

KfK 3002
August 1980

**Anzahl der Beschäftigten in
den einzelnen Stationen des
nuklearen Brennstoffzyklus für
alternative Ausbauszenarien
der Kernenergie in der
Bundesrepublik Deutschland**

P.-M. Fischer
Abteilung für Angewandte Systemanalyse

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Abteilung für Angewandte Systemanalyse

KfK 3002

Anzahl der Beschäftigten in den einzelnen Stationen des
nuklearen Brennstoffzyklus für alternative Ausbauszenarien der
Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland

P.-M. Fischer

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Anzahl der Beschäftigten in den einzelnen Stationen des
nuklearen Brennstoffzyklus für alternative Ausbauszenarien der
Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland

Zusammenfassung

In einem ersten Abschnitt wird anhand der Literatur ermittelt, wie viele Personen in den einzelnen kerntechnischen Anlagen beschäftigt sind. Ausgehend von diesen Zahlenangaben wird für sechs Ausbauszenarien der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland die Anzahl der in den einzelnen Stationen des nuklearen Brennstoffkreislaufs insgesamt Beschäftigten hochgerechnet. Die Szenarien unterscheiden sich durch den Umfang der installierten Nuklearleistung einerseits sowie durch den Zeitpunkt der Inbetriebnahme und Jahreskapazität der Wiederaufarbeitungsanlagen für bestrahlten LWR-Kernbrennstoff andererseits.

Manpower employed in the different stations of the nuclear
fuel cycle for alternative scenarios of an increased use of nuclear
energy in the Federal Republic of Germany

Abstract

In the first section of the report, the number of persons employed in the individual nuclear facilities is calculated. Based on these figures, the total manpower employed in the various stations of the nuclear fuel cycle is extrapolated for six scenarios of an increased use of nuclear energy in the Federal Republic of Germany. These scenarios differ with regard to installed nuclear power generation capacity, on the one hand, and point of time of start-up and annual capacity of the reprocessing plants for spent LWR-fuel, on the other hand.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Anzahl der Beschäftigten in den einzelnen Stationen des nuklearen Brennstoffzyklus
 - 2.1 Kernkraftwerk (LWR)
 - 2.2 Lagerbecken
 - 2.3 Wiederaufarbeitungsanlage
 - 2.4 Brennelementfertigungsanlagen
 - 2.4.1 Brennelementfertigungsanlage für Uran-Brennelemente
 - 2.4.2 Brennelementfertigungsanlage für Mox-Brennelemente
 - 2.5 Waste-Management
 - 2.6 Transport
 - 2.7 Anreicherungsanlage
 - 2.8 Schutzpersonal
 - 2.9 Entsorgungszentrum
3. Zahl der Beschäftigten in den Stationen des nuklearen Brennstoffzyklus insgesamt für alternative Ausbauszenarien der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland
 - 3.1 Ausgangsdaten
 - 3.2 Szenarien

3.3 Zahl der Beschäftigten

- 3.3.1 Zahl der Beschäftigten in den Reaktoren
- 3.3.2 Zahl der Beschäftigten in den Zwischenlagerbecken
- 3.3.3 Zahl des Bewachungspersonals für die Transporte ausgedienter Brennelemente zu den Wiederaufarbeitungsanlagen
- 3.3.4 Zahl des Bewachungspersonals für den Transport frischer Brennelemente zu den Reaktoren
- 3.3.5 Zahl der Beschäftigten in den Wiederaufarbeitungsanlagen
- 3.3.6 Zahl der Beschäftigten in der Brennelementfertigung
- 3.3.7 Zahl der Beschäftigten im Waste-Management
- 3.3.8 Schutzpersonal
- 3.3.9 Zahl der in den Stationen der nuklearen Brennstoffkreisläufe insgesamt beschäftigten Personen

Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Es wird an Hand der Literatur eine Auflistung der beschäftigten Personen für die einzelnen kerntechnischen Anlagen bzw. Schritte des Brennstoffkreislaufes vorgenommen. Dabei wird soweit als möglich die zahlenmäßige Zuordnung zu den einzelnen Abschnitten der betrachteten Anlagen des nuklearen Brennstoffzyklus durchgeführt und der Qualifikation des Betriebspersonals (Ingenieur, Meister, Facharbeiter etc.) angegeben. In den weiteren Ausführungen wird für sechs Szenarien, die sich aus alternativen Zuwächsen der Kernenergie, Zeitpunkt des Einsatzes der fortgeschrittenen Reaktoren (SBR und HTR) und verschiedenen Zeitpunkten des Arbeitseinsatzes der Wiederaufarbeitungsanlage für abgebrannte LWR-Kernbrennstoff ergeben, die Gesamtzahl der in den Stationen des nuklearen Brennstoffkreislaufes tätigen Personen hochgerechnet.

2. Anzahl der Beschäftigten in den verschiedenen Stationen des nuklearen Brennstoffzyklus

In diesem Kapitel wird durch Auswertung der einschlägigen Literatur die Anzahl der Beschäftigten in den einzelnen Stationen des nuklearen Brennstoffzyklus ermittelt, um anschließend in Kapitel 3 eine Hochrechnung der insgesamt Beschäftigten für verschiedene Szenarien des Kernenergieeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland vornehmen zu können.

2.1. Kernkraftwerk (LWR)

Die Angaben hinsichtlich der Beschäftigten in Leichtwasser-Kernkraftwerken zeigen in der Literatur - von geringfügigen Schwankungen abgesehen - ein relativ geschlossenes Bild.

Aus Tabelle 2.1 ist nach /SCHENK, H. (1978)/ die Zusammensetzung der Betriebsmannschaft, wie sie sich aus dem Mittelwert von 11 Kernkraftwerksblöcken in der Bundesrepublik Deutschland ergibt, zu entnehmen.

Ohne kaufmännische und Personal-Verwaltung schwankt die Stärke des Betriebspersonals zwischen 126 und 186 Personen.

Das Schichtpersonal - bestehend aus 10 Personen je Schicht, meistens in 5 Schichten (siehe Tab. 2.1) - hat Zugang zu allen Kontrollpunkten vor Ort, da es alle erforderlichen Schalt- und Steuerungsvorgänge, die Behandlung radioaktiver Abwässer sowie die notwendigen Probenentnahmen aus den Kreisläufen durchführt.

Tabelle 2.1: ZUSAMMENSETZUNG DER BETRIEBSMANNSCHAFT
(in 11 Kernkraftwerksblöcken der BRD)
Quelle: /SCHENK, H. (1978)/

	Anzahl der Personen	
	min.-max.	im Mittel
Betriebsmannschaft gesamt	148 - 238	198
Technische Leitung und Verwaltung	20 - 46	32
Kaufmännische Leitung und Verwaltung	4 - 60	35
S c h i c h t		
Personen gesamt	40 - 84	54
Zahl der Schichten	4 - 6	5
Schichtleiter (Meister/Ing.)	M bzw. I	M
Betriebsüberwachung		
Chemisches Labor, Strahlenschutz	15 - 28	22
W e r k s t ä t t e n		
Maschinentechnik	10 - 30	22
Meß- und Regeltechnik	3 - 26	13
Elektrotechnik	4 - 21	10
Allgemeine Dienste	1 - 15	9

Tabelle 2.2 zeigt die Qualifikation der Führungsgruppe innerhalb dieses Betriebspersonals. Die Position "Akademiker" ist hierbei nochmals genauer entsprechend der Ausbildung aufgelistet.

Tabelle 2.2: QUALIFIKATION DES BETRIEBSPERSONALS
(in 11 Kernkraftwerksblöcken der BRD)
Quelle: /SCHENK, H. (1978)/

Q U A L I F I K A T I O N	Anzahl der Personen	
	min.-max.	im Mittel
Dipl.-Ing. (M-Technik)	0 - 5	2
Dipl.-Ing. (E. Technik)	0 - 2	1
Dipl.-Chemiker	0 - 2	1
Dipl.-Physiker	0 - 5	1
=====		
Akademiker	2 - 11	5
Fachschulingenieure	9 - 25	16
Techniker	6 - 32	14
Meister auf Schicht	4 - 23	11
Meister (ohne Schichtmeister)	2 - 16	9

Tabelle 2.3 enthält die Angaben für die Betriebsmannschaft ohne kaufmännische und Personalverwaltung nach /SCHOLTEN, V.W. (1978)/. Die Personen sind verschiedenen Qualifikationsgruppen zugeordnet, die jeweils wiederum in 12 Klassen eingeteilt sind; die Anforderung an den Ausbildungsgrad des Personals in der betrachteten Gruppe fällt mit wachsender Klassenzahl.

Tabelle 2.3: ZUSAMMENSETZUNG DER BETRIEBSMANNSCHAFT
(je LWR - Kernkraftwerksblock)
Quelle: /SCHOLTEN, V.W. (1978)/

Education Level	Administration I						Technicians II				Skilled Workers III	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Qualification Groups / Division												
Super Director	1											
Operation	5	1	1	20							12	29
Technical	2				1	7	8	10			1	3
Satistics, Licensing and Quality Assurance	1										2	
Engineering	4		1		2				2	1	3	38
Others	2											
Total Groups	15	1	2	20	1	7	8	10	2	1	18	70
Total Levels	46						21				88	

Für die Verhältnisse in den USA ist der Personalbedarf nach /NUREG-0001 (1975), Bd. III/ für einen 1200 MW_e-Block sowie für Mehrfach-Anlagen zu-

sammengesetzt aus mehreren Kraftwerksblöcken à 1200 MW_e (so besteht eine "twin unit" aus 2 Blöcken à 1200 MW_e) in Tabelle 2.4 aufgeführt. Auch in dieser Auflistung ist die Anzahl der in der kaufmännischen und Personalverwaltung tätigen Personen nicht enthalten.

Tabelle 2.4: STAFF REQUIREMENTS FOR BASIC POWER STATIONS DISPERSED, 40-UNIT AND 20-UNIT NEC^b CASES (Persons Per Site)

Quelle: /NUREG-0001 (1975) Bd. III/

	Single Unit Stations	Twin Unit Stations	Quad Unit Stations	4 Unit Grouping ^a For All NEC Cases
Administrative	14	14	14	28
Security	18	18	36	36
Technical Staff	9	18	36	36
Plant Operators	30	60	120	120
Skilled Maintenance	50	100	200	200
Unskilled Maintenance	17	34	32	68
Services	5	10	20	20
TOTAL STAFF	143	254	458	508

^a Es wird davon ausgegangen, daß eine Anordnung von 4 Reaktoren (4 unit grouping) in einem NEC als zwei Doppeleinheiten (twin unit) betrieben wird. Das wäre dann der Fall, wenn mehrere Energieversorgungsunternehmen (EVU) Reaktoren in einem NEC betreiben: ein EVU würde die eine Doppeleinheit, ein weiteres EVU die andere Doppeleinheit betreiben. Handelt es sich jedoch um ein großes EVU oder um einen Zusammenschluß von einzelnen EVUs, die z.B. 8 bis 12 Reaktoren betreiben könnten, dann könnte der Personalbedarf für die 4-Reaktoren-Anordnung (4 unit grouping) wahrscheinlich reduziert werden.

^b NEC: Nuclear Energy Center

Die Angaben über den Bedarf an Betriebspersonal eines 1000 MW_e Leichtwasserkernkraftwerks aus einer japanischen Veröffentlichung ist Tabelle 2.5 zu entnehmen /NISHIMURA, K. (1979)/. Auch in diesen Angaben ist die in der kaufmännischen und Personalverwaltung beschäftigte Personenanzahl nicht enthalten.

Tabelle 2.5: THE NUMBER OF TECHNICAL PERSONNEL REQUIRED FOR THE OPERATION AND MAINTENANCE OF A 1000 MW_e NUCLEAR POWER PLANT

Quelle: /NISHIMURA, K. (1979)/

		Number of staff	Number of "key personnel"
Reactor operator		47	12
Technical	Core management	6	2
	Fuel management	4	2
	Chemical	5	2
Safety	Radiation	10	5
	Quality assurance	3	1
Maintenance	Electrical	25	4
	Mechanical		
	Instrumental		
Total		100	28

2.2 Lagerbecken

Unter Lagerbecken sollen hier separate, nicht zu den Kernkraftwerken gehörende Lagerbecken, sogenannte Zwischen- oder Endlagerbecken zur Speicherung von abgebrannten Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren verstanden werden. Nach Literatur /RFCC (1977)/ wird hierfür ein Betriebspersonal von 70 Mann für das Lagerbecken einer zugehörigen Wiederaufarbeitungsanlage von 350 t/a und bis zu 150 Mann Betriebspersonal für das Lagerbecken zugehörig zu einer Wiederaufarbeitungsanlage von 3000 t/a Kapazität angenommen (siehe Tabelle 2.6); dabei beträgt die Lagerbeckenkapazität das Doppelte der zu versorgenden Wiederaufarbeitungsanlagen-Jahreskapazität zuzüglich einer Reserve der halben Wiederaufarbeitungsanlagen-Jahreskapazität, in Summa hier also ca. 1000 t bzw. 7500 t.

Tabelle 2.6: NOTWENDIGES BETRIEBSPERSONAL IN ABHÄNGIGKEIT DER LAGERBECKENKAPAZITÄT
Quelle: Nach /RFCC (1977)/

Lagerbeckenkapazität	Staffing personnel
1000 t	70
7500 t	150

Nach Literatur /DWK und STEAG (1978)/ ist für das Puffer-Zwischenlager AHAUS bei Münster bei einer Lagerkapazität von 1500 t SM ein Personalbedarf von 120 Mann vorgesehen.

2.3 Wiederaufarbeitungsanlage

Angaben über das Betriebspersonal einer Wiederaufarbeitungsanlage (WAA) sind nur für die Anlagen zur Aufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren bekannt; jedoch dürfte das Betriebspersonal für Anlagen zur Aufarbeitung von bestrahltem Kernbrennstoff aus schnellen Brutreaktoren in der gleichen Größenordnung liegen. Angaben über die Personenzahl für den Betrieb von Wiederaufarbeitungsanlagen für abgebrannte Brennelemente aus Hochtemperaturreaktoren waren nicht erhältlich.

Tabelle 2.7 spiegelt die Anzahl des Betriebspersonals in Abhängigkeit von der Anlagengröße wieder; Tabelle 2.8 zeigt die prozentuale Aufschlüsselung für die verschiedenen Tätigkeitsfelder sowie die absolute Anzahl der tätigen Personen für eine Anlagengröße von 1500 t/a /RFCC (1977)/.

Tabelle 2.7: BETRIEBSPERSONALBEDARF IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANLAGENGRÖSSE DER LWR-WAA
Quelle: /RFCC (1977)/

Anlagenkapazität	Betriebspersonal
300 t/a	500
750 t/a	800
1500 t/a	1100
3000 t/a	1500

Nach /NECSS-1975, Band V/ beträgt die Beschäftigtenzahl einschließlich aller Service-Einrichtungen ca. 1600 Personen für eine 1500 t/a LWR-WAA und die Zahl der "significant" Beschäftigten ca. 750 Personen für die gleiche Anlagengröße.

Tabelle 2.8: TENTATIVE STAFF DISTRIBUTION

(in % of total staff), and Operating Personnel for a LWR-Reprocessing plant of 1500 t/a

Quelle: Nach /RFCC (1977)/

	Operating Personnel in %		Operating Personnel absolut
	300 t/a	750 t/a and above	1500 t/a
<u>Production</u>			
Fuel handling and storage Subfacility	4	7	77
Separation subfacility	25	28	308
U conversion subfacility	2	3	33
Pu conversion subfacility	4	7	77
Subtotal	35	45	495
<u>Technical Services</u>			
Analytical subfacility	12	10	110
Radiation protection	10	10	110
Maintenance	25	20	220
Technical assistance (new works design, draftsmen, etc.)	3	2	22
Subtotal	50	42	462
<u>General Services</u>			
Service functions (laundry, janitorial, utilities, canteen, medical, etc.)	10	8	88
Clerical services	5	5	55
Subtotal	15	13	143
Total	100	100	1100

2.4 Brennelementfertigungsanlagen

2.4.1 Brennelementfertigungsanlage für Uran-Brennelemente

Für eine Brennelementfertigungsanlage zur Herstellung von Uran-Brennelementen (Anreicherungsgrad des Uran von 2,5 - 3,5 %) für den Einsatz in thermischen Leichtwasserreaktoren kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt bei einer Anlagenkapazität von 500 tSM/a ein Personalbedarf von 500 Personen angesetzt werden. Jedoch kann bei einer Ausweitung der augenblicklich geltenden Sicherheits-Vorschriften und -Auflage sich die Personalzahl z.B. um 100 % erhöhen.

2.4.2 Brennelementfertigungsanlage für Mox-Brennelemente

Mischoxid (Mox)-Brennelemente enthalten Uran und Plutonium als Spaltstoff. Das Plutonium wird durch die Aufarbeitung von bestrahltem Kernbrennstoff gewonnen, das Uran wird in Form von abgereichertem Uran oder Natururan verwendet. Durch den Einsatz von Mox-Brennelementen in Leichtwasserreaktoren kann das durch Aufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus LWR gewonnene Plutonium rezykliert werden. In anderer prozentualer Zusammensetzung von Uran und Plutonium kommen diese U/Pu-Brennelemente in Schnellen Brutreaktoren zum Einsatz.

Eine Anlage zur Aufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren mit einer Kapazität von 1500 t/a kann eine Anlage von 250 bis 300 t/a zur Fabrikation von Mox-Brennelementen für den Einsatz in LWR (bzw. eine Anlage von 70 t/a zur Herstellung von U/Pu-Brennelementen für den Einsatz in Schnellen Brutreaktoren) mit spaltbarem Plutonium versorgen.

