

Sekretariat I/n.	
Gang:	3.1.118
Uf. Nr.:	665
Bearb.:	14

5

Wirtschaftsgruppe Kraftstoffindustrie
 Berlin III 7, Borschestr. 15
 Telefon: 11 75 11 Telefax: Gruppe

Berlin, 1. August 1940

004103

Herrn ...

Herrn ...

Kosten ...

Exp.-Nr. 9421

Befehl des Reichswehrministeriums vom 1. August 1940

Handwritten notes:
 Dr. ...
 ...
 ...
 ...
 ...

Qualitätsausschuss.

5/8. 1.10.

In der Anlage übersenden wir Ihnen einen technischen Forschungsbericht der "Deutschen Kraftstoffforschung im Auftrage des Reichs-Verkehrsministeriums" zur gefl. Kenntnisnahme.

Heil Hitler!
 Wirtschaftsgruppe Kraftstoffindustrie
 Der Geschäftsführer:

Handwritten signature

Herrn
 Dr. A. Magemann
 Städtische Aktienges.
 Oberhausen-Soltau.

Deutsche Kraftfahrtforschung

im Auftrage des

Reichs-Verkehrsministeriums

TECHNISCHER FORSCHUNGSBERICHT

Zwischenbericht Nr. 78

Prüfung der Einwirkung der Treibstoff-Zusatzmittel und ihrer
Verbrennungsprodukte auf die im Motorenbau
verwendeten Metalle

Berichterstatter: Dr. Gerhard Schikorr
Kurt Alex

Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt
Berlin-Dahlem

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb des Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für Ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen. Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen. Der Bericht ist unter Verschluss zu halten.

Deutsche Kraftfahrtforschung

im Auftrage des

Reichs-Verkehrsministeriums

TECHNISCHER FORSCHUNGSBERICHT

Zwischenbericht Nr. 78

Prüfung der Einwirkung der Treibstoff-Zusatzmittel und ihrer
Verbrennungsprodukte auf die im Motorenbau
verwendeten Metalle

Berichtersteller: Dr. Gerhard Schikorr
Kurt Alex

Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt
Berlin-Dahlem

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb des Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen. Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen. Der Bericht ist unter Verschluss zu halten.

A. Einleitung

004144

Im Handel befinden sich eine Zahl von Mitteln, die dem Treibstoff zugesetzt werden sollen, um seine Eigenschaften bei der Verbrennung zu verbessern (z. B. Antiklopfmittel, Mittel zur angeblich besseren Ausnutzung des Energiegehaltes des Treibstoffes u. a.).

Bisher wurde nur die Angriffsfähigkeit des im Treibstoff gelösten Mittels geprüft. Diese Prüfung ist aber nicht ausreichend, und zwar deshalb nicht, weil im praktischen Betrieb die Mittel mitverbrannt werden und die entstehenden Verbrennungsstoffe angreifende Eigenschaften auch dann haben können, wenn das Mittel selbst nicht angreift. So kann das Mittel z. B. organische Stickstoffverbindungen enthalten, die - im Treibstoff gelöst - unschädlich sind, die jedoch bei der Verbrennung zusammen mit dem ebenfalls bei der Verbrennung entstehenden Wasser Salpetersäure bilden und dann Metalle stark angreifen.

Die Aufgabe der Untersuchung ist es, erstens ein geeignetes Prüfverfahren für die Wirkung der Verbrennungsprodukte der Zusatzmittel auf Metalle auszuarbeiten und zweitens eine Reihe von Mitteln auf ihre Angriffsfähigkeit gegen Metalle in dieser Weise zu prüfen.

Der vorliegende Bericht schildert die Entwicklung des Prüfverfahrens. Die Poststellung der Wirkung einzelner Zusatzmittel soll in weiteren Versuchen erfolgen.

B. Grundsätzliches zur Korrosion durch Verbrennungsgase

I. Korrosion bei hoher Temperatur

Der unmittelbare Angriff der Verbrennungsgase auf Metalle gehört in das Gebiet der Verzunderungserscheinungen und dürfte weitgehend denselben Gesetzen gehorchen. In zwei Beziehungen bestehen jedoch Unterschiede, und zwar:

1. Rußabscheidungen auf den Metallen können eine Hemmung der Korrosion zur Folge haben.
2. Während bei der Verzunderung im allgemeinen Sauerstoff im Überschuß vorhanden ist, enthalten die Treibstoff-Verbrennungsgase nur wenig oder keinen Sauerstoff.

Hierzu ist das Folgende zu sagen:

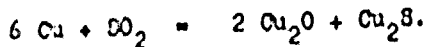
- a) Je höher der Gehalt der Verbrennungsgase an Sauerstoff ist, desto geringer ist die Neigung der Gase zur Rußbildung und damit zur Schutzschichtbildung. Bei Sauerstoff-Überschuß in den Gasen ist also ein starker Angriff zu erwarten. (Ob die Konzentration des Sauerstoffs die Korrosion unmittelbar maßgebend beeinflusst, ist ungewiß.)

b) Der Angriff durch den in den Gasen enthaltenen Sauerstoff wird wahrscheinlich durch den Gehalt der Gase an Schwefeldioxyd stark beschleunigt.

c) Bei Fehlen von Sauerstoff ist keineswegs anzunehmen, daß die Verbrennungsgase unschädlich für Metalle sind. Das in ihnen enthaltene Schwefeldioxyd selbst kann vielmehr z. B. mit Kupfer bei hoher Temperatur nach folgender Gleichung reagieren:



oder vielleicht sogar nach



Wenn auch der Gehalt der Verbrennungsgase an Schwefeldioxyd sicher nur sehr gering ist, so kann er wegen der großen Mengen der im Laufe der Zeit entstehenden Gase grundsätzlich doch sehr beträchtlich werden. (Bei einem Gehalt des Treibstoffes von 0,01 % Schwefel könnte bei vollständiger Umsetzung nach der zweiten Gleichung von jedem Liter verbrannten Treibstoff etwa 1 g Kupfer zerstört werden.)

