

Černobyl'skij, I. (Doktor d. techn. Wiss., Prof.)

Ratiani, G. (Kandidat d. techn. Wiss.)

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER WÄRMEÜBERGANGSZAHLEN BEIM  
BEHÄLTERSIEDEN VON FREON-12

Deutsche Übersetzung aus <sup>1)</sup>:

Cholodil'naja tehnika. Moskva, 32 (1955),  
Nr 3, S. 48 - 51.

Russ.: Экспериментальное исследование коэффициента  
теплоотдачи при кипении фреона-12 в большом объеме

Ekspperimental'noe issledovanie koëffizienta  
tepłootdači pri kipeonii freona-12 v bol'som  
ob'eme

Experimentell untersucht wurde der Einfluß des Werkstoffs und der Geometrie der Oberfläche sowie der Ölbeimischungen auf das Behältersieden von Freon-12. Die Versuche wurden in einem Siedetemperaturbereich von + 16° bis - 13° und bei Heizflächenbelastungen  $\dot{q}$  von 1 000 bis 6 000 kcal/m<sup>2</sup>·h durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  beim Sieden von Freon-12 nicht vom Werkstoff der wärmeübertragenden Fläche abhängt oder davon, ob sie berippt ist. Bei  $\dot{q} < 1\ 600 - 1\ 800$  kcal/m<sup>2</sup>·h wird  $\alpha$  nach der Gleichung für die freie Konvektion einer Flüssigkeit bestimmt. Beim Blasen-sieden, das bei  $\dot{q} > 1\ 800$  kcal/m<sup>2</sup>·h eintritt, gilt die Gleichung  $\alpha = c \cdot \dot{q}^n$ , wobei c vom Ölgehalt x abhängt. Bei einem Ölgehalt von  $x > 3\ %$  nimmt  $\alpha$  stark ab; so sinkt  $\alpha$  bei  $\dot{q} = 6\ 000$  kcal/m<sup>2</sup>·h und  $x = 58\ %$  von 1 250 kcal/m<sup>2</sup>·h·grad auf 325 kcal/m<sup>2</sup>·h·grad. Angegeben sind Rechenformeln zur Bestimmung von  $\alpha$  beim Sieden von Freon-12 im Bereich  $\dot{q} < 1\ 800$  und  $\dot{q} > 1\ 800$  kcal/m<sup>2</sup>·h.

A.R.

Referativnyj žurnal. Chimija, 1956 Nr 21 416

<sup>1)</sup> Sarukhanian veröffentlichte in der Zeitschrift Kältetechnik. Karlsruhe, 8 (1956), S. 58 - 59 eine Kurzübersetzung von diesem Aufsatz, aus der zum Teil die Abbildungen entnommen wurden (Anm. d. Übers.).

In der Literatur gibt es bislang sehr wenige Angaben zur Untersuchung des Wärmeübergangs beim Behältersieden von Freon-12. In diesem Zusammenhang wurden von uns die folgenden Versuche durchgeführt: Bestimmung der Wärmeübergangszahl  $\alpha_2$  beim Sieden von Freon-12 an glatten und berippten Oberflächen, Feststellung des Einflusses der Ölbeimischung im Kältemittel auf den Wärmeübergang und Aufstellung der entsprechenden Abhängigkeiten zur Berechnung von  $\alpha_2$ .

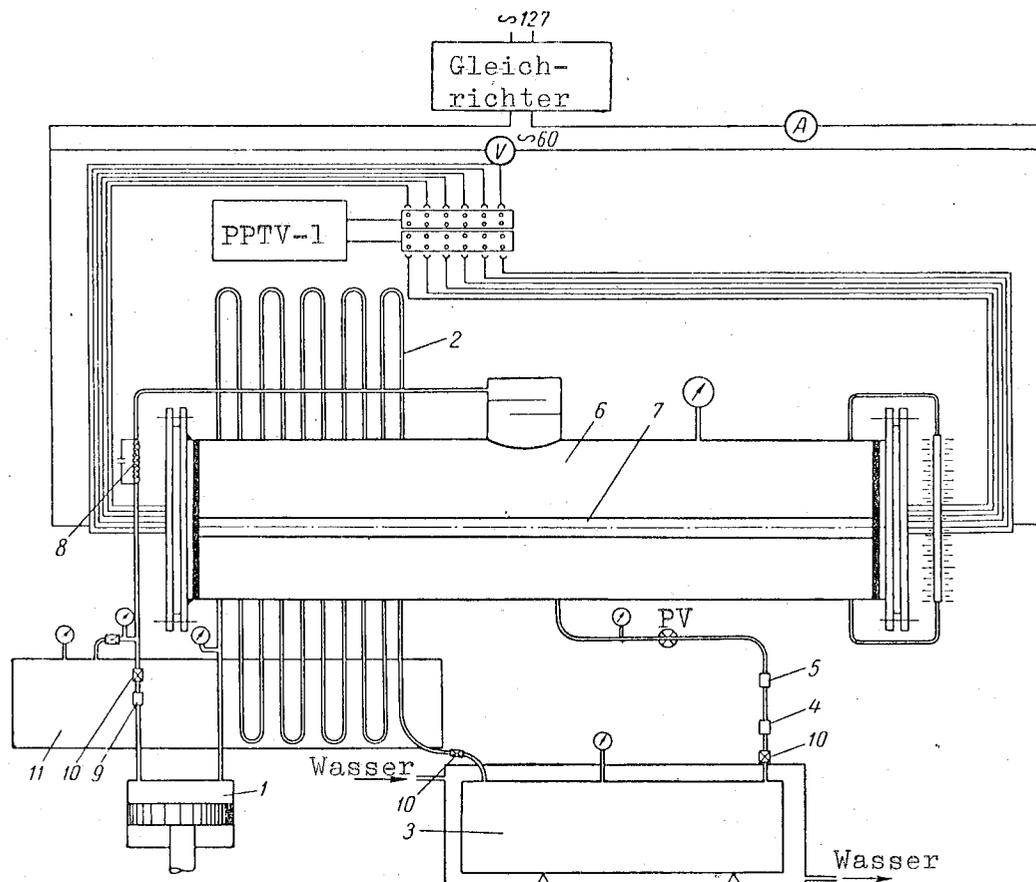


Abb. 1. Schematischer Aufbau der Versuchsanlage:  
1 - Verdichter; 2 - Kondensator; 3 - Sammelbehälter; 4 - Trockner; 5 - Filter; 6 - Verdampfer;  
7 - Versuchsrohr; 8 - Überhitzer; 9 - Filter; 10 - Ventile; 11 - Zusatzbehälter zur Druckregulierung im Verdampfer.

Die Versuche wurden an einer speziell dafür ausgestatteten Versuchsanlage durchgeführt; ihr schematischer Aufbau ist in Abb. 1 dargestellt. Die Abmessungen der verwendeten Rohre sind in der Tabelle angegeben.

Tabelle 1. Abmessungen der untersuchten Rohre.

Rohr	Innendurchmesser $d_i$ mm	Grunddurchmesser $d_g$ mm	Außendurchmesser $d_a$ mm	Rippensteigung $S$ mm	Rippenhöhe $h$ mm	Rippenstärke			Rohrlänge $l$ mm	Flächenverhältnis $\frac{F_{gesamt}}{F_{glatt}}$
						Rippenbasis $\delta_B$ mm	Rippenmitte $\delta_M$ mm	Rippen Spitze $\delta_S$ mm		
Glattes Kupferrohr . .	10	—	14	—	—	—	—	—	525	—
Glattes Kupferrohr . .	8	—	18	—	—	—	—	—	170	—
Kupferrohr gerillt . .	8	21,1	24	2	1,45	1,4	0,8	0,4	184	2,1
Kupferrohr mit runden, flachen Rippen . . .	8	18	24	4	3	2	2	2	170	2,84
Kupferrohr gerillt . .	8	18	22	2	2	1,7	1,1	0,5	170	2,75
Glattes Stahlrohr . .	8	—	18	—	—	—	—	—	170	—

Ohne besonders auf das Untersuchungsverfahren einzugehen, das den heutigen Forderungen entsprach, sei gesagt, daß die Versuchsanlage einen geschlossenen Kreislauf darstellte, in dem Freon-12 nach dem Sieden im Verdampfer zirkulierte. Im Versuchrohr wurde ein Heizstab montiert; aus den gemessenen Werten von Strom und Spannung wurde der Wärmestrom  $\dot{q}$  berechnet; die Temperaturdifferenz Wand/Kältemittel wurde mittels sechs Differential-Thermoelementen bestimmt; mit den Thermoelementen wurde auch die Siedetemperatur des Kältemittels bestimmt. Die Ölkonzentration im Kältemittel wurde mit Hilfe der Graphik aus [1] über Siededruck und -temperatur im Verdampfer bestimmt. Die Versuche wurden in einem Siedetemperaturbereich von  $t_s = + 16$  bis  $- 13^\circ$  bei Wärmeströmen von 1 000 bis 6 000 kcal/m<sup>2</sup>·h durchgeführt.

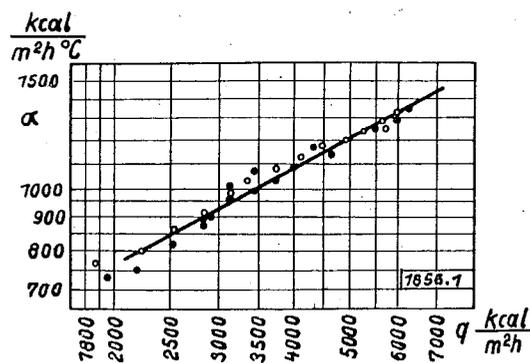


Abb. 2. Abhängigkeit der Wärmeübergangszahl von der Heizflächenbelastung beim Sieden von Freon 12.

● glattes Kupferrohr, ○ glattes Stahlrohr

$\alpha_2 = f(q)$  bei verschiedenen Wärmeübertragungsflächen

Die erste Versuchsreihe wurde an glatten Rohren durchgeführt, die zweite an berippten.

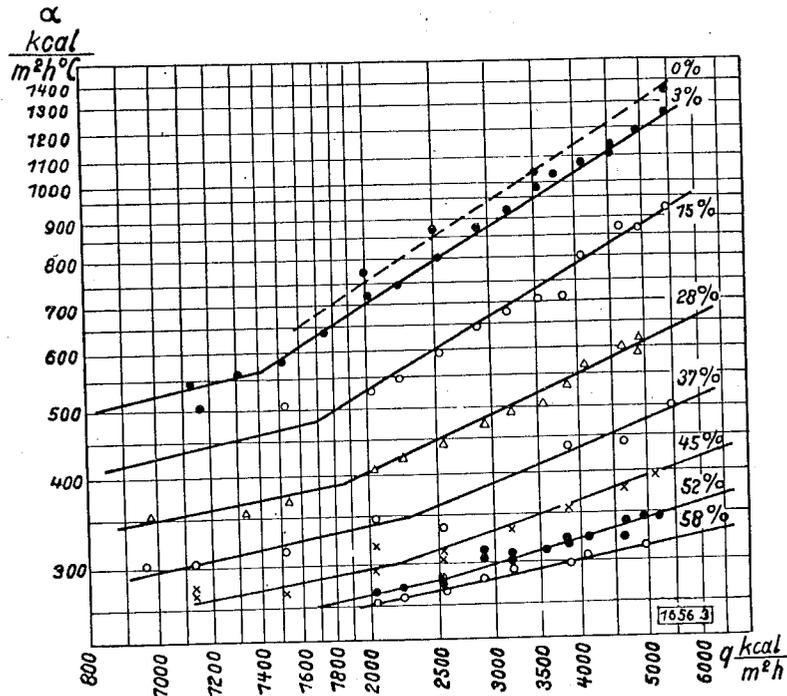


Abb. 3. Wärmeübergangszahl am glatten Kupferrohr von 525 mm Länge in Abhängigkeit von der Heizflächenbelastung und von der Ölkonzentration im Freon.

$\alpha = f(q)$  bei verschiedenen Ölkonzentrationen im Freon-12

Die Versuchsergebnisse sind in den Abbildungen 2, 3 und 4 dargestellt.

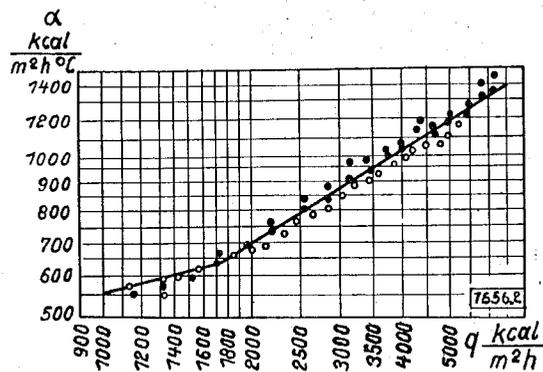


Abb. 4. Wärmeübergangszahl für glatte und berippte Rohre.

● glattes Rohr, ○ beripptes Rohr  
 $\alpha_2 = f(q)$  bei glatten und berippten Rohren

Wie aus den Abbildungen hervorgeht, wird die Abhängigkeit  $\alpha_2$  von  $\dot{q}$  in allen Fällen durch die Gleichung  $\alpha_2 = c\dot{q}^n$  ausgedrückt, wobei bei einem Ölgehalt von nicht mehr als 2 - 3 % im Kältemittel  $n = 0,6$  ist.

Für die Praxis ist Abbildung 3 über die Abhängigkeit von  $\alpha_2$  von der Ölbeimischung von großem Interesse. Daraus geht hervor, daß eine starke Ölbeimischung  $\alpha_2$  wesentlich geringer werden läßt.

Während den Versuchen wurden auch Beobachtungen des Verdampfungsvorgangs durchgeführt (an einem speziell dafür hergestellten Verdampfer mit Glasgehäuse). Die Beobachtungen ergaben, daß die sich bildenden Dampfblasen wesentlich kleiner sind als beim Sieden von Wasser.

Mit den oben genannten Abbildungen kann man  $\alpha_2$  bei verschiedenen Wärmeströmen unmittelbar bestimmen, die in der praktischen Arbeit mit Kältemittelverdampfern von Kältemaschinen vorkommen. Außerdem war es interessant festzustellen, ob der Wärmeübergang beim Sieden von Freon-12 den Abhängigkeiten, wie sie in den Arbeiten [2, 3, 4] veröffentlicht wurden, unterworfen ist. Die Versuchangaben im Bereich des ausgebildeten Siedens bei  $q > 1\ 800\ \text{kCal/m}^2 \cdot \text{h}$ ) wurden in die Abhängigkeit [2] einbezogen.

$$Nu = 54 \cdot K^{0,6} \cdot Pr^{-0,3} \quad (1)$$

mit

$$Nu = \frac{\alpha_2}{\lambda} \sqrt{\frac{\sigma}{\gamma}}; \quad K = \frac{q}{r \gamma' u d} \cdot Pr = \frac{v}{a}$$

Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, liegt die Versuchskurve beinahe parallel zur theoretischen, aber wesentlich darüber: dies läßt sich dadurch erklären, daß in der genannten Formel  $u_d$  gleich 280 m/h (bei 1 ata) gewählt wurde, wohingegen die durchgeführten direkten Beobachtungen einen Grund für die Annahme bieten, daß  $u_d$  beim Sieden von Freon-12 wesentlich niedriger ist als der genannte Wert. Wenn man jedoch solange  $u_d = 280\ \text{m/h}$  annimmt, bis man in dieser Frage über zuverlässige Werte verfügt, dann werden die Versuchspunkte durch die Abhängigkeit  $Nu = 100 K^{0,6} \cdot Pr^{-0,3}$  zufriedenstellend approximiert.

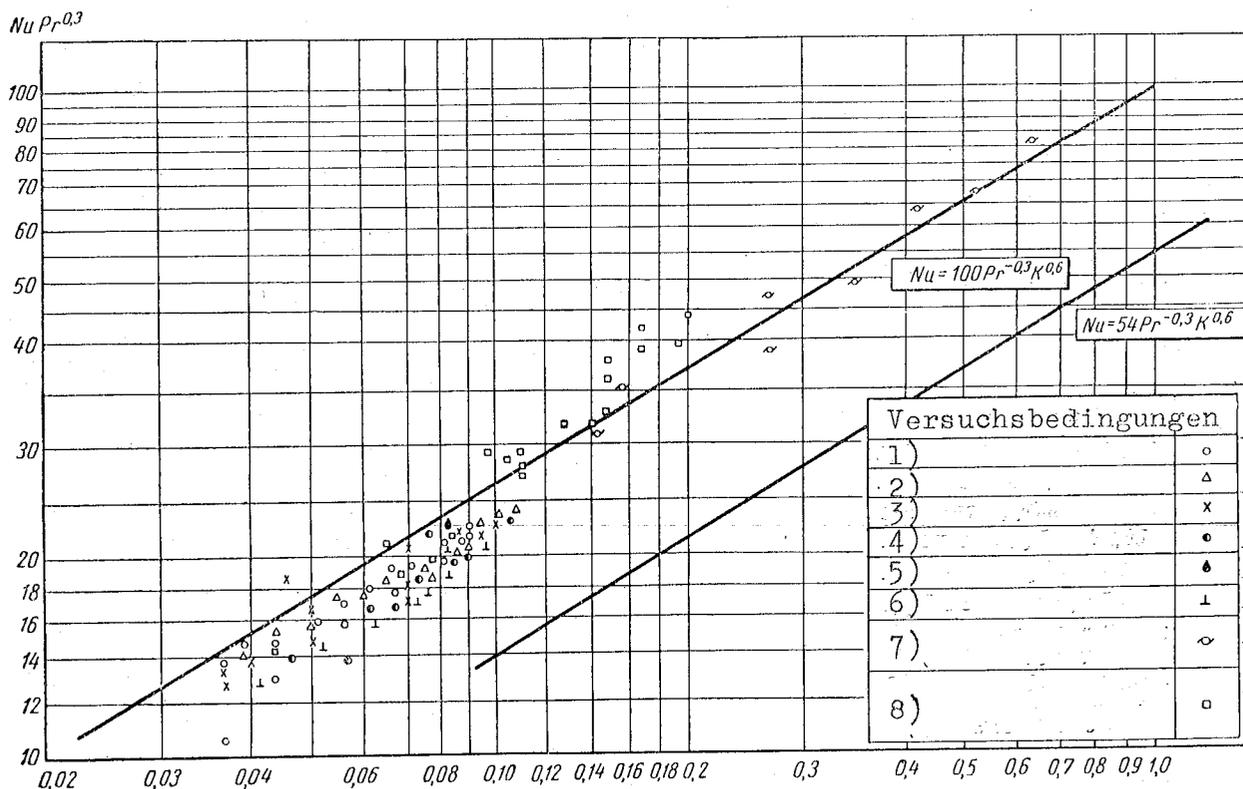


Abb. 5. Gleichung zur Bestimmung von  $\alpha_2$  beim Sieden von Freon-12.

1) Glattes Kupferrohr  $l = 525$ ; 2) Glattes Kupferrohr  $l = 170$ ; 3) Stahlrohr; 4) Gerilltes Rohr  $h = 1,45$ ; 5) Gerilltes Rohr  $h = 2$ ; 6) Rohr mit flachen Rippen; 7) Robinsons und Katzs Versuche (Kupferrohr); 8) Mazjukevičs und Danilovas Versuche mit einem Stahlrohr (Freon-12 ohne Beimischung)

Im Bereich der Wärmebelastungen von  $q = 1\ 000 - 1\ 800\ \text{kCal/m}^2 \cdot \text{h}$ , bei denen das Sieden sehr schwach vonstatten geht, werden die Versuchspunkte durch die Abhängigkeit [5]  $Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n$  verallgemeinert.

Auf der Grundlage dieser Untersuchung kommen wir zu folgenden Schlußfolgerungen:

- Die Versuche zeigten, daß beim Sieden von Freon-12 innerhalb von  $q = 1\ 600 - 6\ 000\ \text{kCal/m}^2 \cdot \text{h}$   $\alpha_2$  nicht vom Werkstoff der in der Kältetechnik verwendeten Rohre (Kupfer- oder Stahlrohre) abhängt.

2. Anhand der Versuche wurde festgestellt, daß bei  $q = 1\ 600 - 1\ 800\ \text{kCal/m}^2 \cdot \text{h}$  das Blasensieden beginnt. Unter diesem Wert wird  $\alpha_2$  nach der Formel für die freie Konvektion einer Flüssigkeit ohne Veränderung des Aggregatzustands bestimmt.
3. Höhere Ölkonzentration in Freon-12 (über 2 - 3 %) führt zu einer starken Abnahme von  $\alpha_2$ .
4. Die Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_2$  sind beim Sieden von Kältemitteln an berippten Rohren mit kleinen Rippen (bezogen auf die gesamte Wärmetauscherfläche) praktisch gleich  $\alpha_2$  beim Sieden von Kältemitteln an glatten Rohren.

Aufgrund der Versuche wurden folgende Gleichungen ermittelt:

- a) für das Sieden von Freon-12 bei  $q > 1\ 800\ \text{kCal/m}^2 \cdot \text{h}$  unter Berücksichtigung der Abhängigkeit aus [2]

$$\alpha_2 = 3,5 \frac{\lambda^{1,3} \cdot \gamma^{0,2} \cdot \gamma'^{0,06} \cdot q^{0,6} \cdot \varphi}{r^{0,6} \cdot \gamma_0^{0,66} \cdot c^{0,33} \cdot \rho^{0,5} \cdot \gamma^{0,3}} \quad (2)$$

oder die einfachere Formel:

$$\alpha_2 = (8,0 + 0,027 t_0) q^{0,6}; \quad (2a)$$

- b) bei  $q < 1\ 800\ \text{kCal/m}^2 \cdot \text{h}$  unter Berücksichtigung der Abhängigkeit aus [5]

$$\alpha_2 = 6 \cdot \lambda^{2/3} \cdot \gamma^{1/3} \cdot \mu^{-1/3} \cdot \beta^{1/3} \cdot c^{1/3} \cdot q^{0,25} \cdot \varphi \quad (3)$$

oder einfacher

$$\alpha_2 = (10 \cdot 3,5 + 0,1 t_0) q^{0,25} \cdot \varphi \quad (3a)$$

(wobei  $\varphi$  vom Ölgehalt im Gemisch abhängt und bei einer Ölkonzentration bis zu 10 %  $\varphi = 1 - 0,7$  ist).

Die Untersuchungen dürften für eine genauere Berechnung und bessere Konstruktion der Verdampfer hilfreich sein.

L i t e r a t u r

1. В. Е. Цыдзик. Холодильные машины и аппараты, Машгиз, 1946 г.  
Cydzik, V. E.  
Cholodil'nye mašiny i apparaty.  
Moskva: Gosudarstvennoe naučno-techničeskoe izdatel'stvo mašinostroitel'noj literatury, 1946.  
<Kältemaschinen und -geräte; russ.>
2. В. Толубинский. Труды института теплоэнергетики Академии наук УССР, вып. 5, 1952 г.  
Tolubinskij, V. -  
In: Sbornik trudov. Institut teploenergetiki. (Akademija nauk Ukrainskoj SSR). Kiev, 5 (1952).  
<russ.; nicht zu ermitteln>
3. М. А. Кицигин, Н. Ю. Тобилевич. Сборник работ Киевского филиала ЦИНС, 1946—1949 гг.  
Kičigin, M. A., Tobilevič, N. Ju. -  
In: Sbornik работ. Central'nyj naučno-issledovatel'skij institut sacharnoj promyšlennosti. Kievskij filial. Kiev, 1946 - 1949.  
<russ.; nicht zu ermitteln>
4. Г. Н. Кружилин. Известия Академии наук СССР, Отделение технических наук, т. 7, 1948 г.  
Kružilin, G. N.: Teplootdača ot poverchnosti nagreva k kipjaščej odnokomponentnoj židkosti pri svobodnoj konvekcii.  
In: Izvestija. Akademija nauk SSSR. Otdelenie techničeskich nauk. Moskva, 1948, Nr 7, S. 967 - 980.  
<Der Wärmeübergang zwischen der Heizfläche und einer siedenden Einkomponenten-Flüssigkeit bei freier Konvektion; russ.>
5. М. А. Михеев. Основы теплопередачи, Госэнергоиздат, 1949 г.  
Micheev, Michail Aleksandrovič:  
Osnovy teploperedaci.  
Moskva: Gosudarstvennoe energetičeskoe izdatel'stvo, 1949.  
Deutsche Übersetzung:  
Grundlagen der Wärmeübertragung. Übers.v. Edgar Scheitz,  
deutsche Bearb.v. Hans Liebisch.  
Berlin: Verlag Technik, 1964.

Stuttgart, den 21. Dezember 1979

übersetzt von

*Ottmar Pertschi*  
(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer