



KfK 3084
Dezember 1980

Zwischenlagerbedarf für abgebrannte LWR- Brennelemente 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 3084

ZWISCHENLAGERBEDARF FÜR ABGEBRANNT LWR-BRENNELEMENTE
FÜR ALTERNATIVE AUSBAUSZENARIEN DER KERNENERGIE IN DER
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

P.-M. Fischer

Diese Arbeit wurde im Zusammenhang mit
der Studie "Entsorgungsalternativen" durchgeführt

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zwischenlagerbedarf für abgebrannte LWR-Brennelemente
für alternative Ausbauszenarien der Kernenergie
in der Bundesrepublik Deutschland

Zusammenfassung

Grundlage für die Ermittlung des Bedarfs an Zwischenlagerkapazität für abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren ist ein möglicher Verlauf der installierten Kernenergieleistung in der Bundesrepublik Deutschland von ca. 50 GWe (bzw. 35 GWe) im Jahre 2000 und ca. 90 GWe (bzw. 45 GWe) ab dem Jahre 2030 (2020).

Die Berechnungen des Zwischenlagerbedarfs werden sowohl für den Fall, daß nur der LWR zum Einsatz gelangt, als auch für den Fall, daß ab dem Jahre 2015 der Schnelle Brutreaktor kommerziell eingeführt wird, vorgenommen. Im Einzelnen wird hierbei die Auswirkung verschiedener Entsorgungsstrategien, wie Beginn der Aufarbeitung von LWR-Brennelementen ab dem Jahre 2000, Konditionierung und Endlagerung eines Teiles der abgebrannten LWR-Brennelemente, auf den zeitlichen Verlauf des Zwischenlagerbedarfs untersucht.

Interim storage requirements for spent LWR fuel elements
for alternative scenarios of an increased use of nuclear energy
in the Federal Republic of Germany

Abstract

The calculations of interim storage requirements for spent fuel elements from light water reactors are based on a possible development of the installed nuclear capacity in the FRG of roughly 50 GWe (or 35 GWe) in the year 2000, and of about 90 GWe (or 45 GWe) from the year 2030 (2020) onward.

The calculations of the interim storage requirements are performed for the case that only LWRs will be installed, as well as for the case that from the year 2015 on the Fast Breeder Reactor will be introduced on a commercial scale. The impact of different strategies of waste management and reprocessing, such as start-up of the reprocessing of LWR fuel elements in 2000, conditioning and ultimate storage of a part of the spent fuel elements, on the interim storage requirements over time is analysed.

Inhalt

1. Einleitung
2. Ausgangsdaten
3. Brennstoffanfall und Zwischenlagerbedarf für abgebrannte LWR-Brennelemente nach verschiedenen Szenarien
 - 3.1 Szenario I: Abdeckung der installierten Kernenergieleistung ausschließlich durch LWR
 - 3.2 Szenario II: Kommerzieller Einsatz des SBR als alleiniger Reaktortyp ab dem Jahre 2015
 - 3.3 Szenario III: Zubau des SBR in Abhängigkeit vom Plutoniumgewinn aus der Wiederaufarbeitung aller LWR-Brennelemente
 - 3.4 Szenario IV: Zubau des SBR in Abhängigkeit vom Plutoniumgewinn aus teilweiser Wiederaufarbeitung der LWR-Brennelemente
4. Zusammenfassung

Literatur

Anhang

1. Abbildungen
2. Tabellen

1. Einleitung

Der großtechnische Einsatz der Kernenergie hat eine Reihe von Fragen aufgeworfen, unter denen der Fragenkomplex bezüglich der Entsorgung der Kernkraftwerke in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund getreten ist. Die Entsorgung der Kernkraftwerke ist sowohl eine unerläßliche Voraussetzung für die Aufrechterhaltung des Betriebs bereits bestehender Kernkraftwerke als auch unabdingbar für eine zügige Abwicklung der Arbeiten der im Bau befindlichen Kernkraftwerke sowie für die Planung von Kernkraftwerken.

Da der Zeitpunkt des kommerziellen Einsatzes einer Wiederaufarbeitungsanlage für abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren in weitere Ferne gerückt ist - er ist frühestens Ende der neunziger Jahre zu erwarten -, gewinnt die Frage, wo und wie die ausgedienten Brennelemente (bis zu dem Zeitpunkt ihrer Aufarbeitung) untergebracht werden sollen, ständig an Bedeutung. Von primärem Interesse ist die Beantwortung der Frage, wieviele Zwischenlager für die abgebrannten LWR-Brennelemente noch in diesem Jahrhundert und innerhalb der ersten zwanzig Jahre des nächsten Jahrhunderts errichtet werden müßten.

Nimmt man an, daß entsprechend dem Beschluß der Regierungschefs von Bund und Länder die Entsorgungsanlagen für den bestrahlten LWR-Kernbrennstoff (Konditionierungs- und/oder Wiederaufarbeitungsanlagen) Ende der neunziger Jahre in Betrieb gehen, dann erhebt sich die Frage, welche Kapazität diese Anlagen haben müßten und wann weitere Anlagen errichtet werden müßten.

Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht eine Modellentwicklung der möglichen installierten Kernenergieleistung in der Bundesrepublik Deutschland, wie sie vom Bundesministerium des Innern als wahrscheinlich angesehen wird (ca. 50 GW_e im Jahre 2000, ca. 90 GW_e ab dem Jahre 2030). Daneben wird jedoch auch die Modellentwicklung eines vorsichtigeren Ausbaus der Kernenergie-Kapazität für die Untersuchungen herangezogen (ca. 35 GW_e im Jahre 2000, ca. 45 GW_e ab dem Jahre 2020). Je nach Variation der eingesetzten

Reaktortypen, Arbeitseinsatzzeitpunkt und Kapazität der LWR-Entsorgungsanlagen werden verschiedene Szenarien gewonnen.

Analysiert werden ein reines LWR-Szenario, d.h. die prognostizierte Kernenergieleistung wird allein durch den Einsatz von LWR erzielt (Szenario I), sowie drei Brütterszenarien, in denen sowohl LWR als auch SBR zum Einsatz gelangen. Der Brüterzubau erfolgt ab dem Jahre 2015. Das erste Brütterszenario (Szenario II) ist durch den maximal möglichen Brüteranteil an der installierten Kernenergieleistung charakterisiert. In den beiden anderen Brütterszenarien wird der Brüterzubau mit dem Plutoniumgewinn aus der Aufarbeitung von ausgedienten LWR-Brennelementen gekoppelt. Dabei werden im zweiten Brütterszenario (Szenario III) die LWR-Brennelemente bis zur Aufarbeitung zwischengelagert, während im dritten Brütterszenario (Szenario IV) bis zum Beginn der kommerziellen Aufarbeitung eine teilweise Endlagerung der LWR-Brennelemente erfolgen soll (Throw-Away-Zyklus).

Die Kapazität der Konditionierungs- bzw. Wiederaufarbeitungsanlagen für die LWR-Brennelemente wird durch die Forderung festgelegt, die Anzahl der Zwischenlager, die bis zu dem Zeitpunkt des kommerziellen Einsatzes der Entsorgungsanlagen eingerichtet werden müssen, in der Zeit danach nach Möglichkeit nicht zu erhöhen.

Die Konditionierung und Aufarbeitung der LWR-Brennelemente selbst soll frühestens nach einer 7-jährigen Abklingzeit erfolgen.

2. Ausgangsdaten

Grundlage für die Berechnungen über den Abfall abgebrannter LWR-Brennelemente und der bereitzustellenden Lagerkapazität für diese ist ein Ausbau der installierten Kernenergieleistung nach Abb. 1, der bis zum Jahre 2000 weitgehend den Vorstellungen des Bundesministeriums des Innern (BMI, 1977) entspricht und folgenden Verlauf ausweist: 1980: 9,1 GW_e ; 1990: 29,9 GW_e ; 2000: 49,4 GW_e ; 2010: 70,2 GW_e ; 2020: 80,6 GW_e und ab 2030: 89,7 GW_e .

Der gemäßigte Ausbau der Kernenergie sei durch folgenden Verlauf (Abb. 1 N)⁺ charakterisiert: 1980: 9,1 GW_e ; 1990: 22,1 GW_e ; 2000: 35,1 GW_e ; 2010: 40,3 GW_e und ab 2020: 45,5 GW_e .

Den Berechnungen für den Anfall abgebrannter Brennelemente wird ein Referenz-LWR mit folgenden Daten zugrunde gelegt:

Blockgröße	1300 MW_e
Abbrand	30 000 MWd/tSM (SM = Schwermetall)
Lastfaktor	0,7
Wirkungsgrad	33 %
Standzeit der Brennelemente	1000 d
Brennstoffdurchsatz	26 $\text{tSM/GW}_e \cdot \text{a}$
Reaktorlebensdauer	30 Jahre
Lagerkapazität für abgebrannte Brennelemente	300 tSM plus 1 Kernladung (Reserve)

⁺) Die Angaben sowie die Ergebnisse der Analysen für die gemäßigte Modell-Entwicklung der installierten Kernenergieleistung finden sich in den Abbildungen und Tabellen des Anhangs; zwecks besserer Unterscheidung sind diese mit dem Buchstaben "N" versehen.

Abweichend von den im Augenblick tatsächlichen Gegebenheiten wird für den ganzen betrachteten Zeitraum (1980 bis 2060) eine LWR-Blockgröße von 1300 MW_e angenommen.

Die Brennelemente setzen sich zusammen aus dem Strukturmaterial und der Schwermetallverbindung. Die Mengenangaben bei den Abbildungen und Tabellen zum Brennstoffanfall, Lagerbeckenbedarf, Wiederaufarbeitungskapazität etc. sind jedoch der Einheitlichkeit wegen immer Angaben in Tonnen Schwermetall.

Bei den Berechnungen des Zwischenlagerbedarfs wird angenommen, daß

- die Lagerbecken im Reaktorbetrieb Ende 1979 geleert wären,
- ein Teil der bis 1990 anfallenden abgebrannten LWR-Brennelemente durch die Verträge mit der französischen Firma für Wiederaufarbeitung, COGEMA, entsorgt werden,
- obwohl die COGEMA-Verträge für spezielle Reaktoranlagen in den einzelnen Bundesländern abgeschlossen sind, in der Ermittlung der notwendigen zu installierenden Lagerkapazität die Berücksichtigung dieser Verträge pauschal erfolgt. Die Vertragsverpflichtung von COGEMA beläuft sich bis zum Jahre 1990 auf 2421 tSM an abgebrannten LWR-Brennelementen und besteht für die einzelnen Jahre wie folgt:

Jahr	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
tSM	182	279	275	303	339	529	224	120	40	120	10

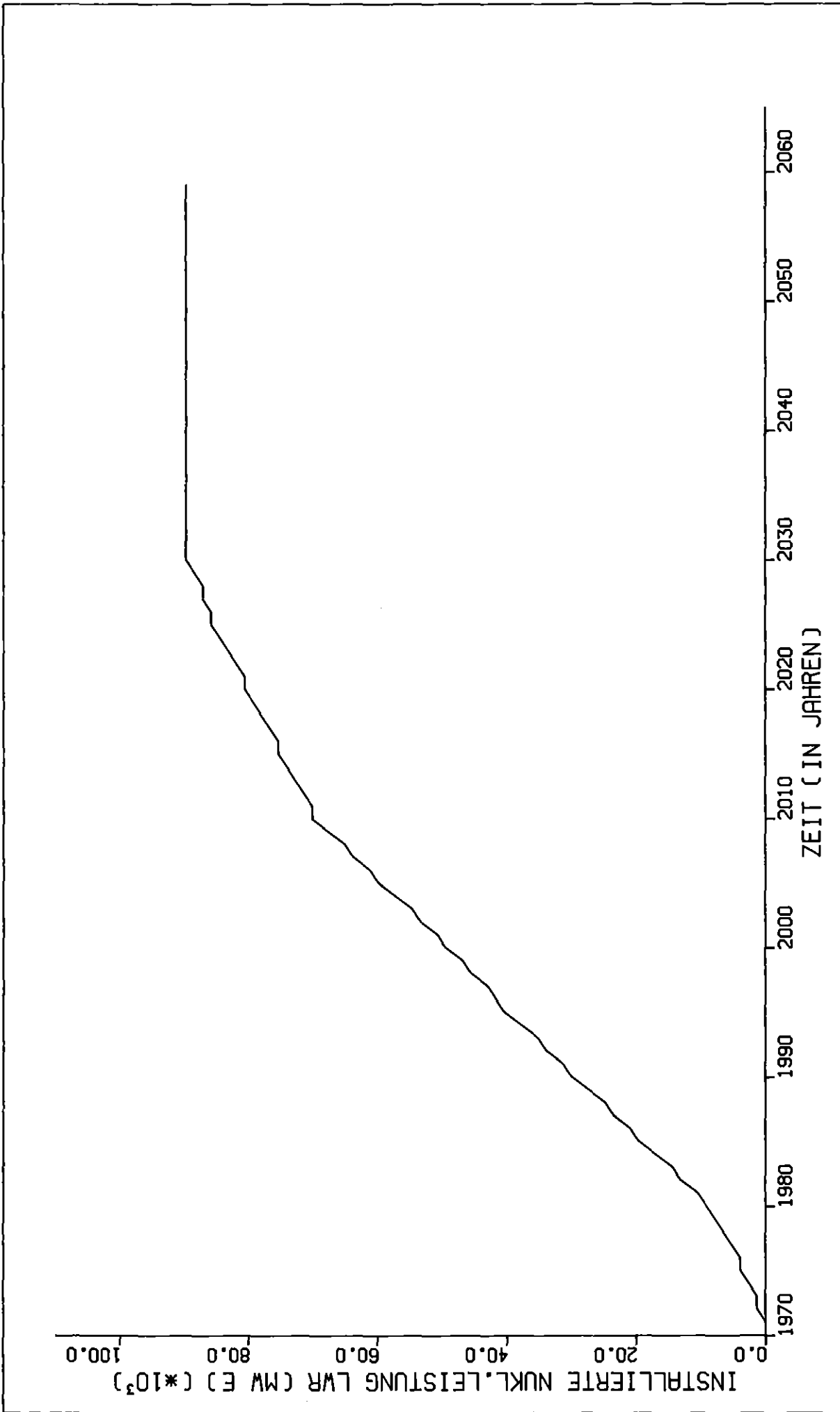
- die Kompaktlager in den Kernkraftwerksgebäuden zu 100 % ausgenützt werden,
- Nachbarschaftshilfe ausgeschlossen wird (Lagerung von abgebrannten Brennelementen des Reaktors A in Lagerbecken des Reaktors B ist nicht möglich),

- bei Reinvestitionen - Ersatz nach Ablauf der Lebensdauer eines stillgelegten Leichtwasser-Reaktors durch einen Reaktorneubau - ein nur teilweise gefülltes Kompaktlager des ausgedienten Reaktors nicht weiter verwendet wird,
- die Aufbereitung bzw. Konditionierung der ausgedienten LWR-Brennelemente frühestens im 8. Jahr nach ihrer Entladung aus dem Reaktor erfolgt,
- die Errichtung von Anlagen zur Entsorgung des bestrahlten Kernbrennstoffs wie Wiederaufbereitungs- oder Konditionierungsanlage in Moduln à 700 tSM Netto-Jahresdurchsatz erfolgt.

Beim Aufbau des Rechenprogrammes und bei der Durchführung der Rechnungen wurde für den zeitlichen Ablauf der Brennstoffzyklusdienste folgendes Zeitschema angewandt:

Referenzjahr ist das Jahr mit Beginn des Reaktorbetriebes. Nach einem weiteren Jahr fällt der bestrahlte Kernbrennstoff - das sind die ausgedienten, abgebrannten Brennelemente - erstmalig an. Das Rechenprogramm ist so aufgebaut, daß es nur Ganzjahresschritte zuläßt; Bezugsmonat für die Rechnungen ist der Dezember des jeweiligen Jahres. Da das Kompaktlager eine Belegung von neun Jahresentladungen erlaubt, erfolgt die erstmalige Belegung des Zwischenlagers im 11. Jahr nach Inbetriebnahme des Reaktors, wobei hier die Abkommen mit COGEMA noch nicht berücksichtigt sind.

Die Berechnungen für den Anfall an abgebrannten LWR-Brennelementen, an Brennelementüberhang etc. erfolgt in einer Pauschalberechnung für die jeweils installierte Kernenergieleistung und nicht in Form einer Brennelementbuchhaltung für einzeln gekennzeichnete Reaktoren. Dies ergibt eine Ergebnisabweichung hinsichtlich des benötigten Zwischenlagerbedarfs und damit des Betriebszeitpunktes der Zwischenlager (so sind die Verträge mit COGEMA für Kernreaktoren an speziellen Standorten abgeschlossen) für die ersten Jahre des betrachteten Zeitraumes, etwa bis zum Jahre 1996/1997, jedoch wird die Langzeitplanung davon nicht berührt (so die Aussage z.B. für den Zeitraum bis zum Jahre 2000).



KfK ABB. 1 SZENARIO I. LWR AFAS 1980

3. Brennstoffanfall und Zwischenlagerbedarf für abgebrannte LWR-Brennelemente nach verschiedenen Szenarien

Ausgegangen wird von dem Entwicklungspfad der installierten Kernenergieleistung in der Bundesrepublik Deutschland nach Abb. 1. In den Szenarien I wird diese Kernenergieleistung allein durch LWR abgedeckt, während für die Szenarien II, III und IV postuliert wird, daß im Jahre 2005 die Entscheidung zu Gunsten der kommerziellen Einführung der uransparenden natriumgekühlten Schnellen Brutreaktoren gefällt wird, so daß dieser Reaktortyp ab dem Jahre 2015 zugebaut wird.

Eine weitere Unterteilung der Szenarien erfolgt dadurch, daß verschiedene Entsorgungsalternativen betrachtet werden, das heißt:

- Variation von Einsatzzeitpunkt des Vollastbetriebes von Wiederaufarbeitungsanlagen bzw. Konditionierungsanlagen für abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren,
- Variation der Kapazität dieser Anlagen.

Aufgrund der politischen und technischen Gegebenheiten wird mit dem kommerziellen Einsatz von diesen Entsorgungsanlagen jedoch nicht mehr in diesem Jahrhundert gerechnet, so daß als frühester Arbeitseinsatzpunkt (Zeitpunkt der Aufnahme des Vollastbetriebes) dieser Anlagen das Jahr 2000 angesetzt wird. Im folgenden werden eine mögliche Kernkraftwerksentsorgung durch die Kombination von Zwischenlagerung und Konditionierung bzw. Wiederaufarbeitung und die daraus folgenden Auswirkungen auf den Zwischenlagerbedarf betrachtet.

3.1 Szenario I: Abdeckung der installierten Kernenergieleistung ausschließlich durch LWR

In den Szenarien I wird die in der Bundesrepublik Deutschland installierte Kraftwerksleistung ausschließlich durch LWR abgedeckt. Tab. 1 zeigt für

Tabelle 1:

SZENARIO I.
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)
1980	9100.0	202.8	845.0		
1985	19500.0	439.4	2501.2		
1990	29900.0	709.8	5509.4		
1995	40300.0	980.2	9869.6	507.0	539.2
2000	49400.0	1216.8	15514.2	777.4	3817.8
2005	59800.0	1487.2	22409.4	946.4	8211.8
2010	70200.0	1757.6	30656.6	1047.8	13248.0
2015	75400.0	1926.6	39985.4	1149.2	18723.6
2020	80600.0	2061.8	49990.1	1284.4	24807.6
2025	85800.0	2197.0	60670.9	1419.6	31567.6
2030	89700.0	2298.4	71960.1	1588.6	39105.0
2035	89700.0	2332.2	83621.0	1622.4	47149.3
2040	89700.0	2332.2	95281.9	1554.8	55058.5
2045	89700.0	2332.2	106942.9	1521.0	62731.1
2050	89700.0	2332.2	118603.8	1521.0	70336.1
2055	89700.0	2332.2	130264.8	1521.0	77941.1
2060	89700.0	2332.2	141925.7	1588.6	85748.8

dieses Beispiel den LWR-Brennstoffanfall. In Spalte 1 von Tab. 1 ist das betrachtete Kalenderjahr aufgeführt, in Spalte 2 die zugehörige installierte Kernenergieleistung (in MW_e). Spalte 3 enthält den jährlichen Anfall an abgebrannten Brennelementen (in Tonnen Schwermetall) und Spalte 4 den bis zu dem betrachteten Kalenderjahr kumulierten Anfall; im letzteren Fall ist die bis dahin vorgenommene Wiederaufarbeitung etc. nicht berücksichtigt. Aus Spalte 4 ist zu entnehmen, daß z.B. bis zum Jahre 2000 ca. 15 500 tSM an ausgedienten Brennelementen angefallen sind, die entweder teilweise aufgearbeitet sind (in Pilotanlagen oder in anderen europäischen Ländern wie z.B. in Cap la Hague, Frankreich) oder in Lagerbecken im Reaktorgebäude und/oder in Zwischenlagerbecken aufbewahrt werden müssen.

Setzt man nach Kap. 2 eine Kompaktlagerung im Reaktorgebäude und die Einhaltung der COGEMA-Verträge voraus, so ist aus Spalte 5 der Tab. 1 zu entnehmen, wieviel Tonnen Schwermetall in Form ausgedienter Brennelemente aus den LWR jährlich in Zwischenlager eingeliefert werden müssen. In Spalte 6 ist abzulesen, wieviel Zwischenlagerkapazität bereitgestellt werden muß, wenn Konditionierung, Aufarbeitung unberücksichtigt bleiben. Aus Spalte 6 kann entnommen werden, daß

- bis zum Jahre 2000 ca. 3800 tSM an abgebrannten Brennelementen außerhalb der Reaktorlager untergebracht werden müssen (COGEMA-Verträge eingerechnet).

Sind bis dahin eine Konditionierungs- bzw. Wiederaufarbeitungsanlage (WAA) noch nicht in Betrieb gegangen, so müssen

- bis zum Jahre 2000, bei einer maximalen Kapazität der Zwischenlager von 1500 tSM, drei Zwischenlager in Betrieb sein.

Diese notwendige Anzahl an Zwischenlager wächst in den nachfolgenden Jahren rasch an; so werden 5 Jahre später

- im Jahre 2005 schon 6 Zwischenlager à 1500 tSM benötigt!

Bei dem vorsichtigeren Zubau der Kernenergie nach Abb. 1 N fallen laut Tab. 1 N bis zum Jahre 2000 ca. 11 500 tSM an ausgedienten Brennelementen an, davon müssen ca. 2400 tSM außerhalb der Reaktorlager untergebracht bzw. entsorgt werden, d.h. bis zum Jahre 2000 müssen zwei Zwischenlager errichtet sein, wobei diese Anzahl bis zum Jahre 2005 auf 4 ansteigt.

Im folgenden soll nun aufgezeigt werden, wie die Verhältnisse sich entwickeln, wenn ab dem Jahre 2000 eine Konditionierungsanlage oder Wiederaufarbeitungsanlage ihren Vollastbetrieb aufnimmt; die Kapazität der Entsorgungsanlagen soll hierbei so bemessen sein, daß die Anzahl der bis zum Jahre 2000 zu errichtenden Zwischenlager (à 1500 tSM) nach Möglichkeit auch in den nachfolgenden Jahrzehnten nicht überschritten wird.

3.1.1 Szenario I.1

Die installierte Kernenergieleistung wird allein durch LWR abgedeckt. Ferner wird in diesem Szenario angenommen, daß

- im Jahre 2000 eine Konditionierungs- oder Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Netto-Durchsatz von 700 tSM/a ihren Vollastbetrieb aufnimmt,

sodaß Ende des Jahres 2000 ca. 700 tSM an abgebrannten Brennelementen aus LWR entsorgt sind. Dennoch müßte schon im Jahre 2006 ein weiteres, viertes, Zwischenlager mit einer Kapazität von 1500 tSM zur Verfügung stehen. Um die Anzahl der externen Zwischenlager zu begrenzen - die Anzahl der bis zum Jahre 2000 zu errichtenden Zwischenlager soll in etwa beibehalten werden - wird für das Szenario I.1 daher sinnvoll weiter angenommen, daß

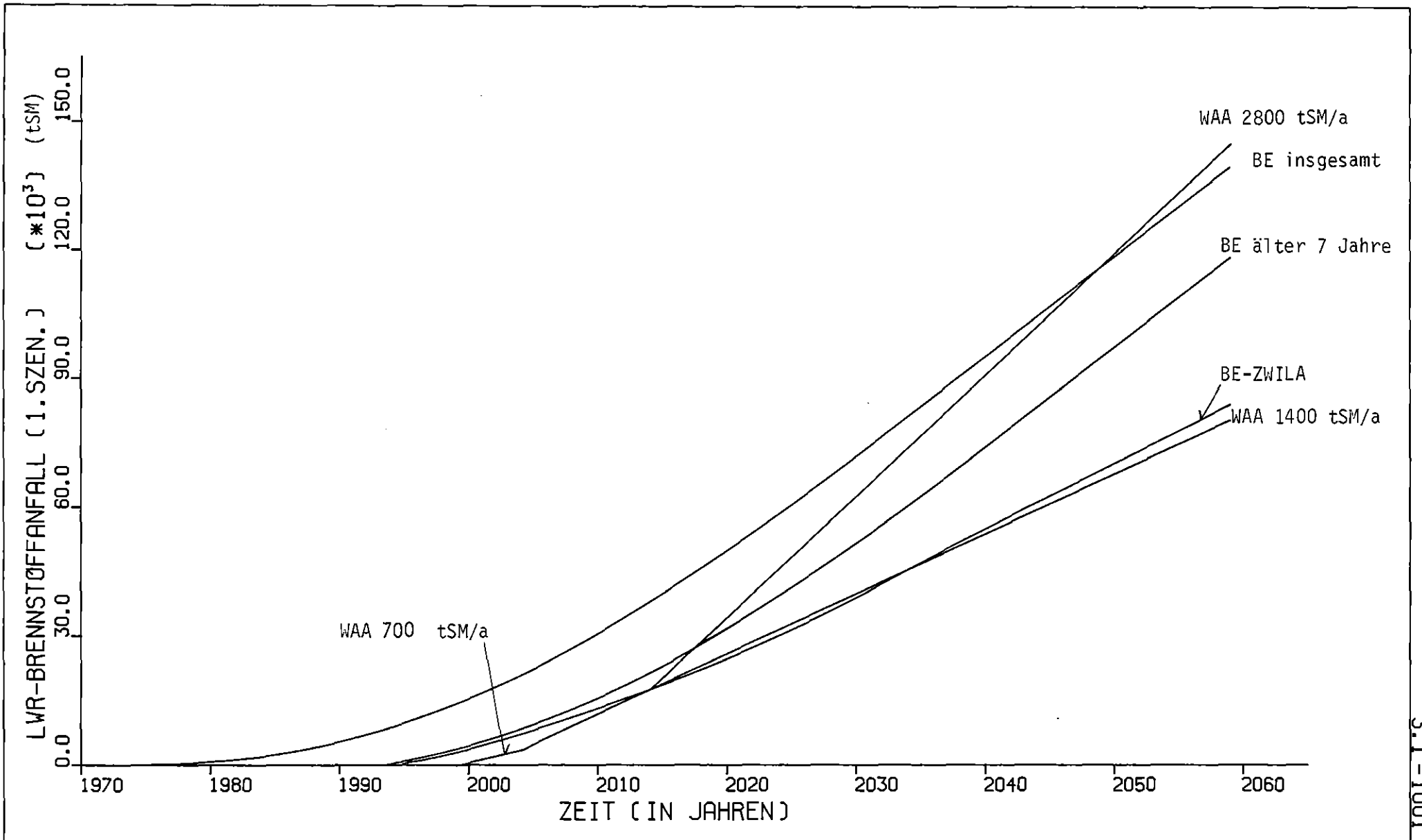
- eine weitere Anlage von 700 tSM/a ab dem Jahre 2005 in Betrieb geht, so daß ab diesem Zeitpunkt insgesamt 1400 tSM/a an Entsorgungskapazität installiert sind.