II. Korrosion bei niedriger Temperatur

Während die soeben genannten Verhältnisse in Motorzylindern und den anschließenden Teilen der Auspuff-Leitungen vorliegen, kommen an Ende der Auspuff-Leitungen gänzlich andere Bedingungen wirksam sein, und zwar in besonderen dann, wenn die Gase so gekühlt werden, daß Kondensation oder nahezu Kondensation des in den Gasen vorhandenen gasförmigen Wassers, das sich bei der Verbrennung gebildet hat, eintreten kann. Die hierbei auftretende Korrosion ist ein Sonderfall der atmosphärischen Korrosion. Im allgemeinen wird sich das Verbrennungswasser in den Auspuffleitungen nicht kondensieren, denn wenn der Wagen läuft, werden die Leitungen weit über 100° heiß. Wenn aber die Wagen nur kurze Strecken fahren, ist Wasserkondensation möglich. Stehen solche Wagen dann mehrere Tage in der Garage, so ist ein Rost-Angriff möglich.

Eine weitere Möglichkeit zur Kondensation von Verbrennungswasser in der Auspuffleitung ist bei Einbau von Heistöpfen gegeben. Diese haben bekanntlich den Zweck, die Wärme der Auspuffgase zur Heizung des Wagen-Innern auszunutzen. Wenn man hierbei die Wärmenutzung zu weit treibt, kann sich bereits im Heistopf das Verbrennungswasser kondensieren und sehr starke Korrosionserscheinungen zur Folge haben. Bild 1 zeigt bei A ein Rohr in einem Heistopf, das völlig zerfressen ist. In dem betreffenden Fall führten die aus dem Heistopf durch das Rohr in das Wagen-Innere strömenden Verbrennungsgase den Tod eines Menschen herbei.

III. Grundsätzliches zur Prüfung der Korrosion durch Treibstoff-Verbrennungsgase

Naturngemäß ist die Angriffsfähigkeit der Treibstoff-Verbrennungsgase und der Treibstoffe selbst nicht miteinander gleich zu setzen. Es kann zwar durchaus vorkommen, daß ein an sich stark

angreifender Treibstoff auch stark angreifende Verbrennungsgase bildet, was z. B. für Treibstoff gilt, der sogenannten aktiven Schwefel enthält. Andererseits kann aber ein Treibstoff an sich metallunschädlich sein, aber doch Verbrennungsgase bilden, die stärker angreifen als die Verbrennungsgase anderer, an sich ebenfalls unschädlicher Treibstoffe. Das dürfte z. B. für Treibstoffe mit einem Gehalt an inaktivem Schwefel zutreffen, der beim Verbrennen genau so in Schwefeldioxyd übergehen kann wie aktiver Schwefel. Ähnliches gilt für Treibstoffe, denen organische Mittel zugesetzt wurden (vgl. S. 1, Einleitung).

Es ist daher erforderlich, daß die Angriffsfähigkeit der Treibstoff-Verbrennungsgase unmittelbar geprüft wird. Derartige Prüfungen haben nun den Mangel z. T. sehr schlechter Reproduzierbarkeit, was auf den nur schwer übersichtlichen Veränderungen der Betriebsbedingungen beruht. Man findet mitunter bei Versuchen, die - wie man glaubt - völlig gleichartig ausgeführt wurden, Werte, von denen der eine das Zehnfache des anderen beträgt. Diese Unsicherheit macht es zunächst unmöglich, zu entscheiden,

1. welcher von zwei Treibstoffen stärker angreifende Verbrennungsgase bildet,
2. ob in Laufe der Korrosion sich die Korrosionsgeschwindigkeit infolge der Bildung von Schutzschichten aus Korrosionsprodukten verringert.

Die erste Schwierigkeit kann nur durch größere Genauigkeit beim Einhalten der Versuchsbedingungen überwunden werden (bei der in nächsten Abschnitt beschriebenen Versuchsordnung ist wenigstens die Größenordnung der gefundenen Werte gewährleistet). Gegen die zweite Schwierigkeit gibt es ein sehr einfaches Mittel, das im Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem besonders bei der Untersuchung des atmosphärischen Rostens des Eisens, bei dem ja auch unbeeinflussbare Schwankungen der Bedingungen vorliegen, angewendet wurde. Es beruht darin, daß man für die späteren Versuchszeiten stets frische unkorrodierte Proben mit ansetzt. Aus dem Vergleich der Korrosion dieser unkorrodierten Proben mit der Korrosion bereits vorher korrodierten Proben kann man eindeutig erkennen, ob die Korrosionsprodukte vor weiterer Korrosion schützen oder nicht.

G. Versuchsordnung und -ausführung

I. Hauptbestandteile der Versuchsordnung

Für die Versuche wird ein gebrauchter, unten gesteuerter Sechszylinder Opel-Motor von 1,8 l Hubvolumen verwendet. Die Versuchsanlage ist in Bild 2 schematisch wiedergegeben. In ihr ist an das Sammelrohr für die Abführung der in den 6 Zylindern entstehenden Verbrennungsgase ein mehrere Meter langes Rohr von

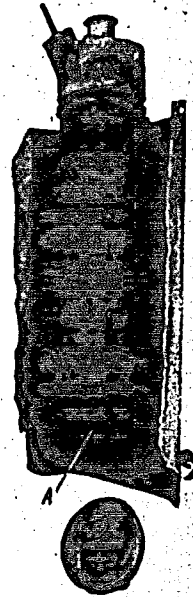


Bild 1. Von Treibstoff-Verbrennungsgasen stark angegriffener Heistopf

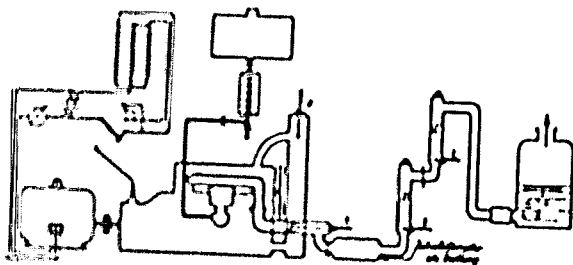


Bild 2. Versuchsanlage

dem sich der Motor befindet, ins Freie. Bei A liegt das Rohr also innerhalb des Raumes, bei B und C an der freien Atmosphäre. Die Angriffsbedingungen entsprechen

- bei A etwa den Verhältnissen in Motor selbst und in den nahe-
liegenden Teilen der Abführungsrohre,
- bei B etwa den normalen Verhältnissen am Auspuff,
- bei C etwa den Verhältnissen am Auspuff, wenn die Gase vorher
durch einen Heistopf geleitet werden.

Die Temperatur bei A, B und C wird durch das Thermoelement a und die Thermometer b und c überwacht.

II. Nebenbestandteile der Versuchsanordnung

Der Tank besteht aus dem eigentlichen Tank und einem Meßtank, an dem die verbrauchte Treibstoffmenge abgelesen werden kann.

Der Kühler ist ein Lamellenkühler. Das Kühlwasser wird mit einer Pumpe umgewälzt. Da infolge des fehlenden Fahrwindes die Kühlung nicht ausreicht, wird dauernd frisches Wasser durch den Kühler fließen gelassen, wodurch die Temperatur im Kühler, die an dem Thermometer d abgelesen wird, ständig bei 75 ... 80° gehalten werden kann.

Als Erzeuger ist ein 220 V-Gleichstrom-Generator ange-
schlossen. Der in ihm entstehende Strom wird in regelbaren Widerständen in Wärme verwandelt.

Als Ölfang ist zwischen die Versuchsorte A und B ein Schallämpfer eingebaut.

Vor Austritt in die Atmosphäre werden die Gase 3 Stunden lang durch eine Waschflasche geleitet, in der sich etwa 3 Liter Wasser befinden. Die Analyse dieser Lösung nach Durchleiten der Gase bietet eine leichte Kontrollmöglichkeit des Schwefelgehaltes des Treibstoffes. In der übrigen Zeit ist die Waschflasche nicht angeschlossen.

III. Art und Anordnung der Versuchsproben

Zunächst werden Zylinderkopf-Guß Eisen und Nutenkupfer^{*)} für

^{*)} Kupfer wurde aus prüftechnischen Gründen gewählt, da es von Treibstoff-Verbrennungsgasen besonders leicht angegriffen werden kann.

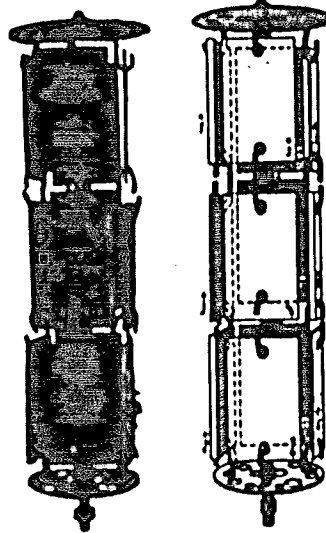
52 mm lichter Weite
angeschlossen, in dem
bei A, B und C
(vgl. Bild 2) die Ver-
suchsproben in einer
unten näher beschriebe-
nen Weise angebracht
sind. Der Abstand zwi-
schen A, B und C
beträgt jeweils etwa
2 m. Zwischen A und
B führt das Rohr aus
dem Versuchsraum, in

die Versuche geprüft. Der Gehalt an Fremdbestandteilen war bei Gußeisen 1,0 % C (2,6 % Graphit); 2,2 % Si; 0,9 % Mn; 0,2 % P; 0,1 % S; 0,2 % Cu, bei Kupfer 0,14 % Gesamtverunreinigungen.

Die Probengröße ist bei Gußeisen $45 \times 30 \times 4 \text{ mm}^3$, bei Kupfer $45 \times 30 \times 1 \text{ mm}^3$. Zur Befestigung enthalten die Proben an ihren beiden Enden Bohrungen von 4 mm ϕ . Die Proben sind durch einschlagene Nummern gekennzeichnet.

Die Proben werden kettenförmig in einem Gestell angebracht, das im wesentlichen aus zwei kreisförmigen Siebplatten von 45 mm ϕ besteht, die von einem in ihren Mittelpunkt senkrecht befestigten Stab in einem Abstand von etwa 17 cm gehalten werden. Das Gestell und die Haken, mit denen die Proben in ihm und aneinander befestigt sind, bestehen aus Flußstahl. (Elementbildung ist wegen Abwesenheit eines Elektrolyten nicht zu befürchten.) Ein derartiges Gestell mit den darin befindlichen Proben (nach der Einwirkung der Verbrennungsgase) ist in Bild 3 als Lichtbild wiedergegeben.

Die Proben werden stets für drei Versuchsseiten angesetzt, und zwar für jede Versuchseite zwei Proben. Da möglicherweise die Angriffsbedingungen an den beiden Enden des Gestells nicht gleichmäßig sind, müssen die beiden für eine Versuchseite bestimmten Proben stets an verschiedenen Enden des Gestells befestigt werden, da sonst die Möglichkeit besteht, daß z. B. aus den gefundenen Werten Schutzschichtbildung gefolgert wird, während in Wirklichkeit an der betreffenden Stelle nur schwächere Angriffsbedingungen herrschen. Die Anordnung der einzelnen Probennummern ist in Bild 4 wiedergegeben. Parallelproben für eine Versuchseite sind 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6.



III. Versuchsausführung

Nach vielen Versuchsreihen, die nicht brauchbare Werte ergaben, wurden die Versuche folgendermaßen ausgeführt:

Je 18 Gußeisen- und Kupferproben wurden entfettet, gewogen und in drei Gestelle eingefügt. Diese wurden bei A, B und C in das Versuchsrohr geschoben und darin befestigt. Der Motor war vorher schon in Betrieb gesetzt und bei Angabe eines Stromes von 10 Amp. Stärke so lange gelaufen, daß die Thermometer a, b und c nicht mehr eindeutig stiegen. Die jetzt herrschenden Temperaturen betragen

bei A	360...425°
bei B	160...190°
bei C	50... 90°

Die Temperaturen wurden alle Stunden abgelesen, ebenso die Temperaturen des Versucherraumes und der Außenatmosphäre, ferner die relative Luftfeuchtigkeit an beiden Orten.

Bild 3. Gestell mit Versuchsproben nach Einwirkung der Gase

Bild 4. Probenanordnung
 = Gußeisen
 + = Kupfer

Bei den ersten in dieser Art ausgeführten Versuchsreihen wurden Versuchsdauern von 1, 3 und 5 Stunden gewählt. Die Ergebnisse waren jedoch so schlecht reproduzierbar, daß auf die nähere Beschreibung dieser Versuchsreihen verzichtet wird.

Bei der später gewählten Ausführung, deren Ergebnisse im nächsten Abschnitt beschrieben sind, betragen die Versuchsdauern bis zu 5 Tagen. An jeden Tage wurden die Proben 5 Stunden lang dem Verbrennungsraum in dem Versuchsrohr ausgesetzt. Nach Abstellen des Motors wurden die Proben über Nacht in dem Versuchsrohr belassen.

Die Verteilung der Proben auf die 12 Plätze eines Versuchsgestells (vgl. Bild 3) für die einzelnen Versuchsdauern ist in Bild 5 schematisch dargestellt.

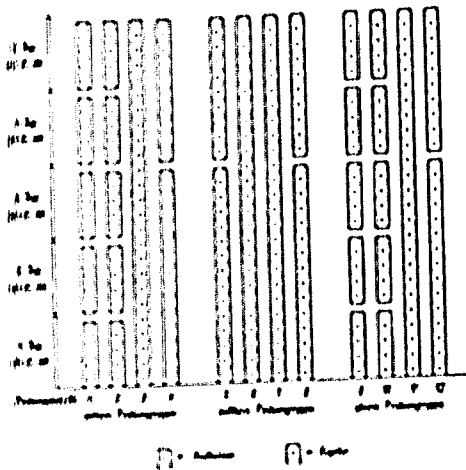


Bild 5 Verteilung der Proben in einem Gestell

In ihm bedeutet jedes mit Punkten versehene Feld eine Gußeisen-Probe, jedes mit Kreuzen versehene Feld eine Kupfer-Probe. Die Länge des Feldes kennzeichnet die Versuchsdauer, seine Lage in Bild 5 die zeitliche Lage. Alles Weitere geht aus Bild 5 unmittelbar hervor.

Nach Beendigung der betreffenden Einzelversuche wurden die Proben zurückgewogen, nachdem sie mit Hilfe von Alkohol und Aceton von Wasser und Ruß und entsprechend DIN 4850 von anhaftenden Korrosionsprodukten befreit waren.

Über den verwendeten Treibstoff wird bei den Versuchsergebnissen das Notwendige gesagt.

D. Versuchsergebnisse

I. Ergebnisse der Versuche mit Gußeisen

Diese Versuche wurden mit einem aus einer öffentlichen Tankstelle bezogenen Einheitsreibstoff ausgeführt, der rosa gefärbt war und nach Kresol roch, also offenbar Bleitetraäthyl und Braunkohlenschwefelbenzin enthält. Der Treibstoffverbrauch bei den täglichen 5 Betriebsstunden war etwa 13 Liter.

Insbesondere wurde folgendes beobachtet:

An der Versuchsstelle A (360...425°) liefen die Proben stahlblau an und besaßen sich mit nur wenig Ruß.

An der Versuchsstelle B (160...190°) setzten sich Öl und Ruß auf den Proben ab, die dadurch schwarz gefärbt wurden.

An der Versuchsstelle C (50...90°) wurden die Proben von Wasser, Öl und Ruß naß und schmierig. Mitunter war brauner Rost zu erkennen.

Ein Unterschied in Aussehen der Proben nach den verschiedenen Versuchszeiten wurde nicht beobachtet.

Die gefundenen Gewichtsverluste sind in Bild 6 zeichnerisch dargestellt.

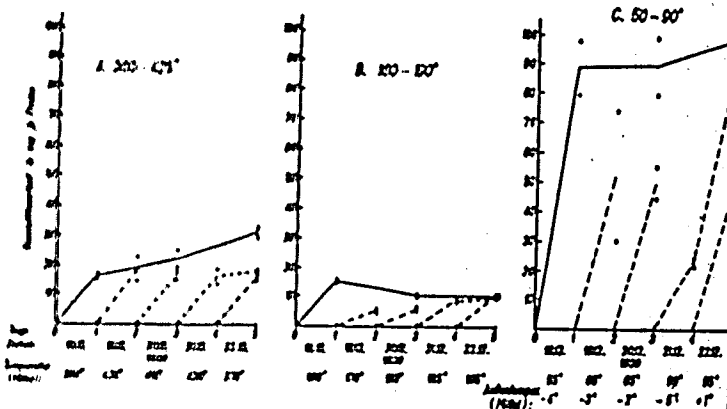


Bild 6 Angriff von Feinstaub-Verbrennungsprodukten auf Gubeisen
(Schwefel-Gehalt des Feinstaubes: > 0,00X)

Nach diesen Werten läßt sich das Folgende sagen:

1. Zu den Versuchen bei 360...425° (Versuchsstelle A):
 - a) Die gefundenen Werte sind gut reproduzierbar.
 - b) Die Korrosionsgeschwindigkeit bei 5 Tage lang korrodierten Proben ist am 1. Tage etwa 4 mal so hoch wie in den 4 folgenden Tagen. Die am 1. Tage entstehenden Korrosionsprodukte üben also eine deutliche Schutzschicht aus.
 - c) Eine Abnahme der Korrosionsgeschwindigkeit am 2...5. Tag ist nicht zu erkennen. Die Korrosionsgeschwindigkeit bleibt vielmehr ziemlich konstant etwa 1,2 g/m² je Tag Gewichtsabnahme (entsprechend 0,06 mm je Jahr Dickenabnahme^{+)).}
2. Zu den Versuchen bei 160...190° (Versuchsstelle B):
 - a) Die Reproduzierbarkeit⁺⁺⁾ der Korrosionswerte der täglich neu angesetzten Proben ist beträchtlich schlechter als bei 360...425°.

+) Die Dickenabnahme ist in allen Fällen in mm je Jahr auf jeder Probenseite angegeben.

++) Unter "Reproduzierbarkeit" ist hier weniger die Übereinstimmung der Einzelwerte an einem Tage als die Wiederholbarkeit der Werte zu anderer Zeit verstanden.

- b) Trotz der schlechten Reproduzierbarkeit der Tageswerte läßt sich eindeutig aus den gefundenen Werten schließen, daß die Korrosion in höchstens 3 Tagen so langsam wird, daß ihre Zunahme mit den angewandten Verfahren nicht mehr festgestellt werden kann. Diese starke Abnahme der Korrosionsgeschwindigkeit beruht vermutlich auf der Absorption von Öl und Ruß auf den Proben, die bei 360...425° nicht erfolgt.
3. Zu den Versuchen bei 50...90° (Versuchsstelle 0):

- a) Die Reproduzierbarkeit der Werte an den einzelnen Tagen ist bei dieser Versuchsreihe noch schlechter als bei der vorigen, was vermutlich darauf beruht, daß zu den bei den vorigen Reihen wirkenden Versuchsschwankungen noch das Folgende kommt: Bei 360...425° und bei 160...190° wird die Korrosion wahrscheinlich vorwiegend durch die Verbrennungsgase selbst hervorgerufen. Bei 50...90° aber tritt zu dieser Korrosion noch das atmosphärische Rosten während der Betriebspausen hinzu, das gerade während der Versuchstage sehr stark von der Außentemperatur abhängt. Genau lassen sich die Zusammenhänge aus den bisherigen Versuchen nicht erkennen. Immerhin fällt auf, daß bei der tiefsten Außentemperatur (-5°) auch die bisher geringste Korrosion gefunden wurde.
- b) Bei 50...90° können Korrosionen auftreten, die das mehrfache von denen bei 360...425° und 160...190° betragen, was wahrscheinlich darauf beruht, daß bei 50...90° flüssiges Wasser bei der Korrosion mitwirkt.
- c) Die Bildung von Schutzschichten aus Korrosionsprodukten, Öl und Ruß ist noch unklar. Während bei den 5 Tage lang korrodierten Proben die Korrosionsgeschwindigkeit stark abnimmt, nimmt sie bei den 2 Tage lang (am 21.12. und 22.12.1939) korrodierten Proben am 22.12.1939 zu (89 - 23 = 66 mg gegen 50 mg bei nur am 22.12.1939 korrodierten Proben). Es ist anzunehmen, daß weitere Versuche hier Klärung bringen.
- d) Die absolute Größe des Angriffs ist sehr beträchtlich. Sie erreicht bis zu 27 g/m² je Tag, entsprechend 1,4 mm je Jahr.

II. Ergebnisse der Versuche mit Kupfer

Zugleich mit den im vorigen Abschnitt beschriebenen Versuchen mit Obseisen wurden in denselben Versuchsgestellen Versuche mit Kupfer ausgeführt (vgl. Bild 5). Die beiden Metalle waren also genau denselben Bedingungen ausgesetzt.

Inerlich zeigten die Kupfer-Proben das folgende Verhalten:

An der Versuchsstelle A entstand auf den meisten Proben eine braune Schicht von Korrosionsprodukten, die in manchen Fällen bläulich erschien. Ruß war auf den Proben nur wenig vorhanden. Bei den Temperaturen über 400° haftete die Schicht gut an; unter 400° hingegen blätterte sie ab (vgl. Bild 3). Auch bei den beiden Proben von 5 Tagen Versuchsdauer, auf denen sich am 2., 3. und 4. Tage eine gut anhaftende Schicht gebildet hatte, trat am 5. Tage (370°) wieder Abblätterung ein.

An der Versuchsstelle B wurden die Proben rußig und schmie-
rig. Korrosionserscheinungen waren nicht sichtbar.

An der Versuchsstelle Q sahen die Proben ähnlich aus wie bei
B, nur daß sich bei Q noch Wasser auf den Proben absetzte.

Die gefundenen Gewichtsverluste sind in Bild 7 zeichnerisch
wiedergegeben.

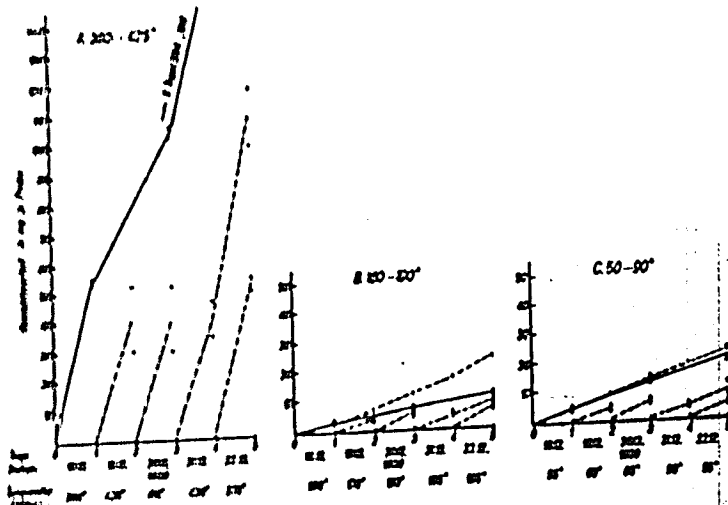


Bild 7. Angriff von Treibstoff-Verbrennungsgasen auf Kupfer
(Schwefel-Gehalt des Treibstoffs: > 0,01%)

Nach diesen Werten läßt sich das Folgende sagen:

1. Zu den Versuchen bei 360...425° (Versuchsstelle A):

- a) Die Tageswerte sind im Mittel ausreichend reproduzierbar, wenn auch beträchtliche Schwankungen der Einzelwerte vorkommen.
- b) Eine eindeutige Schutzschicht-Bildung läßt sich aus den vorliegenden Werten nicht erkennen. Im Gegenteil deuten die meisten Werte darauf hin, daß keine Schutzschichtbildung vorliegt. Es scheint allerdings so, als ob die 3 Tage (18., 19. und 20.12.) korrodierten Proben Schutzschichtbildung aufweisen (Korrosion dieser Proben am 19.12. und am 20.12.: 103 - 54 = 49 mg gegen die Summe der Korrosion der nur am 19.12. und am 20.12. korrodierten Proben: 41 + 41 = 82 mg). Dieser Befund könnte sich aus den oben beschriebenen Abblätterungserscheinungen erklären, denn die genannten 3 Tage korrodierten Proben sind die einzigen, bei denen die Schicht wirksam sein konnte, während bei den anderen mehr als ein Tag korrodierten Proben am letzten Tag die Schicht abblättert.
- c) Die absolute Höhe der Korrosionsgeschwindigkeit kann sehr erheblich sein und bis zu 23 g/m² je Tag oder etwa 1 mm je Jahr betragen.

2. In den Versuchen bei 160...190° (Versuchsstelle B):

- a) Die Reproduzierbarkeit an den einzelnen Tagen ist zwar bei den Extremwerten ziemlich schlecht (am 5. Tage doppelt so hohe Werte wie am ersten Tag), zur Beurteilung aber doch ausreichend.
- b) Die Versuche ergeben eine eindeutige Schutzschicht-Bildung, die vermutlich zu einem wesentlichen Teil auf Öl-Abscheidung zurückzuführen ist. Man kann diese Schutzschicht-Bildung veranschaulichen, wenn man die Einzel-Korrosionswerte vom 1. bis 5. Tag zusammenzählt und als fortlaufende Kurven einträgt, wie das in Bild 7 B geschehen ist. Diese Kurve liegt beträchtlich über der Kurve der durchgehend korrodier-ten Proben. Wenn sich auf diesen keine Schutzschicht gebildet hätte, müßte sie sich mit der Kurve der Summe der täglichen Einzelwerte decken (vgl. 3 b).
- c) Die absolute Höhe der Korrosionsgeschwindigkeit ist gering. Wegen ihrer bei längerer Versuchsdauer wahrscheinlich noch eintretenden Verringerung läßt sich nur sagen, daß sie weniger als etwa $0,7 \text{ g/m}^2$ je Tag oder $0,03 \text{ mm}$ je Jahr beträgt.

3. In den Versuchen bei 50...90° (Versuchsstelle O):

- a) Die Reproduzierbarkeit der Werte ist befriedigend.
- b) Eine Schutzschicht-Bildung tritt bei 50...90° nicht auf, was sich daraus ergibt, daß die Kurve der Werte mehrere Tage korrodierter Proben sich mit derjenigen der Summe der Tageswerte nahezu deckt (vgl. 2 b).
- c) Die absolute Höhe der Korrosionsgeschwindigkeit ist mäßig. Sie beträgt etwa $1,7 \text{ g/m}^2$ je Tag oder $0,08 \text{ mm}$ je Jahr.

III. Schwefelbestimmungen in den Verbrennungsgasen

Wie bereits vorn gesagt, wurden die Verbrennungsgase durch destilliertes Wasser in einer Waschflasche geleitet, dessen Schwefelgehalt nach dreistündigen Durchleiten der Verbrennungsgase und Oxidation mit Bronnsalzsäure als Bariumsulfat bestimmt wurde. Am 5. Tag wurden dem destillierten Wasser vor dem Durchleiten etwa 10 cm³ Wasserstoffsuperoxyd-Lösung (33 g) zugesetzt. Es wurden gefunden:

An	bei einem Treibstoffverbrauch von	g Schwefel
1. Tage	8,4 l	0,81
2. "	7,2 l	0,97
3. "	7,2 l	0,77
4. "	7,4 l	1,06
5. "	7,7 l	4,77

Nach diesen Werten enthält der verwandte Treibstoff mehr als 0,06 % Schwefel ^{*)}.

IV. Ergebnisse einiger Vorversuche mit wahrscheinlich schwefelarmem Treibstoff

Für die Versuchsreihe, die vor der unter D II, III ausführlich beschriebenen Reihe ausgeführt worden war, war zum größten Teil ein gelbgefärbter Treibstoff verwendet worden, der ebenfalls aus einer öffentlichen Tankstelle stammte und "reinen" Benzingeruch hatte. Da dieser Treibstoff sehr viel weniger angriff als der für die Hauptreihe verwendete, sei die mit ihm ausgeführte Vorversuchsreihe ebenfalls beschrieben. Die Ausführung der Versuche war die gleiche wie bei der Hauptversuchsreihe, nur daß die Versuchsdauer 3 Tage umfaßte und der Motor täglich 6 Stunden in Betrieb war. Am dritten Tage war bei dieser Reihe bereits der wahrscheinlich stärker schwefelhaltige Treibstoff verwendet worden, mit dem auch die in den vorigen Abschnitten beschriebenen Versuche ausgeführt worden waren, und zwar in einem Gemisch mit dem zuerst verwendeten Benzin von etwa 8 : 1, so daß der Schwefelgehalt des an diesem Tage verwendeten Benzins mehr als 0,05 % betrug. Außerlich verhielten sich die Proben sehr ähnlich wie bei der Hauptversuchsreihe. Ablätterungen der Korrosionsprodukte bei Kupfer wurden jedoch nicht beobachtet.

Die gefundenen Werte sind in Bild 8 und 9 wiedergegeben. Sie bestätigen die Ergebnisse der Hauptversuchsreihe in allen wesentlichen Punkten. Sehr auffällig ist aber der viel stärkere Angriff bei der Hauptreihe, den Gußeisen bei niedriger und Kupfer bei hoher Temperatur erleidet, während in den anderen Fällen die Korrosion in den beiden Reihen etwa gleich groß ist. Ebenso ist bei der Vorversuchsreihe am 3. Tage, an dem ein Gemisch der beiden Treibstoff-Arten verwendet wurde, der Angriff auf Eisen bei tiefer und der auf Kupfer bei hoher Temperatur stärker als an den beiden ersten Tagen.

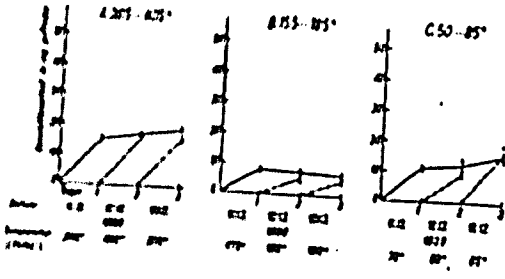


Bild 8. Angriff von Treibstoff-Verbrennungsgasen auf Gußeisen
(Treibstoff am 1. Tag: unerschütterlich Schwefel-arm
am 3. Tag: 0,05 % Schwefel)

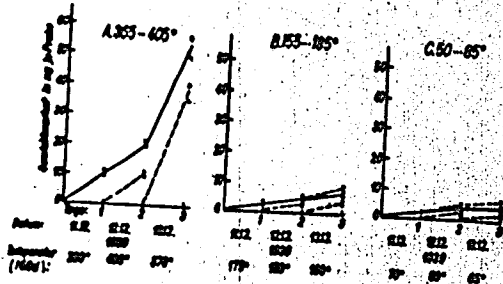


Bild 9. Angriff von Treibstoff-Verbrennungsgasen auf Kupfer
(Treibstoff am 1. Tag: unerschütterlich Schwefel-arm
am 3. Tag: 0,05 % Schwefel)

*) Treibstoff-Analysen waren im ursprünglichen Versuchsplan nicht vorgesehen, sollen jedoch in Zukunft ausgeführt werden.

Hieraus ergibt sich eine starke Abhängigkeit des Angriffs durch Treibstoff-Verbrennungsgase von dem Treibstoff, und zwar gerade in den Fällen besonders starken Angriffs. Dementsprechend scheint es zur Erkennung und Verhütung möglicher Schäden durch Treibstoff-Verbrennungsgase erforderlich, grundsätzlich die Abhängigkeit des Angriffs dieser Gase auf Metalle von der Art des Treibstoffs zu untersuchen.

B. Bedeutung der beobachteten Erscheinungen für die Praxis

Zwei der in vorigen Abschnitt beschriebenen Erscheinungen können eine beträchtliche Bedeutung für die Praxis haben, und zwar der Angriff des Eisens bei niedriger Temperatur und der Angriff des Kupfers bei hoher Temperatur.

Über den Angriff des Eisens bei niedriger Temperatur (Zerstörung von Heiztöpfen und Auspuffrohren) ist das Erforderliche bereits 3. 2 und 3. 3*) gesagt.

Der Angriff des Kupfers bei hoher Temperatur kann an zwei Stellen zu Schäden führen, und zwar 1. an dem Kupferblech der Dichtung zwischen Zylinderblock und Zylinderkopf, und 2. an den Ventil-Führungsbuchsen, die häufig aus Rotguß bestehen. Das Kupferblech der Dichtung ist mitunter nur 0,1 mm dick. Es ist also denkbar, daß bereits nach einem Monat Betriebsdauer dieses Blech durchgefressen wird, was Undichtigkeiten der Zylinder und der Ventile (durch hineingelangende Asbestfasern) zur Folge haben könnte. An den Ventil-Führungsbuchsen ist zwar auch ein Angriff zu erwarten, doch kann dieser kaum zu beträchtlichen Schädigungen führen.

Allgemein ist hierzu noch das Folgende zu sagen:

1. Da in Zylinder die Temperatur während des Betriebes fast immer höher ist als 400° , ist es wohl möglich, daß infolge besserer Schutzschicht-Bildung aus Korrosionsprodukten in Zylinder der Angriff geringer ist als bei 400° .
2. Die starken Angriffe treten offenbar nicht bei allen Treibstoff-Arten auf, sondern vermutlich nur bei solchen mit hohem Schwefelgehalt.

F. Zusammenfassung

Es wird eine Versuchsanordnung beschrieben, bei der der Angriff strömender Treibstoff-Verbrennungsgase auf Metalle bei etwa 400° , 160° und 70° leicht zahlenmäßig verfolgt werden kann. Als

*) Bei Stahl sind nicht wesentlich andere Erscheinungen zu erwarten als bei Gußeisen. Versuche mit Stahl sind vorgesehen.

Metalle wurden Oxidisen und Kupfer verwendet. Über den Angriff der Gase von handelsüblichen Treibstoffen auf diese Metalle wurde das Folgende gefunden:

1. Eisen wird bei etwa 400° mäßig angegriffen. Die anfangs immerhin beträchtliche Korrosionsgeschwindigkeit nimmt nach einen Tag auf etwa 0,06 mm je Jahr ab.
 Bei etwa 100° wird der Angriff bald so gering, daß er nicht mehr festgestellt werden kann.
 Bei etwa 70° kann der Angriff hingegen sehr beträchtlich werden und bis zu 1,4 mm je Jahr betragen.
2. Kupfer kann bei etwa 400° sehr stark angegriffen werden. Die Korrosionsgeschwindigkeit kann bis zu etwa 1 mm je Jahr betragen. Eine eindeutige Abnahme der Korrosionsgeschwindigkeit infolge Schutzschicht-Bildung aus Korrosionsprodukten tritt nicht ein.
 Bei etwa 100° beträgt der Angriff etwa 0,03 mm, bei 70° etwa 0,03 mm je Jahr.
3. Die Art des Treibstoffes, im besonderen sein Schwefelgehalt, scheint für den Angriff auf Eisen bei 70° und den Angriff auf Kupfer bei 400° eine große Rolle zu spielen. Die unter 1 und 2 genannten mehr starken Angriffe sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß der für diese Versuche verwendete Treibstoff (handelsüblicher Einheitstreibstoff Dezember 1939) besonders stark schwefelhaltig war.

Die Versuche werden fortgesetzt.