

Das Atominstitut der österreichischen Hochschulen.

Von Univ.-Prof. Dr. Gustav Ortner, Wien.

Vortrag, gehalten am 4. November 1959.

Alle Kernreaktoren beruhen auf den sogenannten Spaltstoffen, das sind Stoffe, deren Atomkerne durch eindringende Neutronen beliebiger Geschwindigkeit, insbesondere auch sehr kleiner Geschwindigkeit in zwei mittelschwere Atomkerne, Spaltprodukte, zerfallen, wobei unmittelbar nach der Aufspaltung von den Spaltprodukten Neutronen „abdampfen“. Es sind 2 bis 3 Neutronen, die auf diese Weise in Freiheit gesetzt werden, das heißt, es entstehen mehr Neutronen als verbraucht werden. Diese aus einem Spaltprozeß stammenden Neutronen können nun ihrerseits wieder Spaltprozesse verursachen, usf. und die Neutronenkonzentration und die Zahl der Spaltprozesse sollte lawinenartig ansteigen. Diese Erwartungen hätten allerdings auch enttäuscht werden können. Der einzige Spaltstoff, der in der Natur vorkommt, ist ein Uranisotop mit der Masse 235, das mit

einer Häufigkeit von 0,7% im natürlichen Uran vorhanden ist. Die beiden anderen Spaltstoffe, die praktische Verwendung finden, nämlich Plutonium mit der Masse 239 und Uran mit der Masse 233, sind Kunstprodukte. Sie entstehen erst in Reaktoren aus dem Uran mit der Masse 238, bzw. aus dem Thorium mit der Masse 232. Manche Reaktoren wurden ausschließlich zu dem Zweck gebaut, um möglichst schnell Plutonium-239 zu gewinnen, so bw. noch während des Krieges die großen Reaktoren in Hanford in USA und nach dem Kriege die in Windscale in England. Anfänglich gab es aber nur 0,7% Spaltstoff, nämlich Uran-235, im Natururan. Es mußte erst durch den Versuch gezeigt werden, daß eine so geringe Konzentration des Spaltstoffes eine Neutronenvervielfachung ermöglicht und zwar eine solche, die sich ohne Zufuhr von Neutronen von außen selbständig weiterentwickelt, m. a. W., daß eine sich selbsterhaltende Kettenreaktion zustandekommt. Der italienische Physiker Enrico Fermi konnte im Dezember 1942 den Nachweis erbringen, daß durch eine geeignete Anordnung von Klumpen aus Uran in einem riesigen Quader aus sehr reinem Graphit die erwartete Kettenreaktion wirklich in Gang kommt. Der Graphit hat den Zweck, die ursprünglich schnellen Spaltneutronen ganz langsam zu machen; sehr langsame Neutronen sind nämlich besonders gut befähigt, Spaltprozesse in den Kernen des Spaltstoffes Uran-235 hervorzurufen und zwar in einem solchen Ausmaße, daß sogar die

geringe Konzentration des Uran-235 im Natururan ausreicht. Fermi hat auf diese Weise den ersten Kernreaktor verwirklicht, wenn er auch nicht mehr war als der Nachweis, daß ein Kernreaktor möglich ist.

Damit war endlich der Wunschtraum von Jahrzehnten seit der Entdeckung der Radioaktivität im Jahre 1896 in Erfüllung gegangen, nämlich den Zerfall, bzw. die Energie liefernde Umwandlung von Atomkernen nach Belieben willkürlich zu beschleunigen, und Watts, Kilowatts und Megawatts aus Atomkernenergie zu erzeugen. Die Atomkernenergie selbst war ja keineswegs neu, sondern seit fast 50 Jahren bekannt, seit Becquerel in Paris beobachtet hatte, daß Uranmineralien Partikel aussenden, die eine sehr große Geschwindigkeit haben und daher Energie transportieren. Die gesamte Energie, die bei der Umwandlung des Uran selbst und der aus ihm entstehenden gleichfalls Strahlen aussendenden Stoffe frei wird, ist pro Gramm Uran äquivalent dem Heizwert von ca. 500 Kilogramm hochwertiger Kohle. Diese Überlegenheit der Atomkernenergie gegenüber der im chemischen Verbrennungsprozeß freiwerdenden Energie kommt jedoch praktisch nicht zur Geltung, weil dieser Umwandlungsprozeß des Uran außerordentlich langsam vor sich geht, oder anders ausgedrückt, die entstehende Wärme auf eine ungeheuer große Uranmasse verteilt ist; in 6000 Tonnen Uran wandelt sich im Laufe eines Jahres nur ca. 0,9 Gramm um.

Man könnte die Uranspaltung als einen Uran-

zerfall ansehen, der im Gegensatz zu der natürlichen Uranumwandlung, deren zeitlicher Ablauf gänzlich unbeeinflussbar ist, beliebig geregelt werden kann. Physikalisch ist das nicht ganz richtig, weil es ja kein natürlicher spontaner Zerfall ist, sondern die Umwandlung durch in das Uran eindringende Neutronen hervorgerufen wird. Da aber diese Neutronen im Prozeß selbst erzeugt werden und nicht von außen hereingebracht werden, kommt es eigentlich auf dasselbe hinaus, wie wenn das Uran spontan zerfallen würde. Wie schnell eine gegebene Menge Spaltstoff „verbrennt“, hängt ganz von dem eingestellten Leistungsniveau ab. Die Spaltung von 1 Gramm Uran-235 ist seinem Heizwert nach der Verbrennung von 2000 Kilogramm hochwertiger Kohle äquivalent. Aber mit Hilfe einer in den Reaktor eingeführten Regelungseinrichtung, die in der Hauptsache aus Neutronen absorbierenden Stäben oder Platten besteht, steht es ganz im Belieben des Benützers des Reaktors, wie rasch dieses Gramm Spaltstoff verbraucht wird; wenn die Betriebsleistung des Reaktors auf ein Watt eingeregelt ist, reicht dieses Gramm für mindestens 25.000 Jahre, ist die Leistung hingegen auf ein Megawatt eingeregelt, so ist das Gramm Uran 235 schon im Laufe eines Tages aufgezehrt. Im praktischen Betrieb hat man natürlich darauf zu achten, daß jeder Reaktor auf Grund seiner Bauart ein Maximum an Leistung hat, dessen Überschreitung die Beschädigung oder sogar Zerstörung zur Folge haben kann;

das muß unter allen Umständen vermieden werden, eben wieder durch die Regeleinrichtungen.

In den Vereinigten Staaten drängte eine Gruppe von Wissenschaftlern auf die militärische Anwendung der Atomkernenergie. Es war Krieg und es war anzunehmen, daß zwar nicht mit dem Natururan, aber mit dem mehr oder weniger hoch angereichertem Spaltstoff Uran-235 und auch mit dem künstlich gewonnenen Plutonium-239 Explosionswirkungen erzielt werden können, wenn eine kritische Menge des Spaltstoffes in extrem kurzer Zeit überschritten wird. Man hat daher noch während des Krieges im Staate Tennessee große Anlagen errichtet, in denen der Spaltstoff Uran-235 von 0,7% im Natururan mehr oder weniger konzentriert wird. Anreicherungsgrade von 90% und darüber können erreicht werden. Mit der Anreicherung des Uran-235 parallel ging die Produktion von Plutonium in den Hanford Reaktoren und im Jahre 1945 hatte man genügend Spaltstoff, um ein paar „Atombomben“ zur Explosion zu bringen mit den in aller Welt bekannten katastrophalen Folgen. Diese Art der Demonstration der Atomkernenergie hatte die weitere Folge, daß man auch der friedlichen Verwendung der Atomenergie begreiflicherweise das größte Mißtrauen entgegenbrachte und teilweise noch entgegenbringt.