Die Verhältnisse, die sich dann z.B. hinsichtlich der notwendigen Kapazi-

tät an Zwischenlagern ergeben, können aus Abb. 2 entnommen werden. Dargestellt ist dort einmal der zeitliche Verlauf des kumulierten Brennstoffanfalls aus Leichtwasserreaktoren, der außerhalb der Kernkraftwerke in externen Zwischenlagern (ZWILA) untergebracht werden muß, wenn keine Entsorgungsanlagen (für Wiederaufarbeitung oder Konditionierung) in Betrieb genommen werden (Kurve "BE-ZWILA"), sowie zum anderen der kumulierte Anfall an ausgedienten Brennelementen, die länger als 7 Jahre aus den Reaktoren entladen sind und in Zwischenlagern und Reaktorbecken lagern (Kurve "BE älter 7 Jahre"), wiederum ohne Berücksichtigung von eventueller Konditionierung oder Aufarbeitung, jedoch sind die COGEMA-Verträge in beiden Kurven einbezogen. In einer dritten Kurve ist die kumulierte Menge der insgesamt anfallenden abgebrannten Brennelemente dargestellt; sie schließt den Brennelementanteil, der durch die COGEMA oder durch die Konditionierungs- und Wiederaufarbeitungsanlagen entsorgt wird, mit ein (Kurve "BE-insgesamt").

Die Entsorgung des bestrahlten Kernbrennstoffs soll - entsprechend den Annahmen laut Kap. 2 - frühestens im 8. Jahr nach seiner Entnahme aus dem Reaktor erfolgen; der Bestand an LWR-Brennelementen in den Zwischenlagern ist definitionsgemäß immer älter als 7 Jahre.

Die eingezeichneten Geraden in Abb. 2 geben den Verlauf der kumulierten Aufarbeitung bzw. Konditionierung von abgebrannten Brennelementen (in 10^3 t Schwermetall) wieder, wie er sich bei Inbetriebnahme einer Anlagenkapazität von bestimmter Größe (700 jato, 1400 jato) zu verschiedenen Zeitpunkten (2000, 2005) errechnet. Der durch Wiederaufarbeitung bzw. Konditionierung nicht abgedeckten Teil des kumulierten Brennstoffanfalls (Differenz der Ordinatenwerte von Kurve und Geraden) muß in Lagerbecken untergebracht werden. Der Schnittpunkt von Kurve und Gerade bestimmt den Zeitpunkt, in dem der gesamte Lagerbeckenbestand in Zwischenlager bzw. an Brennelementen älter als 7 Jahre aufgearbeitet ist und z.B. die LWR-WAA-Kapazität dem niedrigeren Brennstoffanfall entsprechend angepaßt werden müßte. Mögliche Zubaustrategien zur Minimierung des Brennelementüberhangs (Zwischenlagerkapazität) und zur Optimierung der Konditionierungs- bzw. Wiederaufarbeitungsanlagen-Kapazitätsauslastung sind mit Hilfe der Darstellung nach Abb. 2 leicht ab-



KfK

ABB. 2

AFAS
1980

zuschätzen (durch Veränderung des Einsatzpunktes und der kapazitätsabhängigen Steigung der Geraden).

In Tab. 2 ist das Ergebnis, wie es aus Abb. 2 für das Szenario I.1 abgelesen werden kann, nochmals aufgeführt:

Spalte 2 zeigt die installierte Nuklearleistung (in MW_e), Spalte 3 die installierte WA- bzw. Konditionierungs-Anlagenkapazität, Spalte 4 den Anfall an abgebrannten Brennelementen (in Tonnen Schwermetall), die in Zwischenlagerbecken unterzubringen sind, wenn keine WA- bzw. Konditionierungskapazität installiert ist (Kompaktlager in den Reaktorgebäuden und Einhaltung der COGEMA-Verträge vorausgesetzt).

Aus Tab. 2, Spalte 5 und aus Abb. 2 ist zu entnehmen, daß

- bis einschließlich dem Jahre 2000 ca. 3100 tSM an ausgedienten LWR-Brennelementen in Lagerbecken außerhalb der Reaktoranlagen, das heißt in Zwischenlagerbecken untergebracht werden müssen,
- bei einer Kapazität dieser Zwischenlager von jeweils 1500 tSM bis zum Jahre 2000 drei Zwischenlager zu erstellen sind,
- im Jahre 2015 der Inhalt dieser Zwischenlager erstmals aufgearbeitet bzw. konditioniert ist (Schnittpunkt der 1400 jato-Geraden mit der Kurve "BE-ZWILA"),

In Tab. 3, Spalte 3 und Spalte 4 ist in Jahresschritten der bis zum Jahre 2005 anfallende bestrahlte Brennstoff aus den LWR, jährlich und kumuliert, aufgeführt, wobei hier die Verträge mit COGEMA, eventuell vorgenommene Konditionierung und/oder Wiederaufarbeitung nicht berücksichtigt sind.

Aus Tab. 3, Spalte 5 ist für dieses Fallbeispiel ferner ersichtlich, daß

- im Jahre 1999 das dritte Brennelement-Zwischenlager erstmalig belegt wird;
- der BE-Überhang in den Zwischenlagern sein erstes Maximum im Jahre 2004 mit ca. 3800 tSM erreicht.

Tabelle 2:

SZENARIO I.1
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	19500.0	0.0					
1990	29900.0	0.0					
1995	40300.0	0.0	539.2	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	700.0	3817.8	3117.8	811.2	4629.0	3929.0
2005	59800.0	1400.0	8211.8	3311.8	1081.6	9530.0	4630.0
2010	70200.0	1400.0	13248.0	1348.0	1318.2	15647.8	3747.8
2015	75400.0	1400.0	18723.6	0.0	1588.6	23083.8	4183.8
2020	80600.0	1400.0	24807.6	0.0	1825.2	31838.0	5938.0
2025	85800.0	1400.0	31567.6	19.6	1960.4	41437.2	8537.2
2030	89700.0	1400.0	39105.0	557.0	2095.6	51712.3	11812.3
2035	89700.0	1400.0	47149.3	1601.4	2230.8	62663.5	15763.5
2040	89700.0	1400.0	55058.5	2510.6	2332.2	74155.4	20255.4
2045	89700.0	1400.0	62731.1	3183.2	2332.2	85816.4	24916.4
2050	89700.0	1400.0	70336.1	3788.2	2332.2	97477.3	29577.3
2055	89700.0	1400.0	77941.1	4393.2	2332.2	109138.3	34238.3
2060	89700.0	1400.0	85748.8	5200.8	2332.2	120799.2	38899.2

Tabelle 3:

SZENARIO I.
 BRENNLEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	202.8	845.0	
1981	10400.0	236.6	1081.6	
1982	13000.0	270.4	1352.0	
1983	14300.0	338.0	1690.0	
1984	16900.0	371.8	2061.8	
1985	19500.0	439.4	2501.2	
1986	20800.0	507.0	3008.2	
1987	23400.0	540.8	3549.0	
1988	24700.0	608.4	4157.4	
1989	27300.0	642.2	4799.6	
1990	29900.0	709.8	5509.4	
1991	31200.0	777.4	6286.8	
1992	33800.0	811.2	7098.0	
1993	35100.0	878.8	7976.8	
1994	37700.0	912.6	8889.4	32.2
1995	40300.0	980.2	9869.6	539.2
1996	41600.0	1047.8	10917.4	1080.0
1997	42900.0	1081.6	11999.0	1688.4
1998	45500.0	1115.4	13114.4	2330.6
1999	46800.0	1183.0	14297.4	3040.4
2000	49400.0	1216.8	15514.2	3117.8
2001	50700.0	1284.4	16798.6	3229.0
2002	53300.0	1318.2	18116.8	3374.0
2003	54600.0	1385.8	19502.6	3552.8
2004	57200.0	1419.6	20922.2	3765.4
2005	59800.0	1487.2	22409.4	3311.8

An dieser Stelle sei nochmals betont, daß aufgrund der in den Berechnungen pauschalen, nicht einzelreaktorbezogenen Berücksichtigung der COGEMA-Verträge der tatsächliche zeitliche Verlauf des Zwischenlagerbedarfs bis zum Jahre 2000 sich im Detail anders gestaltet als der hier errechnete Verlauf, jedoch müssen auf jeden Fall bis zum Jahre 2000 drei Zwischenlager à 1500 tSM erstellt werden:

So ist nach den Berechnungen erst ab dem Jahre 1975 das erste Zwischenlager und ab dem Jahre 1997 das zweite Zwischenlager erforderlich, ein Tatbestand, der in Wirklichkeit zu früheren Zeitpunkten zu erwarten ist /BMI, (1979)/.

Aus Abb. 2 und aus Tab. 2 ist jedoch auch zu entnehmen, daß

- mit einer ab dem Jahre 2015 konstant gehaltenen Anlagenkapazität von 1400 jato an Wiederaufarbeitung bzw. Konditionierung bis zum Jahre 2060 nicht alle ausgedienten Brennelemente, die älter als 7 Jahre sind und teilweise in den Reaktorlagerbecken lagern, aufgearbeitet werden (Abb. 2: kein Schnittpunkt der 1400 jato-Geraden mit der Kurve "BE-älter 7 Jahre"). So befinden sich noch in den Reaktorlagerbecken bis zum Jahre 2015 über 4000 tSM an abgebrannten Brennelementen, die älter als 7 Jahre sind, von insgesamt über 18 000 tSM an abgebrannten Brennelementen auch jüngeren Alters, die noch entsorgt werden müssen.
- die Menge an ausgedienten Brennelementen älter als 7 Jahre ständig ansteigt (ca. 8500 tSM im Jahre 2025, ca. 15 800 tSM im Jahre 2035 etc.), so daß die Zwischenlager wieder belegt werden, und ab dem Jahre 2056 ein viertes Zwischenlager notwendig wird.

Um diesen Brennelementüberhang abzubauen, und um ferner die Zwischenlager nicht wieder auffüllen zu müssen, ist eine Erhöhung der Anlagenkapazität an Wiederaufarbeitung bzw. Konditionierung erforderlich; sie kann entsprechend dem oben geschilderten Strategievorgang abgeschätzt und vorgenommen werden. Im nachfolgend behandelten Szenario I.2 soll eine solche Alternative betrachtet werden.

Wie sich die Verhältnisse bei niedrigem Verlauf der installierten Nuklearleistung gestalten, Szenario I.1 N, ist in Abb. 2 N, Tab. 2 N und Tab. 3 N niedergelegt. Die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen sollen hier kurz aufgeführt und kommentiert werden.

- Im Jahre 2000 nimmt eine Konditionierungs- oder Wiederaufarbeitungsanlage von 700 tSM/a ihren Vollastbetrieb auf; die Anlagenkapazität wird ab dem Jahre 2005 auf 1400 tSM/a erhöht.
- Bis zum Jahre 1999 müssen ca. 1800 tSM an ausgedienten Brennelementen in Zwischenlager außerhalb der Reaktoranlagen untergebracht werden, d.h. es sind bis zu diesem Zeitpunkt 2 Zwischenlager zu erstellen.
- Die Zwischenlager sind im Jahre 2007 geräumt und alle Brennelemente älter als 7 Jahre im Jahre 2008 konditioniert bzw. aufgearbeitet. Ab diesem Zeitpunkt könnte die Kapazität der Entsorgungsanlagen (Konditionierung oder Aufarbeitung) dem jährlichen Anfall an Brennelementen älter als 7 Jahre angepaßt werden (max. 1183 tSM). Sinnvoller scheint es jedoch zu sein, die Anlagenkapazität zu belassen und die Brennelemente jüngeren Datums, die in den Reaktorkompaktlagern liegen (im Jahre 2008 noch ca. 8700 tSM), zu entsorgen.
- Erst nach erfolgter Aufarbeitung dieser gelagerten LWR-Brennelemente im Jahre 2038 wäre dann die Anlagenkapazität auf den Wert von ca. 1200 tSM/a zu reduzieren.

Für das niedrige reine LWR-Szenario I.1 N kann gesagt werden, daß der in Abb. 2 N dargestellte mögliche Kapazitätsverlauf der Konditionierungs- bzw. Wiederaufarbeitungsanlage für die Entsorgung allen bestrahlten LWR-Kernbrennstoffs ausreicht.

Tabelle 4:

SZENARIO I.2
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	19500.0	0.0					
1990	29900.0	0.0					
1995	40300.0	0.0	539.2	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	700.0	3817.8	3117.8	811.2	4629.0	3929.0
2005	59800.0	1400.0	8211.8	3311.8	1081.6	9530.0	4630.0
2010	70200.0	1400.0	13248.0	1348.0	1318.2	15647.8	3747.8
2015	75400.0	2800.0	18723.6	0.0	1588.6	23083.8	2783.8
2020	80600.0	2800.0	24807.6	0.0	1825.2	31838.0	0.0
2025	85800.0	2800.0	31567.6	0.0	1960.4	41437.2	0.0
2030	89700.0	2800.0	39105.0	0.0	2095.6	51712.3	0.0
2035	89700.0	2800.0	47149.3	0.0	2230.8	62663.5	0.0
2040	89700.0	2800.0	55058.5	0.0	2332.2	74155.4	0.0
2045	89700.0	2800.0	62731.1	0.0	2332.2	85816.4	0.0
2050	89700.0	2800.0	70336.1	0.0	2332.2	97477.3	0.0
2055	89700.0	2800.0	77941.1	0.0	2332.2	109138.3	0.0
2060	89700.0	2800.0	85748.8	0.0	2332.2	120799.2	0.0

3.1.2 Szenario I.2

Die in der Bundesrepublik Deutschland installierte Kernenergieleistung wird auch in Szenario I.2 allein durch LWR abgedeckt. Ebenfalls geht hier, wie bei Szenario I.1,

- im Jahre 2000 eine WA- bzw. Konditionierungs-Anlage mit 700 tSM/a Nettodurchsatz in Betrieb,
- eine weitere Anlage im Jahre 2005, so daß ab diesem Zeitpunkt 1400 jato installiert sind.

Im Gegensatz zu Szenario I.1 wird bei diesem Fallbeispiel jedoch eine weitere Anlage mit 1400 jato im Jahre 2015 in Betrieb genommen, so daß

- ab dem Jahre 2015 insgesamt 2800 tSM/a Nettodurchsatz-Anlagenkapazität zur Verfügung stehen.

Hinsichtlich des Bedarfs an Zwischenlagerkapazität, dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Zwischenlager und den Angaben über den Lagerbestand an ausgedienten Brennelementen in den Zwischenlagern bis zum Jahr 2014 sind die Aussagen in diesem Szenario identisch mit denen von Szenario I.1.

Bezüglich der abgebrannten Brennelemente insgesamt, die älter als 7 Jahre sind, gestalten sich die Verhältnisse jedoch anders, wie aus Abb. 2 hervorgeht:

- Die in den Zwischenlagern und Reaktorlagern liegenden Brennelemente, die älter als 7 Jahre sind, sind im Jahre 2018 konditioniert bzw. aufgearbeitet.

Ab diesem Zeitpunkt kann die Kapazität der WA- bzw. Konditionierungs-Anlage dem jährlichen Anfall an ausgedienten Brennelementen "älter als 7 Jahre" angepaßt werden. Aus Tab. 4, Spalte 6 kann dieser jährliche Brennelement-anfall und damit die notwendige Kapazität der Entsorgungsanlage (z.B. WAA)

entnommen werden:

- Ab dem Jahre 2018 kann die Kapazität der Entsorgungsanlage (z.B. WAA) auf ca. 2000 tSM/a bis 2400 tSM/a reduziert werden.

Da sich in den Kompaktlagern der Kernkraftwerke im Jahre 2018 noch ca. 18 000 tSM an abgebrannten Brennelementen befinden, kann jedoch die Entsorgungskapazität von 2800 tSM/a dazu verwendet werden, um auch Brennelemente mit kürzeren Entladungszeiten aus den Reaktoren wiederaufzuarbeiten bzw. zu konditionieren.

3.2 Szenario II: Kommerzieller Einsatz des SBR als alleiniger Reaktortyp ab dem Jahre 2015

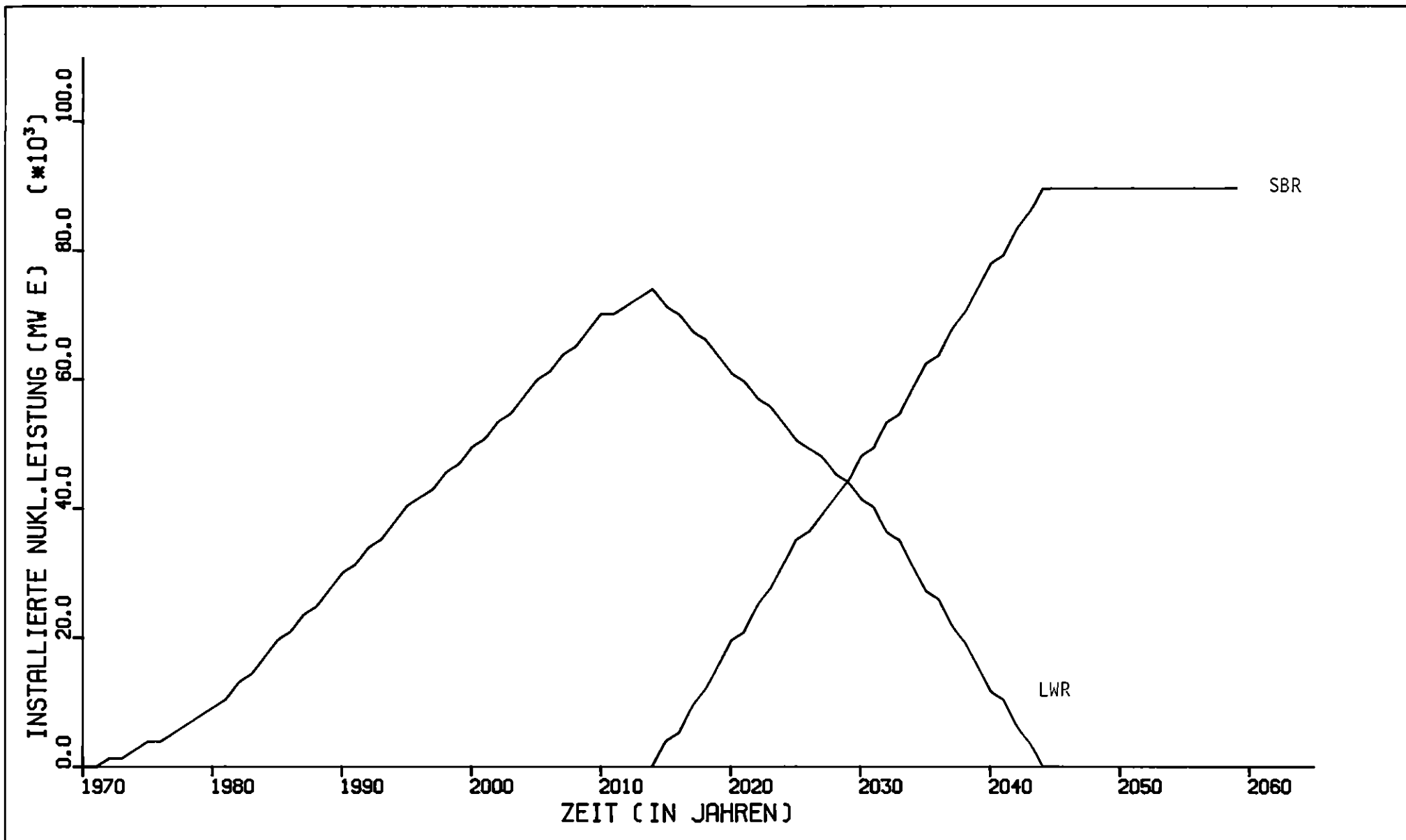
Ausgegangen wird in Szenario II wiederum von einem Verlauf der installierten Nuklearleistung, wie er - wie in Szenario I - durch Abb. 1 bzw. Abb. 1 N gegeben ist.

In Szenario II wird jedoch von der Hypothese ausgegangen, daß im Jahre 2005 die Entscheidung getroffen werde, den Schnellen Brutreaktor ab dem Jahre 2015 einzuführen.

Der Zubau an SBR soll nun in diesem betrachteten Szenario II mit seinen Unterszenarien maximal erfolgen, wobei im Moment außer Acht gelassen wird, ob die Menge des durch Wiederaufarbeitung von ausgedienten Leichtwasserreaktor-Brennelementen (LWR-BE) gewonnene spaltbare Plutonium, das den Brennstoff für die Brutreaktoren darstellt, für den angenommenen maximal möglichen Zubau von SBR ausreichend ist oder nicht (maximales Brütterszenario).

Es wird also in Szenario II davon ausgegangen, daß

- ab dem Jahre 2015 der weitere Kernenergiezubau durch SBR erfolgt,



KfK	ABB. 3	SZENARIO II. LWR UND SBR	AFAS 1980
-----	--------	--------------------------	--------------

Tabelle 5:

SZENARIO II.
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (SBR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)
1980	9100.0	0.0	202.8	845.0		
1985	19500.0	0.0	439.4	2501.2		
1990	29900.0	0.0	709.8	5509.4		
1995	40300.0	0.0	980.2	9869.6	507.0	539.2
2000	49400.0	0.0	1216.8	15514.2	777.4	3817.8
2005	59800.0	0.0	1487.2	22409.4	946.4	8211.8
2010	70200.0	0.0	1757.6	30656.6	1047.8	13248.0
2015	71500.0	3900.0	1926.6	39985.4	1149.2	18723.6
2020	61100.0	19500.0	1656.2	48807.1	1284.4	24807.6
2025	50700.0	35100.0	1385.8	56276.9	1318.2	31466.2
2030	41600.0	48100.0	1149.2	62462.3	1081.6	37415.0
2035	27300.0	62400.0	811.2	67261.8	709.8	41842.7
2040	11700.0	78000.0	405.6	70134.7	304.2	44310.1
2045	0.0	89700.0	0.0	70979.6	0.0	44850.9
2050	0.0	89700.0	0.0	70979.6	0.0	44850.9
2055	0.0	89700.0	0.0	70979.6	0.0	44850.9
2060	0.0	89700.0	0.0	70979.6	0.0	44850.9

- jeder stillgelegte LWR durch einen SBR ersetzt wird,
- das benötigte spaltbare Plutonium durch die Aufarbeitung von bestrahltem LWR-Kernbrennstoff gewonnen wird oder durch Import bereitgestellt werden kann.

Dieses so gewonnene Brütterszenario spiegelt einen Sachverhalt wieder, der hinsichtlich seiner Eintrittsmöglichkeit als unwahrscheinlich anzusehen ist; es ist jedoch gut dafür geeignet, die quantitative Entwicklung notwendiger Entsorgungskapazitäten für bestrahlten LWR-Kernbrennstoff für den Fall eines minimalen LWR-Anteils an der installierten Nuklearleistung aufzuzeigen.

Die Verkopplung von der Kapazität der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage einerseits mit der Zubaurate an schnellen Reaktoren andererseits, d.h. die Abhängigkeit des Brüterzubaus von dem Plutoniumgewinn durch die Aufarbeitung von ausgedienten Leichtwasserreaktor-Brennelementen und damit die Abweichung des tatsächlichen Brüterzubaus von dem ideal-maximal-möglichen, wird in den Szenarien III und Szenarien IV abgehandelt werden.

Abb. 3 zeigt den Verlauf der installierten Nuklearleistung aufgespalten in ihren LWR- und SBR-Anteil.

Der Einfachheit der Berechnungen wegen entsprechen die Blockgröße eines SBR derjenigen eines LWR, also 1300 MW_e , die Reaktorlebensdauer betrage 30 Jahre.

Aus Tab. 5 kann nun für dieses Fallbeispiel entnommen werden, wie sich der LWR-Brennstoffanfall, d.h. der Anfall an abgebrannten LWR-Brennelementen für den betrachteten Zeitraum vom Jahre 1980 bis 2060 gestaltet. Aus Spalte 7 ist zu ersehen, wieviele abgebrannte LWR-Brennelemente (in Tonnen Schwermetall) außerhalb der Reaktorgebäude z.B. in Zwischenlagern unterzubringen sind, wobei bei diesen Angaben die Verträge mit COGEMA berücksichtigt sind und die Kompaktlagerung in den Reaktorgebäuden vorausgesetzt wird. Bis zum Jahre 2000 entsprechen die Ergebnisse denen von Szenario I:

- Erfolgt bis zum Jahre 2000 keine Aufarbeitung bzw. Konditionierung, so muß für ca. 3800 tSM an ausgedienten LWR-Brennelementen Zwischenlagerkapazität bereitgestellt werden, d.h.
- es müssen bis zum Jahre 2000 drei Zwischenlager á 1500 tSM errichtet werden.

Dieser Zahlenwert erhöht sich explosionsartig in den nachfolgenden Jahren; so müßten 10 Jahre später im Jahre 2010 schon für ca. 13 000 tSM an abgebrannten LWR-Brennelementen Zwischenlager bereitgestellt werden.

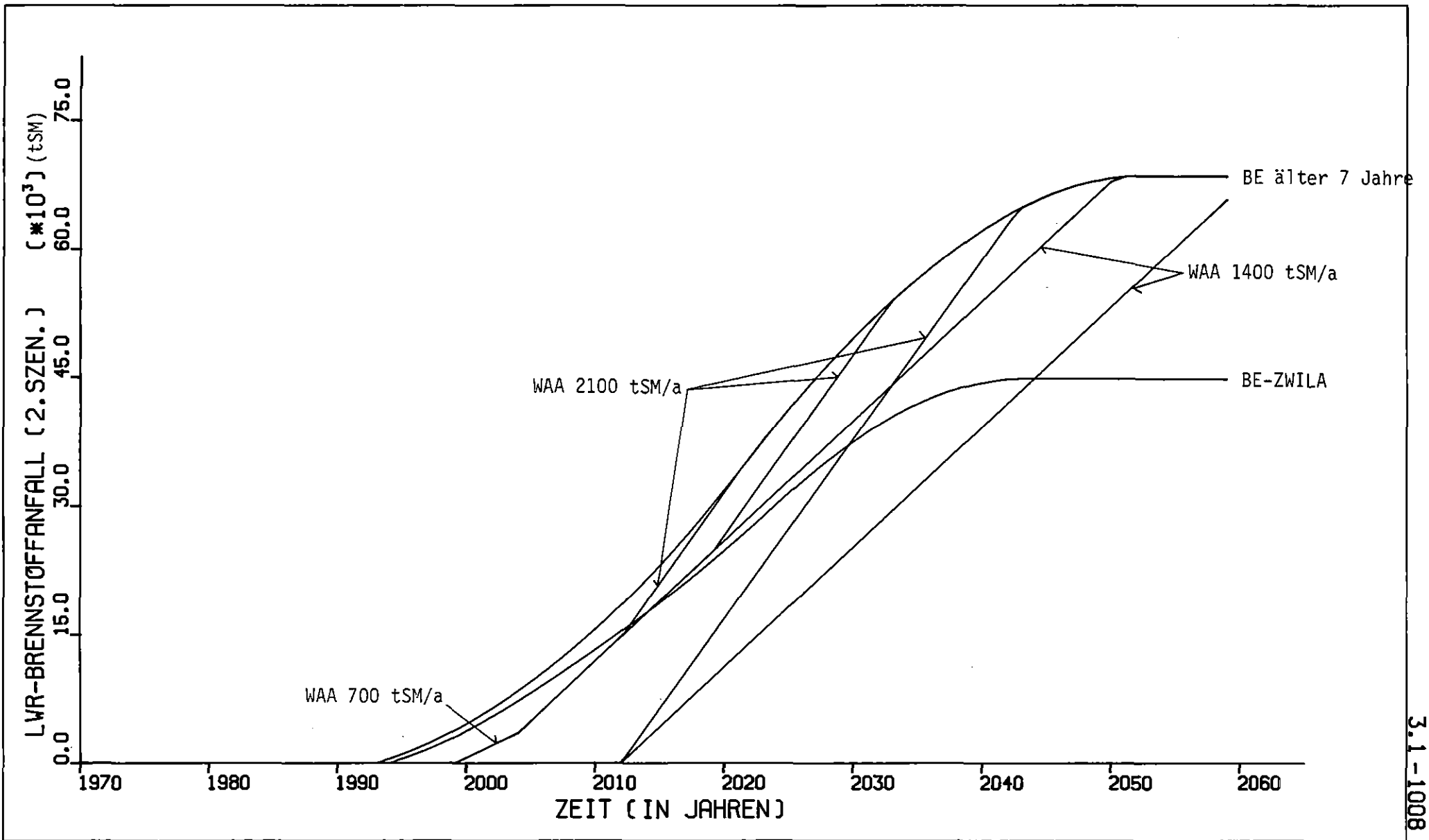
Der Verlauf des SBR- und LWR-Anteils an der installierten Kernenergieleistung bei niedrigerem Verlauf derselben, Szenario II N, zeigt Abb. 3 N. Im Falle dieses niedrigen Kernenergieszenarios müssen bis zum Jahre 2000 ca. 2400 tSM an ausgedienten LWR-Brennelemente außerhalb der Reaktorlager untergebracht werden (zwei Zwischenlager), wächst diese zu lagernde Menge auf ca. 9400 tSM bis zum Jahre 2010 an (siehe Tab. 5 N).

In den nachfolgenden Unterszenarien von Szenario II (bzw. Szenario II N) soll nun abgeschätzt werden, wie dieser Lagerbedarf sich gestaltet, wenn verschiedene Strategien, d.h. Einsatzzeitpunkt und Kapazitätsverlauf von Konditionierungs- bzw. WAA-Anlagen laut Abb. 4 (bzw. Abb. 4 N) berücksichtigt werden.

3.2.1 Szenario II.1

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, daß - abgesehen von den oben angestellten Grundsatzüberlegungen -

- ab dem Jahre 2013, zwei Jahre vor dem kommerziellen Einsatz der Brutreaktoren, eine Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Netto-Jahresdurchsatz von 1400 tSM ihren Vollastbetrieb aufnimmt,



KfK

ABB. 4

AFAS
1980

3.1-1008-1980

Tabelle 6:

SZENARIO II.1
 BRENNLEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNLEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNLEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNLEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	19500.0	0.0					
1990	29900.0	0.0					
1995	40300.0	0.0	539.2	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	0.0	3817.8	3817.8	811.2	4629.0	4629.0
2005	59800.0	0.0	8211.8	8211.8	1081.6	9530.0	9530.0
2010	70200.0	0.0	13248.0	13248.0	1318.2	15647.8	15647.8
2013	72800.0	1400.0	16459.0	15059.0	1487.2	19940.4	18540.4
2015	71500.0	1400.0	18723.6	14523.6	1588.6	23083.8	18883.8
2020	61100.0	1400.0	24807.6	13607.6	1825.2	31838.0	20638.0
2025	50700.0	1400.0	31466.2	13266.2	1825.2	41200.6	23000.6
2030	41600.0	1400.0	37415.0	12215.0	1554.8	49481.5	24281.5
2035	27300.0	1400.0	41842.7	9642.7	1284.4	56410.5	24210.5
2040	11700.0	1400.0	44310.1	5110.1	1047.8	62122.7	22922.7
2045	0.0	1400.0	44850.9	0.0	676.0	66178.7	19978.7
2050	0.0	1400.0	44850.9	0.0	270.4	68240.4	15040.4
2055	0.0	1400.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	8310.8
2060	0.0	1400.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	1310.8

- die ausgedienten LWR-Brennelemente bis zum Jahre der Inbetriebnahme einer Wiederaufarbeitungsanlage, im Jahre 2013, (zwischen-)gelagert werden.

Die Menge an ausgedienten Brennelementen aus LWR, die bis zum Jahre 2012 in Zwischenlager außerhalb der Reaktorgebäude eingelagert werden müssen, kann aus Abb. 4 abgelesen werden (Kurve "BE-ZWILA").

Der Schnittpunkt der Geraden für die kumulierte Wiederaufarbeitungskapazität bei einer 1400 jato-Anlage, beginnend ab dem Jahre 2013, mit der Kurve "BE-ZWILA" ergibt den Zeitpunkt, bis zu welchem die Aufarbeitung des in Zwischenlager liegenden LWR-Brennstoffs abgeschlossen ist;

- die Aufarbeitung wird im Jahre 2045 erreicht.

Der Ordinatenwert zwischen der kumulierten Wiederaufarbeitungsgeraden und der "BE-ZWILA"-Kurve gibt den LWR-Brennelementüberhang wieder, d.h. die Brennstoffmenge, die in Zwischenlagern noch gelagert werden muß. Diese Zahlenwerte sind auch aus Tab. 6, Spalte 5 und Tab. 7, Spalte 5 zu entnehmen (die COGEMA-Verträge sind eingerechnet). Man erkennt, daß

- bis zum Jahre 2012 ca. 15 400 Tonnen Schwermetall an abgebrannten LWR-Brennelementen zwischengelagert werden müssen,
- die Zwischenlager im Jahre 2045 entleert sind,
- eine vollständige Aufarbeitung der ausgedienten LWR-Brennelemente, die älter als 7 Jahre sind, vor dem Jahre 2060 nicht erreicht wird (Abb. 4: Kein Schnittpunkt der zugehörigen WAA-Geraden mit der Kurve "BE älter 7 Jahre").

Bei einer Kapazität der Zwischenlager von jeweils 1500 tSM müssen insgesamt

- 11 Zwischenlager bis zum Jahre 2012 gebaut werden;

diese müssen nach Tab. 7, Spalte 5 nach folgendem Zeitplan in Betrieb gehen:

Tabelle 7:

SZENARIO II.1
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	202.8	845.0	
1981	10400.0	236.6	1081.6	
1982	13000.0	270.4	1352.0	
1983	14300.0	338.0	1690.0	
1984	16900.0	371.8	2061.8	
1985	19500.0	439.4	2501.2	
1986	20800.0	507.0	3008.2	
1987	23400.0	540.8	3549.0	
1988	24700.0	608.4	4157.4	
1989	27300.0	642.2	4799.6	
1990	29900.0	709.8	5509.4	
1991	31200.0	777.4	6286.8	
1992	33800.0	811.2	7098.0	
1993	35100.0	878.8	7976.8	
1994	37700.0	912.6	8889.4	32.2
1995	40300.0	980.2	9869.6	539.2
1996	41600.0	1047.8	10917.4	1080.0
1997	42900.0	1081.6	11999.0	1688.4
1998	45500.0	1115.4	13114.4	2330.6
1999	46800.0	1183.0	14297.4	3040.4
2000	49400.0	1216.8	15514.2	3817.8
2001	50700.0	1284.4	16798.6	4629.0
2002	53300.0	1318.2	18116.8	5474.0
2003	54600.0	1385.8	19502.6	6352.8
2004	57200.0	1419.6	20922.2	7265.4
2005	59800.0	1487.2	22409.4	8211.8
2006	61100.0	1554.8	23964.2	9192.0
2007	63700.0	1588.6	25552.8	10172.2
2008	65000.0	1656.2	27209.0	11186.2
2009	67600.0	1690.0	28899.0	12200.2
2010	70200.0	1757.6	30656.6	13248.0
2011	70200.0	1825.2	32481.8	14295.8
2012	71500.0	1825.2	34307.0	15377.4
2013	72800.0	1859.0	36166.0	15059.0
2014	74100.0	1892.8	38058.8	14774.4
2015	71500.0	1926.6	39985.4	14523.6

1. Zwischenlager im Jahre 1994
2. Zwischenlager im Jahre 1997
3. Zwischenlager im Jahre 1999
4. Zwischenlager im Jahre 2001
5. Zwischenlager im Jahre 2003
6. Zwischenlager im Jahre 2005
7. Zwischenlager im Jahre 2006
8. Zwischenlager im Jahre 2008
9. Zwischenlager im Jahre 2009
10. Zwischenlager im Jahre 2011
11. Zwischenlager im Jahre 2012

Tab. 6 enthält ferner in Spalte 4 den kumulierten Bedarf an Zwischenlagerkapazität unter Berücksichtigung der COGEMA-Verträge, sowie in Spalte 7 den kumulierten Anteil an dem gesamten Brennstoffanfall an abgebrannten LWR-Brennelementen, die älter als 7 Jahre sind (Reaktorlager plus Zwischenlager, COGEMA-Verträge eingerechnet), wenn keine Aufarbeitung stattfindet; bei den Angaben in Tab. 6, Spalte 5 bis Spalte 8 sind die COGEMA-Verträge eingerechnet.

In Tab. 7, Spalte 3 und Spalte 4 ist ferner der jährliche und kumulierte Anfall an abgebrannten LWR-Brennelementen ohne Berücksichtigung von Entsorgungsgegebenheiten (Wiederaufarbeitung, COGEMA-Verträge etc.) aufgeführt.

Die für das niedrige Kernenergie-Szenario II.1 N signifikanten Ergebnisse, sind aus Abb. 4 N, der Tab. 6 N und Tab. 7 N zu entnehmen:

- Zur Verarbeitung des bestrahlten LWR-Kernbrennstoffs ist eine Entsorgungsanlage mit einer Kapazität von 1400 tSM/a für den betrachteten Zeitraum bis zum Jahre 2060 ausreichend.

- Bis zum Jahre 2012 müssen ca. 10 600 tSM an ausgedienten LWR-Brennelementen zwischengelagert werden.
- Bei einer Kapazität von max. 1500 tSM pro Zwischenlager müssen bis zum Jahre 2012 8 Zwischenlager erstellt werden; der Zeitplan der Inbetriebnahme ist aus Tab. 7 N, Spalte 5 zu entnehmen.
- Die Zwischenlager sind im Jahre 2027 geräumt, und auch die in den Reaktorkompaktlagern befindlichen LWR-BE, die älter als 7 Jahre sind, im Jahre 2038 aufgearbeitet.
- Ab diesem Zeitpunkt kann der Nettodurchsatz der LWR-WAA auf den Zahlenwert des jährlichen Anfalls an LWR-BE älter als 7 Jahre reduziert werden (Tab. 6 N, Spalte 6); ab dem Jahre 2053 kann der Betrieb der LWR-WAA eingestellt werden.

3.2.2 Szenario II.2

Im Unterschied zu Szenario II.1 wird in Szenario II.2 angenommen, daß

- ab dem Jahre 2000 eine Anlage zur Konditionierung für abgebrannte LWR-Brennelemente von 700 tSM/a Nettodurchsatz in Betrieb geht,
- ab dem Jahre 2005 die Kapazität dieser Anlage auf 1400 tSM/a erhöht wird,
- ab dem Jahre 2013 die Konditionierungsanlagen durch eine Wiederaufarbeitungsanlage gleicher Kapazität (1400 jato) ersetzt wird.

Aus Abb. 4, Tab. 8 und Tab. 9, Spalte 5 ist ersichtlich, daß

- bis zum Jahre 1999 drei Zwischenlager à 1500 tSM Kapazität zu errichten sind,
- diese drei Zwischenlager bis zum Jahre 2015 und danach ausreichend sind,

Tabelle 8:

SZENARIO II.2
 BRENNLEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNLEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNLEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNLEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	19500.0	0.0					
1990	29900.0	0.0					
1995	40300.0	0.0	539.2	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	700.0	3817.8	3117.8	811.2	4629.0	3929.0
2005	59800.0	1400.0	8211.8	3311.8	1081.6	9530.0	4630.0
2010	70200.0	1400.0	13248.0	1348.0	1318.2	15647.8	3747.8
2013	72800.0	1400.0	16459.0	359.0	1487.2	19940.4	3840.4
2015	71500.0	1400.0	18723.6	0.0	1588.6	23083.8	4183.8
2020	61100.0	1400.0	24807.6	0.0	1825.2	31838.0	5938.0
2025	50700.0	1400.0	31466.2	0.0	1825.2	41200.6	8300.6
2030	41600.0	1400.0	37415.0	0.0	1554.8	49481.5	9581.5
2035	27300.0	1400.0	41842.7	0.0	1284.4	56410.5	9510.5
2040	11700.0	1400.0	44310.1	0.0	1047.8	62122.7	8222.7
2045	0.0	1400.0	44850.9	0.0	676.0	66178.7	5278.7
2050	0.0	1400.0	44850.9	0.0	270.4	68240.4	340.4
2055	0.0	1400.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0
2060	0.0	1400.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0

Tabelle 9:

SZENARIO II.2
 BRENNLEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	202.8	845.0	
1981	10400.0	236.6	1081.6	
1982	13000.0	270.4	1352.0	
1983	14300.0	338.0	1690.0	
1984	16900.0	371.8	2061.8	
1985	19500.0	439.4	2501.2	
1986	20800.0	507.0	3008.2	
1987	23400.0	540.8	3549.0	
1988	24700.0	608.4	4157.4	
1989	27300.0	642.2	4799.6	
1990	29900.0	709.8	5509.4	
1991	31200.0	777.4	6286.8	
1992	33800.0	811.2	7098.0	
1993	35100.0	878.8	7976.8	
1994	37700.0	912.6	8889.4	32.2
1995	40300.0	980.2	9869.6	539.2
1996	41600.0	1047.8	10917.4	1080.0
1997	42900.0	1081.6	11999.0	1688.4
1998	45500.0	1115.4	13114.4	2330.6
1999	46800.0	1183.0	14297.4	3040.4
2000	49400.0	1216.8	15514.2	3117.8
2001	50700.0	1284.4	16798.6	3229.0
2002	53300.0	1318.2	18116.8	3374.0
2003	54600.0	1385.8	19502.6	3552.8
2004	57200.0	1419.6	20922.2	3765.4
2005	59800.0	1487.2	22409.4	3311.8
2006	61100.0	1554.8	23964.2	2892.0
2007	63700.0	1588.6	25552.8	2472.2
2008	65000.0	1656.2	27209.0	2086.2
2009	67600.0	1690.0	28899.0	1700.2
2010	70200.0	1757.6	30656.6	1348.0
2011	70200.0	1825.2	32481.8	995.8
2012	71500.0	1825.2	34307.0	677.4
2013	72800.0	1859.0	36166.0	359.0
2014	74100.0	1892.8	38058.8	74.4
2015	71500.0	1926.6	39985.4	0.0

- die in den Zwischenlagern liegenden abgebrannten LWR-Brennelemente im Jahre 2015 aufgearbeitet bzw. konditioniert sind,
- im Jahre 2053 auch die ausgedienten LWR-Brennelemente, die älter als 7 Jahre sind, aufgearbeitet bzw. konditioniert sind (Schnittpunkt der zugehörigen WAA-Geraden mit der Kurve "BE älter 7 Jahre"),
- ab dem Jahre 2053 die Wiederaufarbeitungsanlage stillgelegt werden kann, da ab 2045 kein bestrahlter LWR-Kernbrennstoff mehr anfällt.

Im Falle des niedrigeren Ausbaus der Kernenergie, Szenario II.2 N, ergibt sich laut Abb. 4 N, Tab. 8 N und Tab. 9 N folgender Sachverhalt:

- Bis zum Jahre 2000 sind 2 Zwischenlager zu errichten; diese genügen für den betrachteten Zeitraum.
- Die Zwischenlager sind bis zum Jahre 2007 geräumt und auch die LWR-Brennelemente in den Reaktorkompaktlagern, die länger als 7 Jahre aus den Reaktoren entladen sind, im Jahre 2008 aufgearbeitet.
- Ab diesem Zeitpunkt kann die Kapazität der Wiederaufarbeitungsanlage für ausgediente LWR-Brennelemente auf den Zahlenwert des jährlichen Anfalls an LWR-BE älter 7 Jahre reduziert oder auch jüngere bestrahlte LWR-Brennelemente aufgearbeitet werden.
- Ab dem Jahre 2045 fällt kein bestrahlter LWR-Kernbrennstoff mehr an, so daß in der Zeit von 2047 bis 2053 die Wiederaufarbeitungsanlage stillgelegt werden kann.

3.2.3 Szenario II.3

Das Szenario II.3 ist eine leichte Variante des Szenarios II.2 (s. Kap. 3.2.2). Der einzige Unterschied besteht darin, daß

Tabelle 10:

SZENARIO II.3
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	19500.0	0.0					
1990	29900.0	0.0					
1995	40300.0	0.0	539.2	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	700.0	3817.8	3117.8	811.2	4629.0	3929.0
2005	59800.0	1400.0	8211.8	3311.8	1081.6	9530.0	4630.0
2010	70200.0	1400.0	13248.0	1348.0	1318.2	15647.8	3747.8
2013	72800.0	1400.0	16459.0	359.0	1487.2	19940.4	3840.4
2015	71500.0	1400.0	18723.6	0.0	1588.6	23083.8	4183.8
2020	61100.0	2100.0	24807.6	0.0	1825.2	31838.0	5238.0
2025	50700.0	2100.0	31466.2	0.0	1825.2	41200.6	4100.6
2030	41600.0	2100.0	37415.0	0.0	1554.8	49481.5	1881.5
2035	27300.0	2100.0	41842.7	0.0	1284.4	56410.5	0.0
2040	11700.0	2100.0	44310.1	0.0	1047.8	62122.7	0.0
2045	0.0	2100.0	44850.9	0.0	676.0	66178.7	0.0
2050	0.0	2100.0	44850.9	0.0	270.4	68240.4	0.0
2055	0.0	2100.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0
2060	0.0	2100.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0

- die Kapazität der im Jahre 2013 in betriebgehenden Wiederaufarbeitungsanlage im Jahre 2020 auf 2100 tSM/a Nettodurchsatz erhöht wird.

Die Ergebnisse hinsichtlich des Zwischenlagerbedarfs, des Zeitpunktes des Abbaus der Zwischenlagerbelegung durch Aufarbeitung bzw. Konditionierung der abgebrannten LWR-Brennelemente sind gleich denjenigen in Szenario II.2.

Doch wird in Szenario II.3

- die Aufarbeitung der abgebrannten LWR-Brennelemente, die älter als 7 Jahre sind, laut Abb. 4 im Jahre 2033 erreicht,
- kann von diesem Zeitpunkt an die Kapazität der LWR-WAA dem jährlichen Anfall an ausgedienten Brennelementen "älter als 7 Jahre" nach Tab. 10, Spalte 6 angepaßt werden (von ca. 1400 tSM/a ab dem Jahre 2034 abnehmend bis zu 100 tSM/a im Jahre 2052).

3.2.4 Szenario II.4

Eine weitere Variante zu dem Szenario II.2 stellt das Szenario II.4 dar.

Der Unterschied zu Szenario II.2 liegt darin, daß

- die ab dem Jahre 2013 in Betrieb gehende Anlage zur Aufarbeitung der abgebrannten LWR-Brennelemente hier eine Kapazität von 2100 tSM/a aufweist,
- der Lagerbestand in den BE-Zwischenlagern schon im Jahre 2013 durch Konditionierung bzw. Aufarbeitung abgebaut ist (s. Abb. 4),
- alle ausgedienten LWR-Brennelemente, die älter als 7 Jahre sind, schon im Jahre 2022 aufgearbeitet bzw. konditioniert sind (s. Abb. 4),
- die Kapazität der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage ab dem Jahre 2023

Tabelle 11:

SZENARIO II.4
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	19500.0	0.0					
1990	29900.0	0.0					
1995	40300.0	0.0	539.2	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	700.0	3817.8	3117.8	811.2	4629.0	3929.0
2005	59800.0	1400.0	8211.8	3311.8	1081.6	9530.0	4630.0
2010	70200.0	1400.0	13248.0	1348.0	1318.2	15647.8	3747.8
2013	72800.0	2100.0	16459.0	0.0	1487.2	19940.4	3140.4
2015	71500.0	2100.0	18723.6	0.0	1588.6	23083.8	2083.8
2020	61100.0	2100.0	24807.6	0.0	1825.2	31838.0	338.0
2025	50700.0	2100.0	31466.2	0.0	1825.2	41200.6	0.0
2030	41600.0	2100.0	37415.0	0.0	1554.8	49481.5	0.0
2035	27300.0	2100.0	41842.7	0.0	1284.4	56410.5	0.0
2040	11700.0	2100.0	44310.1	0.0	1047.8	62122.7	0.0
2045	0.0	2100.0	44850.9	0.0	676.0	66178.7	0.0
2050	0.0	2100.0	44850.9	0.0	270.4	68240.4	0.0
2055	0.0	2100.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0
2060	0.0	2100.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0

auf den Zahlenwert des jährlichen Anfalls an abgebrannten LWR-Brennelementen "älter als 7 Jahre", reduziert werden kann (Tab. 11, Spalte 6).

3.2.5 Szenario II.5

Das Szenario II.5 ist eine Variante des Szenarios II.1:

- Die abgebrannten Brennelemente aus den Leichtwasser-Reaktoren werden bis zum Jahre 2013, dem Jahr der Inbetriebnahme der LWR-WAA, in Kompaktlagern im Reaktorgebäude so wie in rechtzeitig zu erstellenden Zwischenlagern gelagert.
- Ab dem Jahre 2013, zwei Jahre vor dem großtechnischen Einsatz der SBR, geht eine LWR-WAA mit einem Nettojahresdurchsatz von 2100 tSM in Betrieb.

Die Aussagen bezüglich der zu errichtenden Zwischenlager hinsichtlich Zeitpunkt und Anzahl sind gleich denjenigen bei Szenario II.1 (s. Kap. 3.2.1).

Laut Abb. 4 sowie laut Tab. 12

- ist der Lagerbestand in den Zwischenlagern im Jahre 2030 aufgearbeitet;
- sind die Lagerbestände an ausgedienten LWR-Brennelementen, die älter als 7 Jahre sind, im Jahre 2043 durch Aufarbeitung geräumt;
- kann ab dem Jahre 2044 die Kapazität der LWR-WAA auf den Wert der jährlich anfallenden Menge an LWR-Brennelementen "älter als 7 Jahre" (entsprechend Tab. 12, Spalte 6) reduziert werden.

Wurde in den Szenarien II der Zubau an SBR unabhängig von dem Gewinn an

Tabelle 12:

SZENARIO II.5
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	19500.0	0.0					
1990	29900.0	0.0					
1995	40300.0	0.0	539.2	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	0.0	3817.8	3817.8	811.2	4629.0	4629.0
2005	59800.0	0.0	8211.8	8211.8	1081.6	9530.0	9530.0
2010	70200.0	0.0	13248.0	13248.0	1318.2	15647.8	15647.8
2013	72800.0	2100.0	16459.0	14359.0	1487.2	19940.4	17840.4
2015	71500.0	2100.0	18723.6	12423.6	1588.6	23083.8	16783.8
2020	61100.0	2100.0	24807.6	8007.6	1825.2	31838.0	15038.0
2025	50700.0	2100.0	31466.2	4166.2	1825.2	41200.6	13900.6
2030	41600.0	2100.0	37415.0	0.0	1554.8	49481.5	11681.5
2035	27300.0	2100.0	41842.7	0.0	1284.4	56410.5	8110.5
2040	11700.0	2100.0	44310.1	0.0	1047.8	62122.7	3322.7
2045	0.0	2100.0	44850.9	0.0	676.0	66178.7	0.0
2050	0.0	2100.0	44850.9	0.0	270.4	68240.4	0.0
2055	0.0	2100.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0
2060	0.0	2100.0	44850.9	0.0	0.0	68510.8	0.0

spaltbarem Plutonium (Pu_{fiss}) aus den LWR-WAA vorgenommen (z.B. durch Import von Plutonium), so soll in den nachfolgenden Szenarien die Abhängigkeit des SBR-Zubaus von diesem Pu_{fiss} -Gewinn in die Berechnungen und Überlegungen mit einbezogen werden.

3.3 Szenario III: Zubau des SBR in Abhängigkeit vom Plutoniumgewinn aus der Wiederaufarbeitung aller Leichtwasserreaktor-Brennelemente

Das Szenario III ist mit seinen zwei Varianten Szenario III.1 und Szenario III.2 wiederum ein Brüter-Szenario, jedoch wird hier im Gegensatz zu Szenario II der Zubau des SBR von der zur Verfügung stehenden Menge an Plutonium, das bei der Wiederaufarbeitung von ausgedienten LWR-Brennelementen gewonnen wird, abhängig gemacht.

Der Verlauf der insgesamt in der Bundesrepublik Deutschland installierten Kernenergieleistung, LWR und SBR, ist in Abb. 1 wiedergegeben.

Im einzelnen ist das Szenario III durch folgende Gegebenheiten charakterisiert:

- Der kommerzielle Einsatz der Brutreaktoren erfolgt ab dem Jahre 2015.
- Das Plutonium für die Erstcore-Ausstattung der SBR muß aus der Aufarbeitung von LWR-Brennelementen gewonnen werden.
- Das spaltbare Plutonium für die ersten drei Nachladungen der SBR, also für das zweite bis vierte Betriebsjahr nach Inbetriebgehen der SBR, muß ebenfalls durch die Aufarbeitung von ausgedienten LWR-Brennelementen gewonnen werden;
- d.h. die erstmalige Verwendung von spaltbarem Plutonium aus der Aufarbeitung von abgebrannten SBR-Brennelementen erfolgt im fünften Reaktor-Betriebsjahr.

- Der Zubau der SBR richtet sich nach dem Gewinn an spaltbarem Plutonium aus der LWR-Brennstoff-Aufarbeitung.
- Stillgelegte LWR werden, soweit möglich, durch Brutreaktoren ersetzt.
- Obwohl die Entscheidung für den großtechnischen Brütereinsatz bereits im Jahre 2005 gefällt wird, nimmt die LWR-WAA erst zwei Jahre vor dem kommerziellen Einsatz der SBR, im Jahre 2013, ihren Vollastbetrieb auf (hiermit soll z.B. auch genehmigungsrechtlichen Verzögerungen Rechnung getragen werden).
- Die bis zum Jahre 2012 anfallenden ausgedienten LWR-Brennelemente werden zwischengelagert entweder in oberirdischen Zwischenlagern oder in geologischen Formationen.
- Die Brutreaktoren haben, wie die LWR, eine Blockgröße von 1300 MW_e und eine Lebensdauer von 30 Jahren.

Der Gewinn an spaltbarem Plutonium (Pu_{fiss}) aus der Aufbereitung von ausgebrannten LWR-Brennelementen beträgt, unter Berücksichtigung der Verluste bei der Aufarbeitung und bei der Refabrikation, bei einem LWR-Abbrand von 30 000 MWd/tSM und mit einer Anreicherung von 3,2 %.

3,85 Tonnen Pu_{fiss} aus 700 tSM

7,70 Tonnen Pu_{fiss} aus 1400 tSM

11,55 Tonnen Pu_{fiss} aus 2100 tSM

Pro 1300 MW_e-Brüter (Lastfaktor 0,7) werden benötigt an Pu_{fiss} aus der Aufarbeitung von bestrahltem LWR-Kernbrennstoff

- für die Erstbeladung (Coreinventar) 4,55 t Pu_{fiss}
- für die 1., 2. und 3. Nachladung jeweils 1,56 t Pu_{fiss}

Das notwendige Plutonium für die 4. und folgenden Nachladungen wird bereits durch Aufarbeitung des bestrahlten SBR-Kernbrennstoffs gewonnen.

Der Brutstoffgewinn bleibt bei den Berechnungen unberücksichtigt.

Der Brüterzubau in den Szenarien III wird bis zum Jahre 2045 durch den Gewinn an spaltbarem Plutonium aus der Wiederaufarbeitung von ausgedienten LWR-Brennelementen bestimmt; danach wird der Brüterzubau auch wesentlich durch die Verwendung des Plutoniums, das durch die Aufarbeitung des Core-Inventares der stillgelegten SBR gewonnen wird, mitbestimmt.

Aus Tab. 13, Spalte 5 ist zu entnehmen, daß - unter Berücksichtigung der COGEMA-Verträge und unter der Annahme, daß jeder LWR mit einem Kompaktlager ausgestattet ist -

- bis zum Jahre 2012 ca. 15 400 tSM an ausgedienten LWR-Brennelementen (wieder rückholbar) in geologischen Formationen zwischengelagert oder für diese Brennstoffmenge oberirdische Zwischenlager rechtzeitig erstellt werden müssen;

im letzteren Falle müssen

- bis zum Jahre 2012, bei einer Lagerkapazität von maximal 1500 tSM je Lager, 11 Zwischenlager errichtet werden.

Diese müssen nach Tab. 13, Spalte 5 mit folgendem Zeitplan in Betrieb gehen:

- 1. Zwischenlager im Jahre 1994
- 2. Zwischenlager im Jahre 1997
- 3. Zwischenlager im Jahre 1999
- 4. Zwischenlager im Jahre 2001
- 5. Zwischenlager im Jahre 2003
- 6. Zwischenlager im Jahre 2005
- 7. Zwischenlager im Jahre 2006
- 8. Zwischenlager im Jahre 2008

Tabelle 13:

SZENARIO III.
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	202.8	845.0	
1981	10400.0	236.6	1081.6	
1982	13000.0	270.4	1352.0	
1983	14300.0	338.0	1690.0	
1984	16900.0	371.8	2061.8	
1985	19500.0	439.4	2501.2	
1986	20800.0	507.0	3008.2	
1987	23400.0	540.8	3549.0	
1988	24700.0	608.4	4157.4	
1989	27300.0	642.2	4799.6	
1990	29900.0	709.8	5509.4	
1991	31200.0	777.4	6286.8	
1992	33800.0	811.2	7098.0	
1993	35100.0	878.8	7976.8	
1994	37700.0	912.6	8889.4	32.2
1995	40300.0	980.2	9869.6	539.2
1996	41600.0	1047.8	10917.4	1080.0
1997	42900.0	1081.6	11999.0	1688.4
1998	45500.0	1115.4	13114.4	2330.6
1999	46800.0	1183.0	14297.4	3040.4
2000	49400.0	1216.8	15514.2	3817.8
2001	50700.0	1284.4	16798.6	4629.0
2002	53300.0	1318.2	18116.8	5474.0
2003	54600.0	1385.8	19502.6	6352.8
2004	57200.0	1419.6	20922.2	7265.4
2005	59800.0	1487.2	22409.4	8211.8
2006	61100.0	1554.8	23964.2	9192.0
2007	63700.0	1588.6	25552.8	10172.2
2008	65000.0	1656.2	27209.0	11186.2
2009	67600.0	1690.0	28899.0	12200.2
2010	70200.0	1757.6	30656.6	13248.0
2011	70200.0	1825.2	32481.8	14295.8
2012	71500.0	1825.2	34307.0	15377.4
2013	72800.0	1859.0	36166.0	15059.0
2014	74100.0	1892.8	38058.8	14774.4
2015	71500.0	1926.6	39985.4	14523.6

9. Zwischenlager im Jahre 2009

10. Zwischenlager im Jahre 2011

11. Zwischenlager im Jahre 2012

Tab. 13 enthält ferner in Spalte 3 und Spalte 4 die Angaben über den insgesamt jährlich und kumuliert anfallenden bestrahlten LWR-Kernbrennstoff ohne Berücksichtigung von eventuell vorgenommener Aufarbeitung etc. im In- und Ausland.

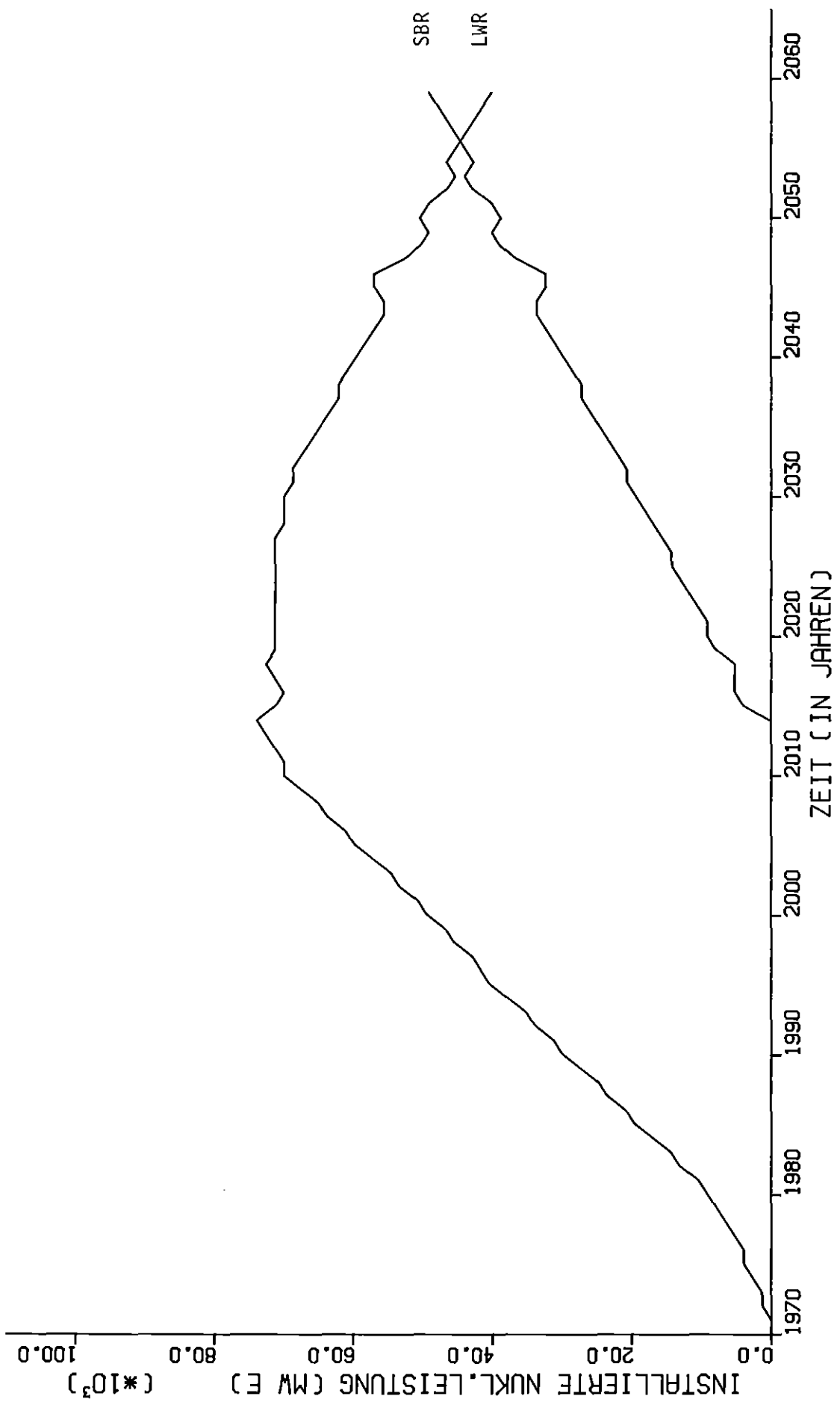
Für den Fall des niedrigeren Verlaufs der installierten Nuklearleistung, Szenario III N, sind bis zum Jahre 2012 ca. 10 600 tSM an ausgedienten LWR-Brennelementen zwischenzulagern. Bei einer maximalen Lagerkapazität von 1500 tSM sind dafür 8 Zwischenlager zu erstellen. Da der zeitliche Verlauf der Entsorgung bis zum Jahre 2015 gleich dem von Szenario II.1 N ist, kann der Verlauf des Brennelementüberhangs in den Zwischenlagern und damit der Zeitplan der notwendigen Inbetriebnahme der Zwischenlager Tab. 7 N entnommen werden.

3.3.1 Szenario III.1

In Szenario III.1 wird nun angenommen, daß

- bis zum Inbetriebgehen einer LWR-WAA die ausgedienten LWR-Brennelemente zwischengelagert werden,
- im Jahre 2013 eine Anlage zur Aufarbeitung von bestrahltem LWR-Kernbrennstoff mit einem Nettodurchsatz von 1400 tSM/a ihren Vollastbetrieb aufnimmt,
- diese LWR-WAA-Kapazität in den nächsten Jahrzehnten unverändert bleibt.

Für dieses Fallbeispiel kann aus Abb. 5 und Tab. 14 der sich bei dieser LWR-WAA-Kapazität ergebende Verlauf der installierten SBR-Nuklearleistung



AFAS
1980

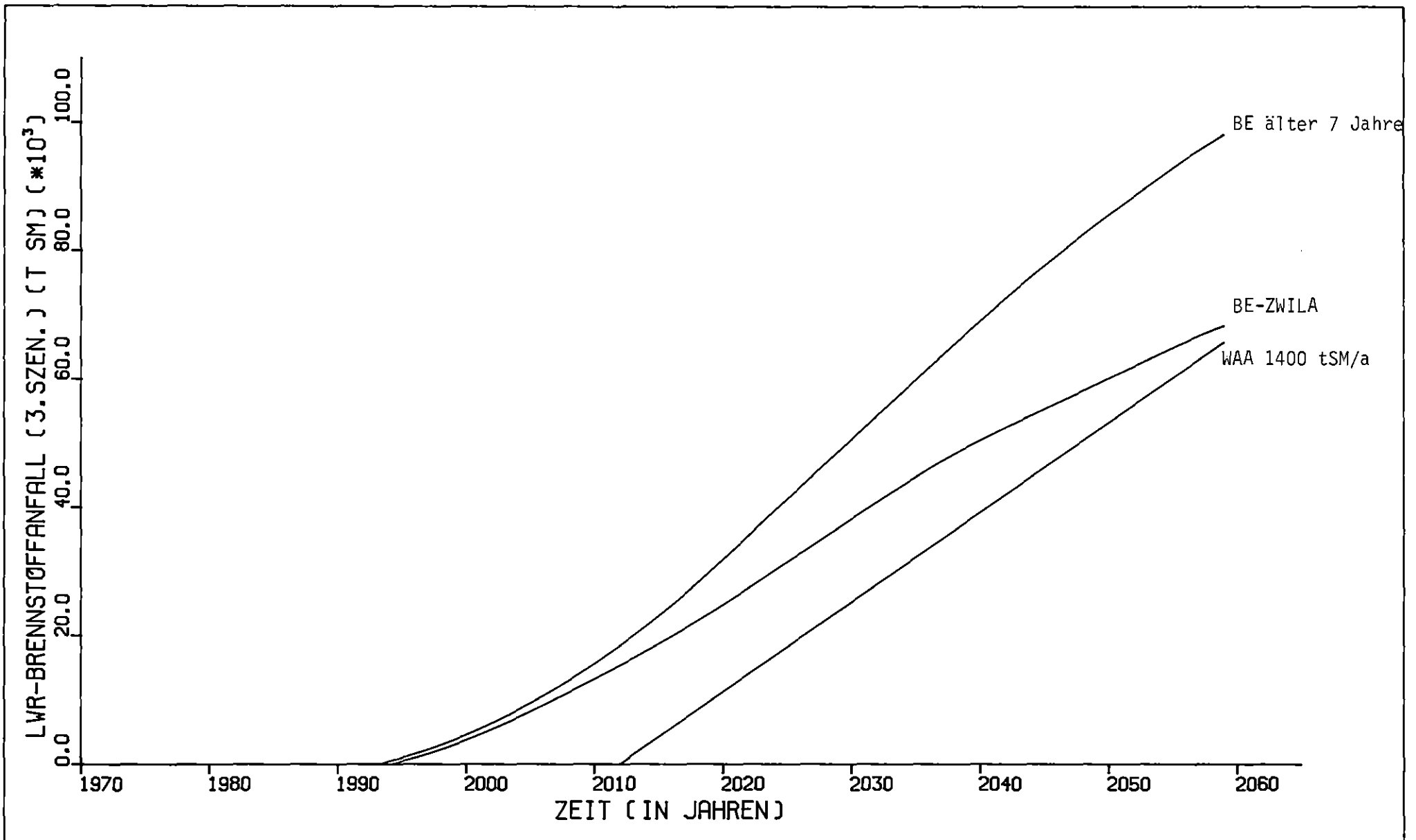
ABB. 5 SZENARIO III.1 LWR UND SBR

KfK

Tabelle 14:

SZENARIO III.1
 Brennelementanfall und install. nukl. Leistung
 als Funktion der Zeit (in Jahren)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (SBR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)
1980	9100.0	0.0	202.8	845.0	
1985	19500.0	0.0	439.4	2501.2	
1990	29900.0	0.0	709.8	5509.4	
1995	40300.0	0.0	980.2	9869.6	507.0
2000	49400.0	0.0	1216.8	15514.2	777.4
2005	59800.0	0.0	1487.2	22409.4	946.4
2010	70200.0	0.0	1757.6	30656.6	1047.8
2015	71500.0	3900.0	1926.6	39985.4	1149.2
2020	71500.0	9100.0	1859.0	49280.3	1284.4
2025	71500.0	14300.0	1859.0	58575.3	1318.2
2030	70200.0	19500.0	1825.2	67802.7	1352.0
2035	65000.0	24700.0	1723.8	76691.9	1250.6
2040	59800.0	29900.0	1588.6	84871.4	1047.8
2045	57200.0	32500.0	1453.4	92341.1	980.2
2050	50700.0	39000.0	1284.4	99303.8	980.2
2055	45500.0	44200.0	1216.8	105522.9	946.4
2060	39000.0	50700.0	1047.8	111099.8	845.0



KfK

ABB. 6

SZENARIO III.1

AFAS
1980

und damit der installierten LWR-Nuklearleistung abgelesen werden. Man erkennt, daß

- mit einer installierten LWR-WAA-Kapazität von 1400 tSM/a unter den oben beschriebenen Annahmen bis zum Jahre 2030 an Brüterleistung 19 500 MW_e und bis zum Jahre 2050 39 000 MW_e installiert werden können (Brutgewinn ist nicht berücksichtigt),
- der LWR-Anteil an der installierten Kernenergieleistung sich bis zum Jahre 2050 auf 50 7000 MW_e reduziert,
- der Brüteranteil an der insgesamt installierten Nuklearleistung im Jahre 2030 ca. 41 %, im Jahre 2050 ca. 43 % und im Jahre 2060 ca. 57 % vom Brüteranteil des maximalen Brütlerszenarios, Szenario II, beträgt (vergleiche Tabelle 5).

Aus Abb. 6 und Tab. 15 sind ferner folgende wesentliche Ergebnisse zu entnehmen:

- Der Lagerbestand in den Zwischenlagern und damit die Anzahl der Zwischenlager selbst reduziert sich von ca. 15 400 tSM im Jahre 2012 auf ca. 2000 tSM im Jahre 2060.
- Gleichzeitig jedoch nimmt die Menge an ausgedienten LWR-Brennelementen, die älter als 7 Jahre und in den Reaktorkompaktlagern gelagert sind, stetig zu von ca. 4400 tSM im Jahre 2015 auf ca. 30 000 tSM im Jahre 2060.

Um in dem betrachteten Zeitraum (bis zum Jahre 2060) alle ausgedienten LWR-Brennelemente, die länger als 7 Jahre aus den Reaktoren entladen sind. d.h. sowohl die in den Zwischenlagern als auch die in den Reaktorkompaktlagern befindlichen Brennelemente, aufzuarbeiten und somit einen totalen Abbau des Lagerbestandes an zwischengelagerten abgebrannten LWR-Brennelementen zu erreichen, sowie damit gekoppelt einen höheren SBR-Anteil an der installierten Kernenergieleistung zu erzielen, muß die LWR-Wiederaufarbeitungskapazität rechtzeitig erhöht werden. Im Szenario III.2 soll ein solch mögliches Fallbeispiel behandelt werden.

Tabelle 15:

SZENARIO III.1
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

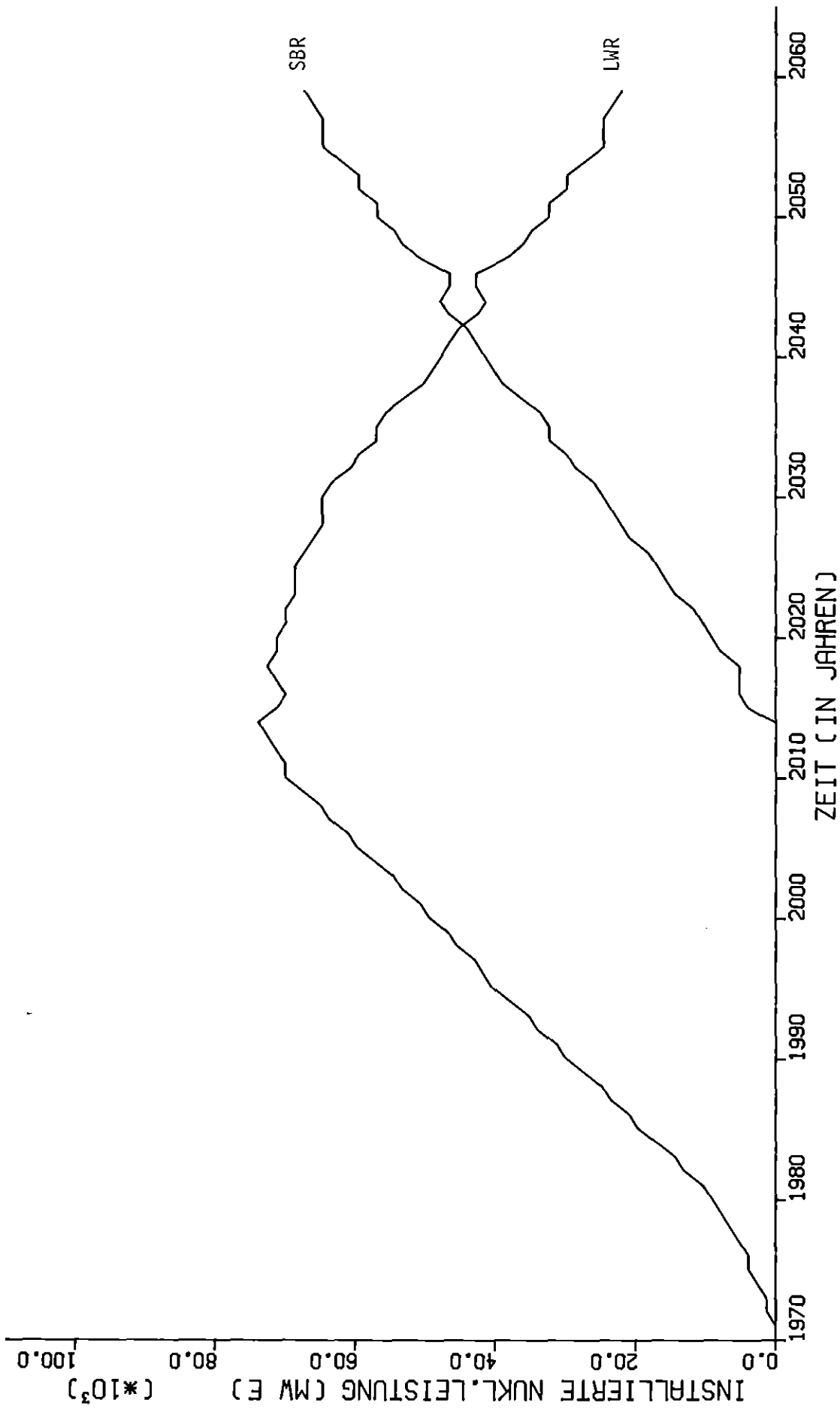
JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0				
1985	19500.0	0.0				
1990	29900.0	0.0				
1995	40300.0	0.0	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	0.0	3817.8	811.2	4629.0	4629.0
2005	59800.0	0.0	8211.8	1081.6	9530.0	9530.0
2010	70200.0	0.0	13248.0	1318.2	15647.8	15647.8
2013	72800.0	1400.0	15059.0	1487.2	19940.4	18540.4
2015	71500.0	1400.0	14523.6	1588.6	23083.8	18883.8
2020	71500.0	1400.0	13607.6	1825.2	31838.0	20638.0
2025	71500.0	1400.0	13266.2	1825.2	41200.6	23000.6
2030	70200.0	1400.0	12958.6	1859.0	50529.4	25329.4
2035	65000.0	1400.0	12482.0	1859.0	59824.4	27624.4
2040	59800.0	1400.0	11194.1	1791.4	68950.3	29750.3
2045	57200.0	1400.0	9061.3	1656.2	77569.2	31369.2
2050	50700.0	1400.0	6894.7	1521.0	85478.3	32278.3
2055	45500.0	1400.0	4660.5	1487.2	92846.6	32646.6
2060	39000.0	1400.0	1953.1	1284.4	99437.4	32237.4

Die Ergebnisse, wie sie sich für das niedrige Kernenergieszenario , Szenario III.1 N, darstellen (Abb. 6 N, Tab. 14 N und Tab. 15 N) seien hier kurz aufgeführt:

- Bis zum Jahre 2027 sind die Zwischenlager geräumt und bis zum Jahre die auch in den Kompaktlagern ruhenden LWR-Brennelemente, die länger als 7 Jahre aus den Reaktoren entladen sind, aufgearbeitet.
- Die Kapazität der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage kann von diesem Zeitpunkt an entweder auf den Zahlenwert der jährlich anfallenden LWR-Brennelemente älter 7 Jahre reduziert werden (ca. 700 tSM), oder es können auch Brennelemente jüngeren Alters aufgearbeitet werden, da z.B. im Jahre 2040 noch ca. 7000 tSM dieser LWR-Brennelementenart in den Reaktorkompaktlagern ruhen.
- Bei einer konstant gehaltenen Kapazität der LWR-WAA von 1400 tSM sind unter Einbeziehung der Entsorgung von ca. 2400 tSM an LWR-Brennelementen durch die französische Fa. COGEMA, die anfallenden und gelagerten LWR-Brennelemente bis zum Jahre 2045 aufgearbeitet, so daß ab diesem Zeitpunkt die Kapazität der Wiederaufarbeitungsanlage entsprechend dem jährlichen Anfall an ausgedienten LWR-Brennelementen reduziert wird.
- Schon im Jahre 35, zwanzig Jahre nach dem kommerziellen Einsatz der schnellen Brutreaktoren, werden ca. 50 % der installierten Nuklearleistung durch diesen Reaktortyp abgedeckt; bis zum Jahre 2050 wächst dieser Anteil auf ca. 83 % an.

3.3.2 Szenario III.2

Die grundsätzlichen Annahmen entsprechen denen von Szenario III.1. So wird auch hier die Intensität des Brüterzubaus ab dem Jahre 2015 davon abhängig gemacht, wieviel Plutonium (Pu_{fiss}) aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten LWR-Brennelementen zur Verfügung steht.



AFAS
1980

ABB. 7 SZENARIO III.2 LWR UND SBR

KfK

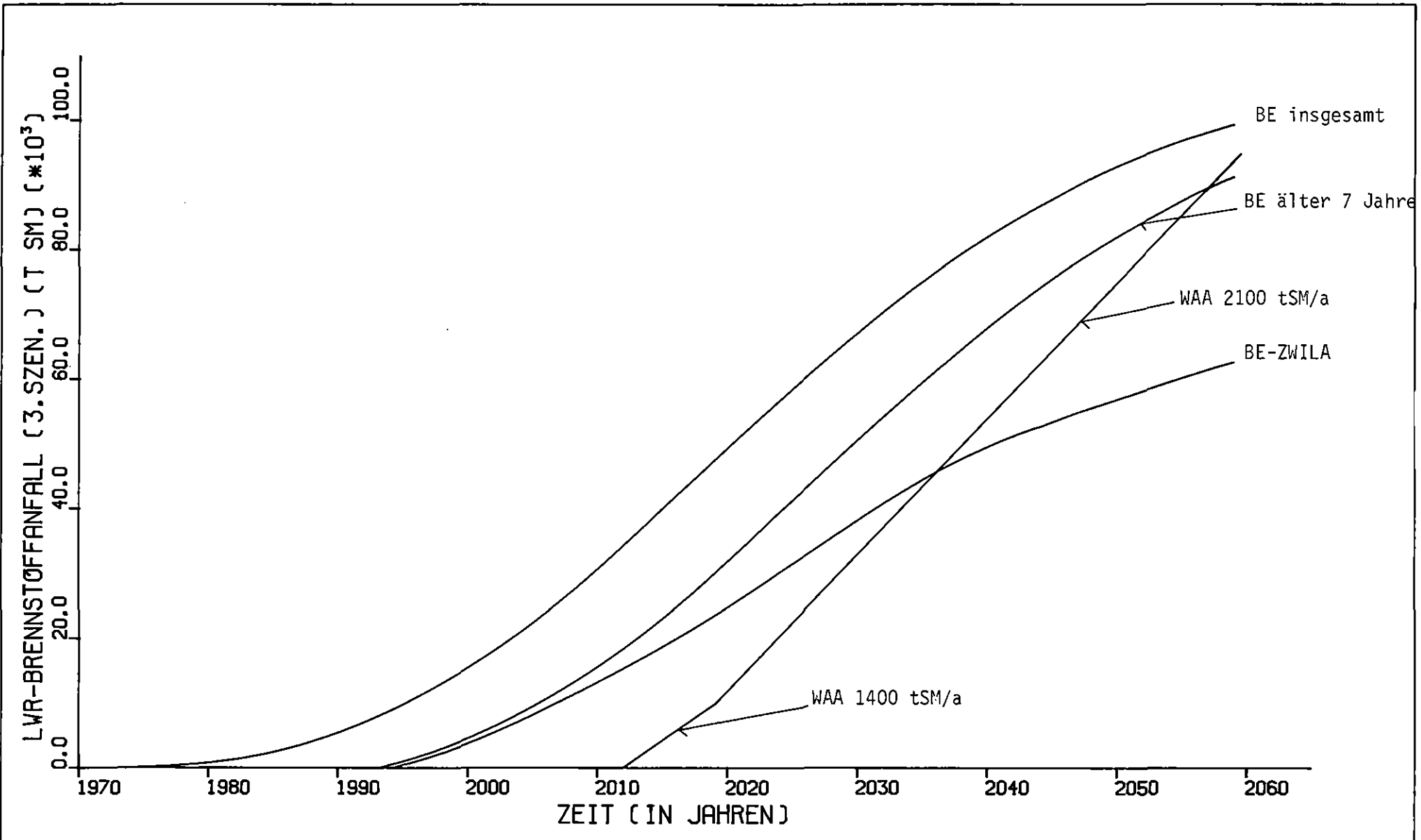
In Szenario III.2 ist dadurch charakterisiert, daß

- bis zur Inbetriebnahme einer LWR-Wiederaufarbeitungsanlage die ausgedienten LWR-Brennelemente zwischengelagert werden,
- ab dem Jahre 2013 eine LWR-WAA mit einem Nettojahresdurchsatz von 1400 tSM in Betrieb geht,
- diese LWR-WAA-Kapazität im Jahre 2020, also sieben Jahre später, auf 2100 tSM/a erhöht wird.

Der Verlauf der dann installierten LWR- und SBR-Kernenergieleistung kann Abb. 7 entnommen werden.

Im einzelnen ergeben sich aus Abb. 7, Abb. 8, Tab. 16 und Tab. 17 für dieses Fallbeispiel folgende Ergebnisse:

- Die vollständige Aufarbeitung der in geologischen Formationen und/oder in oberirdischen Lagern außerhalb der Reaktorgebäude zwischengelagerten ausgedienten LWR-Brennelementen wird im Jahre 2037 erreicht (Abb. 8: Schnittpunkt der WAA-Geraden mit der Kurve "BE-ZWILA"); es lagern jedoch zu diesem Zeitpunkt ca. 16 000 tSM an abgebrannten LWR-Brennelementen, die älter als 7 Jahre sind, in den Reaktorkompaktlagern.
- Die Aufarbeitung aller gelagerten LWR-Brennelementen, die älter als 7 Jahre sind und teilweise in Reaktorkompaktlagern liegen, ist bis zum Jahre 2057 abgeschlossen (Abb. 8: Schnittpunkt der WAA-Geraden mit der Kurve "BE älter 7 Jahre").
- Die LWR-Wiederaufarbeitungskapazität kann ab dem Jahre 2058 auf einen Wert entsprechend dem jährlichen Anfall an abgebrannten LWR-Brennelementen älter als 7 Jahre reduziert werden (Tab. 17, Spalte 5).
- Der Anteil der SBR an der installierten Nuclearleistung beläuft sich im Jahre 2030 auf 24 700 MW_e das sind ca. 28 % (gegenüber ca. 22 % im Szenario III.1) und steigt bis zum Jahre 2050 auf 57 200 MW_e an das



KfK	ABB. 8	SZENARIO III.2	AFAS 1980
-----	--------	----------------	--------------

Tabelle 16:

SZENARIO III.2
 BRENNLEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (SBR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)
1980	9100.0	0.0	202.8	845.0	
1985	19500.0	0.0	439.4	2501.2	
1990	29900.0	0.0	709.8	5509.4	
1995	40300.0	0.0	980.2	9869.6	507.0
2000	49400.0	0.0	1216.8	15514.2	777.4
2005	59800.0	0.0	1487.2	22409.4	946.4
2010	70200.0	0.0	1757.6	30656.6	1047.8
2015	71500.0	3900.0	1926.6	39985.4	1149.2
2020	71500.0	9100.0	1859.0	49280.3	1284.4
2025	68900.0	16900.0	1791.4	58372.5	1318.2
2030	65000.0	24700.0	1690.0	67025.3	1352.0
2035	57200.0	32500.0	1487.2	75002.0	1183.0
2040	48100.0	41600.0	1284.4	81930.9	912.6
2045	42900.0	46800.0	1081.6	87778.1	777.4
2050	32500.0	57200.0	912.6	92881.8	676.0
2055	24700.0	65000.0	709.8	96836.3	642.2
2060	19500.0	70200.0	574.6	99945.8	507.0

Tabelle 17:

SZENARIO III.2
 BRENNLEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNLEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL.LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BRENNLEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNLEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0				
1985	19500.0	0.0				
1990	29900.0	0.0				
1995	40300.0	0.0	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	0.0	3817.8	811.2	4629.0	4629.0
2005	59800.0	0.0	8211.8	1081.6	9530.0	9530.0
2010	70200.0	0.0	13248.0	1318.2	15647.8	15647.8
2013	72800.0	1400.0	15059.0	1487.2	19940.4	18540.4
2015	71500.0	1400.0	14523.6	1588.6	23083.8	18883.8
2020	71500.0	2100.0	12907.6	1825.2	31838.0	19938.0
2025	68900.0	2100.0	9066.2	1825.2	41200.6	18800.6
2030	65000.0	2100.0	5258.6	1825.2	50495.6	17595.6
2035	57200.0	2100.0	1011.6	1757.6	59452.5	16052.5
2040	48100.0	2100.0	0.0	1656.2	67902.5	14002.5
2045	42900.0	2100.0	0.0	1453.4	75473.6	11073.6
2050	32500.0	2100.0	0.0	1216.8	81929.2	7029.2
2055	24700.0	2100.0	0.0	1115.4	87539.9	2139.9
2060	19500.0	2100.0	0.0	845.0	92102.8	0.0

sich ca. 64 % (gegenüber ca. 44 % in Szenario III.1).

- Der Brüteranteil an der installierten Nuklearleistung erreicht im Jahre 2030 ca. 51 %, im Jahre 2050 ca. 64 % und im Jahre 2060 ca. 78 % vom Brüteranteil im maximalen Brütterszenario, Szenario II (Vergleich mit Tab. 5).
- Der LWR-Anteil an der installierten Kernenergieleistung geht bis zum Jahre 2050 auf 32 500 MW_e, das sind ca. 36 % zurück (gegenüber 56 % in Szenario III.1).

Eine weitere Untersuchung soll nun den Fall behandeln, wie der Brüterzubau verläuft, wenn erst zwei Jahre vor dem großtechnischen Brüttereinsatz eine LWR-Wiederaufarbeitungsanlage, hier im Jahre 2013, ihren Vollastbetrieb aufnimmt und bis zu diesem Zeitpunkt die in die Zwischenlager abzuführenden abgebrannten LWR-Brennelemente konditioniert werden, d.h. nicht rückholbar endgelagert werden.

Ein mögliches Fallbeispiel wäre der Einsatz einer Konditionierungsanlage von 700 tSM/a im Jahre 2000 und eine Erhöhung dieser Kapazität auf 1400 tSM/a ab dem Jahre 2005.

3.4 Szenario IV: Zubau des SBR in Abhängigkeit vom Plutoniumgewinn aus teilweiser Wiederaufarbeitung der LWR-Brennelemente

Das Szenario IV mit seinen Varianten Szenario IV.1 und Szenario IV.2 ist ein Brütterszenario, das in seiner Struktur dem Szenario III gleicht. Der entscheidende Unterschied besteht jedoch darin, daß in Szenario IV davon ausgegangen wird, die ausgedienten LWR-Brennelemente bis zu dem Zeitpunkt der Vollastbetriebeaufnahme einer LWR-WAA in entsprechenden Entsorgungsanlagen zu konditionieren und nicht rückholbar endzulagern (Throw-Away-Zyklus).

Der Vollastbetriebseinsatz der LWR-WAA soll 2 Jahre vor Beginn des großtechnischen Einsatzes der Brutreaktoren erfolgen, ein Zeitraum, der ausreichend erscheint, um das Plutonium für die Erstcoreausstattung der ersten Brüter bereitstellen zu können. Der Einsatzzeitpunkt der LWR-WAA wurde auch deswegen so kurzfristig vor den Brütereinsatz gelegt, um zu untersuchen, ob auch dann noch ein ausreichender Brüterzubau möglich ist und welche Kapazität an LWR-WAA damit erforderlich wird.

Der Verlauf der in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt installierten Kernenergieleistung, LWR und SBR, ist in Abb. 1 festgelegt.

Das Szenario IV mit seinen Unterszenarien Szenario IV.1 und Szenario IV.2 ist weiterhin doch folgende Festlegungen charakterisiert:

- Der kommerzielle Einsatz der Brutreaktoren erfolgt ab dem Jahre 2015.
- Das Plutonium für die Erstcore-Ausstattung sowie für die ersten drei Nachladungen der SBR wird durch die Aufarbeitung von LWR-Brennelementen gewonnen.
- Hinsichtlich der benötigten Plutoniummenge und dem Plutoniumerhalt aus den Wiederaufarbeitungsanlagen gelten auch hier die Angaben wie bei Szenario III.
- Der Zubau der SBR orientiert sich damit an dem Gewinn an spaltbarem Plutonium aus der LWR-Brennstoff-Aufarbeitung.
- Stillgelegte LWR werden, soweit die Plutoniumbilanz dies zuläßt, durch Brutreaktoren (Blockgröße 1300 MW_e, Lebensdauer 30 Jahre) ersetzt.
- Zwei Jahre vor dem großtechnischen Einsatz der Brutreaktoren, im Jahre 2013, nimmt eine Anlage zur Aufarbeitung der ausgedienten LWR-Brennelemente ihren Vollastbetrieb auf; die bis zum Jahre 2012 anfallenden abgebrannten LWR-Brennelemente werden, soweit es die Anlagenkapazität erlaubt, konditioniert und nicht rückholbar endgelagert (Throw-Away-Zyklus).

- Im Jahre 2000 nimmt eine Konditionierungsanlage mit einem Jahresnettodurchsatz von 700 tSM zur Verarbeitung abgebrannter LWR-Brennelemente für die Endlagerung in geologischen Formationen, z.B. in einem Salzstock, ihren Vollastbetrieb auf.
- Die Kapazität dieser Konditionierungsanlage wird im Jahre 2005 auf 1400 tSM/a erhöht.

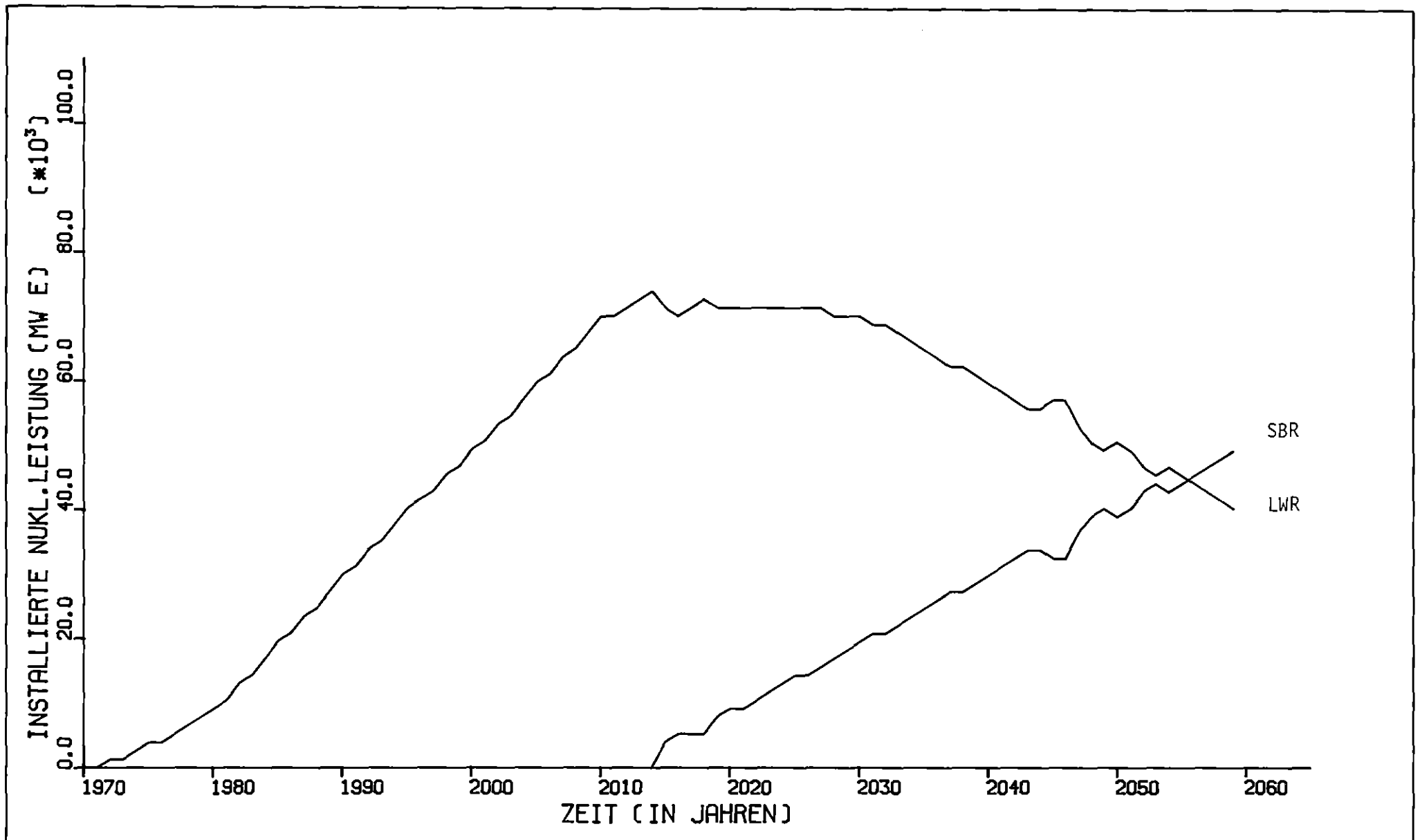
Bis zum Jahre 2000 gestalten sich die Verhältnisse hinsichtlich des Zwischenlagerbedarfs laut Tab. 18 wie in Szenario I; dies bedeutet, daß bis zum Jahre 2000 ca. 3100 tSM an abgebrannten LWR-Brennelementen außerhalb der Reaktorkompaktlager zwischengelagert werden müssen; bei diesen Zahlenangaben sind die Entsorgung von 2421 tSM bis zum Jahre 1990 durch die französische Firma COGEMA schon mitberücksichtigt.

Daraus folgt, daß

- bis zum Jahre 2000, bei einer Lagerkapazität von max. 1500 tSM, drei Zwischenlager in Betrieb genommen werden müssen.

Die Kapazität der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage, die ab dem Jahre 2013 ihren Vollastbetrieb aufnimmt, sowie der zeitliche Verlauf dieser Kapazität soll nun so gewählt werden, daß - zusätzlich zu der Spaltstoffversorgungspflicht für die Brutreaktoren - die Anzahl der benötigten Zwischenlager nicht oder nicht wesentlich erhöht werden muß.

In den nachfolgend behandelten zwei Unterzsenarien, Szenario IV.1 und Szenario IV.2, soll nun für zwei Varianten des Kapazitätsverlaufs der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage der Zwischenlagerbedarf für ausgediente LWR-Brennelemente sowie der Verlauf des Brüteranteils an der installierten Kernenergieleistung ermittelt werden.



KfK	ABB. 9	SZENARIO IV.1 LWR UND SBR	AFAS 1980
-----	--------	---------------------------	--------------

3.4.1 Szenario IV.1

Abgesehen von den oben beschriebenen grundsätzlichen Annahmen ist das Szenario IV.1 dadurch festgelegt, daß

- im Jahre 2013 eine Anlage zur Aufarbeitung von ausgedienten LWR-Brennelementen mit einer Jahreskapazität von 1400 tSM ihren Vollastbetrieb aufnimmt,
- ab diesem Zeitpunkt (2013) keine Konditionierung der LWR-Brennelemente mehr vorgenommen wird.

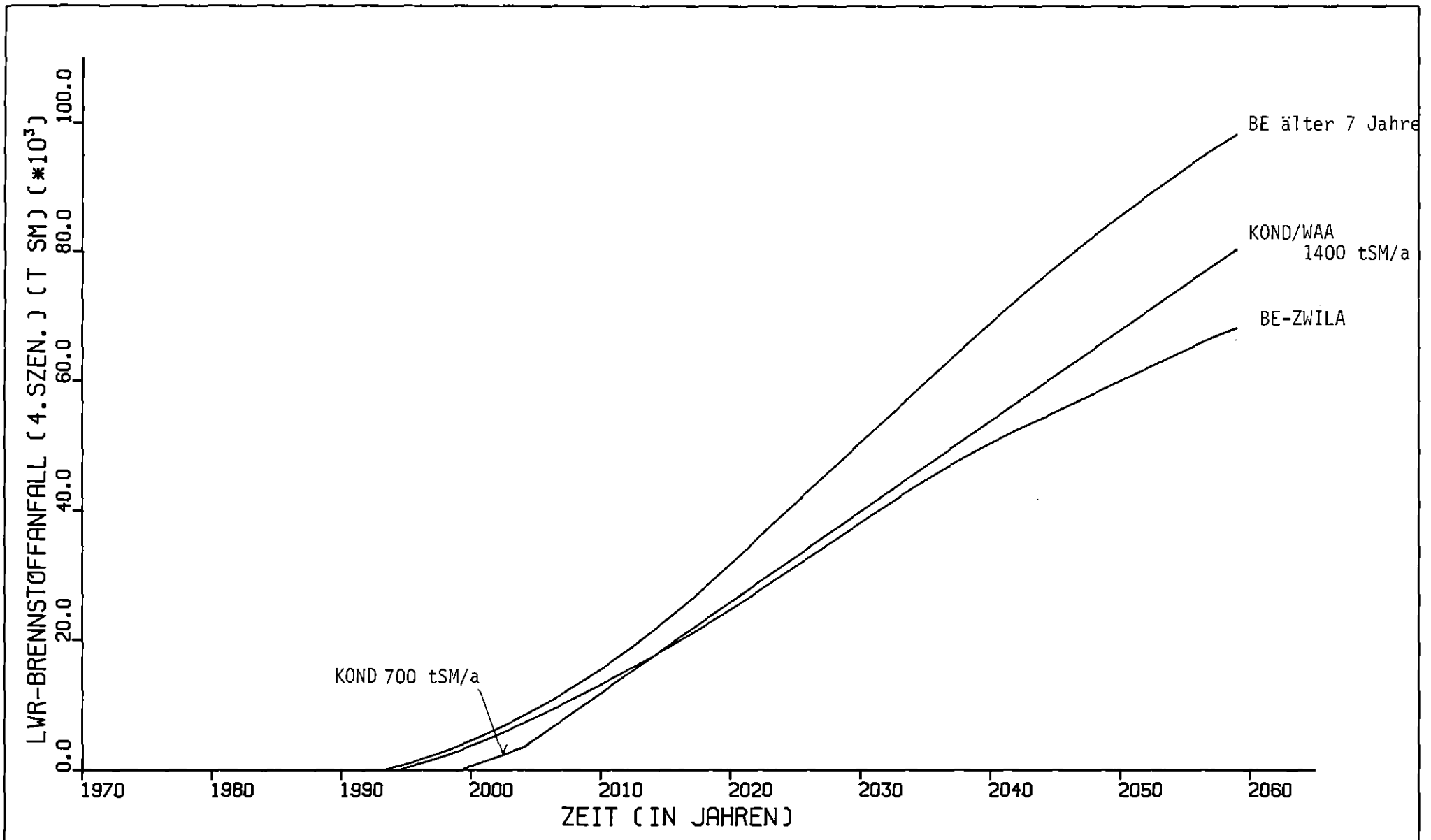
Abb. 9 zeigt mit den so postulierten Kapazitäten an Entsorgungsanlagen für den betrachteten LWR-Kernbrennstoff den erzielten Verlauf der installierten Nuklear-Leistung, aufgeteilt in seinen LWR und SBR-Anteil.

Der SBR- und LWR-Verlauf in der Darstellung ist gleich demjenigen von Szenario III.1 (siehe hierzu Abb. 5); dies besagt, daß mit Einsatz einer 1400 tSM/a-WAA ab dem Jahre 2013 und Konstanthalten dieser Entsorgungskapazität bis 2060 die bis einschließlich dem Jahre 2012 vorgenommene Endlagerung der abgebrannten LWR-Brennelemente ohne Wiederaufarbeitung, - bei angenommener Konditionierungskapazität von 700 tSM/a ab dem Jahre 2000 und 1400 tSM/a ab dem Jahre 2005, und damit dem Verlust an potentiell spaltbarem Plutonium - noch keinen Einfluß auf den Brüterzubau, beginnend ab dem Jahre 2015, hat.

In dem Szenario IV.2 wird nachzuprüfen sein, ob der Vergleich mit Szenario III um diesen beleuchteten Punkt auch dann noch gilt wenn, entsprechend Szenario III.2, die LWR-WAA-Kapazität ab dem Jahre 2020 auf 2100 tSM/a erhöht wird.

Die wesentlichen der aus Abb. 10, Tab. 18, Tab. 19 und Tab. 20 zu entnehmenden Ergebnisse sind folgende:

- Im Jahre 2015 sind die Zwischenlager geräumt; die bis zum Jahre 2000 zu erstellenden drei Zwischenlager sind für den betrachteten Zeitraum



KfK

ABB. 10

SZENARIØ IV.1

AFAS
1980

Tabelle 18:

SZENARIO IV.
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	202.8	845.0	
1981	10400.0	236.6	1081.6	
1982	13000.0	270.4	1352.0	
1983	14300.0	338.0	1690.0	
1984	16900.0	371.8	2061.8	
1985	19500.0	439.4	2501.2	
1986	20800.0	507.0	3008.2	
1987	23400.0	540.8	3549.0	
1988	24700.0	608.4	4157.4	
1989	27300.0	642.2	4799.6	
1990	29900.0	709.8	5509.4	
1991	31200.0	777.4	6286.8	
1992	33800.0	811.2	7098.0	
1993	35100.0	878.8	7976.8	
1994	37700.0	912.6	8889.4	32.2
1995	40300.0	980.2	9869.6	539.2
1996	41600.0	1047.8	10917.4	1080.0
1997	42900.0	1081.6	11999.0	1688.4
1998	45500.0	1115.4	13114.4	2330.6
1999	46800.0	1183.0	14297.4	3040.4
2000	49400.0	1216.8	15514.2	3117.8
2001	50700.0	1284.4	16798.6	3229.0
2002	53300.0	1318.2	18116.8	3374.0
2003	54600.0	1385.8	19502.6	3552.8
2004	57200.0	1419.6	20922.2	3765.4
2005	59800.0	1487.2	22409.4	3311.8
2006	61100.0	1554.8	23964.2	2892.0
2007	63700.0	1588.6	25552.8	2472.2
2008	65000.0	1656.2	27209.0	2086.2
2009	67600.0	1690.0	28899.0	1700.2
2010	70200.0	1757.6	30656.6	1348.0
2011	70200.0	1825.2	32481.8	995.8
2012	71500.0	1825.2	34307.0	677.4
2013	72800.0	1859.0	36166.0	359.0
2014	74100.0	1892.8	38058.8	74.4
2015	71500.0	1926.6	39985.4	0.0

Tabelle 19:

SZENARIO IV.1
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (SBR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)
1980	9100.0	0.0	202.8	845.0	
1985	19500.0	0.0	439.4	2501.2	
1990	29900.0	0.0	709.8	5509.4	
1995	40300.0	0.0	980.2	9869.6	507.0
2000	49400.0	0.0	1216.8	15514.2	777.4
2005	59800.0	0.0	1487.2	22409.4	946.4
2010	70200.0	0.0	1757.6	30656.6	1047.8
2015	71500.0	3900.0	1926.6	39985.4	1149.2
2020	71500.0	9100.0	1859.0	49280.3	1284.4
2025	71500.0	14300.0	1859.0	58575.3	1318.2
2030	70200.0	19500.0	1825.2	67802.7	1352.0
2035	65000.0	24700.0	1723.8	76691.9	1250.6
2040	59800.0	29900.0	1588.6	84871.4	1047.8
2045	57200.0	32500.0	1453.4	92341.1	980.2
2050	50700.0	39000.0	1284.4	99303.8	980.2
2055	45500.0	44200.0	1216.8	105522.9	946.4
2060	39000.0	50700.0	1047.8	111099.8	845.0

(bis zum Jahre 2060) ausreichend.

- Zum selben Zeitpunkt (dem Jahre 2015) liegen jedoch noch über 4000 tSM an ausgedienten LWR-Brennelementen, die älter als 7 Jahre sind, in den Reaktorkompaktlagern; dieser Posten erhöht sich bis zum Jahre 2055 auf ca. 18 000 tSM (Abb. 10 kein Schnittpunkt der Entsorgungsgeraden mit der Kurve "BE älter 7 Jahre").

Die Kapazität der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage soll deshalb im nachfolgend betrachteten Szenario IV.2 so gewählt werden, daß innerhalb des betrachteten Zeitraums alle gelagerten ausgedienten Brennelemente mit einer Abklingzeit länger 7 Jahre aufgearbeitet bzw. konditioniert sind.

Wie die Verhältnisse sich bei niedrigerem Ausbau der Kernenergie nach Abb. 1 N gestalten, ist in Abb. 9 N, Abb. 10 N sowie Tab. 18 N bis Tab. 20 N niedergelegt und sei hier kurz skizziert. Die grundsätzlichen Verhältnisse und Annahmen entsprechen denen von Szenario IV.1.

- Bis zum Jahre 1999 sind zwei Zwischenlager in Betrieb zunehmen; diese Zwischenlager sind im Jahre 2007 geräumt. Die LWR-Brennelemente mit einer Abklingzeit länger 7 Jahre, die weiterhin in den Reaktorkompaktlagern stehen, sind im Jahre 2008 konditioniert und endgelagert.
- Ab diesem Zeitpunkt wird die Kapazität der Konditionierungsanlage von 1400 tSM/a auf den Zahlenwert der jährlich anfallenden Menge an LWR-Brennelementen älter 7 Jahre reduziert.
- Ab dem Jahre 2013 wird die Konditionierung eingestellt und die LWR-Brennelemente aufgearbeitet, wobei nur Brennelemente mit einer Abklingzeit älter als 7 Jahre zur Aufarbeitung gelangen. Die LWR-Wiederaufarbeitungskapazität orientiert sich an diesem jährlichen Mengenanfall (im Jahre 2013 ca. 950 tSM).

Tabelle 20:

SZENARIO IV.1

BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0				
1985	19500.0	0.0				
1990	29900.0	0.0				
1995	40300.0	0.0	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	700.0	3117.8	811.2	4629.0	3929.0
2005	59800.0	1400.0	3311.8	1081.6	9530.0	4630.0
2010	70200.0	1400.0	1348.0	1318.2	15647.8	3747.8
2013	72800.0	1400.0	359.0	1487.2	19940.4	3840.4
2015	71500.0	1400.0	0.0	1588.6	23083.8	4183.8
2020	71500.0	1400.0	0.0	1825.2	31838.0	5938.0
2025	71500.0	1400.0	0.0	1825.2	41200.6	8300.6
2030	70200.0	1400.0	0.0	1859.0	50529.4	10629.4
2035	65000.0	1400.0	0.0	1859.0	59824.4	12924.4
2040	59800.0	1400.0	0.0	1791.4	68950.3	15050.3
2045	57200.0	1400.0	0.0	1656.2	77569.2	16669.2
2050	50700.0	1400.0	0.0	1521.0	85478.3	17578.3
2055	45500.0	1400.0	0.0	1487.2	92846.6	17946.6
2060	39000.0	1400.0	0.0	1284.4	99437.4	17537.4

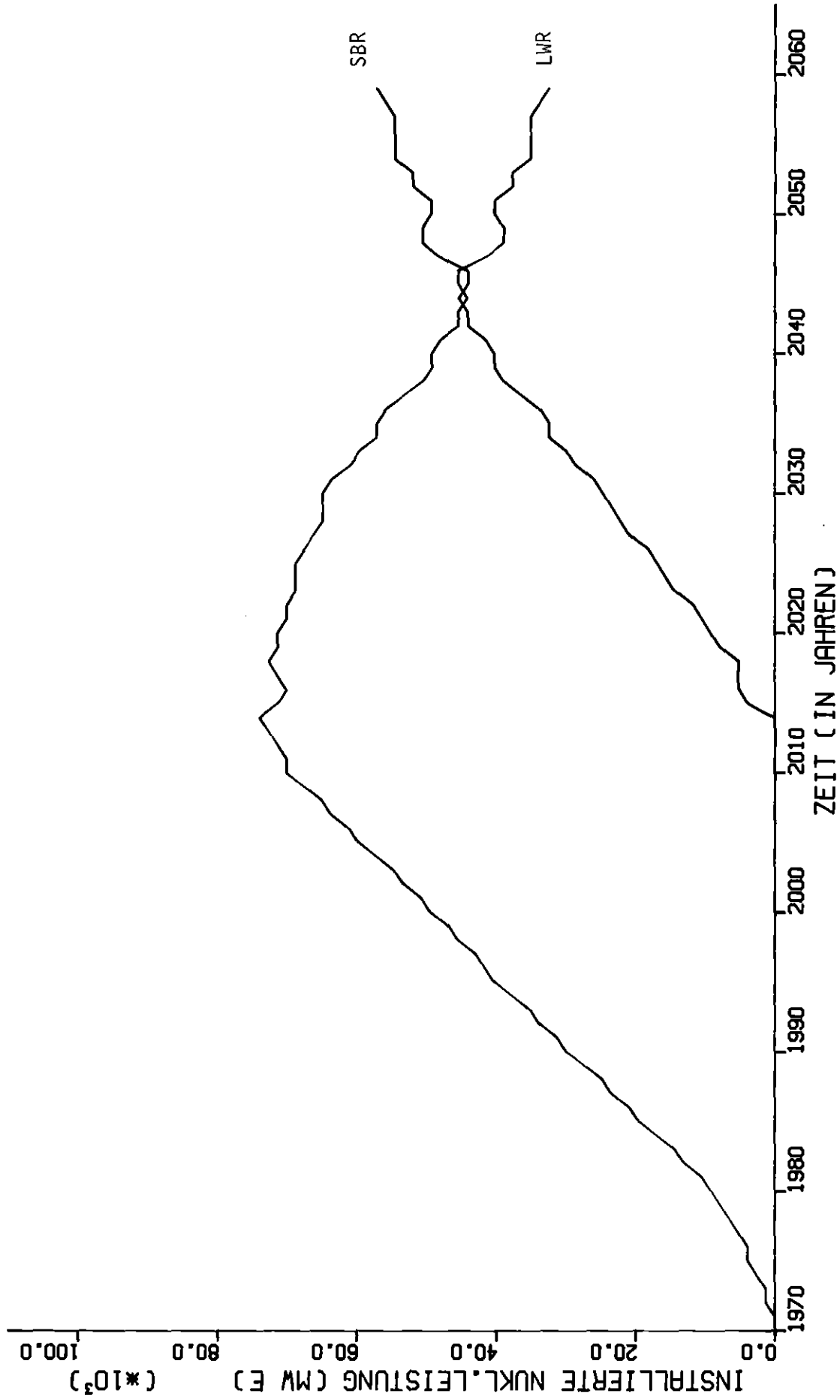
- Der bei dieser Strategie sich ergebende Verlauf des SBR-Anteils an der installierten Kernenergieleistung ab dem Jahre 2015 ist in Abb. 9 N dargestellt. Zwar ist der Start im Jahre 2015 mit 2,6 W_e der gleiche wie in Szenario III.1 N, jedoch sind schon 5 Jahre später 67 % an SBR weniger installiert. Im Jahre 2040, dem Jahr, in welchem in Szenario III.1 N alle gelagerten LWR-Brennelemente älter 7 Jahre aufgearbeitet sind, beläuft sich der Brüteranteil in diesem Szenario IV.1 N auf ca. 46 % gegenüber ca. 66 % in Szenario III.1 N.

Hier, bei dem niedrigen Kernenergieszenario, macht sich letztendlich die vorgenommene Endlagerung der konditionierten LWR-Brennelemente deutlich in einem verringerten Brüterzubau bemerkbar. Der Zubau an SBR kann in den ersten Jahren signifikant verbessert werden durch Erhöhen der LWR-Wiederaufarbeitungsanlagenkapazität z.B. auf 1400 tSM/a (SBR-Zubau entsprechend in Szenario III.1 N), was jedoch bedeutet, daß auch die Aufarbeitung jüngerer ausgedienter LWR-Brennelemente zugelassen wird; längerfristig betrachtet wird jedoch der SBR-Anteil an der installierten Nuklearleistung kleiner sein als derjenige in Szenario III.1 N.

3.4.2 Szenario IV.2

Für die Analysen in Szenario IV.2 werden die gleichen grundsätzlichen Annahmen herangezogen wie zu denen in Szenario IV.1. Auch hier werden bis zwei Jahre vor dem kommerziellen Einsatz der SBR im Jahre 2015 die bis dahin anfallenden ausgedienten LWR-Brennelemente konditioniert und endgelagert, sowie - soweit dies erforderlich ist - in Zwischenlager außerhalb der Reaktoren untergebracht. Ab dem Jahre 2013 wird die Konditionierung eingestellt und die Aufarbeitung der abgebrannten LWR-Brennelemente vorgenommen. Sowohl die Konditionierung als auch die Aufarbeitung der LWR-Brennelemente erfolgt frühestens im 8. Jahr nach der Entladung aus dem Reaktor.

Im einzelnen ist das Szenario IV.2 dadurch gekennzeichnet, daß



AFAS
1980

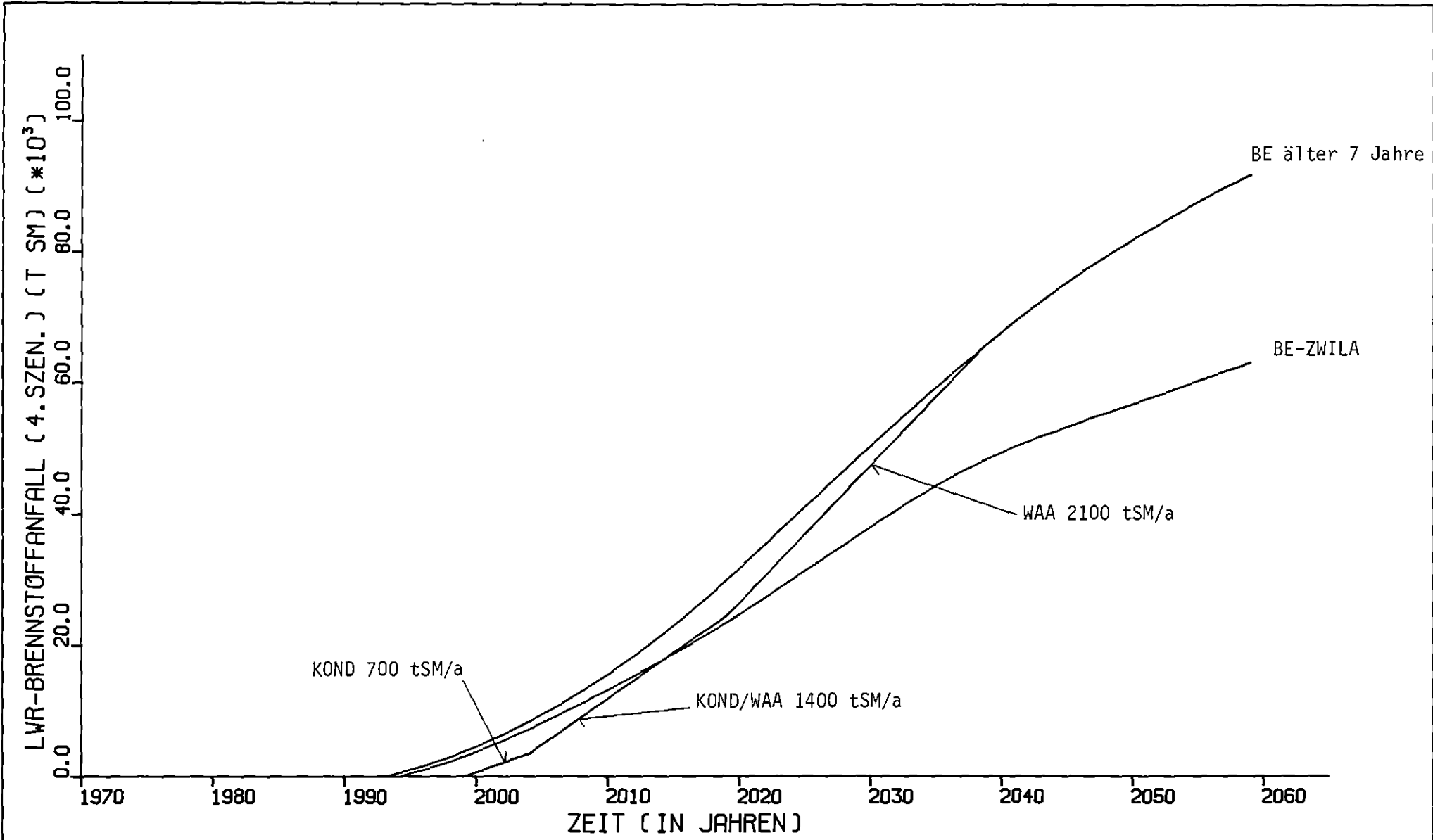
ABB. 11 SZENARIO IV.2 LWR UND SBR

KfK

- ab dem Jahre 2013 eine LWR-Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Jahresnettodurchsatz von 1400 tSM ihren Vollastbetrieb aufnimmt,
- diese Kapazität ab dem Jahre 2020 auf 2100 tSM/a erhöht wird,
- nach erreichter Aufarbeitung aller gelagerter LWR-Brennelemente älter 7 Jahre, die Kapazität der WAA auf den Zahlenwert des jährlichen Anfalls an ausgedienten LWR-Brennelementen älter als 7 Jahre reduziert wird.

Die Ergebnisse sind in Abb. 11, Abb. 12 sowie in Tab. 21 und Tab. 22 aufgeführt und seien hier kurz kommentiert.

- Die bis zum Jahre 2000 errichteten 3 Zwischenlager sind im Jahre 2015 geräumt.
- Alle ausgedienten LWR-Brennelemente, die länger als 7 Jahre aus den Reaktoren entladen sind und in den Zwischenlagern bzw. Reaktorkompaktlagern ruhen, sind bis zum Jahre 2039 verarbeitet, d.h. konditioniert und endgelagert oder (ab 2013) wiederaufgearbeitet. Jedoch lagern im Jahre 2040 noch über 11 000 tSM an ausgedienten LWR-Brennelementen jüngeren Alters in den Reaktorkompaktlagern.
- Ab dem Jahre 2039 wird die Kapazität der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage entsprechend der jährlichen anfallenden Menge an LWR-Brennelementen "älter als 7 Jahre" reduziert.
- Trotz der bis zum Jahre 2012 teilweise vorgenommenen Konditionierung und Endlagerung der abgebrannten LWR-Brennelemente (Throw-Away-Zyklus) wird ein Zubau an SBR erreicht, der erst nach dem Jahre 2035 sich von dem vergleichbaren Szenario III.2, das Szenario, bei welchem die LWR-Brennelemente alle bis zu ihrer Aufarbeitung gelagert werden, unterscheidet; so beläuft sich der relative Unterschied des Brüteranteils an der installierten Kernenergieleistung gegenüber Szenario III.2 (Tab. 16) im Jahre auf ca. 3 % und im Jahre 2045 auf ca. 6 %. Die unterschiedlichen Entsorgungsstrategien der Szenarien III.2 und IV.2



KfK	ABB. 12	SZENARIO IV.2	AFAS 1980
-----	---------	---------------	--------------

Tabelle 21:

SZENARIO IV.2
 Brennelementanfall und install. nukl. Leistung
 als Funktion der Zeit (in Jahren)

Jahr	Installierte Nukl. Leistung (LWR) (MW E)	Installierte Nukl. Leistung (SBR) (MW E)	Brennstoff- anfall JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	Brennstoff- anfall KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-Anfall in Zwischenlager abzgl. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)
1980	9100.0	0.0	202.8	845.0	
1985	19500.0	0.0	439.4	2501.2	
1990	29900.0	0.0	709.8	5509.4	
1995	40300.0	0.0	980.2	9869.6	507.0
2000	49400.0	0.0	1216.8	15514.2	777.4
2005	59800.0	0.0	1487.2	22409.4	946.4
2010	70200.0	0.0	1757.6	30656.6	1047.8
2015	71500.0	3900.0	1926.6	39985.4	1149.2
2020	71500.0	9100.0	1859.0	49280.3	1284.4
2025	68900.0	16900.0	1791.4	58372.5	1318.2
2030	65000.0	24700.0	1690.0	67025.3	1352.0
2035	57200.0	32500.0	1487.2	75002.0	1183.0
2040	49400.0	40300.0	1284.4	81930.9	912.6
2045	45500.0	44200.0	1149.2	87981.0	777.4
2050	40300.0	49400.0	1014.0	93456.6	709.8
2055	35100.0	54600.0	912.6	98425.0	709.8
2060	29900.0	59800.0	845.0	102886.4	709.8

Tabelle 22:

SZENARIO IV.2
 BRENNLEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNLEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BRENNLEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNLEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0				
1985	19500.0	0.0				
1990	29900.0	0.0				
1995	40300.0	0.0	539.2	540.8	1080.0	1080.0
2000	49400.0	700.0	3117.8	811.2	4629.0	3929.0
2005	59800.0	1400.0	3311.8	1081.6	9530.0	4630.0
2010	70200.0	1400.0	1348.0	1318.2	15647.8	3747.8
2013	72800.0	1400.0	359.0	1487.2	19940.4	3840.4
2015	71500.0	1400.0	0.0	1588.6	23083.8	4183.8
2020	71500.0	2100.0	0.0	1825.2	31838.0	5238.0
2025	68900.0	2100.0	0.0	1825.2	41200.6	4100.6
2030	65000.0	2100.0	0.0	1825.2	50495.6	2895.6
2035	57200.0	2100.0	0.0	1757.6	59452.5	1352.5
2040	49400.0	1656.2	0.0	1656.2	67902.5	0.0
2045	45500.0	1453.4	0.0	1453.4	75473.6	0.0
2050	40300.0	1250.6	0.0	1250.6	81996.8	0.0
2055	35100.0	1183.0	0.0	1183.0	87878.0	0.0
2060	29900.0	1047.8	0.0	1047.8	93083.1	0.0

machen sich hinsichtlich des Brüterzubaus und damit des Brüteranteils erst ab der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts deutlich bemerkbar; hier beträgt der relative Unterschied im Jahre 2050 ca. 14 %, im Jahre 2055 ca. 16 % und danach wieder abnehmend im Jahre 2060 ca. 15 %.

Als ein wesentliches Ergebnis der Analyse von Szenario IV ist die Aussage anzusehen, daß - trotz der pessimistischen Annahme erst im Jahre 2013 mit der Aufarbeitung von LWR-Brennelementen zu beginnen, obwohl der Beschluß, den Brüter ab dem Jahre 2015 großtechnisch einzuführen, bereits 2005 gefällt sein soll, und trotz der Konditionierung und Endlagerung der LWR-Brennelemente entsprechend der postulierten Konditionierungskapazität (Throw-Away-Zyklus) - die Intensität des SBR-Zubaus in den ersten 20 Jahren davon nicht berührt wird sondern nur durch die Kapazität der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage, dem "Brüterbrennstoff-Lieferanten", limitiert ist. Längerfristig können jedoch erhebliche Verschiebungen eintreten, besonders bei Erhöhung der Konditionierungs- und Wiederaufarbeitungskapazität für den bestrahlten LWR-Kernbrennstoff.

4. Zusammenfassung

Die Berechnung des Lagerbedarfs für abgebrannte LWR-Brennelemente für alternative Ausbauszenarien der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland ergab, daß bis zum Jahre 2000, bei einer prognostizierten installierten Kernenergieleistung von 50 GW_e bis zur Jahrtausendwende und ca. 90 GW_e ab dem Jahre 2030, drei Zwischenlager zu errichten sind, wenn die Kapazität pro Lager auf max. 1500 tSM begrenzt sein soll. Diese Zahl setzt allerdings eine Kompaktlagerung der ausgedienten LWR-Brennelemente in den Reaktoren voraus. Kommt es zu keiner Kompaktlagerung, so ist mit einer Erhöhung des Zwischenlagerbedarfs zu rechnen. Der Verlauf des Bedarfs an Zwischenlager nach dem Jahre 2000 hängt von dem Arbeitseinsatzzeitpunkt und der Kapazität der Entsorgungsanlagen, wie Konditionierungs- und Wiederaufarbeitungsanlagen, ab.

Bei Einsatz der Entsorgungsanlagen mit einer Kapazität von 700 tSM/a im Jahre 2000 und von 1400 tSM/a im Jahre 2005 (Gesamtkapazität) und der Annahme, daß nur LWR bis zum Jahre 2060 installiert sind (ca. 90 GW_e), erweist sich die Anzahl von drei Zwischenlager als ausreichend bis in die Mitte des nächsten Jahrhunderts. Bei einer Verzögerung des Arbeitseinsatzes dieser Entsorgungsanlagen werden bis zum Jahre 2005 sechs Zwischenlager und bis zum Jahre 2010 9 Zwischenlager erforderlich werden.

Rückt man von dem reinen LWR-Szenario ab und nimmt an, daß ab dem Jahre 2015 der SBR großtechnisch eingesetzt wird, so hat dies bis zu diesem Zeitpunkt keinen Einfluß auf die Aussagen über den Zwischenlagerbedarf für ausgediente Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren, gleiche Entsorgungsstrategie vorausgesetzt.

Wird der Brüterzubau an den Plutoniumgewinn aus der Aufarbeitung von bestrahltem LWR-Kernbrennstoff gekoppelt, so ist die Intensität des Brüterzubaus von der Anlagengröße und dem Betriebseinsatzzeitpunkt der LWR-Wiederaufarbeitungsanlage abhängig. So erlaubt z.B. die Aufnahme des Vollastbetriebes einer LWR-Wiederaufarbeitungsanlage von 1400 tSM/a erst zwei Jahre vor dem großtechnischen Einsatz des SBR (hier also im Jahre 2013) die Installation einer Brüterleistung von 9,1 GW_e (ca. 11 % von der Gesamtnuklearleistung) im Jahre 2020 und 19,5 GW_e (ca. 22 % von der installierten Gesamtnuklearleistung) im Jahre 2030. Ja sogar die Konditionierung und Endlagerung eines Teils der LWR-Brennelemente z.B. in geologischen Formationen (Throw-Away-Zyklus) bis zum Beginn der Wiederaufarbeitung im Jahre 2013 hat keine Verringerung des Brüteranteils an der insgesamt installierten Nuklearleistung bis zum Jahre 2035/2040 zur Folge.

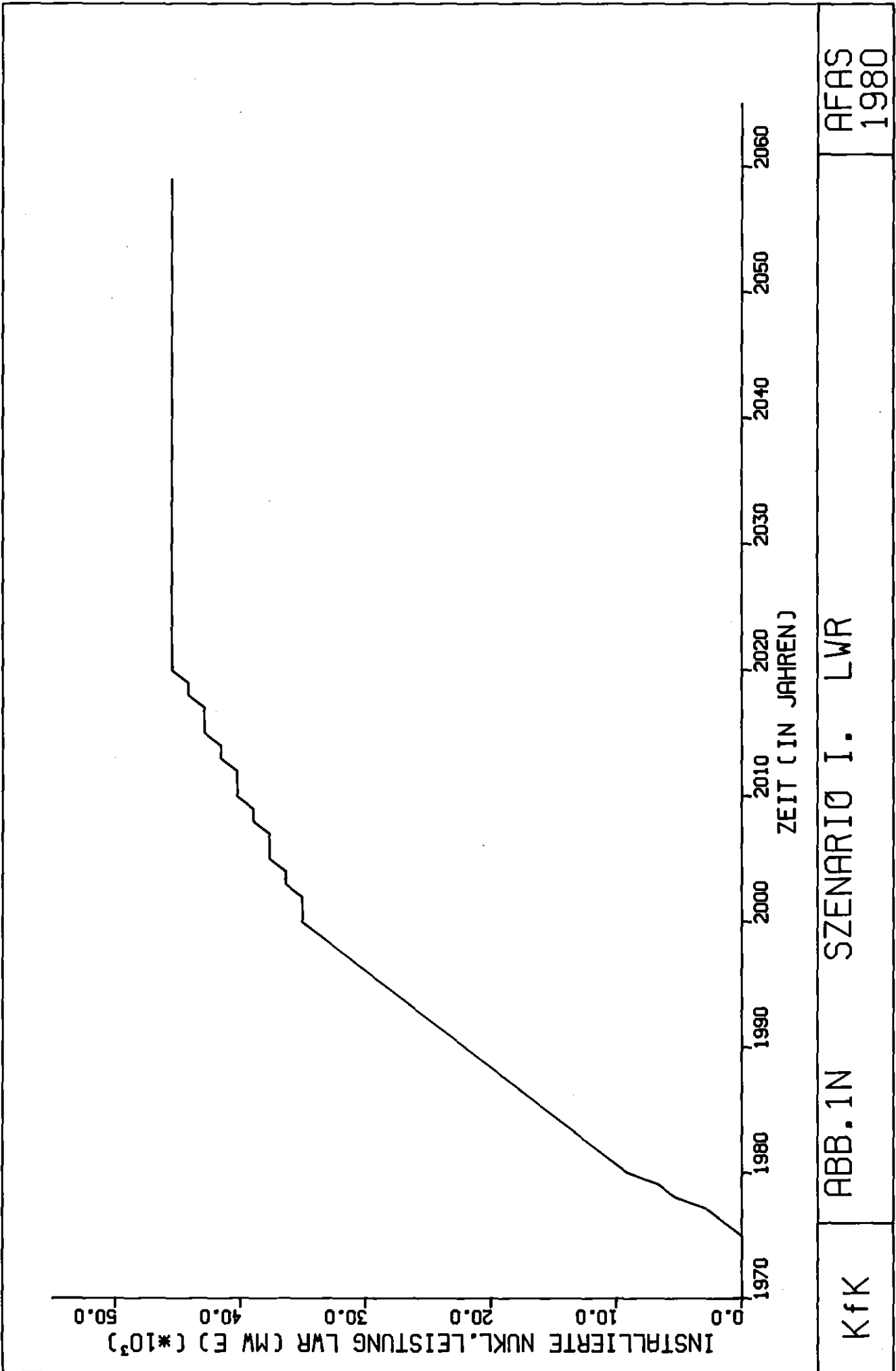
Literatur

- /1/ BMI (Bundesministerium des Innern)
Zwischenlagerungsbedarf für ausgediente Brennelemente aus Kernkraftwerken
Drucksache RSI7-513 202/11, Bonn, August 1979
- /2/ FISCHER, P.-M.
Fragen der Brennstoffentsorgung bei einem großtechnischen Einsatz der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland
Teil II der Studie "Konsequenzen des großtechnischen Einsatzes der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland" H. Paschen u.a., Kernforschungszentrum Karlsruhe, Abteilung für Angewandte Systemanalyse, KfK 2702, ASA/ZE-11/78, Oktober 1978

A N H A N G :

1. Abbildungen

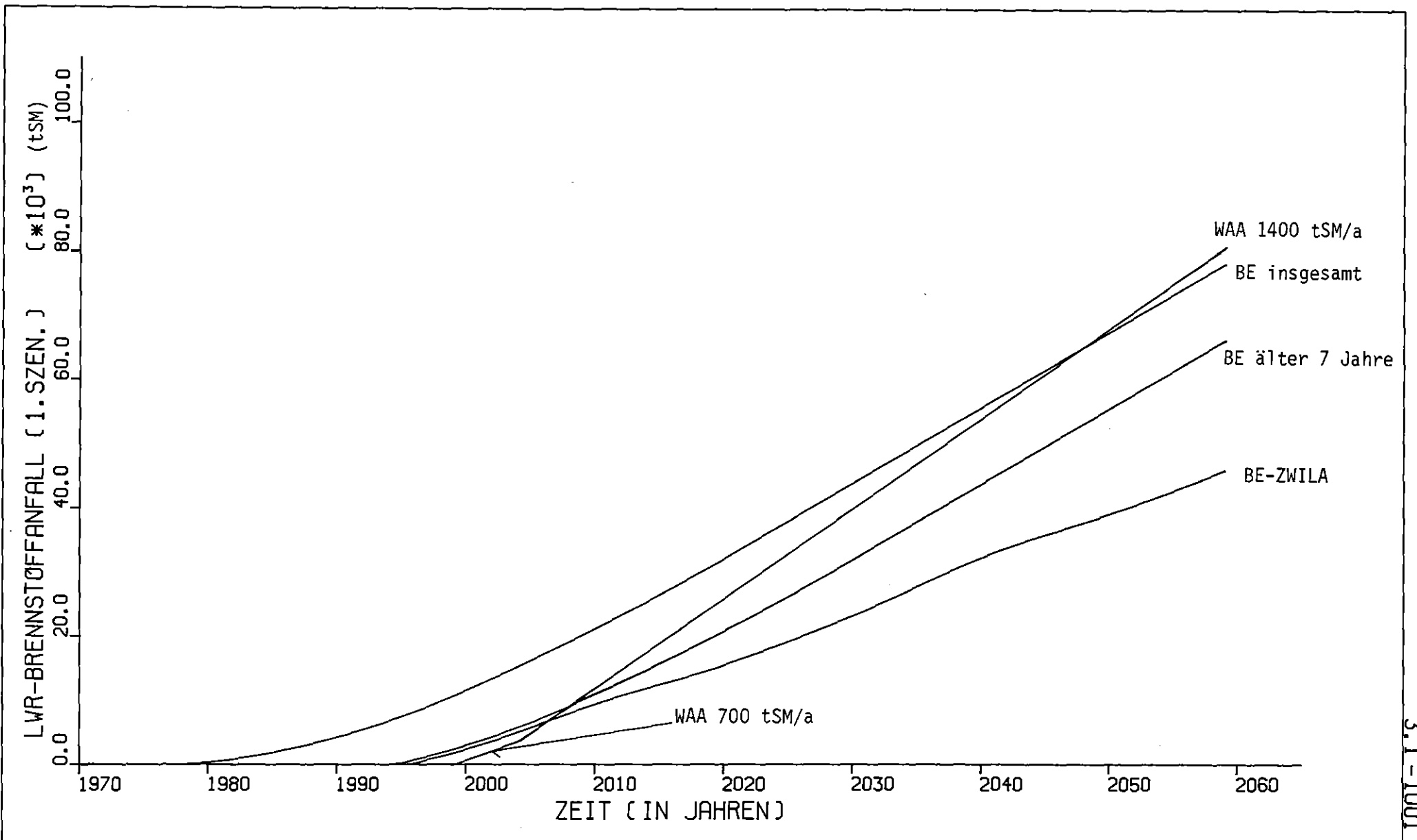
2. Tabellen

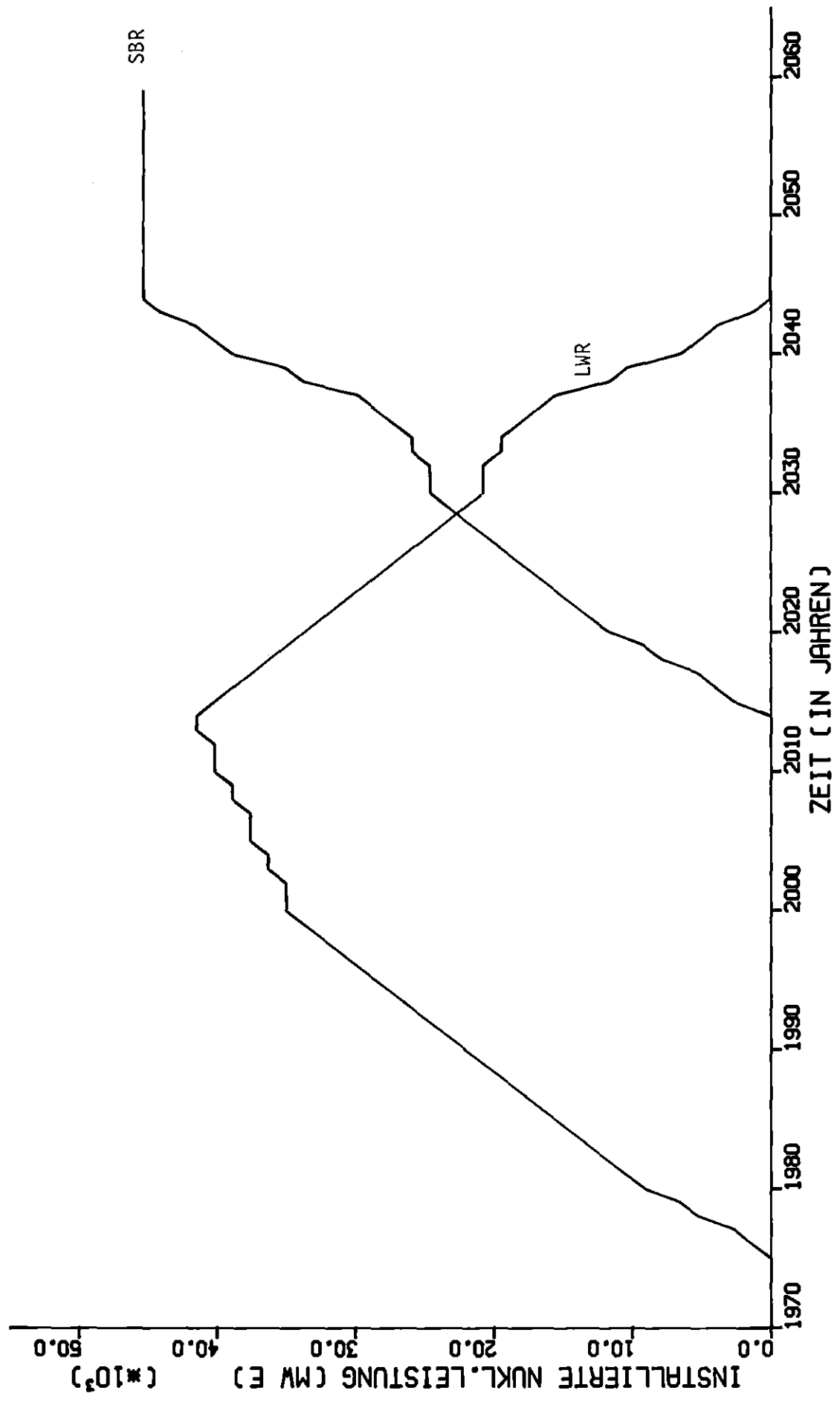


KfK

ABB.1N SZENARIO I. LWR

AFAS
1980

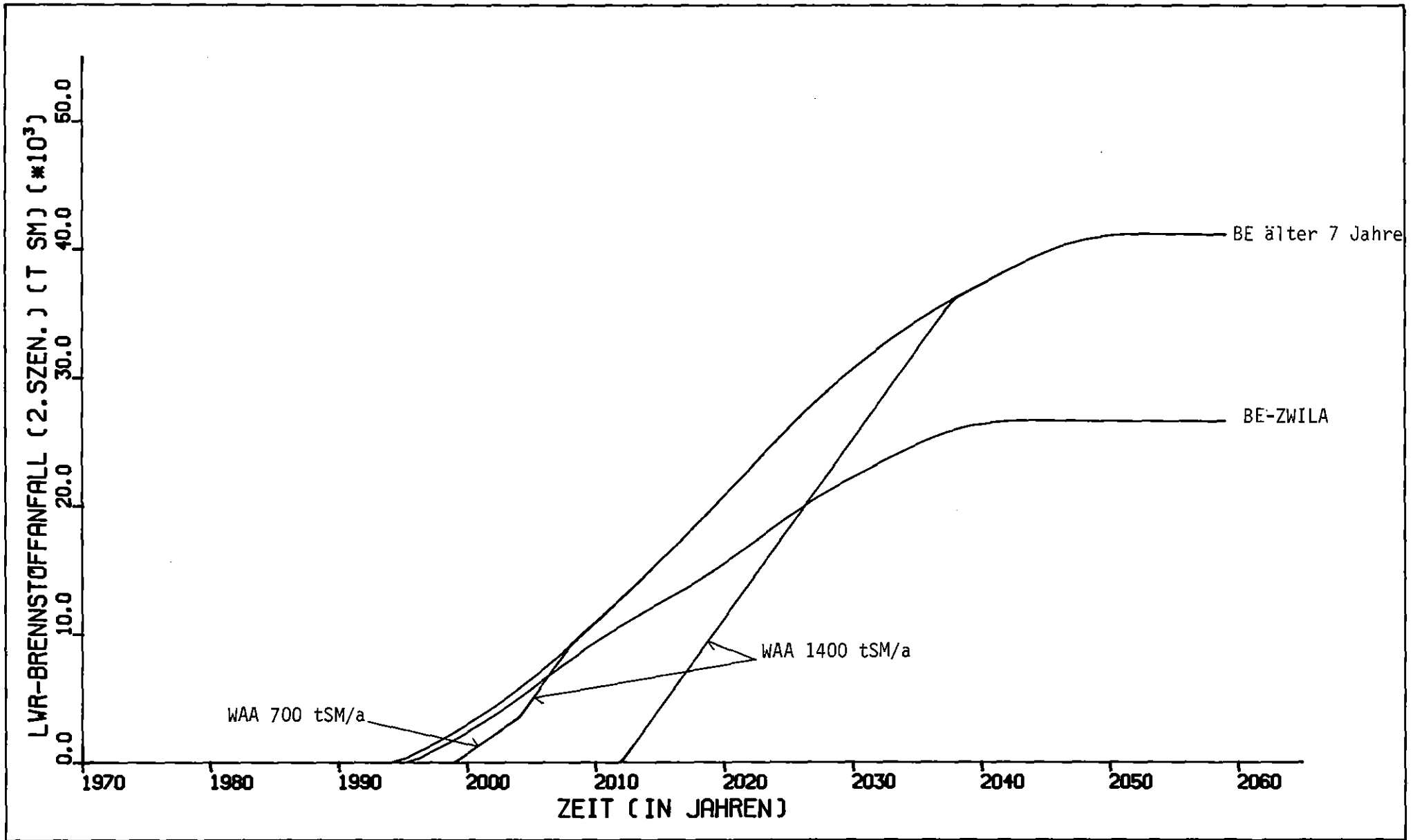




AFAS
1980

ABB. 3 N SZENARIO II.N

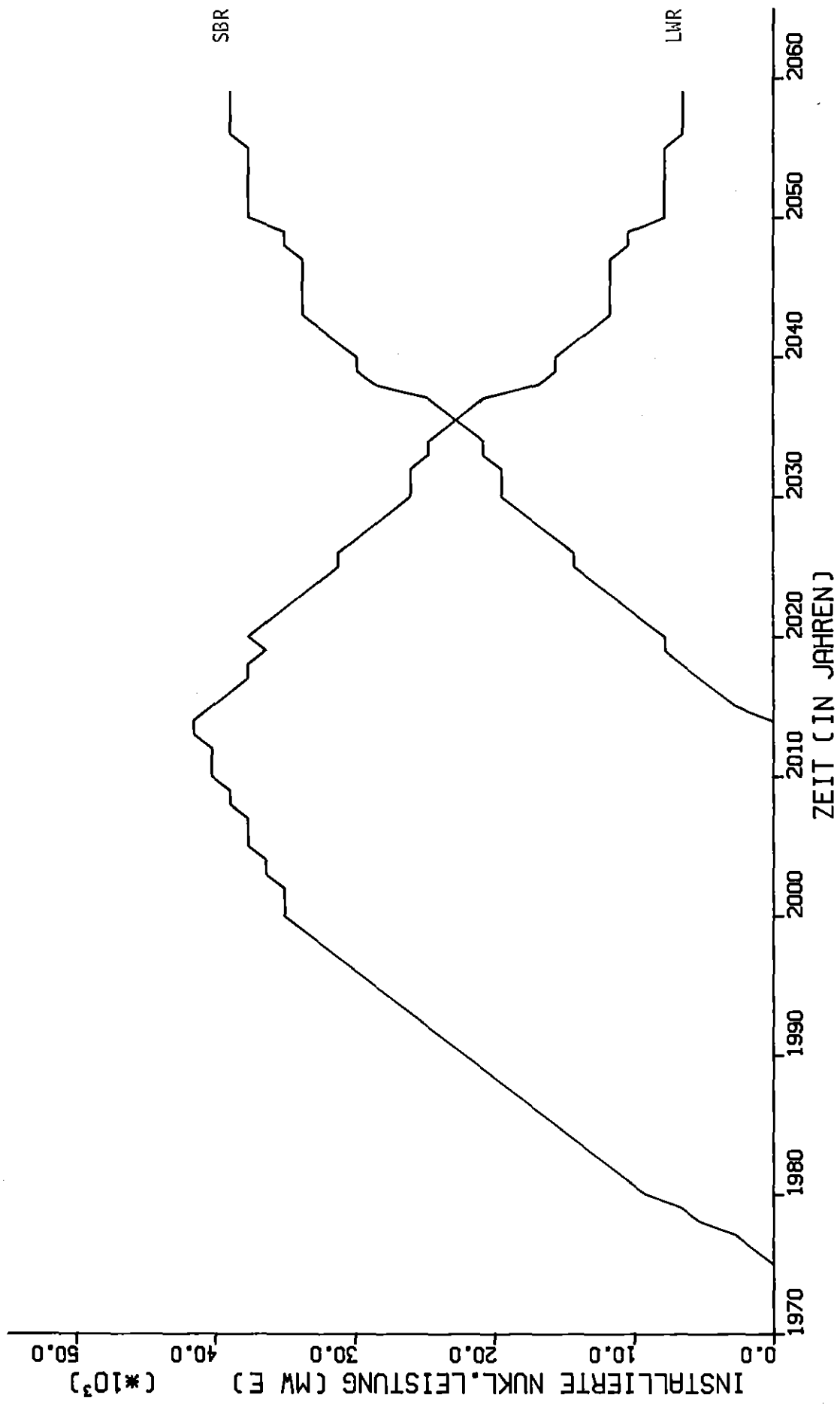
KfK



KfK

ABB. 4 N

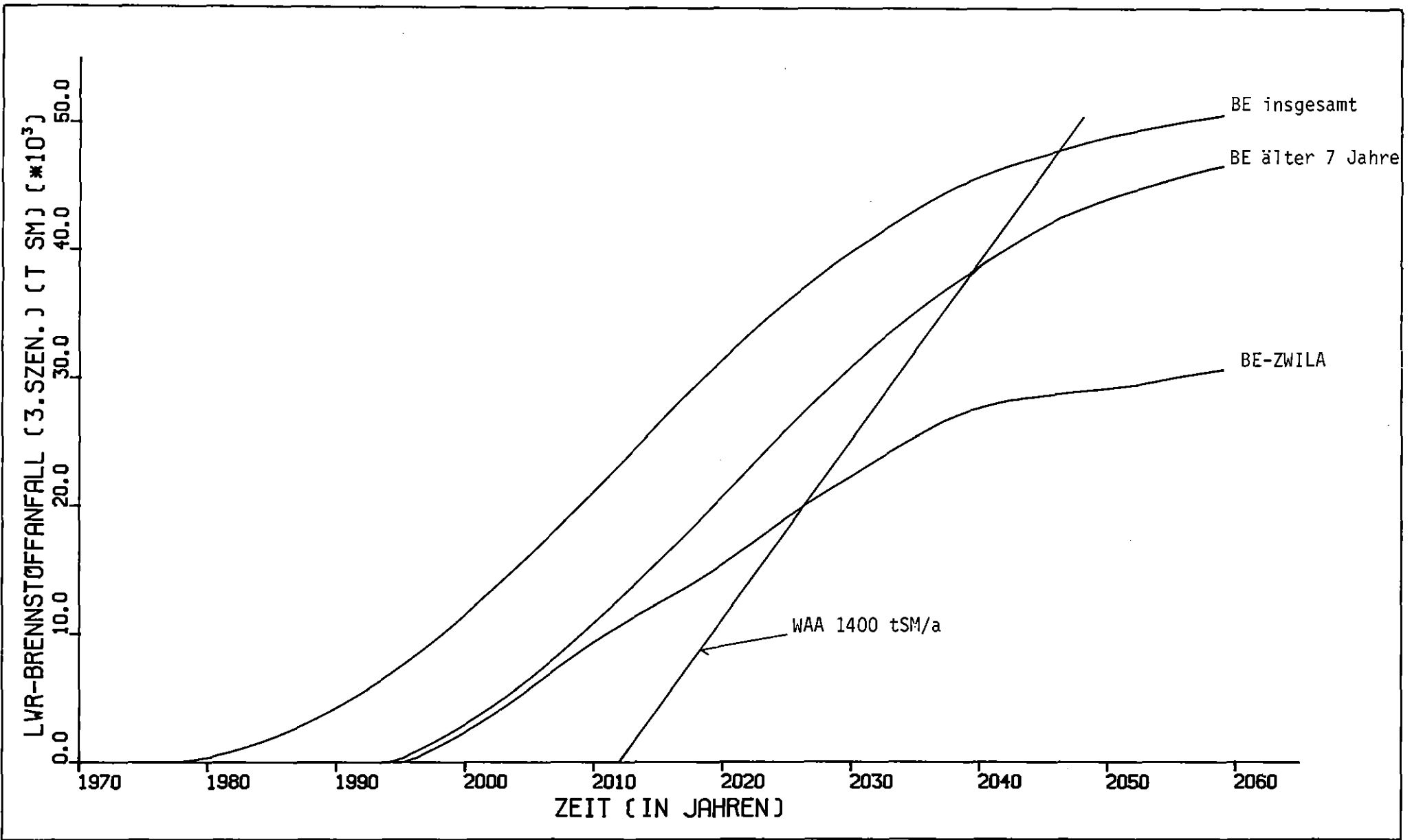
AFAS
1980



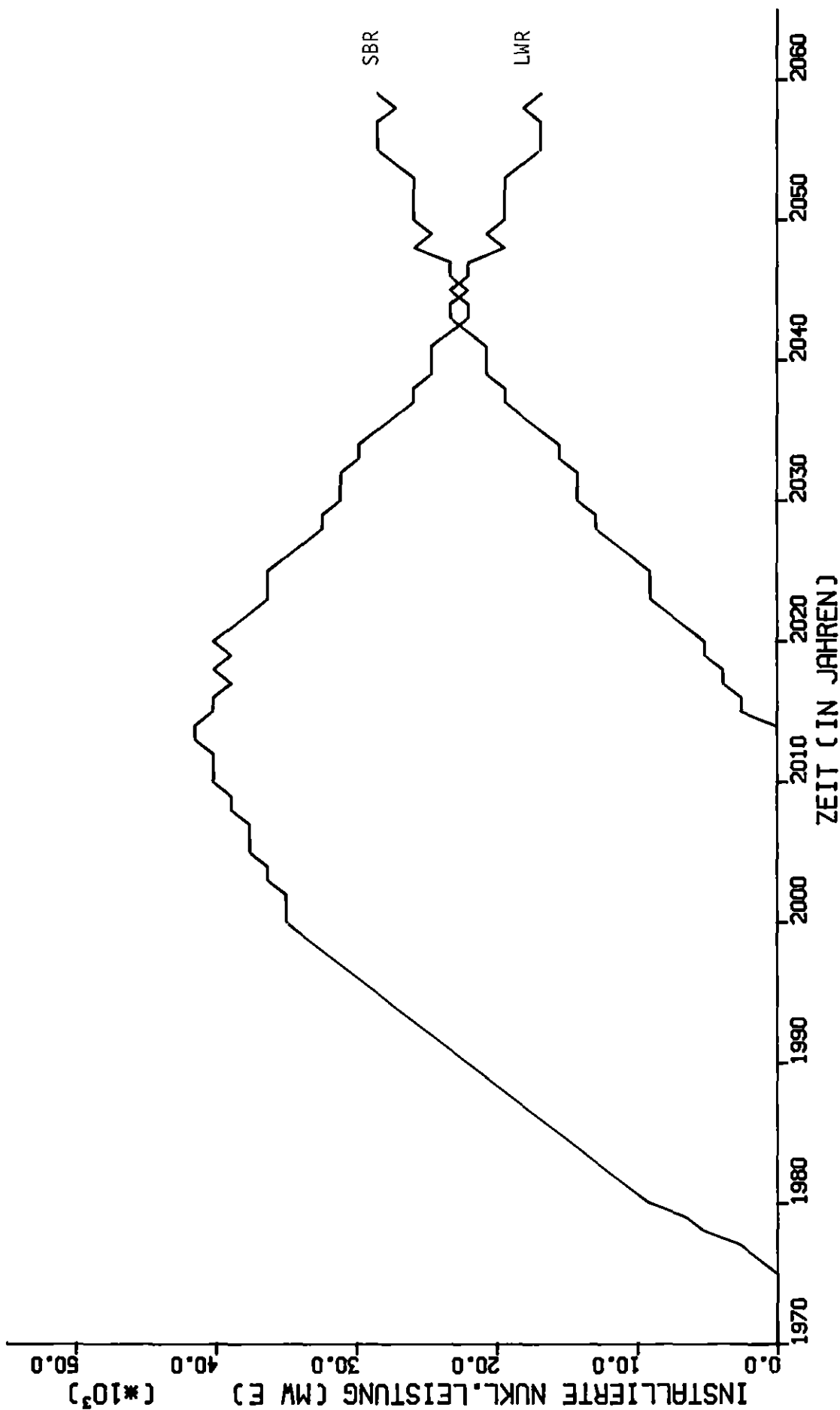
AFAS
1980

ABB. 5N SZENARIO III.1N

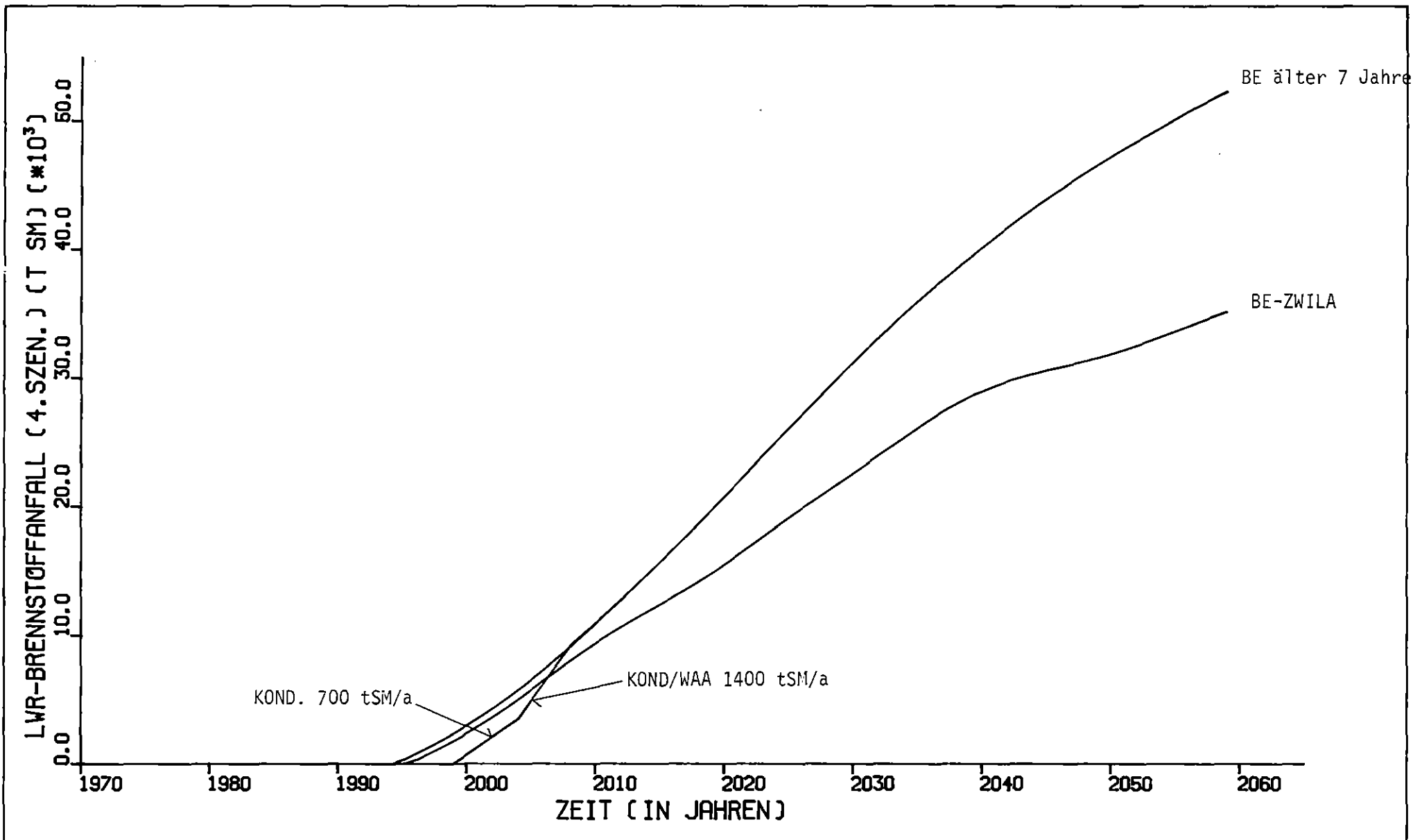
KfK



KfK	ABB. 6N	SZENARIO III.1N	AFAS 1980
-----	---------	-----------------	--------------



KfK	ABB. 9N	SZENARIO IV.1N	AFAS 1980
-----	---------	----------------	--------------



KfK	ABB. 10 N	SZENARIO IV. 1 N	AFAS 1980
-----	-----------	------------------	--------------

Tabelle 1 N:

SZENARIO I.
 BRENNLEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)
1980	9100.0	169.0	405.6		
1985	15600.0	371.8	1926.6		
1990	22100.0	540.8	4292.6		
1995	28600.0	709.8	7503.6	405.6	
2000	35100.0	878.8	11559.6	574.6	2398.2
2005	37700.0	946.4	16190.2	743.6	5778.2
2010	40300.0	1014.0	21158.8	676.0	9361.0
2015	42900.0	1081.6	26465.4	574.6	12369.2
2020	45500.0	1149.2	32109.9	709.8	15512.6
2025	45500.0	1183.0	38024.9	777.4	19196.8
2030	45500.0	1183.0	43939.9	845.0	23218.9
2035	45500.0	1183.0	49854.9	946.4	27815.7
2040	45500.0	1183.0	55769.9	811.2	32277.3
2045	45500.0	1183.0	61684.9	642.2	35826.3
2050	45500.0	1183.0	67599.9	709.8	39172.5
2055	45500.0	1183.0	73514.9	777.4	42856.7
2060	45500.0	1183.0	79429.9	845.0	46878.9

Tabelle 2 N:

SZENARIO I.1

BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	15600.0	0.0					
1990	22100.0	0.0					
1995	28600.0	0.0			439.4	302.6	302.6
2000	35100.0	700.0	2398.2	1698.2	608.4	3006.6	2306.6
2005	37700.0	1400.0	5778.2	878.2	777.4	6555.6	1655.6
2010	40300.0	1400.0	9361.0	0.0	912.6	10915.8	0.0
2015	42900.0	1400.0	12369.2	0.0	980.2	15681.6	0.0
2020	45500.0	1400.0	15512.6	0.0	1047.8	20785.4	0.0
2025	45500.0	1400.0	19196.8	0.0	1115.4	26227.2	0.0
2030	45500.0	1400.0	23218.9	0.0	1183.0	32007.0	0.0
2035	45500.0	1400.0	27815.7	0.0	1183.0	37922.0	0.0
2040	45500.0	1400.0	32277.3	0.0	1183.0	43837.0	0.0
2045	45500.0	1400.0	35826.3	0.0	1183.0	49752.0	0.0
2050	45500.0	1400.0	39172.5	0.0	1183.0	55667.0	0.0
2055	45500.0	1400.0	42856.7	0.0	1183.0	61582.0	0.0
2060	45500.0	1400.0	46878.9	0.0	1183.0	67496.9	0.0

Tabelle 3 N:

SZENARIO I.
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	169.0	405.6	
1981	10400.0	236.6	642.2	
1982	11700.0	270.4	912.6	
1983	13000.0	304.2	1216.8	
1984	14300.0	338.0	1554.8	
1985	15600.0	371.8	1926.6	
1986	16900.0	405.6	2332.2	
1987	18200.0	439.4	2771.6	
1988	19500.0	473.2	3244.8	
1989	20800.0	507.0	3751.8	
1990	22100.0	540.8	4292.6	
1991	23400.0	574.6	4867.2	
1992	24700.0	608.4	5475.6	
1993	26000.0	642.2	6117.8	
1994	27300.0	676.0	6793.8	
1995	28600.0	709.8	7503.6	
1996	29900.0	743.6	8247.2	302.6
1997	31200.0	777.4	9024.6	775.8
1998	32500.0	811.2	9835.8	1282.8
1999	33800.0	845.0	10680.8	1823.6
2000	35100.0	878.8	11559.6	1698.2
2001	35100.0	912.6	12472.2	1606.6
2002	35100.0	912.6	13384.8	1548.8
2003	36400.0	912.6	14297.4	1524.8
2004	36400.0	946.4	15243.8	1534.6
2005	37700.0	946.4	16190.2	878.2

Tabelle 5 N:

SZENARIO II.
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (SBR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)
1980	9100.0	0.0	169.0	405.6		
1985	15600.0	0.0	371.8	1926.6		
1990	22100.0	0.0	540.8	4292.6		
1995	28600.0	0.0	709.8	7503.6	405.6	
2000	35100.0	0.0	878.8	11559.6	574.6	2398.2
2005	37700.0	0.0	946.4	16190.2	743.6	5778.2
2010	40300.0	0.0	1014.0	21158.8	676.0	9361.0
2015	40300.0	2600.0	1081.6	26465.4	574.6	12369.2
2020	33800.0	11700.0	912.6	31366.3	709.8	15512.6
2025	27300.0	18200.0	743.6	35422.3	709.8	19129.1
2030	20800.0	24700.0	574.6	38633.3	540.8	22171.1
2035	18200.0	27300.0	507.0	41269.7	473.2	24739.9
2040	6500.0	39000.0	270.4	43162.5	169.0	26328.5
2045	0.0	45500.0	0.0	43601.9	0.0	26598.9
2050	0.0	45500.0	0.0	43601.9	0.0	26598.9
2055	0.0	45500.0	0.0	43601.9	0.0	26598.9
2060	0.0	45500.0	0.0	43601.9	0.0	26598.9

Tabelle 6 N:

SZENARIO II.1
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	15600.0	0.0					
1990	22100.0	0.0					
1995	28600.0	0.0			439.4	302.6	302.6
2000	35100.0	0.0	2398.2	2398.2	608.4	3006.6	3006.6
2005	37700.0	0.0	5778.2	5778.2	777.4	6555.6	6555.6
2010	40300.0	0.0	9361.0	9361.0	912.6	10915.8	10915.8
2013	41600.0	1400.0	11220.0	9820.0	946.4	13721.2	12321.2
2015	40300.0	1400.0	12369.2	8169.2	980.2	15681.6	11481.6
2020	33800.0	1400.0	15512.6	4312.6	1047.8	20785.4	9585.4
2025	27300.0	1400.0	19129.1	929.1	1014.0	26058.2	7858.2
2030	20800.0	1400.0	22171.1	0.0	845.0	30621.1	5421.1
2035	18200.0	1400.0	24739.9	0.0	676.0	34339.1	2139.1
2040	6500.0	1400.0	26328.5	0.0	540.8	37245.9	0.0
2045	0.0	1400.0	26598.9	0.0	439.4	39713.3	0.0
2050	0.0	1400.0	26598.9	0.0	135.2	40997.7	0.0
2055	0.0	1400.0	26598.9	0.0	0.0	41132.9	0.0
2060	0.0	1400.0	26598.9	0.0	0.0	41132.9	0.0

Tabelle 7 N:

SZENARIO II.1
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	169.0	405.6	
1981	10400.0	236.6	642.2	
1982	11700.0	270.4	912.6	
1983	13000.0	304.2	1216.8	
1984	14300.0	338.0	1554.8	
1985	15600.0	371.8	1926.6	
1986	16900.0	405.6	2332.2	
1987	18200.0	439.4	2771.6	
1988	19500.0	473.2	3244.8	
1989	20800.0	507.0	3751.8	
1990	22100.0	540.8	4292.6	
1991	23400.0	574.6	4867.2	
1992	24700.0	608.4	5475.6	
1993	26000.0	642.2	6117.8	
1994	27300.0	676.0	6793.8	
1995	28600.0	709.8	7503.6	
1996	29900.0	743.6	8247.2	302.6
1997	31200.0	777.4	9024.6	775.8
1998	32500.0	811.2	9835.8	1282.8
1999	33800.0	845.0	10680.8	1823.6
2000	35100.0	878.8	11559.6	2398.2
2001	35100.0	912.6	12472.2	3006.6
2002	35100.0	912.6	13384.8	3648.8
2003	36400.0	912.6	14297.4	4324.8
2004	36400.0	946.4	15243.8	5034.6
2005	37700.0	946.4	16190.2	5778.2
2006	37700.0	980.2	17170.4	6521.8
2007	37700.0	980.2	18150.6	7265.4
2008	39000.0	980.2	19130.8	7975.2
2009	39000.0	1014.0	20144.8	8685.0
2010	40300.0	1014.0	21158.8	9361.0
2011	40300.0	1047.8	22206.6	10003.2
2012	40300.0	1047.8	23254.4	10611.6
2013	41600.0	1047.8	24302.2	9820.0
2014	41600.0	1081.6	25383.8	8994.6
2015	40300.0	1081.6	26465.4	8169.2

Tabelle 8 N:

SZENARIO II.2
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER [ABZGL. COGEMA KUMULIERT (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0					
1985	15600.0	0.0					
1990	22100.0	0.0					
1995	28600.0	0.0			439.4	302.6	302.6
2000	35100.0	700.0	2398.2	1698.2	608.4	3006.6	2306.6
2005	37700.0	1400.0	5778.2	878.2	777.4	6555.6	1655.6
2010	40300.0	1400.0	9361.0	0.0	912.6	10915.8	0.0
2013	41600.0	1400.0	11220.0	0.0	946.4	13721.2	0.0
2015	40300.0	1400.0	12369.2	0.0	980.2	15681.6	0.0
2020	33800.0	1400.0	15512.6	0.0	1047.8	20785.4	0.0
2025	27300.0	1400.0	19129.1	0.0	1014.0	26058.2	0.0
2030	20800.0	1400.0	22171.1	0.0	845.0	30621.1	0.0
2035	18200.0	1400.0	24739.9	0.0	676.0	34339.1	0.0
2040	6500.0	1400.0	26328.5	0.0	540.8	37245.9	0.0
2045	0.0	1400.0	26598.9	0.0	439.4	39713.3	0.0
2050	0.0	1400.0	26598.9	0.0	135.2	40997.7	0.0
2055	0.0	1400.0	26598.9	0.0	0.0	41132.9	0.0
2060	0.0	1400.0	26598.9	0.0	0.0	41132.9	0.0

Tabelle 9 N:

SZENARIO II.2
 BRENNLEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	169.0	405.6	
1981	10400.0	236.6	642.2	
1982	11700.0	270.4	912.6	
1983	13000.0	304.2	1216.8	
1984	14300.0	338.0	1554.8	
1985	15600.0	371.8	1926.6	
1986	16900.0	405.6	2332.2	
1987	18200.0	439.4	2771.6	
1988	19500.0	473.2	3244.8	
1989	20800.0	507.0	3751.8	
1990	22100.0	540.8	4292.6	
1991	23400.0	574.6	4867.2	
1992	24700.0	608.4	5475.6	
1993	26000.0	642.2	6117.8	
1994	27300.0	676.0	6793.8	
1995	28600.0	709.8	7503.6	
1996	29900.0	743.6	8247.2	302.6
1997	31200.0	777.4	9024.6	775.8
1998	32500.0	811.2	9835.8	1282.8
1999	33800.0	845.0	10680.8	1823.6
2000	35100.0	878.8	11559.6	1698.2
2001	35100.0	912.6	12472.2	1606.6
2002	35100.0	912.6	13384.8	1548.8
2003	36400.0	912.6	14297.4	1524.8
2004	36400.0	946.4	15243.8	1534.6
2005	37700.0	946.4	16190.2	878.2
2006	37700.0	980.2	17170.4	221.8
2007	37700.0	980.2	18150.6	0.0
2008	39000.0	980.2	19130.8	0.0
2009	39000.0	1014.0	20144.8	0.0
2010	40300.0	1014.0	21158.8	0.0
2011	40300.0	1047.8	22206.6	0.0
2012	40300.0	1047.8	23254.4	0.0
2013	41600.0	1047.8	24302.2	0.0
2014	41600.0	1081.6	25383.8	0.0
2015	40300.0	1081.6	26465.4	0.0

Tabelle 14 N:

SZENARIO III.1
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (SBR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)
1980	9100.0	0.0	169.0	405.6	
1985	15600.0	0.0	371.8	1926.6	
1990	22100.0	0.0	540.8	4292.6	
1995	28600.0	0.0	709.8	7503.6	405.6
2000	35100.0	0.0	878.8	11559.6	574.6
2005	37700.0	0.0	946.4	16190.2	743.6
2010	40300.0	0.0	1014.0	21158.8	676.0
2015	40300.0	2600.0	1081.6	26465.4	574.6
2020	37700.0	7800.0	946.4	31433.9	709.8
2025	31200.0	14300.0	845.0	35996.9	709.8
2030	26000.0	19500.0	709.8	39850.1	642.2
2035	23400.0	22100.0	642.2	43162.5	574.6
2040	15600.0	29900.0	405.6	45731.3	304.2
2045	11700.0	33800.0	304.2	47455.1	135.2
2050	7800.0	37700.0	270.4	48908.5	135.2
2055	7800.0	37700.0	202.8	49922.5	202.8
2060	6500.0	39000.0	169.0	50801.3	169.0

Tabelle 15 N:

SZENARIO III.1
 BRENNELEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNELEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BRENNELEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNELEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0				
1985	15600.0	0.0				
1990	22100.0	0.0				
1995	28600.0	0.0		439.4	302.6	302.6
2000	35100.0	0.0	2398.2	608.4	3006.6	3006.6
2005	37700.0	0.0	5778.2	777.4	6555.6	6555.6
2010	40300.0	0.0	9361.0	912.6	10915.8	10915.8
2013	41600.0	1400.0	9820.0	946.4	13721.2	12321.2
2015	40300.0	1400.0	8169.2	980.2	15681.6	11481.6
2020	37700.0	1400.0	4312.6	1047.8	20785.4	9585.4
2025	31200.0	1400.0	929.1	1014.0	26058.2	7858.2
2030	26000.0	1400.0	0.0	946.4	30891.6	5691.6
2035	23400.0	1400.0	0.0	811.2	35150.3	2950.3
2040	15600.0	1400.0	0.0	676.0	38733.1	0.0
2045	11700.0	1400.0	0.0	574.6	41876.5	0.0
2050	7800.0	1400.0	0.0	371.8	44039.7	0.0
2055	7800.0	1400.0	0.0	304.2	45594.5	0.0
2060	6500.0	1400.0	0.0	202.8	46845.1	0.0

Tabelle 18 N:

SZENARIO IV.
 BRENNELEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	BE-ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BE-ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-UEBERHANG ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA KUMULIERT(T SM)
1980	9100.0	169.0	405.6	
1981	10400.0	236.6	642.2	
1982	11700.0	270.4	912.6	
1983	13000.0	304.2	1216.8	
1984	14300.0	338.0	1554.8	
1985	15600.0	371.8	1926.6	
1986	16900.0	405.6	2332.2	
1987	18200.0	439.4	2771.6	
1988	19500.0	473.2	3244.8	
1989	20800.0	507.0	3751.8	
1990	22100.0	540.8	4292.6	
1991	23400.0	574.6	4867.2	
1992	24700.0	608.4	5475.6	
1993	26000.0	642.2	6117.8	
1994	27300.0	676.0	6793.8	
1995	28600.0	709.8	7503.6	
1996	29900.0	743.6	8247.2	302.6
1997	31200.0	777.4	9024.6	775.8
1998	32500.0	811.2	9835.8	1282.8
1999	33800.0	845.0	10680.8	1823.6
2000	35100.0	878.8	11559.6	1698.2
2001	35100.0	912.6	12472.2	1606.6
2002	35100.0	912.6	13384.8	1548.8
2003	36400.0	912.6	14297.4	1524.8
2004	36400.0	946.4	15243.8	1534.6
2005	37700.0	946.4	16190.2	878.2
2006	37700.0	980.2	17170.4	221.8
2007	37700.0	980.2	18150.6	0.0
2008	39000.0	980.2	19130.8	0.0
2009	39000.0	1014.0	20144.8	0.0
2010	40300.0	1014.0	21158.8	0.0
2011	40300.0	1047.8	22206.6	0.0
2012	40300.0	1047.8	23254.4	0.0
2013	41600.0	1047.8	24302.2	0.0
2014	41600.0	1081.6	25383.8	0.0
2015	40300.0	1081.6	26465.4	0.0

Tabelle 19 N:

SZENARIO IV.1
 BRENNLEMENTANFALL UND INSTALL. NUKL. LEISTUNG
 ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

JAHR	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (SBR) (MW E)	BRENNSTOFF- ANFALL JAEHRLICH (LWR) (T SM/A)	BRENNSTOFF- ANFALL KUMULIERT (LWR) (T SM)	BE-ANFALL IN ZWISCHENLAGER ABZGL. COGEMA JAEHRLICH (T SM/A)
1980	9100.0	0.0	169.0	405.6	
1985	15600.0	0.0	371.8	1926.6	
1990	22100.0	0.0	540.8	4292.6	
1995	28600.0	0.0	709.8	7503.6	405.6
2000	35100.0	0.0	878.8	11559.6	574.6
2005	37700.0	0.0	946.4	16190.2	743.6
2010	40300.0	0.0	1014.0	21158.8	676.0
2015	40300.0	2600.0	1081.6	26465.4	574.6
2020	40300.0	5200.0	1014.0	31636.7	709.8
2025	36400.0	9100.0	946.4	36571.5	709.8
2030	31200.0	14300.0	845.0	40999.3	709.8
2035	28600.0	16900.0	777.4	44987.7	709.8
2040	24700.0	20800.0	642.2	48435.3	439.4
2045	23400.0	22100.0	574.6	51477.3	270.4
2050	19500.0	26000.0	540.8	54282.7	304.2
2055	16900.0	28600.0	473.2	56783.9	371.8
2060	16900.0	28600.0	439.4	59014.7	405.6

Tabelle 20 N:

SZENARIO IV.1
 BRENNLEMENTANFALL, INSTALL. WAA-KAPAZITAET UND
 BRENNLEMENTUEBERHANG ALS FUNKTION DER ZEIT (IN JAHREN)

Jahr	INSTALLIERTE NUKL. LEISTUNG (LWR) (MW E)	INSTALLIERTE WAA-KAPAZITAET (T SM/A)	BRENNLEMENT- UEBERHANG AUS ZWISCHENLAGER KUMULIERT (T SM)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, JAEHRLICH ABZGL. COGEMA (T SM/A)	BE-ANFALL AELTER ALS 7 JAHRE, KUMULIERT ABZGL. COGEMA (T SM)	BRENNLEMENT- UEBERHANG DER BE AELTER ALS 7 JAHRE, KUM. (T SM)
1980	9100.0	0.0				
1985	15600.0	0.0				
1990	22100.0	0.0				
1995	28600.0	0.0		439.4	302.6	302.6
2000	35100.0	700.0	1698.2	608.4	3006.6	2306.6
2005	37700.0	1400.0	878.2	777.4	6555.6	1655.6
2010	40300.0	912.6	0.0	912.6	10915.8	0.0
2013	41600.0	946.4	0.0	946.4	13721.2	0.0
2015	40300.0	980.2	0.0	980.2	15681.6	0.0
2020	40300.0	1047.8	0.0	1047.8	20785.4	0.0
2025	36400.0	1047.8	0.0	1047.8	26092.0	0.0
2030	31200.0	1014.0	0.0	1014.0	31229.5	0.0
2035	28600.0	912.6	0.0	912.6	35961.5	0.0
2040	24700.0	811.2	0.0	811.2	40152.7	0.0
2045	23400.0	709.8	0.0	709.8	43972.1	0.0
2050	19500.0	642.2	0.0	642.2	47250.7	0.0
2055	16900.0	574.6	0.0	574.6	50191.3	0.0
2060	16900.0	507.0	0.0	507.0	52827.7	0.0