

Bericht Über Versuch  
zum Diesel-Motor

## **Technischer Prüfstand Op.**

Nr. 402

H-#8

Verfasser Dipl. Ing. Köhler  
Tag 1. Dezember 1940

Tag ..... 11. Dezember 1940

#### **Gesehen von der Direktion**

## Zur Kenntnis an

Empfänger	Eingang	Weiter	Unterschrift

I.G. Dampf- und Motor-Vertriebsgesellschaft  
Vorstand: Dr. W. H. Körber  
Technische Abteilung 09-471  
Bericht Nr. 407

B e r i c h t  
über  
Startversuche am Diesel-Motor.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	Seite	1
Allgemeines und Zweck	"	1
Durchführung der Versuche	"	2
Versuchsergebnisse		
1) Startzeit abhängig von Octanzahl	"	3
2) " " Starttemperatur "	"	4
3) " " Verdichtung "	"	4
4) " bei gleicher Octanzahl	"	5
5) Einfluss von Zündbeschleunigern	"	6
6) Startzeit abhängig von Siedetemperatur bei gleicher Octanzahl	"	7
7) Startzeit bei Anwendung der Glühkerze	"	8

11. Dezember 1941 K8/Gr.

B e r i c h t  
über  
Startversuche am Diesel-Motor.

Zusammenfassung.

Es wird das Startverhalten verschiedener Gruppen von Kraftstoffen im Diesel-Motor untersucht. Das Startverhalten hängt im wesentlichen von der Verdichtung des Motors, der Temperatur des Motors sowie der Ansaugluft und der Cetanzahl des Kraftstoffes ab. In einem Motor spielt die Zündwilligkeit des Kraftstoffes oberhalb der durch Verdichtung und Starttemperaturen bestimmten Grenze praktisch keine Rolle mehr. Unterhalb dieser Grenze, die in einem  $\xi$ -Cet Diagramm etwa hyperbolischen Verlauf hat, wirkt sich jede mangelnde Cetan-Einheit stark auf die Startfreudigkeit aus. Im allgemeinen gibt die Cetanzahl des Kraftstoffes einen genügend genauen Anhalt über das Anlassverhalten im Motor. Eine Ausnahme bilden jedoch die gedopten Kraftstoffe, mit denen der Dieselmotor schlechter anspringt, als der Cetanzahl nach zu erwarten wäre, und die leichtsiedenden Kraftstoffe, z.B. Bensin, mit denen er leichter zum Starten zu bringen ist. Es kann in vielen Fällen zum Starten ein besonderes Startöl vorteilhaft sein, das aus einer grossen Menge, z.B. 20 %, Zündbeschleuniger besteht und leicht flüchtig ist. Dieses Öl könnte beim Starten in den Ansaugstutzen gespritzt werden und würde den eigentlichen Dieselkraftstoff, der dann von einer billigeren und einfacheren Beschaffenheit sein dürfte, zum Entzünden bringen. Das gleiche kann auch mittels einer anderen Zündhilfe, der Glühkerze, erreicht werden, mit der gleichfalls Kraftstoffe zum Entzünden gebracht werden können, die ohne diese Einrichtung nicht zünden würden. Bemerkenswert ist, dass ohne Zündkerze Bensin leichter zündet als das entsprechende Dieselöl, dass dies jedoch mit Glühkerze nicht beobachtet werden konnte.

Allgemeines und Zweck.

Allgemein wird die Cetanzahl als eine Messgrösse für die Zündwilligkeit des Kraftstoffes, worunter man auch seine Startfreudigkeit versteht, betrachtet, und in den Lieferbedingungen der Behörden werden Kraftstoffe ge-

-2-

fordert, die über Cetanzahl 40 besitzen, womit ein noch gutes Anlassen der Fahrzeugdieselmotoren gewährleistet werden soll. Diese durch lange Erfahrung im Fahrbetrieb gewonnene Regel hat jedoch nur für die üblichen Gasöle volle Gültigkeit. Seit einem Jahr werden jedoch auch andere Kraftstoffe, in der Hauptsache Benzine, mehr oder weniger stark mit Gasöl gemischt, im Fahrzeugdieselmotor verwendet, für die diese Regel nicht zu gelten scheint. Zweck der vorliegenden Versuche ist es, das Startverhalten einer Anzahl von Kraftstoffen an einigen Motoren zu untersuchen und etwaige Gesetzmäßigkeiten aufzufinden.

#### Durchführung der Versuche.

Die Versuche wurden im Kälteraum des Technischen Prüfstandes durchgeführt, da es hier am leichtesten war, konstante Luft- und Kühlwasserverhältnisse zu schaffen. Dem jeweiligen Versuchszweck entsprechend wurden ein I.G.-Prüfdiesel, ein Deutz-Motor und ein MWM-Motor verwendet. Die wichtigsten Daten sind auf Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

Motor	I.G.-Prüfdiesel	Deutz-Motor	MWM-Motor
Verbrennungssystem	direkt	direkt	Vorkammer
Hubraum cm <sup>3</sup>	1063	1920	1063
Bohrung mm	95	120	95
Hub mm	150	170	150

Alle sind Einsylindermotoren mit 1 bis 2 Ltr. Hubraum und einer Normdrehzahl von 1000 bis 1500 U/Min. Die ersten beiden haben direkte Einspritzung ohne besondere Zündhilfe, der MWM-Motor hat Vorkammer und Glühkerze. Es startet wurde, ausser beim I.G.-Prüfdiesel, der einen Bosch-Anlasser hatte, mittels eines Elektromotors, der unter Zwischenschaltung eines Unterstellungsgetriebes direkt mit dem Dieselmotor gekuppelt war (s. Blatt 1). Diese Anordnung hat sich gut bewährt, wogegen bei Verwendung des Bosch-Anlassers wegen der raschen Ermüdung der Batterie und dem hierdurch bedingten Drehzahlabfall grössere Streuungen in den Messergebnissen auftraten. Das Einsetzen der Zündungen wurde am Knall und an der Trübung des Auspuffes festgestellt. Es zeigte sich im Laufe der Versuche als wünschenswert, dass sich beim Rundlauf des Motors der Diesel-Motor vom Elektromotor loskuppelt, da im allgemeinen bei den niederen Anlassdrehzahlen ein normaler Rundlauf des Diesel-Motors nicht möglich ist. Für das Startverhalten wurde sowohl die Zeit bis zur ersten Zündung als auch bis zum Rundlauf zu Grunde gelegt. Die Anlass-

drehzahl betrug bei allen drei Motoren etwa 250 U/min. und wurde genau konstant gehalten. Um örtliche Wärmestauungen im Motor schnell zu beseitigen, wurde das Kühlwasser im Motor umgepumpt. Außerdem wurde der Motor nach jedem Versuch noch kurzzeitig ohne Kraftstoff laufen lassen, um etwaige unverbrannte Rückstände im Zylinderraum zu entfernen. Trotzdem war es nur möglich, alle Stunde eine Messung zu machen. Meist war die erste Messung, wenn der Motor mehrere Stunden gestanden hatte, unsicher, sodass sie für die Auswertung nicht herangezogen wurde. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass der Schmierölfilm ein anderer war als mitten in der Versuchsserie. Jeder Versuch wurde wegen der mitunter recht beachtlichen Streuungen mehrmals wiederholt. Unter 0°C streuten die Versuche stark, da anscheinend die Düse durch hinzukommendes Schmieröl, das von der Pumpe herrührt oder durch Spritsöl der Kurbelwanne gesetzt wird, sodass diese Werte weggelassen wurden.

#### Versuchsergebnisse.

##### 1) Startzeit abhängig von Cetanzahl.

Zur Prüfung der Beziehung zwischen Startzeit und Cetanzahl wurden Mischungen aus Badischem Gasöl mit Cetanzahl 60 und Steinkohlenmittelöl mit Cetanzahl 5, deren wichtigste Analysendaten auf Tabelle 2 wiedergegeben sind, im I.G.-Prüfdiesel bei der Verdichtung  $\bar{\epsilon} = 17:1$  verwendet und die Zeit bis zum Eintritt der ersten Zündung auf Blatt 1, Abb.1, aufgezeichnet.

Tabelle 2

Kraftstoff	Bad. Gasöl	Steinkohlenmittelöl
spez. Gewicht/20°C	0,853	0,965
Siedeverlauf: 5-95%	307-375	235-300
Viskosität bei 20°C	12,3 cst.	4,96 cst.
Cetanzahl	60	5

Der Verlauf der Kurven zeigt, dass oberhalb einer bestimmten Cetanzahl, z.B. 45 bei 10°C, ein Kraftstoff höherer Zündwilligkeit keine wesentliche Verkürzung der Startzeit mehr bringt, dass dagegen unterhalb von CaZ 45 jede fehlende Cetaneinheit die Startzeit wesentlich verlängert. Bei den Temperaturen 0°C und 20°C trifft dies in ähnlicher Weise zu. Aus den Erfahrungen, die in der Praxis gewonnen wurden, sind die Liefervorschriften für die Dieselkraftstoffe entwickelt worden, die als Mindestforderung eine Cetanzahl von etwa 40 beim Fahrzeugmotor verlangen.

2) Startzeit abhängig von Starttemperatur.

Auf Blatt 2, Abb.2, sind für den I.G.-Prüfdiesel bei Verdichtung  $\xi = 17:1$  für die gleichen Kraftstoffe die Änderung der Startzeit mit der Starttemperatur aufgetragen. Während z.B. der Kraftstoff mit CaZ 40 bei  $20^{\circ}\text{C}$  bereits innerhalb 20 Sek. und bei höheren Temperaturen noch früher zünden wird, sind bei  $-10^{\circ}\text{C}$  schon etwa 80 Sek. notwendig, und bei noch tieferer Temperatur wird ein Starten nicht mehr möglich sein. Die Kurven der Kraftstoffe höherer Cetanzahl verlaufen etwas flacher, diejenigen der Kraftstoffe niedriger Cetanzahl etwas steiler. Alle nähern sich Kleinstwerten, wo Zündung nahezu sofort eintritt. Um im Winter bei  $0^{\circ}\text{C}$  Starttemperatur den kalten Motor zum Laufen zu bringen, wären erforderlich bei CaZ 60 etwa 50 Sek. und bei CaZ 50 etwa 90 Sek., während ein Kraftstoff mit CaZ 40 kaum noch im Motor zünden würde.

3) Startzeit abhängig von Verdichtung.

Für vier Kraftstoffe von Cetanzahl 27 bis 86 wurde das Startverhalten in Abhängigkeit von der Verdichtung untersucht und auf Blatt 3, Abb.1, aufgetragen. Die wichtigsten Daten sind in nachstehender Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3

Kraftstoff	RCH-Öl	Gasöl	Steinkohlen-dieselöl	Braunkohlen-dieselöl
Spez. Gewicht $20^{\circ}\text{C}$	0,776	0,852	0,870	0,92
Siedeverlauf 5-95 %	220-320	235-350	200-305	245-330
Stockpunkt $^{\circ}\text{C}$	-12	-16	-45	-11
Viskosität $20^{\circ}\text{C}$	2,86	5,5 cSt.	2,85	5,27
Cetanzahl	86	45	37	27

Unterhalb einer bestimmten Verdichtung, z.B. etwa  $\xi = 14:1$ , wachsen beim Gasöl die Startzeiten sehr rasch an und bei  $\xi = 12:1$  ist Starten kaum noch möglich, wogegen oberhalb der Verdichtung von  $\xi = 14:1$  eine weitere Erhöhung der Verdichtung praktisch keine Verbesserung der Startzeit mehr bringt, da hier schon der Kleinstwert erreicht wird, der für alle Kraftstoffe gleich gross

ist und etwa 2 Sek. bis zur ersten Zündung beträgt.

Man kann sich diese Kurven aus einem horizontal verlaufenden Ast und einem dazu schräg stehenden Ast gebildet denken. Der Schnittpunkt bei der Linien ist ungefähr diejenige Grenzverdichtung unterhalb der Start - schwierigkeiten auftreten. Oberhalb dieses Punktes startet der Motor bei jeder Verdichtung gleich gut.

Auf dem gleichen Blatt 3, Abb. 2, ist diese Grenzverdichtungskurve, die nur für eine bestimmte Starttemperatur gilt, in Abhängigkeit von der Cetanzahl aufgetragen. Diese Grenzkurve hat Hyparbelform. Oberhalb dieser Kurve ist gutes Starzen, unterhalb schlechtes Starten zu erwarten.

#### 4) Startzeit bei gleicher Cetanzahl.

Trotzdem Kraftstoffe gleiche Cetanzahlen haben, können sie in ihrem chemischen Aufbau verschieden sein. Es wurden drei Kraftstoffe von praktisch gleicher Cetanzahl, deren Analysendaten in der nachstehenden Tabelle 4 angeführt sind, im Deutz-Motor bei zwei verschiedenen Temperaturen auf ihre Startfreudigkeit untersucht.

Tabelle 4

Kraftstoff	Standard Gasöl DAPG	Braunkohlen-Dieselöl + 3% Äthylnitrat	Benzin aus Bad. Erdöl			
Spez. Gewicht/20°C	0,852	0,92	0,713			
Siedeverlauf: 5-95%	235-350	245-330	80-150			
Stockpunkt °C	~16	~11	< -30			
Viskosität b.20°C	5,5 cst.	5,27 cst.	< 1 cst.			
Cetanzahl Zündverzugsverf.	45	45	43			
Cetanzahl Anlasseverfahren	45	57,5	31,5			
Startzeit in Sek.	1. Zündung	Rundlauf	1. Zündung	Rundlauf	1. Zündung	Rundlauf
bei 20°C	1	2	90	159	1	3
" 10°C	14	43	keine Zündung	15	15	19

Die drei Kraftstoffe sind chemisch völlig verschieden. Das Gasöl aus amerikanischem Erdöl hat normalen Siedeverlauf. Das Benzin stammt aus badischem Erdöl und hat einen niederen Siedeverlauf, demzufolge auch andere Kohlenwasserstoffverbindungen. Das Braunkohledieselöl aus der Braunkohlehydrierung mit einem Siedeverlauf ähnlich dem des Standardgasöls hat nur Cetanzahl 28 und ist durch Zusatz eines Zündverbesserers auf die gleiche Cetanzahl wie die beiden anderen Kraftstoffe gebracht. In der gleichen Tabelle sind auch die am HWA-Motor nach dem Anlassverfahren gemessenen Cetanzahlen mit aufgenommen.

Wie die Tabelle 4 zeigt, zündeten bei einer Luft- und Kühlwassertemperatur von 20°C Gasöl und Benzin sofort, das Braunkohledieselöl trotz gleicher Cetanzahl sehr viel später. Die gleichen Messungen wurden bei +10°C wiederholt. Das Braunkohlemittelöl zündete hier nicht mehr, Gasöl und Benzin zündeten dagegen immer noch ziemlich rasch und die erste Zündung trat bei beiden gleich schnell nach etwa 15 Sek. ein. Jedoch war Runder Lauf des Motors mit Benzin früher zu erhalten als mit Gasöl. Im Anlassverhalten ist daher Benzin dem Gasöl von gleicher Cetanzahl überlegen. Was das Braunkohlandieselöl anbetrifft, so ist wohl durch den Zündbeschleuniger die Cetanzahl, d.h. die Zündwilligkeit während des Betriebs in der warmen Maschine, wesentlich verbessert worden, auf das Startverhalten hatte er jedoch geringen Einfluss. In Sonderfällen kann also die Cetanzahl, gemessen nach dem Zündverzugsverfahren, ein zu günstiges Bild über das Startverhalten der gedopten Kraftstoffe angeben, wogegen sie die Benzine etwas zu ungünstig bewertet. Die am HWA-Motor nach dem Anlassverfahren gemessenen Cetanzahlen ergaben gerade das Gegenteil.

### 5) Einfluss von Zündbeschleunigern.

Wie sich aus den vorhergehenden Untersuchungen ergeben hat, verbessern Zündbeschleuniger das Startverhalten des Kraftstoffes weniger, als man aus der Cetanzahl schliessen dürfte. In der nachstehenden Tabelle 5 sind die Startzeiten für steigende Zusatzmengen eines Zündbeschleunigers zu Dieselöl S 300 mit Cetanzahl 20 aufgetragen. Diese Startversuche wurden gleichfalls im Deutz-Motor durchgeführt, wobei die Starttemperaturen +15°C und 0°C betrugen. Der ungedopte Kraftstoff S 300 konnte bei 15°C nicht mehr einwandfrei gezündet werden; auch ein Zusatz von 5% Zündbeschleuniger brachte noch nicht die erwartete Startfreudigkeit, da der Motor immer noch 1½ Min. bis zur ersten Zündung und 2 Minuten bis zum Rundlauf benötigte, trotzdem dieser Kraftstoff mit CaZ 50 bereits eine höhere Cetanzahl als Gasöl besitzt.

Tabelle 5

Kraftstoff	Kraftstoff S 300 von Olex					
Zündbeschleuniger	0	5	10	13		
Zusatz %	20	50	80	98		
Cetanzahl						
Startzeit in Sek.	1.Zdg.	Rundl.	1.Zdg.	Rundl.	1.Zdg.	Rundl.
bei 15°C	270	∞	97	120	1	2
bei 0°C	keine Zündung	keine Zündung	56	245	51	56

Erst ein höherer Zusatz ergab die gleiche Zündwilligkeit wie gutes Gasöl. Das gleiche zeigt auch die Versuchsreihe bei 0°C, wo durch grossen Zusatz an Zündbeschleuniger der Motor auch mit dem zündtrügerischen Kraftstoff noch gestartet werden kann. Es besteht also die Möglichkeit, einen Motor mit einem billigen zündtrügerischen Kraftstoff zu betreiben und während der Startperiode diesen mit einer grossen Menge Zündbeschleuniger zu versetzen, um guten Starten zu erreichen.

#### 6) Startzeit abhängig von Siedetemperatur bei gleicher Cetanzahl.

Es wurden ein Braunkohledieselöl D 369 und Benzin, beide von praktisch gleicher Cetanzahl 27 bis 28, aber verschiedenem Siedebereich, rein und in Mischung auf Startwilligkeit geprüft. Die wichtigsten Daten und die Ergebnisse sind aus nachstehender Tabelle 6 ersichtlich. Die Raumtemperatur betrug 10°C.

Tabelle 6

Kraftstoff	Braunk. Dieselöl	Braunk. Dieselöl Leuna-Grundbenz. 1:1	Leuna-Grund- benzin
spez. Gewicht	0,92		0,736
Siedeverlauf 5-95%	245-30		50-194
Stockpunkt °C	~11		~15
Viskosität cst/20°C	5,27		2
Cetanzahl	27		28
Zündverzugsverh.			
Cetanzahl			
Anlassverfahren	29,5		27
Startzeit in Sek.	1.Zdg.	Rundl.	1.Zdg.
keine Zündung	240	K.Z.	150
			~54

Mit Braunkohlenmittelöl konnte der Motor nicht gestartet werden. In Mischung mit dem Benzin im Verhältnis 1:1 traten wohl nach 4 Minuten vereinzelte Zündungen auf, Rundlaufen des Motors erfolgte jedoch noch nicht. Dagegen traten bei Benzin allein nach 2½ Minuten die ersten Zündungen ein und der Motor lief sofort gleichmäßig weiter. Das leichtsiedende Benzin ist also im Startverhalten günstiger als der höher siedende Diesekraftstoff. Von dieser Eigenschaft der leichtsiedenden Kraftstoffe macht man im praktischen Fahrbetrieb vielfach Gebrauch, indem man einen mit Benzin oder mit einer Mischung von Petroleum und Äther getränkten Lappen vor den Ansaugstutzen hält und hiermit die ersten Zündungen einleitet. Die gleiche Wirkung kann sich mittels einer Spritze erzielen, mit der z.B. einige ccm Benzin, das durch einen Zündverbesserer noch besonders zündwillig gemacht werden kann, in den Ansaugstutzen eingespritzt wird. Durch diesen Kraftstoff wird das gleichzeitig von der Brennstoffpumpe eingespritzte Dieselöl entzündet und der Motor gestartet. Der Deutz-Motor konnte auf diese Weise auch mit dem Braunkohlenmittelöl, das allein nicht zündet, rasch gestartet werden.

#### 7.) Startzeit abhängig von der Glühkerze.

Die Startfreudigkeit des Motors wird durch Verwendung einer Glühkerze wesentlich erhöht. In Tabelle 7 sind für eine Anzahl von Kraftstoffen die Ergebnisse der Startversuche im KWM-KD15-Motor mit Vorkammer und Glühkerze wiedergegeben.

Tabelle 7

Zündhilfe	Mit Glühkerze				Ohne Glühkerze			
	+10°C 1.Zdg. Rundl.	0°C 1.Zdg. Rundl.						
Standard Gasöl	2	13	-	-	keine Zündung	keine Zündung	-	-
Leuna-Benzin	6	14	2	14	203	292	keine Zündung	-
" " +3%	4	20	(5)	(44)	82	134	78	146
Amylnitrat	-	-	-	-	-	-	-	-
Braunkohlendieselöl	2	9	2	14	keine Zündung	keine Zündung	-	-
" " +3%	2	7	2	19	keine Zündung	keine Zündung	-	-
Amylnitrat	-	-	-	-	-	-	-	-

Bei der einen Versuchsreihe wurde die Glühkerze nicht eingeschaltet, bei der anderen 1 Minute vorgeglüht.

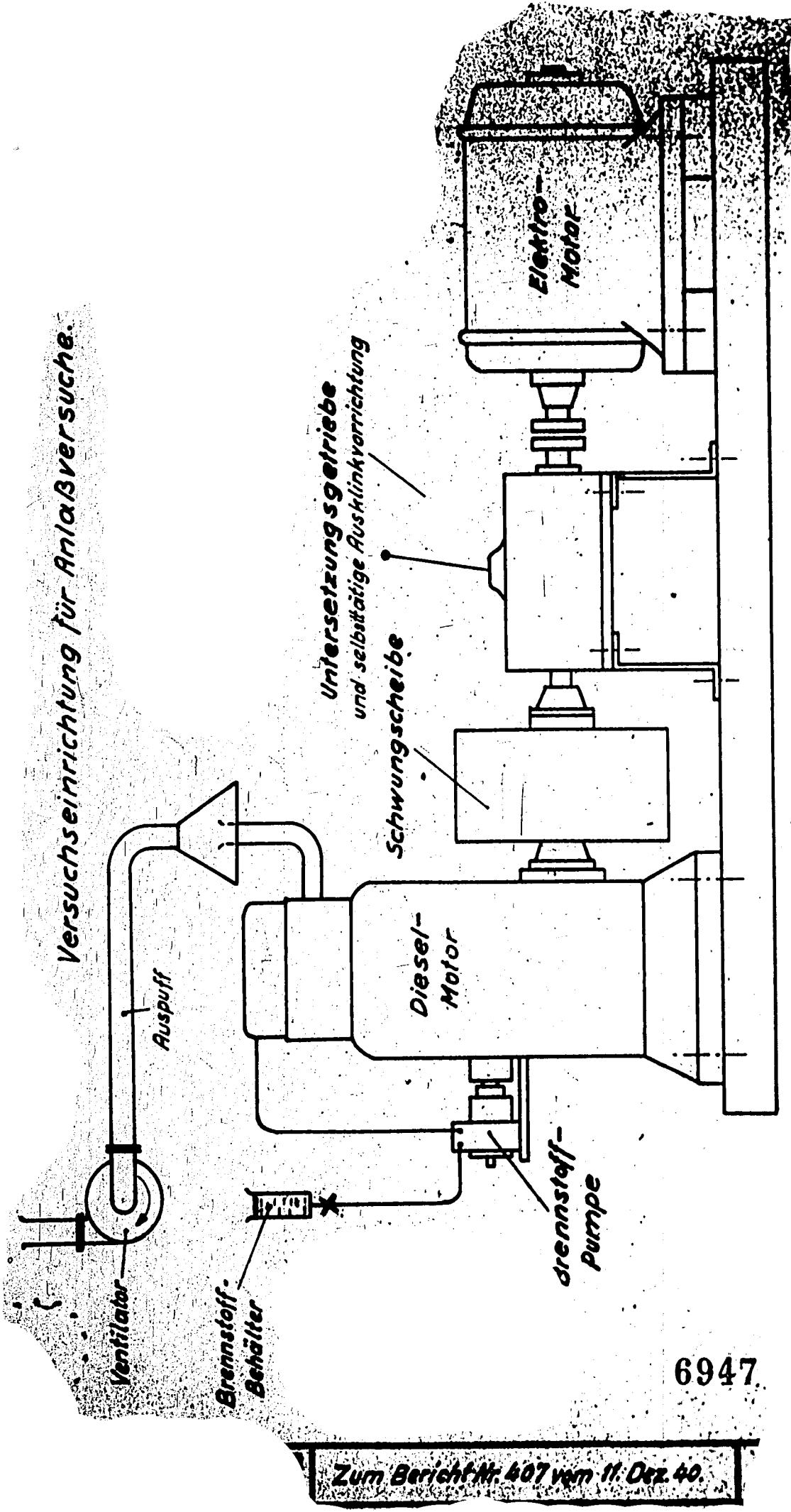
Mit Glühkerze wurde das Starten auch mit solchen Kraftstoffen ermöglicht, die ohne Starthilfe nicht zündeten. Benzin zündete ohne Glühkerze leichter als das Braunkohlen-Dieselöl von gleicher Cetanzahl. Eindrucksvoll ist jedoch, dass mit Glühkerze dies nicht beobachtet werden konnte. Braunkohlen-dieselöl zündete etwas leichter als Benzin. Jedoch sind die Unterschiede nur geringfügig.

Anlage: 3 TPrS-Blätter.

F. Hille

Verteiler:

Herrn Dir. Dr. Müller-Cunradi/Dr. Werner,  
Herrn Dr. Jannek, Op. 94,  
Herrn Ob. Ing. Schierenbeck,  
Herrn Dir. Dr. Pier/Dr. Hirschberger/Dr. Christmann,  
Herrn Ob. Ing. Raichle,  
Herrn Dir. Krieger/Herrn Dipl. Ing. Marquis,  
Herrn Dir. Dr. Strombeck/Dipl. Ing. Scholz, Leuna,  
Herrn Dr. Ester, Leuna,  
Herrn Dipl. Ing. Rueß, Leuna,  
Herrn Dipl. Ing. Köhler,  
Op. 471.



6947

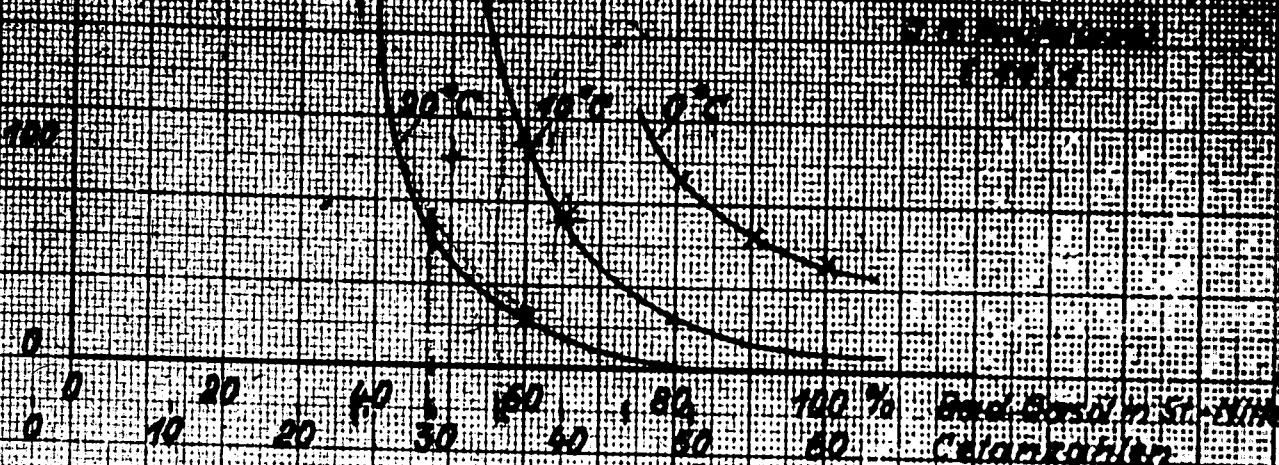


Abb. 2

Startzeit abhangig vom Starttemperatur

