

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Vorschlag eines Forschungs- und Ausbildungsprogramms (1979 bis 1983) der Europäischen Atomgemeinschaft auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion

»EG-Dok. R 31 75/78 ATO 86«

Das von der Kommission vorgeschlagene Programm umfaßt das gesamteuropäische Programm auf dem Gebiet der Kernfusion. Es ist auf der Grundlage der von der „Liaison Group“ (unterstützt von „Ad-visory-Groups“ und Sachverständigen) erteilten Empfehlungen unter Berücksichtigung der vorläufigen Stellungnahme des „Beratenden Ausschusses Fusion“ erarbeitet worden. In die Beratungen mit den assoziierten Organisationen war auch der Direktorenausschuß eingeschaltet.

Die Kommission dankt den Mitgliedern dieser Gremien für ihre Unterstützung bei der Erarbeitung eines Kompromisses zwischen ehrgeizigen technischen Vorschlägen und realistischen finanziellen Zwängen.

Inhalt

A) Begründung	3
I. Einleitung	
I.1 Die Kernfusion als Energiequelle	3
I.2 Der Gemeinschaftscharakter des Programms	3
I.3 Die Begründung für die Initiative der Kommission	3
I.4 Die Begründung für diesen Programmvorschlag	3
II. Der gegenwärtige Stand der Kernfusionsforschung	
II.1 Richtlinien	4
II.2 Wissenschaftliche und technische Situation	4
II.3 Weltweiter Rahmen	5
II.4 Situation in Europa	6
II.5 Zusammenfassung der wesentlichen Fortschritte während der ersten drei Jahre des laufenden Programms	11
III. Das vorgeschlagene Programm	
III.1 Erkenntnisse aus den langfristigen Planungsstudien	12
III.2 Die Ziele des Fünfjahresplans	12
III.3 Magnetischer Einschluß	13
III.4 Fusionstechnologie	18
III.5 Trägheitseinschluß	21
III.6 Zusammenfassung des vorgeschlagenen Programms	22
IV. Durchführung	
IV.1 Finanzielle Situation des Programms der Assoziationen für 1976 bis 1980	24
IV.2 Programmvorschlag für 1979 bis 1983	24
IV.3 Organisation	28
B) Vorschlag für einen Ratsbeschluß zur Festlegung eines Forschungs- und Aus- bildungsprogramms (1979 bis 1983) der Europäischen Atomgemeinschaft auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion	30
C) Stellungnahme des Ausschusses für Wissenschaft und Technik (AWT)	32
Stellungnahme des Beratenden Ausschusses Fusion (BAF)	33
D) Finanzbogen	34

Gemäß Artikel 2 Satz 2 des Gesetzes vom 27. Juli 1957 zugeleitet mit Schreiben des Chefs des Bundeskanzleramts vom 21. März 1979 – 14 – 680 70 – E – At 6/79.

Dieser Vorschlag ist mit Schreiben des Herrn Präsidenten der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vom 23. November 1978 dem Herrn Präsidenten des Rates der Europäischen Gemeinschaften übermittelt worden.

Die Anhörung des Europäischen Parlaments und des Wirtschafts- und Sozialausschusses zu dem genannten Kommissionsvorschlag ist vorgesehen.

Der Zeitpunkt der endgültigen Beschlußfassung durch den Rat ist noch nicht abzusehen.

A Begründung

KAPITEL I

Einleitung

I.1 Die Kernfusion als Energiequelle

Das langfristige Problem der Energiequellen auf weltweiter Ebene ist noch weit davon entfernt, gelöst zu sein. Die Kernfusion ist eine der sehr wenigen Quellen, die dieses Problem lösen oder einen wesentlichen Beitrag zu seiner Lösung leisten könnten. Der Ernst des Energieproblems für Europa braucht hier nicht betont zu werden. Angesichts des hohen Energieverbrauchs pro Gebietseinheit sowie der geographischen Lage und des Klimas Europas ist der potentielle Nutzen Europas aus der Kernfusion besonders groß.

Die Entwicklung von Fusionsreaktoren ist ein langer, komplexer und kostspieliger Prozeß, und sein Erfolg kann angesichts des jetzigen Standes der Wissenschaft nicht als gesichert angesehen werden. Aufgrund der Bedeutung des Endziels erscheinen die Kosten und Risiken jedoch nicht als unannehmbar. Die Kosten pro Jahr des derzeitigen Kernfusionsprogramms belaufen sich auf das Äquivalent von einem Tag des derzeitigen Ölverbrauchs in der Gemeinschaft.

Von diesen Erwägungen ausgehend begann die Europäische Gemeinschaft im Jahre 1958 mit einem Programm über die Kontrollierte Kernfusion und Plasmaphysik, dessen Ziel darin besteht, die Möglichkeit der Erzeugung nutzbarer Energie aus den Reaktionen zwischen leichten Kernen nachzuweisen. Dieses Programm soll zu gegebener Zeit zur gemeinsamen Konstruktion von Reaktor-Prototypen führen, mit dem Ziel ihrer industriellen Herstellung und ihrer Vermarktung. Das Potential der Fusionsenergie und der zu ihrer Verwirklichung erforderliche Aufwand müssen ständig neu bewertet werden, damit im allgemeineren Rahmen der Forschung und Entwicklung auf dem Energiesektor eine Grundlage für Planungsbeschlüsse vorhanden ist.

Angesichts des in den letzten Jahren bereits erzielten Fortschritts kann man vernünftigerweise damit rechnen, daß sich die wissenschaftliche Durchführbarkeit innerhalb der nächsten Jahrzehnte nachweisen lassen wird. Zur Erreichung dieses ersten Ziels dürfte die Fortführung und eine mäßige Intensivierung der jetzigen Anstrengungen ausreichen. Die nächsten Schritte sollten sodann im Nachweis zunächst der technischen Durchführbarkeit und dann der wirtschaftlichen Energieerzeugung bestehen. Aus den unabhängig voneinander von verschiedenen Sachverständigengruppen in der Welt durchgeführten Studien läßt sich erkennen, daß ein Demonstrationsreaktor etwa um die Jahrtausendwende gebaut werden könnte. Zu diesem Zweck ist es jedoch wesentlich, heute schon damit zu beginnen, die Probleme der technischen Durchführbarkeit zu lösen; hierzu sind verstärkte Anstrengungen auf dem Gebiet der Fusionstechnologie erforderlich.

I.2 Der Gemeinschaftscharakter des Programms

Bei dem Programm handelt es sich gemäß Ratsbeschluß um ein langfristiges gemeinsames Vorhaben, das alle in den Mitgliedstaaten durchgeführten Arbeiten über Kernfusion und Plasmaphysik zusammenfaßt; es wird von der Kommission anteilmäßig finanziert. Die Gemeinschaft war bisher in der Lage, die Schwierigkeiten bei der Aufstellung eines gemeinsamen Europäischen Fusionsprogramms auf dem Gebiet der Physik zu überwinden. Nun erfordern die erzielten Fortschritte die Inangriffnahme eines substantiellen Programms der Kernfusionstechnologie, bei dem die europäische Integration, wenn auch schwierig, so doch noch weit notwendiger ist als bei dem rein physikalischen Teil des Programms. Der Ratsbeschluß, die F & E-Arbeiten bis zum Fusionsreaktor auf europäischer Grundlage durchzuführen, war das Ergebnis langwieriger Verhandlungen; spezifische nationale Interessen auf dem Gebiet der Kernfusion sollten weiterhin in diesem Sinne betrachtet werden. Der Gemeinschaftscharakter des gesamten Programms muß betont werden, um eine zum Reaktor hinführende wirksame und wirtschaftliche Entwicklung zu gewährleisten. Eine solche Tendenz wurde durch die kürzliche Gründung des gemeinsamen Unternehmens JET, das in den kommenden Jahren der Brennpunkt des europäischen Programms sein wird, eindrucksvoll illustriert. Daß Europa in der Lage war, ein fortgeschrittenes Vorhaben von der Bedeutung des Joint European Torus in nur wenigen Jahren auf die Beine zu stellen, ist das Ergebnis der vorher unternommenen geduldigen Integrationsbemühungen mit den Assoziierten.

I.3 Die Begründung für die Initiative der Kommission

Seit seiner Gründung hat EURATOM sowohl Mittel als auch Personal zur Verfügung gestellt, um die Arbeiten in den Forschungsstätten der Mitgliedstaaten und ihre Integration in ein gemeinsames Programm zu fördern.

Die hauptsächlichen Gründe, die die Kommission bewegen haben, eine derartige Initiative zu ergreifen, sind:

- die Größenordnung der erforderlichen personellen und finanziellen Mittel; diese lassen eine Durchführung auf nationaler Ebene nicht angezeigt erscheinen;
- das Vorhandensein eines allen Mitgliedstaaten gemeinsamen Bedürfnisses;
- die lange Dauer der Anstrengungen (bis zum Ende dieses Jahrhunderts), bis der Reaktor existiert;
- das Vorhandensein eines großen Gemeinschaftsmarktes für den europäischen Reaktor, falls die Entwicklung zum Erfolg führt.

I.4 Die Begründung für diesen Programmvorschlag

Der Grundsatz des revolvierenden Programms (d. h. die Verabschiedung eines neuen Fünfjahresprogramms nach nur dreijähriger Laufzeit des vorhergehenden Programms) wurde von der Kommission 1975 vorgeschlagen, um die Kontinuität des Pro-

gramms zu sichern und erforderlichenfalls, seine Reorientierung zu ermöglichen, wenn dies angesichts der Entwicklung der wissenschaftlichen und technischen Situation angezeigt erscheint.

Der Ministerrat beschloß am 25. März 1976, daß „die Kommission dem Rat 1978 einen Vorschlag zur Revision unterbreitet mit dem Ziel, das gegenwärtige Programm ab 1. Januar 1979 durch ein neues Fünfjahresprogramm¹⁾ zu ersetzen“.

Der Wissenschaftliche und Technische Ausschuß betrachtete es in seiner Stellungnahme zum vorgeschlagenen Fünfjahres-Kernfusionsprogramm 1976 bis 1980 als „positiv im Rahmen der Absicht der Kommission, nach Durchführung der Hälfte des Programms eine Überprüfung vorzunehmen und ein revolutionäres Programm vorzusehen“ und „bat die Kommission, bei der Überprüfung besondere Aufmerksamkeit auf die Kernfusion durch Trägheitseinschluß sowie auf technologische Probleme zu legen“.

Die Kommission hält es aus folgenden Gründen für erforderlich, dieses neue Programm vorzuschlagen:

- a) die bei der Tokamak-Physik erzielten Fortschritte machen es möglich, neue spezifische Experimente durchzuführen, die für den weiteren Fortschritt notwendig sind;
- b) die vor kurzem entwickelten und erfolgreich getesteten Heizmethoden können nun auf bereits gebaute oder im Bau befindliche Einschlußvorrichtungen angewandt werden: es ist ein quantitativer Schritt bei den Anstrengungen auf dem Gebiet der Plasmatemperatursteigerung erforderlich;
- c) nachdem der Beschluß zum Bau des JET getroffen worden ist, erscheint es angebracht, die ersten Definitionsarbeiten für den nächsten Schritt in Angriff zu nehmen, um die Konstruktion im darauffolgenden Fünfjahresprogramm vornehmen zu können: dies bedingt eine entsprechende Anpassung der kurzfristigen Ziele des Programms und seines Inhalts;
- d) die entscheidenden fusionstechnologischen Probleme für die Tokamaklinie sind identifiziert worden; man beginnt bereits mit der internationalen Zusammenarbeit an zweien dieser Probleme (große Supraleiterspulen und die Auswirkungen des Neutronenbeschusses von Materialien): die Inangriffnahme eines Technologieprogramms mit dem Ziel der Lösung der Probleme des nächsten Schritts erscheint nunmehr als möglich und wünschenswert.

KAPITEL II

Der gegenwärtige Stand der Kernfusionsforschung

II.1 Richtlinien

II.1.1 Physik

Um bei Fusionsprozessen eine positive Energiebilanz zu erzielen, muß die Plasmatemperatur (genauer gesagt: die Iontemperatur) den Wert von 10 keV überschreiten; die Qualität der Plasmaeinschließung muß ebenfalls oberhalb bestimmter Grenzen liegen.

¹⁾ ABl. EG Nr. L 90 vom 3. April 1976, S. 12 und 13

Über das Produkt $n \cdot \tau$ von Plasmadichte „n“ und Einschlußzeit „ τ “ kann die Qualität der Plasmaeinschließung gemessen werden. Ein Fusionsreaktor erfordert $n \cdot \tau$ größer als 10^{14} Ionen pro cm^3 Sekunden. Das Problem bei der Fusionsforschung besteht demnach zunächst darin, diese Minimumwerte zu erreichen (physikalische Durchführbarkeit); dann darin, eine Maschine zu bauen, die alle technischen Probleme, wie sie in einem Reaktor auftreten werden, bewältigt (technische Durchführbarkeit); und schließlich darin, zu einem Reaktor zu gelangen, der Energie zu wettbewerbsfähigen Kosten produziert (wirtschaftliche Durchführbarkeit). Diese drei Punkte sind nicht unabhängig voneinander: wenn beispielsweise Experimente geplant werden, die die physikalische Durchführbarkeit zeigen sollen, so besteht natürlich größtes Interesse daran, alle Möglichkeiten, die Erfahrungen auf zukünftige Reaktoren zu übertragen, in Betracht zu ziehen.

II.1.2 Magnetischer und Trägheitseinschluß

Um die erforderlichen Werte von $n \cdot \tau$ zu erreichen, sind zwei entgegengesetzte Methoden denkbar:

- man kann einen relativ niedrigen Wert für die Plasmadichte nehmen und diesen für „lange“ Einschlußzeiten (in der Größenordnung von einer Minute) aufrechterhalten. Dieser Weg wird beim magnetischen Einschluß eingeschlagen. Hierbei schafft man ein Plasma großer Dimensionen (viele m^3) innerhalb eines bestimmten (häufig toroidalen) Volumens durch magnetische Felder, die durch starken Strom in außerhalb liegenden Spulen oder, im Fall der Tokamaks, im Plasma selbst erzeugt werden;
- man kann sehr hohe Plasmadichten für kurze Zeiträume (kürzer als ein Millionstel einer Sekunde) verwenden. Dies ist bei einem Trägheitseinschluß der Fall. Hierbei wird der Brennstoff Deuterium oder Tritium, der sich zunächst in einer kleinen (weniger als 1 cm) Hohlkugel befindet, komprimiert und dann sehr schnell mit starken Licht- (Laser), Elektronen- oder Ionenstrahlen geheizt. Während der freien Explosion des „Pellet“ ergeben sich Fusionsreaktionen des Brennstoffs. Die Dauer der Reaktionen wird nur durch die Trägheit kontrolliert; daher stammt die Bezeichnung „Trägheitseinschluß“;
- die bisherige Forschung hat gezeigt, daß dazwischenliegende Lösungen nicht sehr erfolgversprechend sind.

II.2 Wissenschaftliche und technische Situation

II.2.1 Magnetischer Einschluß

Der gegenwärtige Stand wird an der Entwicklung einiger fundamentaler Plasmaparameter in Tokamaks (einem besonderen, toroidalen Typ) während der letzten Jahre dargestellt (Abbildung 1 – A, B, C). In den Abbildungen sind auch die (bereits erwähnten) Mindestwerte angegeben, die zur Erreichung des Reaktorbereiches erforderlich sind. Es ist hervorzuheben, daß in der letzten Zeit eindrucksvolle Fortschritte bei dem Tokamak-System zu verzeichnen waren:

1. In Princeton wurde in der Apparatur PLT eine Ionentemperatur von 60 Millionen Grad (die der in einem Fusionsreaktor erforderlichen Temperatur ziemlich nahekommt) bei einer Dichte von $2 \cdot 10^{13}$ pro cm^3 erzielt. Dieses wichtige Ergebnis zeigt, daß die Furcht vor nachteiligen Wirkungen aufgrund hoher Ionentemperaturen (siehe III.3.1.3) unbegründet sein dürfte;
2. das günstige Skalierungsgesetz (siehe III.3.1.1) der Einschlußzeit τ (τ proportional der Plasmadichte und dem Quadrat des kleinen Plasmradius) ist in einem größeren Bereich von Parametern als gültig bestätigt worden, vor allem durch den bei 600 kA und 80 kG arbeitenden FT (Frascati) und den mit hoher Temperatur arbeitenden PLT (Princeton);
3. was die Beta-Werte angeht (siehe III.3.1.2), so sind in den Apparaturen T 11 (UdSSR) und Tosca (Culham) mittlere Werte von 2 v. H. erreicht worden. Ferner war es bei einem gegebenen toroidalen Magnetfeld möglich, den Plasmastrom in mehreren Vorrichtungen – Diva (Japan), Alcator (USA), TFR (Fontenay-aux-Roses) und T 11 (UdSSR) – stark zu erhöhen.

Zum größten Teil sind diese Fortschritte eine unmittelbare Folge des Einsatzes leistungstarker Zusatzheizungen.

Eine einfache Extrapolation der Fortschritte führt zu der berechtigten Hoffnung, daß der Reaktorbereich, gestützt auf die nächste Generation von Maschinen, kurz nach Beendigung des Fünfjahresprogramms erreicht wird. Damit soll nicht gesagt werden, daß irgendeine dieser Apparaturen selbst ein Reaktor sein wird; sie werden vielmehr Zugang zu neuen Plasmabereichen bei höheren Temperaturen schaffen, wodurch die erwarteten Skalierungsgesetze möglicherweise modifiziert werden könnten. Das unbekannte Verhalten von Plasmen, die Tritium enthalten und eine große Menge thermonuklearer Energie erzeugen, erfordert mit Sicherheit umfassende Forschungsarbeit. Außerdem müssen die hiermit zusammenhängenden Technologien vollständig entwickelt werden, ehe eine technische Durchführbarkeit erwiesen sein wird.

II.2.2 Trägheitseinschluß

Die jüngsten Ergebnisse sind sehr erfolgversprechend: symmetrische „Pellet“-Impllosionen wurden erreicht, die zu hohen Druckquotienten (etwa 1000) des Plasmas und zu thermonuklearen Reaktionen in nennenswertem Maß (10^9 pro Schuß) führten. Der beträchtliche Fortschritt in der Technologie der Laserfusion (siehe Abbildung 1 – D) und der Elektronenstrahlgeneratoren führt voraussichtlich zu einer schnellen Leistungssteigerung dieser Systeme. Im einzelnen ist folgendes zu sagen:

1. Laserfusion. Zwei Multistrahlsysteme arbeiten zur Zeit im Leistungsbereich über 10 TW: Shiva (Neodimium) in Livermore und Helios (CO_2) in Los Alamos. In naher Zukunft soll systematisch mit Teilchenimpllosionen bei voller Leistung gearbeitet werden. In Los Alamos befindet sich

Antares, ein CO_2 -Lasersystem von 100 TW, im Bau; die Fertigstellung ist für 1982 vorgesehen.

2. Elektronenstrahlen. Bei den Strahlführungstechniken sind signifikante Fortschritte erzielt worden, so daß die Konstruktion von Multistrahlsystemen möglich ist. Die 30-TW-Apparatur EBFA mit 20 Strahlen soll 1980 in Sandia (USA) betriebsbereit sein. Eine Apparatur mit 100 TW befindet sich im Kurchatov-Institut (Moskau) im Bau.

In den kommenden Jahren dürften sehr bedeutende Ergebnisse erzielt werden. „Breakeven“-Experimente zum Nachweis der physikalischen Durchführbarkeit sind für die Mitte der achtziger Jahre vorgesehen.

II.3 Weltweiter Rahmen

II.3.1 Haushaltspläne

In drei Jahren (1975 bis 1978) ist das jährliche amerikanische Fusionsbudget mehr als verdoppelt worden; 1978 hat es die 400-Millionen-Dollar-Grenze (für magnetischen und Trägheitseinschluß zusammen) überschritten. Die japanischen Anstrengungen sind beträchtlich verstärkt worden (um den Faktor 12 zwischen 1970 und 1976), sie machen jetzt etwa die Hälfte der europäischen Leistung aus. In der UdSSR, wo absolute Angaben schwierig zu bekommen sind, sind die Aufwendungen anscheinend weiterhin mit denen der USA vergleichbar.

II.3.2 Große Tokamaks

In Anbetracht des Fortschritts bei den Tokamaks, die ein Beispiel für magnetischen Einschluß sind, ist die Entwicklung dieser Linie schneller vorangeschritten als die anderen. Jedes Programm enthält, zusätzlich zu den Projekten mittlerer Größe, die Vorbereitung und den Bau eines großen Tokamaks, der zu Beginn des nächsten Jahrzehnts fertig sein soll (JET in Europa, TFTR in den USA, JT-60 in Japan, T 10 M in der UdSSR). Außerdem werden die technologischen, mit zukünftigen Reaktoren zusammenhängenden, Probleme überwiegend am Tokamak-System analysiert werden.

II.3.3 Andere magnetische Versuchsanordnungen

Die Aktivitäten in den Bereichen magnetischer Spiegel, Stellaratoren und Konfigurationen mit hohem Beta sind während der letzten Jahre relativ eingeschränkt worden. Die Amerikaner waren jedoch mit Spiegeln ziemlich erfolgreich, und führen ihre Bemühungen auf diesem Gebiet in hohem Maße fort, während sie größere Arbeiten an Stellaratoren eingestellt haben. Europa hat das Gegenteil getan: es hat die Spiegel aufgegeben und sich auf Stellaratoren (Wendelstein VII A in Garching ist der größte existierende Stellarator) und Konfigurationen mit hohem Beta konzentriert, so daß sich die Programme dieser Zusatzlinien ergänzen.

II.3.4 Trägheitseinschluß

Diese Forschungsrichtung stellt eine echte Alternative zu den Tokamaks dar. Obwohl es eine neue Richtung ist (Arbeiten in großem Maßstab begannen erst 1971), wird sie in den USA, in der UdSSR und

in Japan schnell ausgedehnt (der Aufwand stieg 1978 auf fast 30 v. H. des Fusionsbudgets der USA, nachdem er 1972 nur einen geringen Teil der amerikanischen Gesamtaufwendungen ausmachte). Hier sind noch viele Probleme ungelöst (z. B. die Wahl zwischen Laser- und Elektronen- oder Ionenstrahlen). Dennoch sind kritische Experimente für die frühen achtziger Jahre programmiert: beispielsweise sollte SHIVA-NOVA, ein in Livermore geplantes Experiment mit Laserstrahlen von 10^{14} Watt, noch vor JET betriebsfähig sein und könnte zu „break-even“-Zuständen führen.

II.3.5 Internationale Zusammenarbeit

- Weltweit hat ein zwangloser Informationsaustausch viele Jahre lang in sehr befriedigender Weise, besonders auf dem Gebiet des magnetischen Einschlusses, stattgefunden. Es muß betont werden, daß die assoziierten Laboratorien nur solange an diesem Informationsaustausch teilhaben können, wie das Fusionsprogramm der Gemeinschaft einen wesentlichen Beitrag zu den weltweiten Ergebnissen leistet. Das Ungleichgewicht, das sich aufgrund erhöhter amerikanischer Aufwendungen in den letzten Jahren ergeben hat, ist bereits spürbar. Offizielle Zusammenarbeit findet im Rahmen zweier Organisationen statt: der International Atomic Energy Agency (IAEA) und der International Energy Agency (IEA).
- Die Kommission ist im International Fusion Research Council der IAEA vertreten. Dadurch ist sie an der Organisation der Weltkonferenzen über Plasmaphysik und kontrollierte Kernfusionsforschung, an der Herausgabe der Zeitschrift „Nuclear Fusion“ und an anderen kooperativen Unternehmen, wie z. B. einer Jahreskonferenz über große Tokamaks, beteiligt. Neue, ehrgeizige Vorschläge sind kürzlich gemacht worden und werden geprüft.
- Im Rahmen der IEA ist die Kommission die „Leitorganisation“ im Bereich der thermonuklearen Fusionsforschung. Sie handelt im Namen ihrer Partner im Fusionsprogramm der Gemeinschaft beim Abschluß bestimmter Abkommen. Drei von dem Fusion Power Coordinating Committee der IEA vorbereitete Durchführungs-Abkommen sind in den letzten beiden Jahren abgeschlossen worden, nämlich auf den Gebieten der starken Neutronenquelle, der großen Spulen und der Plasma-Wand-Wechselwirkung (Textor). Außerdem fand drei Jahre lang ein periodischer Informationsaustausch über die sehr großen experimentellen Apparaturen (TFTR in den USA, JET in der Gemeinschaft und JT-60 in Japan) statt. Hinzu kam eine Reihe von Arbeitstagen über spezielle Konstruktionsprobleme.

