

# Großgeräte für die Forschung

Die Stellungnahme des Wissenschaftsrats zur Europäischen Spallationsneutronenquelle hat zu einer öffentlich ausgetragenen Debatte über das Begutachtungsverfahren sowie über die Zukunft der Forschung mit Neutronen geführt.

**M**itte Juli hat der Wissenschaftsrat seine mit Spannung erwarteten Stellungnahmen zu geplanten Großgeräten für die Grundlagenforschung verabschiedet, die er im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung erarbeitet hat. Demnach wurden die neun Geräte, darunter sieben aus der Physik, in drei Grup-



Bei seinen Vollversammlungen verabschiedet der Wissenschaftsrat, das höchste wissenschaftliche Gremium in Deutschland, Empfehlungen und Stellungnahmen zur Hochschul- und Forschungspolitik.

pen eingeteilt: zwei ohne Vorbehalt förderungswürdige Projekte, drei Projekte, die mit Auflagen förderungswürdig sind, sowie vier weitere Projekte, zu denen er spezifische Empfehlungen abgegeben hat (siehe Tabelle). Während die einstimmig verabschiedeten Stellungnahmen von den Projektverantwortlichen überwiegend positiv aufgenommen und die Einstufungen akzeptiert wurden, stieß die Stellungnahme zur Europäischen Spallationsneutronenquelle ESS, die sich in der dritten Gruppe wiederfand, auf wenig Gegenliebe: Ungewöhnlich heftig und öffentlich kritisierten Projektverantwortliche und einige Mitglieder der vom Wissenschaftsrat eingesetzten Unterarbeitsgruppe sowohl das Verfahren als auch das Ergebnis.<sup>#)</sup> Vor diesem Hintergrund hat das Physik Journal den Generalsekretär des Wissenschaftsrats, Wedig von Heyden, eingeladen, in dem ersten der nachfolgenden Beiträge das Begutachtungsverfahren zu erläutern. In einem weiteren Beitrag lässt der Astrophysiker und Wissenschaftsmanager Prof. Reimar Lüst die Geschichte der Großgerätebegutachtungen Revue passieren und plädiert für die Bereitschaft der beteiligten Wissenschaftler, auch

über den eigenen Tellerrand zu schauen. Die Kritik der ESS-Befürworter entzündet sich insbesondere an den in der Stellungnahme geäußerten Zweifeln an der wissenschaftlichen Aktualität des Forschungsprogramms („the scientific case has to be advanced intensively“) sowie an der aufgeworfenen Frage, ob alternative Untersuchungsmethoden künftig die Bedeutung der Forschung mit Neutronenstrahlen reduzieren werden. Diese Frage greift der bisherige Vorsitzende des deutschen Komitees für die Forschung mit Neutronenstrahlung, Prof. Werner Press, in seinem abschließenden Beitrag auf. Dieser Diskussion wird das Physik Journal auch künftig ein Forum bieten. (Red.)

## Aufgaben und Verfahren

Einer entsprechenden Bitte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) folgend, setzte der Wissenschaftsrat im Januar 2001, wie in solchen Fällen, üblich eine Arbeitsgruppe (Steering Committee) ein, dessen Aufgabe darin bestand, eine Stellungnahme zu den vorgelegten Großgeräte-Initiativen vorzubereiten.

Dem Steering Committee gehörten an:

- ▶ Mitglieder der Wissenschaftlichen Kommission des Wissenschaftsrates, also Wissenschaftler unterschiedlicher, im vorliegenden Fall mehrheitlich natur- und technikwissenschaftlicher Disziplinen,
- ▶ Vertreter des Bundes und der Länder sowie
- ▶ weitere acht externe Sachverständige aus dem In- und Ausland, vornehmlich Naturwissenschaftler aus den Fachgebieten der zu betrachtenden Großgeräte.

Das Steering Committee verständigte sich auf der Basis der Bitte des BMBF um Begutachtung darauf, eine Stellungnahme zu erarbeiten, in der Aussagen zu der Förderungswürdigkeit der unterschiedlichen Großgeräte getroffen werden

sollten. Diese Aussagen sollten sich sowohl an wissenschaftlichen als auch an forschungs- und wissenschaftspolitischen Kriterien orientieren. Das Steering Committee entwickelte darüber hinaus auch grundlegende Thesen zur Bedeutung von Großgeräten für die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung, um einen forschungspolitischen Bezugsrahmen für die anstehende Bewertung zu schaffen.

Angesichts der thematischen Vielfalt der Großgeräte-Vorhaben und der Notwendigkeit eines Vergleichs der unterschiedlichen Initiativen verständigte sich das Steering Committee auf ein zweistufiges Verfahren:

- ▶ Auf der ersten Stufe sollte zunächst eine fachliche Einzelbegutachtung der Großgeräte durch verschiedene Unterarbeitsgruppen vorgenommen werden.
- ▶ Auf dieser Basis sollte dann das Steering Committee eine vergleichende wissenschaftspolitische Bewertung erarbeiten und dabei insbesondere aus übergreifender und vergleichender Perspektive spezifische Kriterien beachten.

Diese Zweistufigkeit ist beim *Peer Review*-Verfahren ein allgemein anerkannter Standard und hat sich sowohl im Wissenschaftsrat als auch bei Forschungsförderorganisationen seit langem bewährt.

Die fachliche Einzelbegutachtung der Großgeräte wurde durch insgesamt sechs Unterarbeitsgruppen vorgenommen. Diese Unterarbeitsgruppen setzten sich aus mindestens zwei Wissenschaftlern sowie aus Vertretern des Bundes und der Länder, die alle zugleich Mitglieder des Steering Committees waren, ausgewählten Sachverständigen (36 von insgesamt 53 kamen aus dem Ausland) sowie Vertretern der Sitzländer zusammen. Von den Wissenschaftlern, die zugleich Mitglied des Steering Committees waren, hatte eines den Vorsitz der Unterarbeitsgruppe inne. Durch diese personelle Verzahnung war eine angemessene Verbindung zwischen den Unterarbeitsgruppen und dem Steering Committee hergestellt.

<sup>#)</sup> siehe auch Physik Journal, Juni 2002, S. 24, und September 2002, S. 6

Kriterien und Leitfragen der Unterarbeitsgruppen waren

- ▶ die Wahrscheinlichkeit fundamental neuer Erkenntnisse bzw. Möglichkeiten entscheidender, nur mit dem Großgerät erreichbarer wissenschaftlicher Fortschritte,
- ▶ die technische Realisierbarkeit und der technische Innovationsgrad,
- ▶ die wissenschaftlich-technische Kompetenz der beteiligten Institutionen,
- ▶ bereits vorhandene oder zu erwartende Akzeptanz der (potenziellen) Nutzer aus den betroffenen und angrenzenden Fachgebieten sowie
- ▶ die Erfüllung für die Forschung bedeutsamer Ziele (Transfer, internationale Perspektiven, Nachwuchsförderung).

Anhand dieser vom Steering Committee entwickelten Kriterien führten die Unterarbeitsgruppen die Begutachtungen in einem einheitlichen Verfahren durch.

Gemäß der geforderten Einheitlichkeit und Transparenz des Verfahrens waren sämtlichen Großgeräte-Initiativen Fragebögen in

**Von den neun Großgeräten sind sieben in der Physik angesiedelt, sie verteilen sich wie folgt auf die drei verabschiedeten Empfehlungsgruppen:**

Großgerät	Investitionskosten in €	Finanzierung
<i>ohne Vorbehalt förderungswürdig</i>		
Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD)	25 Mio.	national
Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO)	97 Mio.	national
<i>mit Auflagen förderungswürdig</i>		
Supraleitender Elektron-Positron Linearcollider (TESLA)	3450 Mio	international
TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL)	673 Mio.	europäisch
Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität	675 Mio.	europäisch
<i>spezifische Empfehlungen</i>		
Freie Elektronen Laser f. weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL)	148 Mio.	national
Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS)	1390 Mio.	europäisch
Hochfeldmagnetanlage f. Strukturuntersuchungen mit Neutronen	49 Mio.	national
Europ. eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis)	250 Mio.	europäisch



Wedig von Heyden ist Generalsekretär des Wissenschaftsrates

standardisierter Form zugeleitet worden, bei deren Beantwortung die Initiative umfassend zu beschreiben war. Jede Begutachtung folgte identischen Abläufen: nach Eingang der Antworten fand der Ortsbesuch der Unterarbeitsgruppe bei einer Einrichtung statt, die die Initiative maßgeblich trägt; während dieser Ortsbesuche wurden eingehende Gespräche mit leitenden Wissenschaftlern und kooperierenden Einrichtungen, wissenschaftlichen Mitarbeitern sowie Beiräten geführt; in der Schlussphase wurden die Auffassungen der Gutachter gemäß den maßgeblichen Kriterien zusammengefasst.

Von entscheidender Bedeutung für die weiteren Verfahrensschritte ist vor allem, dass der Entwurf der Stellungnahme (insbesondere die *Main findings and recommendations*) als Ergebnis der fachlichen Begutachtung durch die Unterarbeitsgruppe jeweils rechtzeitig an sämtliche Mitglieder der Unterarbeitsgruppe mit der Bitte um Prüfung, ggf. Mitteilung von Änderungswünschen binnen einer zweiwöchigen Frist gesandt wurde. Damit hatte jeder Gutachter Gelegenheit, den Text zu prüfen.

Die anschließende wissenschaftspolitische Bewertung der Großgeräte durch das Steering Committee baute zwar auf der Begutachtung der wissenschaftlichen Qualität der einzelnen Großgeräte auf, wie sie durch die abgeschlossenen Begutachtung der sechs Unterarbeitsgruppen dokumentiert war, betrachtete darüber hinaus aber sowohl korrespondierende als auch zusätzliche Aspekte wie:

- ▶ das wissenschaftliche Potenzial des Forschungsprogramms (Potenzial an besonders hohem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn, Würdigung der wissenschaftlichen „Vision“),
- ▶ die Gewährleistung, dass die gewünschten Erkenntnisse mit dem Großgerät in bestmöglicher Weise erreicht werden können, d. h.

Nachweis, dass der angestrebte Erkenntnisgewinn nicht andernorts mit vorhandenen oder anderen geplanten Geräten auf womöglich weniger kostenintensive Weise erreicht werden kann,

- ▶ die Kongruenz mit den langfristigen Entwicklungsperspektiven des entsprechenden Fachgebietes,
- ▶ der Reifegrad des technischen Konzeptes und damit verbunden die mögliche zeitliche Realisierung

der einzelnen Großgeräte, ▶ die Erfüllung von wissenschafts- und technologiepolitischen Zielen entsprechend den formulierten Thesen.

Den Mitgliedern des Steering Committees wurden die abgestimmten Stellungnahmen aus allen fachlichen Begutachtungen zur Verfügung gestellt. Die in der letzten Sitzung abschließend gebilligte wissenschaftspolitische Bewertung bezog auf diese Weise die fachlichen Begutachtungen ein, erweiterte diese aber verfahrensgemäß um die vergleichende Perspektive.

Im Falle der Europäischen Spalationsneutronenquelle fand der am 24. April 2002 an die Mitglieder der Unterarbeitsgruppe versandte Entwurf große Zustimmung. Nachweislich stimmte die überwiegende Mehrheit der Mitglieder der Unterarbeitsgruppe (dreizehn von sechzehn) den zentralen Aussagen des Entwurfs zu (darunter auch fünf von den sieben, die sich später distanzieren). Dabei waren Nichtäußerungen als Zustimmung zu werten. Der Vorwurf, die Gutachter hätten den Entwurf der Stellungnahme nicht gekannt oder nur unzureichend zur Kenntnis nehmen können, ist daher nicht nachvollziehbar. Er deckt sich nicht mit dem jederzeit dokumentierbaren Verlauf dieser Phase der Begutachtung. Das Übersendungsschreiben enthielt den klaren Hinweis, sich bis um 10. Mai 2002 abschließend zu äußern. Mit dieser Abstimmung war die Erarbeitung der Stellungnahme der Unterarbeitsgruppe abgeschlossen. Die parallele Übersendung des Entwurfs für die Beratungen im Wissenschaftsrat im Juni 2002 diente dann der Information der Mitglieder der Unterarbeitsgruppe. Der im Physik Journal erhobene Vorwurf<sup>(#)</sup>, aus dem Anschreiben im Juni sei nicht hervorgegangen, bis wann Änderungswünsche hätten eingereicht werden müssen, greift somit ins Leere.

Im Ergebnis verständigte sich das Steering Committee auf die bekannte Aufteilung in drei Gruppen. Nach der einstimmigen Verabschiedung der „Stellungnahme zu neun Großgeräten“ im Wissenschaftsrat ist auch für keines der Vorhaben der dritten Gruppe „die Tür zugeschlagen“, zumal der Wissenschaftsrat im Falle der ESS in seiner Stellungnahme die Bedeutung der Neutronenstreuung hervorgehoben hat.

Nach Behebung der Vorbehalte und Berücksichtigung der spezifischen Empfehlungen ist eine erneute Begutachtung und Bewertung durch den Wissenschaftsrat möglich. Ich würde es begrüßen, wenn sich das Augenmerk der aktuellen Auseinandersetzung hierauf konzentrieren würde. Der Wissenschaftsrat jedenfalls ist hierzu bereit.

WEDIG VON HEYDEN

## Auch über den eigenen Tellerrand schauen

Was waren das noch für Zeiten: als ein theoretischer Physiker nur Papier und Bleistift für seine Forschung brauchte und der Experimentalphysiker sich die Apparate für seine Experimente und Untersuchungen vom zuständigen Referenten des Kultusministeriums bei seinen Berufungsverhandlungen genehmigen ließ oder sie in der Institutswerkstatt selber baute.

Das änderte sich mit der rapiden Entwicklung der Computer und dem Bau der Beschleuniger für die Kern- und Elementarteilchenphysiker. Theoretiker wie Experimentatoren empfanden Großgeräte bald nicht mehr als außergewöhnlich. Genehmigt wurden sie in den fünfziger Jahren meistens von Verwaltungen oder den Politikern, die mehr oder weniger „freihändig“ über den Bau oder die Anschaffung von Großgeräten befanden.

So war es der bayerische Ministerpräsident, der zusammen mit dem damaligen Atomminister Franz-Josef Strauß entschied, in Garching einen Forschungsreaktor zu bauen. Oder: Bei der Berufung von Willibald Jenschke aus den USA auf einen Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Hamburg kam es entscheidend auf das Votum des zuständigen Unterabteilungsleiters im Atomministerium, Alexander Hocker, an. Er war es, der über den Bau von DESY in Hamburg befand, nachdem er den Arbeitskreis für Kernphysik, dem damals Werner Heisenberg vorsah, konsultiert hatte. Zur Finanzierung einer großen Apparatur durch das Atomministerium in Bonn reichte Maier-Leibnitz' lapidare Begründung aus: „Das kost' s halt“.

Aber es blieb nicht bei den Atomphysikern, die für ihre Untersuchungen kostspielige Apparate benötigten, sondern viele Arbeits-

bereiche der Wissenschaft kamen hinzu: die Astronomie, die extraterrestrische Forschung, die Meteorologie, die Festkörperforschung, die Materialforschung, die Chemie, die Biologie, ja auch die Sozial- und Geisteswissenschaften.

In den sechziger Jahren setzte sich mehr und mehr die Einsicht durch, dass es nicht ausreichte, wenn Entscheidungen über große Investitionen allenfalls nach Rückfragen bei speziellen Fachleuten oder Fachgremien nur von der Verwaltung getroffen wurden. Eine übergreifende vergleichende Begutachtung zwischen den einzelnen Fachgebieten wurde für notwendig gehalten.

Das für die Forschung zuständige Bundesministerium – sein Name wechselte im Laufe der Legislaturperioden – setzte hierfür jeweils einen Ausschuss ein, der die verschiedenen Anträge für Großgeräte begutachten sollte. Dabei war klar, dass ganz unterschiedliche Fachgebiete in ihren Anforderungen und ihren Qualitäten zu vergleichen waren. Aber mit diesem Verfahren wurde dem Anspruch nach Selbst-

verwaltung der Wissenschaft ganz sicher Rechnung getragen. Es waren Wissenschaftler, die bereit waren, die Verantwortung für solche Empfehlungen zu übernehmen.

Natürlich war klar, dass die letzte Entscheidung bei den Parlamenten und der Politik liegen würde, doch sollte die sich durch die Prioritätsempfehlungen gebunden fühlen.

Ein Gutachtergremium, das nicht nur aus direkt Betroffenen besteht, sollte zwischen Wissenschaftlern einerseits sowie Verwaltung und Politik andererseits vermitteln. Es muss versuchen, die Vorschläge der Wissenschaftler zu verstehen, wobei die Gutachter keine höhere Kompetenz als die Fachleute beanspruchen können. Darüber hinaus darf es den Zusammenhang der Vorschläge mit der gesamten Grundlagenforschung nicht aus den Augen verlieren. Dabei ist notwendig, auch Planungsgesichtspunkte wie Standort und zeitlicher Ablauf zu prüfen und zu ergänzen.

Der erste Ausschuss im Jahre 1975 unter dem Vorsitz von Heinz Maier-Leibnitz hatte über sechs Vorschläge zu urteilen, die aus dem

Bereich der Hochenergiephysik, der extraterrestrischen Forschung und der Astronomie kam. Nach eingehender Prüfung legte der Ausschuss eine Prioritätenliste vor.

Eine noch größere Palette von Projekten hatte der zweite Ausschuss im Jahre 1982 unter der Leitung von Klaus Pinkau zu begutachten. Zu den drei Projekten der Neutronenforschung kamen Projekte der Schwerionenforschung, der Elementarteilchenphysik, der Forschung mit Synchrotronstrahlung sowie ein Forschungsschiff und die kontinentale Tiefbohrung hinzu. Auch hier wurde eine Prioritätenliste aufgestellt.

Im Jahre 1990 setzte das Bundesministerium für Forschung und Technologie wiederum ein Gutachtergremium ein, diesmal unter dem Vorsitz von Siegfried Großmann. Aber dieses Mal betraf der Auftrag nicht die Begutachtung von Anträgen auf Großgeräte, vielmehr sollte die gesamte Förderung der Grundlagenforschung betrachtet werden. Zwar lagen auch diesmal wieder eine ganze Reihe von Vorschlägen für neue Großprojekte vor, weil dies



**Prof. Dr. Reimar Lüst, Max-Planck-Institut für Meteorologie**



nicht sein Auftrag war, stellte der Ausschuss jedoch keine Prioritätenliste auf.

Nach einem weiteren Jahrzehnt war es im Jahre 2000 wieder an der Zeit, über zahlreiche Anträge auf Großgeräte zu entscheiden. Ich habe es sehr begrüßt, dass die Bundesministerin für Bildung und Forschung nicht wieder eine spezielle Kommission dafür einsetzte, sondern das in der Bundesrepublik dafür am besten geeignete Gremium, den Wissenschaftsrat, bat, Stellung zu nehmen und damit auf ein bewährtes Verfahren zurückgriff. Der Wissenschaftsrat hatte sich auch schon in früheren Jahren zu Entwicklungen einzelner Großgeräte, zum Beispiel im Bereich der Radioastronomie und der optischen Astronomie, geäußert.

Mit der Stellungnahme zu neun Großgeräten der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung und zur Weiterentwicklung der Investitionsplanung von Großgeräten hat der Wissenschaftsrat in sehr überzeugender Weise seinen Auftrag wahrgenommen. Auch die jetzt kritisierte Verfahrensweise ist meines Erachtens sachgemäß und effektiv.

Nun ist es keineswegs ungewöhnlich, dass Empfehlungen des Wissenschaftsrats nicht auf ungeteilten Beifall stoßen. Denn natürlich kann es auch unter Wissenschaftlern in Fragen der Förderung von Wissenschaft und Forschung unterschiedliche Positionen geben. So wurden auch die Prioritätenlisten des Maier-Leibnitz- und des Pinkau-Ausschusses von den Betroffenen diskutiert und zum Teil kritisiert. Gerade die Empfehlungen des Pinkau-Ausschusses zur Neutronenforschung wurden von den Fachleuten kontrovers aufgenommen. Aber nie wurden einzelne Ausschussmitglieder attackiert oder ihnen Fehlverhalten vorgeworfen, und ich kann mich nicht erinnern, dass es damals unzutreffende Unterstellungen gab.

Ich glaube, dass sich die Verfechter der Europäischen Spallationsneutronenquelle (ESS) keinen Gefallen tun, wenn sie die Kompetenz des Wissenschaftsrates und seiner Gremien in Frage stellen und dabei den entsprechenden Ausschussvorsitzenden angreifen. Viel fruchtbarer wäre es, wenn die ja durchaus positive Stellungnahme von ihnen weiterverfolgt würde. Von den Elementarteilchenphysikern können sie lernen, wie wissen-

schaftspolitische Entscheidungen auf allen Ebenen vorbereitet werden.

Ich traue mir kein Urteil über die angemessene Förderung der Materialforschung zu. Beim unbefangenen Lesen gerade dieses Abschnitts der Stellungnahme ergeben sich für mich aber zahlreiche Anregungen für die Fortentwicklung des wissenschaftlichen Programms der ESS. Eine Ablehnung der Neutronenforschung kann ich daraus nicht entnehmen.

Bei der Entwicklung und Aufstellung von Programmen und Projekten der Weltraumforschung habe ich gelernt, dass es dabei immer wieder Gewinner und Verlierer gibt. Angesichts der begrenzten finanziellen Mittel muss das jeder akzeptieren. Das gleiche gilt für die viel umfassenderen Bereiche der Grundlagenforschung. Natürlich hält jeder sein Gebiet für das wichtigste. Aber jeder sollte doch die Bereitschaft haben, auch über den eigenen Tellerrand hinauszuschauen.

REIMAR LÜST

## Zur Zukunft der Forschung mit Neutronen

Kurz bevor sich die Bundesbürger in die wohlverdienten Sommerferien 2002 begeben haben, sorgte die Stellungnahme des Wissenschaftsrats zu neun Großprojekten für Aufregung. In der Sprache der ZEIT präsentierte die „Notenkonferenz“ schlechte Ergebnisse für die „European Spallation Source“ (ESS). Um das Verfahren dieser „Notenkonferenz“ soll es in diesem Beitrag jedoch nicht ein weiteres Mal gehen.

Worum geht es stattdessen? Seit einer Reihe von Jahren arbeitet eine große Anzahl von Forschern in Europa an den technischen und wissenschaftlichen Konzepten eines neuen Flaggschiffes für die Forschung mit Neutronen, der ESS. Mit den Pulsen von zwei 5-MW-Protonenbeschleunigern werden die Kerne in Schwermetalltargets „aufgeheizt“ und Neutronen „abgedampft“. Um zwei Targetstationen für kurze und lange Pulse gruppieren sich Instrumente, die für aktuelle Fragestellungen aus vielen Bereichen der Natur- und Ingenieurwissenschaften optimiert sind. Gegenüber bestehenden Neu-

tronenquellen resultieren z. T. erhebliche Intensitätsgewinne. Insbesondere, wenn die Vorteile von Flugzeitmethoden – die ESS ist eine gepulste Quelle! – voll ausgeschöpft werden können, steigen diese Gewinnfaktoren (gegenüber den beiden weltbesten Quellen am Institut Laue-Langevin, ILL, und am Rutherford Laboratory, ISIS) auf Werte bis über 100. Warum wird die Quelle nicht unmittelbar gebaut? Nun, das Kostenvolumen ist mit ca. 1,6 Milliarden Euro von erheblicher Größe, und die anderen acht Vorhaben, z. B. TESLA, stehen in Konkurrenz. Außerdem war von Anfang an klar, dass es sich um ein europäisches Vorhaben handelte. Einigungsprozesse auf europäischer Skala sind bekanntlich deutlich schwieriger als solche auf nationaler Ebene. Derweil gibt es in Nordamerika und Asien bereits positive Entscheidungen zum Bau von Spallationsquellen: Die „Spallation Neutron Source“ SNS in Oak Ridge, USA, ist seit drei Jahren im Bau, und in Japan wird mit dem Bau der JSNS begonnen.

Der Wissenschaftsrat hat nun ein nationales Votum zu einem europäischen Vorhaben abgegeben. Aus meiner Sicht ist diese Vorgehensweise prinzipiell durchaus wünschenswert und richtig: zum einen ist die zentrale Projektgruppe der ESS am Forschungszentrum Jülich angesiedelt, zum anderen gibt es ein besonderes Engagement herausragender Neutronenforscher aus deutschen Instituten. Außerdem stammen zwei von fünf vorliegenden Standortvorschlägen für die ESS aus Deutschland. Allerdings bleibt der europäische Kontext dominierend, und im Votum der deutschen Neutronenforscher rangiert die Realisierung der ESS in ihrer Priorität vor dem Wunsch nach einem deutschen Standort. Ganz Europa benötigt im Jahr 2015 oder allerspätestens 2020 eine Neutronenquelle vom Zuschnitt der ESS!

Die Stellungnahme des Wissenschaftsrats läuft dem entgegen. Sie lässt sich auf zwei Grundaussagen reduzieren:

► Der Scientific Case für die ESS wird nicht als hinreichend zukunftsweisend angesehen. Erstaunlicherweise ist diese Kritik besonders massiv beim Thema „Soft Matter“, wo bis heute zahlreiche Beiträge von höchster wissenschaftlicher Qualität und Bedeutung erschienen sind.

Der Astrophysiker Prof. Dr. Reimar Lüst war ab 1963 Direktor des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik in Garching und Professor bei den Münchner Universitäten. Als Wissenschaftsmanager war er Vorsitzender des Wissenschaftsrates (1969–1972), Präsident der Max-Planck-Gesellschaft (1972–1984), Generaldirektor der Europäischen Weltraumorganisation ESA (1984–1990) sowie Präsident der Alexander-von-Humboldt-Stiftung (1989–1999).

► Neutronen werden in den nächsten Jahren durch konkurrierende Methoden abgelöst. In den Formulierungen des WR wird die Sequenz „in der Vergangenheit haben die Neutronen ...“ sehr akzentuiert eingesetzt, dagegen keine nachhaltige Begründung für diese Wertung gegeben.

Keine der beiden Grundaussagen kann unwidersprochen bleiben. Die Tragweite der zweiten Aussage ist jedoch besonders groß. Wenngleich auf sehr dünnen Argumentationspfeilern, schadet sie allen Neutronennutzern ungemein und ist eine Ohrfeige für die amerikanische und japanische Wissenschaftspolitik, die sich beide für Spallationsquellen entschieden haben. Auch für die europäischen Partner muss diese Aussage völlig unverständlich bleiben: schließlich haben elf europäische Länder mit großem personellem und materiellem Einsatz jahrelang an der Realisierung des Projekts gearbeitet!

Im Folgenden seien zunächst einige wissenschaftliche Aspekte zur Nutzung von Neutronen in der Forschung angesprochen und dann auf die gegenwärtige Situation der Neutronenforschung – vor allem in Deutschland – eingegangen.

Neutronen spielen aufgrund ihrer einzigartigen Eigenschaften (Ladungsneutralität; magnetisches Moment; Energie-Impuls-Beziehung; großer Streuquerschnitt für leichte Elemente wie z. B. Wasserstoff und Sauerstoff) eine äußerst wichtige wissenschaftliche Rolle. Zum Beispiel hat die Tatsache, dass Neutronen als Elementarmagnete die mikroskopische Information von vielfältigen Probensystemen – nach dem Streuprozess – in die Detektoren transportieren, zu einer gewaltigen und anhaltenden Entwicklung von Polarisationsmethoden geführt. Dies wiederum ermöglicht breitbandig viele neue Experimente. Während die Pioniere der Neutronenforschung fast ausschließlich auf dem Gebiet der Festkörperphysik tätig waren, wurden schon im Zuge der Nobelpreisverleihung 1994 an Shull und Brockhouse die bedeutenden Beiträge aktiver Neutronenforscher zu weiten Bereichen der Material- und Lebenswissenschaften angesprochen. Experimente mit Neutronen schließen heute sogar Felder wie die Teilchenphysik oder die Kunstgeschichte mit ein. Natürlich muss dies nicht immer so bleiben. Nach An-

sicht des Wissenschaftsrats werden Experimente mit Kernspinresonanz (NMR) und Synchrotronstrahlung der Neutronenforschung in Zukunft so weit das Wasser abgraben, dass die Notwendigkeit einer Investition in eine leistungsfähige neue Neutronenquelle nicht ausreichend belegt ist. Im Folgenden sollen anhand zweier Beispiele Gegenargumente zu dieser Auffassung aufgeführt werden.

Was sind die Themen und Gebiete der Zukunft? Und welche Rolle werden die Neutronen in 10 oder 15 Jahren spielen? Die weiter unten diskutierten Beispielfelder greifen viele Teilaspekte einer Gesamtbeurteilung auf. Andere Aspekte sind in mehreren zeitintensiven, internationalen Veranstaltungen von Wissenschaftlern der verschiedensten Gebiete zusammengetragen und schriftlich niedergelegt worden.<sup>1)</sup> Der Scientific Case der ESS gründet auf Beiträge auf vielen Gebieten, dem möglichen Einsatz erheblich kleinerer Proben als bisher nötig, einer außerordentlich verbesserten Situation beim Signal-Untergrund-Verhältnis. Die Konzentration der Aussagen im Scientific Case auf ein spannendes Zentralthema (z. B. Higgs-Boson bei TESLA) würde bei der ESS viel zu kurz greifen, da die Forschung an kondensierter Materie die Erforschung der „unendlich vielen Phänomene“ bedeutet und die ESS unersetzbare Beiträge für so unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen wie Festkörperphysik, Materialwissenschaften, Chemie, Weiche Materie, Geo-, Lebens- und Ingenieurwissenschaften, Hadronen- und Hochenergiephysik etc. liefern wird: Kein anderes der Großprojekte wird so viele unterschiedliche Disziplinen bedienen. Deshalb wäre es nicht sachdienlich, die Darstellung auf einige wenige derzeit besonders zukunfts-trächtig angesehene Themen zu beschränken. Natürlich muss der Scientific Case sich bei einer Inbetriebnahme der ESS, die ca. acht Jahre nach Baubeginn liegt, stetig weiterentwickeln. Das ist selbstverständlich, und manche Überraschung ist noch zu erwarten. Heinz Maier-Leibnitz war sich sicher, dass Intensitätsgewinne von einer Größenordnung oder mehr auf jeden Fall neue Wissenschaft garantieren. Für die Neutronenforschung, einer inhärent intensitätslimitierten Methode, gilt das ganz besonders.

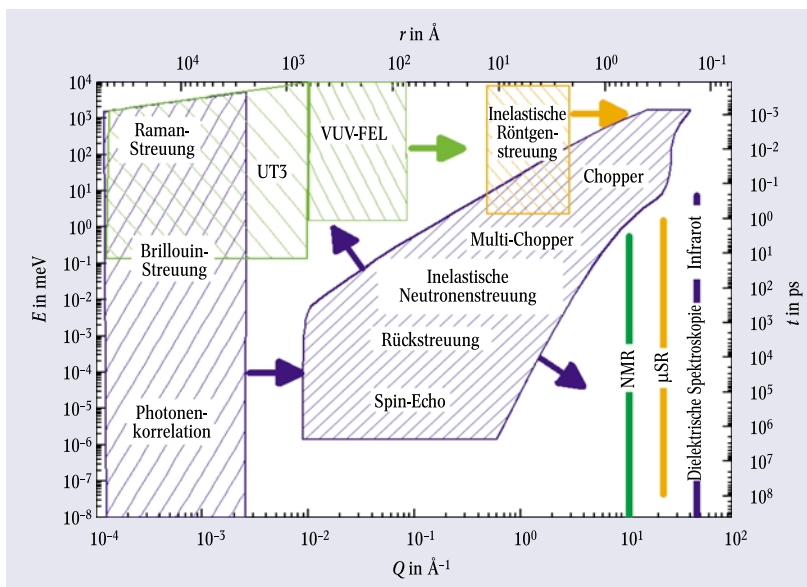
### Neutronen für hochkorrelierte Elektronensysteme

Zwei Beispiele aus recht unterschiedlichen Bereichen sollen die Möglichkeiten schildern und einige Methoden vergleichen.<sup>2)</sup> Das erste stammt aus der Festkörperphysik, wo sich hochkorrelierte Elektronensysteme wie z. B. die Schwerfermionen-Verbindungen, die Hochtemperatur-Supraleiter oder die extrem hohe Magnetwiderstände aufweisenden Manganverbindungen in den letzten Jahren als zentrale Herausforderung erwiesen haben. Die ungewöhnlichen makroskopischen Eigenschaften dieser Materialien liefern nur indirekte und unspezifische Informationen über die elektronischen Korrelationen, auf denen das theoretische Verständnis der jeweiligen Effekte beruht. Daher liegt die Schnittstelle zwischen Theorie und Experiment auf mikroskopischer Ebene, und im Hinblick auf elektronische Korrelationen sind die mikroskopischen magnetischen Eigenschaften besonders aufschlussreich. Magnetische Strukturen von Festkörpern lassen sich mittels Neutronenbeugung routinemäßig und völlig ohne Modellvorgaben bestimmen. Dasselbe gilt für die magnetische Dynamik, wobei sich bisherige Experimente im Wesentlichen auf die kollektiven Moden magnetisch geordneter Systeme beschränkt haben. Durch ihren im Vergleich zu jetzigen Neutronenquellen bis zu zwei Größenordnungen erhöhten Neutronenfluss würde die ESS qualitativ neuartige Experimente an den Anregungskontinua metallischer Systeme ermöglichen. So könnte an ESS-Spektrometern die energie- und impulsabhängige magnetische Suszeptibilität auch in Metallen über die gesamte Brillouin-Zone hinweg bis hin zur Fermi-Energie bestimmt werden. Daten dieser Art enthalten eine Unmenge spezifischer Informationen über die elektronische Struktur metallischer Systeme und würden eine qualitativ neue Grundlage für Modellrechnungen bilden. Wichtige Beiträge zur Aufklärung des Mechanismus der Hochtemperatur-Supraleitung wurden bereits geleistet und weitere werden dringend gebraucht.

Könnte ähnliches auch mit den vom Wissenschaftsrat erwähnten alternativen Techniken geleistet werden? NMR-Techniken liefern wertvolle Informationen über elektronische Korrelationsfunktionen in

Festkörpern, deren Interpretation jedoch eine detaillierte Kenntnis der materialspezifischen Hyperfeinwechselwirkung voraussetzt. Diese wiederum ist zumindest bei den zur Zeit im Vordergrund stehenden komplexen Materialien nicht eindeutig mess- und bestimmbar. Doch selbst nach einer noch ausstehen-

Bestimmung von Magnonenspektren oder gar Spinflip-Kontinua in Metallen mittels inelastischer Röntgenstreuung ist zwar (im Gegensatz zur NMR) nicht physikalisch unmöglich, doch ist daran wegen der extrem geringen Streuintensität kaum zu denken. Forschung benötigt meiner Überzeugung nach



Eine Einordnung der Neutronenstreuung und anderer Methoden im Energie- und reziproken Raum (Streuvektor) zeigt die Komplementarität der verschiedenen Methoden. Die ESS sowie der FEL/XFEL würde die Bereiche wie mit den Pfeilen angedeutet erweitern (Abb.: ESS).

den Revolution bei der *ab initio*-Berechnung von Hyperfein-Parametern bliebe NMR auf die durch die nuklearen Larmor-Frequenzen vorgegebene Energieskala beschränkt, die um Größenordnungen unter dem für elektronische Korrelationseffekte charakteristischen (und von der inelastischen Neutronenstreuung abgedeckten) Energiebereich liegt. Zwar ergänzen sich beide Techniken bei vielen festkörperphysikalischen Fragestellungen, doch von einem Verdrängungswettbewerb zuungunsten der Neutronenstreuung kann keine Rede sein.

Die Synchrotronstrahlung liefert ebenfalls eine Vielfalt von wichtigen Informationen über den Festkörpermagnetismus, doch der im Vergleich zur Ladungsstreuung sehr kleine magnetische Streuquerschnitt stellt eine natürliche Grenze dar, die auch künftig schwer zu überschreiten sein wird. Unbestritten ist, dass sich mit der resonanten Röntgenstreuung neue spannende Felder auf dem Gebiet des Magnetismus geöffnet haben. Magnetische Strukturbestimmungen mit Röntgenstrahlung (zuma an Pulverproben) sind jedoch mit größten Schwierigkeiten verbunden und werden die Neutronenbeugung in absehbarer Zukunft keinesfalls ersetzen können. Eine quantitative

immer ein ganzes Bündel von Methoden, das heißt methodische Komplementarität. Die Forschung mit Neutronen hat das schon seit vielen Jahren so gehandhabt.

### Neutronen in der Biomaterialforschung

Ein zweites Forschungsfeld, das sich in jüngster Zeit explosionsartig entwickelt hat, ist die Biomaterialforschung. Man kann leicht vorher sagen, dass der Bedarf an Neutronen zur Erforschung komplexer biologischer und synthetischer weicher Materialien in Zukunft gewaltig zunehmen wird. Biologische Materialien wie Membranen, intrazelluläre makromolekulare Netzwerke, Muskel oder Gewebe sind hierarchisch aufgebaute, selbstorganisierende Vielkomponentensysteme. Ihr Verhalten wird durch das Zusammenwirken vieler molekularer Spezies bestimmt, deren physikalische Eigenschaften und Funktionen sich oft fundamental von denen der Einzelkomponenten unterscheiden. Nachdem molekulare biologische Maschinen bereits intensiv erforscht wurden, wird sich die biologische Physik in Zukunft immer mehr komplexen biologischen Funktionssystemen zuwenden, was neue Werkzeuge der Strukturforschung erfordert. Durch

1) z.B. „Engelberg-Report“ in Scientific Trends in Condensed Matter Research and Instrumentation Opportunities at ESS, Engelberg, CH, Mai 2001

2) B. Keimer, E. Sackmann und Ph. Withers, Science, vorauss. 18. Okt. 2002





Prof. Dr. Werner Press ist Associate Director des Institut Laue-Langevin in Grenoble, Physikprofessor an der Universität Kiel und war bis Oktober 2002 Vorsitzender des „Komitee Forschung mit Neutronen“.

die rapiden Fortschritte der Gentechnik wird es in wenigen Jahren möglich sein, fast jedes Protein rekombinant herzustellen und seine Funktion durch Mutationen gezielt zu verändern oder Proteine mit unterschiedlichsten Funktionen zu fusionieren. Durch Kombination mit organischen funktionellen Gruppen lassen sich biologische oder biomimetische Funktionssysteme auf Festkörpern oder elektrooptischen Bauelementen aufbauen. Dies ermöglicht den Aufbau völlig neuartiger biomimetischer Systeme auf mikroskopischen Skalen (wie z. B. smarte Biosensoren) oder die Entwicklung langzeitstabiler, adaptiver, biokompatibler Materialien für Transplantate. Dieses Gebiet der biomimetischen Materialforschung eröffnet ohne Zweifel ein breites interdisziplinäres Forschungsfeld der Zukunft mit weitreichenden Konsequenzen.

Hier liefert die Neutronenbeugung aufgrund der einmaligen Möglichkeiten der Kontrastvariation durch Isotopenmarkierung (z. B. partielle Deuterierung) ein ideales Werkzeug zur Untersuchung der genannten hierarchisch aufgebauten Vielkomponentensysteme. Im Gegensatz zur Röntgenbeugung ist sie praktisch zerstörungsfrei, was die Untersuchung von ganzen Zellen ermöglicht. Die Kombination der beiden Streumethoden verschafft den Zugang zur Untersuchung der Komponentenverteilung in komplexen Materialien. Die inkohärente Neutronenbeugung liefert in direkter Weise Korrelationen zwischen der molekularen Dynamik und der Architektur. Ein Nachteil der Neutronenbeugung mit konventionellen Neutronenquellen ist das Fehlen der Möglichkeit zur Miniaturisierung. Mit der ESS dagegen könnten wegen größerer Peakintensität mikroskopische Proben untersucht werden. Hinzu kommt die starke Verkürzung der Messzeit, die Untersuchungen dynamischer Veränderungen komplexer Strukturen mit sehr viel höherer Zeitauflösung als bisher ermöglichen würde. Wegen der Strahlenschädigung ist dies mit Röntgenbeugung meist nicht möglich. Nur mit Neutronen werden Untersuchungen in der natürlichen (wässrigen) biologischen Umgebung möglich sein!

Aus den genannten Gründen bin ich überzeugt, dass die Rolle der Neutronen noch zunehmen wird. Einen Verdrängungswettbewerb

zwischen den verschiedenen Methoden anzuzetteln wäre fatal. Natürlich wird man ihre Vor- und Nachteile nüchtern gegeneinander abwägen. Das Ergebnis solcher Abwägungen ist dann jedoch keine Schlichtaussage, vom Typ „in der Vergangenheit waren die Neutronen ....“, sondern die Markierung der Bereiche, in denen der Einsatz komplementärer Methoden am meisten Sinn macht. Die Abbildung auf S. 31 geht einen kleinen Schritt in diese Richtung.

In diesem Zusammenhang ist es ganz interessant, etwas statistisches Material aus der physikalischen Forschung zu betrachten. Ca. 60 neutronenbasierte Artikel erscheinen seit 1998 (Beginn der Computerecherche) jedes Jahr in Phys. Rev. Letters, gegenüber etwa 45 aus der Kernresonanz und etwa 100 aus dem Röntgenbereich (wohl überwiegend von Synchrotronstrahlungsquellen). Bei Phys. Rev. B ergibt sich ein ähnliches Bild mit einem Faktor zwei zugunsten der Neutronenmethode gegenüber der Kernresonanz. Es gibt also beileibe keine sichtbare Abwärtsspirale. Im Gegenteil, die Neutronen waren in diesem Frühjahr zweimal auf den Titelseiten von Phys. Rev. Letters zu finden.

### Die Situation in Deutschland und Europa

Abschließend sei noch kurz folgender Fragenkomplex angesprochen: Gibt es genügend Neutronenforscher und was ist die Situation der Neutronenstreuung in Deutschland und in Europa?

Die Zahl der Neutronenforscher in Deutschland wird alle drei Jahre bei der Erstellung der Wählerliste zum Komitee für Forschung mit Neutronen (KFN) ermittelt. Im Zusammenhang mit der gerade stattgefundenen Wahl gibt es daher eine „frische Zahl“ für 2002, die auch diesmal wieder in der Nähe von 1000 liegt (von denen etwa 40–50 % wählen). Natürlich nutzt nur ein Teil dieser Forscher ausschließlich Neutronen. Wir könnten hier zum Thema „Komplementarität“ zurückkehren. Eine Abschätzung der European Neutron Scattering Association (ENSA) liefert die Zahl von etwa 4000 Neutronenforschern für ganz Europa – am meisten (ca. 1200) in Großbritannien. Es gibt also viele und exzellente Nutzer von Neutronen auf unserem Kontinent. Dies begründet die weltweit akzep-

tierte Tatsache, dass Europa in der Forschung mit Neutronen (noch) führend ist.

Weniger rosig ist die aktuelle Entwicklung. Zwar hat das ILL Grenoble mit dem Millennium-Programm begonnen, Instrumente zu modernisieren und neu zu konzipieren, Neutronenleiter zu erneuern, etc. Auch sind spannende Instrumententwicklungen mit neuen Möglichkeiten bei ISIS (Oxfordshire) zu vermelden und z. B. ein aktives und erfolgreiches Nutzerprogramm am HMI (Berlin). In fast allen Fällen haben zu neuen wissenschaftlichen Ergebnissen auch Fortschritte bei der Instrumentierung beigetragen. Dringend notwendig ist jedoch eine Entwicklung auch der Neutronenquellen selbst: Seit Inbetriebnahme des ILL im Jahre 1972 ist der maximal erreichte Neutronenfluss weltweit nicht gesteigert worden. Darauf hat das KFN in seinem Strategiepapier vom September 1999 nachdrücklich hingewiesen.<sup>3)</sup> Jetzt gibt es zwei neue Projekte, die für die Neutronenstreuung in Deutschland und Europa wichtig sind, den Forschungsreaktor FRM II in Garching und die ESS. Der FRM II, der mit einem Fluss von ca.  $7 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s und einer modernen Instrumentierung national die führende Rolle übernehmen soll, ist betriebsbereit. Er hat aber noch keine Betriebsgenehmigung erhalten. Es ist wirklich zu hoffen, dass die bestehende Situation in allernächster Zeit zum Besseren gewendet wird.

Für die weitere Zukunft und auf europäischer Skala steht das ESS-Projekt bereit. Erst mit der ESS wird nach vielen Jahren ein gewaltiger Sprung in der Quellenstärke möglich. Eine Entscheidung gegen den Bau der ESS in absehbarer Zukunft wäre ein harter Schlag für die Forschung auf dem Gebiet der Physik und Chemie komplexer biologischer und technischer Materialien in Europa, auch der Ingenieurwissenschaften. Natürlich wären Untersuchungen an den neuen Quellen in den USA und Japan möglich – allerdings nur in sehr beschränktem Umfang. Die Europäer würden aber auf einem der wenigen Gebiete, auf dem sie stets führend waren, bald keine Rolle mehr spielen.

WERNER PRESS

3) Forschung mit Neutronen in Deutschland – eine Strategie für die nächsten 15 Jahre, Sept. 1999, [www.frm2.tu-muenchen.de/kfn/strategie/strategie.html](http://www.frm2.tu-muenchen.de/kfn/strategie/strategie.html)