Eine Mox-Brennelementfertigungsanlage von 300 t/a setzt sich nach /STOLL, W. (1977)/ aus 12 Strängen à 25 t/a zusammen (Verfügbarkeit von

75 % ist berücksichtigt). Für eine solche Anlage wird laut Angaben des gleichen Verfassers mit einem Betriebspersonal von 800 Personen gerechnet, also

300 t/a Mox-Brennelementfertigungsanlage  800 Personen

Nach /NUREG-0001 (1975), Band IV/ ist für eine Mox-Brennelementfertigungsanlage von 300 bis 400 t/a Kapazität ein Gesamtbetriebspersonal (beinhaltet Service) von 600 Personen zu erwarten.

Zu ähnlichen Ergebnissen wie STOLL kommt /RFCC 1977/. Aus Tabelle 2.9 ist sowohl für eine 300 t/a als auch für eine 60 t/a Mox-Brennelementfertigungsanlage die Anzahl der beschäftigten Personen, aufgeteilt nach Tätigkeitsfeldern, zu entnehmen. Die Gesamtpersonenanzahl ist dabei mit einer Genauigkeit von ± 10 % bestimmt. Die 300 t/a-Anlage besteht aus 5 Strängen à 60 t, die 60 t/a-Anlage aus 2 Strängen à 30 t.

2.5 Waste-Management

Angaben über Anzahl der Personen, die im Waste-Management tätig sind, (Lagerung von flüssigen HAW, Verfestigung und Zwischenlagerung von HAW, Behandlung von MAW und LAW, Endlagerung der radioaktiven Abfälle etc.) können aus Tabelle 2.10 entnommen werden /RFCC (1977)/. Es werden hierbei zwei Fälle unterschieden: Einmal befinden sich die Waste-Behandlungsanlagen sowie der Ort der Endlagerung am gleichen Ort, wie die Wiederaufarbeitungsanlage, zum anderen seien die verschiedenen Anlagen bzw. Lager gestreut angeordnet.

Tabelle 2.9: EXPECTED STAFFING REQUIREMENTS FOR A MOX FUEL FABRICATION PLANT

Quelle: /RFCC (1977)/

		60 t/a		300 t/a		
Services (separate)						
	Nitrate conversion and storage	25		65		
	Production, QC/QA, maintenance, storage	110		375		
	Nuclear material control	8		25		
	Safety	20		50		
	Management, coordination	10		20		
Subtotal		173		535		
		60 t/a		300 t/a		
		RFCC ^a total	MOX contribution	RFCC total	MOX contribution	
		MOX % of use				
Services (joint with reprocessing and waste management)						
	Testing (central analytical)	70	30	21	90	63
	Workshop and general services	30	30	9	90	27
	Safeguarding nuclear materials, nuclear material accountability (computer)	60	5	3	15	9
	Scrap recycling	80	30	24	90	72
Subtotal			57		171	
Total manpower for MOX plant		230		706		

^a RFCC: Regional Fuel Cycle Center

Tabelle 2.10: OPERATING PERSONNEL
Quelle: /RFCC (1977)/

Reprocessing plant capacity (t/a) Activity	300		1500		3000	
	Co-located	Single	Co-located	Single	Co-located	Single
1. Waste operations						
Operations	80	80	115	115	140	140
Ancillary services	50	90	65	115	75	140
Total	130	170	180	230	215	280
2. Geological disposal						
Operations including services	70	70	100	100	130	130
Support activities	—	40	—	60	—	70
Total	70	110	100	160	130	200
Overall total	200	250	280	390	345	480

2.6 Transport

Als Unterlage für die Angaben über die Anzahl der Personen, die den Transport von frischen bzw. abgebrannten Brennelementen zu und/oder von den Reaktoren begleiten, wurden die Ausführungen nach Literatur /POWERS, J.A. (1974)/ herangezogen. Dort werden für den Schutz pro durch zuführenden Transport als Minimum zwei Personen angenommen.

2.7 Anreicherungsanlage

Datenmaterial liegt nicht vor. Es ist meines Wissens z.Zt. noch nicht festgelegt, ob der Bau von Anlagen zur Anreicherung von Uran in der Bundesrepublik Deutschland in größerem Maßstab, d.h. in der Größenordnung des Eigenbedarfs, vorgenommen werden soll.

2.8 Schutzpersonal

Betrachtet werden die Personalzahlenangaben für ein integriertes Entsorgungszentrum, beinhaltend eine 1500 t/a WAA für bestrahlten LWR-Kernbrennstoff, eine zugehörige Mox-Brennelementfertigungsanlage von 300 t/a sowie die zugehörenden Lager- und Wastebehandlungsstätten. Es wird ein 24 Stunden-Schutz pro Tag angesetzt. In Tabelle 2.11 ist die Zusammensetzung des Schutzpersonals nach Tätigkeitsfeld und Anzahl aufgelistet /RFCC (1977)/.

2.9 Entsorgungszentrum

Obwohl im Augenblick die Errichtung eines integrierten nuklearen Entsorgungszentrums fraglich erscheint, soll die in der Literatur angegebene Beschäftigtenzahl aufgeführt werden.

Das nukleare Entsorgungszentrum besteht aus folgenden sieben Teilprojekten:

- Brennelementlagerung
- Wiederaufarbeitung, Abfallbehandlung und Zwischenlagerung
- Uranverarbeitung

Tabelle 2.11: ESTIMATED ON-SITE RFCC^d GUARD FORCE

for a centre with a co-located 1500 t/a reprocessing plant, 300 t/a MOC fuel fabrications plant and corresponding storage and waste management facilities

Quelle: /RFCC (1977)/

Posts	Number
<i>Guard force</i>	
Shift supervisor	1
Central alarm station and gate	
Communications	1
Gate operators	2
Monitors	0-2
Back-up alarm station and gate	
Communications	
Gate operators	
Monitors	2
Other manned gates (3) ^a	6
Intermittent gates	4-6
Escorts	4-6
Total for one shift^b	20-26
<i>Administrative functions</i>	
Chief of security	1
Investigators	3
Maintenance personnel	4-6
Secretaries	2
Total for one shift^c	10-12

^a The number of gates is indicated in parentheses.

^b The number of shifts needed would vary between 5 - 7, which gives a total number of guards for 5 shifts: 100 - 130 guards; for 6 shifts: 120 - 156 guards; for 7 shifts: 140 - 182 guards.

^c These persons would only be on duty during one shift.

^d RFCC: Regional Fuel Cycle Center

- Plutonium-Brennelementherstellung
- Abfallendbehandlung
- Abfallendlagerung
- Übergeordnete Infrastruktur

Laut Angaben nach Literatur /DWK 1977/ werden in dem Entsorgungszentrum 3000 - 4000 Beschäftigte tätig sein.

3. Zahl der Beschäftigten in den Stationen des nuklearen Brennstoffzyklus insgesamt für alternative Ausbauszenarien der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland

3.1 Ausgangsdaten

In den nachfolgenden Kapiteln werden für verschiedene Ausbauszenarien der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland die Gesamtzahl der Beschäftigten in den einzelnen Stationen des Brennstoffkreislaufs hochgerechnet.

Basis bilden hierfür die in Kapitel 2 ermittelten Daten hinsichtlich des Personalbedarfs in den einzelnen Stationen des nuklearen Brennstoffkreislaufs. In den jeweiligen Unterkapiteln von Kapitel 3 werden die der Hochrechnung zugrunde liegenden Daten aufgeführt.

Um die Berechnungen durchzuführen, um z.B. aus der installierten Kernenergieleistung die Anzahl der zugebauten Reaktoren und daraus wiederum die Anzahl der in den Reaktoren Beschäftigten zu ermitteln, ist es ferner notwendig, die charakteristischen Kenndaten der jeweiligen Reaktoren zu kennen.

Folgende Kenndaten der Reaktoren wurden verwendet:

Leichtwasserreaktor (LWR)

Die leichtwassermoderierten und -gekühlten Reaktoren, sowohl Druckwasser- als auch Siedewasserreaktoren, benötigen angereichertes Uran als Brennstoff mit einem U-235 Anteil von 3,2 % bis 3,5 %.

Blockgröße:	1300 MW _e
Abbrand	36 000 MWd/tSM
Lastfaktor	0,7
Wirkungsgrad	33 %
Brennstoffdurchsatz (Entladung)	27,95 tSM/a

Schneller Brutreaktor (SBR)

Für die schnellen Brutreaktoren wird angenommen, daß flüssiges Natrium als Kühlmittel zum Einsatz gelangt

Blockgröße:	2000 MW _e
Abbrand	Core 77 000 MWd/tSM
	axiales Blanket 3 290 MWd/tSM
	radiales Blanket 4 670 MWd/tSM
Lastfaktor	0,7
Wirkungsgrad	40 %
Brennstoffdurchsatz (Entladung)	{ Core + axiales Blanket: 26,69 tSM/a
	{ radiales Blanket: 4,71 tSM/a

Hochtemperaturreaktor (HTR)

Die Berechnungen zum HTR werden für den Thorium-Uran Zyklus durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, daß der HTR kommerziell als Near-Breeder und Pre-Breeder zum Einsatz gelangt. Daher wurde ein gemittelter Abbrand von 23 500 MWd/tSM den Berechnungen zugrunde gelegt.

Blockgröße	1300 MW _e (3 250 MW _{th})
Abbrand	23 500 MWd/tSM
Lastfaktor	0,7
Wirkungsgrad	40 %
Brennstoffdurchsatz (Entladung)	35,34 tSM/a

Beim Aufbau des Rechenprogramms wurde folgender zeitliche Ablauf der Brennstoffzyklusdienste angewandt: Ein Jahr nach Beginn des Reaktorbetriebs fällt erstmalig der abgebrannte Brennstoff an; frische Brennelemente werden zu den Reaktoren transportiert. Am Ende des zweiten Jahres erfolgt der Transport ausgedienter Brennelemente von den Reaktoren zu den Wiederaufarbeitungsanlagen sowie - falls nicht anders angegeben - die Aufarbeitung des bestrahlten Kernbrennstoffs. Die Lebensdauer der Reaktoren beträgt 28 Jahre.

3.2 Szenarien

Für die Berechnungen der Anzahl der Beschäftigten im nuklearen Brennstoffkreislauf werden zwei Modelle einer möglichen Entwicklung der bis zum Jahre 2060 in der Bundesrepublik Deutschland zu erwartenden installierten Kernenergieleistung herangezogen. Es wird ferner angenommen, daß die fort-

geschrittenen Reaktoren, SBR und HTR, ab dem Jahre 2005/6 zum kommerziellen Einsatz gelangen. Der Anteil dieser Reaktoren an der installierten Nuklearleistung wird zu gleichen Teilen aufgespalten d.h. in einen 50 % SBR-Anteil und in einen 50 % HTR-Anteil.

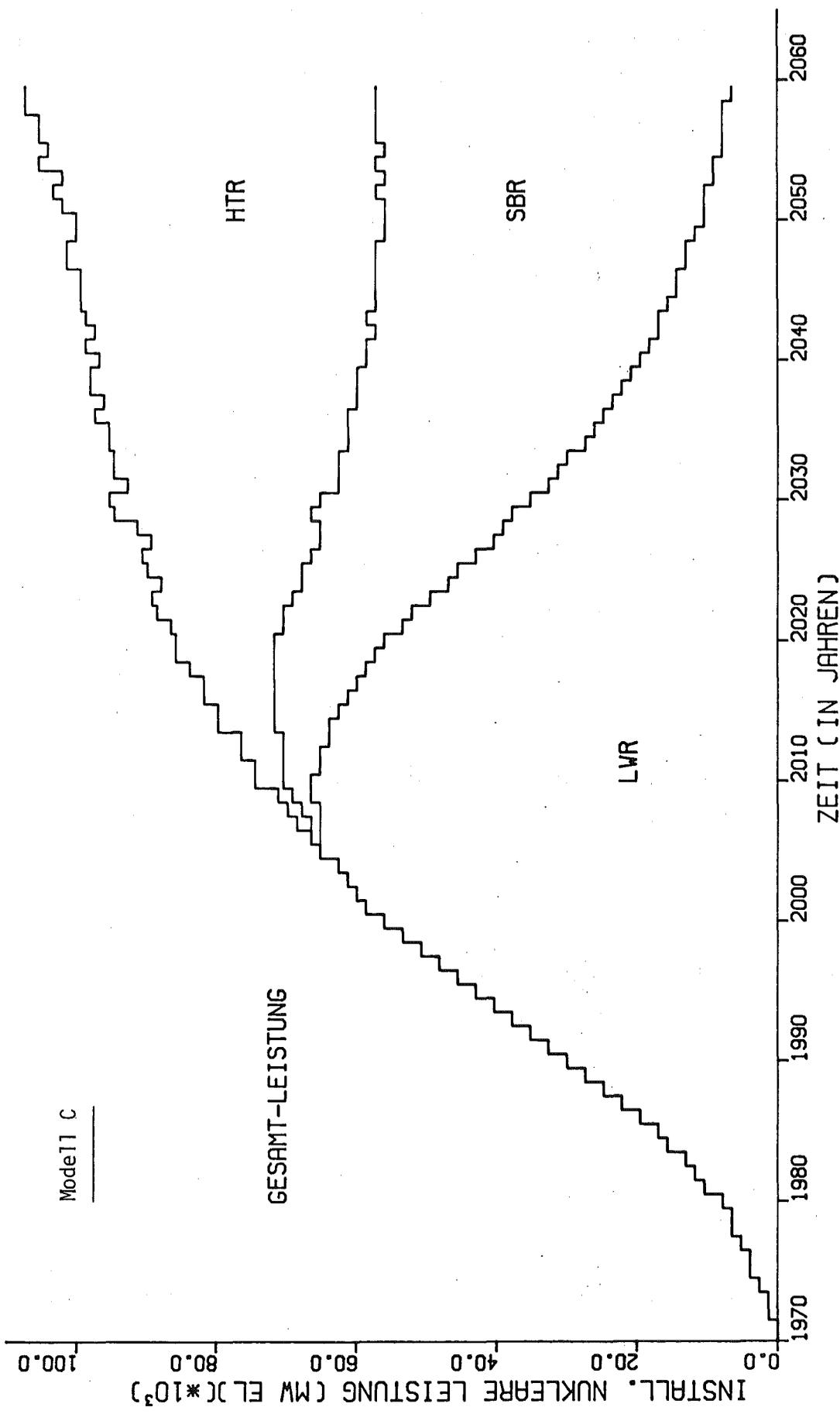
Die Abbildungen 3.1 (1985 : 17 GW_e, 2000 : 56 GW_e, 2020 : 86 GW_e, 2050 : 100 GW_e) und 3.2 (1985 : 25 GW_e, 2000 : 84 GW_e, 2020 : 138 GW_e, 2050 : 175 GW_e) zeigen diese Modelle der in der Bundesrepublik Deutschland installierten Nuklearleistung und ihre Aufteilung in den LWR-, SBR- und HTR-Anteil. In den Abbildungen ist der SBR-, bzw. HTR-Anteil an der Gesamtleistung durch den Streckenabstand in der Vertikalen zwischen den einzelnen Kurvenzügen gegeben, der LWR-Anteil durch den vertikalen Streckenabstand zwischen Abszisse und Kurvenzug.

Bei der Berechnung der Beschäftigten in nuklearen Anlagen, z.B. Reaktoren und Wiederaufarbeitungsanlagen, werden nur kommerzielle Einrichtungen berücksichtigt. Forschungsreaktoren, Pilot- und Demonstrationsanlagen werden außer Betracht gelassen. Es wird ferner angenommen, daß keine Rezyklierung von Plutonium im LWR vor dem kommerziellen Einsatz von SBR vorgenommen wird, und daß die Wiederaufarbeitungsanlagen für die abgebrannten Brennelemente aus LWR, SBR und HTR sowie die Brennelementfertigung plutoniumhaltiger Brennelemente an einem geographischen Ort zu stehen kommen.

