



Exzellenz-Schwerpunkt

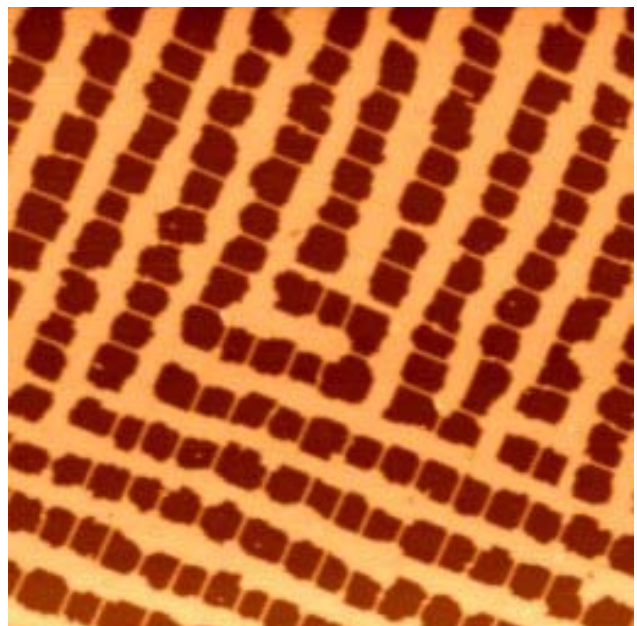
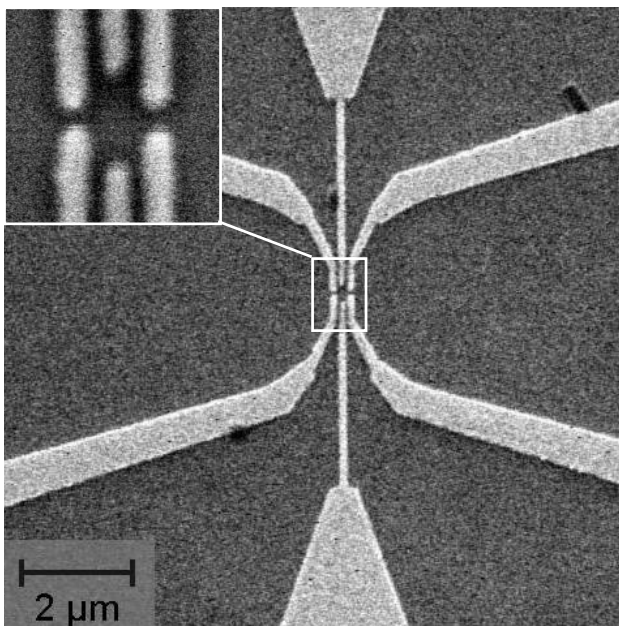
NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY

der

Technisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Johannes Kepler Universität Linz



5x5 nm²

Exzellenz-Schwerpunkt NANOSCIENCE AND -TECHNOLOGY der Technisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Johannes Kepler Universität Linz

1. Bedeutung Nanoscience and -technology international/national

A revolution has begun in science, engineering and technology, based on the ability to organize, characterize, and manipulate matter systematically at the nanoscale.

(aus der Präambel der National-Science-Foundation-Initiative *Nanoscale Science and Engineering*: <http://www.nsf.gov>)

Unter dem Überbegriff *Nanoscience- and -technology* wurden in den letzten Jahren in nahezu allen Industriestaaten große nationale und internationale Programme aufgelegt, die dem Ziel dienen, Materie im Nanometer-Maßstab zu charakterisieren, zu organisieren und zu manipulieren. Ausgehend von einem raschen, interdisziplinären Ausbau der grundlegenden Erkenntnisse auf dem Gebiet der Nanowissenschaften, werden weitreichende Impulse für die industriellen Anwendungen des 21. Jahrhunderts prognostiziert. Diese Erwartungen beruhen auf den z.T. völlig neuartigen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften von Systemen, deren kritische Dimensionen im Bereich zwischen einzelnen Atomen und Molekülen und etwa 100 nm liegen.

Zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze führen in den Dimensionsbereich der Nanostrukturen: Der Top-Down- und der Bottom-Up-Ansatz:

Der Top-Down-Ansatz entspricht einem systematischen Herunterskalieren kritischer Dimensionen und wird wohl am eindrucksvollsten durch die Entwicklung der Halbleiterindustrie demonstriert: Dort ist es über einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren gelungen, die Zahl der aktiven Bauelemente auf einem Chip alle eineinhalb Jahre zu verdoppeln ("Moorsches Gesetz") und dabei in den letzten zwei Jahren die kritischen Dimensionen in den sub-100-nm-Bereich zu reduzieren. So haben die Transistoren in den aktuellen Pentium-Prozessoren physikalische Gate-Längen von nur noch 65 nm und das bei ausschließlicher Einsatz optischer Lithographie.

Ganz anders der Bottom-Up-Ansatz, bei dem Nanostrukturen aus den elementaren Einheiten der Materie, den Atomen und Molekülen, zusammengesetzt werden. Meist nutzt man dazu Mechanismen der Selbstorganisation, die aus dem Bereich der Biologie und Biophysik hinlänglich bekannt sind, wie etwa die DNA-Replikation. Aber

auch in vielen anderen Bereichen, z.B. an den Oberflächen anorganischer Kristalle oder beim epitaktischen Kristallwachstum verspannter Materialsysteme, treten derartige Selbstorganisations-Phänomene auf.

Beide Ansätze erlauben es, makroskopische Systeme herzustellen, deren Eigenschaften durch ihre Bestandteile mit kritischen Abmessungen im nm-Bereich bestimmt werden. Daß dadurch völlig neue physikalische Eigenschaften entstehen können, läßt sich an zahlreichen Beispielen belegen. So ändern sich etwa die bekannten mechanischen Eigenschaften von metallischen Gefügen sprunghaft, wenn die Korngrößen kleiner werden als der kritische Radius für die Versetzungsnukleation. Da sich keine Versetzungen mehr bilden können, kann das Material sich nicht mehr plastisch verformen, d.h. es wird spröde. Oder: In nanostrukturierten Halbleiterbauelementen beginnen quantenmechanische Effekte zu dominieren, wie z.B. Tunnelströme oder die Leitfähigkeitsquantisierung. Derartige Effekte limitieren zwar die weitere Skalierung herkömmlicher Bauelementtypen zu immer kleineren Dimensionen, bringen aber gleichzeitig völlig neue Funktionalitäten mit sich, die sich möglicherweise in künftigen Technologiegenerationen nutzen lassen, z.B. im vielzitierten Quanten-Computer. Als drittes Beispiel seien die optischen Eigenschaften von Nanopartikeln angeführt: Sind diese kleiner als die Lichtwellenlänge, so können Sie Licht nicht mehr wirkungsvoll reflektieren. Auf dieser Basis lassen sich etwa Glasfenster mit Hartstoffschichten oder Katalysatoren beschichten, ohne dadurch ihre Transparenz zu verlieren.

Aber auch für die Verfahrenstechnik sind bereits heute und werden in den kommenden Jahrzehnten Meso- und Mikrostrukturen zur Intensivierung oder zur Ermöglichung hochspezifischer technischer Prozesse insbesondere im Life Science Bereich eine dominierende Stellung einnehmen. In verfahrenstechnischen Prozessen laufen die erforderlichen Stoff- und Energietransporte grundsätzlich über Grenzflächen ab. Die konventionelle Verfahrenstechnik charakterisiert und modelliert diese in molekularen Schichten im Bereich von 1 bis 100 nm stattfindenden Vorgänge. Die Nanoverfahrenstechnik als neues Wissensgebiet beschäftigt sich mit Stofftransportprozessen in gezielt strukturierten und funktionalisierten Schichten und Oberflächen, wie beispielsweise mit neuen Trennschichten, die als Nanopartikelbeschichtung quasi als pre-coating – Schicht auf einer makroskopischen Struktur aufgebaut werden. Diese Nanopartikel können in dieser Weise wieder mit funktionellen chemischen Gruppen dotiert werden, um einen speziellen aktiven Stofftransport oder Separationsprozess zu erreichen. Damit werden neuartige verfahrenstechnische Oberflächen oder Mesostrukturen - Functional Structures, wie z. B. funktionelle Membranen - für analytische, diagnostische, sensorische, katalytische, separierende Prozesse für zukünftige technische Anwendungen durch gezielte Forschung eröffnet, die wir heute nur erahnen können.

Diese wenigen Beispiele zeigen, daß sich im nm-Maßstab unzählige neue Phänomene ergeben, die zunächst einmal grundlegend verstanden werden müssen, dann aber neuen und oft überraschenden Anwendungen verfügbar gemacht werden können. Ebenfalls offenkundig ist, daß sich die neuartigen Eigenschaften und Phänomene in der Regel nicht mehr traditionellen Wissenschaftsgebieten zuordnen lassen: Im nm-Bereich werden die Grenzen zwischen Physik, Chemie und Biologie fließend. Für die Untersuchung und Anwendung von Nanostrukturen ist deshalb zuallererst Interdisziplinarität gefragt. Ohne Zweifel wird das auch gewaltige Anstrengungen bei der Ausbildung künftiger Forscher- und Ingenieursgenerationen erfordern, gilt es doch, die noch weitgehend starre Trennung zwischen den Fachbereichen zu überwinden und neue, interdisziplinäre Studiengänge zu schaffen.

In den US wurde bereits früh erkannt, daß der Bereich *Nanoscience and -technology* eine wesentliche Schrittmacherrolle für die Industrie des 21. Jahrhunderts spielen wird. So steht etwa in der Präambel des Nanoscience-Programms der National Science Foundation (NSF) zu lesen:

Far-reaching outcomes for the 21st century are envisioned in both scientific knowledge and a wide range of technologies in most industries, healthcare, conservation of materials and energy, biology, environment and education.

Dieser langfristigen strategischen Einschätzung wurde mit einem entsprechend großzügigen Budget Rechnung getragen: So wurden 2002 von den staatlichen Förderinstitutionen der USA insgesamt 792 Mio. US\$ in den Bereich *Nanoscience and -technology* investiert, und für das Budget 2004 ist ein weiterer Zuwachs von fast 10% vorgesehen [Quelle: www.nsf.gov].

Ähnlich ist die Situation in Deutschland, den skandinavischen Ländern und der Schweiz, wo jeweils große nationale Förderprogramme aufgelegt wurden. So wurden beispielsweise in Deutschland sechs nationale Zentren für *Nanoscience and -technology* eingerichtet. Zusätzlich wurden an zahlreichen Universitäten eigene interdisziplinäre Nano-Netze mit teilweise eigenen Studiengängen organisiert, etwa an der LMU in München und an der Universität Würzburg.

Die EU als übergeordnete Institution hat diese langfristige internationale Tendenz aufgegriffen und in der Ausschreibung zum 6. Rahmenprogramm *Nanoscience and -technology* als eigenen Schwerpunkt ausgewiesen. Entsprechend wurde ein mit 400 Mio. € dotierter Call im Dezember 2002 erlassen, mit dem die europaweite Zusammenarbeit auf dem Gebiet von *Nanoscience and -technology* massiv gefördert werden soll.

In Österreich wurde im Dezember 2001 vom *Rat für Forschungs- und Technologieentwicklung* eine Nano-Initiative gestartet, die auf großen Anklang in der universitären und industriellen Forschung gestoßen ist. Allerdings haben sich bei der Umsetzung inzwischen erhebliche Verzögerungen ergeben, die teilweise politisch bzw. administrativ bedingt sind. Immerhin gibt es seit kurzem einen konkreten Zeitplan, nach dem im 4. Quartal 2003 unter Federführung der ASA die Ausschreibung für das Nano-Programm erfolgen soll. Vorgesehen sind dafür Mittel in Höhe von 60 - 100 Mio. € in den nächsten drei Jahren. Eine Anschubfinanzierung von 5 Mio. € wurde im Mai 2003 vom bm:vit freigegeben.

Im Umfeld der Nano-Initiative des *Rates für Wissenschafts- und Technologieentwicklung* wurden mehrere nationale Netze auf diesem Gebiet gegründet. So hat sich beispielsweise das *Styria Nano-Net* kurzfristig als Zusammenschluß von Universitätsinstituten, Landesforschungsanstalten und Industriebetrieben etabliert. Eine andere Initiative ist die *MNFA* (Mikro/Nano Fabrication Austria), eine Kooperation der Firma IMS in Wien mit zahlreichen führenden österreichischer Hochschulinstitute und Forschungseinrichtungen. Weitere Aktivitäten sind auf Länderebene geplant oder wurden bereits im Vorfeld eingerichtet, wie zum Beispiel das Bio-Nanozentrum in Linz, das aus einer Kooperation zwischen der Universität Linz und der Upper-Austrian Research (UAR) des Landes Oberösterreich hervorgegangen ist.

Eine wesentliche Rolle innerhalb der nationalen Nanoscience-Netze kommt der Technisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät (TNF) der Johannes Kepler Universität (JKU) Linz zu: Hier wurde bereits in den frühen neunziger Jahren mit dem Aufbau eines Nanoscience-Netzwerkes begonnen, das zunächst vom Fachbereich Physik ausging, in den letzten Jahren aber zunehmend Institute aus den Bereichen Chemie

und Mechatronik einbezogen hat. Dadurch ist über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren ein Netzwerk gewachsen, das international anerkannte Expertise auf nahezu allen Gebieten der Nanowissenschaften an einem Ort vereint. Damit besteht aktuell eine in jeder Hinsicht konkurrenzfähige Basis für den *Exzellenz-Schwerpunkt Nanoscience and -technology* der TNF, der in den nächsten Jahren zu einem österreichweit führenden Zentrum in Forschung und Lehre ausgebaut werden soll.

Im folgenden Strategiepapier soll der Ist-Zustand, der kurz- und mittelfristige Ausbau in Forschung und Lehre und die strategische Ausrichtung des *Exzellenz-Schwerpunkts Nanoscience and -technology* der TNF in Linz dargelegt werden

2. Status der Nanowissenschaften in Linz

2.1 Nanokonzept des Fachbereichs Physik 1990

Anfang der neunziger Jahre hat der Fachbereich Physik ein Konzeptpapier entwickelt, in dem die strategische Bedeutung der Nanowissenschaften für den Fachbereich und dessen längerfristige Entwicklung festgeschrieben wurde. Mit der beschränkten Zahl von damals acht Professoren im Fachbereich Physik war klar, daß es auch längerfristig nicht möglich sein wird, alle Bereiche der Physik gleichermaßen abzudecken. Auf der anderen Seite wurde von den Verfassern der damaligen Studie erkannt, daß eine Fokussierung des Fachbereichs auf einen aktuellen Themenbereich mit langfristigen Perspektiven für die weitere Entwicklung der Physik in Linz, und damit auch der TNF, große Vorteile bringen würde. Aufgrund der damals in Linz vertretenen Gebiete der Physik wurde rasch klar, daß der sich gerade erst abzeichnende Themenkomplex *Nanoscience and -technology* nicht nur das notwendige Zukunftspotential aufweist sondern auch mit den meisten der bereits in Linz bearbeiteten Forschungsgebiete kompatibel war.

Bereits damals war die vorhandene Palette von Themengebieten und Untersuchungsmethoden mit Bezug auf die gerade erst aufkeimenden Nanowissenschaften beachtlich: So wurden an den Instituten für Halbleiter- und Festkörperphysik Halbleiterhetero- und -nanostrukturen hergestellt, strukturiert und charakterisiert, wobei sowohl der Top-Down- als auch der Bottom-Up-Approach verfolgt wurde. Am Institut für Angewandte Physik wurden Strukturierungsmethoden mit Lasern untersucht, mit denen beispielsweise nm dicke Filme komplexer organischer Strukturen intakt abgeschieden werden. In der Biophysik wurden mit mehreren fortgeschrittenen Analysemethoden der Physik Funktionsgruppen auf lebenden Zellen untersucht und somit experimenteller Zugang zu den biologischen Bottom-Up-Systemen gesucht. In der Atom- und Kernphysik wurden bereits damals oberflächenphysikalische Meßmethoden verwendet, und im Bereich Theoretische Physik gab es mehrere Anknüpfungspunkte und Kooperation zu den wissenschaftlichen Themen der experimentellen Gruppen.

Entsprechend der vorhandenen Themenvielfalt auf dem Gebiet der Nanowissenschaften waren schnell gemeinsame Interessensbereiche, Kooperationsmöglichkeiten und Synergien ausgemacht, und es wurden Strategien erarbeitet, wie man durch Neubesetzungen freierwerdender Lehrstühle und gemeinsame Infrastrukturmaßnahmen zu einer engeren Vernetzung und Schwerpunktbildung im Fachbereich Physik kommen kann.

Bei der Anfang der neunziger Jahre erfolgten Evaluierung des Fachbereichs Physik wurde das Nano-Konzeptpapier sehr positiv beurteilt. Es diente in den Folgejahren als Richtlinie für mehrere Nach- und Neubesetzungen und wurde auch bezüglich der erstellten Infrastrukturpläne in zahlreichen Punkten nach und nach umgesetzt. Daneben erfolgten aber auch in anderen Fachbereichen eine Weichenstellungen in Richtung *Nanoscience and -technology*, die im Verlauf der neunziger Jahre zur Ansammlung der jetzt in Linz vorhandenen Expertise auf diesem Gebiet geführt hat.

2.2. Kernkompetenzen

Folgende Kompetenzen hinsichtlich *Nanoscience and -technology* sind derzeit an der TNF der Johannes Kepler Universität vorhanden:

Angewandte Physik

Die Grundlagenforschung und angewandte Forschung an der Abteilung für Angewandte Physik beschäftigt (D.Bäuerle) sich u.a. mit der Laser – Material Wechselwirkung und verschiedenen Gebieten der Festkörperphysik und der Physik der weichen Materie (Kennworte: Laserablation, Gepulste Laserabscheidung von dünnen Filmen, Laser-induzierte chemische Prozesse, Laserwechselwirkung mit Polymeren, Keramiken, Spektroskopie, Modellierung der Laser-Material Wechselwirkung). Viele dieser Aktivitäten finden in enger Kooperation mit Industrieunternehmen statt. Kernkompetenzen der Abteilung im Bereich Nanoscience and –technology enthalten (1) Herstellung und Charakterisierung von nanokompositen Filmen, (2) Mikro- und Nanostrukturierung von hochtemperatur-supraleitenden Filmen, (3) nahfeldoptische Laser-Material-Bearbeitung, (4) „Laser Cleaning“ von Nanopartikeln von Oberflächen, (5) Laser-Nano-Materialbearbeitung mit selbstordnenden Mikrokugeln, (6) UV-Bestrahlung und Modifikation von Polymeren für biologische Anwendungen (inkl. Zelladhäsion).

Atom- und Oberflächenphysik

Die vormalige Abteilung für Atom- und Kernphysik wurde mit dem Oberflächenphysiker P. Zeppenfeld nachbesetzt und in Abteilung für Atom- und Oberflächenphysik umbenannt. Die Ausschreibung für diese Stelle wurde dezidiert mit dem Nano-Konzept des Fachbereichs Physik verknüpft, d.h., die Stelle wurde explizit für die Stärkung der *Nanoscience-and-technology*-Aktivitäten des Fachbereichs ausgeschrieben. Wesentliches Ziel dieser Nachbesetzung war es, die experimentellen Aktivitäten des Fachbereichs um die nach wie vor hochaktuellen Rastersondentechniken zur atomar aufgelösten Oberflächenanalyse zu erweitern und eine moderne Oberflächenphysik in Linz zu etablieren.

Biophysik

Am *Institut für Biophysik* (derzeit kommissarisch: C.Romanin) werden drei hochsensitive Einzelmolekültechniken zur Untersuchung biologischer Systeme verwendet (Fluoreszenzmikroskopie, AFM und Patch-Clamp), im besonderen von lebenden Zellen. Dieses Institut nimmt mit den beiden am Institut entwickelten Einzelmolekülmikroskopie-Techniken SDT (Single Dye Tracing) und MRFM (Molecular Recognition Force Microscopy) national und international eine Spitzenposition ein. Daraus resultierte 1998 die Errichtung eines mit dem Institut assoziierten Zentrums, das jetzt „Schindler Memorial Zentrum für Einzelmolekülmikroskopie“ heißt. Dieses Zentrum wurde im Rahmen von drei Forschungsaufträgen des Bundesministeriums am Institut für Biophysik gegründet, um das Potential der entwickelten Einzelmolekülmikroskopie Techniken für die österreichischen Biowissenschaften, medizinischen Wissenschaften und für die industrielle Forschung und Entwicklung nutzbar zu machen.

In Erweiterung dieser bio-technologischen Entwicklungen wurde ausgehend vom Institut für Biophysik das Zentrum für Biomedizinische Nanotechnologie im Jahre 2002 errichtet, welches im Rahmen der Upper Austrian Research mit einer 3-Jahres Förderung vom Land OÖ etabliert wurde.

Des weiteren wird vom Institut für Biophysik der international hochkarätig besetzte Linz-Winterworkshop über Einzelmolekültechniken ins Leben veranstaltet, welcher bisher viermal (seit 1999) abgehalten wurde.

Halbleiter- und Festkörperphysik

Das Institut für Halbleiter- und Festkörperphysik (W.Jantsch) ist auf nahezu allen Gebieten der Herstellung, Charakterisierung und Bauelementprozessierung von Halbleiterhetero- und -nanostrukturen tätig. Dafür steht ein umfangreich ausgestatteter Reinraum und eine breite Palette von Methoden der Nano-Analytik zur Verfügung. Mitte der neunziger Jahre erfolgte eine Neubesetzung (F. Schäffler) mit der die Thematik Silizium-basierender Halbleiterhetero- und -nanostrukturen weiter ausgebaut wurde. Die Besetzung der Stelle mit einem Industriephysiker hatten das Ziel, die anwendungsorientierten Aspekte der Linzer Halbleiterforschung zu stärken.

Physik Weicher Materie

Aus einer Neubesetzung in der Angewandten Physik (S. Bauer) ist inzwischen die Abteilung *Physik der Weichen Materie* hervorgegangen, die sich hauptsächlich mit den elektronischen und elektro-mechanischen Eigenschaften von Polymeren unter anderem für Sensorikanwendungen befaßt. Durch diese moderne Thematik ergeben sich vielfältige Anknüpfungspunkte vor allem zur Biophysik, zur Halbleiterphysik und zur Physikalischen Chemie. Die Berufung ist somit in jeder Hinsicht kompatibel mit dem Nano-Konzept des Fachbereichs Physik.

Theoretische Physik

Aufgabe der Theoretischen Physik ist es, das Verhalten der Materie auf Grund fundamentaler Naturgesetze zu erklären. Die heutige Situation ist in dem Sinne einmalig, daß zum ersten Mal Systeme mit vielen Freiheitsgraden auf Nano-Skalen experimentell und technologisch zugänglich und interessant geworden sind, welche mit modernen theoretischen Methoden auch quantitativ behandelbar sind. Die Gruppe von Prof. Krotscheck konzentriert sich einerseits auf Methoden zur Beschreibung von realistischen Systemen auf Nano-Skalen, gehört andererseits zur Weltspitze in der Aufgabe, gängige Techniken (insbesondere die Dichtefunktionaltheorie) zu hinterfragen und zu verbessern. In diesem Sinne fühlt sich die Gruppe "Many-Particle/Computational Physics" sowohl dem Schwerpunkt Nanoscience and -technology als auch Computational Science and Engineering zugeordnet.

Chemische Technologie Anorganischer Stoffe

Das Institut für *Chemische Technologie Anorganischer Stoffe* (G.Gritzner) hat drei wesentliche Arbeitsschwerpunkte: (i) Hochtemperatursupraleiter, (ii) Funktionskeramiken und (iii) Elektro- und Lösungchemie. Auf dem Gebiet der Hochtemperatursupraleiter besteht langjährige Expertise in der Herstellung nanokristalliner Volumen-, Band- und Draht-Proben für technische Anwendung. Der derzeitige Schwerpunkt bei den Funktionskeramiken liegt bei der Herstellung und Charakterisierung von Ferroelektrika. Das Institut ist mit umfangreicher Analytik ausgerüstet und erwirbt derzeit aus Mitteln des Mikro/Nanotechnologie Investitionsprojektes der Fakultät ein Gerät zur Größenbestimmung von chemisch synthetisierten Nanopartikeln, deren Größe

und Größenverteilung maßgeblichen Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften von Funktionskeramiken haben.

Physikalische Chemie

Eine weitere Weichenstellung wurde unabhängig von der Entwicklung in der Physik im Fachbereich Chemie vorgenommen. Durch die Berufung von S. Sariciftci wurde die bereits in Linz etablierte Polymerforschung um die hochaktuelle Forschungsrichtung halbleitender Polymere für elektronische Bauelementanwendungen erweitert. Insbesondere im Bereich der Plastik-Solarzellen wurde hier auch internationales Neuland betreten. Die Anknüpfung an das Gebiet *Nanoscience and -technology* ist hier besonders offenkundig, werden doch anorganische Nanokristalle in eine Polymermatrix eingebettet, um den Ladungstransfer in der Polymer-Solarzelle auszulösen.

Verfahrenstechnik

Das Institut für Verfahrenstechnik (W. Samhaber) hat sich nach seiner Gründung 1997 auf zwei Forschungsschwerpunkte ausgerichtet. Der eine betrifft die Technologie nicht-poröser Membranen, der zweite die verfahrenstechnische Anwendung atmosphärischer nicht-thermischer Plasmen. Der Schwerpunkt der nicht-porösen Trennschichten betrifft die Nanofiltrationstrennmembranen, deren Charakterisierungen, Modellierung und technische Anwendungen am Institut erforscht werden. Durch die gezielten Charakterisierung und Herstellung von mesostrukturierten und funktionalisierten Trennschichten wird dies Technik zum Forschungsgebiet der Nanoverfahrenstechnik. Der Schwerpunkt der kalten Hochdruckplasmen betrifft die Modifikation und Funktionalisierung von verfahrenstechnischen Oberflächen und die chemischen Reaktionen im kalten Plasma. Auch hier ist in der Folge die Zielrichtung darin zu sehen, das Potential der chemischen Aktivierungen von dispersen Phasen oder makroskopischen Oberflächen im Plasma selbst oder im remote Prozess zur Herstellung von neuartigen Trennmedien zu erforschen. Die Charakterisierung und anwendungsorientierte Untersuchungen ist hier wieder das klassische Aufgabengebiet der Verfahrenstechnik, die Untersuchungen der neu geschaffenen Oberflächen sind in enger Kooperation mit Instituten der Physik durchzuführen.

Institut für Elektrische Meßtechnik

Das Institut für Elektrische Meßtechnik (B.Zagar) aus dem Fachbereich Mechatronik befaßt sich mit digitaler Bild- und Signalverarbeitung sowie mit optischer Laser-Meßtechnik. Das Institut kooperiert eng mit dem Institut für Biophysik im GEN-AU-Projekt. Das Institut für Elektrische Meßtechnik ist in diesem Projekt für die Bild- und Signalverarbeitung der beiden in der Biophysik entwickelten Meßverfahren SDT (Single Dye Tracing) und MRFM (Molecular Recognition Force Microscopy) zuständig. Die apparative Weiterentwicklung dieser Verfahren, wie sie in dieser Kooperation betrieben wird, ist von besonderem Interesse für die geplante Vermarktung dieser Bio-Nanoanalytik-Methoden.

Nachrichten/Informationstechnik

Im Fachbereich Mechatronik wurde der Lehrstuhl für Nachrichtentechnik/Informationstechnik (R.Weigel, derzeit im Stand der Nachbesetzung) eingerichtet. Seit seinem Bestehen hat das Institut vielfältige Aktivitäten in Richtung Schaltungsentwurf und Chipdesign von Hochfrequenz-ICs auch unter Einbeziehung hochaktueller Si-basierenden Heterostrukturbauelemente entwickelt. Die Gründung des Designhauses *DICE* in Linz ist aus einer Kooperation zwischen den Instituten für *Nachrichten/Informationstechnik* und für *Komplexe Digitalschaltungen* (Fachbereich Informatik) und der Firma Infineon hervorgegangen.

2.3 Vorhandene Infrastruktur

Nanoscience and -technology ist derzeit noch relativ stark von der Grundlagenforschung geprägt. Dafür, aber auch für die zügige Umsetzung der Erkenntnisse in entsprechende Technologien und Prototypen und nicht zuletzt für die interdisziplinäre Ausbildung künftiger Wissenschaftler und Ingenieure auf diesem Zukunftsgebiet ist eine umfangreiche Infrastruktur in den Bereichen Materialherstellung, Nanostrukturierung und insbesondere Analytik notwendig. Durch das langjährig gewachsene Nano-Netzwerk in Linz wurden im letzten Jahrzehnt auch nach und nach wesentliche Infrastrukturmaßnahmen getätigt, die für ein international erfolgreiches Agieren auf diesem Gebiet notwendige Voraussetzung sind. Im folgenden soll kurz der derzeitige Stand der Infrastruktur bezüglich *Nanoscience and -technology* an der TNF dargestellt werden.

Technische Service Einrichtung (TSE) der TNF-Fakultät

Die *Technische Service-Einrichtung (TSE)* der TNF ist seit Ende der neunziger Jahre als zentrale Einrichtung direkt dem Senat der Johannes Kepler Universität unterstellt. Ihr Zweck ist die Beschaffung, der Unterhalt und z.T. der Betrieb mit eigenem Personal von gemeinsam genutzten Großgeräten und Service-Einrichtungen.

Ein großer Teil des in der TSE vorhandenen Gerätepools ist für die Analytik von Nanostrukturen nutzbar. Beispiele umfassen Elektronen- und Kernspinresonanz-Apparaturen, Raster-Elektronenmikroskope, den einzigen universitären Ionenimplanter in Österreich, Röntgendiffraktometer usw. Daneben ist auch die Anlage für die He-Verflüssigung und -Rückgewinnung in der TSE angesiedelt, die als zentrale Einrichtung von viele Instituten der Physik und Chemie genutzt wird.

Ende der neunziger Jahre wurde im Rahmen des Investitionsprojektes Mikro- und Nanotechnologie der TNF ein Transmissions-Elektronenmikroskop (TEM) beschafft und mit zusätzlichen Mitteln des Landes und aus den Universitäts- und Forschungs-sondermitteln des Jahres 2001 (sogenannte Universitäts- bzw. Forschungsmilliarde) ausgebaut und in die TSE eingegliedert. Mit dem bereits vorhandenen Rasterelektronenmikroskop mit Mikrosonde steht damit an der TSE eine vollständig eingerichtetes Elektronenmikroskopielabor zur Verfügung. Entsprechend vielfältig ist auch der Kundenkreis, der nicht nur die TNF-Institute sondern auch Kooperation mit österreichischen Firmen umfaßt.

Reinräume

Anfang der neunziger Jahre wurde das Institut für Halbleiterphysik in Linz geschaffen und als wesentliche Infrastrukturmaßnahme mit einem ca. 200 m² großen Reinraum ausgestattet. Neben dem später dazugekommenen Reinraum der Festkörperelektronik an der TU Wien ist dies der einzige voll ausgestattete Reinraum an einer österreichischen Universität. Der Reinraum des Instituts für Halbleiterphysik enthält alle Einrichtungen zur Abscheidung von Halbleiterheterostrukturen (Molekularstrahlepitaxieanlagen für Gruppe-IV-, IV-VI- und II-V-Halbleiterheterostrukturen), zur Strukturierung im Nanometer-Maßstab (optische und Elektronenstrahlolithographie, Reaktives Ionenätzen) und zur Herstellung von Prototyp-Bauelementen (Metallisierung, Abscheidung von Dielektrika, Rapid-Thermal-Annealing, Bonder). Darüber hinaus sind On-Wafer-Meßeinrichtungen (Parameter-Analyzer, L-R-C-Brücke) vorhanden, mit denen die Bauelemente nach jedem Prozeßschritt elektrisch charakterisiert werden können.

Neben dem Reinraum der Halbleiterphysik gibt es auch noch einen kleineren Reinraum am Institut für Mikroelektronik des Fachbereichs Mechatronik, der ebenfalls über Abscheide- und Strukturierungseinrichtungen für die Herstellung von Hochfrequenzbauelementen auf der Basis von III-V-Halbleitern verfügt.

Den Reinräumen an der Johannes Kepler Universität kommt österreichweit eine Schlüsselstellung in Forschung und Lehre zu.

Laserlabor

Laserbearbeitungsverfahren haben sich in den letzten 30 Jahren in vielen Bereichen der Industrie und Medizin einen festen Platz erobert. Durch Reduzierung der verwendeten Wellenlängen und durch den Einsatz laserinduzierter chemischer und chemo-thermischer Effekte lassen sich so heute auch Strukturen mit lateralen Dimensionen von ca. 100 nm herstellen. Daneben lassen sich durch Laserablation dünne Schichten mit speziellen Eigenschaften abscheiden, in die dann z.B. Nanopartikel eingebettet werden können. Die Voraussetzung für derartige Forschungsaktivitäten wurde in Linz durch die Einrichtung eines Laserlabors mit kurzwelligen, gepulsten Exzimerlasern in den neunziger Jahren geschaffen.

Investitionsprojekt *Mikro- und Nanotechnologie* der TNF

Ende der neunziger Jahre wurde in der TNF-Fakultät das Investitionsprojekt *Mikro- und Nanotechnologie* nach UOG 93 geschaffen. Von einem Konsortium aus mehreren Instituten aus den Fachbereichen Physik, Chemie und Mechatronik wurde ein Dreijahresprogramm entwickelt, das neben der Stärkung der Infrastruktur auch einen Post-Doc-Pool zur verstärkten Aktivierung interdisziplinärer Forschung auf dem Gebiet der Mikro- und Nanotechnologien vorsah.

Das Projekt wurde zwischenzeitlich zumindest teilweise hinsichtlich seines Investitionsanteils umgesetzt. Mit Mitteln des Forschungsministeriums, des Landes Oberösterreich und aus Mitteln der Forschungs- und Universitätsmilliarden wurde das in der TSE angesiedelte Transmissions-Elektronenmikroskopielabor (siehe oben unter TSE) und die zugehörigen Präparationseinrichtungen realisiert. Daneben wurden weitere Geräte der Nanoanalytik beschafft, die jeweils Kooperationsvorhaben von wenigsten zwei Instituten zugute kommen. Insgesamt wurden im Rahmen dieses

Projektes mehr als 1.2 Mio. € direkt in den Ausbau der *Nanoscience and -technology*-Infrastruktur investiert.

Nanoanalytik

Bei der Einwerbung von Mitteln aus der vom Bund 2001 ausgeschriebenen, sogenannten Universitätsmilliarde war die TNF-Fakultät österreichweit besonders erfolgreich. Ein beträchtlicher Teil der nach Linz vergebenen Mittel kam dabei der Nanoanalytik zugute. So wurden Mittel in Höhe von etwa 1.5 Mio. € für die Laborerneuerung und den Ausbau der Nanotechnologie im Bereich der Halbleiter- und Festkörperphysik investiert, ca. 0.4 Mio. € flossen in das o.a. Investitionsprojekt Mikro- und Nanotechnologie, und ein ähnlicher Betrag wurde in der Oberflächenphysik für das erste PEEM-System (Photoemissions-Elektronenmikroskopie) in Österreich und eine Niederenergie-Ionenstreuapparatur (LEIS) investiert.

Mit diesen Mitteln wurde gezielt die Nanoanalytik ausgebaut, die bereits zuvor eine in Österreich herausragende Stellung besaß. So befinden sich zahlreiche Analytikeinrichtungen über die hier aufgeführten, gemeinsam nutzbaren Geräte hinaus an den einzelnen Instituten und Abteilungen. Dazu gehören sicher die Rastersondenmikroskope, die inzwischen mehrfach in z.T. spezialisierten Ausführungen in den Bereichen Angewandte Physik, Atom- und Oberflächenphysik, Biophysik, und Halbleiterphysik vorhanden sind. Andere Analytikmethoden betreffen die optischen Eigenschaften von Nanosystemen, die mit verschiedenen hochauflösenden Spektrometern an mehreren Instituten untersucht werden oder die elektronischen Eigenschaften, die z.B. durch Transportuntersuchungen bei tiefen Temperaturen und bei hohen Magnetfeldern vermessen werden können.

CD-Laboratorien

Im Bereich *Nanoscience and -technology* wurden in den vergangenen Jahren zwei Laboratorien der Christian-Doppler-Gesellschaft eingerichtet (CD-Labors), die wegen ihrer obligatorischen Industriebeteiligung für besondere Anwendungsnähe stehen.

(i) CD-Labor "Organische Solarzellen" in der Physikalischen Chemie

Das CD-Labor *Organische Solarzellen* wird vom Institut für Physikalische Chemie (Prof. Sariciftci) und der Firma Konarka Austria betrieben. Es befaßt sich mit der Verwendung von Polymerfilmen für die Herstellung großflächiger, preisgünstiger Plastik-Solarzellen. In das Projekt fließen vielfältige Erkenntnisse der Nanowissenschaften ein. So werden die Solarzellen mit Nanopartikeln als wesentliche Funktionsgruppen des schnellen Ladungstransfers dotiert. Der Synthese derartiger Nanopartikel, beispielsweise aus InCuSe_2 , kommt daher eine wesentliche Bedeutung zu.

(ii) CD-Labor "Oberflächenoptische Methoden" in der Festkörperphysik

Das CD-Labor *Oberflächenoptische Methoden* wird vom Institut für Festkörperphysik (Doz. Hingerl) und der Firma Photeon aus Vorarlberg betrieben. Es befaßt sich mit der Simulation und Demonstration sogenannter Photonischer Kristalle. Das sind periodische Modulationen der optischen Eigenschaften eines Festkörpers oder Polymers, die zu neuartigen optischen Eigenschaften führen. Ähnlich wie in einem herkömmlichen Kristall entstehen Energie- bzw. Wellenlängenbereiche, in denen sich das Licht nicht ausbreiten kann. Aus Photonischen Kristallen lassen sich so beispielsweise Lichtwellenleiter, energiedispersive Strahlteiler und ähnliche Komponenten

ten auf kleinstem Raum realisieren, wie sie beispielsweise für integrierte Optik auf einem Halbleiterchip oder für optische Multiplexer benötigt werden. Die dazu nötigen Strukturgrößen liegen im Bereich einiger 100 nm, wobei aber hohe Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Strukturbreiten und an die Positioniergenauigkeit gestellt werden. Für die Herstellung der Prototypen werden daher die am Institut für Halbleiter- und Festkörperphysik vorhandenen Elektronenstrahlolithographie und andere Reinraumeinrichtungen eingesetzt.

2.4 Vernetzung

2.4.1 Innerhalb der TNF in Linz

Die in der TNF der Johannes Kepler Universität mit *Nanoscience and -technology* befaßten Institute sind auf vier Fachbereiche verteilt und in vielfältiger Weise miteinander vernetzt. Dabei ist der gegenwärtige Grad der Vernetzung höchst unterschiedlich und reicht von der gemeinsamen Nutzung von Geräten der beteiligten Institute bzw. der TSE über gemeinsame bi- und multilaterale Forschungsvorhaben bis zu existierenden oder im Entstehen begriffenen Sonderforschungsbereichen oder Forschungsclustern bei einer der nationalen oder internationalen Fördereinrichtung wie z.B. dem FWF oder der EU.

In der vereinfachten Graphik von Abb. 1 läßt sich die Vernetzung wie folgt darstellen: Die o.a. Infrastruktureinrichtungen sind teilweise an den Einzelinstituten, teilweise in der zentralen TSE und teilweise extern angesiedelt. So ist etwa der Reinraum in der

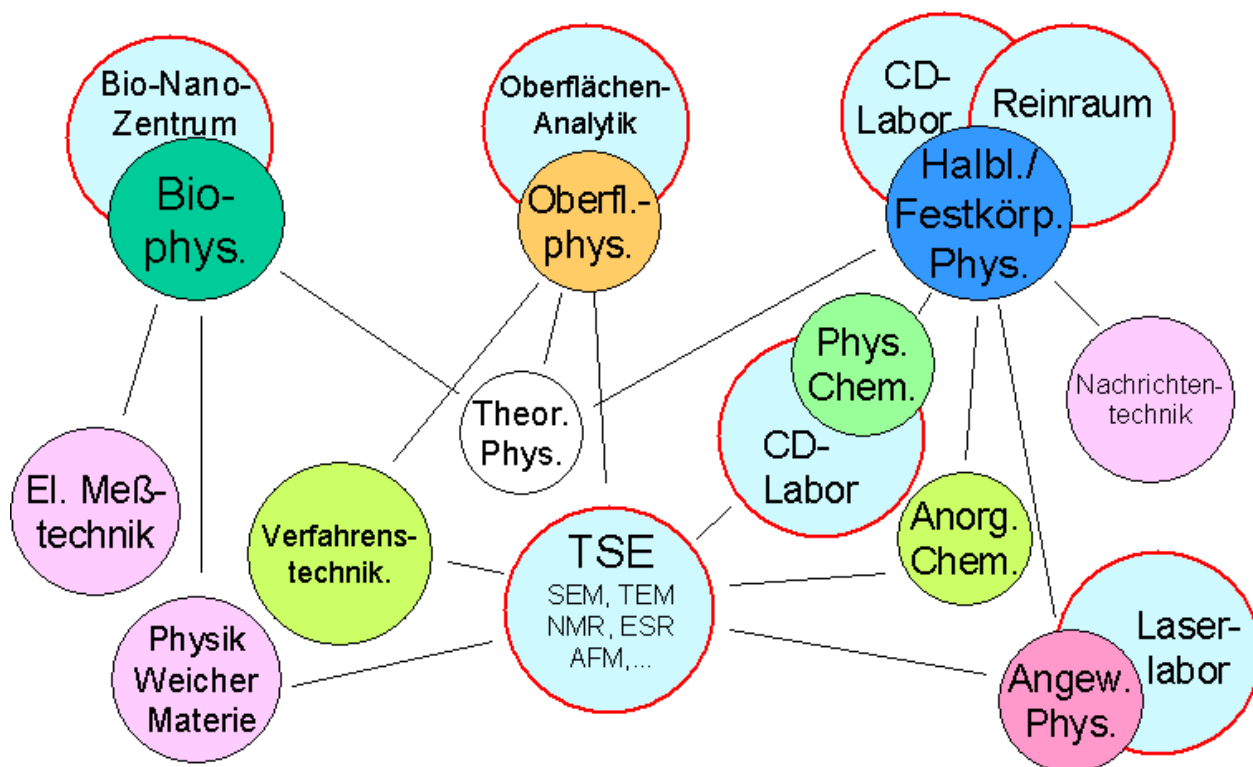


Abb. 1 Infrastruktureinrichtungen (blau mit rotem Rand) und Vernetzung der am *Nanoscience and -technology*-Schwerpunkt beteiligten Institute der Technisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

Halbleiter- und Festkörperphysik, das Laserlabor in der Angewandten Physik, und ein beträchtlicher Teil der oberflächenphysikalischen Analytik in der Atom- und Oberflächenphysik untergebracht. Die übergeordneten Analytik- und Versorgungseinrichtungen, vor allem das Elektronenmikroskopielabor und die Versorgung mit flüssigem Helium, sind in der TSE zusammengefaßt. Die für die Nanowissenschaften relevanten CD-Labors sind in der Physikalischen Chemie und in der Festkörperphysik untergebracht. Gänzlich ausgelagert in Räumlichkeiten der UAR in Linz ist das Bio-Nanozentrum, das von der UAR und dem Institut für Biophysik betrieben wird.

Gemeinsame Aktivitäten der Institute gehen häufig mit der gemeinsamen Benutzung von Infrastruktureinrichtungen einher. Die im folgenden angeführten Beispiele sollen das verdeutlichen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Detailliertere Information findet man im Anhang, in dem die beteiligten Institute mit ihren wichtigsten Projekten und Kooperation aufgeführt sind. Bilaterale Kooperationen bestehen unter anderem zwischen dem Institut für Halbleiter- und Festkörperphysik und der Physikalischen Chemie auf mehreren Ebenen, z.B. im Bereich der organischen Halbleiter, wo beide Institute an einem FWF-Cluster zusammen mit Instituten in Graz beteiligt sind oder im Bereich der Halbleitermeßtechnik, wo Reinraumeinrichtungen gemeinsam benutzt werden, und schließlich auch über die TSE durch die gemeinsame Nutzung des Elektronenmikroskopielabors. Ähnliche Zusammenarbeiten gibt es zwischen der Biophysik und der Atom- und Oberflächenphysik, die unter anderem gemeinsam die Geräteentwicklung im Bereich der Rastersondenmikroskopie vorantreiben. Ebenfalls auf dem Gebiet der Meßtechnik gibt es Kooperationen zwischen der Biophysik und dem Mechatronikinstitut für Meßtechnik, die beide am GEN-AU-Projekt, einem großen nationalen Konsortiums unter der Leitung des Instituts für Biophysik, mitarbeiten. Daneben gibt es zahlreiche nicht-projektgebundene Kooperationen in den Bereichen Elektronen- und Rastersondenmikroskopie und bei der Modellentwicklung und Computer-Simulation durch das Institut für Theoretische Physik.

2.4.2 Nationale Vernetzung

Neben der Vernetzung der mit *Nanoscience and -technology* befaßten Institute der Johannes Kepler Universität untereinander gibt es zahlreiche Kooperation mit anderen österreichischen Instituten, die auf diesem Gebiet tätig sind. Die meisten davon existieren schon seit längerem, andere sind im Zusammenhang mit der österreichischen Nanoinitiative zustande gekommen oder zumindest vertieft worden.

Zu den langfristigen Zusammenarbeiten gehören die strategische Allianz zwischen dem Institut für Halbleiter- und Festkörperphysik der Johannes Kepler Universität und dem Institut für Festkörperelektronik der TU Wien, die beide seit vielen Jahren der Gesellschaft für Mikroelektronik angehören und im Zusammenhang mit der Forschungsmilliarde eine Bündelung ihrer Aktivitäten beschlossen haben. Ähnliches gilt für die Kooperationen zwischen der Abteilung für Angewandte Physik in Linz und Lasergruppen in Wien und Graz. Eine weitere nationale Vernetzung wird mit dem FWF-Forschungsschwerpunkt "Nanoscience on Surfaces" erfolgen, an dem neben dem Institut für Atom- und Oberflächenphysik der Johannes Kepler Universität Institute der Universitäten in Wien Graz und Innsbruck sowie der TUs in Wien und Graz beteiligt sind. Auch auf dem Gebiet der organischen Elektronik gibt es nationale Kooperationen zwischen mehreren Instituten in Linz und Graz, die vor kurzem zu einem gemeinsamen FWF-Cluster geführt haben. Die hochaktuelle Kooperation "Molekulare Biophysik" insbesondere auch auf dem Gebiet der Lehre wurde zwischen dem Institut für Biophysik in Linz und der Universität Salzburg beschlossen, in

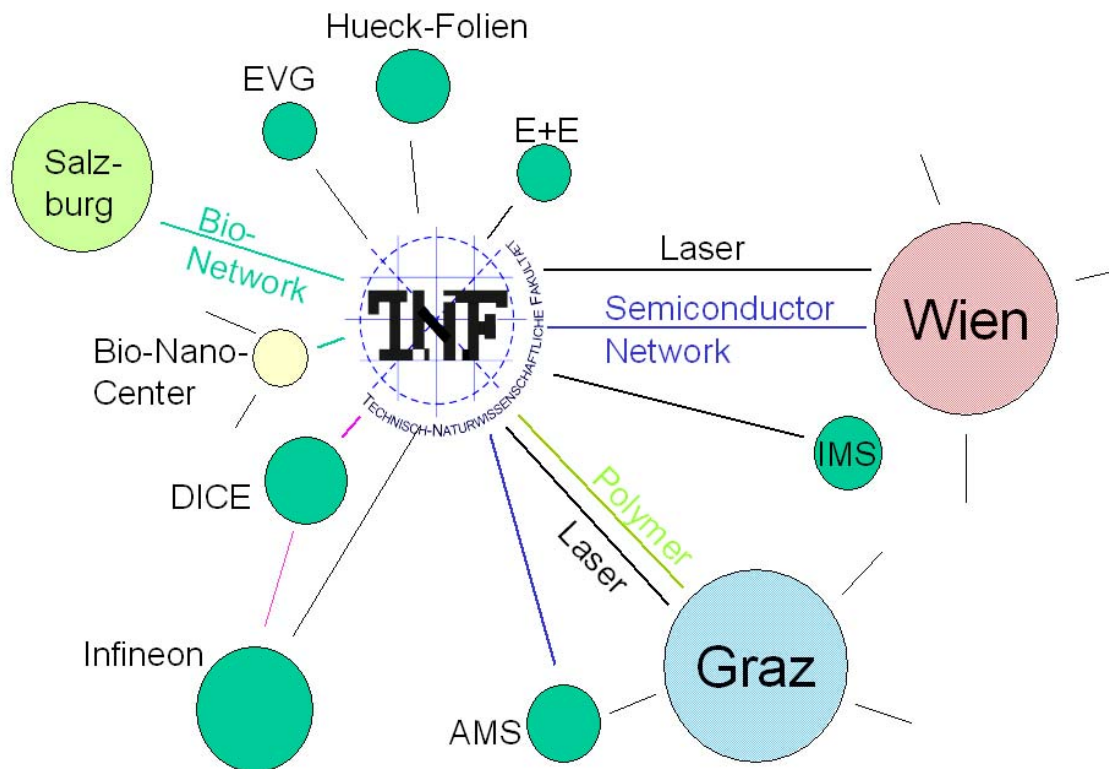


Abb. 2 Vereinfachte Darstellung der nationalen Vernetzung mit den Schwerpunkten Halbleiternanotechnologien (Linz - Wien), Laser (Linz - Graz) und Molekulare Biophysik (Linz - Salzburg). Grün dargestellt sind oberösterreichische und nationale Firmenkooperationen.

deren Rahmen ein Teil der Einführungskurse für die Salzburger Studenten in Linz angeboten werden.

Im Rahmen der österreichischen Nanoinitiative haben sich mehrere Konsortien gebildet, an denen auch Linzer Institute beteiligt sind. Besonders weit gediehen ist dabei die von der Wiener Firma IMS initiierte Initiative MNFA (Mikro/Nano-Fabrication Austria), an der aus Linz die Institute für Angewandte Physik sowie Halbleiter- und Festkörperphysik beteiligt sind.

Darüber hinaus gibt es eine größere Zahl von nationalen und internationalen Industriekooperationen auf dem Gebiet von *Nanoscience and -technology*, von denen hier exemplarisch die Firmen Infineon und AustriaMicrosystems aus dem Halbleiterbereich sowie die Firmen VOEST, Hueck-Folien und E+E Elektronik aus dem Bereich der Nanoanalytik genannt werden sollen.

Ein vereinfachter Überblick über die nationalen Kooperation zeigt Abb. 2.

2.5 Lehre

... "a special challenge and opportunity is restructuring teaching at all levels to include Nanoscale Science/Engineering concepts" ...

(aus der Präambel der National-Science-Foundation-Initiative *Nanoscale Science and Engineering*: <http://www.nsf.gov>)

Bei allen Nanoscience-Programmen wird immer wieder der interdisziplinäre Aspekt betont und die Notwendigkeit, bei der Ausbildung künftiger Forscher und Ingenieure auf diesem Gebiet die traditionellen Grenzen zwischen den Fachbereichen zu überwinden. Dies stellt insbesondere im Bereich der universitären Lehre eine ganz eigene Herausforderung dar, gilt es doch, die oft - zumindest unterschwellig - vorhandenen Abgrenzungen der Fachbereiche durch gemeinsame, interdisziplinäre Curricula und entsprechende Lehrveranstaltungen aufzulösen.

Wegen der breiten Vielfalt an Aktivitäten zum Themengebiet *Nanoscience and -technology* ist die Johannes Kepler Universität auch in dieser Hinsicht besonders gut gerüstet. Folgerichtig wurde auch bereits seit dem Wintersemester 2002/03 ein erstes Zeichen in Richtung Lehre gesetzt: Als erste Universität in Österreich bietet der Fachbereich Physik einen Studienschwerpunkt *Nanoscience and -technology* an, der sich zunächst an die Studenten der Technischen Physik im zweiten Studienabschnitt richtet. Aus einem umfangreichen Wahlfachkatalog von derzeit 21 Lehrveranstaltungen können die Studenten weitgehend frei wählen. Die Lehrveranstaltungen wurden zum größten Teil völlig neu gestaltet und beinhalten auch Themen aus den Bereichen Chemie, Informatik und Mechatronik, die von Professoren aus den entsprechenden Fachbereichen angeboten werden. Daneben werden eine von mehreren Abteilungen gemeinsam veranstaltete Einführungsvorlesung in das Gebiet *Nanoscience and -technology* angeboten sowie Seminare mit internen und externen Sprechern, in denen der aktuelle internationale Stand auf diesem Gebiet vermittelt wird.

Um den Studienschwerpunkt *Nanoscience and -technology* personell abzusichern wurde bereits eine erste Weichenstellung vorgenommen: Die anstehende Nachberufung in der Festkörperphysik (Nachfolge H.Heinrich) wurde 2003 dezidiert für ein aktuelles Gebietes aus *Nanoscience and -technology* und dessen Vertretung in Lehre und Forschung ausgeschrieben.

3. Strategische Entwicklung des Nanoscience and -technology-Schwerpunkts innerhalb der TNF

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, hat sich in den letzten Jahren in Linz eine breite Kompetenzbasis auf dem Gebiet der *Nanoscience and -technology* entwickelt. Gleichzeitig wurde im beträchtlichen Umfang in die Infrastruktur investiert und erste Ansätze zur Umsetzung eines entsprechend breit gefächerten Lehrangebots auf dem Gebiet *Nanoscience and -technology* unternommen. Damit hat die Johannes Kepler Universität eine österreichweit führende Position auf dem Gebiet *Nanoscience and -technology* erlangt, die in den nächsten Jahren weiter gefestigt und ausgebaut werden soll.

Für den strategischen Ausbau des Kompetenzschwerpunktes sind in den kommenden Jahren eine Reihe von Maßnahmen zu ergreifen, um die Vernetzung der einzelnen Institute und Abteilungen weiter zu vertiefen, um die Ausrichtung der Forschung zu koordinieren und durch nationale und internationale Fördervorhaben finanziell abzusichern und nicht zuletzt, um die Kooperation mit oberösterreichischen, nationalen und internationalen Firmen zu intensivieren. Ganz besonderes Gewicht kommt zudem dem Ausbau der fachübergreifenden Lehre auf diesem Gebiet zu.

Zur Umsetzung dieser Ziele werden zusätzlich personelle und Infrastrukturmaßnahmen notwendig sein, die zu einer Erweiterung und Vertiefung der vorhandenen Expertise führen. Ein wesentlicher Bestandteil des geplanten Ausbaus ist die Einführung einer schlanken, übergeordneten Organisationsstruktur, über die dieser Exzellenzschwerpunkt nach außen hin attraktiv vertreten und nach innen effizient organisiert werden soll. Mittelfristig ist ergänzend die Einrichtung eines Kompetenzzentrums *Nanotechnologie* geplant, über das insbesondere der anwendungsnahe Anteil der Forschung in Industriekooperationen eingebracht werden soll. Dadurch wird ein nachhaltigen Beitrag zur Öffnung der Universität in Richtung Industriekooperationen geleistet.

Die strategische Maßnahmen zum weiteren Ausbau des Kompetenzschwerpunktes *Nanoscience and -technology* werden in den folgenden Abschnitten dargestellt, aufgegliedert in die Kapitel: Lehre, Forschung, Maßnahmen, Kosten, Zeitplan und Finanzierung.

3.1 Lehre

Das mit dem Studienschwerpunkt *Nanoscience and -technology* geschaffene Lehrangebot und die gewonnene Erfahrung mit dieser Art von fächerübergreifender Wissensvermittlung bieten eine österreichweit einmalige Basis für den geplanten Aufbau eines Bachelor/Master-Studiengangs in *Nanoscience and -technology*.

Das Ziel dieser zusätzlichen Maßnahmen in der Lehre muß es sein, den Standort Linz so attraktiv zu machen, daß zusätzliche Studenten auch und gerade aus anderen Bundesländern und aus dem Ausland für den Studiengang *Nanoscience and -technology* an die Universität Linz kommen. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn sich Linz zu einem national und international anerkannten Zentrum in Lehre und Forschung auf dem Gebiet *Nanoscience and -technology* weiterentwickelt.

Dazu soll im Rahmen der Umstellung von den derzeitigen Diplomstudiengängen auf das dreiteilig Bachelor/Master/Doktorat-Studium ein Masterstudiengang *Nanoscience and -technology* eingerichtet werden. Voraussetzung für das Belegen des Studiengangs wird ein Diplom oder ein Bachelor in einem einschlägigen naturwissenschaftlichen oder Ingenieurs-Fach sein (Physik, Chemie, Mathematik, Mechatronik). Längerfristig wäre durchaus auch die Einführung eines eigenen Bachelor-Studiengangs *Technische Naturwissenschaften* denkbar, der als Grundlage für eine größere Zahl an Masterkursen denkbar wäre. Dies kann jedoch nur in Abstimmung mit allen Instituten der TNF erfolgen und ist daher vorerst eher längerfristig zu sehen.

Der Masterstudiengang *Nanoscience and -technology* wird teilweise auf dem derzeitigen Wahlfachkatalog *Nanoscience and -technology* des Studienganges Technische Physik aufbauen. Für einen vollen Masterstudiengang werden aber zusätzliche Lehrveranstaltungen benötigt. Diese dienen zunächst einer Angleichung der unterschiedlichen Vorbildungen, die die Absolventen aufgrund der verschiedenen anzuerkennenden Bachelor-Abschlüsse mitbringen. Zusätzlich muß dem raschen Wissenszuwachs auf dem Gebiet *Nanoscience and -technology* durch ein entsprechend aktualisiertes und erweitertes Lehrveranstaltungsprogramm Rechnung getragen werden. Die benötigte Lehr-Kapazität wird sich dabei überwiegend aus den beabsichtigten Nachberufungen mit Ausrichtung *Nanoscience and -technology* rekrutieren und zu einem kleineren Teil aus externen Fachreferenten.

3.2 Forschung

Die vielfältigen Expertisen in der TNF auf dem Gebiet *Nanoscience and -technology* sind derzeit themenspezifisch auf die beteiligten Institute verteilt. Im Sinne eines übergreifenden Exzellenzschwerpunktes ist es hingegen notwendig, ein Maß an Vernetzung zu erreichen, das die Instituts- und Abteilungsgrenzen zumindest nach außen weitgehend überwindet. Damit könnte, etwa für Aufträge externer Industriepartner, sehr viel flexibler auf konkrete Problemstellungen der Nanowissenschaften reagiert werden.

Eine sinnvolle Strukturierung des Nanoschwerpunktes wird zunächst die folgenden vier Kompetenz-Bereiche umfassen:

- Nanomaterialien
- Nanostrukturierung
- Nano-Analytik
- Nano-Anwendungen

In den jeweiligen Kompetenz-Bereichen wären dann alle in Linz vertretenen Facetten des jeweiligen Gebietes vertreten. Tab. 1 zeigt eine Zuordnung der derzeitigen Aktivitäten zu den vier genannten Bereichen. Die meisten Institute und Abteilungen bringen in diesem Schema ihre Expertisen jeweils in mehrere Kompetenzbereiche ein.

Nanomaterialien	Nanostrukturierung	Nano-Analytik und -Simulation	Nano-Anwendungen
Halbleiter-Hetero- und Nanostrukturen	Düschichtabscheidung und Epitaxie	Rastersonden-Mikroskopie (AFM, STM, SNOM)	Halbleiterbauelemente
Biomoleküle	Elektronenstrahl-Lithographie	Elektronenmikroskopie und -spektroskopie (SEM, TEM, Niederenergie, Mikrosonde, Auger)	organische Elektronik
nanostrukturierte Oberflächen	Laser-Lithographie und -Strukturierung	optische Nahfeldmikroskopie	Hochtemperatursupraleiter
dünne Schichten	Rastersonden-Manipulation	Beugungs- und Streutechniken (Röntgen, Elektronen, Ionen, Atome)	Nanofiltration
Funktionskeramiken	Selbstorganisation und Selbstordnung	optische Spektroskopie und Photophysik	magnetische Schichtsysteme und Speicher
polymere Nanostrukturen		Kern- und Elektronenspinresonanz	Biochip
		Transport/Magnetotransport	Sensorik
		Single-Dye-Tracing	
		Modellentwicklung und numerische Simulation	

Tab. 1 Einteilung des *Nanoscience and -technology*-Schwerpunkts in Kompetenzbereiche

Der Vorteil einer derartigen Vernetzung liegt auf der Hand: Für ein konkretes Problem der Nanoanalytik beispielsweise stünde einem externen Auftraggeber transparent die gesamte Palette an in Linz verfügbarer Nano-Analytik zur Verfügung, während in einem geringer vernetzten System der Kontakt in der Regel über ein einzelnes Institut zustande kommt und damit nicht notwendig die dem Problem optimal angemessene Lösung liefert.

3.3 Maßnahmen

Eine Zusammenfassung der *Nanoscience and -technology*-Aktivitäten in Kompetenzbereiche erfordert zunächst drei Maßnahmen: (i) die Schaffung einer schlanken, übergeordnete Organisationsform, (ii) eine Erweiterung der vorhandenen Expertise durch längerfristige Personalmaßnahmen und neue Investitionen sowie (iii) das Schaffen einer ausgewogenen Finanzierungsbasis aus Dritt- und Eigenmitteln.

3.3.1 Organisatorische Maßnahmen

Nach Einschätzung der National Science Foundation und anderer internationaler Träger von Nanoprogrammen wird in den nächsten 3 - 5 Jahren das Gebiet *Nanoscience and -technology* noch stark von der Grundlagenforschung geprägt sein. Allerdings werden durch die zu erwartenden Fortschritte in der Grundlagenforschung

rasch immer mehr Anwendungsfelder erschlossen, so daß zu erwarten ist, daß die Umsetzung der Nanotechnologie in die Industrieproduktion innerhalb der nächsten Jahre exponentiell anwächst.

Die Organisation des Exzellenzschwerpunktes *Nanoscience and -technology* wird sich insbesondere in der noch überwiegend grundlagenorientierten Anfangsphase an den Vorbildern von bereits vorhandenen *Nanoscience-and-technology*-Zentren orientieren, wie beispielsweise an dem der LMU in München. Dabei bleiben die Institute und Abteilungen als Träger der universitären Lehre und Forschung erhalten, es wird aber zusätzlich eine übergeordnete Lenkungsstelle geschaffen, der folgende Aufgaben zukommen:

- Vertretung des Exzellenzschwerpunktes nach außen
- Anbahnung bzw. Unterstützung bei der Einwerbung von Drittmitteln über gemeinsame Projekte und Industriekooperationen
- Koordinierung von institutsübergreifenden Projekten und Industriekooperationen
- Koordinierung der interdisziplinären Lehre

Die wichtigste Aufgabe der Lenkungsstelle ist die Vertretung des Exzellenzschwerpunktes nach außen. Damit ist die Lenkungsstelle der wesentliche Ansprechpartner für externe Forschungsgruppen und Firmen, die an gemeinsamen Projekten interessiert sind. Umgekehrt wird die Lenkungsstelle aber auch von sich aus auf externe Forschungseinrichtungen und Firmen zugehen, um bei der Anbahnung von Drittmittelprojekten behilflich zu sein. Zu diesem Zweck werden alle PR-Maßnahmen, z.B. die Einrichtung und Wartung einer Homepage (www.nanoscience.at) sowie Presseaussendungen, von der Lenkungsstelle koordiniert.

Im Sinne der o.a. Strukturierung des Linzer *Nanoscience-and-technology*-Schwerpunktes in Kompetenzgebiete fallen der Lenkungsstelle die Koordinierungsaufgaben zu, die nötig sind, um aus den vorhandenen Einzelexpertisen der Institute und Abteilungen ein einheitlich auftretende Einrichtung mit vernetzter Gesamtkompetenz zu machen. D.h. insbesondere auch, daß externe Anfragen in der Regel an die Lenkungsstelle gehen, die sich dann um eine optimale Lösung unter Beteiligung aller dafür relevanten Institute bemüht.

Schließlich obliegt es der Lenkungsstelle, die interdisziplinäre Lehre zu koordinieren und öffentlichkeitswirksam nach außen anzukündigen.

Die Lenkungsstelle wird zunächst aus einem Wissenschaftler mit einschlägigen Kenntnissen auf dem Gebiet *Nanoscience and -technology* und einem zugeordneten Sekretariat bestehen. Zur Vereinfachung der Organisation des Nanoschwerpunktes soll eine eigene Kostenstelle geschaffen werden, über die die gemeinsamen Forschungs- und Lehraktivitäten abgerechnet werden.

3.3.2 Personalmaßnahmen

(i) Professoren

Der mittel- und längerfristige Ausbau des Nanoschwerpunktes wird maßgeblich von Personalmaßnahmen bestimmt werden. Im Vordergrund steht dabei der Ausbau der Expertise im Bereich *Nanoscience and -technology*, die vor allem über Nachbeset-

zungen von Lehrstühlen in den Bereichen Physik, Chemie und Mechatronik erfolgen wird. Da in den nächsten acht bis zehn Jahren bis zu 60% der Professorenstellen in den genannten Fachbereichen zur Nachbesetzung anstehen, sollte es relativ einfach möglich sein, den Nanoschwerpunkt thematisch weiterzuentwickeln und auszubauen. Wegen der hohen Zahl verfügbarer Nachberufungen kann in diesem weitgehende Kostenneutralität erreicht werden.

Aus derzeitiger Sicht erscheinen die folgenden Themenerweiterungen durch Nachbesetzungen in nächster Zukunft vordringlich zu sein:

- eine Professur auf dem Gebiet *Nanoscience* zur Erweiterung von Lehre und Forschung in der Festkörperphysik (Nachfolge H. Heinrich; Ausschreibung läuft bereits)
- Verstärkung und Erweiterung des Bereichs Modellbildung und Simulation durch Nachbesetzung einer der in den nächsten Jahren freiwerdenden Professorenstellen im Bereich Theoretische Physik
- Besetzung einer Professur für die chemische Synthese von Halbleiter-Nanokristallen durch entsprechende Nachbesetzung einer der freiwerdenden Professorenstellen im Fachbereich Chemie
- Besetzung einer Professur für Mikro/Nano-Elektromechanische Systeme und/oder für Mikro/Nanofluidics im Fachbereich Physik und/oder Mechatronik durch Nachbesetzung
- Besetzung einer zweiten Professur in der Biophysik zur Erweiterung der derzeitigen Aktivitäten im Bio-Nano-Bereich. Diese Stelle soll im Zusammenhang mit dem Aufbauschwerpunkt *Biosa* neu geschaffen werden, um kurzfristig auf den hohen Forschungs- und Lehrbedarf auf dem Gebiet der Molekularen-Biophysik reagieren zu können.

(ii) Wissenschaftler

Während die Bestellung und Umwidmung von Professorenstellen der strategischen Entwicklung des Nanoschwerpunktes dient, ist die Schaffung einer limitierten Zahl von neuen wissenschaftlichen Mitarbeitern eine unabdingbare Voraussetzung für einen reibungslosen Betrieb von Forschung und Lehre unter den Bedingungen des erweiterten Nanoschwerpunktes. Die Schaffung folgender Stellen erscheint vordringlich zu sein:

- Bestellung des Leiters der Lenkungsstelle des Exzellenzschwerpunktes *Nanoscience and -technology*. Die Stelle soll mit einem promovierten Wissenschaftler mit Habilitation oder vergleichbarer Qualifikation mit ausgewiesenem Tätigkeitsschwerpunkt auf dem Gebiet *Nanoscience and -technology* und nach Möglichkeit Industrieerfahrung besetzt werden
- Bestellung eines promovierten Wissenschaftlers im Bereich der TSE zur personellen Umsetzung der Ausbaupläne dieser zentralen Serviceeinrichtung
- Schaffung eines zunächst auf fünf Jahre befristeten Post-Doc-Pools für bereichsübergreifende Projekte im Schwerpunkt *Nanoscience and -technology*. Durch die Schaffung eines Post-Doc-Pools mit fünf Post-Docs mit befristeten Anstellungsverträgen soll die weitere Vernetzung des Schwerpunktes in den ersten Jahren initiiert und vorangetrieben werden.

Nach Ablauf dieser Startphase ist eine weitere Finanzierung des Post-Doc-Pools aus Drittmitteln anzustreben.

(iii) Techniker und nichtwissenschaftliches Personal

Zur Unterstützung des neu zu bestellenden wissenschaftlichen Personals werden im relativ geringen Umfang Techniker und nichtwissenschaftliches Personal benötigt. Folgende Stellen erscheinen in der Anfangsphase des Schwerpunktes besonders vordringlich zu sein:

- Schaffung einer zusätzlichen Technikerstelle für den geplanten Ausbau der TSE. Bereits jetzt ist die TSE personell unterbesetzt. Mit dem geplanten Ausbau der Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Nanoschwerpunkt ist dringend eine personelle Anpassung erforderlich.
- Einrichtung eines Sekretariats für die Lenkungsstelle des Nanoschwerpunktes. Dazu wird zunächst eine Sekretärin mit Computer- und Fremdsprachenkenntnissen benötigt.

3.3.3 Investitionen

Die Erweiterung der Themen und Kompetenzen im Nanoschwerpunkt wird hauptsächlich durch die o.a. Personalmaßnahmen erreicht. Insbesondere durch die Nach- und Neuberufungen wird aber auch eine finanzielle Basis in Form von Berufungsmitteln geschaffen, die neue Investitionen ermöglicht.

Darüber hinaus besteht Finanzierungsbedarf für Investitionen auf zunächst drei Gebieten:

(i) Ausbau TSE

Die TSE hat sich in der Ende der neunziger Jahre erfolgten Neuorganisation im wesentlichen bewährt. Durch Schaffung des Elektronenmikroskopielabors wurden neue Impulse gesetzt, die die TSE als Ansprechpartner für die TNF-Institute und für externe Kunden interessant macht. Dieser Weg soll weiter beschritten werden. Dazu ist ein personeller (s.o.) und apparativer Ausbau der TSE geplant.

In einem ersten Schritt ist beabsichtigt, das Elektronenmikroskopielabor weiter aufzurüsten und durch Methoden der Oberflächenanalytik zu ergänzen. Dazu ist an eine Erweiterung des TEMs mit einem energiedispersiven Filter für elementspezifische Abbildungen und eine Ersatzbeschaffung für das betagte SEM gedacht. Ergänzend soll ein Rasterkraftmikroskop (AFM) beschafft werden, das in vielfältiger Weise die beiden Elektronenmikroskope ergänzen kann. Mit dieser Kombination experimenteller Methoden der Nano-Analytik lassen sich eine Vielzahl meßtechnischer Probleme lösen, wobei die drei genannten Techniken komplementäre Informationen liefern.

(ii) Ausbau der Nanoanalytik

Ein herausragendes Merkmal des Nanoschwerpunktes in Linz ist bereits jetzt die breite Palette an experimentellen Methoden der Nanoanalytik. Neben einer natürlichen Erweiterung der Analysemethoden durch die geplanten Berufungen ist auch ein Ausbau der experimentellen Methoden in den derzeit im Nanoschwerpunkt organi-

sierten Instituten geplant. Das betrifft insbesondere die Bereiche Oberflächenphysik, Halbleiter- und Festkörperphysik, Biophysik, Angewandte Physik und Physikalische Chemie, Anorganische Technologie und Elektrische Meßtechnik. Der geplante Ausbau wurde z.T. bereits mit Mitteln der Forschungs- und Universitätsmilliarden begonnen und wird auch in den nächsten Jahren zügig fortgesetzt werden. Dabei ist insbesondere auch daran gedacht Mittel aus dem österreichischen Nano-Programm einzuwerben.

(iii) Infrastrukturmaßnahmen für den geplanten Masterkurs *Nanoscience and -technology*

Die geplante Schaffung eines Masterkurses *Nanoscience and -technology* kann hinsichtlich der Lehre weitgehend kostenneutral über vorhandene Lehrkapazitäten und die Nachberufungen erfolgen. Zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen sind allerdings im Bereich der Laborausstattung für die im Masterkurs vorgesehenen Praktika notwendig. Erste Ansätze dazu wurden bereits im Studienschwerpunkt *Nanoscience and -technology* im Rahmen des Studiengangs Technische Physik mit Mittel der Universitätsmilliarde realisiert. Die entsprechenden Praktikumsplätze kommen direkt dem Masterstudiengang zugute, bedürfen aber der Ergänzung um weitere Versuchsaufbauten.

3.3.4 Kompetenzzentrum "Nanotechnologie"

Ein wesentliches Ziel des Exzellenzschwerpunktes *Nanoscience and -technology* ist der Ausbau und die Intensivierung der Industriekooperationen. Die derzeitigen Industrieprojekte finden überwiegend zwischen den beteiligten Firmen und einzelnen Instituten statt. Eine wesentliche Effizienzsteigerung wird erreicht durch die o.a. Schaffung einer Lenkungsstelle, die den Nanoschwerpunkt nach außen vertritt und auch als Ansprechpartner bzw. Vermittler für Industriekooperationen auftritt. Dadurch können Komplettlösungen in den Bereichen Nanomaterialien, Nanostrukturierung, Nanoanalytik und Nano-Anwendungen angeboten werden, die auf die gesamte vorhandene Expertise und nicht nur auf das Know-How eines Einzelinstituts zurückgreifen.

Diese Organisationsform ist ideal für die ersten Jahre, in denen mit einem hohen Anteil an Grundlagenforschung gerechnet wird. Mit der Zeit werden die technischen Anwendungen und die industrielle Verwertung der gewonnenen Erkenntnisse immer wichtiger. Die Lenkungsstelle wird dann zwar immer noch ihre Rolle als Ansprechpartner nach außen spielen, der zunehmende Anteil an Industrieprojekten wird aber zusätzliche organisatorische Flexibilität benötigen. Zweckmäßig im Hinblick auf die österreichische Infrastruktur erscheint dazu die Schaffung eines eigenen Kompetenzzentrums *Nanotechnology* etwa ab 2007 zu sein. Durch die notwendige Industriebeteiligung wird in dieser Organisationsform eine Plattform für die anwendungsorientierte Forschung im Bereich der Nanotechnologie geschaffen, die als natürliche Erweiterung des *Nanoscience and -technology*-Schwerpunktes zu sehen ist.

3.4 Kosten

Die folgende Kostenaufstellung bezieht sich auf Personal- und Investitionskosten in den nächsten fünf Jahren. Die Personalkosten wurden auf dem Stand 2003 angegeben und werden sich mit dem mittleren jährlichen Zuwachs erhöhen. Die Investitionskosten sind detailliert für den Ausbau der TSE angegeben. Der Ausbau der Nanoanalytik an den einzelnen Instituten, der größtenteils über gemeinsame Projekte erfolgen soll wurde in der Tabelle zunächst pauschal angesetzt.

3.4.1 Personalkosten

Anzahl	Stellentyp	Kosten/Jahr (€)
1	Wissenschaftlicher Leiter der Lenkungsstelle	57.350,00
1	Sekretärin für Lenkungsstelle v2/1	27.250,00
1	promovierter Wissenschaftler für TSE	47.780,00
1	Techniker für TSE	27.250,00
5	Post-Docs für maximal 5 Jahre	228.600,00
	Gesamt/Jahr	388.230,00

3.4.2 Investitionen

Bezeichnung	Kosten incl. MWSt. (€)
Aufrüstung TEM (Ausbauprogramm TSE)	580.000,00
Ersatzbeschaffung SEM (Ausbauprogramm TSE)	360.000,00
Rasterkraftmikroskop (Ausbauprogramm TSE)	350.000,00
Ausbau Nanoanalytik (alle beteiligten Gruppen)	2.800.000,00
Einrichtung Praktikumsplätze für MA-Kurs <i>Nanoscience and -technology</i>	410.000,00
Gesamtinvestitionsvolumen	4.500.000,00

3.5 Zeitplan

Die wesentlichen organisatorischen Maßnahmen, der Personalausbau, die Investitionstätigkeit und der Ausbau der Lehre für den Exzellenzschwerpunkt *Nanoscience and -technology* sind in der folgenden Tabelle für die ersten 5 Jahre dargestellt (01.01.2004 - 31.12. 2008)

Maßnahme	2004	2005	2006	2007	2008
Einrichtung Lenkungsstelle	xxxx				
Personalausbau TSE	xxxx				
Investitionen TSE	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx				
Ausbau Nanoanalytik	xx				
Einrichtung Kompetenzzentrum	xxxxxxxx				
MA-Kurs <i>Nanoscience and -technology</i>	xxxxxxxx				

3.6 Finanzierung

Im Endausbau wird eine Finanzierungsmodell für den Exzellenzschwerpunkt *Nanoscience and -technology* angestrebt, das aus etwa 30% Finanzierungsanteil durch die Universität und 70% Finanzierungsanteil aus Drittmittel- und FWF-Projekten besteht.

(i) Universitätsanteil (ca. 30%)

Der Universitätsanteil besteht im wesentlichen aus längerfristigen Personalmitteln für die Lenkungseinrichtung des Nanoschwerpunktes und für den personellen Ausbau der TSE. Daneben entstehen Investitionskosten für die Einrichtung von Praktikumsplätzen für den geplanten Masterstudiengang *Nanoscience and -technology* und in geringerem Umfang Kosten für externe Lehrbeauftragte. Zur effizienten Abrechnung soll eine eigene Kostenstelle für den Nanoschwerpunkt eingerichtet werden.

(ii) Drittmittelanteil (ca. 70%)

Das Einwerben von Drittmitteln wird durch die Kompetenzbündelung und -organisation erleichtert, da sowohl bei Grundlagenprojekten über nationale und internationale Nanoprogramme als auch bei Industriekooperationen die in den Kompetenzbereichen zusammengefaßte Expertise entscheidende Wettbewerbsvorteile liefert.

Um die nötige Vernetzung der zu den Kompetenzbereichen beitragenden Instituten und Abteilungen zu erreichen ist eine Fortsetzung vorhandener und der zügige Aus-

bau neuer gemeinsamen Projekte auf mehreren nationalen und internationalen Ebenen erforderlich:

1. National

- FWF-Projektbündel bzw. FWF-Gruppen
- FFF-Projekte
- CD-Laboratorien
- Beteiligung am österreichischen Nanoprogramm
 - Beteiligung an der Mikro/Nano-Fabrication Austria (MNFA) der Firma IMS mit einem österreichischen Konsortium
 - eigene Projektanträge im Rahmen des nationalen Nanoprogramms
- Landesprojekte gemeinsam mit UAR und/oder OÖ-Firmen
 - Bio-Nanozentrum
 - Kooperation Oberflächenphysik/Hueck-Folien "Charakterisierung von Nanometerschichten"
 - Weiterführung vorhandener und Entwicklung neuer Aktivitäten z.B. mit VOEST, EVG, E+E Elektronik usw.

2. International

- EU-Projekte mit internationaler Kooperation im 5. und 6. Rahmenprogramm
 - FP5: Pizarro (Abt. Angewandte Physik, E+E Elektronik + Konsortium)
 - FP6: FastInfos (Halbleiterphysik + Konsortium)
 - FP6: Ang. Physik: mehrere Projektanträge in Begutachtung bzw. in Ausarbeitung
- Kooperationen mit nationalen Nanozentren in Europa
 - Deutschland (LMU München, Uni Würzburg)
 - Schweiz
 - Skandinavien

3. Gemeinsame Forschungsaktivitäten mit/über TSE

- Elektronenmikroskopielabor (SEM, TEM, Mikrosonde)
- Photoelektronen-Elektronenmikroskopie (PEEM)
- Niederenergie-Ionenstreuung (LEIS)

4. Zusammenarbeit mit anderen Exzellenz- und Aufbauswerpunkten

Mehrere der am Exzellenzschwerpunkt *Nanoscience and -technology* beteiligten Institute sind auch in anderen Exzellenz- und Aufbauswerpunkten organisiert. Durch diese personelle Verflechtung ergeben sich zahlreiche Anknüpfungspunkte an andere Schwerpunkte der TNF. Daneben existieren aber auch vielfältige thematische Querverbindungen, die bereits kurzfristig zu gemeinsamen Projekten führen dürften. Folgende Schwerpunkte erscheinen derzeit aus der Sicht der *Nanoscience and -technology* besonders wichtig und interessant für Kooperationen:

- Exzellenzschwerpunkt *Chemical Design and Process Development*
- Exzellenzschwerpunkt *Mechatronik*
- Aufbauswerpunkt *Biosa*
- Aufbauswerpunkt *Informationselektronik*

5. Anhang

Beteiligte Institute: Expertise, Ausstattung, Projekte, Kooperationen

- Angewandte Physik (Bäuerle)
- Atom- und Oberflächenphysik (Zeppenfeld)
- Biophysik (Romanin)
- Festkörperphysik (Heinrich)
- Halbleiterphysik (G.Bauer)
- Physik der Weichen Materie (S.Bauer)
- Theoretische Physik (Krotschek)

- Analytische Chemie (W.Buchberger)
- Chemische Technologie Anorganischer Stoffe (Gritzner)
- Institut für Verfahrenstechnik (Samhaber)
- Physikalische Chemie (Sariciftci)

- Institut für Elektrische Meßtechnik (Zagar)
- Nachrichten/Informationstechnik (Nachfolge Weigel)
- Mikroelektronik (Nachfolge Thim)