

Lithium und Flibe als Kühlmittel  
für Fusionsreaktor-Blankets

W. Dänner

IPP 4/97

June 1972

**MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK**

**GARCHING BEI MÜNCHEN**



# MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

## Lithium und Flibe als Kühlmittel für Fusionsreaktor-Blankets

W. Dänner

Abstract

IPP 4/97

June 1972

Lithium and flibe which were both proposed as coolants for thermonuclear reactor blankets are different not only in view of their neutronic behavior but also in view of their thermohydraulic properties.

The thermal properties of both coolants are summarized and compared with those of the today well-known sodium. The heat transport properties reveal as superior to those of sodium. The influence of strong magnetic fields upon the flow conditions and the heat transfer characteristics are pointed out.

Pumping losses and pumping power turn out as of mainly hydrodynamic nature in the case of flibe whereas they are essentially determined by viscosity losses in the case of lithium and sodium.

The differences of temperature and pressure drop characteristics in a cooling channel are discussed for the case of coupling it to a steam thermal power cycle.

*Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.*

### Abstract

Lithium and flibe which were both proposed as coolants for thermonuclear reactor blankets are different not only in view of their neutronic behavior but also in view of their thermohydraulic properties.

The thermal properties of both coolants are summarized and compared with those of the today wellknown sodium. The heat transport properties reveal as superior to those of sodium. The influence of strong magnetic fields upon the flow conditions and the heat transfer characteristics are pointed out.

Pumping losses and pumping power turn out as of mainly hydrodynamic nature in the case of flibe whereas they are essentially determined by MHD-pressure losses in the case of lithium and sodium.

The differences of temperature and pressure drop characteristics in a cooling channel are discussed for the case of coupling it to a steam thermal power cycle.

Kurzvortrag anlässlich der Reaktortagung 1972 des Deutschen  
Atomforums in Hamburg

1. Einführung

Das Blanket eines Fusionsreaktors, der zu gleichen Teilen mit Deuterium und Tritium als Brennstoff betrieben wird, hat die Aufgaben, neues Tritium zu erbrüten und die kinetische Energie der bei der Fusionsreaktion entstehenden schnellen Neutronen in Wärme umzuwandeln. Diese Wärme muß aus der Moderators substanz entfernt und einem Wärmekraftprozeß zugeführt werden.

Die bis heute bekannt gewordenen Konzepte für die Blanket- auslegung sehen ausnahmslos flüssige Moderatoren vor, die entweder gleichzeitig als Träger der Wärmeenergie zum Kraft- werksprozeß benutzt werden oder ihre Energie an ein sekundäres Kühlmittel übertragen [1].

Im folgenden soll versucht werden die Probleme zu erläutern, die im Falle einer direkten Kühlung des Blankets durch den Mo- derator auftreten.

Als Moderator kommt vorwiegend metallisches Lithium, aber auch die Salzschnmelze  $2\text{LiF}-\text{BeF}_2$ , die unter dem Namen "Flibe" be- kannt wurde, in Betracht, deren Tritium-Bruteigenschaften je- doch denen metallischen Lithiums unterlegen sind. Daneben exi- stiert noch der Vorschlag, ein Gemisch aus Natrium und Lithium zu verwenden, dessen Lithiumgehalt allerdings so gering ist, daß man es im Hinblick auf seine Kühleigenschaften wie reines Natrium behandeln kann. Obwohl dieser Vorschlag aus verschie- denen Gründen seine ursprüngliche Aktualität wieder verloren hat, soll er in diesem Zusammenhang doch mit erwähnt werden, um damit den Vergleich mit einem heute bereits weitgehend be- kannten Kühlmittel zu ermöglichen.



## 2. Stoffwerte

Grundlage für die Ermittlung der Kühleigenschaften bilden die thermischen Stoffdaten, im wesentlichen die Dichte, spez. Wärme, Wärmeleitfähigkeit, Viskosität und, abgeleitet aus diesen Größen, die Prandtl-Zahl; dazu kommt im Falle der Kühlung des Fusionsreaktor-Blankets noch die wichtige Eigenschaft der elektrischen Leitfähigkeit.

In den Abbildungen 1 bis 6 sind diese Eigenschaften dargestellt, so wie sie im wesentlichen in den Veröffentlichungen von FREUND [2] und CANTOR [3] angegeben sind. Sie sind jeweils aufgetragen über der Temperatur und zwar im gesamten Bereich zwischen Schmelz- und Siedepunkt. Die Schmelzpunkte sind ca.  $98^{\circ}\text{C}$  für Natrium,  $180^{\circ}\text{C}$  für Lithium und ca.  $440^{\circ}\text{C}$  für Flibe; die Siedepunkte entsprechend  $890^{\circ}\text{C}$ , ca.  $1330^{\circ}\text{C}$  bzw.  $1430^{\circ}\text{C}$ .

Die Dichte von Lithium (Abb. 1) beträgt danach nur etwa die Hälfte der von Natrium, Flibe ist hingegen etwa doppelt so schwer.

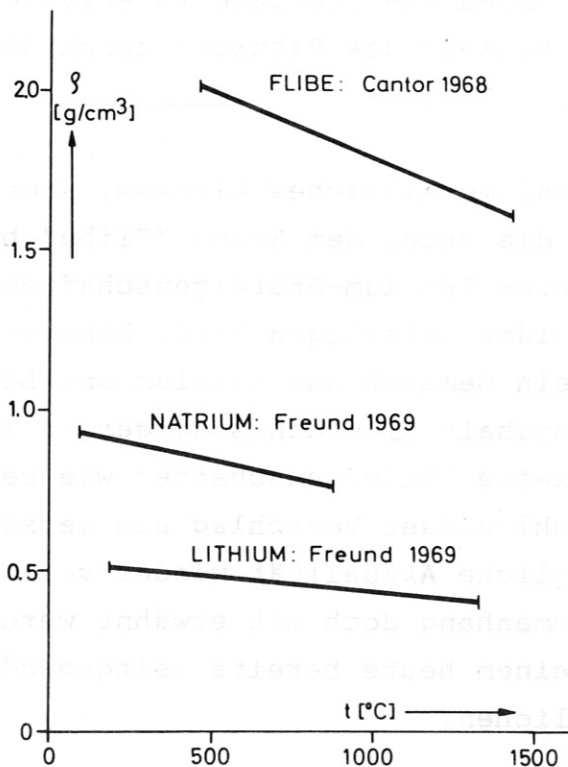


Abb. 1  
Dichte von Fusionsreaktor-  
Kühlmitteln

Die spezifischen Wärmen (Abb. 2) sowohl von Flibe als auch von Lithium sind höher als die von Natrium. Das Temperaturverhalten bei Lithium entspricht, trotz teilweise unterschiedlicher Messungen, in etwa dem beim Natrium. Bei Flibe ist eine Temperaturabhängigkeit innerhalb der Meßgenauigkeit nicht festgestellt worden.

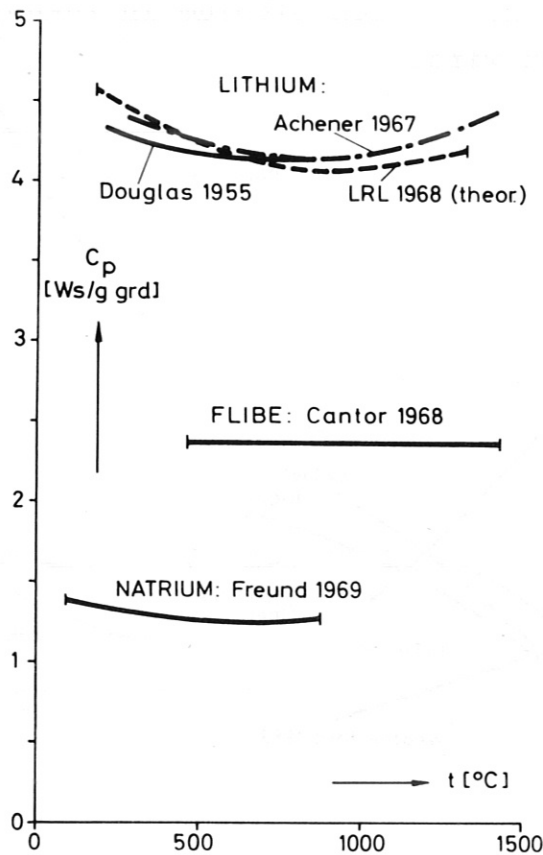


Abb. 2

Spez. Wärme von Fusionsreaktor-Kühlmitteln



Das gleiche gilt bei Flibe auch für die Wärmeleitfähigkeit (Abb. 3), die mit ca. 0,01 W/cm grd etwa 1,5 Größenordnungen unterhalb der der beiden Flüssigmetalle liegt. Bezüglich Lithium gehen die experimentellen Ergebnisse der bisher bekanntgewordenen Arbeiten noch ziemlich weit auseinander. Eine neuere Untersuchung von GROSSE [4] gibt den auf theoretischer Grundlage ermittelten Verlauf an, wie er durch die gestrichelt gezeichnete Linie dargestellt ist. Diese Theorie ergibt für andere Metalle im flüssigen Zustand, auch für Alkalimetalle, eine recht gute Übereinstimmung mit experimentellen Werten. Es bleibt abzuwarten, ob sich Lithium in Zukunft noch dieser Theorie unterwerfen wird.

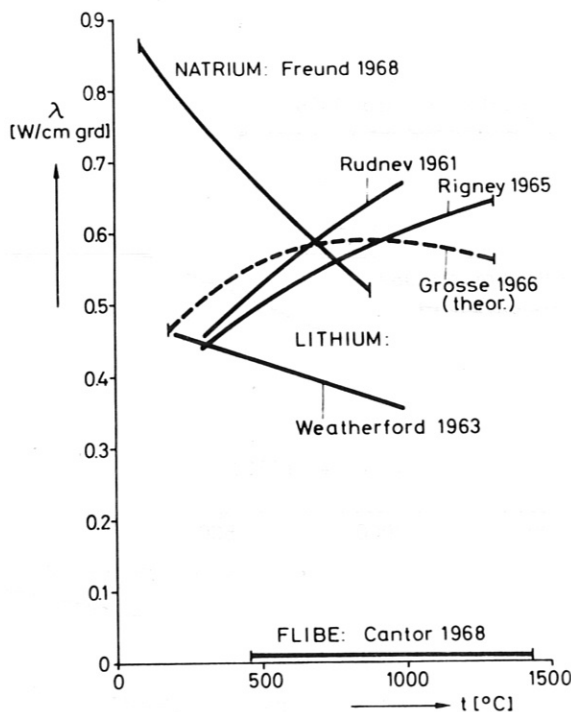
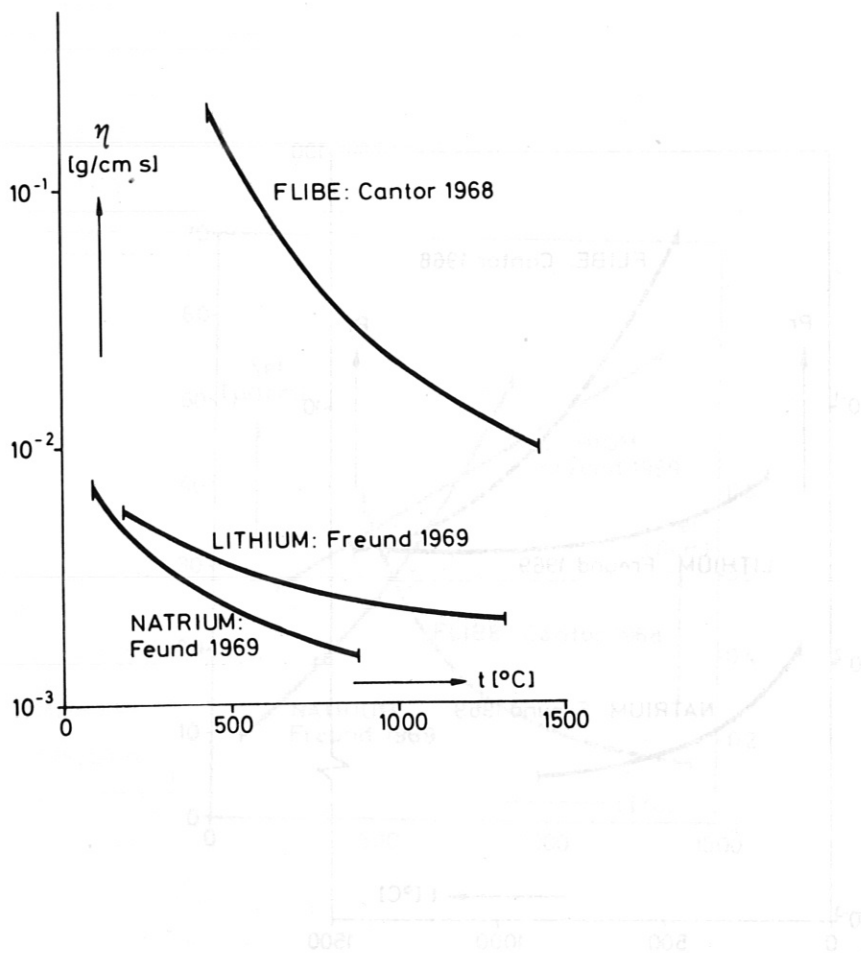


Abb. 3  
Wärmeleitfähigkeit von  
Fusionsreaktor-Kühlmitteln

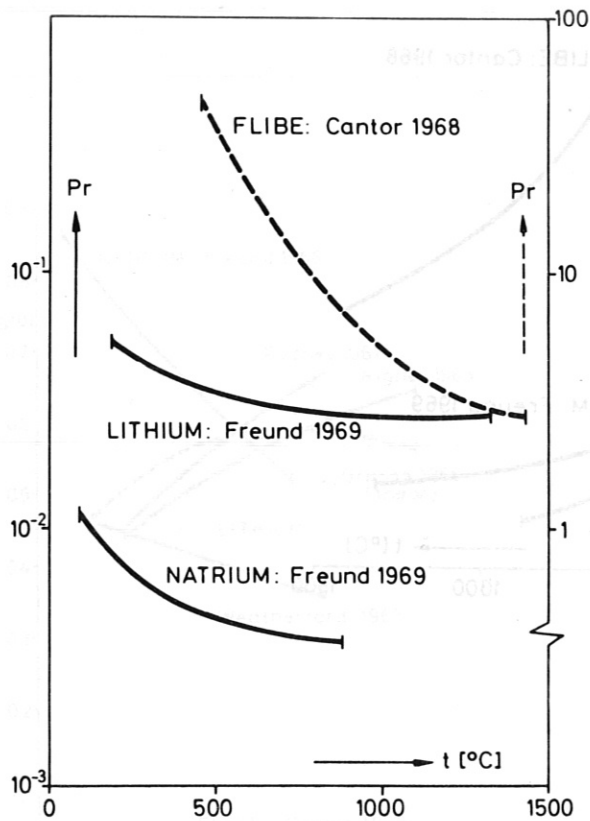
Bei der Zähigkeit (Abb. 4) treten keine größeren Diskrepanzen auf. Lithium ist in diesem Falle mit Natrium in etwa vergleichbar, für Flibe liegt die Zähigkeit um etwa eine Größenordnung höher und weist eine stärkere Temperaturabhängigkeit auf.



**Abb. 4**  
Viskosität von  
Fusionsreaktor-Kühlmitteln



Die Prandtl-Zahl (Abb. 5) von Lithium ist wegen der noch vorhandenen Unsicherheiten in der Wärmeleitfähigkeit nicht mit Sicherheit anzugeben. Immerhin kann man davon ausgehen, daß sie in etwa um eine Größenordnung über der von Natrium liegen wird. Für Flibe kann aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit mit einer weitaus höheren Prandtl-Zahl gerechnet werden, die zudem eine recht starke Temperaturabhängigkeit besitzt. Die absoluten Zahlenwerte legen eher einen Vergleich mit Wasser als mit Flüssigmetallen nahe.

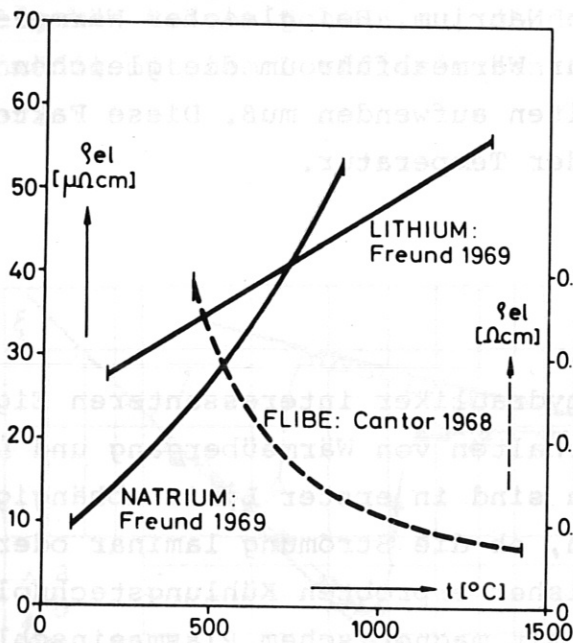


**Abb. 5**  
Prandtl-Zahl von Fusionsreaktor-  
Kühlmitteln

Abb. 3

Wärmeleitfähigkeit von  
Kühlmitteln

Für den spezifischen elektrischen Widerstand bestehen zwischen Lithium und Natrium keine allzu großen Differenzen. Die Werte liegen, mit positivem Temperaturkoeffizienten, im Bereich zwischen 10 und 50  $\mu\Omega\text{cm}$ . Der spez. Widerstand von Flibe hingegen liegt um 4 Größenordnungen höher und hat eine umgekehrte Temperaturabhängigkeit (Abb. 6).



**Abb. 6**  
Spez. elektr. Widerstand von  
Fusionsreaktor-Kühlmitteln



### 3. Wärmetransporteigenschaften

Bezüglich der Wärmetransporteigenschaften kann man aus diesen Stoffdaten für die Kühleigenschaften der beiden, heute noch weitgehend unbekanntem Kühlmittel folgende Schlußfolgerungen ableiten:

Will man aus einem Kühlkanal bestimmter Geometrie mit vorgegebener Geschwindigkeit und bei gegebenen Ein- und Austrittstemperaturen Wärme abführen, so ist die abführbare Wärmeleistung proportional dem Produkt aus Dichte und spezifischer Wärme. Aus dem Verlauf der Stoffdaten ist zu schließen, daß man unter gleichen Voraussetzungen mit Lithium eine um den Faktor 1.9, mit Flibe eine um den Faktor 4.5 höhere Wärmeleistung transportieren kann als mit Natrium. Bei gleicher Wärmeleistung bedeutet das, daß man zur Wärmeabfuhr um die gleichen Faktoren geringere Geschwindigkeiten aufwenden muß. Diese Faktoren sind nahezu unabhängig von der Temperatur.

### 4. Strömungszustand

Die für den Thermohydrauliker interessanteren Eigenschaften sind jedoch das Verhalten von Wärmeübergang und Druckverlust. Diese Eigenschaften sind in erster Linie abhängig vom Strömungszustand, also davon, ob die Strömung laminar oder turbulent ist. Im Gegensatz zur bisher erprobten Kühlungstechnologie bringt der Fusionsreaktor mit magnetischem Plasmaeinschluß eine Komplikation mit sich dadurch, daß der Strömungszustand entscheidend vom Magnetfeld mitgeprägt wird. Während die konventionelle Thermohydraulik mit dem Umschlag vom laminaren zum turbulenten Strömungszustand im Bereich von Reynoldszahlen zwischen 2300 und 3000 rechnet, kann dieser Umschlagspunkt unter dem Einfluß eines Magnetfeldes weit höher liegen.

Als Kriterium hat LOEFFLER [5] im Jahre 1967 angegeben, daß eine Strömung vom laminaren in den turbulenten Bereich umschlägt, wenn die Reynoldszahl folgende Bedingung erfüllt:

$$Re > 286 \cdot Ha = 286 \cdot \frac{B \cdot d}{\sqrt{\eta \cdot \rho_{el}}}$$

Hier bedeuten  $Ha$  die Hartmannzahl,  $B$  die magnetische Induktion,  $d$  den Kanaldurchmesser,  $\eta$  die dynamische Zähigkeit und  $\rho_{el}$  den spez. elektrischen Widerstand.

Daß eine solche Verschiebung auftritt, haben u.a. russische Experimente [6] bewiesen, wie (Abb. 7) zeigt. Dabei wurde der Reibungskoeffizient einer Rohrströmung an Quecksilber bestimmt, einmal ohne Magnetfeld, einmal mit Magnetfeld. Leider lassen die weiteren Angaben keinen Schluß zu, ob der ermittelte Umschlagsbereich zahlenmäßig mit dem Loeffler'schen Kriterium in Übereinstimmung ist.

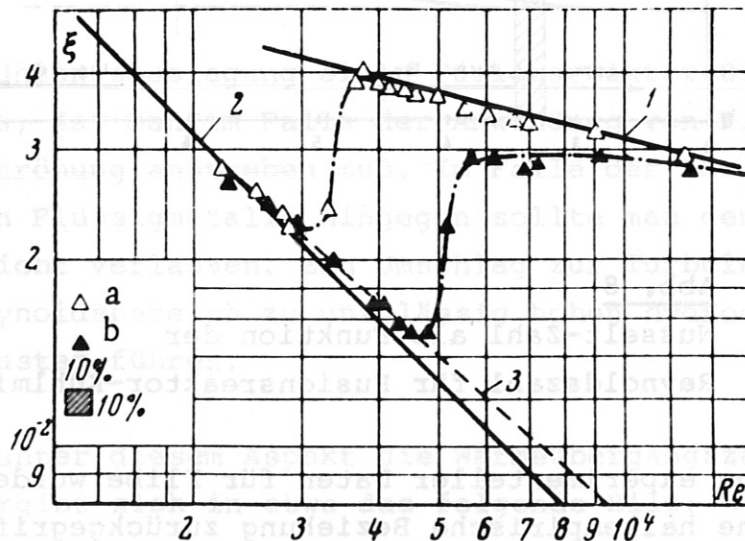


Abb. 7

Einfluß eines Magnetfeldes auf  
Rohrreibungskoeffizienten (nach Genin)

## 5. Wärmeübergang

Die Bedeutung dieser Verschiebung für den Wärmeübergang ist aus (Abb. 8) ersichtlich. Sie zeigt die Abhängigkeit der Nusseltzahl von der Reynoldszahl für Natrium, Lithium und Flibe. Für die beiden Flüssigmetalle wurde die Beziehung von MARTINELLI [7] zugrundegelegt, die für Lithium allerdings nicht belegt ist. Für Lithium existieren bis heute so gut wie überhaupt keine Wärmeübergangsmessungen [8].

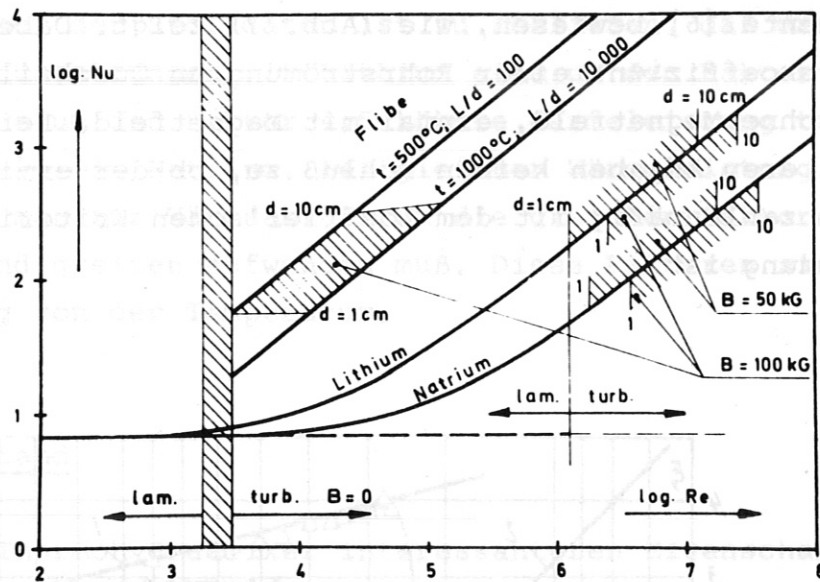


Abb. 8

Nusselt-Zahl als Funktion der Reynoldszahl für Fusionsreaktor-Kühlmittel

In Ermangelung experimenteller Daten für Flibe wurde hier ebenfalls auf eine halbempirische Beziehung zurückgegriffen. Es scheint vertretbar zu sein, in diesem Falle die Kraussold'sche Beziehung für turbulenten Wärmeübergang anzuwenden, da die Prandtl-Zahlen dieses Kühlmittels innerhalb des für diese Gleichung angegebenen Gültigkeitsbereiches liegen [9].

Der schraffierte Balken kennzeichnet das Gebiet des Umschlags vom laminaren zum turbulenten Strömungszustand in einer magnetfeldfreien Umgebung. Setzt man das Loeffler'sche Kriterium als gültig voraus, so ergibt sich bei Flüssigmetallströmungen in Magnetfeldern, wie sie für Fusionsreaktoren typisch sind, eine Verschiebung des Umschlagpunktes zu Reynoldszahlen zwischen  $10^6$  und  $10^7$ , abhängig von der Weite des Kühlkanals. Die Unterschiede zwischen Lithium und Natrium sind dabei nicht allzu groß. Diese Verschiebung aber bedeutet, daß man bis zu diesen hohen Reynoldszahlen mit Wärmeübergangszahlen zu rechnen hätte, die den Werten für laminare Strömung entsprechen.

Trotz der weitaus geringeren elektrischen Leitfähigkeit von Flibe liefert das Kriterium von LOEFFLER auch für dieses Kühlmittel eine nicht zu vernachlässigende Verschiebung des Umschlagbereiches, die umso kritischer wird, je größer der Kanaldurchmesser, die Temperatur und die Kanallänge werden. Kritisch deshalb, weil im Falle einer laminaren Strömung die Wärmeübergangszahlen sehr klein werden : sie liegen etwa im Bereich von  $0.1 \text{ W/cm}^2 \text{ grad}$  und darunter.

Für die Kühlauslegung eines Fusionsreaktor-Blankets bedeutet das, daß man im Falle der Anwendung von Flibe eine turbulente Strömung anstreben muß. Im Falle der Anwendung eines der beiden Flüssigmetalle hingegen sollte man den laminaren Bereich nicht verlassen. Ein Umschlag zur Turbulenz würde in diesem Reynoldsbereich zu unzulässig hohen hydrodynamischen Druckverlusten führen.

Wenn man unter diesem Aspekt die Wärmeübergangszahlen betrachtet, so ergibt sich in etwa das folgende Bild:

Abb. 9 zeigt die unter gleichen Bedingungen für die Kanalgeometrie und die Strömungsgeschwindigkeit erzielbaren Wärmeübergangszahlen von Lithium und Flibe im Verhältnis zu denen von



Natrium aufgetragen über der mittleren Kühlmitteltemperatur. Unter der Voraussetzung, daß die Martinelli-Gleichung auf Lithium ebenso anwendbar ist wie auf Natrium, ergeben sich bessere Wärmeübergangszahlen für Lithium erst bei Kühlmitteltemperaturen oberhalb von  $700^{\circ}\text{C}$ . Da es sich in beiden Fällen um laminare Strömungen handelt, ist eine Abhängigkeit von der Reynoldszahl nicht gegeben.

Anders verhält es sich für Flibe. Hier ist der Einfluß der Reynoldszahl recht beachtlich. Die Temperaturabhängigkeit verläuft zudem in anderer Richtung.

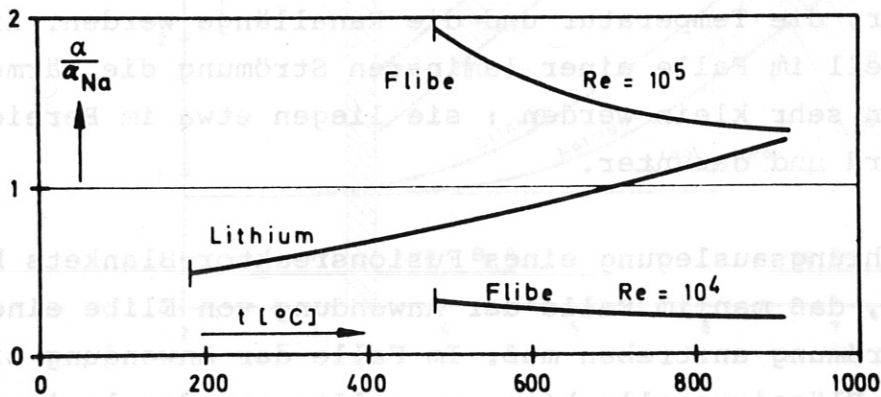


Abb. 9

Wärmeübergangszahlen von Lithium und Flibe im Vergleich zu Natrium

## 6. Druckverluste und Pumpaufwand

Neben dem Wärmeübergang stellen Druckverlust und Pumpaufwand weitere wichtige Auslegungsgrößen dar. Im Falle der Kühlung des Fusionsreaktor-Blankets setzt sich der Druckverlust zusammen aus dem rein hydrodynamischen Druckverlust und dem sog. MHD-Verlust. Der hydrodynamische Druckverlust ist durch die Reynoldszahl und den Strömungszustand bestimmt, wobei der Strömungszustand vom Magnetfeld mitgeprägt wird. Der MHD-Verlust besteht seinerseits wieder aus zwei Anteilen, die beide eine Funktion der magnetischen Induktion sind.

Der erste Anteil ergibt sich aus der Kühlmittelströmung innerhalb des Magnetfeldes und ist im wesentlichen eine Funktion des Winkels, unter dem sich die Richtungen von Strömung und Magnetfeld schneiden. Fließt das Kühlmittel parallel zum Magnetfeld, so verschwindet dieser Anteil.

Der zweite Anteil ergibt sich als Ein- und Austrittsdruckverlust beim Durchtritt des Kühlmittels vom feldfreien Raum in ein Magnetfeld von bestimmter Größe  $B$ , bzw. umgekehrt. Nach einer Theorie von SHERCLIFFE [10], die von WELLS [11] experimentell bestätigt und später von HOFFMAN und CARLSON [12] weitergeführt wurde, ist dieser Druckabfall gegeben durch die Beziehung

$$\Delta p \sim \frac{w \cdot d \cdot B^2}{\varrho_{el}}$$

mit der Kühlmittelgeschwindigkeit  $w$ , dem Kanaldurchmesser  $d$ , der magnetischen Induktion  $B$  und dem spez. elektrischen Widerstand  $\varrho_{el}$ .

Geht man davon aus, daß es konstruktiv möglich ist, das Kühlmittel innerhalb des Blankets immer in Richtung der Feldlinien zu führen, so kann man den ersten Anteil der MHD-Verluste vernachlässigen. Es verbleiben dann lediglich die hydrodynamischen und die Ein- und Austrittsverluste übrig, die zu betrachten sind.

Eine Reihe von Rechnungen, die über einen weiten Parameterbereich durchgeführt wurden, hat gezeigt, daß man im Falle der Lithiumkühlung - laminare Strömung vorausgesetzt - die hydrodynamischen Druckverluste gegenüber den Ein- und Austrittsverlusten in erster Näherung vernachlässigen kann. Bei Flibekühlung ist es umgekehrt, wo auf Grund des turbulenten Strömungscharakters die hydrodynamischen Druckverluste weit überwiegen.

#### 7. Ergebnisse unter Berücksichtigung der Randbedingungen

Abschließend sollen einige Ergebnisse dargestellt werden, die im Verlaufe einer vergleichenden Studie über das Kühlpotential von Lithium und Flibe angefallen sind und die typische Unterschiede der beiden Systeme offenbaren.

Für konkrete Rechnungen ist es erforderlich, gewisse Randbedingungen und Ausgangswerte festzulegen. Dazu gehören in erster Linie die Bedingungen, die sich aus der Kopplung mit dem anschließenden Wärmekraftprozeß ergeben: die mittlere Kühlmitteltemperatur  $t_{KM}$  und die Kühlmittelaufheizspanne  $\Delta t_{KM}$ . Daneben bilden die Wärmestromdichte  $q_w$  an der Kanalwand, die Leistungsdichte  $\bar{q}$  im Kühlmittel selbst, die magnetische Induktion  $B$  sowie die Kanalabmessungen, gegeben durch Durchmesser  $d$  und Länge  $L$ , die Ausgangsparameter.

Berechnet wurden die Temperaturdifferenz  $\Delta t_{WK}$  zwischen Wand und Kühlmittel, der Druckverlust  $\Delta p$  und der Pumpaufwand  $\eta_p$ ,

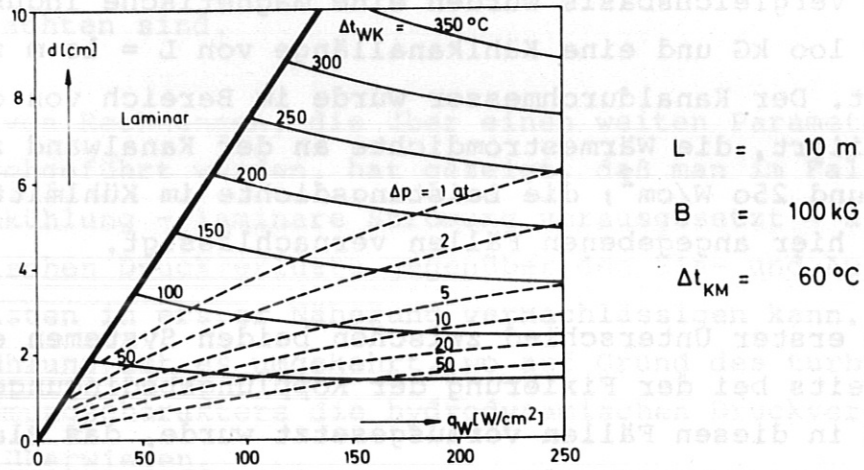
der definiert wurde als die erforderliche Pumpleistung - allerdings ohne Berücksichtigung des Pumpenwirkungsgrades - bezogen auf die aus dem Kanal abtransportierte Wärmeleistung.

Als Vergleichsbasis wurden eine magnetische Induktion von  $B = 100 \text{ kG}$  und eine Kühlkanallänge von  $L = 10 \text{ m}$  zugrundegelegt. Der Kanaldurchmesser wurde im Bereich von  $d = 1$  bis  $10 \text{ cm}$  variiert, die Wärmestromdichte an der Kanalwand zwischen  $q_W = 20$  und  $250 \text{ W/cm}^2$ ; die Leistungsdichte im Kühlmittel wurde in den hier angegebenen Fällen vernachlässigt.

Ein erster Unterschied zwischen beiden Systemen ergibt sich bereits bei der Fixierung der Kopplungsbedingungen. Wenn man, wie in diesen Fällen vorausgesetzt wurde, das Blanket direkt an einen Wasserdampfprozeß koppeln will, so kann man im Falle der Lithiumkühlung die Vorteile des Gegenstromprinzips in Dampferzeuger und Überhitzer voll nutzen. Das bedeutet, daß man hohe Kühlmittelaufheizspannen-u.U. größer als  $300^\circ\text{C}$  zulassen und damit geringe Massendurchsätze, Geschwindigkeiten und nicht zuletzt geringere MHD-Verluste erreichen kann. Bei Flibe ist das nicht möglich, da sein Erstarrungspunkt mit  $440^\circ\text{C}$  weit über der Speisewasser-Eintrittstemperatur liegt. Die Aufheizspanne muß also niedriger, der Massendurchsatz infolgedessen höher angesetzt werden. In den hier angegebenen Fällen wurden  $340^\circ\text{C}$  für Lithium und  $60^\circ\text{C}$  für Flibe gewählt. Das Temperaturniveau ist bei dieser Betrachtung von untergeordneter Bedeutung.

Abb. 10 zeigt die Ergebnisse für eine Flibe-Kühlung. In diesem Diagramm sind die Linien konstanter Temperaturdifferenz zwischen Wand und Kühlmittel und die Linien konstanten Druckverlustes eingetragen in ein Koordinatennetz, welches durch die Wärmestromdichte an der Kanalwand und den Kanaldurchmesser aufgespannt wird. Die Linien gleichen Pumpaufwandes decken sich im Verlauf mit denen gleichen Druckabfalls, wobei ein Druckabfall von  $40 \text{ at}$  ungefähr einem Pumpaufwand von  $1\%$  entspricht.





**Abb. 10**  
Wärmeabfuhrbedingungen bei  
Flibe-Kühlung

Die dick ausgezogene Linie gibt die Grenze zum laminaren Bereich an, die in diesem Falle nicht unterschritten werden sollte.

Dieses Bild kann eine Antwort geben auf die Frage, welche Wärmestromdichten man in einem mit Flibe betriebenen Blanket unter bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen beherrschen kann. Man kann beispielsweise ablesen, daß es möglich ist bis zu  $180\text{ W/cm}^2$  abzuführen, wenn eine Temperaturdifferenz von  $100\text{ }^\circ\text{C}$  zwischen Wand und Kühlmittel und ein Druckabfall von  $10\text{ at}$  nicht überschritten werden soll. Der Kanal müßte dabei einen Durchmesser von ca.  $2\text{ cm}$  haben.

Abb. 11 zeigt entsprechende Ergebnisse für eine Lithiumkühlung:

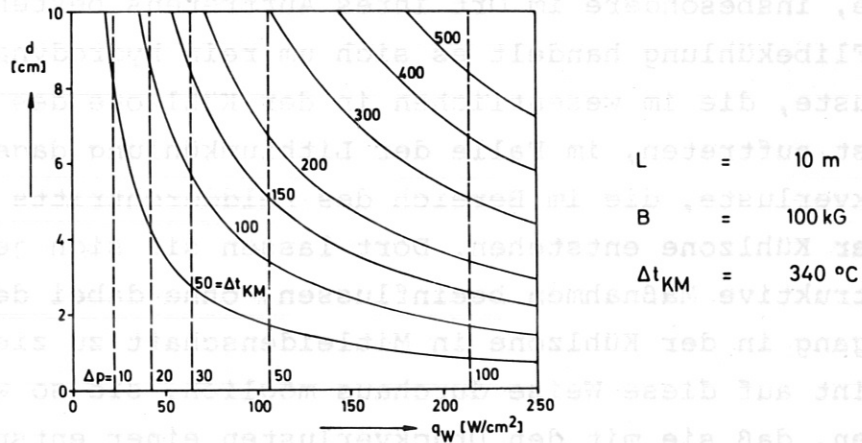


Abb. 11

Wärmeabfuhrbedingungen bei  
Lithiumkühlung

Charakteristisch für dieses Bild ist der Verlauf der Druckverlustlinien. Sie sind, unter den gegebenen Voraussetzungen, nur mehr abhängig von der Wärmestromdichte. Die Abhängigkeit vom Durchmesser fällt deshalb heraus, weil auf der Linie konstanten Druckabfalles das Produkt aus Durchmesser und Geschwindigkeit konstant bleibt.

Wollte man mit Lithium ebenfalls  $180 \text{ W/cm}^2$  wegekühlen, so müßte, unabhängig davon, welcher Kühlkanaldurchmesser gewählt wird, ein Druckabfall von 80 at in Kauf genommen werden. Das ist das 8-fache dessen, womit man bei der Flibe-Kühlung zu rechnen hätte. Würde man anstelle von Lithium Natrium verwenden, so wären diese Zahlen nochmals mit einem Faktor 3

zu multiplizieren. Diese Ziffern müssen allerdings nicht unbedingt typisch sein, da sie stark von den Kopplungsbedingungen abhängen. Diese sind hier jedoch nicht optimalisiert.

An dieser Stelle soll jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, daß ein wesentlicher Unterschied in der Art der Druckverluste, insbesondere im Ort ihres Auftretens besteht. Im Falle der Flibe-Kühlung handelt es sich um rein hydrodynamische Druckverluste, die im wesentlichen in der Kühlzone des Blankets selbst auftreten, im Falle der Lithiumkühlung dagegen um MHD-Druckverluste, die im Bereich des Felddurchtritts und nicht in der Kühlzone entstehen. Dort lassen sie sich jedoch durch konstruktive Maßnahmen beeinflussen, ohne dabei den Wärmeübergang in der Kühlzone in Mitleidenschaft zu ziehen. Es erscheint auf diese Weise durchaus möglich, sie so weit zu reduzieren, daß sie mit den Druckverlusten einer entsprechenden Flibe-Kühlung vergleichbar werden.

## 8. Zusammenfassung

Lithium und Flibe auf dem heutigen Stand des Wissens hinsichtlich ihrer Kühleigenschaften zu beurteilen und zu vergleichen, heißt eine Untersuchung in Gegenwart noch mancher Unbekannter durchführen. Die physikalischen Eigenschaften beider Stoffe sind zwar weitestgehend bekannt. Es fehlt jedoch noch so gut wie völlig die Kenntnis des Wärmeübergangs- und Strömungsverhaltens. Für die experimentelle Thermohydraulik wird sich demzufolge in Zukunft noch ein weites Betätigungsfeld eröffnen.

Im Hinblick auf die Verwendung eines dieser beiden - oder beider - Stoffe als Kühlmittel für Fusionsreaktor-Blankets werden derartige Experimente den Einfluß von Magnetfeldern mit berücksichtigen müssen.

In Anbetracht dieser noch fehlenden Informationen können die hier dargestellten Ergebnisse nicht mehr sein als eine Richtschnur, vielleicht aber auch ein Beitrag zur Methodik künftiger Untersuchungen, die unbedingt notwendig sind, um die hier gemachten Aussagen zu präzisieren.



Literatur

- [1] Proceedings of Nucl. Fus. React. Conf., Culham 1969
- [2] FREUND, J.  
Zusammenstellung der Stoffwerte für die Flüssigmetalle  
Li, Na, K, Rb, Cs. TUBIK-13, 1969
- [3] CANTOR, S. ed.  
Physical Properties of Molten-Salt Reactor Fuel, Coolant,  
and Flush Salts. ORNL-TM-2316
- [4] GROSSE, A.V.  
Electrical and thermal conductivities of metals over  
their entire liquid range.  
Rev. Hautes Tempér. et Réfract. 3 (1966), 115-146
- [5] LOEFFLER, A.L., MACINLAITIS, A., HOFF, M.  
MHD Round pipe experiments. ARL-67-o236
- [6] GENIN, L.G., ZHILIN, V.G., MANCHKHA, S.P.  
Effect of a longitudinal magnetic field on the stability  
of the flow of an electrically conducting liquid.  
High Temp. 8/2 (1970), 428-430
- [7] CUMO, M.  
Elementi di termotecnica del Reattore  
CNEN RX/ING (69) 18
- [8] COWLES, J.O., PASTERNAK, A.D.  
Lithium properties related to use as a nuclear reactor  
coolant. UCRL-50647
- [9] GRÖBER, H., ERK, S., GRIGULL, U.  
Grundgesetze der Wärmeübertragung  
Springer-Verlag 1961
- [10] SHERCLIFFE, J.A.  
J. Nucl. Energy I, 3 (1956), 305
- [11] WELLS, W.M.  
Experiments and calculations on the feasibility of  
pumping liquid lithium in a thermonuclear reactor blanket.  
UCRL-50544
- [12] HOFFMAN, M.A., CARLSON, G.A.  
Calculation techniques for estimating the pressure losses  
for conducting fluid flows in magnetic fields.  
UCRL-51010