Charakteristiken der einzelnen Szenarien

Szenario I.1

Das Szenario I.1 ist bestimmt durch den Verlauf der installierten Kernenergieleistung nach Modell C laut Abb. 3.1 und durch den Einsatz einer Anlage zur Wiederaufarbeitung von bestrahlten Brennelementen aus den LWR im Jahre 2005, mit einer Kapazität von 1400 tSM/a. Nach der Aufarbeitung



Mode11 C

GESAMT-LEISTUNG

HTR

SBR

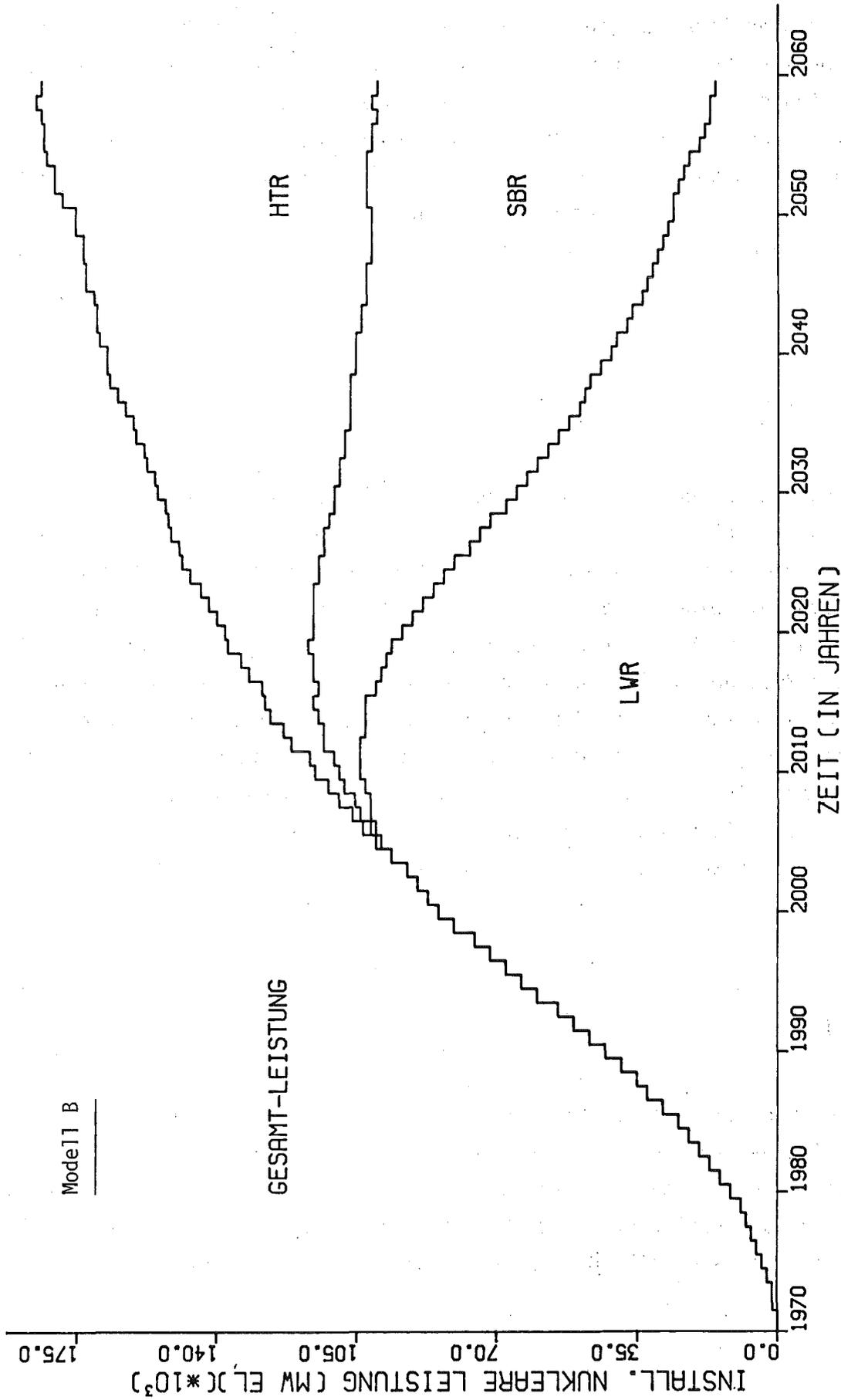
LWR

ZEIT (IN JAHREN)

AFAS
1979

ABB. 3.1:

KfK



AFAS
1979

ABB. 3.2:

KfK

der zwischengelagerten abgebrannten LWR-Brennelemente im Jahre 2046 wird die Kapazität der Wiederaufarbeitungsanlage entsprechend der jährlich aufzuarbeitenden Menge an bestrahltem LWR-Kernbrennstoff reduziert. Die Aufarbeitung von bestrahltem SBR- und HTR-Kernbrennstoff erfolge unmittelbar nach der Entladung unter Berücksichtigung der Abklingzeit; die Kapazität der zugehörigen installierten WA-Anlagen richtet sich nach der jährlich anfallenden Menge von bestrahltem Kernbrennstoff.

Szenario I.2

Das Szenario ist charakterisiert durch die installierte Kernenergieleistung laut Modell C nach Abb. 3.1 sowie durch den Einsatz einer Anlage zur Wiederaufarbeitung von bestrahlten Brennelementen aus dem LWR im Jahre 1996 mit einer Kapazität von 1400 tSM/a. Die Aufarbeitung der zwischengelagerten abgebrannten Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren ist im Jahre 2031 abgeschlossen. Ab diesem Zeitpunkt wird die Kapazität der Wiederaufarbeitungsanlage der jährlich anfallenden aufzuarbeitenden Brennstoffmenge angepaßt. Die Aufarbeitung des bestrahlten SBR- und HTR-Kernbrennstoffs erfolgt unmittelbar nach der Entladung und vorgesehenen Abklingzeit; die Kapazität der zugehörigen WA-Anlagen ist entsprechend der jährlichen anfallenden Menge von bestrahltem Kernbrennstoff.

Szenario I.3

Das Szenario I.3 wird beschrieben durch den Entwicklungspfad der installierten Kernenergieleistung nach Modell C laut Abb. 3.1. Im Gegensatz zu den Szenarien I.1 und I.2 wird bei diesem Szenario die Forderung erhoben, daß der zwischengelagerte bestrahlte Kernbrennstoff etwa um das Jahr 2015 aufgearbeitet sein soll. Dies wird erreicht z.B. durch einen Zubau an

Wiederaufarbeitungskapazität für bestrahlten LWR-Kernbrennstoff nach Tabelle 3.1. Die Lebensdauer der Wiederaufarbeitungsanlagen betrage in der Regel 25 Jahre. Die Aufarbeitung der in der Zwischenzeit gelagerten abgebrannten LWR-Brennelemente ist im Jahre 2014 abgeschlossen. Von diesem Zeitpunkt an wird die Kapazität der Wiederaufarbeitungsanlage der jährlich aufzuarbeitenden Menge von bestrahltem LWR-Kernbrennstoff angepaßt. Die Aufarbeitung von bestrahltem SBR- und HTR-Kernbrennstoff erfolgt unmittelbar nach der Entladung und vorgesehenen Abklingzeit; die Kapazität der zugehörigen installierten WA-Anlagen richtet sich nach der jährlichen Menge des anfallenden bestrahlten Kernbrennstoffs.

Szenario I.4

Das Szenario I.4 wird beschrieben durch den Entwicklungspfad der installierten Kernenergieleistung nach Modell C laut Abb. 3.1. Für die installierte Leistung an Wiederaufarbeitungskapazität für bestrahlten LWR-Kernbrennstoff gelte, daß ab dem Jahre 1996 eine 350 tSM/a-Anlage in Betrieb gehe und ab dem Jahre 2005 weitere 1050 tSM/a zusätzlich installiert werden, so daß ab diesem Zeitpunkt insgesamt 1400 tSM/a an LWR-Wiederaufarbeitungskapazität zur Verfügung stehen. Der zwischengelagerte bestrahlte LWR-Kernbrennstoff ist im Jahre 2043 aufgearbeitet; von diesem Zeitpunkt an wird die Anlagenkapazität auf den Wert der jährlich anfallenden und aufzuarbeitenden Menge an bestrahltem LWR-Kernbrennstoff gedrosselt. Die Aufarbeitung von bestrahltem SBR- und HTR-Kernbrennstoff erfolgt unmittelbar nach der Entladung desselben aus den Reaktoren unter Berücksichtigung der Abklingzeit; die Kapazität der zugehörigen installierten WA-Anlagen richtet sich nach der jährlich anfallenden Menge von bestrahltem Kernbrennstoff.

Tabelle 3.1:

Szenario I.3

ANFALL ABGEBRANNTER BRENNELEMENTE AUS LEICHTWASSERREAKTOREN
 INSTALLIERTE WIEDERAUFARBEITUNGSKAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	ANFALL ABGEBRANNTER LWR-BRENNELEMENTE (T SM)		LWR-WIEDERAUFARBEITUNGS- KAPAZITAET, INSTALLIERT (T SM/A)	LWR-BRENNELEMENTLEBER HANG, KUMULIERT (T SM)
	JAEHRLICH	KUMULIERT		
1995	866.4	8077.5	0.0	8077.5
1996	922.3	8999.9	1400.0	7599.9
1997	978.2	9978.1	1400.0	7178.1
1998	1034.1	11012.3	1750.0	6462.3
1999	1090.0	12102.3	1750.0	5802.3
2000	1145.9	13248.3	1750.0	5198.3
2005	1341.6	15648.8	1750.0	2848.8
2010	1425.4	26664.2	1750.0	1114.2
2015	1369.5	33623.8	1750.0	0.0
2020	1229.8	40052.3	1750.0	0.0
2021	1201.8	41254.1	1750.0	0.0
2023	1118.0	43518.1	1400.0	0.0
2026	978.2	46564.6	1050.0	0.0
2030	810.5	50002.4	1050.0	0.0
2036	559.0	53915.4	700.0	0.0
2040	447.2	55871.9	700.0	0.0
2041	419.2	56291.2	350.0	69.2
2050	251.5	59170.0	350.0	0.0
2060	139.7	61042.6	175.0	0.0

Szenario II.1

Das Szenario II.1 ist charakterisiert durch den Entwicklungspfad der Kernenergieleistung nach Modell B, laut Abb. 3.2, sowie der installierten Wiederaufarbeitungskapazität für bestrahlten LWR-Kernbrennstoff nach Tabelle 3.2. Die zwischengelagerten abgebrannten LWR-Brennelemente sind bis zum Jahre 2017 aufgearbeitet; ab diesem Zeitpunkt wird die Kapazität der Wiederaufarbeitungsanlage entsprechend der jährlich anfallenden und aufzuarbeitenden Menge von bestrahltem LWR-Kernbrennstoff reduziert. Die Aufarbeitung des bestrahlten SBR- und HTR-Kernbrennstoffs erfolgt unmittelbar nach der Entladung und vorgesehenen Abklingzeit; die Kapazität der zugehörigen installierten WA-Anlagen richtet sich nach der jährlich anfallenden Menge von bestrahltem Kernbrennstoff.

Szenario II.2

Das Szenario II.2 wird beschrieben durch den Verlauf der installierten Kernenergieleistung nach Modell B, laut Abb. 3.2, sowie der installierten Wiederaufarbeitungskapazität für bestrahlten LWR-Kernbrennstoff nach Tabelle 3.3. Die Lebensdauer der Wiederaufarbeitungsanlagen ist in der Regel mit 25 Jahren angesetzt. Die Aufarbeitung der zwischengelagerten abgebrannten Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren wird im Jahre 2011 erreicht; die Kapazität der Wiederaufarbeitungsanlage wird von diesem Zeitpunkt an entsprechend der jährlich anfallenden und aufzuarbeitenden Menge von bestrahltem LWR-Kernbrennstoff reduziert. Die Aufarbeitung des bestrahlten SBR- und HTR-Kernbrennstoffs erfolgt unter Berücksichtigung der Abklingzeit unmittelbar nach der Entladung; die zu installierende Kapazität der zugehörigen WA-Anlagen sei entsprechend der jährlich anfallenden Menge von bestrahltem Kernbrennstoff.

Tabelle 3.2:

Szenario II.1

ANFALL ABGEBRANNTER BRENNELEMENTE AUS LEICHTWASSERREAKTOREN
UND BRENNELEMENTUEBERFANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)
BEI EINER INSTALLIERTEN WIEDERAUFARBEITUNGSKAPAZITAET VON
1400 T SM/JAHR AB 1996 UND 2800 T SM/JAHR AB 2001

JAHR	ANFALL ABGEBRANNTER LWR-BRENNELEMENTE (T SM)		LWR-WIEDERAUFARBEITUNGS- KAPAZITAET, INSTALLIERT (T SM/A)	LWR-BRENNELEMENTUEBER- HANG, KUMLIERT (T SM)
	JAEHRlich	KUMULIERT		
1995	1285.7	11543.3	0.0	11543.3
1996	1369.5	12912.9	1400.0	11512.9
1997	1453.4	14366.3	1400.0	11566.3
1998	1537.2	15903.5	1400.0	11703.5
1999	1621.1	17524.6	1400.0	11924.6
2000	1732.9	19257.5	1400.0	12257.5
2001	1816.7	21074.3	2800.0	11274.3
2005	2068.3	28928.2	2800.0	7928.2
2010	2208.0	39772.8	2800.0	4772.8
2015	2208.0	50896.9	2800.0	1896.9
2020	2068.3	61545.8	2096.2	0.0
2030	1453.4	79014.3	1537.2	0.0
2040	950.3	90613.1	1006.2	0.0
2050	586.9	97907.8	614.9	0.0
2060	335.4	102407.3	363.3	0.0

Tabelle 3.3:

Szenario II.2

ANFALL ABGEBRANNTER BRENNLEMENTE AUS LEICHTWASSERREAKTOREN
 INSTALLIERTE WIEDERAUFARBEITUNGSKAPAZITAET UND
 BRENNLEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	ANFALL ABGEBRANNTER LWR-BRENNLEMENTE (T SM)		LWR-WIEDERAUFARBEITUNGS- KAPAZITAET, INSTALLIERT (T SM/A)	LWR-BRENNLEMENTUEBER- HANG, KUMLIERT (T SM)
	JAEHRLICH	KUMULIERT		
1995	1285.7	11543.3	0.0	11543.3
1996	1369.5	12912.9	1400.0	11512.9
1997	1453.4	14366.3	1400.0	11566.3
1998	1537.2	15903.5	2450.0	10653.5
1999	1621.1	17524.6	2450.0	9824.6
2000	1732.9	19257.5	2450.0	9107.5
2005	2068.3	28928.2	2450.0	6528.2
2010	2208.0	35772.8	2450.0	5122.8
2015	2208.0	50896.9	2450.0	3996.9
2020	2068.3	61545.8	2450.0	2395.8
2021	2012.4	63558.2	2450.0	1958.2
2023	1900.6	67415.3	1750.0	1615.3
2030	1453.4	79014.3	1750.0	964.3
2040	950.3	90613.1	1750.0	0.0
2041	894.4	91507.5	1050.0	0.0
2046	698.7	95392.4	700.0	0.0
2050	586.9	97907.8	700.0	0.0
2060	335.4	102407.3	700.0	0.0
2061	307.4	102714.7	350.0	0.0

3.3 Zahl der Beschäftigten

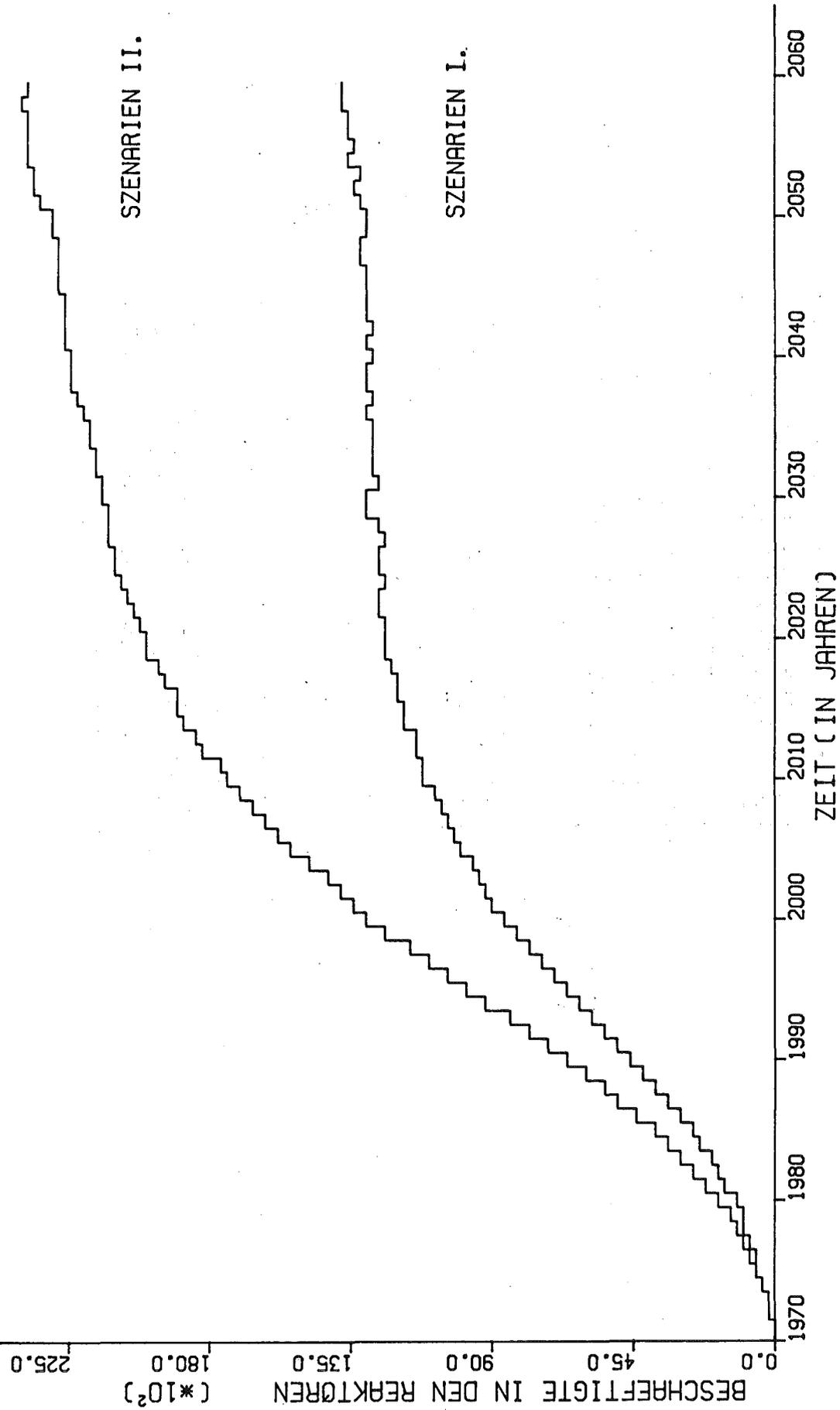
3.3.1 Zahl der Beschäftigten in den Reaktoren

Für alle Reaktortypen und Reaktorgrößen wird eine Beschäftigtenzahl nach Kapitel 2.1, Quelle /SCHENK, H. (1967)/, von 200 Personen pro Reaktor angesetzt. In Abb. 3.3, Tabelle 3.4 und Tabelle 3.5 sind in Abhängigkeit von den Kalenderjahren die errechneten Beschäftigtenzahlen für die Szenarien I und II dargestellt.

3.3.2 Zahl der Beschäftigten in den Zwischenlagerbecken

Da die ausgedienten Brennelemente aus SBR und HTR unmittelbar nach der Entladung unter Berücksichtigung der Abklingzeit aufgearbeitet werden, wird in diesem Abschnitt nur die Zwischenlagerung der bestrahlten Brennelemente aus den LWR betrachtet. Für die Überschlagsrechnung wird dabei nicht unterschieden, ob die Lagerung in Zwischenlagerbecken, in Lagerbecken auf dem Gelände einer Wiederaufarbeitungsanlage oder in den Reaktoren bzw. auf dem Reaktorgelände erfolgt. Nach Kapitel 2.2, Quelle /DWK und STEAG (1978)/ ist für die Lagerung von 1 tSM ein Personalbedarf von 0,08 Mann anzusetzen.

Aus Tabelle 3.6 ist die Zahl des Betriebspersonals für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente aus LWR in Abhängigkeit vom Kalenderjahr zu entnehmen.



AFAS
1979

ABB. 3.3:

KfK

Tabelle 3.4:

**SZENARIO I.
ANZAHL DER BESCHAEFTIGTEN
IN DEN REAKTOREN**

JAHR	LWR	HTR	SEB	GESAMT
1975	600.0	0.0	0.0	600.0
1980	1200.0	0.0	0.0	1200.0
1985	2600.0	0.0	0.0	2600.0
1990	4600.0	0.0	0.0	4600.0
1995	6600.0	0.0	0.0	6600.0
2000	8600.0	0.0	0.0	8600.0
2005	10000.0	0.0	0.0	10000.0
2010	10200.0	600.0	400.0	11200.0
2015	9600.0	1400.0	800.0	11800.0
2020	8600.0	2400.0	1400.0	12400.0
2025	7000.0	3400.0	2200.0	12600.0
2030	5400.0	4600.0	3000.0	13000.0
2035	4000.0	5400.0	3400.0	12800.0
2040	3000.0	6000.0	3800.0	12800.0
2045	2200.0	6600.0	4200.0	13000.0
2050	1600.0	7000.0	4400.0	13000.0
2055	1200.0	7400.0	4800.0	13400.0
2060	1000.0	7800.0	5000.0	13800.0

Tabelle 3.5:

**SZENARIO II.
ANZAHL DER BESCHAEFTIGTEN
IN DEN REAKTOREN**

JAHR	LWR	HTR	SEB	GESAMT
1975	600.0	0.0	0.0	600.0
1980	1800.0	0.0	0.0	1800.0
1985	3800.0	0.0	0.0	3800.0
1990	6600.0	0.0	0.0	6600.0
1995	9800.0	0.0	0.0	9800.0
2000	13000.0	0.0	0.0	13000.0
2005	15200.0	200.0	0.0	15400.0
2010	16000.0	800.0	600.0	17400.0
2015	15800.0	2000.0	1200.0	19000.0
2020	14400.0	3400.0	2200.0	20000.0
2025	12400.0	5200.0	3400.0	21000.0
2030	10000.0	7000.0	4400.0	21400.0
2035	8000.0	8400.0	5400.0	21800.0
2040	6400.0	9800.0	6200.0	22400.0
2045	5000.0	10800.0	7000.0	22800.0
2050	4000.0	11600.0	7400.0	23000.0
2055	3000.0	12600.0	8200.0	23800.0
2060	2200.0	13200.0	8600.0	24000.0

Tabelle 3.6:

Beschäftigte in den Zwischenlagern

JAHR	PERSONEN					
	SZEN.I.1	SZEN.I.2	SZEN.I.3	SZEN.I.4	SZEN.II.1	SZEN.II.2
1975	9	9	9	9	9	9
1980	54	54	54	54	65	65
1985	155	155	155	155	211	211
1990	345	345	345	345	486	486
1995	647	647	647	647	924	924
2000	1060	500	416	920	981	729
2005	1460	452	228	1208	635	523
2010	1462	454	90	1210	382	410
2015	1458	450	0	1206	152	320
2020	1413	405	0	1161	0	192
2025	1295	287	0	1043	0	140
2030	1089	81	0	837	0	78
2035	797	0	0	545	0	0
2040	438	0	0	186	0	0
2045	28	0	10	0	0	0
2050	0	0	0	0	0	0
2055	0	0	0	0	0	0
2060	0	0	0	0	0	0

3.3.3 Zahl des Bewachungspersonals für die Transporte ausgedienter Brennelemente zu den Wiederaufarbeitungsanlagen

Die Bewachungszeit für den Transport wird mit 4,5 Tagen pro Behälter angesetzt bei einer Gesamtumlaufzeit von 14 Tagen pro Behälter. /BONNENBERG & DRESCHER (1975)/. Als Bewachungspersonal ist nach Kapitel 2.6 pro Transport ein Mindesteinsatz von 2 Mann vorzusehen. Für diese überschlägige Betrachtung wird ferner angenommen, daß der Transport der Behälter einzeln und nicht verkoppelt in Form eines Eisenbahnzuges erfolgt. Geht man davon aus, daß 4 Schichten pro Tag gefahren werden, so ergibt sich pro Transport und Behälter der Personalbedarf von 8 Mann.

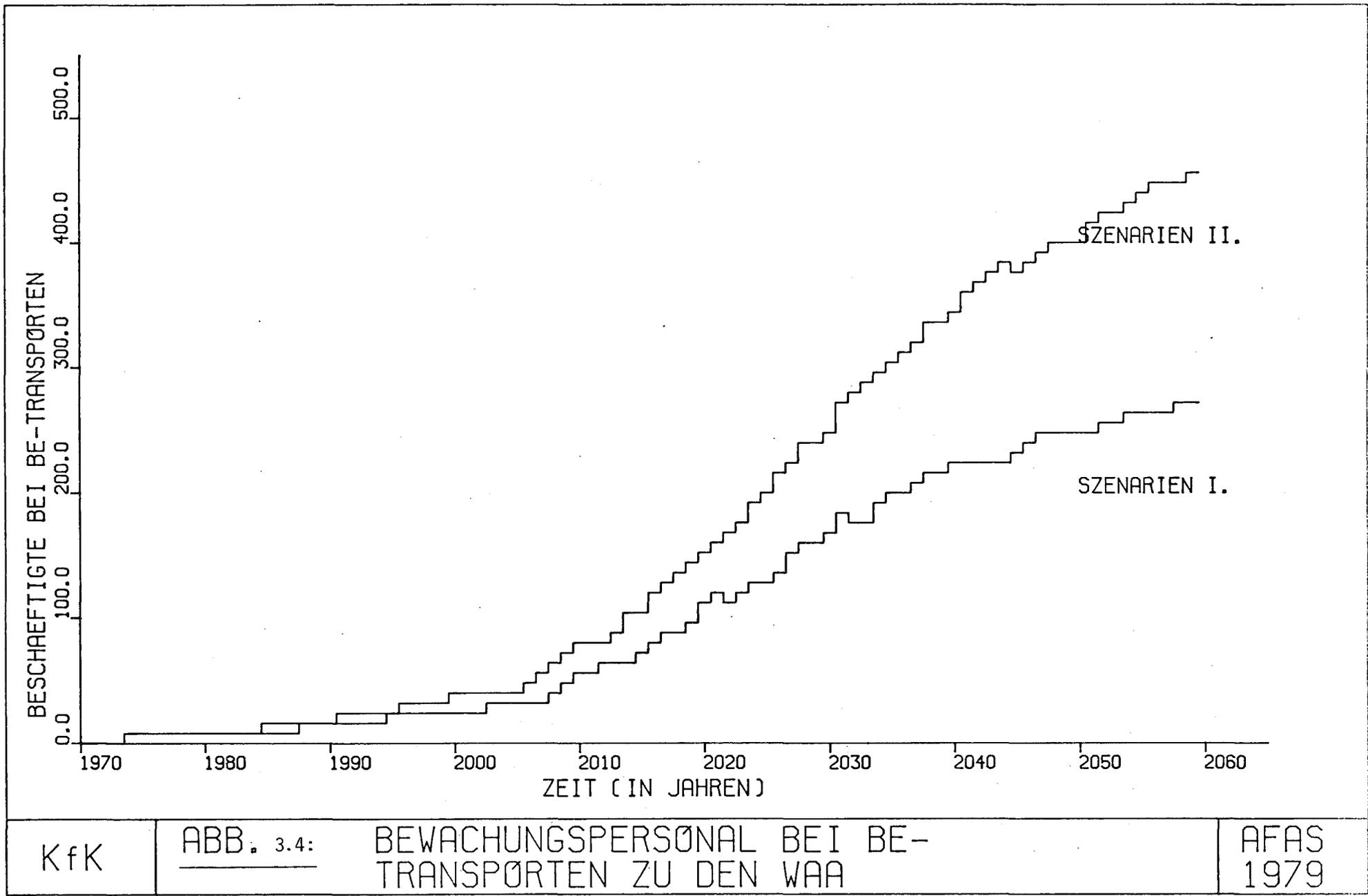
Die Behälterkapazität betrage:

LWR	:	5 tSM
SBR	:	2 tSM
HTR	:	0,6 tSM

Abb. 3.4, Tabelle 3.7 und Tabelle 3.8 geben die Anzahl des notwendigen Bewachungspersonals wieder für den jährlichen Transport abgebrannter Brennelemente aus LWR, SBR und HTR insgesamt zu den Wiederaufarbeitungsanlagen als Funktion der Kalenderjahre. Aus den Tabellen 3.4 und 3.5 kann ferner der Personalbedarf für den Transport abgebrannter Brennelemente aus den einzelnen Reaktortypen entnommen werden. Die Anzahl der im Transport Beschäftigten kann sich z.B. leicht um 100 % erhöhen, wenn aus Sicherheitsgründen pro Transport entsprechend mehr Personal zum Einsatz gelangt.

3.3.4 Zahl des Bewachungspersonals für den Transport frischer Brennelemente zu den Reaktoren

Hinsichtlich des Personalbedarfs pro Transport und Behälter haben die



KfK

ABB. 3.4:

BEWACHUNGSPERSONAL BEI BE-TRANSPORTEN ZU DEN WAA

AFAS
1979

Tabelle 3.7:

SZENARIEN I.
ANZAHL DES BEWACHUNGSPERSONALS
BEI BE-TRANSPORTEN ZU DEN JAA

JAHR	LWR	HTR	SBR	GESAMT
1975	8.0	0.0	0.0	8.0
1980	8.0	0.0	0.0	8.0
1985	8.0	0.0	0.0	8.0
1990	16.0	0.0	0.0	16.0
1995	24.0	0.0	0.0	24.0
2000	24.0	0.0	0.0	24.0
2005	32.0	0.0	0.0	32.0
2010	32.0	16.0	8.0	56.0
2015	32.0	32.0	8.0	72.0
2020	32.0	64.0	16.0	112.0
2025	24.0	88.0	16.0	128.0
2030	24.0	120.0	24.0	168.0
2035	16.0	152.0	32.0	200.0
2040	16.0	176.0	32.0	224.0
2045	8.0	192.0	32.0	232.0
2050	8.0	200.0	40.0	248.0
2055	8.0	216.0	40.0	264.0
2060	8.0	224.0	40.0	272.0

BE = Brennelement

WAA = Wiederaufarbeitungsanlage

Tabelle 3.8:

**SZENARIEN II.
ANZAHL DES BEWACHUNGSPERSONALS
BEI BE-TRANSPORTEN ZU DEN JAA**

JAHR	LWR	HTR	SBR	GESAMT
1975	8.0	0.0	0.0	8.0
1980	8.0	0.0	0.0	8.0
1985	16.0	0.0	0.0	16.0
1990	16.0	0.0	0.0	16.0
1995	24.0	0.0	0.0	24.0
2000	40.0	0.0	0.0	40.0
2005	40.0	0.0	0.0	40.0
2010	48.0	24.0	8.0	80.0
2015	48.0	48.0	8.0	104.0
2020	48.0	88.0	16.0	152.0
2025	40.0	136.0	24.0	200.0
2030	32.0	184.0	32.0	248.0
2035	32.0	232.0	40.0	304.0
2040	24.0	272.0	48.0	344.0
2045	16.0	304.0	56.0	376.0
2050	16.0	328.0	56.0	400.0
2055	16.0	360.0	64.0	440.0
2060	8.0	384.0	72.0	464.0

BE = Brennelement

WAA = Wiederaufarbeitungsanlage

gleichen Überlegungen Gültigkeit, wie sie in Kapitel 3.3.3 angestellt wurden.

Die Behälterkapazität betrage:

LWR : 5 tSM

SBR : 2 tSM

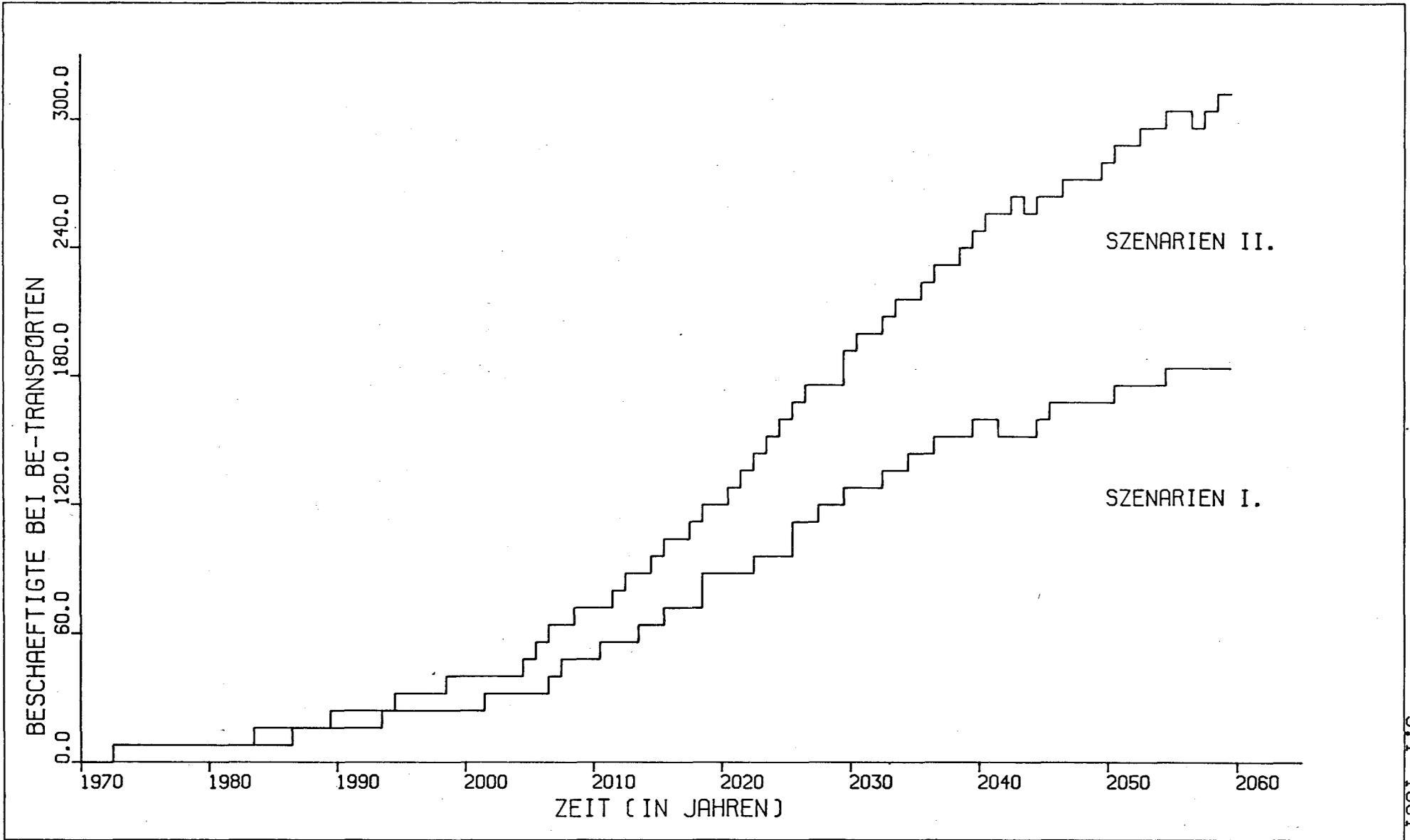
HTR : 1 tSM

Abb. 3.5, Tabelle 3.9 und 3.10 zeigen die Zahl des eingesetzten Bewachungspersonals für den jährlichen Transport frischer Brennelemente zu den LWR, SBR und HTR insgesamt. Aus Tabelle 3.9 und 3.10 ist ferner das notwendige Bewachungspersonal für den jährlichen Transport frischer Brennelemente zu den einzelnen Reaktortypen abzulesen, wobei hier die Angaben über die Transporte für die Versorgung der SBR von besonderem Interesse sein dürften.

3.3.5 Zahl der Beschäftigten in den Wiederaufarbeitungsanlagen

Zur Berechnung des eingesetzten Betriebspersonals in den Anlagen zur Aufarbeitung von bestrahltem Kernbrennstoff aus LWR, SBR und HTR wird der Personalansatz von 1 Person pro 1 tSM Wiederaufarbeitungskapazität angenommen. Dieser Personalfaktor stellt einen guten Mittelwert für eine Überschlagsrechnung dar. Wie aus Kapitel 2.3, Tabelle 2.7, ersichtlich ist, trifft diese Zahlenannahme nur für eine 750 tSM/a Wiederaufarbeitungsanlage in erster Näherung zu; für größere Anlagen ist sie zu hoch für kleinere Anlagen zu tief gegriffen.

Abb. 3.6 bis Abb. 3.11 und Tabelle 3.11 spiegeln die Anzahl der in den Wiederaufarbeitungsanlagen insgesamt beschäftigten Personen wieder.



KfK

ABB. 3.5:

BEWACHUNGSPERSONAL BEI BE-TRANSPORTEN ZU DEN REAKTOREN

AFAS
1979

Tabelle 3.9:

SZENARIEN I.
ANZAHL DES BEWACHUNGSPERSONALS
BEI BE-TRANSPORTEN ZU DEN REAKTOREN

JAHR	LWR	HTR	SBR	GESAMT
1975	8.0	0.0	0.0	8.0
1980	8.0	0.0	0.0	8.0
1985	8.0	0.0	0.0	8.0
1990	16.0	0.0	0.0	16.0
1995	24.0	0.0	0.0	24.0
2000	24.0	0.0	0.0	24.0
2005	32.0	0.0	0.0	32.0
2010	32.0	8.0	8.0	48.0
2015	32.0	24.0	8.0	64.0
2020	32.0	40.0	16.0	88.0
2025	24.0	56.0	16.0	96.0
2030	24.0	80.0	24.0	128.0
2035	16.0	96.0	32.0	144.0
2040	16.0	112.0	32.0	160.0
2045	8.0	112.0	40.0	160.0
2050	8.0	120.0	40.0	168.0
2055	8.0	136.0	40.0	184.0
2060	8.0	144.0	40.0	192.0

BE = Brennelement

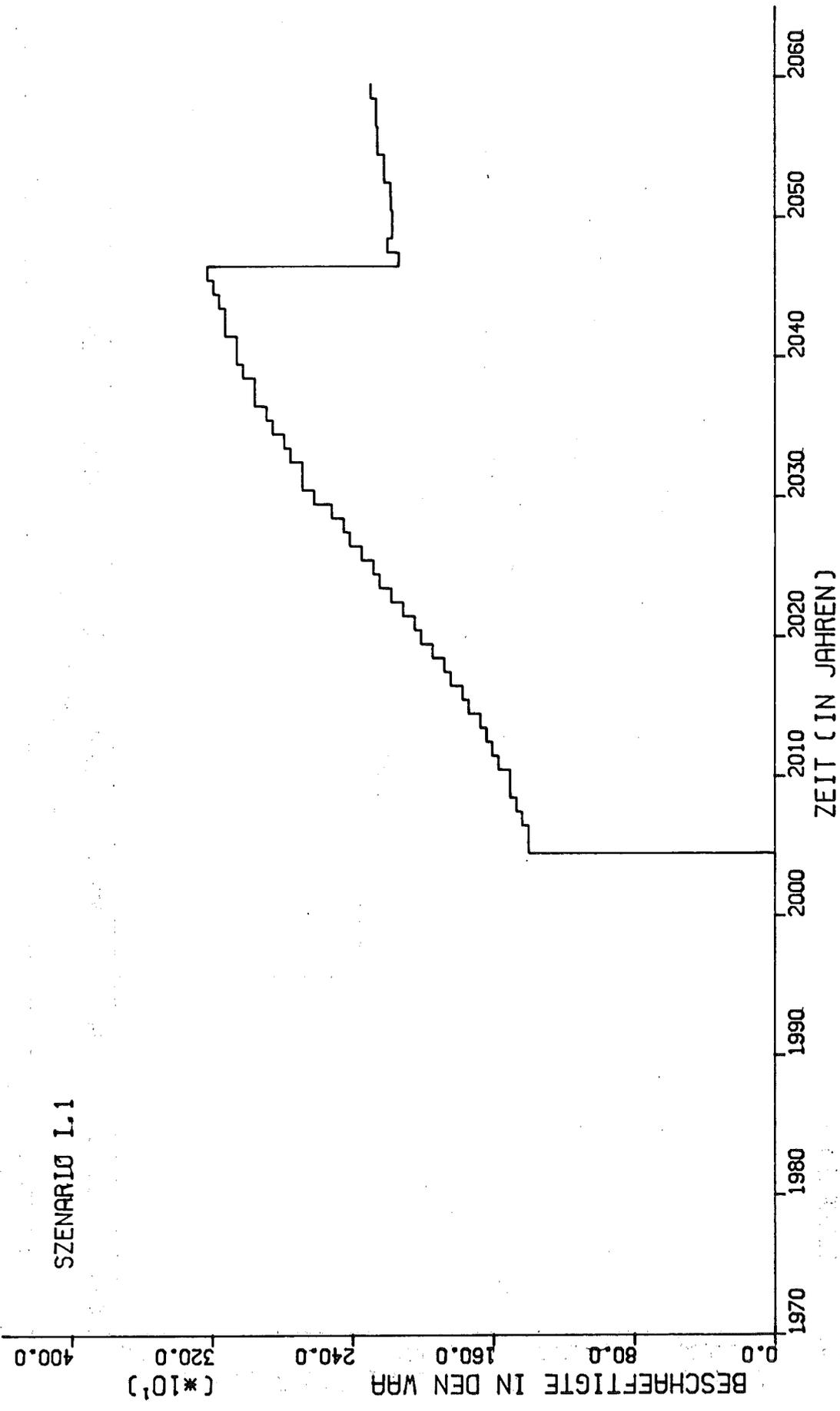
Tabelle 3.10:

**SZENARIEN II.
ANZAHL DES BEWACHUNGSPERSONALS
BEI BE-TRANSPORTEN ZU DEN REAKTOREN**

JAHR	LWR	HTR	SBR	GESAMT
1975	8.0	0.0	0.0	8.0
1980	8.0	0.0	0.0	8.0
1985	16.0	0.0	0.0	16.0
1990	24.0	0.0	0.0	24.0
1995	32.0	0.0	0.0	32.0
2000	40.0	0.0	0.0	40.0
2005	48.0	0.0	0.0	48.0
2010	48.0	16.0	8.0	72.0
2015	48.0	32.0	16.0	96.0
2020	48.0	56.0	16.0	120.0
2025	40.0	88.0	32.0	160.0
2030	32.0	120.0	40.0	192.0
2035	24.0	144.0	48.0	216.0
2040	24.0	168.0	56.0	248.0
2045	16.0	192.0	56.0	264.0
2050	16.0	200.0	64.0	280.0
2055	16.0	224.0	64.0	304.0
2060	8.0	232.0	72.0	312.0

BE = Brennelement

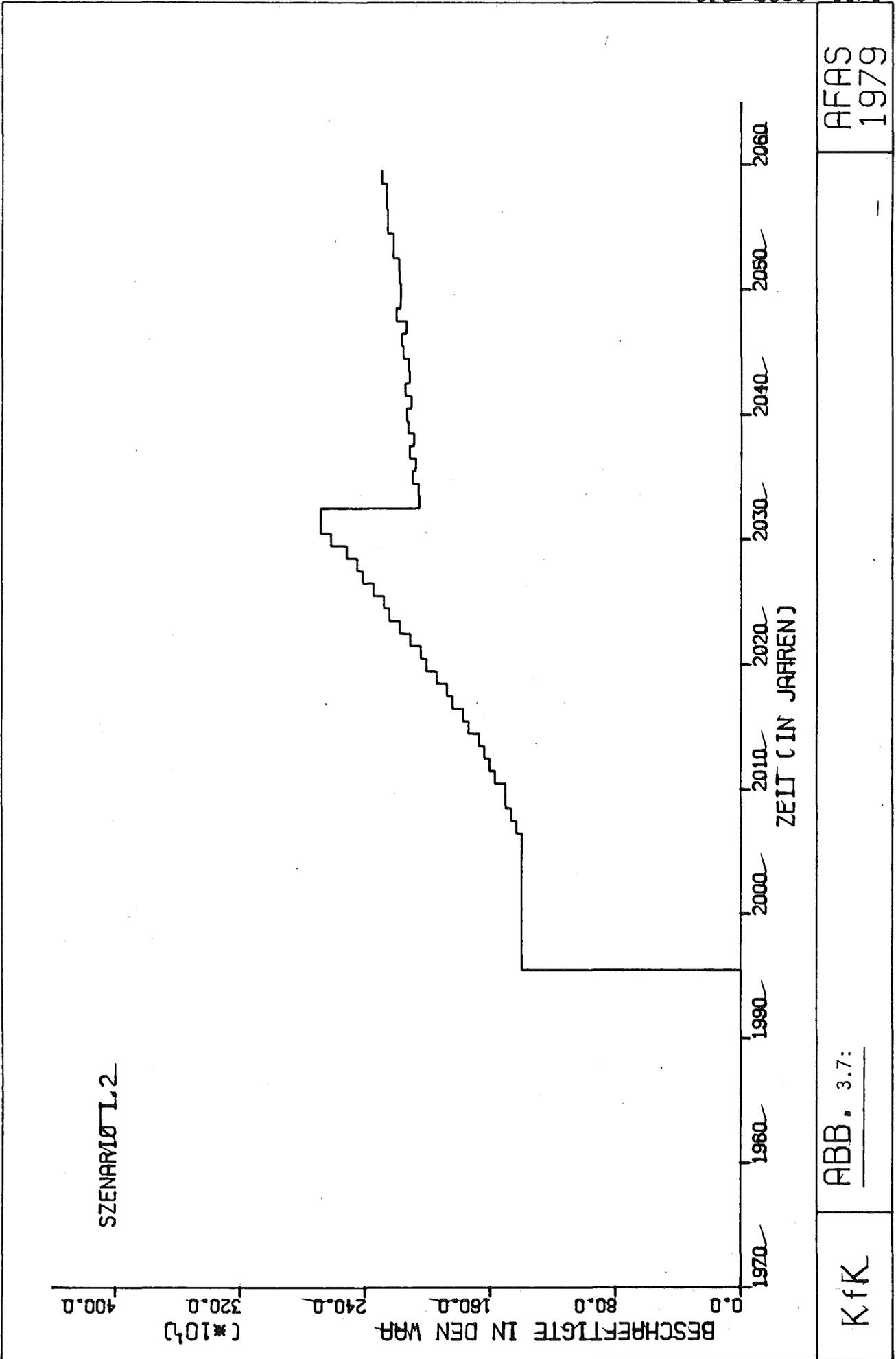
SZENARIO I.1



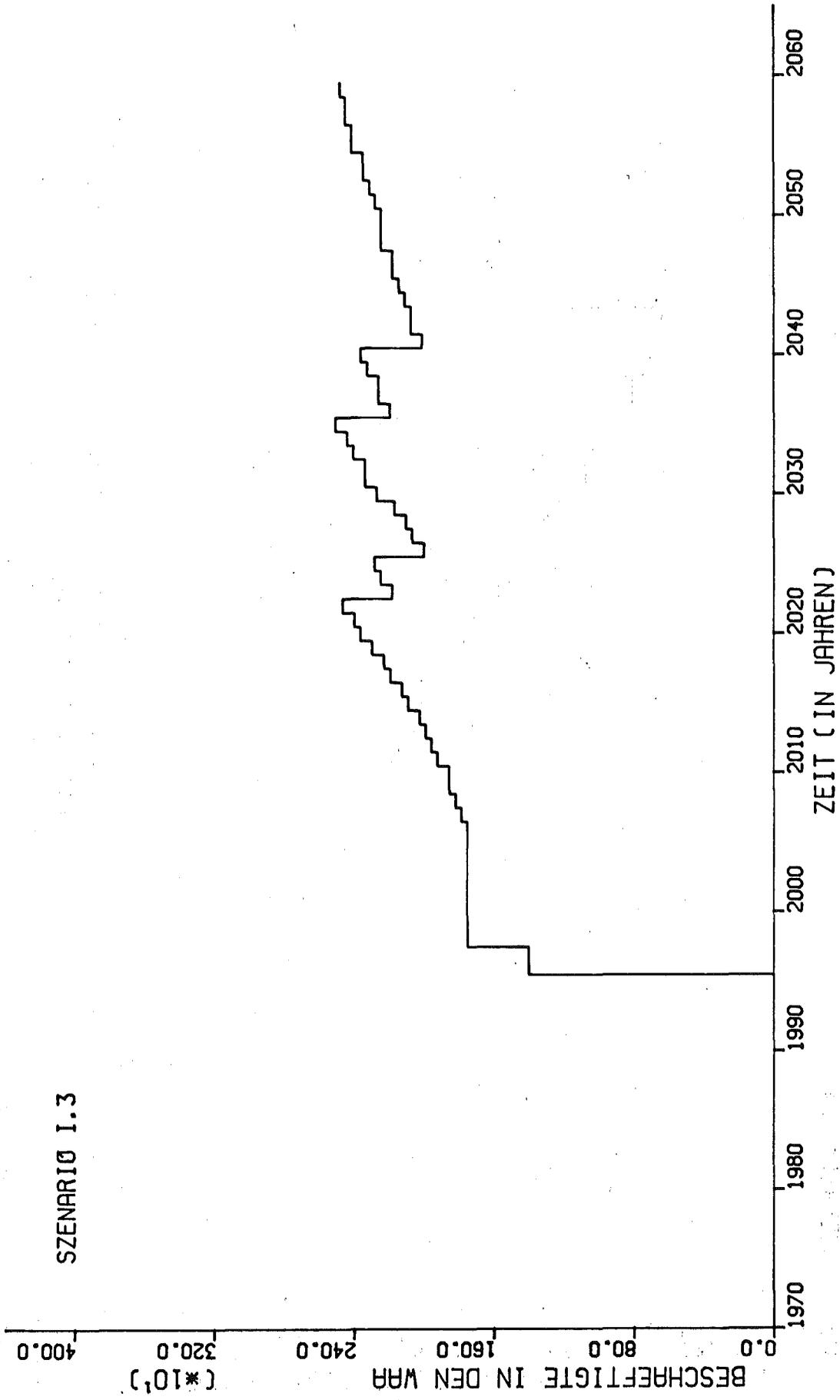
KfK

ABB. 3.6:

AFAS
1979



SZENARIO I.3

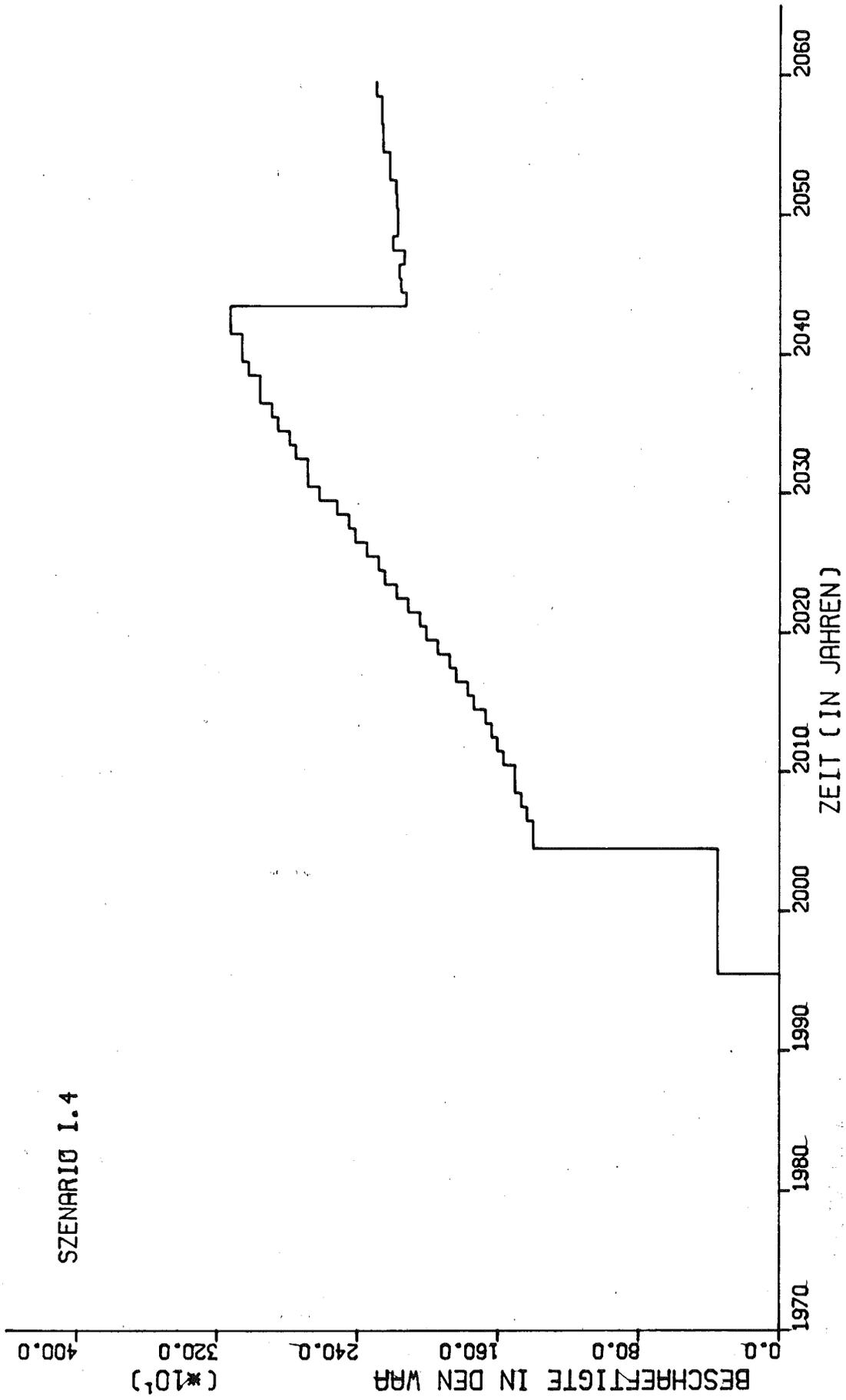


KfK

ABB. 3.8:

