

Hermann Grimmeiss

## **Nanoscience: Vom Forschungsergebnis zum Industrieprodukt<sup>1</sup>**

### **1. Einleitung**

Obwohl in den vergangenen Jahren sowohl von Seiten der Länder als auch der EU mehrere Initiativen unternommen wurden, die Zielsetzungen und Möglichkeiten der universitären Ausbildung, Forschung und des Innovationssektors zu verbessern und die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Sektoren zu stärken, bleibt offensichtlich noch vieles zu tun. Sowohl die europäische Kommission als auch mehrere nationale Regierungen in Europa haben in einer Anzahl von Verlautbarungen immer wieder „ihre Besorgnis über den wachsenden Abstand in den Naturwissenschaften zwischen Europa und den USA“ zum Ausdruck gebracht. Diese Besorgnis gilt insbesondere den Materialwissenschaften, nicht zuletzt wegen deren Breite und Bedeutung.

In den Materialwissenschaften unterscheidet man oft strukturelle und funktionelle Materialien. Aber in Anbetracht der Tatsache, dass sich die Materialwissenschaften in zunehmendem Maße über viele klassische Gebiete wie z.B. Physik, Biologie, Chemie, Mathematik, Medizin und Mechanik erstrecken, wird es immer schwieriger, klare Abgrenzungen zu definieren. Einer der Gründe für die außergewöhnlich große Bedeutung der Materialwissenschaften für die moderne Industrie und somit für die wirtschaftliche Entwicklung ergibt sich aus der Tatsache, dass die Materialwissenschaften ihre Basis sowohl in der Grundlagenforschung als auch in den Ingenieurwissenschaften haben und daher eng mit der Technologie verbunden sind.

Nanotechnologie und Nanoscience sind Teile der Materialwissenschaften. Wegen der großen Breite des Gebietes und den notgedrungen daraus folgenden inter- und multidisziplinären Aspekten ergibt sich eine Komplexität, die für viele andere Wissenschaftsgebiete unbekannt ist. Sowohl für die Forschung und deren Anwendung als auch für die Aus- und Weiterbildung stellt dies eine sehr große Herausforderung dar.

Nanoscience wird nicht selten mit Nanotechnologie, die alle Materialien mit kleinen Dimensionen beinhaltet, verwechselt oder gleichgesetzt. Nanoscience ist jedoch nur ein Teil der Nanotechnologie. Sie schließt innerhalb der Nanotechnologie die Materialien, Bauelemente und Systeme ein, die wegen ihrer Nanostrukturen neue und wesentlich verbesserte physikalische, chemische oder biologische Eigenschaften aufweisen. Diese verbesserten und oftmals völlig neue Eigenschaften werden nur auf Grund der kleinen Dimensionen und deshalb nicht in deren Makrostrukturen beobachtet. Ein Transistor mit 90 nm Strukturbreite gehört daher zur Nanotechnologie, weil trotz seiner sehr kleinen Struktur die charakteristischen Merkmale des Transistors unverändert sind. Nanodrähte dagegen besitzen Eigenschaften, die sich grundlegend von den makroskopischen

---

<sup>1</sup> Siehe auch: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Band 90 (2007), S. 111 ff.

Kristallen unterscheiden. Sie gehören daher zur Nanoscience. Ebenso wie die Nanotechnologie ist die Nanoscience kein bestimmtes oder klar abzugrenzendes Gebiet innerhalb der Materialwissenschaften, sondern erfährt eine immer größere Bedeutung nicht nur auf einigen, sondern auf allen Gebieten der Materialwissenschaften.

Diese zunehmende Bedeutung und Breite der Nanoscience beinhaltet aber auch gewisse negative Aspekte, die durchaus ernst zu nehmen sind. Weil viele europäische Politiker vom Begriff „Nano“ fasziniert sind, ohne deshalb immer zu wissen, worum es sich wirklich handelt, ist Nanoscience zu einem oft verwendeten Schlagwort in der Forschungspolitik geworden, was nicht selten zu Missverständnissen oder gar zum Missbrauch führt. So unerhört interessant und spannend die Nanoscience auch ist, es sind nicht immer die Dimensionen allein, die zu Innovationen und neuen Anwendungen führen. In den meisten Fällen spielen zusätzliche Materialeigenschaften und vor allem Kosten eine entscheidende Rolle.

## **2. Europäische Materialwissenschaft im Vergleich zu anderen Ländern**

Es sieht so aus, als ob Europa im Umgang mit der Komplexität und Interdisziplinarität der Materialwissenschaften größere Schwierigkeiten hat als andere Länder. Die Gründe hierfür wurden von der EU-Kommission in einer Reihe von Mitteilungen aufgelistet und eingehend diskutiert.

In einer dieser Mitteilungen (com (2003) 58) bemerkt die Kommission: „European universities are not at present globally competitive with those of our major partners“. In Anbetracht der Tatsache, dass in vielen europäischen Ländern nur ungefähr die Hälfte aller Studenten ihr Studium mit einem Examen abschließen und mehr als 10% der Postdocs in den USA studieren, fragt man sich, ob die staatlichen Förderungen für die höhere Ausbildung in Europa wirklich sinnvoll verwendet werden. Im deutschen Bundestag wurde daher im vergangenen Jahr darauf hingewiesen, dass sich „allein an der immer weiter gesunkenen Zahl der Nobelpreisträger in den entsprechenden Bereichen ablesen lässt, wie dringend die EU im Forschungssektor Tempo machen muss: Während 1901 und 1950 noch 73 Prozent der Preisträger aus Europa kamen, waren es zwischen 1995 und 2004 nur noch 19 Prozent“ [1].

Bedenken äußerte die EU-Kommission auch über die nicht immer zufriedenstellende Zusammenarbeit zwischen den Universitäten und der Industrie. In der Mitteilung com (2004) 353 stellt die Kommission fest: „Europe lacks sufficient capacity to transform knowledge into products and services“ und unterstreicht in einer weiteren Mitteilung vom vergangenen Jahr: „Today’s infrastructure in Europe does not always meet the requirements of industry“.

Wirft man dann noch einen Blick auf die internationalen Ranglisten von Universitäten der letzten Jahre [2,3], so stellt man fest, dass sich unter den 10 Top-Universitäten in der Welt fast immer mindestens 7 amerikanische Universitäten befinden und dass unter den 30 besten Universitäten der Welt nicht selten weniger als 10 europäische Universitäten zu finden sind. Die beste deutsche Universität liegt normalerweise im mittleren und die besten skandinavischen Universitäten im unteren Bereich der Top-100-Universitäten. Im Gegensatz zu anderen Meinungen hat eine von der Universität Göteborg durchgeführte Analyse dieser Ranglisten jedoch in Übereinstimmung mit einer entsprechenden Äußerung der EU-Kommission gezeigt, dass die Listen, obwohl sie von verschiedenen Kriterien ausgehen, wiedergeben, „was viele in der Welt für richtig halten“.

Bereits diese wenigen Beispiele zeigen, dass wir in Europa allen Grund haben, die angesprochenen Probleme Ernst zu nehmen. Die Wissenschaftler sowohl in den USA als auch in Europa sind

jedoch davon überzeugt, dass die Gründe für das schlechte Abschneiden Europas im Vergleich mit Ländern außerhalb Europas nicht eine Frage der Kreativität, Intelligenz oder gar des Geldes ist, sondern im wesentlichen auf den unterschiedlichen Forschungsstrukturen beruht.

Auf der einen Seite haben viele Universitäten in Europa immer noch die klassische Einteilung in streng von einander getrennten Fakultäten, die aus verschiedenen Gründen oftmals kaum mit einander zusammenarbeiten, geschweige denn gemeinsame Vorlesungen veranstalten. Solche Strukturen fördern die Multi- und Interdisziplinarität der Materialwissenschaften und insbesondere der Nanoscience sicherlich nicht. Erfreulicherweise haben einige Universitäten diese Schwächen bereits erkannt und sind dabei, unter anderem durch verwaltungs- und bautechnische Maßnahmen die Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen verschiedener Fakultäten zu erleichtern. Die Universität in Lund gehört zu den wenigen Universitäten in Europa, die einen gesonderten Studiengang „Nanotechnologie“ anbietet [4,5]. Der Studiengang ist sehr beliebt, doch ist es noch zu früh, Analysen oder Schlussfolgerungen aus den bisherigen Erfahrungen zu ziehen. In Anbetracht der Breite des Studiengangs ist es eine der Hauptaufgaben der Verantwortlichen zu vermeiden, dass die Studenten „viele über nichts lernen“.

