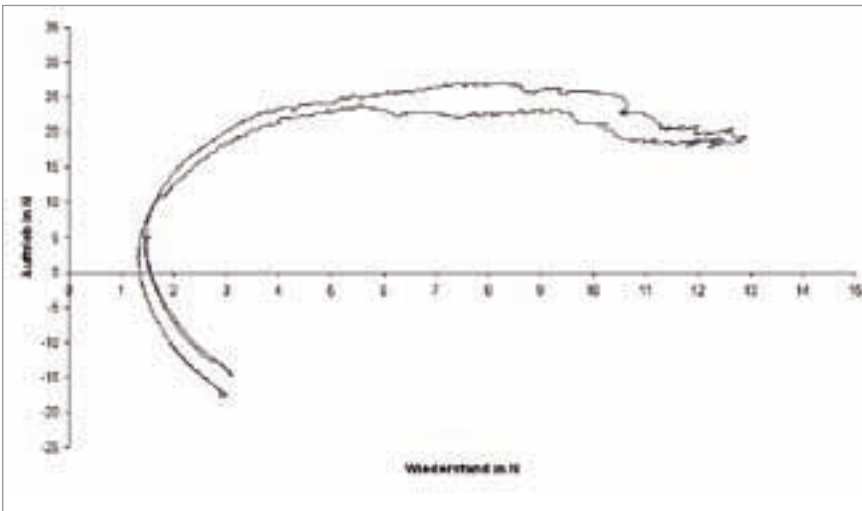


Abb. 10: Profilpolare der neuen Tragfläche mit dickem Profil ($v= 11,3 \text{ m/s}$)

Tragfläche (Abb. 10). Einen Vergleich der ermittelten Widerstands- und Auftriebswerte zeigt Abb. 11. Das Rollmoment für verschiedene Tragflächenkonstellationen ist in Abb. 12 dargestellt.

Aus den Messungen geht hervor, dass die unveränderte Tragfläche mit Querrudern bei einer Windgeschwindigkeit von $6,3 \text{ m/s}$ einen maximalen Auftrieb von 8 N

liefert (siehe Abb. 9). Da die neue Tragfläche in der mittleren Stellung dasselbe Profil hat, sind die Auftriebswerte gleich (siehe Abb. 11). Auch bei dickem Profil der neuen Tragfläche ist der Auftrieb ungefähr gleich groß. Bei dünnem Profil der neuen Tragfläche ist der Auftrieb um ca. 20% kleiner (siehe Abb. 11). Bei Verwendung der unveränderten Tragfläche kann der Auftrieb um 30% gesteigert werden, wenn man

beide Querruder nach unten stellt. Dies hat denselben Effekt wie Landeklappen.

Die Werte für den Luftwiderstand sind wiederum für die unveränderte und neue Tragfläche in mittlerer Position etwa gleich und liegen bei $0,35 \text{ N}$ (siehe Abb. 11). Durch die Verkleinerung der Profildicke sinkt der Widerstand um etwa 20% auf $0,27 \text{ N}$, wird das Profil hingegen dicker, steigt dieser Wert um fast 30% auf $0,45 \text{ N}$.

Das gemessene Rollmoment bei asymmetrisch gestellten Querrudern ist bei einer Windgeschwindigkeit von $11,3 \text{ m/s}$ mit $2,6 \text{ Nm}$ mehr als 5 mal so groß wie das der neuen Tragfläche mit asymmetrisch gestelltem Profil (siehe Abb. 12). Bei der Geschwindigkeit $6,3 \text{ m/s}$ unterscheiden sich die Rollmomente um den Faktor 3. Allgemein verhalten sich die Werte bei einer Windgeschwindigkeit von $11,3 \text{ m/s}$ ähnlich wie bei $6,3 \text{ m/s}$. Die Auftriebswerte bewegen sich in einem Bereich zwischen 25 N und 30 N , die für den Widerstand zwischen 1 N und $1,4 \text{ N}$.

Anhand der Daten lässt sich auch das Abreißverhalten der Tragflächen bestimmen. Das Abreißen der Strömung erfolgt bei der unveränderten Tragfläche bei einem Anstellwinkel von 17° genauso wie bei der neuen bei mittlerer Einstellung. Bei dünnem Profil sinkt dieser Wert auf etwas weniger als 16° , bei dickem steigt er auf fast 20° .

5 Diskussion

Durch den erfolgreichen Erstflug wurden die theoretischen Überlegungen bestätigt und konnten durch die Messergebnisse quantifiziert und begründet werden. Dies gilt insbesondere für das Rollmoment: Die langsame und träge Rotation des Flugmodells mit den neuen Tragflächen um die Längsachse im Vergleich mit der herkömmlichen Steuerung durch Querruder ist auf zwei aerodynamische Effekte des Querruders zurückzuführen.

Wenn das Querruder nach oben ausgeschlagen ist,

- entsteht auf der Flügeloberseite ein Staudruck. Der Unterdruck der Flügelunterseite fällt zusammen und die Tragflächenhälfte hat keinen Auftrieb mehr.

- wird die Luft nach oben abgelenkt und ruft auf dem Flügel eine nach unten gerichtete Gegenkraft hervor.

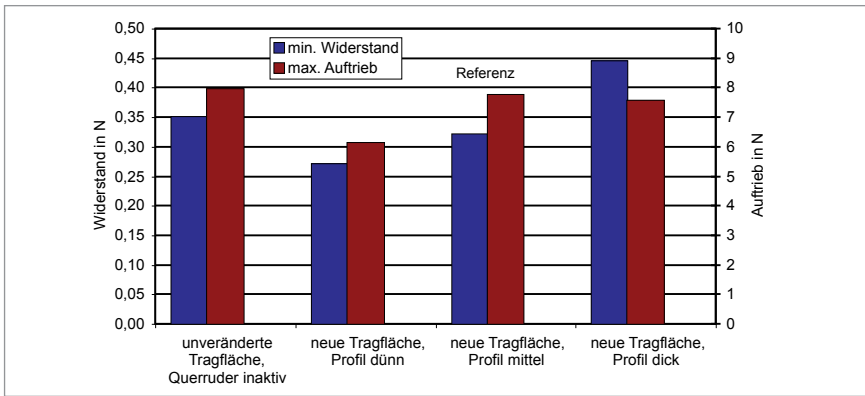


Abb. 11: Widerstand und Auftrieb der unveränderten Tragfläche und der neuen Tragfläche bei unterschiedlichen Einstellungen

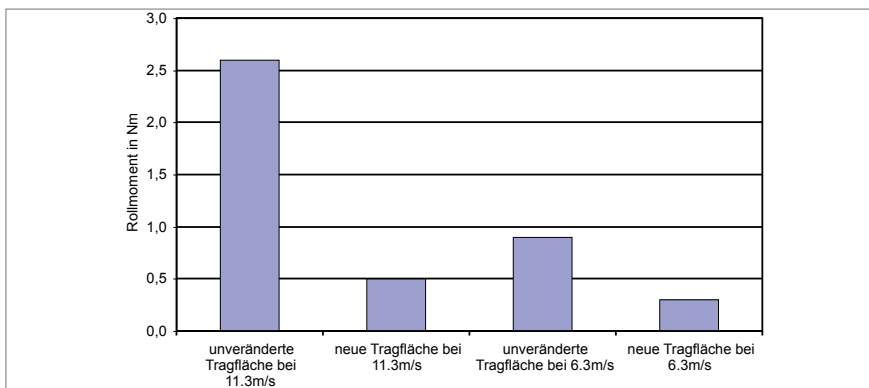


Abb. 12: Rollmoment bei 0° und asymmetrisch gestellten Querrudern oder Profil

Wenn das Querruder nach unten gestellt wird,

- entsteht ein zusätzlicher Staudruck auf der Flügelunterseite, der den Flügel nach oben drückt,
- wird die Luft nach unten abgelenkt und ruft eine nach oben gerichtete Gegenkraft hervor.
- wird die Profilwölbung auf der Flügeloberseite vergrößert. Es entsteht mehr Unterdruck und mehr Auftrieb.

Wenn nur das Profil der Flügeloberseite geändert wird, fallen zwei der oben beschriebenen Effekte ganz weg. Es wird jeweils nur der Unterdruck auf der Flügeloberseite geändert, der Druck auf der Flügelunterseite bleibt unbeeinflusst, was insgesamt zu einer viel kleineren und trägeren Reaktion führt. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Wölbung nur um 7 mm verändert werden kann, was 2,5 % der Profiltiefe entspricht. Bei minimalem Ausschlag ist die Wölbung 0,57 %, d. h., dass die Flügelhälfte, welche sich nach unten bewegen soll, immer noch einen Auftrieb hat. Die Messungen haben ergeben, dass sich der Auftrieb von mittlerem zu dünnem Profil um 20 % verkleinert.

Allerdings widerlegen die Daten auch die Hypothese, dass der Flügel bei dickerem Profil mehr Auftrieb erzeugt. Das beruht wahrscheinlich auf der Tatsache, dass die verwendete Profilform schon so optimiert ist, dass durch eine Vergrößerung der Wölbung und Dicke nur mehr Widerstand, nicht aber mehr Auftrieb erzeugt werden kann. Somit wird der Auftrieb bei einem Kurvenflug nur an der einen Tragfläche verkleinert, an der anderen Tragfläche aber nicht vergrößert, was zu einem geringen Rollmoment führt. Um mit derselben Effektivität wie mit einem Querruder steuern zu können, ist es notwendig, die Wölbung stärker verändern zu können, allerdings sollte durch diese Veränderung das Profil nicht dicker werden. Um eine größere Auftriebsänderung auszulösen, muss es möglich sein, auch negative Profilwölbungen einstellen zu können. Dies bedingt, dass auch die Flügelunterseite verstellbar sein muss.

Denkbar wäre auch eine Anwendung, bei der das Profil auf beiden Seiten parallel geändert wird. Das Profil könnte an die jeweilige Flugsituation angepasst werden. So würde während der Start- und Lande-

phase die Auftrieboptimierung im Vordergrund stehen und bei Erreichen der Reisegeschwindigkeit die Reduzierung des Widerstandes. Es wären auch keine Höhenrudertrimmungen nötig, um das Flugzeug auf gleich bleibender Höhe zu halten, weil der notwendige Auftrieb genau an die Reisegeschwindigkeit angepasst werden kann.

Durch Veränderung der Profildicke kann auch eine Anpassung des Auftriebs an das Gewicht erfolgen. Vor allem bei Langstreckenflugzeugen macht der Treibstoff einen großen Teil des Startgewichts aus. Mit zunehmender Länge der zurückgelegten Flugstrecke verringert sich allerdings dieser Anteil und die Tragflächen müssten grundsätzlich weniger Auftrieb liefern. Wenn man nun das Profil an den benötigten Auftrieb anpasst, kann auch der induzierte Luftwiderstand um 5 – 10 % verringert werden, wodurch einiges an Energie gespart werden kann. Ökonomisch heißt das, geringere Treibstoffkosten, ökologisch weniger CO₂ Ausstoß.

Sicherheitstechnisch sind drei Punkte festzuhalten, die ersten zwei positiv und der letzte negativ:

- die meisten beweglichen Teile liegen im Innern des Flügels und sind deshalb weniger den äußeren Einflüssen ausgesetzt,
 - die auftretenden Kräfte werden besser verteilt, wodurch einzelne Gelenke nicht zu stark belastet werden,
 - der Bewegungsmechanismus ist komplizierter als bei starren Klappen und dadurch störanfälliger.
- Unter anderem ist dieses Steuerungssystem auch auf Höhen- und Seitenleitwerke anwendbar, wobei hier noch Anpassungen nötig sind.

Aus den Daten ist außerdem das Abreißverhalten der Tragflächen ersichtlich. Das Abreißen der Strömung erfolgt bei der unveränderten Tragfläche bei einem Anstellwinkel von 17° ab. Die stufenweise Abnahme des Auftriebs in den entsprechenden Diagrammen lässt darauf schließen, dass erst die eine Seite der Tragfläche und dann die andere Seite zu turbulenter Strömung übergehen. Diese Unregelmäßigkeit erklärt auch die großen Ausschläge in den Rollmomentdiagrammen. Durch eine Verdickung des Profils kann der Abreißwinkel um 3° vergrößert werden, durch eine Verdünnung kann er um 1° verkleinert werden. Außerdem ist zu

beobachten, dass die Strömung bei beiden Hälften der neuen Tragflächen fast gleichzeitig abreißt. Diese ist wahrscheinlich auf eine glattere Oberfläche zurück zu führen. Bis das entwickelte System in manntragenden Flugzeugen zum Einsatz kommen kann, braucht es noch viele weitere Tests, Versuche und Messungen. Doch es würde sich lohnen, da so die Flugleistung gesteigert werden kann.

Danksagung

Auf das Thema dieser Arbeit bin ich im Vorfeld meiner Maturaarbeit gekommen. Während der Suche nach einer Thematik brachte mich ein Kollege aus der Modellfluggruppe Rätia Chur (MFGRC) auf die Idee, ein Flugzeug zu bauen, welches durch die Veränderung des Tragflächenprofils gesteuert wird. Nach weiteren Überlegungen wurde ersichtlich, dass dies mit etwas Aufwand und guter Planung durchaus machbar sein sollte. Als Betreuer war Rocco Ciorciaro der richtige Ansprechpartner, da er als Segel- und ehemaliger Modellflieger über gute Kenntnisse in diesem Bereich verfügt.

Da diese Maturaarbeit ohne eine gute Betreuung und gute Tipps nicht so erfolgreich und lehrreich gewesen wäre, möchte ich mich an dieser Stelle bei meinem Betreuer Ciorciaro bedanken, der mich auch bei der Weiterführung unterstützt hat. Weiterer Dank geht an Martin Barth, welcher mich nicht nur auf die Idee gebracht hat, sondern mir auch wertvolle Ratschläge zur Konstruktion des Modells gegeben hat, ebenso an meinen Cousin Steffen und an meinen Bruder Markus, welche mich bei langwierigen Arbeiten unterstützt haben und von denen auch so manche hilfreiche Idee kam. Und noch einen besonderen Dank an meine Eltern, die mir materiell und ideell zur Seite standen.

Durch meine Teilnahme bei Schweizer Jugend forscht konnte ich diese Arbeit noch um einige Kapitel ausbauen und verbessern. Für die Unterstützung und Tipps zur Ergänzung möchte ich mich bei meinem Experten Andreas Reinhard bedanken. Ein weiterer Dank geht an Professor Thomas Rösgen vom Institut für Fluidodynamik der ETH Zürich, welcher mir die Messungen im Windkanal ermöglicht hat und an Lukas Prochazka, der diese mit mir durchgeführt hat.

Literatur:

- [1] Brauer, Helmut. 2002. Motorflugmodelle selbst konstruiert: Der einfache erfolgreiche Weg. vth. Baden-Baden
- [2] Kassera, Winfried. 2007. Flug ohne Motor. Motorbuch Verlag. Stuttgart.
- [3] Nachtigall, Werner und Blüchel, Kurt. 2000. Das große Buch der Bionik. DAV. Stuttgart/München
- [4] Simons, Martin. 2006. Modellflug-ABC Grundlagen, Aerodynamik & Tipps. vth. Baden-Baden
- [5] Wöbbeking, Gerhard (2007). Ideen werden Flügel. Flugmodell und Technik FMT Die führende Fachzeitschrift (März 2007). S.124-127
- [6] (2003). Fliegen wie Vögel. http://www.aeroman.de/html/DE/fliegen_wie_vogel.html (27.11.2007)
- [7] (2004). Warum fliegt ein Flugzeug? <http://www.erklaert.de/warum/fliegen.htm> (26.07.2007)
- [8] (2007). Coandă-Effekt <http://de.wikipedia.org/wiki/Coand%C4%83-Effekt> (25.07.2007)
- [9] (2007). Depron. <http://de.wikipedia.org/wiki/Depron> (20.07.2007)
- [10] (2007). Tragfläche. <http://de.wikipedia.org/wiki/Tragfl%C3%A4che> (25.07.2007)
- [11] (2007). Wie Vögel die Ideallinie finden <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,479480,00.html> (03.09.2007)
- [12] Auftrieb. <http://www.wissen.swr.de/warum/fliegen/themenseiten/t4/s1.html> (27.07.2007)
- [13] Bork, Beatrice (2007). Sky Dive. http://www.natureartists.com/artists/artist_artwork.asp?ArtistID=426&ArtworkID=8321 (03.09.2007) (Abb. 1)
- [14] Einflüsse verschiedener Faktoren auf die Beiwerte c_a und c_w . http://www.mig-21-online.de/Aerodynamik/aerodynamik_3.htm (29.02.2008) (Abb. 5)
- [15] General Dynamics F-111 und ihre Versionen. <http://www.waffenhq.de/flugzeuge/f-111.html> (01.03.2008)
- [16] Grünewald, Ulrich (1999). Wie fliegen Flugzeuge? <http://www.quarks.de/fliegen2/02.htm> (26.07.2007)
- [17] http://www.aerospaceweb.org/aircraft/bomber/f111/f111_schem_01.gif (03.03.2008) (Abb.3)
- [18] <http://www.agw-bw.de/Hauptseite/Haupttext.htm> (03.09.2007) (Abb. 2)
- [19] Schnabel, Ulrich (2001). Hier irrt die Schulweisheit http://www.schule.de/bics/son/verkehr/presse/2001_1/v4301_45.htm (22.07.2007)
- [20] <http://www.thuro.at/aerodynamik2.htm> (04.07.2008) (Abb. 4)
- [21] <http://de.wikipedia.org/wiki/Reynolds-Zahl> (01.11.2008)
- [22] Patent DE 00 0002 907 912 A1
- [23] Patent DE 10 2004 062 998 A1
- [24] Patent DE 40 02 972 A1
- [25] Patent EP 0 851 829 B1



Reise in den Nanokosmos

Nanotoxikologie - Es gibt immer zwei Seiten

Nanoteilchen haben faszinierende Eigenschaften, die bisher ungeahnte Anwendungen versprechen. Doch wie bei jeder neuen Entwicklung, gibt es nicht nur Chancen sondern auch Risiken. In der Nanotoxikologie werden Methoden entwickelt, mit denen die Giftigkeit von Nanopartikeln bestimmt werden können. Ein Einblick in die Laborarbeit und das wissenschaftliche Spannungsfeld.

„Durchsichtige Sonnencreme dank Nanopartikeln, 100% UV-Schutz durch neuste Nano-Forschung.“ Diese Versprechungen gingen durch die Medien und prangten auf den Verpackungen vieler Kosmetika. Doch es ist auch Skepsis angebracht: Denn die Gesundheitsverträglichkeit dieser Stoffe wurde quasi vorausgesetzt. Einen ersten Schritt zu mehr Transparenz unternahm im Sommer 2005 die EU-Kommission und erließ die „Richtlinie zur Kennzeichnungspflicht von Produkten aus dem Bereich der Nanotechnologie-Forschung“.

Bereits seit Ende der 1990er hatten sich vermehrt Forscher mit der Frage der

Umweltverträglichkeit von neuen Materialien aus der Nanoforschung beschäftigt. Die Frage nach deren Einfluss auf die Gesundheit von Menschen folgte so fast zwangsläufig. Was geschieht, wenn Stoffe, die bisher nur in winzigen Mengen natürlich vorkommen, wegen ihrer Eigenschaften in Zukunft industriell, sprich in großen Mengen, produziert werden? Wie reagiert die Umwelt? Wie reagieren Organismen, wenn sie völlig neuen Stoffen in extrem hohen Konzentrationen ausgesetzt sind?

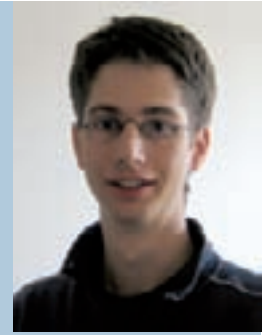
Solche Fragen werden typischerweise in der Biologie, genauer in der Toxikologie, untersucht. Hier werden bestimmte

Modellorganismen unter kontrollierten Bedingungen möglichen Giftstoffen ausgesetzt. So kann der Einfluss dieser Stoffe beispielsweise auf die Entwicklung von Fischembryonen untersucht werden. Kombiniert mit Messungen, die Aussagen über das Vorkommen in der Umwelt treffen, lassen sich so Risikoabschätzungen und Gefahrenszenarien ableiten [1].

Dieses Vorgehen lässt sich erfolgreich auf verschiedene Arten von Rußpartikeln anwenden. Mit ihren Abmessungen von hunderten Nanometern gelten sie als Nanopartikel. Bei der Untersuchung von so genannten Fullerenen stößt diese

Jens Otte

Biologie und Doktorand am Forschungszentrum Karlsruhe

**Worin sehen Sie die wichtigsten Herausforderungen der (Nano-)Toxikologie in der näheren Zukunft?**

Die Herausforderung der Toxikologie sehe ich in der Beschreibung komplexer Wirkungsmischungen, die jeweils nur in geringen Konzentrationen in der Umwelt auftreten, aber hoch aktiv und potent sind. Beispielsweise gibt es für den anhaltenden Rückgang von Fischarten in europäischen Fließgewässern keine einfache Erklärung (wie noch in den 70er und 80er Jahren) über die Messung einer einzelnen Substanz! Organismen jeglicher Trophieebene sind durch anthropogene, hoch wirksame Substanzen ständig unter Stress. Diese Substanzen sind z. B. endokrin wirksame Substanzen, trätogene Wirkungen, und eben auch unbekannte Wirkungen von Nanopartikeln.

Was halten Sie von legislativen Initiativen, die sich auf toxikologischen Ergebnissen begründen?

Legislative Ergebnisse können nur von anhaltendem Erfolg gekrönt sein, wenn sie sich nicht nur auf ein Land beziehen. Eine solche Initiative muss sich im europäischen Rahmen bewegen. Chemikalien machen, einmal in der Umwelt, nicht an Staatsgrenzen halt. So lassen sich heute schon hohe Konzentrationen an persistenten Verbindungen (Dioxine, etc.) in der Fauna der Arktis nachweisen, obwohl sie dort niemals freigesetzt wurden.

Vorgehensweise jedoch auf ihre Grenzen: Fullerene sind sehr kleine symmetrische Nanostrukturen, Nanofußbälle mit 1,2 Nanometern Durchmesser. Damit bewegen sie sich schon allein durch Diffusion sehr schnell. Zusammengesetzt aus 60 Kohlenstoffatomen, besitzen sie keine freien Bindungen, lassen sich also nur sehr bedingt in Wasser lösen. Sie können von Organismen praktisch nicht abgebaut werden (Bild 1).

Werden C60-Fullerene im Labor untersucht, müssen die Bedingung sorgfältig gewählt werden. So wirbelte 2004 eine Studie viel Staub auf, die Orientierungslosigkeit von Laborfischen auf Ablagerungen von C60-Fullerene im Gehirn zurückzuführen meinte [2]. Andere Wissenschaftler führten eine Kontrollstudie durch und fanden erhebliche Messfehler, die durch das verwendete Lösungsmittel verursacht worden waren [3]. Diese Debatte dokumentiert die Herausforderungen, mit denen Wissenschaftler sich bei der Nanotoxikologie intensiv befassen.

An dem ambitionierten Ziel der Nanotoxikologie, eine Standard-Messmethode zur Bestimmung der Giftigkeit von Fullerenen zu entwickeln, arbeiten auch Forscher am Niels Bohr Institut in Kopenhagen. „Wir versuchen die direkte Wechselwirkung von Nanostrukturen und Nukleinsäuren zu verstehen und zu quantifizieren“, erklärt Lene Oddershede, Leiterin der Arbeits-

gruppe. „Im Speziellen legen wir unser Augenmerk darauf, wie C60-Fullerene irreversible an DNA binden, was sich fatal auf zelluläre Prozesse auswirken kann.“ DNA-Moleküle, die durch Fullerene zu groben Clustern gebunden sind, stehen lebenswichtigen Prozessen wie der Übersetzung in Proteine nicht mehr zur Verfügung. „Wenn so der Proteinhaushalt einer Zelle gestört wird, funktioniert sie nicht mehr in richtigem Maße und stirbt im Regelfall.“

„Wir wollen möglichst alle Parameter unseres Systems perfekt kontrollieren“, verdeutlicht Fabian Czerwinski, Doktorand am Niels Bohr Institut. „Dafür spannen wir ein einzelnes DNA-Molekül in einen

hochsensitiven Apparat, die optische Pinzette.“ So können die Forscher mit Hilfe eines hochfokussierten Laserstrahls die elastischen Eigenschaften der DNA vermessen (Bild 2). Selbst mit modernsten Mikroskopiertechniken wäre DNA sonst nur statisch aufzulösen.

„Ein bisschen ist das wie ein molekulares Gummiband. Die DNA-Moleküle sind dabei einen Mikrometer lang und haben einen Durchmesser von zwei Nanometern, also 500-mal länger als dick.“ Mit diesem Wissen kann die lokale Biegsamkeit des „wurmartigen Moleküls“ bestimmt werden. Und diese verändert sich dramatisch, wenn C60-Fullerene gebunden sind. „Solche Bindungen wieder

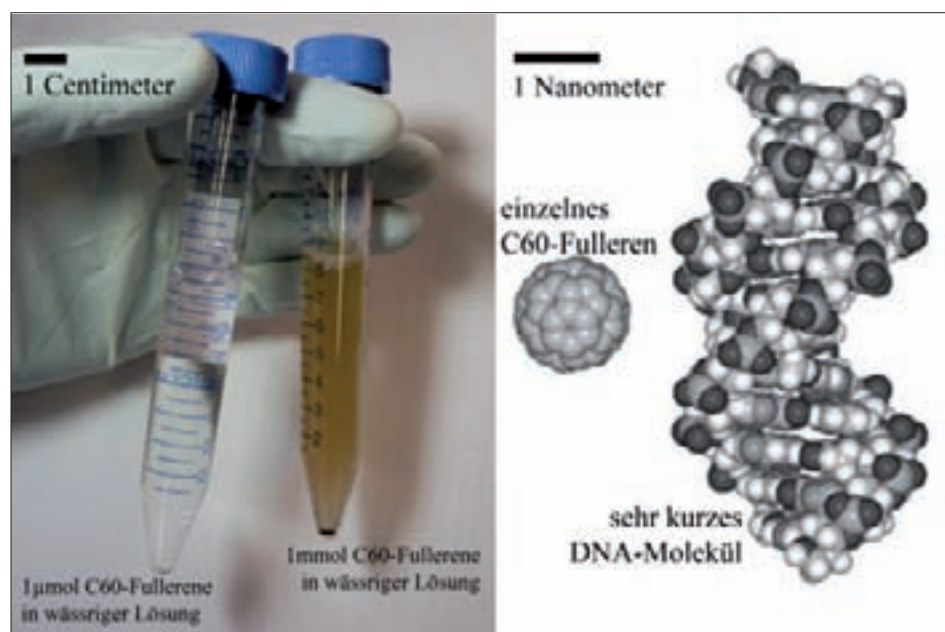


Bild 1: (links) C60-Fullerene in wässriger Lösung. Bei hohen Konzentrationen (>1mmol) ist die Lösung getrübt und es formt sich ein Sediment. (rechts) C60-Fulleren und DNA-Molekül (12 Basepaare) im schematischen Größenvergleich

aufzubrechen, gelingt selbst bei großen Kräften nicht“, betont Czerwinski. „Das könnte Aufschluss über einen möglichen toxischen Mechanismus geben, und dieser würde nur auf der Wechselwirkung von Nanopartikeln und DNA beruhen.“

Im Moment arbeiten die Forscher daran, die genaue Beschaffenheit der Nanopartikel durch Filter und Ultraschallbäder zu kontrollieren (Bild S. 62). Diplomand Shahid Mir verdeutlicht: „C60-Fullerene treten in Lösungen nicht individuell auf. In der Regel formen 30 bis 300 von diesen Fußbällen so genannte Nanocluster.“ Wie Zellen diese Nanocluster aufnehmen und transportieren muss als nächster Schritt verstanden werden, um ein sinnvolles Gefahrenszenario zu entwerfen.

Wenn Nanopartikel biologische Materialien wie DNA irreversibel umformen, also Mechanismen mit schädlichen Auswirkungen zu Folge haben, stellt sich die Frage, wie mit diesem Wissen umgegangen werden muss. Einen „Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Forschung im Bereich der Nanowissenschaften und -technologien“ stellte die EU-Kommission 2008 auf [4]. Dieser dient auch als Bezugspunkt, wenn wissenschaftliche Ergebnisse in politische Initiativen münden.

Priska Hinz, Sprecherin der grünen Bundestagsfraktion für Forschungsfragen, ist eine der Initiatorinnen der „Fachgespräche Nanotechnologie“ [5].

Willie Peijnenburg

Dutch National Institute of Public Health,
Bilthoven, Niederlande



How did you get interested in possible toxic implications of nanoparticles?