II.4. Situation in Europa

II.4.1 Einführung

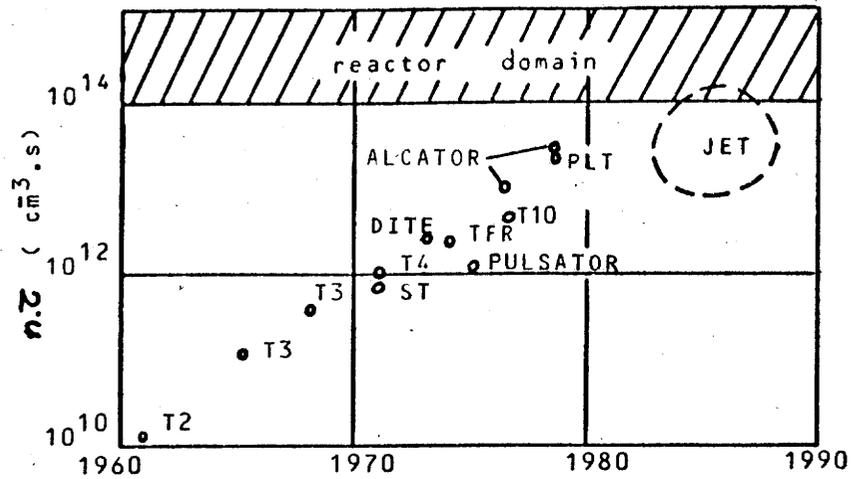
- Dies ist der fünfte Fünfjahresplan, der dem Rat vorgelegt wird. In Übereinstimmung mit der Entscheidung des Rates vom 25. März 1976 wird zum ersten Mal ein weiterer Plan gemacht, ob-

gleich der vorhergehende noch nicht drei Jahre läuft. Obwohl drei Jahre in der Forschung eine kurze Zeit sein können, sind, wie im folgenden gezeigt wird, eine Reihe von Aufgaben seit der Vorlage des letzten Plans so gut fortgeschritten, daß der Nutzen eines „gleitenden Programmes“ im Nachhinein gerechtfertigt ist.

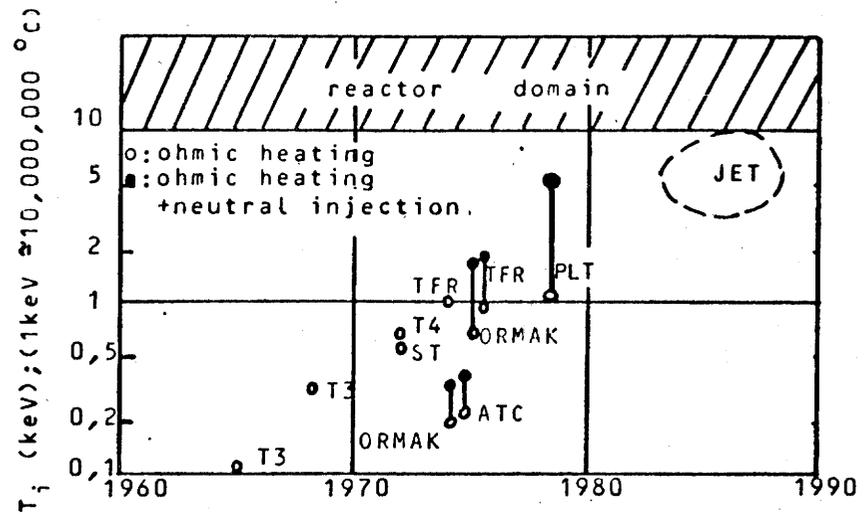
- Das Hauptziel der beiden letzten Pläne war es, die europäische Tokamak-Forschung auf einen international wettbewerbsfähigen Stand zu bringen. Dies Ziel ist vollständig erreicht worden: mit dem Bau von JET ist begonnen worden und durch eine zusätzliche Serie von Experimenten mittlerer Größe spielt Europa seit einigen Jahren eine führende Rolle in der Tokamak-Forschung. Andere Experimente laufen oder werden festgelegt.
- Innerhalb der Experimente mit magnetischem Einschluß befinden sich die Alternativversuche zu den Tokamaks (Stellaratoren, Konfigurationen mit hohem Beta, ...) auf einem angemessenen Stand. Im Verhältnis zu den Gesamtaufwendungen nimmt ihre Bedeutung ab.
- Methoden zur Plasmaaufheizung sind sehr erfolgreich entwickelt worden. Die Entwicklung von Aufheizungsverfahren nimmt einen großen und wachsenden Teil des Fusionsprogramms ein.
- Der Trägheitseinschluß stellt einen kleinen Teil der Gesamtaufwendungen dar.
- Es existiert ein verhältnismäßig kleines technologisches Programm, das dem jetzigen Maschinentyp und der nächsten Generation von Experimenten gewidmet ist und das den Fusionsreaktor als Endziel sieht. Dieses Programm wird im Augenblick erweitert, da ein wachsendes Interesse auf dem Gebiet der Supraleitfähigkeit besteht.

II.4.2 JET

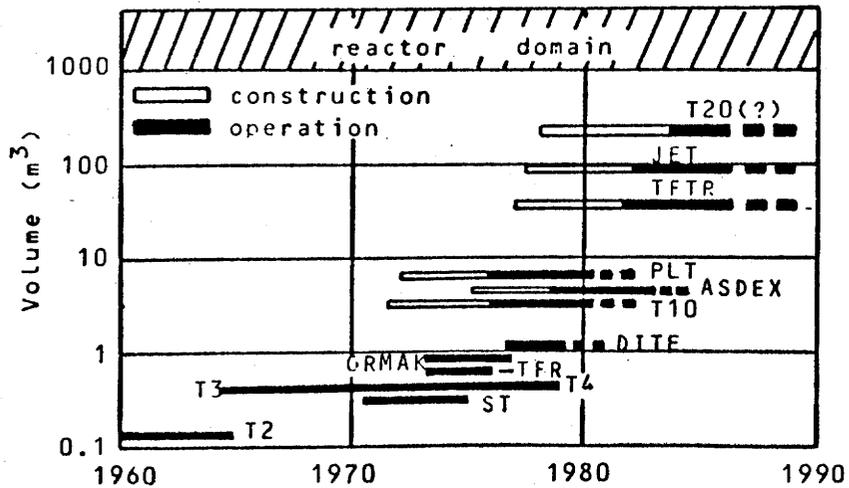
Mit der Wahl von Culham als Standort im Oktober 1977 konnte mit der Vorbereitung der Errichtung des Gemeinsamen Unternehmens JET begonnen werden. Nach Abschluß der vorbereitenden Arbeiten während einer Interimsphase wurde das Gemeinsame Unternehmen am 1. Juni 1978 errichtet und mit der Bauphase des Projektes begonnen. Es ist geplant, daß die Maschine 1983 oder bereits früher (siehe Paragraph III.3.2.1) für die Grundleistung betriebsfähig ist. Mit Ende der Interimsphase umfaßte der JET-Mitarbeiterstab etwa 50 Personen und die interne Organisation des Teams war festgelegt. Etwa 150 Verträge für spezifische Arbeiten bei der Durchführung des Programms wurden mit den Assoziationen abgeschlossen. Für Arbeiten, die durch Dritte (in den meisten Fällen durch die Industrie) durchgeführt werden, wurden etwa 100 Verträge abgeschlossen; sie betreffen in der Hauptsache Prüfverfahren und Herstellung von Maschinenteilen. Die Vakuumkammer, die toroidalen Spulen sowie die Anlagen zur Stromversorgung (Schwungrad-Generator-Konvertor-Systeme) sind bestellt worden. Schließlich wurde noch ein Beratervertrag für die für JET erforderlichen Gebäude und Versorgungsbetriebe abgeschlossen.



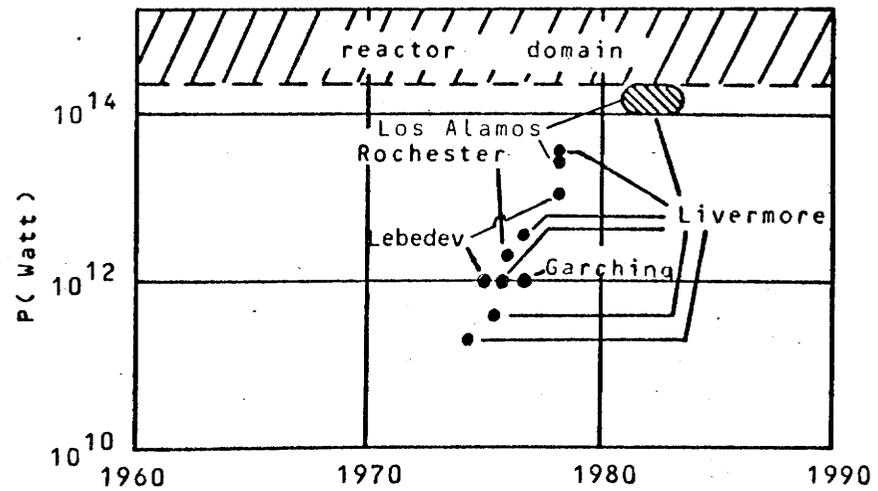
A - QUALITY OF CONFINEMENT IN TOKAMAKS.



B - ION TEMPERATURE IN TOKAMAKS.



C - PLASMA VOLUME IN TOKAMAKS.



D - LASER POWER OUTPUT.

ABBILDUNG 1: ENTWICKLUNG EINIGER WICHTIGER PARAMETER SEIT 1960

II.4.3 Andere Tokamaks

Ein Tokamak kann grundsätzlich durch seine Größe und seine einschließenden magnetischen Felder charakterisiert werden. Das darin enthaltene Plasma sollte dicht, heiß, sauber, für eine lange Zeit τ eingeschlossen sein und ein hohes „ β “ haben (β ist das Verhältnis zwischen dem Plasmadruck und dem durch das Magnetfeld ausgeübten Druck; es ist ein Maß für den Wirkungsgrad der Apparatur). JET allein ist nicht ausreichend, und auch nicht so geplant, daß es alle Probleme, die gelöst sein sollten ehe die nächste Generation von Tokamaks in Angriff genommen wird, bewältigen könnte. Die wichtigsten bereits voll genutzten Tokamaks der Gemeinschaft, TFR (Fontenay), Pulsator (Garching) und Dite (Culham) haben sehr wesentlich zu dem allgemeinen Fortschritt beigetragen. Bis 1976 war TFR der stärkste Tokamak ($I = 400$ kAmp) der Welt, dann waren T-10 und PLT betriebsfertig. In jüngster Zeit konnten Temperaturen von 2 keV erreicht werden. Pulsator leistete einen ausgezeichneten Beitrag bei der Untersuchung von Plasmastabilitäten und schaffte trotz seiner verhältnismäßig geringen Größe und seines schwachen Magnetfeldes Plasmen von hoher Dichte n und einem großen $n \cdot \tau$. Dite war der erste Tokamak mit eingebautem Divertor (oder magnetischem System zur Entfernung von Plasmaverunreinigungen). Er wird für wichtige Versuche zur Plasmaaufheizung durch Injektion schneller Neutralteilchen verwendet. Tosca (Culham) ist ein kleiner Tokamak, an dem Querschnitte und adiabatische Kompression untersucht werden. Erasmus (Brüssel), eine kleine aber sehr kompakte Apparatur, sowie Petula und Wega (Grenoble) sind in der Hauptsache für die Untersuchungen der Radiofrequenzmethoden zur Aufheizung des Plasmas bestimmt. FT (Frascati), eine Apparatur mit starkem Magnetfeld, ist technologisch das ehrgeizigste der im Verlauf des dritten Plans in Europa beschlossenen Unternehmen. FT wurde Ende 1977 in Betrieb genommen und könnte einer der ersten Tokamaks der Welt sein, die eine Ein-Megaampère-Stromstärke im Plasma erreichen. Neben der vor kurzem fertiggestellten Umänderung von TFR, die eine höhere Leistung gestattet, sind noch einige, recht große, neue Apparaturen fast fertiggestellt. Asdex (Garching) wird ein Tokamak mit einem „poloidalen Divertor“ und einer leistungsstarken Aufheizung durch Injektion von Neutralteilchen sein. Textor (Jülich), das Projekt eines internationalen Abkommens zur Zusammenarbeit mit den Amerikanern, wird hauptsächlich mit dem wichtigen Problem der Plasma-Wand-Wechselwirkung befaßt sein.

II.4.4 Aufheizung

— Da eine Tokamak-Konfiguration wesentlich als die Kombination eines vom Plasma geleiteten toroidalen Stromes und eines überlagerten toroidalen Feldes definiert wird, stellt die Ohm'sche Aufheizung einen dem Tokamak innewohnenden Faktor dar. Es kann allerdings gezeigt werden, daß eine Ohm'sche Aufheizung, außer vielleicht bei Apparaturen mit sehr starkem Feld, niemals zu Fusionstemperaturen führen wird. Zudem nimmt bei gegebenem toroidalem Feld der Wir-

kungsgrad der Ohm'schen Aufheizung mit zunehmender Maschinengröße ab. Daher ist in den größeren Apparaturen, die augenblicklich fertiggestellt oder gebaut werden, Zusatzheizung notwendig, um gute Leistungen zu erzielen. Über die Bedeutung einer wirksamen Zusatzheizung ist man sich in den letzten Jahren vollständig klar geworden: man nimmt an, daß die Zusatzheizsysteme in den meisten zukünftigen Tokamaks soviel wie die Maschine selbst kosten könnten.

- Zwei Methoden werden jetzt entwickelt: das Einschließen hochintensiver Neutralteilchenstrahlen – ein System, das bereits mit beträchtlichen Leistungsstärken (ein Megawatt) betriebsfähig ist – sowie die Radiofrequenzmethoden; die, obwohl sie weniger weit entwickelt sind, für zukünftige große Maschinen und Reaktoren erfolgversprechender erscheinen. Die Kommission hat mit Erfolg versucht, das Forschungs- und Entwicklungsbemühen bei der Aufheizung zu koordinieren: die Laboratorien von Culham und Fontenay-aux-Roses sind für die Entwicklung des Neutralteilcheneinschusses verantwortlich, während sich Grenoble und Brüssel auf die Radiofrequenzmethoden spezialisieren. Zusätzlich wird Grundlagenforschung zur Turbulenz- und zur Elektronenstrahlaufheizung durchgeführt.
- Leistungsstärken, die mit den durch Ohm'sche Aufheizung erreichbaren vergleichbar sind, wurden kürzlich durch Neutralteilcheneinschuß in TFR (600 kW) und Dite erzielt, ohne die Qualität der Einschließung zu beeinträchtigen. Gleichzeitig werden in Culham und Fontenay-aux-Roses durch JET-Vertrag Injektionseinheiten von 1 MW entwickelt. Sie werden auch für Apparaturen wie Textor, Asdex oder TFR-604 verwendbar sein. Die jüngsten Erfolge bei der Entwicklung der Aufheizung durch Neutralteilcheneinschuß können als eines der besten Ergebnisse der assoziierten Laboratorien gewertet werden.
- Auf dem Gebiet der Radiofrequenzaufheizung ist inzwischen ebenfalls ein hoher Wissensstand erreicht worden. Europa ist in diesem Bereich wirklich wettbewerbsfähig und besitzt einige toroidale Maschinen, die speziell zur Untersuchung der Anwendung dieses Aufheizungsverfahrens bestimmt sind. Erfolgversprechende Ergebnisse sind mit Petula und Wega im Laboratorium Grenoble erzielt worden; dieses Laboratorium ist hier hauptverantwortlich und arbeitet mit ERM (Brüssel) zusammen, wo Erasmus demnächst Ergebnisse beisteuern wird.

II.4.5 Stellaratoren

Dies sind toroidale Systeme, in denen das magnetische Feld hauptsächlich durch außerhalb der Plasmakammer liegende Spulen erzeugt wird. Obwohl sie im Prinzip komplizierter sind als Tokamaks, sind sie doch flexibler und können an sich kontinuierlich arbeiten. Bisher wurden die vorhandenen Apparaturen, Wendelstein VII-A und Cleo, mit Ohm'scher Aufheizung betrieben. Iontemperaturen von 300 eV und $n \cdot \tau$ von 10^{12} wurden erreicht. Im Vergleich

zu Tokamaks zeigen sie keinen Plasmaaufbruch, eine höhere Grenzdichte, und zunehmende Einschließungseigenschaften bei abnehmendem Ohmschen Aufheizungsstrom. Technische Schwierigkeiten haben bis jetzt die Installation der großen, für W-VII-A vorgesehenen Kammer verhindert. Arbeiten mit Isar T-1, einem Stellarator mit hohem Beta, sind beendet worden, nachdem die Möglichkeit, in dieser Konfiguration Gleichgewichte zu erzielen, gezeigt worden ist.

II.4.6 Konfigurationen mit hohem Beta

Bisher haben Tokamaks noch nicht die für einen wirtschaftlich arbeitenden Reaktor erforderlichen Beta-Werte erreicht. Zudem sind theoretische Voraussagen eines maximalen β -Wertes unsicher und experimentell noch nicht überprüft. Das Verhalten von Plasmen mit hohem β wird jetzt in einer Reihe von Apparaturen untersucht: gepulste Tokamaks mit hohem Beta wie Spica (Jutphaas), Belt Pinch (Garching – eingestellt) und Tenq (Jülich – eingestellt), Stellaratoren mit hohem β und Pinches mit umkehrendem Feld. Die meisten Hoch- β -Aktivitäten in der Gemeinschaft konzentrieren sich auf den Pinch mit umkehrendem Feld in einem Gemeinschaftsprogramme von Culham (HBTX) und Padua (Eta-Beta). Der Theorie der idealen Flüssigkeiten entsprechend können Pinches mit umkehrendem Feld für ein β bis zu 40 v. H. stabil sein. β -Werte zwischen 10 v. H. und 40 v. H. sind im Experiment beobachtet worden, allerdings bei niedrigen Temperaturen. Die Planung für das große RFX-Experiment in Culham ist nun in einem den heutigen Tokamaks vergleichbaren Parameterbereich fertiggestellt worden.

II.4.7 Trägheitseinschluß

Die allgemeine Situation in Europa ist unbefriedigend. Wegen möglichen militärischen Interesses an einigen Aspekten des Trägheitseinschlusses war es der Kommission weder möglich alle Aktivitäten in diesem Bereich zu koordinieren, noch kann die Ausweitung der Arbeit am Trägheitseinschluß gefördert werden, was sowohl durch kürzlich veröffentlichte Ergebnisse aus anderen Ländern als auch durch die augenblicklichen politischen Richtlinien der USA, der UdSSR und Japans gerechtfertigt wäre.

— Auf dem Gebiet der Laserfusion führen die Assoziationen Euratom-IPP und, auf etwas niedrigerer Ebene, Euratom-CNEN in begrenztem Umfang experimentelle Untersuchungen durch; die Assoziationen Euratom-Etat Belge und Euratom-NSBESD (Schweden) unterstützen diese mit theoretischen Arbeiten. Dieser Aufwand ist zu bescheiden, um außerhalb Europas wettbewerbsfähig zu sein. Vor einigen Jahren erschienen einige neue nationale Programme (Rutherford Laboratory, Ecole Polytechnique) außerhalb des Euratom Fusionsprogrammes, und diese entwickeln sich sehr schnell. Schließlich ist noch bekannt, daß in mehr oder weniger klassifizierten Laboratorien, z. B. in Limeil, beträchtliche Anstrengungen unternommen werden, und daß auch in Aldermaston auf diesem Gebiet gearbeitet wird.

— Im Bereich der Fusion durch Elektronen- oder Ionenstrahlen wird in Europa praktisch nichts unternommen.

— Auf dem Gebiet des Plasmafokus, wo weniger empfindlich reagiert wird, ist die Koordination befriedigender. Die Euratom-UKAEA- und Euratom-CNEN-Assoziationen arbeiten in engem Kontakt mit mehreren deutschen Universitäten (insbesondere mit Stuttgart). Limeil arbeitet unabhängig. In diesen Apparaturen werden für kurze Zeiten hohe Dichten und thermonukleare Temperaturen erzielt; die zu einer Vielzahl von Fusionsreaktionen führen. Die Ausbeute der 1-Megajoule-Apparatur in Frascati ist gegenwärtig auf 10^{12} Neutronen pro Puls beschränkt (10^{13} werden von den Skalierungsgesetzen her erwartet) infolge von Plasma-Wand-Wechselwirkungen, die gegenwärtig untersucht werden.

II.4.8 Diagnostik

Trotz des großen Erfolgs ist die Tokamak-Forschung noch in einem Stadium, in dem das Sammeln experimenteller Beobachtungen die Hauptaufgabe der Physiker ist. Die Plasmadiagnostik ist also von entscheidender Bedeutung, und in allen Laboratorien bemüht man sich sehr, bekannte Techniken auf spezielle Maschinen anzuwenden oder neue diagnostische Methoden zu entwickeln. Lokale Messungen der Elektronendichte und -temperatur werden jetzt mit erprobten Methoden vorgenommen. Die Techniken zur Bestimmung der Ionentemperatur und der „chemischen“ Zusammensetzung des Plasmas (Gehalt an Verunreinigungen) sind weniger gut entwickelt. Die Messungen der Plasmastromverteilung und der Plasma-Wand-Wechselwirkungen befinden sich noch in einem frühen Stadium der Entwicklung. Im Bereich des Trägheitseinschlusses macht selbst die Anwendung bekannter diagnostischer Methoden wegen der räumlichen und zeitlichen Dimensionen (1 Tausendstelmmillimeter und 1 Milliardstelsekunde sind typisch) größte Mühe.

II.4.9 Theorie und Datenverarbeitung

Für die theoretischen Arbeiten ist es bezeichnend, daß sie einerseits in ständig wachsender Beziehung zu dem experimentellen Programm stehen und daß andererseits die Anzahl der numerischen Berechnungen schnell ansteigt. Die theoretische Arbeit wurde hauptsächlich auf das Verständnis der Tokamakbedingungen (Plasmaaufbruch, anomale Wärmeleitung und Dynamik der Verunreinigungen) konzentriert, sowie auf die erfolgreiche Anwendung der Theorie der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen auf die Radiofrequenzaufheizung. Umfassende Computerprogramme sind aufgestellt worden sowohl für das Plasmaverhalten als auch für die Tokamaktechnik, die gegenwärtig in verschiedenen Laboratorien weitverbreitete Anwendung finden. Die Interpretation experimenteller Ergebnisse (Datensammelsysteme) sind ein weiteres Gebiet, auf dem der Einsatz von Computern schnell zunimmt.

II.4.10 Fusionstechnologie

Mit dem derzeitigen Technologieprogramm sollte geprüft werden, ob die Durchführung eines streng

Aufgaben-orientierten Technologieprogramms während des nächsten Fünfjahresplans möglich ist.

Folgende Aktivitäten innerhalb der Fusionstechnologie sind im Augenblick die wesentlichen:

1. Im Zuge der IEA-Zusammenarbeit laufen drei Durchführungsabkommen:
 - starke Neutronenquellen: hier besteht große Unsicherheit bei der Auswahl des Projekts zum Bau eines 14-MeV-Neutronengenerators;
 - Plasma-Wand-Wechselwirkungen: TEXTOR – Jülich (siehe II.4.3);
 - große Spulen: LCP – Oak Ridge (USA). Der europäische Beitrag besteht im Bau mindestens einer Nb-Ti-Spule, die auf der US-Testanlage in einer großen Konfiguration mit toroidalem Magnetfeld geprüft werden soll.
2. Im Juli 1977 wies der Ministerrat²⁾ im Rahmen der mehrjährigen Tätigkeit der Gemeinsamen Forschungsstelle (1977 bis 1980) ein Programm zur Fusionstechnologie mit folgenden Richtlinien zu³⁾:
 - die GFS-Beteiligung an europäischen Studien zum Entwurf von Fusionsreaktoren, die bereits seit einigen Jahren durch eine Zusammenarbeit mit Frascati und Neapel praktiziert wird (FINTOR-Gruppe), zu verfolgen und zu intensivieren;
 - einen Beitrag bei der Analyse der Probleme zu leisten, die bei der Kernfusion mit den Fragen der Sicherheit und des Umweltschutzes zusammenhängen;
 - sich an den mit der Kernfusion verbundenen Materialuntersuchungen zu beteiligen, besonders bei Fragen der Strahlenschäden und bei der Beurteilung der Techniken und Ausrüstungen, die für solche Untersuchungen benötigt werden.
3. In fast allen assoziierten Laboratorien sind Systemstudien, nicht nur zu den Tokamaks sondern auch zu RFX (Culham), Internal Ring (Jülich, Stockholm), Belt/Screw Pinch (Petten, Jutphaas) durchgeführt worden. Eine auf Garching gestützte Gruppe ist führend bei der Einrichtung und Ausführung eines Computer-Modularprogramms zur Untersuchung verschiedener Kernfusionskonzepte.
4. Pellet-Einschuß als Brennstoffnachfüllmethode wird in Risø und Garching untersucht.
5. Zusätzlich zu dem hauptsächlichen Bemühen um die Entwicklung konventioneller supraleitender Magneten in Karlsruhe in Verbindung mit dem Projekt der großen Spulen, werden einige an-

fängliche Arbeiten an bereits weiter entwickelten supraleitenden A-15-Materialien in Frascati, Petten und Saclay durchgeführt. Saclay ist auch an den Tests der mit superflüssigem Helium gekühlten Stromleiter für TORUS-II-Supra beteiligt.

6. In Jülich werden Experimente zur Thermodynamik der Li-T-Systeme durchgeführt.
7. In Jülich und Harwell werden die Untersuchungen starker Neutronenschäden (Simulation) weitergeführt.
8. In Garching und Culham werden die von energiereichen Teilchen hervorgerufenen Oberflächenschäden erforscht.
9. Untersuchungen mit Neutronen laufen in Harwell, Jülich und Karlsruhe.

II.4.11 Austüfung

Die Bedeutung der Forschung auf dem Gebiet der thermonuklearen Fusion rechtfertigt mehr denn je das koordinierte Handeln der Gemeinschaft. Das, was bereits getan wurde, ist immerhin für einige Länder, die nicht zur Gemeinschaft gehören, so interessant, daß sie um eine Assoziierung zum europäischen Fusionsprogramm ersuchten: ein erstes Abkommen wurde 1976 mit Schweden abgeschlossen; ein weiteres mit der Schweiz wird voraussichtlich 1978 folgen. Solche Abkommen führen zu Assoziationsverträgen.

Während des vorherigen Fünfjahresplans konnten aufgrund des Mobilitätsvertrages für das Personal etwa 40 Physiker und Ingenieure für einige Monate aus ihren eigenen in andere assoziierte Laboratorien überwechseln. Einen ähnlichen Austausch hat es bereits während der ersten Hälfte des jetzigen Plans gegeben. Bei solchen Gelegenheiten findet häufig auch ein Austausch von Materialien (z. B. von diagnostischen Geräten) statt. Die Erforschung der Plasma-Wand-Wechselwirkungen an TFR (Personal aus Garching und Jülich in Fontenay) und das Gemeinschaftsarbeitsprogramm an Wega (Personal aus Garching in Grenoble) gehörten zu den bedeutendsten Unternehmen der letzten Jahre. Diese enge Zusammenarbeit über nationale Grenzen hinweg kann einem Vergleich mit der besten innerhalb der Grenzen von Mitgliedstaaten erzielten standhalten. Zur Durchführung ihres Fusionsprogramms verfügt die Europäische Gemeinschaft über:

1. einen Stab von 860 Wissenschaftlern, das JET-Team eingeschlossen (Mitte 1978). Das gesamte Personal, einschließlich technische und verwaltende Hilfskräfte, beläuft sich auf etwas über 3000 Personen. Dieses Ensemble ist nicht lediglich die Summe von geographisch verteilten Untergruppen, sondern es stellt eine sehr integrierte Gruppe von Spezialisten dar, die in der Lage ist – wie in der Planungsphase des JET-Projekts gezeigt wurde – in europäischem Maßstab zusammenzuarbeiten;
2. 19 spezialisierte Laboratorien mit moderner Ausrüstung. Die Namen der entsprechenden Assoziationen werden in Tabelle I angegeben;

²⁾ ABl. EG Nr. L 200 vom 8. Juli 1977

³⁾ Für Administration und Haushalt dieses Programms ist das JRC Ispra verantwortlich. Um ein geeinigtes Vorgehen der Gemeinschaft auf dem Gebiet der Kernfusion zu garantieren, wird diese Arbeit vom Direktor des Fusionsprogramms koordiniert; die Liaison Group deren Mitglied das JRC ist – ist der beratende Ausschuß beim Programm-Management für die vom JRC durchgeführte Forschungsarbeit.

3. Organisationsstrukturen, die durch die Kommission geschaffen wurden und durch die die Arbeit eines jeden Laboratoriums in einem wahren europäischen Rahmen integriert wird. Durch

diese Strukturen befinden sich die Mitgliedstaaten der Gemeinschaft in einer konkurrenzfähigen Position gegenüber anderen Fusionsprogrammen der Welt.

Tabelle I

Assoziationen und Organisationen	Länder	Daten	Laboratorien
EUR-CEA	Frankreich	1959	Fontenay-aux-Roses Grenoble
EUR-CNEN/CNR	Italien	1960	Frascati und (später) Padua und Mailand
EUR-IPP	Deutschland	1961	Garching
EUR-FOM	Niederlande	1962	Jutphaas, Amsterdam
EUR-KFA	Deutschland	1962	Jülich
EUR-EB	Belgien	1968	ERM und ULB
EUR-UKAEA	Großbritannien	1973	Culham
EUR-DEA	Dänemark	1973	Risø
EUR-NSBESD	Schweden	1976	Stockholm, Göteborg Studsvik
EUR-CH	Schweiz	1978 (?)	Lausanne
JET		1977	Culham benachbart
JRC		1977	Ispra

II.5 Zusammenfassung der wesentlichen Fortschritte während der ersten drei Jahre des laufenden Programms

II.5.1 Tokamaks

Hinsichtlich der Qualität des Einschlusses wurden die neuesten Fortschritte in den USA erzielt, wo die $n \cdot \tau$ -Werte von Alcator ($2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3} \text{ s}$ auf der Achse) nun durch PLT bestätigt wurden, der außerdem eine Ionentemperatur von 2,5 keV erreicht hat. Diese Ergebnisse liegen nur um eine Größenordnung unterhalb des Lawson'schen Kriteriums für $n \cdot \tau$ und um weniger als einen Faktor 3 bei der Ionentemperatur. Ionentemperaturen über 2 keV wurden in Europa bereits 1976 bei TFR erreicht, wo die Ionentemperatur erstmals über die Elektronentemperatur stieg.

Hervorragende Fortschritte wurden innerhalb der Gemeinschaft neuerdings auf dem Gebiet der Plasmainheit erzielt. Zu Beginn des Programms 1976 bis 1980 erwies sich dies noch als ernstes Problem ($Z_{\text{eff}} \geq 3$). Reine Plasmen ($Z_{\text{eff}} \approx 1$) werden nun bei TFR, Dite und FT laufend hergestellt, und zwar aufgrund neuer Auslaßreinigungsverfahren sowie aufgrund rascher Fortschritte bei der Diagnostizierung der Herkunft der Verunreinigungen und ihrer Verbreitung sowie ihres Verständnisses und ihrer Kontrolle. Ein Bündeldivertor wurde zum ersten Mal eingesetzt (Dite), und die „Kaltmantel“-Konzeption wurde klarer (Jutphaas, Stockholm).

Kürzlich entwickelte Feedback-Verfahren zur Kontrolle des Plasmagleichgewichts stehen nun zur Verfügung (Cleo-Tok, TFR 600, Tosca). Die Möglichkeit der Programmierung der zeitlichen Entwicklung der mittleren Plasmadichte, die zum ersten Mal bei Alcator und Pulsator getestet wurde, wird nun bei fast allen Experimenten erreicht.

Das gesamte Verständnis für die Tokamak-Physik hat sich substantiell verbessert, hauptsächlich infolge der bei TFR und Dite durchgeführten detaillierten Energiebilanzstudien.

II.5.2 Sonstige Vorrichtungen

Der Betrieb von Stellaratoren (Cleo, W-VII-A) mit Ohm'scher Aufheizung hat gezeigt, daß diese gemischten Anordnungen bessere Einschließungseigenschaften aufweisen als äquivalente Tokamaks.

Ein wesentlich besseres Verständnis für die Pinches mit umkehrendem Feld, auf die sich die Linie „hohes Beta“ konzentriert, hat zum Bau von zwei mittelgroßen Vorrichtungen geführt (Eta-Beta, HBTX-1 A), die sich der Vollendung nähern.

II.5.3 Aufheizung

Auf dem Gebiet der Neutralteilcheneinschießung sind die Ergebnisse des laufenden Programms jetzt schon bemerkenswert. Die erste Anwendung auf einen Tokamak (Cleo) vor nur vier Jahren erfolgte auf der Ebene von 50 kW, also weit unterhalb der Ohm'schen Aufheizung. Der Stand von 1 MW ist inzwischen erreicht worden; er übersteigt bei weitem die Ohm'sche Aufheizung, ohne die Plasmaeinschließung (TFR, Dite) zu beeinträchtigen. Die Entwicklung von 1-MW-Aggregaten für JET befindet sich in einem fortgeschrittenen Stadium. Auch Multi-MW-Systeme sind im Bau (Dite, Asdex, TFR 604).

Hinsichtlich der Hochfrequenzheizung wurde durch die Gemeinschaft (Grenoble) ein hervorragender Beitrag zur Erprobung und zum Verständnis der Lower Hybrid Resonance Aufheizung geleistet. Das Transit Time Magnetic Pumping Experiment bei Petula war die erste erfolgreiche Anwendung (ohne pump-out) dieser Methode. Ermutigende Ersterfolge bei der Ionen-Zyklotron-Aufheizung wurden kürzlich bei TFR erzielt.

II.5.4 Trägheitseinschluß

Der sehr rasche Fortschritt der Welt auf diesem Gebiet ist von den bescheidenen europäischen Anstrengungen nicht erreicht worden; diese haben zu der Entwicklung eines 1-TW-Jodlasers (Garching), einigen Fortschritten beim Verständnis der Plasma-Licht Wechselwirkung und der Inangriffnahme einer experimentellen Arbeit in Frascati geführt.

II.5.5 Fusionstechnologie

Die auf diesem Gebiet bestehenden hauptsächlichen Probleme sind identifiziert worden. Darüberhinaus

- haben auf den Gebieten der Sicherheit und der Systemstudien sowie auf demjenigen der Werkstoffe im Anschluß an die Aufnahme dieser Themen in das GFS-Programm 1977 bis 1980 neue Arbeiten in Ispra begonnen, wo gemeinsam mit Frascati (der FINTOR-Gruppe) bereits eine konzeptionelle Konstruktionsarbeit im Gange war. Vorbereitende Arbeiten an der Simulierung von Strahlungsschäden sind ebenfalls im Gange;
- hat auf dem Gebiet der supraleitenden Magnettechnologie nach dem Abschluß einer IEA-Durchführungsvereinbarung über den Beitrag der Gemeinschaft (IPP-Karlsruhe) in der Form einer supraleitenden Spule für das Große-Spulen-Projekt (Oak Ridge) der Entwurf einer derartigen Spule jetzt den Stand erreicht, bei dem die industrielle Fertigung erwogen wird. Die Tests bezüglich der Kühlung mit superflüssigem Helium finden zur Zeit statt (CEA-Saclay).

II.5.6 Schlußfolgerung

Der vorerwähnte Fortschritt zeigt, daß, im Vergleich zur Situation vor drei Jahren, die Tokamak-Plasmen heute besser eingeschlossen und besser aufgeheizt sind und eine wesentlich verringerte Verunreinigungskonzentration besitzen. Wir sind daher viel näher an dem für einen Kernfusionsreaktor benötigten Kriterium, und es besteht dementsprechend ein größeres Vertrauen, daß die technische Durchführbarkeit eines Kernfusionsreaktors gezeigt werden kann.

KAPITEL III

Vorgeschlagenes Programm

III.1 Erkenntnisse aus den langfristigen Planungsstudien

Exploratorische langfristige Planungsstudien, die im Rahmen des Programms der Gemeinschaft sowie in anderen Teilen der Welt durchgeführt wurden und bei denen davon ausgegangen wurde, daß es sich bei einem künftigen Kernfusionsreaktor um einen solchen des Tokamak-Typs handeln werde, haben eine Reihe möglicher Strategien aufgezeigt, mit denen das Ziel eines Demonstrationsreaktors erreicht werden kann. Diese Strategien führen zu unterschiedlichen Zeitplänen und Gesamtkosten; diese sind im wesentlichen abhängig von der akzeptierten Risikoebene (als Größenordnung sei erwähnt, daß die Herstellung eines Demonstrationsreaktors etwa 25 Jahre und 10 Mrd. ERE erfordern könnte). Aber

alle Strategien, auch wenn sie sich in späteren Phasen voneinander trennen, haben einen gemeinsamen Ursprung: alle Maschinen, die nach JET (oder seinen ausländischen Äquivalenten) gebaut werden, müßten Deuterium-Tritium Brenner sein, d. h. Maschinen, bei denen die Fusionsreaktionen lange Zeit hindurch aufrechterhalten bleiben. Die Europäische Gemeinschaft ist damit in der Lage, die Ziele ihres Kernfusionsprogramms für die nächsten Jahre auf physikalischem und technologischem Gebiet klar zu fixieren.

Die potentiellen Vorteile der verschiedenen langfristigen Strategien werden im Lichte neuer experimenteller Ergebnisse ständig überprüft werden. Ihre Schlußfolgerungen werden anläßlich jeder Programmüberprüfung formuliert werden und werden dazu beitragen, neue Zwischenziele zu definieren.

III.2 Die Ziele des Fünfjahresplans

III.2.1 Magnetischer Einschluß

Die ständigen Fortschritte bei den Tokamaks haben bereits zu einer fortschreitenden Konzentration der Anstrengungen in dieser Richtung geführt, und diese Konzentration wird auch während des Plans 1979 bis 1983 anhalten. Forschungsarbeiten an Stellaratoren mit niedrigem Beta sowie an Apparaturen mit hohem Beta, die möglicherweise zu Alternativlösungen führen könnten, werden in einigen Forschungsstätten durchgeführt werden und werden etwa 10 v. H. der gesamten Anstrengungen auf sich vereinen. Für Spiegelmaschinen sind keine experimentellen Arbeiten vorgesehen.

Die Hauptziele des Programmes sind:

- die Vollendung des Baus von JET und dessen Inbetriebnahme. Die Kommission hat dem Rat bereits mehrere Dokumente*) unterbreitet, die zur Billigung der Bauphase des JET-Projekts und dessen Einfügung in das Programm Fusion geführt haben. Dieses wichtige Vorhaben wird daher in dem vorliegenden Programmvorschlag nicht noch einmal in allen Einzelheiten beschrieben;
- die Gewinnung ausreichender physikalischer und technologischer Erkenntnisse, um während dieses Fünfjahreszeitraums die auf JET folgende(n) Maschine(n) definieren zu können, damit deren Bau im nachfolgenden Programm in Angriff genommen werden könnte. Insbesondere sollten die Forschungsarbeiten das optimale Feld und die optimale Größe der auf JET folgenden Maschine(n) bestimmen, eine Beurteilung der Frage ermöglichen, ob diese Maschine(n) Tritium produzieren und Elektrizität herstellen sollte(n), und experimentelle Informationen über die Ratsamkeit des Einsatzes von supraleitenden Spulen liefern.

Dies bedingt:

- den Bau des JET, der 1983 oder früher (siehe Paragraph III.3.2.1) betriebsbereit sein soll, und die Ausarbeitung des Experimentierprogramms;

*) Insbesondere: R/820/78 (ATO 17) vom 10. April 1978

- die Beschaffung zahlreicher physikalischer Schlüsselinformationen aus toroidalen Maschinen mittlerer Größe des Tokamak-Typs und anderer Typen;
- die Entwicklung starker Zusatzheizsysteme, insbesondere im Hinblick auf deren Anwendung bei JET;
- die Durchführung eines gehaltvollen Technologieprogramms, insbesondere auf den Gebieten der Werkstoffe, der Supraleitfähigkeit, der Behandlung des Tritiums, der Fernbedienung und der Systemstudien;
- den Bau eines mittelgroßen, supraleitfähigen Tokamaks mit dem Ziel des Studiums der Profilformen und der Plasmaaufheizung, falls die ersten Versuche mit superflüssigem Helium positive Ergebnisse zur Folge haben;
- den Bau eines mittelgroßen Tokamaks mit sehr hohem Feld (VHFT) zum erstmaligen Studium einiger spezifischer Probleme eines „brennenden“ Plasmas, wenn die ersten Studien ein akzeptables Verhältnis zwischen Risiko und Kosten erkennen lassen;
- die Inangriffnahme von Konstruktionsstudien von JET-Nachfolgemaschinen.

Ein weiteres Ziel des Programms besteht in der Beurteilung der Frage, bis zu welchem Punkt andere Systeme der magnetischen Einschließung (Stellaratoren, Pinch mit umkehrendem Feld) eine echte Alternative für Tokamaks sind.

III.2.2 Trägheitseinschluß

Die Lage in Europa ist unbefriedigend, und wird dies wahrscheinlich noch für einige Zeit bleiben. Während die in anderen Ländern bereits erzielten Ergebnisse zu einer raschen Beschleunigung der amerikanischen, sowjetischen und japanischen Programme geführt haben, haben politische Empfindlichkeiten aufgrund der Nähe einiger ziviler und militärischer Interessen auf diesem Gebiet die Kommission entgegen ihren eigenen Wünschen zur Vorlage eines Minimalprogramms veranlaßt, das jedoch ausreicht,

- um eine kritische Würdigung der andernorts erzielten Fortschritte zu ermöglichen;
- um bedeutsame Beiträge zur Lösung einiger Schlüsselprobleme zu leisten, was eine Grundvoraussetzung für einen fruchtbaren Informationsaustausch mit ausländischen Forschungsstätten ist;
- um einen Kern kompetenter Wissenschaftler zusammenzuhalten, der als Sammelstelle für die auf verschiedene zivile Forschungsstätten verstreute europäischen Anstrengungen dienen und im nächsten Plan den Bau eines großen Kernfusions-Durchführbarkeitsexperiments ermöglichen kann, wenn die erforderlichen politischen Beschlüsse getroffen werden.

Eine Änderung in der diesbezüglichen Politik Europas ist von wesentlicher Bedeutung, wenn die in anderen Ländern geplanten entscheidenden Experimente die erwarteten Ergebnisse zeitigen, wie z. B. einen „breakeven“ im Jahre 1983.

Jedenfalls wird sich die Kommission mit ihren begrenzten Mitteln um eine wirksame Zusammenarbeit mit anderen zivilen Forschungsstätten bemühen, wie dies in der Vergangenheit bereits beim Plasmafokus der Fall war.

III.3 Magnetischer Einschluß

III.3.1 Hauptprobleme

1. Qualität der Einschließung. Es hat sich herausgestellt, daß das Produkt von Dichte und Einschließungsdauer ($n \cdot \tau$) der wichtige Parameter ist. Es ist eines der Programmziele, die Voraussetzungen und die Qualität der Einschließung zu verbessern und insbesondere:
 - die empirischen Gesetze, denen τ unterworfen ist, zu ermitteln, besonders seine Abhängigkeit von „n“, die bisher noch nicht ganz klar ist;
 - die Grenzen zu bestimmen, die sich durch heftige, als „Zusammenbrüche“ bezeichnete, Instabilitäten ergeben.

Mit der während dieses Plans (JET eingeschlossen) abzuschließenden Generation von Experimenten sollen Werte von annähernd 10^{14} cm⁻³ Sekunde erzielt werden, d. h. Werte, die eine Größenordnung höher liegen als die gegenwärtig erzielten.

2. Beta-Werte. Um wirtschaftlich zu sein, muß ein Tokamak-artiger Reaktor β -Werte von 5 bis 10 v. H. ergeben (in gewissen Maschinen sind bereits Mittelwerte von 2 v. H. erzielt worden). Dieser Punkt ist sehr wichtig, da die Qualität der Einschließung stark verbessert werden könnte, wenn der Plasmadruck verglichen mit dem magnetischen Druck höhere Werte erreicht. Indem man den Einfluß nicht-kreisförmiger Plasmaquer-schnitte und Plasmaformierung abtestet, hofft man, während dieses Plans zu Systemen zu kommen, in denen β einige Prozent erreichen könnte.
3. Temperatur. Die Zündung (der Punkt, an dem die nukleare Aufheizung die Energieverluste des Plasmas überschreitet) erfordert Iontemperaturen, die höher als die im Augenblick erzielten liegen. Solche Temperaturen scheinen mit der zur Verfügung stehenden Technologie bereits erreichbar zu sein, vorausgesetzt, daß die Einschließungseigenschaften durch die Einwirkung hoher Iontemperaturen nicht zu stark vermindert werden. Die Minimaltemperatur, die erreicht werden muß, hängt von der Einschließungsqualität und der Reinheit des Plasmas ab und liegt oberhalb von 5 keV.
4. Verunreinigungen wurden bisher wegen der starken Strahlungsverluste, die sie verursachen, als eines der schwierigsten Probleme angesehen. In-

zwischen ist die Situation verbessert, obwohl noch viele Fragen offen bleiben. Der akzeptable, niedrige Verunreinigungsgrad, der kürzlich erzielt wurde, muß bei längerer Betriebsdauer und wenn leistungsstarke Neutralteilcheninjektion eingesetzt wird, aufrechterhalten werden. Die Herkunft der Verunreinigungen sowie ihre Dynamik und ihre Kontrolle müssen weiter erforscht werden. Dieses Problem ist eng verknüpft mit Plasma-Wand-Wechselwirkungen und im Falle eines Reaktors mit Brennstoffauffüllung und Abgasen.

5. Abgase und Brennstoffauffüllung. Bei Langpuls- oder Dauerbetrieb müssen Mittel zum Absaugen der Reaktionsprodukte und Auffüllen des Brennstoffes vorhanden sein. Abgasuntersuchungen mittels „Divertoren“ werden in Dite fortgesetzt und werden die Hauptaufgabe von Asdex (mit einem anderen Divertortyp) sein. Möglichkeiten zum Abpumpen von Helium (das Hauptreaktionsprodukt) und Handhaben großer Mengen heißer Abgase werden untersucht werden. Arbeiten zu dem „Kalthüllen“-Projekt, eine Alternativmöglichkeit, werden fortgesetzt. Brennstoffauffüllung mittels Pellets, Clusters und Gas-Eingabe (über die oben erwähnte Kalthülle) wird notwendig sein und während des Plans intensiv erforscht werden.
6. Alpha-Partikel. Das Heliumproblem ist nicht nur mit der Frage der Verunreinigungen verknüpft, sondern auch mit den Fragen der Aufheizung und der Einschließung. Die Anwesenheit vieler energiereicher Alpha-Teilchen (Heliumionen) wird ein wichtiges neues Kennzeichen für einen Deuterium-Tritium-Brenner sein. Diese Frage wird behandelt, wenn JET in Betrieb ist und möglicherweise auch mit einer weiteren Apparatur, die jetzt gerade definiert wird, und die vorläufig als „VHFT“ (Very High Field Tokamak) bezeichnet wird.

III.3.2 Apparaturen (siehe Tabelle II)

1. JET. Die wichtigsten Bemühungen im Rahmen des Programms werden JET gewidmet, was sowohl für die Physik als auch für den finanziellen und den personellen Aufwand gilt. In dem ersten Vorschlag¹⁾ waren für die Betriebsphase des JET

¹⁾ EUR-JET-R 5, September 1975

zwei Stufen – eine Grundstufe und eine erweiterte Stufe – in Betracht gezogen.

Die Grundstufe entspricht den exploratorischen Studien unter Verwendung eines Wasserstoffplasmas in einem Magnetfeld von 27,7 kG; die Flachwertzeit des Magnetfeldes beträgt 20 Sekunden, der Plasmastrom erreicht 3,8 MA (in einem D-förmigen Plasma), und durch Neutralteilcheninjektion wird eine Heizleistung von 10 MW erzielt.

Die Strukturen werden von Anfang an so ausgelegt, daß in einer späteren Stufe zu einer erweiterten Leistung übergegangen werden kann. In diesem Bereich wird das Magnetfeld auf 34,5 kG mit einer auf 10 Sekunden verringerten Flachwertzeit gebracht und der Plasmastrom wird auf 4,8 MA erhöht. Für diese zweite Phase wird man neue Energieversorgungssysteme benötigen, sowohl für das toroidale Magnetfeld als auch für die Zusatzheizung, deren Leistung auf 25 MW gebracht werden muß. Das Arbeitsgas wird Deuterium sein. Wenn diese Phase erfolgreich ist, dürfte die spätere Verwendung einer D-T-Mischung einen erheblichen Teil der thermonuklearen Selbstheizung in der Größenordnung von 10 MW bestreiten.

— Bisher wurde folgender Plan in Betracht gezogen: Der Zeitraum 1979 bis 1983 entspricht in etwa der auf fünf Jahre veranschlagten Bauphase, während die Herstellung aller größeren Maschinenteile bis Mitte 1981 zum Abschluß gebracht wird. Zu diesem Zeitpunkt dürfte die Montagehalle fertig sein; die Fertigstellung der Torus-Halle wird Anfang 1982 erwartet; die vollständige Installierung dürfte ein Jahr später fertiggestellt sein. Weitere sechs Monate werden für Tests und Inbetriebnahme erforderlich sein, ehe Mitte 1983 – gegen Ende des Programms – das experimentelle Programm in Angriff genommen wird. Die Hauptaufgaben der ersten Phase des Betriebs sind die Untersuchung des Verhaltens eines Plasmas mit Parametern, die denen eines Fusionsreaktors nahekommen, die Untersuchung der Plasma-Wand-Wechselwirkungen unter diesen Bedingungen, und die Untersuchung der Plasmaheizung. Bei diesem Zeitplan würde die zweite Phase etwa 1985 anlaufen.

Tabelle II – Wichtigste Apparaturen mit magnetischem Einschluß

Experimente	Sitz	Hauptziele und Kennzeichen
JET ²⁾	Culham	Skalierung, Plasma-Wand-Wechselwirkung, Plasmaaufheizung, Alpha-Partikel
Tokamaks mittlerer Größe		
TFR ¹⁾	Fontenay	Skalierung, Plasmaquerschnitte, Aufheizung
Dite ¹⁾	Culham	Bundle divertor, NI-Heizung, Verunreinigungen
FT ¹⁾	Frascati	Hohes Magnetfeld, hohe Plasmadichte, starke Ströme
Asdex ²⁾	Garching	Poloidaler Divertor, hohe Ionentemperatur
Textor ²⁾	Jülich	Plasma-Wand-Wechselwirkungen, Verunreinigungen
Torus II ³⁾	(CEA)	Plasmaquerschnitte, Aufheizung, supraleitende Magnete(?)
VHFT ³⁾	Garching	Sehr hohes Magnetfeld, adiabatische Kompression, Zündung(?)
Andere Tokamaks		
Petula ¹⁾	Grenoble	RF-Heizung
Erasmus ¹⁾	Brüssel	RF-Heizung
TCA ²⁾	Lausanne	RF-Heizung
Wega ¹⁾	Grenoble	RF-Heizung
Torture ¹⁾	Jutphaas	Turbulenz-Heizung
Thor ¹⁾	Mailand	Run-away-Elektronen, RF-Heizung
Ringboog ¹⁾	Jutphaas	Kalthülle
Dante ¹⁾	Risø	Pellet-Entnahme
Spica ¹⁾	Jutphaas	Hoch-Betaverhalten
Tosca ¹⁾	Culham	Hoch-Beta (nichtkreisförmiger Querschnitt)
Andere toroidale Apparaturen		
W-VII-A ¹⁾	Garching	Stellarator mit NI-Heizung
Cleo ¹⁾	Culham	Stellarator mit RF-Heizung
HBTX-1 A ²⁾	Culham	Pinch mit umkehrendem Feld
Eta-Beta ¹⁾	Padua	Pinch mit umkehrendem Feld
RFX ³⁾	Culham	Pinch mit umkehrendem Feld bei erhöhter Leistung
F-IV ²⁾	Stockholm	Kalthülle

1) in Betrieb

2) im Bau

3) in Vorbereitung

— Jedoch sind in der letzten Zeit mehrere sehr ermutigende Ergebnisse im Bereich der Tokamaks erzielt worden (II.2.1): gutes Verhalten von Hochtemperaturplasmen ($T_i > 5$ keV im stoßfreien Bereich, zufriedenstellende Zunahme der Plasmaenergieeinschlußzeit mit den Dimensionen (sie variiert entsprechend dem Quadrat des kleinen Plasmaradius), Zunahme der Energieeinschlußzeit mit T_e und n , Unempfindlichkeit der Energieeinschlußzeit gegenüber Magnetfeld und Plasmastrom, Erfolg bei der Erlangung sauberer Plasmen, positive experimentelle und theoretische Ergebnisse in Bezug auf den maximal-erzielbaren Beta-Wert. Diese Fakten sowie die Prüfung der Zeitpläne für andere große Apparaturen – TFTR (USA) soll Anfang 1982 in Betrieb gehen und könnte 1983 mit einer auf Neutralteilcheninjektion basierenden Heizung von 45 MW ausgestattet werden; JT 60 (Japan) soll Ende 1982 betriebsbereit sein – haben das JET-Team veranlaßt, den Zeitplan für JET zu überdenken. Es wird ein Vorschlag ausgearbeitet, der auf eine mögliche Beschleunigung der Bauphase abzielt (JET soll Ende 1982 für die Grundleistung bereit sein). Außerdem prüft das JET-Team die Möglichkeit, in einer früheren als der ursprünglich vorgesehenen Stufe und selbst während der Bauphase zu der erweiterten Leistung überzugehen. Im Hinblick darauf könnte es sich als notwendig erweisen,

- a) zu Beginn der Betriebsphase 25 MW an Zusatzheizung zur Verfügung zu haben, was die Installierung eines Netzanschlusses von 125 MW (für beide Heizmethoden geeignet) notwendig macht;
- b) die wichtige Methode der HF-Heizung mit Nachdruck in den größten verfügbaren Tokamak-Apparaturen zu erproben, damit rechtzeitig ein Beschluß für JET gefaßt werden kann;
- c) zusätzliche Energieversorgungssysteme zur Erzeugung des stärkeren Magnetfeldes zu installieren;
- d) die Entwicklung der Fernbedienung und der Tritium-Ausrüstung mit größerem Nachdruck zu betreiben.

— Eine Extrapolation der seit kurzem vorliegenden Ergebnisse zeigt, daß der Betrieb bei erweiterter Leistung zu folgenden Plasma-Parametern führen könnte: $T_i \sim 15$ keV, $n \sim 10^{14}$ cm⁻³, $\beta \sim 6$ v. H. Die Energieeinschlußzeit könnte zwischen 0,5 und 5 s liegen, und bei Verwendung eines D-T-Gemischs könnte eine Fusionsleistung von rund 100 MW erzeugt werden.

2. Andere Tokamaks. JET allein könnte nicht alle Informationen liefern, die für die Weiterführung des Fusionsprogramms benötigt werden. JET ist in ein Programm von kleineren, ergänzenden Experimenten integriert, die zur Untersuchung spe-

zieller Punkte besser ausgestattet sind. Einige der betreffenden Apparaturen sind bereits in Betrieb, andere werden während dieses Plans fertiggestellt (diejenigen, die speziell für Aufheizungsstudien geplant sind, werden in Paragraph III.3.3 behandelt). Dieses zusammenhängende Programm ist so gestaltet, daß es so sorgfältig wie möglich alle Probleme abdeckt, die innerhalb der Tokamaklinie gelöst werden müssen. Es ist auf einige wichtige Apparaturen ausgerichtet: Dite (Culham), FT (Frascati), TFR (Fontenay-aux-Roses), Asdex (Garching) und Textor (Jülich, nach 1981). Jede Apparatur ist auf Untersuchungen mehrerer, unter III.3.1 erwähnter Hauptfragen spezialisiert. In jedem Fall kann die Plasmaleistung durch angemessene Aufheizung erhöht werden. Kleine Tokamaks haben spezifische Aufgaben: Ringboog (Jutphaas) ist für „Kalt-hüllen“ (cold mantle) Untersuchungen bestimmt und arbeitet mit dem Stockholmer Laboratorium zusammen (Modellversuche), Dante (Risø) arbeitet in Verbindung mit Garching und Culham über „pellet ablation“. Tosca (Culham) und das Tokamakähnliche Experiment Spica (Jutphaas) sind damit befaßt, die Möglichkeiten von hohen Betas für Tokamakkonfigurationen zu bewerten.

3. Neue Tokamaks. Je nach dem Ergebnis der z. Z. laufenden konzeptionellen und experimentellen Vorstudien könnte der Bau von zwei neuen Maschinen (Torus II und VHFT) in Angriff genommen werden. Diese Maschinen werden insbesondere das Ziel verfolgen, zwei Prozesse zu demonstrieren, die für den Schritt nach JET wesentlich sind, die jedoch mit den vorhandenen Maschinen nicht behandelt werden können:
 - die Anwendbarkeit supraleitender Spulen auf einen echten Tokamak;
 - die Selbstaufheizung eines DT-Plasmas und die Auswirkung von Alphapartikeln auf den Plasmaeinschluß.

Torus II, ein mittelgroßer supraleitender Tokamak, befindet sich in der Endphase der Planung im Rahmen der Assoziation EURATOM-CEA. Die Versuche über die Magnetkühlung durch superflüssiges Helium laufen. Ein endgültiger Beschluß über den Bau sollte 1979 getroffen werden. Diese Maschine würde ein großes technologisches Interesse bieten und würde dem Studium der Hochenergie-Zusatzheizung dienen (möglicherweise mit Hochfrequenz) sowie Untersuchungen der bedeutsamen Frage der Formung des Plasmaprofiles erleichtern.

Der VHFT, ein Tokamak mit sehr hohem Feld, befindet sich derzeit im Stadium der Vorstudie und soll die kürzlich beim Betrieb mit hohen Dichten und mit hohen magnetischen Feldern erzielten Fortschritte weiterführen. Die Definitionsphase dürfte Ende 1978 abgeschlossen sein, und mit der konkreten Planung könnte 1979 begonnen werden. Die Extrapolation der empirischen Einschlußzeit auf höhere Dichten und die Verwendung einer starken Ohm'schen Aufheizung (hohe Stromdichte), möglicherweise in Ver-

bindung mit anderen Heizverfahren (Neutralteilcheneinschießung, adiabatische Kompression) dürfte bei einer Deuterium-Tritium-Mischung zur Zündung führen. Eine derartige experimentelle Zündungsanordnung würde mit Unterstützung von Frascati in Garching gebaut werden. Diese Zusammenarbeit könnte auf internationaler Ebene erweitert werden.

4. Andere toroidale Apparaturen. Auf Linien, die sowohl als alternativ wie auch als unterstützend zur Tokamaklinie betrachtet werden können, wurden einige Aktivitäten beibehalten. Dies gilt besonders für Stellaratoren und Pinches mit umkehrendem Feld.

Die Stellaratoren sind mit zwei Apparaturen vertreten: W-VII-A (Garching) und Cleo (Culham). Stellaratoren mit niedrigem Beta können zum Verständnis der Transporteigenschaften in Tokamaks beitragen. Die positive Wirkung äußerer, spiralförmiger Magnetfelder auf die Plasmastabilität ist von Interesse, aber ihr Ursprung und ihre Möglichkeiten bei einer Anwendung auf Reaktoren sind noch unklar. Ernsthaftige Anstrengungen werden unternommen, um zu gesamtstromfreiem Betrieb zu gelangen. Konfigurationen, die sich von klassischen Stellaratoren unterscheiden (d. h. toroidales Hauptfeld plus einem Magnetfeld aus spiralförmigen Windungen) werden in schnellen Verdichtungsexperimenten untersucht. Sie können auch in einer neuen Ersatzeinheit für W-VII verwendet werden. Gegenwärtig wird kein neuer Stellarator geplant. Untersuchungen mit Pinches mit umkehrendem Feld werden durch zwei Apparaturen weitergeführt: HBTX 1A (Culham) und Eta-Beta (Padua), im Rahmen enger Zusammenarbeit zwischen beiden Laboratorien. Die nächste Stufe wäre das große, von Culham vorgeschlagene RFX-Experiment, innerhalb des Kooperationsprogramms mit Padua.

5. Planungsgruppen. Eine Definitionsgruppe sollte im Jahre 1979 damit beginnen, den über JET hinausgehenden Schritt zu definieren und besonders zu bestimmen, ob es eine oder zwei „post-JET“-Apparaturen geben soll und ob die unmittelbar auf JET folgende Maschine elektrische Energie erzeugen soll oder nicht.

Definitionsarbeit für den DEMO-Reaktor wird intensiviert werden. Die FINTOR-Gruppe (gemeinschaftlich arbeitende Gruppe von Frascati-Ispra-Neapel) als Kerngruppe wird im Jahre 1979 damit anfangen.

Diese beiden Gruppen werden engen Kontakt unterhalten, auch mit der für die langfristigen Planungen verantwortlichen Kerngruppe, die in Brüssel ihre Arbeit fortsetzen wird.

III.3.3 Aufheizmethoden

Schon zu Beginn des Euratom-Fusionsprogramms hat sich herausgestellt, daß die Plasmaheizung eines der großen Probleme innerhalb der thermonuklearen Fusionsforschung sein würde. Angesichts der jüngsten Ergebnisse erscheint dieses Problem immer

wichtiger: um ihre maximale Leistung zu erreichen, brauchen JET und die Apparaturen mittlerer Größe starke Zusatzheizung. Da wirkungsvolle Heizmethoden jetzt anfangen zur Verfügung zu stehen, ist es notwendig und vernünftig, eine beträchtliche Erweiterung des Aufheizungsprogramms vorzuschlagen.

Für Maschinen bis zur Größe des JET ist die Neutralteilcheninjektion auf der Grundlage positiver Ionenquellen eine annehmbare Lösung; bei größeren Maschinen läßt sie sich jedoch schwierig anwenden. Zwei Alternativ-Lösungen werden gegenwärtig erforscht: die Hochfrequenzheizung und die Neutralteilcheninjektion auf der Grundlage negativer Ionenquellen. Während der kommenden Jahre wird man sich bemühen, das jeweilige Wirkungsvermögen dieser beiden Lösungen zu beurteilen. Wissenschaftliche und technologische Entwicklungen werden fortlaufend in ausgewählten Laboratorien konzentriert, die die anderen Laboratorien in der Gemeinschaft beraten und gegebenenfalls unterstützen. Dies ist bei der Neutralteilcheninjektion der Fall, die gemeinschaftlich an Fontenay und Culham vergeben worden ist. Die Arbeiten für die Hochfrequenzheizung sind größtenteils beim CEA (und in der ERM) konzentriert.

1. Aufheizung durch Neutralteilcheneinschuß. Sie beruht auf dem Einschließen eines Strahls sehr schneller Neutralteilchen, die sich durch Neutralisation beschleunigter Ionen ergeben. Die gegenwärtig verwendeten Quellen liefern positive Ionen, die gut an das augenblickliche Energieniveau angepaßt sind. In größeren Maschinen werden allerdings höhere Energieniveaus benötigt, für die der Wirkungsgrad der Neutralisierung positiver Ionen so gering ist, daß eine Umstellung auf negative Ionenquellen notwendig erscheint. Diese sind gegenwärtig jedoch viel weniger weit entwickelt. Man sollte sich daher im Verlauf dieses Fünfjahresplans bemühen, Quellen und Beschleuniger von negativen Ionen zu erarbeiten, damit zu Beginn des nächsten Plans die Injektion auf der Grundlage negativer Ionen auf einem Niveau von 1 MW entwickelt werden kann. Abschirmung der Injektoren nach der Zündung des Plasmas könnte diese Methode in einem Reaktor verwendbar machen. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig. Gegenwärtig hat die Zusammenarbeit zwischen Culham und Fontenay-aux-Roses die Produktion von 1 MW 80 keV H^0 -Einheiten bei positiver Ionenquellen zum Ziel. Diese Entwicklung ist notwendig für JET, der eine Neutralteilcheninjektion von 10 MW für die Grundleistung sowie einige 25 MW für die erweiterten Leistungen braucht; aber sie ist auch für bereits oder bald fertiggestellte Maschinen mittlerer Größe nötig: Dite, TFR 604, Torus II, Asdex, Textor und Wendelstein VII-A. Verträge zur Lieferung von Systemen zur Neutralteilcheninjektion sind bereits zwischen den Assoziationen unterzeichnet worden. Eine beträchtliche Steigerung der Gesamtwirksamkeit dieser Systeme wird erreicht werden, wenn die gegenwärtig anlaufende Entwicklung von Rückgewinnungssystemen erfolgreich

ist. Es ist vorgesehen, die gegenwärtigen Techniken so zu erweitern, daß 1 MW 160 keV D° -Einheiten realisiert werden.

2. Hochfrequenzheizung. Sie ist noch nicht so weit fortgeschritten wie die Neutralteilcheninjektion. Die Physik der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Wellen und Plasmen bei der Aufheizung wird aktiv erforscht. Forschungsarbeit wird an einer Reihe möglicher Schemata geleistet, die durch die Frequenz, bei der sie arbeiten, gekennzeichnet werden. Es ist beabsichtigt, sich während dieses Plans fortschreitend auf die den meisten Erfolg versprechenden Verfahren zu konzentrieren und sie auf ein Energieniveau zu bringen, das mit der zur Zeit durch Neutralteilcheninjektion erzielten vergleichbar wäre (etwa 1 MW). Vor Ende des Plans sollte es dann möglich sein, die für JET und „post-JET“ geeignetsten Methoden auszuwählen und ihre Vorzüge mit denen der Neutralteilcheninjektion zu vergleichen.

Folgende Leitlinien werden vorgeschlagen:

- im Bereich niedriger Frequenzen (≈ 100 kHz) sollten Petula (Grenoble) und möglicherweise seine verstärkte Version die Informationen liefern, die für eine Extrapolation auf Torus II und JET nötig sind;
 - im Bereich der mittleren Frequenzen (1 bis 100 MHz) werden die entscheidenden Tests an TFR durchgeführt. Erasmus und TCA (Lausanne) werden ergänzende Informationen dazu liefern;
 - der Bereich der hohen Frequenzen (≈ 1 GHz) wird durch Wega (Grenoble) abgedeckt. Dies ist ein gemeinsames Experiment von Garching und Grenoble unter Mitarbeit von ERM. FT und vielleicht Asdex werden ebenfalls beitragen. Ein späterer Test auf JET ist vorgesehen. Die industrielle Entwicklung leistungsstarker Klystrons ist erforderlich;
 - für den Bereich sehr hoher Frequenzen (≥ 30 GHz) müssen große Anstrengungen unternommen werden, um die erforderliche Technologie zu entwickeln. Die ersten Versuche sind in Culham und Mailand geplant (50 GHz-Gyrotrons für Cleo und 28 GHz-Gyrotrons für Thor und Tosca). Wenn die Entwicklung erfolgreich ist, könnte diese Methode in den gegenwärtigen Tokamaks (Dite, TFR) verwendet werden.
3. Ohm'sche Aufheizung und andere Methoden. Die guten Ergebnisse, die an Alcator (USA), einer kompakten Anlage mit starkem Magnetfeld, erzielt worden sind, weckte das Interesse, die Grenzen der Ohm'schen Aufheizung bei Einsatz sehr starker Magnetfelder zu erfassen. In Garching wurde unter Mitarbeit von Frascati eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die die Möglichkeiten und die Risiken, die in einem solchen, unter der Bezeichnung „Very High Field Tokamak“ (VHFT, siehe III.3.1) bekannten Experiment stecken, bewerten soll.

Eine weitere wirksame Aufheizmethode, die adiabatische Kompression, die schon früher gründlich getestet worden ist, ist in sich in ihrer Dauer begrenzt. Sie kann bei JET eingesetzt werden. Die Anwendung einer solchen Methode bei VHFT könnte helfen Zündungstemperaturen zu erreichen, bei denen die Aufheizung durch α -Teilchen einsetzen würde.

Andere Aufheizungsverfahren, wie Stoßwellenheizung, Turbulenzheizung (Jutphaas), implodierende „Liners“, Aufheizung durch Laser- oder relativistische Elektronenstrahlen (Amsterdam) werden exploratorisch untersucht werden.

III.3.4 Theoretische und numerische Untersuchungen

Alle oben genannten Arbeitsgebiete umfaßten sowohl experimentelle wie theoretische Studien. Zum Verständnis von Plasmaeinschluß und -heizung ist theoretische Arbeit wesentlich, damit die experimentellen Ergebnisse, die in Europa oder anderswo erzielt werden, richtig bewertet werden können. Diese Bewertungen ermöglichen begründete Extrapolationen auf neue Bedingungen, die sich, wenn die Reaktoren näherrücken, ergeben.

Da für Verständnis und Voraussage jetzt viel mehr Details notwendig sind, werden Rechenverfahren in steigendem Maß eingesetzt werden. Technische Diskussionen finden statt, um die Koordination von Fusionsberechnungen in Europa auszubauen. Dies sollte zu einem leichteren Austausch von Rechenprogrammen und zu abwechselndem Zugang zu Rechanlagen in den verschiedenen Laboratorien führen. Um endgültige Vorschläge zu formulieren, wurde eine Studie zu diesem Thema gefordert.

III.3.5 Andere Aktivitäten

Theoretische und experimentelle Grundlagenforschung im Bereich der Plasmaphysik sind weitgehend auf die Universitäten verlagert worden. Eine solche Zusammenarbeit hätte den zusätzlichen Vorteil, daß eine Reserve an jungen Wissenschaftlern und Ingenieuren ausgebildet wird, die für ein erweitertes Programm erforderlich sein könnten.

III.4 Fusionstechnologie

III.4.1 Einleitung

Die Hauptziele des technologischen Teils des Fünfjahresplans sind die Planungen und die notwendige technologische Unterstützung für die „post-JET“-Phase. Das vorgeschlagene Programm bezieht sich auf folgende größere Gebiete:

- Systemstudien,
- Sicherheit und Umweltbelastung,
- Technologie supraleitender Magnete,
- Tritium- und Blankettechnologie,
- Technologie der Werkstoffe.

Das ursprünglich von den Expertengruppen („expert groups“) vorgeschlagene Technologieprogramm war umfangreicher und ehrgeiziger als das hier vorgelegte. Trotz des großen Interesses an einem so umfassenden Programm mußte die Kommission das entsprechende Budget drastisch kürzen, um die Ge-

samtkosten einzugrenzen. Dies geschah durch eine Beschränkung auf die dringendsten Probleme, insbesondere auf die Probleme die mit der Planung und dem Bau der „post-JET“-Maschinen in direktem Zusammenhang stehen. Daher mußten Forschungsgebiete, wie die intensive 14-MeV-Neutronenquelle, die Planung supraleitender Magnete für zeitvariable Ströme oder eine Testschleife für Tritiumbrütende Blanketmodule zurückgestellt werden bis zur Programmrevision 1981 oder früher als Teil des GFS-Programms, falls dieses erweitert wird. Andererseits könnten Forschungsprogramme, die gegenwärtig außerhalb des Fusionsbereichs aber mit ähnlichen Zielen (z. B. Werkstoffentwicklung in den schnellen Brütern) durchgeführt werden, in Zusammenarbeitsprogramme für die Fusionstechnologie eingebracht werden.

Es muß noch bemerkt werden, daß dieser Fünfjahresplan keine Entwicklungsarbeit an Themen wie kryogenio- oder wassergekühlten Magneten für starke Felder oder große Stromgeneratoren enthält, da diese gegenwärtig innerhalb der auf Apparaturen bezogenen Projekte, z. B. JET, entwickelt werden.

III.4.2 Systemstudien

Systemstudien haben die Funktion, Konzepte von Kernfusionskraftwerken zu entwickeln, die Merkmale des Zielbereichs oder des technischen Optimums zu bezeichnen und die damit verbundene Analyse der Parameterempfindlichkeit zu erbringen. Systemstudien werden außerdem für ein Umreißen der Parameter der Zwischenstufen nützlich sein. Zur richtigen Einschätzung der Liste von Systemen, zu denen die Arbeiten hingeführt werden müssen, ist es erforderlich, die Grundentscheidung des europäischen Programms zu berücksichtigen. Es sind demnach gegenwärtig keine Studien an Spiegelmaschinen und Systemen mit Trägheitseinschließung vorgesehen. Das Hauptbemühen wird dagegen dem Tokamakkonzept (pulsierend oder im Quasi-Dauerbetrieb) gelten; es wird einiges Bemühen um andere Systeme geben, z. B. um ein Spaltungs-Fusions Hybrid-System, um den Pinch mit umkehrendem Feld und um die Belt/Schraubenpinchreaktoren, außerdem um Aufheizungsverfahren in Fusionsreaktoren.

In Konzeptstudien für DEMO, bei denen die GFS eine führende Rolle spielen wird, werden die Forschungsergebnisse der Laboratorien der Assoziationen in einen ständig aufs neue definierten Plan des Reaktors eingebaut werden. Es ist wichtig, daß Entwürfe für Fusionsreaktoren schon Fernsteuerungsmöglichkeiten für jede notwendige direkte Bedienung sowie für Reparaturen enthalten. Ein aktives Programm zur Anwendung von Manipulatoren wird innerhalb des JET-Projekts entwickelt. Ein begrenzter, zusätzlicher Aufwand für die Entwicklung von Allzweckmanipulatoren ist in dem Technologieprogramm enthalten.

III.4.3 Sicherheit und Umweltbelastung

Die Hauptuntersuchungen von Fragen der Sicherheit und Umweltbelastung bei Fusionsenergie werden auf folgendes konzentriert: auf die Einrichtung und

kontinuierliche Bewertung von Sicherheitskonzepten, die mit den wichtigsten, von Definitions- und Planungsgruppen erforschten Reaktoren zusammenhängen; auf die Prüfung der Umweltbelastung und deren Auswirkung auf die Genehmigungsbedingungen. Die Untersuchungen umfassen insbesondere die Abschätzung des Tritiumgehalts und des Freiwerdens von Tritium bei Normalbetrieb, die Beurteilung von Ereignissen in Zusammenhang mit möglichen Unfällen sowie die Verfügung über aktive Bestandteile. In jedem Entwurf wird notwendigerweise die Möglichkeit enthalten sein müssen, Unfallhergänge, bei denen das Containment undicht wird und Radioaktivität in die Umwelt gelangt, richtig zu werten.

III.4.4 Technologie supraleitender Magnete

Die in diesem Bereich vorgesehene, konzentrierte Anstrengung sollte die Gemeinschaft in eine wettbewerbsfähige Position bringen, wenn während des Fünfjahresplans größere Entscheidungen im Hinblick auf zukünftige, große, supraleitende Apparaturen getroffen werden. Zudem erscheint die Demonstration der Wirkungsweise eines supraleitenden Magnet-systems möglicherweise in Verbindung mit einem Fusionsplasmaexperiment außerordentlich wichtig, da es sehr wahrscheinlich ist, daß die zukünftigen, großen Fusionsapparaturen (auf der Grundlage von toroidalem Einschluß) mit supraleitenden Magnet-systemen ausgestattet werden.

1. Das Große-Spulen-Projekt (LCP). Das LCP ist eine Prüfeinrichtung, die in Oak Ridge gebaut werden soll und die eine toroidale Anlage von sechs D-förmigen Spulen umfaßt. Die Spulen-große ($4,7 \times 2,5$ m) wird eine Extrapolation der Ergebnisse auf die Erfordernisse der großen „post-JET“-Maschinen erlauben. Die erste europäische Spule (GFK Karlsruhe) aus NbTi supraleitendem Material wird voraussichtlich Ende 1981 nach Oak Ridge geliefert. Drei Spulen werden von den USA, eine von Japan und eine weitere von der Schweiz (die endgültige Genehmigung steht noch aus) zur Verfügung gestellt.
2. A15-Supraleiter. Die Verwendung von A15-Verbindungen ermöglicht den Betrieb von Magneten mit hohen Magnetfeldern (typisch sind 5 bis 8 T auf der Plasmaachse) und/oder einen größeren Stabilitäts- und Temperatursicherheitsfaktor bei realistischen Betriebsbedingungen. Beide Eigenschaften sind wichtig für die sehr wahrscheinliche Weiterentwicklung des magnetischen Fusionsprogramms. Aus diesem Grund ist vorgeschlagen worden, ein dynamisches, zielorientiertes Programm zu starten. Insbesondere wird vorgeschlagen, in der Gemeinschaft eine zweite Spule für die LCP-Prüfapparatur aus A15-Stromleitern zu bauen.

Die erfolgversprechendste A15-Verbindung ist das NbsSn. Sie steht jedoch in Europa für den Bau einer großen Spule noch nicht in genügender Menge zur Verfügung. Die Anstrengungen müssen beträchtlich zunehmen, wenn Spulen entwickelt werden sollen, die in einer zweiten Spule für LCP verwendet werden können. Dies sollte

ein größeres Ziel sein, das etwa drei Jahre nach der Lieferung der NbTi-Spule erreicht werden sollte.

3. Kühlung mit supraflüssigem Helium (Torus II). Die beiden Hauptvorteile einer Kühlung mit supraflüssigem Helium (HE II bei 1,8 K) sind die Steigerung der kritischen Werte der Supraleiter, sowie eine deutlich heraufgesetzte Wärmeübertragung bei kurzen Pulsen. Diese Vorteile sind für die verhältnismäßig kleinen, für Torus II (Hauptradius 2,15 m, Axialfeld 4,5 T) vorgeschlagenen Spulen zweifellos von Wert. Vorbereitende Versuche auf einer Modellspule in Saclay zeigen im Hinblick auf den Bau von Torus II erfolversprechende Resultate.

Es gibt zusätzlich weitere Aktivitäten bei der Unterstützung der in zukünftigen Apparaturen benötigten supraleitenden Magnetsysteme. Dieser Programm-vorschlag schließt insbesondere die folgenden Bereiche ein.

4. Spulen zur Erzeugung eines poloidalen Magnetfeldes. Die Spulen zur Erzeugung eines poloidalen Magnetfeldes, die in den vorhandenen Maschinen hauptsächlich von variablen Strömen durchlaufen werden, sind noch nicht im Hinblick auf Supraleiter betrachtet worden. Bevor der Einsatz solcher Spulen geplant werden kann, müssen die Schwierigkeiten, die sich mit den variablen Strömen in supraleitenden Spulen ergeben, überwunden werden. Da die anderen Aktivitäten auf dem Gebiet der Supraleiter den Vorrang haben, sind keine Tests größeren Maßstabs vor der Programmrevision vorgesehen.
5. Unterstützung des Supraleiterprogramms. Der endgültigen Herstellung der supraleitenden Spulensysteme liegt intensive Entwicklungsarbeit in den Bereichen der Stabilisierung, der Wärmeübertragung, der Kühlung und der Einwirkung des Wärmekreislaufs auf elektrische und thermische Isolierung zugrunde.

III.4.5 Tritium- und Blankettechnologie

Die Tritiumtechnologie, die für den sicheren Betrieb einer „post-JET“-Fusionsapparatur erforderlich ist, wird vom Brennstoffumlauf und dem gesamten Strahlungssicherungssystem abhängen. Um zu demonstrieren, daß bestimmte Tritiummengen in einer solchen Apparatur sicher und zuverlässig zu handhaben sind – z. B. 10 g/Tag, wobei sich etwa 100 bis 200 g zu jeder Zeit in dem System befinden – wird ein europäisches Tritiumlaboratorium vorgeschlagen. Dies würde den Zugang zu technologischen know-how, das außerhalb der Fusionslaboratorien der Gemeinschaft vorhanden ist, erfordern.

Der Einschluß in den DT-Brennern eines neutronenabsorbierenden Blankets, das zumindest teilweise für Brüten geeignet ist, erfordert die vorherige Demonstration des sicheren und zuverlässigen Funktionierens eines Blanketmoduls. Es müssen daher gegen Ende des Plans in Verbindung mit dem Werkstoffprogramm technologische Prüfungen des Blanketmoduls sowie Strahlungstests durchgeführt wer-

den. Insbesondere müssen die folgenden Teilbereiche oder Systeme entwickelt und für eine „post-JET“-Anwendung getestet werden:

1. Tritiumlagerung und Tritiumlieferung. Tritium kann entweder als ein Metallhydrid oder als Gas geliefert werden. Gegenwärtig eingesetzte Aufbewahrungstechniken sind wahrscheinlich angemessen, jedoch ist es erforderlich, vor der Inbetriebnahme der DT-Fusionsapparatur Erfahrung in Prüf- und Betriebsverfahren zu sammeln.
2. Tritiumtransfer und Abfallstoffe. Die Ventile erfordern im allgemeinen metallische Abdichtungen. Für Druckbereiche von 10^{-6} bis 10^{-8} Torr können sowohl Kältepumpen als auch turbomolekulare Pumpen eingesetzt werden, da sie mit Tritium verträglich sind. Allerdings ist noch einige Entwicklungsarbeit notwendig, um spezielle, mit dieser Anwendung zusammenhängende Probleme zu lösen, beispielsweise das Abpumpen von Helium.
3. Behandlung der Abgase. Das DT-Abgas muß von chemischen Verunreinigungen wie O, N und He befreit werden; außerdem ist die Wiedereinstellung der Wasserstoffisotopenzusammensetzung erforderlich, da diese durch verschiedene Fusionsreaktionen und durch Injektionen verändert wird. Mehrere Methoden stehen für jedes dieser beiden Behandlungsstadien zur Verfügung. Es wird jedoch notwendig sein, das Verfahrensschema für die schließlich gewählte Methode zu prüfen und zu optimieren.
4. Containment und Entseuchung. Containment und unfallbedingtes Freiwerden von Tritium sind in allen Ländern der Gemeinschaft eigenst Gegenstand von Durchführungs- und Genehmigungsbestimmungen. Die Definition dieser Bestimmungen ist eng mit anderen Problemen der Reaktorsicherheit verbunden und muß mit diesen zusammen gesehen werden. Die praktische Auswertung der gewählten Methode ist ein eigener Punkt im experimentellen Programm des Tritiumlaboratoriums.

Zur Zeit gültige Konzepte sehen vor, die gesamte Installation mit einer Hülle zu umgeben, die kontinuierlich mit Inertgas gespült wird, welches anschließend zur Extraktion des Tritiums behandelt wird. Zusätzlich wird das ganze Gebäude, das die Fusionsanlage enthält, abgedichtet und an eine Ablauf- und eine Tritiumbehandlungsanlage angeschlossen, was ein zweites Containment darstellt. Die entsprechende Technologie wird als im Prinzip verfügbar betrachtet. Es ist jedoch unbedingt notwendig, die Zuverlässigkeit des Containmentsystems zu demonstrieren, wenn auch in einem verringerten Maßstab. Dies ist eines der größeren Ziele bei der Arbeit des Tritiumlaboratoriums.

5. Tritiumrückgewinnung vom Blanket. Tritiumrückgewinnungstechniken werden von der Wahl des Brutstoffs abhängen: flüssiges oder festes Lithium oder flüssige Lithiumverbindungen. Für flüssiges Lithium werden mehrere Tritium-

trennungsverfahren diskutiert. Ermutigende Ergebnisse von Destillationen sind veröffentlicht worden, die allerdings in einem Laboratoriums-Strahlenexperiment bestätigt werden müssen. Die Rückgewinnung von festen Lithiumverbindungen ist schwierig, da ein Entweichen des Tritiums in das erste Kühlsystem verhindert werden muß.

III.4.6 Technologie der Werkstoffe

Das Werkstoffprogramm sollte streng auf die Planung der „post-JET“-Maschine(n) im Hinblick auf Werkstoffauswahl, auf die Ausarbeitung von Spezifikationen und auf Untersuchungen spezieller Probleme abgestimmt werden.

Angesichts der langen Einführungsdauer muß jedoch schon jetzt zusätzlich mit signifikanten, sondierenden Arbeiten für die Erfordernisse des Demonstrationsreaktors begonnen werden.

Die Hauptmaterialprobleme im Fusionsbereich bestehen in: sowohl kontinuierlicher wie periodischer mechanischer Beanspruchung, Korrosion in Gegenwart von Lithium oder Lithiumverbindungen und Verunreinigungen, Strahlenschäden im Innern und an der Oberfläche der Materialien. Die schwierigsten Probleme ergeben sich allerdings aus der Kombination dieser Effekte, die auf der Grundlage heutigen Wissens nur schwer zu bewerten sind.

Die wichtigsten, in das Technologieprogramm aufzunehmenden Punkte sollten folgende sein:

1. Auswahl und Standardisierung der Werkstoffe. Gut entwickelte Werkstoffe, wie austenitische Stähle und Nickellegierungen werden zunächst bevorzugt. Aufgrund der zur Erprobung neuer Werkstoffe nötigen langen Zeit ist Sondierungsarbeit an Alternativwerkstoffen (ausgewählt unter solchen, die bereits industriell verfügbar sind) erforderlich. Ein wichtiges Kriterium ist die größtmögliche Herabsetzung der Werkstoffaktivierung.
2. Mechanische Eigenschaften der nichtbestrahlten Werkstoffe (Kriechen und Ermüdung, Sprödewerden und Bruch, metallurgische Probleme bei der Herstellung). Einige Bedingungen, denen Werkstoffe in einem Fusionsreaktor unterworfen werden, sind den Ingenieuren unvertraut, wie z. B. pulsierende Belastung und Belastung durch Aufheizung mit etwa 10^6 Zyklen/Jahr. Dem Kriech- und Ermüdungsverhalten auch der gewöhnlichsten Werkstoffe unter diesen Bedingungen sollte Aufmerksamkeit geschenkt werden.
3. Verträglichkeit (Korrosion in flüssigem Lithium und Lithiumverbindungen; Korrosion durch Heliumverseuchung, Durchlässigkeit für Wasserstoffisotope). Korrosion ergibt sich voraussichtlich bei allen Strukturwerkstoffen. Die Anwesenheit von unüblichen Verbindungen (Lithium oder Lithiumverbindung) und von Verunreinigungen (Helium und Wasserstoffisotope) machen dieses Problem weitgehend spekulativ, obwohl auch experimentelle Ergebnisse zur Verfügung zu

stehen beginnen. Die Kenntnis der Durchlässigkeit ist für die Vorhersage der Wasserstoffisotopenkonzentration im Reaktor wichtig, sowohl im Hinblick auf ihre Wirkung auf Werkstoffe (Sprödewerden) als auch hinsichtlich der Sicherheit.

4. Strahlenschäden (Simulation durch Elektronenbeschuß, durch leichte und schwere Ionen, Bestrahlung im Kernspaltungsreaktor; Bestrahlung mit 14-MeV-Neutronen, Bestrahlung des Isoliermaterials).

Strahlenschäden an Werkstoffen im Fusionsreaktor verursachen Schwellen, Kriechen, Sprödewerden und andere Veränderungen der mechanischen und elektrischen Eigenschaften. Die Schädigung wird durch energiereiche Neutronen durch Verlagerungen und Umwandlungen hervorgerufen und hängt von den Bedingungen, bei denen der Werkstoff bestrahlt wird, ab. Zwei Hauptwerkzeuge zur Simulation sind heute verfügbar: Bestrahlung mit geladenen Teilchen und Bestrahlung mit schnellen Neutronen in Kernspaltungsreaktoren. Das erste kann eingesetzt werden, um die Wirkungen der durch Neutronen induzierten Verlagerungen und der Gasproduktion zu simulieren, wobei hohe Raten erhalten werden können. Speziell entworfene, starke Neutronenquellen, insbesondere die auf der Grundlage von DT-Reaktionen, könnten ein Strahlungsumfeld ergeben, das dem für einen Fusionsreaktor vorhergesagten am nächsten kommt. Sie können somit die Kalibrierung und Überprüfung für die Simulationsmethoden liefern. Dies könnte einen bedeutenden Gegenstand internationaler Zusammenarbeit darstellen. Es ist daher vorgeschlagen worden, eine europäische Beteiligung (an dieser Zusammenarbeit) zu entwickeln, wobei mit Sondierungsarbeit begonnen wird, z. B. verschiedene Annäherungsmöglichkeiten an eine starke Neutronenquelle miteinander zu vergleichen oder Konzepte für die erfolgversprechendsten unter ihnen zu schaffen.

5. Schädigungen an Oberflächen. Plasma-Wand-Wechselwirkungen sind wichtig, sowohl vom Standpunkt der Plasmaphysik her als auch aufgrund ihrer Wirkungen und Werkstoffeigenschaften. Was die Werkstoffe anbetrifft, so beinhalten die zu untersuchenden Gebiete der Oberflächenschädigungen folgendes: die Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe der ersten Wand aufgrund von Oberflächenerosion und Brennstoffimprägnierung, die Prüfung geeigneter Werkstoffe, um Strahlenverluste durch Verunreinigungen auf ein Mindestmaß zurückzuführen; das Abfangen und Freiwerden von Brennstoff an der ersten Wand (vgl. III.3.1).

III.5 Trägheitseinschluß

III.5.1 Laserfusion

Die Probleme der Laserfusion können folgendermaßen eingeteilt werden:

- Entwicklung von Hochleistungslasern;

- Untersuchungen der Licht-Plasma-Wechselwirkungen und des Energietransports;
- Hydrodynamik von Verdichtungen und thermokernuelles Brennen;
- Entwurf und Herstellung von Pellets;
- Theorie der physikalischen Grundlagen;
- Reaktorstudien.

Innerhalb der nächsten Jahre wird das europäische Programm zum Trägheitseinschluß nur einige Prozent des sowjetischen oder amerikanischen Programms ausmachen. Um die in Paragraph III.2.2 genannten Ziele zu erreichen, sollte es sich auf wenige Themen konzentrieren und bei diesen Versuchen auf die weltweite Entwicklung einwirken. Bei einem geringen Gesamtaufwand ist es überdies wichtig, daß sich die Programme einzelner Laboratorien ergänzen und sich nahe genug sind, damit sich gegenseitige Hilfe durch wirksame Zusammenarbeit ergeben kann. Schließlich sollten die Programme der verschiedenen Assoziationen möglichst konvergieren, damit die Basis für die zukünftige Realisierung (falls angebracht) eines großen gemeinsamen Kompressionsexperiments (mindestens $5 \cdot 10^{13}$ Watt, Mindestkosten 50 Mio RE) vorbereitet wird. Unter Berücksichtigung der in den verschiedenen Assoziationen zur Verfügung stehenden Erfahrung und Ausstattung wird folgendes Programm vorgeschlagen:

1. Entwicklung von Hochleistungslasern
 - Optimierung des bereits entwickelten 1-TW-Jodlasers und Weitergabe des know-how an die Industrie mit dem Ziel, in naher Zukunft Module von 1 TW – 0,3 nsec herzustellen (Garching). Mögliche Erweiterung auf Module mit höherer Leistung;
 - Entwicklung einer CO₂-Laserlinie von 250 J – 1 nsec und Realisierung von vier solchen Modulen, so daß ein 1-TW-System zur Verfügung stände (Frascati);
 - Erforschung neuer hochleistungsfähiger Laser (Garching).
2. Licht-Plasma-Wechselwirkung und Energietransport
 - experimentelle Untersuchungen von Neodimium- und Jodlaserstrahlen, die meistens auf plane Targets fokussiert werden (Garching);
 - theoretische und numerische Studien (Garching, Brüssel, Göteborg).
3. Kompressionsstudien
 - Untersuchung der hydrodynamischen Stabilität bei der Implosion von Pellets mit großem Aspektverhältnis, bei zwei verschiedenen Wellenlängen (1 und 10 μ m) unter Verwendung zunächst eines 2×100 J – 2 nsec Neodimiumsystems und später eines 4×250 J – 1 nsec CO₂-Systems. In solchen Experimenten werden Deuterium-Tritium gefüllte Pellets verwendet; die Produktion maximaler Neutronenzahlen ist jedoch nicht das Ziel dieser Versuche (Frascati).

- Realisierung eines Kompressionsexperiments mittlerer Größe unter Verwendung von 2 Jodlasermodulen von 1 TW; bei diesem Experiment sollen Erfahrungen mit den einschlägigen Techniken, Diagnostiken und Rechenverfahren gesammelt werden (Garching).

4. Theoretische Basis

Fortsetzung gegenwärtiger theoretischer Studien (Brüssel, Göteborg) über Transportkoeffizienten und nichtlineare Phänomene; die Ergebnisse sollen auf spezifische Situationen im experimentellen Programm angewendet werden.

5. Zusammenarbeit

Wirksame Zusammenarbeit ist besonders in folgenden Bereichen erforderlich: Rechenverfahren; Pellet-Herstellung (zu Beginn werden die Pellets im Ausland gekauft; diese Situation ist jedoch höchst unbefriedigend), Diagnostik und Reaktorstudien. Der Kontakt zwischen den Assoziationen und anderen zivilen Laboratorien (Rutherford, Polytechnique, Universitäten) soll soweit wie möglich intensiviert werden, z. B. durch Einbeziehen dieser Laboratorien in den Mobilitätsfonds.

III.5.2 Andere Möglichkeiten

- Trotz ihrer Entwicklungsmöglichkeiten und ihrer schnellen Entwicklung im Ausland, kann eine Elektronen- und Ionenstrahlfusionsforschung innerhalb des sehr begrenzten Programms der Assoziationen zum Trägheitseinschluß nicht eingeleitet werden.
- Die Aktivität auf dem Gebiet des Plasma-Fokus wird vorläufig auf die Ausnutzung der großen 1-Megajoule-Apparatur in Frascati beschränkt bleiben; es wird mit Culham zusammen und in engem Kontakt mit mehreren deutschen Universitäten gearbeitet. Eine allgemeine Bewertung dieser Forschungslinie ist für 1980 vorgesehen.

III.6 Zusammenfassung des vorgeschlagenen Programms

Abgesehen vom Bau des JET besteht das vorgeschlagene Programm großenteils in der Fortführung der laufenden Maßnahmen. Hinzu kommen eine Erweiterung dieser Maßnahmen sowie einige neue Tätigkeiten.

III.6.1 Fortsetzung der laufenden Maßnahmen

Hierzu gehören insbesondere der Bau von JET und dessen Betrieb in der Grundleistungsphase und die Nutzung der bereits vorhandenen Einrichtungen sowie der im Bau befindlichen. Bei den meisten von ihnen handelt es sich um Tokamaks, die zur Lösung bestimmter Probleme konstruiert worden sind (siehe Tabelle II) und die für den nächsten Schritt von primärer Bedeutung sind. Die Notwendigkeit, daraus ein Höchstmaß an Informationen zu beziehen, liegt auf der Hand. Einige andere toroidale Maschinen, die zu den Alternativrichtungen gehören, sollen Informationen darüber liefern, die für den Entschluß benötigt werden, in dieser Entwicklungsrichtung

fortzufahren oder sie aufzugeben. Darüber hinaus sollen sie die Prüfung anderer Probleme bezüglich der Tokamak-Richtung ermöglichen: die Entkopplung der Heizung vom Einschluß (Stellaratoren) sowie die Untersuchung der Eigenschaften der Plasmen mit hohem Beta (Hoch-Beta-Maschinen).

Auf dem Gebiet der Neutralteilcheneinschießung kann die Entwicklung von Wasserstoffinjektionsvorrichtungen mittlerer Spannung mit positiven Ionenquellen als abgeschlossen gelten: ihre intensive Anwendung auf Einschlußvorrichtungen hat begonnen. Die Entwicklung von Vorrichtungen mit höherer Spannung, von Deuteriuminjektoren, von Wiedergewinnungssystemen und von negativen Ionenquellen ist in zwei Assoziationen konzentriert und muß fortgesetzt werden, um den Forderungen von JET und denen des nächsten Schritts zu entsprechen.

Auf dem Gebiet der Hochfrequenzheizung ist die Entwicklung der Lower-Hybrid-Resonance-Heizung am weitesten fortgeschritten: sie tritt nun in die Anwendungsphase ein. Die Zahl der anderen Methoden ist verringert worden, und zwar schon während der vorhergehenden Programme, und die Fortsetzung ihrer Entwicklung auf ein höheres Energieniveau ist erforderlich, um die Auswahl der geeignetsten von ihnen für die Forderungen der nächsten Schritte vorzubereiten.

Auf dem Gebiet der Fusionstechnologie wurde vor kurzem mit einigen Aktivitäten begonnen, und an der Notwendigkeit ihrer Fortsetzung besteht kein Zweifel. Es handelt sich um das Große-Spulen-Projekt, den Test der Supraleitfähigkeit mit superflüssiger Heliumkühlung der Materialien, Konzeptions-, Sicherheits- und Umweltstudien sowie um die Simulation von Strahlenschäden.

Bei dem Trägheitseinschluß haben die bisher in den assoziierten Forschungsstätten durchgeführten Arbeiten auf der technologischen Seite im wesentlichen in der Entwicklung eines 1-TW-Jodlasers und in der Vorentwicklung eines 250-Joule-CO₂-Lasers und auf der physikalischen Seite in dem Studium der Licht-Plasma-Wechselwirkung bestanden. Sowohl die Fortschritte als auch die Intensivierung der Arbeiten außerhalb der Gemeinschaft sind derart erheblich, daß eine Verstärkung unserer derzeitigen Arbeiten erforderlich ist, wenn wir nicht unwiderruflich den Anschluß verlieren wollen.

III.6.2 Erweiterung

- Je nach dem Ausgang der Untersuchungen, die kürzlich durch die im Jahre 1978 mit der Tokamaklinie erzielten sehr positiven Ergebnisse ausgelöst wurden, könnte eine Kürzung der Bauphase von JET und der Einsatz der erweiterten Leistungen während der Bauphase vorgeschlagen werden. Die technische Durchführung und die wissenschaftliche Ratsamkeit eines solchen Vorgehens ist von den zuständigen Instanzen des Gemeinsamen Unternehmens noch nicht untersucht worden.
- Je nach dem Ergebnis der z. Z. laufenden konzeptionellen und experimentellen Vorstudien könnte

das Programm den Bau zweier neuer Tokamaks umfassen: eine Vorrichtung mit sehr hohem Feld (VHFT) und einen supraleitenden Tokamak (Torus II) für das Studium der Plasmaprofilformung und der Heizung. Die Bedeutung eines frühzeitigen Zündungsexperiments und der Anwendung der Supraleitfähigkeit auf einen echten Tokamak für die Vorbereitung des nächsten Schritts braucht nicht betont zu werden. Die Möglichkeit, jede der beiden vorerwähnten Versuchsanordnungen zu bauen, ist bisher nicht untersucht worden. Es ist daher erst recht nicht sicher, daß beide gebaut werden müssen.

- Auf dem Gebiet der Plasmaaufheizung ist demgegenüber eine Erweiterung der Arbeiten möglich und erforderlich. Die meisten vorhandenen Vorrichtungen werden bereits betrieben oder werden mit ihrer Grundleistung in Betrieb sein. Wenn sie ihre Maximalleistung erreichen sollen, benötigen sie eine starke zusätzliche Hilfsheizenergie. Es werden mehrere Neutralteilcheneinschießungseinheiten mit einer Gesamtenergie in der Größenordnung von mindestens 25 MW gebaut und bei JET und bei anderen Tokamaks wie Asdex, TFR 604, Dite, Textor und Torus II eingesetzt werden müssen. Insbesondere bei FT wird eine starke Hochfrequenzheizenergie bei der Lower Hybrid Resonance eingesetzt werden müssen.
- Auf dem Gebiet der Fusionstechnologie sollten die Arbeiten an den Systemstudien intensiviert und die Entwicklung einer supraleitenden Spule A-15 für LCP durchgeführt werden.
- Die vorgeschlagene Erweiterung auf dem Gebiet des Trägheitseinschlusses, die zur Erreichung der Mindestziele des Programms auf diesem Gebiet erforderlich ist, bezieht sich auf die industrielle Herstellung von 1-TW-Jodlasermodulen, die Entwicklung und den Bau von vier 250-Joule-CO₂-Lasern und der Inangriffnahme von Kompressionsversuchen.

III.6.3 Neue Tätigkeiten

In Vorbereitung auf die JET-Nachfolgemaschine benötigen wir Kenntnisse über die für die Fusion erforderliche Tritiumtechnologie. Die in den Mitgliedstaaten bereits vorhandene Tritiumtechnologie sollte für das Fusionsprogramm verfügbar gemacht werden, jedoch besteht nach wie vor Bedarf an einer europäischen Forschungsstelle, die sich spezifisch mit der Tritiumtechnologie von Fusionsvorrichtungen beschäftigt. Dies ist in den USA bereits anerkannt worden; dort soll in Los Alamos eine Testanordnung für ein Tritiumsystem gebaut werden. Wenn Europa mit den USA auf diesem Gebiet wirkungsvoll zusammenarbeiten soll, dann muß innerhalb der Gemeinschaft ein ausreichender Sachverstand hierfür geschaffen werden. Angesichts der in der Gemeinschaft zu erwartenden zeitlichen Verzögerungen aufgrund der strengen Voraussetzungen für die Erteilung der Betriebserlaubnis sollten die einschlägigen Maßnahmen so bald wie möglich anlaufen. Darüber hinaus sollten die Versuche mit Blanket-Modulen etwa am Ende des Fünfjahresprogramms beginnen.

Das Problem der Werkstoffe, das bereits für JET von Bedeutung ist, besitzt für den nächsten Schritt erhebliche Wichtigkeit und ist für den Reaktor von entscheidender Bedeutung. Der gegenwärtige Wissensstand reicht gerade aus, um die Gebiete zu identifizieren, auf denen Arbeiten durchgeführt werden müssen. Angesichts der bei einigen Erprobungen erforderlichen langen Vorlaufzeiten sollte mit konkreten Forschungsarbeiten schon jetzt begonnen werden, insbesondere auf dem Gebiet der Strahlenschäden.

KAPITEL IV

Durchführung

IV.1 · Finanzielle Situation des Programms der Assoziationen für 1976 bis 1980

Die von der Kommission zur Finanzierung des Programms der Assoziationen für den Zeitraum 1976 bis 1980 auf Beschluß des Rats vom 25. März 1976¹⁾ bereitgestellten Mittel beliefen sich auf 120 Mio RE. Dies entspräche einem Gesamtvolumen dieses Programms von etwa 410 Mio RE (unter Zugrundelegung des Satzes von 25 v. H. für die Grundfinanzierung und von 45 v. H. für die zusätzliche Finanzierung), wenn die vom Rat als Obergrenze für die Finanzierung vorrangiger Vorhaben (39 Mio RE) zur Verfügung gestellte Summe für die zusätzliche Finanzierung dieser Vorhaben aufgewandt würde.

Als dieser Programmbeschluß gefaßt wurde, wies die Kommission darauf hin²⁾, daß ihre Mittelbereitstellung aus einer erheblichen Verringerung ihres ursprünglichen Vorschlags resultiert und daß daher bei der Steuerung des Programms mit Schwierigkeiten zu rechnen sein werde. Die Kommission wies darüber hinaus darauf hin, daß sie erforderlichenfalls dem Rat im Laufe der Durchführung des Programms einen Vorschlag zur Anpassung der bereitgestellten Mittel an die wirtschaftlichen Erfordernisse unterbreiten werde.

Im Juli 1977 wurde zur wenigstens teilweisen Bewältigung der Schwierigkeiten der Finanzierung der allgemeinen Haushalte der Assoziationen sowie angesichts der für 1978 zu erwartenden Programmrevision mit der positiven Stellungnahme des Beratenden Ausschusses Fusion³⁾ beschlossen, die für die zusätzliche Finanzierung vorgesehenen Mittel von 39 auf 27 Mio RE zu kürzen und die für die Grundfinanzierung vorgesehenen Mittel um 12 Mio RE zu erhöhen. Dies sollte es der Kommission ermöglichen, auf der Grundlage der vom Rat beschlossenen Sätze ein Programm mit einem Gesamtvolumen von 430 Mio RE zu finanzieren. Der Beratende Ausschuss Fusion billigte ebenfalls³⁾ den Vorschlag der Kommission, den Rat anläßlich der für 1978 vorgesehenen Revision um eine Überprüfung der Mittelzuweisung zu bitten, wobei die Veränderungen der

¹⁾ ABl. EG Nr. L 90 vom 3. April 1976: 120 Mio RE = 124 Mio RE (Gesamtmittelzuweisung) – 2 Mio RE (Management) – 2 Mio RE (Mobilität)

²⁾ Dok. R/781/76 (ATO 42) 1976 bis 1980

³⁾ Dok. R/1980/77 (ATO 89)

wirtschaftlichen Verhältnisse seit dem 1. Januar 1976 berücksichtigt werden sollten. Die endgültige Freigabe der Mittel der Kommission für die Finanzierung des gesamten Fünfjahresprogramms wurde vom Rat im November 1976⁴⁾ beschlossen, und die Assoziationsverträge für den Zeitraum 1976 bis 1980 konnten erst 1977 geschlossen werden. Die Veränderungen der wirtschaftlichen Verhältnisse zwischen Januar 1976 und Mitte 1977 (durchschnittliche Inflationsrate etwa 17 v. H.) veranlaßten die Kommission, diese Verträge mit einem Finanzvolumen von insgesamt etwa 500 Mio RE abzuschließen, und zwar mit der üblichen Beteiligung von 25 v. H. für die Grundfinanzierung. Die Erhöhung des Gesamtvolumens um 70 Mio RE von 430 auf 500 Mio RE hat eine Erhöhung der Beteiligung der Kommission von 17,5 Mio RE (= 25 v. H. von 70 Mio RE) für den Zeitraum 1976 bis 1980 zur Folge. Es muß betont werden, daß dieser Betrag nur die zusätzlichen Mittel umfaßt, die nötig sind, damit die Kommission ihre 1977 den Assoziationen gegenüber eingegangenen Verpflichtungen (25 v. H. der allgemeinen Ausgaben) erfüllen kann. Der Anteil dieses Betrages, der für die ersten drei Jahre des Programmes 1976 bis 1980 (die nicht durch das neue Fünfjahresprogramm 1979 bis 1983 gedeckt werden) tatsächlich benötigt wird, beträgt ca. 10 Mio RE ($\frac{3}{5}$ von 17,5 Mio RE). Die Verpflichtungen der Kommission für die Jahre 1976, 1977 und 1978 belaufen sich daher auf ca. 84 Mio RE (= 10 Mio RE + $\frac{3}{5}$ der Gesamtzuweisung von 124 Mio RE). Der Restbetrag von ca. 40 Mio RE (= 124 – 84 Mio RE) vom Programm 1976 bis 1980 ist demnach zur teilweisen Finanzierung des Programms 1979 bis 1983 verfügbar.

IV.2 Programmvorschlag für 1979 bis 1983

IV.2.1 Personal

Das gesamte im Kernfusionsprogramm eingesetzte wissenschaftliche Personal einschließlich des an JET abgeordneten Personals sowie des Personals von EURATOM, das in den Assoziationen und der Gemeinsamen Forschungsstelle tätig ist, betrug Mitte 1978 etwa 860. Diese 860 Wissenschaftler teilen sich etwa wie folgt auf:

— qualifizierte Forscher, die in den Assoziationen der Mitgliedstaaten tätig sind	700
— allgemeine Unterstützung (Leitung, Verwaltung, technische Dienste, usw.)	75
— JET	48
— Assoziation EURATOM-NSBESD (Schweden)	25
— Gemeinsame Forschungsstelle (Ispra)	12
Gesamt	860

Die Gesamtzahl der Beschäftigten (d. h. einschließlich der Nichtwissenschaftler) ist schwieriger anzugeben, weil in einigen der Assoziationen die Unterstützungsdienste mit anderen Forschungsstellen geteilt werden, die mit dem Kernfusionsprogramm nichts zu tun haben. Eine ungefähre Schätzung ergibt jedoch eine Gesamtzahl von mindestens 3000 Personen.

⁴⁾ Dok. T/919/76 (ATO)

Hinsichtlich der Zusammensetzung des wissenschaftlichen Personals erscheinen zwei Bemerkungen angebracht:

- da die Versuchsanordnungen größer und technisch immer komplizierter werden, macht sich ein Mangel an Ingenieuren und spezialisierten Technikern für die Planung und den Bau bemerkbar, während die Zahl der Physiker für die Konzipierung, den Betrieb und die Interpretation der Ergebnisse der Maschinen ausreicht;
- da die Neueinstellungen junger Wissenschaftler in den letzten Jahren fast völlig aufgehört haben, steigt das Durchschnittsalter des Personals in einem Tempo, das fast den Wert 1 pro Jahr erreicht. Bei einem Programm, das noch einige weitere Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird, ist diese Überalterung des Personals ein gefährliches Phänomen.

Für die Durchführung desjenigen Teils des Technologieprogramms, das außerhalb der assoziierten Forschungsstellen entwickelt wird, ist beabsichtigt, zwischen den assoziierten Forschungsstellen und denjenigen außerhalb des Kernfusionsprogramms – von denen die meisten auf dem Gebiet der Kernspaltung tätig sind – Unterverträge zu schließen. Aus diesem Grunde erscheint die umfassende Rekrutierung technologischer Sachverständiger in den Kernfusions-Forschungsstellen zu diesem Zweck gegenwärtig nicht erforderlich, obgleich die Assoziationen eine geringe Anzahl von Spezialisten benötigen werden, um die vorerwähnten Unterverträge zu überwachen.

In den Assoziationen ist während des Fünfjahreszeitraums 1979 bis 1983 nicht mit einer fühlbaren Personalvermehrung zu rechnen. Die Zahl der insgesamt im Rahmen des Kernfusionsprogramms Tätigen wird sich leicht erhöhen, und zwar hauptsächlich wegen des Aufbaus des JET-Teams sowie der möglichen Intensivierung der Kernfusionsarbeiten in der Gemeinsamen Forschungsstelle.

Trotz der vorgesehenen Erweiterung des Programms beantragt die Kommission keine Vermehrung ihres eigenen Personals zur Durchführung dieses Fünfjahresprogramms. Es wird sich weiterhin um 113 Bedienstete der Kommission handeln, wie vom Rat am 25. März 1976 beschlossen. Diejenigen unter diesen Bediensteten, die in Brüssel in der Direktion für Kernfusionsforschung arbeiten, haben sich inzwischen auf 20 vermehrt; bei diesem Stande dürfte es auch während der Durchführung des vorgeschlagenen Programms verbleiben. Das gesamte übrige EURATOM-Personal wird in den assoziierten Forschungsstellen verbleiben oder an JET abgeordnet werden.

IV.2.2 Gesamtausgaben der assoziierten Forschungsstellen

Das hier vorgeschlagene Programm ist das Ergebnis eines Kompromisses zwischen der Notwendigkeit, die Arbeiten so weit zu intensivieren, wie es die Bedeutung des Endziels für die Gemeinschaft rechtfertigt, und der Erkenntnis, daß der finanzielle Aufwand, um den nachgesucht werden kann, begrenzt ist.

Eine breitere Forschungsfront, wie das Kernfusionsprogramm der Sowjetunion oder ein ehrgeizigeres Programm mit kürzeren Fristen, wie dasjenige der Vereinigten Staaten, wäre zwar wünschenswert, würde aber auch wesentlich höhere finanzielle Aufwendungen erfordern. In diesem Sinne liegen die wünschenswerten Maximalausgaben für die einschlägigen Forschungen weit oberhalb der vorgeschlagenen Zahlen. Die Untergrenze ist demgegenüber eindeutig definiert, da sie eng mit den Personalkosten der assoziierten Forschungsstellen zusammenhängt; wenn keine neuen Investitionen vorgenommen würden, würden die weiteren Forschungen schon sehr bald eingestellt werden müssen, jedoch könnten die laufenden Ausgaben dennoch nicht wesentlich reduziert werden, es sei denn, daß das Personal selbst reduziert würde.

Das nachstehend erörterte finanzielle Gesamtvolumen entspricht dem in Kapitel III beschriebenen und in Paragraph III.6 unter den Überschriften „Fortsetzung der laufenden Maßnahmen“, „Erweiterung“ und „Neue Tätigkeiten“ zusammengefaßten Programm. Es umfaßt nicht den Teil des Programms, der in der Gemeinsamen Forschungsstelle, in Schweden und möglicherweise in der Schweiz durchgeführt werden soll.

1. Fortsetzung der laufenden Maßnahmen

Der Gesamtumfang der vorläufigen Haushalte der assoziierten Forschungsstellen für das Jahr 1978 (ausgedrückt in den jeweiligen nationalen Währungen und umgerechnet in ERE zu den Wechselkursen von Anfang 1978) beläuft sich auf etwa 104 Mio ERE. Diese Zahl, multipliziert mit 5, würde für das Programm 1979 bis 1983 zu einem Gesamtumfang von 520 Mio ERE führen, wenn man die wirtschaftlichen Verhältnisse von Januar 1978 zugrundelegt. Die Inflationsrate in der Gemeinschaft liegt z. Z. (genauer gesagt, zwischen April 1977 und April 1978) bei 7,5 v. H. pro Jahr. Dies führt aufgrund der wirtschaftlichen Verhältnisse vom Januar 1979 zu einem Fünfjahreshaushalt von etwa 560 Mio ERE. Bei gleichem Personalbestand werden die Personalkosten aufgrund früherer Erfahrungen mit einem Steigerungssatz von wenigstens 6 v. H. jährlich innerhalb der Gemeinschaft zu veranschlagen sein: diese unvermeidliche Erhöhung belastet etwa 40 v. H. des gesamten Kernfusionshaushalts und führt zu einem zusätzlichen Finanzbedarf von 28 Mio ERE für die Jahre 1980 bis 1983. Die Fortsetzung der Arbeiten auf der bisherigen Ebene erfordert somit einen Fünfjahreshaushalt in Höhe von 588 Mio ERE. Dieser Betrag umfaßt die Extrapolierung der Investitionen des Jahres 1978, die einen bescheidenen Umfang nicht überschritten, weil die meisten Investitionsverpflichtungen zu Beginn des Programms 1976 bis 1980 eingegangen worden waren. Diese Extrapolation läßt daher Raum für zusätzliche – wenn auch begrenzte – neue Investitionen, die der Erweiterung der laufenden Aktivitäten entsprechen, ermöglicht aber nicht die Inangriffnahme einer umfangreichen neuen Aktivität.

— Gesamtumfang (wirtschaftliche Verhältnisse Januar 1978)	520 Mio ERE
— Inflation Januar 1978 bis Januar 1979 (7,5 v. H.)	40 Mio ERE
— Personalkostensteigerung (bei konstantem Personal)	28 Mio ERE
Fortsetzung auf jetzigem Stand	588 Mio ERE

2. Erweiterung der jetzigen Aktivität

Das in Paragraph III.6.2 zusammengefaßte Programm entspricht den folgenden finanziellen Verpflichtungen:

— Investitionen für neue Tokamaks: Torus II und VHFT. Die Kosten jeder dieser Maschinen wird sich auf etwa 20 bis 30 Mio ERE belaufen	50 Mio ERE
— Zusatzheizung (außer JET)	23 Mio ERE
— Trägheitseinschluß	10 Mio ERE
— Fusionstechnologie:	
• System- und Umweltstudien, Planungs- und Definitionsgruppen:	5 Mio ERE
• Supraleitfähigkeit (hauptsächlich eine A-15-Spule für LCP):	15 Mio ERE
	20 Mio ERE
Gesamt	103 Mio ERE

3. Neue Tätigkeiten (siehe Paragraph III.6.3)

— Tritiumtechnologie	15 Mio ERE
— Werkstoffe	30 Mio ERE
Gesamt	45 Mio ERE

Es muß eindeutig darauf hingewiesen werden, daß diese Zahlen dem in Kapitel III beschriebenen Programm entsprechen, außer in bezug auf die Werkstoffe. In diesem letzteren Fall würde die Durchführung des von den Sachverständigen definierten und in Paragraph III.4.6 umrissenen Programms eine wesentlich höhere finanzielle Verpflichtung bedeuten. Mit der vorstehend angegebenen Finanzierung ist zwar die Inangriffnahme des Programms möglich, jedoch wird sein Entwicklungsrhythmus eng begrenzt sein.

Abschließend werden die allgemeinen Ausgaben der assoziierten Forschungsstellen (einschließlich der Unterverträge für Technologie) für den Fünfjahreszeitraum 1979 bis 1983 wie folgt geschätzt:

Fortführung der laufenden Maßnahmen	588 Mio ERE
Erweiterung der laufenden Maßnahmen	103 Mio ERE
Neue Aktivitäten	45 Mio ERE
Insgesamt	736 Mio ERE

IV.2.3 Zusätzliche Finanzierung

Aufgrund der in Kapitel III enthaltenen technischen Beschreibung sowie innerhalb des Rahmens der in Paragraph IV.2.2 vorgeschlagenen Gesamtausgaben werden die für die Durchführung des Programms 1979 bis 1983 erforderlichen Investitionen auf 120 Mio ERE geschätzt, und zwar auf der Basis der wirtschaftlichen Verhältnisse Anfang 1979.

Die vorgeschlagenen Teilhöchstgrenzen für die Investitionen der assoziierten Forschungsstellen, die von der Gemeinschaft zum Vorzugssatz von 45 v. H. zu finanzieren wären, sind folgende:

	in Mio ERE
Tokamaks und Unterstützung für JET	64
Andere toroidale Vorrichtungen	15
Heizung und Injektion	35
Fusionstechnologie	30
Trägheitseinschluß	6

In der Tokamaklinie sind ca. 10 Mio ERE enthalten für Arbeiten der assoziierten Laboratorien zur Unterstützung des JET-Projekts (z. B. Diagnostikentwicklung, Heizmethoden, Studien usw.). In der gleichen Linie wird Vorsorge getroffen (50 Mio ERE) für den möglichen Bau von Torus II und VHFT.

Es ist darauf hinzuweisen, daß der Gesamtbetrag dieser Teilhöchstbeträge (150 Mio ERE) höher liegt als die vorgesehene Obergrenze für Vorzugsmaßnahmen (120 Mio ERE). Dies bedeutet, daß die genannten Teilhöchstbeträge nicht in allen Linien voll ausgeschöpft werden können.

Wie in den vorhergehenden Fünfjahresprogrammen wird die Kommission nur solche Vorhaben zusätzlich finanzieren, deren Vorrangstatus von der Verbindungsgruppe anerkannt wird.

IV.2.4 Mobilität

Der „Mobilitätsvertrag“ für den Personalaustausch zwischen den verschiedenen am Programm beteiligten oder dazu einen Beitrag leistenden Forschungsstellen wurde während der beiden letzten Fünfjahresprogramme mit gutem Erfolg ausgenutzt. Dieser Personalaustausch hat sich als das beste Mittel für die Übertragung wissenschaftlichen und technischen know-how und als ein ausgezeichnetes Mittel erwiesen, den Nutzungsgrad des vorhandenen Personals und seiner Fachkenntnisse zu erhöhen. Die für die Mobilität des Personals vorgesehenen Mittel sollten daher wenigstens auf der gleichen Höhe bleiben. Im Programm 1975 bis 1980 wurde hierfür ein Höchstbetrag von 2 Mio ERE bereitgestellt; für das Programm 1979 bis 1983 wird der gleiche Höchstbetrag (2 Mio ERE) vorgeschlagen.

IV.2.5 Management und Verwaltung

Die Personalstärke des Brüsseler Direktorats des Fusionsprogramms ist während der letzten beiden Jahre in Übereinstimmung mit dem Plan 1976 bis 1980 erweitert worden und beträgt jetzt 20 Personen. Diese Anzahl sollte während des Programms 1979 bis 1983 beibehalten werden. Die durchschnittliche Mitarbeiterzahl wird also während dieses Zeit-

raums höher sein als zwischen 1976 und 1980. Die Erhöhung der Personalkosten hat sich ergeben durch die Einbeziehung der Einkommensteuer der Gemeinschaft in die Tarifsätze für das Personal, die zu Lasten des Haushalts der Europäischen Gemeinschaft geht, sowie durch den Übergang von Rechnungseinheiten zu Europäischen Rechnungseinheiten.

Die Erweiterung des Fusionsprogramms, insbesondere die Einbeziehung neuer Aktivität im Bereich der Fusionstechnologie, führt zu einer Steigerung der Ausgaben für die Organisation von Konferenzen, Arbeitstagen usw., und für Expertenverträge.

Ein beträchtlicher Anstieg der Ausgaben für Management und Verwaltung, der insbesondere auf Personalkosten zurückzuführen ist, muß daher für das Programm 1979 bis 1983 vorgesehen werden. Die Mittelzuweisung sollte daher einen Höchstbetrag von etwa 7 Mio ERE für diesen Zweck einschließen.

IV.2.6 JET

Gegenwärtige Situation

Wie vom Rat bewilligt (R2404/77 – ATO 116), sind die Kosten des JET-Projekts in der Bauphase in belgischen Franken errechnet worden; sie werden mit 7500 Mio Bfr. zum Kurs von Januar 1977 veranschlagt. Dieser Betrag entspricht 184,6 Mio ERE bei einem Umrechnungssatz der ERE vom 3. Januar 1977 (1 ERE = 40,6207 Bfr.).

In Übereinstimmung mit der Satzung des „JET Joint Undertaking“, der am 30. Mai 1978¹⁾ durch den Rat zugestimmt wurde, werden die Ausgaben des Gemeinsamen Unternehmens zu 80 v. H. von EURATOM getragen werden.

Der Anteil der Gesamtkosten des Projekts in der Bauphase, der von EURATOM getragen werden muß, beläuft sich demnach auf 147,7 Mio ERE (= 80 v. H. von 184,6 Mio ERE).

Die für die Beteiligung EURATOMs an den Ausgaben für das Projekt in den Jahren 1976 bis 1978 benötigten Mittel belaufen sich auf 16 Mio ERE (= 80 v. H. von 20 Mio ERE). Diese Mittel sind der durch Ratsbeschluß vom 20. Mai 1978²⁾ gebilligten Zuweisung von 102,4 Mio ERE entnommen worden. Die Kommission beabsichtigt diesen Beschluß aufzuheben, und zwar mit Wirkung vom 1. Januar 1979, wenn das neue Programm 1979 bis 1983 in Kraft treten sollte. Die zur Beteiligung EURATOMs an den Ausgaben des Gemeinsamen Unternehmens für den Zeitraum von 1979 bis Mitte 1983 erforderlichen Mittel werden auf 131,7 Mio ERE (= 147,7 – 16 Mio ERE) geschätzt. Die Mittelzuweisung für das Programm Fusion 1979 bis 1983 muß daher diesen Betrag umfassen.

Während der zweiten Hälfte des Jahres 1983 wird JET in der Betriebsphase sein. Es wird angenom-

men, daß die jährlichen Ausgaben von JET während der Betriebsphase nicht wesentlich von denjenigen der Bauphase abweichen. Auf dieser Grundlage wird der Mittelbedarf für JET während des zweiten Halbjahres 1983 auf 18 Mio ERE veranschlagt. Hiervon müßte die Gemeinschaft 80 v. H. = 14,5 Mio ERE tragen. Dieser Betrag ist in der Mittelanforderung der Kommission für den Zeitraum 1979 bis 1983 nicht enthalten.

Mit dem Beschluß vom 30. Mai 1978³⁾ hat der Rat dem Fusionsprogramm 1976 bis 1980 zur Durchführung des JET-Projekts 150 Mitarbeiter auf Zeit zugewiesen, gemäß Artikel 2 a) der „Beschäftigungsbedingungen für die sonstigen Bediensteten der Europäischen Gemeinschaften“. Diese Zuweisung sollte durch den das Fusionsprogramm 1979 bis 1983 betreffenden Ratsbeschluß bestätigt werden und möglicherweise anlässlich der 1981 vorzunehmenden Revision überprüft werden.

Mögliche Entwicklung

Die Kommission hat bereits darauf hingewiesen, daß ein Teil der Mittel, die erforderlich sind, um die Apparatur zur erweiterten Leistung zu bringen, wahrscheinlich in der zweiten Hälfte der Bauphase gebunden werden müssen³⁾. Es handelt sich um eine Mittelbindung in Höhe von 50 Mio ERE, und es war die Absicht der Kommission, die 80 v. H. anlässlich der 1981 durchzuführenden Revision beim Rat zu beantragen. In Anbetracht der letzthin erzielten wissenschaftlichen Fortschritte könnten sich eine Beschleunigung des Baus von JET und ein früherer Übergang zu der erweiterten Leistung als wünschenswert erweisen (III.3.2.1). Sollte dies möglich sein, so könnten die zusätzlichen Mittelbindungen einer ersten Schätzung des JET-Teams zufolge auf 62 Mio ERE veranschlagt werden (Wert Juli 1978 und einschließlich unvorhergesehener Ausgaben und Kosten für zusätzliches Personal); ein Teil davon sollte 1980 gebunden werden. Die wichtigsten Posten wären die zur Erhöhung des Magnetfelds auf 35 kG erforderlichen Energielieferungen, die zur Erreichung einer Gesamtleistung von 25 MW erforderliche Zusatzheizung sowie die Fernbedienung und die Tritium-Ausrüstung für D-T-Betrieb.

Diese Frage muß von den Organen des Gemeinsamen Unternehmens JET geprüft werden. Die Kommission wird den Ministerrat rechtzeitig informieren und gegebenenfalls einen entsprechenden Vorschlag vorlegen.

IV.2.7 Von der Kommission für 1979 bis 1983 angeforderte Mittel

1. Programm der Assoziationen

Die von der Kommission für das Programm 1979 bis 1983 angeforderten Mittel (ohne JET, zu den wirtschaftlichen Bedingungen von Januar 1979) gliedern sich wie folgt:

¹⁾ ABl. EG Nr. L 151 vom 7. Juni 1978, S. 11

²⁾ ABl. EG Nr. L 151 vom 7. Juni 1978, S. 8

³⁾ R/820/78 (ATO 17)

	Gesamt- volumen	v. H.	Beitrag der Kom- mission
Grund- finanzierung	616	25	154
Vorrangige Förderung	120	45	54
Mobilität des Personals	2	100	2
Management und Verwaltung	7	100	7
Insgesamt	745 Mio ERE		217 Mio ERE

Was den Etat betrifft, so werden die zur Finanzierung des Programms 1979 bis 1983 der Assoziationen erforderlichen neuen Mittel auf 177 Mio ERE (217 – 40 Mio ERE) veranschlagt, wobei die aus dem Programm 1976 bis 1980 noch verfügbaren Mio RE berücksichtigt sind.

Eine Verringerung dieser Mittel würde neue Schwierigkeiten bei der Durchführung des Programms mit sich bringen. In Übereinstimmung mit dem BAF sollte vermieden werden, daß die von der Kommission zu bewilligenden Mittel nicht ausreichen, um die mit 25 v. H. und mit 45 v. H. zu finanzierenden Ausgaben der Assoziierungspartner zu decken.

2. JET

Die erforderlichen Mittel für die Beteiligung von EURATOM an den Aufwendungen für die Bauphase des JET im Rahmen des Programms 1979 bis 1983 belaufen sich auf 131,7 Mio ERE zu den wirtschaftlichen Bedingungen von Januar 1977. In diesen Betrag sind nicht eingeschlossen

— die erforderlichen Mittel für die EURATOM-Beteiligung an den Ausgaben während der Betriebsphase des Projekts im Jahre 1983, die auf rund 18 Mio ERE veranschlagt werden, die aber höher liegen dürften, wenn die Betriebsphase vor Mitte 1983 anlaufen sollte;

— die erforderlichen Mittel für die EURATOM-Beteiligung an den Kosten, die sich aus einer möglichen Beschleunigung der Projektdurchführung zwecks Aufnahme des Betriebs bei erweiterter Leistung ergeben (siehe IV.2.6).

3. Gesamtmittel

Es wird daher folgende Mittelzuweisung neu beantragt:

	Mio ERE
Für die Beteiligung an dem Programm der Assoziation zu den wirtschaftlichen Bedingungen von Januar 1979	217
Für die Beteiligung am JET zu den wirtschaftlichen Bedingungen von Januar 1977	131,7
Insgesamt:	348,7 Mio ERE

Es ist zu bemerken, daß die Mittelzuweisung für die Beteiligung am JET vom Rat bereits gebilligt worden ist.

IV.3 Organisation

Die Organisation des Fusionsprogramms der Gemeinschaft basiert auf bilateralen Assoziationsverträgen zwischen EURATOM und den Einrichtungen der Mitgliedstaaten und in Schweden, die aktiv an der Fusionsforschung beteiligt sind. Jede Assoziation hat einen Lenkungsausschuß, der aus einer kleinen Anzahl von Vertretern der Kommission und der Partneereinrichtung besteht. Dieser Ausschuß tritt zwei- oder dreimal im Jahr zusammen, und ist im wesentlichen für die Programme und Budgets der Assoziation verantwortlich.

Für das Fusionsprogramm der Gemeinschaft als ganzes spielen drei Gremien auf unterschiedlicher Ebene eine beratende und koordinierende Rolle:

1. Die Verbindungsgruppe, die sich aus leitenden Wissenschaftlern der Assoziationen und der Kommission zusammensetzt, ist dafür verantwortlich, der Kommission und den Assoziationen wissenschaftlichen und technischen Rat für neue Programme zu geben und die Kommission bei der Zuerkennung von vorrangiger Förderung (45 v. H.) zu beraten.

Entsprechend dem Beschluß des Rates vom 25. März 1976⁴⁾ kann diese vorrangige Förderung von Seiten der Kommission nur solchen Projekten zugesprochen werden, denen von der Verbindungsgruppe eine Priorität eingeräumt wurde. Darüber hinaus spielt die Verbindungsgruppe die Rolle eines „Beratungsgremiums für das Programm-Management“ bei dem Fusionsteil des JRC-Programms⁵⁾. Die Verbindungsgruppe trifft sich etwa dreimal im Jahr. Diese Institution wird gegenwärtig von sechs Beratergruppen unterstützt, eine für jede der Hauptlinien des Programms – Tokamaks, Screw Pinches und Hoch-Beta-Stellaratoren, Stellaratoren mit niedrigem Beta, Aufheizung und Injektion, sehr hohe Dichte sowie Technologie. Die Beratergruppen setzen sich aus Experten aller assoziierten Laboratorien zusammen und treffen sich viermal im Jahr.

2. Der Direktorenausschuß, zusammengesetzt aus den Direktoren der assoziierten Laboratorien und dem Direktor des Kommissions-Fusionsprogramms, ist verantwortlich für Vorbereitung der die Programme betreffenden Entscheidungen, für die Bedingungen der Interventionen durch die Kommission, für die Mobilität und den Austausch von Personal und für verschiedene Probleme, die die Zusammenarbeit auch außerhalb der assoziierten Laboratorien und außerhalb der Gemeinschaft betreffen.

Außerdem kann der Ausschuß gebeten werden, als technisches Berater-Gremium für den BAF tätig zu werden; er trifft sich in der Regel jeden zweiten Monat.

Ad-hoc-Gruppen und koordinierende Ausschüsse werden, wenn nötig, für spezielle Gebiete (Daten-

⁴⁾ ABL. EG Nr. L 90 vom 3. April 1976, S. 13

⁵⁾ ABL. EG Nr. C 192 vom 11. August 1977, S. 1

sammlung, Berechnung, usw.) von dem Direktorenausschuß berufen. Zur Vorbereitung des neuen Teils des Programms zur Fusionstechnologie wurden im Januar 1978 vier Expertengruppen eingesetzt: „Materialentwicklung für die Fusion“; „Magnetentwicklung“; „Tritium- und Blanket-Technologie“; und „Sicherheit und Systemstudien“. Die vorgeschlagenen Programme, die von diesen Gruppen in den jeweiligen Kompetenzbereichen vorbereitet wurden, wurden zur Beratung der Advisory Group on Fusion Technology und der Verbindungsgruppe überwiesen.

3. Der Beratende Ausschuß Fusion (BAF), der nach einem Beschluß der Kommission vom 26. März 1976 gegründet wurde und der sich aus für Nuklear- und Energieforschung verantwortlichen Beamten aus den Mitgliedstaaten und Schweden zusammensetzt, ist verantwortlich für die Beratung der Kommission (seine Stellungnahmen werden auch dem Rat mitgeteilt) für folgende Probleme:
- Durchführung und Entwicklung des Programms (das JET-Projekt eingeschlossen)
 - Änderung der Forschungsziele, falls dies nötig erscheint
 - Vorbereitung zukünftiger Programme
 - Festlegung des Gesamtumfangs der Fu-

sionsforschungsaktivitäten im europäischen Rahmen

- zunehmende Konzentrierung und Integration der in den Mitgliedstaaten durchgeführten Arbeiten.

Was das JET-Projekt anbetrifft, so ist seine Managementstruktur in der Satzung des „JET Joint Undertaking“ definiert. Sie besteht im wesentlichen aus JET-Rat und JET-Exekutivausschuß.

Die Organisation des Fusionsprogramms der Gemeinschaft hat sich in der Vergangenheit ständig den Bedürfnissen des Programms entsprechend entwickelt. Zwei Verbesserungen könnten in naher Zukunft eingeführt werden:

- eine mögliche Reduzierung der Anzahl der Beratergruppen (Advisory Groups) und eine Neudefinition ihrer Richtlinien unter Berücksichtigung des Fortschreitens des Programms sollte von der Verbindungsgruppe nach der Verabschiedung des Programms 1979 bis 1983 entschieden werden;
- für die Koordination und Durchführung des Technologieprogramms sollte ein Unterausschuß des Direktorenausschusses gegründet werden. Den Anforderungen entsprechend könnte dieser Unterausschuß den Rat von Expertengruppen einholen, ähnlich denen, die zur Vorbereitung des neuen Teils des Technologieprogramms eingesetzt worden sind.

B**Vorschlag für einen Beschluß des Rates vom zur Festlegung eines Forschungs- und Ausbildungsprogramms (1979 bis 1983) für die Europäische Atomgemeinschaft auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion**

DER RAT DER EUROPÄISCHEN
GEMEINSCHAFTEN —

gestützt auf den Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft, insbesondere auf Artikel 7,

auf Vorschlag der Kommission; die den Ausschuß für Wissenschaft und Technik angehört hat,

nach Stellungnahme des Europäischen Parlaments¹⁾,

nach Stellungnahme des Wirtschafts- und Sozialausschusses²⁾,

in Erwägung nachstehender Gründe:

Mit Beschluß 76/345 Euratom³⁾, geändert durch Beschluß 78/470 Euratom⁴⁾, legte der Rat das Forschungs- und Ausbildungsprogramm (1976 bis 1980) auf dem Gebiet der Fusion und Plasmaphysik fest. Dieser Beschluß bestimmt in seinem Artikel 3, daß die Kommission dem Rat 1978 einen Vorschlag zur Revision unterbreitet mit dem Ziel, das Programm 1976 bis 1980 ab 1. Januar 1979 durch ein neues Fünfjahresprogramm zu ersetzen.

In Anbetracht der Anstrengungen, die noch erforderlich sind, um das Stadium der Anwendbarkeit der kontrollierten Kernfusion – welche der Gemeinschaft insbesondere im allgemeineren Rahmen ihrer langfristigen Energieversorgungssicherheit zugute kommen könnte – zu erreichen, sind die bisher auf diesem Gebiet in Angriff genommenen Arbeiten in den verschiedenen Entwicklungsphasen gemeinsam fortzuführen.

Die während der letzten Jahre auf diesem Gebiet in der Gemeinschaft und weltweit erzielten wissenschaftlichen Fortschritte haben insbesondere für Anlagen des Tokamak-Typs die Notwendigkeit aufgezeigt, größere und kompliziertere Apparaturen zu bauen und besondere Anstrengungen zu unternehmen zur Entwicklung von Techniken der Plasmaheizung sowie in Zusammenarbeit mit der GFS zur Untersuchung bestimmter technologischer Probleme.

Es ist notwendig, die Gemeinschaft mit einer großen Apparatur vom Typ Tokamak (JET: Joint European Torus) auszustatten.

Die von der Kommission vorgeschlagenen Forschungsarbeiten stellen ein angemessenes Mittel zur Fortsetzung der Aktion dar, und es liegt daher im gemeinsamen Interesse, ein Mehrjahresprogramm auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion zu verabschieden, das im übrigen Voraussetzung ist für

die Beteiligung der Gemeinschaft an der sich stetig verstärkenden weltweiten Zusammenarbeit auf diesem Gebiet.

Es ist wichtig, daß die Gemeinschaft einerseits weiterhin die Herstellung bestimmter Ausrüstungen für als vorrangig angesehene Aktionen fördert, indem sie sich an den damit verbundenen Ausgaben zu einem Präferenzsatz beteiligt, und daß sie andererseits die Verwirklichung großer Projekte fördert, die von allen oder mehreren assoziierten Laboratorien gemeinsam durchgeführt werden.

Es empfiehlt sich weiterhin, die Mobilität des Personals zwischen den Stellen zu fördern, die in der Ausführung des Programms zusammenarbeiten —

BESCHLIESST:

Artikel 1

Ein Forschungs- und Ausbildungsprogramm auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion, das im Anhang beschrieben ist, wird für einen am 1. Januar 1979 beginnenden Fünfjahreszeitraum festgelegt.

Artikel 2

Der Gesamtbedarf für die volle Dauer des Programms ohne JET wird auf 217 Millionen Europäische Rechnungseinheiten und auf 113 Bedienstete geschätzt.

Der Gesamtbedarf für die Bauphase des JET-Projektes während der Dauer des Programmes wird auf 131,7 Millionen Europäische Rechnungseinheiten und auf 150 Bedienstete auf Zeit im Sinne von Artikel 2 Buchstabe a der Beschäftigungsbedingungen für die sonstigen Bediensteten der Europäischen Gemeinschaften geschätzt.

Diese Zahlenangaben haben lediglich Anhaltswert.

Der Wert der Europäischen Rechnungseinheit ist in Artikel 10 der Haushaltsordnung vom 21. Dezember 1977 für den Gesamthaushaltsplan der Europäischen Gemeinschaften festgelegt⁵⁾.

Artikel 3

Die Kommission unterbreitet dem Rat 1981 einen Vorschlag zur Revision mit dem Ziel, das gegenwärtige Programm ab 1. Januar 1982 durch ein neues Fünfjahresprogramm zu ersetzen.

Artikel 4

Die Beschlüsse 76/345/Euratom und 78/470/Euratom werden aufgehoben. Dieser Beschluß tritt am 1. Januar 1979 in Kraft.

⁵⁾ ABL. EG Nr. L 356 vom 31. Dezember 1977, S. 1

¹⁾ ABL. EG Nr. . . . vom . . . , S. . . .

²⁾ ABL. EG Nr. . . . vom . . . , S. . . .

³⁾ ABL. EG Nr. L 90 vom 3. April 1976, S. 12

⁴⁾ ABL. EG Nr. L 151 vom 7. Juni 1978, S. 8

Kontrollierte Kernfusion**1. Gegenstand des Programms sind:**

- a) Plasmaphysik auf dem betreffenden Gebiet, insbesondere Grundlagenstudien bzw. Untersuchungen über die Einschließung von Plasmen mit Hilfe geeigneter Vorrichtungen sowie Methoden zur Erzeugung und Aufheizung von Plasmen;
- b) Untersuchungen über die Einschließung von Plasmen veränderlicher Dichte und Temperatur in geschlossenen Konfigurationen mit langen Einschlußzeiten und möglichst unter Erreichung der Zündungsbedingungen;
- c) Erzeugung und Untersuchung von Plasmen hoher und sehr hoher Dichte, und insbesondere Untersuchung der Laserfusion;
- d) Entwicklung von Plasma-Aufheizmethoden angemessener Leistung und der Anwendung auf Einschlußvorrichtungen;
- e) Verbesserung der diagnostischen Methoden;
- f) Untersuchungen über technische Probleme im Zusammenhang mit den laufenden Forschungen sowie über technologische Probleme bei thermonuklearen Reaktoren;
- g) Verwirklichung des JET-Projektes.

Die unter a), b), c), d), e) und f) genannten Arbeiten werden im Rahmen von Assoziierungsverträgen oder zeitlich begrenzten Verträgen zur Erzielung der für die Verwirklichung des Programms erforderlichen Ergebnisse durchgeführt, wobei die von der GFS insbesondere auf dem Gebiet der Technologie geleisteten und unter f) genannten Arbeiten berücksichtigt werden.

Die Verwirklichung des JET-Projektes wird dem Gemeinsamen Unternehmen „Joint European Torus“ (JET, Joint Undertaking) anvertraut, das mit Entscheidung 78/471 Euratom⁹⁾ errichtet worden ist.

2. Das unter Nummer 1 definierte Programm stellt einen Bereich langfristiger Zusammenarbeit dar, der sämtliche Tätigkeiten auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion in den Mitgliedstaaten umfaßt. Es soll zu gegebener Zeit zur gemeinsamen Herstellung von Prototypen im Hinblick auf ihre Entwicklung zur Serienreife und ihre Vermarktung führen.
3. Der Gesamtbedarf für die Dauer des Programms ohne JET wird auf 217 Millionen Europäische

Rechnungseinheiten und auf 113 Bedienstete geschätzt. Dieser Betrag soll folgende Ausgaben decken:

- Ausgaben für die Ausrüstungen im Zusammenhang mit den Aktionen, die als vorrangig angesehen werden sowie bestimmte Ausgaben für die Unterstützung von JET,
- Kosten der Mobilität des Personals,
- sonstige Ausgaben im Zusammenhang mit den im Rahmen des Programms ohne JET durchzuführenden Aktionen.

4. Die dem Programm ohne JET zugewiesenen Mittel können wie folgt gegliedert werden:

- a) ungefähr 25 v.H. zur Finanzierung von Vorhaben mit einem Präferenzbeteiligungssatz gemäß den Bestimmungen in Nummer 5;
- b) ungefähr 4 v.H. für Verwaltungsausgaben sowie für Ausgaben, welche die Mobilität des Personals der Mitgliedstaaten sicherstellen, damit dieses in den Stellen arbeiten kann, die bei der Durchführung dieses Programms zusammenarbeiten;
- c) der Betrag, der nicht für die Vorhaben und Ausgaben nach den Buchstaben a und b verwendet wird, wird für die Beteiligung der Gemeinschaft an den sonstigen Ausgaben der Assoziationen verwendet. Für diese Beteiligung gilt ein einheitlicher Satz von etwa 25 v.H.

5. Die Verbindungsgruppe kann nach technischer Prüfung Vorhaben, die zu den nachstehend definierten Bereichen gehören, Vorrangigkeit zuerkennen:

- Tokamak und JET,
- sonstige toroidale Maschinen,
- Aufheizung und Injektion,
- Fusionstechnologie,
- Trägheitseinschluß.

Die Kommission kann diese Vorhaben zu einem einheitlichen Präferenzbeteiligungssatz von ungefähr 45 v.H. finanzieren. Als Gegenleistung können alle Assoziationspartner an den mit Hilfe dieser Vorhaben durchgeführten Versuchen teilnehmen.

6. Der Gesamtbedarf für die Bauphase des JET-Projektes während der Dauer des Programms wird auf 131,7 Millionen Europäische Rechnungseinheiten und auf 150 Bedienstete auf Zeit geschätzt. Dieser Betrag wird dazu verwendet, die Bauphase des JET-Projektes mit einem Beteiligungssatz von 80 v.H. zu finanzieren.

⁹⁾ ABl. EG Nr. L 151 vom 7. Juni 1978, S. 10

C

Stellungnahme des Ausschusses für Wissenschaft und Technik (AWT) zu dem Entwurf eines Vorschlags für ein Fünfjahresprogramm 1979 bis 1983 auf dem Gebiet der kontrollierten thermonuklearen Fusion

Der AWT hat den Kommissionsvorschlag für ein Fünfjahresprogramm 1979 bis 1983 auf der Sitzung vom 16. Oktober 1978 geprüft.

Der Ausschuß hat mit Befriedigung von den jüngsten Fortschritten im Bereich des magnetischen Einschlusses Kenntnis genommen. Diese Fortschritte stärken das Vertrauen darauf, daß JET die vorgesehenen Ziele erreichen wird, und sie lassen erwarten, daß die „wissenschaftliche Durchführbarkeit“¹⁾ der Fusion in dem Tokamak-System um die Mitte der achtziger Jahre nachgewiesen werden dürfte; sie rechtfertigen eine Verstärkung der Bemühungen auf dem Gebiet der Fusion. Mithin sieht der Ausschuß das vorgeschlagene allgemeine Programm²⁾ als vertretbar an.

Der Ausschuß stellt fest, daß die Kommission seiner früheren Stellungnahme entsprechend schrittweise zu einer erheblichen Konzentration ihrer Mittel auf zwei genau definierte Ziele übergeht: Tokamak und Heizung. In Bezug auf die alternativen Systeme im Rahmen des magnetischen Einschlusses empfiehlt der AWT, die Konzentration der Bemühungen auf eine einzige Linie, die dann mit signifikanten Mitteln bearbeitet wird, anzustreben. Die Zersplitterung der Bemühungen müßte durch eine verstärkte internationale Zusammenarbeit vermieden werden.

Der AWT weist darauf hin, daß er in seiner früheren Stellungnahme gefordert hatte, bei der Programmrevision besondere Aufmerksamkeit auf die Fusion mittels Trägheitseinschluß und auf die technologischen Probleme zu richten. Dementsprechend

1) Wissenschaftliche Durchführbarkeit: Bedingungen, unter denen mittels Fusion mehr Energie erzeugt wird, als für die Aufheizung des Plasmas einzusetzen ist.

2) Allgemeines Programm: von der Kommission vorgeschlagenes Programm ohne Errichtung und Betrieb des JET.

— wünscht der AWT, daß sich die grundsätzlichen Probleme im Zusammenhang mit dem Trägheitseinschluß so bald wie möglich klären lassen, damit es möglich ist, diesbezüglich zu einem Standpunkt zu gelangen. Inzwischen erscheint es zweckdienlich, das vorgeschlagene Mindestprogramm durchzuführen;

— in Anerkennung der Notwendigkeit, bedeutende technologische Fortschritte zur Vorbereitung der auf den JET folgenden Phase zu erzielen, sieht der AWT die von der Kommission vorgeschlagenen Aktionen im technologischen Bereich als positiv an, spricht sich jedoch dafür aus, sie mit Umsicht durchzuführen. Er empfiehlt eine Erweiterung der Systemstudien, die Leitlinien für die Ausarbeitung des technologischen Programms liefern sollten.

Der Ausschuß hebt hervor, daß der JET Bestandteil des Fusionsprogramms ist. Er betont, wie die Kommission es in ihrem Programmvorschlag getan hat, daß die Assoziationen verpflichtet sind, einen wirksamen Beitrag zum Erfolg des JET zu leisten. Der Ausschuß ist darüber unterrichtet worden, daß auf Grund der jüngsten Fortschritte Maßnahmen vorgesehen sind, um den Bau des JET und die Vorbereitung der Betriebsphase zu beschleunigen. Die dafür erforderlichen finanziellen Mittel sind noch nicht genau veranschlagt worden, und sie sind in dem Programmvorschlag der Kommission nicht berücksichtigt. Ein Teil dieser Mittel könnte ab 1981 benötigt werden.

Der AWT bestätigt erneut die Vorteile des Konzepts eines gleitenden Programms: Möglichkeit der periodischen Überprüfung der Ziele und Mittel, Gewähr für Kontinuität bei der Programmabwicklung und Möglichkeit der Berücksichtigung etwaiger Änderungen der wirtschaftlichen Bedingungen.

Stellungnahme des Beratenden Ausschusses Fusion (BAF) zu dem Entwurf eines Vorschlags für ein Fünfjahresprogramm 1979 bis 1983 über kontrollierte Kernfusion, abgegeben in seiner Sitzung vom 25. Oktober 1978

Der BAF hat den von der Kommission vorgelegten Entwurf eines Vorschlags für ein Fünfjahresprogramm 1979 bis 1983 geprüft.

Der Ausschuß betont die Wichtigkeit und Notwendigkeit des Grundsatzes des gleitenden Programms.

Der Ausschuß ist einhellig der Auffassung, daß die endgültige Festlegung des Programms durch Ratsbeschluß rasch erfolgen muß (spätestens Mitte 1979). Die Vorlage der Kommission ist eine gute Grundlage für den allgemeinen Teil des Fünfjahresprogramms *).

Der BAF ist sich bewußt, daß zur Zeit aufgrund kürzlich erfolgter wissenschaftlicher Fortschritte ein Vorschlag ausgearbeitet wird mit dem Ziel, den Bau von JET zu beschleunigen und den Zugang zu den erweiterten Leistungen vorzulegen. Er empfiehlt der Kommission, in ihren Programmvorschlag alle hierüber verfügbaren Informationen zusammen mit einer Schätzung der zusätzlich erforderlichen Mittel aufzunehmen.

*) das von der Kommission vorgeschlagene Programm ausgenommen Bau und Betrieb von JET

D

Finanzbogen

I. Programm Fusion ohne JET

1. Haushaltlinie:

3351

2. Bezeichnung der Haushaltlinie:

Kontrollierte Kernfusion einschließlich des JET-Projekts. Dieser Teil des Finanzbogens betrifft nur das Programm Fusion ohne JET.

3. Rechtsgrundlage:

Artikel 7 des EURATOM-Vertrages
Ratsbeschluß 76/345¹⁾ und
vorgesehener Ratsbeschluß vor April 1979.

4. Beschreibung, Ziel und Begründung des Vorhabens:

4.1 Beschreibung

Das Vorhaben beinhaltet die Fortführung des Forschungsprogrammes auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion und umfaßt sämtliche Tätigkeiten in den Mitgliedstaaten auf diesem Gebiet. Schweden und die Schweiz sind mit dem Programm assoziiert. Es sieht insbesondere Untersuchungen des magnetischen und Trägheitseinschlusses des Plasmas sowie der Fusionstechnologie vor.

4.2 Ziel

a) Die kurzfristigen Ziele des Programmes sind:

- sowohl auf dem Gebiet der Physik als auch der Technologie ausreichend Kenntnisse zu erhalten, um die auf JET folgende(n) Maschine(n) soweit definieren zu können, daß ihr Bau während des nächsten Fünfjahresplans begonnen werden kann. Insbesondere sollten die Forschungen zur Bestimmung der optimalen Feldgröße und Dimensionen der auf JET folgenden Maschine führen und die Entscheidung ermöglichen, ob diese Maschine Elektrizität und Tritium erzeugen soll, sowie die zur Wahl zwischen supraleitenden oder normalen Spulen erforderlichen experimentellen Kriterien liefern;

¹⁾ ABl. EG Nr. L 90 vom 3. April 1976

²⁾ Der Betrag von 217 000 000 ERE gliedert sich wie folgt:

31 463 000	aus den Mitteln des Programms 1976 bis 1983 bereits erfolgte Mittelbindungen
8 537 000	noch zur Verfügung stehende Verpflichtungsermächtigungen aus 1976 bis 1980
177 000 000	neuer Mittelbedarf für das Programm 1979 bis 1983
217 000 000	

- zu prüfen, in welchem Maße andere magnetische Einschließungssysteme (Stellarator, Pinch mit umkehrendem Feld) eine echte Alternative zu den Tokamaks darstellen;
- Durchführung eines Minimalprogramms über Trägheitseinschluß.

b) Endziel des Programmes ist die Energieerzeugung zu wettbewerbsfähigen Preisen mittels der nuklearen Fusion leichter Atomkerne, und falls dies gelingt, der gemeinsame Bau von Prototypen mit dem Ziel ihrer Industrialisierung und Vermarktung.

4.3 Begründung

Das Problem der weltweiten langfristigen Energieversorgung ist noch weit von seiner Lösung entfernt. Die Kernfusion ist eine der ganz wenigen Energiequellen, welche dieses Problem lösen oder wesentlich zu seiner Lösung beitragen könnten, und dies in einer für Europa ganz besonders vorteilhaften Weise.

Die hauptsächlichen Gründe für die Durchführung der Forschungen auf diesem Gebiet in einem gemeinschaftlichen Rahmen sind:

- Größe der notwendigen personellen und finanziellen Aufwendungen lassen eine solche Entwicklung auf nationaler Ebene als kaum durchführbar erscheinen;
- der gemeinsame Bedarf aller Mitgliedstaaten;
- die Dauer der zu leistenden Bemühungen bis zum Bau eines Reaktors, die sich bis an das Jahrhundertende erstrecken können;
- im Erfolgsfalle, die Eröffnung eines bedeutenden Binnenmarktes für den europäischen Reaktor.

5. Finanzielle Auswirkung des Vorhabens während der vorgesehenen Gesamtdauer (in ERE)

5.0 Auf die Ausgaben (Zeitraum von 1979 bis 1983)

5.0.0 Kosten zu Lasten:

— des Gemeinschaftshaushaltes	217 000 000 ²⁾
— der einschlägigen nationalen Instanzen	528 000 000
Gesamtkosten	745 000 000

5.1 Mehrjähriger Fälligkeitsplan

Um dem gleitenden Charakter des Programmes Fusion Rechnung zu tragen, umfaßt der nachfolgende Fälligkeitsplan den Zeitraum von 1976 bis 1983 und damit sowohl das laufende Programm 1976 bis 1980 als auch das neue Programm 1979 bis 1983. Diesem Zeitraum 1976 bis 1983 entspricht eine Gesamt-Mittelzuweisung von 301 Mio ERE = 84 Mio ERE für 1976 bis 1978 und 217 Mio ERE für 1979 bis 1983.

5.1.1 Verpflichtungsermächtigungen (RE 1976 bis 1977, ERE 1978 bis 1983) (gerundet auf Tausend)

Ausgabenart	1976 Ist endgültig	1977 Ist vorläufig	1978 Haushalt 1978 + Restmittel aus 1977	1979	1980	1981	1982	1983	Insgesamt
Personalausgaben	3 240 000	3 782 000	6 157 000	6 127 000	6 561 000	6 955 000	7 372 000	7 815 000	48 009 00
Betriebsausgaben, Verwaltung und Technik	135 000	170 000	171 000	231 000	247 000	264 000	282 000	302 000	1 802 000
Verträge	10 658 000	82 773 000	8 377 000	20 054 000	113 327 000	8 000 000	8 000 000	—	251 189 000
Insgesamt	14 033 000	86 725 000	14 705 000	26 412 000 (6 412 000 AP + 20 000 000 NP)	120 135 000 (2 125 000 AP + 118 010 000 NP)	15 219 000	15 654 000	8 117 000	301 000 000 ¹⁾

¹⁾ Die gesamten 1976 bis 1978 eingegangenen Verpflichtungen belaufen sich auf 115 463 000 ERE. Davon entfallen 84 000 000 ERE auf 1976 bis 1978 durchgeführte Arbeiten und 31 463 000 ERE auf 1979 und später durchzuführenden Arbeiten.

Die für 1979 bis 1983 beantragten Verpflichtungsermächtigungen betragen insgesamt 185 537 000 ERE. Hiervon stehen noch 8 537 000 aus dem Programm 1976 bis 1980 zur Verfügung; daher $185\,537\,000 - 8\,537\,000 = 177\,000\,000$ neuer Mittelbedarf. Zu den 185 537 000 sind 31 463 000 hinzuzufügen, die vor 1979 gebunden wurden für Arbeiten, die 1979 oder später ausgeführt werden: $185\,537\,000 + 31\,463\,000 = 217\,000\,000$.

NP = Neues Programm 1979 bis 1983

AP = Altes Programm 1976 bis 1980

5.1.2 Zahlungsermächtigungen (RE 1976 bis 1977, ERE 1978 bis 1983 (gerundet auf Tausend))

Ausgabeart	1976 Ist endgültig	1977 (einschließ- lich der auf 1978 über- tragenen Zahlungs- mittel)	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Insgesamt
Personalausgaben	3 240 000	3 782 000	6 157 000	6 127 000	6 561 000	6 955 000	7 372 000	7 815 000	—	48 009 000
Betriebsausgaben, Verwaltung und Technik	135 000	170 000	171 000	231 000	247 000	264 000	282 000	302 000	—	1 802 000
Verträge	17 908 000	16 787 000	19 525 000	30 454 000	33 000 000	36 000 000	40 000 000	44 000 000	13 515 000	251 189 000
Insgesamt	21 283 000	20 739 000	25 853 000	AP 26 812 000 NP 10 000 000 Tot 36 812 000	AP 29 313 000 NP 10 495 000 Tot 39 808 000	43 219 000	47 654 000	52 117 000	13 515 000	301 000 000 ¹⁾

1) Zahlungen 1976 bis 1978: 67 875 000 ERE

Zahlungen 1979 bis 1984: 233 125 000 ERE

Insgesamt 301 000 000 ERE

Der für den Zeitraum 1979 bis 1984 ausgewiesene Betrag von 233 125 000 enthält 16 125 000 für Arbeiten, die vor diesem Zeitraum durchgeführt worden sind:

233 125 000
— 16 125 000
<u>217 000 000</u>

5.2 Berechnung

a) Personalausgaben

Das für dieses Programm vorgeschlagene Personal umfaßt folgende Bedienstete:

Jahr	A	B	C	Insgesamt
1979	74	35	3	112
1980 bis 1983	75	35	3	113

Die Berechnungen beruhen auf den für die Erstellung des Vorentwurfs des Haushalts 1979 maßgeblichen Tarifen. Für den Zeitraum 1980 bis 1983 wurde eine Personalkostensteigerung von 6 v. H. pro Jahr zugrunde gelegt.

b) Administrative und technische Betriebsausgaben

Sie umfassen die Kosten für Dienstreisen, Ortswechsel, Sachverständige und die Veranstaltung von Sitzungen sowie für die Benutzung einer administrativen und technischen Unterstützung.

c) Vertragsausgaben

Die Kosten für die Durchführung des Programmes Fusion in den assoziierten Instituten in der Gemeinschaft werden für den Zeitraum 1979 bis 1983 auf 736 Mio ERE geschätzt, einschließlich das diesen Instituten zugewiesene Personal der Kommission. Die Gemeinschaft soll diese Ausgaben zu etwa 25 v.H. finanzieren. Dieser Prozentsatz soll bei bestimmten von der Verbindungsgruppe als vorrangig eingestuften Vorhaben auf 45 v.H. angehoben werden. Die große Masse dieser Ausgaben sollte zu Beginn des neuen Programms 1979 bis 1983 gebunden werden.

Die Ausgaben für die Mobilität des Personals mit Ausnahme des Gemeinschaftspersonals werden für den Zeitraum 1979 bis 1983 auf 2 Mio ERE geschätzt.

5.3 Auswirkungen auf die Einnahmen

- Gemeinschaftsteuer auf die Gehälter der Gemeinschaftsbediensteten.
- Beitrag dieser Bediensteten zur Altersversorgung.

6. Vorgesehene Kontrollen

Wissenschaftliche Kontrolle:

- Lenkungsausschüsse. Sie werden eingesetzt mittels der Assoziationsverträge, die mit den nationalen Instituten abgeschlossen werden.
- Direktorenausschuß, eingesetzt von den Assoziationsverträgen.
- Verbindungsgruppe, vom Rat als „CCMGP“ anerkannt (ABl. EG Nr. C 192 vom 11. August 1977, S. 1).
- Beratender Ausschuß Fusion, von der Kommission errichtet aufgrund von Artikel 135 des Euratom-Vertrages.

Administrative und finanzielle Kontrolle:

- Lenkungsausschüsse
- Finanzkontrolle und Vertragsabteilung der GD XII der Kommission
- Rechnungshof

7. Finanzierung des Vorhabens

Mitteleinschreibung in die zukünftigen Haushalte (1979 bis 1984).

II. JET-Projekt

1. Haushaltlinie:

3351

2. Bezeichnung der Haushaltlinie:

Kontrollierte Kernfusion einschließlich des JET-Projekts. Der vorliegende Teil des Finanzbogens betrifft nur das JET-Projekt.

3. Rechtsgrundlage:

Artikel 7 des EURATOM-Vertrages
Ratsbeschluß 78/470/Euratom vom 30. Mai 1978
(ABl. EG Nr. L 151 vom 7. Juni 1978, S. 8 und vor April 1979 vorgesehener Ratsbeschluß.

4. Beschreibung, Ziel und Begründung des Vorhabens

4.1 Beschreibung

Bau, Betrieb und Nutzung einer großen Torus-Anlage des Tokamak-Typs und deren Nebeneinrichtungen (Joint European Torus – JET) im Rahmen des Fusionsprogramms der Gemeinschaft und zum Nutzen der Teilnehmer an diesem Programm, mit dem Ziel, den Parameterbereich für Experimente zur kontrollierten Kernfusion an die für einen thermonuklearen Reaktor erforderlichen Bedingungen anzunähern.

4.2 Ziel

Erzeugung und Untersuchung eines Plasmas mit Dimensionen und unter Bedingungen, die sich denen eines thermonuklearen Reaktors annähern. Dieses Ziel beinhaltet vier Haupttätigkeitsbereiche:

- i) Entwicklung des Plasmaverhaltens bei Parametern, die sich denen des Reaktorbereiches annähern;
- ii) die Plasma-Wand-Wechselwirkung unter diesen Bedingungen,
- iii) die Untersuchung der Plasmaaufheizung und
- iv) Untersuchung der Erzeugung und der Einschließung der Alpha-Teilchen und der sich daraus ergebenden Plasmaaufheizung.

4.3 Begründung

Die Verwirklichung des JET-Projektes stellt eine wesentliche Phase in der Entwicklung des Fusionsprogrammes der Gemeinschaft dar. Hinsichtlich des

Endzieles dieses Programmes und seiner Begründung wird auf Teil I, Ziffer 4.3 des Finanzbogens verwiesen.

5. Finanzielle Auswirkungen des Vorhabens während der vorgesehenen Gesamtdauer (in ERE)

5.0 Auf die Ausgaben (Zeitraum von 1976 bis 1983)

5.0.0 Kosten zu Lasten:

— des Gemeinschaftshaushaltes (80 v.H.)	147 700 000
— der einschlägigen nationalen Instanzen	36 900 000
Gesamtkosten	184 600 000

Diese Kosten wurden zu Preisen von Januar 1977 berechnet.

5.0.1 Mehrjähriger Fälligkeitsplan (in Mio ERE)

Jahre	1976 1977 1978	1979	1980	1981	1982	1983 1. Hälfte	Insgesamt
Verpflichtungen	16	54,4	35,2	25,6	12,8	3,7	147,7 ¹⁾
Zahlungen	9,6	32	38,4	32,8	23,2	11,7	147,7

5.2 Berechnung

Die Kosten der Bauphase des JET-Projekts wurden zu Preisen Januar 1977 und unter Zugrundelegung des Wechselkurses der ERE am 3. Januar 1977 (1 ERE = 40,6207 FB) auf 184,6 Mio ERE veranschlagt. Die Gemeinschaft trägt 80 v.H. der Projektkosten. Die Mittel zur Finanzierung der Gemeinschaftsbeteiligung betragen daher 147,7 Mio ERE.

Der Betrag von 184,6 Mio ERE berücksichtigt nicht:

- die Veränderung der wirtschaftlichen Bedingungen seit Januar 1977. Es wird in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß JET im wesentlichen aus „hardware“ besteht. Das Gemeinsame Unternehmen JET unternimmt gegenwärtig eine erste Kostenfortschreibung des Projekts. Die Kommission wird die Haushaltsbehörde hierüber unterrichten;
- die Betriebskosten der Anlage in 1983;
- die Kosten für die Investitionen, die notwendig sind, damit die Anlage ihre erweiterte Leistung erreichen kann. Die kürzlich in den Anlagen des Typs Tokamak erzielten guten Ergebnisse lassen eine gewisse Beschleunigung des Programmes gerechtfertigt erscheinen. Es ist daher wahr-

¹⁾ Die Summe der Verpflichtungsermächtigungen 1979 bis 1983 beträgt 131,7 Mio ERE (147,7 – 16) und entspricht der für JET begutachteten Mittelzuweisung im Programm 1979 bis 1983.

scheinlich, daß ein großer Teil der Ausgaben für die erweiterte Leistung bereits während der Bauphase gebunden werden muß. Diese zusätzlichen Ausgaben können nur auf der Grundlage eines neuen Ratsbeschlusses über dieses Programm gebunden werden. Die vorbereitenden Arbeiten zur Erstellung eines derartigen Programms haben bereits begonnen.

5.3 Auswirkungen auf die Einnahmen

Gemeinschaftsteuern auf die Bezüge der Bediensteten auf Zeit.

6. Finanzierung des Vorhabens

- in den Haushaltsplänen 1976, 1977 und 1978 der Europäischen Gemeinschaften veranschlagte Mittel
- in den künftigen Haushaltsplänen zu veranschlagende Mittel.

7. Kontrolle

Wissenschaftliche Kontrolle:

- JET-Rat
- Beratender Ausschuß Fusion

Administrative und finanzielle Kontrolle:

- JET-Rat
- Rechnungshof.