

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

Januar 1967

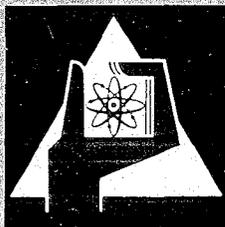
KFK 539/III
EUR 3951 d

Institut für Reaktorentwicklung

Struktur-, Ausdehnungs- und Verbiegungseffekte im schnellen Reaktor

Teil III: Anwendung auf Na-1 Reaktor

Y. S. Hoang



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Hoang - Merz -
1967



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Januar 1967

KFK 539/III

EUR 3951 d

Institut für Reaktorentwicklung

STRUKTUR-AUSDEHNUNGS-
UND VERBIEGUNGSEFFEKTE
IM SCHNELLEN REAKTOR *)

Teil III

Anwendung auf Na-1 Reaktor

Y.S.Hoang

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

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

the same time, the fact that the majority of respondents are not in the business of selling or providing services to children, may have influenced their responses.

It is also worth noting that the majority of respondents were from the United States, and that the majority of respondents were from the business of selling or providing services to children. This may have influenced the results.

Finally, it is worth noting that the majority of respondents were from the business of selling or providing services to children. This may have influenced the results.

Overall, the results of this study suggest that there is a need for more research on the ethical perceptions of business professionals in the child care industry. This research provides a starting point for such research.

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

The authors would like to thank the following individuals for their assistance in the completion of this study: [names of individuals]

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	(1)
2. Die zur Berechnung verwendeten Daten	(2)
2.1 Konstante Größen	(2)
2.2 Parameter-Größen	(10)
3. Verbiegung des Na 1-Reaktors	(12)
3.1 Verbiegung des Na 1-Reaktors im normalen Betriebszustand	(12)
3.2 Veränderung der Fixierstellenlage bei Na 1 (1 Fixierstelle)	(20)
3.3 Untersuchung mit 2 Fixierebenen bei Na 1	(25)
3.4 Verschiedene Kühlmittelaufheizspannen	(26)
4. Verschiedene Subassembly-Schlüsselweiten	(30)
4.1 Veränderliche Lage der Fixierstellenebene (1 Fixierebene)	(30)
4.2 Veränderliche Lage der Fixierstellenebene (2 Fixierebenen)	(30)
5. Zusammenfassung	(35)
Literaturverzeichnis	(36)

1. Einleitung

Die Methode zur Berechnung der Verbiegungen der Subassemblykästen während verschiedener Leistungszustände des "Schnellen Reaktors" und die daraus resultierenden Biegespannungen und Reaktivitätseffekte wurden in Teil 1 (1) dieser Arbeit behandelt. Der dort beschriebene Formalismus wurde für die IBM 7074 programmiert und steht als Programmsystem mit den Programmen

DANGER (05850)

SPALTR (05859)

TEMPER (05860)

REASP (05870)

zur Verfügung. Eine Beschreibung dieser Programme mit einem Testbeispiel wird im Teil 2 (2) dieser Arbeit gegeben.

Im nachfolgenden 3. Teil der Arbeit werden die beschriebenen Rechenmethoden auf den Na 1-Reaktor angewendet und die erzielten Ergebnisse diskutiert.

Die geometrischen Daten und die Materialzusammensetzungen der einzelnen Reaktorzonen wurden der Na 1-Studie (3) entnommen.

Die Schlüsselweiten der Subassemblies und die axiale Anordnung der Fixierstellen am Subassembly werden in diesen Rechnungen als Parametergrößen betrachtet.

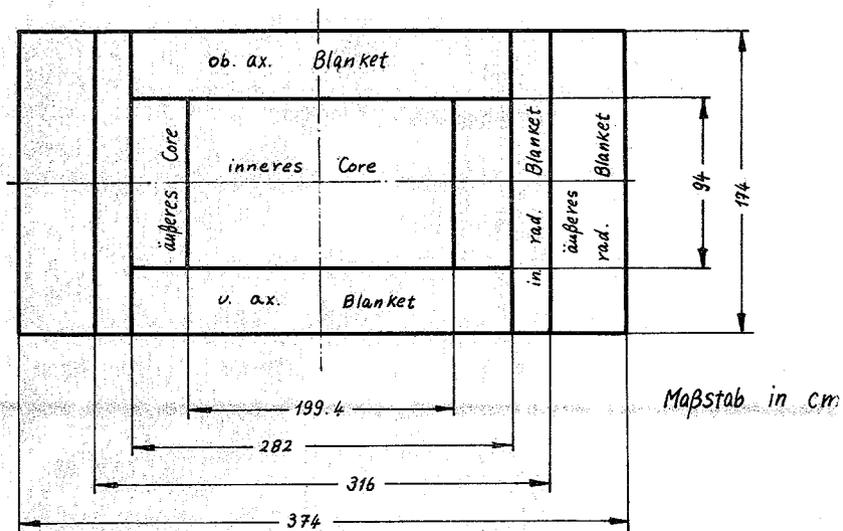
Außerdem wird die Kühlmittelaufheizspanne zwischen 0 und 300 °C variiert. Die Eintrittstemperatur (430 °C), die Bezugstemperatur (500 °C) und alle übrigen Daten werden konstant gehalten.

Den Berechnungen mit dem Programm 05870 gingen eine zweidimensionale 6-Gruppen-Diffusionsrechnung mit dem Programm Twenty-Grand Mod (4) und eine zweidimensionale Störungsrechnung zur Ermittlung der Dangerkoeffizienten für den Brennstoff, das Strukturmaterial und das Kühlmittel mit den Programmen Flux Input und 2-D-Pert (6) voraus.

2. Die zur Berechnung verwendeten Daten

2.1 Konstante Größen sind:

- a) die Core-Geometrie (Skizze 1), die Materialzusammensetzungen der einzelnen Zonen (Tabelle 1) und die Dangerkoeffizienten (Abb. 1a - 1d)



Skizze 1 Core - Geometrie

Zusammensetzung (Vol. %)		Material-Zonen					
		inneres Core	äußeres Core	i. rad. Blanket	ä. rad. Blanket	axiales Blanket	
1	Kühlmittel	50	50	21,8	29,81	50	
2	Strukturmaterial	19,6	19,6	21,9	21,87	18,6	
3	Brennstoff	Spalt-	3,2	4,1	-	-	-
		Brut-	27,2	26,3	48,3	48,32	30,4
		Ges.	30,4	30,4	48,3	48,36	30,4

Tabelle 1 Materialzusammensetzung in der Zone

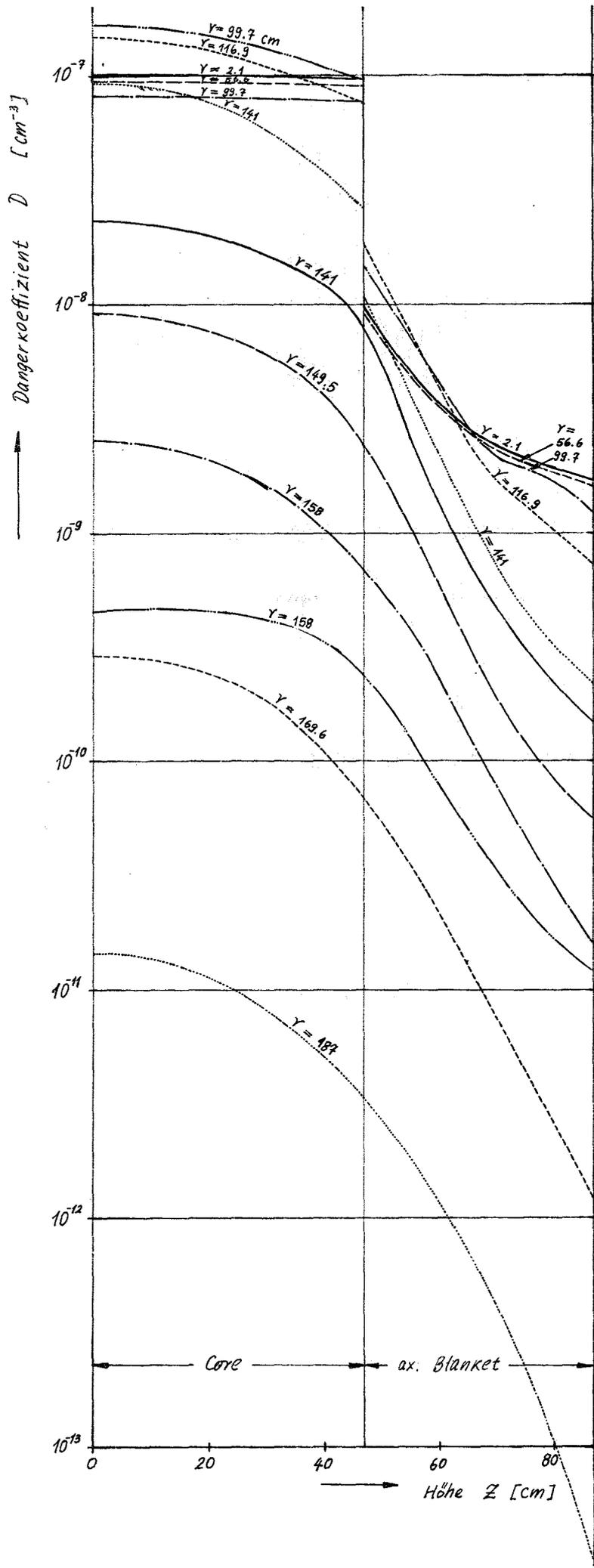


Abb. 1a

Axialer Verlauf der Dangkoeffizienten pro cm³-Gemisch (Brennstoff, Kühlmittel und Strukturmaterial) der jeweiligen Materialzone (Kurven für konstanten Radius)

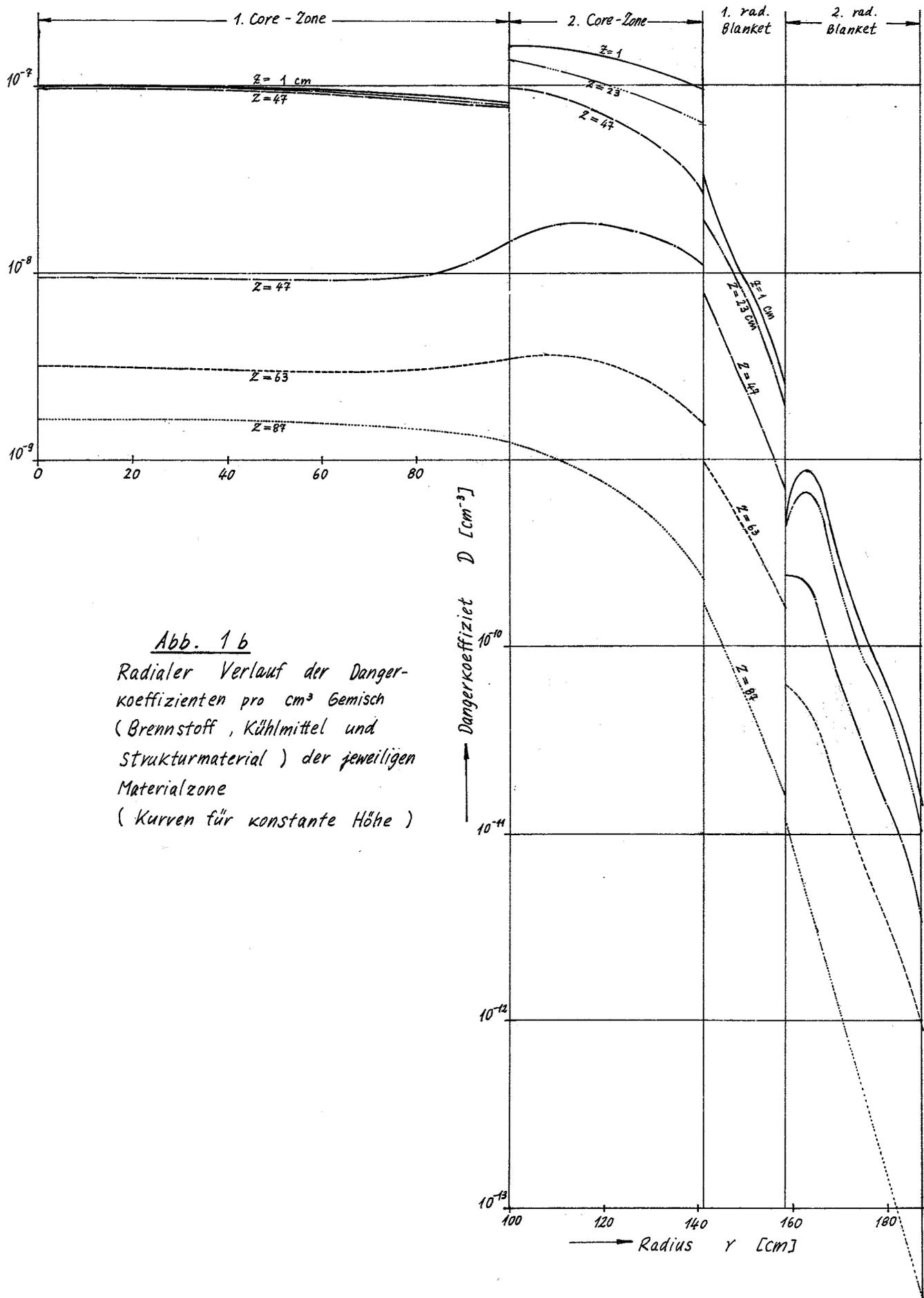
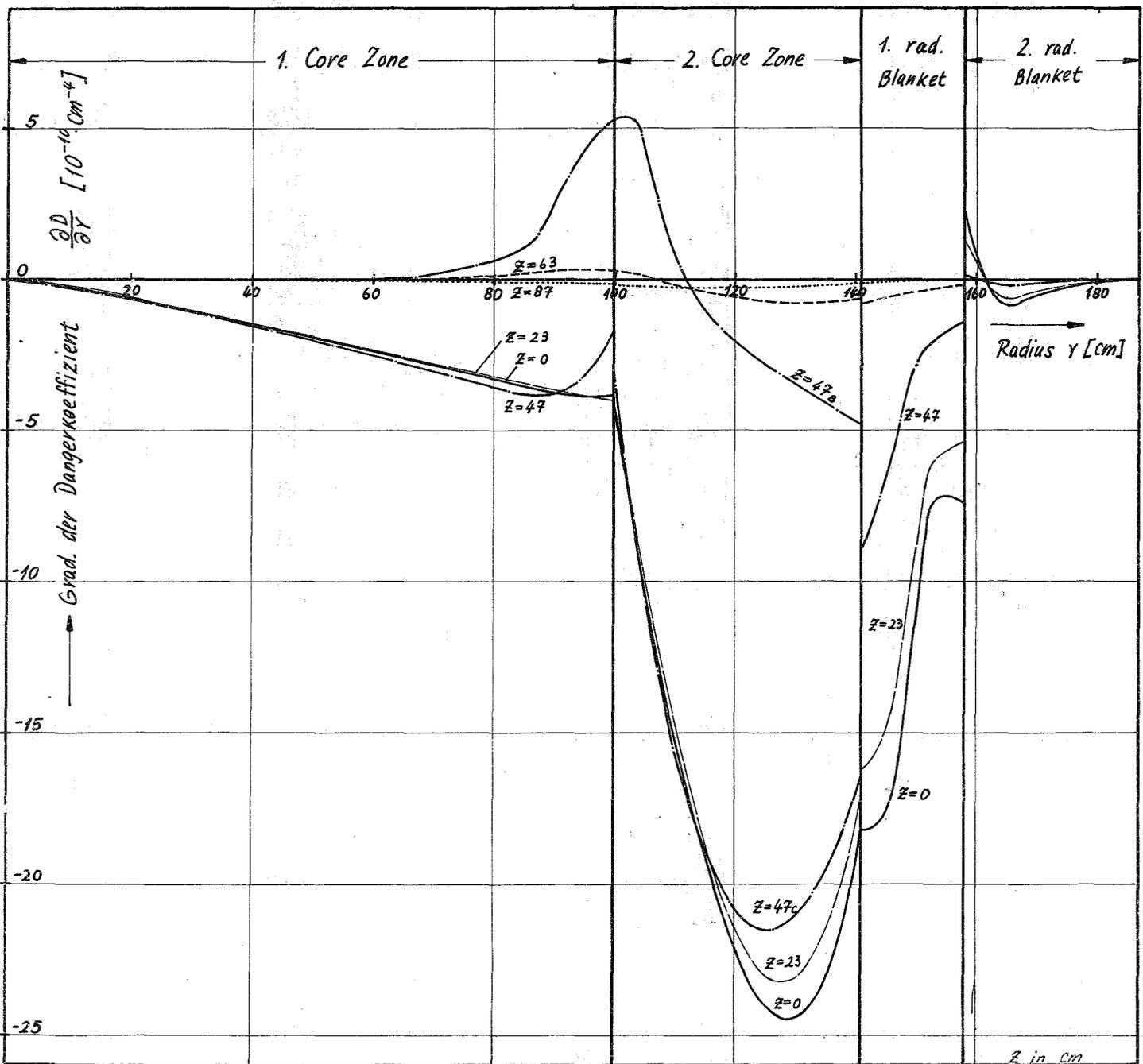


Abb. 1 b
 Radialer Verlauf der Dangerskoeffizienten pro cm³ Gemisch
 (Brennstoff , Kühlmittel und
 Strukturmaterial) der jeweiligen
 Materialzone
 (Kurven für konstante Höhe)

Abb. 1 d: Radialer Verlauf der radialen Gradienten der Dargerkoeffizienten pro cm^3 Gemisch (Brennstoff, Kühlmittel und Strukturmaterial) der jeweiligen Zone (Kurven für konstante Höhe)



b) die axiale Aufteilung der Subassemblies in Abschnitte und deren Nummerierung

Die Abb. 2a und 2b zeigen die Anordnung der Subassemblies.

Abb. 2a

Axialschnitt
des
Reaktorkerns

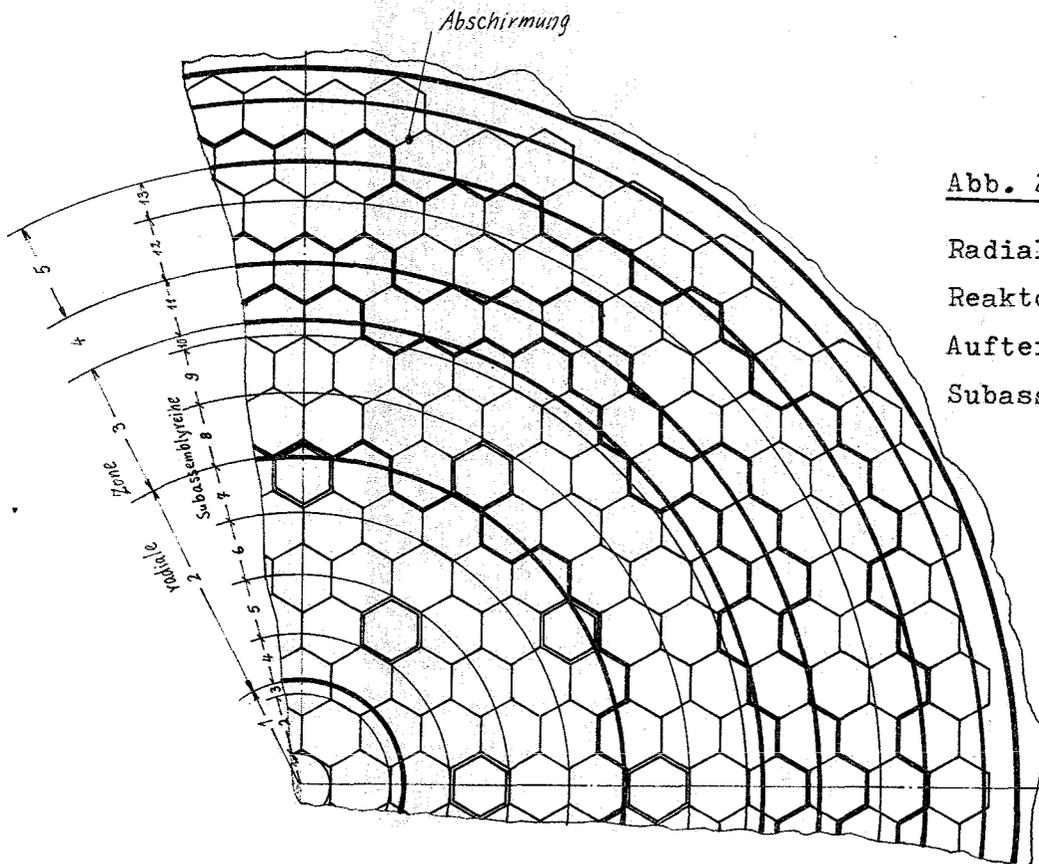
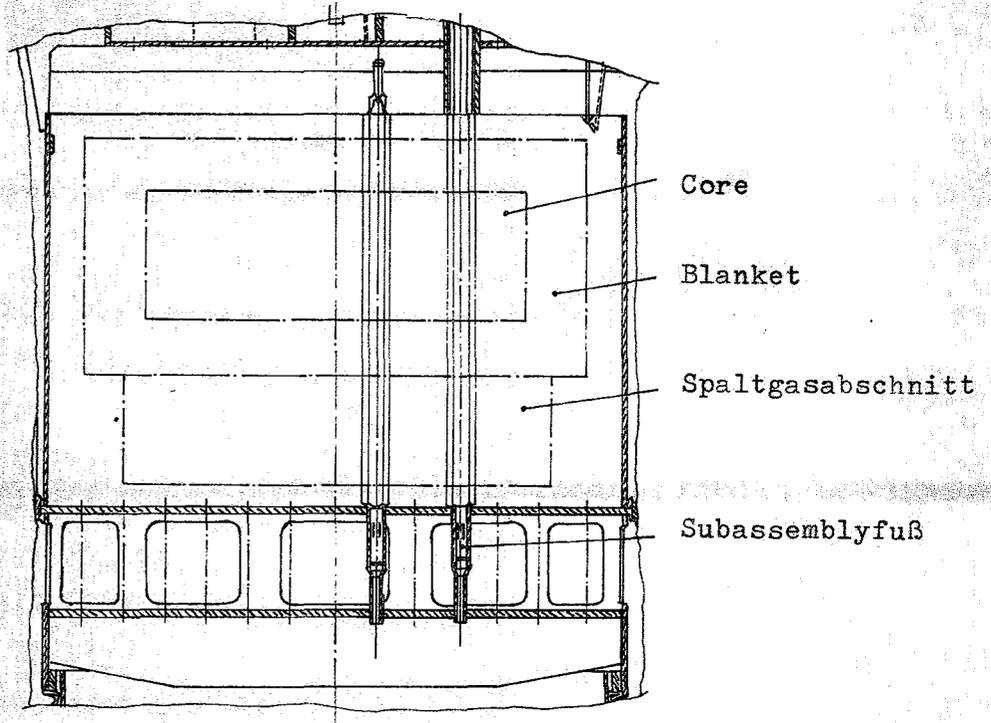


Abb. 2b

Radialschnitt des
Reaktorkerns.
Aufteilung in
Subassemblyreihen

Für die Berechnung wurden alle Subassemblies gleichmäßig in mehrere Abschnitte aufgeteilt (Abb. 3). Die Nummerierung der Abschnitte erfolgt von unten nach oben durch arabische Zahlen. Die Enden der axialen Abschnitte (genannt axiale Stelle) stehen für das Anbringen der Fixierstellen zur Verfügung und werden durch römische Zahlen gekennzeichnet.

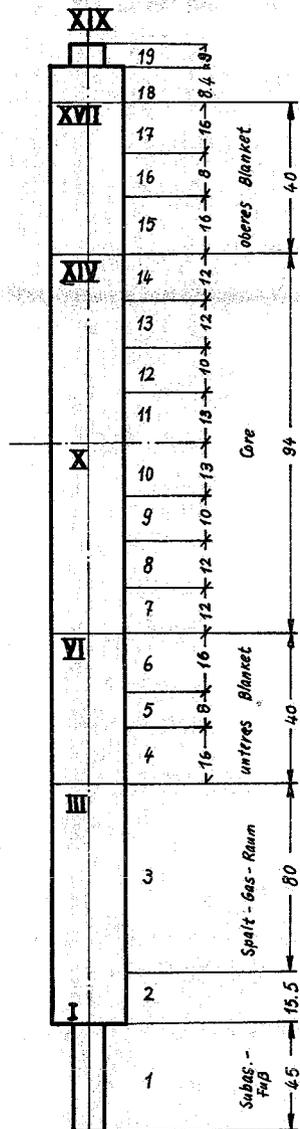


Abb. 3

Axiale Aufteilung und die Nummerierung des Subassemblies

Beispiel: Der Abschnitt 3

bezeichnet die axiale Strecke des Spaltgasraums. Die Stelle X liegt auf der Horizontalebene der axialen Coremitte.

c) die von der 2-dimensionalen Diffusions- und Störungsrechnung übernommenen radialen Schrittweiten und Schrittzahlen

Sie werden in Tabelle 2 angegeben.

Nr	Zone	Schrittweite	Schrittzahl	radiale Dicke
		cm	-	cm
1	erstes inneres Core	2,06	15	30,9
2	zweites inneres Core	2,15	32	68,8
3	äußeres Core	2,065	20	41,3
4	inneres Blanket	2,125	8	17
5	äußeres Blanket	2,9	10	29

Tabelle 2 radialer Schritt

d) die Stoffgrößen des Kühlmittels (Natrium)

Die temperaturabhängigen Stoffgrößen, wie die spezifische Wärme c_p und das spezifische Gewicht γ , ergeben sich für Natrium nach der Beziehung:

$$c_p = 0,33816089 - 1,080748 \cdot 10^{-4} \cdot T + 5,709285 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 28,47117 \cdot 10^{-12} \cdot T^3 \quad [\text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}]$$

$$\gamma = 0,949 - 2,23 \cdot 10^{-4} \cdot T - 1,75 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 \quad [\text{Kp/dm}^3]$$

e) die Stoffgrößen des Strukturmaterials (Incoloy 800)

Der temperaturabhängige Elastizitätsmodul von Incoloy 800 läßt sich nach folgender Formel berechnen:

$$E = 2,0122396 - 3,872437 \cdot 10^{-4} \cdot T - 4,975779 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 - 1,0957468 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 + 3,018352 \cdot 10^{-12} \cdot T^4 - 1,8430009 \cdot 10^{-15} \cdot T^5 \quad [10^6 \cdot \text{Kp/cm}^2]$$

Der mittlere lineare Temperatureausdehnungskoeffizient α zwischen zwei Temperaturen T_1 und T_2 ergibt sich aus:

$$\alpha = (f(T_2) - f(T_1)) / (T_2 - T_1)$$

wobei

$$\begin{aligned} f(T) = & - 81,978333 + 9,9560615 \cdot T + 7,0908336 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 \\ & - 2,0125951 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 + 2,5741799 \cdot 10^{-7} \cdot T^4 \\ & - 1,156537 \cdot 10^{-10} \cdot T^5 \quad [10^{-6} \text{cm} \cdot \text{°C/cm}] \end{aligned}$$

ist.

2.2 Parametergrößen sind:

a) die Fixierstellen

An den Enden der axialen Subassemblyabschnitte (Abb. 3) können beliebig viele Fixierstellen angebracht werden. Zunächst wird nur eine Fixierstelle betrachtet, deren axiale Lage verändert wird.

b) die Subassembly-Schlüsselweiten

Die Nennschlüsselweiten eines Subassemblies in der Na 1-Studie ist 18 cm.

Eine Aufgabe dieser Arbeit ist es, eine möglichst günstige Schlüsselweite des Subassemblies in Bezug auf die Reaktivitätsänderungen, die Biegespannungen und die Verbiegungen zu suchen.

Es wurden daher für die Rechnung 3 verschiedene Nenn-Schlüsselweiten gewählt.

Diese verschiedenen Schlüsselweiten erforderten in einigen Fällen eine Änderung von konstruktiven Daten die in der folgenden Tabelle 3 dargestellt werden.

Daten [cm]		Nr	Be- zeichn.	1	2	3	
Nenn-Schlüsselweite		1	B _N	18	12	9	
Subassembly- querschnitt	Schlüsselweite	2	B	17,85	12,6	9,2	
	Wanddicke	3	S	0,4	0,275	0,225	
Subassembly- fußquer- schnitt	untere Seite		4	D	10,5	8,2	6,0
	obere Seite	Durchmesser	5	D	10,5	8,2	6,0
		Wanddicke	6	S	0,75	0,55	0,45
Rohr- querschnitt	obere Seite	Durchmesser	7	D	12	9,5	8,0
		Wanddicke	8	S	0,75	0,55	0,45
	untere Seite		9	D	7	5,5	4,5

Tabelle 3

Aus diesen Daten (Tabelle 3) ergeben sich die Trägheitsmomente, die Widerstandsmomente und die Maxwell'sche Einflußzahl des Punktes auf dem Führungsrohr, auf dem der unterste Punkt des Subassemblyfußes anliegt.

Diese Größen werden in der Tabelle 4 wiedergegeben. Die dazu benötigten Formeln werden aus Teil 1 (1) dieser Arbeit übernommen.

Daten		Be- zeichn.	Nr	Dimen- sion	1	2	3
Nenn-Schlüsselweite		B _N	1	-	18	12	9
Subassembly- querschnitt	Trägheitsmom.	J	2	cm ⁴	1023	203	64
	Widerstandsm.	W	3	cm ³	114,6	29,7	12,5
Subassembly- fußquer- schnitt	Trägheitsmom.	J	4	cm ⁴	400	100	32
	Widerstandsm.	W	5	cm ³	53,3	23,3	11
Einflußzahl		α	6	10	1,77	5,25	11,3

Tabelle 4

3. Verbiegung des Na 1-Reaktors

3.1 Verbiegung des Na 1-Reaktors im normalen Betriebszustand:

Zunächst wurde durch eine 2-dimensionale Diffusionsrechnung die Leistungsverteilung ermittelt und dann für jedes Subassembly mit Hilfe des Programmes TEMPER (05860) (2) der Temperatur- und Temperaturgradientenverlauf berechnet. Ein Teil dieser Ergebnisse wird in den Abb. 4 und 5 für zwei charakteristische Subassemblies Nr. 10 und Nr. 13 dargestellt (Definition nach Abb. 2b).

Mit Hilfe dieser Ergebnisse war es nun möglich, mit dem Programm RERKSP (05870) (2) die Biegelinie für jedes Subassembly zu berechnen, wie sie sich unter der Einwirkung von Temperaturerhöhungen und Temperaturgradienten bei Berücksichtigung der Einspannverhältnisse einstellt.

Für den Na 1-Reaktor war die Fixierebene nach der Definition der Abb. 3 an die Stelle XVIII verlegt worden. Die Auflagerverhältnisse gehen aus Abb. 2a hervor und entsprechen dem Fall 4 in Abschnitt 3.3 von Teil 1 (1) dieser Arbeit.

Für die weiteren Untersuchungen und Ergebnisse war es außerdem wichtig, einen sog. Bezugsreaktor festzulegen, der in diesem Falle eine einheitliche Bezugstemperatur von 500 °C hat und unverbogen ist. Die Bezugstemperatur orientiert sich an der mittleren Temperatur des Strukturmaterials im Reaktor bei normalem Betriebszustand und ist maßgebend für die Stoffgrößen. Die Abb. 6 zeigt schematisch den Verbiegungszustand der Subassemblies Nr. 9 - Nr. 13 des Na 1-Reaktors bei Nennleistung.

Die Ausdehnung der Subassemblykästen auf der Ebene der Fixierstellen führt zu einem Ausbiegen der Subassemblies. Diesem Ausbiegen infolge Temperaturexpansion überlagert sich die durch den Temperaturgradienten verursachte Verbiegungslinie so, daß sie durch die untere Auflagerstelle und die obere Fixierstelle als fester Nullpunkt läuft. In Abb. 7 wird die Ausbiegung für die 3 charakteristischen Subassemblies Nr. 10, 11 und 13 der Abb. 2b dargestellt. Die Anteile der Verbiegung durch den Temperaturgradienten und der Verbiegung durch Ausdehnung der Kästen werden dabei herausgestellt.

Abb. 4
Axialer Kühlmitteltemperaturverlauf für 3 fiktive Kandle
der Subassemblies Nr. 10 und 13

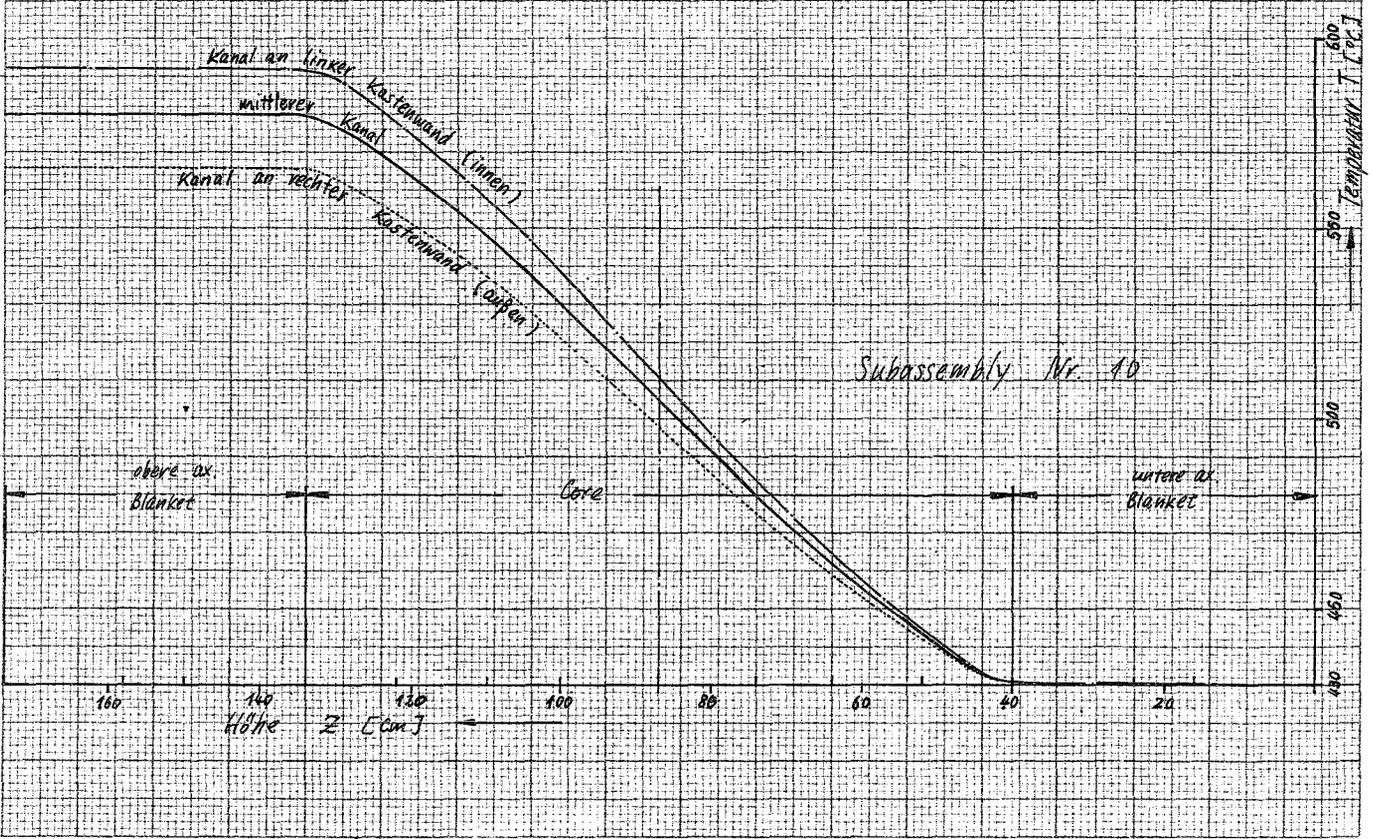
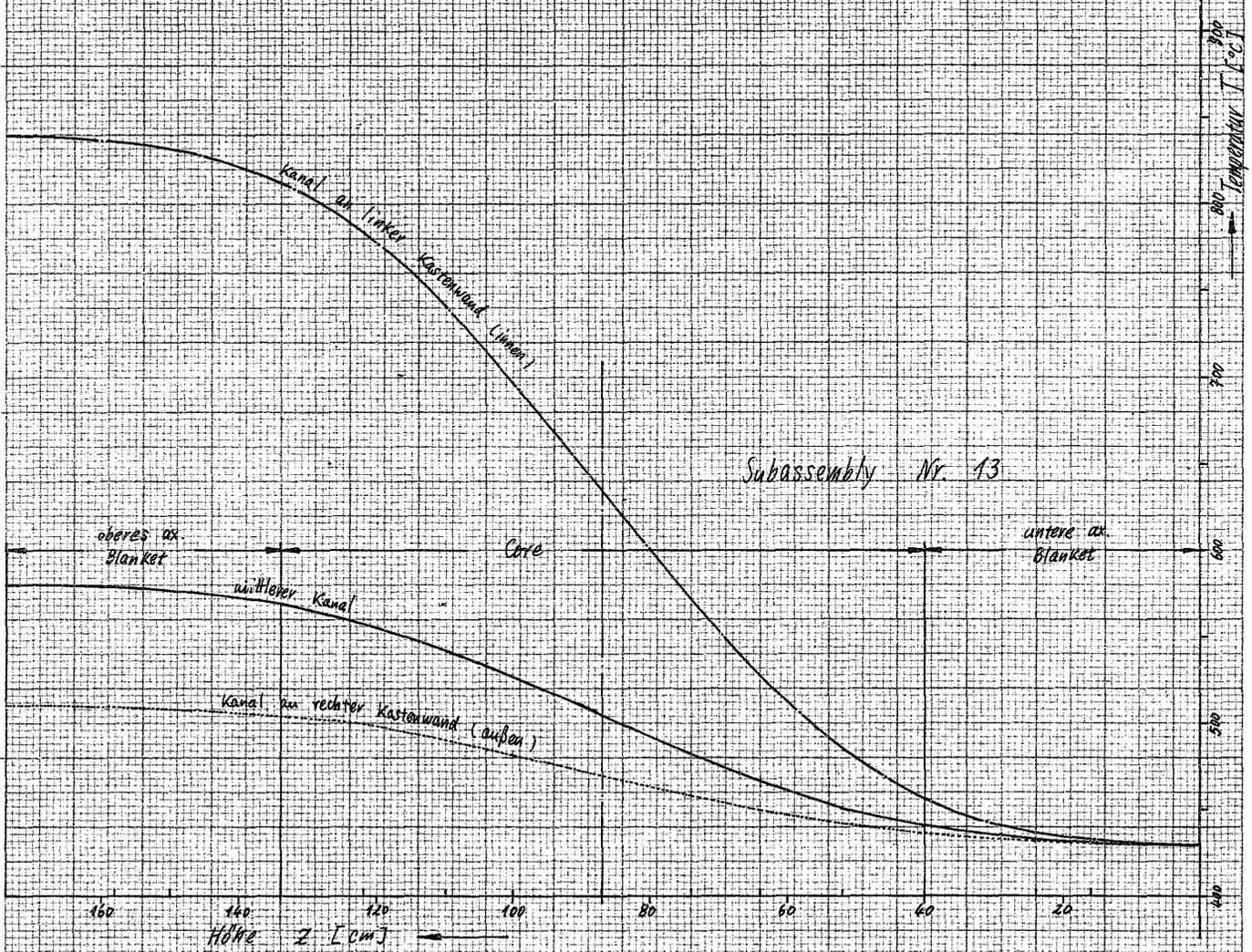


Abb. 5

Axialer Verlauf des radialen Temperaturgradienten dT/dr des Kühlmittels für die Subassemblies Nr. 10 und 13.

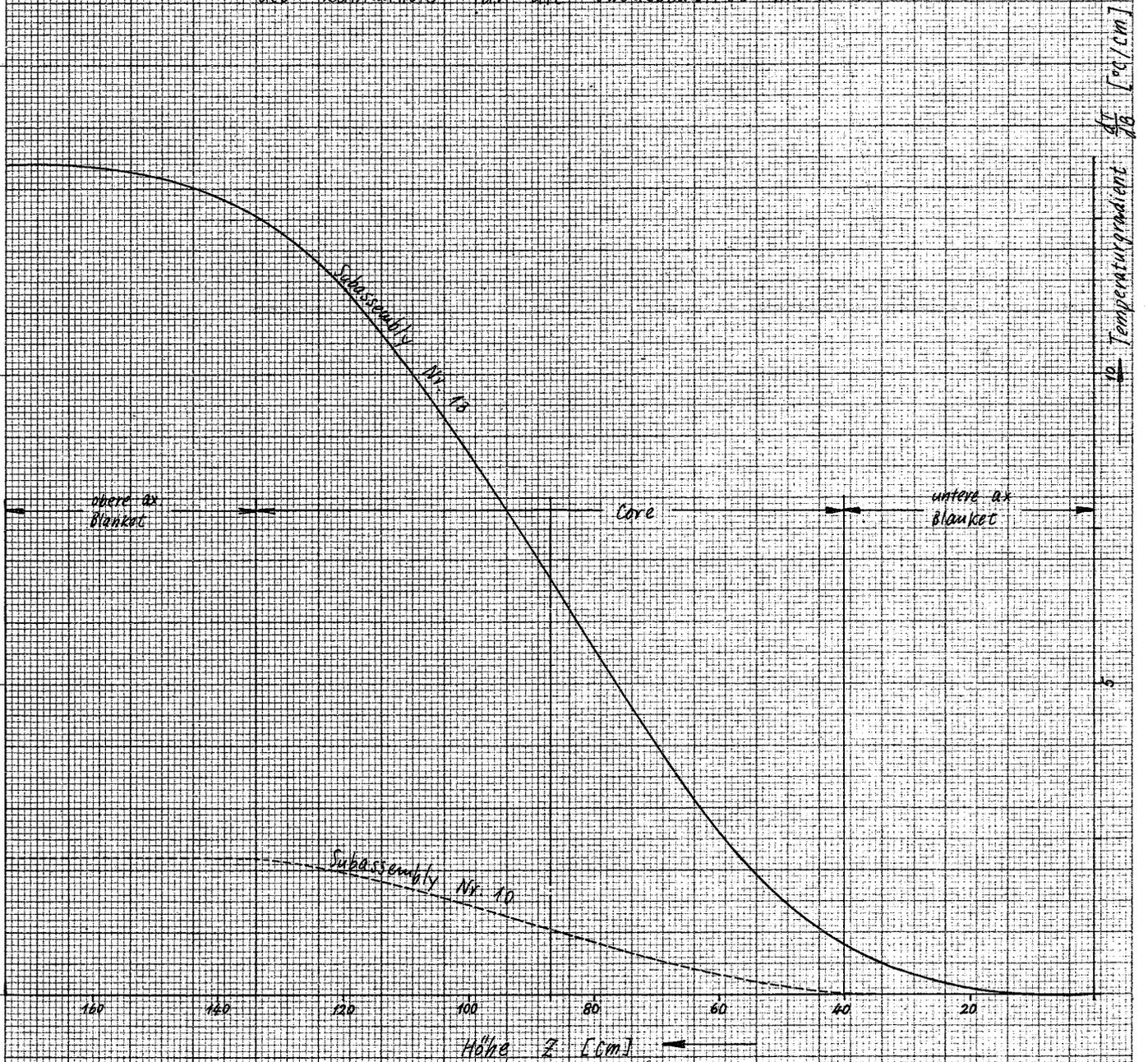


Abb. 6

Schematische Darstellung von Verbiegungszuständen
der Subassemblies Nr. 9 - 13

Maßstab : 5 mm $\hat{=}$ 1 mm

beim Bezugsreaktor

freie Verbiegung ohne mögliches Anliegen von Subassemblies
an anderen Stellen als an den Fixierstellen

tatsächliche Verbiegung

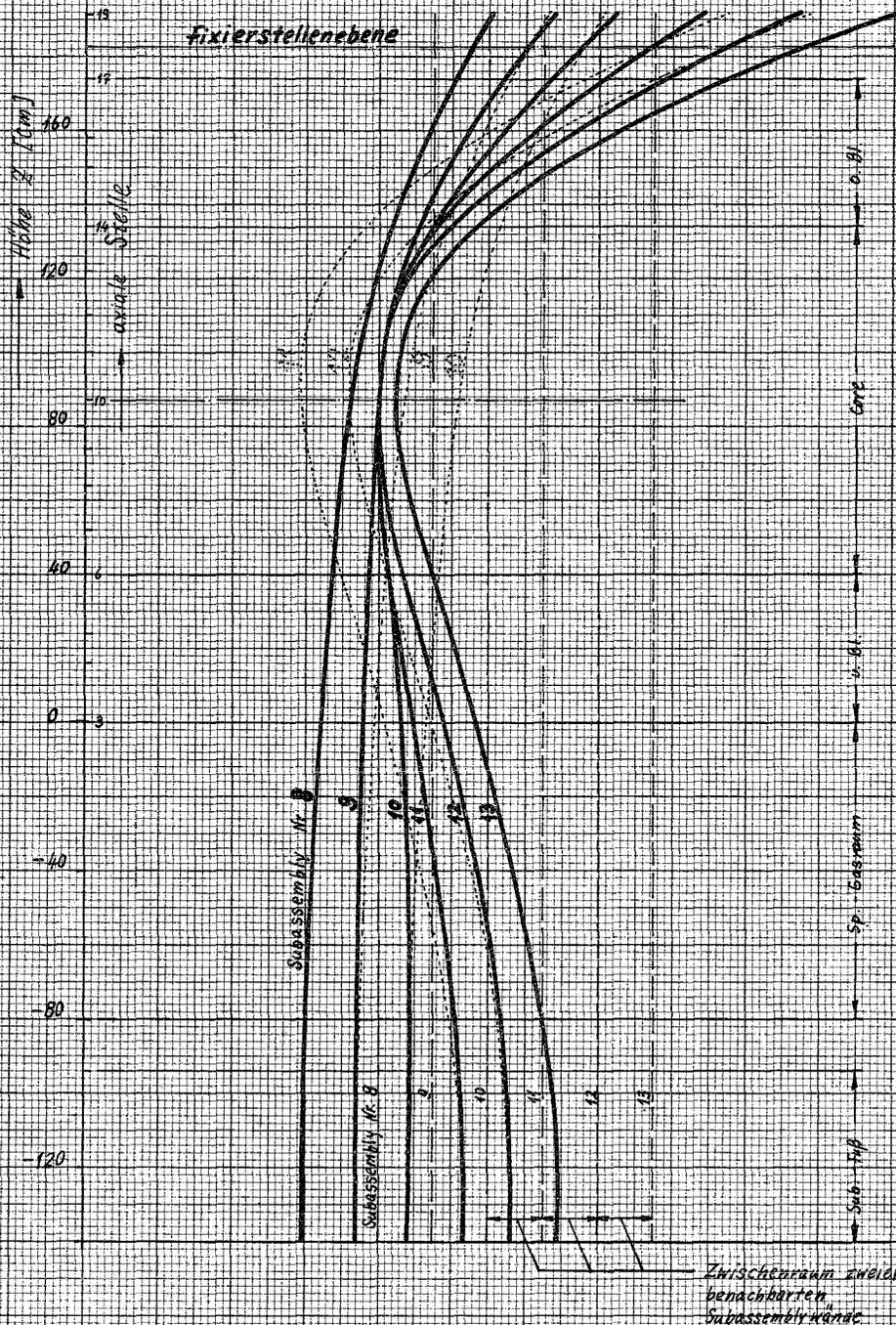


Abb. 7

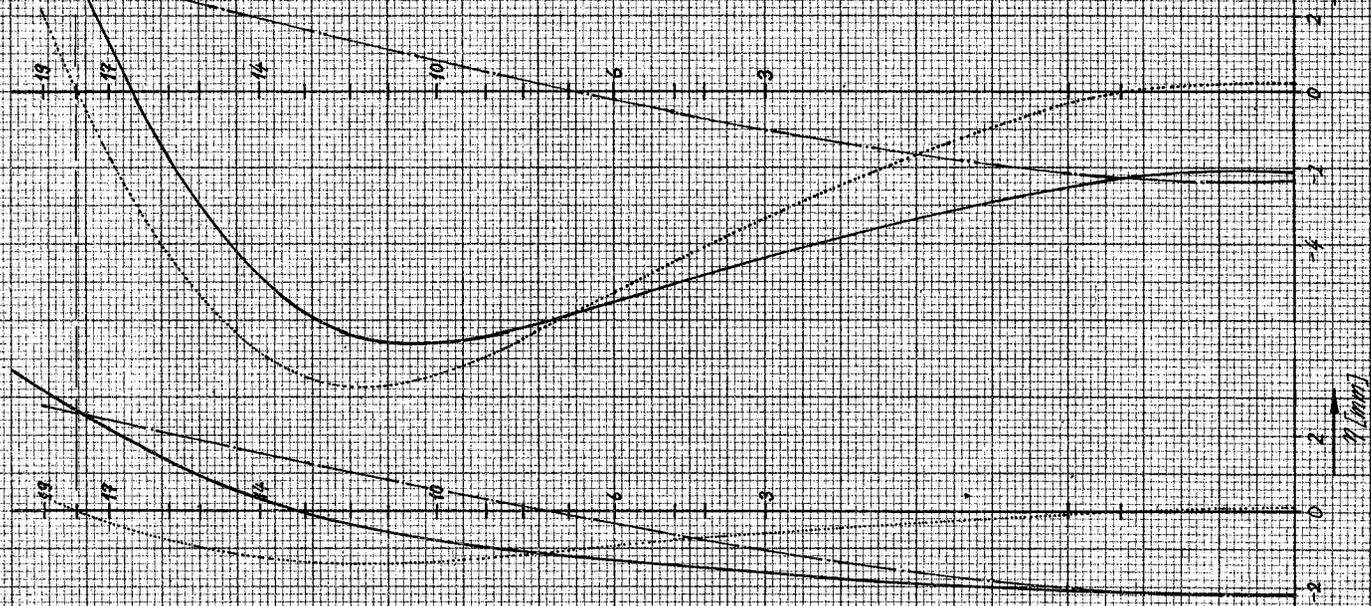
Ausbiegung für die 3 charakteristischen Subassemblies Nr. 10, 11 und 13 des NFA 1 - Reactors bezogen auf Bezugsreaktor (Fixierung an Stelle 18)

— Ausbiegung durch die Kastenversteifung

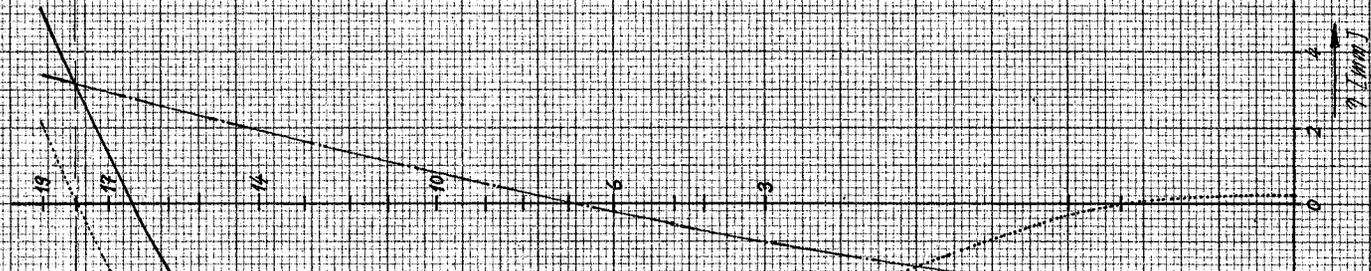
..... Ausbiegung durch den Temperaturgradienten

— resultierende Ausbiegung

Subassembly Nr. 10



Subassembly Nr. 11



Subassembly Nr. 13

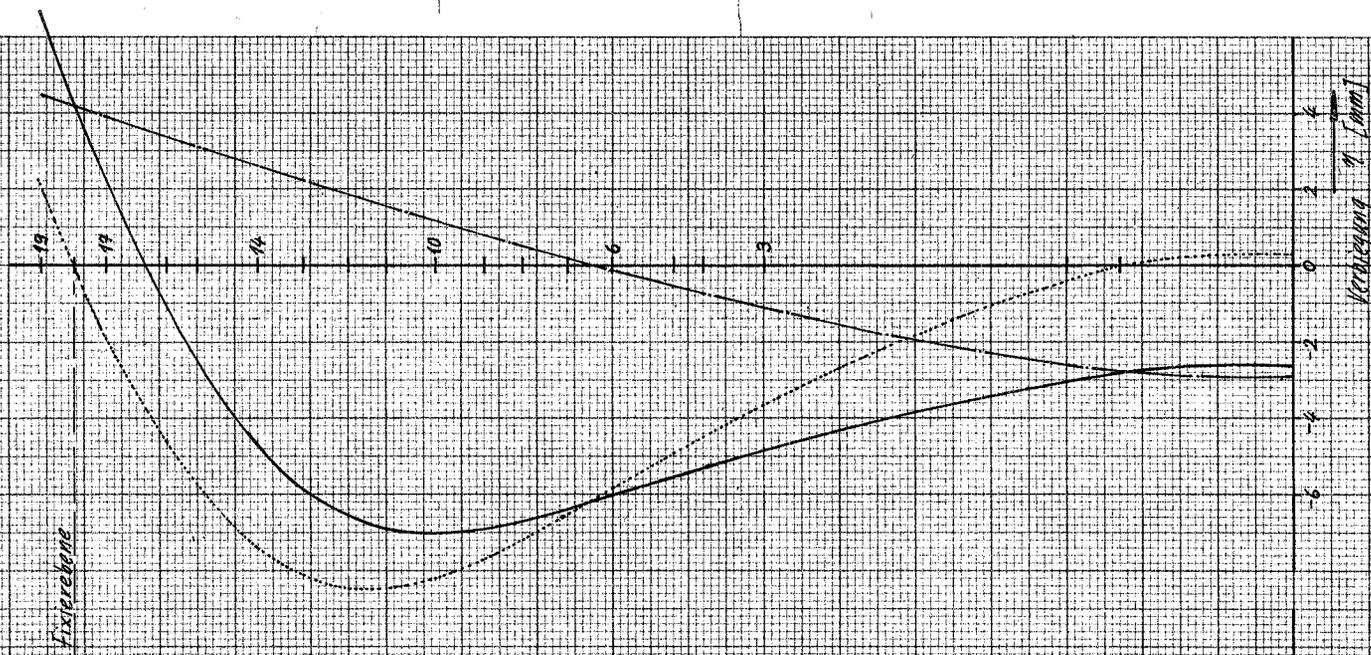


Abb. 8 zeigt die Gegenüberstellung der Gesamtverbiegung für diese 3 Subassemblies. Das Subassembly Nr. 11 verbiegt sich um 6 mm mehr zur Coremitte hin als Subassembly Nr. 10, d.h. es muß in diesem speziellen Falle durch die (Fixier-) Stützscheiben ein Mindestabstand von 6,0 mm gewährleistet werden, wenn sich die Subassemblykästen auf der Ebene der Axialstelle XI (Definition der Abb. 3) nicht berühren sollen. Für alle übrigen Subassemblies genügt der in der Na 1-Studie angegebene Abstand von 1,5 mm. Die maximale Ausbiegung bzw. die maximale Ausfächerung befindet sich mit 13,6 mm bzw. 9,2 mm am obersten Ende des äußersten Blanketsubassemblies Nr. 13.

Die maximale Biegespannung tritt am oberen Auflagerpunkt des Subassemblyfußes auf. Von allen Subassemblies ist sie mit

$$|\sigma| = 657 \text{ [kp/cm}^2\text{]}$$

beim äußersten Blanketsubassembly Nr. 13 am größten. Der Übergang vom unverbogenen Bezugsreaktor zum verbogenen Reaktor bei Nennleistung bedingt einen Reaktivitätsbeitrag von

$$\Delta \rho_{ges} = 1,1536 \cdot 10^{-3} \quad [-]$$

Davon entfallen auf die reine Temperatúrausdehnung der Subassemblykästen auf der Ebene der Fixierstellen:

$$\Delta \rho_T = - 0,43 \cdot 10^{-3} \quad [-]$$

und auf die Temperaturgradienten

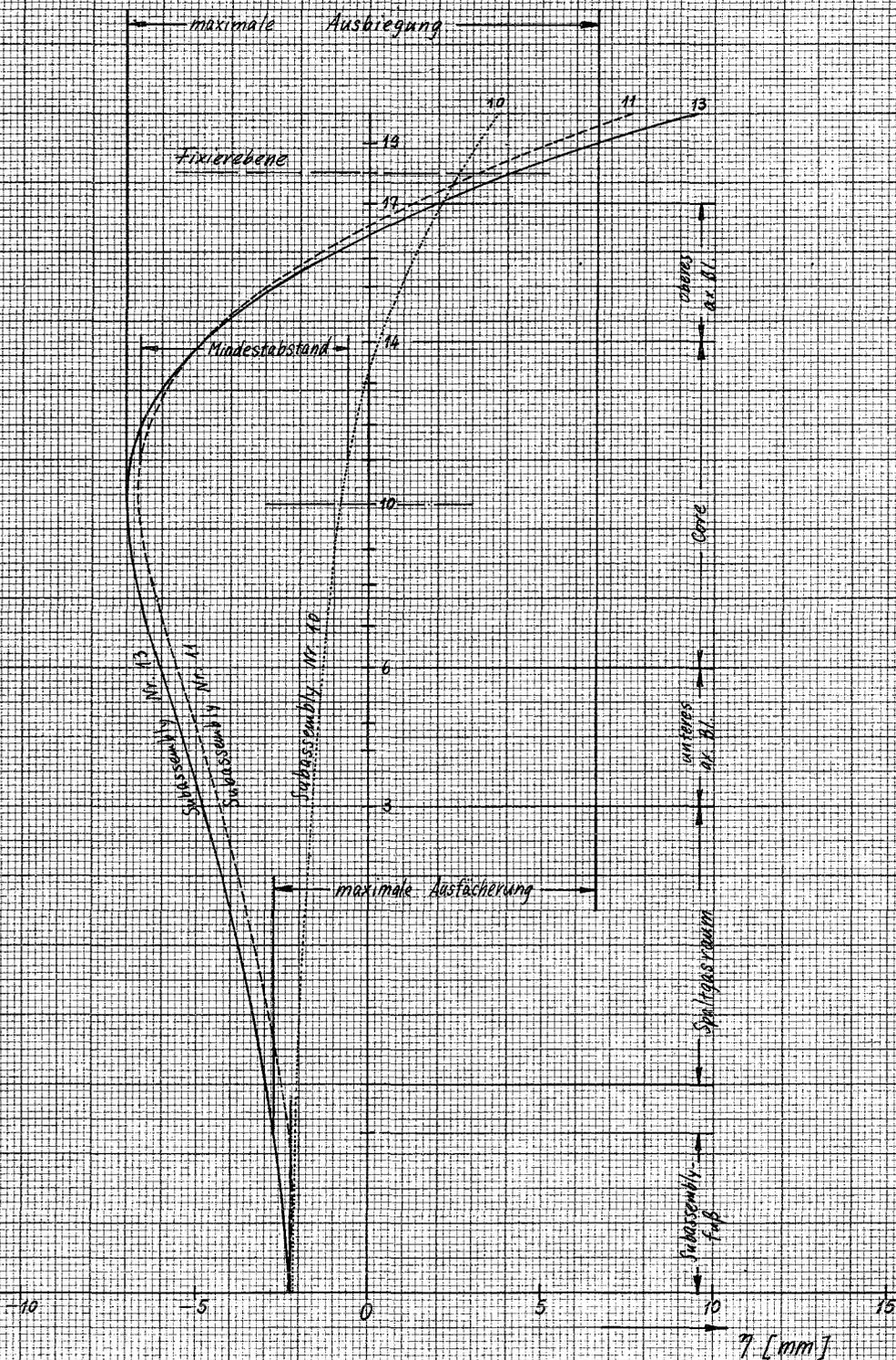
$$\Delta \rho_{Tg} = 1,5836 \cdot 10^{-3} \quad [-]$$

Diese Reaktivitätswerte haben zunächst keine praktische Bedeutung und stellen nur Bezugswerte dar, da alle nachfolgenden Rechnungen ebenfalls auf den fiktiven Bezugsreaktor bezogen werden.

Viel wichtiger ist die Änderung der Reaktivität für beliebige Änderung des Temperatur- und des Temperaturgradientenfeldes. Hier werden jedoch von allen möglichen Störungen des Temperatur- und Tem-

Abb. 8

Gesamtverbiegung der Subassemblyachse für die
3 Subassemblies Nr. 10, 11 und 13 des
NH 1-Reaktors
(eine Fixierung an Stelle 18)



peraturgradientenfeldes vorläufig nur solche behandelt, die sich auf eine einfache Veränderung der Aufheizspanne des gesamten Reaktors zurückführen lassen. die genaue Ermittlung aller übrigen Fälle würde eine Kopplung dieses Programmes mit einem Dynamikprogramm erfordern, welches die Temperaturverteilung für alle Subassemblies während der Exkursion ermittelt.

Es werden also quasistationäre Fälle mit verschiedener Aufheizspanne berechnet; z.B. $T = 130^{\circ} \text{C}$ bzw. 150°C bzw. 170°C . Aus den sich dann ergebenden Reaktivitätswerten, die alle auf den Bezugsreaktor bezogen sind, erhält man einen Reaktivitätskoeffizienten für den Na 1-Reaktor.

$$\left[\frac{d \rho_{\text{ges}}}{d (\Delta T)} \right]_{T=150^{\circ}\text{C}} = - 0,2 \cdot 10^{-5} \quad [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

Dieser Wert teilt sich auf in den Effekt der reinen Ausdehnung der Kästen auf der Ebene der Fixierstellen:

$$\left[\frac{d \rho_T}{d (\Delta T)} \right]_{T=150^{\circ}\text{C}} = - 1,38 \cdot 10^{-5} \quad [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

und den Effekt der Temperaturgradienten

$$\left[\frac{d \rho_{\text{TG}}}{d (\Delta T)} \right]_{T=150^{\circ}\text{C}} = 1,18 \cdot 10^{-5} \quad [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

Der positive Anteil der Temperaturgradienten (Bowingeffect) ist hier beträchtlich; er kompensiert den notwendigen negativen Strukturausdehnungskoeffizienten fast vollkommen.

Die Ergebnisse zeigen:

Für Na 1 führt die Wahl der Fixierstelle 18 (Abb. 3)

a) zu einem zu großen positiven Bowingeffect

- b) zu großen Ausbiegungen der Subassemblies gegeneinander, die einen Mindestabstand von 6 mm zwischen den Subassemblykästen erfordern, wenn ein Berühren der Subassemblies vermieden werden soll. (1,5 mm Abstand bei Na 1 vorgesehen).
- c) die Biegespannungen bleiben in zulässigen Grenzen.

Es liegt nun nahe, eine günstigere Lage der Fixierstelle zu suchen, oder auch mehr als 1 Fixierstelle anzubringen.

3.2 Veränderung der Fixierstellenlage bei Na 1 (1 Fixierstelle)

Für die gleichen Ausgangsdaten und mit den gleichen bereits beschriebenen Methoden wurden nun verschiedene Fälle durchgerechnet, indem die Fixierstelle auf andere Ebenen verschoben wurde. (siehe Abb.3) Die Ergebnisse dieser Rechnungen wurden in den Abb. 9 bis 11 dargestellt. Auf der Ordinate ist jeweils die Höhe der Fixierstellenebene ausgehend vom unteren Blanket angegeben.

Abb. 9 zeigt

- a) die Mindestabstände, die vorhanden sein müssen, damit sich die Subassemblies Nr. 10 und 11 nicht berühren.
- b) die Maximalwerte der Ausbiegung des Subassemblies Nr. 13.
- c) die maximale Ausfächerung des Blanket-Subassemblies Nr. 13 am oberen Ende.

Die erforderlichen Mindestabstände zwischen dem 10. und 11. Subassembly sind umso größer, je höher die Fixierebene wandert. Die maximale Ausbiegung bzw. die maximale Ausfächerung erreichen ihre maximalen Werte, wenn die Fixierebene im Bereich der Axialstelle X bis XII liegt.

Abb. 10 gibt die maximalen Biegespannungen in Abhängigkeit der Höhe der Fixierebene an. Die maximale Biegespannung tritt immer am oberen Ende des Subassemblyfußes des 10. Subassemblies (äußerstes Core-Subassembly) oder des 13. Subassemblies (äußerstes Blanket-Subassembly) auf.

Abb. 9: Verbiegungskennwerte der Subassemblies für
verschiedene Lagen der Fixierebene
($\Delta T = 150^\circ\text{C}$)

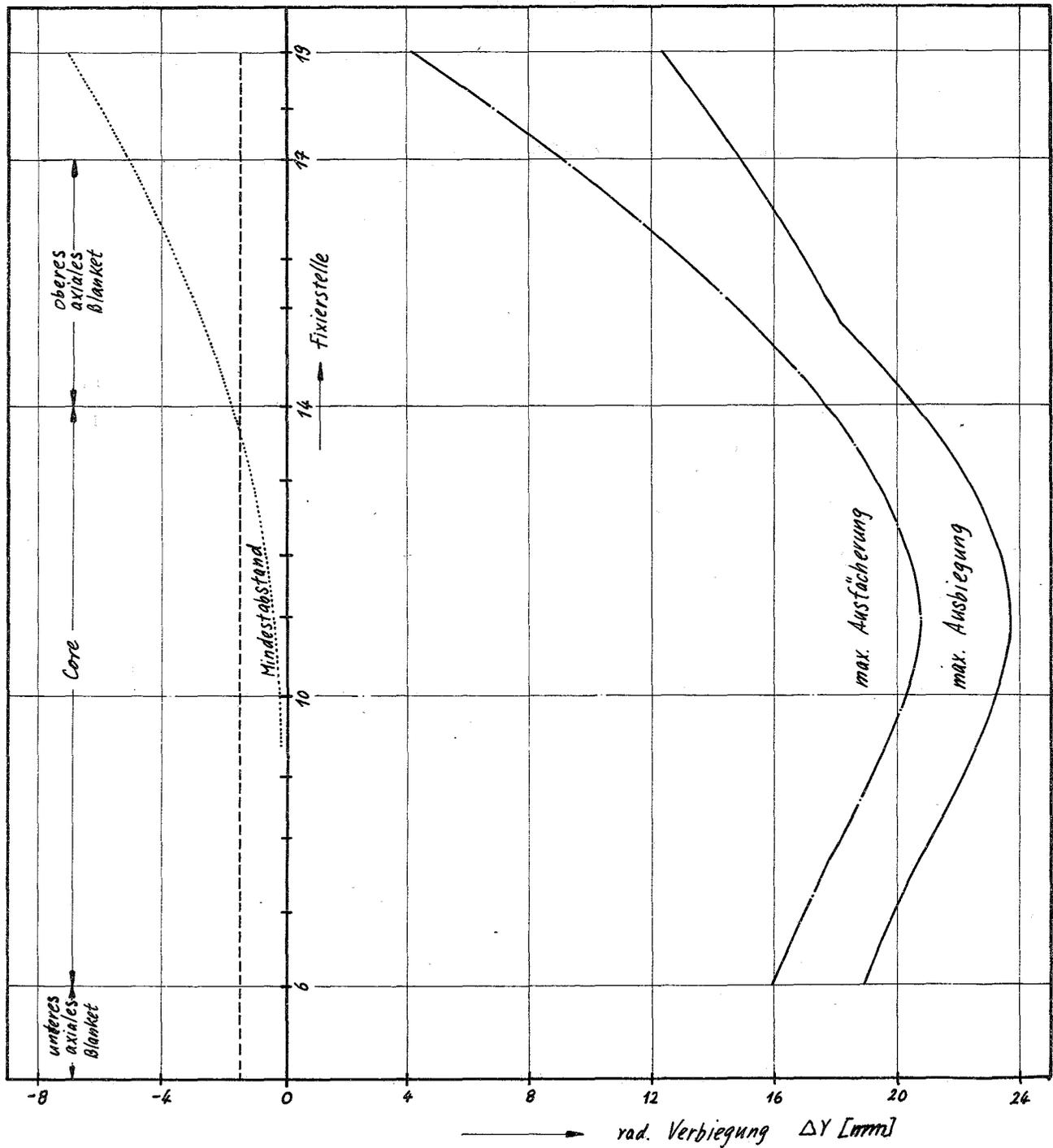


Abb. 10: Maximale Biegespannung im Subassembly Nr. 10 und Nr.13
des Na 1 - Reaktors für verschiedene Lagen der
Fixierebene

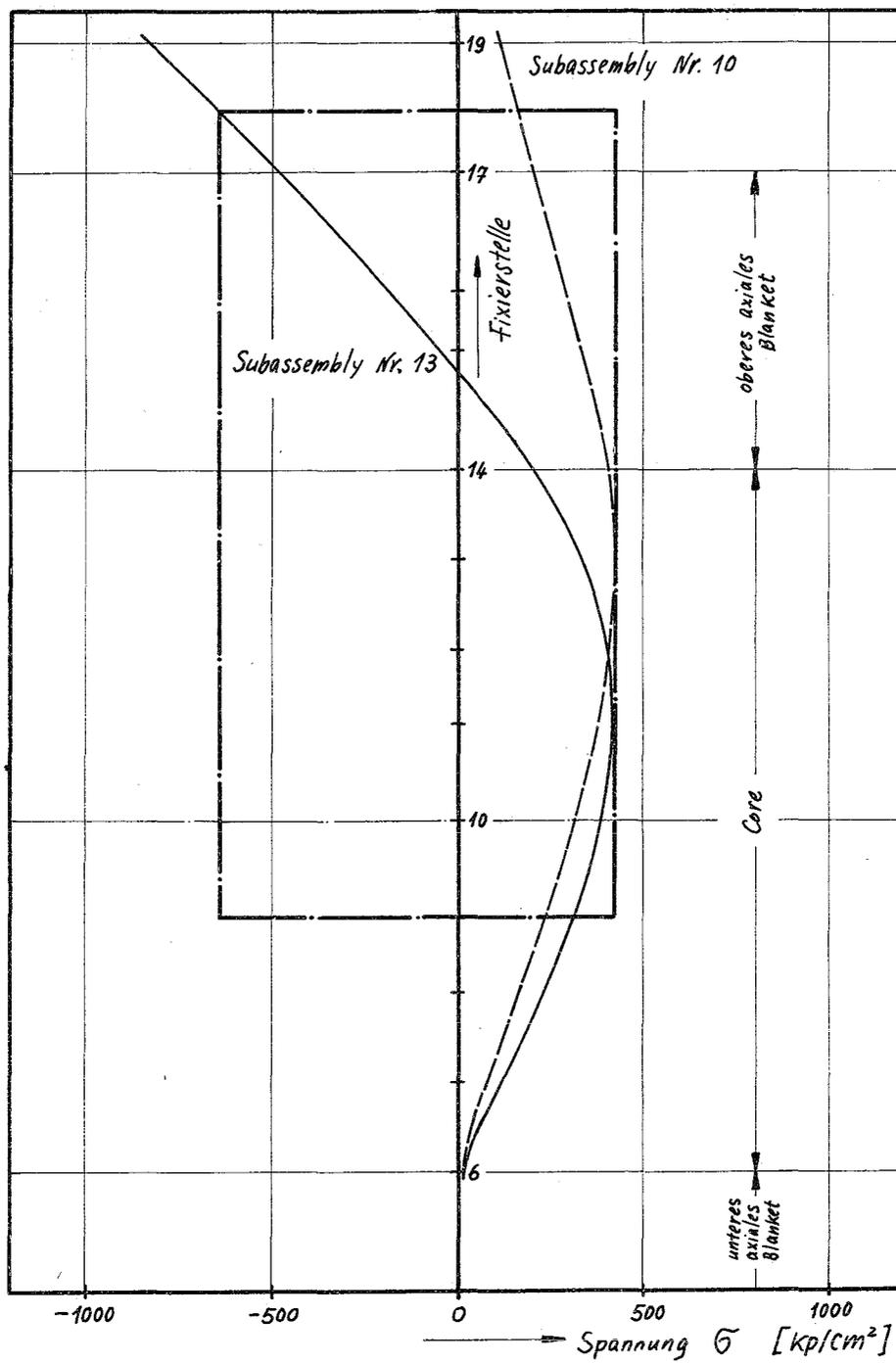
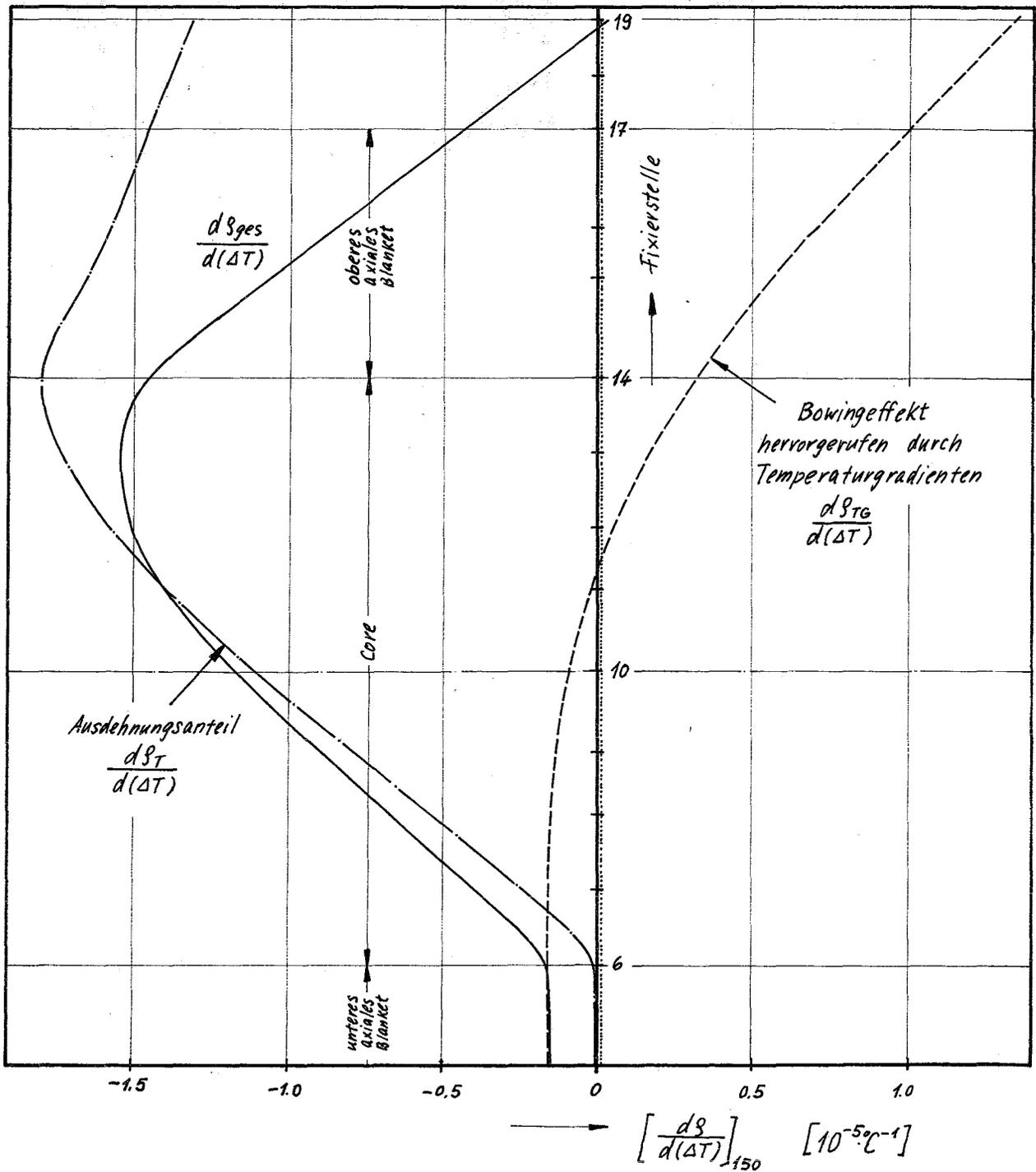


Abb. 11: Reaktivitätskoeffizient bezogen auf die Änderung der Kühlmittelaufheizspanne ΔT für verschiedene Lagen der Fixierebene
(eine Fixierung bei $\Delta T = 150^\circ\text{C}$)



Sie bleibt für alle Höhen der Fixierebenen, die unterhalb der Axialstelle XVIII liegen,

$$\text{d.h. } |\sigma| \leq 640 [\text{kp/cm}^2]$$

Diese Spannungen sind zumutbar.

Diese Spannung beschränkt sich auf die äußere Kastenspannung, während die innere Wandspannung nicht berücksichtigt wurde.

Abb. 11 stellt die Reaktivitätskoeffizienten, bezogen auf die Änderung der Kühlmittelaufheizspanne in Abhängigkeit von der Höhe der Fixierstellenebene, dar.

Die Reaktivitätskoeffizienten werden außerdem in Anteilen für die Ausdehnung der Kästen durch Temperaturerhöhung und für die Temperaturgradienten angegeben. Man erkennt, daß die Fixierstelle XVIII für den Na 1-Entwurf in Bezug auf "Bowingeffect" schlecht gewählt wurde. Für eine Fixierebene XIX würde der positive Anteil des Temperaturgradienten den negativen Anteil der reinen Kastenausdehnung sogar überwiegen, und man erhielte einen positiven Reaktivitätskoeffizienten in Abhängigkeit der Erhöhung der Kühlmittelaufheizspanne.

Günstige negative Reaktivitätskoeffizienten ergeben sich, wenn man die Fixierstelle zwischen den Stellen XI bis XIII anordnet. In diesem Bereich ist der Anteil des "Bowings-Effektes" negativ bzw. so schwach positiv, daß der reine Ausdehnungseffekt überwiegt.

Folgende Schlußfolgerung könnte gezogen werden:

Unter Berücksichtigung der 3 Kriterien

- | | | |
|---|---|--|
| a) erforderliche Mindestabstände | } | müssen in erträglichen Grenzen bleiben |
| maximale Ausbiegung | | |
| maximale Ausfächerung | | |
| b) maximale Biegespannung | | |
| c) negativer Reaktivitätskoeffizient bezogen auf die Änderung der Kühlmittelaufheizspanne muß gewährleistet sein. | | |

würde man die Fixierebene zwischen die Stellen XI und XIV legen.

3.3 Untersuchungen mit 2 Fixierebenen bei Na 1

Es liegt nahe, die gleichen Untersuchungen mit 2 Fixierebenen durchzuführen, um deren Einfluß auf die 3 Kriterien zu ermitteln. Die große Zahl der möglichen Anordnungen läßt sich auf einige konstruktiv interessante Fälle zurückführen.

Es wurden zunächst 3 Fälle untersucht, wobei

- a) die Lage der oberen Fixierstellenebene in der Höhe der 18. Axialstelle gehalten wurde.
- b) die Lage der unteren Fixierstellenebene nacheinander in der Höhe der Axialstellen VIII, X und XIV verlegt wurde.

Es zeigt sich, daß für die drei in Abschnitt 3.2 aufgestellten Kriterien zum Teil günstigere Ergebnisse erzielt werden können (Tabelle 5).

		Dimen- sion	8/18	10/18	14/18
Mindestabstand		mm	2,3	1,4	0,5
maximale Verbiegung		mm	9,1	8,8	8,9
maximale Biegespannung	Blanket	kp/cm ²	1898	2788	4862
	Core	kp/cm ²	135	449	1224
Reaktivitätsän- derung pro °C Aufheizspannen- änderung	$\frac{d\varrho_T}{d(\Delta T)}$	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	- 7,4908	- 10,9295	- 19,1595
	$\frac{d\varrho_{TG}}{d(\Delta T)}$	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	1,916	0,032	- 2,990
	$\frac{d\varrho_{TG}}{d(\Delta T)}$	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	- 5,4718	- 10,7938	- 22,0351

Tabelle 5

Durch die Anordnung der 2 Fixierebenen in der Nähe der axialen Core-mitte (Stelle 8, 10 und 14) wird die Innenverbiegung der Subassemblies infolge der Temperaturgradienten (Bowling-Effekt) wesentlich unterdrückt. Der "Bowling-Reaktivitätskoeffizient" $\frac{d\varrho_{TG}}{d(\Delta T)}$ ist entweder nur schwach positiv oder gar negativ. Die erforderlichen Mindestabstände sind 2,3 mm, d.h. die beim Na 1-Entwurf angenommenen Spalten zwischen

den Subassemblykästen können fast verwirklicht werden. Da die Ausbiegung infolge der Temperaturgradienten nun durch die 2. Fixierstellenebenen in kurzem Abstand gehalten wird, erhöhen sich aber die maximalen Spannungen. Sie überschreiten vor allem für die radialen Blanketsubassemblies weit den zulässigen Bereich.

Wenn man die Vorteile der Anordnung von ^{ZWEI} Fixierebenen trotzdem ausnutzen will, muß man versuchen, die Biegespannungen in den Blanketsubassemblies zu vermindern.

Dies kann geschehen durch:

- a) kleinere Aufheizspanne
- b) Maßnahmen zur Verbesserung der Durchmischung des Kühlmittels
- c) kleinere Schlüsselweite für die Blanketsubassemblies.

Alle diese Vorschläge zielen auf eine Verkleinerung der Temperaturgradienten ab.

3.4 Verschiedene Kühlmittelaufheizspannen

Für den Na 1-Reaktor wurde die Kühlmittelaufheizspanne ΔT im Bereich $0 \rightarrow 300$ [°C] verändert.

In den Abb. 12 a und b wurden die auf den unverbogenen Bezugsreaktor bezogenen Reaktivitätsbeiträge:

ρ_T hervorgerufen durch die Temperaturausdehnung der Subassemblykästen

ρ_{TG} hervorgerufen durch die Temperaturgradienten

in Abhängigkeit der Kühlmittelaufheizspanne aufgetragen. Die Lage der Fixierebene (1 Fixierstellenebene) wurde als Parameter betrachtet. Aus diesen Diagrammen können sofort die Änderungen der Reaktivitätsbeiträge $\Delta \rho_T$ und $\Delta \rho_{TG}$ für eine Änderung der Aufheizspanne abgelesen werden.

Der Übergang von der Aufheizspanne $\Delta T = 0$ (d.h. der Reaktor besitzt eine überall konstante Struktur- und Kühlmitteltemperatur von $T = 430^\circ\text{C}$)

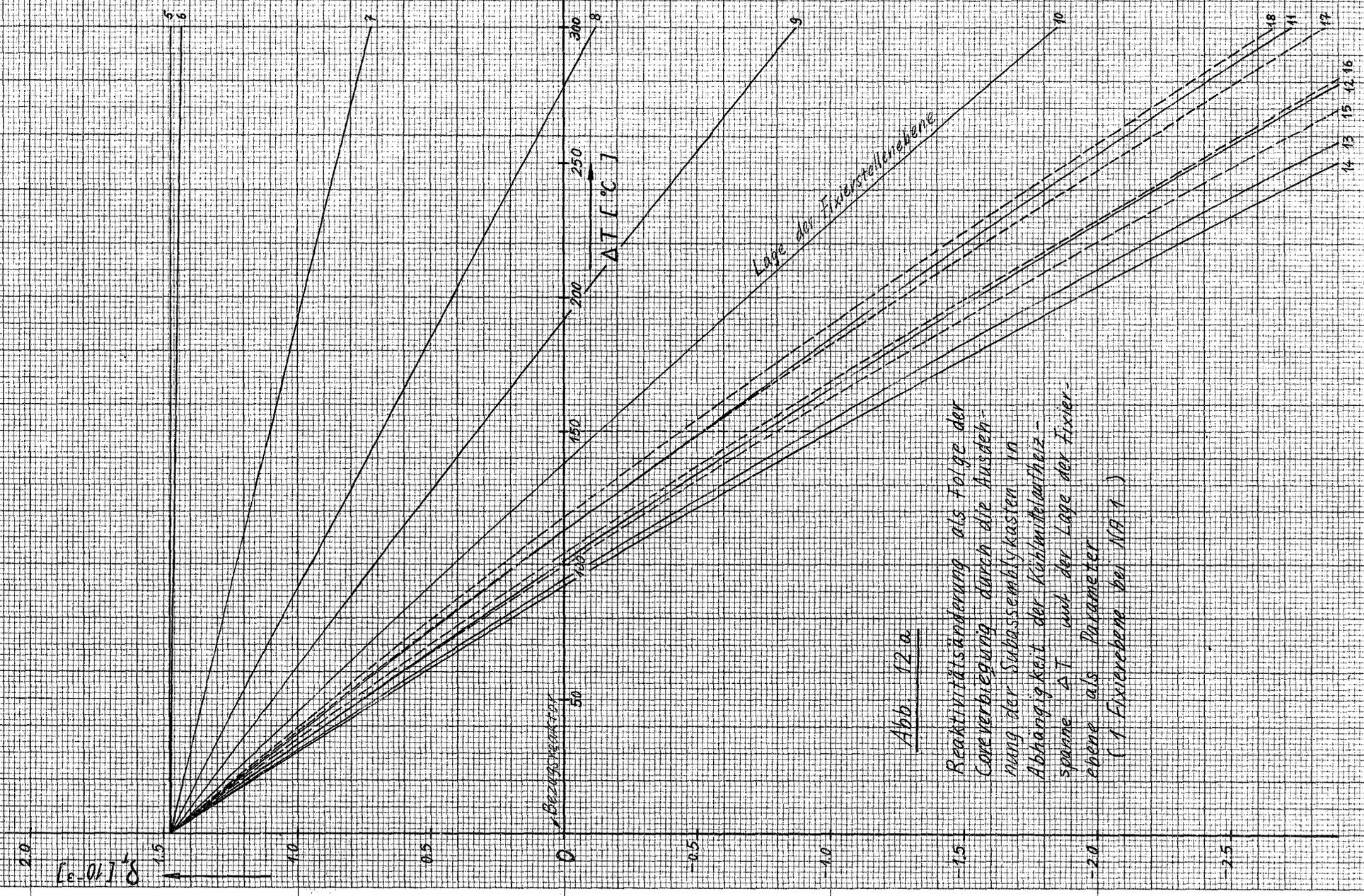


Abb. 12 a

Reaktivitätsänderung als Folge der
 Coreverbiegung durch die Ausdeh-
 nung der Subassemblykasten in
 Abhängigkeit der Kühlmitteltemperat-
 urspanne ΔT und der Lage der Fixier-
 ebene als Parameter
 (1 Fixierebene bei 119.1)

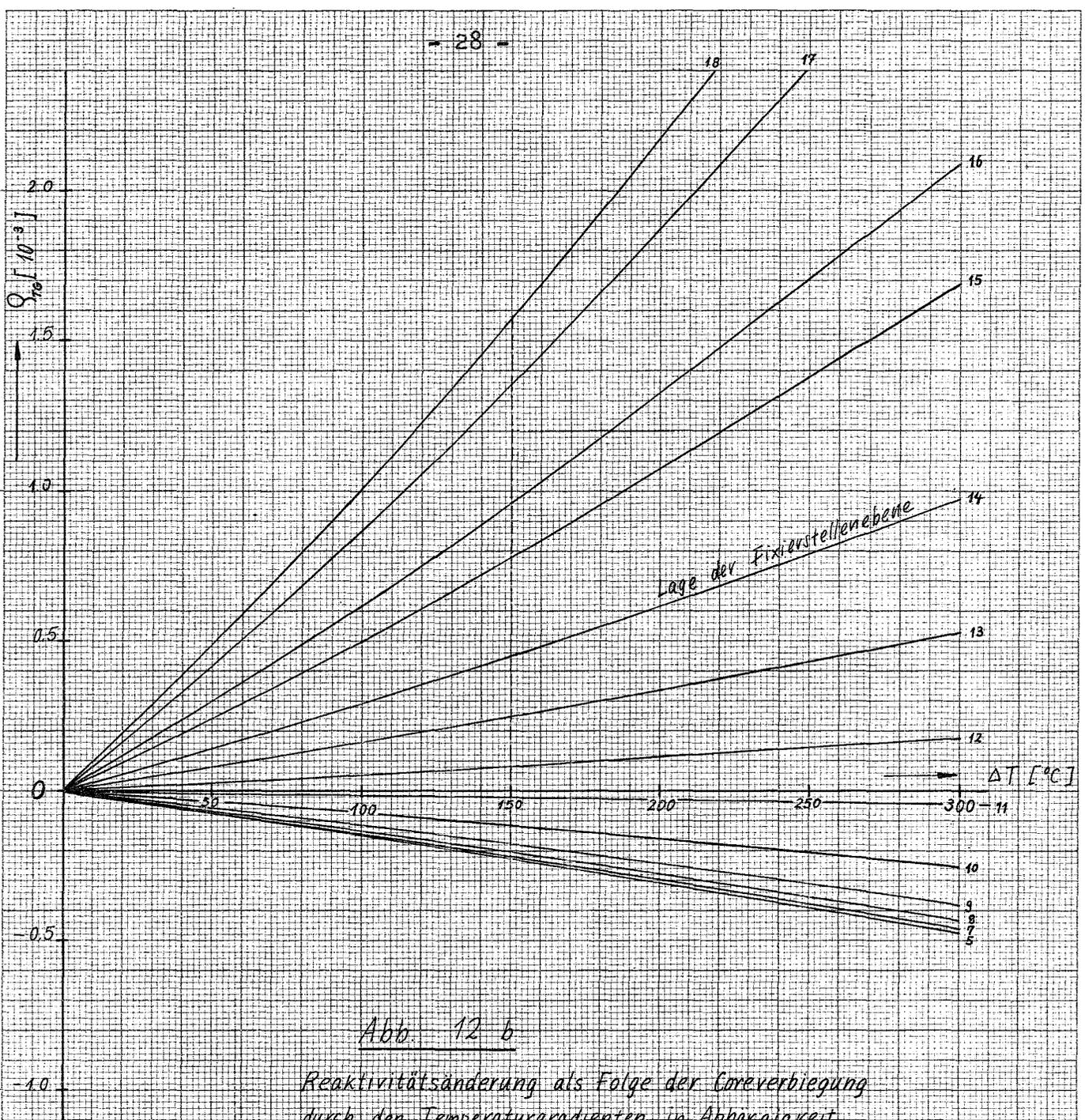


Abb. 12 b

Reaktivitätsänderung als Folge der Coreverbiegung durch den Temperaturgradienten in Abhängigkeit der Kühlmittel aufheizspanne ΔT mit der Lage der Fixierebene als Parameter (1 Fixierebene bei N/A 1)

zur Aufheizspanne $\Delta T = 150$ [°C] bei Nennleistung ergibt z.B.

$$\Delta \vartheta_T = - 1,92 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta \vartheta_{TG} = 1,58 \cdot 10^{-3},$$

wenn die Fixierebene in der Höhe der Axialstelle XVIII liegt. Die auf eine Änderung der Aufheizspanne bezogenen Reaktivitätskoeffizienten:

$$\frac{d\vartheta_T}{d(\Delta T)} \quad \text{und} \quad \frac{d\vartheta_{TG}}{d(\Delta T)}$$

können hieraus direkt als Steigerung dieser Kurven ermittelt werden.

Da die Kurven fast Geraden darstellen, sind die zu ermittelnden Funktionen $\frac{d\vartheta_T}{d(\Delta T)}$ und $\frac{d\vartheta_{TG}}{d(\Delta T)}$ in Abhängigkeit der Lage der Fixierebenen für jede Aufheizspanne im wesentlichen gleich und können im gesamten Bereich $T = 0 \rightarrow 300$ [°C] durch die bereits in Abschnitt 3.2 diskutierte Abb. 11 wiedergegeben werden.

Die Kurven der Abb. 12 a und b wären exakte Geraden, wenn die Stoffgrößen während der Rechnungen konstant über die Temperatur gehalten worden wären. Die maximalen Ausbiegungen und Spannungen würden als Funktion der Aufheizspanne - wie die Rechenergebnisse zeigen - ebenfalls geradenähnliche, nur schwach gekrümmte Kurven ergeben. Da die Ausbiegungen und Biegespannungen sich für $\Delta T = 0$ einen Wert 0 ergeben, können die in den Abb. 9 und 10 für $\Delta T = 150$ [°C] angegebenen Werte dazu benutzt werden, die Ausbiegungs- und Spannungswerte für verschiedene ΔT zwischen 0 [°C] und 300 [°C] linear zu interpolieren bzw. zu extrapolieren.

Es zeigt sich aus diesen Ergebnissen, daß die optimale Lage der Fixierebenen (1 Fixierung) zwischen den XI. und XIII. Axialstellen zu finden ist. Entsprechend können auch die Ergebnisse aus Abschnitt 3.3 mit 2 Fixierstellenebenen auf diese Untersuchung übertragen werden.

4. Verschiedene Subassembly-Schlüsselweiten

Alle bisher in Kapitel 3 beschriebenen Berechnungen wurden außer für die Subassembly-Schlüsselweite 18 cm (Na 1-Reaktor) auch für die 2 weiteren Subassembly-Schlüsselweiten 12 cm und 9 cm durchgeführt und die Ergebnisse nach den in Abschnitt 3.2 aufgestellten Kriterien ausgewertet. (Abb. 13 bis 15).

4.1 Veränderliche Lage der Fixierstellenebene (1 Fixierebene)

a) Verbiegungskennwerte (Abb. 13)

Für die maximale Ausbiegung, die maximale Ausfächerung und die erforderlichen Mindestabstände erzielt man geringfügige Verbesserungen, wenn man auf kleinere Subassembly-Schlüsselweiten übergeht.

b) Maximale Biegespannung (Abb. 14)

Die maximalen Biegespannungen werden stark herabgedrückt. Eine Halbierung der Subassembly-Schlüsselweite ergibt z.B. eine um 60 - 65 % geringere maximale Biegespannung.

c) Reaktivitätskoeffizienten (Abb. 15)

Die auf die Änderung der Kühlmittelaufheizspanne bezogenen Reaktivitätskoeffizienten ändern sich, wie zu erwarten war, kaum.

4.2 Veränderliche Lage der Fixierstellenebenen (2 Fixierebenen)

Auch hier gilt, wie in Abschnitt 4.1, daß sich sowohl die Reaktivitätskoeffizienten als auch die Verbiegungskennwerte in Abhängigkeit von der Subassembly-Schlüsselweite nur geringfügig ändern.

Diese Ergebnisse werden daher nicht alle mitgeteilt.

Dagegen ändert sich die maximale Biegespannung, wie auch in Abschnitt 4.1, beträchtlich.

Abb. 13 : Verschiebungskennwerte der Subassemblies in
Abhängigkeit der Lage der Fixierebene für verschiedene
Subassemblieschlüsselweiten
(bei $\Delta T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)

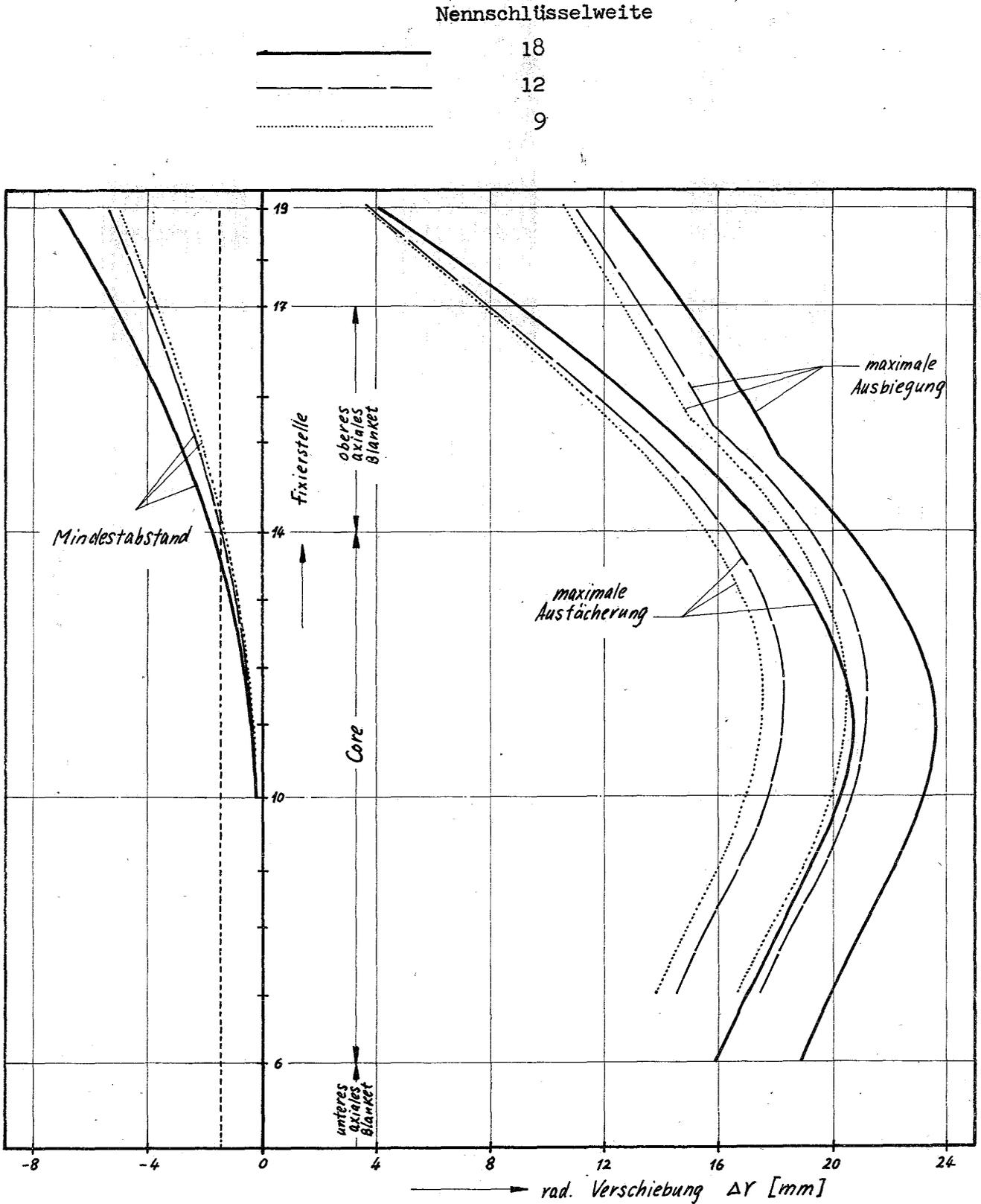


Abb. 14: Maximale Biegespannung im äußersten Core- bzw. innersten Blanket-Subassembly in Abhängigkeit der Lage der Fixierebene für verschiedene Subassemblyschlüsselweiten ($\Delta T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)

Nennschlüsselweite

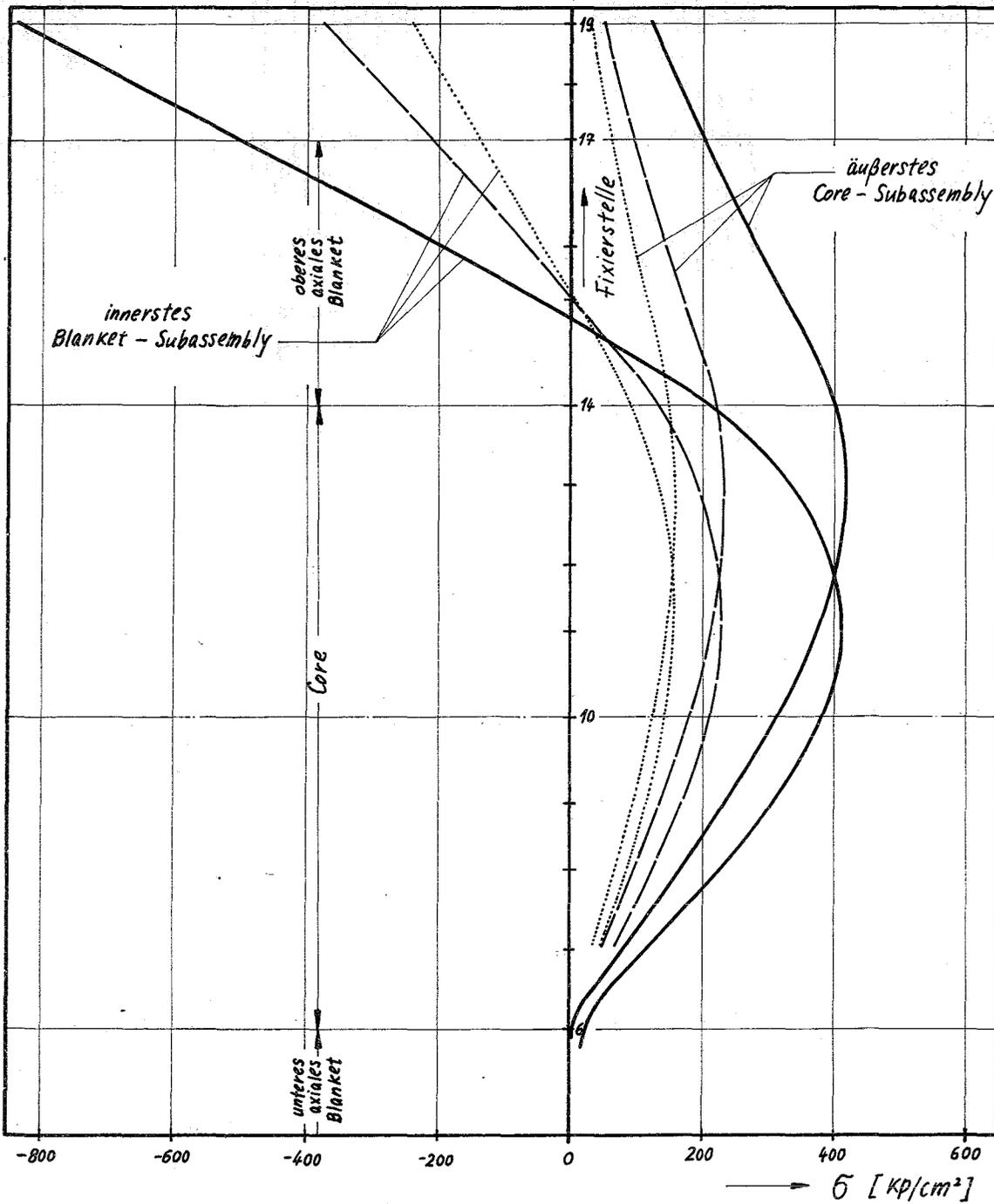
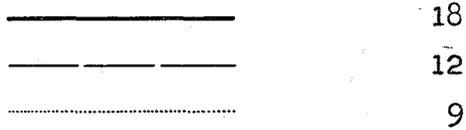
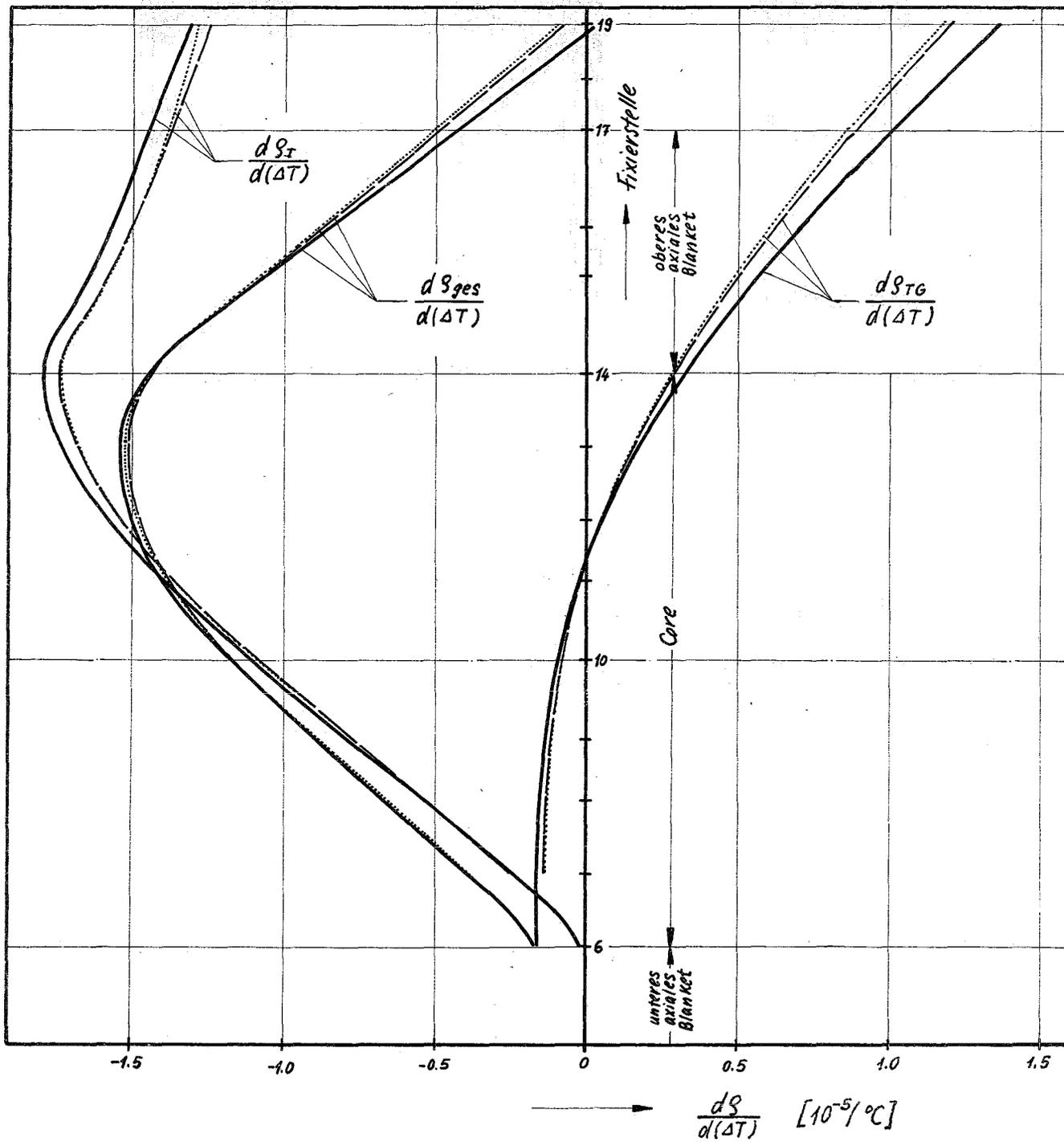


Abb. 15: Reaktivitätskoeffizient bezogen auf die Änderung der Kühlmittelaufheizspanne ΔT in der Abhängigkeit der Lage der Fixierebene für verschiedene Subassembly-schlüsselweiten

Nemmschlüsselweite

—————	18
— · — · —	12
·····	9



		Dimen- sion	Schlüs- selweite	Lage der Fixierebenen		
				8/18	10/18	14/18
Mindestabstand		mm	18	2,3	1,4	-
			9	1,7	1,1	-
Biege- spannung	Core	kp/cm ²	18	135	449	1224
			9	72	218	466
	Blan- ket		18	1898	2788	4862
			9	772	1178	1649

Tabelle 6

Eine Halbierung der Subassembly-Schlüsselweite vermindert die maximale Biegespannung um 60 - 65 %.

5. Zusammenfassung

Es wurde zunächst gezeigt, daß die Core-Konstruktion des Na 1-Reaktors eines starken positiven Bowing-Reaktivitätskoeffizienten ergibt, der den großen negativen Ausdehnungseffekt fast aufzehrt. Man erhält außerdem einen zu großen "erforderlichen Mindestabstand" von 6 mm, während die maximalen Biegespannungen und die maximale Ausbiegung und Ausfächerung in erträglichen Grenzen bleiben. Die inneren Wärmespannungen in der Kastenwand übersteigen dabei jedoch die zulässigen Grenzwerte. (Die genauen Zahlen wurden nicht angegeben).

Einen sehr kleinen positiven Bowing-Reaktivitätskoeffizienten erhält man, wenn die Fixierstellenebene zwischen den Ebenen der Axialstellen XI und XIV gelegt wird.

Die maximalen Biegespannungen und die Verbiegungskennwerte wie maximale Ausbiegung usw. bleiben dabei in zulässigen Grenzen. Will man sowohl den Bowing-Reaktivitätskoeffizienten als auch die Verbiegungskennwerte weiter verbessern, so muß man zu 2 Fixierebenen übergehen. Allerdings werden nun die maximalen Biegespannungen sehr hoch.

Diesen Nachteil kann man jedoch ausgleichen, indem man zu kleineren Schlüsselweiten der Subassemblies und vor allem im radialen Blanket zu kleineren Aufheizspannen übergeht. Dadurch (sowohl kleinere Schlüsselweite als auch kleinere Aufheizspanne) werden gleichzeitig auch die inneren Wärmespannungen vermindert.

Drei Operationsmöglichkeiten:

- a) der Übergang zu zwei und mehreren Fixierebenen
- b) verschiedene Schlüsselweiten
- c) verschiedene Aufheizspannen

sind voneinander unabhängig.

Literaturverzeichnis:

- [1] Yong-Su, HOANG:
Strukturausdehnungs- und Verbiegungseffekte im Schnellen
Reaktor, Teil I, Theoretische Überlegungen
KFK-Bericht , Jan. 1967
- [2] Yong-Su, HOANG:
Strukturausdehnungs- und Verbiegungseffekte im Schnellen
Reaktor, Teil II, Programmbeschreibungen
KFK-Bericht
- [3] D. Smidt et al.:
Referenzstudie für den natriumgekühlten schnellen Brut-
reaktor (Na 1)
KFK-Bericht Nr. 299 (PSB-Bericht Nr. 122), 1964
- [4] Tobias and Fowler:
Twenty Grand Program for the numerical solution of few-group
neutron diffusion equations in two dimensions,
ORNL 3200, Feb. 1962
- [5] F. Storrer:
Courbes d'influence pour le calcul de l'effet des distorsions
de la structure sur la reactivite,
Physics of fast and intermediate Reactors, Proceedings of the
Seminar on the physics of fast and intermediate reactors,
IAEA-Conference, Vienna 1961
- [6] Chaumont and Koerner:
2 D-Pert (A two-dimensional perturbation code),
ANL 6555, May 1962
- [7] Timischenko and Coodier:
Theory of Elasticity, 1951
Second Edition, International student edition New York,
Toronto, London/Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
TOKYO, Kogakusha Company, Ltd.

- [8] Szabo':
Einführung in die Technische Mechanik, 4. Aufl., 1959
Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg
- [9] Szabo':
Höhere Technische Mechanik, 2. Aufl., 1958
Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg
- [10] Hütte I, 28. Aufl., 1955
Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin
- [11] Dubbel I, Aufl., 19
Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg
- [12] H. Wolf:
Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate
Hanseatische Verlagsanstalt GmbH., Hamburg
- [13] Programming System, IBM 7070, 270562-0
Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe
- [14] Sammlung von Programmbeschreibungen für IBM 7074
Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe