

Die Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche
bei den in Kraftfahrzeugen eingebauten wasser-
gekühlten Motoren

von T.Masuda, H.Saito und T.Hashimoto
in Firma PRINCE-Automobilindustrie AG.

1. Vorwort

(Das Vorwort ist nicht übersetzt worden)

2. Die Besonderheiten der Kühlung bei der Straßenfahrt
von Personenkraftfahrzeugen mit vorne eingebautem Moto

Aufbauend auf der Tatsache, daß die Kühlung des Motors eines Kraftfahrzeuges mit vorne eingebautem Motor vom Fahrwind, sowie von dem durch den motorgetriebenen Kühlventilator erzeugten Luftstrom abhängig ist, ist es zum mindesten theoretisch möglich, die Kühlwassertemperatur eines Motors auf dem geeigneten Wert zu halten. Bei der Automobilindustrie jedoch, bei welcher eine sinnvolle Planung besonders wichtig ist, nimmt unter den verschiedenen diese Planung einschränkenden und begrenzenden Faktoren die Freizügigkeit in der Wahl des Kühlsystems einen hervorragenden Platz ein, indem gerade diese Freizügigkeit besonders stark eingeschränkt ist.

2.1 Die Kühlung bei Fahrt mit niedriger Geschwindigkeit

Wenn das Kraftfahrzeug langsam fährt, (beim Anfahren und beim Anhalten, auch bei sich wiederholenden Fahrten) sind Drehzahl und Leistung des Motors niedrig, die an das Kühlwasser abgegebene Wärme ist deshalb gering, die vom Kühl-

Genehmigung ohne Genehmigung
nicht gestattet
Exemplare nur durch
den Übersetzer

Gustav Krauf
Warmbronn
(Stuttgart) Im Gäble 16

ventilator geförderte Luftmenge ist jedoch ebenfalls nur gering und die zusätzliche Ausnützung eines Fahrwindes scheidet nahezu vollständig aus. Bei den mit einer Kühlanlage ausgestatteten Fahrzeugen, welche an der Kühlerfrontfläche einen Kondensator besitzen, bringt dies ein Absinken der durch den Kühler hindurchströmenden Luftmenge und ein Ansteigen der Lufttemperatur an der Kühlerfrontfläche und somit eine Verringerung der ursprünglich vom Kühler abgestrahlten Wärmemenge. Dabei wird zwar an die Verwendung eines noch stärkeren Kühlventilators gedacht, dies bringt jedoch bei der gewöhnlichen Fahrt des Kraftfahrzeuges eine Steigerung des Kraftstoffverbrauches und eine Erhöhung des Motorengeräusches.

2.2 Die Kühlung bei Fahrt mit mittlerer Geschwindigkeit

Hierbei handelt es sich gewöhnlich um einen Fahrtbereich, bei welchem man sich sowohl die vom Kühlventilator erzeugte Luftströmung, wie auch den Fahrtwind zu nutze macht, bei welchem auch der auf die Kühlung entfallende Anteil der Motorleistung nicht groß ist und bei welchem keinerlei Unbequemlichkeiten im Hinblick auf die Motor Kühlung entstehen.

2.3 Die Kühlung bei Fahrt mit hoher Geschwindigkeit

Dies ist der Fahrtbereich, bei welchem der Motor mit Vollgas oder in der Nähe dieser Leistung läuft, bei einer solchen Fahrt wandern ungefähr 20% des in Wärme umgerechneten Kraftstoffverbrauches in das Kühlwasser ab. Andererseits ist dies ein Fahrtbereich, bei welchem der Fahrtwind außerordentlich stark ist, bei welchem jedoch von der durch den Kühlventilator erzeugten Luftströmung nicht

allzu viel erwartet werden kann und bei welchem der Einfluß der Möglichkeit einer Luftdurchströmung im Motorraum usw. sehr groß ist.

2.4 Die Kühlung bei Fahrt auf stark ansteigender Fahrbahn

In einem bergigen Gelände, in welchem die Fahrtgeschwindigkeit aufrechterhalten werden kann, lassen sich zwar sowohl der Fahrtwind, wie auch der Kühlventilatorluftstrom ausnützen, wenn das Gelände jedoch so stark gebirgig ist, daß man in den Steigungen einen niedrigeren Gang einschalten muß, dann wird man in viel höherem Maße vom Kühlventilator abhängig, insbesondere wenn man aus Gründen der Verkehrsstauung in einem bergigen Gelände zu häufigem Anfahren und Anhalten gezwungen ist, ist man nahezu vollständig und ausschließlich auf die Kühlwirkung des Kühlventilators angewiesen. Hier wird die Kühlung zu einem äußerst schwierigen Problem.

2.5 Die Kühlung bei Fahrt auf abschüssiger Fahrbahn

Wenn man häufig die Motorbremse anwendet, dann ist die Leistung des Motors nahezu gleich null und da die Kühlung vom Fahrtwind und vom Kühlventilatorluftstrom abhängig ist, so wird die Temperatur des Kühlwassers im Kühlwassermantel des Motors durch eine Temperaturregeleinrichtung bestimmt; dabei wird die Kühlwassertemperatur im Kühler des Motors nahezu gleich der Temperatur der Außenluft und die Kühlung des Motors bereitet überhaupt keine Schwierigkeiten.

3. Die für die Versuche verwendeten Fahrzeuge und Kühleinrichtungen, die Luftgeschwindigkeitsmeßstellen und die verwendeten Meßgeräte

Tafel 1

Die wichtigsten Daten der für die Versuche verwendeten Fahrzeuge und der in ihnen eingebauten Motoren

Fahrzeug				Motor					
Wagentyp		S4	S5	Motortyp	G7	G1			
Abmessungen	Gesamtlänge	4 650 mm	4 100 mm	Art d. Motors	wasserggekühlt 4 Takt 6 Zyl. obengesteuert		wasserggekühlt 4 Takt 4 Zyl. obengesteuert		
	Gesamtbreite	1 695 "	1 495 "		Ges. Ausp. Vol. Nennleistung	75 x 75 mm		75 x 84 mm	
	Gesamthöhe	1 480 "	1 435 "			1 988 cc		1 484 cc	
	Radstand	2 680 "	2 390 "			105 PS		70 PS	
Spurweite vorne	1 380 mm	1 255 mm	5 200 rpm			4 800 rpm			
Motorraum	Länge	etwa 995 mm	etwa 720 mm	Abmessungen	Länge	0.82 m		0.61 m	
	Breite	1 280 "	1 060 "		Breite	0.575 "		0.52 "	
	Höhe (üb. Rahmen) max.	605 "	500 "		Höhe	0.706 "		0.72 "	
	Übersetzungsverhältnis	4.875	4.444		Ungef. Vol.	0.207 m ³		0.123 m ³	

Tafel 2

Die wichtigsten Daten der bei den Versuchen verwendeten Kühleinrichtungen

Kühler				Kühlventilator			Vorderer Gitterrost			Kondensator f. Kühlanlage		
記号	RA	RB	RC	記号	FA	FB	記号	GA	GB	GC	記号	CA
Typ	Platt. Rippen	Well- ripp.	Well- ripp.	β x Flglz.	350* x 4	380* x 6	Lochform	Ell. Nut	Nut	Nut	Typ	プレート フィン
Kernmaß	530 x 324 x 57mm	610 x 350 x 48mm	487 x 300 x 50mm	Sehnenlage	75 mm	85 mm	Grillfläche	0.213 m ²	0.303 m ²	0.165 m ²	Kernmaße	648 x 295 x 45mm
Frontfl.	0.172 m ²	0.213 m ²	0.146 m ²	Flügelwink	5° - 26°	40° - 27°	Gr. Lochfl.	0.082 m ²	0.210 m ²	0.082 m ²	Frontfl.	0.191 m ²
W. Abstr. Fl.	6.93 m ²	11.9 m ²	6.66 m ²	4 000rpm	mmAq 32.5	mmAq 63	Öffnungs- fläch. Verh.	38.6 %	69.2 %	49.7 %	Luftwdst. at 10m/s	mmAq 40.0
Luftwiderst. at 10m/s	38.8 mmAq	50.0 mmAq	38 mmAq	1 000rpm	mmAq 2	mmAq 4.5						
$\text{Öffnungsflächenverhältnis} = \frac{\text{Grill-Lochfläche}}{\text{Grillfläche}} \times 100$												

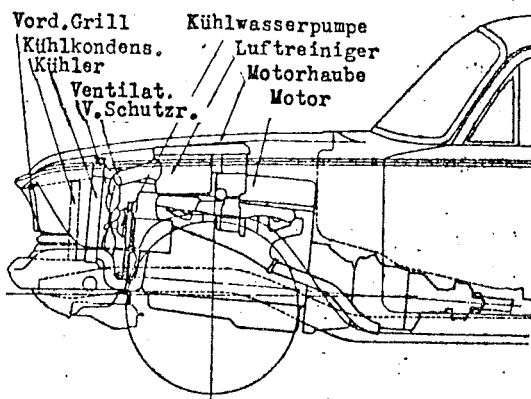


Abb. 1 Die Anordnung des Motorraumes beim Fahrzeug S 4

3.1 Die für die Versuche verwendeten Fahrzeuge und ihre Motoren

Für die Versuche wurden Vierradkraftfahrzeuge kleiner und mittlerer Bauart vom Typ Sedan mit vorne eingebautem Motor und Hinterradantrieb verwendet, nämlich die Typen S 4 und S 5; dem Zweck der Versuche entsprechend hat man den Motorraum und auch die Form des vorderen Teiles des Kraftfahrzeuges teilweise geändert.

Die Versuche sind in der Hauptsache mit dem Kraftfahrzeug S 4 durchgeführt worden, bei einem Teil der Fahrtwindprüfungen hat man das Kraftfahrzeug S 5 benützt. Das Fahrzeug S 5 hat einen um ungefähr 10% kürzeren Radstand als das Fahrzeug S 4, dementsprechend ist auch sein Motorraum kleiner. Die für die Versuche verwendeten Motoren waren wassergekühlte Viertaktreihenmotoren, beim S 4 war es der Motor G 7 und beim S 5 der Motor G 1. Ganz vorne am Motor war die Kühlwasserpumpe befestigt, sie wurde von der Kurbelwelle aus mit einem Keilriemen mit entsprechend verringerter Drehzahl angetrieben. Auf der Pumpenwelle selbst war auch der Kühlventilator befestigt und wurde somit mit der gleichen Drehzahl angetrieben wie die Wasserpumpe. In einem Abstand von 20 mm vor dem Kühlventilator war der Kühler befestigt. In der Tafel 1 sind die wichtigsten Daten der für die Versuche verwendeten Fahrzeuge und ihrer Motoren zusammengestellt; die Abb. 1 zeigt in groben Umrissen die Anordnung des Motorraumes des Fahrzeuges S 4.

3.2 Die für die Versuche verwendeten Kühleinrichtungen und deren vordere Gitterroste

Soweit nicht besonders angegeben, wurden die in der Tafel 2 aufgeführten Kühleinrichtungen verwendet. Bei diesen

Kühleinrichtungen handelt es sich um solche Kühler, wie sie in den auf dem Markt erhältlichen Fahrzeugen praktisch eingebaut sind.

3.3 Die Lage der Luftgeschwindigkeitsmeßstellen an der Kühlerfront

Die Lage der Luftgeschwindigkeitsmeßstellen an der Kühlerfront war, soweit nicht anders angegeben, derart, daß man die Kühlerkernfläche in 9 gleiche Teile eingeteilt hatte und in der Mitte jedes einzelnen dieser Teile eine Meßstelle anbrachte. Die Windgeschwindigkeitsabgreifstellen waren 30 mm von der Kühlerfrontfläche entfernt befestigt. Dieser Wert entspricht dem Abstand, in welchem man bei den Kühlerluftstromprüfungen ausgehend von der mit dem Pitot-Rohr gemessenen Luftmenge die richtige Luftstromgeschwindigkeit erhielt.

Die mittlere Luftstromgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche wurde durch das arithmetische Mittel der an den 9 Meßstellen gemessenen Werte angegeben. Bei der Fahrtprüfung auf der Straße wurde die mittlere Luftstromgeschwindigkeit ebenfalls als das arithmetische Mittel aus Hinweg und Rückweg angegeben.

Die zum Zwecke der Prüfung von einem Gebläse gelieferte Windgeschwindigkeit wurde in einer Entfernung von 0.5 m von der Ausblaseöffnung des Gebläses auf der quer verlaufenden Mittellinie des Kühlers gemessen.

Die Abb.2 zeigt die Lage der Windgeschwindigkeitsmeßstellen an der Kühlerfront des Kraftfahrzeuges S4. Der Kühlerückfläche am nächsten gelegen ist die Nabe des Kühlventilators (Meßpunkt 5), die Meßstellen 4 und 7 sind ohne Hin-

dernisse gegen den Motorraum hin geöffnet.

Die Abb.3 zeigt die Art der Befestigung der Windgeschwindigkeitsaufnahme- und Meßteile.

3.4 Die für die Versuche verwendeten Meßgeräte

Hitzdraht-Windgeschwindigkeitsmesser: Ein auf 12 Punkte umschaltbarer Anemomaster, AM-P 12, hergestellt von der Firma Nihon Kagaku K.K. (Jap.Wissenschaft AG.)

Momentanzeige-Windgeschwindigkeitsmesser: Windbecherstromerzeuger, 2 m/s - 30 m/s, hergestellt von der Firma Kisho Handelsgesellschaft.

4. Die Messungen zur Feststellung der Verteilung der Luftstromgeschwindigkeit an der Kühler Vorderfläche

Wir haben die Verteilung der Luftstromgeschwindigkeit an der Vorderfläche eines in einem Kraftfahrzeug mit Frontmotor eingebauten Kühlers an dem Fahrzeug S4 unter Berücksichtigung einiger besonderer Umstände gemessen.

4.1 Die Versuchsmethodik und die Verteilung der Luftstromgeschwindigkeit bei dem für die Prüfung verwendeten von einem Gebläse erzeugten Luftstrom

Um an jeder der 9 Meßstellen an der Kühlerfront des Versuchsfahrzeuges eine gleiche Windgeschwindigkeit zu erzielen, hat man zunächst, wie in der Abb.4 dargestellt, gegen die "Ausblaseöffnung" der Gebläseeinrichtung des zur Prüfung der Windgeschwindigkeit verwendeten Gebläses hin an den Stellen, an welchen man den im Fahrzeug eingebauten Kühler annahm, nur die Windgeschwindigkeitsaufnahme- und Meßteile angeordnet, die Windgeschwindigkeit an den 9 Meßstellen hat man gemessen, indem man die Prüfwindgeschwindigkeit änderte und man hat eine Beziehung

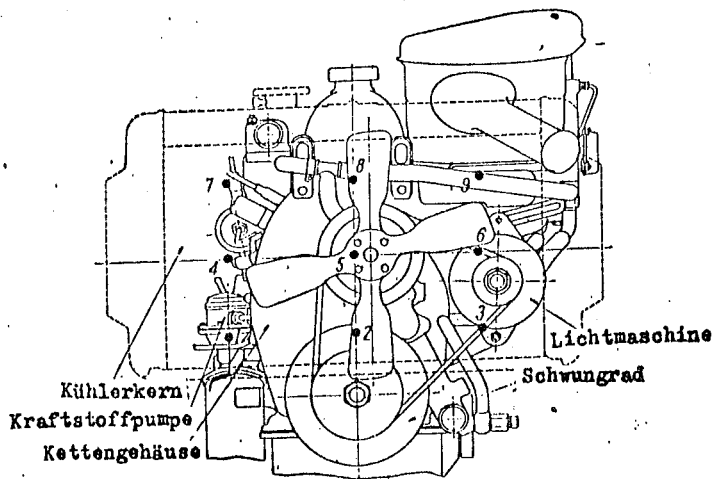


Abb.2 Die Wingschwindigkeitsmeßstellen an der Kühlerfrontfläche (Kern) des Fahrzeug S 4

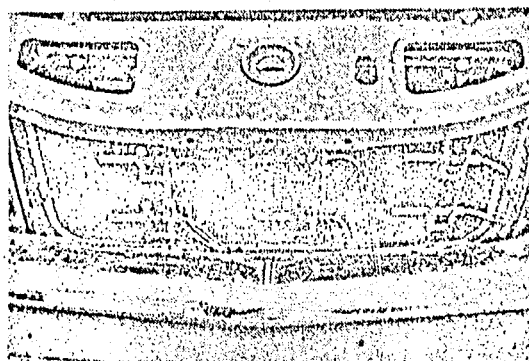


Abb.3 Die eingebauten Hitzdrahtinstrumente zum Messen der Windgeschwindigkeit

Das Fahrzeug S 4

Windgeschwindigkeitsmeßpunkt	Zustand hinter dem Kühler
1	Kraftstoffpumpengehäuse, 335 mm hinter dem Kühler
2	Kurbelwellenschwingungsdämpfer, 120 mm hinter dem Kühler
3	Lichtmaschinengehäuse, 120 mm hinter dem Kühler
4	offen zum Motorraum hin
5	Ventilatornabe, 30 mm hinter Kühler
6	Lichtmaschinengehäuse, 120 mm hinter dem Kühler
7	offen zum Motorraum hin
8	Motorkopf, 170 mm hinter dem Kühler
9	Ansaugleitung, 240 mm hinter d.Kühler

zwischen der Windgeschwindigkeit an jeder einzelnen der 9 Meßstellen und der Prüfwindgeschwindigkeit aufgestellt. In diesem Falle hat man die Windgeschwindigkeit an den 9 Meßstellen mit dem Hitzdraht-Windgeschwindigkeitsmesser festgestellt, während man die Prüfwindgeschwindigkeit mit dem Windbecher-Windgeschwindigkeitsmesser gemessen hat. Man hat im besonderen die zuerst genannte Messung als die Korrekturprüfwindgeschwindigkeit bezeichnet.

Man hat sodann das zu prüfende Fahrzeug praktisch an die oben beschriebenen Stellen (in die oben beschriebene Lage der "Ausblaseöffnung" gebracht und hat, indem man die Prüfwindgeschwindigkeit änderte, die Windgeschwindigkeit an den 9 Meßstellen der Kühler Vorderfläche gemessen. Sodann hat man jedoch aus der Berichtigungstafel der Prüfwindgeschwindigkeit und der verbesserten Prüfwindgeschwindigkeit die gleichwertigen (?) verbesserten Windgeschwindigkeiten der einzelnen Meßpunkte der Kühlerfrontfläche gefunden und für diese verbesserten Prüfwindgeschwindigkeiten die Windgeschwindigkeitsteile (Windgeschwindigkeitskomponenten?) der einzelnen Meßpunkte untersucht. Die Windgeschwindigkeit der 9 Meßstellen wurde durch die Normalabweichung und durch den Abweichungskoeffizienten einreguliert. Wenn wir also mit X_i die Änderung des Meßpunktes, mit \bar{X} den arithmetischen Mittelwert und mit n_i die Anzahl der Glieder bezeichnen, dann bekommen wir bekanntlich die Normalabweichung σ durch folgende Gleichung

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n_i - 1}}$$

Und der Normalabweichungskoeffizient ist $V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$

Da die Anzahl der Glieder klein ist, hat man $(n_i - 1)$ verwendet.

In der Abb.5(a) sind die Anordnung des großen Kühlerkastens zur Ausblaseöffnung des Gebläses hin, sowie die dadurch gegebene im voraus festgelegte Lage, in welcher das Fahrzeug angeordnet ist, und außerdem die Windgeschwindigkeit an den 9 Meßstellen bei dieser Lage des Kühlers dargestellt. Die Messungen wurden bei den Prüfungsgeschwindigkeiten 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s, 25 m/s jeweils einzeln durchgeführt. Bei allen Prüfungsgeschwindigkeiten war jeweils die Windgeschwindigkeit in den Meßpunkten 2 und 7 kleiner als in allen anderen Meßpunkten, und in den Meßpunkten 5, 6 und 8 war sie größer als in allen anderen Meßpunkten. So betrug also im Falle der Prüfungsgeschwindigkeit 25 m/ die Windgeschwindigkeit in den Meßpunkten 2 und 7 21,5 m/ bzw. 23.5 m/s, in den Meßpunkten 5,6 und 8 hingegen betrug die Windgeschwindigkeit 26.5 m/s bzw. 26 m/s bzw. 26.8 m/ Die Abb.5(b) zeigt die der Prüfungsgeschwindigkeit entsprechende korrigierte mittlere Prüfungsgeschwindigkeit (das arithmetische Mittel aus den 9 Meßstellen) und den Abweichungskoeffizienten. Zwischen der Prüfungsgeschwindigkeit und der verbesserten mittleren Prüfungsgeschwindigkeit besteht eine nahezu lineare Beziehung; soweit es sich um die mittlere Windgeschwindigkeit handelt, werden die Prüfungsgeschwindigkeit und die verbesserte Prüfungsgeschwindigkeit als gleich betrachtet. Der Abweichungskoeffizient ist im Bereich der niedrigen Windgeschwindigkeiten groß und kommt bis in die Nähe von 20%, im Bereich der hohen Windgeschwindigkeiten jedoch beträgt er ungefähr 7%,

4.2 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Größe der Prüfungsgeschwindigkeit und von der Drehzahl des Kühlventilators

Indem man die Prüfungsgeschwindigkeit und die Drehzahl

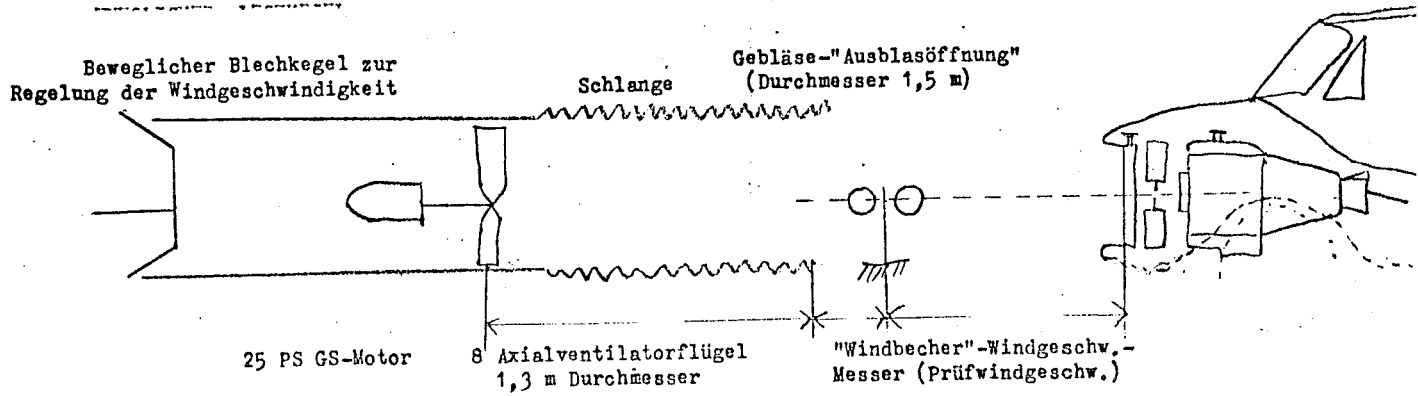
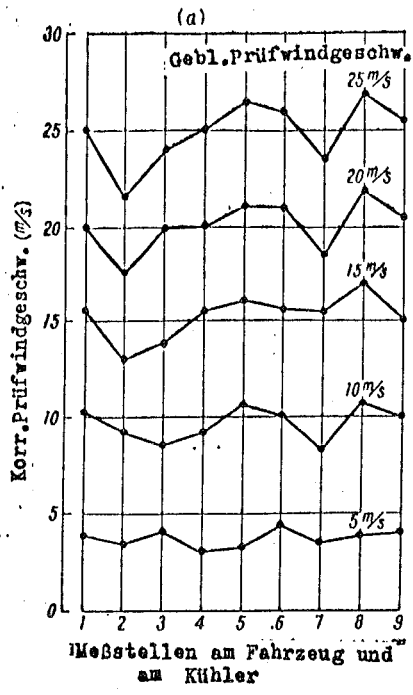


Abb. 4.

Abb. 4 Die Gebläseeinrichtung, von welcher die Prüfwindgeschwindigkeit mitgeteilt wird



Der zu prüfende Wagen besitzt keine Ausblaseöffnung der Gebläseeinrichtung

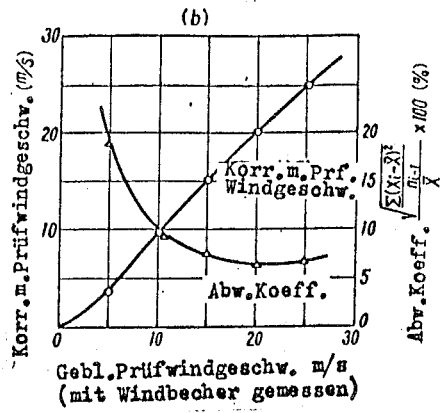


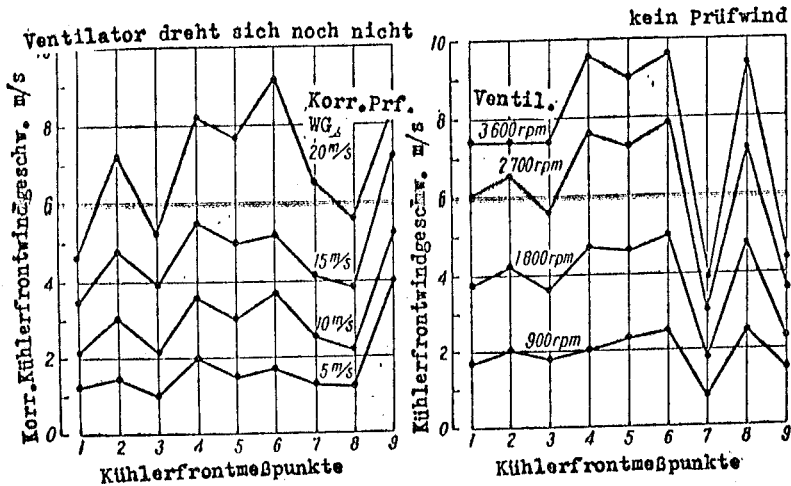
Abb. 5 Die Verteilung der vom Gebläse zugeführten Prüfwindgeschwindigkeit

des Kühlventilators änderte, untersuchte man die Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Vorderfläche des im Fahrzeug eingebauten Kühlers.

Die Abb.6(a) zeigt die Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Vorderfläche des Kühlers, wenn man dem Fahrzeug S 4 korrigierte Prüfwindgeschwindigkeiten von 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s und 20 m/s mitgeteilt hat. Dabei ließ man den Kühlventilator nicht laufen. In den Meßpunkten 1, 3 und 8 war die Windgeschwindigkeit klein, in den Meßpunkten 2, 4, 6 und 9 hingegen war sie groß. Die Meßpunkte 1, 3 und 9 lagen an 3 Ecken des Kühlers, während die Meßpunkte 4 und 6 die horizontalen Mittelpunkte des Kühlers waren. Ganz besonders interessant war der Meßpunkt 1; obwohl hinter diesem Meßpunkt nahezu überhaupt keine störenden Teile vorhanden waren und obwohl von diesem Meßpunkt aus der Zugang zum Innern des Motorraumes nahezu vollständig offen lag, war dort die Windgeschwindigkeit klein.

Die Abb.6(b) zeigt die Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Kühlerfront beim Fahrzeug S 4, die man gemessen hat, als nur der Kühlventilator lief. Als ausschließlich der Kühlventilator lief, war die Windgeschwindigkeit in den Punkten (Meßpunkten) 7 und 9 klein und im Meßpunkt 8 groß. Wir haben also in diesen 3 Punkten genau die umgekehrte gegenseitige Tendenz wie im Falle der Abb.6(a), wo wir dem Kühler ausschließlich die korrigierte Prüfwindgeschwindigkeit mitgeteilt hatten.

Sowohl in der Abb.6(a), wie auch in der Abb.6(b) ist die Windgeschwindigkeit in den auf der Quermittellinie des Kühlers gelegenen Meßpunkten 4, 5 und 6 immer groß, und

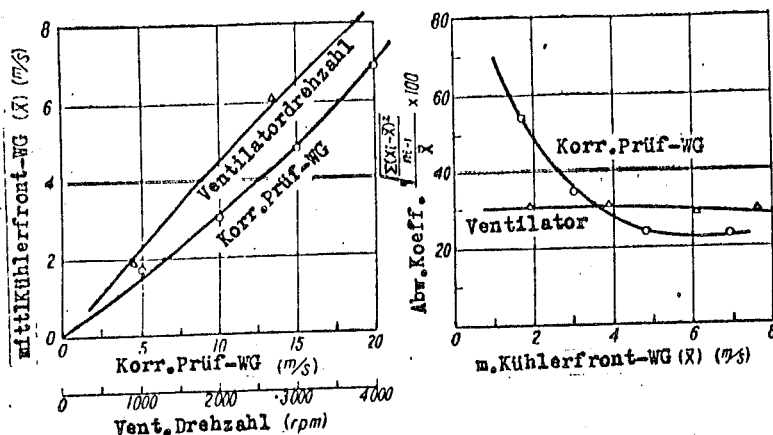


(a) Die Verteilung der Windgeschwindigkeit bei Änderung der korrigierten Prüfwindgeschwindigkeit

(b) Die Verteilung der Windgeschwindigkeit bei Änderung der Kühlventilator-drehzahl

Daten des Versuchsfahrzeugs: Fahrzeug: S 4 ; Motor G 7 ;
 Kühler R_A ; Kühlventilator: F
 vorderer Gitterrost: G_A ; Ventilatorstützring: vorhanden
 Kondensator: fehlt.

Abb. 6 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Prüfwindgeschwindigkeit bzw. in Abhängigkeit von der Kühlventilator-drehzahl.



(a) mittlere Windgeschwindigkeit (b) Abweichungskoeffizient

Daten des Versuchsfahrzeugs:
 Fahrzeug: S 4 ; Motor: G 7 ; Kühler: R_A ; Kühlventilator: F_A
 vorderer Gitterrost: G_A ; Ventilatorstützring: vorhanden ;
 Kondensator: fehlt.

Abb. 7 Die mittlere Windgeschwindigkeit und der Abweichungskoeffizient in Abhängigkeit von der Prüfwindgeschwindigkeit bzw. von der Kühlventilator-drehzahl.

die Form der Windgeschwindigkeitsverteilung ist, wenn man von den beiden Meßpunkten 8 und 9 absieht, bei den beiden Abb.6(a) und 6(b) ganz ähnlich.

Die Abb.7(a) zeigt die mittlere Windgeschwindigkeit der 9 Meßpunkte der Kühler Vorderfläche, die man erhalten hat, indem man in einem Falle die korrigierte Prüfwindgeschwindigkeit, und im anderen Falle die Drehzahl des Kühlventilators änderte; wie man aus der Abbildung ersehen kann, sind diese Beziehungen nahezu linear.

Die Abb.7(b) zeigt den Abweichungskoeffizienten der Windgeschwindigkeitsverteilung. Die Charakteristik des Abweichungskoeffizienten der Windgeschwindigkeitsverteilung, die man erhalten hat, indem man die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfront durch die Änderung der Drehzahl des Kühlventilators änderte, zeigt den nahezu konstanten Wert von 30%, wohingegen dieser Abweichungskoeffizient bei Änderung der korrigierten Prüfwindgeschwindigkeit ein zwischen 23% und 55% liegende Amplitude aufweist; im Bereich der niedrigen mittleren Windgeschwindigkeiten ist der Abweichungskoeffizient groß.

Die Abb.8 zeigt die Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Kühler Vorderfläche bei mit 1800 U/Min. laufendem Kühlventilator und bei einer mit geteilten korrigierten Prüfwindgeschwindigkeit von 15 m/s. Die Form der Windgeschwindigkeitsverteilung über die Meßpunkte 1,2,3,4,5,6 u.7 ist ganz ähnlich wie in der Abb.6(a) (Kühlventilator) bzw. in der Abb.6(b) (korrigierte Prüfwindgeschwindigkeit); die Windgeschwindigkeit in den Meßpunkten 8 u.9 jedoch ist ganz anders als in den beiden genannten Abbildungen. Die

Meßpunkte 8 u.9 sind am oberen Teile des Kühlers gelegen und die Tendenz der Windgeschwindigkeit in diesen beiden Meßpunkten ist so ganz anders, als wäre bei ihnen die Luftstromquelle verschieden.

4.3 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Kühler-vorderfläche bei Fahrt auf der Straße

Die Abb.9 zeigt die Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Vorderfläche des Kühlers bei Fahrt auf der Straße mit dem Fahrzeug S 4 im schnellsten Gang, und zwar für die Geschwindigkeiten 58 km/Std., 72 km/Std., und 93 km/Std. In der gleichen Weise wie bei der bis jetzt besprochenen und dargestellten (Abschnitt 4.2) Verteilung der Windgeschwindigkeit ist auch hier in den Meßpunkten 1 und 3 die Windgeschwindigkeit am kleinsten und in den Meßpunkten 4, 5 und 6 am größten. Ganz allgemein kann man sagen, daß die Windgeschwindigkeit an den 4 Ecken des Kühlers klein und auf der Quermittellinie groß ist. Auch der Abweichungskoeffizient beträgt 33%, 44% und 36.5%, man kann ihn also bei der praktisch ausgeführten Fahrt auf der Straße in einer Größenordnung von 30-45% annehmen.

4.4 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den konstruktiven Faktoren innerhalb des Motor-raumes

Die Abb.10 zeigt die Verteilung der Windgeschwindigkeit, wie man sie festgestellt hat, als man der Reihe nach den Kühler, den Motor (einschließlich seiner Zusatzgeräte), den vorderen Gitterrost (Grill) usw. aus dem Motorraum entfernte. Die in der Abb.10 gezeigten Ergebnisse hat man mit dem Fahrzeug S 4 erhalten, indem man eine korrigierte Prüfwindgeschwindigkeit von 15 m/s mitteilte.

Versuch	Gehäusebedingungen	m. WG	Norm. Abwchg.	Abw. Koeff.
		\bar{X}	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n_i - 1}}$	$\frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$
1	Korr. Gehl. Wd. 5 m/s + Ventilator 1800 rpm	5.2 m/s	1.62	31%

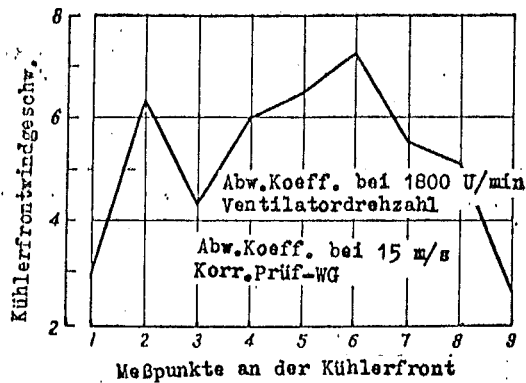
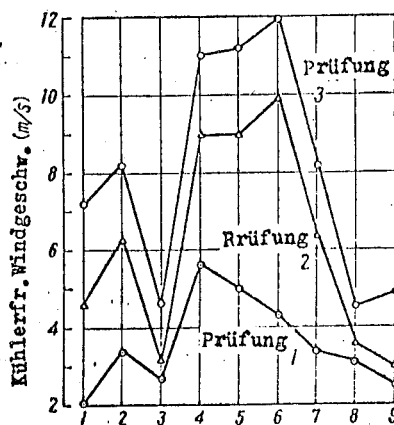


Abb.8 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit wenn zur Kühlventilatorwindgeschwindigkeit auch noch die korrigierte Prüfwindgeschwindigkeit hinzukommt.

Versuch	Gehl. Bedg. Fahrtdgeschw. (Vent. U/min)	Fahrtd.	m. WG	Normabwchg.	Abw. Koeff.
			\bar{X}	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n_i - 1}}$	$\frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$
1	58 km/h (1900 rpm)	16	3.6	1.19	33.0%
2	72 km/h (3100)	20	6.1	2.69	44.0
3	93 km/h (4000)	25	8.0	2.92	36.5



Daten des Versuchsfahrzeugs:

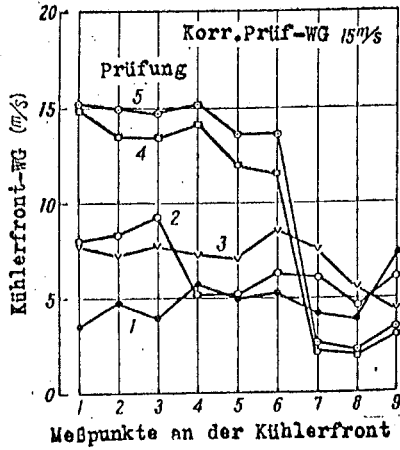
Fahrzeug: S 4; Motor: G 7; Kühler: R_A; Kühlventilator: F_A; vorderer Gitterrost: G_A; Ventilatorstützring: vorhanden; Kondensator: fehlt.

Abb.9 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Kühler Vorderfront bei Fahrt auf der Straße.

Dadurch, daß man den vorderen Gitterrost des Fahrzeuges S 4 entfernte (Prüfung 2), wurde die Windgeschwindigkeit an der Unterseite des Kühlers (Meßpunkte 1,2,3) und an der Oberseite des Kühlers (Meßpunkte 7 u.8) größer, der Abweichungskoeffizient war jedoch ganz verschieden, bald größer, bald gleich, bald kleiner (?). Wenn man dann auch noch den Motor wegnahm (Prüfung 3), dann wurde die Windgeschwindigkeit auf der Kühlerquermittellinie (Meßpunkte 4, 5 u.6) größer, der Abweichungskoeffizient jedoch wurde eher kleiner. Wenn man dann auch noch den Kühler wegnahm, dann wurde die Windgeschwindigkeit an den der Kühlerunterseite entsprechenden Stellen und an den der Kühlerquermittellinie entsprechenden Stellen ganz wesentlich größer während andererseits die Windgeschwindigkeit an den der Kühleroberseite entsprechenden Stellen (Meßpunkte 7,8 u.9) kleiner wurde; auch der Abweichungskoeffizient wurde größer und erreichte dabei den außerordentlich hohen Wert von 57%. Aber selbst dann, wenn man nun auch noch die "Abdeckung" des Motorraumes wegnimmt, bekommt man höchstens eine größere oder kleinere Zunahme der Windgeschwindigkeit, sonst tritt jedoch keine größere Veränderung ein. Es ist zwar anzunehmen, daß man, wenn man bei diesen Versuchen die Reihenfolge des Wegnehmens anders wählt, der Einfluß der verschiedenen konstruktiven Elemente auf die Verteilung der Windgeschwindigkeit geändert werden kann, dies zeigt jedoch deutlich, daß der Kühler die Aufgabe einer Strömungsregulierungseinrichtung für das Einströmen der Luft zum Motorraum übernommen hat.

4.5 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Durchmesser des Kühlventilators mit Ventilatorerschutzring

Versuch	Versuchsbeding.	m. WG	Norm. Abwchg.	Abw. Koeff.
		\bar{X}	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n_i - 1}}$	$\frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$
1	voll ausgerüst.	4.44	0.75	24.0
2	ohne vord. Grill	6.50	1.63	25.0
3	auch ohne Motor	6.97	1.08	15.3
4	" ohne Kühler	9.70	5.55	57.0
5	" " Motorhaube	10.60	5.92	56.0



Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S 4; Motor: G 7; Kühler: R_A; Kühlventilator: F_A
 vorderer Gitterrost: G_A; Ventilatorstützring: vorhanden;
 Kondensator: fehlt.

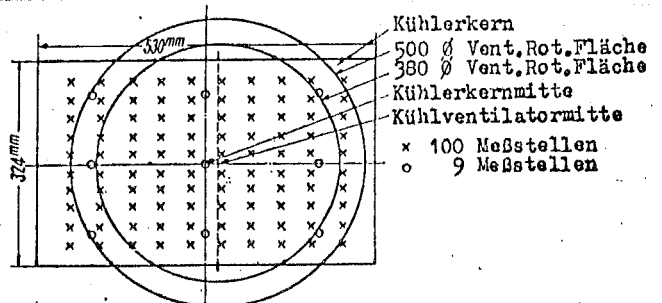
Abb. 10 Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Konstruktionselementen im Innern des Motorraumes

Tafel 3

Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom "Schutzring"-Kühlventilatordurchmesser

Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S 4; Motor: fehlt; Kühler: R_A; Kondensator: fehlt; Kühlventilator: -"vorderer Gitterrost: fehlt; Ventilatorschutzring: -.



Versuchskühlventilatorfläche	
Kühlerkernfläche	0.172 m ²
380 Ø Ventilator, Rot. Fläche	0.113 "
500 Ø Ventilator, Rot. Fläche	0.197 "

Versuch	Versuchsbedingungen				Teile mit Vent.-"Rotationsfläche"				Teile ohne Vent.-"Rotationsfl"				Ges. m. WG	
	Kühl Vent Vent	Schtz ring Dreh-	zahl	Pkt zahl	m. WG	Normabwchg.	Abw. K.	Pkt zahl	m. WG	Normabwchg.	Abw. K.	Mittel aus 100 P.	aus 9 P.	
	Ø	ring	zahl	"	\bar{X}	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n_i - 1}}$	$\frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$	"	\bar{X}	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n_i - 1}}$	$\frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$	\bar{X}_{100}	\bar{X}_9	
			rpm		m/s		%		m/s		%	m/s	m/s	
1	380 Ø	ohne	1200	68	3.4	0.36	10.5	32	2.6	0.82	31.5	3.03	2.68	
2	ditto	mit	1200	68	3.7	0.38	10.2	32	2.6	0.54	20.8	3.16	3.20	
3	500 Ø	ohne	1200	88	4.7	0.47	10.0	12	4.0	0.39	9.8	4.36	4.25	

Um den Einfluß des Verhältnisses der Kühlventilatorrotationsfläche zur Fläche des Kühlerkernes, sowie des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins eines Ventilatorschutzringes auf die Verteilung der Windgeschwindigkeit zu untersuchen, haben wir die Verteilung der Windgeschwindigkeit in einem mit einem durch Elektromotor angetriebenen Kühlventilator ausgerüsteten Fahrzeug S 4 zum Vergleich herangezogen. Als Windgeschwindigkeitsmeßstellen haben wir an der Vorderfläche des Kühlers 100 Punkte genommen und die Messung in der Mitte der flächengleichen Teile durchgeführt.

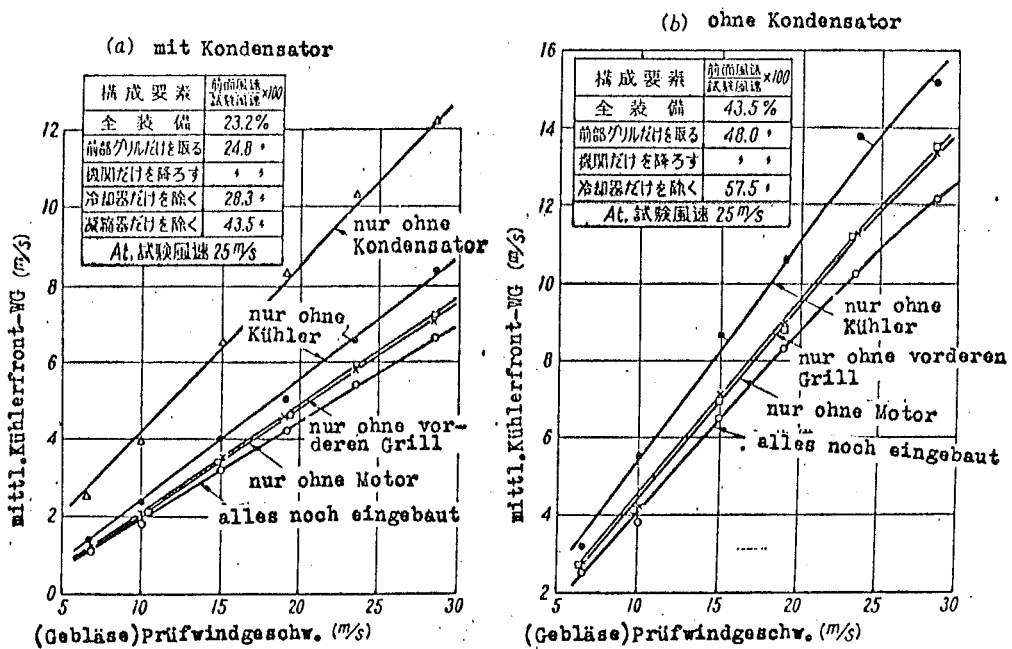
Die in der Tafel 3 aufgeführte Prüfung 1 zeigt für eine Ventilator Drehzahl von 1200 U/Min. die mittlere Windgeschwindigkeit, die Normalabweichung und den Abweichungskoeffizienten derjenigen Teile der Kühler Vorderfläche, welche zur Kühlventilatorrotationsfläche gehören, sowie der Teile der Kühler Vorderfläche, welche nicht zu dieser Rotationsfläche gehören. Die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühler Vorderfläche des zur Rotationsfläche des Kühlventilators gehörenden Teiles betrug 3,4 m/s, sie war um 130% höher als bei dem nicht zur Rotationsfläche des Kühlventilators gehörenden Teil. Auch der Abweichungskoeffizient betrug 10.5%, er hatte also einen wesentlich kleineren Wert als bei dem nicht zur Rotationsfläche des Kühlers gehörenden Teil, wo er 31.5% betrug (?).

In der gleichen Weise werden die bei der Prüfung 2 erhaltenen Ergebnisse aufgeführt, die man für den Fall der Anbringung eines Ventilatorschutzringes an der in der Prüfung 1 benutzten Kühleinrichtung erhalten hat. In diesem Falle betrug die mittlere Windgeschwindigkeit an der Küh-

lervorderfläche des zur Ventilatorrotationsfläche gehörenden Teiles 3.7 m/s, und war damit um 142% höher als bei dem nicht zur Rotationsfläche des Kühlventilators gehörenden Teil. Der Abweichungskoeffizient betrug an dem nicht zur Rotationsfläche des Kühlventilators gehörenden Teil 20.8%, war also wesentlich kleiner als bei der Prüfung 1, wo er an den gleichen Teil 31.5% betrug.

Die Ergebnisse der Prüfung 3 hat man mit einem Kühlventilator erhalten, dessen Rotationsfläche nahezu sämtliche Windgeschwindigkeitsmeßpunkte an der Kühlervorderfläche bedeckte. Der Abweichungskoeffizient des nicht zur Ventilatorrotationsfläche gehörenden Teiles betrug in diesem Falle 9.8%, er hatte also einen ganz wesentlich kleineren Wert als bei dem nicht zur Ventilatorrotationsfläche gehörenden Teile der Prüfung 1 und der Prüfung 2. In diesem Falle wird angenommen, daß an den Meßstellen 1 und 2 des nicht zur Rotationsfläche des Kühlventilators gehörenden Teiles deshalb, weil diese Stellen der Rotationsfläche des Ventilators nahezu ganz benachbart waren, die gleichen Werte des Abweichungskoeffizienten auftraten, wie an dem zur Ventilatorrotationsfläche gehörenden Teil.

Den oben beschriebenen Prüfungen 1, 2 und 3 ist zu entnehmen, daß eine Vergrößerung des Durchmessers des Ventilatorschutzringes und des Ventilators eine Verringerung des Abweichungskoeffizienten und eine Erhöhung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlervorderfläche mit sich bringt.



Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S 4 ; Motor: G 7 ; Kühler: R_B ; Kondensator: C_A ;
 Kühlventilator: F_A ; vorderer Gitterrost: G_B ; Ventilator-
 schutzring: fehlt.

(a) Bauelement $\frac{\text{Frontwindgeschwindigkeit}}{\text{Prüfwindgeschwindigkeit}} \times 100$

alles eingebaut	23.2%
ohne vord.Grill	24.8%
ohne Motor	24.8%
ohne Kühler	28.3%
ohne Kondensator	43.5%
At.Prüfwindgeschwindigkeit 25 m/s	

(b) Bauelement $\frac{\text{Frontwindgeschwindigkeit}}{\text{Prüfwindgeschwindigkeit}} \times 100$

alles eingebaut	43,5%
ohne vord.Grill	48.0%
ohne Motor	48.0%
Ohne Kühler	57.5%
At.Prüfwindgeschwindigkeit 25 m/s	

Abb.11 Der Einfluß der Bauelemente auf die mittlere Windgeschwindigkeit

5. Die Versuche zur Feststellung der Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühler Vorderfläche in Abhängigkeit von den konstruktiven Elementen des Motorraumes

Um zu untersuchen, welcher Art der Einfluß der im Motorraum eingebauten konstruktiven Elemente auf die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühler Vorderfläche ist, haben wir an dem Fahrzeug S 4 unter Verwendung einer Gebläseinrichtung Versuche durchgeführt.

5.1 Der Einfluß der konstruktiven Elemente auf die mittlere Windgeschwindigkeit

Man hat die mittleren Windgeschwindigkeiten in der Kühler Vorderfläche bei Entfernung nur eines einzigen Elementes aus dem sich im zusammengebauten Zustand befindenden Motorinnenraum des Fahrzeuges S 4 einem Vergleich unterworfen. Dabei hat man die Versuche für den Fall der Ausrüstung mit einem Kondensator für eine Kühlanlage als den vollständig ausgebauten Zustand und für den Fall, bei welchem dies nicht gegeben war, ausgeführt.

Die Abb. 11(a) zeigt die Ergebnisse für den Fall der Ausrüstung mit einem Kondensator. Die Abbildung zeigt, daß der Luftwiderstandskondensator ganz besonders groß ist. Durch einen Vergleich des Windgeschwindigkeitsverhältnisses an der Vorderfläche des Kühlers bei einer Prüfwindgeschwindigkeit von 25 m/s (Vorderflächenwindgeschwindigkeit. - Prüfwindgeschwindigkeit x 100) wurde eine durch das Wegnehmen des Kondensators verursachte Zunahme der Windgeschwindigkeit um 43.5% nachgewiesen. Die bei den Versuchen verwendeten Kondensatoren waren derart, wie sie in handelsübliche Wagen mittlerer Größe eingebaut werden, insbesondere waren es keine Kondensatoren mit großem Luftwiderstand

Die Abb.11(b) zeigt die Ergebnisse für den Fall, in welchem kein Kondensator vorgesehen war. Durch den Vergleich der Windgeschwindigkeitsverhältnisse an der Vorderfläche des Kühlers bei einer Prüfwindgeschwindigkeit von 25 m/s hat man festgestellt, daß dadurch, daß man nur den Kühler wegließ, die Windgeschwindigkeit um 57,5% gesteigert wurde während jedoch diese Zunahme der Windgeschwindigkeit 48% betrug, wenn man nur den Motor wegnahm. Somit ist also der Luftwiderstand der einzelnen konstruktiven Elemente im Innern des Motorraumes eines Wagens ohne Kondensator im großen und ganzen gleich.

Das Windgeschwindigkeitsverhältnis an der Kühlerfrontfläche betrug bei einer Prüfwindgeschwindigkeit von 25 m/s 82%, wenn man sämtliche Konstruktionselemente im Innern des Motorraumes wegließ.

5.2 Der Einfluß der Größe des Motors und seiner projizierten Querschnittsfläche auf die mittlere Windgeschwindigkeit

Um den Zusammenhang zwischen der Größe der sich hinter dem Kühler befindenden Bauelemente und der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche festzustellen, haben wir unter Verwendung von Holzkasten den Einfluß der Größe des Volumens und der projizierten Querschnittsfläche experimentell untersucht.

In der Tafel 4 sind die Abmessungen der rechteckförmigen Kasten und der rechteckförmigen Platten zusammengestellt, die man bei den Versuchen als Ersatz für die Größe des Motors und für die projizierte Querschnittsfläche verwendet hat.

Tafel 4

Die relativen Abmessungen der für die Versuche verwendeten rechteckförmigen Kästen und rechteckigen Platten

rechteckförmiger Kasten						Volumen- verhält.	Flächen- verhältnis	Rechteckige Platte			Flächen- verhältnis			
Breite	Höhe	Länge	BrxHh	Vol.	Breite			Höhe	Br xHh					
Versuch	1	0.312 ^m	0.441 ^m	0.501 ^m	0.138 ^{m³}	0.069 ^{m³}	0.133	0.204	Versuch	1	0.259 ^m	0.367 ^m	0.095 ^{m²}	0.141
	2	0.393	0.555	0.633	0.219	0.138	0.267	0.325		2	0.368	0.518	0.191	0.283
	3	0.450	0.636	0.723	0.286	0.207	0.400	0.422		3	0.405	0.705	0.286	0.422
	4	0.496	0.700	0.711	0.348	0.275	0.535	0.515		4	0.519	0.734	0.381	0.567
G7Mot.						±0.207	±0.400	±0.422	G7 Mot.			±0.286	±0.422	

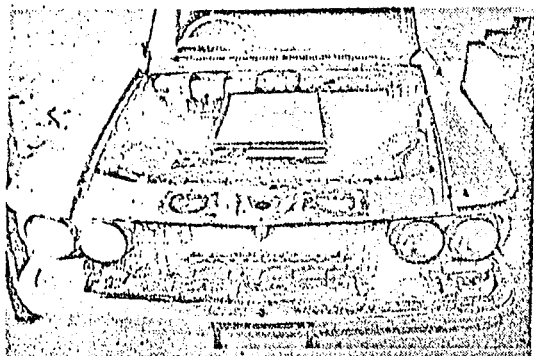
Verhältnis der projizierten
Querschnittsflächen des Motors =

$$\frac{\text{projizierte Querschnittsfläche des Motors}}{\text{Querschnittsflächeninhalt des Motorraumes in einer 125 mm hinter dem Kühler gelegenen Ebene}}$$

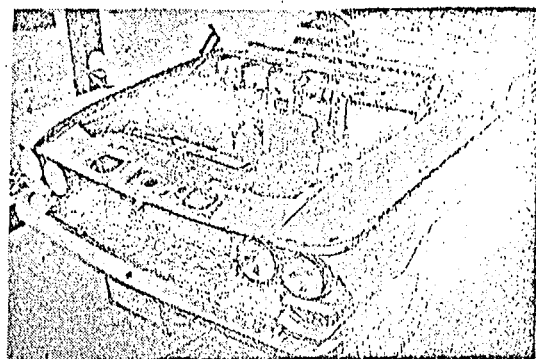
Motorvolumenverhältnis: $\frac{\text{Motorvolumen}}{\text{Motorraumvolumen}}$

Motorraumvolumen: 0.517 m³

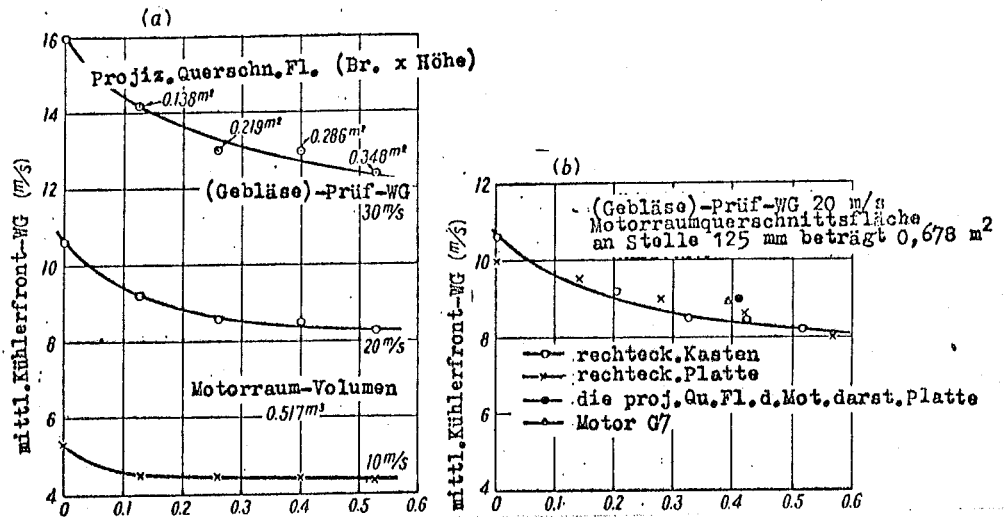
Motorraumquerschnittsfläche, 125 mm hinter dem Kühler: 0.678 m²



(A) Die Anordnung des rechteckförmigen Kastens



(B) Die Anordnung der Platten mit der praktisch gegebenen projizierten Querschnittsfläche.



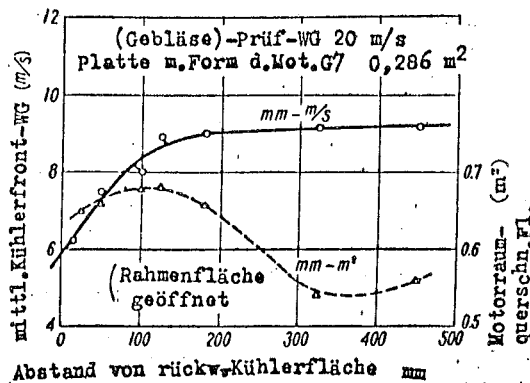
Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S4; Motor: Tafel 5.1; Kühler: R_B; Kondensator: fehlt; Kühlventilator: fehlt; vorderer Gitterrost: fehlt; Ventilatorschutzring: fehlt.

$$\text{Rel. Motorvolumen} = \frac{\text{Motorvolumen}}{\text{Volumen d. Motorraumes}}$$

$$\text{Rel. projiz. Querschnittsfläche des Motors} = \frac{\text{proj. Querschn. Fläche d. Motors}}{\text{Querschn. Fl. d. Motorraumes an Stelle 125 mm}}$$

Abb. 13 Der Einfluß der Größe des Motors und seiner projizierten Querschnittsfläche



Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S4; Motor: G7 (als Platte in seiner praktischen Form); Kühler: R_B; Kondensator: fehlt; Kühlventilator: fehlt; vorderer Gitterrost: fehlt; Ventilatorschutzring: fehlt.

Abb. 14 Der Einfluß des Abstandes zwischen der Kühlerrückseite und dem Motor

Bei dem Versuchsfahrzeug S4 betrug der ungefähre Wert des Volumens des sich über dem Fahrzeugrahmen befindenden Motorraumes 0.517 m^3 ; in 125 mm Abstand hinter dem Kühler betrug die sich über dem Fahrzeugrahmen befindende Querschnittsfläche des Motorraumes 0.678 m^2 .

Die Abb.12 zeigt den Einbau der rechteckförmigen Kasten und der der praktischen Form der projizierten Querschnittsfläche entsprechenden Platten auf dem Versuchsfahrzeug S4.

Die Abb.13(a) zeigt die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche bei vom Gebläse mitgeteilten Prüfwindgeschwindigkeiten von 10, 20 u. 30 m/s für das Fahrzeug S4, in welches man rechteckförmige Holzkasten eingebaut hatte, aufgetragen über dem Motorvolumenverhältnis (Motorvolumen/Motorraumvolumen). Aus der Abbildung können wir ersehen, daß die Tendenz zu einer Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit umso stärker wird, je größer das Motorvolumenverhältnis ist, daß jedoch andererseits bei der Änderung des Volumens des rechteckigen Kastens (der rechteckigen Kasten?) sich auch dessen projizierte Querschnittsfläche geändert hat, und daß in der Praxis auch ein von der Größe der projizierten Querschnittsfläche herkommender Einfluß vorhanden ist.

Die Abb.13(b) zeigt, aufgetragen über dem projizierten Querschnittsverhältnis des Motors, die mittlere Windgeschwindigkeit, gemessen bei einer Prüfwindgeschwindigkeit von 20 m/s an dem Versuchsfahrzeug S4, in welches man 125 mm hinter dem Kühler als projizierte Querschnittsplatte eine rechteckige Platte (rechteckige Platten?) eingebaut hatte. Man sieht aus dieser Abbildung, daß die

Tendenz der Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche umso stärker wird, je höher das projizierte Querschnittsverhältnis ist. Wenn man aus der Abb. 13(a) das projizierte Querschnittsverhältnis des rechteckigen Kastens bestimmt und in die Abb. 13(b) einträgt, dann stellt man fest, daß die Kurven der mittleren Windgeschwindigkeit nahezu übereinstimmen. Somit wird also in der Abb. 13 durch den Einfluß des Motorvolumenverhältnisse auf die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche praktisch auch der Einfluß der projizierten Querschnittsfläche des rechteckförmigen Kastens dargestellt.

5.3 Der Einfluß des Zwischenraumes zwischen der hinteren Kühlerfläche und dem Motor auf die mittlere Windgeschwindigkeit

Um die Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche in Abhängigkeit von der Änderung des Abstandes von der rückwärtigen Kühlerfläche im Motorraum bis zur Vorderseite des Motors festzustellen, haben wir mit dem Fahrzeug S 4 unter Verwendung einer der praktischen Querschnittsform des Motors G 7 entsprechenden Platte Versuche durchgeführt.

Die Abb. 14 zeigt die bei einer vom Gebläse gelieferten Prüfwindgeschwindigkeit von 20 m/s erhaltene Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche in Abhängigkeit von der Änderung des Abstandes der Formplatte von der rückwärtigen Kühlerfläche. Als günstigsten Abstand der Formplatte von der rückwärtigen Kühlerfläche haben wir bei unseren Versuchen mit dem Fahrzeug S 4 einen Abstand von mindestens 100-150 mm festgestellt.

5.4 Der Einfluß des Zwischenraumes zwischen der rückwärtigen Kühlerfläche und dem Kühlventilator auf die mittlere Windgeschwindigkeit

Um die Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche in Abhängigkeit von der Änderung des Abstandes zwischen der rückwärtigen Kühlerfläche und dem Kühlventilator festzustellen, haben wir mit dem Fahrzeug S 4 unter Benützung eines durch Elektromotor angetriebene Kühlventilators Versuche durchgeführt. Die Abb.15(a) zeigt die Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche in Abhängigkeit von der Änderung des Abstandes zwischen der rückwärtigen Kühlerfläche und dem Kühlventilator ohne Ventilatorschutzring. Die Ergebnisse dieser Versuche haben gezeigt, daß der Kühlventilator so nahe als nur irgend möglich beim Kühler angebracht werden sollte.

Die Abb.15(b) zeigt die mit einem Ventilatorschutzring erhaltenen Versuchsergebnisse. Wenn man einen Ventilatorschutzring verwendete, dann zeigte es sich, daß der Abstand zwischen dem Kühler und dem Kühlventilator nahezu ohne Einfluß auf die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfront war. Andererseits hat es sich jedoch auch gezeigt, daß dem gegenseitigen Zusammenhang zwischen der "Ausblaseöffnung" des Ventilatorschutzringes und der Ventilatorbogensehne ein großer Einfluß zukommt; wenn sich die Ventilatorschutzringausblaseöffnung in der Mitte der Kühlventilatorsehne befindet, hat die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche ihren höchsten Wert

5.5 Der Luftzug unter dem Radkasten, unter dem Instrumentenbrett und an der Rahmenfläche innerhalb des Motorraumes

Der den Kühler durchsetzende Wind streicht vom Unterteil der beidseitigen Radkasten, vom Unterteil des Instrumentbrettes und von der Rahmenfläche her nach der rückwärtigen Seite des Kraftfahrzeuges hin. Um nun den von diesen einzelnen Teilen herkommenden Anteil des Luftzuges festzustellen, haben wir mit dem Fahrzeug S 4 Versuche durchgeführt, bei denen die Konstruktionselemente im Motorraum nicht eingebaut waren.

Die Abb. 16 zeigt für eine vom Gebläse gelieferte Prüfwindgeschwindigkeit von 15.5 m/s die Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Stelle des Kühlers in Abhängigkeit von der absoluten Änderung des jeweiligen Flächeninhaltes. In diesem Falle hatte man außer den Prüfteilen noch 2 weitere geöffnet (?). Mit steigendem Flächeninhalt der Prüfteile nahm die mittlere Windgeschwindigkeit ungefähr proportional zu, besonders bemerkenswert ist, daß der von der Rahmenfläche kommende Luftzug noch größer ist. Dies bedeutet, daß, wenn man die Rahmenfläche vollständig abgeschlossen macht, die mittlere Windgeschwindigkeit 3.7 m/s beträgt, während beim vollständigen Abschließen der Unterseite des Instrumentenbrettes oder der Unterseite des Radkastens (beidseitig) die mittlere Windgeschwindigkeit 6.2 m/s bzw. 5.3 m/s beträgt.

6. Die Versuche zur Ermittlung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche bei Fahrt auf der Straße

Um festzustellen, welchen Einfluß die technischen Daten des Kühlventilators, des Kühlers und des vorderen Gitterrostes bei Fahrt des Kraftfahrzeuges auf der Straße auf die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche

ausüben, haben wir mit einem praktisch gebrauchten Fahrzeug Windgeschwindigkeitsprüfungen bei Fahrt auf der Straße durchgeführt.

6.1 Die durch die Windleistung des Kühlventilators begrenzte Fahrtgeschwindigkeit

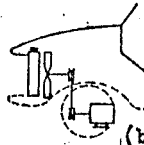
(Dieser Abschnitt ist nicht übersetzt worden)

6.2 Die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche in Abhängigkeit vom Luftwiderstand des Kühlers

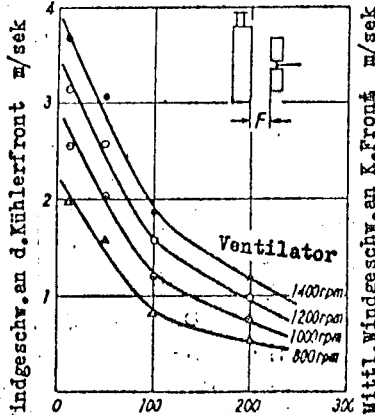
Bei einer und derselben Kühlerform hat man, indem man lediglich verschiedene Ventilatorabstände herstellte, den Luftwiderstand geändert; diesen Kühler hat man auf einem Fahrzeug des praktischen Gebrauches eingebaut und dann bei Fahrt auf der Straße die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche gemessen und die jeweils erhaltenen Ergebnisse miteinander verglichen; man hat die Ergebnisse im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Kühlerwärmeabstrahlungsprüfung untersucht. Durch entsprechende Begrenzung und Einschränkung des Ventilatorabstandes dürfte bei einem Kühler im allgemeinen in einem gewissen Umfange eine Erhöhung des prozentualen Wärmedurchsatzes möglich sein. Wenn man dabei jedoch eine ganz bestimmte durchströmende Luftmenge zugeführt hat (?); dann nimmt bei einem auf dem Fahrzeug eingebauten Kühler mit hohem Luftwiderstand die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche ab

Insbesondere sind es die Fahrtbedingungen, welche den vom Kühlventilator gelieferten Luftstrom beeinflussen, entsprechend den Fahrtbedingungen wird der Einsatzpunkt des Ventilators verschoben, die Luftmenge nimmt ab und die Menge der abgestrahlten Wärme nimmt nicht immer in dem Maße zu, wie der prozentuale Wärmedurchsatz ansteigt.

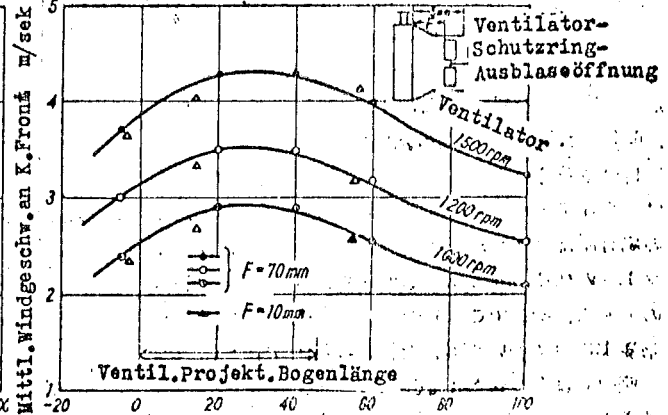
Fahrzeug: S4
 Motor: ohne Motor
 Kühler: RA
 K.Ventilator: Fa
 Vordergrill: ohne
 Kondensator: ohne
 Vent.Schutzring: -



(a) Noch ohne Ventilatorschutzring



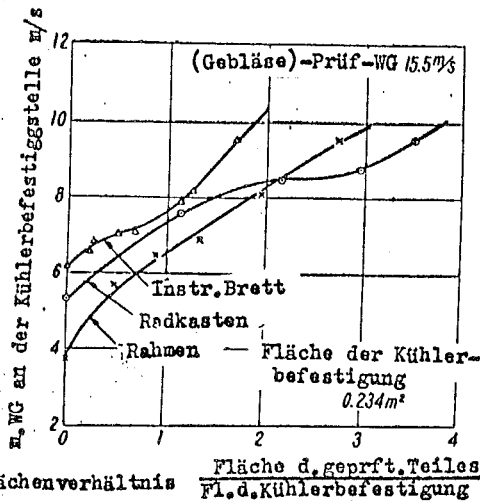
(b) Mit Ventilatorschutzring



Entferng. v. Kühlerhinterteil bis zum Ventilator (F) mm

Länge der Überdeckung des Ventilatorflügels durch die Schutzringausblaseöffnung ($S_{mm} - F_{mm}$)

Abb.15. Der Einfluß des Zwischenraumes zwischen Kühlerrückfläche und Kühlventilator



Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S4 ; Motor: fehlt; Kühler: fehlt; Kondensator: fehlt; Kühlventilator: fehlt; vorderer Gitterrost: fehlt; Ventilatorschutzring: fehlt.

Abb.16 Der Luftzug im Motorraum zum unteren Teil der Radkasten, vom unteren Teil des Instrumentenbrettes und von der Rahmenfläche her.

In der Tafel 6 sind die wichtigsten Daten der bei unseren Versuchen verwendeten Kühler zusammengestellt. Der Versuchskühler R_{D1} ist ein Ventilatorloser, nur aus Wasserrohren bestehender Kühler, während die übrigen Kühler mit gewellten Ventilatoren versehen sind.

In dieser Tafel versteht man unter dem Kühlerwiderstandskoeffizienten k die Druckdifferenz ΔP_R zwischen der vorderen und der rückwärtigen Fläche des Kühlers, dividiert durch das Quadrat der dabei an der Kühler Vorderfläche vorhandenen Windgeschwindigkeit V_R d.h. also

$$\Delta P_R = k \gamma \frac{V_R^2}{2g} \quad \frac{\Delta P_R}{\gamma \frac{V_R^2}{2g}} = k \quad (V_R = 10 \text{ m/s})$$

Die Abb. 19(a) zeigt für die verschiedenen Kühlerwiderstandskoeffizienten die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche bei Fahrt auf der Straße mit dem Fahrzeug S 5. Die mittleren Windgeschwindigkeiten sind für die Fahrgeschwindigkeiten des Wagens im schnellsten Gang von 40, 60, 80 und 100 km/Std. angegeben, selbstverständlich nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche mit steigendem Widerstandskoeffizienten ab.

Die der jeweiligen Windgeschwindigkeit entsprechende Wärmeabstrahlung des Kühlers ($\Delta t = 60^\circ\text{C}$) ist für die Fahrgeschwindigkeiten von 100 km/Std. und von 40 km/Std. aufgezichnet worden. Bei einem Wert des Widerstandskoeffizienten von 5 und darüber zeigt die abgestrahlte Wärmemenge des Kühlers eine Tendenz der Sättigung. Dies bedeutet, daß eine weitere Erhöhung des Widerstandskoeffizienten kaum noch eine Steigerung der Wärmeabstrahlung bringt und somit nur eine Materialverschwendung ist.

Die Abb. 19(b) zeigt die Verringerung der Windgeschwindig-

keit bei Fahrt im Leerlauf. Die Abnahme der Windgeschwindigkeit in diesem Falle ist das Ergebnis der durch das Ansteigen des wirksamen statischen Druckes am Kühlventilator bedingten Abnahme der geförderten Luftmenge, diese Verringerung der Luftmenge tritt in einem Absinken der abgestrahlten Wärmemenge des Kühlers in Erscheinung.

Bei unseren Versuchen haben wir festgestellt, daß die durch die Zunahme des Widerstandskoeffizienten bedingte Abnahme der Wärmeabstrahlung des Kühlers ihre Ursache in der Verringerung der Windgeschwindigkeit hat, als weitere Ursache kommt aber auch noch das durch die "übermäßige Einschränkung" des Kühlventilatorzwischenraumes bedingte Mißverhältnis des prozentualen Wärmedurchsatzes hinzu.

6.3 Die Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit an der vorderen Kühlerfläche mit deren Flächeninhalt

Wenn in einem Kraftfahrzeug ein Kühler mit einem bestimmten Wärmedurchsatz eingebaut ist, dann ist es ganz natürlich, daß man, um einen möglichst geringen Luftwiderstand zu bekommen, den Flächeninhalt der Kühlerfront so groß als möglich macht. Der durch dieses Größermachen der Kühlerfrontfläche erreichte Nutzeffekt ist jedoch in hohem Maße davon abhängig, wie leicht die Luft den Motorraum durchströmen kann. Somit ist also zu erwarten, daß bei einem Fahrzeug, in welchem der Luftwiderstand des Motorraumes sehr viel größer ist als der Luftwiderstand des Kühlers, auch dann, wenn man den Flächeninhalt der Kühlerfront noch so groß macht, die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche kleiner wird und daß die erwartete Zunahme der durchströmenden Luftmenge nicht eintritt.

Tafel 6

Die wichtigsten Daten der bei den Versuchen verwendeten Kühler

記号		RD1	RD2	RD3	RD4	RD5
新元						
Bauart		-	コルゲートフィン	同左	同左	同左
Kernmaße	Br x Hh x Lg mm	485 x 300 x 32	同左	同左	同左	同左
Vent. Abstd.	mm	フィンなし	1.5	2.0	2.5	3.0
W. Abstr. Fl.	m²	0.79	5.79	4.53	3.79	3.29
W. Durchsatz (K) 100 L/min 10 m/s	kcal/m²h°C	84	114	117	138	136
Kühlerwstd. Koeff. (K) (at 10 m/s)	$\frac{\Delta P_R}{\frac{1}{2} \rho v^2}$	2.8	5.4	5.7	6.55	8.9
$K/\Delta P_R$		4.94	2.08	2.93	3.95	4.12

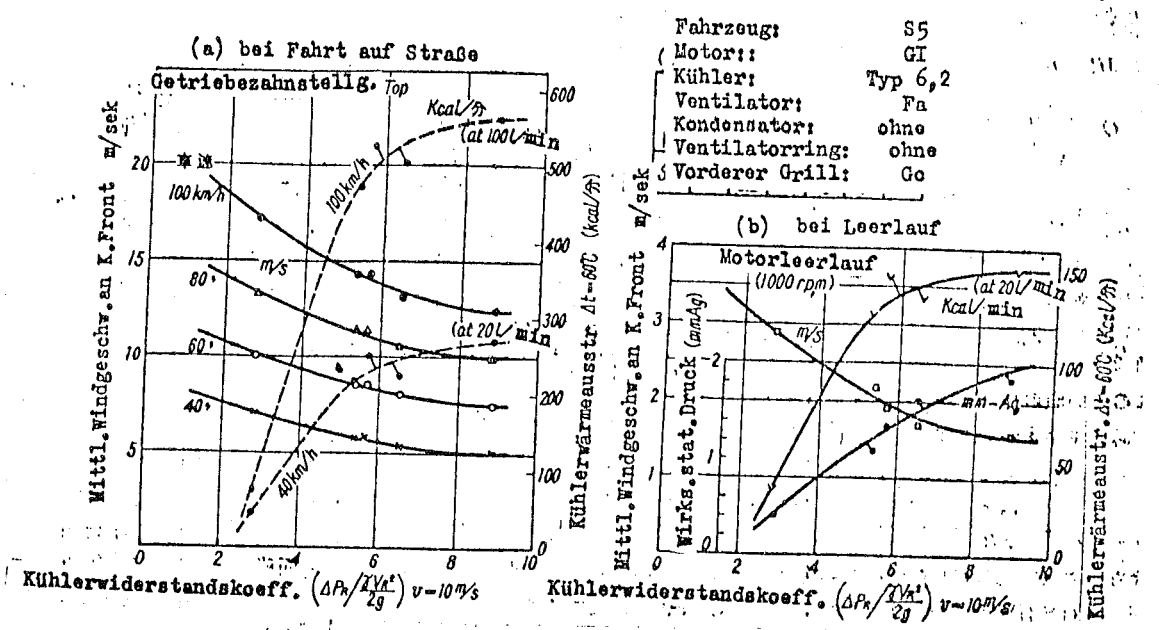


Abb. 19. Einfluß des Kühlerluftwiderstandes

Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S5; Motor: G1; Kühler: R₀; Kondensator: fehlt;
 Kühlventilator: fehlt; Ventilatorschutzring: fehlt; vorderer Gitterrost: fehlt.

(Frontflächen der Versuchskühler)

記号	Re1	Re2	Re3	Re4
Breite x Höhe mm	150 x 122	150 x 243	225 x 365	300 x 487
Frontfläche m²	0.018	0.038	0.082	0.145

Windgeschwindigkeitsmeßpunkte: zwei Punkte auf der Kühlerquermittellinie, diese in zwei Hälften teilend

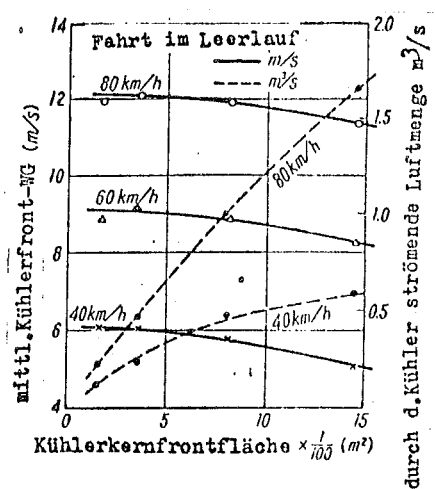


Abb. 20 Der Einfluß des Flächeninhaltes der Kühlerfront

Wenn wir nun folgende Bezeichnungen einführen:

A_R : Flächeninhalt der Kühlerfrontfläche

A_E : äquivalenter Flächeninhalt des Motorraumes

ΔP_e : Druckdifferenz, wenn man Kühler und Motorraum als ein ganzes betrachtet

Q : durchströmende Luftmenge, wenn ΔP_e erzeugt wird.

Dann bekommen wir

$$\Delta P_e = K_{R\gamma} \left(\frac{Q}{A_R} \right)^2 + K_{E\gamma} \left(\frac{Q}{A_E} \right)^2$$

Wenn wir uns nun entschließen, $K_R = K_E = K$ zu setzen, bekommen wir

$$\Delta P_e = K\gamma Q^2 \left(\frac{1}{A_R^2} + \frac{1}{A_E^2} \right)$$

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta P_e}{K\gamma} \frac{1}{\left(\frac{1}{A_R^2} + \frac{1}{A_E^2} \right)}}$$

Wenn wir $A_R \rightarrow \infty$ setzen wird $Q = A_E \sqrt{\frac{\Delta P_e}{K\gamma}}$

wenn wir $A_R \rightarrow 0$ setzen, wird $Q = 0$

Somit ist zu erwarten, daß die durchströmende Luftmenge zwischen 0 und $A_E \sqrt{\Delta P_e / K\gamma}$ liegt.

Die Abb. 20 zeigt die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche, die wir erhalten haben, indem wir unter Verwendung von Masken bei einem der Kühler den Flächeninhalt der Kühlerfrontfläche änderten. Für diese Prüfung haben wir das Fahrzeug S 5 verwendet und wir haben jeweils die Windgeschwindigkeit bei Fahrt auf der Straße im Leerlauf (?) bei den Geschwindigkeiten 40, 60 und 80 km/Std. angegeben.

Als Meßpunkte für die Messung der mittleren Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche hat man auf der Quermittellinie des Kühlers 2 Punkte so gewählt, daß man in der Mitte dieser Quermittellinie einen Scheitel von 30 mm bekam (?).

Wie man aus der Abbildung ersehen kann, wird mit zunehmen.

dem Flächeninhalt der Kühlerfrontfläche die mittlere Windgeschwindigkeit etwas kleiner, die durchströmende Luftmenge jedoch nimmt zu. Eine Steigerung des Flächeninhaltes der Kühlerfrontfläche zum Zwecke einer Erhöhung der durchströmenden Luftmenge ist somit für das untersuchte Versuchsfahrzeug zweckmäßig und wirksam, und man darf wohl annehmen, daß diese Maßnahme auch ganz allgemein für Fahrzeuge wahrscheinlich zweckmäßig und wirksam ist.

In der Abb.21 haben wir zum Zwecke des Vergleiches den Zusammenhang zwischen dem Hubvolumen des im Kraftfahrzeug eingebauten Motors und dem Flächeninhalt der Kühlerfront für japanische Wagen, europäische Wagen und amerikanische Wagen aufgezeichnet. Der Flächeninhalt der Kühlerfrontfläche A_R , als der 1. Faktor zur Festlegung der Kühlleistung eines Kraftfahrzeuges, ist für ein Hubvolumen des eingebauten Motors von V_E durch die Beziehung

$$A_R = 0.1 + 0.032 V_E m^2$$

gegeben; diese Kühlerfrontfläche muß bei der Erstplanung eines Fahrzeuges mindestens vorgesehen werden, wenn dies jedoch nicht der Fall ist, dann muß der Kühlventilator selbst oder aber das Drehzahlverhältnis des Kühlventilators (zur Motordrehzahl?) groß gewählt werden.

Der Buick Skylark-Wagen ist in der Abbildung der voll ausgezogenen Linie zugeordnet (?), er hat der Kühlerbewertungsprüfung unserer Firma nicht genügt. Der Kern des Kühlers des Benz 220 S, der eine besonders große Kühlerfrontfläche besitzt, stellt nahezu ein regelmäßiges Viereck dar, zudem wird bei diesem Wagen der Kühlerkern nahezu vollständig von der Kühlventilatorrotationsfläche überdeckt.

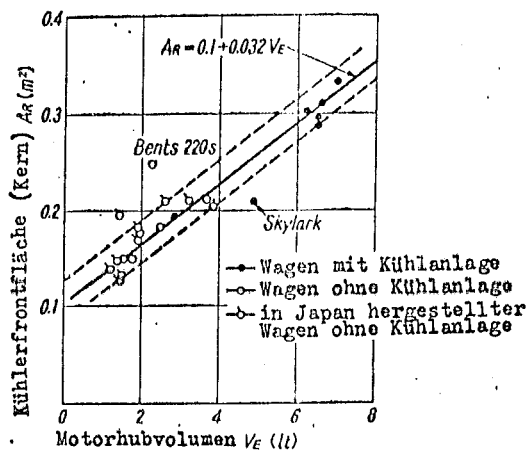
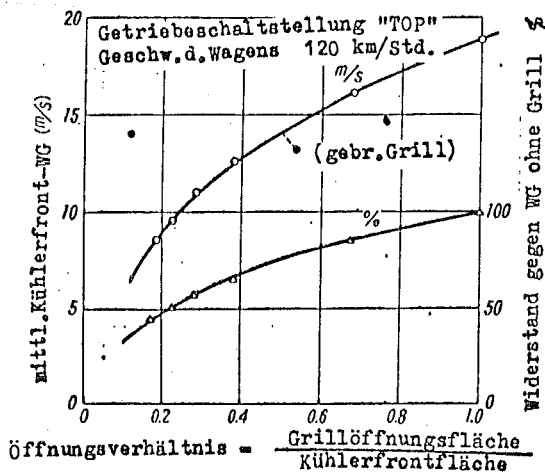


Abb.21 Das Hubvolumen des Motors und der Flächeninhalt der Kühlerfrontfläche



Daten des Versuchsfahrzeugs:

Fahrzeug: S 5; Motor: G 1; Kühler: R₀; Kühlventilator: F_A
 Kondensator: fehlt; Ventilatorschutzring: vorhanden; Kühlventilator-drehzahlverhältnis (zur Motordrehzahl): 0.95;
 vorderer Gitterrost: -.

Abb.22 Der Einfluß des Öffnungsverhältnisses des vordere Gitterrostes

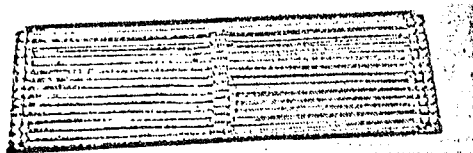


Abb.23 Der bei den Versuchen verwendete vordere Gitterrost des Fahrzeugs S 5.

6.4 Die mittlere Windgeschwindigkeit an der Frontfläche des Kühlers in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis des vorderen Gitterrostes

Der vordere Gitterrost des Kraftfahrzeuges stellt auch die Öffnung für den Zutritt der Luft zum Motorraum dar; wenn die Öffnungsquerschnittsfläche dieses Gitterrostes zu klein ist, dann führt dies, insbesondere bei Fahrt mit hoher Geschwindigkeit, zu einem unerwarteten Absinken der Kühlleistung.

Die Abb.22 zeigt die mittlere Windgeschwindigkeit an der Kühlerfrontfläche bei sich änderndem Flächeninhalt der Öffnung des vorderen Gitterrostes, aufgetragen über dem Öffnungsverhältnis (Flächeninhalt der Gitterrostöffnung/Flächeninhalt der Kühlerfrontfläche). Bei der Prüfung wurde ein S5 -Fahrzeug benützt, und es wurde im schnellsten Gang mit 120 km/Std. gefahren. Die Abb.23 zeigt den bei den Versuchen benützten vorderen Gitterrost. Von den quer verlaufenden Gitterstäben ist jeder einzelne mit Schraube befestigt, so daß man die Anzahl dieser Gitterstäbe variieren und dadurch den Flächeninhalt der Öffnung ändern konnte.

Wie man aus der Abbildung ersieht, stellt dieser vordere Gitterrost, ob er nun groß ist, oder ob er klein ist, einen Luftwiderstand dar, wenn man bei einem Fahrzeug vor allem den Bereich der hohen Geschwindigkeiten ins Auge faßt, dann hat man das Bestreben, das Öffnungsverhältnis mit 1.0 anzunehmen. Bei den heute als Gebrauchswagen auf dem Markt angebotenen Fahrzeugen gibt es viele, bei denen das Öffnungsverhältnis in der Größenordnung von 0.5 liegt wenn man dieses Verhältnis auch nur mit 0.7-0.8 annimmt, kann man unserer Ansicht nach schon eine ganz wesentliche

Steigerung der Kühlleistung erreichen.

7. Zusammenfassung

(Dieser Abschnitt ist nicht übersetzt worden)