

Uran

Vorräte und Bedarf

Analysen und Prognosen

von

Günther Dietrich, Helmuth Schwarz, Alfred Voss

U R A N

VORRÄTE UND BEDARF ANALYSEN UND PROGNOSEN

von

Günther Dietrich
Helmuth Schwarz
Alfred Voss

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, einen Überblick über die derzeitigen Welturanreserven, ihre Ausnutzung und die besonderen Aspekte für die Versorgung der Bundesrepublik Deutschland zu geben.

Die wichtigsten Uranlagerstätten werden näher beschrieben, und eine Prognose versucht darzustellen, inwieweit sich diese Reserven durch Prospektionsbemühungen vergrößern lassen. Die notwendigen Erweiterungen der bestehenden Erzverarbeitungskapazitäten werden mit Minimalerfordernissen angegeben, und ebenso wird versucht, basierend auf den bekannten Verbrauchsprognosen die theoretischen Uranvorratserschöpfungspunkte anzugeben. Der Zuwachs der nuklearen Energieerzeugung in der BRD wird durch Vergleich mehrerer Literaturangaben prognostiziert. Zusätzlich zu den bekannten Angaben über den Natururanverbrauch zur Elektrizitätserzeugung wird der Einsatz der Prozesswärme berücksichtigt.

Als Ergebnis ist anzusehen, daß der bisher zu beobachtende Trend, bei Verknappung der zugänglichen Uranvorräte verstärkte Bemühungen auf die Prospektion zu richten, immer wieder von Erfolg gekrönt ist und somit eine Besorgnis um zugängliche Uranvorräte unnötig ist.

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Die Entwicklung der Uranvorräte der westlichen Welt	2
2.1 Definitionen	2
2.2 Zuverlässigkeit der Schätzungen	3
2.3 Übersicht der Uranvorratsschätzungen der westlichen Welt	5
2.3.1 Argentinien	5
2.3.2 Australien	6
2.3.3 Brasilien	6
2.3.4 Frankreich	6
2.3.5 Gabun	7
2.3.6 Indien	7
2.3.7 Italien	8
2.3.8 Japan	8
2.3.9 Kanada	8
2.3.10 Mexico	10
2.3.11 Niger	10
2.3.12 Portugal	10
2.3.13 Schweden	11
2.3.14 Spanien	12
2.3.15 Südafrika	12
2.3.16 Vereinigte Staaten von Amerika	12
2.3.17 Zentralafrikanische Republik	15
2.4 Vergleich der Uranvorratsschätzungen	15
3. Uranproduktion und -bedarf in der westlichen Welt	17
3.1 Produktion bis 1969	17
3.2 Entwicklung der Verbrauchsschätzungen	18
3.3 Weiterer Ausblick	20
4. Erschöpfungszeitpunkte der Uranvorräte	21
5. Die zukünftige Entwicklung des Natururanbedarfs in der BRD	22
5.1 Allgemeine und spezielle Probleme der Uranbedarfsprognose	22

<u>INHALTSVERZEICHNIS (Blatt 2)</u>	<u>Seite</u>
5.2 Gegenüberstellung und Analyse einiger Natururanbedarfsprognosen für die BRD	22
5.2.1 Untersuchungen von R. Harde und G. Memmert /13/	23
5.2.2 Rechnungen von K. Wagemann /27/	24
5.2.3 Untersuchungen von H. Recker /23/	24
5.2.4 Untersuchungen der KFK /10, 11/	25
5.2.5 Prognose des BWR /12/	26
5.2.6 Schätzungen von H. Mandel /17/	27
5.2.7 Analyse der vorliegenden Ergebnisse	27
5.3 Der zu erwartende Natururanbedarf für die BRD unter Berücksichtigung des Einsatzes von Kernreaktoren für die Prozeßwärmeerzeugung	28
5.3.1 Natururanbedarf zur Elektrizitätserzeugung	29
5.3.2 Natururanbedarf zur Prozeßwärmeerzeugung	30
Literaturverzeichnis	33

<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	<u>Seite</u>
Tabelle 1: Clarkezahlen, Bauwürdigkeit und Anreicherungsfaktoren verschiedener Metalle	1
Tabelle 2: Uranvorräte in 10^3 sh tn U_3O_8 (Stand Januar 1971)	5 a
Tabelle 3: Schätzungen der Uranvorräte der westlichen Welt unter Berücksichtigung von Preisbereichen (in 10^3 sh tn U_3O_8)	16 a
Tabelle 4: Vergleich der Vorratsschätzungen ab 1959 mit den heutigen Schätzungen im sicheren Preisbereich 10 \$/lb U_3O_8 zzgl. der jeweiligen Produktionen (in 10^3 sh tn U_3O_8)	16 d
Tabelle 5: Uran- a) Produktion und Bedarf der westlichen Welt von 1956 bis 1969 b) Produktionskapazität und Bedarf von 1970 bis 1980	17 a
Tabelle 6: Kumulierte Uranbedarfsschätzungen (in sh tn U_3O_8)	18 a
Tabelle 7: Jährlicher Uranbedarf in 10^3 sh tn U_3O_8	20
Tabelle 8: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8	23
Tabelle 9: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8	24
Tabelle 10: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8 ab 1970	25
Tabelle 11: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8	25
Tabelle 12: Schätzungen der installierten nuklearen Leistungen und des kumulierten Natururanbedarfs	26
Tabelle 13: Leistungsanteil und Uranbedarf	27
Tabelle 14: Elektrizitätsbedarf der BRD bis 2000	29
Tabelle 15: Natururanbedarf zur Elektrizitätserzeugung der BRD bis 2000	30

<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	<u>Seite</u>
Tabelle 16: Natururanbedarf zur Prozeßwärme- erzeugung der BRD bis 2000	31
Tabelle 17: Gesamtnatururanbedarf der BRD bis 2000	32

<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	Seite
Abb. 1: Karte der sicheren Uranvorräte in allen Preisbereichen	5 b
Abb. 2: Karte der möglichen zusätzlichen Uranvorräte in allen Preisbereichen	5 c
Abb. 3: Schätzungen der Uranvorräte der westlichen Welt nach Ländern im Preisbereich 10 \$/lb U_3O_8 in 10^3 sh tn U_3O_8	16 b
Abb. 4: Prospektierung und jeweils neu nachgewiesene Uranreserven in den USA im Preisbereich 8 \$/lb U_3O_8	16 c
Abb. 5: Uranproduktionsstätten in den USA	16 e
Abb. 6: Jährliche Uran- a) Produktion und Bedarf der westlichen Welt 1956 - 1970 b) Prod.- Kapazität und Bedarf 1970 - 1980 geschätzt	17 b
Abb. 7: Uranbedarfsschätzungen von 1959 - 1970 für die Jahre 1970 - 1985 mit eingetragenen Vorratsschätzungen	18 b
Abb. 8: Entwicklung der installierten nuklearen Leistung bis 1980 (- 1985)	19 a
Abb. 9: Uran - Produktion und Schätzungen der Vorräte der westlichen Welt	21 a
Abb. 10: Erschöpfungszeitpunkte	21 b
Abb. 11: Prognose der nuklear erzeugten Prozeßwärme nach M. Kugeler in der BRD	30 a
Abb. 12: Entwicklung des kumulativen Natururanbedarfs der BRD bis zum Jahre 2000	32 a

1. Einleitung

Ein Versuch, die mengenmäßige Beteiligung der Elemente am Aufbau der Erdkruste zu erfassen, wurde von F.W. Clarke bereits 1889 unternommen, als er die Häufigkeit verschiedener Elemente als Funktion ihrer Atomgewichte darstellte. 1908 errechnete er die Durchschnittszusammensetzung der wissenschaftlich zugänglichen oberen 16 km der Erdkruste. Die Werte der prozentualen Beteiligung der Elemente an ihrem Aufbau werden "Clarkezahlen" genannt und heute meist in ppm (parts per million) angegeben (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Clarkezahlen, Bauwürdigkeit und Anreicherungs-faktoren verschiedener Metalle

Element	Clarkezahlen in ppm	Bauwürdigkeit in %	Anreicherungs- faktor
Al	81300	30	3,69
Fe	50000	30	6,0
Cr	200	35	1700
Cu	70	1,0	143
Sn	40	1,0	250
Be	6		
U	4	0,1	250
Mb	2,5		
Sb	1		
Ag	0,1		
Au	0,005		

Die in der Literatur angegebenen Clarkezahlen für Uran schwanken im Laufe der Zeit, je nach Methode der Analyse, zwischen 2 und 9 ppm. Allmählich scheint sich jedoch der als richtig anzunehmende Wert, bei Berücksichtigung der vielfältigen geologischen Lagerstättenarten bei 4 ppm einzupendeln. Uran ist somit häufiger als Gold, Platin, Silber, Antimon u.ä. bekannte Metalle.

Die Lagerstätten des Urans sind praktisch unbegrenzt, und es ist keine Frage, ob die Uranvorräte für eine langfristige Energieversorgung der Zukunft ausreichen werden, sondern ob es im Vergleich zu anderen Primärenergieträgern wirtschaftlich gewonnen und verarbeitet werden kann. Daher tritt neben die geologisch-naturwissenschaftliche

Betrachtung, die in Lagerstätten im weitesten Sinne des Wortes "Sonderfälle der Gesteinsbildung" sieht, die wirtschaftlich-politische sehr stark ins Blickfeld. Sie fragt: "Wo findet man Lagerstätten von einem Anreicherungsgrad und einer Ausdehnung (Intensität und Extensität), die einen Abbau mit wirtschaftlichem Nutzen ermöglichen"?

Hier kommt also die Frage der Bauwürdigkeit hinzu. Sie ist nicht nach naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten zu beantworten, sondern von einer Reihe von Faktoren verschiedenster Art abhängig. Verkehrstechnische, bergrechtliche, klimatische, lohn- und wirtschaftspolitische und vielfach rein politische Gegebenheiten sind hier ausschlaggebend.

Nach bergwirtschaftlichen Begriffen spricht man von einer reinen Uranlagerstätte, sobald der Gehalt an Uran 0,1 % (1000 ppm), bei entsprechender Extensität, überschreitet. Die Bauwürdigkeitsgrenze kann sich jedoch bei Konglomeratvorkommen mit anderen begehrten Elementen wie Gold sehr nach unten verschieben.

2. Die Entwicklung der Uranvorräte der westlichen Welt

2.1 Definition

Es war daher notwendig, bei Schätzungen der Uranvorräte Kategorien zu schaffen, die angeben, zu welchen Kosten nach dem jeweiligen Stand der Technik diese Vorräte gewonnen werden können. Nach internationaler Vereinbarung werden heute drei Preisbereiche unterschieden:

$$\begin{array}{l} < 10 \text{ \$ / lb U}_3\text{O}_8 \\ 10 - 15 \text{ \$ / lb U}_3\text{O}_8 \text{ und} \\ 15 - 30 \text{ \$ / lb U}_3\text{O}_8 \end{array}$$

Diese Preise werden im allgemeinen die Gewinnungskosten und die Gemeinaufschläge der fördernden Unternehmen auf der Basis des jeweiligen allgemeinen Preisniveaus in den einzelnen Ländern enthalten.

In jedem Preisbereich werden zwei Schätzungen angegeben, die eine für "verhältnismäßig gesicherte Vorräte" (Reasonably Assured Resources, Reserves), die andere für "mögliche zusätzliche Vorräte" (Estimated Additional Resources).

Der Begriff "verhältnismäßig gesicherte Vorräte", wie er hier verwendet wird, bezieht sich auf Material, das in bekannten Erzlagerstätten in solcher Art, Menge und Form vorkommt, daß es im angenommenen Preisbereich mit Gewinn

aus der Erde gewonnen und mittels gegenwärtig bekannter hüttenmännischer Methoden aufbereitet werden kann. Die Schätzungen der Gewichtsmengen und des Erzgehaltes beruhen auf bestimmten Probenergebnissen, Messungen an den Lagerstätten und Kenntnis der Erzbeschaffenheit; sie können als rohe Vergleichswerte für Erzreserven im üblichen Sinne, besonders in den untersten Preisbereichen, betrachtet werden.

Der Begriff "mögliche zusätzliche Vorräte" bezieht sich auf vermutetes Material unerforschten Ausmaßes in bekannten Lagerstätten oder in unentdeckten Vorkommen schon bekannter oder vorausgesetzter Uranbezirke ("uranium districts"), das wirtschaftlich auffindbar und ausnutzbar ist. Die Schätzungen von Gewichtsmengen und Erzgehalt der möglichen zusätzlichen Vorräte in bekannten Bezirken beruhen hauptsächlich auf der Kenntnis bekannter Lagerstätten in den gleichen Bezirken. Das Vorhandensein und Ausmaß unentdeckter Lagerstätten in bestimmten unerforschten Gebieten wird auf der Grundlage des Vergleichs mit der Verteilung von Vorräten in bekannten Gebieten gefolgert.

Die Zahlenangaben der Uranvorräte, -Reserven und -Gewinnung beziehen sich im allgemeinen auf U_3O_8 ; die Grundeinheit für geschäftliche Transaktionen ist das im chemischen Konzentrat enthaltene pound U_3O_8 (1 lb = 453,6 g). Bei Angabe von Uranreserven ist jedoch die Einheit 1 sh tn = 2000 pounds = 907 kg gebräuchlich.

2.2 Zuverlässigkeit der Schätzungen

Die Zuverlässigkeit der Schätzungen ist für die verschiedenen Preisbereiche nicht einheitlich. Allgemeine Tendenz ist eine Unterschätzung der Vorräte, wenn die verfügbaren Angaben spärlich sind. Daher dürften die Schätzungen in den höheren Preisbereichen und auch in der Gruppe möglicher zusätzlicher Reserven in einem beträchtlichen Umfang niedrig liegen. Der Grund für die Lücke in den Zahlenangaben liegt in der Tatsache, daß kein unmittelbarer Bedarf an teurem Uran oder an einer zusätzlichen Versorgung mit billigem Uran vorlag. Diese Lage hatte zur Folge, daß erstens nur geringe systematische Schürfungen zur Auffindung zusätzlicher billiger Uranvorräte oder zur Bewertung teurerer Vorräte stattfanden und zweitens nur geringe geologische Forschungen und Entwicklungen auf dem Aufbereitungsgebiet für arme Erze unternommen worden sind, mit Ausnahme der Phosphatlager in den Vereinigten Staaten, der Schiefervorkommen in den Vereinigten Staaten und Schweden und der goldhaltigen Erze in Südafrika; schließlich wurden keine Einzelstudien betrieben, wann, zu welchen Kosten und in welcher Weise ärmere Erze verwendet werden können.

Im Preisbereich von 5 bis 10 \$ wird Erz gewöhnlich in abgesonderten Lagern begrenzten Umfanges gefunden. In

ausgedehnten Gebieten von Ländern wie Australien, Kanada, USA, Frankreich, Portugal und Spanien ist systematisch nach solchen Vorkommen geschürft worden. Weiterhin gibt es noch große unerforschte Gebiete in Australien, Kanada und in den USA; zahlreiche andere Länder sind auf diesem Gebiet noch völlig unerforscht. Zwar sind in den letzten fünf Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen worden, teils mit außerordentlich großem Erfolg (Australien), aber es sind noch zu viele Gebiete vorhanden, in denen nur aufgrund geologischer Rückschlüsse Uran vermutet wird. Deshalb ist eine Schätzung der endgültigen Gesamtvorräte in diesem Preisbereich schwierig. In den gut durchforschten Gebieten dürften viel der an, oder dicht unter der Oberfläche liegenden Vorräte aufgefunden sein. Die Suche nach neuen billigen Uranlagerstätten muß daher in zunehmendem Maße auf neue Gebiete und größere Tiefen gerichtet werden. In beiden Fällen ist die Gewinnung wahrscheinlich schwieriger und teurer.

Notwendigerweise mußte den Schätzungen der Vorräte in jeder Preisgruppe die heutige Technologie zugrundegelegt werden, weil für neue, verbesserte und billigere Verfahren zur Aufbereitung armer Erze sehr wenig Forschung und Entwicklung aufgewendet worden sind. Außerdem gab es nur unzulängliche Studien über neue Verhüttungsmethoden, die zu einer wirtschaftlicheren Ausbeute armer Uranlagerstätten hätten führen können. Zwei Verfahren, die künftige Erwartungen rechtfertigen, sind die Übertragung der Ausrüstung und Methoden großer Kohlenzechen auf ausgedehnte einheitliche Lagerstätten sowie die Verbesserung von Verfahren, die auf der Zuführung von Chemikalien zum örtlichen Auslaugen unterirdischer Uranlager beruhen. Falls billigere Förder- und Aufbereitungsverfahren entwickelt werden, könnten gewisse Reserven, die gegenwärtig in eine bestimmte Preisgruppe eingestuft sind, in eine niedrigere Preisgruppe übernommen werden, so daß ein Anwachsen der Vorräte in dieser niedrigeren Preisgruppe zu erwarten ist.

Zur Entwicklung von Verfahren der Tiefenerforschung besteht außerdem noch das Bedürfnis nach weiteren geologischen Untersuchungen zur Bestimmung der Ausdehnung und Begleitumstände bei Lagerstätten in viel größeren Tiefen als gegenwärtig bekannt.

Aus den vorstehenden Gründen sind die Schätzungen von möglichen zusätzlichen Vorräten unvollständig und versuchsweise Annahmen ausschließlich von bekannten und erreichbaren Gebieten in der Welt; sie sollten nicht als repräsentativ für die endgültigen Vorräte angesehen werden. Besonders die Schätzungen von Vorräten in der hohen Preisgruppe könnten um den Faktor 5, 10 oder noch mehr unterschätzt sein.

Schließlich betonen die Sachverständigen nachdrücklich die Bedeutung des künftigen Bedarfs auf den wachsenden

Anreiz zu geologischer Forschungsarbeit, Ausbeutung und Verhüttung sowie zu metallurgischer Forschung, um die Kenntnisse über die Vorräte zu verbessern und eine breitere Grundlage zur Abschätzung ihrer wirtschaftlichen Verfügbarkeit zu schaffen. In diesem Zusammenhang wurde bemerkt, daß etwaige Kenntnisse über den angenommenen Bedarf einen bedeutenden Anteil daran haben könnten, den Umfang des Interesses und künftigen Aufwandes zu erhöhen, um genauere Angaben über die Uran-Vorräte zur Verfügung zu stellen.

Es sollte auch berücksichtigt werden, daß die vorliegende Untersuchung über die Erzvorräte nur einen Teil bei der vielschichtigen Bewertung der künftigen Rolle der Spaltenergie darstellt. Der Einsatz neuer Reaktortypen kann die Art des Uranverbrauchs infolge besserer Uranausnutzung und zusätzlicher Verwendung von Thorium auf sehr lange Sicht verändern und möglicherweise beruhigen.

2.3 Übersicht der Uranvorratsschätzungen der westlichen Welt

Die in der Tabelle 2 zusammengestellten Daten entstammen den ENEA/IAEA-Reports vom September 1970 und für den Preisbereich 15 - 30 \$/lb U_3O_8 dem Report vom Dezember 1967 /4,6/. Die neuesten Uranvorkommen in Australien, die im ENEA/IAEA-Report vom September 1970 /6/ schon angedeutet waren (The geological potential is excellent for a substantial increase in resources), sind in Tabelle 2 schon berücksichtigt.

Dabei werden

55.000 sh tn U_3O_8	(für Nabarlek (Queensland Mines)
70.000 sh tn U_3O_8	für Ranger-1 (Peko Wallsend-Ez)
und 35.000 sh tn U_3O_8	für Arnhem-Land (Noranda Australia Ltd.)

angesetzt.

Die Gesamtsumme von 1.005.600 sh tn U_3O_8 , die zu Kosten <10 \$/lb U_3O_8 gewonnen werden können, stellt schon eine beträchtliche Reserve dar, deren wichtige Einzelposten nachstehend näher erläutert werden. Eine graphische Darstellung, aufgeteilt in verhältnismäßig sichere und zusätzlich mögliche Vorräte, ist in den Abb. 1 und 2 vorgenommen.

2.3.1 Argentinien

Die angegebenen Vorräte in der Preiskategorie <10 \$/lb U_3O_8 basieren auf Daten, die aus vorhandenen Uranlager-

Tabelle 2: Uranvorräte in 10^3 sh tn U_3O_8 (Stand Januar 1971)

Preisbereich	10 \$/lb U_3O_8		10-15 \$/lb U_3O_8		15-30 \$/lb U_3O_8		
Land (Abkürzg.)	Art d.Vorr.	verh.-m.s. Vorräte	mogl.zus. Vorräte	verh.-m.s. Vorräte	mogl.zus. Vorräte	verh.-m.s. Vorräte	mogl.zus. Vorräte
Argentinien (RA)		10.0	22	11	33	15	73
Australien (AUS)		182	6.7	9.2	6.6	1.4	
Brasilien (BR)		1.0	1.0				101
Dänemark (DK)				5			
Frankreich (F)		45	25	9.0	15.5		
Gabun		13.5	6.5		6.5		
Indien (IND)				3	1	24	61
Italien (I)		1.5		10		20	
Japan (J)		2.7		4.5			
Kanada (CDN)		232	230	130	170	100	300
Marokko (MA)		6		11		8	
Mexico (MEX)		1.3		1.2			
Niger (NIG)		26	39	13	13		
Portugal (P)		9.6	7.7		30		10
Schweden (S)				350	50	150	200
Spanien (E)		11		10		15	250
Südafrika (ZA)		200	15	65	35	55	70
USA (USA)		250	510	140	300	100	440
Zentralafrik. Republik (RCA)		10.4	10.4				
Sonstige		3.6	11	1.5			
Total:		1005.6	884.3	773.4	660.6	488.4	1505

ABB. 1: KARTE DER SICHEREN URANVORRÄTE IN ALLEN PREISBEREICHEN

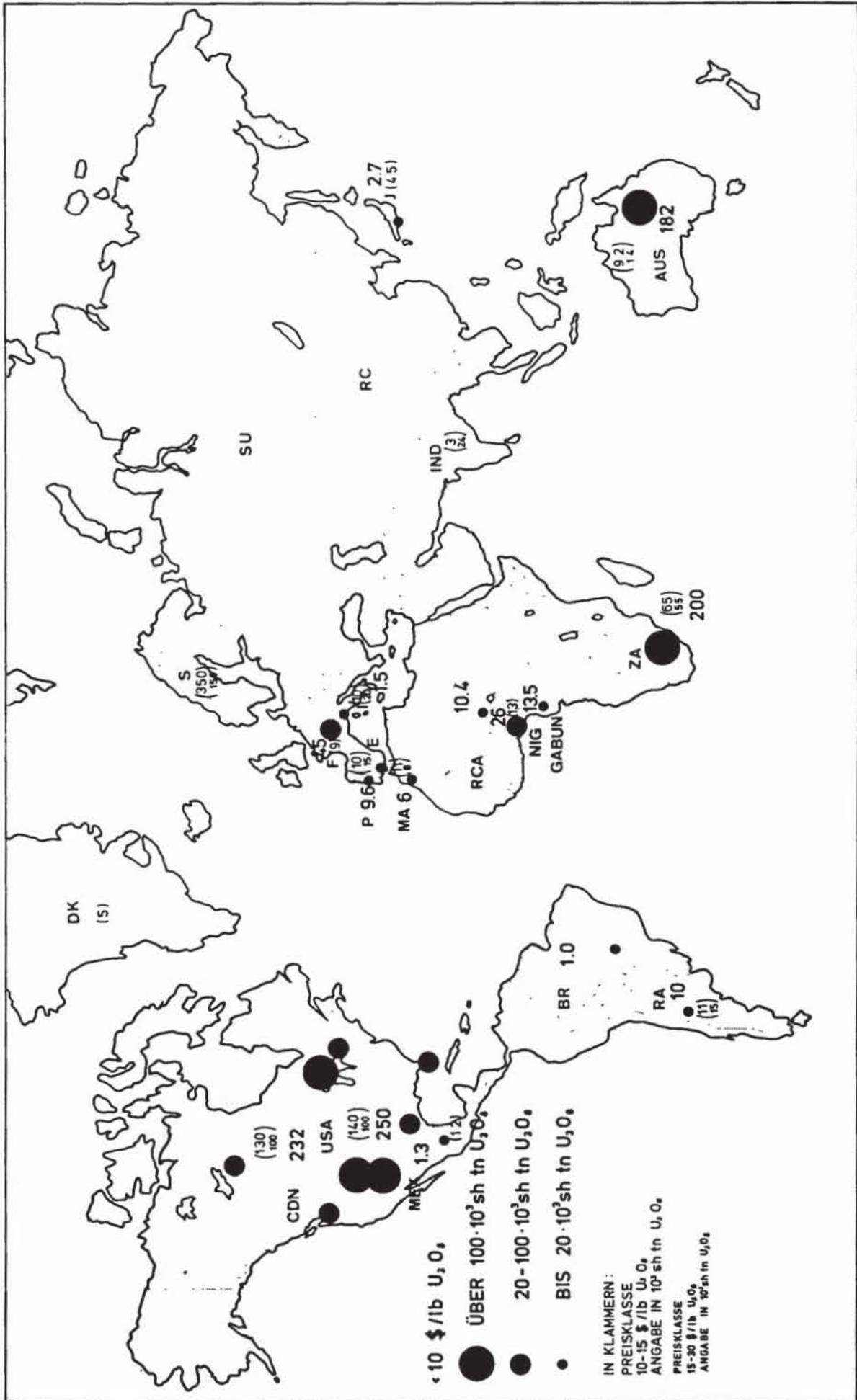
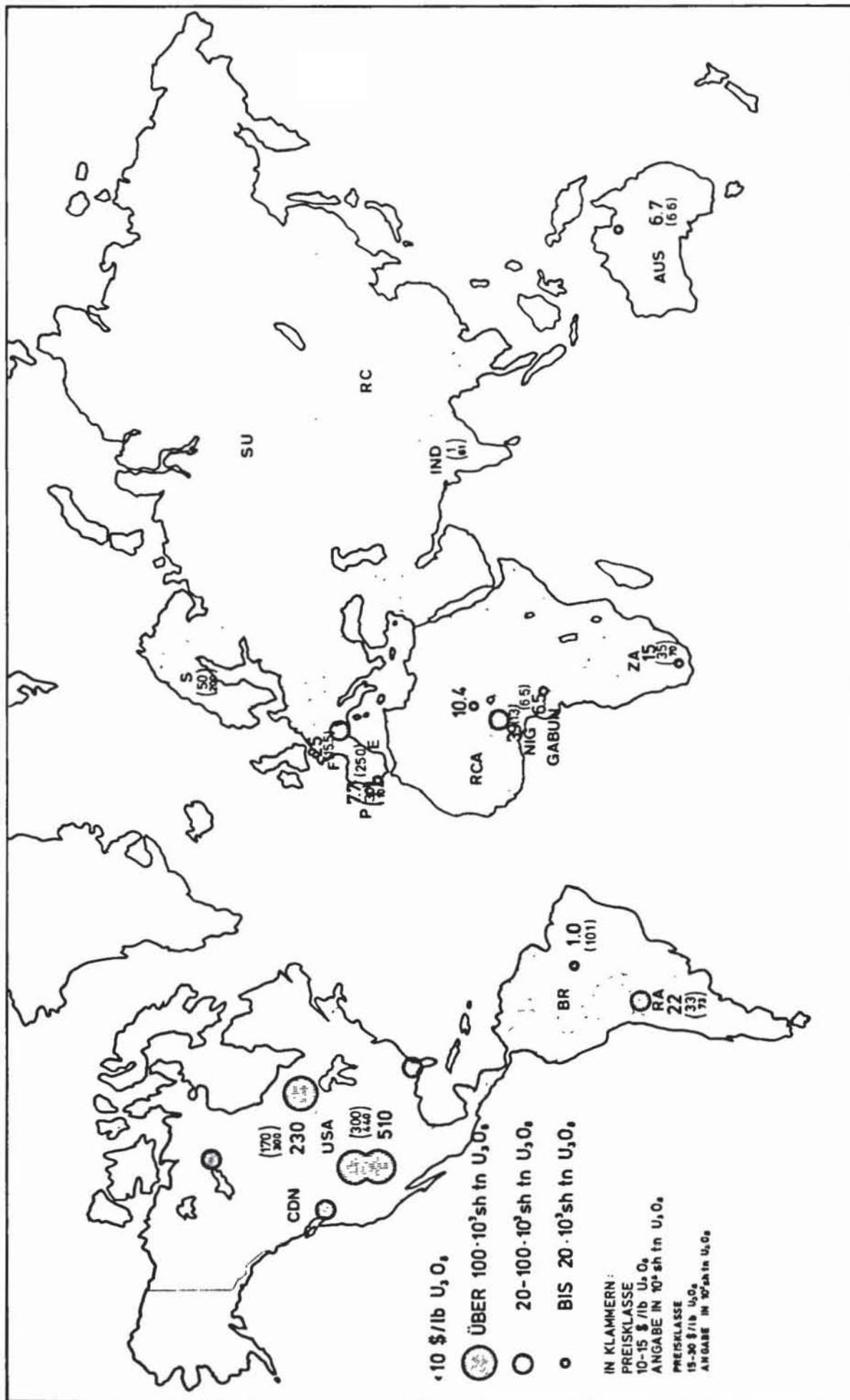


ABB. 2: KARTE DER MÖGLICHEN ZUSÄTZLICHEN URANVORRÄTE IN ALLEN PREISBEREICHEN



stätten gewonnen und durch verstärkte Explorationstätigkeit erhärtet wurden. Durch geologische Untersuchungen konnte ein 400.000 km² großes Gebiet als mögliches Uranlager erkannt werden. Ebenso ist ein 900.000 km² großes Territorium als mögliches Urangeland anzusehen.

Die Prospektionstätigkeit ist in den letzten 3 Jahren erheblich intensiviert worden, und es ist in nächster Zeit mit weiteren Vorratsfunden zu rechnen. Vorerst ist das Uran für den einheimischen Bedarf vorbehalten.

2.3.2 Australien

Durch die jüngsten Funde im Northern Territory haben sich die Vermutungen der Fachleute bestätigt. Bisher kamen die Uranerze in kleinen bis mittelgroßen hydrothermalen Ganglagerstätten mit Anreicherungen von 0,07 - 0,9 % (1,4 bis 18 lb U₃O₈/sh tn Erz) vor. Die neuen Funde sind in größeren, ähnlich gearteten Lagerstätten angetroffen worden, jedoch mit weit höheren Anreicherungen.

Ebenso werden große Anstrengungen unternommen, um in Western Australia, Western Queensland und im Rum Jungle-Gebiet neue Uranfelder zu entdecken. Die Aussichten scheinen ziemlich erfolgversprechend zu sein.

Bei größerer Nachfrage nach australischem Uran werden auch die vorhandenen Produktionskapazitäten für "Yellowcake" durch Inbetriebnahme alter Anlagen ausgeweitet werden können.

2.3.3 Brasilien

In Brasilien kommen alle Uranreserven in Verbindung mit anderen Erzen vor, mit Ausnahme der in Tabelle 2 aufgeführten Mengen im Preisbereich < 10 \$/lb U₃O₈.

In Araxa werden in Niobzlagern ca. 6.500 sh tn U₃O₈ mit einer möglichen Ausweitung auf 45.000 sh tn U₃O₈ vermutet; in Jacobina ca. 2.000 sh tn U₃O₈ in Goldlagerstätten und in Olinda bis zu 44.000 sh tn U₃O₈ in Phosphatlagern. Alle diese Lagerstätten sind jedoch nur in die Preisklasse 15 - 30 \$/lb U₃O₈ einzuordnen.

2.3.4 Frankreich

Die Schätzungen der verhältnismäßig gesicherten Vorräte und der möglichen zusätzlichen Reserven in Frankreich, die mit 45.000 bzw. 25.000 sh tn U₃O₈ für die Preisgruppe von 5 bis 10 \$ bewertet werden, sind aufgrund der ausgedehnten Schürfungen und der durchgeführten Untersuchungen in Frankreich sehr genau. Der Hauptteil der zur Zeit fest-

gestellten Vorräte findet sich in aderartigen Lagerstätten von kristallinen Gesteinen. Die Schätzungen der möglichen zusätzlichen Vorräte beruhen auf der Ausdehnung dieser Vorkommen sowohl in der Breite als auch in der Tiefe sowie auf dem Vorhandensein mehrerer Oberflächenvorkommen in Gebieten, die bereits erschlossen sind und bei denen Untersuchungen in größeren Tiefen noch kaum begonnen haben.

Die Schätzungen im Preisbereich von 10 - 15 \$ wurden vorgenommen unter Berücksichtigung einerseits der bereits erkannten Vorkommen niedrigen Gehaltes durch Erweiterung der heute abbaubaren Gebiete, andererseits einiger Vorkommen, die zur Zeit nicht abgebaut werden, weil sie einen zu niedrigen Gehalt haben.

Die verhältnismäßig geringe Bedeutung dieser Vorräte im Preisbereich über 10 \$ kommt daher, daß zumindest heute noch keine bedeutenden Formationen in Frankreich bekannt sind, insbesondere keine sedimentären Formationen (schwarzer Schiefer, Phosphate), die Uran in beachtenswerter Konzentration enthalten.

Man kann jedoch mit Recht sagen - und zweifellos gilt dies für alle Erzeugungsländer - daß, solange ausreichende Ergebnisse für die Vorkommen im Preisbereich von 5 - 10 \$ erzielt werden, die Untersuchungen für Vorkommen geringerer Qualität nicht systematisch genug durchgeführt werden, als das einem Vergleich der Zahlen für Reserven unter und über 10 \$ Bedeutung zukäme.

2.3.5. Gabun

Im Preisbereich $<10 \text{ \$/lb } U_3O_8$ resultieren die Erhöhungen der sicheren Uranreserven auf 13.500 sh tn U_3O_8 aus den großen Prospektionsbemühungen im Bereich Mounana. Die wahrscheinlichen Vorräte liegen in der Nähe der sicheren Vorräte, wobei eine Ausdehnung in Breite und Tiefe geschätzt wurde.

Im höheren Preisbereich 10 - 15 $\text{\$/lb } U_3O_8$ werden die möglichen Vorräte in Sedimentablagerungen zwischen Mounana und Franceville vermutet. Da die genauen Konzentrationen nicht bekannt sind, müssen sie als "mögliche zusätzliche Vorräte" eingestuft werden.

Zur Aufbereitung und Vorkonzentration der gewonnenen Erze steht eine Anlage mit einer Kapazität von 780 sh tn U_3O_8/a zur Verfügung. Die Weiterverarbeitung zu "Yellowcake" wird in Frankreich vorgenommen.

2.3.6 Indien

Die hauptsächlichen Schürfanstrengungen durch die indi-

sche Atomenergiekommission ist auf die Bewertung der Uranlagerstätten im Singhbhum-Gebirgszug im Bezirk Bihar (Nordwestindien) gerichtet. Andere aussichtsreiche Anzeichen wurden in den Provinzen Rajasthan, Punjab und Ober-Pradesh geortet und lassen vermuten, daß dort große Aussichten für die Entdeckung beträchtlicher Mengen an Erzen zu niedrigen Kosten bestehen.

Die Gesamtreserven im Singhbhum-Gürtel sind beachtlich; aber der Erzgehalt ist zumeist arm, und wahrscheinlich gibt es keine Reserve in der Preisgruppe 5 - 10 \$.

Die veröffentlichten Vorräte im Preisbereich 10 - 15 \$/lb U_3O_8 beziehen sich auf Uranerze mit einem U_3O_8 -Gehalt von 0,05 bis 0,07 %. Die Vorräte im Preisbereich 15 - 30 \$/lb U_3O_8 sind im Singhbhum-Gebirgszug, in den Kupfererzen des Roam-Rakha-Tamapahar-Gebietes und besonders in den reichlich vorhandenen Monazit-Sanden vermutet worden. Ebenso werden mengenmäßig große Reserven in den Himalayas und in den Hochebenen des inneren Landes vermutet.

2.3.7 Italien

In Italien wurden erst in den letzten Jahren verstärkte Bemühungen unternommen, Uranvorkommen aufzuspüren. Zu den angegebenen Vorräten im Preisbereich <10 \$/lb U_3O_8 kommen noch Mengen in den höheren Preisbereichen als Nebenprodukte bei der Zirkon-, Titan- und Seltenen Erden-gewinnung. In den Alpen und der Provinz Latium werden weitere Prospektionen unternommen, die erfolgversprechend zu sein scheinen.

Eine "Yellowcake"-Pilotanlage mit einer Jahreskapazität von 120 t U_3O_8 soll 1973 in Betrieb gehen.

2.3.8 Japan

Alle bis jetzt erschlossenen japanischen Erzreserven sind in dem Ningyo-toge-Lagerstättentyp enthalten, der durch epigenetische Vererzung von Neogene-Sandstein und -Konglomeraten entstanden ist. Die Japaner haben festgestellt, daß bei vorhandenem Erzgehalt (0,03 % U_3O_8) die Gewinnungskosten bei Direkterzeugung ohne Umweg über "Yellowcake" unter 10 \$/lb U_3O_8 liegen können. Das japanische Erzvorkommen beruht aber wahrscheinlich in der Hauptsache auf Material, das mit 10 - 15 \$/lb U_3O_8 aus-zubeuten ist.

2.3.9 Kanada

Die Reserven in den Konglomeraten des Agnew-Lake und

Elliot-Lake-Gebietes in Ontario stellen 93 % der gesamten kanadischen Vorkommen dar. Die Reserven in pechblendehaltigen Vorkommen in Form von Adern in der Gegend des Beaverlodge-Sees in Saskatchewan umfassen 6 % und die Pegmatitvorkommen im Gebiet von Bancroft in Ontario machen ungefähr 1 % aus. Bei der Schätzung der Reserven wurden die Extraktionsverluste bei der Förderung und der metallurgischen Behandlung berücksichtigt. Im Elliot-Lake-Gebiet sind mehr als 20 % des Erzes als Bergwerkspfeiler verblieben, die teilweise mit fortschreitendem Abbau ausgenutzt werden können, die jedoch in diesen Reserven nicht enthalten sind. Der Ertrag der Erzgewinnungsanlagen beträgt 95 %.

Im Preisbereich von 5 - 10 \$ umfassen die Reserven im Untertagebau geschürfte und durch Bohrlöcher erkannte Erze. Diese Mengen können mit den heutigen technischen Mitteln gewonnen werden. Für die Preisbereiche von 10 - 15 \$ werden die verhältnismäßig gesicherten Vorräte mit einem Gehalt von 0,03 - 0,07 % U_3O_8 an den Rändern der Erzzonen gefunden, die von den heutigen Arbeitsstätten aus erreichbar sind. Konglomerate mit 0,01 - 0,03 % U_3O_8 , die im Elliot-Lake-Gebiet und in den Huron-Bergen reichlich vorhanden sind, finden sich auch in anderen Teilen dieses Gebietes. Diese Vorräte fallen in den Preisbereich von 15 - 30 \$, obwohl die tatsächlichen kanadischen Schätzungen auf einen Preisbereich von 15 - 20 \$ abgestellt waren.

Die gesamte Erzeugung im Elliot-Lake-Gebiet kommt aus den Quarzkiesel-Konglomeraten von Matinenda, die auf der Schicht der proterozoischen Huron-Sedimente liegen. Diese Formation, die sich über ein Gebiet von mehr als 18.000 km² in einer Tiefe von weniger als 2.000 m erstreckt, bietet die größte Wahrscheinlichkeit neuer Funde dieses Typs. Uran wurde auch in anderen Schichten der Huron-Sedimente erkannt, die sich über ein Gebiet von mehr als 50.320 km in Nord-Ontario erstrecken; eine weitere Erforschung dieser Gebiete ist gesichert. In einigen proterozoischen Sedimenten der nordwestlichen Territorien wurden Radioaktivitäten festgestellt; deshalb erwartet man, daß in diesen und ähnlichen unerforschten proterozoischen Sedimenten künftig geschürft wird. Die gesamte Gewinnung aus den Pechblende-Adern kam vom Port-Radium-/Marian-River-Gebiet in den Nordwest-Territorien und vom Beaverlodge-Distrikt im nördlichen Saskatchewan. Diese Gebiete und der Makkovik-Distrikt an der Küste von Labrador mit ihrem ähnlichen geologischen Aufbau bieten die größte Wahrscheinlichkeit neuer Lagerstätten dieses Typs.

Radioaktive Pegmatite und verwandte Vorkommen sind die Gewinnungsgrundlage des Bancroft-Distrikts im südlichen Ontario und wurden in vielen Teilen des präkambrischen Schilds, den Kordilleren und den Appalachen, gefunden.

Die Verstreutheit der radioaktiven Stoffe machte die meisten dieser Vorkommen zu den herrschenden Preisen unwirtschaftlich, aber in den höheren Preisbereichen sind sie interessanter. Etwas Uran könnte auch bei der Gewinnung anderer Elemente, wie Niob und Molybdän, als Nebenerzeugnis anfallen.

2.3.10 Mexico

Durch intensive Prospektion und Versuchsbohrungen sind Vorräte der Preisklasse unter 10 \$/lb U_3O_8 und von 10-15 \$/lb U_3O_8 entdeckt worden. Zur Zeit werden pro Jahr 40 sh tn U_3O_8 -Konzentrate in einer Produktionsanlage auf Alkalibasis verarbeitet.

2.3.11 Niger

Die Prospektionen, die das CEA-Frankreich in den Jahren 1968 bis 1970 durchgeführt hat, führten im Tin Merso-Becken zu Funden von 26.000 sh tn U_3O_8 mit Gewinnungskosten <10 \$/lb U_3O_8 . Die zusätzlichen Vorräte in diesem Gebiet und dieser Preisklasse werden auf ca. 39.000 sh tn U_3O_8 geschätzt. Die in der Preisklasse 10-15 \$/lb U_3O_8 ausgewiesenen sicheren und möglichen Vorräte basieren auf Funden vor 1967, die im ganzen Land verstreut liegen.

1971 soll eine Erzverarbeitungsanlage mit einer jährlichen Ausstoßkapazität von 970 sh tn U_3O_8 den Betrieb aufnehmen. Eine Erweiterung dieser Anlage auf 1.940 sh tn U_3O_8 ist für 1974 geplant.

2.3.12 Portugal

Eine systematische Uranschürfung wird in Portugal selbst seit 1955 durchgeführt, und zwar in allen geologisch aussichtsreichen Gebieten. Ungefähr 380 Lagerstätten oder Vorkommen wurden bis heute in kahlen Gegenden entdeckt; diese Vorkommen werden im allgemeinen in tektonisierten Gebieten mit entweder monozitischem Granit oder vor-ordovizischen Meta-Sedimenten gefunden.

Bei ungefähr 35 % der erkannten Vorkommen, die als die aussichtsreichsten angesehen werden und die entweder in Adern oder als Einlagerungen in Schiefer lagern, wurden intensive Untersuchungen durch Bohrungen und bergmännische Arbeiten vorgenommen, was die Schätzung von verhältnismäßig gesicherten Vorräten ermöglichte. Die angegebenen Zahlen sind vorläufig, jedoch sehr konservativ, da zusätzliche Untersuchungsarbeiten zur Zeit an einigen ausgedehnteren Lagerstätten mit höheren Mengen noch durchgeführt werden. Frühere Veröffentlichungen beziehen sich allein auf diese verhältnismäßig gesicherten Vorräte.

Sehr vorsichtige Schätzungen wurden für die möglichen zusätzlichen Vorräte in Lagerstätten des obengenannten Typs und für die radioaktiven Granite bei S. Pedro do Sul gemacht.

In Cabinda (Angola) wurden ins einzelne gehende vollständige Untersuchungen von Phosphatlagerstätten in der oberen Kreide und im Eozän durchgeführt, wodurch verhältnismäßig gesicherte Schätzungen für Phosphat von 18 Mio sh tn Erz möglich waren. Die möglichen zusätzlichen Vorräte liegen bei 11 Mio sh tn Erz; die Uran-Gehalte sind ungleichmäßig verteilt, aber manchmal außergewöhnlich hoch (0,05 bis 0,20 % U_3O_8).

Zur Bestimmung des Umfanges dieser Vorkommen sowie über die Art und Verteilung des Urangehaltes sind zusätzliche Untersuchungen geplant. Eine vorläufige Schätzung der möglichen zusätzlichen Vorräte beläuft sich auf ungefähr 15.000 sh tn U_3O_8 , und zwar unter der Annahme, daß das ganze Phosphat für die Urangeinnung verarbeitet würde.

2.3.13 Schweden

Die meisten uranhaltigen Schiefervorkommen finden sich im unteren Kambrium, besonders in der Zone von Peltura. Der Urangehalt von 0,02 % und mehr kommt nur in den Schiefer-schichten der mittleren und tieferen Teile der Peltura-Skarabäoidenzone vor. Diese Teile des Vorkommens enthalten auch Kolm, ein sonst nirgend auf der Welt bekanntes Material.

Die Alaunschiefer sind feinkörnig (1-10 μ m), bituminös-bräunlich-schwarz bis schwarz mit einer Dichte von etwa 2,1 g/cm³. Die Zusammensetzung ist eine Mischung von wasserstoffreichen und sauerstoffarmen organischen Substanzen, Kerogene, zusammen mit Pyriten, Quarzen, Illiten, Feldspaten und Kaoloniten. Das Uran ist in einer dispersen Form anwesend und ist noch nicht in ein gegebenes Mineral überführt worden.

Die Uranvorräte in den bedeutendsten Gebieten Süd- und Mittelschwedens sind folgende :

Västergötland	3.000 Mio tons,	0,03 % U,	1,17 Mio sh tn U_3O_8
Närke	700 Mio tons,	0,02 % U,	0,2 Mio sh tn U_3O_8

Die Verfügbarkeit, der Gehalt der Erzausbeute in der Mine nach der Raum- und Pfeiler-Methode sowie die Ausbeute durch Behandlung in der Mühle kann dahingehend beurteilt werden, daß schätzungsweise höchstens 35 % des Urangehaltes dieser uranreichen Zonen der Schiefervorkommen in den Provinzen Västergötland und Närke auszubeuten sind. Man erwartet, daß die Vorräte in Västergötland überwiegend zum Preis von 10-15 \$ ausnutzbar sind.

Die Uranvorräte in ähnlichen Schieferformationen der Kaledonischen Bergkette sind sehr wenig erforscht.

2.3.14 Spanien

Obwohl von der Junta de Energia Nuclear in den vergangenen Jahren systematisch die geologisch vielversprechenden Gebiete genau untersucht worden sind, haben sich die sicheren Vorräte, die zu weniger als 10 \$/lb U_3O_8 gewonnen werden können, seit 1967 nicht vermehrt. Es wurden jedoch im Ebro-Becken sichere Vorräte in der Höhe von 10.000 sh tn U_3O_8 im Preisbereich 10-15 \$/lb U_3O_8 entdeckt, die in Ligniten und sedimentären Formationen enthalten sind.

Für den höchsten Preisbereich, 15-30 \$/lb U_3O_8 , wurde eine große Quarzit-Lagerstätte in den Despeñaperros mit 0,03-0,07 % U_3O_8 -Gehalt gefunden. Dieser Quarzit ist jedoch widerspenstig; es scheint aber, daß ein Teil der Vorkommen für die Gewinnung von Uran in diesem Preisbereich abgebaut werden kann.

Zur Zeit besteht in Andujar eine Produktionsanlage mit einer jährlichen Kapazität von 72 sh tn U_3O_8 . 1973 soll bei Ciudad Rodrigo eine weitere Anlage mit einer Kapazität von 400 sh tn U_3O_8 den Betrieb aufnehmen.

2.3.15 Südafrika

Das südafrikanische Uran, insbesondere im Preisbereich <10 \$/lb U_3O_8 , wird als Nebenerzeugnis der Goldgewinnung gefördert. Insgesamt sind zur Zeit über 90 % aller bekannten Uranvorräte in Konglomeraten mit Gold gebunden (Witwatersrand, Klerksdorp und Orange Freistaat).

In neuerer Zeit werden sehr intensive Prospektionen in Südwestafrika in Rössing bei Swakopmund vorgenommen. Dort scheinen ausgedehnte niedrig angereicherte Uranvorkommen zu sein, die im Tagebau zu gewinnen sind.

Die momentane Produktionskapazität in Südafrika an U_3O_8 beträgt 4.260 sh tn. Dies soll einerseits in diesem Jahr durch Inbetriebnahme neuer Anlagen um 1.100 sh tn erhöht werden und andererseits können einige alte Anlagen, die Anfang der sechziger Jahre stillgelegt worden sind, wieder in Betrieb genommen, die Gesamtkapazität auf 6.000 sh tn U_3O_8 erhöhen.

2.3.16 Vereinigte Staaten von Amerika

Vom Jahre 1966 an wurden bis 1970 durch erheblich erhöhte Explorationstätigkeit insgesamt 106.000 sh tn U_3O_8 neu entdeckt. Abzüglich der Produktion von 36.000 sh tn U_3O_8 in diesem Zeitraum, erhöhten sich die sicheren Vorräte im

Preisbereich <10 \$/lb U_3O_8 auf 250.000 sh tn U_3O_8 .

Die verhältnismäßig gesicherten Vorräte im Preisbereich von 5-10 \$ umfassen alle geschätzten Erzreserven der verschiedenen Vorkommen, die von der USAEC zusammengerechnet wurden. Die angewandten Methoden und Kriterien beruhen auf den Erfahrungen bei der Schätzung der Reserven von ungefähr 3.000 Uranvorkommen innerhalb einer Zeitspanne von 20 Jahren. Es wurden konventionelle technologische Methoden und statistische Analysen benutzt. Nur Erze, deren Vorhandensein durch Proben und aufgrund technischer Analysen als wirtschaftlich abbaufähig nachgewiesen sind, wurden einbezogen. Daher ist anzunehmen, daß die wirklichen sicheren Vorräte um ungefähr 50.000 sh tn U_3O_8 höherliegen.

Für den Preisbereich 10-15 \$ wurden Schätzungen, soweit möglich, durch Anwendung der gleichen Technik angestellt. In einigen Fällen wurden die Schätzungen nur auf der Basis vorläufiger Schätzungen gemacht. Für den Preisbereich 15-30 \$ beruhen sie in erster Linie auf der Analyse der Qualitätsverteilung in verschiedenen Vorkommen und Gebieten.

Die Schätzungen der heutigen Erzreserven im 5-10 \$-Preisbereich sind wahrscheinlich bis auf 10 % genau. Diese Zuverlässigkeit ergibt sich aus der Methode und dadurch, daß sich die Fehler bei der Schätzung der einzelnen Vorkommen untereinander ausgleichen.

Bei den höheren Preisbereichen weisen die Schätzungen eine erheblich geringere Zuverlässigkeit auf. Probenangaben für das Material sehr geringer Qualität, das in diesen Preisbereichen häufig ist, sind oft von unbestimmter Zuverlässigkeit, unvollständig oder sie existieren nicht, wodurch Analysen, ähnlich denen, die im Preisbereich von 5-10 \$ durchgeführt wurden, ausgeschlossen sind. Jedoch unter Berücksichtigung der heutigen Kenntnisse und der verwendeten Methoden werden sich die Schätzungen kaum als zu hoch erweisen; sie könnten eher zu niedrig sein.

Die Reserven im Preisbereich von 5-10 \$ sind in einer verhältnismäßig kleinen Anzahl bedeutender Vorkommen und in vielen kleinen Vorkommen enthalten. Die 9 größten Vorkommen enthalten über 40 % der Reserven. Die Vorkommen liegen nicht sehr tief; über 82 % der Reserven kommen in Lagerstätten vor, die weniger als 240 m tief liegen und 49 % in Lagerstätten von weniger als 100 m Tiefe. Über 56 % der Reserven können im Tagebau gewonnen werden.

Obwohl die Uranlagerstätten der USA in den verschiedensten Gesteinen vorkommen und viele Formen haben, so finden sich doch ungefähr 94 % in groben Sedimentablagerungen, ungleichmäßig geformt, jedoch allgemein in flachen Schichten. Über 90 % der Reserven kommen in Sedimenten des Jura oder des Tertiär vor. Fast 41 % der Reserven finden sich im Colorado-Plateau und ungefähr 42 % in den Wyoming-Becken.

Der Rest ist überall im Westen der USA weit verstreut. Der durchschnittliche Gehalt der Erzreserven im Preisbereich von 5-10 \$ liegt bei 0,24 % U_3O_8 .

Heutige Erfahrungen haben gezeigt, daß eine sehr hohe bergmännische Gewinnung erzielt werden kann. Die Mühlenausbringung ist ebenfalls sehr hoch (besser als 95 % für den Preisbereich 5-10 \$, und wahrscheinlich mehr als 90 % für den Preisbereich 10-15 \$).

Die örtlichen Reserveschätzungen für diese Preisbereiche wurden deshalb nicht durch einen Extraktionsfaktor vermindert. Im 15-30 \$-Preisbereich wären neuere größere Mühlen oder die Vermehrung der vorhandenen Mühlen für eine wirtschaftliche Verarbeitung des Materials niedriger Qualität notwendig. Der Mahlvorgang würde wahrscheinlich nur in der Größenordnung von 80 % bis 90 % liegen. Der Ertrag der Minen wird von dem technischen Stand der jeweiligen bergmännischen Methoden abhängen. Angesichts der Ungeißheit auf diesem Gebiet und der Art der Schätzungen selbst wurde kein Extraktionsfaktor angewendet. Außer in den konventionellen Lagerstätten bestehen weitere Uranvorkommen in phosphathaltigem Gestein. Uran kann als Nebenerzeugnis bei der Gewinnung von Phosphorsäure zur Herstellung von Dreifach-Superphosphat gewonnen werden. Uranreserven in Phosphatvorkommen und als mögliches Nebenerzeugnis wurden für das Phosphatvorkommen in Florida und für die phosphorhaltigen Vorkommen im Westen der USA geschätzt. Diese Schätzungen von Reserven und die möglichen Gewinnungskosten für Uran im Phosphat beruhten auf ausführlichen geologischen und technologischen Angaben. Für die höheren Preisbereiche von 15-30 \$ wurde der Prozeß der Extraktion von Uran aus ausgelaugten Zonen laboratoriumsmäßig getestet und als durchführbar angesehen, jedoch noch nicht in industriellem Umfang durchgeführt.

Die Schätzungen der möglichen zusätzlichen Vorräte beschränken sich auf mögliche konventionelle Vorkommen in Sandstein und Schichten wie denen, die heute in den im Betrieb befindlichen Bergwerksgebieten erkundet wurden und auf die Möglichkeit zusätzlicher Gewinnung aus Phosphat in höheren Preisbereichen. Die Schätzungen möglicher Entdeckungen in konventionellen Vorkommen umfassen sowohl bekannte Urangebiete, als auch noch unerschlossene Bezirke im Westen der USA.

Da die Oberflächenschürfung im Westen der USA bereits sehr ausgiebig betrieben wurde, ist es zweifelhaft, ob noch viele, dicht unter der Oberfläche liegende Uranvorkommen zu entdecken sind. In der Zukunft werden neue Gebiete schwer zu finden sein, die Schürfungen werden tiefer und mit höheren Kosten durchgeführt werden müssen, und die Förderkosten werden wegen der größeren Tiefe der Vorkommen im allgemeinen höher sein.

Schätzungen möglicher zusätzlicher Uranvorräte umfassen:

Berücksichtigung der Ergebnisse früherer Untersuchungen und Förderung, geologische Untersuchungen und die Analyse von Erzreserven und Förderzahlen;

Ausdehnung von erwiesenen und vermuteten Entwicklungslinien der Erzbildung und geologisch günstiger Bedingungen in Gebieten, in denen noch nicht geschürft wurde;

allgemeine geologische Kenntnisse von Gegenden, die Erzbildungen oder die sie bestimmenden Bedingungen begünstigen;

Berücksichtigung des Ausmaßes, in dem geologisch günstige Gebiete noch ungenügend erforscht sind.

Im Jahre 1970 betrug die Produktionskapazität für U_3O_8 15.000 sh tn/Jahr. In nächster Zukunft ist eine Ausweitung auf 19.000 sh tn U_3O_8 im Jahre 1972 und auf 23.000 sh tn U_3O_8 im Jahre 1975 geplant. Hierzu kommen noch im Jahre 1975 1.000 sh tn U_3O_8 als Nebenprodukt aus der Kupfer- und Phosphatproduktion hinzu.

Von diesen jährlichen Mengen sind jedoch schon heute bis 1984 kumuliert 85.000 sh tn U_3O_8 an amerikanische Käufer und 3.400 sh tn U_3O_8 an ausländische Käufer gebunden /6/.

2.3.17 Zentralafrikanische Republik

Drei abbauwürdige Vorratslager wurden im Jahre 1963 in der Bakouma-Region 500 km nordöstlich von Bangui entdeckt. Nachdem die Abbauschwierigkeiten dieses phosphathaltigen Gesteins beseitigt waren, können diese Vorräte zu einem Preis <10 \$/lb U_3O_8 gewonnen werden. Insgesamt sind hierin bei einem Anreicherungsgrad von 0,3 % U_3O_8 10.400 sh tn U_3O_8 enthalten. An zusätzlichen Vorräten werden momentan auch 10.400 sh tn U_3O_8 geschätzt.

1969 wurde auch begonnen, eine Erzverarbeitungsanlage aufzubauen. Sie soll 1972-1973 mit einer Kapazität von 780 sh tn U_3O_8/a in Betrieb gehen.

2.4 Vergleich der Uranvorratsschätzungen

Eine Zusammenstellung der Uranvorratsschätzungen seit 1955 ergibt nicht, wie vielleicht zu erwarten wäre, eine stetige Steigerung der vorhandenen Vorräte, sondern spiegelt ganz deutlich das unterschiedliche Interesse an Uran im Laufe der letzten 15 Jahre wider. Bis zum Jahre 1960 erhöhten sich die Vorräte im Preisbereich <10 \$/lb U_3O_8 stetig, obwohl zu dieser Zeit die Produktion an U_3O_8 einen Höchststand von 44.350 sh tn U_3O_8 erreichte. Dies lag wohl in erster Linie daran, daß die Prospektionstätigkeit aufgrund privater Initiative einen Höhepunkt erreichte

und somit laufend neue und genauere Schätzungen der vorhandenen Vorräte ermöglichte (Tabelle 3; Abb. 3).

Zu Ende der fünfziger Jahre, als die für den militärischen Bedarf benötigten Mengen immer weniger wurden und ein großer Bedarf für Kernkraftwerke noch nicht in Aussicht war, ging die Explorationstätigkeit sehr stark zurück. Fast synchron gingen dann auch die Vorratsschätzungen zurück. Vielleicht waren auch teilweise die Schätzungen von 1958-1960 zu hoch angesetzt, da die Zahlen, die in den Jahren 1961-1965 veröffentlicht wurden, erheblich unter diesen Werten lagen. Die Abnahme der Vorratsschätzungen in den Jahren 1961-1964 ist, da in dieser Zeit kaum Prospektionstätigkeit zu verzeichnen war, auf Abbau der vorhandenen Mengen zurückzuführen. Diese Tendenz hielt bis zum Jahre 1966 an, denn es war kein zwingender Grund abzusehen, die Explorationstätigkeit zu verstärken. Für die nächste Zukunft war genügend Uran vorhanden und auf bloße Spekulationen hin, wieviel Uran durch den kommerziellen Einsatz von Kernkraftwerken benötigt wurde, sah keiner eine Notwendigkeit, größere Prospektionen vorzunehmen.

Geändert wurde diese Situation dadurch, daß in den Jahren 1966/1967 zahlreiche große Kernkraftwerke Neubestellungen wurden und somit auch eine gewisse Verbrauchsabschätzung für die nächsten Jahre durchzuführen war. Dies führte zu einer explosionsartigen Ausweitung der Explorationstätigkeit sowohl in den USA (Abb. 4), als auch überall in der Welt. Die Erfolge ließen auch nicht lange auf sich warten. Die Vorratsschätzungen erhöhten sich von Jahr zu Jahr und erreichten jetzt einen Höchststand von 1.005.600 sh tn U₃O₈ im Januar 1971.

Dies ist eine Erklärungsweise über die Schwankungen bei den Vorratsangaben. Wenn man jedoch einmal die heutigen Schätzungen (d.h. ENEA September 1970 /6/) zugrundelegt und dazu die bis zu den verschiedenen Zeitpunkten produzierten Uranmengen in den einzelnen Ländern hinzuzählt, erhält man folgendes Bild (vgl. Tabelle 4) :

Für die Vereinigten Staaten waren die Reserven zu Anfang der sechziger Jahre erheblich unterschätzt worden. Vielleicht ist eine Erklärung darin zu suchen, daß laufend durch den Abbau der bekannten Vorräte die Bemühungen, neue Vorräte zu finden, auf die angrenzenden Gebiete der in Produktion befindlichen Minen ausgedehnt wurden. Ein Blick auf die geographische Lage der US-Uranvorkommen bestätigt diese Vermutungen (Abb. 5).

Überschätzungen liegen jedoch für Kanada und Südafrika vor. Bei Kanada mag es auf die schlechte Einschätzbarkeit der Vorräte zurückzuführen sein, denn die Uranvorkommen liegen in den nördlichen Teilen Kanadas und wurden zuerst nur nach der geologischen Trächtigkeit eingeschätzt.

ABB. 3 : SCHÄTZUNGEN DER URANVORRÄTE DER WESTLICHEN WELT NACH LÄNDERN IM PREISBEREICH ≤ 10 \$ / lb U₃O₈ IN 10³ sh tn U₃O₈

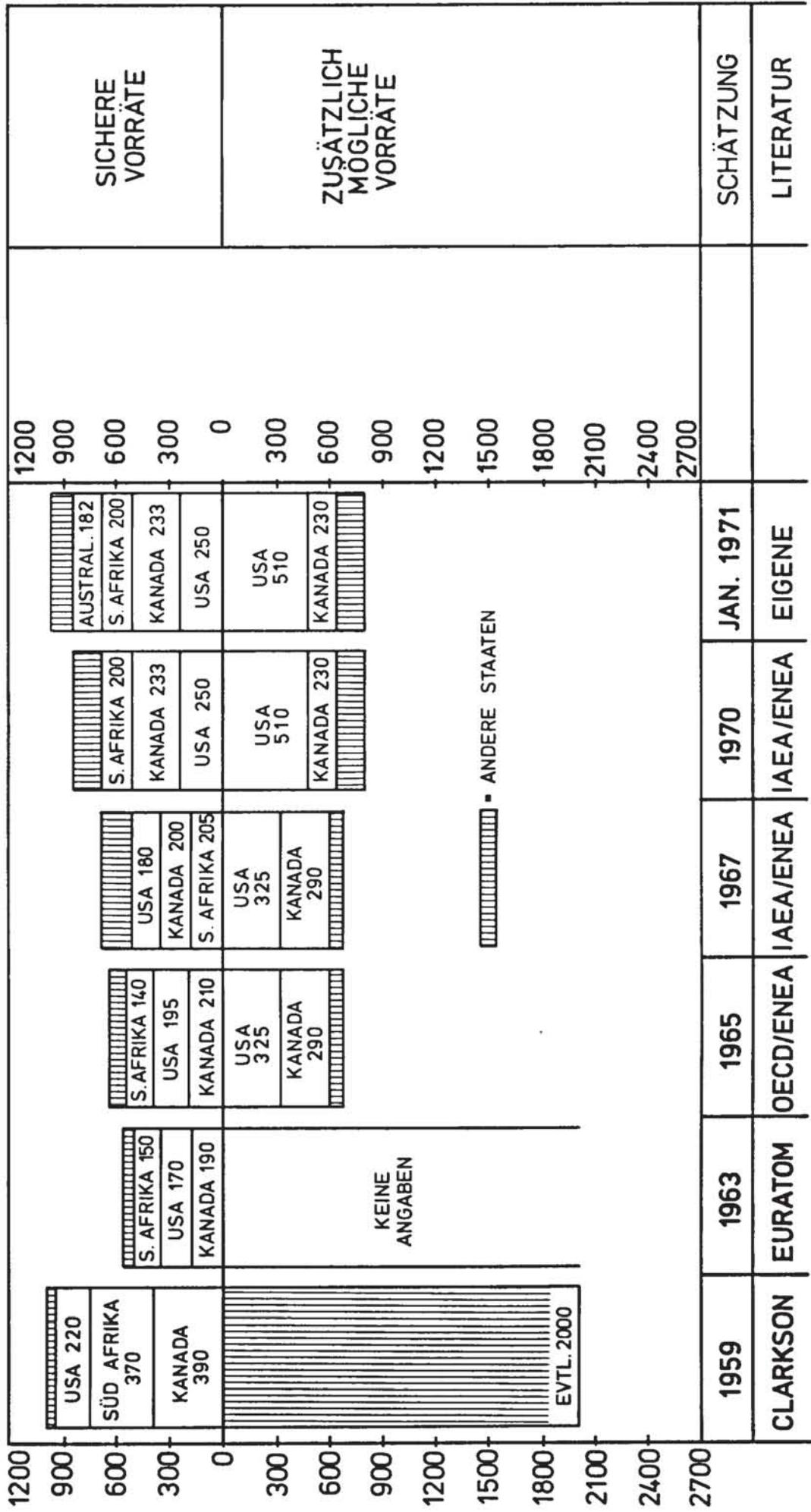


ABB. 4 : PROSPEKTIERUNG UND
JEWELNS NEU NACHGEWIESENE
URANRESERVEN IN DEN USA
IM PREISBEREICH
< 8 \$ / lb U_3O_8

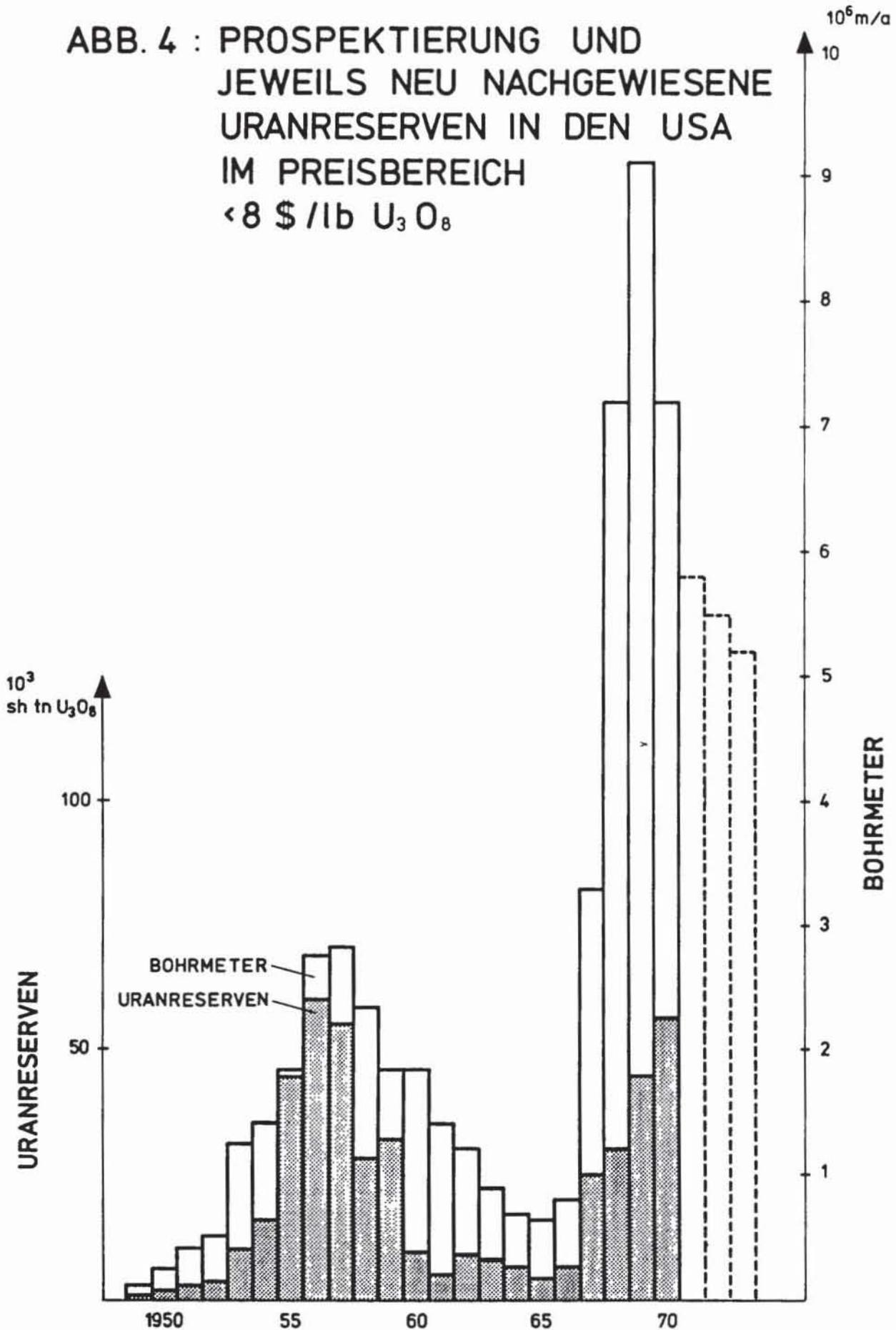


Tabelle 4: Vergleich der Vorratsschätzungen ab 1959 mit den heutigen Schätzungen im sicheren Preisbereich < 10 \$/lb U₃O₈ zzgl. der jeweiligen Produktionen (in 10³ sh tn U₃O₈) Ausgangsbasis /6/

	1970	1967	1965	1963	1959
USA	250	180	195	168,8	222
Vorratsschätzung zum jew. Zeitpunkt					
Heutige Schätzung plus Produktion		205,3	305,7	334,3	406,1
Kanada	232	200	210	188,3	392
Vorratsschätzung zum jew. Zeitpunkt					
Heutige Schätzung plus Produktion		244,3	252,6	268,3	314,9
Südafrika	200	205	140	149,3	370
Vorratsschätzung zum jew. Zeitpunkt					
Heutige Schätzung plus Produktion		211,2	217,4	226,3	249,5
Frankreich	45	45	37	33,8	50-100
Vorratsschätzung zum jew. Zeitpunkt					
Heutige Schätzung plus Produktion		51,5	53,2	57,3	63,5
Australien	21,7	10,7	15	13	10
Vorratsschätzung zum jew. Zeitpunkt					
Heutige Schätzung plus Produktion		22,0	22,0	23,5	28,6
Welt	840	700	642	597	1000
Vorratsschätzung zum jew. Zeitpunkt					
Heutige Schätzung plus Produktion		906,2	945,3	1000,2	1161,1

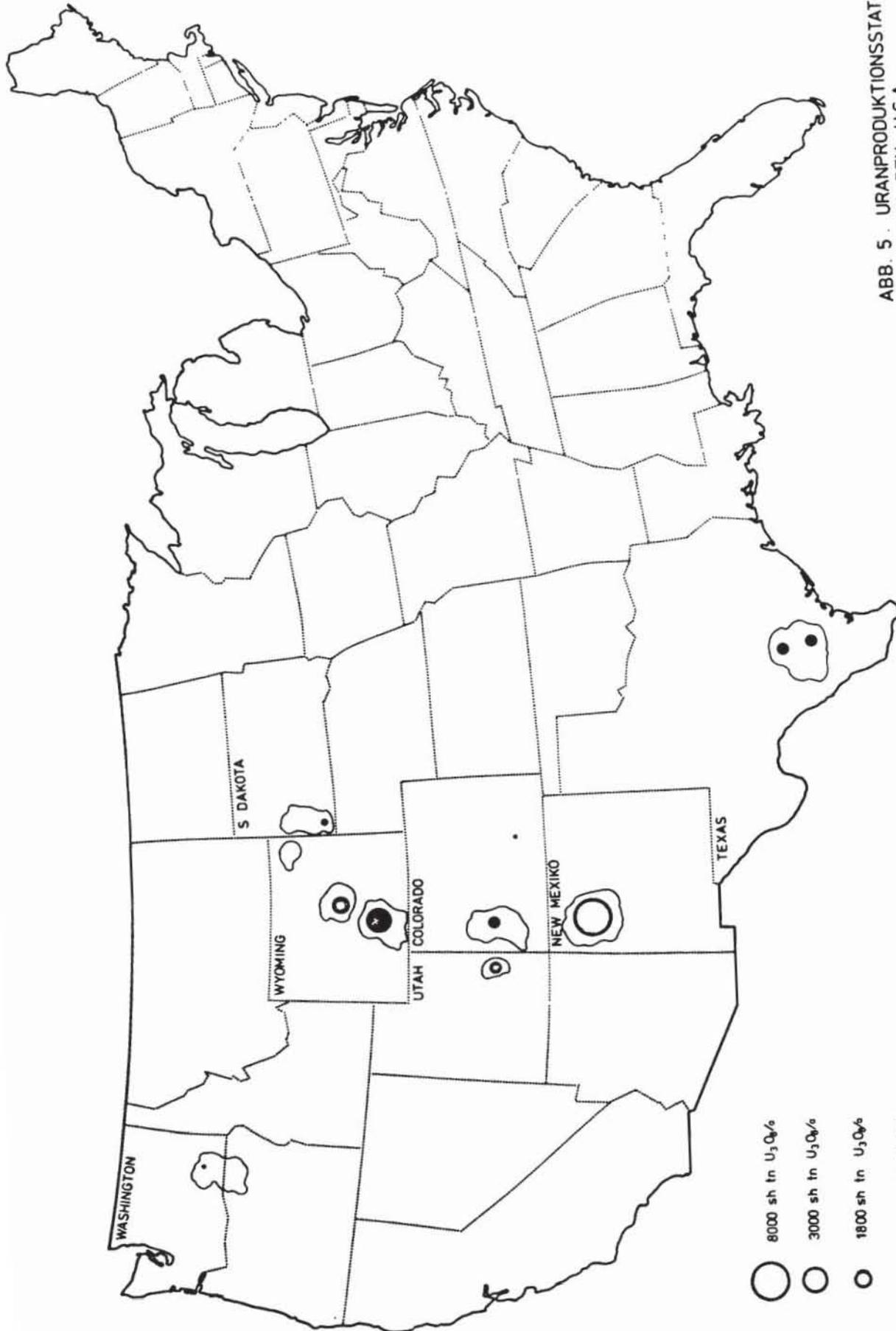


ABB. 5 . URANPRODUKTIONSSTATTEN
IN DEN U.S.A.

- 8000 sh tn U_3O_8
- 3000 sh tn U_3O_8
- 1800 sh tn U_3O_8
- - 1200 sh tn U_3O_8
- 400 sh tn U_3O_8
- - 300 sh tn U_3O_8
- SICHERE LAGERSTATTEN

Die Vorratsschätzungen von Clarkson 1959 für Südafrika lag erheblich über dem heute angenommenen Wert. Hierbei dürften wohl auch solche Lagerstätten mitgezählt worden sein, die Uran in geringen Konzentrationen enthielten und nur durch gleichzeitige Ausweitung der Goldbergwerke wirtschaftlich hätten gewonnen werden können. Bei den pessimistischen Angaben 1963 und 1965 jedoch lag man erheblich unter dem von heute rückrechenbaren Wert. Für die zusammen mit Gold vorkommenden Uranvorräte hat man kaum Prospektionsaufwand betrieben und sich nur auf Vermutungen über die Ausdehnung der Vorräte verlassen. Daher wird auch die Diskrepanz zwischen den oben aufgezeigten Werten rühren.

Eine ähnliche Tendenz ist auch bei Frankreich zu verzeichnen.

Für Australien lagen die Schätzungen generell zu niedrig. Ganz besonders bemerkenswert ist, daß auch in den ENEA-Schätzungen für die möglichen zusätzlichen Vorräte in den verschiedenen Preisbereichen niemals so hohe Vorräte genannt worden sind, wie sie sich im Dezember 1970 als vorhanden erwiesen haben.

3. Uranproduktion und -bedarf in der westlichen Welt

3.1 Produktion bis 1969

Bei der Uranproduktion ist ein ähnliches Auf und Ab zu verzeichnen wie bei den Uranvorratsschätzungen. Hier ist nur, wie Tabelle 5 und Abb. 6 zeigen, eine Phasenverschiebung der Schwankungen um ca. 2 Jahre zu sehen. Eine Erläuterung dieses Phänomens dürfte hier eher mit der Verschiebung der Absatzmöglichkeiten vom militärischen zum energiewirtschaftlichen Sektor zu geben sein.

Die starke Nachfrage an Uran für militärische Zwecke ließ zu Beginn der sechziger Jahre nach, und Anschlußaufträge aus dem Energiebereich waren Mangelware. Daher mußten in solchen Ländern, in denen keine Regierungsaufträge eine länger andauernde Beschäftigung boten, die Produktionen stark eingeschränkt werden. In Kanada und Australien wurden daher viele Betriebe stillgelegt, während in Frankreich die Produktion kaum zurückgenommen wurde. In den USA mußte die Produktion zwar auch von 18.800 sh tn U_3O_8 im Jahre 1960 auf 9.800 sh tn U_3O_8 im Jahre 1966 zurückgenommen werden, aber dies geschah kontinuierlich, da die USAEC von den Produktionen große "stockpiles" Vorräte anlegte, wie auch in geringeren Umfängen in Kanada und Großbritannien.

Tabelle 5: Uran- a) Produktion und Bedarf der westlichen Welt von 1956 bis 1969

b) Produktionskapazität und Bedarf von 1970 bis 1980

(Schätzungen der ENEA, September 1970 /6/ und eigene Angaben in sh tn U₃₀₈ /a

	USA	Kanada	Süd- afrika	Kongo	Frank- reich*	Austra- lien	Andere Länder	Produktion Gesamt	Bedarf Gesamt
a)									
1956	6000	2280	4370	1300	170	300	50	14470	1000
57	8640	6640	5700	1300	540	400	250	23470	670
58	12570	13400	6250	2300	760	700	270	36250	950
59	16420	15900	6450	2300	1070	1100	110	43350	930
1960	17760	12750	6410	1200	1380	1300	330	41130	2150
61	17400	9640	5470	-	2080	1600	300	36490	1900
62	17010	8430	5020	-	2600	1400	140	34600	2700
63	14220	8310	4530	-	2020	1200	80	30360	4800
64	11850	7620	3740	-	2000	500	240	25950	5900
65	10490	4390	2960	-	2000	300	490	20630	6400
66	9800	3900	3280	-	1680	270	740	19670	6600
67	10700	3700	3220	-	1680	-	531	19930	9200
68	13000	4200	4000	-	1400	40	700	23300	12500
69	11600	4500	4000	-	1600	330	920	22950	15500
b)									
1970	-	-	-	-	-	-	-	29000	12000
71	-	-	-	-	-	-	-	-	15000
72	-	-	-	-	-	-	-	-	21000
73	19000	5500	6000	-	2300	1500	3700	38000	26000
74	-	-	-	-	-	-	-	-	30000
75	23000	13000	6000	-	2300	1500	5200	51000	37000
76	-	-	-	-	-	-	-	-	44000
77	-	-	-	-	-	-	-	-	50000
78	-	-	-	-	-	-	-	65000	57000
79	-	-	-	-	-	-	-	-	65000
1980	-	-	-	-	-	-	-	77000	73000

- Zahlen nicht verfügbar

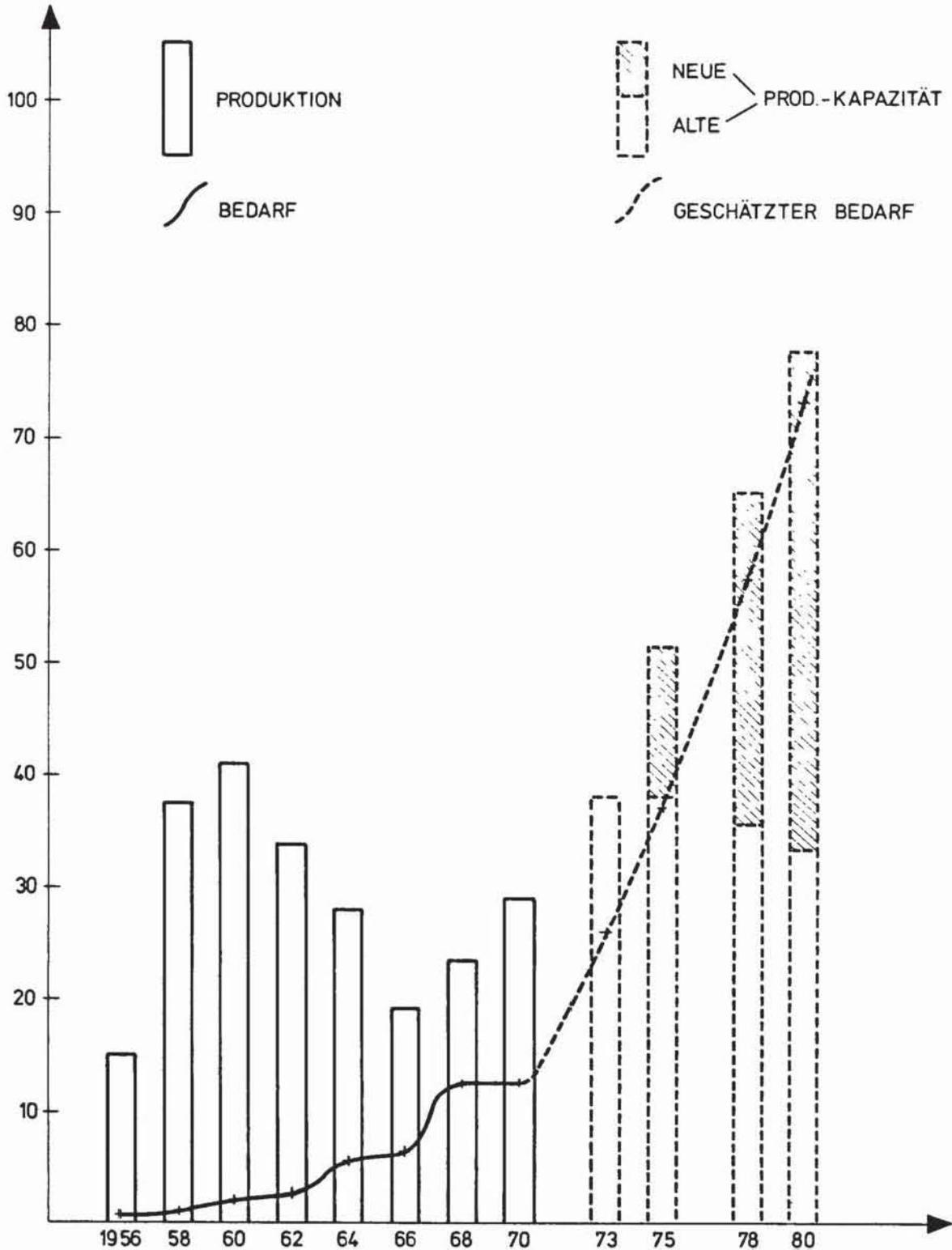
* ohne Madagaskar und Gabun

ABB. 6 : JÄHRLICHE URAN -

a.) PRODUKTION UND BEDARF
DER WESTLICHEN WELT 1956 - 1970

b.) PROD.-KAPAZITÄT UND BEDARF
1970 - 1980 GESCHÄTZT

$10^3 \text{ sh tn } U_3 O_8$



Seit 1966 jedoch steigen die Uranproduktionen wieder überall, da international der Einsatz von Kernkraftwerken stetig zunimmt und auch schon Vorsorge für die Nachladungen getroffen wird. Zwar ist in der ENEA-Statistik vom September 1970 für 1969 ein minimaler Rückgang gegenüber 1968 verzeichnet, aber für 1970 sind erhebliche Produktionszunahmen erwartet worden.

3.2 Entwicklung der Verbrauchsschätzungen

Schon von dem Moment an, als abzusehen war, daß eine weltweite Nutzung der Kernenergie zur Energieerzeugung möglich war, wurden Schätzungen über den möglichen Uranverbrauch gemacht. Diese Schätzungen wurden jedoch in den fünfziger Jahren meist nur für nationale Reaktorprogramme (USA und Großbritannien) durchgeführt. Sie sind daher für eine Beurteilung der Entwicklung der Weltverbrauchsschätzungen nicht geeignet.

Die erste verwendbare Schätzung über den Uranverbrauch (Tabelle 6) stammt aus dem Jahre 1959 von S.W. Clarkson /1/. Er gibt für die neu abzubauenden Uranmengen bei einer für 1970 angesetzten installierten nuklearen Leistung von 37.000 MWe insgesamt bis 1970 177.585 sh tn U₃O₈ an. Diese Zahlen sind, verglichen mit den aktuellen Werten für 1970, sehr hoch gegriffen gewesen (s. Abb. 7). Clarkson hatte eine sehr viel schnellere Expandierung des nuklearen Energieerzeugungssektors erwartet und eine frühere Konkurrenzfähigkeit der Kernreaktoren mit den konventionellen Kraftwerken vorausgesetzt. Ebenso hatte er eine Ausweitung der Anwendungsmöglichkeiten der Kernenergie auf dem Sektor der Antriebseinheiten (Schiffsantriebe) und industrielle Wärme- und Dampferzeugung früher und in größerem Umfang als geschehen berechnet. Der Einsatzzeitpunkt von kleineren Leistungseinheiten war von ihm wohl überschätzt worden. Insgesamt sind seine Schätzungen etwa doppelt so hoch wie die wirklich eingetretenen Verbräuche und installierten Leistungen im Jahre 1970. Eine Weiterentwicklung seiner Angaben über das Jahr 1970 hinaus ist mit sehr großen Unsicherheiten verbunden, da keine Angaben über die Berechnungsmethoden vorhanden sind. Eine Trendentwicklung würde zwischen den Jahren 1980 und 1985 eine Aufzehrung der gleichfalls von ihm geschätzten sicheren und billigen (< 10 \$/lb U₃O₈) Uranvorräte in Höhe von 1.000.000 sh tn U₃O₈ ergeben haben. Dieser Zeitpunkt wird sich mindestens durch die Überschätzung des Uranverbrauchs bis 1970, um 2 Jahre verschieben. Dies läßt sich sehr gut anhand der Daten der ENEA/IAEA-Schätzung /5/ von 1969, mit aktuellen Verbrauchsmengenangaben von 1956 an, ermitteln.

Die nächste Schätzung wurde von der Euratom-Versorgungsagentur /7/ 1963 gemacht und umfaßt den Uranverbrauch im Zeitraum 1970 bis 1980. Die für 1970 angegebenen Werte 10.000 MWe installierte Leistung und 10.400 sh tn U₃O₈

Tabelle 6: Kumulierte Uranbedarfsschätzungen (in sh tn U₃O₈)

	Clarkson 1959	Euratom 1963	Nuclear News Min. 1967 Max.	Venzlaff 1967	ENE A 1969 Min. Max.	ENE A 1969 Min.von 1956 an	ENE A 1970
1960	4475					5700	
61	11100					7600	
62	20175					10300	
63	30895					15100	
64	43525					21000	
65	58805					27400	
66	76255			19000		34000	
67	96695					43200	
68	120415				15500	55700	
69	147225				34000	71200	
1970	177585	10400	26000	35000	15500	89700	12000
71					57000	112700	27000
72					85000	140700	48000
73					117000	174200	74000
74					156500	212200	104000
75			112000	149000	200500	256200	141000
76					250500	306200	185000
77					305500	361200	235000
78					366500	422200	292000
79					434500	490200	357000
1980		200000	315000	565000	507500	563200	430000
1985			670000	974000			960000
2000				1500000			

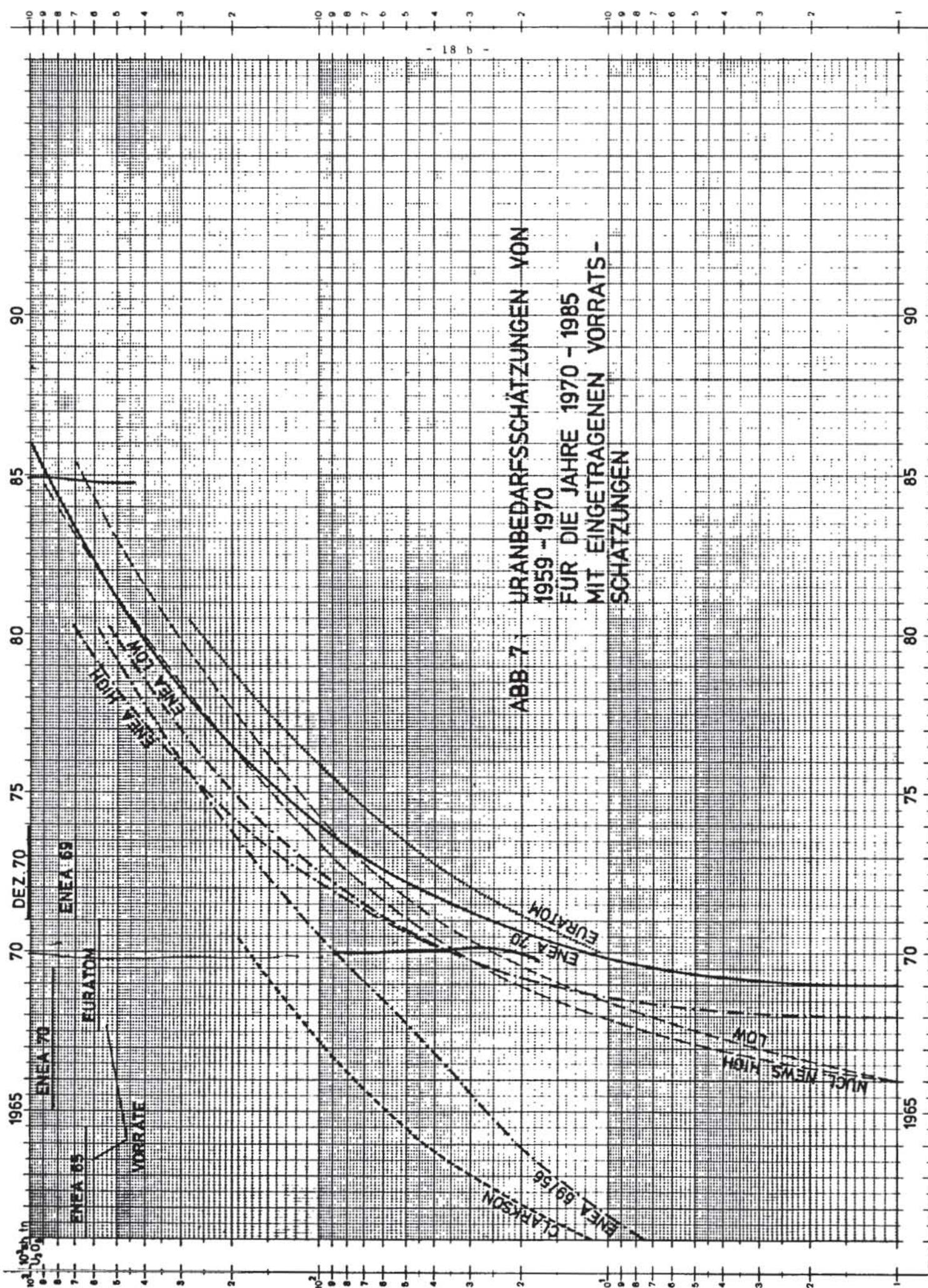


ABB. 7 URANBEDARFSSCHÄTZUNGEN VON 1959 - 1970 FÜR DIE JAHRE 1970 - 1985 MIT EINGETRAGENEN VORRATS-SCHÄTZUNGEN

Bedarf liegen sehr nahe bei den erreichten Werten, jedoch weichen die Schätzungen für den Zeitraum bis 1980 erheblich von den zuletzt geäußerten Vermutungen ab. Was Clarkson zu hoch und optimistisch für die Entwicklung der Reaktorindustrie angenommen hat, nahm die Euratom-Versorgungsagentur zu niedrig an. Eine gesamt installierte Leistung von 123.000 MWe in der Welt im Jahre 1980 wird heute schon für die USA allein im Jahre 1980 erwartet. Dementsprechend liegen auch die Uranbedarfsschätzungen erheblich zu niedrig gegenüber den heute erwarteten Mengen. Diese zu niedrig angesetzte Schätzung ist jedoch insgesamt gesehen eine Ausnahme. Die weiteren durchgeführten Uranbedarfsschätzungen aufgrund erwarteter installierter Leistungen und spezifischer Brennstoffeinsätze liegen in den ersten Jahren meist zu hoch, wie es sich inzwischen herausgestellt hat. Dieser Eindruck wird zwar durch die Angaben des Gesamturanverbrauchs stark verwischt, da hierin immer noch sehr große Mengen für den US-Stockpile enthalten sind.