### **3. Universitätsforschung in Europa**

Obgleich die wachsende Anzahl von Universitäten in Europa im Grunde eine positive Entwicklung ist, so hat diese Entwicklung dennoch dazu beigetragen, dass die Anzahl der Forschergruppen, die auf ähnlichen oder nahe gelegenen Gebieten Forschung betreiben, beträchtlich angewachsen ist und somit zu einer sehr bedeutenden Fragmentierung der Nanoscience in Europa geführt hat. Verbunden mit einer nicht im gleichem Maße zunehmenden Finanzierung hat dies zur Folge, dass viele Forschergruppen nicht selten unterkritisch finanziert sind. Diese Gruppen haben kaum eine Chance, auf internationaler Basis mit Kollegen in anderen Teilen der Welt zu konkurrieren. Das bedeutet aber, dass ein wesentlicher Teil der europäischen Forschungsgelder nicht effizient genutzt wird.

Die EU-Kommission hat mehrmals betont, dass „der Rahmen für eine Erhöhung des Forschungsbudgets sehr begrenzt ist“ und hat daher vorgeschlagen, dass die Universitäten durch Verkauf von Dienstleistungen sich selber um Forschungsgelder aus dem privaten Sektor bemühen sollen. Dienstleistungen dieser Art, nicht zuletzt wenn es um eine Zusammenarbeit mit kleineren oder mittleren Betrieben geht, setzen jedoch voraus, dass die betreffenden Forschergruppen in der Lage sind, ihren industriellen Partner Prototypen zur Verfügung zu stellen. Auf manchen Gebieten, wie z.B. der Mikroelektronik, gibt es aber in vielen europäischen Ländern kaum eine Universität, die hierfür die entsprechende moderne Ausrüstung besitzt. Viele Spitzenforscher Europas sind außerdem der Meinung, dass es nicht Hauptaufgabe der Universitätsforschung sein sollte, Prototypen oder gar Produkte für die Industrie zu entwickeln, weil dadurch die Exzellenz und Zielsetzung der Universitäten in Gefahr gerät. Nach ihrer Meinung wird die Exzellenz der Universitäten nicht durch kurzfristige Produktentwicklungsprogramme, sondern eher durch mittel- und langfristige Forschung gefördert. Dennoch sollte man nicht vergessen, dass es in Anbetracht der universitären Freiheit den einzelnen Universitäten und Forschergruppen freisteht zu entscheiden, welche Zielrichtungen man bevorzugt.

Ein weiterer Punkt, der die Wissenschaftler zunehmend beunruhigt, ist die Tatsache, dass Universitätsforscher heute sehr viel mehr Zeit für Förderanträge und Berichte aufwenden müssen als früher. Eine Umfrage unter führenden Universitätsforschern Europas hat ergeben, dass diese oftmals

mehr als 60% ihrer Arbeitszeit für nicht-wissenschaftliche Tätigkeiten aufwenden müssen und nicht selten weniger als 20% ihrer Zeit für die Forschung zur Verfügung haben.

Zersplitterung, unterkritische Förderung und kurzfristige Forschungsprojekte sind nur einige wenige Beispiele, die die Forschungsstruktur vieler europäischer Länder verändert haben. Eine überzeugende Mehrheit von Forschern in Europa ist deshalb der Ansicht, dass – im Gegensatz zu den USA – Europa nicht immer seine Fähigkeiten und Stärken als Ganzes nützt. Man fragt sich deshalb, ob es nicht angebracht wäre, die Spitzenforschung in den verschiedenen Ländern auf europäischer Ebene zu bündeln, um die Stärken Gesamteuropas zum Tragen zu bringen. Diese Einstellung geht von der Überzeugung aus, dass die Forscher in Europa genau so kreativ und engagiert sind wie ihre Kollegen anderswo in der Welt und dass sie sehr wohl in der Lage sind, auf vielen Gebieten global erfolgreich konkurrieren zu können.

