

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

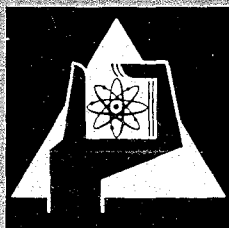
Juli 1967

KFK 568

Institut für Angewandte Reaktorphysik
Institut für Reaktorentwicklung

Variation einiger wichtiger Reaktorparameter beim natriumgekühlten
1000 MWe Schnellen Brüter zur Untersuchung der Brennstoffkosten
und des Brennstoffbedarfs

K. Benndorf, D. Gupta, W. Häfele, G. Heusener, P. Jansen



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



Juli 1967

K F K 568

Institut für Angewandte Reaktorphysik
Institut für Reaktorentwicklung

Variation einiger wichtiger Reaktorparameter beim natriumgekühlten
1000 MWe Schnellen Brüter zur Untersuchung der Brennstoffkosten
und des Brennstoffbedarfs*

von

K. Benndorf
D. Gupta
W. Häfele
G. Heusener
P. Jansen

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

*) Diese Arbeit wurde im Rahmen der Assoziation zwischen der Europäischen Atomgemeinschaft und der Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe, auf dem Gebiet der Schnellen Reaktoren durchgeführt.

1. Einleitung

In den Berichten der Studiengruppe Kernenergiesreserven (1,2) wird anhand der dort erläuterten Zweitypenstrategien das wirtschaftliche Verhalten von schnellen Brutreaktoren in Kopplung mit verschiedenen Konvertertypen erläutert. Das Schwergewicht liegt in der Variation der Konvertertypen und deren Einfluß auf das Wachstum der Brutreaktoren, die Kosten der Energiewirtschaft und die Schonung der Spaltstoffreserven. Es werden nur zwei Brutreaktoren (3,4), die sich hauptsächlich in der Brutrate unterscheiden, verwendet. Die hier folgenden Untersuchungen sollen den Einfluß auch der kritischen Masse auf die genannten Zweitypenstrategien darlegen und die Frage nach der Auslegung eines Brutreaktors auch in Hinsicht auf günstige spezifische Brennstoffkosten beantworten.

2. Die Coreauslegung

Um den Einfluß der Coreauslegung auf die Brennstoffkosten zu erkennen, soll unter starken Vereinfachungen zunächst der Gang einer Coreauslegung skizziert werden. Die Aufgabe der Coreauslegung ist es, das Volumen eines Cores mit der thermischen Leistung Q_{th} zu bestimmen, sowie Kühlmittelanteil α' , Stahlanteil β und Brennstoffanteil ω festzulegen. Es wird von kastenförmigen Brennelementen, welche die zylindrischen Brennstoffstäbe enthalten, ausgegangen (4).

Vorgegeben ist der Radius der Brennstoffstäbe R_p und ihre mittlere spezifische Stableistung $\bar{\chi}$. Außerdem sei gefordert, daß das Kühlmittel im Core um die Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ aufgeheizt wird, und daß der im Kern entstehende Druckverlust Δp einen bestimmten Wert besitzt. Die Gesamtleistung kann somit durch die Leistung eines Stabes mit einer Brennstoffzonenhöhe H und die Anzahl n aller Stäbe angegeben werden:

$$Q_{th} = \bar{\chi} \cdot H \cdot n$$

Da das Core nur aus Brennelementkästen, Kühlmittel und Brennstoffstäben besteht, ist die Anzahl der Stäbe gegeben durch das Verhältnis der Fläche, die allen Stäben zur Verfügung steht, zur Fläche eines Stabes:

$$n = (1 - \alpha' - \beta) \frac{\pi R_c^2}{\pi R_p^2}$$

wobei R_c den Coreradius darstellt.

Durch einfache Rechnung folgt nun das Corevolumen

$$V_c = \frac{Q_{th}}{1-\alpha'-\beta} \frac{\pi R_p^2}{\bar{\chi}}$$

und der Brennstoffanteil

$$\omega = \frac{1-\alpha'-\beta}{1+x}$$

x ist das Verhältnis der Brennstabhülle zu enthaltenem Brennstoff. Der Kühlmittelanteil α' wird durch einen Iterationsprozess so bestimmt, daß sowohl die geforderte Aufheizspanne, als auch der bei gegebenem H/D-Verhältnis des Cores geforderte Druckverlust erreicht wird.

Es muß nun eine Anreicherung e für den Brennstoff bestimmt werden, die gewährleistet, daß zu jeder Zeit die Kritikalitätsbedingung erfüllt ist. Mit Hilfe einer Diffusionsrechnung kann so die kritische Masse M_{kr} , die Spaltstoffbelastung b und die Brutrate BR bestimmt werden.

$$M_{kr} = e \cdot \omega \cdot V_c \cdot \rho_{Br}$$

$$b = \frac{\bar{\chi}}{\pi R_p^2 \cdot \rho_{Br} \cdot e}$$

$$BR = \frac{\phi \Sigma_c^{Brut} dV}{\phi \Sigma_a^{Spalt} dV}$$

Es wird deutlich, daß die Größen $\bar{\chi}$, R_p , b, BR, e keine unabhängigen Variablen sind. Sind vielmehr zwei dieser Größen festgelegt, so folgen die restlichen aus der Kritikalitätsbedingung und der geforderten thermischen Leistung.

Eine weitere wichtige abhängige Variable, die für eine Reihe von Kostentermen maßgeblich ist, ist die Standzeit der Brennelemente im Core, die sich bei fest vorgegebenem, örtlich gemitteltem maximalem Abbrand A und einem Lastfaktor der Anlage κ wie folgt berechnet:

$$T_s = \frac{A \cdot \pi \cdot R_p^2 \cdot \rho_{Br}}{\kappa \cdot \bar{\chi}}$$

3. Brennstoffkostentendenzen

Die wichtigsten Anteile der Brennstoffkosten sind

- Zinskosten für den eingesetzten Spaltstoff,
- Zinskosten und Wertbilanz des laufenden Spaltstoffflusses
- Fabrikationskosten
- Wiederaufarbeitungskosten.

Die ausführliche Kostenberechnung wurde nach [2] vorgenommen, zusätzlich wurden Korrekturterme für die Einbrennzeit vorgesehen. Für die unmittelbar folgenden Kostendiskussionen werden vereinfachte Formeln verwendet [6,7].