I am an organic chemist by training and did a PhD on organic photochemistry at the TU Eindhoven. After that I started as an environmental chemist at the Dutch National Institute of Public Health in Bilthoven, and worked on issues as fate and effects of metals, method development for organic chemicals, and chemical risk assessment.

It was within the activities on risk assessment that I got interested in nanomaterials. Following the literature, it turns out that on forehand potential risks related to extremely small-sized particles cannot be ruled out. On the other hand, we also know from the field of colloid chemistry that small particles tend to aggregate. Thus, they might actually not be present in the environment in the form of nanoparticles.

Where do you see the main challenges for the field of nanotoxicology in the near future?

The main issue is to understand the processes and mechanisms underlying the distribution and adverse effects of nanomaterials in the environment. As long as we do not know how the particles behave, we cannot deduce whether the results of toxicity testing „make sense“ and to which extent for instance laboratory-derived results of toxicity testing can be extrapolated to the ‚real‘ environment. This implies that we are not in a position yet to do real risk assessments of nanomaterials.

Do you see a particular important role for scientists there?

I do indeed, given the unknowns indicated above. Although much of the discussions on the safety of nanomaterials is going on between regulators, it is the scientists who need to come up with the answers to bring the discussions one step further, and it is the scientists who need to provide the necessary new tools and concepts to properly perform risk assessment of nanomaterials.

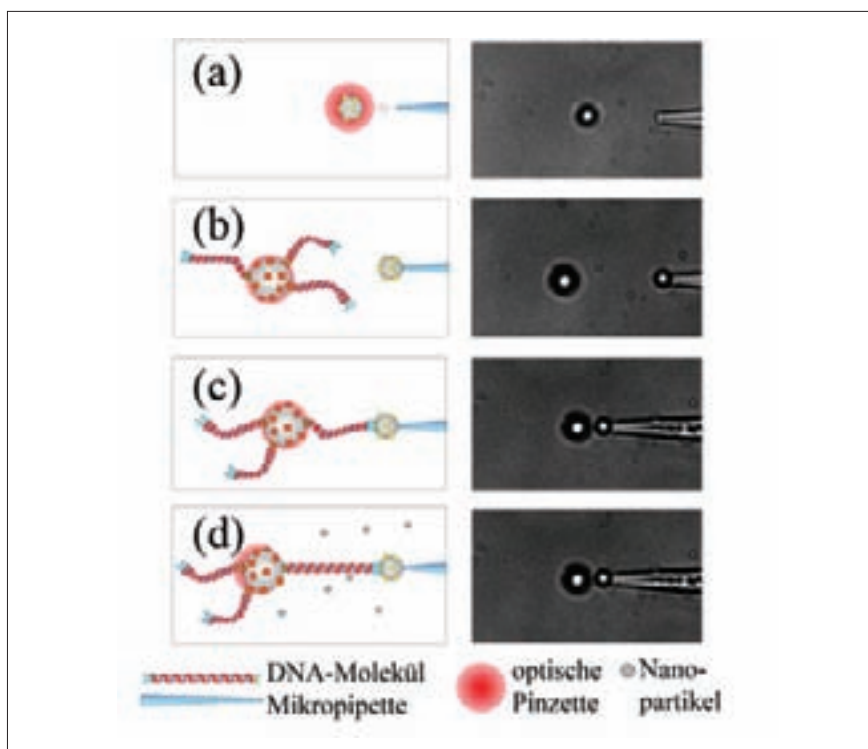


Bild 2:

Schematische Darstellung der Messungen der elastischen Eigenschaften eines einzelnen DNA-Moleküls:

(a) Optische Pinzette bringt Kunststoffkugeln auf Mikropipette.

(b) Optische Pinzette bringt Kunststoffkugeln mit DNA in die Nähe.

(c) DNA-Molekül bindet zwischen Kugeln über spezifische Bindungen. Elastische Eigenschaften werden gemessen.

(d) Messung der elastischen Eigenschaften der DNA in der Gegenwart von Nanopartikeln.

Diese dienen als Vorlauf zu parlamentarischen Anfragen und Eingaben.

So sieht die Bundesregierung ebenfalls einen Veränderungsbedarf des bestehenden Rechtsrahmens für Anwendungen der Nanotechnologie [6]. Mittelfristig muss sich hier eine Kennzeichnungs- und Informationspflicht von Herstellern gegenüber Verbrauchern etablieren, so die Forderungen. Ambitionierte und zielgerichtete Forschungsvorhaben, die biophysikalisch fundierte Nanotoxikologie betreiben, können hier eine gute wissenschaftliche Basis liefern.

Wohlfeile Versprechungen auf der Basis der neusten Erkenntnisse aus der Nanotechnologie werden also durch eine Abschätzung ihrer Risiken erweitert.

Fabian Czerwinski

Zur Person:

Fabian Czerwinski (25) studierte Physik in Heidelberg und Delft. Sein Hauptinteresse liegt in der Biophysik, im Speziellen in stochastischen Prozessen und Einzelmolekül-Messmethoden. Zurzeit promoviert er am Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen. Einen Eindruck seiner Forschung und weiterführende Informationen zu diesem Artikel erhält man unter www.nbi.dk/~czerwin.

Quellen und Links

- [1] Environment International, 2008 vol. 34 (8) pp. 1176-84
- [2] Nature, 2004 vol. 430 p. 599; Environ Health Perspect, 2004 vol. 112 (10) pp. 1058-62
- [3] Environ Health Perspect, 2007 vol. 115 (7) pp. 1059-65
- [4] http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/nanocode-rec_pe0894c_de.pdf
- [5] http://www.gruene-bundestag.de/cms/forschung/dok/235/235164.chancen_und_risiken_der_nanotechnologie.html
- [6] <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/063/1606337.pdf>

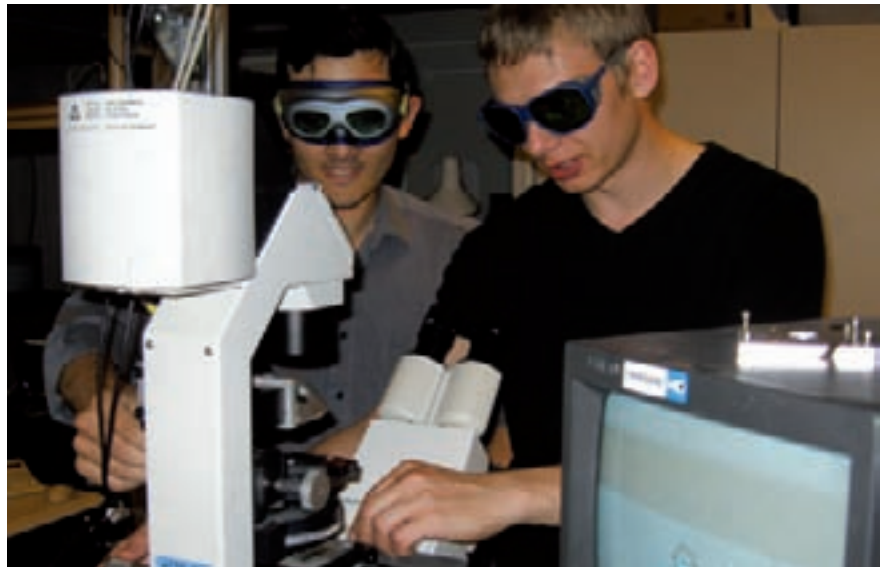


Bild 3: Shahid Mir und Peder Møller messen mit Hilfe der optischen Pinzette die Wechselwirkung von Nanopartikeln und DNA.

Priska Hinz

Mitglied des Bundestages,
Bündnis 90 / Die Grünen, Berlin



Warum befassen Sie sich als Politikerin so intensiv mit der Nanotechnologie?

Für eine erfolgreiche Eindämmung des Klimawandels und wirksamen Umweltschutz muss die Ressourceneffizienz massiv gesteigert werden. Dabei kann die Nanotechnologie eine Schlüsselrolle spielen. Dies kann aber nur gelingen, wenn ihre Risiken systematisch erforscht und von vorneherein begrenzt werden. Die Politik muss dafür den Rahmen setzen.

Wo sehen Sie die wichtigsten Entwicklungen auf dem Feld der Nanotechnologie in der nahen Zukunft?

Große Fortschritte und eine lohnende Anwendung verspreche ich mir in den Bereichen Klima, Energie und neue Materialien. Für zentral halte ich Fortschritte im Bereich der Risikoforschung. Wir wissen noch viel zu wenig über die Wirkung von Nanopartikeln. Solange die Risiken unklar sind, gilt für uns Grüne das Vorsorgeprinzip. Nur wenn wir das beachten, können wir Produkte herstellen, deren Qualität alle überzeugt. Ein verantwortungsloser Umgang würde diese wichtige Zukunftstechnologie gefährden.

Wie stehen Sie zum Verhaltenskodex zur Verantwortlichen Forschung im Bereich Nano, den die EU-Kommission 2008 herausgegeben hat?

Ich begrüße den Verhaltenskodex, der unserer grünen Haltung sehr nahe kommt. Die Kommission hat damit weitgehende und vor allem verbindliche Vorschläge zum verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie gemacht. Leider hat sich die Bundesregierung gegen diesen Kodex gestellt.

Glauben Sie, dass sich Ihre Forderungen nach einem Moratorium der Nanotechnologienutzung bis zu einer Klärung ihres Gefahrenpotentials durchsetzen lassen?

Im Bereich der Nutzung von nicht gebundenen Nanopartikeln, vor allem bei Lebensmitteln, Reinigungsmitteln und Kosmetika, fordern wir ein Moratorium. Aber: Wir wollen kein Forschungs-Moratorium. Im Gegenteil. Unser Ziel ist es, gerade die Risiken systematisch zu erforschen, um wissenschaftlich fundierte Entscheidungen zum Umgang mit Nanotechnologien treffen zu können.