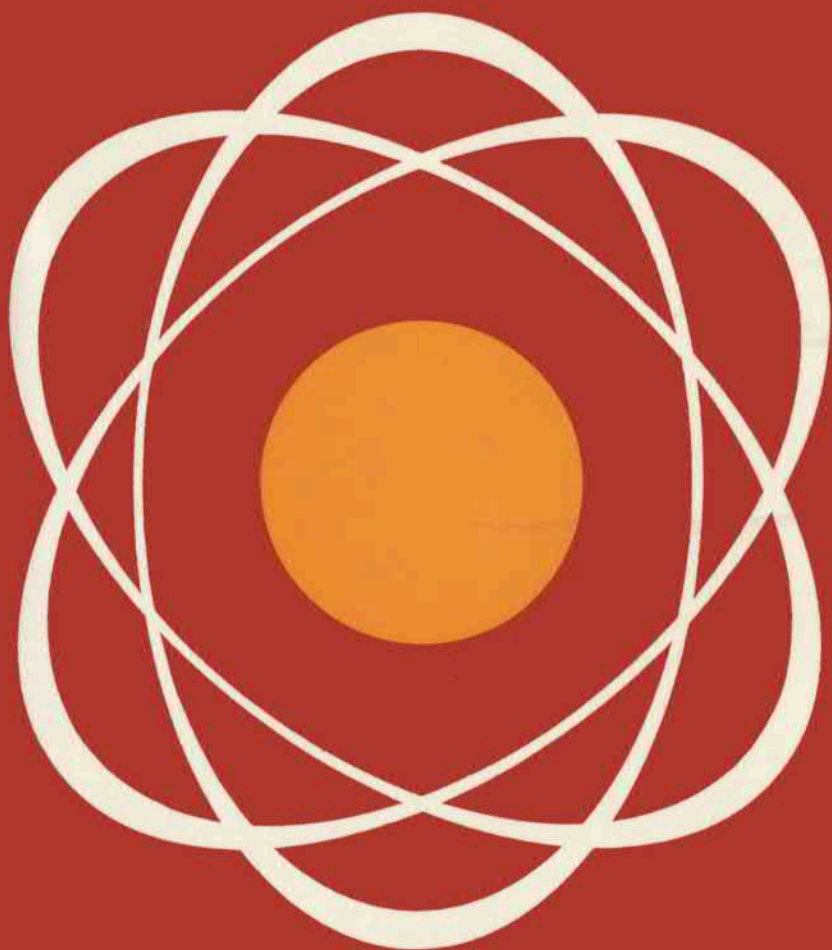


Die Geburt des friedlichen Atoms



D. I. Blochinzew



D. I. Blochinzew

Die Geburt des friedlichen Atoms

Von *D. I. Blochinzew*

Übersetzung und Bearbeitung Dr. *M. Kunicke*

Mit 31 Bildern und 1 Tabelle



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie · Leipzig

Lizenzausgabe der 1. Auflage der Originalausgabe mit Genehmigung des Verlages »Atomizdat«, Moskau

© Издательство »Атомиздат«, Москва 1977

Блохинцев, Дмитрий Иванович: Рождение мирного атома

Annotation

Blochinzew, Dmitri Iwanowitsch:

Die Geburt des friedlichen Atoms

(Übersetzt und bearbeitet von Dr. *Manfred Kunicke*)

Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

Der Autor der Broschüre – ein bedeutender Kernphysiker, der Held der sozialistischen Arbeit *Dmitri Iwanowitsch Blochinzew* – war seit der Gründung des Vereinigten Instituts für Kernforschung in Dubna neun Jahre lang dessen Direktor (1956 bis 1965). Sein Name ist eng verbunden mit der Errichtung des ersten Kernkraftwerkes der Welt. In den 50er Jahren leitete er als Direktor des Physikalisch-Energetischen Instituts die Projektierung und den Bau des ersten KKW. In der Broschüre berichtet der Autor von der Position des unmittelbar Beteiligten über dieses große Ereignis, über den ersten Versuch der friedlichen Anwendung der Kernenergie, über das erste friedliche Kernenergieprojekt.

Die Broschüre ist in der lebendigen Sprache der Erinnerung geschrieben und versetzt den Leser in eine schwere, mitreißende Zeit, in die Umgebung interessanter Menschen und fesselnder wissenschaftlicher Probleme. Der Leser spürt selbst die Atmosphäre angespannten schöpferischen Suchens, erlebt die Freude des Erfolges.

Die Broschüre wendet sich an alle, die an der Entwicklung von Wissenschaft und Technik interessiert sind, an Kernphysiker, Kerntechniker und Wissenschaftshistoriker.

107 S., 31 Bilder, 1 Tab.

1. Auflage

© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1985

VLN 152-915/75/85

LSV 3009

Lektor: Dipl.-Min. Barbara Bufe

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Druckwerkstätten Stollberg VOB

Redaktionsschluß: 2. 4. 1984

Bestell-Nr.: 541 880 6

01200



Vor über dreißig Jahren wurde in Obninsk, einem kleinen Städtchen in der weiteren Umgebung Moskaus, das erste Kernkraftwerk der Welt in Betrieb genommen. Damit wurde allen Menschen vor Augen geführt, daß es neben dem Atom als Waffe auch ein friedliches Atom gibt. Es war nur folgerichtig, daß nach dem Einsatz der ersten beiden Atombomben durch die USA in der Sowjetunion die erste aus der Kernkraft gewonnene Elektroenergie Licht und Wärme den Menschen spendete.

D. I. Blochinzew, der erste Direktor des Obninsker Physikalisch-Energetischen Instituts, unter dessen Leitung das Kernkraftwerk entstand, schildert in seinen Erinnerungen den schweren Weg des jungen Kollektivs zum Erfolg. Er erzählt auf eine klare, verständliche Weise, welche wissenschaftlichen und technischen, aber auch welche menschlichen und gesellschaftlichen Probleme mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie verbunden waren und sind. Er läßt sein Erleben, seine Erfahrungen vor uns lebendig werden.

Außer vom Druckwasserreaktor, dessen Prototyp einst in Obninsk entstand, erzählt er auch von den Anfängen der physikalischen und technischen Arbeiten am Brutreaktor und am ersten Impulsreaktor, einer riesigen, pulsformig arbeitenden Neutronenquelle für wissenschaftliche und technische Untersuchungen. Sie entstand im Vereinigten Institut für Kernforschung in Dubna, das im Jahre 1956 gegründet wurde und dessen erster Direktor *D. I. Blochinzew* war. Der eindringlichen Schilderung der Inbetriebnahme des ersten Impulsreaktors konnte er eine analoge Schilderung des Moments des Anfahrens des ungleich leistungsstärkeren zweiten Impulsreak-

tors in Dubna nicht mehr folgen lassen. Sein unerwarteter plötzlicher Tod ließ ihn die Inbetriebnahme dieser Anlage nicht mehr erleben. Einer der großen Pioniere der Eroberung des friedlichen Atoms, dessen humanistische Grundhaltung in den Zeilen seiner Erinnerungen immer wieder Ausdruck findet, kann mit uns den Weg des Wachsens des friedlichen Atoms nicht mehr weitergehen. Seinem in diesem lesenswerten Büchlein zum Ausdruck kommenden Bekenntnis folgend, fühlen wir uns verpflichtet, alles zu tun, um jeden Mißbrauch der Kernkraft zu hindern und ihren möglichen Nutzen zu fördern.

K. Lanius

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung 8
2. Vorgeschichte 12
3. Obninsk 20
4. Periode des Suchens 25
5. Hauptprobleme beim Bau
des Kernkraftwerkes 33
6. Inbetriebnahme 46
7. Erfahrungen mit dem ersten
Kernkraftwerk 54
8. Kernbrennstoffbrutreaktoren
mit schnellen Neutronen 69
9. Impulsreaktor IBR-1 76
10. Erste Genfer Konferenz
zur friedlichen Nutzung
der Atomenergie 89
11. Perspektiven der
Weltenergetik 94
12. Besuche in Obninsk 100
13. Schlußwort 106

1. Einführung

1920 erstrahlte im frierenden und hungernden Moskau auf der Sitzung des VIII. Gesamtrussischen Sowjetkongresses eine Leuchttafel, die die Standorte der im GOELRO-Plan vorgesehenen Elektrizitätswerke zeigte. Der englische utopische Schriftsteller *H. G. Wells* nannte aus diesem Anlaß *W. I. Lenin* den »Kreml-Träumer«. Zu jener Zeit erschien vielen die Idee der Elektrifizierung Sowjet-Rußlands utopisch. Heute ist jene »Utopie« zur Wirklichkeit geworden: In der Sowjetunion wird Hunderte Male mehr Elektroenergie erzeugt als im vorrevolutionären Rußland.



Bild 1. *W. I. Lenin*

Der Übergang zu einer neuen Epoche in der Entwicklung der Energetik — der Epoche der Kernenergie — vollzog sich nicht zufällig gerade in der Sowjetunion. Durchdrungen von den Ideen des kommunistischen Humanismus, beschritt das Sowjetland als erstes den Weg der friedlichen Anwendung der Kernenergie.

Ich denke, es ist kein Fehler zu sagen, daß die Idee der Errichtung eines Kernkraftwerkes (KKW) den Traditionen der russischen Intelligenz entsprach, der schon immer grausame und antihumane Anwendungen wissenschaftlicher Entdeckungen fremd waren. Diese Traditionen befanden sich im Einklang mit dem leninschen Verständnis der historischen Aufgabe des Kommunismus — der Aufgabe, eine große Bruderschaft auf der Erde zu schaffen. Die russische und sowjetische Intelligenz befleckte sich nicht mit der Schande, Giftgase und bakteriologische Waffen, Gaskammern und Atombomben zu erfinden. Wenn die Nachricht von der ersten Atombombenexplosion über Hiroshima seinerzeit die gesamte Menschheit vor Entsetzen erschauern ließ, so weckte die Nachricht der Regierung der UdSSR über die Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes am 27. Juni 1954 in den Herzen der Menschen die berechtigte Hoffnung darauf, daß die großartige Entdeckung der Urankernspaltung zum Wohle des Menschen genutzt werden kann und muß. Dieses erste Kernkraftwerk der Welt wurde in Obninsk im Gebiet Kaluga errichtet.

In diesem Zusammenhang ist es angebracht, sich des großen Kalugaers *K. E. Ziolkowski* zu erinnern. In meiner Jugend korrespondierte ich mit *Konstantin Eduardowitsch*, er machte mich mit seinen Arbeiten bekannt. Auf einer der an mich gerichteten Postkarten fügte er nach den Antworten auf meine technischen Fragen hinzu: »... ich schicke Ihnen unentgeltlich den »Monismus des Weltalls«. Dieses Buch verkaufe ich nicht, denn sein Wert ist grenzenlos, und es ist peinlich, Groschen für Unendliches zu nehmen. ...« In einem anderen Brief schrieb *K. E. Ziolkowski* im Zusammenhang mit einer Streitfrage: »Bin Ihnen sehr dankbar für den Brief, habe ihn schon fünfmal gelesen und werde ihn noch einmal lesen. Er wird mir Material sein für weitere Arbeiten. ...« So lernte ich durch unsere Korrespondenz nicht nur wissenschaftlich-technische Probleme des Kosmosfluges, sondern auch die mo-

Май 1925. Мой брат
 Вам некаким-то образом
 перешел театр на три
 рубля, а пока посидите
 спокойно. Моим знакомым
 эту книгу я не продаю,
 так как ценю ее. Сергеевич
 и Павел тоже приехали
 из Ленинграда.

К. Е.

К. Е. Зиolkowski
 на воспоминания — о своем первом письме

Bild 2. Faksimile eines Briefes von K. E. Ziolkowski
 vom 16. Mai 1925

ralisch-ethischen Ansichten Ziolkowskis kennen. Man kann mit voller Überzeugung sagen, daß dieser Mensch, der sein ganzes Leben der Entwicklung der Lehre vom Raketenflug widmete und mit Begeisterung phantastische Erzählungen über die Zukunft der Menschheit im Kosmos schrieb, niemals auch nur mit einem Wort die Möglichkeit der Anwendung von Raumschiffen zu militärischem Zwecke erwähnte. Nicht weil ihm dazu die Phantasie gefehlt hat, nein, eine solch anti-humane, amoralische Geisteshaltung war ihm absolut fremd. Das ist nur ein Beispiel von vielen, die zeigen, daß die Suche nach friedlichen Anwendungsmöglichkeiten der Kernenergie für sowjetische Wissenschaftler nicht zufällig war — humanistische historische Traditionen lagen ihr zugrunde.

Die Arbeiten zur Errichtung eines Kernkraftwerkes verfolgten keine »agitatorischen« Ziele. Die Mitarbeiter an diesem großartigen Projekt richteten ihre Arbeit nur auf die Lösung wissenschaftlich-technischer Aufgaben. Der politische Effekt des ersten Kernkraftwerkes zeigte sich erst später, von selbst und für viele Mitarbeiter unvorhergesehen. 1955 in Genf auf der Ersten Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie begrüßte die tausendköpfige Zuhörerschaft im Palast der Nationen begeistert — unter Verletzung des Protokolls — die Mitteilung der sowjetischen Delegation über die Inbetriebnahme des ersten Kernkraftwerkes der Welt, über seinen Aufbau und die ersten Ergebnisse des Betriebes. Den

Konferenzteilnehmern wurde nach dem Vortrag über die Ergebnisse der kollektiven Anstrengungen sowjetischer Wissenschaftler und Techniker klar, daß nicht nur die technische Realisierungsmöglichkeit von Kernkraftwerken bewiesen worden war, sondern Bedeutenderes: Kernenergie kann der Menschheit dienen. Allen wurde klar, daß niemand anders als das Sowjetland diesen einzig sinnvollen Weg zur Anwendung der gewaltigen Energie des Atomkerns aufgezeigt hatte. Es begann eine neue Ära — die Ära der friedlichen Nutzung der Kernenergie.

Der Autor dieser Zeilen hatte das Glück, an dem epochalen Ereignis der Schaffung der sowjetischen Kernenergetik beteiligt gewesen zu sein. In der zweiten Hälfte der vierziger Jahre wurde ich Mitglied eines großen Wissenschaftlerkollektivs, das *I. W. Kurtschatow* leitete, der damals der wissenschaftliche Leiter eines umfangreichen Entwicklungsprogramms der Wissenschaft und Technik des Atoms war. Meine Arbeit war mit dem damals gerade erst in der Siedlung Obninsk gegründeten Institut verbunden, dem heutigen Physikalisch-Energetischen Institut (PEI). 1950 wurde ich zum Direktor dieses Instituts berufen, das später durch seine Erfolge auf dem Gebiet der Kernenergetik und insbesondere durch die Errichtung des ersten Kernkraftwerkes der Welt berühmt werden sollte.

Die wissenschaftliche Leitung des Projekts und der Errichtung dieses Kraftwerks wurde mir 1951 übertragen. Deshalb konzentriert sich der Inhalt dieser Broschüre hauptsächlich auf die Beschreibung der Errichtung des Kernkraftwerkes. Außerdem wird die Geschichte des Aufbaus eines periodisch wirkenden Impulsreaktors für physikalische Forschungen beschrieben. Eine andere wichtige Arbeitsrichtung — die Entwicklung von Brutreaktoren, Reaktoren einer zweiten Entwicklungsstufe, in denen nicht nur natürlicher Kernbrennstoff verbrannt, sondern bei den im Reaktor ablaufenden Kernreaktionen auch neuer Kernbrennstoff erzeugt wird — wird in der Broschüre auch behandelt, jedoch nicht so ausführlich. Insgesamt erhebt diese Abhandlung auf keinen Fall den Anspruch einer vollständigen Beschreibung der Arbeiten und Ergebnisse von Obninsk. Sie gibt eher nur eine allgemeine Vorstellung von unserem Kollektiv, von seinen Menschen, Problemen und Erfolgen.

2. Vorgeschichte

Mitte der dreißiger Jahre entdeckten *Fermi* in Italien und *Irene Curie* gemeinsam mit dem jugoslawischen Physiker *Savic* in Frankreich, daß bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen eine Reihe radioaktiver Elemente entsteht. Bei der Untersuchung des Reaktionsproduktes fanden *I. Curie* und *Savic* das Lanthan (La), ein Element, das ungefähr zweimal leichter ist als das bestrahlte Uran. Später entdeckten die deutschen Physiker *O. Hahn* und *F. Straßmann* unter den Reaktionsprodukten Barium (Ba). Diese beiden Elemente sind in der Mitte des Periodensystems der Elemente angeordnet.

Lisa Meitner gelang es, die Versuche *O. Hahns* und *F. Straßmanns* richtig zu interpretieren. Im Februar 1939 deutete sie das Entstehen von Lanthan und Barium als Resultate einer Spaltung des Urankerns in zwei große Bruchstücke. Etwas eher berichteten *Frederic* und *Irene Joliot-Curie* in der Akademie der Wissenschaften zu Paris von ihren Experimenten, die auch auf die Uranspaltung hinwiesen. Die französischen Wissenschaftler unterstrichen, daß diese Reaktion von einer gewaltigen Energiefreisetzung begleitet wird.

Im gleichen Jahr (1939) wurde auf einer wissenschaftlichen Beratung unserer Physiker im Moskauer Haus der Wissenschaftler die Möglichkeit einer Kettenreaktion bei der Uranspaltung erörtert. Die Ergebnisse der ersten Experimente waren jedoch noch nicht ausreichend und zu ungenau, um definitiv von der Möglichkeit einer solchen Reaktion zu sprechen bzw. deren Abklingen zu beweisen. Die Schwierigkeit bestand darin, daß sich — wie wir heute wissen — unter der Einwirkung von thermischen (langsamen) Neutronen nur ein Uranisotop — Uran-235 — spaltet. Dieses ist lediglich in einer Kon-

zentration von 0,7 % im natürlichen Uran vorhanden. Um genaue Angaben über das Isotop zu erhalten, war es deshalb notwendig, es von der Hauptmasse des Urans (dem Isotop Uran-238) zu trennen. Allein diese Trennung war zur damaligen Zeit eine fast unlösbare Aufgabe. Trotz alledem wurden die für das Entstehen einer Kettenreaktion notwendigen Bedingungen formuliert. In derselben Periode entwickelte der Leningrader Physiker *Ja. I. Frenkel* eine Theorie der Urankernspaltung. Nach dieser Theorie wird der Urankern als ein elektrisch geladenes Tröpfchen Kernflüssigkeit betrachtet. Die Wechselwirkung im Atomkern äußert sich dabei in der Oberflächenspannung des Tröpfchens. Unter der Einwirkung eines Neutrons (Bild 3) geht das Tröpfchen in einen angeregten Zustand über, in dem die elektrostatische Abstoßung größer als die Oberflächenspannung ist. Das Tröpfchen zerspringt in zwei kleinere. Auf diese Art und Weise wurde im Rahmen jener Theorie die Spaltung des Urankerns in zwei Teile interpretiert. Die beiden kleineren Tröpfchen stoßen sich elektrostatisch voneinander ab und erhalten dadurch eine gewaltige kinetische Energie, die sogenannte Kernspaltungsenergie.

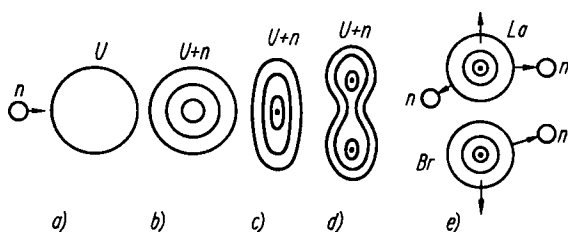


Bild 3. Prinzipdarstellung des Spaltungsprozesses eines Urankernes beim Einfang eines Neutrons

- a) das Neutron nähert sich dem Urankern
- b) das Neutron ist vom Urankern eingefangen
- c) der Kern geht in einen angeregten Zustand über
- d) er schwingt
- e) der Kern zerfällt in zwei Bruchstücke
(z. B. La und Ba)

Wesentlich ist dabei, daß beim Spaltprozeß aus dem sich spaltenden Urankern und aus den Spaltprodukten einige Neutronen ausgesandt werden (Neutronen der zweiten Generation), die, wenn sie auf weitere Urankerne treffen, diese spalten.

Es entstehen wiederum neue Neutronen (Neutronen der dritten Generation) usw. Die Leistung der Urankernspaltungsreaktion steigt ständig an, da die Anzahl der Neutronen gemäß einer geometrischen Reihe anwächst. Die Spaltungsreaktion kann durch Einführen von Stäben in den Reaktor gesteuert werden, die überflüssige Neutronen absorbieren. Ein solcher Prozeß ist dem Wirkungsprinzip eines energieerzeugenden Reaktors zugrunde gelegt. Wenn Maßnahmen getroffen werden, die eine ungehinderte Reaktionsentwicklung ermöglichen, kommt es zu einer Kernexplosion. Ein solcher Reaktor wäre dann eine Kernsprengladung.

Der Terminus Atomenergie¹⁾ ist heute weit verbreitet. Richtiger wäre es, von Kernenergie zu sprechen. Denn aus dem oben Dargelegten folgt, daß die Energie der Uranspaltung ihrem Wesen nach die Energie des Atomkernes ist. Aufgrund elektrostatischer Abstoßungskräfte sind schwere, stark geladene Atomkerne instabil. *K. A. Petrshak* und *G. N. Fljorow* zeigten 1940, daß sich Urankerne auch spontan spalten, ohne Einwirkung von Neutronen. Allerdings geht eine solche Reaktion äußerst selten vonstatten. Die große kinetische Energie der Spaltprodukte des Urans, des erwähnten Lanthans, Bariums und anderer, geht bei Zusammenstößen mit den Atomen des Mediums, in dem die Reaktion abläuft, verloren. Auf diese Art und Weise wandelt sich die Spaltungsenergie in Wärmeenergie²⁾ um. Man kann nicht gerade sagen, daß das sehr günstig wäre, denn Wärmeenergie ist vom Standpunkt der Thermodynamik her nur »zweite Wahl«. Aber auch bis zum heutigen Tage ist für die Nutzung der ursprünglichen Kernenergie noch keine rentablere Methode gefunden worden. Zu Beginn

1) Diese Bemerkung bezieht sich auf den im russischen Sprachbereich eingebürgerten Gebrauch der Begriffe Atom bzw. Kern. Im allgemeinen werden russische Wortbildungen mit dem Stamm »atom« hier entsprechend der deutschen Terminologie übersetzt. (Anmerkung des Übersetzers)

2) Ein Teil der Energie verläßt die Reaktionszone in Form von Neutrinos (etwa 5 %), ein anderer, der den Spaltungsneutronen und der Gammastrahlung zugeordnet ist, verwandelt sich entweder im Reaktor selbst oder im Beton des Strahlenschutzes ebenfalls in Wärme.

der theoretischen und experimentellen Untersuchungen von Kernspaltungsreaktionen war damit klar, daß die freiwerdende Energie als Wärmeenergie auftreten wird.

Es stand jedoch noch ein sehr langer Weg der Erforschung der Kettenreaktion und des Suchens von Methoden ihrer Steuerung bevor, um sowohl gewaltige Explosionen, die in einigen Millionsteln Sekunden ablaufen, als auch friedliche Kettenreaktionen in Kernkraftwerken, wo eine Kernbrennstoffladung für viele Monate oder sogar Jahre ausreicht, möglich zu machen. Wie wichtig die Exaktheit wissenschaftlicher Informationen war, zeigt sich an folgendem Beispiel. Im Ergebnis der Urankernspaltung entstehen nicht nur zwei Bruchstücke (zwei neue Kerne), sondern auch einige Neutronen. Diese Neutronen der ersten Generation bewirken die Fortsetzung der Reaktion, was zum Entstehen von Neutronen der zweiten Generation führt usw. Im Durchschnitt kommen auf tausend sofort zum Zeitpunkt der Spaltung freigesetzte Neutronen einige, die etwas später aus den Bruchstücken ausgesandt werden. Die Existenz solcher, sogenannter verzögerter Neutronen – nur ein kleines Detail des Urankernspaltungsprozesses – ist von entscheidender Bedeutung für die Realisierung der gesteuerten Kettenreaktion. Ein Teil von ihnen wird dabei um Bruchteile von Sekunden, andere um Sekunden und mehr verzögert. Gerade in dieser Zeit kann der Reaktionsablauf durch Manipulation mit neutronenabsorbierenden Stäben beeinflußt werden. Die Mehrzahl der Neutronen wird gleichzeitig mit der Spaltung freigesetzt. Während ihrer kurzen Lebensdauer (ungefähr einige Hunderttausendstel Sekunden) ist es unmöglich, den Reaktionsablauf irgendwie zu beeinflussen, ebenso wie es unmöglich ist, eine bereits begonnene Kernexplosion aufzuhalten (bei Kernsprengladungen spielt der geringe Anteil verzögerter Neutronen keine wesentliche Rolle).

Hier sei daran erinnert, daß bis zur Entdeckung der Uranspaltung die Perspektive einer praktischen Nutzbarmachung der Atomkernenergie vielen kompetenten Wissenschaftlern mehr als zweifelhaft erschien. Diese Meinung beruhte darauf, daß in allen bekannten Fällen der notwendige Energieaufwand zum Freisetzen der Kernenergie größer war als die freigesetzte Energie. Deshalb wurde der Atomforschung keine

große Bedeutung beigemessen; sie stellte im Vergleich mit anderen physikalisch-technischen Forschungen keine besondere volkswirtschaftliche Perspektive dar.

Kurz nach den sensationellen Entdeckungen auf dem Gebiet der Kernphysik, die zu Hoffnungen auf mögliche technische Anwendung der Kernenergie berechtigten, wurde Westeuropa von den Faschisten überfallen. Zwei Jahre später überfielen die Hitlerfaschisten auch die Sowjetunion. In dieser Periode gab es aus Europa keine Informationen über den Fortgang der Arbeiten auf dem Gebiet der Uranforschung mehr. Die Kernphysik entwickelte sich aber weiter, im besonderen in den USA, wohin bereits viele Jahre vor Kriegsbeginn viele von den Faschisten verfolgte Wissenschaftler emigriert waren. Als sich jedoch die Möglichkeit einer Verwirklichung der Kettenreaktion im großen Maßstab immer mehr herauskristallisierte, wurden alle Informationen über den Fortgang der Arbeiten auf dem Gebiet der Kernphysik unter Geheimschutz gestellt. Der Auftrag an die sowjetischen Wissenschaftler, Arbeiten zur Beherrschung der Kernenergie in Angriff zu nehmen, war eine weitsichtige Entscheidung in einer Zeit, da die Sowjetunion durch den Krieg unermessliche Verluste an Menschen und Material erlitten hatte, da das Schicksal des Sowjetlandes wichtiger war als beliebige Projekte, so vielversprechend sie auch erschienen. Als besonders glücklicher Umstand für die Sowjetunion erwies sich die Tatsache, daß trotz der Vielfalt aktueller Bedürfnisse in Leningrad und Charkow Gruppen von Wissenschaftlern arbeiteten, von Pionieren der Kernphysik, die die Meinung, Wissenschaft müsse nur den materiellen Interessen der Gegenwart dienen, nicht teilten.

Alle Arbeiten auf dem Gebiet der Kernenergie stützten sich in der Anfangsperiode auf ein neu geschaffenes Institut, das heutige Kurtschatow-Institut für Atomenergie (IAE). Die allgemeine wissenschaftliche Leitung des Gesamtproblems wurde *I. W. Kurtschatow* anvertraut, der in jener Zeit Mitarbeiter des Physikalisch-Technischen Instituts in Leningrad war. *I. W. Kurtschatows* Wahl zum Leiter des gesamten Atomproblems erwies sich als sehr günstig. Bei weitem nicht jeder war fähig, solch umfangreiche Aufgaben zu bewältigen, die die Gabe der Voraussicht und Prognose erfordern, sowie das



Bild 4. I. W. Kurtschatow

Können, Fähigkeiten und Talente jedes Mitarbeiters zu nutzen, vielfältige Probleme in einem harmonischen Plan abzustimmen und die richtigen Lösungswege herauszufinden. Sachlichkeit und Strenge vereinigte I. W. Kurtschatow mit erfrischendem Humor. Mit ihm zu arbeiten war sowohl lehrreich als auch heiter.

Im Jahre 1946 gelang im IAE die erste Kettenreaktion in der UdSSR mit einem Versuchsreaktor, in dem natürliches, nicht angereichertes Uran und als Moderator zur Bremsung der Kettenreaktion Graphit (reiner Kohlenstoff) benutzt wurden. Wie jetzt bekannt ist, wurde die erste Kettenreaktion in der Welt von *Enrico Fermi* im Dezember 1942 in einem Atommeiler gleichen Typs realisiert. Somit war sowohl in der UdSSR als auch in den USA die Möglichkeit der Steuerung von Kettenreaktionen mit natürlichem Uran bewiesen.

Mit der Inbetriebnahme eines Versuchsreaktors des genannten Typs war die Grundlage für die weitere Forschung auf dem Gebiet der Kernenergie und deren Anwendung geschaffen. Damit wurden die erfolgreiche Projektierung und der Aufbau industrieller Reaktoren zur Produktion von Plutonium für Kernwaffen möglich, waren die Voraussetzungen zur Entwicklung von Leistungsreaktoren für Kernkraftwerke geschaffen.

Das letztgenannte Problem bestand hauptsächlich in der

Suche von Verfahren zur Wärmeabführung vom Kernreaktor bei hoher Leistungsdichte. Prinzipiell erschien das nicht kompliziert, viele einfache Verfahren konnten eingesetzt werden, um die Wärmeenergie vom Reaktor abzuführen und Dampf zu erzeugen, der zum Antrieb einer Turbine mit gekoppeltem Generator geeignet ist. Dies war das Prinzip eines klassischen Kraftwerkes, bei dem lediglich die übliche Kesselfeuerung durch einen Kernreaktor ersetzt war.

Nach Kriegsende, Mitte der vierziger Jahre, erschienen in den USA die ersten Publikationen zu diesen Problemen. Unter ihnen ist besonders das Buch »Wissenschaftliche und technische Grundlagen der Kernenergetik« des Herausgebers *K. Goodman* hervorzuheben. Es war 1947 von den bedeutendsten Wissenschaftlern der USA geschrieben und vom Verlag für Fremdsprachenliteratur der UdSSR in den Jahren 1948 bis 1950 übersetzt worden.

Das Buch enthielt viele kernphysikalische Konstanten und Reaktorberechnungsmethoden, die auch in der UdSSR dank der im IAE durchgeführten experimentellen und theoretischen Arbeiten schon bekannt waren. Es wurden auch einige mehr oder weniger sinnvolle Schemata zur Wärmeabführung von Kernreaktoren angeführt. Die Schaffung eines realen Leistungsreaktors jedoch war durch eine Vielzahl von Hindernissen erschwert — ungelöste Probleme der Konstruktion, Technologie und Reaktortheorie.

Zu jener Zeit war es sehr kompliziert, den Schwierigkeitsgrad der zu überwindenden Hindernisse sowie die zur Lösung dieser oder jener Teilprobleme notwendigen Aufwendungen und Zeiträume einzuschätzen. Aus diesem Grunde schienen viele Leistungsreaktorvarianten gleichberechtigt zu sein, andere wiederum waren aufgrund ihres besonders hohen Gesamtwirkungsgrades insgesamt verlockend.

Was reale Erfahrungen betrifft, so gab es diese in den vierziger Jahren und anfangs der fünfziger Jahre nur im IAE und einigen seiner Außenstellen. Diese Erfahrungen bezogen sich auf Reaktoren mit thermischen Neutronen, Graphit als Moderator und Wasser zum Abführen der Wärme aus dem Reaktor. Die in jenen Reaktoren erreichte Temperatur und somit auch die Temperatur des Wärmeträgers (Wasser) war zu niedrig. Sie ließen sich nicht effektiv zur Erzeugung von

Dampf mit solchen Parametern einsetzen, wie sie für den Antrieb von Dampfturbinen benötigt werden.

In allgemeinen Zügen war das die Situation in der UdSSR vor Beginn der neuen Etappe der Nutzbarmachung der Kernenergie.

3. Obninsk

Mitte der vierziger Jahre wurden in der Sowjetunion mehrere, heute überall bekannte wissenschaftliche Forschungslaboratorien gegründet. Mit diesen Laboratorien, von ihrer Größe her eigentlich Institute, sollte die Basis für kernphysikalische Forschungen, für die Entwicklung von Methoden zur Isotopentrennung und die Schaffung von Meß- und Steuergeräten erweitert werden. In vielen Fällen wurden parallele Arbeiten durchgeführt, um die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Abschlusses zu erhöhen.

Unter anderem wurde auch das Laboratorium in Obninsk gegründet (1947), das heutige Physikalisch-Energetische Institut (PEI). Anfänglich beaufsichtigte *A. I. Leipunski* die Tätigkeit des Laboratoriums. Er gewann auch den Autor dieser Zeilen zur Mitarbeit in Obninsk. In der Anfangsperiode hatte das Laboratorium sehr begrenzte Möglichkeiten. Es verfügte in den ersten Jahren seines Bestehens weder über ausreichende wissenschaftliche Kader, noch über die notwendige Ausrüstung und stand deshalb abseits der Hauptentwicklungsrichtungen der wissenschaftlichen Forschungstätigkeit in der Atomphysik und der Kernenergetik.

Der Kontakt zu den führenden Laboratorien der Sowjetunion, unter anderem zum Kurtschatow-Institut, war in der Anfangsperiode unzureichend und wurde durch die in jener Zeit geltenden Vorschriften erschwert. Die wissenschaftliche Thematik des Obninsker Laboratoriums erschien uns nicht sehr aktuell im Vergleich mit den Aufgaben, vor denen andere Laboratorien der gleichen Forschungsrichtung standen. Auch die Entwicklungsperspektive war noch unbestimmt. Sie reichte von rein physikalischen Forschungen (so wurde z. B.

eine Zeitlang die Errichtung eines Beschleunigers mit einer Energie von einigen Gigaelektronenvolt zum Studium von Elementarteilchen diskutiert) bis zu angewandten Arbeiten auf dem Gebiet der Kernenergetik. Der letztgenannte Problemkreis erschien einerseits aufgrund des Charakters der wissenschaftlich-technischen Probleme besonders ansprechend und andererseits deshalb, weil viele Laboratorien und Institute mit anderen, größeren und kleineren Problemen ausgelastet waren und angewandte Arbeiten zur friedlichen Kernenergetik noch nicht in Angriff genommen worden waren. Damit war die Entscheidung über das wissenschaftliche Profil des Obninsker Laboratoriums gefallen.

Heute, da ich über die ersten Jahre des wissenschaftlichen Zentrums von Obninsk schreibe, kommt es mir vor, als gehöre jene Zeit einer anderen Epoche an.

Obninsk ist jetzt eine große Stadt mit vielen Tausenden Einwohnern, mit erstklassigen wissenschaftlichen Instituten und Lehreinrichtungen. Auch die neuen Wohngebiete der Stadt sind großartig in ihrer freien Anlage, mit dem herrlichen Klubhaus und anderen modernen Bauten. Besonders schön ist der alte Park von Obninsk, der sich bis in das von herrlichen Wäldern umgebene Tal der Protwa hinzieht. Diese Landschaft könnte nach Bildern von *Corot* geschaffen sein.

In Obninsk begann es jedoch, wie auf vielen Baustellen jener Jahre, unter komplizierten Bedingungen des Arbeitskräfte-, Material- und Energiemangels. Holzbaracken, ungemütliche »finnische« Häuschen der ingenieurtechnischen Mitarbeiter und der Wissenschaftler; Gebäude, die für Labors und Verwaltungen hergerichtet worden waren; unter den Füßen glitschiger Lehm, in dem die Gummistiefel einsanken (manch einer band sich die Gummistiefel mit Stricken fest) und Autos hoffnungslos steckenblieben.

Das heute rekonstruierte Hauptgebäude des Laboratoriums stammte von einem Kinderheim, in das 1936 Kinder aus Spanien aufgenommen worden waren. Ein anderes Gebäude war vor der Revolution Wohnsitz der Textilfabrikantenfamilie *Morosow*. Im Mädchenzimmer dieses alten Gebäudes, das später zu einem Hotel umgebaut wurde und viele ehrenvolle Gäste beherbergte, wohnte in jener Zeit... ein einsamer alter Ziegenbock, der verspäteten Passanten Angst einjagte.

Eine kleine und bei weitem nicht neue Dampfturbine mit Generator leistete nicht mehr als 500 Kilowatt. Wenn sie einmal stehenblieb, versanken die ganze Siedlung und die Baustelle im Dunklen.

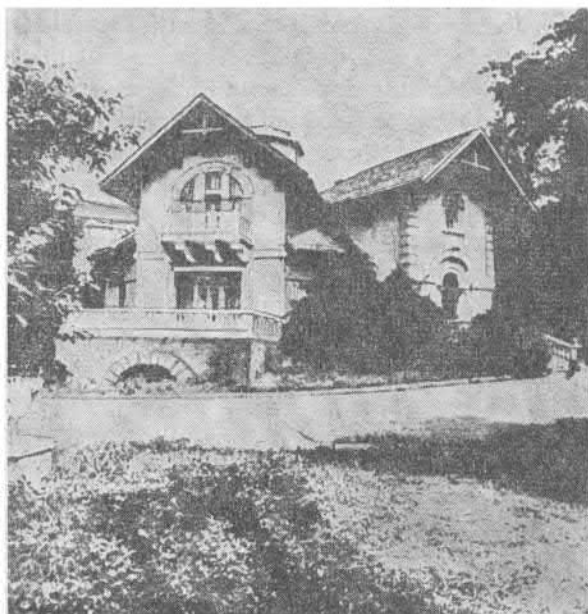


Bild 5. Haus in Obninsk (Foto PEI)

Die Hauptschwierigkeit jedoch bestand im Mangel an qualifizierten Kadern: Der Krieg hatte große Lücken gerissen, die nicht sofort geschlossen werden konnten. Trotz allem hatten sich allmählich Mitarbeiter gefunden. Aus dem Krieg waren *A. K. Krasin*, *P. E. Nemirowski*, *O. D. Kasatschkowski* und andere zurückgekehrt. Drei talentierte Theoretiker konnten direkt nach dem Hochschulabschluß geworben werden: *L. N. Usatschow*, *D. F. Sarezki* und *A. S. Romanowitsch* (er kam später bei einem tragischen Unglücksfall in den Bergen des Pamir ums Leben). Das erste Rechenbüro, das uns eine moderne elektronische Rechenmaschine ersetzte, hatte einen Mitarbeiter – die ehemalige Kellnerin *W. S. Gudkowa*. Heute ist sie ein Fachmann auf dem Gebiet der Datenverarbeitung. So

entstand das wissenschaftliche Kollektiv des zukünftigen Instituts von Obninsk. Es wuchs allmählich durch den Zustrom junger Fachleute, entwickelte sich weiter und erwarb die Fähigkeit, verschiedenartige Probleme der Kernenergetik zu lösen. Zu jener Zeit aber waren alle noch Anfänger – sowohl die Lehrer als auch die Schüler.

An dieser Stelle ist es vielleicht dienlich, zukünftigen Organisatoren neuer Institute einen Rat zu geben: Die Auswahl des wichtigsten, des anfänglichen Kerns der Mitarbeiter muß ebenso sorgfältig geschehen wie das Auswaschen von Goldkörnern aus Gestein. Schon aus diesem Grunde kann ein neu entstehendes Institut nur wenige Mitarbeiter haben. Um eine schöpferische Atmosphäre in einer neuen Institution zu gewährleisten, muß man mit talentierten Mitarbeitern und Enthusiasten beginnen. Das bezieht sich auf alle Bereiche: auf wissenschaftliche Mitarbeiter, Arbeiter und Mitarbeiter der Verwaltungen. Eben nach diesem Prinzip wurde das Kollektiv von Obninsk zusammengestellt. Später dann wird ein Institut kraft der natürlichen Ausdehnung des geplanten Aufgabenspektrums wachsen. Neue Mitarbeiter werden hinzukommen, die Generation »der Pioniere, der Enthusiasten« wird älter werden. Gleichzeitig mit dem Kollektiv wuchs auch die Gesamtleistungsfähigkeit des Physikalisch-Energetischen Instituts. Aber auch die Schwierigkeiten, die mit der Organisation und Erziehung einer großen Anzahl von Menschen verbunden sind, wurden größer.

Das vorgelegte hohe Bautempo rief Probleme bei der Energie- und Wärmeversorgung der Siedlung hervor. Von Zeit zu Zeit versanken wir in Dunkelheit und Kälte. Niemand war von diesen Unbequemlichkeiten befreit. Eines Tages entstand bei starkem Frost die reale Gefahr des »Einfrierens« der gesamten Heizung. Ich erinnere mich noch, wie damals die beiden einzigen Heizungsmonteure, übermüdet und aufgeregt, die Siedlung vor der drohenden Havarie des Heizungssystems retteten.

In dieser Situation mußte die Entscheidung getroffen werden, die Energie entweder auf die Baustelle oder die Wohnsiedlung zu leiten. Jene denkwürdige Versammlung taucht in der Erinnerung auf, als die Frage gestellt werden mußte: »Halten wir durch, Genossen, oder bitten wir um eine Ter-

minkorrektur für den KKW-Bau?« Das Kollektiv antwortete: »Wir stehen es durch, Bautempo beibehalten«. Viele nützliche Vorschläge wurden eingebracht. Bald darauf kam eine fahrbare Energiezentrale zum Einsatz. Später wurde ein Heizkraftwerk errichtet, das sowohl die Baustelle als auch das Wohngebiet mit Elektroenergie und Wärme versorgte.

Die Episode führe ich an, um zu unterstreichen, daß für die Mehrheit unseres Kollektives die übertragene Aufgabe so verantwortungsvoll, interessant und mitreißend war, daß die Unbequemlichkeiten des damaligen Lebens zweitrangig erschienen und nicht in Betracht gezogen wurden. Diese Schwierigkeiten brachten eher ein gewisses romantisches Element in unsere Lebensweise jener Zeit.

Die friedliche Anwendung der Kernenergie — ein damals noch nicht geläufiger Terminus, genauer gesagt die Kernenergetik war das, was die Gemüter der kleinen Gruppe sowjetischer Wissenschaftler beschäftigte, die in Obninsk zu arbeiten begannen. Es mußte entschieden werden, welcher Weg zu beschreiten ist, welcher der kürzeste und sicherste ist. Ein orientalisches Sprichwort heißt: »Das Kind fürchtet den Tiger nicht«. So erschienen auch uns in den Anfangsetappen die kühnsten Projekte am ansprechendsten. In Wirklichkeit stand ein schwieriger Weg bevor.

4. Periode des Suchens

In der Anfangsphase der Entwicklung der Kernenergetik herrschten verständlicherweise wissenschaftlich-technische Probleme gegenüber ökonomischen Problemen vor. Trotz alledem bestand das natürliche Bestreben, energetische Anlagen mit guten Dampfparametern (Temperatur und Druck) und mit einem hohen Wirkungsgrad bei der Nutzung der im Reaktor frei werdenden Wärmeenergie zu schaffen. Moderne Dampfturbinen für hohen Dampfdruck und entsprechend hohe Dampftemperatur sollten zur Anwendung kommen. Andererseits war es unmöglich, die von der realen Situation diktierten Umstände zu ignorieren. Die Kosten des zu projektierenden Reaktors, Beschaffungsmöglichkeiten für Kernbrennstoff, reale Fertigstellungstermine — all das konnte bei der Variantenauswahl nicht außer acht gelassen werden, es schränkte natürlich unsere Wünsche ein.

Anfänglich wurde in Obninsk an dem Projekt für einen Hochtemperaturreaktor auf der Basis von thermischen Neutronen mit Berylliumoxid (BeO) als Moderator und Helium als Kühlmittel gearbeitet. Im Labor waren schon wesentliche Erfolge in der Herstellungstechnologie von reinstem Berylliumoxid erzielt worden (*W. A. Malych*, 1947 bis 1950). Die kernphysikalischen Eigenschaften von Berylliumoxid als Moderator von Neutronen wurden erforscht. Ungefähr zur gleichen Zeit begannen Untersuchungen zur Kühlung mit flüssigen Metallen. Diese Art der Kühlung schien eine große Perspektive zu haben, da sich mit flüssigen Metallen höhere Temperaturen erreichen lassen, d. h., der Wirkungsgrad der Anlage kann erhöht werden. Flüssige Metalle wurden später als Kühlmittel in Reaktoren mit schnellen Neutronen eingesetzt.

Das Entscheidende ist, daß in den üblichen Kernreaktoren die bei der Uranspaltung ausgesandten schnellen Neutronen künstlich auf eine geringe (»thermische«) Energie abgebremst werden. Zu diesem Zwecke wird im Reaktor neben dem Uran Material untergebracht, das Neutronen bremst (moderiert) und nur in geringem Maße absorbiert. Bei Kernkraftwerksreaktoren kommt als solcher Moderator Kohlenstoff in Form von Graphit zum Einsatz. Langsame Neutronen spalten nämlich Urankerne effektiver als schnelle. Aus diesem Grunde wird die Beschickung des Reaktors mit spaltbarem Material, d. h. Kernbrennstoff, ökonomischer. Die Verwendung von natürlichem Uran in Reaktoren mit langsamen, thermischen Neutronen ist dadurch erschwert, daß natürliches Uran (Atomgewicht 238) nur zu einem geringen Anteil von 0,7 % aus Uran mit dem Atomgewicht 235 besteht. Aber nur letzteres spaltet sich unter der Einwirkung von thermischen Neutronen. Ein solch geringer Anteil des effektiven Uranisotops ist im allgemeinen nicht ausreichend für das Zustandekommen der Kettenreaktion in einem Leistungsreaktor. Deshalb muß das natürliche Uran angereichert, der Anteil von Uran-235 erhöht werden. Dieser komplizierte und mit hohen Kosten verbundene Prozeß wird in speziellen Aufbereitungsanlagen durchgeführt. Bei der Projektierung eines Reaktors muß unbedingt berücksichtigt werden, daß der erforderliche Anreicherungsgrad nicht zu hoch wird, sonst wird der Kernbrennstoff zu teuer. Im Falle des Reaktors im ersten KKW betrug die Urananreicherung 5 %.

Es stellte sich heraus, daß Kernreaktoren ohne Moderator auf der Basis von schnellen Neutronen, die direkt im Moment der Kernspaltung ausgesandt werden, zwar anfänglich eine sehr große Menge von hochangereichertem Urankernbrennstoff benötigen, dafür aber die Entstehung von neuem spaltbarem Material — Plutonium-239 — möglich ist. Es entsteht dabei mehr Plutonium, als Uran-235 abbrennt. Ich erinnere mich, wie mir eines Tages während einer Autofahrt nach Obninsk *A. I. Leipunski* sagte: »Es scheint so, als würde klar, wozu Reaktoren mit schnellen Neutronen gut sein können.« Die Idee der Reproduktion von Kernbrennstoff, d. h. der Reaktoren zur Vermehrung von Kernbrennstoff (heute werden sie oft »Brüter« genannt), wurde zum Gegenstand unserer

Forschungen. In solchen Reaktoren entsteht aus dem in thermischen Reaktoren uneffektiven Uran-238 durch Einfang eines Neutrons der sehr effektive Kernbrennstoff Plutonium-239. Auf diese Art und Weise eröffnet sich die prinzipielle Möglichkeit, das genannte natürliche Uran (nicht nur sein Isotop Uran-235) als Ausgangsmaterial für Kernbrennstoff zu nutzen. Die natürlichen Kernbrennstoffvorräte würden sich damit auf das 140fache vergrößern.

Ende der vierziger Jahre jedoch besaßen wir keine Kenntnisse, um Reaktoren solchen Typs berechnen zu können. Die notwendigen Versuchsergebnisse waren sehr spärlich und konnten keine eindeutigen Antworten auf die Menge der anstehenden Fragen liefern. Bereits zu jener Zeit wurde klar, daß sich die Kernenergetik in ihrer ersten Entwicklungsetappe auf thermische Reaktoren, die Uran-235 verbrennen, stützen muß. Reaktoren mit schnellen Neutronen, die einen »Zuwachs« in Form von neuem Kernbrennstoff (Plutonium 239) erbringen, müssen die Basis der Kernenergetik in ihrer zweiten Etappe werden, wenn keine Einschränkungen mehr für den Umfang der anfänglichen Beschickung des Reaktors mit effektivem und teurem Kernbrennstoff bestehen. Diese Etappe wird jetzt, nach 20 Jahren, bereits in der Praxis realisiert.

Für die erfolgreiche Errichtung des ersten Kernkraftwerkes war es wichtig, daß gegen Ende der vierziger Jahre im Institut von *I. W. Kurtschatow* und im Konstruktionsbüro von *N. A. Dolleshal*¹⁾ umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der Projektierung und Errichtung von Reaktoren auf der Basis von thermischen Neutronen mit Graphit als Moderator und natürlichem Wasser als Kühlmittel vorhanden waren. Wassertemperatur und Energiedichte in diesen Reaktoren waren jedoch in jener Zeit zu gering. Sie konnten nicht die Basis eines Kernkraftwerkes sein. Mit der wesentlichen Erhöhung der Temperatur des Energieträgers (Wasser) und damit auch seines Druckes war ein bedeutender Sprung zu machen.

Auf Grundlage der vorhandenen Erfahrungen schlugen *I. W. Kurtschatow* und *N. A. Dolleshal* ein Projekt für einen Reaktor eines Kernkraftwerkes mit folgenden Parametern

1) das heutige NIKIET

vor: Wärmeleistung 30 000 kW, elektrische Leistung 5000 kW, Dampfdruck 1,2 MPa. Erste physikalische Berechnungen waren im IAE von *P. E. Nemirowski* und *S. M. Feinberg* durchgeführt worden. *I. W. Kurtschatow* schlug vor, die Weiterentwicklung dieses Reaktors und die Errichtung eines Kernkraftwerkes mit diesem Reaktor an das Institut in Obninsk zu übergeben (1951).

Das rief in Obninsk ernste Diskussionen über die Wahl des weiteren Entwicklungsweges des Institutes hervor. Es entstand die Frage, was weiterzuentwickeln sei: Hochtemperaturreaktoren mit thermischen Neutronen und Berylliumoxid als Moderator, Reaktoren mit schnellen Neutronen und Kühlung mit flüssigem Metall oder die Anwendung von Dampf mit einem Druck von 1,2 MPa? Wobei die letzte Variante in der konventionellen Wärmeenergetik bereits erprobt war.

In dieser Periode hatten wir noch Entscheidungsfreiheit. Unterdessen waren in der wissenschaftlichen Leitung des Instituts Meinungsverschiedenheiten entstanden. Ich und *A. K. Krasin* neigten dazu, die Vorschläge *Kurtschatows* anzunehmen. *A. I. Leipunski* war der Meinung, daß eine solche Entscheidung uns von der Arbeit an den effektiveren Reaktoren ablenkt.

Meine Überlegungen stützten sich auf folgendes: Die Produktion von Berylliumoxid in der benötigten Menge ist zu kostenaufwendig und nicht sehr realistisch. Die Entwicklung eines Druckgefäßes (Reaktorhülle), in dem ein von radioaktiven Produkten verunreinigtes Gas zuverlässig unter hohem Druck gehalten werden kann, war ein sehr kompliziertes Problem. Wir hatten überhaupt keine Angaben, die es gestattet hätten, auf die Sicherheit eines solchen Reaktors für das umliegende Territorium zu bauen. Was Reaktoren mit schnellen Neutronen und flüssigen Metallen als Kühlmittel betraf, so war deren Studium notwendig. Es hätte jedoch viele, viele Jahre in Anspruch genommen, bevor wir von der Möglichkeit und Zweckmäßigkeit ihrer Realisierung überzeugt gewesen wären.

Der Vorschlag *I. W. Kurtschatows* beinhaltete zwar auch viele unbekannte Faktoren, baute jedoch auf Phänomenen auf, die bereits experimentell und theoretisch erschlossen waren. Aus diesem Grunde bot sich dem jungen Kollektiv des

Obninsker Institutes die weitaus realste Möglichkeit dar, den ersten Schritt auf dem Wege der friedlichen Anwendung der Kernenergie zu vollziehen. Ich verstand, daß die Lösung einer solchen Aufgabe gewissermaßen die in ihrer Bedeutung einmalige Diplomarbeit des jungen Kollektivs werden würde. Über die Beweggründe, die *I. W. Kurtschatow* veranlaßten, gerade uns ein solch wichtiges Angebot zu machen, kann ich nur Vermutungen anstellen. Wahrscheinlich war *Igor Wasiljewitsch* der Meinung, daß das Kollektiv seines Institutes verantwortungsvollere (in jener Zeit) Aufgaben zu erfüllen hatte und nicht noch ein weiteres großes Projekt übernehmen konnte. Außerdem war es *I. W. Kurtschatow* bekannt, daß das Wissenschaftlerkollektiv von Obninsk damals schon über ausreichende Kenntnisse auf dem Gebiet der Reaktortechnik und Kernphysik verfügte, so daß mit einer erfolgreichen Erfüllung der Aufgabe zu rechnen war.

Seit März 1951 waren die weitere Ausarbeitung des Kernkraftwerkprojektes sowie die Durchführung der notwendigen theoretischen und experimentellen Forschungsarbeiten im PEI in Obninsk und im Konstruktionsbüro von *N. A. Dolleshal* konzentriert worden. Der Chefkonstrukteur des Projektes war *N. A. Dolleshal*. *A. K. Krasin* wurde als mein Stellvertreter für die wissenschaftliche Leitung des Projektes eingesetzt.

Im Institut wurden zwei große Abteilungen geschaffen. Die Abteilung von *A. K. Krasin* konzentrierte sich vollständig auf physikalische Aufgabenstellungen, die mit dem für das erste Kernkraftwerk vorgesehenen Reaktor auf der Basis von thermischen Neutronen mit Graphitmoderator und Wasserkühlung in Verbindung standen. In der anderen Abteilung (Abteilungsleiter waren *A. I. Leipunski* und *O. D. Kasatschkowski*) konzentrierten sich die Forschungsarbeiten auf Reaktoren mit schnellen Neutronen und mit flüssigen Metallen als Kühlmittel. Die Arbeiten auf dem Gebiet der Hochtemperaturreaktoren mit Berylliumoxid wurden eingestellt. Durch diese Maßnahmen wurden die Diskussionen über die Forschungsrichtungen im PEI beendet und die Aufgabenstellung klar festgelegt.

In den beiden experimentellen Abteilungen wurden neben den physikalischen Forschungen und den Berechnungen auch

Arbeiten zum Studium der Wärmeübertragung in Angriff genommen. Leider hatten wir keine Thermodynamiker in unserem Kollektiv. Meine Versuche, Spezialisten zu gewinnen, waren nicht von Erfolg gekrönt. Die Entwicklung der Wärmephysik in Obninsk haben wir den talentierten jungen Wissenschaftlern zu verdanken, die vom Moskauer Energetischen Institut zu uns kamen. Zu ihnen gehörten *P. L. Kirillow* und *W. Ja. Pupko*, die Forschungsarbeiten zu Problemen der Kühlung mit flüssigen Metallen aufnahmen. Der erfahrene *K. A. Senkewitsch* konzentrierte seine Forschungen auf Wasser als Wärmeenergieträger. In der Folgezeit entstand auf der Basis der Erfolge des jungen Kollektivs das sehr bedeutende wärmephysikalische Laboratorium.

Die technologischen Arbeiten zur Entwicklung der Brennelemente für den Reaktor des KKW wurden in einer Reihe von Institutionen in enger Zusammenarbeit mit dem Konstruktionsbüro von *N. A. Dolleshal* durchgeführt. In Obninsk waren diese Arbeiten der Abteilung von *W. A. Malych* anvertraut worden. *Malych* hatte sich schon früher als ein talentierter und einfallsreicher Technologe erwiesen. An dieser Stelle ist es angebracht, auf einen für die damalige Zeit charakteristischen Umstand hinzuweisen: Mitarbeiter wurden mehr aufgrund ihrer Fähigkeiten als ihrer Diplome und Titel in Leitungsfunktionen berufen. *W. A. Malych* hatte zu jener Zeit nicht einmal eine abgeschlossene Hochschulausbildung.

Neben diesen Abteilungen war eine Abteilung Theorie gebildet worden. Ihre Aufgabe bestand in der Bearbeitung der kompliziertesten Fragen der Theorie thermischer und schneller Reaktoren. Sie bestand aus jungen Theoretikern, die gerade das Hochschulstudium abgeschlossen hatten und mit Enthusiasmus an die Lösung der schwierigen Probleme der Reaktortheorie herangingen. Besonders große Erfolge erzielten *L. N. Usatschow*, *D. F. Sarezki* und *W. W. Orlow*. Sie wurden in der Folgezeit zu bedeutenden Spezialisten der Reaktortheorie.

Gleichzeitig nahm die Leistungsfähigkeit des Bau- und Montagebetriebes zu, der anfänglich unter der Leitung von *P. I. Sacharow* und später von *D. S. Sacharow* stand. Beide hatten die Aufgabe, Bau und Montage des Kernkraftwerkes kurzfristig durchzuführen.

Die allgemeine Verwaltung des Instituts lag in den Händen von *I. T. Tabulewitsch*. Er erwarb sich mit seinen organisatorischen Fähigkeiten und seinem Taktgefühl die Sympathie des gesamten Kollektivs.

Hauptingenieur des Instituts war *D. M. Owetschkin*. Er hatte die komplizierte Aufgabe, Qualität und termingerechte Lieferung der neuen Ausrüstungen zu kontrollieren und zu gewährleisten. Obwohl er zu Beginn seiner Tätigkeit kein Fachmann auf dem Gebiet der Kerntechnik gewesen war, löste er dank seiner Beharrlichkeit die ihm gestellten Aufgaben erfolgreich und wurde ein Kenner dieses neuen Fachgebietes.

Auf diese Art und Weise war eine feste Struktur des Institutes geschaffen, die es gestattete, in Obninsk in großem Maßstab Arbeiten auf dem Gebiet der Kernenergetik in Angriff zu nehmen.

Die vordringlichste Aufgabe bestand im Aufbau eines wassergekühlten Reaktors für ein Kernkraftwerk mit einer Leistung von 5000 kW. Auch die Forschungsarbeiten für Reaktoren mit schnellen Neutronen und flüssigen Metallen als Kühlmittel wurden vorangetrieben. Sie beinhalteten theoretische und experimentelle Untersuchungen, kernphysikalische Forschungsarbeiten zu Bestimmung der Werte von Kernkonstanten, die für die Berechnung von Reaktoren notwendig sind, sowie technologische und wärmetechnische Aufgaben.

Für uns war die Verwendung von Alkalimetallen (Natrium, Kalium und deren Legierungen) als Kühlmittel etwas vollkommen Neues. Die ersten Versuche wurden im Jahre 1951 begonnen (*P. L. Kirillow*). Mit ihnen hatten wir viel Sorgen und erlebten manche Überraschung. Solange es noch an ausreichenden Erfahrungen im Umgang mit diesen Metallen mangelte, waren sie oft die Ursache für kleine Explosionen und Brände.

Wie vorgesehen, dauerten die Forschungsarbeiten für Reaktoren mit schnellen Neutronen mehrere Jahre. So wurde z. B. noch 1969 die für diese Probleme wichtigste Größe – die Brutrate für den Kernbrennstoff – bei Messungen am Impulsreaktor IBR-1 im Laboratorium für Neutronenphysik des Vereinigten Instituts für Kernforschung (VIK) Dubna präzisiert. In Obninsk wurde 1955 der erste Reaktor mit schnellen Neutronen und Quecksilberkühlung in Betrieb genommen

und 1959 der erste Versuchsreaktor mit Natriumkühlung (BR-5).

Auf Grundlage der Erfahrungen mit diesen Anlagen wurde 1973 in Schewtschenko der weltgrößte Kernreaktor (Wärmeleistung 1000 MW) mit schnellen Neutronen und Natriumkühlung in Betrieb genommen. Die Errichtung dieses Kraftwerkes (BN-350) war eine der bedeutendsten Leistungen des Physikalisch-Energetischen Institutes in Obninsk. Auf dem Territorium des Kraftwerkes von Belojarsk wird zur Zeit ein Großkernkraftwerk (BN-600) mit einem Reaktor mit schnellen Neutronen und Flüssigmetallkühlung errichtet.

Ich hoffe, daß diese unvollständige Darstellung der Situation in jener Periode, als der Auftrag zur Errichtung eines Kernkraftwerkes formuliert wurde, trotz allem eine Vorstellung über die Probleme gibt, die uns damals bewegten, sowie über die Richtung, in der sich die friedliche Kernenergetik entwickelte.

5. Hauptprobleme beim Bau des Kernkraftwerkes

Anfang des Jahres 1951 war das Kernkraftwerksprojekt nur in allgemeinen Zügen ausgearbeitet. Das Grundprinzip für das erste KKW ist in Bild 6 dargestellt. Im großen und ganzen wird dieses Prinzip heute in allen KKW angewandt, in denen

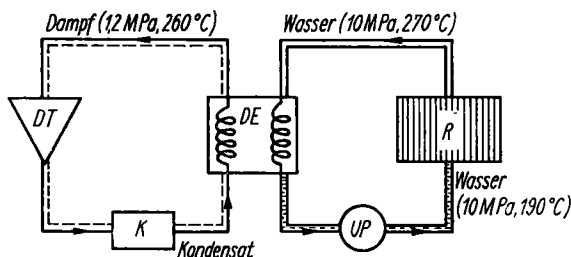


Bild 6. Prinzipieller Aufbau des Kernkraftwerkes

- R** Reaktor mit einer Leistung von 30 000 kW
UP Umlaufpumpe
DE Dampferzeuger
DT Dampfturbine mit 5000-kW-Generator
K Kondensator

die Reaktorwärme mit Wasser abgeführt wird. In unserem Fall wurde die Wärme vom Reaktor *R* mit Wasser abgeführt, das unter einem Druck von 10 MPa stand. Dieser Druck verhindert das Kochen des Wassers im Reaktor. Die Wassertemperatur betrug beim Eintritt in den Reaktor 190 °C und beim Austritt 270 °C. Das heiße Wasser gelangte in einen als Dampferzeuger wirkenden Wärmeübertrager und kehrte in den Reaktor zurück. Das war der sogenannte erste Kreislauf. In diesem Kreislauf ist das Wasser radioaktiv. Im Wärmeübertra-

ger *DE* gab das heiße Wasser (als Zwischenenergieträger) seine Energie an das im zweiten Kreislauf zirkulierende Wasser ab. Im Wärmeübertrager wurde Dampf mit einem Druck von 1,2 MPa und einer Temperatur von 260 °C erzeugt. Dieser Dampf trieb dann eine mit einem Generator gekoppelte Dampfturbine *DT* an. Die Leistung der Dampfturbine betrug 5000 kW, die Wärmeleistung des Reaktors 30 000 kW. Das heißt, das erste KKW erreichte einen Wirkungsgrad von 17 %. Durch das Prinzip der zwei Kreisläufe wurde ein Eindringen von Radioaktivität in das Kraftwerksgebäude verhütet. Das Reaktorgebäude selbst sowie einige Räume in ihm waren mit einem zuverlässigen biologischen Schutz versehen.

In Bild 7 ist das Konstruktionsprinzip des wichtigsten Reaktorelements – des Kernbrennstoffelements (»Twel«¹⁾) dargestellt. Es besteht aus einem verschleißfesten Stahlrohr *S*, das von einem zweiten dünnwandigen Rohr umschlossen wird. Im ringförmigen Spalt zwischen den beiden Rohren befindet sich der Kernbrennstoff, das auf 5 % angereicherte

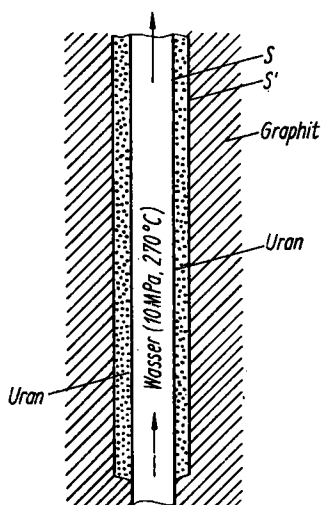


Bild 7. Brennelement

1) Dieses Wort entstand in Obninsk. Es ist die Abkürzung von »teplowydéljajuschí element« = wärmefreisetzendes Element. (Anmerkung des Übersetzers)

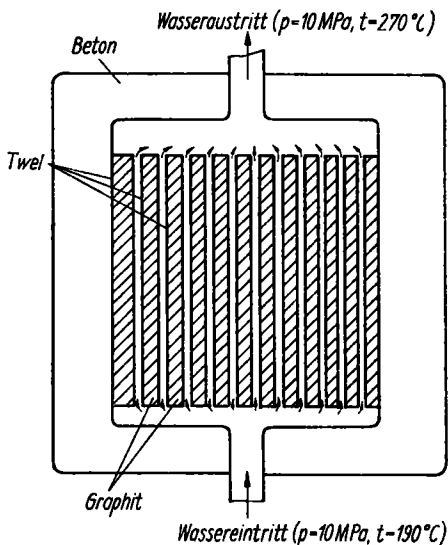


Bild 8. Prinzipieller Aufbau des KKW-Reaktors

Uran. Die im Uran freigesetzte Wärme wird durch das Wasser des ersten Kreislauftes, das das innere Rohr durchfließt, abgeführt und gelangt in den Dampferzeuger *DE* (s. Bild 6). Das gesamte Brennelement ist von Graphit umgeben, das als Moderator für die Neutronen dient. Das äußere dünne Rohr verhindert eine Verschmutzung des Graphits mit radioaktiven Urankernspaltungsprodukten. Die Brennelemente waren ungefähr 170 cm lang. Jeweils vier Stück wurden zu einer Gruppe (»Kanal«) zusammengefaßt. Insgesamt gab es im Reaktor 128 Kanäle. Der Durchmesser des Graphitmantels, der diese Kanäle umhüllte, betrug 150 cm. Diese Konstruktion aus Graphitmantel (Neutronenmoderator) und Brennelementen, in denen sich das Uran und der Wärmeenergieträger (Wasser) befinden, heißt aktive Zone des Reaktors. Sie ist von einem dicken biologischen Schutz aus Beton umgeben. Der Schutz verhindert das Eindringen von radioaktiver Strahlung in die Arbeitsräume. In Bild 8 ist der prinzipielle Aufbau des Reaktors dargestellt. Die Anordnung der Ein- und Austrittssammler für kaltes (190 °C) und warmes (270 °C) Wasser ist stark vereinfacht. Die Konstruktion der aktiven Zone des Reaktors hat den mehrjährigen Versuchsbetrieb gut bestanden. Ihren

Aufbau haben wir dem Chefkonstrukteur des KKW *N. A. Dolleshal* und seinem Kollektiv, insbesondere *P. I. Aleschtschenkow* zu verdanken.

Aufgrund der vereinfachenden, für Laien zugänglichen Darstellung, wie sie in einer solchen Abhandlung unumgänglich ist, kann der Eindruck entstehen, ein Kernkraftwerk sei äußerst einfach in seinem Aufbau. Dies betrifft jedoch nur den prinzipiellen Aufbau. Die praktische Realisierung des KKW war bei weitem keine einfache Angelegenheit und erforderte die Lösung vieler, vollkommen neuer physikalischer, technischer und technologischer Probleme. Einige dieser Probleme tauchten in späteren Entwicklungsstadien des Projektes verschärft auf und stellten ab und an sogar die wichtigsten der bereits getroffenen Entscheidungen in Frage.

Wenn die Errichtung des ersten KKW auf traditionelle Art unter Berücksichtigung aller allgemein üblichen Formalitäten vonstatten gegangen wäre, dann hätte es unmöglich in drei Jahren (1951 bis 1954) aufgebaut werden können. Der Bau des Kraftwerksgebäudes begann sofort, noch im Jahre 1951, parallel zur noch andauernden Ausarbeitung des Projektes. Das Kraftwerksgebäude bestand an den wichtigsten Stellen aus dicken Eisenbetonwänden. Diese Wände hatten den biologischen Schutz gegen Kernstrahlung zu gewährleisten. In die Eisenbetonwände wurden Rohre für Kabelkanäle, zur Entlüftung und ähnlichen Zwecken eingebaut. Es war klar, daß Änderungen unumgänglich sein würden, deshalb wurden im Projekt des Kraftwerksgebäudes zusätzliche ingenieurtechnische Einrichtungen unter Berücksichtigung möglicher Ausrüstungsänderungen vorgesehen.

Für die Entwicklung neuartiger Ausrüstungen und zur Durchführung wissenschaftlicher Forschungsarbeiten wurden wissenschaftlich-technische Aufgabenstellungen für externe Institutionen – Institute, Konstruktionsbüros und Betriebe – formuliert. Oft konnten solche Aufgabenstellungen nicht ausführlich sein und waren mit Bemerkungen vom Typ »Diese Aufgabenstellung kann mit dem Fortschreiten der Projektierung konkretisiert und vervollständigt werden...« versehen. Jeder Ingenieur versteht, das bedeutet gemeinsame zielgerichtete Arbeit, Suchen und Finden, Erfolge und Enttäuschungen. In allen Arbeitsetappen wurden die ingenieurtechnischen

Lösungen auch weiterhin vom Konstruktionsbüro unter der Leitung *N. A. Dolleshals* und seines engsten Mitarbeiters *P. I. Aleschtschenkow* erarbeitet.

Auch die Verbindung mit dem Institut *I. W. Kurtschatows* riß nicht ab. *P. E. Nemirowski*, ein Mitarbeiter dieses Institutes, beteiligte sich an den Arbeiten unserer Abteilung. Äußerst wichtige Experimente zum Verhalten der Kernbrennstoffelemente im Neutronenstrom wurden am Reaktor RFT durchgeführt (Leiter — *W. W. Gontscharow*). Dieser Reaktor war speziell für Materialprüfungen vorgesehen. *I. W. Kurtschatow* selbst interessierte sich ständig für den Stand der Arbeiten am KKW. Mehrmals berichtete ich ihm über den Fortgang der Arbeiten, wandte mich an ihn um Rat und Hilfe bei der Lösung technischer und organisatorischer Probleme.



Bild 9. Gruppe von Mitarbeitern des PEI (von links nach rechts): *W. A. Malych*, *L. I. Malych*, *M. Je. Minaschin*, *D. M. Owetschkin*, *A. I. Leipunski*, *I. T. Tabulewitsch*, *S. I. Drabkina*, *D. I. Blochinzew*, *A. K. Krasin*, 1955 (Foto PEI)

Wahrscheinlich gibt es bei jeder Neuentwicklung mindestens zwei Perioden der Unklarheit und zwei Perioden der Klarheit. Die erste Unklarheit besteht, wenn überhaupt noch nichts über den Gegenstand bekannt ist, danach tritt die erste Klarheit ein, alles scheint erstaunlich einfach. Im weiteren tritt die zweite Unklarheitsphase ein, wenn man deutlich

sieht, daß man im Grunde genommen nichts weiß und nur glaubte, alles zu wissen. Dann, endgültig, erwachsen ausge-reifte Kenntnisse und die volle Beherrschung des Gegen-standes.

Während der hier beschriebenen Periode befanden wir, die Beteiligten am KKW-Bau, uns sozusagen im Stadium der er-sten Klarheit. In Wirklichkeit wuchs die Menge der zu lösen-den Probleme in dem Maße, in dem wir uns in die Arbeiten zum Reaktor vertieften. Nicht nur einmal lief es uns kalt den Rücken herunter bei der Vorstellung, daß bereits bestätigte konstruktive Lösungen mit neuen, vorher nicht beachteten Umständen unvereinbar sein könnten. So waren zum Beispiel die Abmessungen des Reaktors nur auf der Grundlage von vorläufigen Berechnungen bestimmt worden, konnten aber bereits nicht mehr korrigiert werden. In dieser Abhandlung wäre es fehl am Platze, über alle Probleme zu schreiben, die während der parallel zum Bau des Gebäudes weitergehenden Projektausarbeitung auftraten. Ich werde nur über einige sprechen, um eine Vorstellung über ihren Charakter zu geben.

Die wichtigsten theoretischen Berechnungen für den Reak-tor des KKW waren in der Abteilung von *A. K. Krasin* kon-zentriert und wurden von der Gruppe *M. Je. Minaschins* un-ter aktiver Teilnahme *Ju. A. Sergejews* und anderer durchge-führt. Die Methodik zur Berechnung des Reaktors mußte we-sentlich verbessert werden, denn die Reaktorelemente, in de-nen sich das spaltbare Material – angereichertes Uran – be-fand, hatten eine äußerst komplizierte Struktur. Weitere Schwierigkeiten entstanden dadurch, daß die experimentell ermittelten Daten von Kernreaktionen ständig präzisiert wur-den. Parallel zu den Präzisierungen der Meßwerte entstand die Notwendigkeit, auch die Berechnungen weiter zu präzi-sieren. Das Hauptziel der Berechnungen bestand darin, die notwendige Menge von Kernbrennstoff für die Reaktorbe-schickung zu ermitteln.

Es ist bekannt, daß eine Kernreaktion erst bei Erreichen einer gewissen kritischen Masse von Kernbrennstoff beginnt. Im Prozeß der Kernspaltung im Reaktor brennt jedoch Kern-brennstoff ab. Aus diesem Grunde muß ein gewisser Vorrat an Kernbrennstoff errechnet werden, der eine längere Arbeits-dauer des Reaktors ohne Neubeschickung mit Kernbrennstoff

gewährleistet. Ein solcher Zyklus heißt Kampagne. Während einer Kampagne muß dieser zusätzliche Vorrat maximal ausgenutzt werden — der Abbrand des Kernbrennstoffs soll, wie es heißt, »tief« sein. Der Einfluß dieses überkritischen Vorrates auf den Ablauf der Kernreaktion muß durch spezielle Stäbe kompensiert werden, die überschüssige Neutronen absorbieren.

Außer diesen absorbierenden Stäben befinden sich im Reaktor weitere neutronabsorbierende Stäbe, die die Kernreaktion automatisch auf einem vorgegebenen Niveau halten, sowie Havarieschutzstäbe, die die Kernreaktion beim Entstehen irgendeiner Havariesituation unterbinden. Die Arbeiten zur Schaffung des Regulier- und Steuersystems für den Reaktor sowie des Havarieschutzsystems führte eine Gruppe von Forschern und Konstrukteuren unter der Leitung von *A. S. Abramow* durch. Der direkte Leiter der Forschungs- und Konstruktionsarbeiten war *I. Ja. Jemeljanow*. Die Berechnung der Parameter des gesamten Steuerungs- und Havarieschutzsystems war eine komplizierte und verantwortungsvolle Aufgabe. Es war notwendig, sich noch in der Phase der Berechnung davon zu überzeugen, daß der zu projektierende Reaktor steuerbar und ungefährlich ist.

Die neuesten und interessantesten theoretischen Probleme betrafen die Vorausberechnung der Arbeitsweise des Reaktors in nichtstationären und Havariezuständen. Bei Überhitzung oder Unterkühlung des Reaktors verändert sich die Dichte des Wassers im Reaktor, was den Ablauf der Kernreaktion wesentlich beeinflußt. Weiter mußten die Auswirkungen möglicher Havarien abgeschätzt werden, z. B. die Folgen des Eindringens von Wasser in den Graphitmantel. Es war nötig, sich von der Ungefährlichkeit solcher im Prinzip möglichen Vorfälle zu überzeugen.

Wichtige Arbeiten zur Berechnung nichtstationärer Zustände des Reaktors wurden im Institut von *M. Je. Minaschin* und seinen Mitarbeitern durchgeführt. Für die Theoretiker war es von besonderer Wichtigkeit, die Berechnungen an einem Versuchsaufbau der aktiven Zone des Reaktors aus Graphit, Uran und Wasser zu überprüfen. Aufgrund einer Reihe von Umständen jedoch war es unmöglich, im Versuchsaufbau die aktive Zone des Reaktors genau zu kopieren. Trotz

allem gewannen wir durch die Messungen am Versuchsaufbau die Überzeugung, daß die theoretischen Berechnungen von ausreichender Genauigkeit waren. Bei der Errichtung des Versuchsaufbaus war die Mitarbeit von *B. G. Dubowski* von besonderer Bedeutung, denn zu jener Zeit war er der einzige Mitarbeiter des PEI, der in der Praxis mit ähnlichen Experimenten Erfahrungen gesammelt hatte. (Heute ist *B. G. Dubowski* ein bedeutender Spezialist auf dem Gebiet der Sicherheit von Kernreaktoren.) Mit diesem Versuchsaufbau wurde in Obninsk die erste Kettenreaktion bei der Uranspaltung realisiert. Dieses wichtige Ereignis geschah am 3. März 1954 in der Abteilung von *A. K. Krasin*. Leider wurde die Freude darüber durch einen Fehlschlag in einer anderen Abteilung des Institutes überschattet. Eine Gruppe von Mitarbeitern, die mit einem nicht ausreichend erforschten experimentellen Reaktor arbeitete, reagierte äußerst ehrgeizig auf den Erfolg ihrer Kollegen. Unter Umgehung der festgelegten Arbeitsordnung am Reaktor wollten sie um jeden Preis an ihrem Versuchsaufbau auch sofort die Kettenreaktion realisieren. Der Reaktor geriet außer Kontrolle. Das Resultat war eine Havarie (die zum Glück keine schweren Folgen hatte). Im Nachhinein konnten sich die Mitarbeiter dieser Abteilung selbst nicht erklären, warum sie sich zu solch unzulässiger Überstürzung hatten hinreißen lassen. Für uns alle war dieses Ereignis eine Lehre: Der moralische Zustand von Mitarbeitern, die an wichtigen Arbeiten beteiligt sind, wie z. B. an der Inbetriebnahme eines neuen Reaktors, muß bekannt sein und in Betracht gezogen werden.

An dieser Stelle sei bemerkt, daß für längeren Betrieb vorgesehene Reaktoren mit vollkommenen Sicherheitssystemen ausgerüstet werden. Ein solches System läßt auch im Falle einer Fehlbedienung durch den Operator den Reaktor nicht »durchgehen«, wenn die Kettenreaktion havarieartig anschwillt.

Das Hauptproblem war die Erarbeitung der Brennelementkonstruktion. Aus der aktiven Zone des Reaktors mußte die Wärme bei großen, bisher nicht aufgetretenen Wärmeenergieflüssen vom Uran zum Wasser unter der Bedingung starker Neutronenströme abgeführt werden. Eine vorzeitige Zerstörung der Brennelemente durch Korrosion bzw. Überhit-

zung und möglicherweise Schmelzen hätte die Ausbreitung der Reaktoraktivität auf den ersten Kühlwasserkreislauf oder in den Graphitmantel zur Folge gehabt. Das eine wie das andere hätte eine gefährliche Havarie bedeutet. Aus diesem Grunde ist ein sicherer und dauerhafter Betrieb der Brennelemente während der ganzen Kampagne die Grundlage für eine erfolgreiche Arbeit des gesamten Leistungsreaktors. An der Lösung dieser äußerst schwierigen Aufgabe waren mehrere wissenschaftliche Forschungseinrichtungen beteiligt. Den entscheidenden Erfolg erzielte die technologische Abteilung von Obninsk unter der Leitung von *W. A. Malych*. In den von ihm vorgeschlagenen Elementen war die pulverförmige Uran-Molybdän-Legierung in einer Magnesiummatrix dispergiert. Magnesium gewährleistete dabei einen guten Wärmekontakt zwischen der Uran-Molybdän-Legierung und dem inneren Stahlrohr, das von Wasser durchflossen war (s. Bild 7). Somit war das Hauptproblem der Brennelemente gelöst – die sichere Wärmeabführung vom Kernbrennstoff ohne gefährliche Überhitzungen. Im Labor von *B. A. Senkewitsch* am Physikalisch-Energetischen Institut war ein spezieller Versuch zur Untersuchung der Wärmeleitung von Uran-Molybdän-Legierung zum Wasser aufgebaut worden. Bei diesem Versuch wurde die Legierung elektrisch aufgeheizt. Außerdem war es möglich, Havarien der Brennelemente zu simulieren, die bei Abschaltung der Wasserkühlung entstehen. Mit jugendlichem Vergnügen beobachteten wir, wie die künstlich überlasteten Brennelemente mit Knallen sowie einem Feuerwerk von Funken und Dampfwolken zerplatzten. Während des Betriebes des KKW passierte keine solche Havarie. Das Sicherungssystem garantierte das Abklingen der Kernreaktion im Falle der Überhitzung auch nur eines der Brennelemente.

Es mußten Tests der Brennelemente sowie der gesamten Konstruktion des technologischen Kanals unter den Bedingungen der Kernreaktion durchgeführt werden. Die Tests wurden am Reaktor RFT im Labor von *Gontscharow* des IAE durchgeführt. An diesem Reaktor war ein kleines Modell des KKW-Reaktors, die sogenannte »Schleife«, geschaffen worden. Das neue Brennelement wurde im Modellreaktor unter Bedingungen erprobt, die mit möglichst großer Genauigkeit die des zukünftigen KKW-Reaktors imitierten.

Fast niemals gelang es, Tests zum Verhalten von Reaktor-konstruktionselementen und -materialien unter solchen Bedingungen durchzuführen, die genau denen des zu errichtenden Reaktors entsprachen, das trifft besonders für Langzeit-tests zu. Die real möglichen Tests waren im allgemeinen ausreichend, um zu der begründeten Überzeugung zu gelangen, daß die getroffene Entscheidung vernünftig ist. Die endgültige Bestätigung konnte nur durch Erfahrungen aus dem langfristigen Betrieb des KKW erfolgen.

Die Testresultate am Versuchsaufbau im Physikalisch-Energetischen Institut und in der »Schleife« im Kurtschatow-Institut bestätigten die Zuverlässigkeit der gewählten Brennelementkonstruktionen. Zu einem späteren Zeitpunkt überführte *W. A. Malych* die Herstellung der Brennelemente in einen Produktionsbetrieb. Dieser neue Fertigungsprozeß erforderte höchste Sauberkeit, Präzision und Zuverlässigkeit.

Das Schweißen, insbesondere der dünnwandigen Stahlrohre, stellte ein schwieriges Problem dar. Der Reaktor war buchstäblich voller Rohre, die Anzahl der Schweißnähte ungeheuer. Es durfte auf keinen Fall Wasser in den Graphitmantel eindringen. Deshalb mußten vollkommen zuverlässige Schweißverfahren und Qualitätskontrollen erarbeitet werden. Dieses Problem wurde im Konstruktionsbüro von *N. A. Dolleshal* gelöst. Eine wichtige Aufgabe waren Untersuchungen des Verhaltens unseres Wärmeenergieträgers — des Wassers. Die Probleme der Reinheit, der Bildung von Kesselstein und der Knallgasentwicklung waren Gegenstand der Forschungen.

Allmählich, Schritt für Schritt, fanden sich Lösungen der anstehenden Probleme, dabei wurden oft Versäumnisse aufgedeckt, daß einem im Nachhinein angst werden konnte: Es war ja fast alles Neuland. Ich möchte zwei Beispiele dafür anführen. Die Diskussion über die Breite des Spaltes zwischen Kanal und Graphitmantel, an der auch *N. A. Dolleshal* teilnahm, zog sich bis in die späte Nacht hinein. Das Problem besteht darin, daß Graphit unter der Einwirkung von Neutronen aufquillt und daß man deshalb einen breiten Spalt lassen muß, um die Kanäle mit dem abgebrannten Uran entfernen zu können. Andererseits jedoch verschlechtert sich dadurch die Wärmeableitung, und der Graphitmantel kann sich über-

hitzen. Experimentelle Werte zum Aufquellen des Graphits waren in nur kärglichem Maße vorhanden. Wir waren äußerst beunruhigt durch die Befürchtung, ein Kernkraftwerk zu projektieren, das weder von Kernbrennstoffschlacke befreit noch mit neuem Kernbrennstoff beschickt werden könnte. Schließlich wurde ein vernünftiger Kompromiß gefunden, der sich später als richtig herausstellte.

Das andere Beispiel gehört zum Problem der Montage. Anfänglich ließen sich die Kanäle beim Einbau in den Graphitmantel schlecht abdichten. Wahrscheinlich war in der Konstruktion irgendein Defekt. Die Heliumlecksuchgeräte zeigten unbarmherzig an, daß die Abdichtung nicht vakuumsticher war. Einer der Ingenieure, der an der Kraftwerksmontage beteiligt war, entschied sich, seine Körperkraft einzusetzen. Das Resultat jedoch war sehr traurig: Die Ränder der Abdichtung verbogen sich, und einige komplizierte und wichtige Bauteile wurden zerstört. Alle Versuche, mit »Hausmitteln« den Undichtheiten beizukommen, führten zu nichts. Einen Ausweg fanden die Montagearbeiter. Sie schlugen vor, die scharfen Ränder der Abdichtungen ganz abzuschneiden. Diese Lösung erwies sich als praktikabel. Im weiteren wurde diese Veränderung bei allen Kanälen eingeführt, und die Lecks verschwanden.

Der Erfolg der Montagearbeiten sowie die Erfolge in der Einfahrphase des KKW waren im wesentlichen durch die hohe Qualifikation der Arbeiter, die Meister ihres Fachs waren, begründet. Insbesondere prägten sich mir *L. N. Sutugin* und *I. Je. Semjenow* ins Gedächtnis ein.

Auftretende Schwierigkeiten stählten die Enthusiasten, brachten aber auch Skeptiker hervor. Im übrigen, ich glaube kein neues Unternehmen zu kennen, dem Skeptiker nicht Mißerfolge vorausgesagt oder Zweifel an dessen Zweckmäßigkeit zum Ausdruck gebracht hätten.

Während einer Zeit, als das KKW bereits im Bau war, wurde plötzlich das ganze Projekt in Frage gestellt. Eine kompetente und mit dem Projekt gut vertraute Gruppe von Wissenschaftlern vertrat die Meinung, die Arbeiten müßten eingestellt werden, da das Kraftwerk nicht wirtschaftlich sein werde (als ob damals die Frage der Wirtschaftlichkeit gestanden hätte), und so weiter, und so weiter. Es war ein Glücksum-

stand für das große Unternehmen, daß *I. W. Kurtschatow*, der in jener Zeit die gesamte Atomwissenschaft der Sowjetunion leitete, nicht mit dieser Meinung seiner Mitarbeiter einverstanden war. Die daraufhin entstandene Erörterung zusammenfassend, sagte *I. W. Kurtschatow*: »Führt die Arbeiten weiter!« Die Meinung, es sei notwendig, die Arbeiten zur Errichtung eines KKW in Obninsk fortzusetzen, wurde auch von dem an der Beratung teilnehmenden verantwortlichen Leiter des staatlichen Komitees für die Nutzung der Kernenergie in der UdSSR unterstützt.

Der Bau des Kernkraftwerkes erforderte Anstrengungen vieler Betriebe und Institutionen des Sowjetlandes. Eine wesentliche Rolle beim Aufbau des Reaktors spielte das Forschungsinstitut, welches die Herstellung der dünnwandigen Stahlrohre für die Brennelemente sicherstellte. Das Reaktorprojekt sah solche dünnwandigen Rohre vor, daß gerade noch die notwendige Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit gewährleistet waren. Das Problem besteht darin, daß Stahl stark Neutronen absorbiert und somit die Effektivität der Kettenreaktion äußerst ungünstig beeinflußt. Die in jenem Institut hergestellten Rohre waren zu damaliger Zeit eine technische Neuheit, ohne diese Rohre hätte aber der Reaktor des KKW nicht gebaut werden können.

Für den Reaktor wurden spezielle Umwälzpumpen entwickelt und gebaut. Ihre Aufgabe bestand darin, das heiße Wasser des ersten Kreislafes, das unter einem Druck von 10 MPa stand, in ständiger Zirkulation zu halten. Besonders hohe Anforderungen wurden an die Abdichtung in diesen Pumpen gestellt, denn das Wasser des ersten Kreislafes ist radioaktiv, und es darf auf keinen Fall in das Kraftwerksgebäude gelangen.

Neu waren auch die »Druckhaltepumpen«, die den hohen Wasserdruck im ersten Kreislauf aufrechterhielten. Das war notwendig, um ein Sieden des Wassers im Reaktor zu verhindern. Siedendes Wasser hätte zur Überhitzung und Zerstörung der Brennelemente geführt.

Die Organisation all dieser Arbeiten erforderte bedeutende Anstrengung von der Leitung des staatlichen Komitees für die Nutzung der Kernenergie in der UdSSR, insbesondere von *B. S. Posdnjakow*, der eine nicht geringe Rolle bei der erfolg-

reichen Koordinierung der Tätigkeiten verschiedenartigster und zahlreicher Institutionen spielte.

Während der Bau- und Montagearbeiten am KKW besuchte uns in Obninsk oft *Je. P. Slawski*, einer der bedeutendsten Ingenieure und Organisatoren. In schwierigen und kritischen Momenten half er uns mit seinen Ratschlägen und Anordnungen.

6. Inbetriebnahme

Schritt für Schritt begannen wir die Vorbereitungen für die Inbetriebnahme und die Einfahrphase des KKW. Zum ersten Leiter des Kernkraftwerkes wurde der Energetiker *N. A. Nikolajew* ernannt, zum Chefingenieur *A. N. Grigorjanz*. Sie beide sorgten mit ihrem Wissen und ihrer Energie für die aufeinander abgestimmte Arbeit aller Blöcke des Kraftwerkes. In der KKW-Anordnung »Über den Beginn und die Durchführung der Inbetriebnahme an den Apparaturen des KKW« waren alle wissenschaftlichen und operativen Fragen sowie Fragen der Inbetriebnahme detailliert erarbeitet worden, war das Unterstellungsverhältnis aller an der Inbetriebnahme beteiligten Arbeitsgruppen formuliert. Schärfe und Genauigkeit in der Formulierung dieser Anordnung könnten als Illustration für den Organisationsstil von Inbetriebnahme-kollektiven dienen. Die Sicherheit bei der Reaktorinbetriebnahme wird nicht nur durch ein zuverlässiges automatisches System zum Schutz vor unkontrolliertem »Durchgehen« des Reaktors, sondern auch durch strengste Disziplin aller Kollektivmitglieder gewährleistet. Diese Disziplin stellt die Grundlage einer havariefreien Inbetriebnahme dar.

Des öfteren werden von Personen, die keinen Einblick in Kernreaktoren betreffende Wissenschaftsgebiete haben, Bedenken geäußert, es wären Kernreaktorexplosionen möglich. So etwas ist in Wirklichkeit absolut ausgeschlossen. Im Prinzip jedoch besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit eines solch schnellen Anschwellens der Kettenreaktion, daß es zum Sieden des Wärmeenergieträgers, zur Zerstörung der Brennelemente sowie zum Eindringen von Radioaktivität in den Reaktorsaal kommen kann. Zur Verhütung solcher Havarien wer-

den von einem automatischen Schutzsystem mit hoher Geschwindigkeit neutronenabsorbierende Stäbe in den Reaktor eingeführt und somit rechtzeitig die Kettenreaktion unterdrückt. Das Anfahren des Reaktors, das Erhöhen seiner Leistung wird langsam, Schritt für Schritt durchgeführt, und jede einzelne Handlung des Anlagenfahrers steht unter strenger Kontrolle von Meßgeräten.

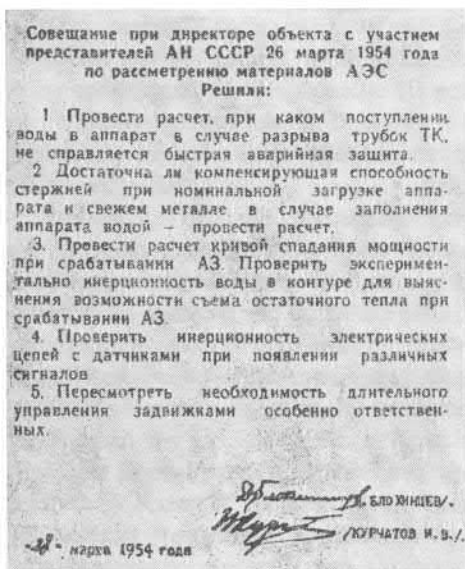


Bild 10. Faksimile des Protokolls einer technischen Beratung im PEI mit den Unterschriften von D. I. Blochinzew und I. W. Kurtschatow

In der Phase vor der Inbetriebnahme weilte I. W. Kurtschatow oft in Obninsk und nahm an unseren Beratungen teil. Später wurde dann eine staatliche Kommission für die Inbetriebnahme und Abnahme des KKW gebildet. Ihr gehörten I. W. Kurtschatow, A. P. Alexandrow, A. I. Alichanow und andere an. I. W. Kurtschatow beteiligte sich persönlich an den Inbetriebnahmearbeiten. Mit Ungeduld erwartete er die Beschickung des Reaktors mit Uran, um sich davon überzeugen zu können, daß wir Obninsker uns nicht bei der Berechnung der kritischen Masse¹⁾ des Reaktors geirrt hätten. Ich habe

1) Die kritische Masse eines Reaktors ist die Menge von Kernbrennstoff, bei der eine Kettenreaktion beginnt.

den Verdacht, daß *I. W. Kurtschatow* nicht besonders von der Genauigkeit unserer Berechnungen überzeugt war. Nach meinem Eindruck war er etwas beunruhigt. Das Unternehmen war verantwortungsvoll und neu, unser Kollektiv aber noch nicht im »Kampfe« überprüft.

Zu unserer großen Freude begann der Reaktor zu arbeiten, wenn auch nicht genau bei der kritischen Masse, die ihm ursprünglich in theoretischen Berechnungen zugeordnet worden war.¹⁾ Wichtig war, daß der Reaktor an lief und noch ausreichende Reaktionsreserven für eine langfristige Arbeit hatte. Die Kettenreaktion der Urankernspaltung hatte begonnen. Das geschah am 3. Mai 1954 gegen Abend in Anwesenheit von *I. W. Kurtschatow* und der anderen Mitglieder der Inbetriebnahmekommission.

Dieses Ereignis war die sogenannte physikalische Inbetriebnahme. Die Leistung des Reaktors war noch gering, jedoch konnten bereits die Neutronendichteverteilung in der aktiven Zone des Reaktors sowie die Funktion der Handsteuerungselemente und der Elemente der automatischen Steuerung beobachtet und mit den Berechnungen verglichen werden. Wie gering jedoch auch die Leistung ist, mit der ein neuer Reaktor zunächst gefahren wird, man muß sich ständig vor Augen halten, daß die Möglichkeit der Reaktorsteuerung voll auf dem Vorhandensein eines geringen Anteils verzögerter Neutronen beruht. Dieser Umstand stellt hohe Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Regulierungssystems für die Kettenreaktion und den Schutz vor einem zu schnellen Anschwellen, das im Prinzip möglich ist. Aus diesem Grund arbeitet der Wissenschaftler mit einem neuen, noch wenig erforschten Reaktor bildlich gesprochen wie ein Dompteur mit einem noch wilden Tiger: Er muß ihn bändigen. Mit den Arbeiten zum Einfahren der Reaktorsteuerung wurden betraut: die Physiker unseres Institutes *A. K. Krasin*, *B. G. Dubowski*, *L. A. Matalin* und *I. I. Sidorow*, der Leiter der speziellen Gruppe für die Entwicklung und Konstruktion des Steuerungssystems *I. Ja. Jemeljanow* die Mitarbeiter der zu jener

1) Später gelang es *M. Je. Minaschin*, die Gründe für diese Differenz zu finden und die Theorie in Einklang mit den experimentellen Werten zu bringen.

Zeit bereits gebildeten Reaktorbetriebsgruppe, der neue Leiter des KKW *N. A. Nikolajew* mit seinen uns fehlenden Erfahrungen der ingenieurtechnischen Leitung aus traditionellen Wärmekraftwerken, der Chefingenieur des KKW *A. N. Grigorjanz*, die Ingenieure *G. N. Uschakow*, *N. W. Swonow*, *B. B. Baturow*, *Ju. W. Archangelski* und andere.

Nach Beobachtung des Reaktors in niederen Leistungsbereichen wurde die Reaktorleistung allmählich erhöht. Schließlich erblickten wir in der Nähe des Turbinengebäudes, dort, wohin der Dampf vom Reaktor geleitet wurde, kleine Dampfwolken, die mit helltönendem Zischen aus einem Ventil entweichen. Diese weißen Wölkchen ganz normalen Dampfes, der nicht einmal heiß genug war, um eine Turbine in Bewegung zu setzen (zu dieser Zeit betrug die Reaktorleistung nur 10 bis 15 % des Nominalwertes), schienen uns ein Wunder zu sein: Es war ja der erste mit Kernenergie erzeugte Dampf! Dieser Dampf war Grund zu Umarmungen, zu gegenseitigen Glückwünschen und sogar zu Freudentränen. Alle wußten wir nun: Das Studium der Arbeit aller Blöcke des KKW unter Bedingungen, die den projektierten sehr nahe kamen, war möglich geworden.

In der Spätschicht des 26. Juni 1954 wurde in Anwesenheit von *I. W. Kurtschatow* um 17.45 Uhr der Schieber für die Dampfturbine geöffnet. Der Generator begann Elektroenergie aus Kernenergie zu erzeugen. Gegen Abend dieses Tages waren die verantwortlichen Leiter des staatlichen Komitees für die Nutzung der Kernenergie eingetroffen, um sich mit dem Stand der Dinge vertraut zu machen und um ihre Freude über die erfolgreiche Arbeit zum Ausdruck zu bringen. In der angespannten Situation vor der Inbetriebnahme waren wir weder in der Lage gewesen, an ein feierliches Eröffnungszeremoniell mit »Zerschneiden eines Bandes«, noch an ein festliches Bankett zu denken. Alles war nur improvisiert. Wenn ich heute die recht verworrenen Tonbandaufnahmen jenes Abends abspiele, dann ertönen die Stimmen von *I. W. Kurtschatow*, *A. P. Alexandrow*, *M. Je. Minaschin* und der anderen, die sich am Abend bei mir versammelt hatten. Meine Gedanken verweilen dann in jener aufregenden und unvergessenen Periode.

Das erste Kernkraftwerk der Welt wurde an das Netz angeschlossen. Die elektrische Leistung des Generators erreichte 1500 kW. Am 27. Juni 1954 erhielten die industriellen und landwirtschaftlichen Verbraucher der umliegenden Kreise erstmals Elektroenergie, die durch das Abbrennen von Kernbrennstoff erzeugt worden war.

In der Prawda vom 1. Juli 1954 erschien eine Mitteilung über die Inbetriebnahme des ersten industriellen Kraftwerkes auf der Basis von Kernenergie. Sie löste ein vielseitiges Echo in der internationalen Presse aus. In der gleichen Nummer der Prawda wurde mitgeteilt: »London, 1. Juli 1954 (TASS). Die Meldung über die Inbetriebnahme des ersten industriellen Kraftwerkes auf der Basis von Kernenergie in der UdSSR wird von der englischen Presse in großem Umfang gewürdigt.« Der Moskauer Korrespondent des »Daily Worker« schreibt, daß »dieses historische Ereignis von unermeßlich größerer internationaler Bedeutung ist, als der Abwurf der ersten Atombombe auf Hiroshima«. »Daily Mail« zitiert die Äußerung eines Vertreters der Atomenergiebehörde: »Wir haben keine direkten Informationen, es entsteht jedoch der Eindruck, daß die Russen dieses Kraftwerk in sehr kurzer Zeit errichtet haben«. Der wissenschaftliche Kommentator der »Times« schreibt, daß »die Meldung aus Moskau ein weiterer Be-



Bild 11. Überschrift des Prawda-Artikels vom 1. Juli 1954

weis für die Erfolge Rußlands auf dem Gebiet der Entwicklung der Kernenergie ist«.

Unsere Bemühungen um den Erstling der Kernenergetik waren damit jedoch noch nicht zu Ende. Natürlicherweise gab es noch eine ganze Menge kleiner Defekte, die einer nach dem anderen beseitigt wurden. Nur einer dieser Defekte beunruhigte uns ernstlich. In den Rohren der Regulierungskanäle, die aus besonders dünnem nichtrostendem Stahl gefertigt waren, entstanden Lecks. Das diese Kanäle kühlende Wasser drang dadurch in den Graphitmantel ein, und die Reaktivität der Anlage (d. h. ihre Fähigkeit zur Entwicklung einer Kettenreaktion) änderte sich. Die Auswirkungen waren schwer abzuschätzen, da vollkommene Unklarheit über die Menge und Verteilung des Wassers im Graphitmantel herrschte. Unter der Einwirkung von Neutronen wurde das Wasser zerlegt, und es entstand ganz normales Knallgas, was jederzeit im Reaktor explodieren konnte. Die Anlage erwarb vor unseren Augen äußerst fragwürdige und möglicherweise nicht ungefährliche Eigenschaften. Die unglückseligen Kanäle wurden aus dem Reaktor herausgezogen, unter Druck gesetzt, und wir liefen schnell an ihnen vorbei, um zu sehen, was geschehen war. Da die Kanäle radioaktiv waren, war es wegen der ionisierenden Strahlung unmöglich, sie längere Zeit zu betrachten. Wasserstrahlen traten aus spinnwebähnlichen Rissen aus — das waren die Rohrbrüche. Zuerst dachten wir, irgendeine Korrosion sei dafür verantwortlich. In der Tat lagen die Qualitätsanforderungen für die Rohre an der Grenze der damaligen Möglichkeiten des Herstellerwerkes.

Ein Austausch der Kanäle half nicht, d. h., das Resultat war kein Zufall. Uns war klar, daß die Wände der Kanäle verstärkt werden mußten, aber Ersatz hatten wir keinen, und für die Herstellung neuer würden Monate vergehen. Das KKW-Kollektiv wurde unruhig. Man gestattete uns nicht, die Leistung bis zur projektierten anzuheben. Damit war eine vollständige Überprüfung der gesamten Anlage unmöglich. Einer der verantwortlichen Leiter des Komitees für Atomenergie antwortete mir während einer Autofahrt auf meine Frage, wie sein Eindruck von unserem KKW sei, daß es nichts taue (in Wirklichkeit brachte er das in schärferer Form zum Ausdruck).

In den Reaktor wurde die letzte Reserve der mißlungenen Kanäle eingebaut. Die Zeit verging, das Resultat konnte bereits vorausgesehen werden. Es mußte schnellstens etwas unternommen werden, um einen drohenden längerfristigen Stillstand abzuwenden. Er hätte bei unseren Mitarbeitern, die bereits durch die Anspannung der Inbetriebnahmeperiode überanstrengt waren, den Glauben an den endgültigen Erfolg erschüttert. Die Beratung, auf der ich die Frage der Notwendigkeit zum Übergang zur vollen Leistung ungeachtet der problematischen Kanäle stellte, fand im Kabinett von *N. A. Nikolajew*, dem Leiter des KKW, statt. Im Resultat einer sehr sorgfältigen Erörterung der entstandenen Situation, nach dem Abwägen aller »Für und Wider«, wurde der Vorschlag angenommen. Gleichzeitig wurden Maßnahmen festgelegt, die die strengste Kontrolle einer möglichen Anhäufung von Knallgas gewährleisteten. Das Fahren mit voller Leistung gestattete es, den gesamten Komplex – Reaktor, Wärmeüberträger und Turbine – bei projektierten Parametern zu überprüfen.

Nach einigen Stunden konnten wir auf die Anfrage des Komitees antworten: »Alles in Ordnung, Leistung des Reaktors 100 %, Turbine liefert 5000 kW, alles laut Projekt«. Im weiteren traten keine solche außerordentlichen Situationen mehr auf. Die dünnwandigen Rohre der mißlungenen Kanäle wurden durch stabilere ersetzt. Später, als hitzebeständige Steuerstäbe zum Einsatz kamen, konnte auf deren Kühlung überhaupt verzichtet werden.

Es gab jedoch in dieser Periode noch eine Anzahl Havarien zweitrangigen Charakters, die in keiner Beziehung zum Reaktor standen. Sie betrafen triviale Routinepositionen, die Transformatorstationen, das Heizwerk, den Turbinensaal. Die Gründe für diese Havarien waren nicht technischer, sondern organisatorischer Natur.

Eines schönen Tages beorderte ich die Leiter der entsprechenden Bereiche zu mir und verlangte von jedem einen Bericht darüber, womit er sich im Laufe eines Arbeitstages beschäftige. Dabei wies ich darauf hin, daß derjenige, dessen Aufgaben in weniger als einem halben Arbeitstages erfüllbar waren, seines Postens enthoben wird. Wie es sich herausstellte, gab es zu viel Leiter. Die eigentlich Ausführenden waren bemüht, ihre Verantwortung auf Höhergestellte abzuwälzen.

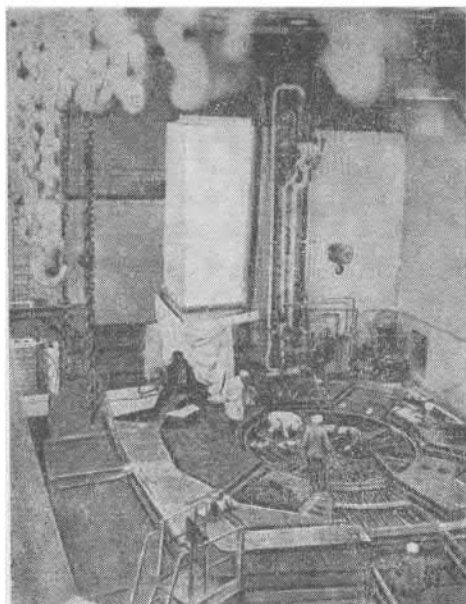


Bild 12. Reaktor-
saal des Kernkraft-
werkes, Routine-
durchsicht
des Reaktors
(Foto APN)

Nach Klärung der Verantwortlichkeit eines jeden Leiters gab es keine Havarien mehr. All das waren »Kinderkrankheiten«, es war die Zeit herangekommen, sie auszumerzen. Auf Grundlage der Betriebserfahrungen mit dem Reaktor, dem Dampfgenerator und der Turbine, die im Protokoll des wissenschaftlich-technischen Rates des PEI vom 13. Oktober 1954 erörtert und fixiert wurden, nahm die staatliche Kommission das KKW für den Betrieb ab.

Eines Tages waren alle Energiequellen der Stadt außer dem KKW aus technischen Gründen abgeschaltet worden. Dadurch war Obninsk die erste Stadt in der Geschichte der Menschheit geworden, deren Bewohner sich ihr Frühstück mit der Energie von gespaltenem Uran bereiteten.

Bald kamen die ersten Besucher in unser KKW. Wissenschaftler, Ingenieure und Staatsfunktionäre zeigten Interesse am Kernkraftwerk. Unter den Delegationen befanden sich auch englische Energetiker. Einer von ihnen, der bekannte englische Energetiker *B. L. Guttled*, sagte, auf uns zeigend, seinen Kollegen: »They did historical achievement«.

7. Erfahrungen mit dem ersten Kernkraftwerk

Das Kernkraftwerk in Obninsk produziert nun¹⁾ bereits seit mehr als 20 Jahren Elektroenergie. Allein der Fakt der havariefreien Arbeit des KKW während einer solch langen Periode ohne jeden Schaden für die Umwelt und die Bevölkerung hat gewaltige Bedeutung. Heute, da in der ganzen Welt leistungsstarke Kernkraftwerke gebaut werden, erweckt das Beispiel des ersten KKW, das im Sowjetland errichtet wurde, nicht nur Hoffnungen, sondern es ist auch interessant und lehrreich vom rein technischen Standpunkt her. In der Tat, einzelne, sehr wichtige Blöcke des Kraftwerkes waren in diesen Jahren der langanhaltenden Einwirkung von Strahlung, Temperaturänderungen, Korrosion und Kesselsteinbildung unterworfen, blieben jedoch einsatzfähig. Das Kraftwerk bewies außerdem die Kernstrahlungssicherheit eines Kernreaktors vom Kanaltyp mit Wasserkühlung. Diese Seite ist die allerwichtigste vom Standpunkt des heutigen Entwicklungsniveaus der Kernenergetik aus, da viele leistungsfähige Reaktoren in besiedelten Gebieten und sogar in der Nähe großer Städte aufgestellt werden. Außerdem wurde die Möglichkeit des tiefen Abbrandes von Uran-235 im Kernbrennstoff bewiesen, was eine große Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit von Kernkraftwerken hat. In den Reaktor des Obninsker KKW wurden spezielle »Schleifen« eingebaut, die dem Studium von Versuchskanälen für größere und weiterentwickelte Energieblöcke dienten.

Wie bereits erwähnt, lagen die Dampfparameter im ersten

1) 1977 (Anmerkung des Übersetzers)

KKW unter den mittleren Werten, die für moderne Turbinen notwendig sind. Aus diesem Grunde war es äußerst wichtig, nach Möglichkeiten zu suchen, die es gestatten würden, verbesserte Arbeitsdampfparameter zu erreichen. Der KKW-Reaktor war für festgelegte Parameter des ersten Kreislaufs ausgelegt, die nicht erhöht werden konnten, ohne die Konstruktion des Reaktors wesentlich zu verändern. Aus diesem

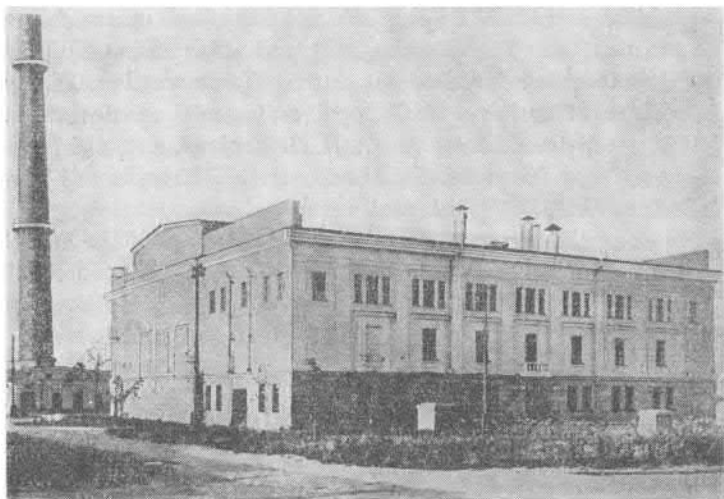


Bild 13. Gebäude des ersten Kernkraftwerkes in Obninsk
(Foto APN)

Grunde wurde auf Vorschlag von *N. A. Dolleshal* für die weiteren Arbeiten das Prinzip eines KKW mit Dampfüberhitzung im Reaktor zugrunde gelegt. Dieses Prinzip beinhaltete eine Reihe von Elementen, die sich bedeutend von den bisherigen Prinzipien unterschieden. Die Entwicklung eines solchen neuen KKW erforderte eine Reihe von Experimenten. Der Bau des ersten KKW gestattete es, im großen Umfang notwendige Forschungen durchzuführen. Zu diesem Zwecke war eine spezielle »Schleife« konstruiert worden, die so im Reaktor montiert war, daß sie sich vollständig in dessen Neutronenfeld befand. Die Arbeitskanäle dieser Schleife mit ihren Brennelementen hatten auch ihr eigenes Kühlungssystem, das von dem des Reaktors unabhängig war. Die Gesamtheit

dieser Kanäle stellte somit innerhalb des Hauptreaktors einen selbständigen Reaktor dar, der für Experimente mit verbesserten Parametern des Wärmeträgers vorgesehen war.

In dieser Schleife sind die Möglichkeiten der Wärmeabführung beim Sieden des Wärmeenergieträgers (Wasser) untersucht worden. Das heißt, es wurde eine Situation geschaffen, die im Ausgangsreaktor als Havarie betrachtet wurde und ein automatisches Stoppen des Reaktors bewirkt hätte. Darüber hinaus ist 1957 in dieser Schleife das kühne und wichtige Experiment zur Dampferzeugung und -überhitzung direkt im Arbeitskanal der Schleife durchgeführt worden. Dieses Experiment war von einer Gruppe von Ingenieuren des ersten KKW unter der Leitung von *A. N. Grigorjanz*, unter Mitwirkung von Physikern aus der Abteilung *A. K. Krasins* und Mitarbeitern *N. A. Dolleshals* realisiert worden.

Es gelang, Temperatur und Druck des Dampfes auf 370 °C und 8,5 MPa (gegenüber bisher 270 °C und 1,2 MPa) zu erhö-



Bild 14. *A. N. Grigorjanz*, der Chefsingenieur des Kernkraftwerkes, erklärt einem Pionier den Aufbau des KKW (Archiv des Staatlichen Historischen Museums)

hen. Die Dampferzeugung und -überhitzung direkt in den Arbeitskanälen des Reaktors waren eine wesentliche Errungenschaft des KKW-Kollektivs und eröffneten neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Reaktortyps, der im KKW eingesetzt worden war. In Verbindung mit diesem Ergebnis entstand der Vorschlag, das KKW zum Zwecke einer Leistungssteigerung zu rekonstruieren. Man schätzte jedoch ein, daß es zweckmäßiger ist, das Kernkraftwerk als experimentelle Basis für die Projektierung leistungsstärkerer KKW bestehen zu lassen.

Die Arbeiten zum Studium des Siedens in den Arbeitskanälen und der Dampfüberhitzung bildeten die Grundlage für die Projektierung großer Graphit-Wasser-Leistungsreaktoren vom Kanaltyp. Die ersten großen Reaktoren dieses Typs mit Dampfüberhitzung im Reaktor selbst und einer Leistung von 100 bzw. 200 MW wurden für das Belojarsker-Kurtschatow-KKW gebaut. Im April 1964 lieferte dieses Kraftwerk Strom in das Swerdlowsker Energiesystem.

An der Projektierung dieses großen Kraftwerkes waren viele Mitarbeiter des PEI und des Konstruktionskollektivs von *N. A. Dolleshal* beteiligt. Dabei kamen ihnen die Entwicklungs- und Betriebserfahrungen des ersten KKW zugute. Für die Errichtung des Belojarsker KKW wurden 1970 *N. A. Dolleshal, A. N. Grigorjanz, W. P. Newski, P. I. Aleschtschenkow, L. I. Lunina, G. D. Knjasjewa, Ju. I. Mitjajew, M. Je. Mina-schin, L. A. Kotschetkow, Ju. W. Ponomarjew, A. W. Posdnjakowa* und *K. Ja. Jegorow* mit dem Staatspreis der UdSSR ausgezeichnet.

Später wurde im hohen Norden das Bilibinsker KKW mit einer Leistung von 48 MW errichtet. 1973 ist das große Lenin-grader Lenin-KKW mit einer Leistung des ersten Energieblocks von 1000 MW in Betrieb genommen worden. Dieses KKW ist für die Energieversorgung eines wichtigen Industriezentrums des Landes vorgesehen. Das Kraftwerk basiert ebenfalls auf einem Graphit-Wasser-Reaktor vom Kanaltyp. Bei seiner Projektierung sind in bedeutendem Maße die Erfahrungen des ersten Kernkraftwerkes berücksichtigt worden.

Für die Projektierung solch leistungsfähiger Kraftwerke war der Fakt von größter Bedeutung, daß die röhrenförmigen Brennelemente während der gesamten Betriebsdauer des



Bild 15. Veteranen des Kernkraftwerkes, Juli 1974 (Foto PEI)

ersten KKW ihre volle Standfestigkeit bewiesen hatten. Unter normalen Betriebsbedingungen gab es nicht einen einzigen Ausfall. Außerdem war die Möglichkeit des tiefen Abbrandes von Kernbrennstoff bewiesen worden: Aus einer Tonne leicht angereichertem Uran konnten bis zu 30 000 Megawatt-Tage gewonnen werden. Das bedeutete die Ausnutzung von mehr als der Hälfte des Urans. Das restliche, nicht abgebrannte Uran wurde chemisch gereinigt und der Aufbereitung für eine weitere Nutzung zugeführt.

Außerdem war für die Projektierung von leistungsstarken Kraftwerken in der Nähe von Großstädten die aus dem langjährigen Betrieb des ersten KKW gewonnene Erfahrung von besonderer Bedeutung, daß das KKW sowohl für das Bedienungspersonal als auch für die Bewohner der angrenzenden Siedlung vollkommen strahlungssicher war. Ebenso waren keine Fälle radioaktiver Verschmutzung des Flusses und der Luft aufgetreten. Der ununterbrochene Betrieb des Kernkraftwerkes in Obninsk war neben seiner technischen und ökonomischen Bedeutung von noch größerem Wert für die Herausbildung von Kadern der Kernenergetik.

Bereits ganz am Anfang des Betriebes qualifizierten sich im

KKW Ingenieure, die in der Folgezeit an neuen kernenergetischen Anlagen arbeiteten und an den Entwicklungen neuer Projekte beteiligt waren. Viele von ihnen nahmen in der Folgezeit bedeutende Leitungsfunktionen in diesem neuen Gebiet der Technik, der Kernenergetik, ein. Zu ihnen gehören *N. A. Nikolajew* (erster Leiter des KKW), *A. N. Grigorjanz* (erster Chefingenieur des KKW) und andere.

Das erste Kernkraftwerk in Obninsk widerlegte alle skeptischen Überlegungen und Prognosen betreffs seiner Bedeutung für die Zukunft der Kernenergetik in der Welt. Irgendwann während seines Betriebs wurde der Vorschlag eingebracht, das KKW zu schließen. Dabei war vollkommen außer acht gelassen worden, daß es für die Projektierung zukünftiger Kernkraftwerke lebenswichtig ist, so viel wie möglich Erfahrungen mit einem kleinen Versuchskraftwerk, wie dem ersten KKW, zu sammeln. Bei der Projektierung großer Wärmekraftwerke geht man im allgemeinen von einer Amortisierungszeit aus, die nicht geringer als 25 Jahre ist. In bezug auf Kernkraftwerke stellen bisher nur die Betriebserfahrungen des ersten KKW eine Grundlage für die Abschätzung einer möglichen Lebensdauer von Leistungsreaktoren dar.

Darin bestehen in allgemeinen Zügen der Sinn der mehr als zwanzigjährigen Arbeit des ersten KKW sowie die Hauptergebnisse. Möglicherweise scheint es vielen erstaunlich, daß das Projekt sich als so gelungen herausstellte. Denn zu jener Zeit, als es realisiert wurde, gab es nur wenig Angaben über Kernreaktionskonstanten, über das Materialverhalten bei Bestrahlung mit Neutronen und Gammastrahlen; Angaben zu Korrosion und Kesselsteinbildung fehlten vollständig; das Erforschen der Wärmeübertragung bei großen Wärmeenergieströmen begann gerade erst; die Reaktorberechnungsmethoden waren nicht bis zu einem solchen Grad der Vollkommenheit wie heute geführt worden; auch elektronische Rechenmaschinen mit ihren gewaltigen Möglichkeiten fehlten damals noch. Und trotzdem – ein Erfolg! Ich denke, es wäre falsch, diesen Erfolg lediglich Glücksumständen zuzuschreiben.

Die Grundlage des Erfolges bestand zweifellos im allgemein hohen Niveau der sowjetischen Industrie und der ingenieurtechnischen Kader. Gerade auf dieser Basis war es möglich gewesen, reinsten Graphit, hochwertige dünnwandige Stahl-

rohre, Hochfrequenzmaterialien für die Herstellung der Brennelemente zu produzieren, ein wirksames Qualitätskontrollsystem zu organisieren sowie vieles andere einschließlich der Elektronik und der Dampfkraftausrüstung (Dershinski-Allunions-Institut für Wärmetechnik). Die Grundlage dieses Erfolges bildeten weiterhin die nicht geringen Erfahrungen aus dem Institut für Atomenergie und dem Kollektiv unter der Leitung von *N. A. Dolleshal* auf dem Gebiet der Projektierung weniger belasteter Reaktoren.

Als Physiker war mir schon lange bekannt, daß rein wissenschaftliche Erkenntnisse nicht nur auf genauem Wissen beruhen, sondern auch in bedeutendem Maß auf einer wissenschaftlichen Intuition, auf gedanklicher Arbeit, die auf unbewußtem Wissen über Erscheinungen basiert. Im Laufe meiner Zusammenarbeit mit solchen hervorragenden Konstrukteuren und Ingenieuren, wie *N. A. Dolleshal*, *P. I. Aleschtschenkow* und *W. F. Gusjew*, konnte ich mich davon überzeugen, daß ihr Talent ebenfalls auf jenen beiden Grundlagen basiert, wie das Talent eines Physikers: dem genauen Wissen und der wissenschaftlichen Intuition. Ohne unsere Intuition wären wir in vielen Fällen nicht in der Lage gewesen, Entscheidungen zu fällen, die für die weitere Entwicklung unbedingt notwendig waren.

Gerade diese Faktoren begründeten den Erfolg des ersten KKW. Es war das Resultat der Vereinigung von Physik und Technik. Im Jahre 1957 hielt ich einen Vortrag in der bekannten Prager Technischen Hochschule zum Thema der Beziehung zwischen Physik und Technik. Ich glaube, heute könnte ich darüber nicht besser schreiben, als ich damals sprach, deshalb werde ich hier jenen Teil der Rede wiedergeben, der dieser Frage gewidmet war:

»... Diese Sache hat viele Aspekte. Ich war niemals der Meinung, die Physik sei die wichtigste von allen Naturwissenschaften, obwohl sie für mich persönlich besonders interessant war, weil sie die grundlegendsten Gesetzmäßigkeiten der materiellen Welt erforscht und somit die vorausschauenden Schlußfolgerungen jeder anderen Wissenschaft unter ihre Kontrolle nimmt. Der Gesichtspunkt eines Physikers ist aus diesem Grunde wahrscheinlich am umfassendsten, obwohl ich

mir vollkommen darüber im klaren bin, daß er nicht erschöpfend sein kann.

Unter all diesen Umständen muß man sich dessen bewußt sein, daß wir noch viel zu wenig über die uns umgebende Welt wissen und aller Wahrscheinlichkeit nach keine Kenntnisse von den allerwichtigsten Dingen haben. Dieses ungewollte Lob der Physik hat wahrscheinlich doch eine subjektive Färbung. Aber der objektive Fakt, daß sich ungefähr in den letzten 150 Jahren keine andere Wissenschaft als die Physik mit solch hohem Tempo entwickelte, ist nicht zu verleugnen. Und dieses hohe Entwicklungstempo hat die Physik vor allen Dingen der engen Wechselwirkung mit der Technik zu verdanken.

Aus der Physik gingen Elektrotechnik, Radiotechnik und Fernsehen hervor. Im engen Kontakt mit der Physik entstand das moderne Flugzeugwesen und im letzten Jahrzehnt die Kerntechnik. Andererseits nutzten die Physiker geschickt die Ergebnisse der technischen Entwicklung, um die Methoden zur Erforschung der Gesetzmäßigkeiten der Natur zu vervollständigen.

Eine besonders wichtige Rolle spielten dabei die Optik und die Radiotechnik. Atomare Strukturen konnten dank der glänzenden Entwicklung auf dem Gebiet der Spektroskopie entziffert werden. Eine nicht geringere Rolle spielte die Radiotechnik bei der Erforschung der Gesetzmäßigkeiten des Atomkernes.

Ich erlaube mir, einige Beispiele anzuführen, die jene Genauigkeit illustrieren, mit der einige der wichtigsten Konstanten der modernen Physik bestimmt wurden.

Die Masse des Wasserstoffatoms ist gleich $1,67252 \cdot 10^{-24}$ g und wurde mit einer Genauigkeit von einigen Zehntausendstel Prozent bestimmt. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt nach neuesten Messungen 299 792,458 km/s und wurde mit einer Genauigkeit von einigen Zehnmillionstel Prozent gemessen. Die letzten Messungen des magnetischen Moments eines Protons ergaben 0,00152 *Bohrsche* Magnetone bei einer Genauigkeit von Millionstel Prozent. Sogar die Masse solcher Teilchen, wie der μ -Mesonen, die nur eine Lebensdauer von 10^{-6} s haben, wird heute mit einer Genauigkeit von Zehntausendstel Prozent gemessen.

Diese Beispiele könnte man noch weiter fortsetzen, aber sie sind ausreichend, um sich eine Vorstellung von dem äußerst hohen Genauigkeitsgrad bei der Messung physikalischer Größen machen zu können. Es ist vollkommen klar, daß all diese Messungen ohne ein entsprechendes Entwicklungsniveau der Technik unmöglich gewesen wären.

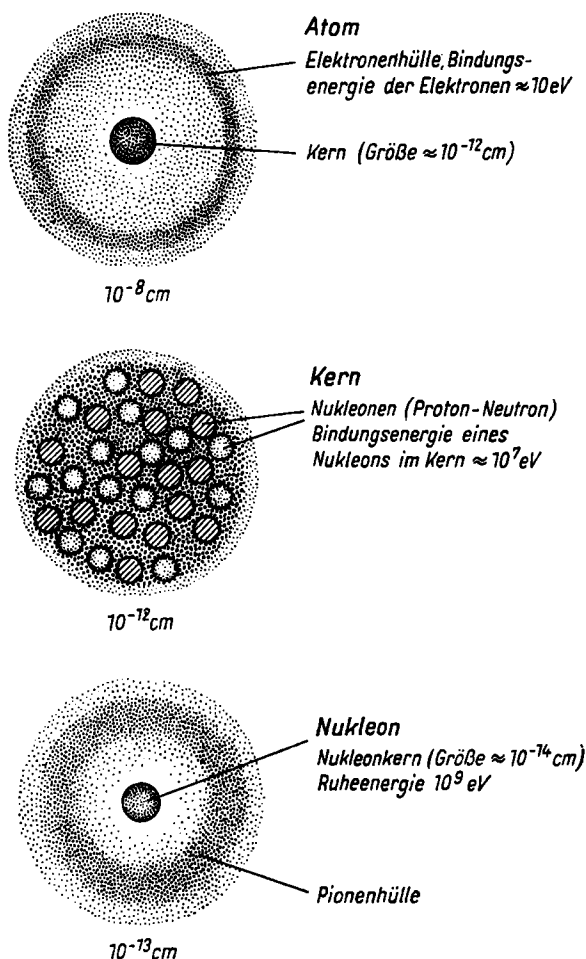


Bild 16. Maßstabsverhältnisse des Mikrokosmos

Die Entwicklungsgeschichte der Kernphysik in den letzten Jahrzehnten kann man als allmähliches Eindringen in die Tiefen des Mikrokosmos bezeichnen. Ebenso wie es die Vervollkommnung der Teleskope den Astronomen gestattet, die Grenzen des uns bekannten Makrokosmos immer mehr und mehr zu erweitern, läßt uns die Entwicklung des physikalischen Gerätebaus immer tiefer in die verschwindend kleinen Maßstäbe des Mikrokosmos eindringen.

Wenn die Ausmaße eines Atoms 10^{-8} cm betragen, so sind die Ausmaße eines Atomkerns noch 10^4 mal kleiner (10^{-12}). Aber der moderne Physiker dringt noch weiter in die Tiefen der Elementarteilchen, der Protonen, Neutronen, Mesonen und Hyperonen ein. Heute werden bereits Räume erforscht, die Millionen Mal kleiner sind als Atome.

In dieser Entwicklungsetappe der Physik wächst die Bedeutung der Technik noch weiter an. Der Umstand, daß für die Erzeugung neuer Teilchen (Mesonen, Hyperonen, Antiteilchen) komplizierteste ingenieurtechnische Anlagen – moderne gigantische Beschleuniger – errichtet werden müssen, ist allgemein bekannt. Weniger bekannt ist die Tatsache, daß die gleichen Beschleuniger auch für die Erforschung der Teilchenstruktur benötigt werden. Diese Notwendigkeit ergibt sich aus den grundlegendsten Gesetzmäßigkeiten der Optik und der Quantentheorie.

Das Problem besteht darin, daß man die Struktur irgendeines Gegenstandes nicht sehen kann, wenn die Wellenlängen der Strahlen, mit denen man sie betrachtet, größer als die Maße der Struktur selbst sind. Sie würden spurlos in solchen Wellen untergehen. Um die Struktur eines Gegenstandes zu erkennen, benötigt man Wellen, die kürzer sind als die Ausmaße der Struktur. Andererseits ist die Wellenlänge um so kürzer, je höher die Energie der Teilchen im Strahl ist, mit dem das zu erforschende Objekt »beleuchtet« wird. Diese allgemeine Gesetzmäßigkeit ist unabhängig von der Natur der Strahlen. Sie trifft für Gammastrahlung ebenso zu, wie für Elektronen- oder Neutronenströme und andere. Wenn für die Erforschung atomarer Strukturen Teilchen mit einer Energie von einigen Hundert Elektronenvolt, z. B. übliche Röntgenstrahlung, ausreichend waren, so benötigt man kraft dieser Gesetzmäßigkeit für die Erforschung der Elementarteilchen-

struktur Strahlen, deren Teilchen Energie von Millionen Elektronenvolt besitzen.

Aus diesem Grunde erzeugen moderne Beschleuniger nicht nur neue Teilchen, sondern sie sind auch Strahlungsquellen für solch kurzwellige Strahlung, die es im Prinzip ermöglicht, Gebiete zu erforschen, die Millionen Mal kleiner sind als Kerne.

Der Prozeß des Eindringens in die Tiefen des Elementarteilchenaufbaus wird wohl kaum eine Grenze haben. Es scheint so, als ob sich die Physiker von dem naiven Gedanken befreit haben, ein Elementarteilchenmodell schaffen zu können, das dessen Struktur absolut vollständig beschreiben würde. Diese prinzipielle Situation hat schon vor vielen Jahren der scharfsinnige Geist *Lenins* klargestellt, als er in Jahren unglaublicher philosophischer Verwirrung mit bemerkenswertem Scharfblick auf die Unerschöpflichkeit des Elektrons hinwies.

Bis hierher habe ich mehr darüber gesprochen, welche Bedeutung die Technik für die Physik hat. Aber möglicherweise ist gerade die Kernphysik ein besonders markantes Beispiel für den gewaltigen Einfluß, den die Errungenschaften der Physik auf die Technik haben, und durch sie auf das Leben der gesamten Menschheit. Erst vierzig Jahre sind seit der Entdeckung der Uranspaltung und fünfunddreißig Jahre seit dem ersten Atommeiler vergangen. Man kann durchaus begründet von einem neuen Technikbereich — dem Kernreaktorbau — und einer neuen Disziplin der angewandten Physik — der Reaktorthorie — sprechen.

Heute sind die physikalischen Grundprinzipien moderner Kernreaktoren ziemlich klar. Das bedeutet aber nicht, daß es auf diesem Gebiet keine Probleme mehr gibt. Eine Vielzahl technischer Fragen und Fragen der angewandten Physik sowie möglicher Verbesserungen weist weit in die Zukunft und stellt ein unerschöpfliches Feld für wissenschaftlich-technische Ideen und Erfindungen dar.

Ich denke, daß die Entdeckung neuer Gesetzmäßigkeiten eine große Freude einschließt, sie ist die echte Auszeichnung für einen Wissenschaftler. Aber auch die Schaffung von Maschinen und Anlagen beinhaltet keine geringe Freude, das ist jene Auszeichnung, die dem Ingenieur zufällt.

Vielen Physikern unserer Generation, die zu einer Zeit in der Kernphysik arbeiteten, als noch nicht abgekühlte Ideen

in Metall und Beton verwirklicht wurden, sind alle Schwierigkeiten und alle Freuden des Ingenieurwesens nah und verständlich. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, daß viele hervorragende Physiker unserer Zeit nicht ohne Stolz von sich sagen, sie seien jetzt Ingenieure. Es besteht kein Zweifel daran, daß sich das gegenseitige Verständnis von Ingenieuren und Physikern, das sich in diesen Jahren besonders ausprägt, auch in Zukunft weiter entwickeln wird.

Heute dringen die Physiker in ein neues Gebiet ein – in das der Hochenergiephysik und neuer Teilchen. Möglicherweise wird die bedeutendste Tatsache, die in diesem Bereich der Naturerscheinungen aufgedeckt wird, die Existenz von Antimaterie sein.

Bei der Wechselwirkung von Antiteilchen mit üblichen Teilchen wird die maximal mögliche Energiemenge freigesetzt. Es gibt genügend Gründe, die es nicht gestatten, ohne leichtsinnig zu sein, von irgendeiner praktischen Anwendung der Antimaterie zu sprechen. Wenn man aber ein wenig Utopie betreibt, so kann man sich die ‚Wärmetechnik der Antimaterie‘ in entfernter Zukunft als ein außergewöhnliches gemeinsames Arbeitsfeld von Physikern und Techniker vorstellen.

Welcher Art die zukünftige Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Ingenieuren auch sein mag, wir müssen uns ständig bewußt sein, die Gefahr, daß die Früchte unserer Arbeit in den Händen eines Haufens Wahnsinniger zu einem Strom von Elend und Unglück für die Menschheit werden, ist noch nicht gebannt. Deshalb besteht unsere Pflicht, die große Pflicht der Wissenschaftler und Ingenieure unserer Zeit – und keiner darf sich ihr entziehen – darin, allen Menschen klar zu machen, welche Bedrohung über sie heraufgezogen ist. Dann wird der Zorn der ganzen Menschheit den Wahnsinnigen Einhalt gebieten. Erst dann können wir überzeugt sein, daß unsere Ideen und Schöpfungen nur zum Wohle der Menschen und nur für ihr Glück eingesetzt werden.«

Im Zusammenhang mit der erfolgreichen Vollendung des KKW-Baus sowie mit den während des Betriebes gesammelten Erfahrungen erhielten viele Mitarbeiter staatliche Auszeichnungen. Dem Autor dieser Erinnerungen, *N. A. Dolleshal*,



D. I. Blochinzew



N. A. Dolleshal

Bild 17. Leninpreisträger (Fotos APN)



A. K. Krasin



W. A. Malych

A. K. Krasin und *W. A. Malych* wurde 1957 für die Errichtung des ersten Kernkraftwerkes in der UdSSR der Leninpreis verliehen. Später wurden auch jene ausgezeichnet, die im Verlaufe von 20 Jahren den erfolgreichen und nutzbringenden Betrieb dieses Kraftwerkes gewährleisteten. Auszeichnungen waren zu jener Zeit eine Seltenheit, wir dachten damals nicht an Auszeichnungen. Mir kam niemals irgendein Interesse der Kollektivmitglieder an solchen Fragen zu Ohren, auf die wir ja außerdem keinen Einfluß hatten.

In der damaligen Atmosphäre der allgemeinen Begeisterung für die Sache war alles Sinnen und Trachten auf die erfolgreiche Lösung der wissenschaftlich-technischen Aufgaben gerichtet. Das Wichtigste für uns alle wird für immer die Erinnerung an die Teilnahme an den Ereignissen sein, die eine ruhmreiche Periode in der Geschichte der Entwicklung der Kernwissenschaft und -technik des Sowjetlandes darstellten.

8. Kernbrennstoffbrutreaktoren mit schnellen Neutronen

Wie bereits erwähnt, kann in Reaktoren, die ohne Neutronenmoderator arbeiten, die Umwandlung von natürlichem Uran-238 (einem uneffektiven Kernbrennstoff) in Plutonium-239, das einen ausgezeichneten Kernbrennstoff darstellt, durchgeführt werden. Wissenschaftliche Forschungsarbeiten zur Schaffung eines Reaktors mit schnellen Neutronen begannen ungefähr zur gleichen Zeit, wie auch die Arbeiten zur Errichtung des ersten KKW — Anfang der 50er Jahre. Die ersten Berechnungen für einen Reaktor mit schnellen Neutronen hatte *L. N. Usatschow* durchgeführt. Bei diesen Berechnungen war es wichtig, die inelastischen Stöße von schnellen Neutronen mit den Atomkernen zu berücksichtigen, bei denen die Neutronen mit einem Mal einen großen Teil ihrer Energie verlieren. *L. N. Usatschow* führte den äußerst wichtigen Begriff des »Einflusses« eines Neutrons ein, der sich als äußerst nützlich für die Reaktorberechnung erwies. Später entwickelte *L. N. Usatschow* auch die Theorie der Kernbrennstoffreproduktion in schnellen Reaktoren. An der Entwicklung der Berechnungsmethoden für diese Reaktoren war auch *G. I. Martschuk* beteiligt.

Allerdings war es vollkommen unmöglich, nur mit Berechnungen auszukommen: Aus der Theorie konnten keine genauen Angaben über die Wahrscheinlichkeit dieser oder jener, in einem Reaktor mit schnellen Neutronen ablaufenden Kernreaktion gewonnen werden. Man benötigte unbedingt die sogenannten »Wirkungsquerschnitte«¹⁾ für verschiedene Kern-

1) Der Wirkungsquerschnitt ist eine gedachte Fläche in der Umgebung eines Atomkerns, auf die ein Neutron treffen muß, um

reaktionen. Wie bereits erwähnt, besteht das Hauptinteresse bei schnellen Reaktoren in der Möglichkeit, das als Kernbrennstoff ungeeignete Uranisotop-238 in den hochwertigen Kernbrennstoff Plutonium-239 zu transformieren. Dieser Prozeß beruht auf dem Einfangen eines Neutrons durch einen Uran-238-Kern. Dabei entsteht ein neues Uranisotop – Uran-239. Dieses Isotop erweist sich als instabil und radioaktiv. Unter zweifacher Spaltung bei gleichzeitiger Abstrahlung eines Elektrons entsteht aus ihm Plutonium-239.

In einem Reaktor mit schnellen Neutronen befinden sich die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Kernprozesse in einem solchen Verhältnis zueinander, daß mehr Plutonium entsteht, als Uran-235 oder Plutonium abbrennt. Aus dem passiven Uran-238 wird der hochwertige Kernbrennstoff Plutonium reproduziert. In solchen Reaktoren kann man beim Abbrennen von 1 kg Plutonium 1,5 bis 1,7 kg neues Plutonium gewinnen.

Ökonomische und technische Berechnungen weisen darauf hin, daß, wenn es gelingen würde, eine Verdoppelungszeit für den Kernbrennstoff (bestehend aus Gewinnung im Reaktor, nachfolgender chemischer Bearbeitung und Herstellung neuer Brennelemente) von einigen Jahren (7 bis 8 Jahre) zu erreichen, das Energieproblem für einige Jahrhunderte gelöst wäre. Die Berechnung der Brutrate ist ein sehr schwieriges wissenschaftliches Problem und kann nicht ohne experimentelle Studien der Kernprozesse durchgeführt werden.

Wegen der Notwendigkeit eines Modellexperimentes wurden in der Abteilung von *A. I. Leipunski* der schnelle Reaktor kleiner Leistung BR-1 (Leistung 100 W) und später der leistungsstärkere Reaktor BR-2 (Leistung 100 kW) mit Quecksilberkühlung errichtet. Diese beiden Reaktoren waren ausschließlich für physikalische Untersuchungen vorgesehen, insbesondere für die Bestimmung der Brutrate von Plutonium aus Uran-238. Im Jahr 1955, als der Aufbau dieses Reaktors beendet war und er zur Inbetriebnahme vorbereitet wurde,

diese oder jene Reaktion auszulösen. Die Fläche ist ein Maß für die Reaktionswahrscheinlichkeit, die der Wahrscheinlichkeit gleichgesetzt wird, mit der das Neutron auf eine bestimmte Fläche trifft.



Bild 18. *A. I. Leipunski* bei einem Experiment
(Foto PEI)

erkrankte *A. I. Leipunski* schwer für lange Zeit. Aufgrund dieses Umstandes war ich direkt an der Vorbereitung und Inbetriebnahme des Reaktors beteiligt.

Kurz vor der Inbetriebnahme tauchten bei der Montage des Reaktors Verunsicherungen wegen möglicher Quecksilberdampfvergiftungen auf. Soweit ich die Sache überblickte, ging diese Verunsicherung vom medizinischen Personal des Objektes aus. In Wirklichkeit schlossen das im Reaktorgebäude installierte Belüftungssystem sowie ein System hermetisch abgeschlossener Räume (Boxen) jede Vergiftung aus. Der durch zerbrochene Fieberthermometer entstandene Quecksilberdampfdruck in den Räumen der medizinischen Abteilung war größer als der in den Reaktorräumen.

Um die aufgekommene Angst vor Quecksilber zu überwinden, wurde eine spezielle Versammlung einberufen, auf der ausführliche Regeln für den Umgang mit Quecksilber sowie die im Reaktorgebäude getroffenen Maßnahmen zur Verhinderung von Vergiftungen dargelegt wurden.

Die Angst war überwunden, und alles lief normal. Und trotzdem rief eines Nachts der diensthabende Ingenieur bei mir an:

- »Gestatten Sie, den Reaktor zu stoppen?«
- »Was ist denn passiert?«
- »Quecksilber läuft aus einer der Boxen aus!«
- »Das ist doch in einem hermetisch abgeschlossenen Raum! Stellen Sie einen Eimer darunter, daß sich das Quecksilber nicht ausbreitet, und arbeiten Sie normal weiter. In der Tagschicht wird das Leck beseitigt.«

Die Arbeit wurde fortgesetzt, und tags darauf ist diese kleine Havarie behoben worden.

Die Inbetriebnahmebrigade des Reaktors BR-2 bestand aus hervorragenden Physikern — *O. D. Kasatschkowski, I. I. Bondarenko, F. I. Ukrainzew* und anderen. Wie seltsam es auch scheinen mag, aber das hatte seine Nachteile, weil ein Physiker, der viel Phantasie hat und zum Experimentieren neigt, sich schwerer der bei einer Reaktorinbetriebnahme notwendigen Disziplin unterwirft. Insbesondere haben sich die Physiker nur ungern mit dem rein militärischen Kommandostil einverstanden erklärt:

- »KZ¹⁾ um 5 cm anheben!«
- »Verstanden, KZ um 5 cm anheben.«
- »Befehl ausgeführt; KZ um 5 cm angehoben.«

Und erst dann, als sich einer der Bediener beim Ausführen von Anordnungen etwas vertan hatte und allen die möglichen Folgen von Ungenauigkeiten sichtbar wurden, stellte sich die notwendige »militärische« Ordnung ein. Im übrigen, neben dem Bediener gibt es auch noch Automaten, die keine gefährlichen Fehler des Bedieners zulassen.

Der Reaktor BR-2 arbeitete havariefrei. Mit ihm wurden Messungen vieler Kernkonstanten und -parameter vorgenommen. Diese Werte wurden für die Projektierung von Leistungsreaktoren benötigt. Die Projekte wurden parallel zu den physikalischen Experimenten und theoretischen Berechnun-

1) KZ — eines der Steuerorgane zur Regulierung des Ablaufs einer Kernreaktion

gen erarbeitet. Das wichtigste Resultat dieser Experimente, bei denen *O. D. Kasatschkowski* und *I. I. Bondarenko* die führende Rolle spielten, war die Bestimmung der Plutoniumbrutrate, die sich als durchaus hoffnungsreichend herausstellte. Eine reale Grundlage für die Umwandlung von Uran-238 in Plutonium war geschaffen, was die Naturvorkommen an Kernbrennstoffen um Dutzende Male vergrößerte.

Industrielle Reaktoren mit schnellen Neutronen können wegen der niedrigen Siedetemperatur nicht mit Quecksilber gekühlt werden. Das Studium verschiedener Wärmeenergieträger zeigte, daß die besten Werte flüssiges Natrium hat. Die Siedetemperatur von Natrium liegt bei 840 °C, aus diesem Grunde kann es als Wärmeenergieträger im ersten Kreislauf benutzt werden, ohne daß ein Sieden dieses Metalls zu befürchten ist, weil die zulässige Reaktortemperatur unterhalb des Siedepunktes von Natrium liegt.

Somit unterscheidet sich das technologische Prinzip eines Leistungsreaktors mit schnellen Neutronen von dem des ersten KKW dadurch, daß der erste Kreislauf anstelle von heißem, unter Druck stehendem Wasser von geschmolzenem Natrium durchflossen wird. Dieses gibt seine Wärmeenergie im Dampfgenerator an das Wasser des zweiten Kreislaufes ab und verwandelt es in Dampf.¹⁾ Im Unterschied zum ersten KKW liegen die Dampfparameter in diesem Falle viel höher und kommen denen moderner Wärmekraftwerke nahe: Temperatur 450 °C, Dampfdruck zwischen 15 und 17 MPa.

Es ist klar, daß der physikalische Reaktor mit Quecksilberkühlung BR-2 noch zu weit von den zu projektierenden industriellen Reaktoren BR entfernt war. Andererseits wäre es äußerst leichtsinnig gewesen, einen großen Reaktor mit schnellen Neutronen und Natriumkühlung zu bauen, ohne vorher Erfahrung mit einem kleinen Prototyp eines solchen Reaktors zu sammeln. Deshalb entstand die Idee, den Quecksilberreaktor BR-2 zu demontieren und im vorhandenen Reaktorgebäude ein arbeitsfähiges Modell für einen industriell-

1) Um die Wechselwirkung von radioaktivem Natrium mit dem Wasser zu vermeiden, was bei Lecks oder Rohrrißen geschehen könnte, wird meist noch ein Zwischenkreislauf mit Natrium eingerichtet.

len Reaktor mit schnellen Neutronen und Natriumkühlung aufzubauen. Dieser Reaktor erhielt die Bezeichnung BR-5 und wurde 1958 im PEI in Betrieb genommen. Seine Wärmeleistung betrug 5000 kW, die Temperatur des Kühlmittels (flüssiges Natrium) am Ausgang des Reaktors 500 °C. (Zur Erinnerung: Die Kühlmitteltemperatur beim ersten KKW – Wasserkühlung – lag unter 270 °C.) Am Aufbau dieses Reaktors war ich bereits nicht mehr beteiligt, denn ich hatte im März 1956 Obninsk verlassen, da ich zum Direktor des Vereinigten Instituts für Kernforschung in Dubna gewählt worden war.

Zehn Jahre nach der Inbetriebnahme des Reaktors BR-2 wurde im Institut für Kernreaktoren (NIAR) in Dimitrowgrad (damals noch Melekeess) der bedeutend leistungsstärkere Reaktor BOR-60 mit schnellen Neutronen angefahren. Seine Wärmeleistung überstieg bereits die Leistung des ersten KKW und betrug 60 000 kW. Die Natriumtemperatur am Reaktorausgang betrug 530 °C, die Dampftemperatur im Dampfgenerator 490 °C, der Dampfdruck 9 MPa. Während der Nutzung der Reaktoren BR-5 und BOR-60 konnten viele Informationen zu den verschiedensten physikalischen Problemen, zur Technologie und zum Betrieb von Hochtemperaturbrutreaktoren mit schnellen Neutronen gewonnen werden.

Mit dem Einsatz von Hochtemperaturreaktoren können nun auch modernere Dampfturbinen eingesetzt werden, wodurch sich der Wirkungsgrad des KKW wesentlich erhöht. Wenn er beim ersten KKW ungefähr 17 % betrug, so erreicht er in Kraftwerken auf der Basis von Reaktoren mit schnellen Neutronen und Flüssigmetallkühlung Werte von 30 bis 40 %. In der folgenden Tabelle sind die Charakteristika von in der Sowjetunion¹⁾ errichteten Leistungsreaktoren mit schnellen Neutronen angeführt. Aus den Angaben ist zu ersehen, welche große Entwicklung die Kernenergetik in den Jahren seit der Inbetriebnahme des ersten KKW genommen hat.

Die Entwicklung von Reaktoren mit schnellen Neutronen im PEI wurde zur zweiten bedeutenden Errungenschaft dieses bemerkenswerten Institutskollektivs. Für die erfolgreiche Lö-

1) bis 1977 (Anmerkung des Übersetzers)

Reaktor	BN-350	BN-60
elektrische Leistung in kW	350 000	600 000
Wirkungsgrad in %	35	42
Natriumtemperatur in °C	500	530
Dampfdruck in MPa	5	13
Dampftemperatur in °C	435	500
Ort	Schewtschenko	Belojarsk
Inbetriebnahme	1973	im Bau

sung des Problems der Brutreaktoren mit schnellen Neutronen wurden der Held der sozialistischen Arbeit *A. I. Leipunski*, der heutige Direktor des PEI *O. D. Kasatschkowski*, die wissenschaftlichen Mitarbeiter *I. I. Bondarenko* und *L. N. Usatschow* 1960 mit dem Leninpreis ausgezeichnet.

9. Impulsreaktor IBR-1

In diesem Abschnitt ist die Rede von einem Reaktor, der zur Erforschung der Wechselwirkung von Neutronen mit Atomkernen dient. Mit Hilfe eines Neutronenstrahles kann man Kernreaktionen, Anregungszustände von Kernen und Kernstrukturen erforschen. Solche Forschungen haben sowohl rein wissenschaftliche als auch angewandte Zielstellungen. Sie haben insbesondere das Studium der Spaltprozesse in Uran- und Plutoniumkernen unter der Einwirkung von Neutronen zum Ziel.

In einem Reaktor erzeugte Neutronen sind jedoch, wie man sagt, nicht monochromatisch, d. h., sie haben verschiedene Energien, beginnend von langsamen, thermischen Neutronen, die im Reaktor abgebremst werden, bis zu schnellen Neutronen, die direkt beim Spaltprozeß entstehen. Wenn also ein Neutronenstrom aus dem Reaktor herausführt und auf irgendeine Probe mit den zu erforschenden Kernen gerichtet wird, dann läßt sich nicht feststellen, welche der Neutronen, die langsamen oder die schnellen, diese oder jene Reaktion bewirken. Ein solches Experiment würde nur sehr unbestimmte Resultate liefern. Um diese Unbestimmtheit auszuschließen und mit Neutronen einer bestimmten Energie (monochromatischen Neutronen) zu arbeiten, wird die im Prinzip außerordentlich einfache, sogenannte Flugzeitmethode angewandt.

Vor dem aus dem Reaktor austretenden Neutronenstrahl wird eine sich schnell drehende Scheibe aus neutronenabsorbierendem Material (»Selektor«) angeordnet. Die Scheibe hat einen Schlitz. Wenn der Schlitz den Strahl durchläuft, tritt in der kurzen Zeitspanne des Durchlaufens eine Portion Neutronen aus. Es entsteht somit ein kurzer Neutronenimpuls, der

natürlich aus Neutronen aller Energien besteht. Wenn sich die Probe in ausreichend großer Entfernung vom Selektor befindet, dann treffen als erste die schnellen Neutronen auf die Probe, der Impuls wird also zeitlich gestreckt. Wenn nun zeitabhängige Messungen vorgenommen werden, so kann man annehmen, daß die zuerst auftretenden Kernreaktionen durch die schnellen Neutronen und die zuletzt entstehenden Ereignisse durch die langsamen Neutronen hervorgerufen werden. Auf diese Art und Weise gelingt es, die Effekte zu trennen, die von Neutronen mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewirkt werden. In Bild 19 ist der beschriebene prinzipielle Versuchsaufbau dargestellt.

Als wir die Zweckmäßigkeit der Errichtung einer solchen Anlage (des Selektors) im PEI erörterten, fiel mir die Ungeheimtheit der Idee insgesamt auf: Um eine entsprechend hohe Intensität im Neutronenstrom zu erreichen, müßte ein leistungsstarker Reaktor gebaut werden. Es wird jedoch nur ein geringer Teil dieser Leistung genutzt, denn während der Selektorumdrehung wird der Neutronenstrahl für den größten Zeitabschnitt unterbrochen. Er kann nur in dem kurzen Moment, wenn ihn der Schlitz passiert, austreten. Wäre es nicht vernünftiger, durch periodisches Ingangbringen einer Ketten-

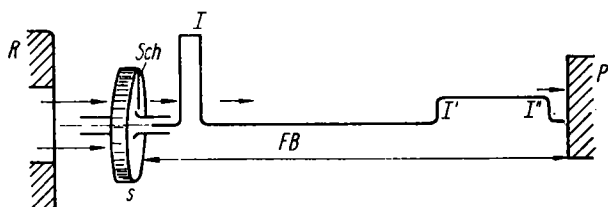
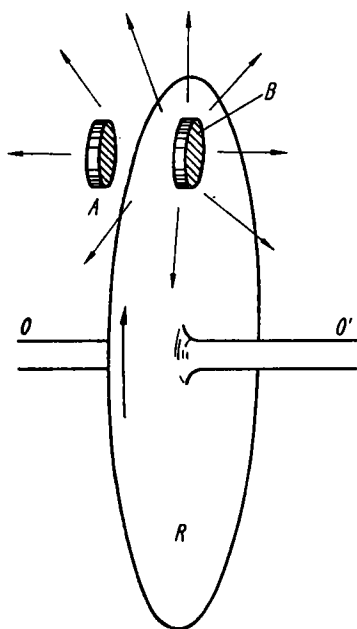


Bild 19. Prinzipieller Versuchsaufbau zur Trennung von Neutronen nach der Flugzeitmethode

R	Reaktor, aus dem ein Neutronenstrom auf den Selektor <i>S</i> trifft
Sch	Schlitz in der sich drehenden Scheibe <i>S</i>
P	Probe
FB	Flugbahn
I	anfänglicher Neutronenimpuls, Mischung von Neutronen aller Geschwindigkeiten
I' und I''	Impuls nach Durchlaufen der Flugbahn
I'	langsame (verzögerte) Neutronen
I''	schnelle (prompte) Neutronen

Die Idee gefiel den Diskussionsteilnehmern. Ausführliche



R Rotor (sich schnell drehende Scheibe)
B auf dem Rotor angebrachtes Uranstück
A Stator – feststehendes Uranstück – die Pfeile bezeichnen den Neutronenstrom im Moment des Vorbeilaufens von **B** an **A**

Berechnungen und die konstruktive Erarbeitung begannen. Der Reaktor wurde schneller Impulsreaktor (IBR) genannt. Die Berechnungen zeigten, daß man einen Reaktor mit einer mittleren Leistung von nur 1 kW bauen kann, der einige Tausend Impulse je Minute generiert. Jeder Impuls dauert nur 30 bis 40 μ s, die Leistung im Impuls beträgt jedoch Tausende Kilowatt. Während der Zeitdauer dieses Impulses können physikalische Messungen durchgeführt werden. Das vorgeschlagene Wirkungsprinzip der Anlage war damit genau entgegengesetzt dem des Selektorprinzips. Im letzteren Falle liefert ein leistungsstarker Reaktor einen ständigen Neutronenstrom, aus dem der Selektor Impulse herauschneidet, in deren Verlauf Messungen durchgeführt werden. Die Anlage IBR erreicht ihre volle Leistung nur während der kurzen Zeitspanne, in der Messungen durchgeführt werden.

Die Theorie des Reaktors IBR wurde im PEI, in der Abteilung von *A. I. Leipunski* von dem talentierten, früh verstorbenen *I. I. Bondarenko* gemeinsam mit *Ju. Ja. Stawisski* erarbeitet. Die Gruppe von *O. D. Kasatschkowski* übernahm die konstruktive Erarbeitung des Reaktors, seiner Steuerelemente, des Havarieschutzes sowie die notwendigen physikalischen Berechnungen. Es ging auch nicht ohne Mitwirkung unseres Technologen *W. A. Malych*, der die Art und Weise der Befestigung des Urans an der sich drehenden Stahlscheibe erarbeitete. Die Scheibe selbst mit ihrem Antrieb wurde im ZIAM unter Leitung des hervorragenden Ingenieurs *G. Je. Blochin* konstruiert.

In dieser Periode verließ ich nicht ohne Trauer Obninsk. Zuviel verband mich mit dieser Stadt, um sie leicht verlassen zu können. Von mir selbst initiierte und erarbeitete Aufgabenstellungen blieben ungelöst zurück. Ich verließ Menschen, mit denen mich jahrelange gemeinsame, oft schwere, aber immer interessante Arbeit verband. Und doch überwog mein Hauptinteresse — die theoretische Physik. Sogar in Obninsk, als ich fast vollständig mit der Lösung von Probleme der praktischen und angewandten Physik beschäftigt war, fand ich Zeit, mich der reinen Theorie zu widmen. Gemeinsam mit *W. W. Orlow* beendete ich eine Arbeit zur nichtlinearen Feldtheorie; *B. B. Kadomzew* führte gemeinsam mit mir neben seinen Arbeiten zur Theorie der kinetischen Gleichungen Berechnungen von

Vielteilchenkräften im Atomkern durch. Dies war mein bescheidener Beitrag zur theoretischen Physik.

In den 50er Jahren verschob sich die vorderste Front aus dem Gebiet der Kernphysik in die Elementarteilchenphysik. Dieses neue Gebiet der physikalischen Forschungen war zu attraktiv, und ich konnte ihm gegenüber nicht gleichgültig bleiben. Gerade in dieser Zeit wandte sich *I. W. Kurtschatow* mit dem Vorschlag an mich, eine neue Verpflichtung zu übernehmen – den Posten des Direktors eines internationalen Institutes, das auf Initiative der sowjetischen Regierung in Dubna organisiert wurde. Dieses Institut, das heute in der ganzen Welt als Vereinigtes Institut für Kernforschung (VIK) bekannt ist, konzentrierte seine Tätigkeit auf die grundlegenden Probleme der Elementarteilchenphysik und der Theorie des Atomkernes.

Im März versammelten sich im Saal des Präsidiums der Akademie der Wissenschaften der UdSSR die Regierungsbe-

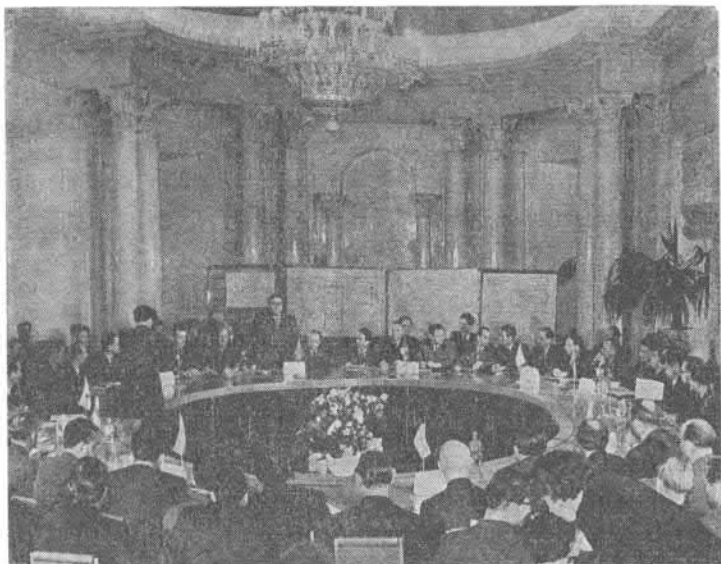


Bild 21. Vertreter der sozialistischen Länder in der Akademie der Wissenschaften der UdSSR aus Anlaß der Gründung des Vereinigten Instituts für Kernforschung (VIK) im März 1956 (Foto APN)

vollmächtigten der Teilnehmerländer des neuen Institutes zur Gründungstagung. Auf dieser Tagung wurde die Direktion des VIK, einer wissenschaftlichen Institution neuen Typs, gewählt. Der polnische Physiker *M. Danysz*, der besonders durch seine Arbeiten über Hyperkerne bekannt ist, und der tschechische theoretische Physiker *V. Votruba* wurden als Vizedirektoren des Instituts gewählt.

Dieses Institut, das eine Errungenschaft der Wissenschaftler aller sozialistischen Länder ist, stützte sich damals auf zwei große Laboratorien, die mit zwei Teilchenbeschleunigern ausgerüstet waren. Einer von ihnen, der damals leistungsstärkste der Welt, war unter der Leitung des Begründers der modernen Beschleunigertechnik, des Akademiemitgliedes *W. I. Weksler* errichtet worden. Der andere, weniger leistungsfähige war bereits seit einigen Jahren in Betrieb (die Arbeiten wurden von den korrespondierenden Mitgliedern der AdW der UdSSR *M. G. Meschtscherjakow* und *W. P. Dshelepow* geleitet).

Ich machte den Vorschlag, die Thematik des Instituts zu erweitern und zwei neue Laboratorien zu organisieren: das Laboratorium für theoretische Physik unter der Leitung des hervorragenden Akademiemitglieds *N. N. Bogoljubow* und das Laboratorium für Neutronenphysik, an dessen Spitze der Nobelpreisträger Akademiemitglied *I. M. Frank* berufen wurde.

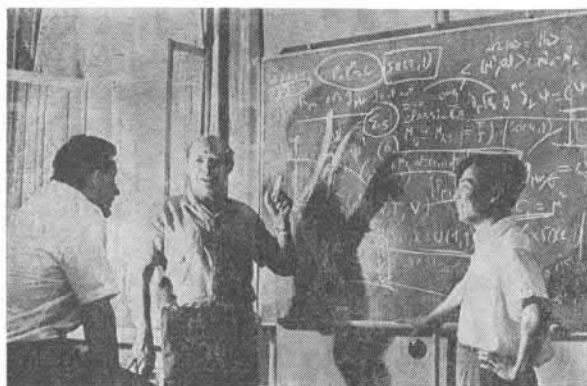


Bild 22. Im neuen Laboratorium für theoretische Physik (von links nach rechts): Professor *J. Vigier* (Frankreich), *D. I. Blochinzew* (UdSSR), *Nguyen Van Hien* (DRV)

Dieses Laboratorium benötigte einen Reaktor als Neutronenquelle. Dabei entstand die Idee, anstelle eines leistungsstarken, teuren und im Betrieb komplizierten Reaktors mit gleichblei-



Bild 23. Planung des IBR-1 in Dubna

Im Vordergrund die Akademiemitglieder *Ch. Chulubei* (SRR), *G. Nadshakow* (VRB), den Plan zeichnet der Verwaltungsdirektor des VIK *W. N. Sergijenko* (Foto VIK)



Bild 24. Inbetriebnahmebrigade des IBR-I am Reaktor (von links nach rechts): *D. I. Blochinzew*, *N. K. Nikolajew*, *Ju. G. Bljumkina*, *W. F. Ukrainzew*, *Ju. Ja. Stawisski*, *W. P. Sinowjew*, *S. G. Skworzow* (Foto VIK)

bender Leistung den in Obninsk im PEI entwickelten Impulsreaktor IBR aufzustellen. Der Reaktor IBR benötigte bei seiner geringen mittleren Leistung sehr wenig von dem teuren Kernbrennstoff Plutonium.¹⁾

Der Vorschlag zum Bau des IBR wurde angenommen, und es begannen die gemeinsamen Arbeiten des PEI und des neuen Laboratoriums im Vereinigten Institut für Kernforschung in Dubna.

Am 23. Juni 1960 wurde der Impulsreaktor IBR im Laboratorium für Neutronenphysik in Dubna in Betrieb genommen. Die Inbetriebnahmebrigade bestand hauptsächlich aus Mitarbeitern des PEI. Ich war glücklich darüber, daß ich mich wieder in eine Brigade ausgezeichneter Leute aus Obninsk, in die Atmosphäre lebendigen Interesses, aufopferungsvoller Arbeit und Freundschaft einordnen konnte. Der Reaktor stellte etwas vollkommen Neues dar, sowohl von seiner äußeren Form her als auch seinem Prinzip nach. Äußerlich sah er eher einem großen Ventilator ähnlich. Von seinem Prinzip her war er eine Anlage, in der tausende Male je Minute kleine Kernexplosionen vorstatten gingen.

Es gab noch keine Erfahrungen in der Steuerung eines solchen Reaktors. Besondere Vorsicht war vonnöten, um sein »Benehmen« vollständig zu erkunden.

Uns machte die Fluktuation²⁾ der Kernreaktionen Sorgen, die Gefährlichkeit des Übergangs vom Mikrokosmos in den Makrokosmos. In der Tat, eine Zeitlang schien es, als ob das verwirrende Chaos des Mikrokosmos jeden Augenblick in die Welt der Ordnung, den Makrokosmos, einbrechen, alle unsere Pläne und vielleicht auch uns selbst zerstören könnte. Unruhig flogen grüne Linien über die Bildschirme der Oszillographen; keine Spur von Gesetzmäßigkeit war zu spüren.

1) So muß der Reaktor in Frankreich (Grenoble), der den gleichen Zwecken dient, aller drei Wochen neu mit Kernbrennstoff beschickt werden. Der Reaktor IBR seinerseits kann mehrere Jahre lang mit der anfänglichen Kernbrennstoffladung arbeiten, die zudem noch viel geringer ist, als die Ladung für einen Reaktor mit ständigem Neutronenstrom.

2) zufällige Abweichung des Reaktionsablaufes von seinen mittleren Werten

Da dachte ich daran, daß, wenn wir im Mikrokosmos leben würden, unsere Nerven ein solches Chaos nicht aushalten könnten. Wir brauchen eine gewisse Ordnung: auf der Erde, auf dem Wasser, in der Atmosphäre und in der Gesellschaft. Kein einziges Lebewesen hält zu häufige und zu heftige Veränderungen aus.

Bei uns aber ging es einfacher ab: Mit dem Anwachsen der mittleren Reaktorleistung kam das Gesetz der großen Zahlen zur Geltung — zufällige Abweichungen treten, relativ gesehen, immer seltener auf, die Reaktionen verliefen ruhiger. Der »Atomkessel« wurde steuerbar.

Kehren wir jedoch noch einmal ein wenig zurück, schauen wir in den Saal, in dem sich das Steuerpult des Reaktors befand. Strikte und genaue Kommandos sind zu hören: »fertig«, »intakt«, »in Ordnung«, »normal«. Die Menschen sind ernst und erregt. Grüne und rote Lämpchen der Geräte leuchten. Gleichmäßig klingt der »Knacker«¹⁾, als ob einzelne Regentropfen schallend auf ein Metaldach fielen, die Lämpchen der »Zähler«²⁾ blinken, rhythmisch ticken die Stoppuhren. Die Bediener am Steuerpult sind konzentriert und erregt, wie auch alle anderen, aber äußerlich beherrscher. Die Zähler werden von Mädchen beobachtet, so einfachen und netten, daß allein ihre Gegenwart bei diesem Triumph der Belebung toten Metalls zur Dissonanz werden könnte. Junge Leute, aufgeregt und zerzaust, mit Rechenschiebern in den Händen, sind bereit, auf Millimeterpapier » $1/N$ «-Kurven zu zeichnen. Ihr Schnittpunkt verweist auf den Punkt, der die Grenze zwischen der Kontrolle über die Naturkräfte und der anschwellenden Kettenreaktion im Reaktor darstellt. Jenseits dieses Punktes schaltet sich die Havarieschutzanlage ein, die die Kettenreaktion abklingen läßt.

Letzte Überprüfungen werden getroffen:

— »Nullpunktmessung!«

1) »Knacker« — ein Gerät, mit dessen Hilfe akustisch die Geschwindigkeit der Plutonium- oder Uranspaltungsreaktion wahrgenommen werden kann.

2) »Zähler« — ein Gerät, das die Intensität der Impulse der Kerndetektoren anzeigt, mit denen der Ablauf der Kernreaktion registriert wird.

- »Verstanden, Nullpunktmessung!«
- »Zeit drei Minuten!«
- »Verstanden, Zeit drei Minuten.
Alles bereit!«

Der aufregende Moment rückt immer näher. Ein erstes Kommando zur Freigabe der Neutronen: »KZ auf Marke 50 anheben«. Ruhe. Nur der Knacker »tropft«, die Uhren ticken, und jeder hört sein eigenes Herz schlagen. Bleistifte ziehen schwarze Linien... Schnittpunkt. Erster Orientierungspunkt für die kritische Masse! Die Theoretiker freuen sich — der Punkt liegt nahe dem berechneten. Die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht sich, der »Regen« wird stärker, feiner. Man sieht bereits Ketten von Neutronenreaktionen, das Schwanken der Ströme. Die Anzeigergeräte sind »nervös«, ihre Zeiger flattern, laufen über den Anzeigebereich hinaus...

Übergang in einen weiteren höheren Bereich. Alles beruhigt sich, ist gedämpft, allerdings nur scheinbar. Eine weitere Bewegung der Steuerstäbe, ein neues Anwachsen der Neutronenvervielfachung. Wir sind dem Ziel nahe. Alle stehen wie gebannt... Jemand sagt: »Gleich geht's los«, ein anderer erregt: »Noch ein Tausendstel«. Neue Messung. Die Zeiger der Meßgeräte am Steuerpult kommen in Bewegung. Langsam und gleichmäßig bewegt sich der Lichtpunkt des Galvanometers. Einer schreibt: »Periode ungefähr eine Minute«. Das Geräusch des Knackers wächst an; das sind schon keine einzelnen Regentropfen mehr, das ist ein fröhlicher, lebhafter Regen, der da geräuschvoll auf's Dach trommelt: der Reaktor läuft!

Das schwere Metall hat sich belebt, jetzt wird das Innerste der Atome zerrissen. Hunderte, Tausende, Milliarden von Neutronen entstehen und werden wieder eingefangen in kleinsten Bruchteilen von Sekunden: Die Kettenreaktion hat begonnen. Die Reaktionen in unserem Atomkessel werden ruhiger. Das ungestüme Plutoniumatom ist gezügelt. Zum ersten Mal in der Welt arbeitet ein Reaktor überkritisch — eine punktierte Linie kleiner Kernexplosionen.¹⁾ Als ob wir

1) Es muß hier bemerkt werden, daß in diesem Reaktor wie auch in Reaktoren mit gleichmäßiger Leistung eine Kernexplosion vollständig ausgeschlossen ist. Im Prinzip ist jedoch ein Zerschmelzen der aktiven Zone im Reaktor möglich.

eine gebändigte Atombombe tausende Male je Minute reizen würden. Zählerlämpchen und die rote Linie des Schreibers. Maschinengewehrartiges Knattern der Analysatoren und ein kriechendes Band mit tausenden Zahlen. Linien auf Millimeterpapier.

Später dann, am Abend, gaben wir dem Reaktor volle Leistung und erzielten die erste Kilowattstunde. Auf den Erfolg gab es Sekst, danach ging die ganze Brigade zur Wolga baden. Das Wasser war dunkel und flimmerte. Ich befürchtete, daß nicht alle zurück ans Ufer kommen würden, aber es ging gut...

In dieser warmen Sommernacht wurden erstmals in Dubna Plutoniumkerne in Stücke zerrissen. Mit ihnen war der Reaktor beschickt.

Später ist der Reaktor vervollkommenet worden: *I. M. Frank* und *F. L. Schapiro* machten den Vorschlag, ihn mit einem Elektronenbeschleuniger — dem Mikrotron — zu ergänzen. Dadurch konnten die Neutronenimpulse bedeutend kürzer werden, wodurch sich die Meßgenauigkeit stark erhöhte. Auch die mittlere Leistung wurde angehoben, anfangs auf einige Kilowatt, später ist sie nach einer bedeutenden Rekonstruktion bis auf 30 kW gebracht worden (IBR-30). In den einzelnen Impulsen erreichte die Reaktorleistung ungeheure Werte — einige Zehntausende Kilowatt.

Der Reaktor vom Typ IBR war mehr als 15 Jahre in Betrieb und hat seine Steuerbarkeit und Zuverlässigkeit bewiesen. An ihm ist eine große Anzahl physikalischer Forschungen durchgeführt worden, an denen sich unsere Kollegen aus allen sozialistischen Ländern aktiv beteiligten. Mit diesen Forschungen konnten die Erkenntnisse über die Atomkernstruktur vertieft und neue Reaktionstypen studiert werden. Neue Angaben über die Struktur der Festkörper und Flüssigkeiten konnten gewonnen werden. Mitarbeiter des PEI präzisierten das Allerwichtigste — die Brutrate von Kernbrennstoff in Brutreaktoren mit schnellen Neutronen. Unter Ausnutzung der Besonderheit dieses Reaktors — seines Impulsbetriebes — konnte *F. L. Schapiro* sogenannte ultrakalte Neutronen (Neutronen mit äußerst geringen Geschwindigkeiten) absondern und damit den Weg für das Studium eines neuen Stoffes — des Neutronengases — bereiten. Im Jahre 1971 wurde eine Gruppe von Wissenschaftlern für die Schaffung des Impuls-

reaktors mit dem Staatspreis ausgezeichnet. Dazu gehörten: *D. I. Blochinzew, I. M. Frank, F. L. Schapiro, I. M. Matora, Je. P. Schabalin, S. K. Nikolajew* und *W. T. Rudenko* (Mitarbeiter des Vereinigten Institutes für Kernforschung in Dubna); *F. I. Ukrainzew* und *I. I. Bondarenko* (Mitarbeiter des Physikalisch-Energetischen Institutes in Obninsk); *I. S. Golowin* (Kurtschatow-Institut für Atomenergie) und *G. Je. Blochin* (Baranow-Zentralinstitut für Flugmotorenbau).

Zur Zeit¹⁾ wird in Dubna der noch leistungsstärkere Impulsreaktor IBR-2 gebaut. Seine mittlere Leistung wird die mittlere Leistung des IBR-30 um mehr als das Zehnfache übertreffen, in den einzelnen Impulsen wird seine Leistung kolossale Werte annehmen – ungefähr 700 000 kW. Die Inbetriebnahme dieses Reaktors wird dem internationalen Wissenschaftlerkollektiv des Vereinigten Institutes für Kernforschung neue Möglichkeiten zum Studium des Atomkernes, der Elementarteilchen sowie der Struktur der Festkörper und Flüssigkeiten eröffnen.

Aufgrund der Erfahrungen der Dubnaer Wissenschaftler

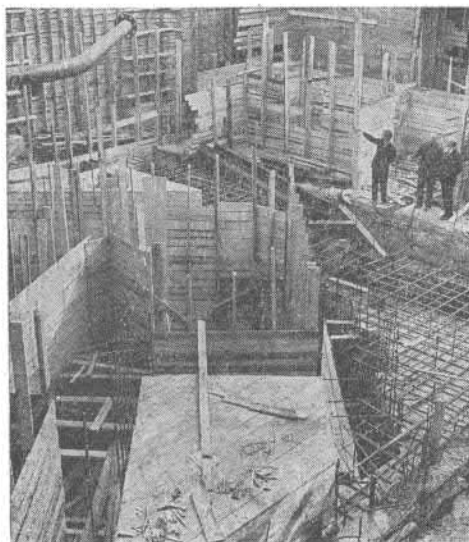


Bild 25. Baustelle des IBR-II:
W. D. Ananjew,
D. I. Blochinzew,
Ju. S. Jaswizki
(Foto VIK)

1) 1977 (Anmerkung des Übersetzers)



Bild 26. *Niels Bohr* (links) in Dubna (Foto VIK)

werden jetzt auch in Japan und Indien Reaktoren vom Typ IBR errichtet.

Als *Niels Bohr*, ein großer Physiker unserer Zeit, Dubna und insbesondere das Laboratorium für Neutronenphysik besuchte, zeigte er großes Interesse an der Einfachheit der Idee, die die Grundlage für den periodisch arbeitenden Impulsreaktor darstellt. Er sagte damals: »Ich bin begeistert vom Mut der Leute, die sich zur Errichtung einer solch bemerkenswerten Anlage entschlossen«.

10. Erste Genfer Konferenz zur friedlichen Nutzung der Atomenergie

Im August 1955 fand in Genf die Erste internationale Konferenz zur friedlichen Nutzung der Atomenergie unter der Losung »Atom für den Frieden« statt.

Forschungsarbeiten zum Atomkern und insbesondere zur Urankernspaltungsreaktion wurden bis zu dieser Zeit unter Geheimhaltung geführt, da das ganze Problem militärische Bedeutung erlangt hatte. Einzelne, seltene Artikel und Monographien enthielten normalerweise nur jene Informationen, von denen angenommen wurde, sie gehören zu einer bereits durchlaufenen Etappe.

Die Regierung der Sowjetunion bestand entschieden auf dem Verbot der Anwendung von Kernwaffen. Diese Aufgabe ist auch bis jetzt noch nicht vollständig gelöst. Wie jedoch bekannt, sind in den letzten Jahren sehr wichtige und hoffnungserweckende Schritte in Richtung auf die Verwirklichung dieser Forderung gemacht worden.

Die Regierung der USA schloß sich dieser folgerichtigen Forderung nicht an. Die Sowjetunion unterstützte den Beschluß der Vollversammlung der Vereinten Nationen zur Bildung einer Internationalen Atomenergiebehörde.

Zu deren Aufgaben gehören Unterstützung bei Entwicklungen zur friedlichen Nutzung der Atomenergie in allen Ländern und die Kontrolle über die Nichtweiterverbreitung von Kernwaffen sowie zur Verhinderung einer militärischen Nutzung der Atomenergie in kernwaffenfreien Ländern.¹⁾

1) Eine ausführliche historische Darstellung der Ereignisse jener Zeit ist in »Atom und Frieden« von W. S. Jemeljanow, Moskau, Atomisdat 1964, zu finden.

Zur Verwirklichung dieses Programmes wurde unter anderem die Erste Genfer Konferenz zur friedlichen Nutzung der Atomenergie einberufen.

Diese Konferenz erschien uns, die wir an die gespannte internationale Lage in den Nachkriegsjahren gewöhnt waren, als etwas Unreales, keiner von uns konnte sich vorstellen, an ihr teilzunehmen. Wir waren außerdem sehr weit davon entfernt, ihre Bedeutung als ersten Schritt zu einer zukünftigen internationalen Zusammenarbeit der Wissenschaftler richtig einzuschätzen. Voll mit den Arbeiten zur Errichtung des ersten KKW beschäftigt, kam uns niemals der Gedanke irgendeiner politischen Bedeutung dieser Arbeiten, obwohl ich, und wie ich glaube auch die übergroße Mehrzahl der Mitarbeiter, darüber erfreut war, daß gerade wir uns mit der friedlichen Nutzung der Atomenergie beschäftigten. In noch geringerem Maße sahen wir jene Bedeutung unserer Arbeit voraus, die in Wirklichkeit weit über die Grenzen einer politischen Sensation hinausging und zu einem Wendepunkt in den Ansichten der Menschheit zur Kernenergie wurde. Die der internationalen Konferenz vorausgehende Sitzung der AdW der UdSSR wurde gewissermaßen zur Konferenzprobe. Es war die erste Sitzung der Akademie der Wissenschaften, auf der Atomwissenschaftler mit offenen Vorträgen auftraten, unter anderem mit einem Vortrag über die Inbetriebnahme des ersten Kernreaktors der Sowjetunion im Jahre 1946 im Kurtschatow-Institut. *I. W. Kurtschatow* nahm Berichte über die Vortragsvorbereitung entgegen, stellte Fragen, beriet, scherzte – mit einem Wort war bei bester Laune. Einmal hatten wir uns den Vortrag eines unserer bedeutenden Physiker für die Akademiesitzung angehört. Dieser Vortrag schien uns hervorragend. *I. W. Kurtschatow* hatte jedoch eine Bemerkung: »Sehen Sie, Sie benutzen sehr oft den Terminus ›Schnitt‹.¹⁾ Zur gemeinsamen Sitzung der Akademie ist eine ganze Menge Biologen und Mediziner anwesend, die werden glauben, Sie machen irgend jemandem eine Operation. Es muß alles so ausgedrückt

1) Schnitt ist eine der Bedeutungen des russischen Terminus »se-tschenije«, der in der Kernphysik »Wirkungsquerschnitt«, in anderen Wissensgebieten jedoch meist »Schnitt« bedeutet. (Anmerkung des Übersetzers)

werden, daß es vollkommen klar wird. Ein wenig Unverständliches müssen wir aber übrig lassen, sonst wird man noch denken, auf unserem Gebiet sei Weisheit nicht vonnöten.«

In Moskau war ein Vorbereitungskomitee unter der Leitung von *I. W. Kurtschatow*, mit *W. S. Jemeljanow*, *B. S. Posdnjakow* und anderen tätig. Akademiemitglied *D. W. Skobelzyn* führte in anderen Ländern Gespräche, die die Organisierung dieser bedeutsamen Konferenz betrafen. Später war er dann Leiter unserer Konferenzdelegation.

An der Vorbereitung des Vortrages über Errichtung, Inbetriebnahme und Erfahrung des ersten KKW beteiligten sich in diesem oder jenem Maße fast alle verantwortlichen Mitarbeiter als Mitglieder eines großen Kollektivs, in dem jeder auf seinem Fachgebiet an der Errichtung des KKW arbeitete. An der endgültigen Ausarbeitung dieses Vortrages waren *I. W. Kurtschatow* und *B. S. Posdnjakow* aktiv beteiligt. Die Frage, wer auf der Konferenz den Vortrag halten wird, blieb bis zu den letzten Tagen offen, bis dann endlich die Wahl auf mich fiel.

Über diese Genfer Konferenz ist viel geschrieben worden, deshalb werde ich mich nur auf einige ihrer Aspekte beschränken.

Das Organisationskomitee der Konferenz brachte seine anerkennende Wertung unseres Vortrages darin zum Ausdruck, daß es ihn als ersten wissenschaftlich-technischen Vortrag in die Tagesordnung aufnahm sowie zusätzliche Zeit vorsah.

Unter den Teilnehmern waren übelwollende Gerüchte verbreitet worden, unser Vortrag über das KKW sei ein rein propagandistischer, und die sowjetischen Wissenschaftler würden keine Mitteilungen zum Wesen der Sache machen. In Wirklichkeit war unser Beitrag rein wissenschaftlich-technischer Natur und beruhte auf präzisen Angaben. Nichtsdestoweniger war er optimistisch im Sinne von Prognosen für die Zukunft. Er hinterließ einen gewaltigen Eindruck bei dem tausendköpfigen Auditorium. Man empfand ihn als Zeugnis für die Möglichkeit eines vollständigen Umschwunges bei der Nutzung der Atomenergie – vom Krieg zum Frieden. Er wurde als ein Bericht zur Möglichkeit einer radikalen Lösung der Energieprobleme auf dem ganzen Erdball aufgefaßt. Ungeachtet des Konferenzreglements, das Beifall und Ovationen nicht gestat-

tete, bekundeten am Ende des Vortrages über das KKW die Zuhörer ihre stürmische Begeisterung. Der amerikanische Reaktorphysiker Professor *Zinn* kam mir auf die Rednertribüne entgegen und beglückwünschte mich zu diesem Erfolg. Er löste damit im Konferenzsaal einen neuen Beifallssturm aus. Wie es auch sei, ein solcher Händedruck war zu jener Zeit eine echte Sensation.

Uns war damals noch nicht ausreichend bewußt geworden, daß dies die ersten Schritte zu jener die ganze Welt umfassenden Zusammenarbeit der Wissenschaftler waren, die, wie es heute scheint, immer hoffnungsvoller wird.

Es gab allerdings auch andere Tendenzen. *Laura Fermi*, die Gattin des hervorragenden Physikers unserer Zeit *Enrico Fermi*, schrieb als amerikanische Chronistin der Konferenz in ihrem Buch »Atom for the World« äußerst tendenziös und unwahr über uns sowjetische Wissenschaftler. Die von mir beschriebene Episode mit Professor *Zinn* ist in ihrem Buch zum Beispiel so dargestellt, als ob der Hauptvortrag der von *Zinn* gewesen sei. In Wirklichkeit war *Zinns* Vortrag über Versuche mit einem experimentellen Siedewasserreaktor sehr interessant für Spezialisten, darunter auch für uns, aber auf der Waage der gesellschaftlichen Meinung konnte er nicht mit unserem Vortrag über das erste KKW konkurrieren.

Auch die folgende Episode ist mir noch gut in Erinnerung. Einmal geriet ich auf der Ausstellung, wo unter anderem auch ein Modell unseres KKW gezeigt wurde, in eine Gruppe von Journalisten. Einer von ihnen, ein Amerikaner, fragte mich: »Bei uns behauptet man, der Reaktor Ihres KKW sei dem Reaktor unseres U-Bootes »Nautilus« ähnlich. Ist das Zufall?« Darauf antwortete ich ihm: »Natürlich wäre es für uns äußerst interessant zu wissen, wie der Reaktor der »Nautilus« aufgebaut ist. Wenn das von Ihnen Gesagte entsprechend kompetent ist, dann haben Sie mir äußerst wertvolle Angaben mitgeteilt. (Gelächter unter den Journalisten) Im Übrigen, unabhängig davon, wo ein Pferd gemacht wird, es wird in allgemeinen Zügen den anderen ähnlich sein. Naturgesetze sind gleich für alle Länder, Nationen und politischen Systeme.«

Der im Namen der sowjetischen Wissenschaftler gehaltene Vortrag über das erste KKW zeigte als wissenschaftlich-technischer Vortrag die nun offensichtliche Möglichkeit und

Zweckmäßigkeit auf, die gesamte Tätigkeit zur Erforschung der Kernenergie in die Richtung ihrer friedlichen Nutzung umzubuchen. Dies entsprach auch genau Geist und Inhalt der Genfer Konferenz, den Vorstellungen der Mehrzahl ihrer Teilnehmer. Die Schlußfolgerung aus unserem Vortrag bestand darin, daß außer der antihumanen und selbstmörderischen Anwendung dieser Energie eine ganz andere Nutzung möglich ist, die auf das Wohl der Menschen gerichtet ist. Die USA hatten zu jener Zeit noch kein Kernkraftwerk errichtet und alle ihre Anstrengungen ausschließlich auf militärische Aspekte konzentriert. Aus diesem Grunde konnten sie auch auf der Konferenz nichts darlegen, was vergleichbar gewesen wäre mit dem Vortrag über das erste KKW in der Welt, das in der Sowjetunion in Betrieb genommen worden war. Darin bestand der politische Gewinn, der niemals vorausgeplant worden war, aber auf natürliche Art und Weise aus der Natur der sozialistischen Gesellschaft der Sowjetunion entsprang.

11. Perspektiven der Weltenergetik

Auf die Genfer Konferenz zur friedlichen Nutzung der Atomenergie folgten im Intervall von einigen Jahren weitere Konferenzen. Die letzte von ihnen, die vierte, fand 1972 statt. Auf der zweiten Konferenz im Jahre 1958 berichtete *A. K. Krasin* über die Erfahrungen beim tiefen Abbrand des Kernbrennstoffs im ersten KKW der Welt, das zu diesem Zeitpunkt bereits vier Jahre in Betrieb war.

Es ist wesentlich, daß die Erörterung von Fragen der Kernenergetikplanung auf diesen Konferenzen zu einem tieferen Studium von Problemen der Gesamtenergieressourcen auf der Erde führte. Im Ergebnis dieser Forschungen stellte sich heraus, daß das Gesamtproblem bei weitem nicht trivial ist. Unsere moderne Epoche, die manchmal »technologische Ära« genannt wird, ist durch ein gewaltiges Ansteigen des Energiebedarfs und durch Bevölkerungswachstum gekennzeichnet. Dazu kommt noch, daß sowohl der Energiebedarf als auch das Bevölkerungswachstum ungleichmäßig über den Erdball verteilt sind. Beispielsweise beträgt in den Vereinigten Staaten von Amerika der Pro-Kopf-Bedarf an installierter Wärmeleistung 10 kW, während diese Kennziffer im Mittel für die gesamte Erde nur 1,5 kW¹⁾ beträgt. Die Ungleichmäßigkeit des Bevölkerungswachstums kommt darin zum Ausdruck, daß die Zuwachsrate in den entwickelten Ländern etwa 1 ‰, in den Entwicklungsländern 2,5 ‰ (in manchen bis zu 4 ‰)²⁾ beträgt.

1) siehe UNESCO-Kurier, Juni 1974

2) Materialien der Internationalen Konferenz zur friedlichen Nutzung der Atomenergie, Genf 1972, *A. Weinberg, P. Hammar*, MAGATE, B. 1, S. 171

Eine solch ungleichmäßige Verteilung dieser beiden Charakteristika erschwert zweifellos zuverlässige Prognosen für die Zukunft der Menschheit und ihrer zukünftigen Bedürfnisse. Es gibt ganz verschiedene Voraussagen, beginnend von äußerst optimistischen bis zu äußerst pessimistischen, die zu beängstigenden Schlußfolgerungen über die Möglichkeit katastrophaler Situationen sowohl bei den Energiequellen als auch bei den Produktionsabfällen (Abwärme, Gasentwicklung und Beseitigung radioaktiver Abfälle) führen.

Es scheint klar zu sein, daß die Bevölkerungszahl des Erdballs eine bestimmte Grenze hat. Wir Theoretiker betrachten gern Grenzfälle, sie klären sofort alles auf. Stellen Sie sich vor, daß auf einen Quadratmeter Festland ein Mensch kommt und daß sich somit die Nachbarn in einer Entfernung von einem Meter befinden. Würde Ihnen eine solche Bevölkerungsdichte zusagen? Wahrscheinlich ist diese Ziffer zu hoch. Von welchen Werten soll man aber ausgehen?

Scheinbar handelt es sich darum, daß die Menschen nicht so sehr zahlreich als viel mehr glücklich sein wollen. Das Wort »Glück« ist allen verständlich, wird aber auf verschiedene Art und Weise aufgefaßt, abhängig von Niveau der materiellen Befriedigung und der intellektuellen Entwicklung. Aus diesem Grunde kann dieser Begriff nicht als Grundlage für eine sinnvolle Prognose der Erdbevölkerung dienen. Allein heute noch hungern zwei Drittel der Menschen — das ist das traurige Resultat der kolonialen Eroberungen des vorigen Jahrhunderts. Das Einzige, über das wir Erdbewohner uns wohl einig sind, ist, daß wir alle Frieden wollen. Es ist angenehm, sich dessen bewußt zu sein, daß die von *W. I. Lenin* zu Beginn der Bildung des Sowjetstaates verkündete Friedensidee heute zur Leitidee der gesamten fortschrittlichen Menschheit geworden ist.

Kehren wir zu den Brennstoffreserven zurück. Von 1900 bis 1970 wurden auf dem Erdball Brennstoffe verbraucht, die 250 Milliarden Tonnen Kohleeinheiten entsprechen. Der geschätzte Verbrauch für die nächsten 30 Jahre (1970 bis 2000) wird mit 450 Milliarden Tonnen angegeben. Mit anderen Worten, der jährliche Energiebedarf wird auf ein Mehrfaches ansteigen.

Andererseits ist vollkommen klar, daß sich die Vorräte an

organischen, natürlichen Brennstoffen — Kohle, Erdöl und Gas — ständig verringern. Es mögen noch so viele geologische Entdeckungen gemacht werden, diese Vorräte sind ebenso begrenzt, wie die Vorräte an Wasser und Luft, wie die Fläche der Biosphäre auf der Erde. Natürliche Brennstoffe sind aus Sonnenenergie durch die in Pflanzen ablaufende Fotosynthese entstanden. Nutzen wir denn in ausreichendem Maße die Möglichkeiten aus, die uns als Sonnenenergie zur Verfügung stehen? Wird in wissenschaftlichen Instituten und Laboratorien dem Weg, den die Natur auf unserem Planeten eingeschlagen hat, bei dem Sonnenenergie im Pflanzenbewuchs der Erde gespeichert wird, genügend Aufmerksamkeit geschenkt? Wäre es nicht möglich, fotochemische Fabriken für die Produktion komplizierter organischer Verbindungen zu bauen? Ich denke, daß diese Fragen noch der Antwort der Wissenschaftler harren sowie vielseitiger und intensiver Forschungen bedürfen.¹⁾

Die Einschätzungen vieler Spezialisten stimmen darin überein, daß bei Beibehaltung des jetzigen Wachstumstempos für den Energiebedarf die natürlichen Brennstoffe nur noch 100 bis 200 Jahre reichen. Die einzige und durchaus reale Möglichkeit zur Überwindung des in nächster Zeit drohenden Energiehungers besteht in der weitgehenden Entwicklung der Kernenergetik.²⁾

Wenn es im Jahre 1954 in der Welt nur ein einziges KKW in Obninsk mit einer Leistung von 5000 kW gab, so sind heute in aller Welt schon ungefähr 200 Kernkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 250 Mio kW in Betrieb. Es wird erwartet, daß im Jahre 2000 die Hälfte der gesamten auf der Erde produzierten Energie aus Kernbrennstoff (Uran-235 und Plutonium-239) erzeugt werden wird. Die Uran-235-Vorräte sind allerdings nicht sehr groß. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß sie nur $\frac{1}{140}$ der gesamten Vorräte an natürlichem Uran

1) In dieser Beziehung erscheint mir der Zeitschriftenartikel von Akademiemitglied N. N. Semjonow in »Nauka i shisn« 1974, Nr. 10, sehr interessant.

2) siehe dazu den interessanten Beitrag von P. L. Kapiza in »Wo-prosy filosofi« 1977, Nr. 1

betragen. Plutonium tritt unter natürlichen Bedingungen überhaupt nicht auf. Aus diesem Grunde ist die Entwicklung von Brutreaktoren mit schnellen Neutronen so wichtig. In ihnen kann das gesamte Uran-238 zu Plutonium-239 verarbeitet werden. Deshalb erweitert der nächste Schritt der Kernenergetik – von Reaktoren mit thermischen Neutronen zu Reaktoren mit schnellen Neutronen – die Kernbrennstoffvorräte um ein Vielfaches. Es sollen hier keine Mutmaßungen angestellt werden, wie und in welchem Maß es gelingen wird, die Kernfusion als Energiequelle zu nutzen. Die Vorräte an schwerem Wasserstoff (Deuterium), der in geringen Mengen in Form von schwerem Wasser in beliebigem Wasser, auch dem Meerwasser, vorhanden ist, erscheinen praktisch unbegrenzt. Die sowjetischen Physiker, wie auch Physiker anderer Länder, nähern sich Schritt um Schritt solchen Parametern des heißen Plasmas, bei denen eine Kernfusionsreaktion von Deuterium und Tritium¹⁾ zu Helium möglich ist. Die Eigenschaften von heißem Plasma erwiesen sich jedoch als bedeutend komplizierter, als es sich in den Anfängen darstellte, da man begann, die ersten Kernfusionsanlagen zu errichten. Die Vorhersagen des Vorsitzenden der Ersten Genfer Konferenz, des bekannten indischen Physikers *Homi Bhabha*, das Problem der Energiegewinnung durch Kernfusion würde in den nächsten 15 Jahren gelöst werden, haben sich nicht bewahrheitet. Noch sind die für den Beginn der Fusionsreaktion notwendigen Plasmatemperaturen und -drücke sehnlichstes Ziel der mit der Gewinnung thermonuklearer Energie beschäftigten Physiker.

Obwohl auf dem Gebiet der Kernenergetik alle prinzipiellen Probleme bereits schon längst gelöst sind, enthalten trotz allem Arbeiten auf dem Gebiet von Kernreaktoren, die auf der Spaltung von Uran, Plutonium und Thorium basieren, genügend schwierige und mitreißende Probleme der Kernphysik, der Kerntechnik und der Wirtschaft. Das betrifft besonders Probleme der wirtschaftlich zweckmäßigen Umwandlung von Uran-238 in schnellen, Kernbrennstoff erzeugenden Reaktoren.

1) Deuterium ist ein Wasserstoffisotop mit der Massezahl 2; Tritium ist ein Wasserstoffisotop mit der Massezahl 3.

In der Sowjetunion ist zur Zeit die Situation mit natürlichen, klassischen Energiequellen durchaus zufriedenstellend. Insbesondere wurden in der letzten Zeit viele große, aber natürlich nicht unversiegbare Erdgaslagerstätten entdeckt. Auch die Kernenergetik wird intensiv entwickelt. In der UdSSR sind viele Kernkraftwerke in Betrieb und im Bau. Bild 27 zeigt die Standorte der sowjetischen Kernkraftwerke. Es ist ersichtlich, daß Kernkraftwerke in den Gebieten des höchsten Energiebedarfs, d. h. in den zentralen Landesteilen sowie in weit entfernten Gebieten, in die der Transport anderer Energieträger erschwert ist, konzentriert sind. Von den Kraftwerken sind das Belojarsker Kurtschatow-KKW und das Leningrader Lenin-KKW vom gleichen Typ wie das erste KKW, allerdings mit bedeutenden Verbesserungen und unvergleichbar höherem Wirkungsgrad. Zur Zeit¹⁾ wird im Belojarsker KKW ein Energieblock mit einer Leistung von 600 000 kW

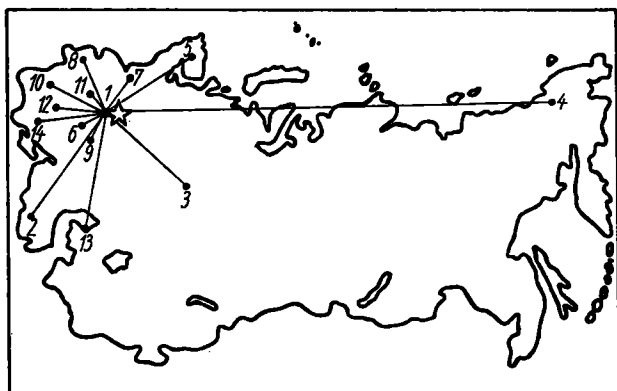


Bild 27. Kernkraftwerke der Sowjetunion, die 1977 in Betrieb oder im Bau waren:

- | | | | |
|---|---------------------|----|---------------------|
| 1 | erstes KKW der Welt | 8 | Ignalinsker KKW |
| 2 | Armjansker KKW | 9 | Nowoworonesher KKW |
| 3 | Bjelojarsker KKW | 10 | Rowensker KKW |
| 4 | Bilibinsker KKW | 11 | Smolensker KKW |
| 5 | Kolsker KKW | 12 | Tschernobylsker KKW |
| 6 | Kursker KKW | 13 | Schewtschenkoer KKW |
| 7 | Leningrader KKW | 14 | Südukrainisches KKW |

1) 1977 (Anmerkung des Übersetzers)

errichtet, dessen Reaktor mit schnellen Neutronen arbeitet. Nach dem gleichen Prinzip ist das KKW von Schewtschenko gebaut, das außer der Elektroenergieerzeugung die Wasserentsalzung für das wasserarme Gebiet zur Aufgabe hat.

Ein KKW eines weiteren Typs auf der Basis von Reaktoren mit thermischen Neutronen ist in Nähe von Woronesh in Betrieb (das Nowoworenesher 50-Jahre-UdSSR-KKW). Insgesamt beträgt die installierte KKW-Leistung in der Sowjetunion mehr als 5 Mio kW. Sie steigt weiter intensiv an.

Mit Unterstützung der Sowjetunion wurden und werden KKW in den sozialistischen Ländern gebaut; in der ČSSR, der DDR, Bulgarien, Ungarn, Polen, Rumänien und in Kuba.

Die schnelle Entwicklung der Energetik, unter anderem auch der Kernenergetik, zieht viele Probleme nach sich, die die Abwärme sowie die Sauberkeit von Luft und Wasser betreffen, d. h. ökologische Probleme zur Erhaltung der Biosphäre. Kernkraftwerke, die in anderer Beziehung viel sauberer sind als übliche Wärmekraftwerke, haben ihr spezifisches Problem — das Problem der radioaktiven Abfälle des KKW — des Atommölls. Es ist von größter Bedeutung, daß die Aufgabe zur Erhaltung der Sauberkeit in der Biosphäre der Erde jetzt in vielen Ländern zu einer staatlichen Aufgabe wird. So auch in der Sowjetunion, die organisiert eine neue Gesellschaft aufbaut. In gewissen Aspekten erhält diese Aufgabe internationale Bedeutung, denn die Luft der Erdatmosphäre, das Wasser der Ozeane und Meere kennt keine Staatsgrenzen. Es bricht die Zeit an, da es notwendig ist, unseren gesamten Planeten vor Ignoranz und Raubbau zu schützen.

12. Besuche in Obninsk

Bald nach seiner Inbetriebnahme wurde das erste Kernkraftwerk zu einer Art Mekka für alle, die sich für Fragen der friedlichen Kernenergetik interessierten. Zu den Gästen gehörten Regierungsdelegationen unter der Leitung von bekannten Politikern, die den Wunsch hatten, sich persönlich mit einem KKW, mit dessen Möglichkeiten und Perspektiven vertraut zu machen. Weiterhin gehörten zu den Gästen wissenschaftlich-technische Delegationen, die alle Einzelheiten des Kraftwerkes kennenlernen wollten, und auch Delegationen von verschiedenen Organisationen, die allgemeinbildende Ziele verfolgten. In dieser Broschüre ist es unmöglich, mehr oder weniger vollständig all diese Besuche zu beleuchten. Zur Illustration werde ich nur einige anführen.

Ich berichtete bereits von der englischen Energetikerdelegation unter der Leitung von Dr. *B. F. J. Showland*, einem leitenden Mitarbeiter der britischen Atomenergiebehörde. Die Mitglieder der Delegation interessierten sich für alle Einzelheiten der kerntechnischen Anlage und deren Fahrweise. Diese Erfahrungen waren für sie in Verbindung mit dem Bau eines Kernkraftwerkes in Großbritannien besonders interessant. Wie ich bereits sagte, beglückwünschte Professor *B. L. Guttled*, Leiter einer wissenschaftlichen Forschungsabteilung für Reaktorbau, die sowjetischen Wissenschaftler herzlich zu ihren Arbeiten auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie und nannte die Schaffung dieses ersten Kraftwerkes ein Werk von historischer Bedeutung. In das Gästebuch des Kraftwerkes schrieben die englischen Gäste: »Die Delegation der britischen Atomenergiebehörde bringt... ihre Bewunderung über die durchgeführten Arbeiten sowie ihren

Dank für die Gastfreundschaft zum Ausdruck. Die Delegationsmitglieder bringen den Wunsch zum Ausdruck, in Zukunft die freundschaftliche Zusammenarbeit auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie zu festigen« (18. November 1955).¹⁾

Im Oktober 1955 traf eine Delegation von Atomwissenschaftlern aus der Deutschen Demokratischen Republik ein. Zu ihren Mitgliedern gehörten auch Wissenschaftler, die in den Nachkriegsjahren in der Sowjetunion gearbeitet hatten. Die Delegation wurde von dem bekannten deutschen Physiker *Gustav Hertz* geleitet. Ich glaube sagen zu dürfen, daß mich mit Professor *G. Hertz* schon viele Jahre gute Beziehungen verbanden. Ich konnte mich aber niemals von dem Eindruck befreien, daß Zielscheibe seines Humors und Sarkasmus oft

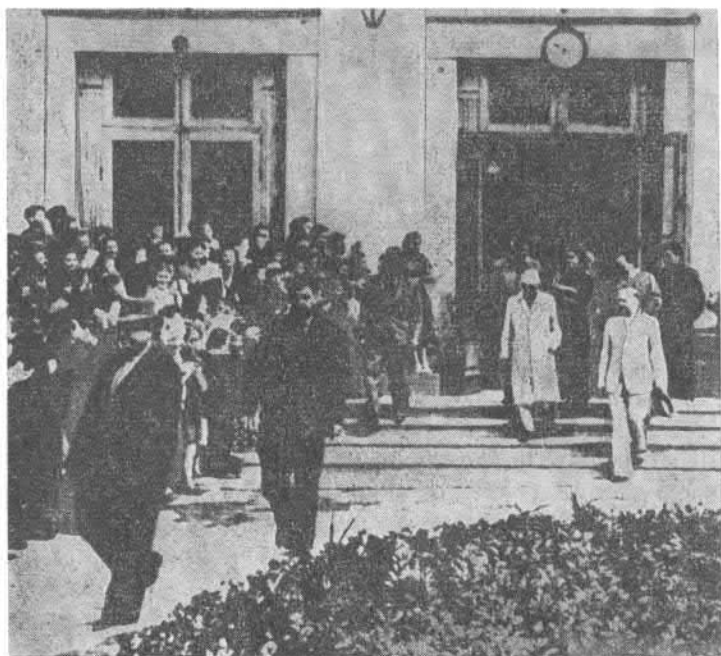


Bild 28. *J. Nehru* in Obninsk (1955)

1) »Prawda« vom 19. Nov. 1955

die Verhältnisse in unserem Land (und auch in anderen Ländern) waren, die nach seiner Vorstellung einer Verbesserung bedürfen. Darum war es für mich besonders angenehm, ihm und seinen Kollegen das Kernkraftwerk zu zeigen, dessen Errichtung auf der Tradition unserer Ideen und den bei uns herausgebildeten Verhältnissen basierte. Später wurde unter Mitwirkung von Wissenschaftlern und Betrieben der Sowjetunion außer einem KKW in der DDR auch der erste Versuchsreaktor für physikalische Forschungen gebaut.

Im Juni 1955 besuchte *Jawaharlal Nehru* mit seiner Tochter *Indira Gandhi*, die später Premierminister Indiens wurde, das Kernkraftwerk. Sie wurden vom Botschafter Indiens in der UdSSR *Menon* und seitens der UdSSR von *A. J. Mikojan* und anderen verantwortlichen Persönlichkeiten begleitet. Für mich war dies der erste diplomatische Empfang, und ich bereitete mich die ganze vorhergehende Nacht auf dieses feierliche Ereignis vor.

J. Nehru erschien mir ermüdet, aber seine Fähigkeit, plötzlich von innen heraus so zu erstrahlen, daß sein Gesprächspartner Tiefe von Seele und Verstand dieses bemerkenswerten Menschen unserer Zeit empfand, überraschte. *Indira Gandhi* prägte sich mir durch ihre bezaubernde Bescheidenheit und Einfachheit ein. *J. Nehru* interessierte sich dafür, warum wir in unserem Reaktor einfaches und nicht das äußerst teure schwere Wasser verwenden, das in Indien *Homi Bhabha* einzusetzen beabsichtigte.¹⁾ Ich mußte ihm ausführlich die technische Seite der Angelegenheit erklären.

Nehru besuchte damals auch unser Institut in Obninsk (das heutige PEI). Aus den Laboratorien und Arbeitszimmern strömten ihm alle Mitarbeiter entgegen, er bemerkte ihr jugendliches Alter und fragte: »Ist dies etwa eine Hochschule?« Als man ihm antwortete, dies sei ein Forschungsinstitut, war er sehr überrascht über das geringe Durchschnittsalter des Kollektivs.

In meinem Gespräch mit *J. Nehru* erzählte ich ihm davon,

1) Es handelt sich darum, daß zu dieser Zeit in Bombay der Aufbau eines experimentellen Reaktors für Physiker begann, in dem schwereres Wasser eingesetzt wurde. Wir verwendeten einfaches Wasser, aber dafür angereichertes, und nicht natürliches Uran.

daß wir die indischen Physiker, die einen Beitrag zur modernen Wissenschaft leisten, gut kennen, daß wir mit den indischen Schriftstellern, vor allen Dingen mit *Rabindranat Tagore*, vertraut sind. Wir lesen sein (*J. Nehrus*) Buch »Die Entdeckung Indiens«... Ich brachte den Gedanken zum Ausdruck, daß die Verbindung der alten Geisteskultur Indiens mit der modernen Wissenschaft und Technik Indien zu einer echten Blüte führen wird. ... Daraufhin bemerkte *J. Nehru*: »... unsere Hauptaufgabe ist der Sieg über Armut, Analphabetismus und Krankheiten ...«. Als *J. Nehru* Obninsk verließ, hinterließ er im Gästebuch die Eintragung: »Ich bin glücklich, daß ich die Möglichkeit hatte, Ihr Kraftwerk kennenzulernen – ich schaute in die Zukunft ...«.

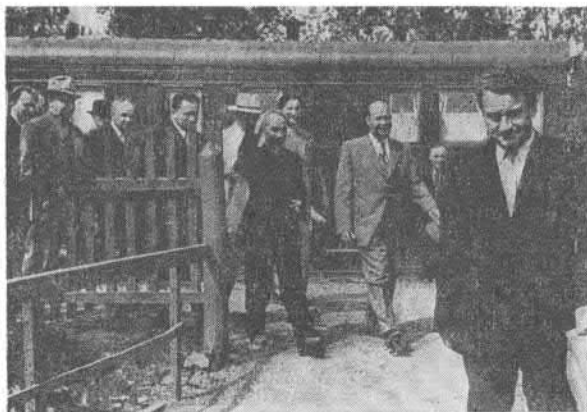


Bild 29. Ankunft von *Ho Chi Minh* in Obninsk (1955)

Eine andere Persönlichkeit, die bei mir einen sehr tiefen Eindruck hinterlassen hat, war *Ho Chi Minh*, der Obninsk am 15. Juli 1955 besuchte. Aus einem großen Eisenbahnwagen stieg ein kleiner Alter, ganz wie im Märchen. Am meisten verwunderte mich an ihm nicht einfach sein Wohlwollen dem Menschen gegenüber, sondern seine grenzenlose Güte. Es war seltsam, sich vorzustellen, daß hier vor uns ein Partisan des Dschungels, der Schrecken der Eroberer, ein großer Führer seines ruhmreichen Volkes stand...

Während der Besichtigung des Kraftwerkes sagte *Ho Chi*

Minh: »Für mein Volk ist das noch Zukunft, zuerst müssen wir siegen...«. Ich erinnerte ihn damals daran, daß *W. I. Lenin* sich in den für das Sowjetland schwierigsten Zeiten für die Elektrifizierung interessierte, obwohl dies vielen eine Phantasie schien... Heute nun hat das vietnamesische Volk endlich den friedlichen Aufbau in Angriff genommen.

Die Werktätigen des Kernkraftwerkes erzählten mir, daß sie von der Freundlichkeit *Ho Chi Minhs* berührt waren, die auch mir aufgefallen war. In der Tat, er grüßte jeden und sagte »Budj gotow (sei bereit)«. Dabei hielten es viele andere Besucher des Kraftwerkes nicht einmal für notwendig, die Existenz von Mitarbeitern überhaupt zur Kenntnis zu nehmen!

Die Besuche von *J. Nehru* und *Ho Chi Minh* waren Begegnungen einer tausendjährigen Geisteskultur mit der neuen Technik. Sie gaben Anstoß zum Nachdenken über Wissenschaft, Technik, Fortschritt und über den Menschen.

Diese kurzen Bemerkungen zu den Begegnungen im KKW möchte ich mit einigen Worten über den Besuch des Sekretärs der Kommunistischen Partei Italiens *Togliatti* abschließen. *P. Togliatti* stellte sehr viele Fragen über das Kraftwerk. Ihn interessierten ökonomische und Sicherheitsfragen. Ehrlich gesagt, damals hatten wir noch keine großen Erfahrungen, wir konnten uns nur auf diese und einige vorausschauende Ab-



Bild 30. Ankunft von *P. Togliatti* in Obninsk (1955)

schätzungen stützen. *P. Togliatti* unterstrich die politische Bedeutung der Inbetriebnahme des ersten Kernkraftwerkes in der Sowjetunion als überzeugende Demonstration der friedlichen Absichten der Sowjetunion und als Beweis für die technischen Möglichkeiten der friedlichen Nutzung der Kernenergie. »Bis zu diesem Moment«, sagte *P. Togliatti*, »hieß es in unserem Volk oft: die UdSSR und die USA, das ist die ›Bomba atomica‹. *P. Togliatti* sprach viel vom politischen Leben, von den sozialen und ökonomischen Problemen in Italien. Zum Abschied hatten wir, seine Gesprächspartner, von *P. Togliatti* den Eindruck gewonnen, daß er ein hochgebildeter Politiker ist, der die verschiedenartigsten Tendenzen des Lebens in der Welt berücksichtigt und ihre Bedeutung politisch einschätzt... Er war weit entfernt von irgendwelchem Dogmatismus.

13. Schlußwort

Wenn eine Idee die Massen ergreift, wird sie zur unüberwindlichen Gewalt. Bis dahin war sie nur das Gut einzelner Menschen. Noch früher war sie noch nicht geboren. Viele Menschen waren lange vor *Kolumbus* und *Magellan* davon überzeugt, daß die Erde eine Kugel sei. Schon im Altertum berechnete *Eratosthenes* recht genau ihren Radius. Um vieles später wurde diese Idee von der heiligen Inquisition verfolgt. Aber erst die großen Entdeckungen des 16. Jahrhunderts machten die Idee von der Kugelförmigkeit der Erde zum Gemeingut der ganzen Menschheit und riefen tiefe Umwälzungen in der Weltanschauung der Menschen hervor.

In unserer Zeit zeigten kosmische Flüge, beginnend mit dem historischen Flug *Juri Gagarins* um die Erde und *Frank Bormans* mit seinen Kameraden auf den Mond, klar die Kleinheit des Erdballs und bewiesen damit die völlige Absurdität von Kriegen als Methode zur Lösung von Streitfragen zwischen Ländern. Als *F. Borman* die Erde vom Mond aus beobachtete, war er erstaunt, daß man sie mit dem Fingernagel verdecken kann.

An ein großes Forum von Wissenschaftlern auf der wissenschaftlichen Konferenz für Hochenergiephysik in Rochester (USA) gewandt, sagte ich im September 1960: »Jetzt, da die Konferenz zu Ende geht, sind wir uns dessen bewußt, daß wir viel Neues erfahren haben und daß diese Konferenz einen neuen Schritt unseres Eindringens in die rätselhafte Welt der Elementarteilchen darstellt. Wir hoffen, daß auch in Zukunft noch viele solcher Treffen stattfinden, die uns helfen werden, neue Ergebnisse und Ideen zu entdecken und zu verstehen. Aber diese Treffen haben auch eine andere Seite. Ich las hier

in den Zeitungen, daß »die Physiker die angespannte Lage in der Welt ignorieren«. Ich denke, ein anderes Verhalten wäre auch schwerlich zu erwarten. Das erklärt sich damit, daß unser Planet immer kleiner und kleiner wird. 1957 brauchten wir 20 Stunden, um bis zu Ihnen, auf Ihren Kontinent zu fliegen. Diesmal benötigten wir nur noch die Hälfte der Zeit. Im Flugzeug dachte ich darüber nach, daß wir alle, die Menschen dieses Planeten, nichts anderes sind als Passagiere eines großen Raumschiffs, das im dunklen und düsteren Weltraum fliegt. Es ist dumm und vernunftswidrig, sich in einer solchen Situation zu streiten. Ich kann Ihnen versichern, daß unser Volk, das eine neue Gesellschaft aufbaut, an die Notwendigkeit und Möglichkeit nicht nur der Koexistenz, sondern auch echter Freundschaft zwischen unseren Völkern glaubt. Wir verstehen jetzt die Schärfe der demographischen und ökologischen Probleme, die die gleichen sind für alle Menschen — für die Bewohner des kleinen blauen Planeten.«

Diese wichtigen Begriffe und Ideen sind bei weitem nicht neu, aber gerade durch die Kosmosflüge wurden sie zum Allgemeingut aller und werden deshalb zu einer gewaltigen Kraft.

All das kann man auch in bezug auf die Kernenergie anwenden. Seitdem die Kettenreaktion bei der Urankernspaltung entdeckt war, wurde klar, daß es im Prinzip möglich ist, Elektroenergie aus der im Reaktor erzeugten Wärme zu gewinnen. Einigermmaßen klar waren auch die möglichen technologischen Grundprinzipien eines KKW. Unklar war lediglich, wie ein praktisch betriebsfähiges Kraftwerk, das strahlungssicher, zuverlässig und ökonomisch ist, gebaut werden muß.

Die Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes in der UdSSR rief einen Umschwung im Bewußtsein der Menschen hervor und machte die Idee von der möglichen Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken zum Gemeingut der ganzen Menschheit. Sie machte diese Idee zu einer machtvollen sozialen Kraft.



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie