

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

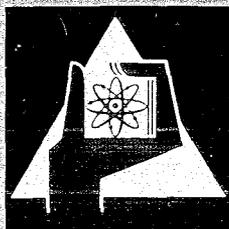
Oktober 1969

KFK 1062

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Messung der Wärmestromfunktion einiger Kohle- und Graphitfilze

F. E. Reiß



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Oktober 1969

KFK 1062

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

MESSUNG DER WÄRMESTROMFUNKTION EINIGER KOHLE- UND GRAPHITFILZE

F.E. Reiß

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

I n h a l t

Abstract

Zusammenfassung

1. Einleitung

2. Beschreibung der Apparatur

2.1 Ziel der Messungen

2.2 Verfahren und Versuchsaufbau

2.3 Eichung der Strahlungsdichtemessung

3. Ergebnisse

4. Literatur

Tabellen und Abbildungen

ABSTRACT

This paper reports on the measurement of the heat current function of some commercially available carbon- and graphite-felts in vacuo. Method and apparatus employed are described. Resulting data of eight different felts are shown graphically. Numerical equations to evaluate heat current function and thermal conductivity of the felts are given.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit berichtet über Messungen der Wärmestromfunktion kommerzieller Kohle- und Graphitfilze im Vakuum. Verfahren und verwendete Apparatur werden beschrieben. Die an acht Filzsorten erhaltenen Ergebnisse werden grafisch dargestellt. Für Wärmestromfunktion und Wärmeleitfähigkeit der Filze werden Zahlenwertgleichungen angegeben.

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit enthält neue experimentelle Werte zu den in [1] begonnenen Untersuchungen über das Wärmedurchlaßvermögen kommerzieller Kohle- und Graphitfilze im Vakuum.

Der bei den Messungen in [1] überstrichene Temperaturbereich der Wärmequelle liegt zwischen etwa 1200°K und 3500°K , wobei mit Ausnahme einer Meßreihe die Temperatur auf der heißen Seite der Isolierpackung pyrometrisch ermittelt wurde.

Die hier beschriebenen Untersuchungen überdecken den Temperaturbereich von etwa 600°K bis 1100°K und benutzen zur Temperaturmessung ein Thermoelement. Die untere Grenze wird durch die unter die Nachweisgrenze der verwendeten Geräte sinkende Strahlungsleistungsdichte festgelegt, die obere Grenze wird durch die Warmfestigkeit der für den Heizer verwendeten Baumaterialien gegeben.

Die Meßmethode und der Aufbau der Apparatur werden beschrieben. Die gewonnenen Ergebnisse werden grafisch dargestellt, soweit vorhanden zusammen mit den Werten im höheren Temperaturbereich aus [1]. Für die Wärmestromfunktion und die Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Filze werden aus den Meßwerten abgeleitete Zahlenwertgleichungen angegeben.

2. BESCHREIBUNG DER APPARATUR

2.1 Ziel der Messungen

Es sollte die Wärmestromfunktion $\Lambda(T)$ der Isolierungen bestimmt werden. Nach der Definition, vgl. [1], Abschnitt 2.1, ist

$$\Lambda(T) = \int_0^T \overline{\lambda(T)} dT, \quad (1)$$

wo T die absolute Temperatur und $\overline{\lambda(T)}$ die temperaturabhängige scheinbare Wärmeleitfähigkeit der Filze ist, die summarisch den Wärmetransport durch Leitung und Strahlung beschreibt.

2.2 Verfahren und Versuchsaufbau

Es wurde ein stationäres Meßverfahren benutzt, bei dem wie in [1] die Temperaturen von Wärmequelle und Wärmesenke und die bei diesen Temperaturen stationär sich einstellende Wärmestromdichte durch die Isolierung gemessen wurden.

Als Wärmequellen wurden versuchsweise von innen durch Elektronenstoß beheizte Zylinder, induktiv beheizte Rohre mit innen oder außen liegenden Hochfrequenzspulen und verschiedene Bauformen von Widerstandsheizern aus Drähten, Bändern, Blechen und Rohren eingesetzt. Für den beabsichtigten Zweck hat sich ein durch direkten Stromdurchgang beheizter Heizfinger aus rostfreiem Stahlrohr mit innerem Rückleiter am besten bewährt. Der Aufbau dieses Heizers ist leicht zu bewerkstelligen; die Proben können einfach gewechselt werden; die Wärmekapazität ist bei noch guter achsialer und guter azimuthaler Gleichförmigkeit der Oberflächentemperatur groß; die Oberflächentemperatur ist leicht meßbar; der Heizer kann auch in schlechtem Vakuum betrieben werden; der Heizer kann innerhalb dicker, auch elektrisch leitender Isolierpackungen betrieben werden; es sind keine vakuumdichten Stromdurchführungen erforderlich; nach einer Einlaufzeit bleiben die für die Messung wesentlichen Eigenschaften des Heizers konstant.

Den Aufbau im einzelnen zeigt Abbildung 1. Als Wärmequelle dient ein einseitig in einen Flansch eingeschweißtes Rohr aus rostfreiem Stahl von 15 mm Außendurchmesser mit 1 mm Wandstärke und ca. 85 mm Länge, das durch Stromdurchgang direkt beheizt wird. Um den bei hohen Temperaturen durch Verbiegen möglichen

Kurzschluß zwischen Heizer und Rückleiter zu vermeiden, sind in den Ringspalt passende Keramikröhrchen eingeschoben. Die Stromzuführungen für den Heizstrom von einigen hundert Ampere werden an den Halteschrauben des Heizerflansches und am freien Ende des zentralen Rückleiters, das zu diesem Zweck mit Gewinde versehen ist, befestigt. Der Heizstrom wird der Sekundärwicklung eines 1 kW-Netztransformators mit Schnittbandkern entnommen, die aus 3 Windungen wasser-gekühlten Kupferrohres besteht.

Die für den Wärmetransport durch die Isolierung maßgebende Oberflächentemperatur des Heizers wird durch ein auf dem Heizer durch Punktschweißen befestigtes NiCr-Ni-Thermoelement aus 0,2 mm dicken Einzeldrähten gemessen. Das Thermoelement wird an einer Stelle nahe dem Kühlkanal des Heizerflansches in einer einfachen Durchführung, die aus Keramikröhrchen und einem Kunstharzkleber besteht, aus dem Vakuumgefäß herausgeführt.

Bei Kontrollmessungen wurde ein aus der Wärmestrahlungsleistung, d.h. ein aus der wahren Oberflächentemperatur des Heizers abgeleitetes Signal eines Infrarot-Strahlungsempfängers mittels X-Y-Schreibers über der vom Oberflächenthermoelement gelieferten Thermospannung aufgezeichnet. Diese Messungen zeigten, daß bei den erzielten Temperaturänderungsgeschwindigkeiten das Thermoelement aus Einzeldrähten stets ohne Nachteile die wahre Oberflächentemperatur anzeigt. Entsprechende Versuche mit verschiedenen Mantelthermoelementen auf der Oberfläche des Heizers und im Spalt zwischen Heizer und Rückleiter zeigten ein erhebliches Nachteilen der Temperaturanzeige der 1 mm starken Mantelthermoelemente.

Von den zu untersuchenden Isoliermaterialien aus Graphit- oder Kohlefilz wurden Kreiszyylinder mit meist 1 - 2 cm Wandstärke geformt und, evtl. durch dünne Drähte in dieser Form gehalten, konzentrisch um den Heizer gestellt. Die Isolierungen wurden auf einem mit konzentrisch angerissenen Kreisen versehenen Blechtisch eingerichtet. Dieser Tisch diente gleichzeitig zur Verminderung des Strahlungsanteils der Endverluste des Heizers. Die so vorgenommene Zentrierung läßt bei der Auswertung der Messungen die Annahme von Zylindergeometrie zu.

Die als Wärmesenke dienende Wand des Vakuumgefäßes, in das Heizer und Isolierung eingesetzt sind, wird durch die Wasserkühlungen des Heizerflansches und des ihm gegenüberliegenden, mit gekühlten Glasfenstern versehenen Deckflansches bei allen verwendeten Heizleistungen ausreichend kalt gehalten, wenn man zur Verbesserung des Wärmeübergangs zwischen Vakuumgefäß und den Flanschen Aluminium-UHV-Dichtscheiben benutzt.

An einem Stutzen des Vakuumgefäßes befindet sich ein Quarzfenster, das den Austritt eines kleinen Teils der Gesamtstrahlung und nach Durchlauf eines Choppers und einer Blendenanordnung seine Messung mittels eines auch im Infraroten empfindlichen Fotowiderstandes (Typ 61 SV von Valvo) erlaubt.

2.3 Eichung der Strahlungsdichtemessung

Wegen der beträchtlichen Endverluste der Anordnung, vor allem durch Wärmeleitung in den Aufbaufansch, ist die Bestimmung der durch die Isolierung transportierten Wärmestromdichte allein aus der gemessenen Bruttoheizleistung und der Geometrie nicht möglich. Die Wärmestromdichte wurde daher an einer Stelle, wo nur Strahlungstransport vorliegt, mit einem Fotowiderstand direkt gemessen. Um den Strahlungsdetektor in Einheiten der Strahlungsleistungsdichte zu eichen, müssen die Endverluste jedoch einmal berücksichtigt werden.

Die Größe der Endverluste wurde ermittelt, indem der Heizer umhüllt von einer Isolierpackung mit aus $\langle 1 \rangle$ im untersuchten Temperaturbereich bekannter Wärmestromfunktion betrieben wurde. Die durch die Isolierung transportierte Wärmeleistung läßt sich dann mit den in $\langle 1 \rangle$ angegebenen Gleichungen für jede Temperatur rechnerisch ermitteln. Die bei mehreren Temperaturen bestimmten Differenzen zwischen der dem Heizer zugeführten meßbaren Bruttoheizleistung und der durch die Isolierung abgeführten berechneten Wärmeleistung ergeben die temperaturabhängigen Endverluste des Heizers.

Die so ermittelten Endverluste wurden von den Daten für die Bruttoheizleistung des freien Heizers abgezogen. Man erhält so eine Kurve für die Nettostrahlungsleistung des freien Heizers in den bei den Meßläufen von Isoliermaterial abgedeckten Raumwinkel. Dieses Verfahren setzt voraus, daß sich die räumlichen Temperaturverteilungen auf dem Heizer bei frei strahlendem und bei isoliertem Betrieb nicht wesentlich unterscheiden, da die Aufteilung der gesamten abgeführten Energie auf Mantelfläche und Endzonen natürlich von der Temperaturverteilung abhängt.

Von der wie oben dargestellt ermittelten Nettostrahlungsleistung des freien Heizers fällt ein von der Geometrie und von der Absorption des benutzten Quarzfensters und dem Durchlaßgrad des Chopper abhängiger Bruchteil von der Größenordnung $5 \cdot 10^{-7}$ auf den Detektor und liefert dort ein mit der Chopperfrequenz behaftetes meßbares Signal.

Für den freien Heizer kann man nun eine Kurve zeichnen, die den Verlauf des Detektorsignals über der Strahlungsleistung des Heizers wiedergibt. Die Leistungsachse dieser Kurve kann man auch in Einheiten der Strahlungsleistungsdichte beschriften, wenn man annimmt, daß die den Detektor erreichende relative Strahlungsleistung von der Heizertemperatur unabhängig ist. Das ist plausibel, weil Quarz in dem vom Detektor verarbeiteten Wellenlängenbereich (ca. 0,5 bis 3,5 μm) wellenlängenunabhängig durchlässig ist [2].

Die so erhaltene Eichkurve gilt wegen der wellenlängenabhängigen Empfindlichkeit des Fotowiderstandes streng nur für den während der Eichung vorhandenen Wert des Teilstrahlungsvermögens des Heizers. Das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz ordnet einem grauen Strahler für eine bestimmte Strahlungsleistungsdichte eine bestimmte Temperatur zu. Zu dieser Temperatur gehört ein für graue Strahler vom Planck'schen Gesetz festgelegtes Spektrum. Ändert man bei festgehaltener Strahlungsleistungsdichte das Teilstrahlungsvermögen der emittierenden Oberfläche, so ändert sich ihre Temperatur und der Detektor wird trotz gleicher Leistungsdichte infolge Spektrumsverschiebung ein anderes Signal abgeben. Da die verwendeten Körper jedoch keineswegs grau strahlen, komplizieren sich die Verhältnisse noch mehr.

Eine detaillierte experimentelle Untersuchung dieser Zusammenhänge wurde von uns nicht durchgeführt. Wir haben uns mit einer die Summe aller Einflüsse enthaltenden Vergleichsmessung begnügt, indem wir das aus [1] bekannte Wärmedämmvermögen einer Filzsorte mit unserer Methode nachgemessen haben.

Die Auswertung geschah unter der Annahme, daß der bis zum Gleichgewicht oxydierte Stahlheizer und der Filz im Empfindlichkeitsbereich des Detektors gleiches Emissionsvermögen haben. Für das über das ganze Spektrum gemittelte Teilstrahlungsvermögen, wie es z.B. im Stefan-Boltzmann-Gesetz vorkommt, wird dieser Schluß durch die Werte in der Datensammlung [3] für einige Stähle und Graphite nahegelegt. Das Ergebnis der Anschlußmessung läßt diese Annahme als zulässig erscheinen.

Bei der Auswertung wurde weiterhin die geometrische Strahlungsleistungsverdünnung in der Zylindergeometrie wie im unendlich langen Fall berücksichtigt. Modellversuche mit Reihen verschieden langer Strahlschirme unterschiedlicher Durchmesser aus Blech haben die Gültigkeit dieser Annahme ab einer gewissen, für die Isolierungen stets eingehaltenen Mindestlänge, bestätigt.

Abbildung 2 zeigt in der ausgezogenen Kurve die in $\langle \bar{1} \rangle$ ohne Annahmen über Strahlungseigenschaften gewonnenen Werte der Wärmestromfunktion für den Filz U 6048 im Vakuum und gestrichelt den Bereich, in dem die früheren Meßpunkte streuen. Die Kreise stellen die mittels Strahlungsmessung gewonnenen Werte ohne weitere als die obengenannten Korrekturen dar. Die Übereinstimmung ist gut. Für die Methode spricht auch, daß in den Fällen, wo Werte im hohen Temperaturbereich aus $\langle \bar{1} \rangle$ vorliegen, die neuen Werte im unteren Temperaturbereich gut anschließen.

3. ERGEBNISSE

Messungen wurden an 8 Filzsorten im Hochvakuum von mindestens 10^{-4} Torr oder besser ausgeführt. Die Filzdicken wurden so gewählt, daß die in $\langle \bar{1} \rangle$ nachgewiesenen Randeffekte außer Betracht bleiben können. Die Filze wurden im Frühjahr 1967 geliefert und im Anlieferzustand verwendet. Der zeitliche Druckverlauf im Vakuumsystem während der Messungen wurde mitgeschrieben und erlaubt qualitative Angaben über die Gasabgabe der einzelnen Filze. Die Gasabgabe war weitaus am größten beim Filz F 1/5, sie war geringer bei den Filzen U 6048, F 2, RCV 4000 und RCV 2000. Bei den Filzen U 6104, U 6105 und FD 400 war die Gasabgabe so klein, daß bei der an der Probe vorhandenen Pumpleistung (ca. 25 l/s) auf Anhub Vakua von besser als $1 \cdot 10^{-5}$ Torr erreicht wurden.

Die gewonnenen Meßpunkte wurden im doppeltlogarithmischen Maßstab aufgetragen. Falls für den Filz Meßwerte aus $\langle \bar{1} \rangle$ zur Verfügung stehen, wurden sie mit eingetragen. Die Gleichungen der durch die Punkte gelegten Geraden werden in Tabelle 1 angegeben, zusammen mit den analytisch aus der Zahlenwertgleichung der Wärmestromfunktion durch Umkehrung von Gleichung (1) abgeleiteten Gleichungen für die scheinbare Wärmeleitfähigkeit $\bar{\lambda}$. Der angegebene Gültigkeitsbereich entspricht in etwa dem niedrigsten und dem höchsten Meßpunkt.

Abbildung 2 zeigt die Wärmestromfunktion des Filzes U 6048 unter Vakuum nach $\langle \bar{1} \rangle$, Abbildung 6 über der Temperatur. Die älteren Meßwerte haben im gestrichelten Bereich gestreut. Die neuen, nach Abschnitt 2.3 zur Überprüfung der Methode benutzten Meßwerte sind als Kreise dargestellt. Der in Tabelle 1 eingetragene Gültigkeitsbereich der Approximationsgleichungen für diesen Filz stützt sich auf $\langle \bar{1} \rangle$, Abbildung 6.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Meßwerte der Vakuumwärmestromfunktion für die Graphitfilze U 6104 bzw. U 6105.

Abbildung 5 enthält die Meßwerte des Filzes F 1/5 aus $\overline{[1]}$ und die neu gewonnenen Punkte.

Die Abbildungen 6 und 7 enthalten die Ergebnisse der Wärmestromfunktionsmessung unter Vakuum für die Filze F 2 und FD 400.

Abbildung 8 enthält die Meßwerte der Vakuumwärmestromfunktion über der Temperatur für den Filz RCV 4000. Die Daten aus $\overline{[1]}$ sind mit aufgetragen.

Abbildung 9 zeigt die Meßwerte der Vakuumwärmestromfunktion über der Temperatur für den Filz RCV 2000.

Die Genauigkeit des einzelnen Meßpunkts schätzen wir zu $\pm 20\%$. Die Genauigkeit der Ausgleichskurven sollte im Bereich der Meßpunkte höher sein, etwa $\pm 10\%$. Wo die Ausgleichskurven den Zwischenbereich zwischen unterem und oberem durchgemessenen Temperaturbereich überbrücken, handelt es sich um eine zwar plausible Extrapolation, bei der man aber mit höheren Unsicherheiten rechnen muß.

Die angegebenen Gleichungen zeigen, daß die Wärmestromfunktion $\Lambda \sim T^n$ lautet, wo n im Bereich $3,20 - 3,70$ variiert. Für die Wärmeleitfähigkeit $\bar{\lambda}$ ergibt sich $\bar{\lambda} \sim T^m$, wo $2,20 < m < 2,70$. Die Ergebnisse dieser Arbeit und die aus $\overline{[1]}$ zeigen, daß dieser funktionale Zusammenhang mit festem Exponenten die Meßwerte über einen weiten Temperaturbereich zu approximieren gestattet. Im untersuchten Temperaturbereich variieren die Werte der Wärmestromfunktion der untersuchten 8 Filzsorten maximal um einen Faktor 3,5, wobei der Filz F 1/5 die kleinsten und der Filz U 6105 die größten Werte der Wärmestromfunktion zeigen.

4. LITERATUR

- [1] F. Reiß, H. Ripfel, K. Schretzmann:
Der Wärmedurchgang durch Kohlefilze.
KFK 638, Juli 1967.
- [2] W. Espe:
Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik, Band II, Silikatwerkstoffe.
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1962.
- [3] W.D. WOODS, H.W. DEEM, C.F. LUCKS:
Thermal radiative properties.
Plenum Press Handbooks of High Temperature Materials No.3,
Plenum Press, New York 1964.

Tabelle 1 Zahlenwertgleichungen für Wärmestromfunktion und Wärmeleitfähigkeit der gemessenen Filzsorten im Vakuum

Hersteller	Type	Wärmestromfunktion Λ (W/cm)	Wärmeleitfähigkeit $\bar{\lambda}$ (W/cm ² K)	Gültigkeitsbereich	Abb.
Schunk und Ebe, Gießen	U 6048	$\Lambda = 0,76 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,30} \cdot T^{3,30}$	$\bar{\lambda} = 2,51 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,30} \cdot T^{2,30}$	$100^{\circ}\text{K} \leq T \leq 3000^{\circ}\text{K}$	2
	U 6104	$\Lambda = 0,85 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,33} \cdot T^{3,33}$	$\bar{\lambda} = 2,83 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,33} \cdot T^{2,33}$	$600^{\circ}\text{K} \leq T \leq 1200^{\circ}\text{K}$	3
	U 6105	$\Lambda = 0,13 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,64} \cdot T^{3,64}$	$\bar{\lambda} = 0,48 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,64} \cdot T^{2,64}$	$600^{\circ}\text{K} \leq T \leq 1400^{\circ}\text{K}$	4
SIGRI, Meitingen	F 1/5	$\Lambda = 0,20 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,42} \cdot T^{3,42}$	$\bar{\lambda} = 0,68 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,42} \cdot T^{2,42}$	$700^{\circ}\text{K} \leq T \leq 3000^{\circ}\text{K}$	5
	F 2	$\Lambda = 0,87 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,23} \cdot T^{3,23}$	$\bar{\lambda} = 2,82 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,23} \cdot T^{2,23}$	$600^{\circ}\text{K} \leq T \leq 1300^{\circ}\text{K}$	6
	FD 400	$\Lambda = 0,07 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,68} \cdot T^{3,68}$	$\bar{\lambda} = 0,26 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,68} \cdot T^{2,68}$	$600^{\circ}\text{K} \leq T \leq 1100^{\circ}\text{K}$	7
Dt. Carbone, Frankfurt	RCV 4000	$\Lambda = 0,44 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,40} \cdot T^{3,40}$	$\bar{\lambda} = 1,48 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,40} \cdot T^{2,40}$	$500^{\circ}\text{K} \leq T \leq 3200^{\circ}\text{K}$	8
	RCV 2000	$\Lambda = 0,26 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,42} \cdot T^{3,42}$	$\bar{\lambda} = 0,88 \cdot 10^{-10} \text{ W cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-3,42} \cdot T^{2,42}$	$600^{\circ}\text{K} \leq T \leq 1200^{\circ}\text{K}$	9

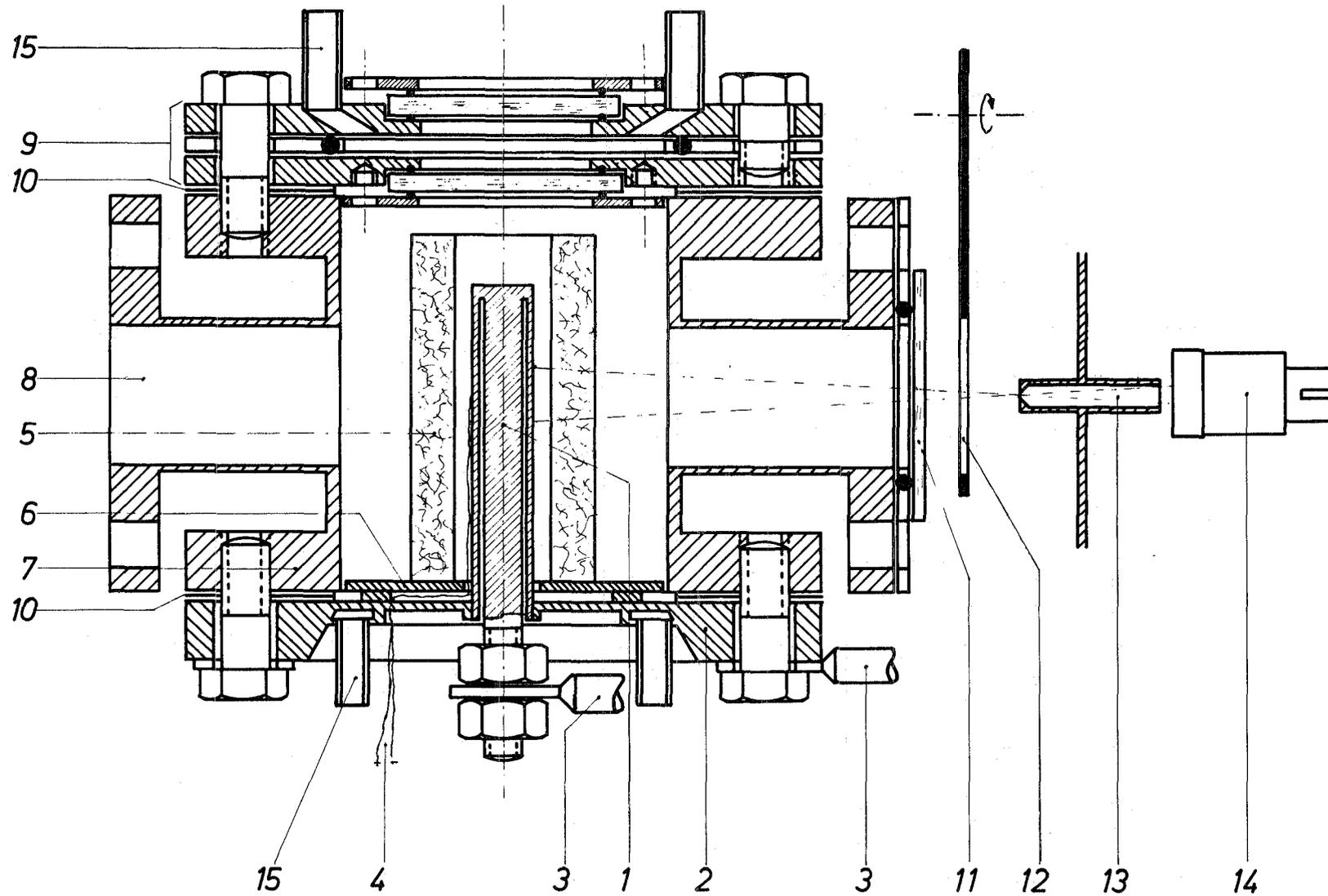


Abb.1 Halbschematischer Versuchsaufbau

- | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 Heizer | 6 Zentriertisch | 11 Quarzfenster |
| 2 wassergekühlter Flansch | 7 Vakuumgefäß | 12 Chopper |
| 3 Heizstromzuführungen | 8 Vakuumanschluß | 13 Blendenanordnung |
| 4 Thermoelement | 9 wassergekühlter Deckflansch | 14 Strahlungsdetektor |
| 5 Meßprobe aus Isoliermaterial | 10 UHV-Dichtscheibe | 15 Kühlwasseranschlüsse |

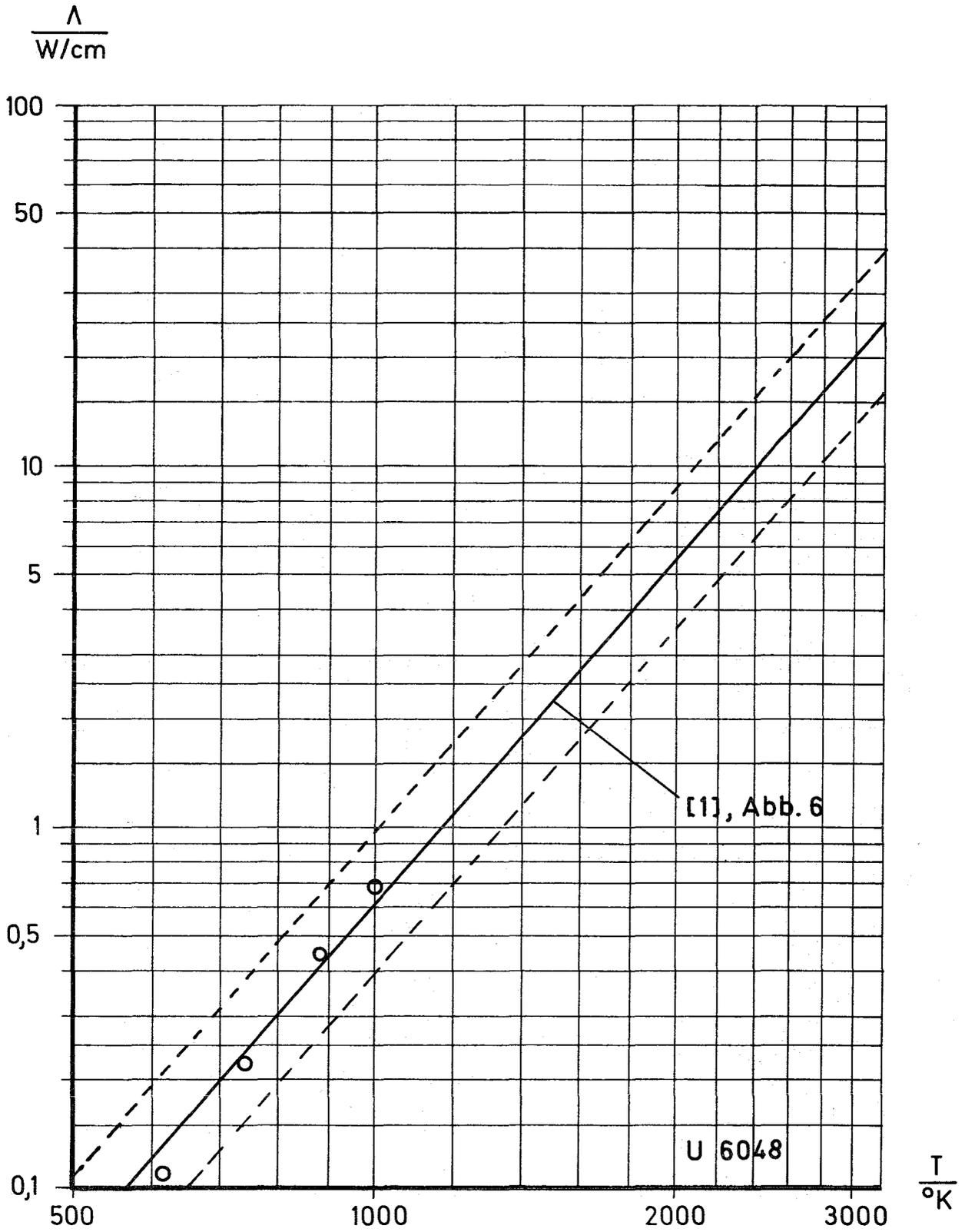


Abb.2 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Kohlefilz Type U 6048

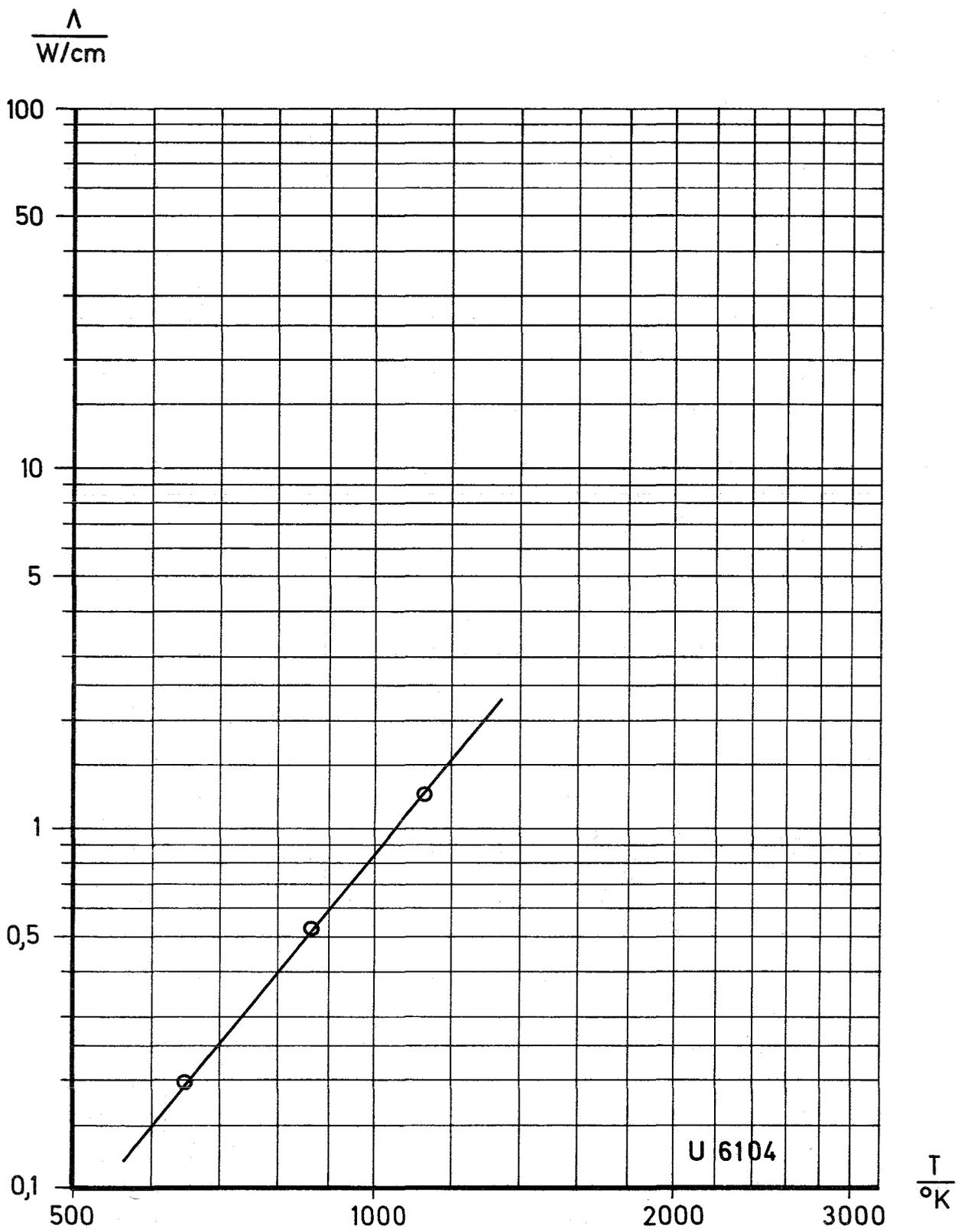


Abb.3 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Graphitfilz Type U 6104

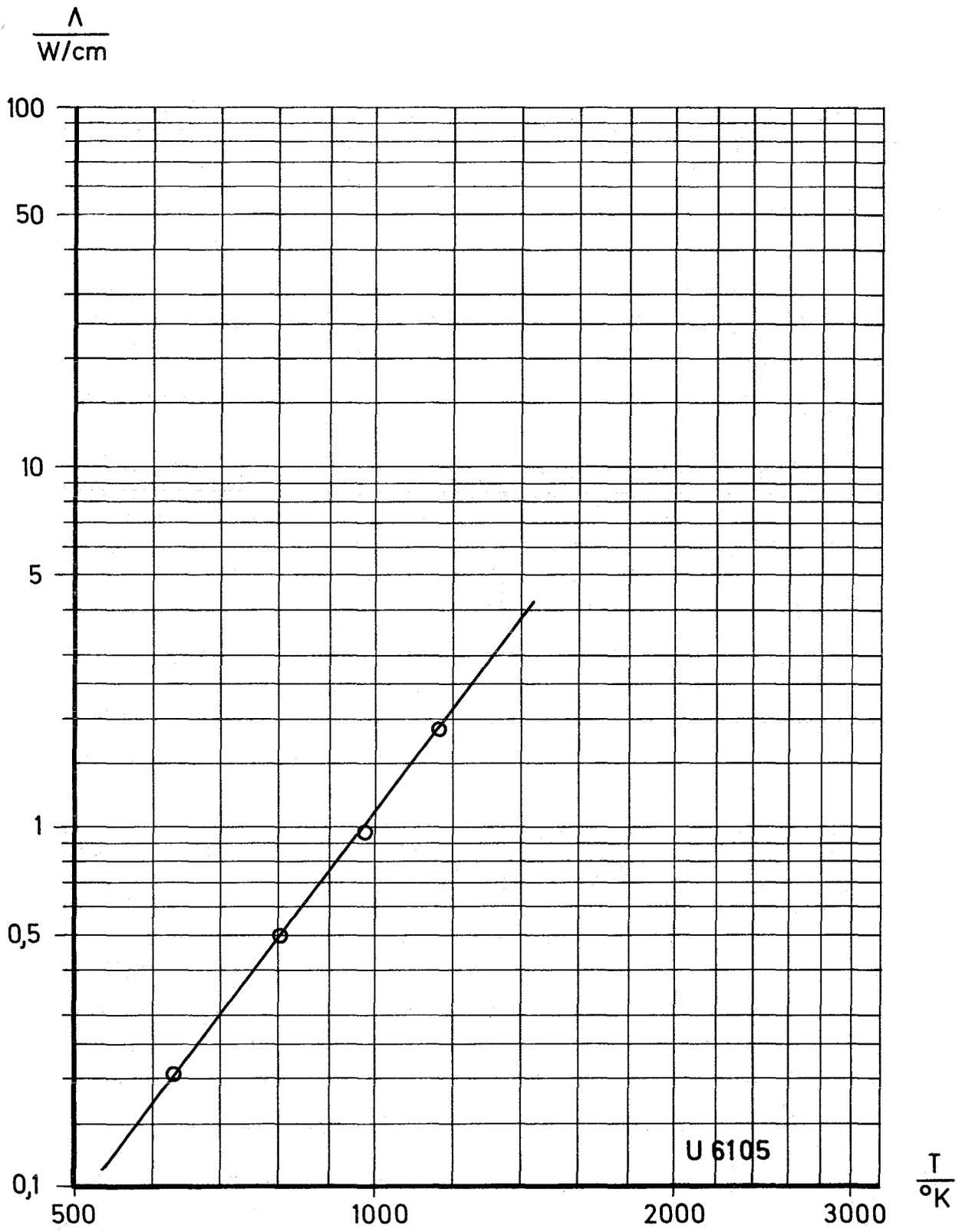


Abb.4 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Graphitfilz Type U 6105

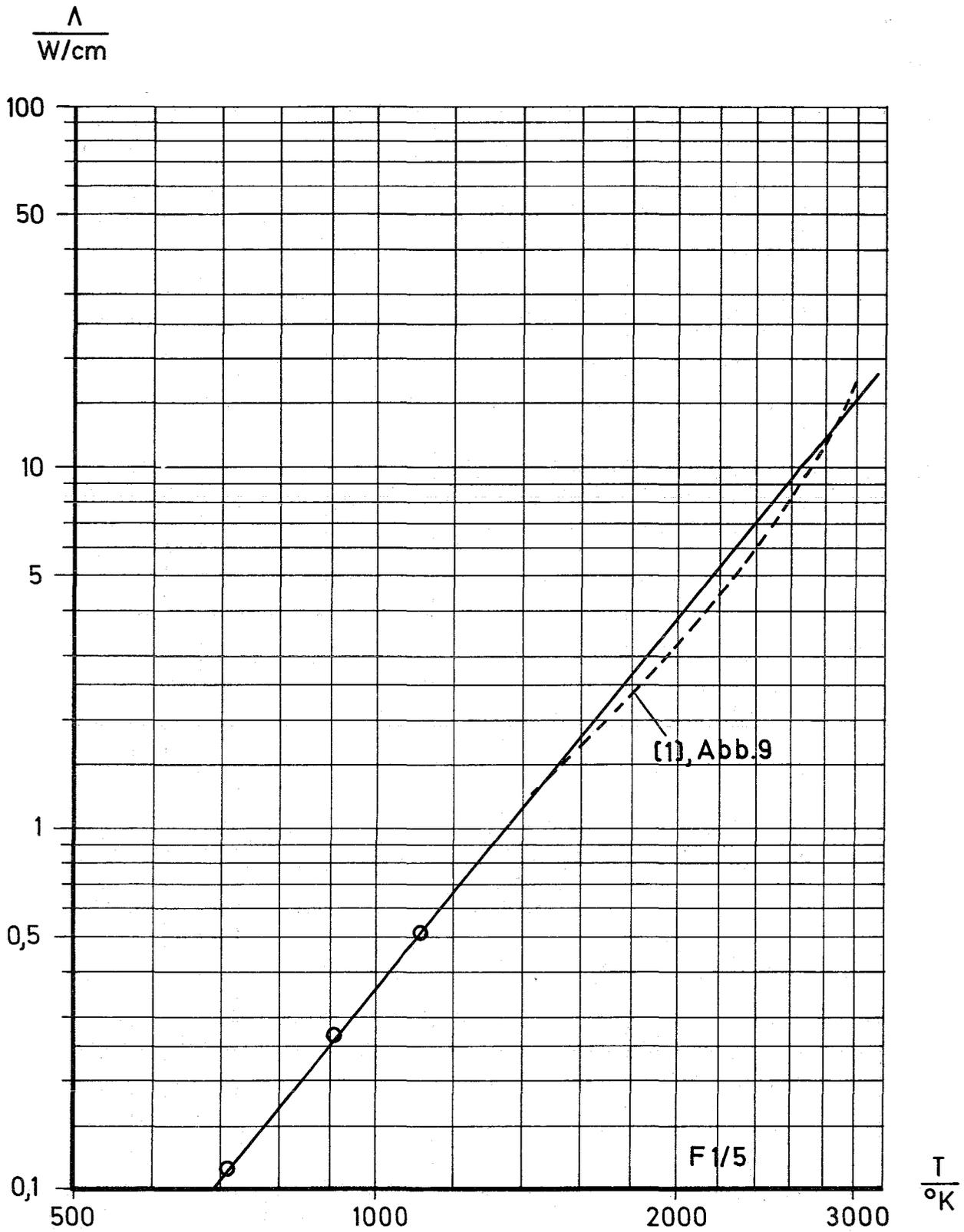


Abb.5 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Kohlefilz Type F 1/5

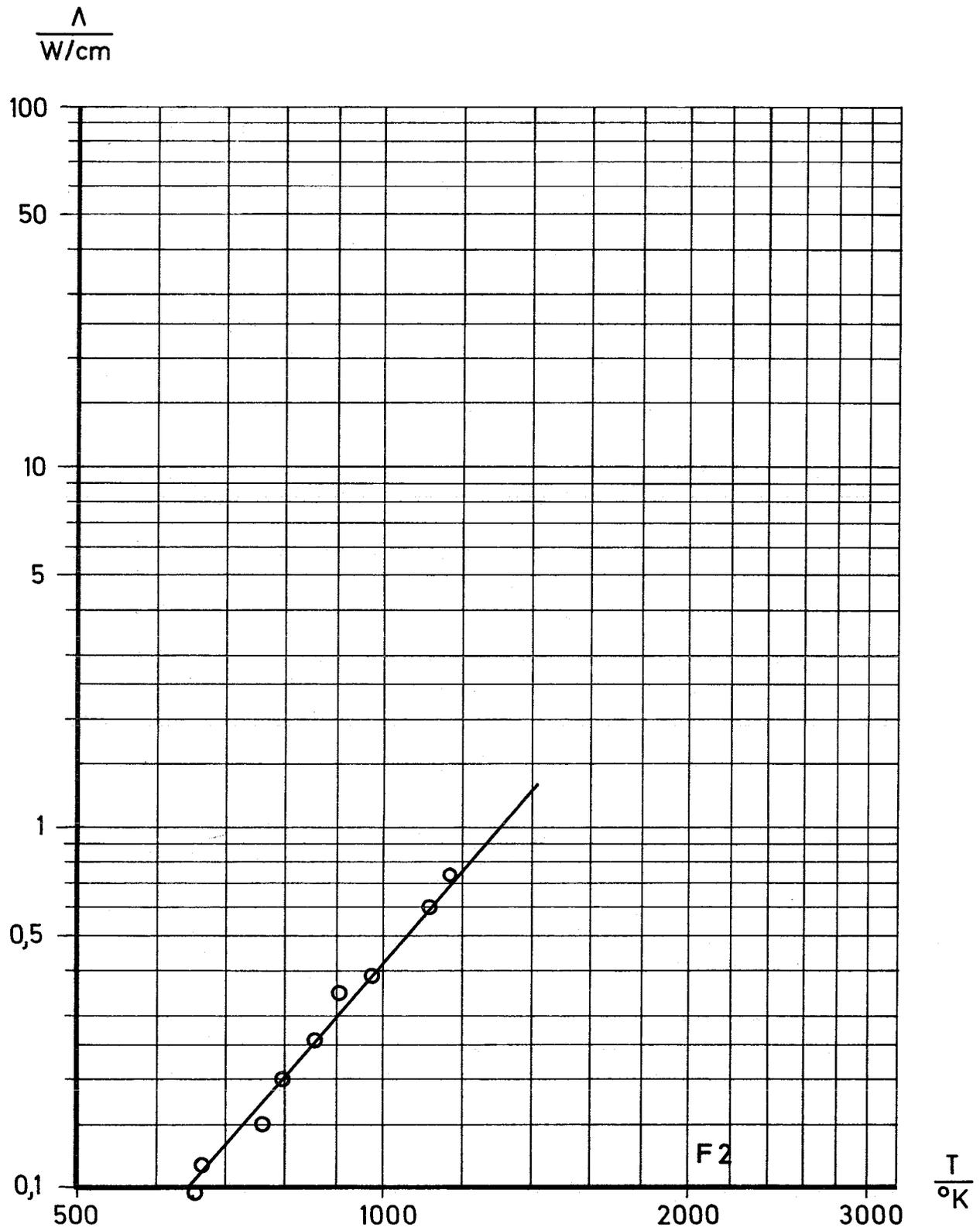


Abb.6 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Kohlefilz Type F 2

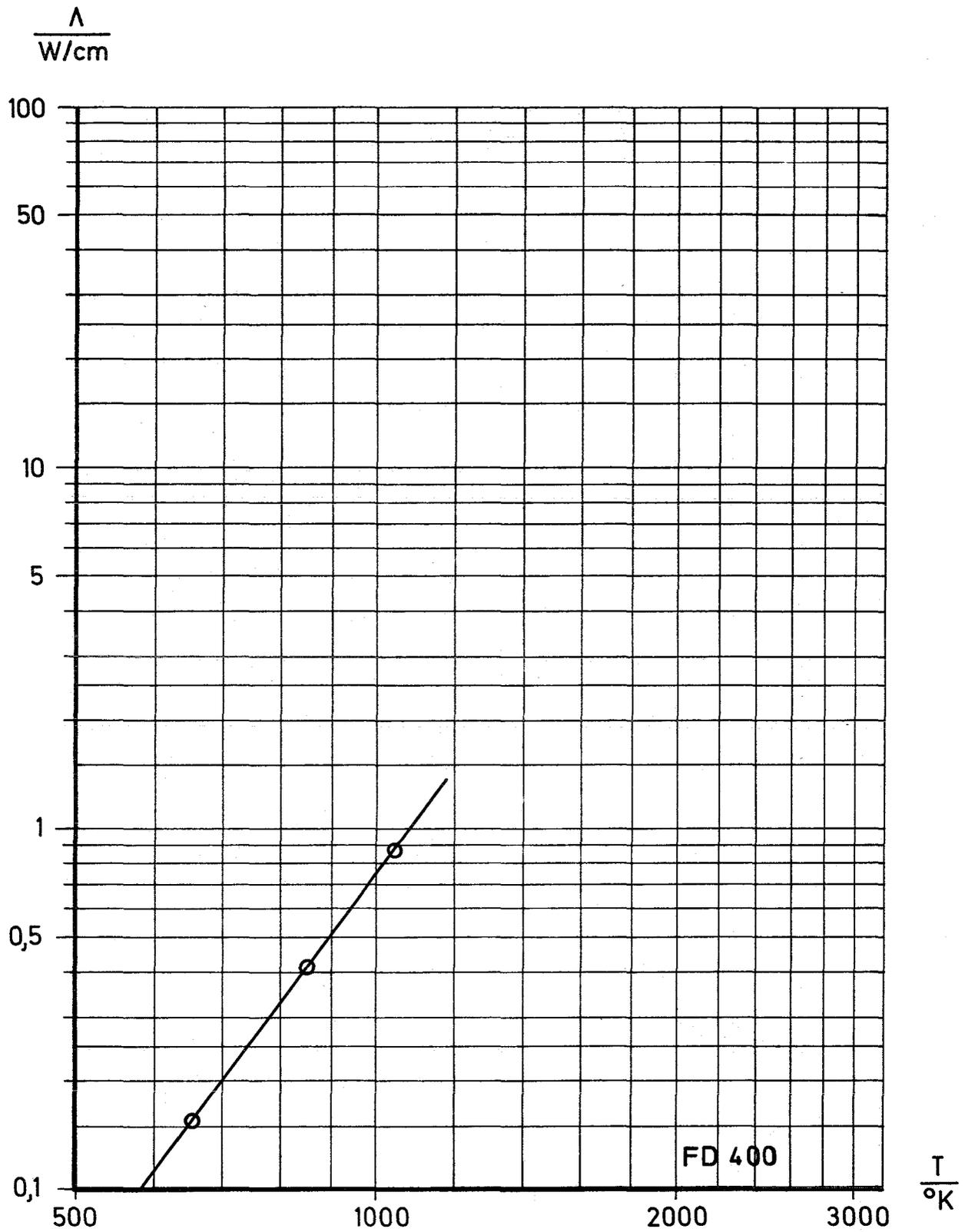


Abb.7 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Kohlefilz FD 400

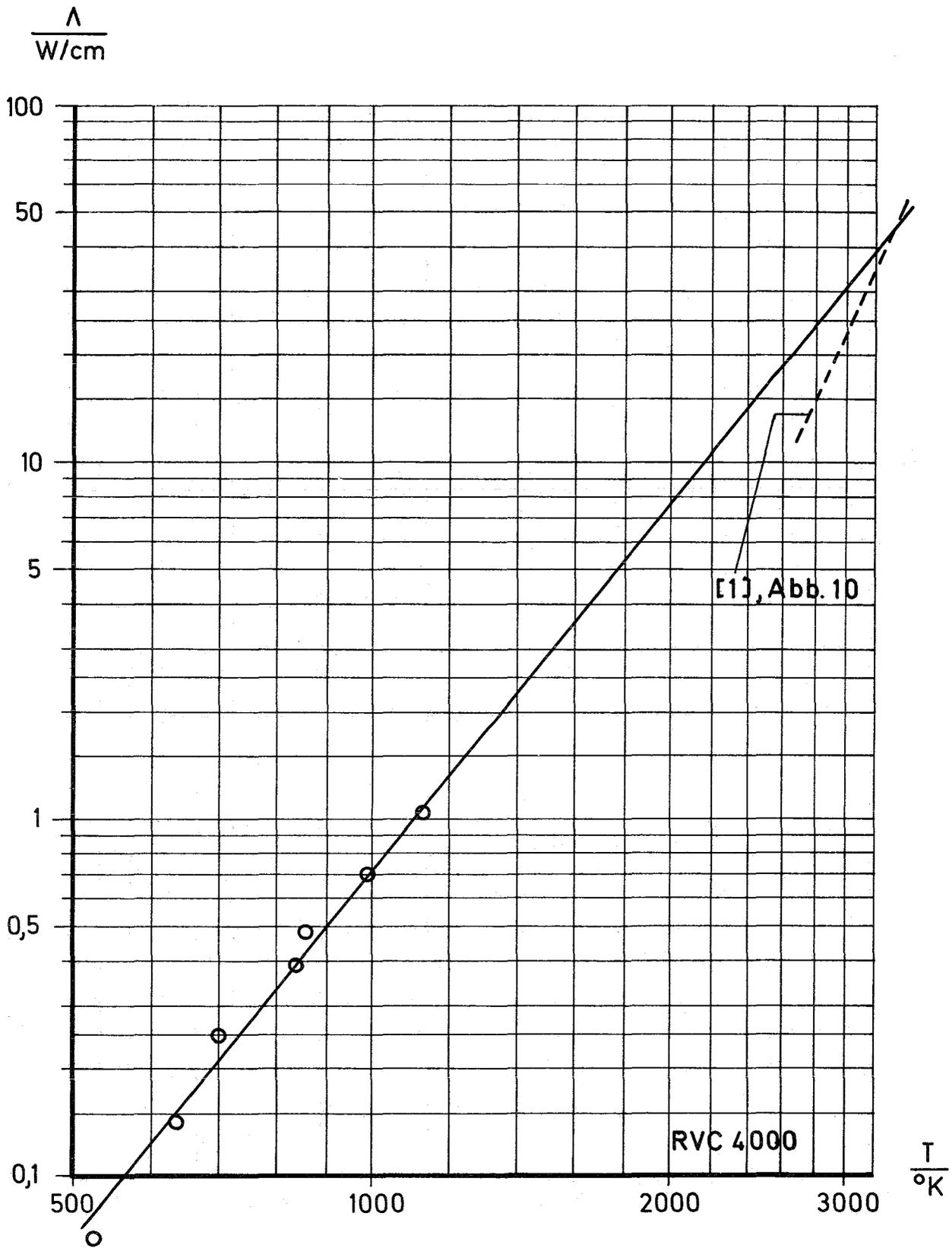


Abb.8 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Kohlefilz Type RCV 4000

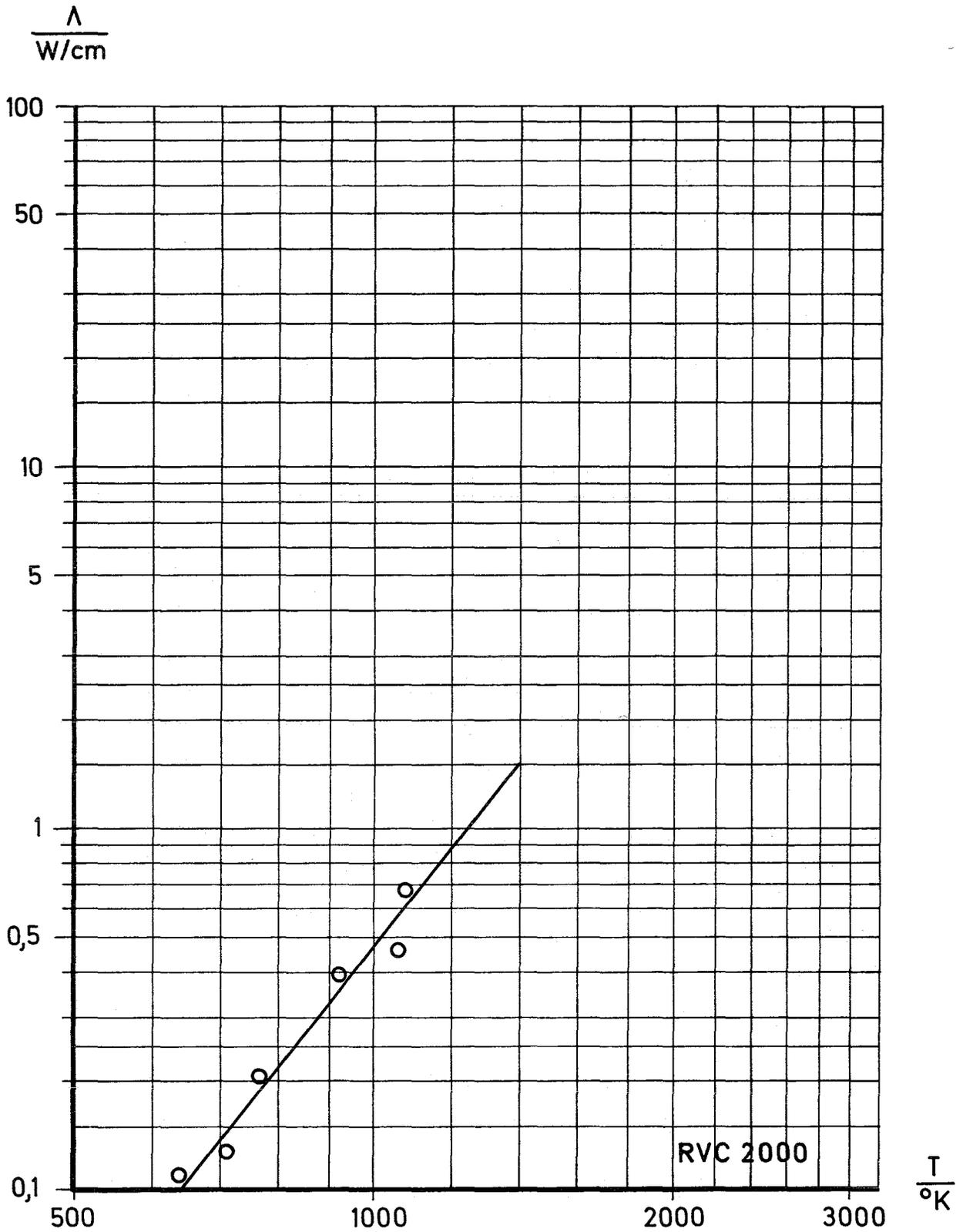


Abb.9 Temperaturabhängigkeit der Wärmestromfunktion im Vakuum für den Kohlefilz Type RCV 2000