#### **4. Hinweise der EU-Kommission und des EU-Parlamentes**

In der Vorbereitung zum 7. FWP haben sowohl die EU-Kommission als auch das europäische Parlament immer wieder unterstrichen, „that it is paramount to overcome one of the key European weaknesses – the ‚European Paradox‘ – in generating splendid scientific knowledge but insufficient ability to convert this knowledge into innovation and commercial products“.

Das EU-Parlament hat dieser Ermahnung noch folgende interessante Bemerkung hinzugefügt: „The participation of the business sector and the commercial exploitation of scientific knowledge and technical skills are important factors in ensuring that the Framework Programme can make a contribution towards the Lisbon agenda and the creation of growth and jobs. However, concrete measures are still missing.“

Um Zersplitterungen und Überlappungen zu vermeiden und eine weiter reichende Integration zu erreichen, hat das EU-Parlament darauf bestanden, dass „die Rolle der NoEs (networks of excellence) erweitert wird“. Obgleich das 7. Rahmenprogramm mehrere Handlungsprogramme anbietet, stellt das EU Parlament dennoch fest, dass „es nicht klar ist, wie diese verschiedenen Programme mit einander kooperieren werden. Außerdem sollte deutlich gemacht werden, wie die Integration dieser Programme auf europäischer, nationaler und regionaler Ebene verwirklicht werden kann“.

Beide Instanzen haben mit diesen Feststellungen die Probleme klar und deutlich zum Ausdruck gebracht. Aber nur wenige Spitzenforscher Europas sind mit den bisherigen Erfolgen und Möglichkeiten wirklich zufrieden. In den USA wird die Meinung über die europäischen Forschungsprogramme oft mit dem Satz zusammengefasst: „Billions spent and nothing to show“. Bezüglich der NoEs wird zu bedenken gegeben, dass keine Kriterien zur Definition von „Exzellenz“ angeboten wurden. Oftmals haben große und nicht kontrollierbare Konsortien Anträge eingereicht, jedoch in vielen Fällen ohne jegliche Teilnahme von industriellen Partnern. Hinzukommt, dass die bewilligten Fördermittel für die einzelnen Partner zu klein waren. Viele Forscher sind daher der Meinung, dass keine wirklichen Forschungsziele vorgegeben wurden und das Ziel der NoEs im wesentlichen darin bestand, die Reisekosten für informelle Treffen zu finanzieren.

#### **5. Vorschläge zum Transfer von neuen Forschungsergebnissen**

Diese kurze Zusammenfassung zeigt bereits, dass man nach anderen Lösungen Ausschau halten sollte, um die Umsetzung von neuen Forschungsergebnissen, die Fachgebiete wie die Nanosci-

ence anbieten, zu ermöglichen oder zu verbessern. Diese Lösungen sollten nicht nur das Ziel haben, eine Brücke zwischen den Universitäten und dem privaten Sektor zu bauen, sondern *gleichzeitig* auch darauf bedacht sein, die Exzellenz der europäischen Universitäten zu verstärken, um so den Abstand zwischen Europa und den USA in Bezug auf die Naturwissenschaften, und hier nicht zuletzt auch in der Nanoscience, zu verringern.

Dies mag vermessen klingen, ist aber im Grunde gar nicht so schwierig, wenn man sich bemühen würde, die vorhandene Forschungsstruktur in Europa so zu verbessern, dass die Forschungsstärke Gesamteuropas optimal ausgenutzt werden kann. Dabei sollte beachtet werden, dass die beiden Ziele, nämlich die Zusammenarbeit zwischen den Universitäten und der Industrie und die Verringerung des Abstandes in den Naturwissenschaften zwischen Europa und den USA, mit einander verknüpft sind und daher nicht getrennt von einander realisiert werden sollten. Selbst wenn Europa die Führungsspitze in der globalen Forschung übernehmen sollte, würde eine solche Entwicklung keine wirtschaftliche und industrielle Auswirkung zur Folge haben, wenn die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht auf den Markt gebracht werden können. Auf der anderen Seite würde sich der Abstand in der Grundlagenforschung im Vergleich zum Rest der Welt sehr bald weiter vergrößern, wenn sich die Hochschulen allein auf die Herstellung von Prototypen beschränken.

Eine Bündelung der Forschungsspitzen auf verschiedenen Gebieten der Wissenschaft in Europa ist an und für sich nichts neues und wird auf regionaler Ebene bereits mit großem Erfolg praktiziert, wenn auch im begrenzten Umfang. Aber auch auf europäischer Ebene gibt es eine Reihe von Beispielen. Man bedenke nur, welche große Bedeutung Institutionen wie CERN nicht nur für die Kern- und Partikelphysik, sondern auch für das Ansehen der europäischen Forschung an sich haben. Warum sollte dies nicht auch auf anderen Gebieten der Wissenschaften möglich sein?

Eingedenk der Tatsache, dass der Aufbau von Institutionen wie CERN in der Nanoscience sehr zeitraubend und kostenintensiv ist, hat das European Materials Forum [6] daher der EU Kommission zu Beginn des Jahres 2006 einen Vorschlag unterbreitet, der es ermöglichen würde, die besten Forschergruppen an europäischen Universitäten auf einem bestimmten Gebiet der Nanoscience mit den am besten hierfür ausgerüsteten Forschungsinstituten Europas zusammenarbeiten zu lassen. Voraussetzung ist allerdings, dass diese Forschungsinstitute bereits eine breite und erprobte Zusammenarbeit nicht nur mit der Universitätsforschung, sondern auch mit der Industrie haben.

Im Gegensatz zu bereits bestehenden europäischen Programmen müssen diese virtuellen Zentren oder Cluster dem Vorschlag entsprechend stark integriert sein und so organisiert werden, als würden alle Partner im gleichen Institut arbeiten. Das Management und die Verwaltung sollte aus Spezialisten bestehen und von einem erfahrenen CEO geleitet werden. Förderanträge werden in diesen Zentren vom Management verfasst und alle verwaltungstechnischen Fragen werden von der Verwaltung bearbeitet, so dass die am Projekt beteiligten Forscher sich ausschließlich auf ihre Forschung konzentrieren können. Wie bereits erwähnt, ist dieser Punkt von besonderer Bedeutung, weil gegenwärtig führende Universitätsforscher in Europa den größeren Teil ihrer Arbeitszeit für nicht-wissenschaftliche Arbeiten reservieren müssen. Es wurde auch vorgeschlagen, dass die beteiligten Forschergruppen nur während der Dauer eines Projektes berechnete Partner eines solchen virtuellen Zentrums sind. Dies würde es den Universitäten leichter machen, Forschergruppen auch administrativ für eine begrenzte Zeit in einer anderen Organisation arbeiten zu lassen. Vor der Auswahl der Partner müssen außerdem klare und eindeutige Kriterien für die Definition von „Exzellenz“, nach denen die Auswahl zu erfolgen hat, erstellt werden.

Diese Vorschläge sind keineswegs so wirklichkeitsfremd, wie es erscheinen mag, denn regional gibt es in Europa bereits sehr erfolgreich arbeitende Forschungscluster, wie z.B. das Institut für Halbleiterphysik in Frankfurt (Oder) [7]. Der Vorteil der vorgeschlagenen Cluster besteht darin, dass die beteiligten Forschungsinstitute die zur Herstellung von Prototypen erforderlichen Ausrüstungen und Expertise besitzen und mit den Forderungen der Industrie, z.B. bezüglich des Einhaltens von Zeitplänen oder der Absicherung von Erfindungen mit Patenten, bestens vertraut sind. Hinzukommt, dass die Schaffung und Pflege von Kontakten mit Industriepartnern an diesen Instituten von Experten mit langjähriger Erfahrung betrieben wird. Erfahrungen dieser Art sind von entscheidender Bedeutung, wenn man bedenkt, dass sich die Zielsetzungen in der Industrie und die Vorgehensweise, wie sie erreicht werden, wesentlich von denen an Universitäten unterscheiden. Diese Punkte sind deswegen zu beachten, weil es in vielen europäischen Ländern, im Gegensatz zu den USA, nur sehr wenige Universitätsforscher mit Industrieerfahrung gibt.

Auf der anderen Seite haben Forschungsinstitute, abgesehen von z.B. Akademien oder Max-Planck-Instituten, oftmals nicht genügend Zeit oder Ressourcen, um langfristige Forschung auf höchstem internationalen Niveau zu betreiben. Für sie ist es deshalb ein Vorteil, wenn sie auf der Basis ihrer Technologie mit den besten Forschergruppen Europas auf Gebieten, die Themen außerhalb ihrer eigenen Kernkompetenz abdecken, zusammenarbeiten können, um so Zugriff zu den neuesten Errungenschaften auf diesen Gebieten zu erhalten. Ohne Zweifel würde die Basis für eine Brückenbildung zwischen der Universitätsforschung und der Industrie dadurch wesentlich zu erweitert werden. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Verknüpfung von Gebieten wie die Nanoelektronik mit der Biophysik oder Biomedizin.

In vielen Gesprächen hat sich gezeigt, dass solche Arbeitsformen von fast allen Universitäten und Politikern in verschiedenen europäischen Ländern, einschließlich der EU-Kommission und der entsprechenden Ministerien in Russland, sehr positiv bewertet werden. Für neue Forschungsgebiete, wie die Nanoscience, scheint es wegen der Inter- und Multidisziplinarität schwierig zu sein, andere Lösungen zu finden. Dies ist vor allem der Fall, wenn es darum geht, auf der einen Seite neue Forschungsergebnisse schnell auf den Markt zu bringen, ohne die Exzellenz und Freiheit der Hochschulen zu beeinträchtigen, und auf der anderen Seite den Abstand in den Naturwissenschaften zwischen Europa und der übrigen Welt zu verringern.

## **6. Schlussbemerkung**

Virtuelle Forschungszentren der Art, wie sie hier beschrieben werden, ermöglichen eine sehr viel wirkungsvollere Integration von Forschung und Ausbildung als andere Netzwerke innerhalb der europäischen Forschungsprogramme wie z.B. die NoEs und IPs. Sie erlauben deshalb eine sehr viel schnellere Überführung von Innovationen in Industrieprodukte. Darüber hinaus würden diese integrierten Netzwerke oder Cluster nicht nur Forschung auf höchstem Niveau betreiben, sondern gleichzeitig auch die Qualität der Universitätsausbildung und die Mobilität der Wissenschaftler wesentlich verbessern. Diese Langzeiteffekte sind daher nicht nur für Gesamteuropa von großer Bedeutung sondern wären auch für jedes Mitgliedsland innerhalb der europäischen Union von Interesse.

## Literatur

- [1] [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/lists/all/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/lists/all/)
- [2] <http://ed.sjtu.edu.cn/rank/2005/ARWU2005Main.htm>
- [3] <http://www.thes.co.uk/worldrankings/>
- [4] K. Deppert and L. Samuelson: „Engineering nanoscience – a new education program to satisfy the future needs of industry“, Facets 3, 7-10 (2004)
- [5] K. Deppert, R. Kullberg and L. Samuelson: „Engineering nanoscience – a curriculum to satisfy future needs of industry“ in „Nanoscale science and engineering education: Issues, trends and future directions“, Editors: A.E. Sweeney and S. Seal, American Scientific Publishers, Stevenson Ranch, CA, 2007, in press
- [6] [http://www.euromaterialsforum.com/Cork\\_Meeting\\_final\\_report.pdf](http://www.euromaterialsforum.com/Cork_Meeting_final_report.pdf)
- [7] <http://www.ihp-ffo.de/>

[23.02.07]

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Hermann Grimmeiss  
Universität of Lund, Solid State Physics  
Box 118  
SE – 22100 Lund/Sweden