W. Haase /12/ gibt für den Verbrauch ab 1966 Maximalzahlen an, die sich mit den neuesten ENEA/IAEA /6/-Schätzungen sehr gut decken. In der Zwischenzeit sind jedoch die Reserveschätzungen trotz großer Abbaumengen von ca. 55.000 sh tn U_3O_8 in der Zeit von 1959 bis 1970 nicht wesentlich zurückgenommen worden.

Allen Verbrauchsschätzungen, die bisher angeführt wurden, liegen konventionelle Reaktorkonzepte zugrunde, d.h. Leichtwasser-, Schwerwasser-, Magnox-, AGR- und Hochtemperaturreaktoren. Der Anteil der Hochtemperaturreaktoren übersteigt 1980 nicht 5 % der gesamten installierten nuklearen Leistung. Auch ist keine Plutonium- und Uranrückführung aus der Wiederaufarbeitung und kein Einsatz von Schnellen Brütern vorgesehen. Bei Berücksichtigung dieser Bedingungen und des Einsatzes von Thorium in Hochtemperaturreaktoren dürften sich die angegebenen Bedarfsmengen für 1985 um ca. 20 % verringern /6/.

Bei der letzten Schätzung der ENEA/IAEA 1970 /6/ ist zudem der Anteil der Leichtwasserreaktoren noch stark gegenüber der 1969er Schätzung gestiegen.

Andere Schätzungen, die in der Zwischenzeit von Faulkner /8/ und Lowell /16/ abgegeben wurden, unterscheiden sich nicht wesentlich von den oben erwähnten Angaben. Sie sind daher der Übersichtlichkeit halber nicht in die Abb. 7 eingezeichnet.

Die den Uranbedarfsschätzungen zugrundegelegten Kraftwerksleistungen variieren nicht sehr stark. Wie in der Abb. 8 zu sehen ist, sind die erwarteten Kraftwerksleistungen im Laufe der Zeit, mit Ausnahme der Euratomschätzung, für den Anfangszeitraum der Prognose immer wieder zurückgenommen worden. Teils ist dies wohl auch auf dem verzögerten Einsatz der Kernkraftwerke, durch spätere Kon-

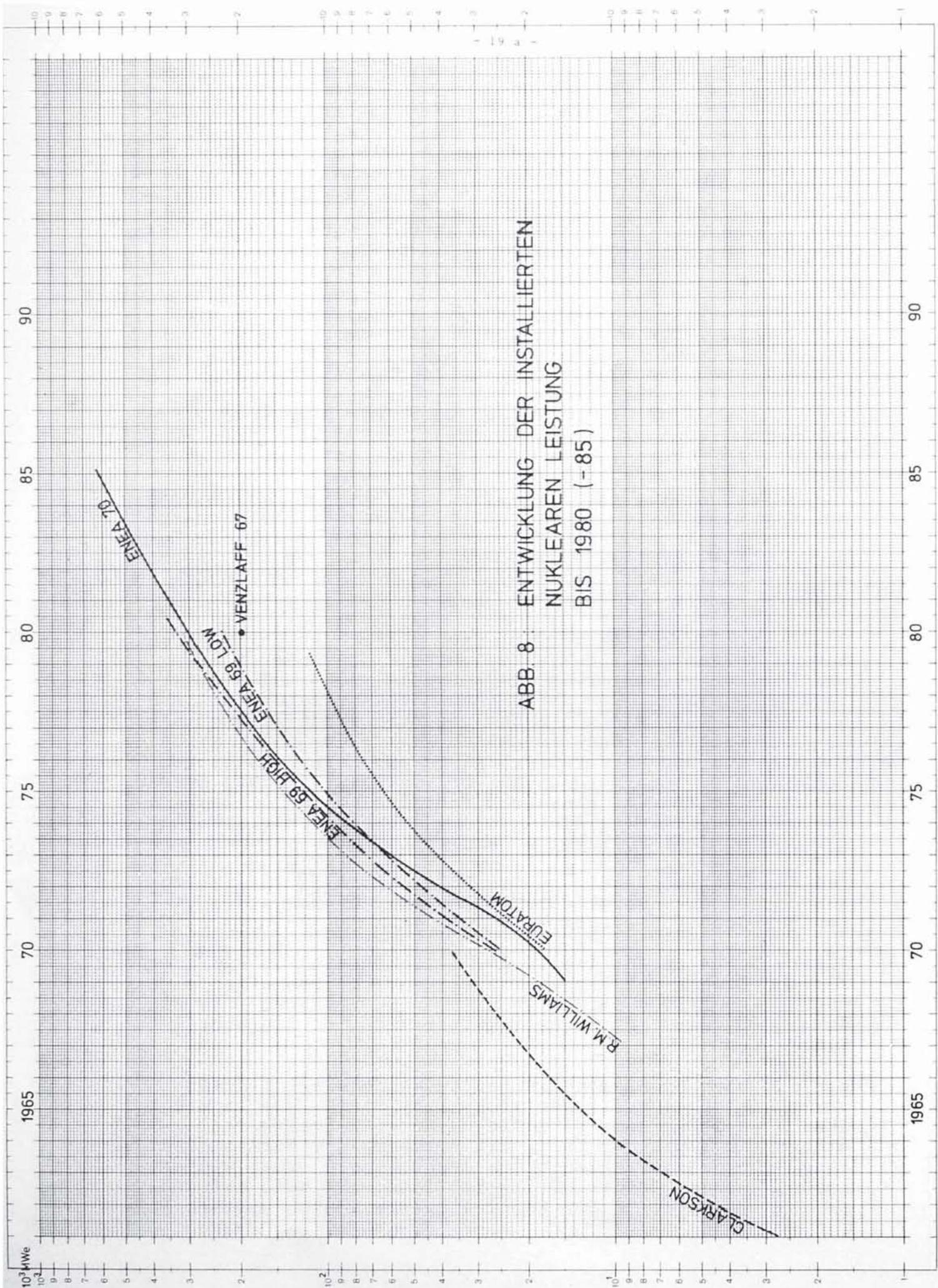


ABB. 8 : ENTWICKLUNG DER INSTALLIERTEN
 NUKLEAREN LEISTUNG
 BIS 1980 (-85)

kurrenzfähigkeit bei erst größeren Leistungen zurückzuführen, teils durch Zugrundelegung der nationalen Atomprogramme, die meist etwas hoch angesetzt waren.

Für den Zeitraum nach 1970 liegen die neueren Schätzungen immer erheblich höher als die Schätzungen von Clarkson, da mit einem schnelleren Einsatz der Kernreaktoren gerechnet wird.

3.3 Weiterer Ausblick

Schon im Jahre 1962 wurde von der USAEC /20/ eine Vorausschau über die mögliche nukleare Elektrizitätsproduktion in den Jahren 1990, 2010 und 2030 gegeben.

Bis zum Jahre 1990 wird eine nukleare Elektrizitätserzeugung angenommen, die dem 2,3-fachen der Gesamtelektrizitätserzeugung von 1967 entspricht. Für den Zeitraum bis 2010 wird das 27-fache und bis 2030 das 94-fache der Gesamtelektrizitätserzeugung von 1967 erwartet.

Eine Aufzählung des hierzu benötigten Urans bei Verwendung verschiedener Reaktorsysteme in den betreffenden Jahren wurde von W. Zinn und J. Dietrich /20/ folgendermaßen angegeben :

Tabelle 7: Jährlicher Uranbedarf in 10^3 sh tn U_3O_8

Reaktorsystem	1990	2010	2030
Leichtwasserreaktoren (LWR)	354	2950	7080
Schwerwasserreaktoren (HWR)	118	1120	3300
LWR + Schneller Brüter (FBR)	306	2000	2600
HWR + FBR	124	1085	1770
Break-even Breeder	236	1650	3300
FBR (20 Jahre Verdopplung)	224	1179	1060
Kumulierte elektrische Energieerzeugung in 10^3 TWh	8,5	100	350

Der erstmalige Einsatz des Schnellen Brüters wurde mit 1980 angenommen. Inwieweit diese Angaben zuverlässig sind, läßt sich heute noch nicht abschätzen. Für das Jahr 1990 jedoch scheinen die Angaben auf der Basis Leichtwasserreaktoren zu hoch gegriffen zu sein.

4. Erschöpfungszeitpunkte der Uranvorräte

Die in den Kapiteln 2.3 und 3.2 erläuterten Vorrats- und Bedarfsschätzungen ermöglichen einen Überblick über die voraussichtliche sichere Versorgung mit billigen Uranvorräten. Diese Zeitpunkte, die man gemeinhin mit Erschöpfungszeitpunkt bezeichnet, sind jedoch rein fiktive Zeitpunkte, da sich sowohl die Vorrats- als auch die Verbrauchsschätzungen laufend ändern. In den letzten Jahren, als ein zunehmender Bedarf an Uran erkennbar wurde, wurden auch die Bemühungen, neue Uranvorräte zu entdecken und quantitativ nachzuweisen, erheblich verstärkt.

Eine Gegenüberstellung der jeweiligen Vorratsschätzungen und Uranproduktionen (Abb. 9) zeigt eine Parallelität zwischen diesen beiden Größen, die eine Phasenverschiebung von etwa 2 Jahren hat. Dies besagt, je größer der vorausgeschätzte Uranbedarf ist, umso mehr Bemühungen, neue Uranvorräte zu finden, wurden unternommen, und diese sind, wie die Ergebnisse seit 1965 zeigen, von Erfolg gekrönt.

Durch dieses Phänomen ergibt sich zwangsläufig auch eine zeitliche Hinausschiebung des theoretischen Erschöpfungszeitpunktes.

Deutlich kann man dies am Beispiel der beiden ENEA/IAEA-Schätzungen aus den Jahren 1969 und 1970 erkennen (Abb. 10). Bei einer Differenz der Schätzungszeitpunkte von einem Jahr ergibt sich bei pessimistischen Annahmen (d.h. sehr niedriger Verbrauch bei Schätzung 1969) schon eine zeitliche Differenz von 3,5 Jahren bei den theoretischen Erschöpfungszeitpunkten. Diese Differenz vergrößert sich auf etwa 5 Jahre, wenn man vergleichbare Annahmen bei den Schätzungen von 1969 und 1970 (nämlich mittlere Bedarfskurven) zugrundelegt.

Von dieser Seite, den Uranvorräten also, dürfte in nächster Zukunft kaum mit einer schwierigen Situation zu rechnen sein, da auch noch genügend Reserven im nächsthöheren Preisbereich 10-15 \$/lb U_3O_8 vorhanden sind. Eine darüberhinaus noch in großen Mengen verfügbare Reserve ist das nach Angabe der UKAEA zu 20 \$/lb U_3O_8 aus dem Meerwasser zu gewinnende Uran. Eine Weiterentwicklung der hierzu benötigten Verfahren wird sicher in den nächsten Jahren auch noch eine Verbilligung herbeiführen. Zimen /29/ gibt hier als Gesamtvorrat $5 \cdot 10^9$ sh tn U_3O_8 an, der mit einem Förderfaktor von 0,001 zu gewinnen sei.

ABB. 9: URAN-PRODUKTION UND SCHÄTZUNGEN DER VORRÄTE DER WESTLICHEN WELT

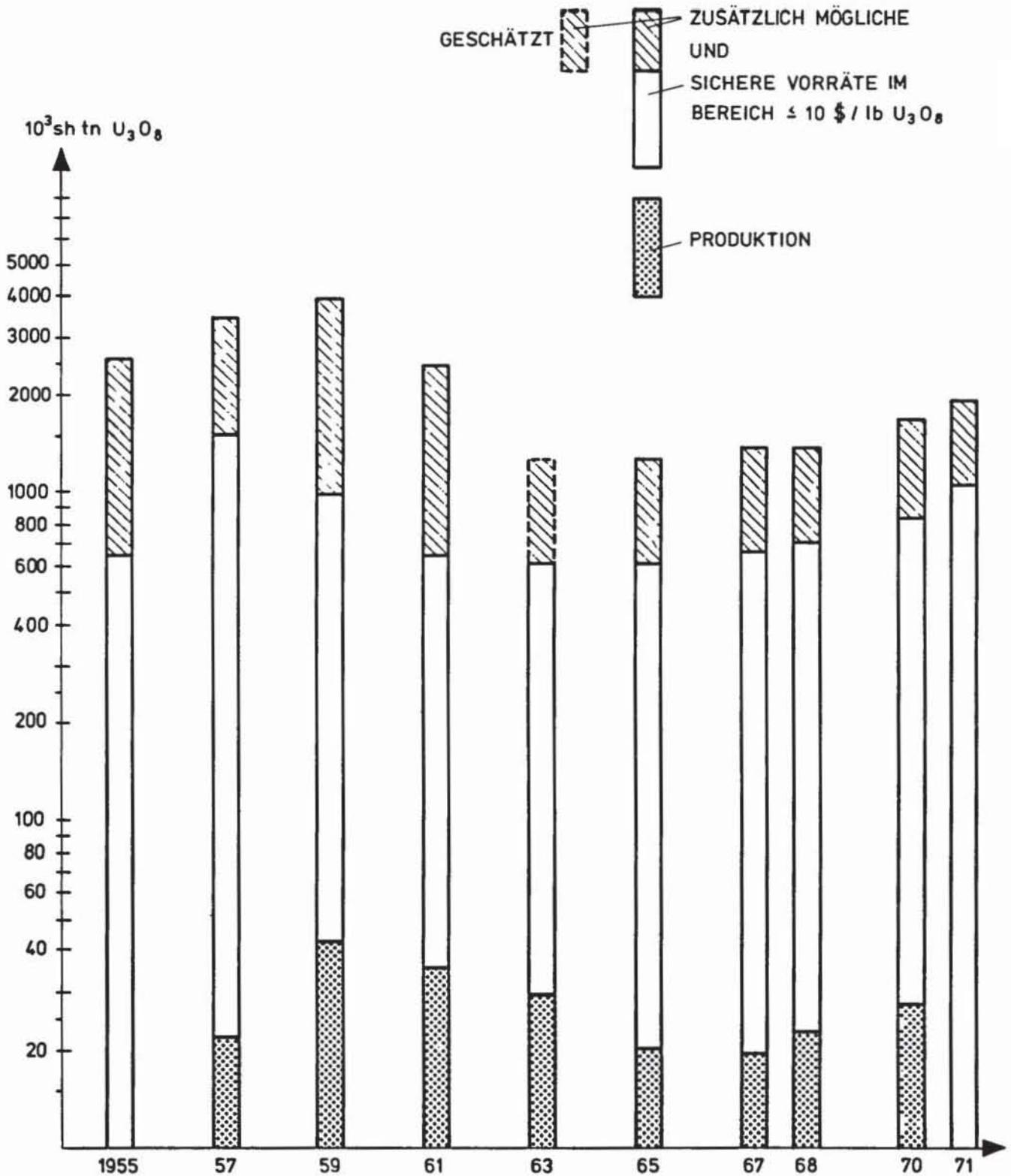
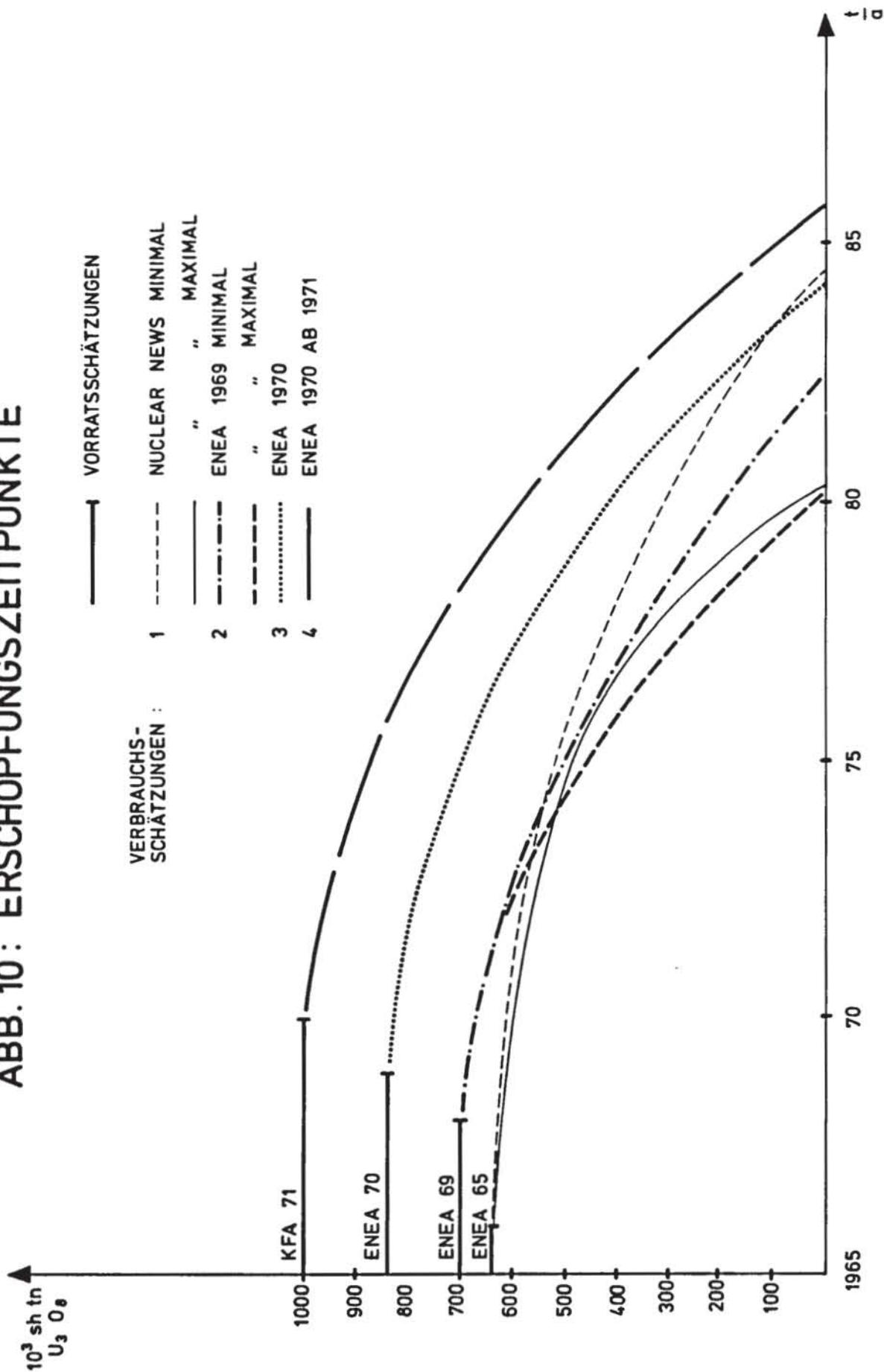


ABB. 10: ERSCHÖPFUNGSZEITPUNKTE



In allen Schätzungen werden die "Stockpiles" der Länder USA, Kanada, Südafrika, Großbritannien und Frankreich nicht berücksichtigt. Nach vorsichtigen Schätzungen der ENEA dürften diese Vorräte für ca. 1 Jahr Weltbedarf im Zeitraum 1980 ausreichen.

Insgesamt gesehen dürften sich in nächster Zeit Engpässe nur von der Seite der Produktionskapazitäten und der Anreicherungs-kapazitäten ergeben. Diese können aber durch zusätzliche Investitionen leicht umgangen werden.

5. Die zukünftige Entwicklung des Natururanbedarfs in der BRD

5.1 Allgemeine und spezielle Probleme der Uranbedarfsprognose

Zu der allgemeinen Problematik der Prognose treten bei dem Vorhaben der Vorhersage der Uranbedarfsentwicklung noch spezielle, erschwerende Probleme hinzu. Das Wichtigste ist die Nichtanwendbarkeit der traditionellen Prognoseverfahren wie Trendextrapolation und Regressionsanalyse. Diese Verfahren beruhen auf der Zeitreihenanalyse und erfordern, um zu einigermaßen gesicherten Aussagen zu kommen, ein umfangreiches statistisches Material, das zum jetzigen Zeitpunkt wegen der noch relativ jungen nuklearen Technologie nicht vorliegen kann. Einen Ausweg bietet hier der Übergang zu Prognosemodellen, in denen der Natururanbedarf auch logisch verknüpft mit seinen erklärenden Größen, wie dem Gesamtenergiebedarf oder dem Anteil der Kernenergie an der Gesamtenergieerzeugung, durch die zukünftige Entwicklung dieser Größen determiniert wird. Methodisch besonders geeignet erscheinen dabei Modelle auf der Basis von mathematischen Optimierungsverfahren wie linearer und nichtlinearer Programmierung, die eine vorgegebene Zielfunktion unter Beachtung einer Anzahl von Restriktionen maximieren oder minimieren. Bei Vorgabe des zukünftigen Energiebedarfs wird somit der Natururanbedarf für ein kostenoptimales Verbundsystem aus konventionellen- und nuklearen Kraftwerken ermittelt. Das Prognoseproblem ist auf den leichter zu prognostizierenden Energiebedarf verschoben worden.

5.2 Gegenüberstellung und Analyse einiger Natururanbedarfsprognosen für die BRD

Im folgenden werden zunächst die Methoden und Ergebnisse einiger Natururanbedarfsprognosen für die BRD aufgezeigt. Diese Vorausschätzungen beziehen sich alle nur auf den Einsatz der Kernenergie zur Elektrizitätserzeugung; der Einsatz zur Prozeßwärmeerzeugung wurde nicht berücksichtigt.

Im Anschluß daran werden die unterschiedlichen Ergebnisse analysiert. Zuvor sollen aber die in den folgenden Tabellen verwendeten Abkürzungen erklärt werden :

KoK $\hat{=}$ Konventionelles Kraftwerk
 LWR $\hat{=}$ Leichtwasserreaktor
 HWR $\hat{=}$ Schwerwasserreaktor
 HTR $\hat{=}$ Hochtemperaturreaktor
 NaB $\hat{=}$ Natriumbrüter
 HeB $\hat{=}$ Gasgekühlter Schnellbrüter mit Heliumturbine

Durch das Anhängen eines vierten Buchstabens wird der verwendete Brennstoff bezeichnet :

O $\hat{=}$ Oxydischer Brennstoff
 U $\hat{=}$ Uran
 P $\hat{=}$ Plutonium
 T $\hat{=}$ Thorium

Die in Klammern gesetzte Zahl bezeichnet den Zulassungszeitpunkt des Kraftwerktyps.

5.2.1 Untersuchungen von R. Harde und G. Memmert /13/

Methodische Grundlage dieser Untersuchungen ist ein mathematisches Optimierungsprogramm. Ermittelt wird, ausgehend von der zu installierenden elektrischen Leistung, die kostenoptimale Kapazitätsverteilung von bis zu zehn verschiedenen Kraftwerkstypen in einem Verbundnetz unter Berücksichtigung der geordneten Jahresnetzlastkurve und verschiedener Restriktionen. Die Optimierung wird jeweils für ein Jahr durchgeführt, wobei die Auswahl der Kraftwerke ausschließlich nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgt. Den kumulierten Natururanverbrauch für verschiedene Reaktorstrategien zeigt Tabelle 8:

Tabelle 8: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8

Untersuchtes System	1980	1990	2000
HWR (71), KoK	61	161	305
LWRU (71), KoK	130	340	650
LWRU (71), LWRP (72), KoK	104	261	494
HWR (71), LWRP (72), KoK	53,3	138	260
NaBP (72), LWRU (71), KoK	80,5	113	100
LWRU (71), LWRP (72), NaBU (81), NaBP (78), KoK	105,2	125	104

5.2.2 Rechnungen von K. Wagemann /27/

Die Rechnungen wurden mit dem in einigen Teilen modifizierten und erweiterten Rechenprogramm von Harde und Memmert /13/ durchgeführt.

Tabelle 9: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8

Nr.	System	1980	1990	2000
1	LWR (70), NaBO (80), KoK	42,5	202	352
2	LWR (70), NeB (85), KoK	42,5	230,5	378
3	LWR (70), HTR (75), NaBO (80), KoK	42,5	150	264
4	LWR (70), HWR (75), NaBO (80), KoK	43,4	168	274

Ein Vergleich der Systeme 1 und 3 zeigt, daß durch den Einsatz des Hochtemperaturreaktors der Uranverbrauch bis zum Jahre 2000 um 78.000 sh tn U_3O_8 gesenkt werden kann.

5.2.3 Untersuchungen von M. Recker /23/

Auch diese Untersuchungen basieren auf einem Optimierungsprogramm. Optimierungskriterium ist die Minimierung der jährlichen Erzeugungskosten zur Deckung des elektrischen Energiebedarfs. Bei den unten in der Tabelle 10 aufgeführten Ergebnissen waren folgende Kraftwerkstypen zur Konkurrenz zugelassen: LWR (66), HTR (75), NaB (80) und sechs konventionelle Kraftwerkstypen.

Dieses System wurde jeweils unter einer der folgenden zusätzlichen Restriktionen optimiert:

1. bis 1980 sollen insgesamt mindestens 20 t Plutonium in Kernkraftwerken erzeugt werden;
2. bis 1980 sollen mindestens 10 t Plutonium erzeugt worden sein;
3. Der THTR wird nicht zur Konkurrenz zugelassen.

Tabelle 10: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8

Restriktion	1980	1990	2000
1	61,3	113	138
2	65	112	136,5
3	76,6	135	151

5.2.4 Untersuchungen der KFK /10, 11/

Der Natururanbedarf wird für Eintypen- und gekoppelte Zweitypenreaktorsysteme ermittelt. Die zu installierende nukleare Leistung wird vorgegeben. Auch beim Zweitypensystem erfolgt keine Optimierung, sondern der Brüter wird in dem Maße zugebaut, wie es das im Konverter erbrütete Plutonium erlaubt. Für die geschätzte installierte nukleare Leistung wurde mit einer oberen (optimistischen) und einer unteren (pessimistischen) Grenze gerechnet. Die in der Tabelle 11 aufgeführten zwei Wertpaare für jedes System geben diese Vorgehensweise wieder.

Tabelle 11: Kumulierter Natururanverbrauch in 10^3 sh tn U_3O_8

System	1980	2000
LWR	29,4 24,8	310 209
HWR	15,3 13,2	191 130
HTRT	11,6 9,1	118 71,4
NaB	1,94 1,58	15,1 9,9
LWR, NaB	27,4 23,2	177 114
HWR, NaB	13 10,4	84,5 55,3

5.2.5 Prognose des BMwF /12/

Der Jahresbedarf an Natururankonzentrat wird nach folgender Modellgleichung bestimmt:

$$\begin{aligned} \text{Gesamtbedarf} = & (\text{installierte Kernkraftwerksleistung} \\ & \times (\text{jährlicher Ersatzbedarf}) \\ & + (\text{jährlicher Zubau an Kraftwerksleistung}) \\ & \times (\text{Erstinventar}) \end{aligned}$$

Die Schätzung der installierten Kernkraftwerksleistung geht als exogene Größe in das Modell ein. Durchgeführt wurde eine Minimal- und eine Maximalschätzung. Für die Maximalschätzung wurde ein spezifischer Inventarbedarf von 1 sh tn U₃O₈/inst. MWe und ein spezifischer Brennstoffverbrauch von 0,18 sh tn U₃O₈/inst. MWe und Jahr bei einem Lastfaktor von 0,8 zugrundegelegt. Die entsprechenden Faktoren der Minimalschätzung lauten: Inventarbedarf 0,75 sh tn U₃O₈/inst. MWe, Brennstoffverbrauch 0,25 sh tn U₃O₈/inst. MWe und Jahr bei einem Lastfaktor von mehr als 0,8.

Tabelle 12: Schätzungen der installierten nuklearen Leistungen und des kumulierten Natururanbedarfs

Jahr	Maximal-Schätzung		Minimal-Schätzung	
	inst.nukl. Leist.	kumul.Natururanbed.ab'70	inst.nukl. Leist.	kumul.Natururanbed.ab'70
	MWe	10 ³ sh tn U ₃ O ₈	MWe	10 ³ sh tn U ₃ O ₈
1970	1000	0,656		0,900
1972	2800	3,926	2400	3,675
1974	6700	9,705	6000	8,025
1976	12200	19,055	9600	14,850
1978	19900	32,785	14400	24,075
1980	30000	52,885	19800	36,375

Die Vorausschätzung über das Jahr 1980 hinaus kann sinnvoll mit diesem Modell nicht durchgeführt werden, da mit der zugrundegelegten einfachen Modellgleichung der Einsatz der fortgeschrittenen Reaktorlinien (HTR, NaB) nicht erfaßt werden kann.

5.2.6 Schätzung von H. Mandel /17/

Auch bei dieser Prognose des Natururanbedarfs ist der Ausgangspunkt eine Schätzung des Anteils der Kernenergie an der gesamten Elektrizitätserzeugung. Der Einfachheit halber wurde eine Zusammensetzung des Kernkraftwerkparcs zunächst nur aus Leichtwasserreaktoren und zu gegebener Zeit auch aus Brutreaktoren angenommen. Diese vom wirtschaftlichen Standpunkt sicher nicht optimale Voraussetzung führte zu folgenden Ergebnissen:

Tabelle 13: Leistungsanteil und Uranbedarf

Jahr	installierte nukleare Leistung	kumulierter Natururan- bedarf
	10^3 MWe	10^3 sh tn U_3O_8
1980	25	33
2000	190	260

5.2.7 Analyse der vorliegenden Ergebnisse

Die in den vorangegangenen Abschnitten aufgeführten Ergebnisse der von verschiedenen Autoren durchgeführten Voraus-schätzungen des kumulierten Natururanbedarfs für die Bundesrepublik Deutschland weisen zum Teil erhebliche Differenzen auf. Eine Analyse der Ergebnisse sowie der Daten und Methoden, aus denen sie entstanden sind, läßt im wesentlichen folgende Gründe für diese Differenzen verantwortlich erscheinen:

1. Methodische Unterschiede der verwendeten Prognoseverfahren

Die bei den Untersuchungen angewandten Verfahren lassen sich in zwei Gruppen einteilen, einmal in Modelle auf der Basis mathematischer Optimierungsmethoden /13, 23, 27/, zum anderen in ökonomische Prognosemodelle /10, 11, 12, 17/. Die letzteren enthalten die schwer zu prognostizierende, installierte nukleare Leistung als exogene Größe. Ihre Flexibilität ist auf Ein- bzw. Zweitypenstrategien beschränkt und erlaubt es nicht, die Wechsel- und Auswirkungen des gleichzeitigen Einsatzes unterschiedlicher Reaktorsysteme zu erfassen.

Diese wenig realistischen Beschränkungen disqualifizieren diese Modelle methodisch für langfristige Betrachtungen, in denen die technische Weiterentwicklung bestehender Reaktorkonzepte und die Einführung fortgeschrittener Reaktorsysteme eine die Entwicklung entscheidend beeinflussende Rolle spielen. Der Zeitpunkt, zu dem "Eintypenmodelle" ihre Aussagekraft verlieren, dürfte etwa bei 1980 liegen. Die Modelle auf der Basis mathematischer Optimierungsmethoden unterliegen nicht dieser methodischen Beschränkung für langfristige Betrachtungen. Sie bestimmen den Natururanbedarf aus quantifizierbaren Zielen (z.B. kostenoptimale Zusammensetzung eines Verbundnetzes). Einwände gegen diese Methode beziehen sich meist auf die Ausrichtung und Suboptimierung nach nur einem Ziel, was den komplexen wirtschaftlichen Entwicklungsmechanismen entspricht.

2. Unterschiedliche Prognosen der exogenen Modellgrößen

Das heißt, der Bedarf an elektrischer Energie bzw. der Anteil der Kernenergie an der Elektrizitätserzeugung stimmt nicht überein. Die Vorhersagen der zu installierenden nuklearen Leistung sind dabei mit einem größeren Unsicherheitsfaktor behaftet.

3. Differierende Zeitpunkte des Ersteinsatzes der verschiedenen Reaktortypen

Besonders stark schwanken die Einsatzzeitpunkte der fortgeschrittenen Reaktorsysteme (HTR, NaB), wobei vor allem bei den zeitlich weiter zurückliegenden Untersuchungen die Schätzung der Einsatzzeitpunkte zu optimistisch war. Nach dem heutigen Stand der Kenntnisse ist mit dem kommerziellen Einsatz des HTR's nicht vor 1978 und dem des NaB's nicht vor 1985 zu rechnen.

4. Verwendung unterschiedlicher Kosten- und Auslegungsdaten für die einzelnen Reaktorsysteme.

Diese Abweichungen in den reaktorspezifischen Daten erklären sich weitestgehend aus den unterschiedlichen Zeitpunkten (1966-1970) der Untersuchungen und der während dieser Zeit fortgeschrittenen Entwicklung der einzelnen Reaktorkonzepte. Die Daten der zeitlich zuletzt durchgeführten Untersuchungen entsprechen deshalb eher dem Stand der heutigen Kenntnisse.

Ein direkter Vergleich der einzelnen Ergebnisse ist aus den oben genannten Gründen somit nicht möglich.

5.3 Der zu erwartende Natururanbedarf für die BRD unter Berücksichtigung des Einsatzes von Kernreaktoren für die Prozeßwärmeerzeugung

Der Anteil der Stromerzeugung am Primärenergiebedarf der BRD beträgt zur Zeit etwa 25 % und wird im Jahre 2000

etwa 50 % erreichen. Diese Zahlen zeigen, daß der Wärme- markt auch für die nahe Zukunft seine dominierende Stellung innerhalb des gesamten Energiemarktes beibehalten wird. In letzter Zeit sind Überlegungen angestellt worden /14, 15/, Kernreaktoren, besonders den Hochtemperaturreaktor, auch zur Deckung des Wärmebedarfs einzusetzen. Die wichtigsten Anwendungsbereiche sind dabei die Prozeßdampferzeugung für die chemische Industrie, die Kohlevergasung sowie die direkte Erzreduktion. Die Erschließung dieses neuen Einsatzpotentials für die Kernenergie hat natürlich auch Rückwirkungen auf den zukünftigen Natururanbedarf. Aus diesem Grunde wird im folgenden bei der Abschätzung des zukünftigen Natururanbedarfs unterschieden zwischen dem Natururanbedarf für die Strom- und für die Prozeßwärmeerzeugung.

5.3.1 Natururanbedarf zur Elektrizitätserzeugung

Aufgrund der weiter oben geübten Kritik an den verschiedenen Natururanbedarfsschätzungen und zur Beurteilung der Auswirkungen der Verschiebung des Ersteinsatzzeitpunktes der fortgeschrittenen Reaktorkonzepte auf den Bedarf an Natururan wurden eigene Rechnungen zur Abschätzung des Natururanbedarfs für die Elektrizitätswirtschaft durchgeführt. Die Rechnungen wurden durchgeführt mit einem mathematischen Optimierungsmodell /13, 26, 27/, das die kostenoptimale Kapazitätsverteilung von bis zu zehn verschiedenen Kraftwerkstypen in einem Verbundnetz ermittelt. Für den in das Modell als exogene Größe eingehenden Elektrizitätsbedarf wurde folgende Prognose verwendet /27/:

Tabelle 14: Elektrizitätsbedarf der BRD bis 2000

Jahr	Elektrizitätsbedarf
	10^3 MWe
1980	84,5
1990	145
2000	227

An einem Viertypensystem (LWR, HTRT, NaB, KoK) wurden die Auswirkungen der Verschiebung der Einsatzzeitpunkte der fortgeschrittenen Reaktorsysteme (HTRT, NaB) auf den

Natururanbedarf untersucht. Wie schon andere Untersuchungen /9/ gezeigt haben, führt sowohl der verspätete Einsatz des Hochtemperaturreaktors, wie auch der des Natriumbrüters zu einem vermehrten Natururanbedarf. Der Einsatz des Hochtemperaturreaktors ab 1978 hat gegenüber dem Einsatzzeitpunkt 1975 einen 10 % höheren Uranbedarf bis 1990 zur Folge. Die Auswirkungen des verspäteten Einsatzes des Natriumbrüters machen sich erst nach 1990 bemerkbar. Für die nach dem heutigen Stand der Kenntnisse realistischen Annahmen über die kommerziellen Einsatzzeitpunkte der fortgeschrittenen Reaktorsysteme (HTRT: 1978, NaB: 1985) ergibt sich folgender zu erwartender Natururanbedarf für die BRD:

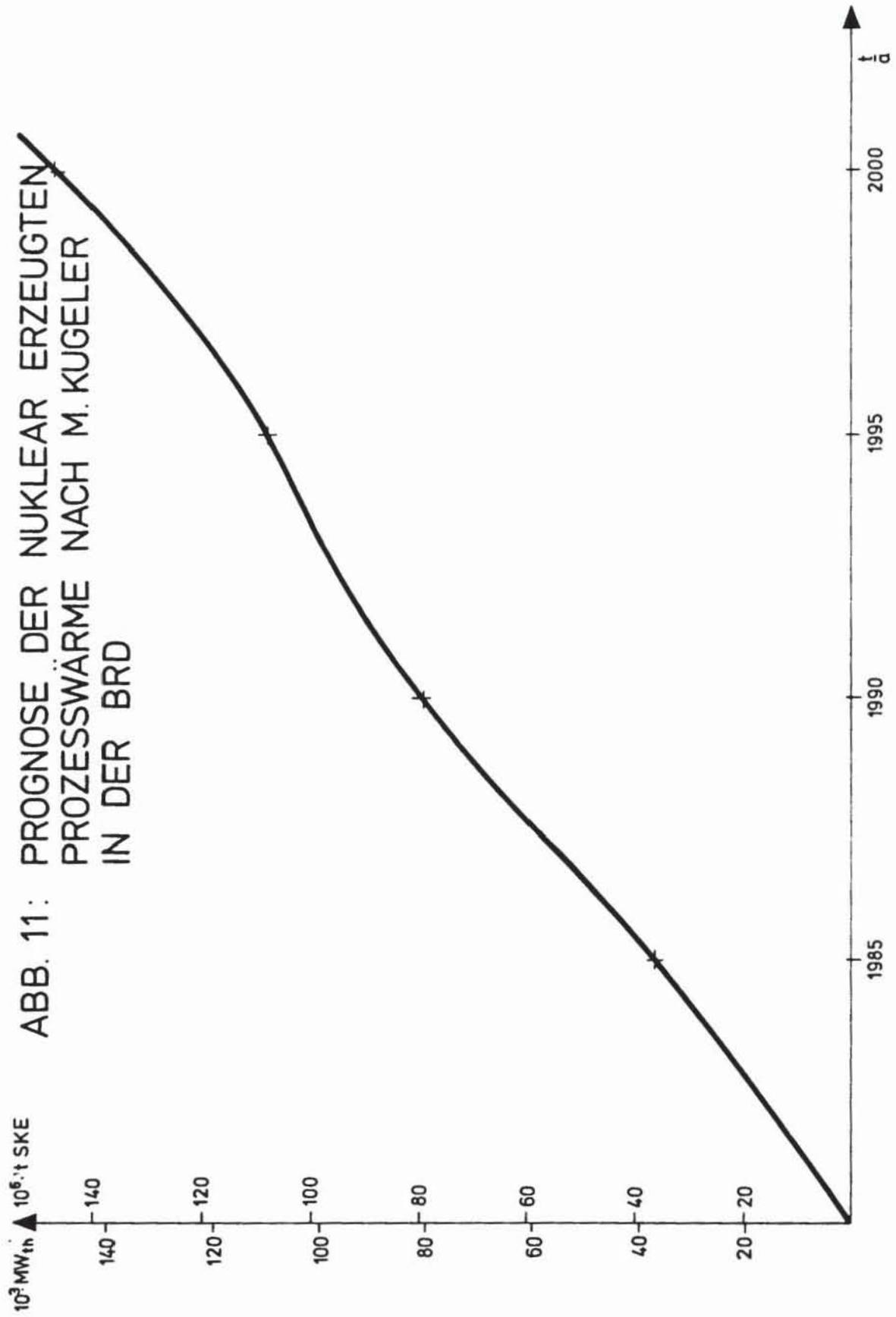
Tabelle 15: Natururanbedarf zur Elektrizitätserzeugung der BRD bis 2000

Jahr	inst.nukleare Leistung	kumulierter Natururanbed.
	10^3 MWe	10^3 sh tn U_3O_8
1980	23,6	40,5
1990	104,6	178
2000	200,3	286

5.3.2 Natururanbedarf zur Prozeßwärmeerzeugung

Untersuchungen über den zukünftigen Anteil der Kernwärme am Wärmemarkt sind wegen der noch nicht umfassenden Kenntnis ihrer Verwendungsmöglichkeit äußerst schwierig. M. Kugeler /15/ hat das zukünftige Potential des Hochtemperaturreaktors für den Wärmemarkt untersucht (Abb. 11). Basierend auf diesen Angaben wird der Natururanbedarf abgeschätzt. Verwendet wird eine einfache ökonomische Modellgleichung, die dem jetzigen Stand der Kenntnis adäquat ist:

$$\begin{aligned}
 \text{NB}(t) \left[\frac{\text{sh tn } U_3O_8}{a} \right] &= P(t) \left[\frac{\text{MW}_{\text{th}}}{a} \right] \cdot \text{VU} \left[\frac{\text{sh tn } U_3O_8}{\text{MW}_{\text{th}} a} \right] \\
 &+ \Delta P(t) \left[\frac{\text{MW}_{\text{th}}}{a} \right] \cdot \text{IU} \left[\frac{\text{sh tn } U_3O_8}{\text{MW}_{\text{th}}} \right]
 \end{aligned}$$



mit

NB (t) = jährlicher Natururanbedarf resultierend aus der nuklearen Prozeßwärmeerzeugung

P (t) = jährlich nuklear erzeugte Prozeßwärme

ΔP (t) = jährlicher Zuwachs an nuklear erzeugter Prozeßwärme

VU = spezifischer Natururanverbrauch

IU = spezifischer Natururaninventarbedarf

Unterstellt man eine Verfügbarkeit der Reaktoren von 8000 h/a, das entspricht einem Lastfaktor von 0,91, so erhält man ab Umrechnungsformel

$$1000 \text{ MW}_{\text{th}} \cong 0,983 \cdot 10^6 \text{ t SKE}$$

Ausgehend von der Hypothese, daß der Hochtemperaturreaktor einmal, weil er sicher 1980 zur Verfügung stehen wird, zum anderen, weil er hochtemperaturige Wärme erzeugt, der Hauptlieferant der nuklearen Prozeßwärme sein wird, berechnen sich der spezifische Natururanverbrauch zu $31,4 \cdot 10^{-3}$ sh tn $\text{U}_3\text{O}_8/\text{MW}_{\text{th}} \cdot \text{a}$, bei einem Lastfaktor von 0,91, und der spezifische Natururaninventarbedarf zu $0,135$ sh tn $\text{U}_3\text{O}_8/\text{MW}_{\text{th}}$. Die im Rahmen dieses Modells zur Deckung der nuklear erzeugten Prozeßwärme erforderlichen kumulativen Natururanmengen sind in der nachfolgenden Tabelle 16 aufgeführt:

Tabelle 16: Natururanbedarf zur Prozeßwärmeerzeugung in der BRD bis 2000

Jahr	inst.nukleare Leistung zur Prozeßwärmeerzeugung	kumulierter Natururanbed. zur Prozeßwärmeerzeugung
	$10^3 \text{ MW}_{\text{th}}$	$10^3 \text{ sh tn } \text{U}_3\text{O}_8$
1985	37	16,6
1990	80,1	35,9
1995	109	48,9
2000	149,5	67,1

Der zu erwartende Gesamtbedarf an Natururan ergibt sich aus der Summe der beiden Komponenten (Tabellen 15 und 16).

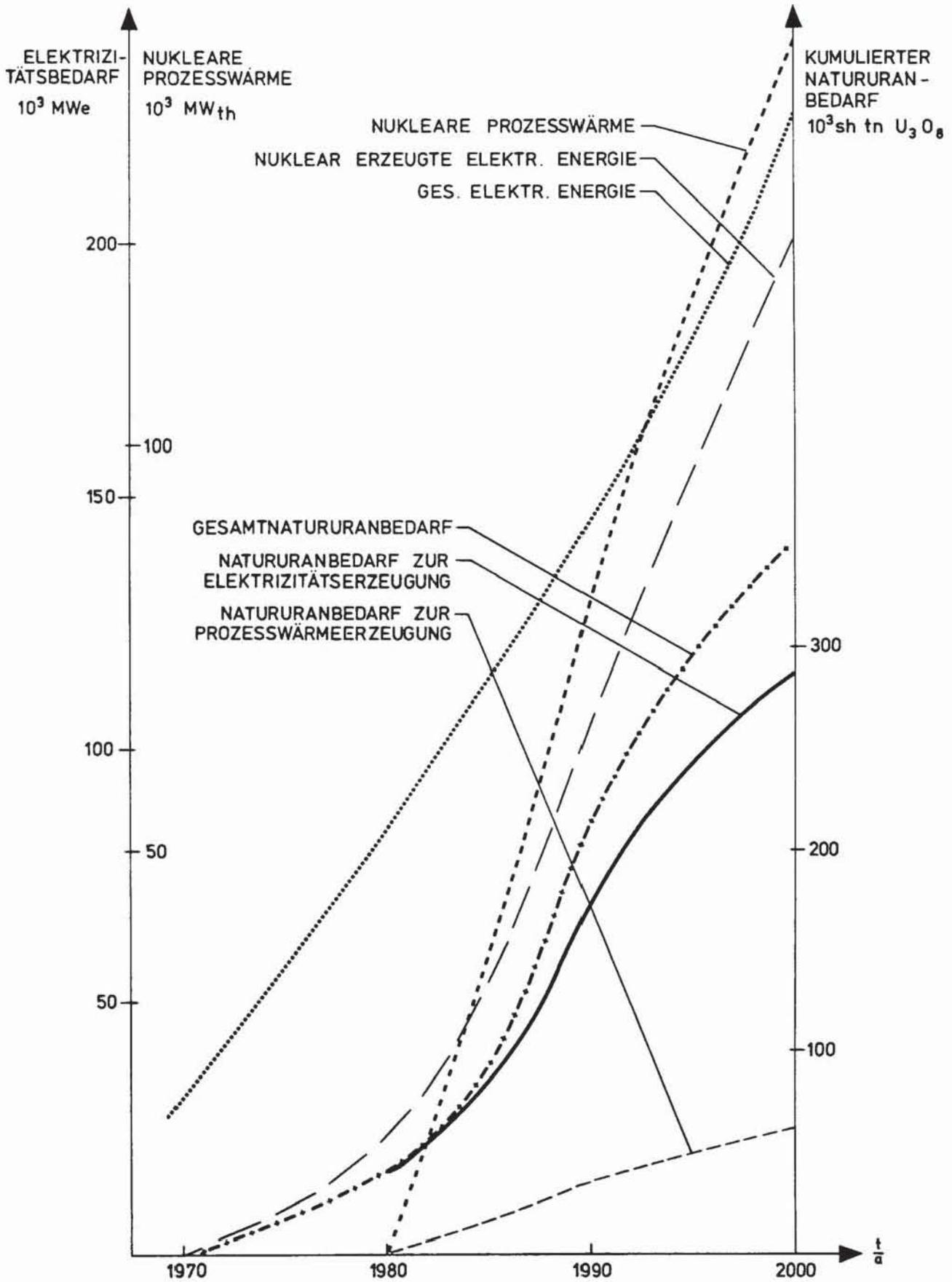
Tabelle 17: Gesamtnatururanbedarf der BRD bis 2000

Jahr	kumulierter Gesamtbedarf an Natururan für die BRD
	10^3 sh tn U_3O_8
1980	40,5
1990	213,9
2000	353,1

Faßt man zusammen, so tritt nach 1980 ein zusätzlicher Bedarf an Natururan zur Erzeugung von Prozeßwärme auf, der im Jahre 2000 etwa 25 % des gesamten Uranbedarfs ausmacht. Der verzögerte Einsatz der fortgeschrittenen Reaktortypen wirkt sich negativ auf den Uranbedarf aus, während der geringe spezifische Natururanverbrauch dieser Reaktoren den Bedarf an Natururan (s. Abb. 12) ab 1990 zurückgehen läßt.

Zur Deckung dieses Uranbedarfs ist die BRD, wegen der nur geringen heimischen Vorkommen auf günstige ausländische Bezugsmöglichkeiten angewiesen. Aufgrund des Anteils der BRD an der erwarteten nuklearen Gesamtleistung der Welt von 8,35 % im Jahre 1980, ergibt sich, ausgehend von dem gleichen Anteil an den Welturanvorräten für die BRD, eine Versorgungssicherheit allein mit den sicheren Vorräten im Preisbereich 10 \$/lb U_3O_8 mindestens bis zum Jahre 1983. Ausgehend von den bisherigen Erfahrungen, daß bei verstärkter Explorationstätigkeit die neuen Uranfunde proportional zunehmen (s. Abb. 4), scheint die Versorgungssicherheit auch über diesen Zeitpunkt hinaus mit billigem Natururan gesichert.

ABB. 12 : ENTWICKLUNG DES KUMULATIVEN NATURURANBEDARFS DER BRD BIS ZUM JAHRE 2000



Literaturverzeichnis

- /1/ Clarkson, S. W. Uranium in the Western World
AECL, No. C58, Toronto,
July 1959
- /2/ Dietrich, G. Uran- und Thoriumvorräte der
Erde, Prospektion, Abbau-
methoden und Kosten
Studienarbeit am Lehrstuhl
für Reaktortechnik der
RWTH Aachen, 1968
- /3/ Eitz, A. W. Kann die Kernenergie tatsäch-
lich die drohende Energie-
lücke künftiger Jahrzehnte
schließen?
Atomwirtschaft 13.Jg.,
April 1968, S. 187 - 189
- /4/ ENEA-IAEA Uranium Resources, Revised
Estimates
Paris-Wien, December 1967
- /5/ ENEA-IAEA Uranium, Production and
Short Term Demand
Paris-Wien, January 1969
- /6/ ENEA-IAEA Uranium, Resources, Production
and Demand
Paris-Wien, September 1970
- /7/ Euratom Das Problem der Uranvorräte
und der Uranversorgung auf
lange Sicht
EUR 414.d, Der Beirat der
Versorgungsagentur
Brüssel, 1963
- /8/ Faulkner, R. L. Reserves, USAEC-Press-Release
Washington, D.C., 23.5.1968
- /9/ Finnemann, H. und Zur Problematik der Optimie-
H. Märkl rung langfristiger Reaktor-
strategien
Atomwirtschaft 14.Jg.,
Juli 1969, S. 368 - 372

- /10/ Grümm, H., Gupta, D., Häfele, W., Jansen, P., Schmidt, E. und J. Seetzen Kernbrennstoffbedarf und Kosten verschiedener Reaktortypen in Deutschland Report KFK 366, September 1965
- /11/ Grümm, H., Gupta, D., Häfele, W., Jansen, P., Recker, M., Schmidt, E. und J. Seetzen Ergänzendes Material zum Bericht "Kernbrennstoffbedarf und Kosten verschiedener Reaktortypen in Deutschland" Report KFK 466 (KFK 366), September 1966
- /12/ Haase, W. Uranvorräte und Uranbedarf, in : Taschenbuch für Atomfragen 1968 Hrsg. Cartellieri, W., von Heppe, H., Hocker, A. und A. Weber Bonn 1968, S. 192 - 199
- /13/ Harde, R. und G. Memmert Modelluntersuchungen über Aussichten und Konsequenzen der Verwendung von Kernenergie zur Elektrizitätserzeugung Atomwirtschaft, 11.Jg., Jan. und Mai 1966
- /14/ Kugeler, K. + M. Die Energiesituation in der Bundesrepublik Deutschland und zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten JÜL-576-RG, Januar 1969
- /15/ Kugeler, M. Energieprognose für die Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung des Einsatzes von Kernwärme zur Vergasung fossiler Rohstoffe Dissertation, angefertigt am Institut für Reaktorentwicklung der KFA Jülich
- /16/ Lowell, A. F. The International Uranium Market over the Medium Term Atomic Industrial Forum Annual Conference, Toronto Canadian Nuclear Association 1967

- /17/ Mandel, H. Die langfristige Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland und die Rolle der Kernenergie Atomwirtschaft, 12.Jg., Januar 1967
- /18/ Nininger, R. D., Gardner, C. I., Searl, M. F. und D. W. Kuhn Energy from Uranium and Coal Reserves USAEC, TID - 8207, May 1960
- /19/ N. N. Jahrbuch der Atomwirtschaft 1971 S. 203/2,3
- /20/ N. N. Mineral Resources and Requirements Nuclear News - ANS - May 1963, p. 14 - 16
- /21/ OECD-ENEA World Uranium and Thorium Resources Paris, August 1965
- /22/ Nucleonics Week U.S. Uranium Drilling drops in 1970; Reserves reach 243.000 tons, February 11, 1971, p.7
- /23/ Recker, M. Beitrag zur Bestimmung eines wirtschaftlich optimalen Zubaus und Einsatzes von Kraftwerken Dissertation RWTH Aachen, 1968
- /24/ USAEC An Analysis of the Current and Long-Term Availability of Uranium and Thorium Raw Materials for Atomic Energy Development USAEC, TID-8201, July 1959
- /25/ Venzlaff, H. Die Kernbrennstoffreserven der westlichen Welt Vortrag in der Kernenergie-Studiengesellschaft, Hamburg am 2.November 1967
- /26/ Voss, A. STROKOOOP; Ein Programm zur langfristigen Untersuchung kostenoptimaler Kraftwerkssysteme Interner Bericht, KFA, Institut für Reaktorentwicklung, IRE-70-19

- /27/ Wagemann, K. Beitrag zu Systemuntersuchungen über die langfristigen wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten verschiedener Kraftwerkstypen unter besonderer Berücksichtigung des Thoriumhochtemperaturreaktors
JÜL-590-RG, Februar 1969
- /28/ Williams, R. M. Canada's Future in Uranium Supply
The Canadian Mining and Metallurgical (CIM) Bulletin for December, 1969, p. 1340 - 1355
- /29/ Zimen, K. E. Kernenergie-Reserven und langfristiger Energiebedarf
Vortrag im Kolloquium der KFA-Jülich am 5. Juni 1970