AFAS
1979

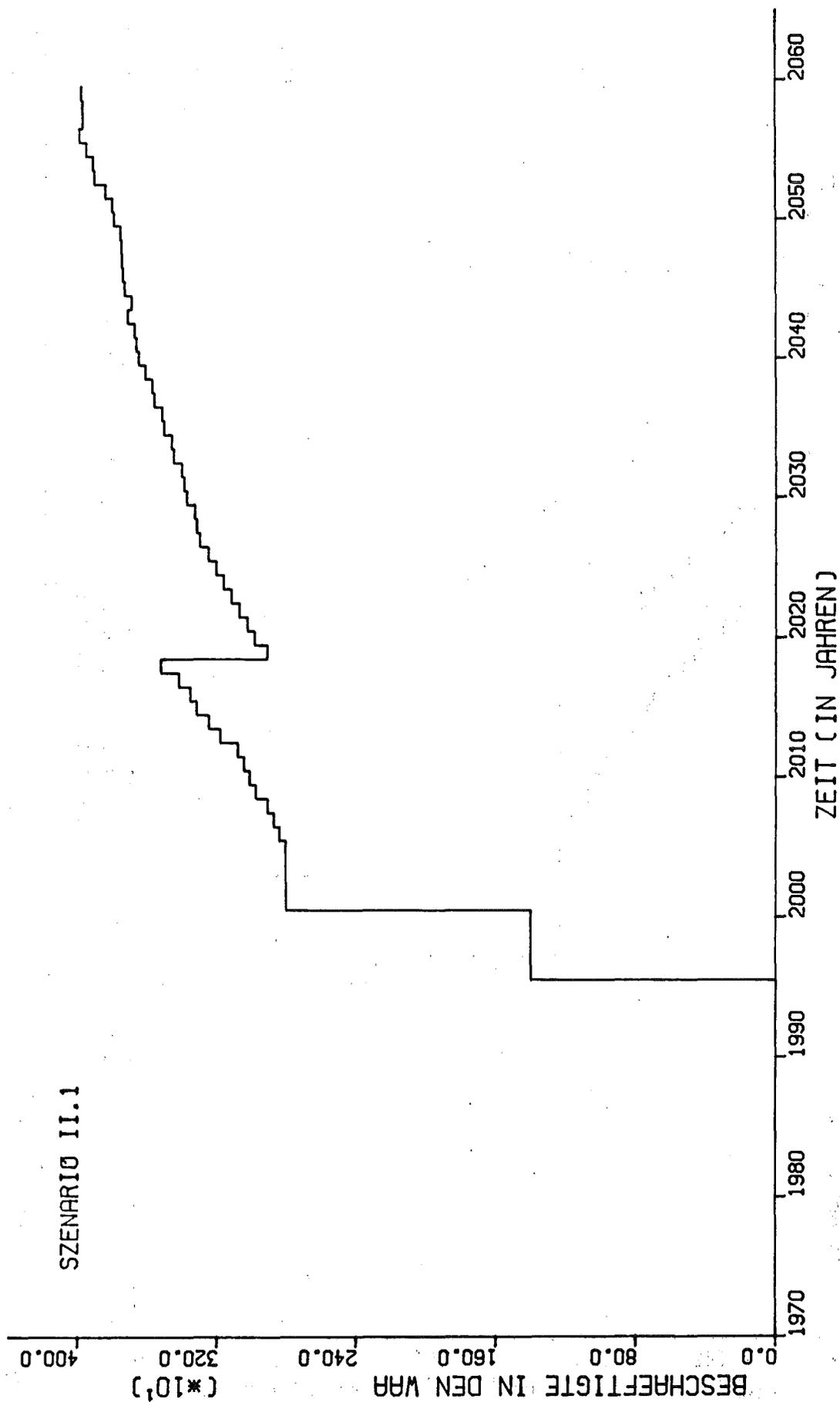
SZENARIO I.4



KfK

ABB. 3.9:

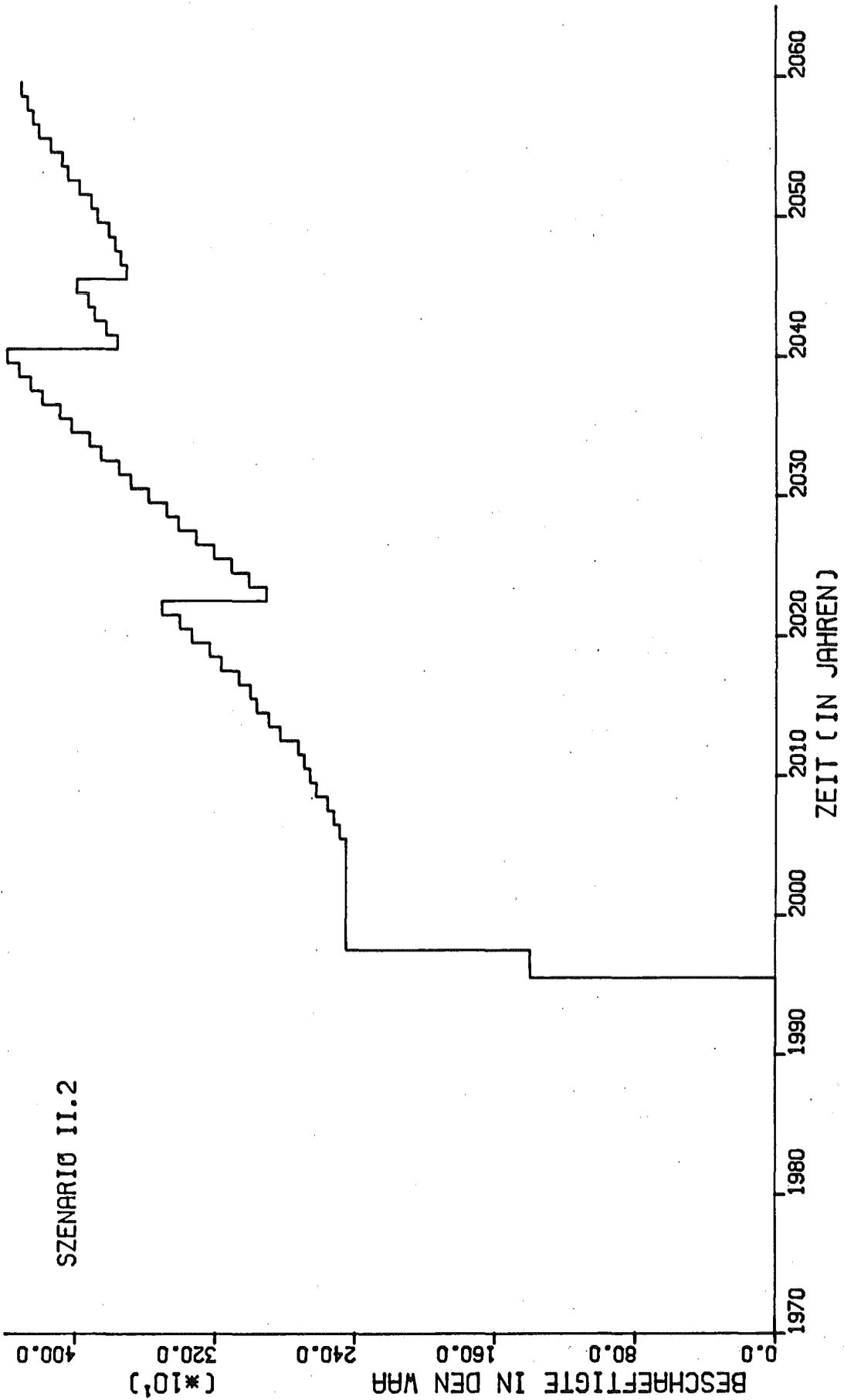
AFAS
1979



AFAS
1979

ABB. 3.10:

KfK



KfK

ABB. 3.11:

AFAS
1979

Tabelle 3.11:

Beschäftigte in den Wiederaufarbeitungsanlagen, gesamt

PERSONEN						
JAHR	SZEN.I.1	SZEN.I.2	SZEN.I.3	SZEN.I.4	SZEN.II.1	SZEN.II.2
1975	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0
2000	0	1400	1750	350	1400	2450
2005	1400	1400	1750	1400	2800	2450
2010	1503	1503	1853	1503	3005	2655
2015	1739	1739	2089	1739	3308	2958
2020	2009	2009	2359	2009	2977	3330
2025	2280	2280	2280	2280	3197	3102
2030	2618	2618	2268	2618	3365	3577
2035	2853	2096	2503	2853	3496	4016
2040	3058	2134	2358	3058	3642	4385
2045	3191	2155	2141	2155	3725	3992
2050	2173	2173	2243	2173	3792	3877
2055	2258	2258	2412	2258	3952	4148
2060	2332	2332	2339	2332	3981	4317

3.3.6 Zahl der Beschäftigten in der Brennelementfertigung

Den Berechnungen der Beschäftigten in der Brennelementfertigung wurden als Ausgangsdaten entsprechend den Angaben nach Kapitel 2.4 zur Herstellung von LWR-, HTR- sowie von SBR-Brennelementen für das radiale Blanket 1 Personal pro 1 tSM zu fertigendem Brennstoff, zur Herstellung der SBR-Brennelemente für Core und axiales Blanket (Mox-Brennelemente) 3,2 Personal pro 1 tSM zu fertigendem Brennstoff zugrunde gelegt. Für die Ermittlung der Beschäftigtenanzahl bei der BE-Fertigung für den HTR wurde entsprechend der Brennelementfertigung für Leichtwasserreaktoren ein Schätzwert von 1 Person pro 1 tSM zu fertigendem Brennstoff angesetzt.

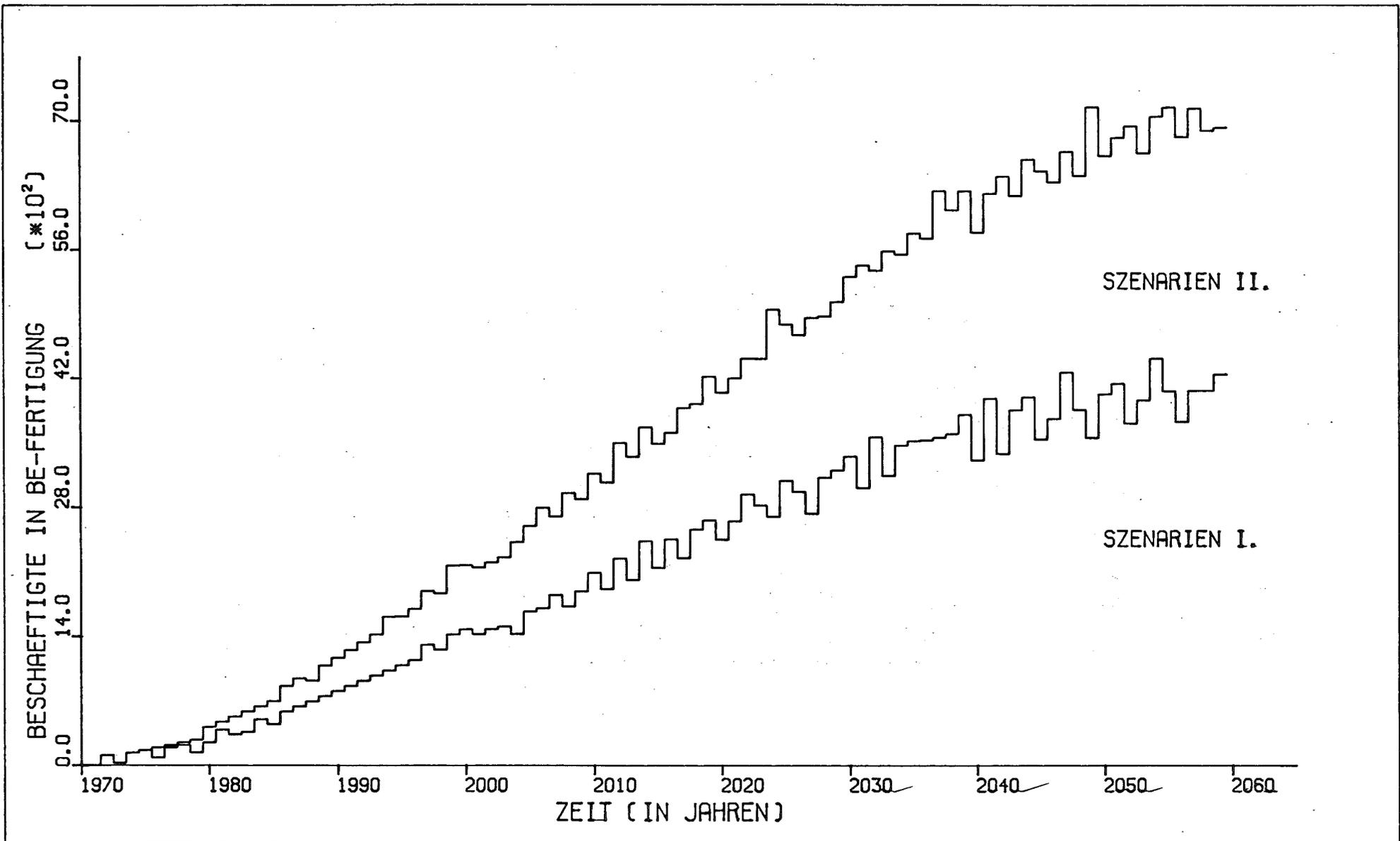
Die Berechnungen beinhalten sowohl die Beschäftigten für die Core-Erstausstattung als auch für die Nachladung an Brennelementen.

Aus Abb. 3.12 und Tabelle 3.12 ist die Anzahl der jährlich für die Herstellung von Brennelementen für LWR-, SBR- und HTR eingesetzten Personen zu entnehmen. Von besonderem Interesse sind hier die Angaben über den Personaleinsatz für die Fabrikation der SBR-Brennelemente; dieser Personalbedarf ist in Abb. 3.13 und Tabelle 3.13 gesondert dargestellt.

Die ermittelten Zahlenangaben können sich bei Verschärfung der augenblicklich geltenden Sicherheitsbestimmungen z.B. um 100 % erhöhen.

3.3.7 Zahl der Beschäftigten im Waste-Management

Endlager für radioaktive Abfälle und Wiederaufarbeitungsanlage seien an einem geographischen Ort untergebracht. Unter dieser Voraussetzung sowie unter Hinzuziehung der Zahlenangaben laut Tabelle 2.10 in Kapitel 2.5 für eine Großanlage (1500 tSM/a) zur Wiederaufarbeitung wird in der Überschlagsrechnung für das Wastemanagement ein Personalbedarf von 0,2 Personen pro 1 tSM/a installierter Anlagenkapazität an LWR- und HTR-Brennstoff



KfK

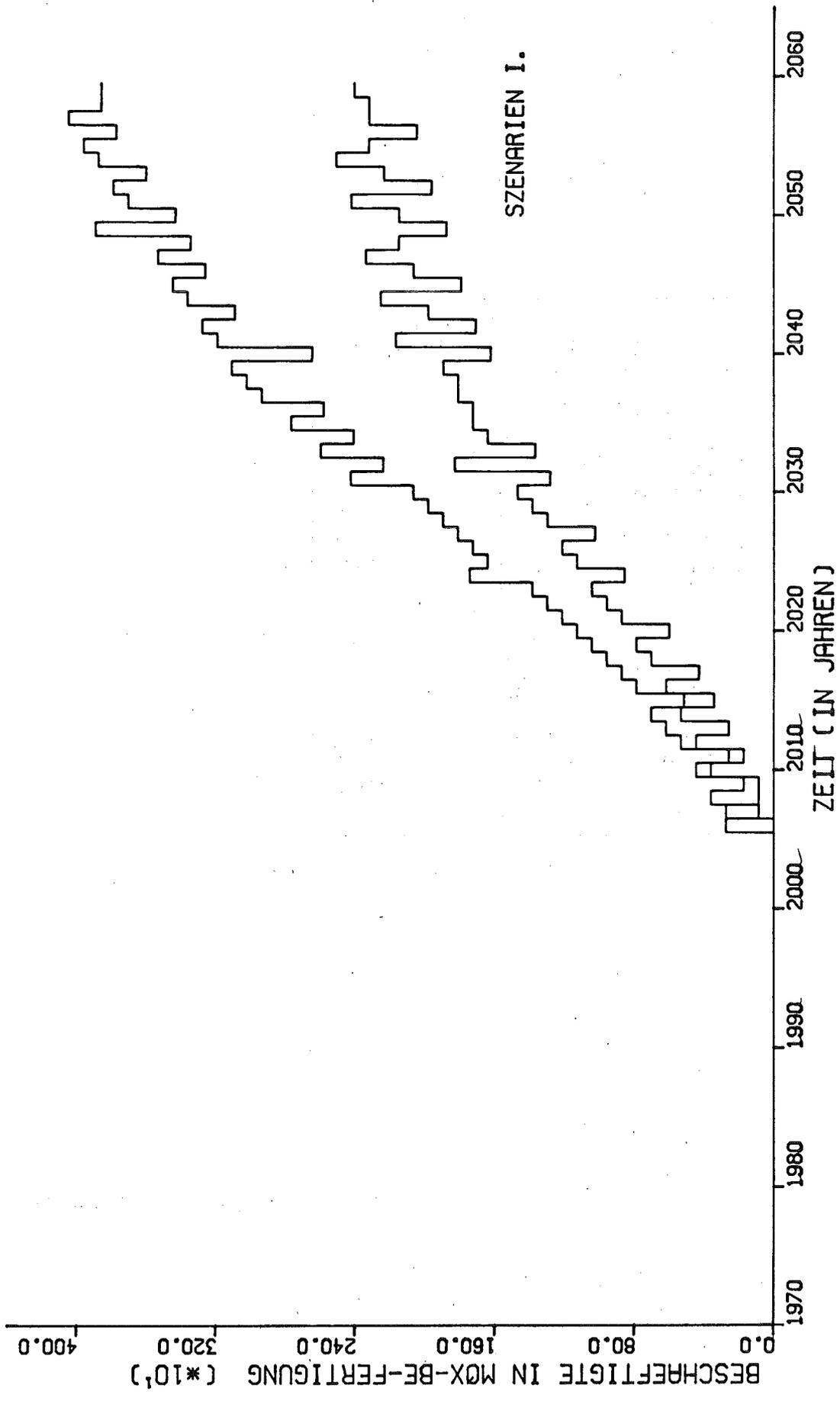
ABB. 3.12:

AFAS
1979

Tabelle 3.12:

**BESCHAEFTIGTE IN DER
BE-FERTIGUNG, GESAMT**

JAHR	PERSONEN	
	SZEN. I.	SZEN. II.
1975	166	166
1980	250	416
1985	446	696
1990	807	1169
1995	1087	1616
2000	1476	2173
2005	1672	2598
2010	2092	3167
2015	2143	3489
2020	2449	4042
2025	3090	4784
2030	3355	5305
2035	3522	5775
2040	3311	5783
2045	3538	6453
2050	4030	6619
2055	4062	7149
2060	3862	7207



AFAS
1979

ABB. 3.13:

KfK

Tabelle 3.13:

BESCHAEFTIGTE IN MOX-BE-FERTIGUNG
FUER SBR

JAHR	PERSONEN	
	SZEN. I.	SZEN. II.
1975	0	0
1980	0	0
1985	0	0
1990	0	0
1995	0	0
2000	0	0
2005	0	0
2010	360	445
2015	342	513
2020	598	1129
2025	1129	1641
2030	1470	2068
2035	1726	2769
2040	1623	2648
2045	1794	3452
2050	2153	3435
2055	2324	3965
2060	2136	4136

MOX-BE = Mischoxid-Brennelement

Wiederaufarbeitung angenommen. Da die Anlagen zur Aufarbeitung von bestrahltem Kernbrennstoff aus SBR eine kleinere Kapazität aufweisen, wird hier - entsprechend den Zahlenangaben nach Tabelle 10 für eine 300 tSM/a Anlage - der Personalfaktor von 0,67 Mann pro 1 tSM/a installierter Anlagenkapazität angesetzt.

