

A 63

Bericht Nr. 528

**Untersuchung verschiedener Stoffe
auf Eignung als Kühlmittel
für flüssigkeitsgekühlte Motoren**

9135



**I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

Untersuchung verschiedener Stoffe auf Eignung als Kühlmittel

für flüssigkeitsgekühlte Motoren

Inhaltsübersicht

I. Zweck der Versuche	Seite 3
II. Durchführung der Versuche	
a) ausgewählte Stoffe	3
b) Messeinrichtungen	5
III. Versuchsergebnisse	6
IV. Rechnungsbeispiele	8
V. Zusammenfassung	14

Untersuchung verschiedener Stoffe auf Eignung als Kühlmittel

für flüssigkeitsgekühlte Motoren

I. Zweck der Versuche:

Nachdem Stoffe mit hohem Siedepunkt, die als Kühlflüssigkeiten geeignet erscheinen, sich in ihren sonstigen physikalischen Kennwerten meistens beträchtlich von Wasser unterscheiden, sollte untersucht werden, wie sich die Eigenschaften solcher Stoffe auf das Verhalten von Motor und Kühlsystem auswirken. Die Forderungen, die seitens der Motorenbauer gestellt werden, sind tiefer Stockpunkt von -50°C und hoher Siedepunkt von 220 bis 240°C . Stoffe, die diese Bedingungen erfüllen, sind allgemein mehrwertige Alkohole, Esterverbindungen und niederviskose Kohlenwasserstoffe, z.B. Dieseltreibstoff.

II. Durchführung der Versuche:

a) Ausgewählte Stoffe

Von den genannten Stoffen wurden die in folgender Tafel dargestellten ausgewählt.

Stoff	Glykol		Glykol		Aethyltri Glykol		Dieselöl		H ₂ O
	ungebr.	gebr.	ungebr.	gebr.	ungebr.	gebr.	ungebr.	gebr.	
Wichte b 20°C kg/l	112	112	0.93	0.94	1.08	1.08	0.76	0.76	0.99
Wichte b 50°C kg/l	108	108	0.83	0.83	1.03	1.03	0.74	0.74	0.97
Wichte b 100°C kg/l	105	105	0.81	0.81	1.01	1.01	0.72	0.72	0.95
Zähigkeit m cSt	629	615	123	131	702	683	180	167	157
Stockpunkt $^{\circ}\text{C}$	-12	-12	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Flammpunkt $^{\circ}\text{C}$	117	117	40-68	40-68	125-127	125-127			
Siedelage 5% $\text{Pm}^{\circ}\text{C}$	190-200	190-200	132	132	233	150			
Spez Wärme $\text{kg}^{\circ}\text{C}$	0.58	0.58	0.62	0.62	0.61	0.61	0.56	0.56	0.99
Wärmetel. $\text{kg}^{\circ}\text{C}$			0.195	0.195	0.155	0.155	0.151	0.151	0.525
Wärmeüber. $\text{kg}^{\circ}\text{C}$									
gangzahl $\text{b } 0 \text{ m}_3$					-200	-200			-250
gangzahl $\text{b } 0.6 \text{ m}_3$					250	250	435	435	3750
Wärmedurch. $\text{kg}^{\circ}\text{C}$					0.17	0.17	0.33	0.33	1

1346

Es sind dabei im einzelnen:

Glykol ein technisches Glykol $\text{HO C}_2\text{H}_4 \text{OH}$

G.A.-Glykol eine Glykol-Äther-Mischung mit dem Grundstoff
 $\text{HO C}_2\text{H}_4 \text{O C}_2\text{H}_5$

Äthyltriglykol $\text{C}_2\text{H}_5 \text{O C}_2\text{H}_4 \text{O C}_2\text{H}_4 \text{O C}_2\text{H}_4 \text{OH}$

Dieselöl, ein RCH-Gasöl und zum Vergleich Wasser.

Wie man aus der Zusammenstellung sieht, liegen die Wichten der Stoffe mit Ausnahme des Gasöls rund bei 1. Die Zähigkeiten unterscheiden sich zwar wesentlich, haben aber auf die Fördermenge bei geräuchlichen Kühlmittel-Kreiselpumpen in den vorhandenen Grenzen nur wenig Einfluss. Diese Tatsache dürfte auf die mit zunehmender Zähigkeit kleiner werdenden Spaltverluste der Pumpe zurückzuführen sein. G.A.-Glykol ist im Stockpunkt zwar besonders günstig, im Siedeverhalten jedoch nicht hoch genug. Bei Äthyltriglykol ist sowohl der Stockpunkt als auch das Siedeverhalten gut. Die spezifische Wärme fällt bei allen Stoffen gegenüber Wasser stark ab, ebenso die Wärmeleitzahl. Wärmeübergangszahl und Wärmedurchgangszahl wurden nur noch bei Äthyltriglykol, Gasöl und Wasser bestimmt, da die eigentlichen Messungen nur mit diesen drei Stoffen als kennzeichnenden Vertretern der drei Gruppen Glykole, Kohlenwasserstoffe und Wasser durchgeführt wurden. Bei den Wärmedurchgangszahlen, die nur als Vergleichswerte eingesetzt sind, ist zu beachten, dass die Werte nur für die bei der Messapparatur vorhandenen Verhältnisse gültig sind. Die Strömungsgeschwindigkeit in der Apparatur lag etwa in der Grössenordnung der bei Kühlern gegebenen. Hierbei stellt sich bei Wasser turbulente Strömung ein, bei Gasöl befindet man sich im Anfangsbereich der Turbulenz, während bei Äthyltriglykol rein laminare Strömung vorhanden ist. Diese Tatsache erklärt die grossen Unterschiede in der Wärmeübergangszahl.

b) Messeinrichtungen

Es wurden zunächst Fahrversuche mit zwei verschiedenen Kühlsystemen durchgeführt. In dem ersten, mit Thermosyphon arbeitenden Kühlsystem, ergaben sich für die Glykole schon bei niedriger Belastung der Maschine Temperaturen, die weit über 100°C lagen. Da diese Kühlung auch bei Wasser schon 85°C im Mittel ergab, wurde zum Vergleich ein mit Pumpenumlaufkühlung arbeitendes Fahrzeug herangezogen. Dieses Fahrzeug war von den Adlerwerken schon einige Zeit mit Äthyltriglykol betrieben worden und erreichte auch bei sehr ungünstigen Betriebsbedingungen (Vollast im niederen Gang) nur Temperatursteigerungen von ca 6°C gegenüber Wasser, gemessen am Motoraustritt (s.a.Bericht Nr.3 vom 27.11.42 der Adlerwerke). Die Wasseraustrittstemperatur lag hierbei um 75°C .

Da genaue Messungen im Fahrbetrieb schwierig sind, wurden die weiteren Versuche am Prüfstand durchgeführt. Die hierbei verwendeten Motoren waren ein Daimler-Benz 170 V, sowie ein aus dem oben erwähnten Fahrzeug ausgebauter Adler 1,8 ltr Versuchsmotor. Die beiden Motoren wurden, wie aus den Anlagen hervorgeht, mit verschiedenen Leistungen betrieben und besaßen Pumpenumlaufkühlung.

Die erste Versuchsreihe wurde mit beiden Motoren und einem Kühlschlangenkühler folgender Anordnung durchgeführt: Das Kühlmittel, dessen Menge 40 ltr betrug, wurde vom Motor einem Kühlbehälter zugeführt, in dem sich eine frischwasserbesichzte Kühlschlange befand. Die Frischwassermenge und die Eintrittstemperatur wurde bei allen Versuchen gleichgehalten und zwar so, dass sich Kühlmitteltemperaturen wie im normalen Fahrbetrieb ergaben. Die Messungen wurden als Anfahrmessungen vorgenommen und jeweils bis zu Temperaturgleichgewicht fortgeführt.

III. Versuchsergebnisse:

Die Versuchsergebnisse dieser Messreihen zeigen Blatt 1, 2, 3, 4 und 5. Aus Blatt 1 und 2, wo die Eintritts- und Austrittstemperaturen des Kühlmittels aufgetragen sind, erkennt man die beträchtlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Stoffen. Dies ist zunächst überraschend, da es den im praktischen Fahrbetrieb ermittelten Werten widerspricht. Auch der Parallelversuch im Adler-Motor, der lediglich mit Äthyltriglykol im Vergleich zu Wasser durchgeführt wurde, zeigt die gleichen Ergebnisse (Blatt 2). Die Unterschiede sind hier noch etwas grösser, was sich aus der im vorliegenden Fall stärkeren Belastung bzw. grösseren Leistung der Maschine ergibt.

Die Motortemperaturen ergeben ein entsprechendes Verhalten, wie Blatt 3, 4 und 5 zeigen. Die Zylinderkopftemperaturen, die an zwei Stellen gemessen wurden, steigen bei Verwendung von Äthyltriglykol und auch bei Gasöl stark an. Ebenso erhöhen sich die Abgastemperaturen um einen geringen Betrag, was auf die stärkere Aufheizung der Motorwände zurückzuführen ist.

Da diese Ergebnisse gegenüber denen des Fahrbetriebes (mit Pumpenumlaufkühlung) grundsätzliche Unterschiede zeigen, konnte als Ursache nicht mehr die spezifische Wärme angesehen werden (die Messergebnisse der Wärmeübergangs- und -durchgangszahlen lagen zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor). Nachdem nun aber die Temperaturverhältnisse an einem Kühlsystem sich durch die beiden Hauptformeln:

$$Q = W \cdot c \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\text{und } Q = k \cdot F \cdot \Delta_m \quad (2)$$

bestimmen, wobei

Q die Wärmemenge pro Stunde,

W die entsprechende Wassermenge,

c die spezifische Wärme der Flüssigkeit,

F die Kühlfläche und

Δt bzw. Δ_m die Temperaturgefälle bedeuten,

ist klar, dass für die grossen Temperaturunterschiede nur k aus Formel (2) die Ursache sein kann. Der Beweis kann, wie aus der Formel (2) weiter hervorgeht, mittelbar über eine Veränderung der Kühlfläche F geführt werden; auf die näheren Zusammenhänge wird an späterer Stelle eingegangen werden. Es wurde also der Einfluss von k bei verschiedenen Kühlflächen untersucht und zu diesem Zweck die im Daimler-Benz-Motor gefahrenen Versuche mit einem grösseren Kühler wiederholt. Die beiden Kühlerflächen konnten in ihrer absoluten Grösse nicht ermittelt werden; eine überschlägige Schätzung ergibt ein Verhältnis von ungefähr 10 : 4 der grossen zur kleinen Kühlfläche. Die Frischwassermenge wurde beim grossen Kühler, um für Wasser als Kühlmittel wieder die früheren Temperaturen zu erreichen, entsprechend verkleinert. Die hieraus ermittelten Werte sind in Blatt 6 und 7 aufgetragen und ergeben eine wesentlich geringere Steigerung der Kühlmitteltemperaturen bei Äthylglykol bzw. Gasöl gegenüber Wasser. Die Zylinderkopftemperaturen zeigen allerdings auch in diesem Falle eine, wenn auch etwas geringere Steigerung, was wieder auf einen schlechteren Wärmeübergang schliessen lässt, der aber nicht durch eine Vergrösserung der Übergangsfläche ausgeglichen werden kann, da der Motor als solcher gegeben ist.

Diese Ergebnisse zeigen also, dass durch eine Vergrösserung der Kühlfläche der Einfluss der Wärmeübergangszahl auf die Kühlmitteltemperaturen weitgehend ausgeglichen werden kann, lassen aber immer noch eine Anschaulichkeit der Zusammenhänge vermissen. Es soll deshalb versucht werden, die Beziehungen anhand einiger Berechnungen mit Schaubildern deutlich zu machen.

IV. Rechnungsbeispiele:

Die Verhältnisse sollen an vier gewählten Beispielen untersucht werden und zwar:

Fall a Kühlmittel Wasser und grosser Kühler

Fall b Kühlmittel Äthyltriglykol und grosser Kühler

Fall c Kühlmittel Wasser und kleiner Kühler

Fall d Kühlmittel Äthyltriglykol und kleiner Kühler.

Die einzelnen Grössen seien wie folgt gewählt:

Kühlmittelumlaufmenge	$W_1 = 3000 \text{ kg/h}$
Abszuführende Wärmemenge	$Q = 20000 \text{ kcal/h}$
Spezifische Wärme für Wasser	$c_w = 1,0 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
Spezifische Wärme für Äthyltriglykol	$c_A = 0,6 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
Frischwassermenge	$W_2 = 500 \text{ kg/h}$
Wärmedurchgangszahl für Wasser	$k_w = 200 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
Wärmedurchgangszahl für Äthyltriglykol	$k_A = 80 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
Grosse Kühlfläche	$F_g = 4 \text{ m}^2$
Kleine Kühlfläche	$F_k = 2,4 \text{ m}^2$
Frischwassereintrittstemperatur	$t_{2e} = 10^\circ\text{C} = \text{konstant}$

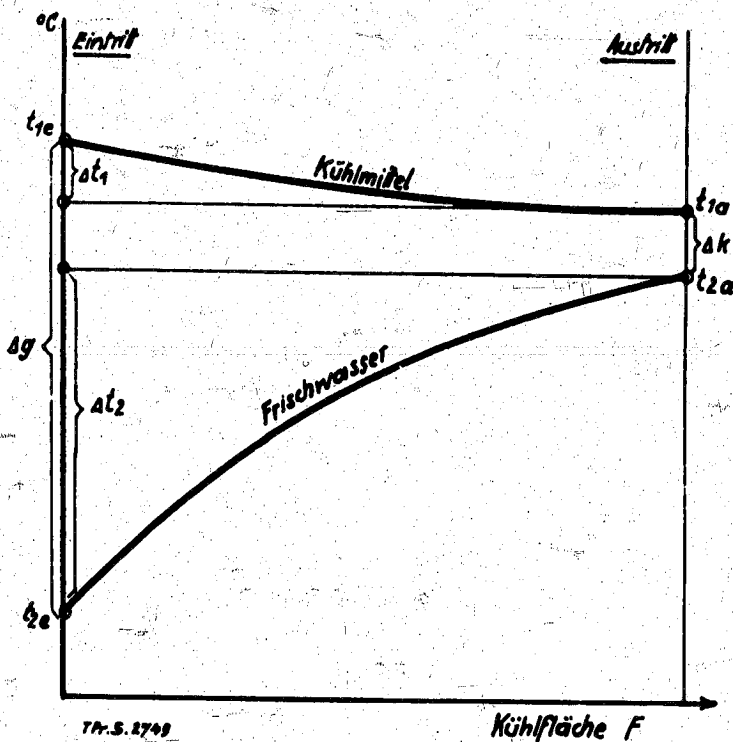
Die Kühlung werde als Gleichstromkühlung angenommen. In Verbindung mit der folgenden schematischen Darstellung des Vorgangs gelten folgende Formeln:

$$\text{für die Wärmeaufnahme des Kühlmittels} \quad Q = W_1 \cdot c \cdot \Delta t_1 \quad (1)$$

$$\text{für den Wärmeübergang vom Kühlmittel an Frischwasser} \quad Q = k \cdot F \cdot \Delta t_m \quad (2)$$

$$\text{wobei die mittlere Temperaturdifferenz} \quad \Delta t_m \text{ zwischen Kühlmittel und Frischwasser} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad (3)$$

$$\text{und für das Frischwasser entsprechend Formel (1)} \quad Q = W_2 \cdot c_w \cdot \Delta t_2$$



Es gilt dann:

Fall a für das Frischwasser:

$$\Delta t_2 = t_{2a} - t_{2e} = \frac{Q}{\dot{m}_2 \cdot c_{p2}} = \frac{20000}{500 \cdot 1} = 40^\circ\text{C}$$

$$t_{2e} = 10^\circ\text{C}$$

$$t_{2a} = 50^\circ\text{C}$$

für den Wärmeübergang:

die notwendige mittlere Temperaturdifferenz:

$$\Delta_m = \frac{Q}{k_y \cdot F_g} = \frac{20000}{200 \cdot 4} = 25^\circ\text{C}$$

und für das Kühlmittel:

$$\Delta t_1 = \frac{Q}{w_1 \cdot c_w} = \frac{20000}{3000 \cdot 1} = 6,7^\circ\text{C} = t_{1e} - t_{1a}$$

weiter gilt

$$\Delta g = (t_{1e} - t_{2e}) = (t_{1e} - 10)$$

$$\Delta k = (t_{1a} - t_{2a}) = (t_{1a} - 50)$$

$$\begin{aligned} \Delta g - \Delta k &= t_{1e} - t_{1a} - 10 + 50 \\ &= 6,7 - 10 + 50 = 46,7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

und durch Division mit Δk

$$\frac{\Delta g}{\Delta k} - 1 = \frac{46,7}{\Delta k}$$

$$\frac{\Delta g}{\Delta k} = \frac{46,7}{\Delta k} + 1$$

aus Formel (3):

$$\ln \frac{\Delta g}{\Delta k} = \frac{\Delta g - \Delta k}{\Delta_m} = \frac{46,7}{25} = 1,97 = \ln \left(\frac{46,7}{\Delta k} + 1 \right)$$

oder

$$\frac{46,7}{\Delta k} + 1 = 6,44 \text{ und } \Delta k = 8,6^\circ\text{C}$$

Damit wird

$$\underline{t_{1a} = 58,6^\circ\text{C}} \quad \text{und} \quad \underline{t_{1e} = 65,3^\circ\text{C}}$$

Fall b (Die Wärmemenge, sowie Frischwassermenge und Frischwassertemperaturen bleiben konstant)

$$\Delta_m = \frac{20000}{80 \cdot 4} = 62,6^\circ\text{C}$$

$$\text{und } \Delta t_1 = \frac{20000}{3000 \cdot 0,6} = 11,1^\circ\text{C} = (t_{1e} - t_{1a})$$

$$\Delta g - \Delta k = 11,1 - 10 + 50 = 51,1^\circ\text{C}$$

$$\ln \frac{\Delta g}{\Delta k} = \frac{51,1}{62,6} = 0,816$$

$$\text{und } \frac{51,1}{\Delta k} + 1 = 2,26 \quad \Delta k = 40,6^\circ\text{C}$$

Damit wird

$$\underline{t_{1a} = 90,6^\circ\text{C}} \quad \text{und} \quad \underline{t_{1e} = 99,0^\circ\text{C}}$$

Fall c (Hier sollen bei Wasser als Kühlmittel die Temperaturen von Fall a eingehalten werden. Es muss deshalb bei verkleinerter Kühlfläche Δ bzw. die Frischwassermenge entsprechend vergrößert werden.)

$$\text{Aus } t_{1e} = 65,3^\circ\text{C} \quad \text{und} \quad t_{1a} = 58,6^\circ\text{C}$$

$$\text{sowie } t_{2e} = 10,0^\circ\text{C}$$

ergibt sich das notwendige Δ_m aus Formel (2) zu:

$$\Delta_m = \frac{3}{k_H \cdot F_k} = \frac{20000}{200 \cdot 2,4} = 41,7^\circ\text{C}$$

$$\text{und aus } \Delta_m = \frac{\Delta g - \Delta k}{\ln \frac{\Delta g}{\Delta k}} \quad \text{durch graphische Bestimmung } \Delta k = 31,3^\circ\text{C}$$

Damit wird

$$t_{2a} = 58,6 - 31,3 = 27,3^{\circ}\text{C}$$

und wieder

$$t_{2e} = 10,0^{\circ}\text{C}$$

Diese Werte ergeben ein $\Delta t_2 = 17,3^{\circ}\text{C}$ und eine Frischwassermenge von

$$W_2 = \frac{20000}{17,3 \cdot 1} = 1150 \text{ kg/h}$$

Fall d (Da die Frischwassermenge gleichbleibt) wird:

$$\Delta_m = \frac{Q}{k_A \cdot F_g} = \frac{20000}{80 \cdot 2,4} = 104^{\circ}\text{C}$$

$$\text{und } \Delta t_1 = \frac{Q}{W_1 \cdot c_A} = \frac{20000}{3000 \cdot 0,6} = 11,1^{\circ}\text{C}$$

$$\text{so wie } \Delta g - \Delta k = 11,1 - 10 + 27,3 = 28,4^{\circ}\text{C}$$

$$\text{und } \ln \frac{\Delta g}{\Delta k} = \frac{\Delta g - \Delta k}{\Delta_m} = \frac{28 \cdot 39}{104} = 0,273 = \ln \left(\frac{28 \cdot 39}{\Delta k} + 1 \right)$$

$$\text{oder } \frac{28 \cdot 39}{\Delta k} + 1 = 1,314 \text{ und } \Delta k = 90,5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{damit } t_{1a} = 27,3 + 90,5 = 117,8^{\circ}\text{C} \text{ und } t_{1e} = 128,9^{\circ}\text{C}$$

Zusammengefasst ergeben sich also folgende Temperaturen:

Kühlfläche	Kühlmittel	Motoraustritt bzw. Kühlereintritt °C
Grosser Kühler F = 100%	Wasser	65
	Äthyltriglykol	99
Kleiner Kühler F = 60%	Wasser	65
	Äthyltriglykol	129

Man sieht hieraus, dass beim grossen Kühler die Verwendung von Äthyltriglykol eine Temperatursteigerung von 34°C ergibt, während bei einer Verkleinerung des Kühlers um 40% eine Steigerung von 64°, also rund 90% mehr hervorruft. In Schaubild Blatt 8 sind für die Fälle a - d die Temperaturverläufe im Kühlsystem für den Fall der Gleichstromkühlung grundsätzlich dargestellt. Daraus ergibt sich, dass für die Temperaturverhältnisse in erster Linie die Wärmeübergangszahl eines Kühlmittels in Verbindung mit der Kühlerfläche bestimmend ist. Das Schaubild Blatt 9 zeigt nochmals das für die Temperaturerhöhung des Kühlmittels notwendige Δ_m abhängig von der Wärmeübergangszahl k mit F als Parameter bei der abzuführenden Wärmemenge von 20000 kcal/h. Aus Δ_m lassen sich dann bei gegebener Eintrittstemperatur t_{2e} die drei übrigen Temperaturen entsprechend der Rechnung Fall a ermitteln.

Dass der Einfluss der spezifischen Wärme gering ist, soll noch die folgende Betrachtung zeigen. Nimmt man nämlich in Beispiel d einen Stoff an, der bei gleicher Wärmeübergangszahl wie Wasser nur eine kleinere spezifische Wärme von 0,6 haben soll, so erhalten wir:

$$\text{Fall d}_1 \quad \Delta_m = \frac{20000}{200 \cdot 2,4} = 41,7^\circ\text{C} \quad \text{und} \quad \Delta t_1 = \frac{20000}{3000 \cdot 0,6} = 11,1^\circ\text{C}$$

$$\text{aus } \Delta_g - \Delta_k = 28,4 \quad \text{und} \quad \ln \frac{\Delta_g}{\Delta_k} = \frac{28,4}{41,7} = 0,68 = \ln \left(\frac{28,4}{\Delta_k} + 1 \right)$$

$$\text{ergibt sich } \frac{28,4}{\Delta k} = 1,97 - 1 = 0,97 \quad \Delta k = \frac{28,4}{0,97} = 29,3^{\circ}\text{C}$$

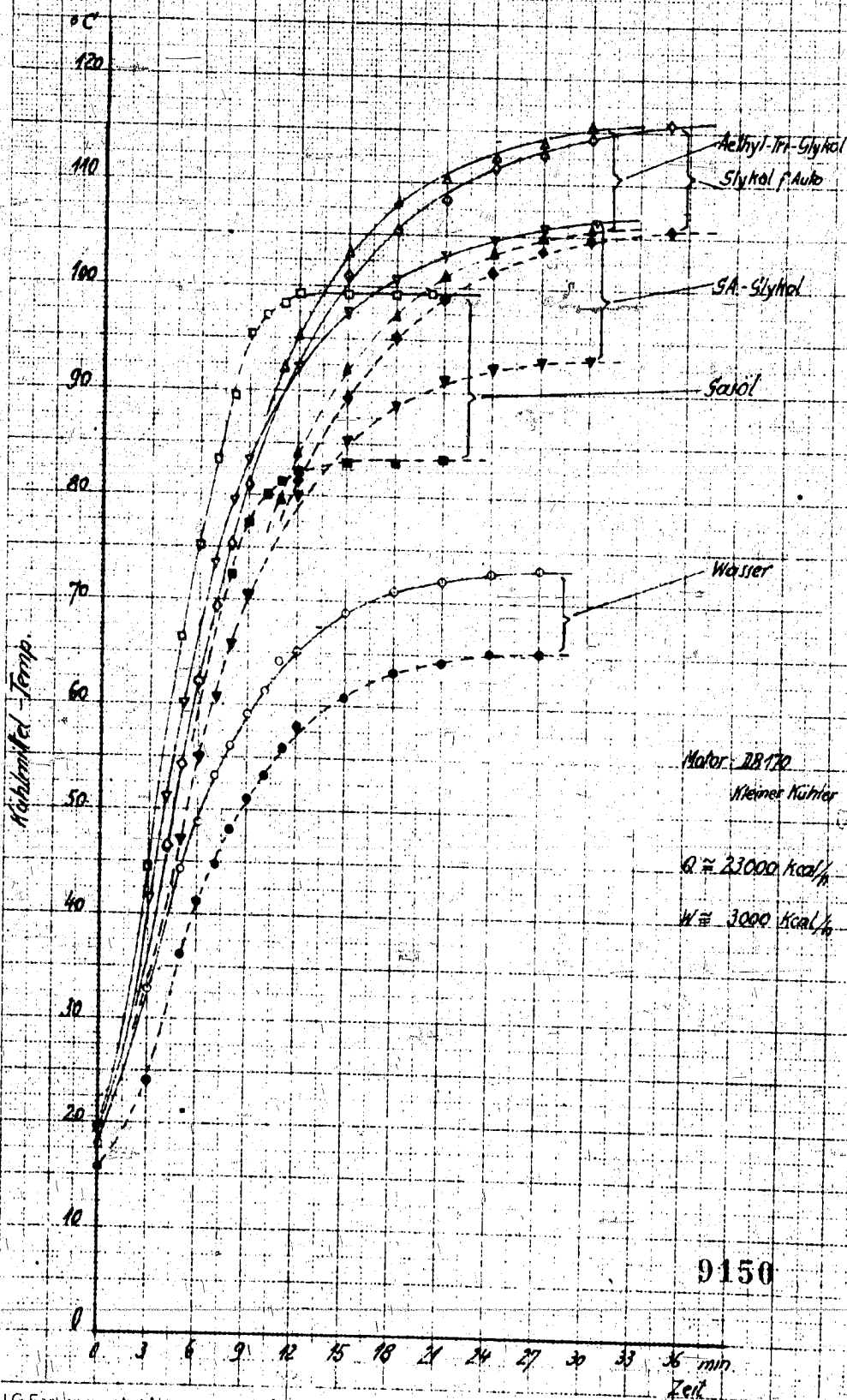
$$\text{und damit: } \underline{t_{1a}} = 27,3 + 29,3 = 56,6^{\circ}\text{C} \quad \text{und} \quad \underline{t_{1e}} = 67,7^{\circ}\text{C}$$

d.h. die Eintrittstemperatur würde gegen Fall c nur um $2,5^{\circ}\text{C}$ ansteigen, während die Austrittstemperatur sogar um 2°C sinken würde.

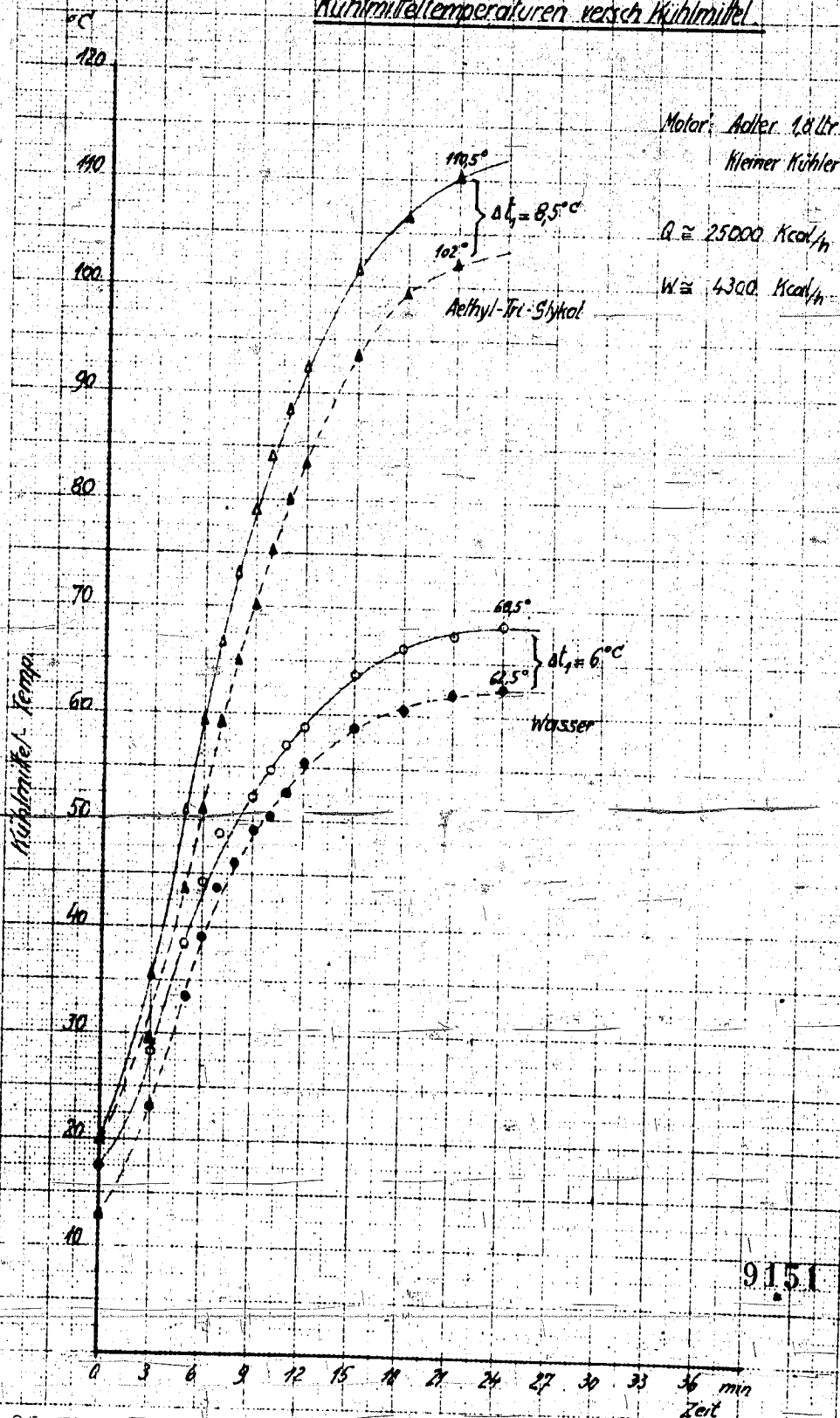
Wenn auch in der Praxis bei tatsächlich ausgeführten Kühl systemen noch andere Einflüsse die Temperaturen etwas verändern können, so zeigt doch die Rechnung das grundsätzliche Verhalten von Kühlmitteln verschiedener physikalischer Daten.

V. Zusammenfassung:

Die Untersuchungen ergeben, dass bei Verwendung irgendwelcher Stoffe als Kühlflüssigkeit unbeschadet sonstiger guter Eigenschaften dem Wärmedurchgang bzw. der Wärmeübergangszahl sowie der Gestaltung des Kühlsystems besondere Bedeutung zukommt. Eine niedere Wärmeübergangszahl führt vor allem in Verbindung mit knapp bemessenen Kühlern zu beträchtlichen Temperatursteigerungen sowohl des Kühlmittels, als auch zwangsläufig des Motors, da die Wärmeübergänge im Motorblock dann ebenfalls schlecht sind. Aus dem gleichen Grunde werden sich Belastungsänderungen der Maschine temperaturmäßig viel stärker auswirken als bei Wasser. Die Temperaturen des Kühlmittels können bei schlechtem Wärmeübergang durch reichlich bemessene Kühlfläche in den Grenzen der von Wasser gehalten werden. Eine Beeinflussung der Motor- bzw. Zylinderwandtemperaturen ist auf diese Art nur mittelbar und in weit geringerem Masse möglich. Aus diesem Grunde ist auch die Verwendung nichttemperaturbeständiger Stoffe, wie z.B. Gasöl mit der Gefahr der Rückstandsbildung an überhitzten Stellen verbunden. Eine Verwendung von Glykolen der angegebenen Art ist bei entsprechender Dimensionierung des Kühlsystems möglich, von einer Verwendung von Gasöl als Kühlmittel muss auf Grund der angedeuteten Schwierigkeiten abgeraten werden.



Kühlmitteltemperaturen versch. Kühlmittel



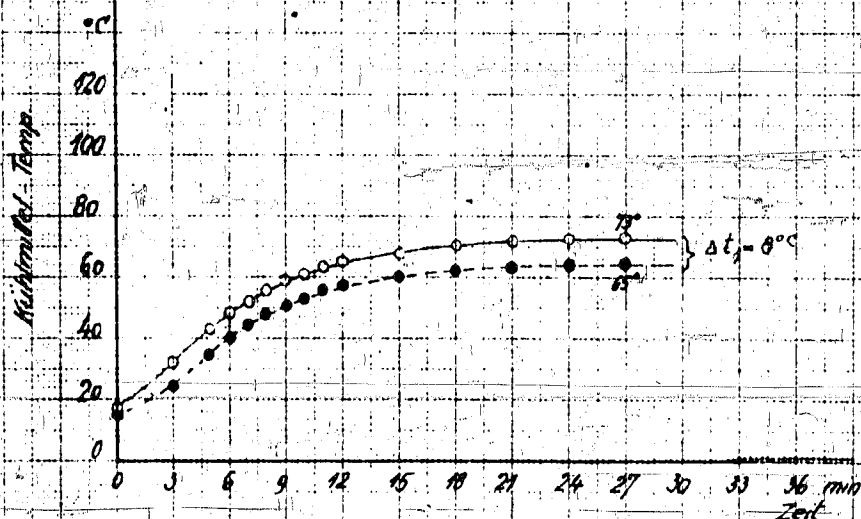
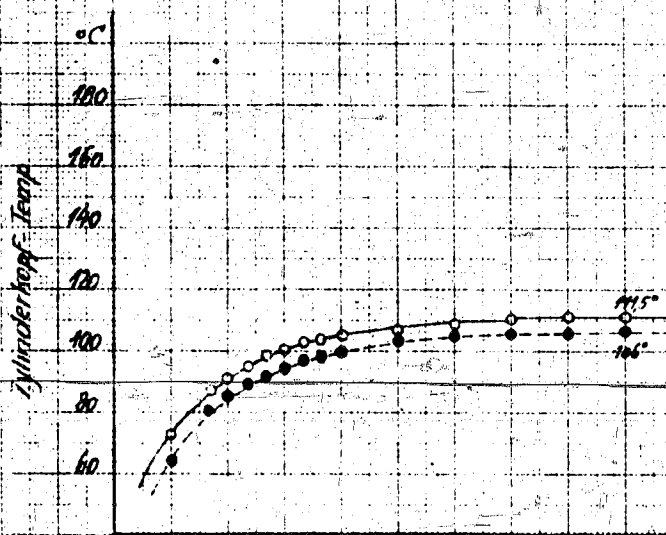
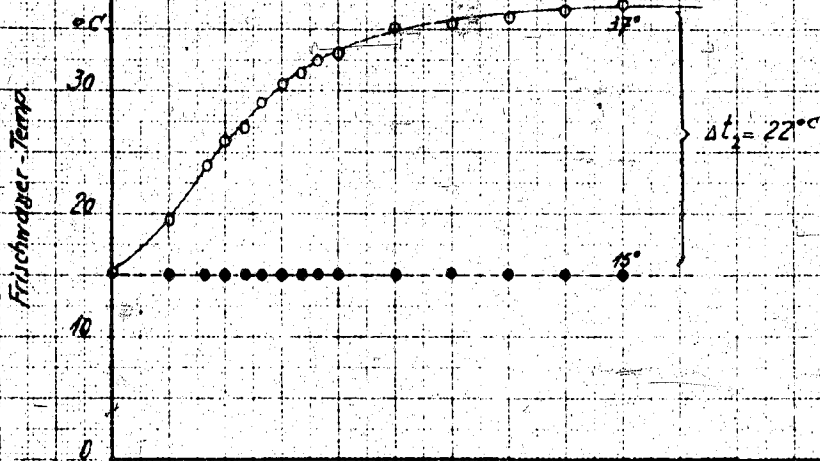
9151

Kühlmittel- u. Motortemperaturen

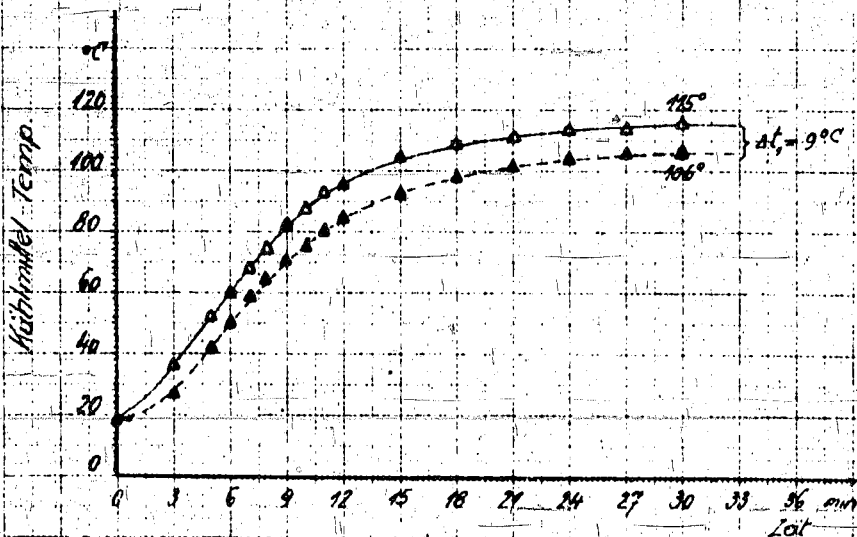
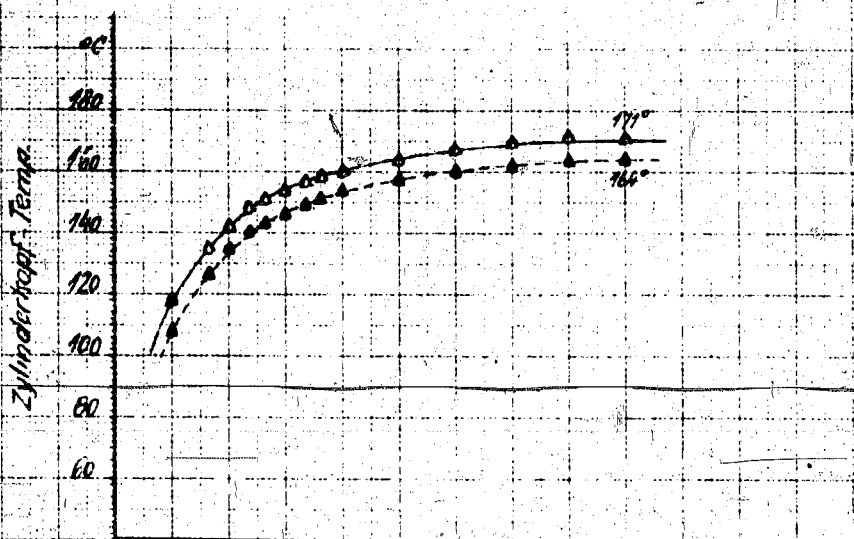
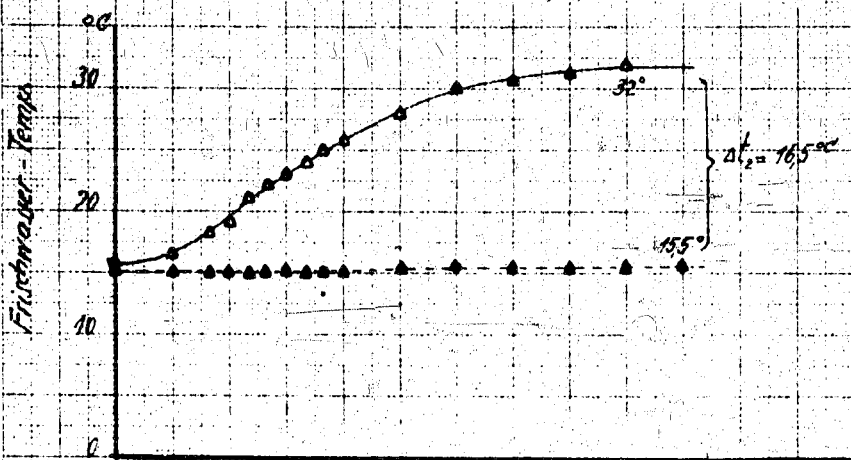
bei Wasser

Motor: DB 170

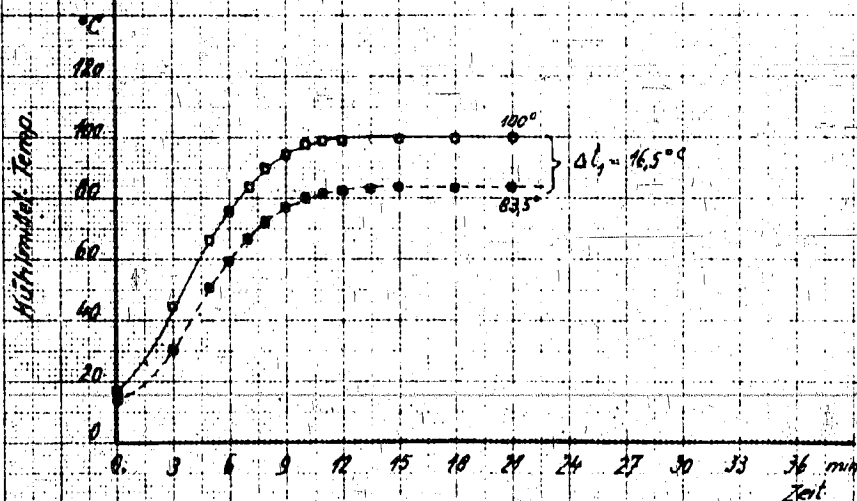
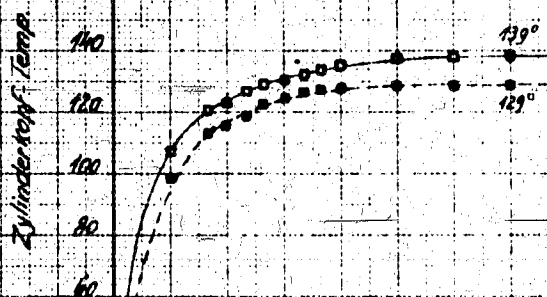
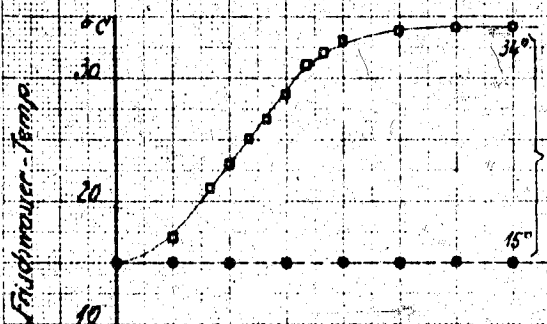
Kleiner Kühler



9152

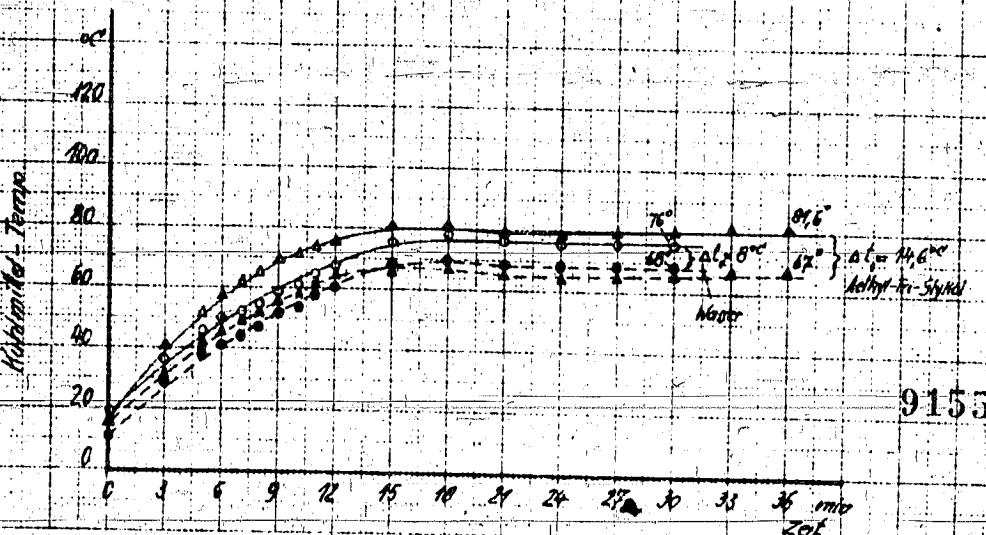
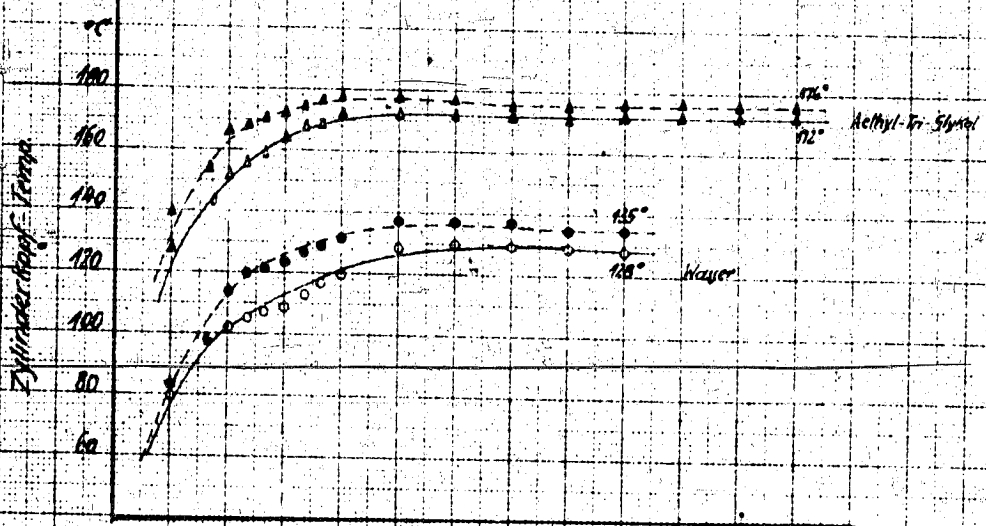
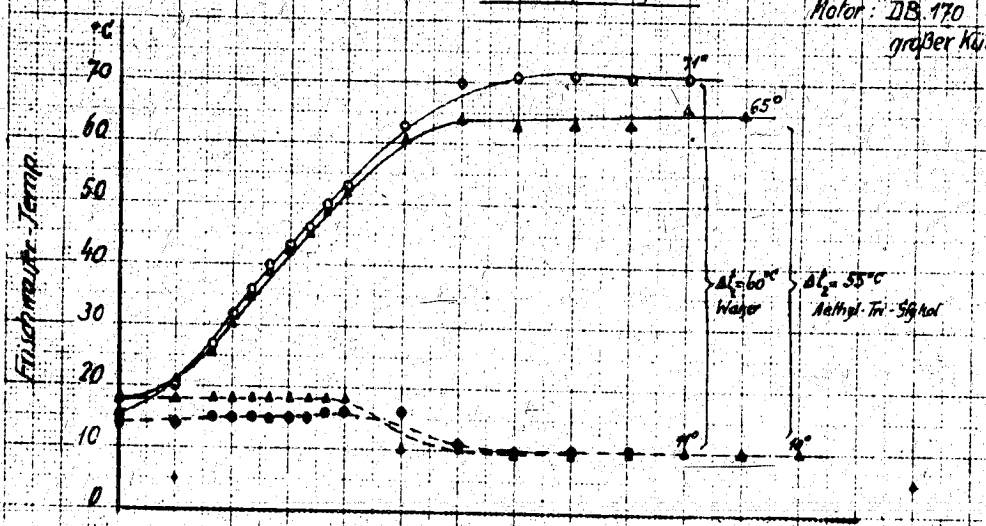


9153



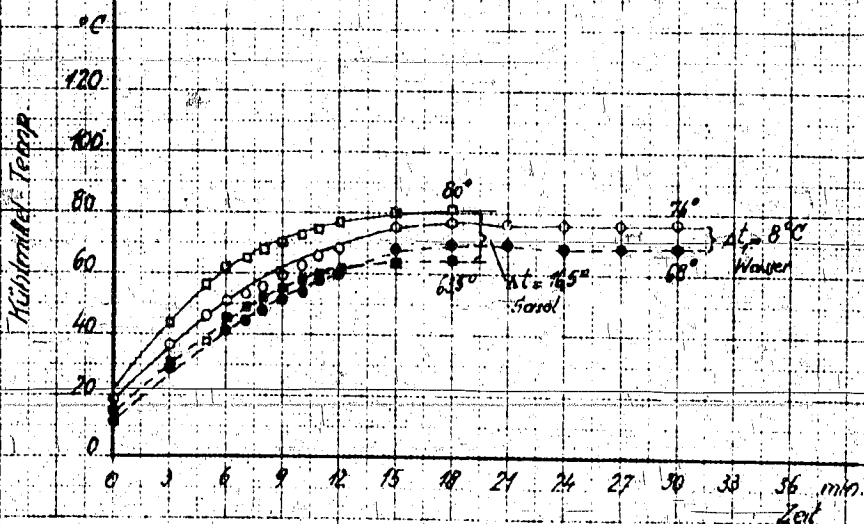
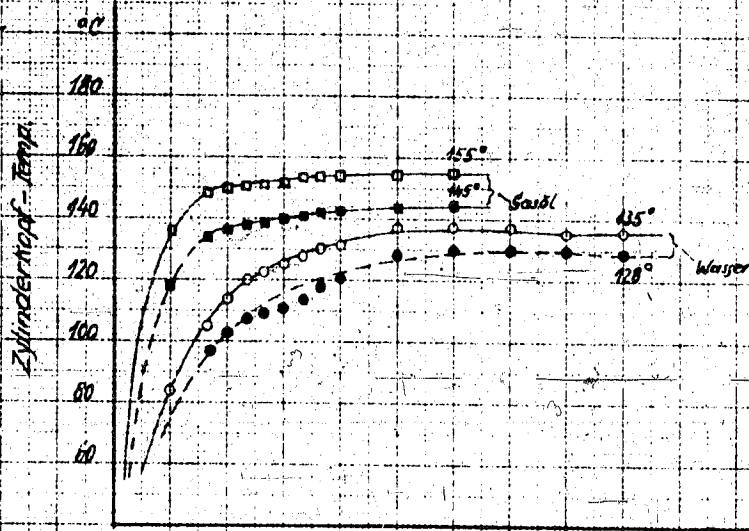
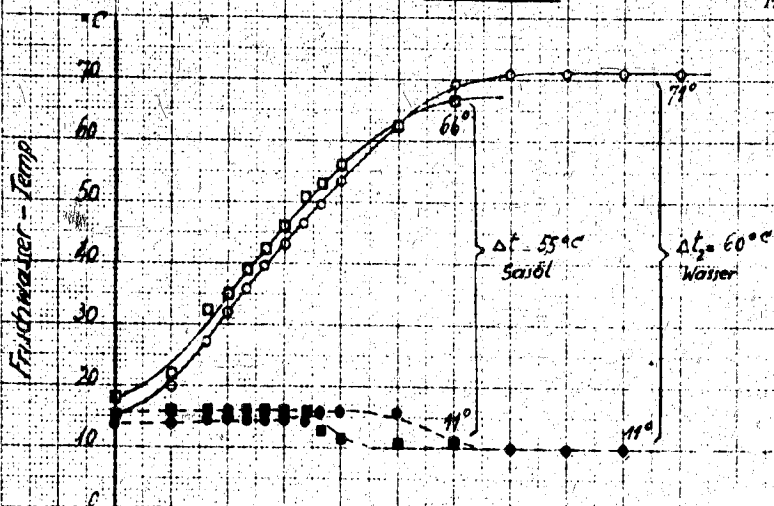
9154

Motor: DB 170
großer Kühler

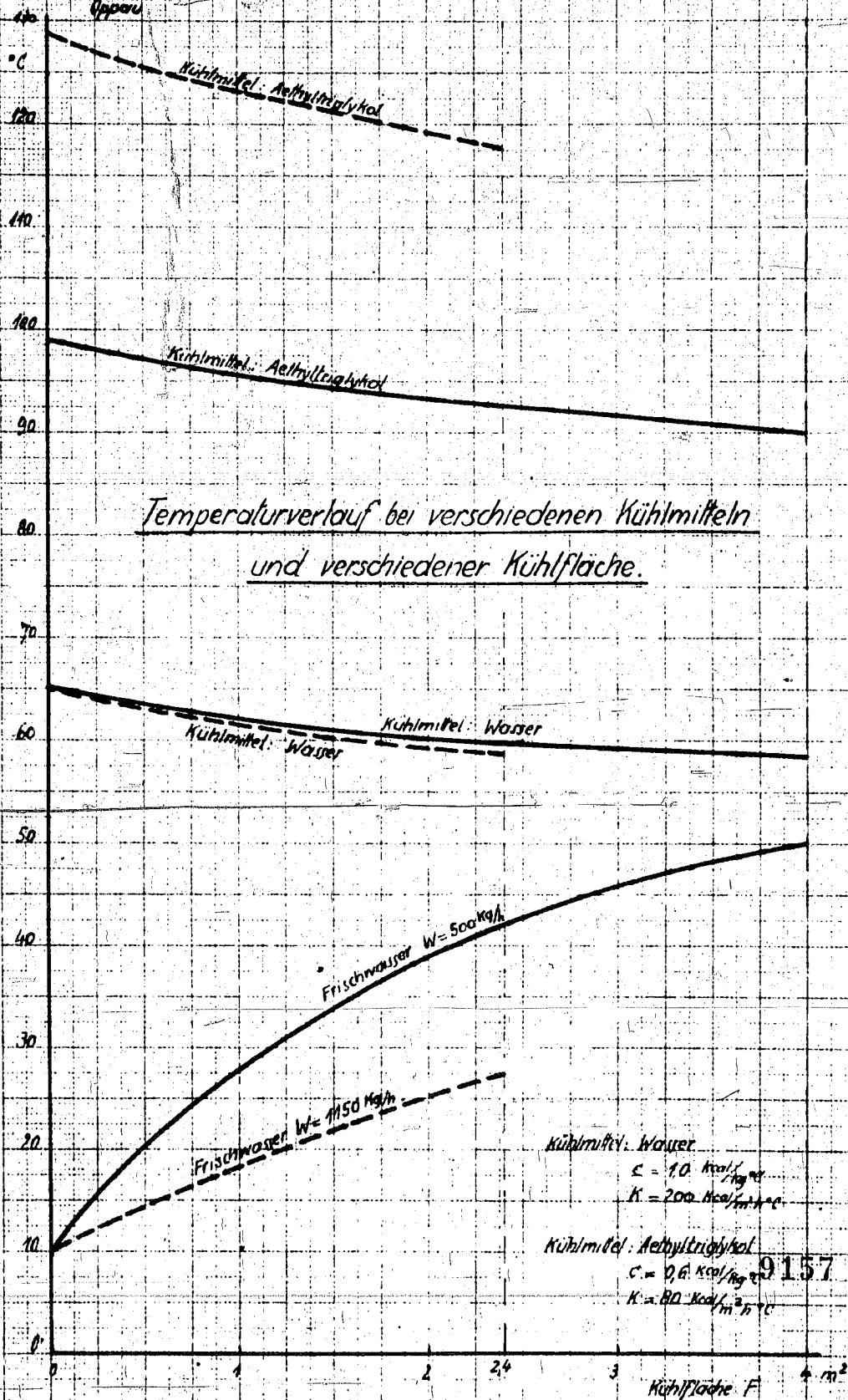


9155

Motor: IB 170
großer Kühler.

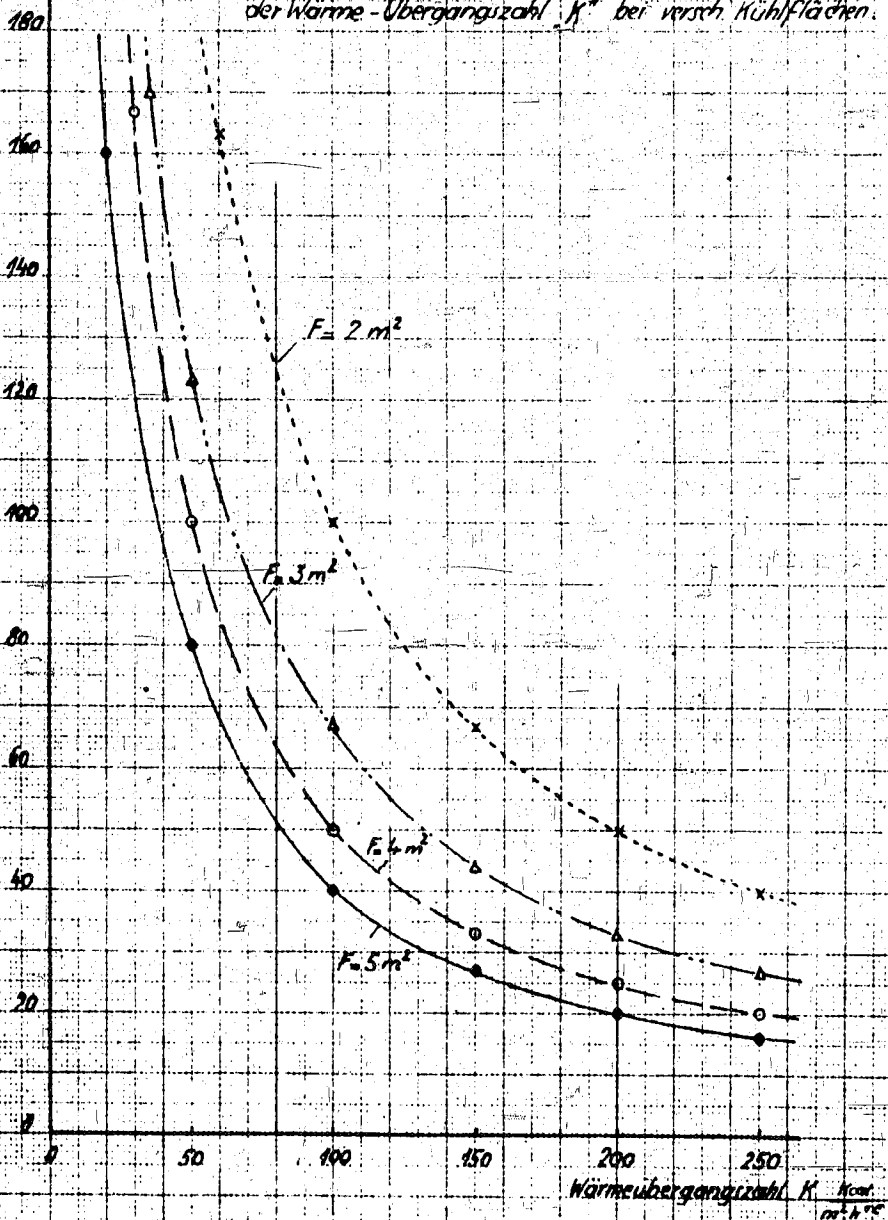


9156



Δt_m °C

Mittlere Temperatur-Differenz abhängig von
der Wärme-Übergangszahl K bei versch. Kühlflächen.



9158