Für die Zinskosten einer einzelnen Teilladung, die $1/2$ -tel des Cores + axialen Blankets und $1/p \cdot Z$ -tel des radialen Blankets ausmacht, ergeben sich

$$k_{\text{Zins}} = \frac{\alpha}{\eta \cdot \kappa \cdot b} \cdot q \frac{q^{T_s + T_w} - 1}{T_s}$$

wobei α der Plutoniumpreis, η der Wirkungsgrad der Anlage, q der Zinsfuß und T_w die Zeit im äußeren Zyklus ist. Für einen gegebenen Brennstoff werden diese Kosten dann klein, wenn die Brennstoffbelastung b groß wird. Das ist zu erreichen, wenn die Stableistung groß oder der Stabradius klein gehalten wird. Das so entstehende kompakte Core muß aber höher angereichert werden, was eine Verschlechterung der Brutrate bewirkt.

Völlig andere Tendenzen weisen die Fabrikations- und Wiederaufarbeitungskosten auf, die mit steigender Standzeit zwar als Kosten pro kg teuer werden (da die Anlagen kleiner werden), aber bezogen auf die kWh sinken. Erstere sind für große Brennstoffstabdurchmesser besonders niedrig, und letztere steigen beträchtlich mit der Anreicherung [6]. Ferner verbilligen sich diese Kosten bei kleineren Blankets oder bei längerer Standzeit der radialen Blankets. Kleinere Blankets bedeuten eine Einbuße in der Brutrate und deshalb eine Verringerung der Plutonium-Wertbilanz.

Tabelle 1 zeigt die gegenläufigen Tendenzen der in Frage kommenden Parameter und verdeutlicht nochmals den komplexen Charakter der Auswirkungen dieser Parameter auf die Brennstoffkosten.

Tabelle 1: Kostentendenzen

Minimale Kosten für ↓	frei wählbare Größen				abhängige Größen			
	Stab- leist.	Pellet- Durch- messer	Bl.- Masse	Bl. Stand- zeit	Anrei- cherung	Brut- rate	Stand- zeit	Spalt- stoff- belast.
Pu-Zins	groß	klein	-	-	groß	klein	klein	groß
Core-Refabr.	-	groß	-	-	klein	groß	groß	klein
Blanket-Re- fabrikation	-	-	klein	groß	→ -	klein	-	-
Pu-Gewinn	klein	groß	groß	klein	klein	groß	groß	klein
Aufarbeitung	klein	-	klein	groß	klein	klein	groß	klein

4. Auswahl der Parameter

Es sollte untersucht werden, welche Auswirkung auf die Brennstoffkosten eine Veränderung der Stableistung und des Stabradius hat. Ausgangspunkt dieser Untersuchung war der in [4] beschriebene Na-1. Es ist dies ein natriumgekühlter schneller Brutreaktor mit oxydischem Brennstoff. Seine thermische Leistung ist 2500 MW, das entspricht einer elektrischen Leistung von 1000 MW. Um einen zu großen Na-loss-effekt zu vermeiden, andererseits aber die interne Brutrate nicht zu sehr zu verschlechtern, wurde das H/D-Verhältnis auf 1/3 festgelegt. Die maximale Stableistung des Reaktors beträgt 560 W/cm, sein Stabdurchmesser 6.7 mm. Als Struktur- und Hüllmaterial war Incoloy 800 vorgesehen. Die Aufheizspanne des Kühlmittels im Core betrug 150 °C, der Druckverlust 3 at.

Für die zu untersuchenden Konzepte wurde die Leistung und das H/D-Verhältnis übernommen, dagegen wurde als Strukturmaterial der 16/13 Stahl (Werkst.Nr. 4988) ausgewählt.

Für die Untersuchungen wurden zwei max. Stableistungen ausgewählt: 460 W/cm für oxydischen Brennstoff und 920 W/cm für karbidischen Brennstoff. Allerdings wurden die Konzepte mit 920 W/cm zunächst auch mit oxydischem Brennstoff gerechnet, um die Effekte zwischen Stableistungsänderungen und Brennstoffänderungen unterscheiden zu können.

Für jede dieser Stableistungen wurden drei verschiedene Pellet-Durchmesser

vorgegeben: 5, 6,5 und 8 mm. Das entspricht Stabdurchmessern von 5,6, 7,3 und 8,8 mm. Dadurch war es möglich, die spezifische Spaltstoffbelastung von zwei Parametern her zu ändern, nämlich Stableistung und Pelletdurchmesser.

Um die Brennstoffkosten verschiedener Konzepte vergleichen zu können, muß dafür gesorgt werden, daß die Kapitalkosten ungefähr konstant bleiben. Bei einem natriumgekühlten Reaktor beeinflusst das Core diese Kosten hauptsächlich über den erforderlichen Kühlmitteldurchsatz, der die Größe der Pumpen bestimmt. Hält man Aufheizspanne und Druckverlust konstant (nach Na-1: $\Delta p = 3 \text{ at}$), so ist bei Reaktoren gleicher Leistung auch der Durchsatz konstant und damit in erster Näherung auch der Kapitalkostenanteil. In der zu Na-1 durchgeführten Systemanalyse [5] ergab sich, daß ein Wert von $\Delta\theta = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ wegen des größeren Brennstoffanteils eine größere Brutrate ergibt als $\Delta\theta = 150 \text{ }^\circ\text{C}$. Daher wurde dieser Wert zur Auslegung benutzt.

Der mittlere maximale Abbrand im Core wurde auf 80 MWd/kg festgelegt und die Brennstoffdichte zu 0,35 der theoretischen Dichte. Die Berechnungen unter Berücksichtigung der Spaltprodukte und der notwendigen Reaktivitätsreserven werden mit dem Karlsruher Programmsystem NUSYS vorgenommen.

Bei den Berechnungen betrug die Dicke des axialen Blankets 40 cm und die des radialen Blankets 45 cm. Da die Brutdichte in den Blankets mit dem Abstand vom Corezentrum abnimmt, andererseits mit zunehmender Blanketdicke zusätzliche Fabrikations- und Wiederaufarbeitungskosten anfallen, gibt es sowohl eine optimale Blanketdicke als auch Blanketstandzeit. Für das radiale Blanket werden 15, 30 und 45 cm untersucht, wobei der Rest des Blankets als Abschirmung stehen bleiben sollte. Ferner sind P = 1, 2, 3 und 4fache Corestandzeiten vorgesehen. Um Rückwirkungen auf das Core auszuschließen, wurde bei dem axialen Blanket die Dicke in 5 cm Schritten nur bis auf 25 cm verkleinert.

Die folgenden Tabellen bringen die Ergebnisse ausführlicher Berechnungen für Reaktoren mit oxydischem Brennstoff:

Tabelle 2: Die untersuchten Reaktorkonzepte

Stableistung [$\bar{\text{watt/cm}}^2$]						
Pellet-Durchmesser [$\bar{\text{cm}}$]	460/5	460/6.5	460/8	920/5	920/6.5	920/8
Corevolumen in m^3	4.50	6.57	8.93	2.76	3.70	5.00
Kühlmittelanteil	0.472	0.402	0.351	0.543	0.464	0.413
Strukturanteil	0.179	0.194	0.205	0.163	0.181	0.192
Brennstoffanteil	0.349	0.404	0.444	0.294	0.355	0.395
Pin-Oberflächenbelastung W/cm^2	293	255	183	585	450	366
Corehöhe in cm	85.5	97.5	108.0	72.0	81.0	89.0
Coredurchmesser in cm	259.0	293.0	324.5	217.5	241.0	267.5

Tabelle 3: Einige physikalische Größen

Konzept	460/5	460/6.5	460/8	920/5	920/6.5	920/8
Anfangsspaltstoffinventar in t	2.12	2.69	3.68	1.36	1.83	2.26
interne Brutrate	0.76	0.94	1.03	0.59	0.73	0.85
axiale Brutrate	0.27	0.24	0.21	0.30	0.28	0.26
radiale Brutrate	0.26	0.19	0.18	0.34	0.27	0.23
Gesamtbrutrate	1.29	1.37	1.42	1.23	1.28	1.34
Pu-Anreicherung im Core 17 in %		12.5	11.1	22.2	17.8	15.1
Spaltstoffbelastung in MW/kg	1.10	0.87	0.63	1.72	1.27	1.03
Standzeit des Cores in a	1.66	2.87	4.42	0.82	1.36	2.06

Den Anschluß an die Berechnungsmethoden in [2] ermöglichen folgende Größen:

Tabelle 4: Reaktordatenblöcke

Konzept	460/5	460/6.5	460/8	920/5	920/6.5	920/3
Anteil Pu-sp. frisch	0.0550	0.0480	0.0473	0.0554	0.0548	0.0509
Anteil Pu-sp. verbraucht	0.0646	0.0619	0.0646	0.0615	0.0636	0.0626
Brennstoffbelastung MW/kg	0.0605	0.0417	0.0299	0.0952	0.0696	0.0524
Abbrand in MWd/kg	25.70	30.59	33.85	19.86	24.20	27.57
Massenverhältnis Verbraucht/frisch	0.973	0.968	0.965	0.979	0.975	0.971
Pu-Ausstoß pro Jahr Vollast kg	220	300	350	155	210	270

Tabelle 5: Kostendaten für die in bezug auf Blanketdicke und -Standzeit optimierten Konzepte bei einem Pu-Preis von 40 DM/g

Konzept	460/5	460/6.5	460/8	920/5	920/6.5	920/8
Fabrikation - Core DM/kg	387	619	490	942	667	534
Fabrikation gemittelt	461	384	338	458	367	297
Wiederaufarbeitung in DM/kg	271	257	279	296	269	215
Fabrikation in Dpf/kWh	0.17	0.13	0.11	0.17	0.14	0.13
Wiederaufarbeitung in Dpf/kWh	0.08	0.06	0.06	0.09	0.08	0.07
Erstcoreinvestition in MDM	78	104	148	49	60	86
Erstcoreanteil Dpf/kWh	0.13	0.17	0.24	0.08	0.11	0.14
Pu-Zinskosten Dpf/kWh	0.29	0.33	0.42	0.26	0.27	0.28
Pu-Erlös Dpf/kWh	- 0.10	- 0.14	- 0.16	- 0.07	- 0.10	- 0.12
Pu-Bilanz Dpf/kWh	0.19	0.19	0.26	0.19	0.17	0.16
ges. spez. Brennstoffkosten Dpf/kWh	0.43	0.38	0.43	0.45	0.39	0.35

In den beiden folgenden Tabellen werden charakteristische Größen verglichen, die Aufschluß über die Unterschiede bei der Optimierung nach den Energieerzeugungskosten des Einzelreaktors und der Optimierung nach den kumulierten Kosten einer expandierenden Kernenergiewirtschaft bzw. nach dem Verbrauch an Spaltstoff geben sollen. Als Bedarfskurve fand die obere Schätzung nach $\sqrt{2}$ Verwendung. Als Konverter fungierte LWR - ORNL $\sqrt{2}$ mit 238 kg Pu-Vollast-Ausstoß. Als Lastfaktor wurde 0,7 angenommen. Die spezifischen Energieerzeugungskosten betragen 1,89 Dpf/kWh. Demgegenüber wurden bei den Brütern Investitionskosten von 1,15 Dpf/kWh angenommen, zu diesen 0.12 Dpf/kWh Betriebskosten und die Brennstoffkosten addiert. Als Vergleichsjahr wurde das Jahr 2000 angenommen und dort z. B. für diese Strategien die Differenz (D) der kumulierten Energieerzeugungskosten zu der Strategie mit dem Leichtwasserreaktor allein in MDM angegeben. In der folgenden Tabelle bedeutet "K_{opt}" die kostenoptimalen Ergebnisse für den Einzelreaktor, "S_{opt}" die strategienoptimalen Ergebnisse für die Kernenergiewirtschaft und "sp" die Ergebnisse für möglichst geringen Spaltstoffbedarf.

Tabelle 6: Vergleich der Ergebnisse bei verschiedenen Optimierungskriterien

Konzept	460/5.	460/6.5	460/8.
	$K_{opt}/S_{opt}/sp$	$K_{opt}/S_{opt}/sp$	$K_{opt}/S_{opt}/sp$
D in MDM	14.56/14.67/13.19	16.50/16.98/16.07	10.46/10.74/9.80
Natururanverbrauch in 10^3 t	166/166/160	181/178/176	201/199/198
Anzahl der Brüter im Jahr 2000	67/68/72	58/61/62	45/47/48
ax. Blanket in cm	30/35/40	30/30/40	25/30/40
rad. Blanket in cm	30/30/45	15/30/45	15/30/45
Vielfaches der Corestandzeit	2/2/1	1/1/1	1/1/1
Brutrate	1.24/1.26/1.29	1.28/1.33/1.37	1.32/1.39/1.42
Verdopplungszeit	26/24/20	26/22/19	30/25/22
Brennstoffkosten Dpf/kWh	0.43/0.43/0.46	0.38/0.38/0.40	0.43/0.43/0.45

Tabelle 7: Vergleich der Ergebnisse bei verschiedenen Optimierungskriterien

Konzept	920/5.	920/6.5	920/8.
	$K_{opt}/S_{opt}/sp$	$K_{opt}/S_{opt}/sp$	$K_{opt}/S_{opt}/sp$
D in MDM	16.58/17.04/12.07	20.02/20.38/18.59	21.10/21.35/20.31
Natururanverbrauch in 10^3 t	137/129/122	154/152/146	165/163/162
Anzahl der Brüter im Jahr 2000	84/91/95	75/77/81	69/70/72
axiales Blanket in cm	30/35/40	30/40/40	30/40/40
radiales Blanket in cm	30/45/45	30/30/45	30/30/45
Vielfaches der Core- standzeit	3/3/1	2/2/1	1/1/1
Brutrate	1.16/1.21/1.23	1.23/1.26/1.28	1.30/1.32/1.34
Verdopplungszeit	30/21/19	24/21/19	21/19/18
Brennstoffkosten Dpf/kWh	0.45/0.45/0.51	0.39/0.39/0.42	0.35/0.36/0.37

Überraschend ist die erstaunliche Unabhängigkeit sowohl der Brennstoffkosten als auch der kumulierten Kostendifferenz der Zweitypenstrategien zu den Eintypenstrategien und des kumulierten Natururanverbrauchs gegenüber dem Optimierungskriterium bei einem Einzelkonzept, obwohl sich die Brutraten kräftig ändern. Anders ist es von Konzept zu Konzept, wo sich auch die kritischen Massen ändern. Dort sind in allen drei Kriterien deutliche Unterschiede festzustellen. Allerdings ist wieder überraschend, daß das optimale Konzept sowohl in bezug auf Brennstoffkosten, als auch auf Kosten der Energiewirtschaft der 6.5 mm Reaktor bei 460 W/cm und der 8 mm Reaktor bei 920 W/cm ist. Erst in bezug auf die Schonung der Spaltstoffreserven ändert sich das Optimum und liegt bei 5 mm. Besondere Erwähnung verdient das Ergebnis, daß eine Verdopplung der Stableistung nur ca. 0.03 Dpf/kWh Gewinn bringt, solange man bei oxydischem Brennstoff bleibt. Geht man aber auf karbidischen Brennstoff über, so ergibt sich ein erheblicher Kostenanreiz, der mit sehr niedrigem Spaltstoffbedarf einhergeht.

Tabelle 3: Einige Eigenschaften von Karbidreaktoren

Karbid-Konzept	920/5	920/6.5	920/8
Anfangsinventar in t	1.52	1.75	2.29
Brutrate max.	1.34	1.50	1.56
Pu-Bilanz	0.12	0.06	0.09
Brennstoffkosten K_{opt}	0.31	0.26	0.26
Anzahl der Brüter im Jahre 2000	120	105	80
Natururanverbrauch 10^3 t	100	120	150

Erstaunlicherweise führt die Wahl von 6.5 mm bei 460 W/cm auch bei massiven Änderungen der Fabrikations- (K_F) und Wiederaufarbeitungskosten (K_W) sowie des Plutoniumpreises (Pu) zwar zu großen absoluten Änderungen, aber zu keiner großen Einbuße in bezug auf den optimalen Pelletdurchmesser. Die beiden folgenden Tabellen sollen dies in den Brennstoffkosten in Dpf/kWh zeigen.

Tabelle 9: Variation des Pu-Preises und der Fabrikations- und Wiederaufarbeitungskosten

Oxyd-Konzepte	460/5	460/6.5	460/8	920/5	920/6.5	920/8
$K_F + K_A$ verdoppelt	0.64	0.55	0.60	0.70	0.55	0.52
$K_F + K_A$ normal	0.43	0.38	0.43	0.45	0.39	0.35
$K_F + K_A$ halbiert	0.31	0.29	0.37	0.32	0.28	0.27
$K_F + K_A$ null	0.17	0.18	0.26	0.16	0.15	0.16
$Pu = 108$ DM/g	0.72	0.67	0.84	0.74	0.66	0.61
$Pu = 40$ DM/g	0.43	0.38	0.43	0.45	0.39	0.35
$Pu = 20$ DM/g	0.33	0.28	0.30	0.34	0.29	0.27
$Pu = 0$ DM/g	0.22	0.17	0.16	0.23	0.19	0.17

$K_F + K_A$ normal
 $Pu = 40$ DM/g

Bei Karbidreaktoren werden die absoluten Abweichungen um den Normalfall kleiner.

Aus der vorstehenden Tabelle ergeben sich folgende optimale Spaltstoffbelastungen in MW/kg für Brüter mit oxydischem Brennstoff:

Tabelle 10: Optimale Spaltstoffbelastung abhängig vom Pu-Preis

Pu-Preis	0 DM/g	0.60 MW/kg
	20 DM/g	0.75 MW/kg
	40 DM/g	0.86 MW/kg
	108 DM/g	0.95 MW/kg

Um noch einen Hinweis auf die Möglichkeiten zur Reduzierung des Natururanverbrauchs zu geben, zeigt die folgende Tabelle einige Daten aus Zweitypenstrategien. Dabei wurde ein sogenannter Uranbrüter oder Schneller Konverter eingeführt, d. h. ein Konzept mit U-235 statt Pu beladen.

Konzept Uranoxyd 460/6.5	
Kritische Masse = 3.63 t	Pu-Ausstoß = 930 kg/a Vollast
Konzept Urankarbid 920/8	
Kritische Masse = 2.8 t	Pu-Ausstoß = 1000 kg/a Vollast

Tabelle 11: Ausgewählte Zweitypenstrategien

	<u>Natururanverbrauch</u> <u>in 10³ t bis zum Jahr</u>		<u>Maximale</u> <u>Konverterzahl</u>	<u>im Jahre</u>
	2000	2040		
Brüter 460/6.5 Oxyd Konverter LWR-AEG-70	163	1100	141	2015
Brüter 460/6.5 Oxyd Konverter 460/6.5 Oxyd	95	155	25	1995
Brüter 920/5 Karbid Konverter LWR-AEG-70	115	160	47	1995
Brüter 920/5 Karbid Konverter 920/8 Karbid	30	32	7	1985

In den Abbildungen 1 - 5 sind die wichtigsten Ergebnisse graphisch zusammengestellt.

Unter Berücksichtigung der am Anfang erläuterten speziellen Annahmen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

Für oxydischen Brennstoff sind Stableistungen von 460 W/cm am sinnvollsten, da eine Erhöhung auf das Doppelte nur ca. 0.03 Dpf/kWh Kostenvorteil bringt.

Brüter mit karbidischem Brennstoff besitzen einen Kostenvorteil von über 0.10 Dpf/kWh und benötigen obendrein wenig Spaltstoff.

Der Spaltstoffbedarf ist bei Reaktoren mit kleinem Pellet-Durchmesser besonders gering.

Zusätzliche Verringerung des Spaltstoffbedarfs gelingt durch Einführen mit U-235 beladener Schneller Reaktoren.

Optimale spezifische Brennstoffkosten für Brüter mit oxydischem Brennstoff erhält man bei einer Spaltstoffbelastung von ca. 0.9 MW/kg.

Die optimalen Konzepte in bezug auf die spezifischen Brennstoffkosten und in bezug auf die Kosten einer Energiewirtschaft unterscheiden sich kaum.

Durch Variation der Blanketstandzeiten kann ein Konzept den Umweltbedingungen etwas angepasst werden. Der Kosteneinfluß von Blanketvariationen ist unerheblich.

Der Haupteinfluß auf das Verhalten eines Brüters in einer expandierenden Kernenergiewirtschaft kommt vom Erstinventar.

Die Autoren danken Herrn Dr. J. Seetzen für wertvolle Diskussionen.

Literatur:

- [1] H. GRÜMM, D. GUPTA, W. HÄFELE, P. JANSEN, E. SCHMIDT, J. SEETZEN:
"Kernbrennstoffbedarf und Kosten verschiedener Reaktortypen in Deutschland"
KFK-366, Sept. 1965
- [2] H. GRÜMM, D. GUPTA, W. HÄFELE, P. JANSEN, M. RECKER, W. SCHMIDT, J. SEETZEN:
"Ergänzendes Material zum Bericht 'Kernbrennstoffbedarf und Kosten verschie-
dener Reaktortypen in Deutschland' (KFK-366)"
KFK-466, Sept. 1966
- [3] General Electric:
"Liquid Metal Fast Breeder Reactor Design Study"
GEAP-4418 (Jan. 1964)
- [4] D. SMIDT, A. MÜLLER, et al.: "Referenzstudie für den Natrium-gekühlten
Schnellen Brutreaktor (Na-1)"
KFK-299, Dez. 1964
- [5] D. SMIDT, W. FRISCH, P. GIORDANO, G. HEUSENER, G. KESSLER, K. H. KREWER,
W. MERK, T. MALMBERG, E. SCHÖNFELD:
"Safety and Cost Analysis of a 1000 MWe Sodium Cooled Fast Power Reactor"
KFK-398, Okt. 1965
- [6] D. GUPTA, P. JANSEN: "Fuel Cycle Economics of Fast Breeders with Plutonium"
KFK-567, Febr. 1967
- [7] P.Jansen: "BAKO" Ein Programm zur Kosten- und Strategienberechnung
von Brüterkraftwerken mit der Barwertmethode
KFK-644, 1967

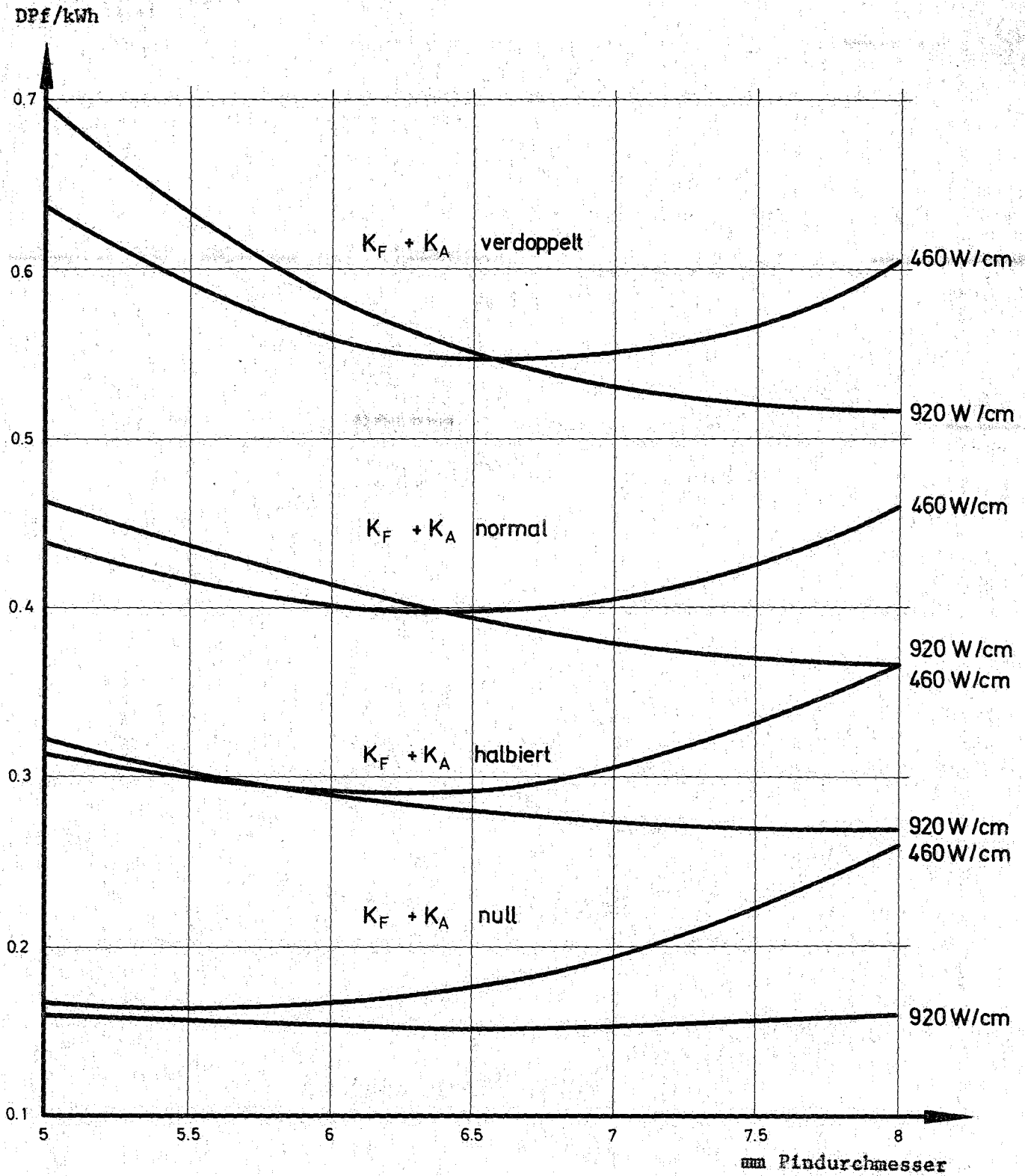


Fig.1 Spezifische Brennstoffkosten in Abhängigkeit von den Fabrikations- und Wiederaufarbeitungskosten

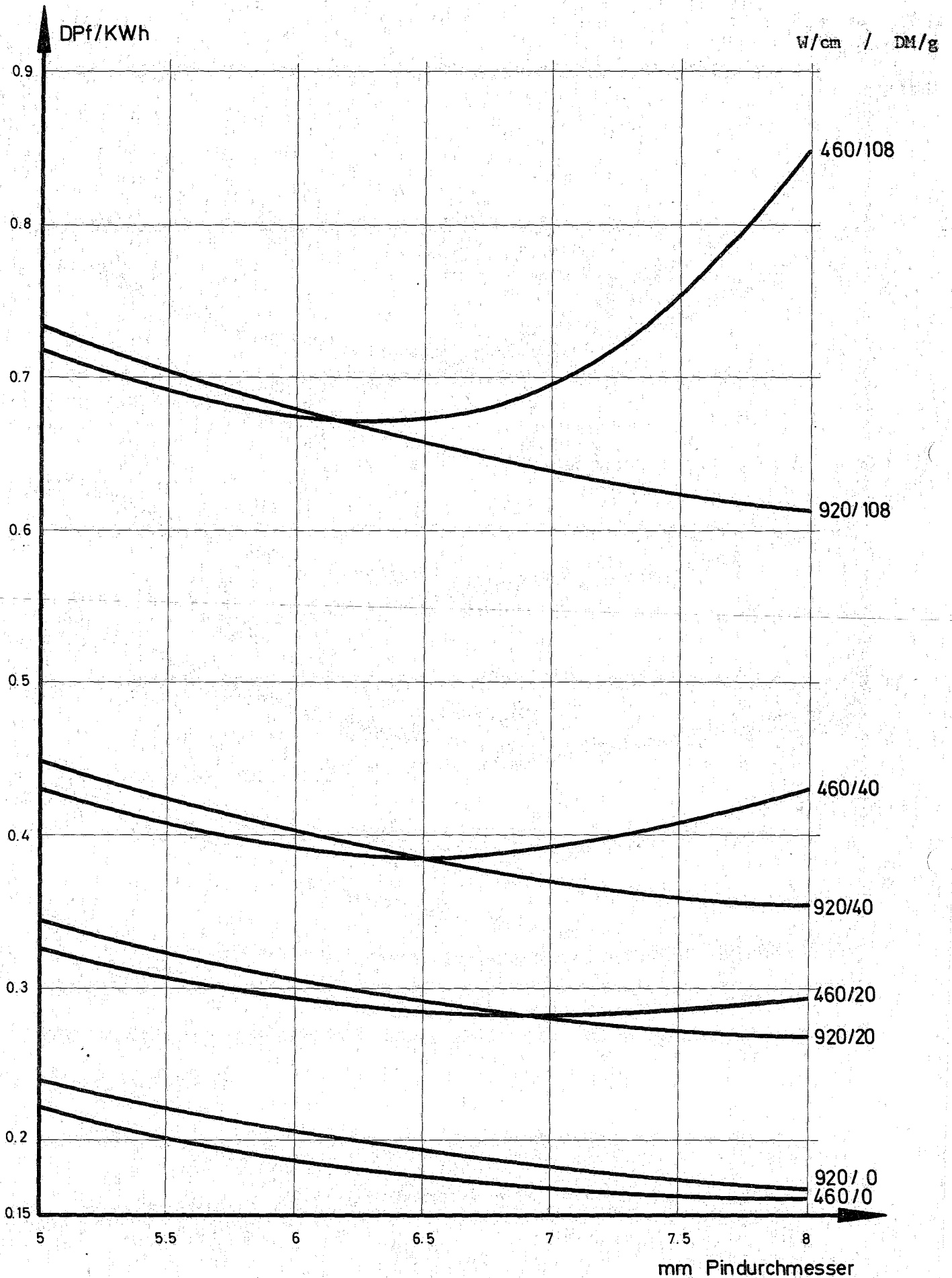


Fig.2 Spezifische Brennstoffkosten in Abhängigkeit vom Plutoniumpreis (Stableistung/Plutoniumpreis)

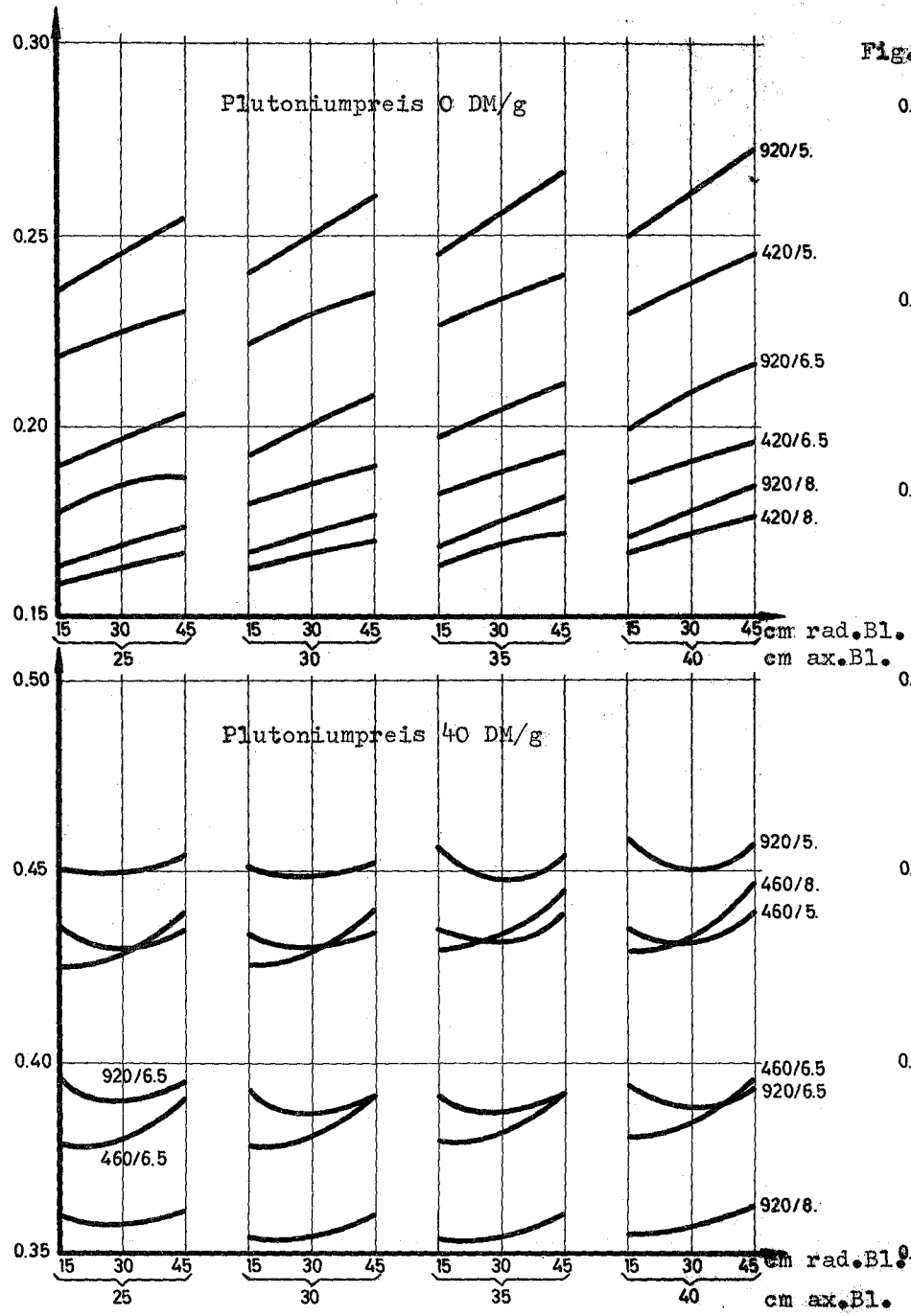
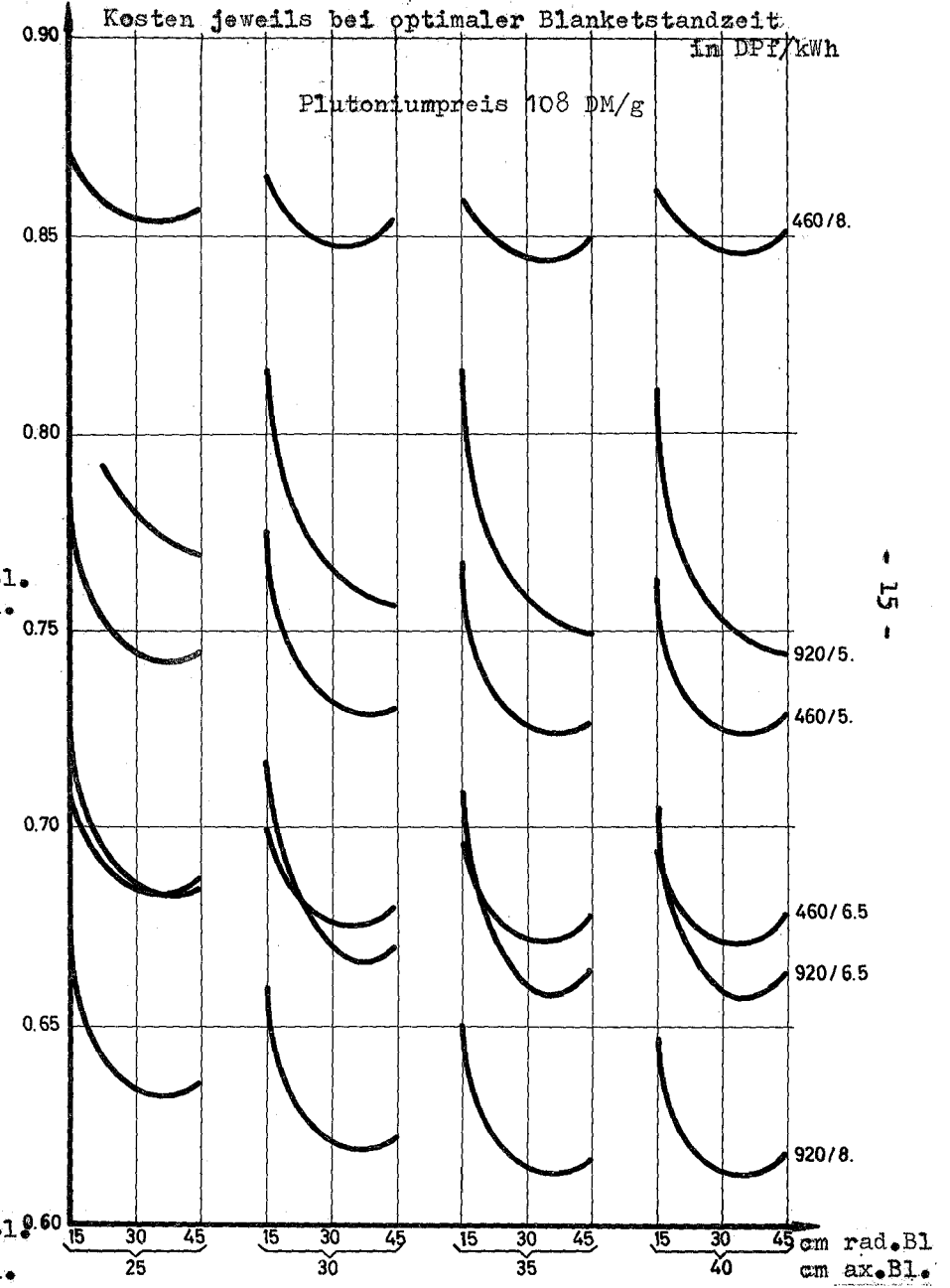


Fig. 3 Blanketdickenvariationen



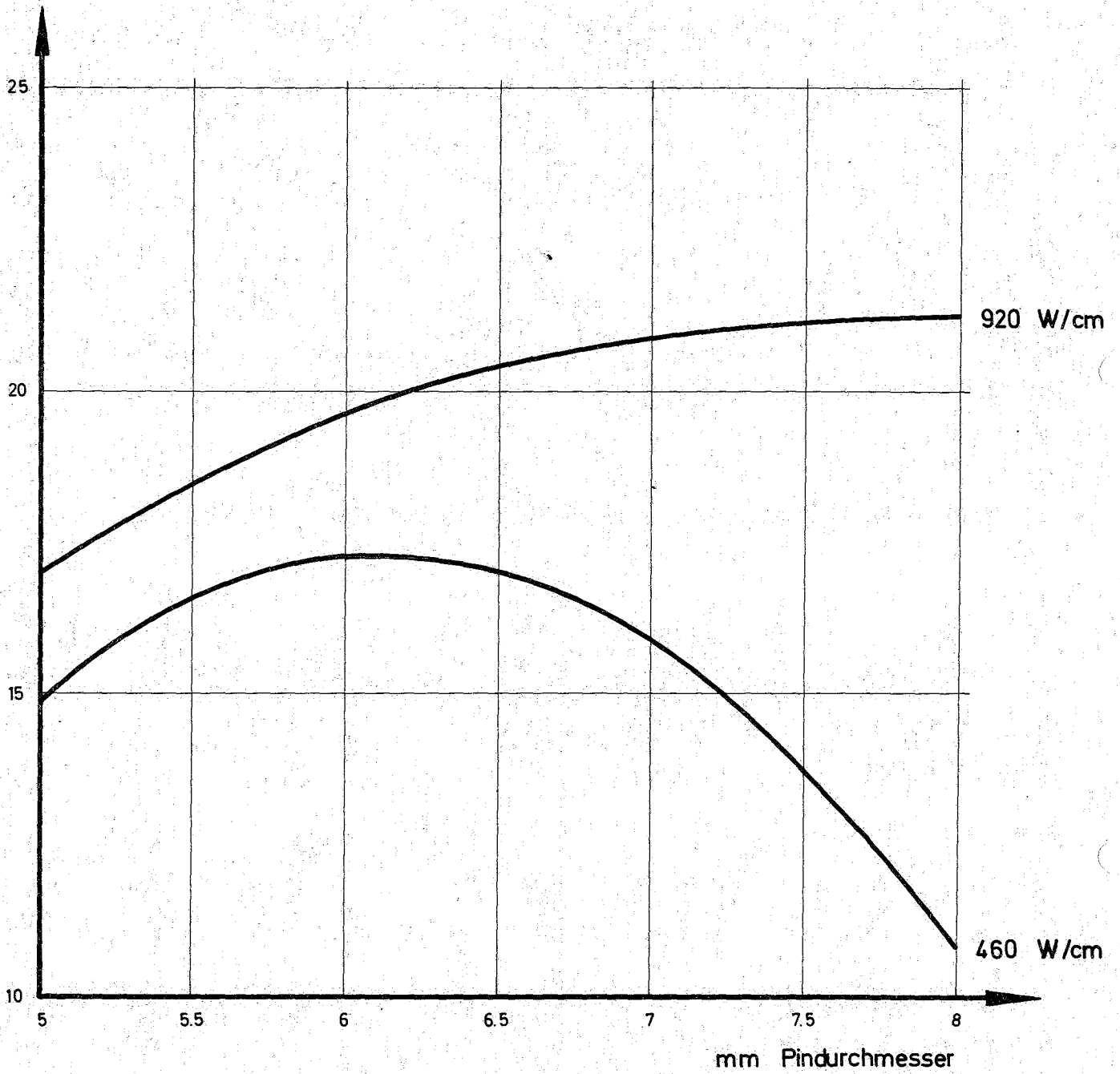


Fig. 4 Strategiegewinne gegenüber Leichtwasserreaktor -
Eintypenstrategien in 10^9 DM bis zum Jahre 2000

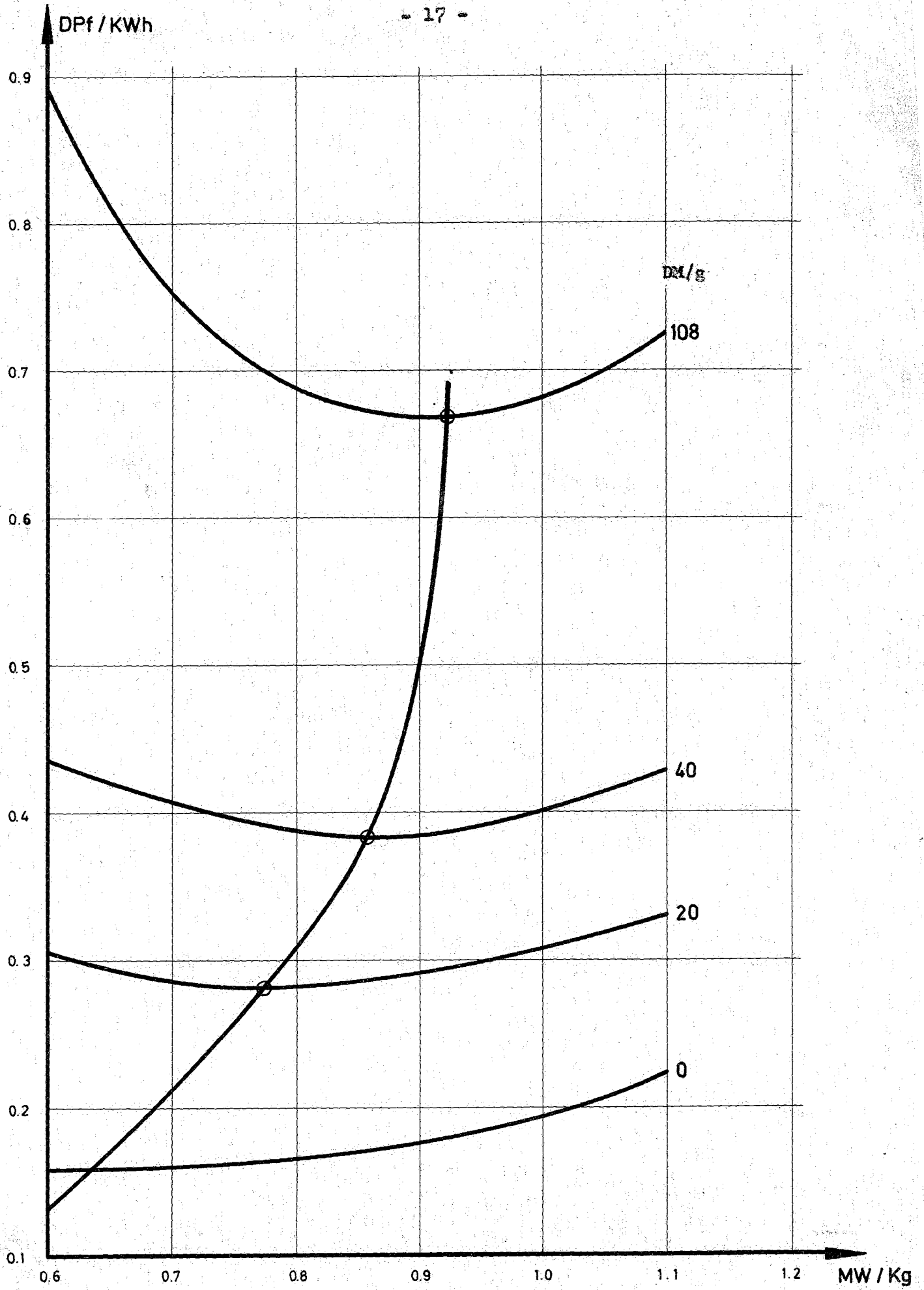


Fig. 5 Optimale Brennstoffbelastung abhängig vom Plutoniumpreis für eine Stabileistung von 460 W/cm