Die Verfügbarkeit von hochangereichertem Uran-235 hatte aber auch eine gute Seite: sie ermöglichte eine weit größere Beweglichkeit im Bau von Reak-

toren. Man konnte bw. jetzt den Graphit durch gewöhnliches, allerdings chemisch sehr reines Wasser ersetzen. An sich ist ja Wasser weit besser befähigt, schnelle Neutronen abzubremesen, es absorbiert nur selbst auch Neutronen, was seine Verwendung in Reaktoren mit Natururan ausschließt. Es war jetzt auch möglich, „billige“ Reaktoren kleiner und mittlerer Leistung für Forschungszwecke zu bauen, denn die Regierung der Vereinigten Staaten erklärte sich bereit, Uran mit bis zu 20% angereichertem Spaltstoff-Uran-235 auch anderen Staaten zur Verfügung zu stellen. Es handelt sich dabei um Forschungsreaktoren, die in der Hauptsache drei Verwendungszwecken dienen: Neutronenphysikalische Experimente, Produktion radioaktiver Isotope und schließlich Materialprüfung, lauter Anwendungen, die in irgendeiner Weise der reinen oder angewandten Forschung zugute kommen. Man ist nur an den Neutronen interessiert, allenfalls auch an der Gammastrahlung, aber nicht an der Wärmeproduktion; man ist im allgemeinen bestrebt, den Reaktor, selbst bei hohen Betriebsleistungen, auf niedriger Temperatur — oft nicht viel ober Zimmertemperatur — zu halten. Das umgekehrte gilt für den Leistungsreaktor, bei dem man in erster Linie an die Wärmeproduktion und zwar bei einer möglichst hohen Temperatur denkt, denn die Wärme soll in elektrische Energie umgesetzt werden.

In Österreich griff zuerst die Unterrichtsverwaltung den Gedanken auf, einen Kernreaktor für Unterrichts-

und Forschungszwecke zu errichten. Es zeigte sich aber bald ein großes Interesse hochschulfremder Kreise, mit divergierenden Absichten, die sich mit dem Betrieb eines Hochschulinstitutes nicht ganz in Einklang bringen lassen. Man entschied sich daher für die Errichtung von zwei Reaktoren. Der eine Reaktor mit einer maximalen Leistung von 5 Megawatt soll vorwiegend den Bedürfnissen der Industrie und Wirtschaft dienen. Dieses Laboratorium befindet sich beim Orte Seibersdorf im Bau. Der zweite Reaktor mit einer Dauerbetriebsleistung von 100 Kilowatt wird am jenseitigen Ufer des Donaukanales errichtet (Ecke Schüttelstraße und Stadionallee). Er wird im Rahmen eines Hochschulinstitutes betrieben werden, das allen österreichischen Hochschulen in gleicher Weise dienen soll und den Namen „Atominstitut der österreichischen Hochschulen“ führt.

Bei der Auswahl des Reaktors war der Hauptgesichtspunkt die absolute Betriebssicherheit. Auch eine fehlerhafte Behandlung des Reaktors darf keine Gefahr für die angrenzenden Wohnbezirke zur Folge haben. Der TRIGA- (Training, Research, Isotope, General Atomic) Reaktor der amerikanischen Firma General Atomic scheint diese Forderung am besten zu erfüllen. Ein Reaktor derselben Type war während der Internationalen Konferenz über die friedliche Anwendung der Atomenergie, die im September 1958 in Genf abgehalten wurde, im Ausstellungsgebäude neben dem Palais des Nations, in dem die Sitzungen stattfanden,

dauernd im Betrieb. Dieser Reaktor hat neuartige Brennstoffelemente, bestehend aus einer homogenen Mischung von Uran (mit 20% Uran-235) und Zirkonhydrid. Mit diesen Brennstoffelementen ist es ausgeschlossen, daß im Betrieb des Reaktors eine unbeabsichtigte Überlastung solchen Ausmaßes vorkommen kann, daß eine Beschädigung der Elemente mit Austritt aktiver Stoffe in's Freie erfolgt. Jede unbeabsichtigte Überlastung des Reaktors stellt sich selbst-

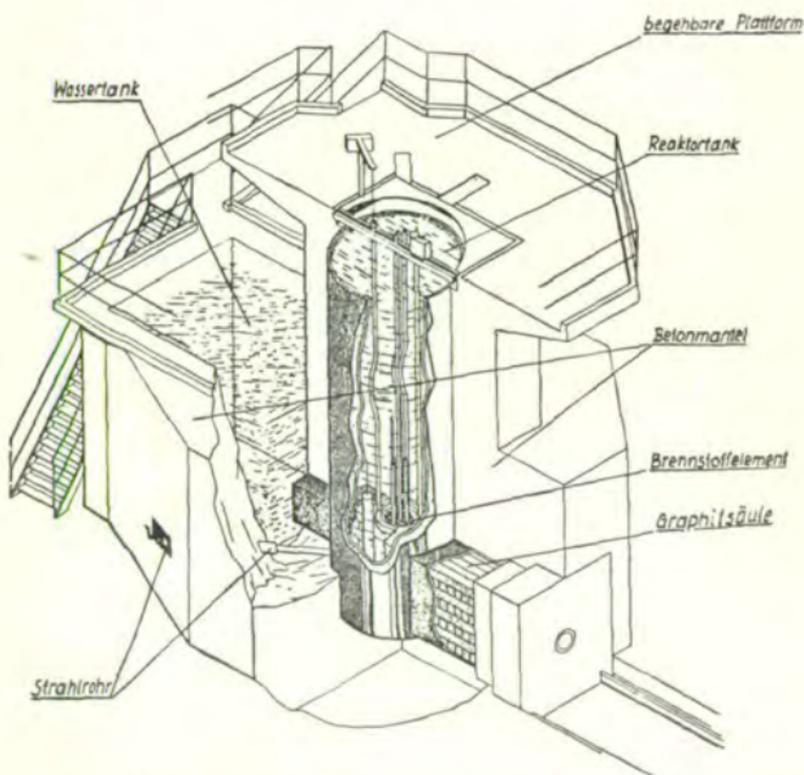


Abb. 1: Der Reaktor des Atominstutts der österreichischen Hochschulen.

tätig auf Grund seiner inneren Eigenschaften auf ein Leistungsniveau zurück, das keine untragbare Temperatur für die Brennstoffelemente im Gefolge hat.

Der Reaktor (Abb. 1) enthält für den Betrieb bei 100 Kilowatt etwa 11 Kilogramm Uran, wovon aber nur etwas mehr als zwei Kilogramm der wirksame Spaltstoff Uran-235 ist. Dieses Uran ist, homogen vermischt mit dem Zirkonhydrid, in zylindrische Stäbe geformt, die einen Durchmesser von ca. 4 cm und eine aktive Länge von etwa 35 cm haben. Ungefähr 60 solcher Stäbe bilden den aktiven Kern des Reaktors und zwar nahe dem Boden eines großen zylindrischen Tanks von etwa 2 Meter Durchmesser und 6,5 Meter Tiefe. Dieser Tank ist mit Wasser gefüllt, das drei Aufgaben erfüllt: es trägt erstens zur Verlangsamung der Neutronen bei, neben dem Wasserstoff des Zirkonhydrids, es absorbiert die von dem Reaktorkern nach oben emittierte, sehr intensive Strahlung, es führt die im Reaktorkern entstehende Wärme ab, zu welchem Zweck es zu einem Kreislauf durch einen Wärmeaustauscher gezwungen wird. Der Wassertank ist rings umgeben von einem mehr als 150 cm dicken Mantel aus Beton besonders großer Dichte (3,5 bis 4 Gramm/cm³), um die in der horizontalen Richtung vom Reaktorkern ausgehende Strahlung zu absorbieren und so den Aufenthalt von Personen in der Umgebung des Reaktors zu ermöglichen. Als Detail der Konstruktion sei kurz erwähnt, daß der Reaktorkern allseits von

einem Graphitmantel umschlossen ist, was eine bessere Ausnutzung des Spaltstoffes zur Folge hat. Eine Besonderheit des Reaktors ist ein drehbarer Ring mit 40 Behältern zur Aufnahme von Materialproben, die in radioaktive Stoffe umgewandelt werden sollen. Der Ring ist in den Graphitreflektor versenkt. Die Drehung des Ringes erfolgt mittels eines Getriebes in einem vertikalen Rohr, das vom Ring an die Wasseroberfläche des Tanks führt. Durch ein anderes vertikales Rohr können die zu aktivierenden Proben ausgewechselt werden.

Weitere Details sind 4 zylindrische Strahlrohre, die vom Reaktorkern durch den Wasser- und Betonmantel nach außen führen. Durch diese Rohre können Neutronen und auch Gammastrahlen aus dem Reaktorkern, wo sie in hoher Konzentration entstehen, in Experimentiereinrichtungen, die außerhalb des Betonschirmes des Reaktors aufgestellt sind, eintreten, z. B. in Neutronenkristallspektrometer u. a. Der im allgemeinen nur 30 cm dicke Mantel aus Graphit, der den Reaktorkern umgibt, durchsetzt an einer Seite den Betonschirm (Fig. 1), was für Bestrahlungen mit langsamen Neutronen, ungestört durch schnelle Neutronen, von Vorteil ist. Auf der der Graphitsäule gegenüberliegenden Seite ist ein großer Wassertank (Fig. 1) angebaut, der zur Untersuchung der Absorption von Neutronen und Gammastrahlen in größeren Materialproben, die in das Wasser einge-

taucht sind, benützt wird, aber auch für andere Bestrahlungsexperimente umgebaut werden kann.

Wenn der Reaktor auf einer Leistung von 100 Kilowatt betrieben wird, ist der Fluß der langsamen Neutronen im Reaktorkern mehr als 10^{12} Neutronen in jeder Sekunde auf den cm^2 .

Um die Leistungsfähigkeit des Reaktors voll ausnützen zu können, sind Laboratorien vorgesehen. Diese sind annähernd im Quadrat um einen kleinen Innenhof angelegt. Die Reaktorhalle mit den Ausmaßen $20 \times 22 \times 15$ Meter Höhe ist in den praterseitig gelegenen Flügel eingebaut. Das ganze Gebäude besteht aus einem unteren und oberen Keller, einem Erdgeschoß und einem oberen Stockwerk. Das tiefergelegene Kellergeschoß enthält alle Installationsleitungen für Wasser, Gas und elektrischen Strom, ferner teilweise die Speichertanks der Abwasseranlage. Das bei den Arbeiten mit radioaktiven Stoffen allenfalls entstehende Abwasser darf nicht direkt in den Donaukanal geleitet werden, sondern muß zuerst in einen der drei, je 20 Kubikmeter fassenden Speichertanks übergeführt werden. Erst nach Messung der Aktivität und entsprechender Behandlung und Entfernung einer allenfalls vorhandenen unzulässig hohen Aktivität darf der Tankinhalt in den Donaukanal abgelassen werden und auch das nur während der Nachtstunden. Der obere Keller enthält im nordwestlichen Flügel des Gebäudes die feinmechanischen Werkstätten und die Laboratorien für die Entwicklung und den Bau nukle-

arer Meßgeräte. Diese Räume haben volles Tageslicht. Der restliche obere Keller enthält das Heizhaus, die elektrischen Versorgungsanlagen, Dunkelkammer für photographische Arbeiten und eine Reihe von Räumen für Spezialzwecke. Im Erdgeschoß sind die Forschungslaboratorien untergebracht und zwar liegen im Nordwestflügel die Räume für physikalische Arbeiten, im Südostflügel die chemischen Laboratorien, die speziell für radiochemische Arbeiten eingerichtet sind. Durchwegs ist die Anordnung getroffen, daß die Laboratorien an einer Seite eines umlaufenden Ganges liegen und die Schreibzimmer an der anderen Seite. Die Laborräume haben durchwegs eine Tiefe von 7 Metern, die Schreibzimmer eine von 5 Metern. Die physikalischen Laboratorien nehmen insgesamt eine Bodenfläche von ca. 180 m² ein, die chemischen eine von 260 m². Die Forschungslaboratorien liegen mit dem Fußboden der Reaktorhalle auf gleichem Niveau. Im oberen Stockwerk sind die Laboratoriumsräume für Studenten und Dissertanten untergebracht, wobei die Trennung zwischen Physik und Chemie in homologer Weise zum Erdgeschoß durchgeführt ist. Auf Physik entfällt eine Bodenfläche von 120 m², auf Chemie ca. 260 m². An der Hauptfront des Gebäudes parallel zum Donaukanal (Süd-West) liegen im Erdgeschoß ein Versammlungs-(Eß-)raum, Gästezimmer, Portierloge, Garderobe für den Hörsaal, der seitlich an den Nordwestflügel angebaut ist mit einem direkten Zugang von der Straße. Der Hörsaal ist aber natürlich

auch vom Institut aus zugänglich; er faßt 170 Personen. Im oberen Stockwerk sind die Verwaltungsräume untergebracht, ferner ein größeres Sitzungszimmer, das auch als Bibliothek dienen wird.

Das „Atominstitut“ wird, wie jedes Hochschulinstitut, zwei Aufgaben zu erfüllen haben: Unterricht und Forschung. Obwohl der TRIGA-Reaktor nur eine Betriebsleistung von 100 Kilowatt gestattet, ist die Neutronenintensität („Neutronenfluß“) etwa 10^{12} Neutronen in der Sekunde auf dem cm^2 , was für viele, wenn auch nicht für alle Forschungszwecke ausreicht. Auch die in den Abmessungen weit größeren Reaktoren aus Natururan und Graphit, die unmittelbar nach dem Kriege in den Vereinigten Staaten und in England für Forschungszwecke gebaut wurden und die eine 10- bis 100-fach höhere Betriebsleistung haben, haben keinen größeren Neutronenfluß, sie ermöglichen nur die gleichzeitige Durchführung einer weit größeren Zahl von Experimenten, weil sie eben viel mehr Bestrahlungsraum und Neutronenaustrittskanäle haben als unser TRIGA. Aber es sind auch mit dem TRIGA Experimente mit Neutronen einheitlicher Geschwindigkeit (Neutronenspektroskopie) möglich. Zur Erzeugung radioaktiver Isotope genügt für viele Verwendungszwecke sogar ein Reaktor mit geringerer Leistung als 100 Kilowatt. Mit dem TRIGA könnte man täglich mehrere hundert Curie radioaktiver Isotope herstellen, d. i. eine Aktivität, die der von einigen hundert Gramm Radium entspricht. Meist

ist man nicht an der Gesamtmenge der Aktivität interessiert, sondern an der Aktivität, die ein Gramm des Stoffes hat, die sogenannte spezifische Aktivität. Von dem in der Biologie viel gebrauchten radioaktiven Phosphorisotop mit der Masse 32 können im TRIGA durch eine etwa 4-tägige Bestrahlung in den oben beschriebenen Behältern des TRIGA 10 Millicurie per Gramm Phosphor erzeugt werden. Von Indium sogar in einer nur etwa dreistündigen Bestrahlung 10 Curie pro Gramm, weil es ein besonders gieriger Neutronenschluckler ist.

Auch das Studium der Änderung der stofflichen Eigenschaften fester Körper unter dem Einfluß von Neutronen und Gammastrahlen ist nicht ausschließlich den Reaktoren mit sehr großem Neutronenfluß vorbehalten. Eine Dosis von ca. 10^{17} Neutronen auf dem Quadratcentimeter in eintägiger Bestrahlung sind mit dem TRIGA erreichbar. Viele organische Kunststoffe zeigen nach einer Bestrahlungsdosis dieser Größenordnung nachweisbare Veränderungen. Überdies ist oft eine Bestrahlungsdauer von einigen Monaten tragbar, wodurch die Dosis etwa verhundertfacht werden kann.

Die ersten Arbeitsjahre nach Inbetriebnahme des Institutes werden natürlich vorwiegend der Organisation des Unterrichtes gewidmet sein. Die wissenschaftliche und technische Ausbildung auf dem Gebiete der Kerntechnik ist keine einfache Aufgabe. Zahlreiche Wissenszweige spielen hinein; um nur

einige aufzuzählen: Physik der Atomkerne, Neutronenphysik, Reaktorphysik, Chemie der radioaktiven Stoffe, Chemische Trennmethode, Isotopentrennmethode, Metallurgie, Maschinenbau, Elektronik und zwar sowohl Starkstromtechnik als auch insbesondere die zur Schwachstromtechnik gehörende Regeltechnik und nukleare Elektronik, die sich seit dem Kriege zu einem enormen Umfang ausgewachsen hat. Eine entscheidende Rolle im Reaktor spielen die Fragen der Wärmeübertragung. Für die Berechnung vieler Reaktorgrößen sind elektronische Rechenmaschinen erforderlich. Die biologischen Wirkungen von Neutronen und anderen Strahlen sind gleichfalls ein wichtiges Gebiet, von dem alle in der Kerntechnik Tätigen etwas wissen müssen. Man sieht schon aus dieser, nicht einmal erschöpfenden, Aufzählung, daß es nicht möglich ist, „Kerningenieure“ etwa in dem Sinne heranzubilden zu wollen, daß sie alle diese Wissensgebiete in gleicher Vollkommenheit beherrschen. Es kann sich nur um die Verfolgung der folgenden Ziele handeln:

1. Einführende Vorlesungen und Übungen, die eine Übersicht über das ganze Gebiet der Kernwissenschaft und Kerntechnik vermitteln, so daß der in einem der klassischen Ingenieurfächer bereits ausgebildete Ingenieur die Stellung und Bedeutung seines Faches in der Kerntechnik verstehen lernt.

2. Allenfalls eine spezielle Weiterbildung in seinem Fach im Hinblick auf die besonderen Verhältnisse und Erfordernisse der Kerntechnik.

Mit dem Bau des Institutsgebäudes wurde begonnen. Zur Zeit sind Teile des unteren Kellers im Rohbau fertig. Bei planmäßiger Durchführung der Bau- und Installationsarbeiten sollte der Reaktor Anfang 1961 betriebsfähig sein*).

Österreich besitzt seit dem Jahre 1910 das Institut für Radiumforschung der Akademie der Wissenschaften, in dem grundlegende Arbeiten auf dem Gebiete der klassischen Radioaktivität und der neueren Kernphysik ausgeführt worden sind. Die Entdeckung der Uranspaltung im Jahre 1938 hat eine neue Entwicklung eingeleitet mit einer kaum schon absehbaren Bedeutung für die technischen und biologischen Wissenschaften und das menschliche Leben überhaupt. Zur Auswertung dieser Entdeckung sind neue apparative Einrichtungen, wie Kernreaktoren, geschaffen worden, die auch die Errichtung neuer Laboratorien notwendig machen. Es erwächst für jedes technisch fortschrittliche Land auch die Verpflichtung, sich mit dieser neuen Entwicklung vertraut zu machen und je nach den verfügbaren Mitteln mehr oder weniger aktiv daran teilzunehmen. Das Atominstitut der österreichischen Hochschulen stellt den sehr bedeutenden Anteil dar, den die österreichische Unterrichtsverwaltung dazu beiträgt.

*) Zur Zeit der Korrektur (Dezember 1960) ist das gesamte Gebäude im Rohbau fertiggestellt und die Errichtung des Reaktors im Gange.