



Das Verhalten des in Otto-Kraftstoffen gelösten

Wassers bei tiefen Temperaturen.

Übersicht: Beim Betrieb von Ottomotoren wird bei tiefen Temperaturen zuweilen eine Verringerung der geförderten Kraftstoffmenge beobachtet. Diese Erscheinung ist auf den Gehalt des Kraftstoffs an Wasser zurückzuführen, das sich an den kalten Rohrleitungen als Eis niederschlägt und die Querschnitte versengt. Durch Zusatz von etwa 1% Äthylalkohol zum Otto-Kraftstoff kann diesem Übelstand wirksam begegnet werden.

Zweck der Versuche: Es ist beobachtet worden, dass Kraftstoffleitungen infolge Kälteeinwirkung auch oberhalb des Kristallisationspunktes des Kraftstoffes verstopft werden können. Es kommt hierfür das in Spuren in Kraftstoffen gelöste Wasser durch Niederschlagen in Form von Eis an engen Leitungsquerschnitten als Ursache in Frage.

Es war nun von Interesse, den Verstopfungsvorgang an Hand von messbaren Daten (z.B. Durchflussgeschwindigkeit) etwas genauer zu verfolgen, das entsprechende Verhalten verschiedener Kraftstoffsorten miteinander zu vergleichen und schliesslich zu versuchen, diese Störung durch geeignete Zusätze zum Kraftstoff zu beseitigen.

Versuchseinrichtung: Zur Durchführung der Versuche war die Schaffung einer Apparatur notwendig, die unter Wahrung gut definierter und konstant zu haltender Versuchsbedingungen möglichst empfindlich auf den zu untersuchenden Vorgang der Verstopfung von Rohrleitungen bei grosser Kälte anspruch und für die einzelnen Durchflussversuche keine allzu lange Zeit in Anspruch nahm. Nach einer Reihe von Vorversuchen wurde die auf Blatt 1 schematisch dargestellte Versuchsanordnung gewählt.

Von einer hochgelegenen Form abgehender Kälte über ein mit Hilfe einer schweißartigen Kontakt gelagertes Feder nach Steigrohr 1, das zum Mitformen von Kapillaren dient und mit Marken für 1, 2, 3 mm versehen ist. Der Bulb des Steigrohrs kann durch Schließen eines Hahnes unterbrochen werden, sodass dann nur aus dem Steigrohr Hitzestoff nachläßt, dessen Durchlaufgeschwindigkeit mit Hilfe von Nichteisen gestoppt werden kann. Der Verbindungsschlauch vom Steigrohr zum Verbindungrohr B ist aus benzinfestem Schlauch G 3 mm Ø (Guttanva oder Isolit). Die Veränderung seiner Länge kann von verschiedenen Fallhöhen einstellbar sein, der nachfolgend beschriebenen Versuchen wurde eine Fallhöhe von 25 cm gewählt. Das aus Stahl gefestigte Kühlrohr ist durch Stoffschlauchverbindungen somit wärmeisolierend zwischen Rohr B und C eingeschoben und taucht bis in Ansatzstelle des Kapillarrohrs ein und kühlt ab. Das Kapillarrohrchen ist 180 cm lang und hat eine Innendurchmesser von 2 mm bei einer Wandstärke von 0,25 mm. Zur Messung der Anzeigenspannung dient ein Federpendeltherometer, das in das Rohr C eingeführt ist.

Versuchsabwicklungszeit: Nach Einfüllen des Hitzestoffes in die Kälteflasche wird eine Temperatur von 20°C hergestellt und der Durchlauf der Dampf in der Fallhöhe beginnt. Der Dampf wird im Verbindungrohr B in einem Mengemesser durchgeföhrt. Dieser wird die Zeit für den Durchlauf von 2 cm Benzol bestimmt. Gleichzeitig wird die Temperatur an Hitzestoff abgelesen. Diese Messungen wurden in einem Abstand von je 5 Minuten wiederholt und die Versuche auf dieser Höhe solange fortgesetzt, bis das Ventilstopfen der Kapillare abstram.

Die untersuchten Kraftstoffe sind mit ihren Kenngrößen in der stehenden Tabelle messerengestellt.

Tabelle 1. Kenngrößen der Kraftstoffe

28829

Kraftstoffart	Dichte bei 15°C	Dichte bei 20°C	Wärme bei 20°C	Wärme bei 15°C
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	cal/cm <sup>3</sup>	cal/cm <sup>3</sup>
34 (Laurin)	0,81	0,80	9,12	8,99
Kerosin	0,81	0,80	9,12	8,99
BT 110	0,81	0,80	9,12	8,99
CV24	0,81	0,80	9,12	8,99
Rau-Grundöl	Durchschnittsprüfung	0,81	9,12	8,99
Eichenzin	0,81	0,80	9,12	8,99
in Bräutigam	0,81	0,80	9,12	8,99

Von einer hochgelegenen Formschleife E. lässt der Kräfte über ein mit Hilfe einer Schraubenmutter gehaltenes Fixierstück nach dem Steigrohr A, das aus Kupferblech von 1 mm Dicke besteht und mit Marken für 1, 2, 3 mm versehen ist. Der Balken des Steigrohrs kann durch Schließen eines Hahnes unterbrochen werden, sodass dann nur aus dem Steigrohr Kräftestoff nachfließt, dessen Durchlaufgeschwindigkeit mit Hilfe von Eichwasser gestoppt werden kann. Der Verbindungsablauf des Steigrohrs zum Verbindungsrohr B ist aus benzinfestem Schellack (z. B.  $\varphi$  (Guttapercha oder Isolat)). Die Veränderung seiner Länge kann von verschiedenen Fallhöhen einsehbar bei der nachfolgend beschriebenen Versuchsreihe eine Fallhöhe von 10 cm gewählt. Das aus Stahl gefestigte Kühlrohr ist durch Schlauchverbindungen seitwärts wärmeisolierend zwischen Rohr A und B angebracht und durch die Ansatzstelle des Kapillarrohrs an die Kälteleiter an. Das Kapillarrohrchen ist 180 cm lang und hat einen inneren Durchmesser von 0,25 mm. Der Manometer des Anzeigegerätes ist ein Quecksilber-Manometer, das an das Rohr C angeschlossen ist.

Versuchsbedingungen: Die Versuche sind bei einer konstanten Temperatur von 20°C durchzuführen, wobei der Versuch auf den nachfolgenden Fallhöhen begonnen werden soll. Die Durchlaufzeit wurde durch eine Zeitmessung durchgeföhrt. Wenn möglich soll Zeit für den Durchlauf von 2 cm Benzol bestimmt. Gleichzeitig wurde die Temperatur an 5 Stellen abgelesen. Diese Messungen wurden in einem Abstand von je 5 Minuten wiederholt und die Versuche auf dieser Höhe solange fortgesetzt, bis ein Verstopfen der Kapillare eintrat.

Die untersuchten Stoffe sind aus einem Katalog der anstehenden Tabelle entnommen zu sein.

28829

Tabelle 1. Eigenschaften der Stoffe

Stoffname	Bruttogewicht	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Wärmeausdehnungskoeffizient
g	g	g/cm <sup>3</sup>	W/cm <sup>2</sup> ·K	1/K	1/K
Benzol	10,00	0,88	0,14	0,0012	0,0012
Äther	10,00	0,71	0,14	0,0012	0,0012
Äther	10,00	0,71	0,14	0,0012	0,0012
Äther	25,27	0,71	0,14	0,0012	0,0012
Äther	Durchschnitt	0,71	0,14	0,0012	0,0012
Äther	10,00	0,71	0,14	0,0012	0,0012
Äther	10,00	0,71	0,14	0,0012	0,0012

Versuchsergebnis: Die erste Messung wurde mit Kraftstoff IG 81 durchgeführt. Das Ergebnis ist in Bild 1 dargestellt. Man erkennt daraus, dass schon von Anfang an eine Verringerung der Durchlaufmenge eingesetzt. Dies ist in den ersten Minuten vielleicht zum Teil auf die Zunahme der Zähigkeit des Kraftstoffs infolge der fortschreitenden Abkühlung, zum grössten Teil aber auf die Verengung der Querschnitte durch Eisbildung zurückzuführen. Nach einer Versuchsdauer von 1 Stunde betrug die Durchlaufmenge nur noch rund 4% gegenüber dem Anfang. Die Kapillare ist also so gut wie verstopft.

Die Austrittstemperatur erreicht erst nach etwa 1/2 Stunde einen konstanten Wert von  $-58^{\circ}\text{C}$ . Dieser Beharrungszustand bleibt jedoch nur kurze Zeit bestehen, da infolge der starken Verringerung der Durchlaufgeschwindigkeit gegen Schluss des Versuches der aus der Kapillare austretende Kraftstoff genügend Zeit findet sich wieder zu erwärmen, bevor er das Thermometer erreicht. Dieser Vorgang ruft ein langsames Ansteigen der Austrittstemperatur hervor.

Es war nun von Interesse, bei welcher Temperatur die Verstopfung durch Auftauen wieder behoben werden konnte. Deshalb wurde das Kühlbad langsam erwärmt. Es tropfte dabei gleichmässig langsam weiter, bis bei  $0^{\circ}$  Badtemperatur schlagartig die ursprüngliche hohe Durchlaufgeschwindigkeit wieder einsetzte. Damit ist bewiesen, dass es sich bei der Verstopfung um Abscheidung von Eis handelt, das bei  $0^{\circ}$  schmilzt.

Ein ähnliches Verstopfungsverhalten zeigen die übrigen Kraftstoffe, wie aus Bild 2 hervorgeht. Der Charakter der von den einzelnen Kraftstoffen erhaltenen Kurven ist ziemlich stark verschieden. Wieweit die hier erhaltenen Unterschiede tatsächlich auf die Zusammensetzung des Kraftstoffs zurückzuführen sind und welche Rolle dabei die Streuung spielt, wurde nicht untersucht. Man darf jedoch vor vorneherein eine gute Wiederholbarkeit der Ergebnisse nicht erwarten; denn die Durchflussgeschwindigkeit ist einerseits proportional der Länge der Kapillare, andererseits aber umgekehrt proportional der 4. Potenz des Kapillarenradius. Wenn sich

man durch feste Ablagerungen aus drei Mal ein langer flacher, aus andere Mal ein kurzes dicker Kugel bildet, so wirkt sich das naturgemäß in völlig unbeeinträchtiger und stark von Zufall abhängiger Weise auf den Versteihungsverhalten aus.

Die Versuche mit dem Si-Methylen 10 9a wurden erreicht bei  $-60^{\circ}\text{C}$  Sättigungstemperatur vorgenommen, da der Kristallisationspunkt bei  $-60^{\circ}\text{C}$  liegt und ein etwaiger Einfluss von Kristallausscheidung ausgeschlossen werden sollte. Still von einer Reihenfolge der Kraftstoffe hinsichtlich ihres Versteihungsverhaltens aufstellen, so müsste man 10 9a, 10 9c, 10 9b als die am stärksten gefährdeten bezeichnen.

Interessant ist nun die Frage, ob die Versteihungsgefahr durch die geklebten Kraftstoffleitungen durch Zusätze verringert oder ganz beseitigt werden kann. Hierin wurden vorläufig die in Tabelle 2 zusammengefassten Versuche mit Zusatz von absolutem Äthylalkohol unternommen. Neben dem Zusatz von Äthylalkohol auch die Aufnahmevermögen von Wasser zumist wurde in den meisten Fällen nach dem Alkoholzusatz durch Schütteln mit dem wässrigen bis zur bleibenden Trübung zugefügtem Wasser den Kraftstoffen die größtmögliche Feuchtigkeit verliehen.

Bei Vergleich von Versuch 1 mit 2 sieht man, dass in diesem Falle schon der Zusatz von 0,1% absol. Alkohols genügt, um den Kraftstoff bei einer Abkühlung bis auf  $-60^{\circ}\text{C}$  vereisungsfest zu machen und bei einer Abkühlung bis auf  $-40^{\circ}\text{C}$  sein Vereisungsverhalten wesentlich zu verbessern. 1% Alkoholzusatz macht den Kraftstoff offenbar völlig vereisungssicher bis zu einer Abkühlung auf etwa  $-50^{\circ}\text{C}$  in einem Kältebad von  $-70^{\circ}\text{C}$  (siehe Versuche 5, 16, 11, 6), selbst wenn der Kraftstoff Gelegenheit hat, sich nach dem Alkoholzusatz bei Zimmertemperatur wieder mit Wasser zu sättigen. Dagegen reicht ein Zusatz von 0,5% Alkohol noch nicht sicher aus (siehe Versuche 10, 15).

Tabelle 2: Verbesserung der Vereisungsbeständigkeit von Kraftstoffen durch Zusatz von absoluten Alkohol.

Kraftstoff	Versuch Nr.	Alkohol-Zusatz Vol.-%	Rad °C	Temperatur		Versuchszeit min	Durchfrierung bei Versuchsende Kraftstoff un- oder wasser-geschüttelt
				Bad °C	Austritt °C		
10	1	0	-50	-22 bis -27 <sup>+</sup>	30	10	
	2	0,1	-50	-20 <sup>+</sup>	30	100	
	4	0,2	-50	-30 bis -35	30	8	
	5	1,0	-50	-27 <sup>+</sup>	30	100	
	12	0	-60	-40 bis -47	25	0	
9c	13	0	-60	-37 bis -45	30	0	
	14	0	-60	-40 bis -50	5	0	
9c	15	0,5	-60	-35	30	100	
	16	1,0	-60	-39	40	100	
81	7	0	-70	-45 bis -56	30	16 <sup>++</sup>	
	8	0	-70	-42 bis -57	35	11	
81	3	0,1	-70	-40 <sup>+</sup>	40	60	
	9	0,2	-70	-42 bis -53	30	13	
81	10	0,5	-70	-46 bis -59	30	33 <sup>+++</sup>	
	11	1,0	-70	-44	40	100 <sup>++++</sup>	
9	6	1,0	-70	-50 bis -52	40	100	

+ Sinterstiefe des Kühlröhrchens etwas geringer, daher etwas höhere Austrittstemperatur

++ 0,009% H<sub>2</sub>O vor Durchlaufen  
0,005% H<sub>2</sub>O nach Durchlaufen

+++ 0,010% H<sub>2</sub>O vor Durchlaufen  
0,005% H<sub>2</sub>O nach Durchlaufen

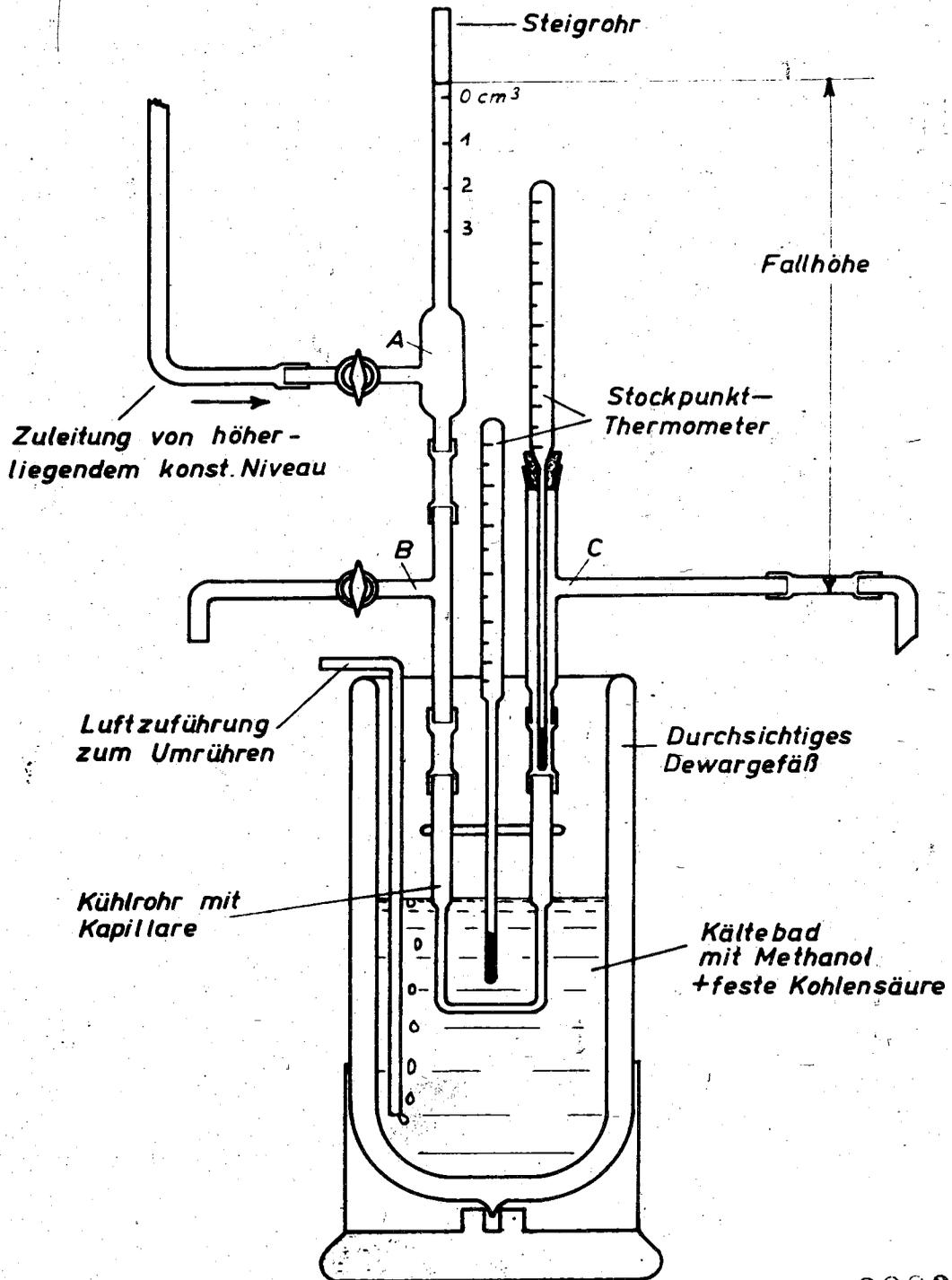
++++ 0,015% H<sub>2</sub>O vor Durchlaufen  
0,014% H<sub>2</sub>O nach Durchlaufen

Damit ist gezeigt, dass die Vereisungsgefahr von Kraftstoffen durch Zusatz von absolutem Alkohol von Seiten des Kraftstoffes völlig beseitigt werden kann, da die hier gewählten Versuchsbedingungen besonders scharf sind und da in der Praxis niemals Bedingungen vorliegen werden, die das Auftreten von Verstopfungen in gleicher Weise begünstigen, wie z.B. die Abkühlung des Kraftstoffes von  $+25^{\circ}$  bis  $-50^{\circ}$  an der engsten Stelle der Leitung. Mischungen von Benzin mit geringen Alkoholmengen können auch durch geringe Wassermengen zum Zerfall gebracht werden, andererseits ist aber die Lösungsgeschwindigkeit für Wasser bei diesen Gemischen gering, sodass, wie auch die Versuche zeigen, nach Schütteln mit Wasser die Schutzwirkung des Alkohols bestehen bleibt.

Die Wirkung des Alkoholzusatzes muss man sich so vorstellen, dass das beim Abkühlen und Unterschreiten des Trübungspunktes sich in Spuren ausscheidende Wasser-Alkohol-Gemisch noch flüssig und emulgiert bleibt. In Übereinstimmung damit wurde gefunden, dass die mittels Alkohol vereisungsfest gemachten Kraftstoffe einen trüben Ablauf zeigten, während der Ablauf der Vereisung zeigenden Kraftstoffe klar war.

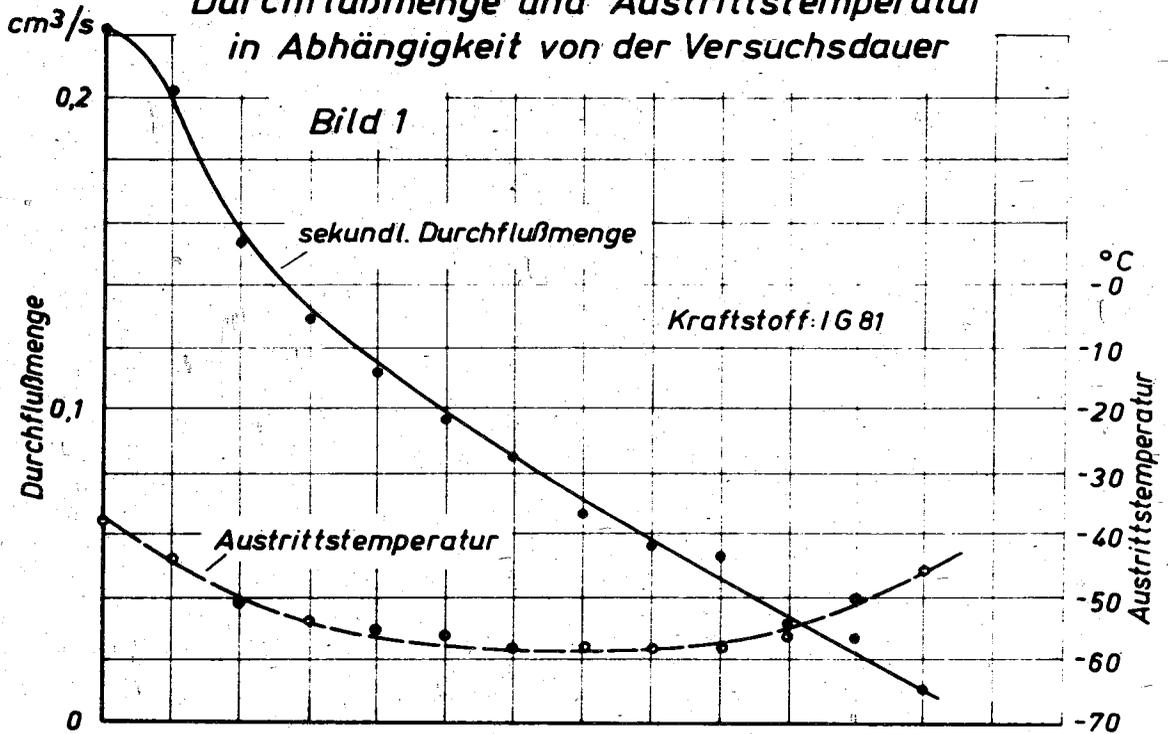
gez. Dr. Seidel

# Gerät zum Ausfrieren des in Kraftstoff gelösten Wassers

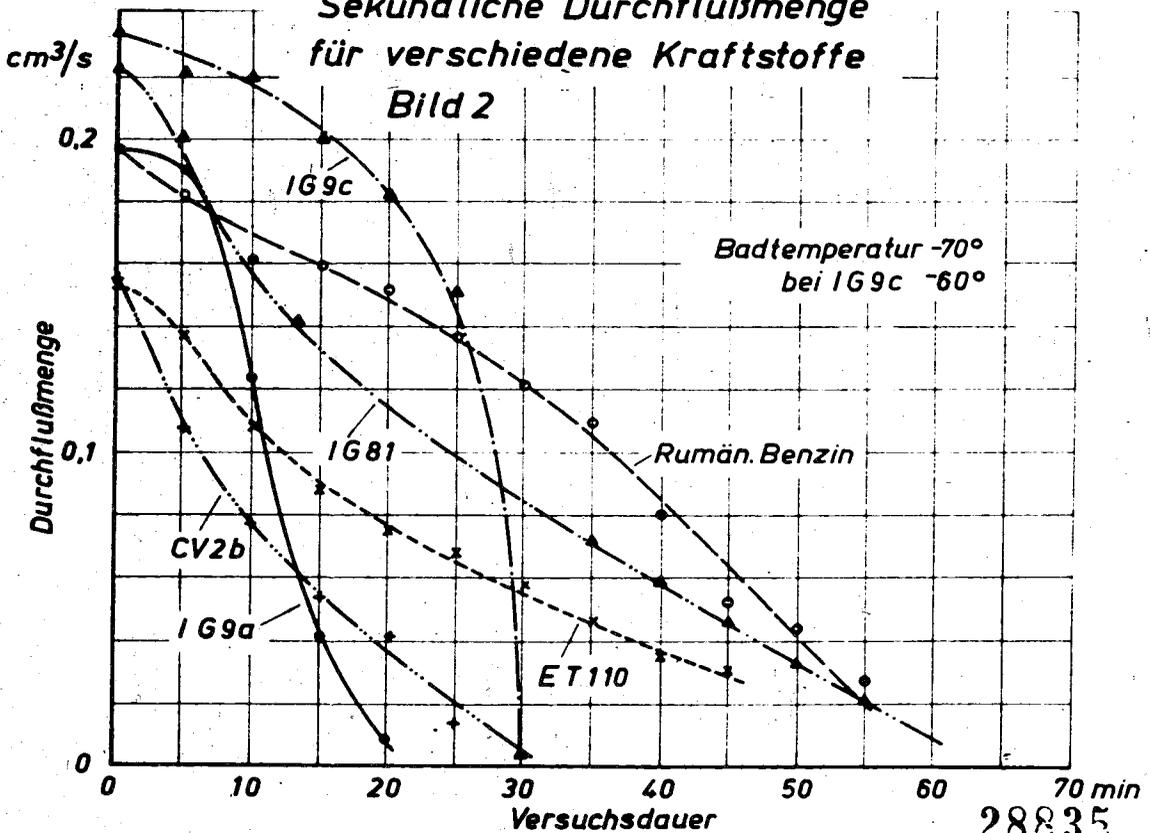


28834

Durchflußmenge und Austrittstemperatur  
in Abhängigkeit von der Versuchsdauer



Sekundliche Durchflußmenge  
für verschiedene Kraftstoffe



28835