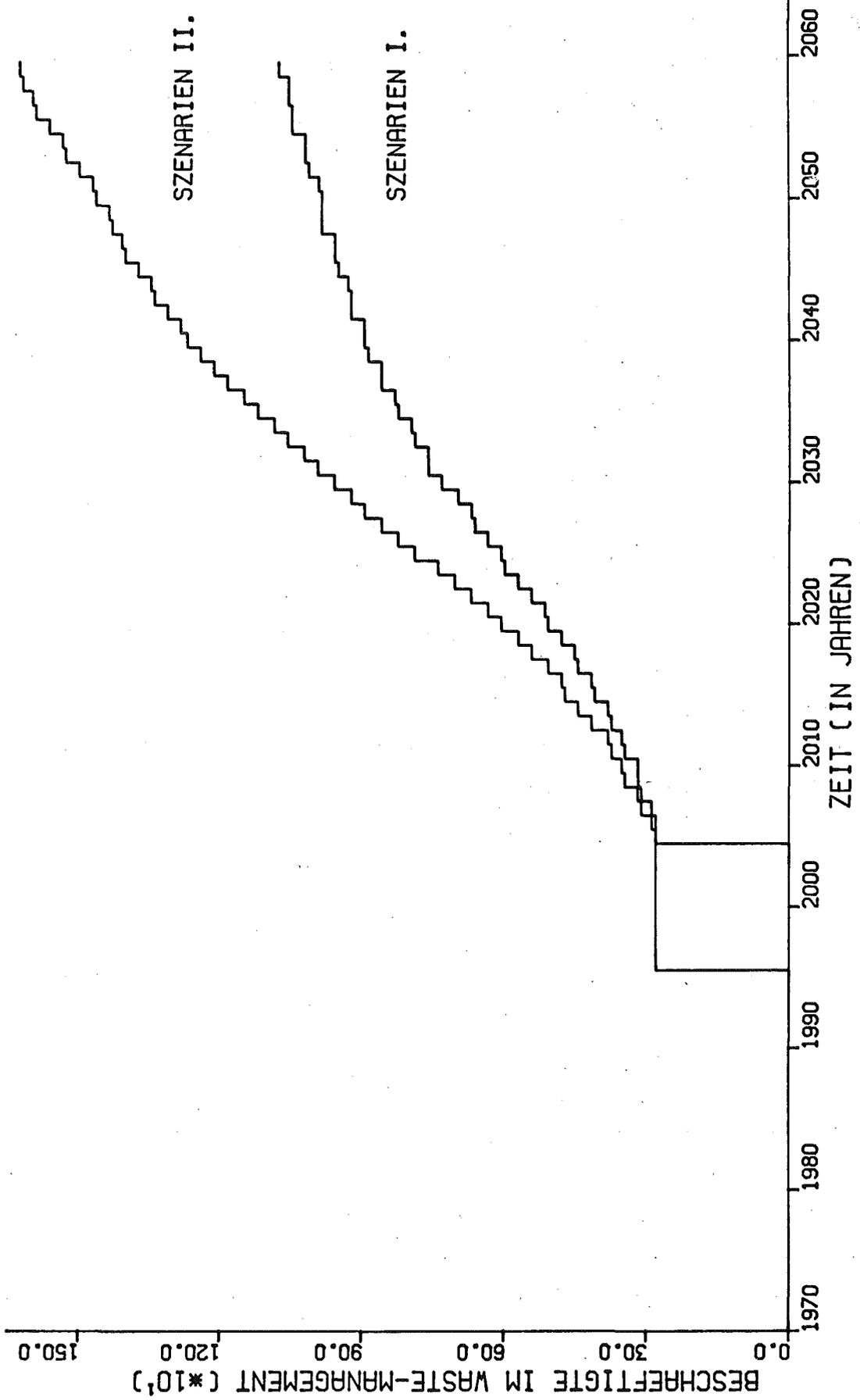
Abb. 3.14 zeigt die Anzahl der im Wastemanagement Beschäftigten als Funktion vom Kalenderjahr.

3.3.8 Schutzpersonal

Es wird davon ausgegangen, daß alle Wiederaufarbeitungsanlagen sowie die Fertigungsstätten zur Herstellung plutoniumhaltiger Brennelemente an einem geographischen Ort untergebracht sind. Für eine solches Nuklear-Zentrum wird eine Schutzpersonaltruppe gemäß Abschnitt 2.8 von 200 Personen angesetzt. Um auch Anlagen außerhalb des Nuklearzentrums zu erfassen, z.B. Uran-Brennelementfertigungsanlagen, wird ein Zuschlag von 50 % vorgenommen, so daß ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage für abgebrannte LWR-Brennelemente ca. 300 Personen als Schutzpersonal in die Berechnungen mit einzubeziehen sind.

3.3.9 Zahl der in den Stationen der nuklearen Brennstoffkreisläufe insgesamt beschäftigten Personen

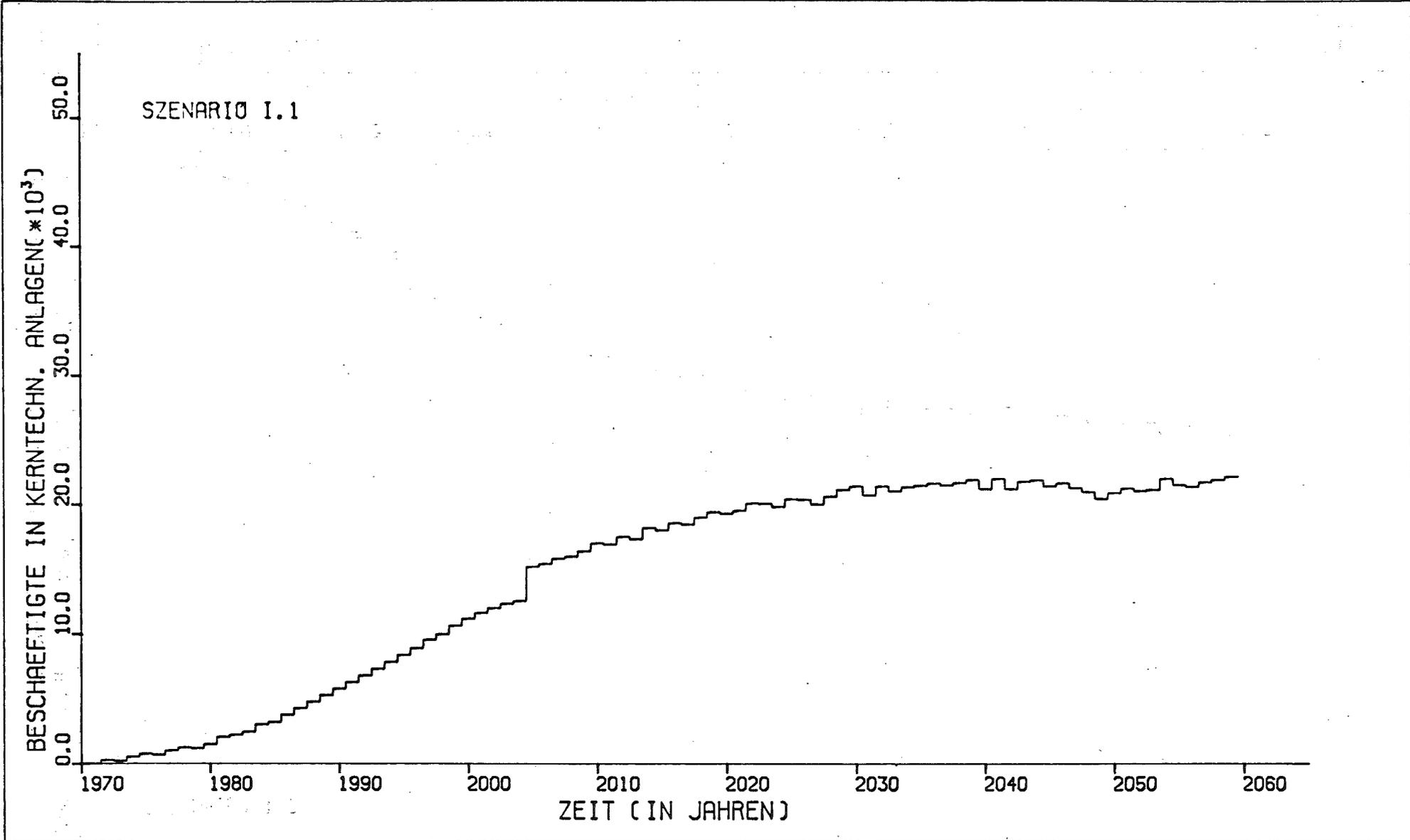
Abb. 3.15 bis Abb. 3.20 sowie Tabelle 3.14 und Tabelle 3.15 geben nun für die aufgeführten Szenarien die Anzahl der im nuklearen Brennstoffzyklus insgesamt tätigen Personen wieder. Die Ergebnisse wurden gewonnen durch Aufaddieren der oben aufgeführten Einzelergebnisse; sie enthalten keine Zahlenangaben über das Bewachungspersonal für die eventuell notwendigen Transporte von nuklearem Waste von den Wiederaufarbeitungsanlagen zu dem



AFAS
1979

ABB. 3.14:

KfK

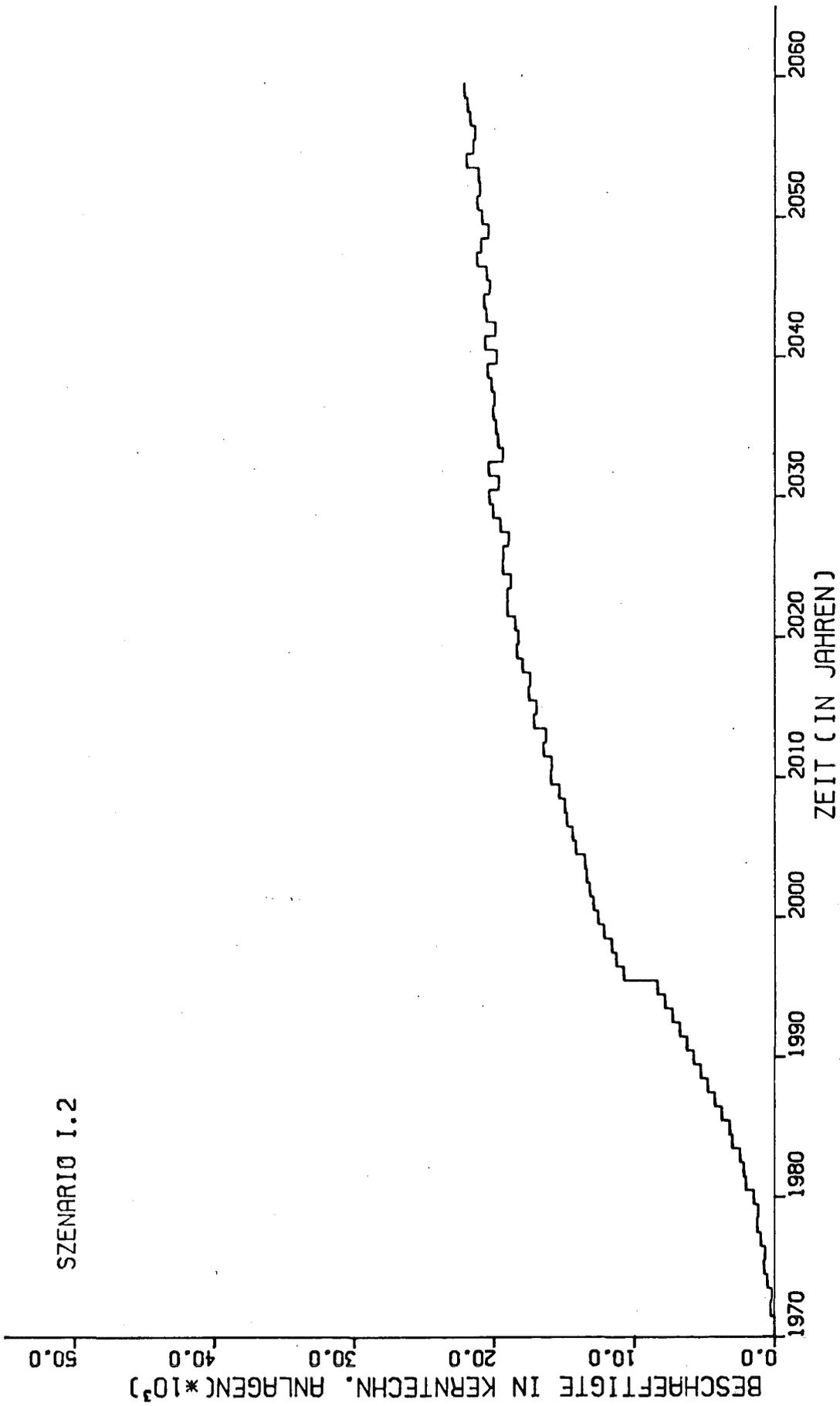


KfK

ABB. 3.15:

AFAS
1979

SZENARIO I.2

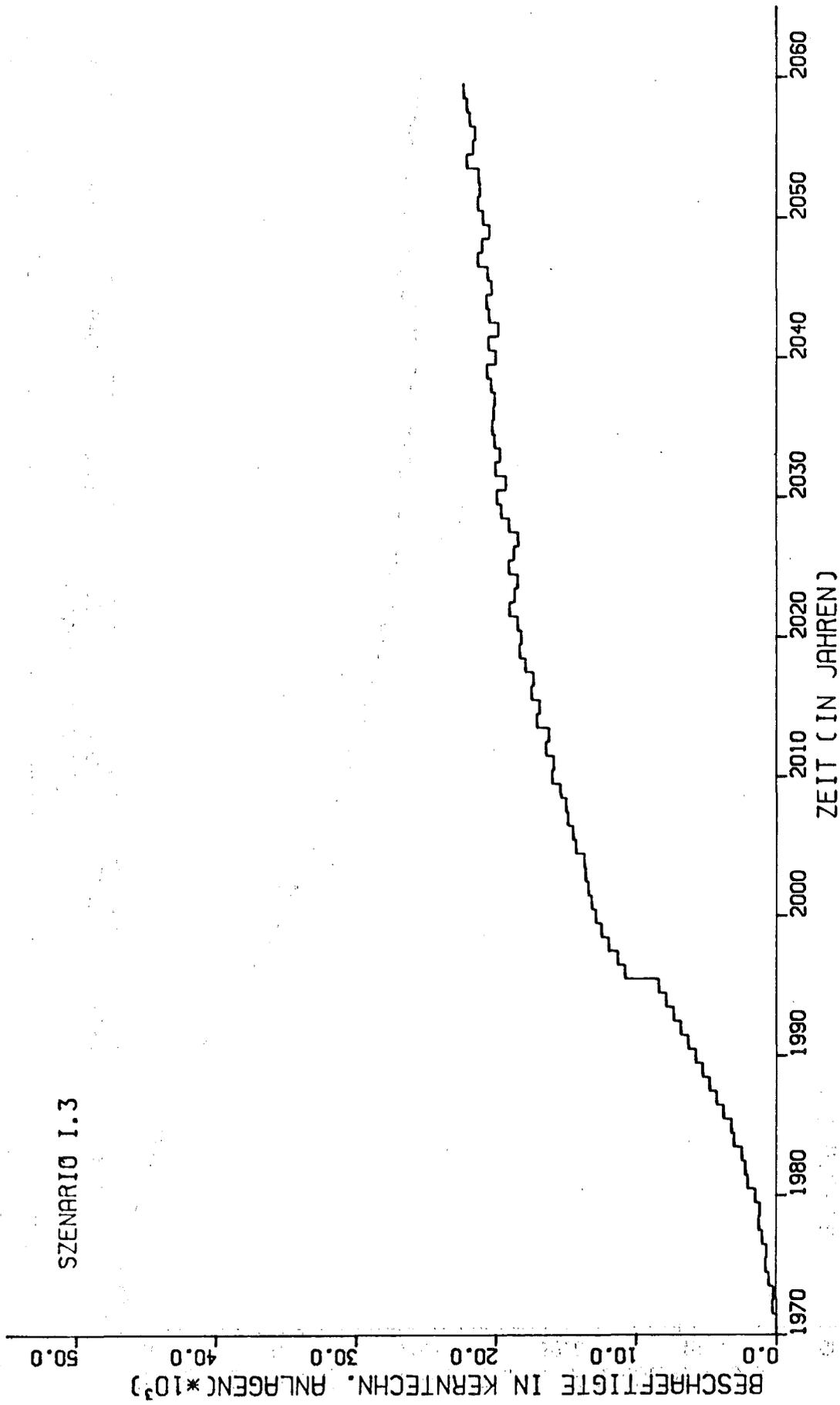


KfK

ABB. 3.16:

AFAS
1979

SZENARIO I.3

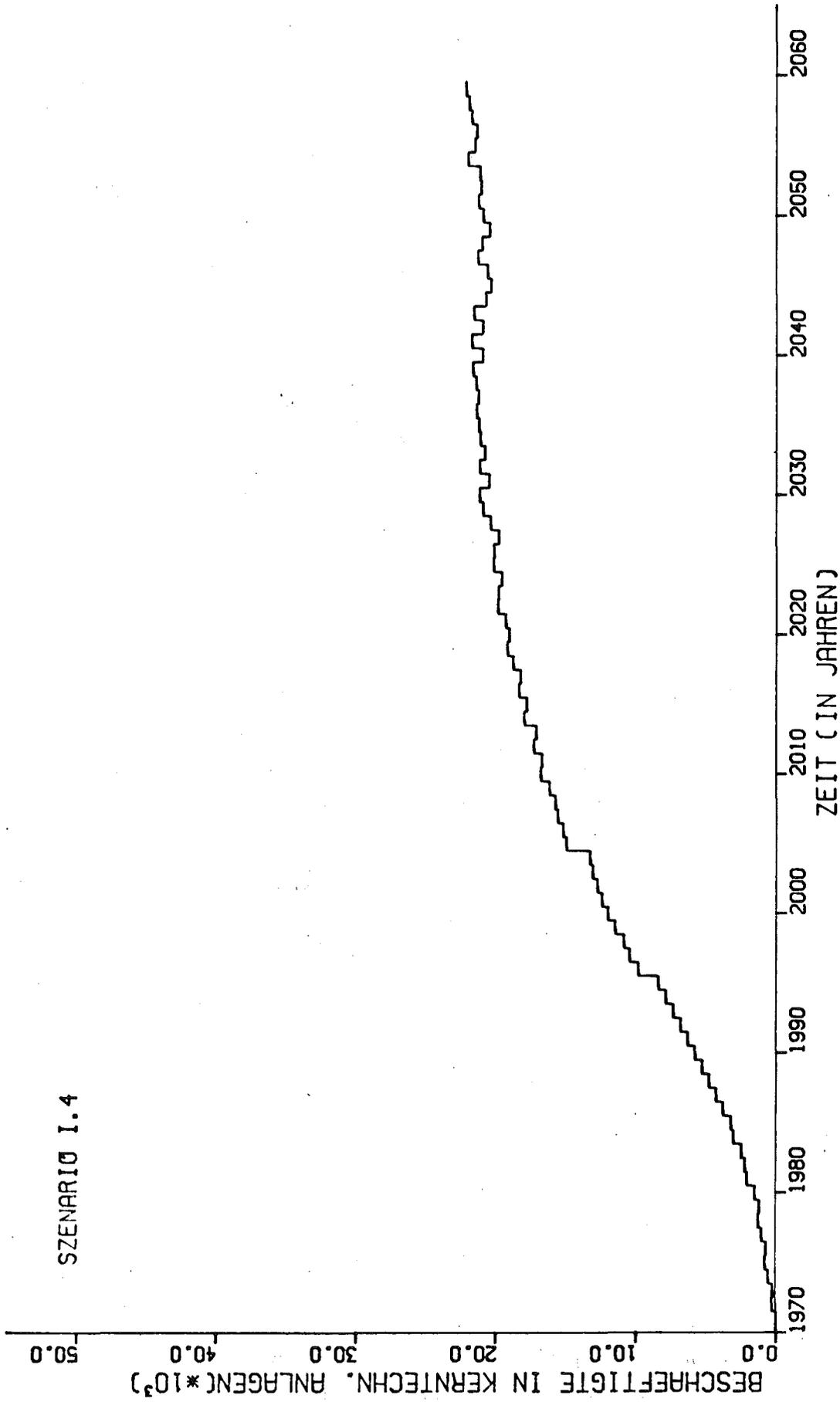


KfK

ABB. 3.17:

AFAS
1979

SZENARIO I.4

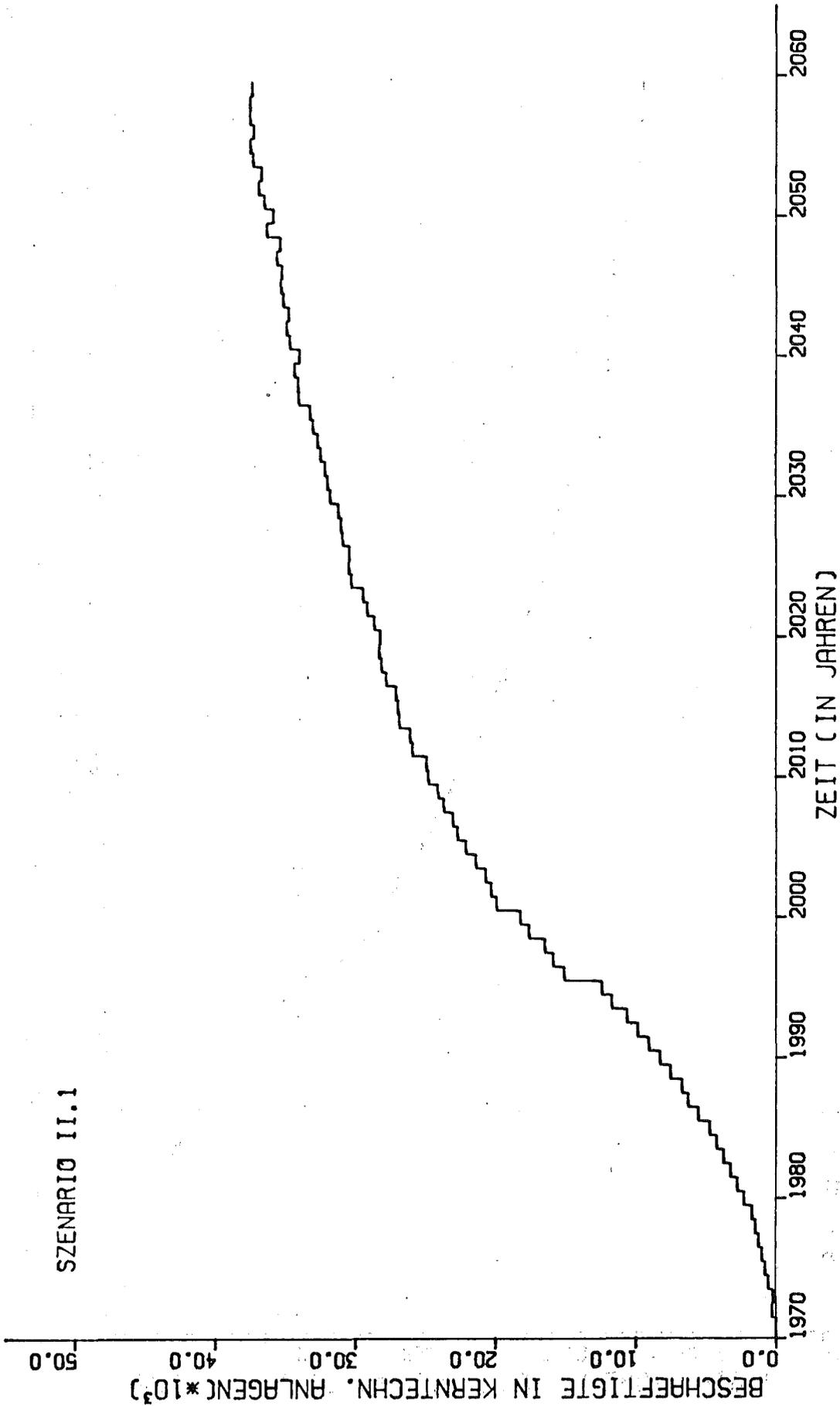


KfK

ABB. 3.18:

AFAS
1979

SZENARIO II.1

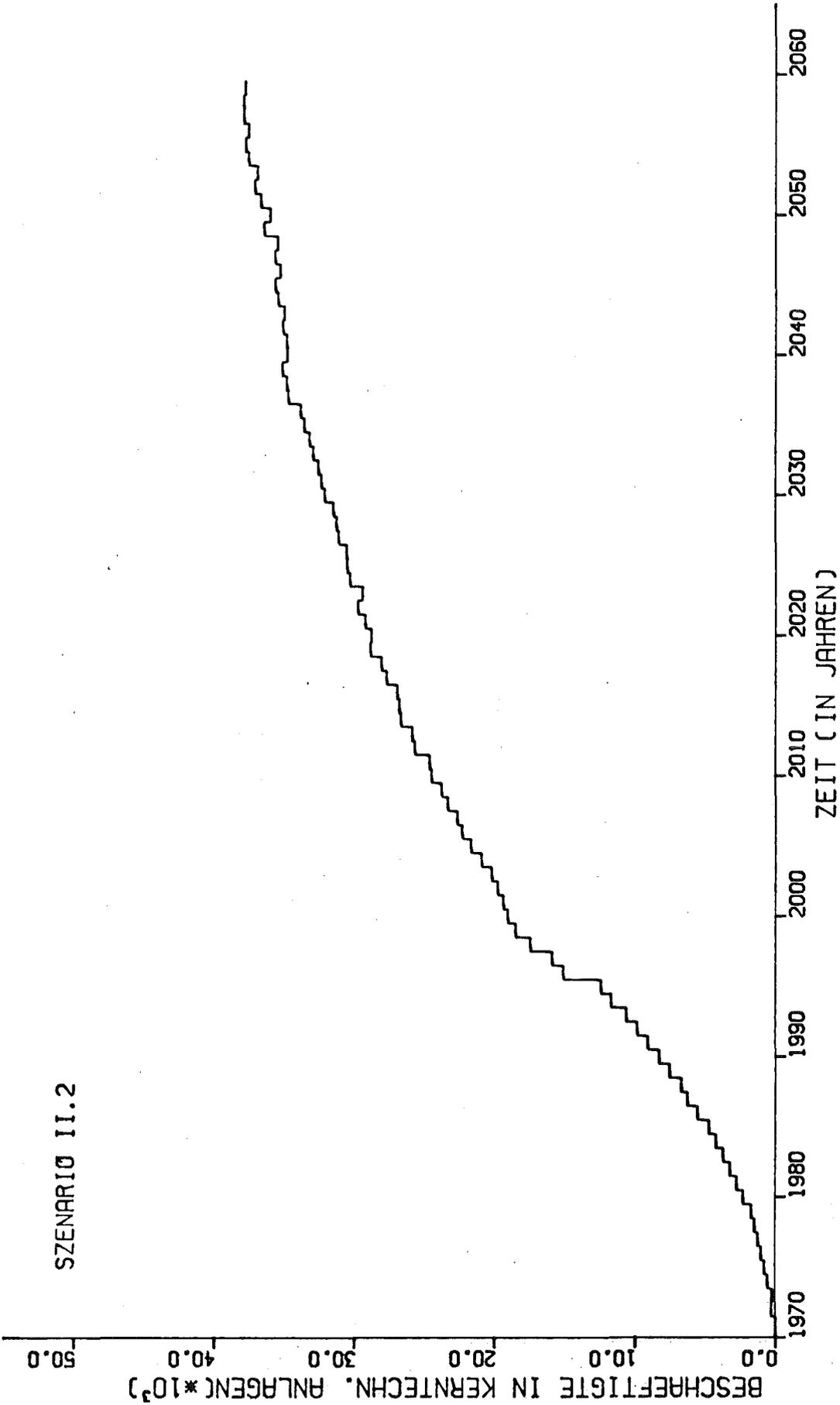


KfK

ABB. 3.19:

AFAS
1979

SZENARIO II.2



KfK

ABB. 3.20:

AFAS
1979

Tabelle 3.14:

BESCHAEFTIGTE IN KERNTechN. ANLAGEN, GESAMT

JAHR	INST. NUKL. KAP. (GW EL)	PERSONEN			
		SZEN. I.1	SZEN. I.2	SZEN. I.3	SZEN. I.4
1980	7.8	1520.0	1520.0	1520.0	1520.0
1985	16.9	3217.0	3217.0	3217.0	3217.0
1990	29.9	5784.0	5784.0	5784.0	5784.0
1995	42.9	8382.0	8382.0	8382.0	8382.0
2000	55.9	11184.0	12604.0	12870.0	11974.0
2005	65.0	15176.0	14168.0	14294.0	14924.0
2010	74.2	16978.0	15970.0	15956.0	16726.0
2015	79.5	17984.0	16976.0	16876.0	17732.0
2020	85.5	19277.0	18269.0	18214.0	19025.0
2025	89.6	20394.0	19386.0	19099.0	20142.0
2030	95.0	21389.0	20381.0	19950.0	21137.0
2035	95.1	21438.0	19884.0	20291.0	21186.0
2040	96.5	21184.0	19822.0	20046.0	20932.0
2045	99.2	21398.0	20334.0	20330.0	20334.0
2050	99.9	20903.0	20903.0	20973.0	20903.0
2055	103.9	21515.0	21515.0	21669.0	21515.0
2060	107.2	21840.0	21840.0	21847.0	21840.0

Tabelle 3.15:

BESCHAEFTIGTE IN KERNTechN. ANLAGEN, GESAMT

JAHR	INST. NUKL.	PERSONEN	
		SZEN. II.1	SZEN. II.2
1980	11.7	2297.0	2297.0
1985	24.7	4739.0	4739.0
1990	42.9	8295.0	8295.0
1995	63.7	12396.0	12396.0
2000	84.5	18214.0	19012.0
2005	100.1	22101.0	21639.0
2010	115.2	24758.0	24436.0
2015	127.7	26920.0	26738.0
2020	137.7	28196.0	28741.0
2025	148.4	30428.0	30473.0
2030	154.5	31766.0	32056.0
2035	160.6	33008.0	33528.0
2040	167.3	33983.0	34726.0
2045	172.7	35289.0	35556.0
2050	175.4	35853.0	35938.0
2055	183.4	37506.0	37702.0
2060	186.1	37888.0	38224.0

Endlager, falls dieses nicht am geographischen Ort der Wiederaufarbeitungsanlage angesiedelt ist, sowie für den Transport der meist als Nitrate anfallenden wiedergewonnenen Nuklearbrennstoffe von den Wiederaufarbeitungsanlagen zu den Brennelementfertigungsstätten. Im letzteren Fall ist bei einem großtechnischen Einsatz der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland die Möglichkeit jedoch nicht auszuschließen, daß die Brennelementfertigungsstätten sich nicht am gleichen Ort wie die Wiederaufarbeitungsanlage befinden. Bei einer sehr heterogenen Anordnung der nuklearen Anlagen des Brennstoffzyklus muß auch die Zahlenannahme für das Schutzpersonal höher angenommen werden.

Für den stationären Zustand der Brennstoffzyklusdienste (Jahr 2050), d.h. Aufarbeitung der anfallenden abgebrannten Brennelemente 1 Jahr nach ihrer Entladung aus den Reaktoren etc., kann laut Tabelle 3.14 und Tabelle 3.15 in guter Näherung pro GW_e installierter Nuklear-Leistung ein Personalbedarf für die Brennstoffzyklusdienste von ca. 205 bis 210 Mann angenommen werden.

Literaturverzeichnis

- /1/ BONNENBERG & DRESCHER:
Zukünftige Transportkapazität von radioaktivem Material und mögliche Konsequenzen.
Studie im Auftrag des BMFT, Januar 1975
- /2/ DWK (Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH):
Bericht über das in der Bundesrepublik Deutschland geplante Entsorgungszentrum für ausgediente Brennelemente aus Kernkraftwerken.
Hannover, September 1977 (2. Auflage)
- /3/ DWK und STEAG Kernenergie GmbH:
Kurzbeschreibung des in Ahaus geplanten Brennelement-Zwischenlagers.
Hannover, Januar 1978
- /4/ NUREG-0001:
Nuclear Energy Center Site Survey-1975 (NECSS-75), Teil III und Teil IV.
US Nuclear Regulatory Commission, Januar 1976
- /5/ NISHIMURA, K.:
Manpower Requirements and Development for the New 33 GW Nuclear Generation Plan of Japan.
International Symposium on Manpower Requirements and Development for Nuclear Power Programmes,
Saclay, April 1979
- /6/ POWERS, J.A:
Protection of Special Nuclear Material in Transit: 4th Proceedings of the International Symposium on Packing and Transportation of Radioactive Material, Miami Beach, Florida, Sep. 22-27, 1974

/7/ IAEA (International Atomic Energy Agency):

Regional Nuclear Fuel Cycle Centres (RFCC/Band II).
Basic Studies 1977 Report of the IAEA Study Project.
Wien 1977

/8/ SCHENK, H.:

Die Rolle des Menschen im Kernkraftwerk.
Vortrag auf der Informationstagung des Deutschen Atomforums e.V.
"Die Sicherheit des Leichtwasserreaktors" am 16./17. Januar 1978 in
Mainz

/9/ SCHOLTEN, V.W.:

Manpower Development Planning and Implementation as a Basis for an
Active Know-How Transfer.
International Symposium on Problems Associated with the Export of
Nuclear Power Plants. International Atomic Energy Agency, Wien,
6. bis 10. März 1978

/10/ STOLL, W.:

Experience in Fabricating Plutonium Recycle Fuel.
Proceedings topical meeting on "The Plutonium Fuel Cycle".
Miami Beach, Florida, May 2-4, 1977.
Sponsored by American Nuclear Society, Fuel Cycle Division, 244 East
Ogden Avenue, Hinsdale, Illinois 60520