

Nur für den Dienstgebrauch

K 3 M 2 G 11

3996-30/301 et al.

67

Deutsche Luftfahrtforschung

Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 688

Einfluß des Bleigehaltes von Kraftstoffen
auf Bauteile von Flugmotoren

Denkmeier/Kerwien

Verfaßt bei

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V.
Institut für Triebwerk-Gestaltung, Motoren-Prüffeld
Berlin-Adlershof

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
der Luftfahrtforschung des Generalfliegermeisters (ZWB)
Berlin-Adlershof

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstbereich des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstbereichs 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 Dienstbereichs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß
mit Patentschloß zu halten.

Einfluß des Bleigehaltes von Kraftstoffen auf Bauteile von Flugmotoren.

Übersicht: Die an Flugmotoren-Bauteilen auftretenden Schäden werden teilweise auf den bei normalem B 4-Kraftstoff hohen Bleizusatz von 0,12% zurückgeführt. Die Untersuchungen zeigten, daß durch eine geringe Herabsetzung des Bleigehaltes auf 0,09% keine Besserung der Haltbarkeit von Auslaßventilen und Kolben erreicht wird.

- Gliederung:
- I. Einleitung
 - II. Versuchsaufbau und Motordaten
 - III. Versuchsdurchführung
 - a) Vergleichskraftstoff ohne Bleizusatz
 - b) Vergleichskraftstoff mit 0,09% Bleizusatz
 - IV. Zusammenfassung

Der Bericht umfaßt:

26 Seiten mit
38 Abbildungen

Institut für Triebwerk-Gestaltung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.
Motoren-Prüffeld

Die Bearbeiter :

H. Denkmeier

H. Denkmeier

A. Kerwien

A. Kerwien

ges.: *HC*

Berlin-Adlershof, den 1. August 1942
Konto Df 248/1
1. Teilbericht

I. Einleitung.

Die im Laufe der Zeit an dem gleichen Motormuster erzielte Leistungssteigerung, durch Erhöhung von Drehzahl und Ladedruck gab zu Störungen Anlaß, die zunächst durch konstruktive Änderungen, durch Verbesserung der Werkstoffe usw. wieder behoben werden konnten. Die auftretenden Brüche und Zerstörungen an Auslaßventilen und Kolben waren auf die hohe thermische Belastung des Brennraumes zurückzuführen. Um diese höhere thermische Belastung zulassen zu können, mußte die Klopffestigkeit des Kraftstoffes erhöht werden. Diese Erhöhung der Klopffestigkeit wurde durch Heraufsetzung des BTA-Gehaltes im Kraftstoff auf 0,12% gewonnen. Damit konnten die Zerstörungen an Kolben infolge der Klopferscheinungen zwar behoben werden, andererseits traten nun Korrosionsschäden und Brüche vor allem an Auslaßventilen auf, die durch das Vorhandensein von Bleiniederschlägen an den gefährdeten Stellen auf den erhöhten Bleizusatz zurückgeführt wurden. Dieser Einfluß sollte durch Motorversuche festgestellt werden.

II. Versuchsaufbau und Motordaten.

Der Versuchslauf wurde an einem Jumo 211 H-Motor von 1200 PS Startleistung durchgeführt. Als Bremsmittel wurde eine VDM-Verstell-Luftschraube verwendet. Der Aufbau des Motors erfolgte auf einem offenen Pendelrahmen-Prüfstand. Die Messung der Motorleistung erfolgte durch Eichung der Verstellschraube. Die Kraftstoffversorgung des Motors wurde derart abgeändert, daß der in Flugrichtung gesehen rechte Motorblock I mit normalem B 4-Kraftstoff betrieben werden konnte, und der linke Motorblock II mit dem Vergleichskraftstoff. Das Motormuster Jumo 211 H wurde deshalb gewählt, weil sich bei diesem Kraftstoffsystem die Aufteilung an der Pumpe in zwei getrennte Hauptkanäle am einfachsten durchführen ließ. Da der Vergleichskraftstoff denselben Heizwert und annähernd dasselbe spezifische Gewicht hatte, konnte die Einstellung der beiden Einspritzpumpenhälften auf gleiche Fördermenge beibehalten werden. Das mit der Einspritzpumpe gekuppelte Verbrauchsmeßgerät diente zur laufenden Überwachung der Einspritzmengen.

Motordaten:

Jumo 211 H Werk Nr. 150

Bohrung 150 mm

Hub 165 mm

Verdichtungsverhältnis $\xi = 6,5$

Auslaßventile: Werkstoff Fl 1441, schaftgekühlt

	Ladedruck ata	Drehzahl U/Min	Leistung PS	Verbrauch g/PSH
Startleitung	1,35	2400	1200	255
Steig- u. Kampflstg.	1,15	2300	930	250
höchstzul.Dauerlstg.	1,10	2100	790	210

Kraftstoff:

Normaler Flugkraftstoff B 4

Zusammensetzung: Grundstoff Deutsche Benzine mit OZ 72

Gehalt an BTÄ : vol.% 0,123

/ Aromatengehalt und ungesättigte Kohlenwasserstoffe nach HMP-Verfahren: Gew. % 15-20

Spezifisches Gewicht bei 20°C : 0,75

Oktanzahl nach Motorverfahren : 87

Vergleichskraftstoff ohne Blei-Zusatz

Zusammensetzung: 75 % ET 100

25 % unverbleit VT 702

Gehalt an BTÄ: vol. % 0

/ Aromatengehalt: und ungesättigte KW: Gew.% 5

Spezifisches Gewicht bei 20°C: 0,72

Oktanzahl nach Motorverfahren: 87

925

Vergleichskraftstoff mit 0,09% Bleizusatz

Zusammensetzung: Grundstoff Deutsche Benzinc mit 02 72
mit überwiegend VF 702

Gehalt an BTA : vol. %	0,09
Aromatengehalt und ungesättigte KW: Gew. %	15-20
Spezifische Gewicht bei 20°C :	0,73
Oktanzahl nach Motorverfahren:	87

III. Versuchsdurchführung.

Der erste Versuchslauf an dem 211 H-Motor Werk Nr. 150 wurde in Form eines 110 Std.-Dauerlaufes durchgeführt; nach 68 bzw. 88 Stunden Betriebszeit mußte der Lauf wegen Störungen am Triebwerk mehrere Tage unterbrochen werden. Das Versuchsprogramm wurde den Bedingungen eines Vorlaufes angepaßt. Folgende Belastungen wurden jeweils gefahren:

Dauerleistung	n = 2100 U/min	p _L = 1,10 ata	42 min
Steig.u.Kampf-			
leistung	n = 2300 U/min	p _L = 1,15 ata	12 min
Dauerleistung	n = 2100 U/min	p _L = 1,10 ata	3 min
Start-und			
Notleistung	n = 2400 U/min	p _L = 1,35 ata	3 min
Dauerleistung			42 min
Steig.u.Kampf-			
Leistung			12 min
usw.			

Die 110 Stunden setzen sich wie folgt zusammen:

Dauerleistung	81 Stunden
Steig- Kampf-	
Leistung	20 Stunden
Startleistg.	6 Stunden
Warmfahren	3 Stunden

a) Vergleichskraftstoff ohne Zusatz von Bleitetraäthyl.

Die Versuche erstreckten sich über die Monate Februar und März 1942, wobei Außenlufttemperaturen bis - 15°C gemessen wurden. Da der Motor nur tagsüber gefahren werden konnte, wurde

er verhältnismäßig oft abgestellt, so daß die Feuchtigkeit in Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft zur stärkeren Korrosion beitragen konnte. Der rechte Zylinderblock I wurde mit normalem B 4-, der linke Block II mit Vergleichskraftstoff ohne Bleizusatz betrieben. Während des Versuchslaufes fielen nach 45 und 60 Stunden beim Zylinderblock I mehrere Zündkerzen durch starke Bleiablagerungen an der Mittelelektrode aus.

Nach insgesamt 110 Betriebsstunden, die mit Ausnahme der bereits erwähnten Unterbrechungen ohne weitere Störungen verliefen, wurde der Motor teilüberholt.

Die Befundaufnahme von Kolben, Zylinderköpfen, Ventilen und Zündkerzen zeigte eindeutig den Einfluß des Bleizusatzes auf diese Bauteile.

Bei Abb. 1 - 4 sind Kolben und Zylinderköpfe von Block I und II einander gegenübergestellt. Wenn auch aus den Aufnahmen kein klarer Unterschied ersichtlich ist, so waren doch die Ablagerungen und Rückstände an Kolben und am Verbrennungsraum bei Zylinderblock I bedeutend stärker. Besonders deutlich zeigte sich der Bleieinfluß an den Auslaßventilen Abb. 5. Während die Auslaßventil-Teller der bleifreien Seite kaum Ablagerungen oder Anfressungen zeigen, sind bei den mit Bleizusatz gefahrenen Block I neben einem dichten Ölkohle- und Zunderbelag starke Anfressungen des Tellers ersichtlich. An den Sitzflächen der Ventile (Abb. 6. - 11) ist kein wesentlicher Unterschied festzustellen; eine Dichtprobe der Ventile vor der Demontage ergab bei beiden Seiten einwandfreien Sitz. Lediglich die Innenseite der Teller zeigt wieder bei Block I starke Ablagerungen von Ölkohle und Blei.

Auffallend ist der starke Elektrodenabbrand der inneren Zündkerzen bei Bleibenzin (Abb. 12.) Der Elektrodenabstand hatte sich von 0,4 auf 0,9 mm vergrößert; Störungen traten hierbei nicht auf, sondern wie bereits erwähnt an den äußeren Kerzen des Blocks I. Die Zündkerzen der bleifreien Seite waren einwandfrei.

Da keine abnormalen Abnutzungserscheinungen ersichtlich waren, wurde der Motor wieder zusammengebaut: Ventile, Kolben und Verbrennungsraum wurden nicht gereinigt, sondern unter den gleichen Verhältnissen wieder eingebaut und der Dauerlauf nach Einbau neuer Zündkerzen unter denselben Bedingungen wie vorher fortgesetzt. Nach 2 Stunden Betriebszeit fiel der Motor durch Bruch des Auslaßventiles am Zylinder 1 (Bleiseite) aus.

Die Auslaßventile wurden dem Institut für Werkstoff-Forschung zur eingehenden Untersuchung der Ursachen des Bruches zur Verfügung gestellt. Die primären Ursachen über die Entstehung der Anrisse konnte nicht einwandfrei geklärt werden. Aus den Abbildungen sind die örtlichen Einrisse in die Oxydschicht verursacht durch Biegebeanspruchung am Teller gut zu sehen. An diesen Stellen tritt nun eine verstärkte Oxydation ein, die später zum Bruch führt.

Die ohne Bleizusatz gefahrenen Ventilkegel hatten am Teller eine glatte Oberfläche ohne nennenswerten Zunderbelag.

Untersuchung der Ventilkegel 1)

Die Bilder 13 bis 15 geben Ansichten der drei untersuchten Ventilkegel wieder:

Bild 13: Kegel A, ohne Bleizusatz gefahren

Bild 14: Kegel B 1, mit Bleizusatz gefahren

Bild 15: Kegel B 2, mit Bleizusatz gefahren und gebrochen.

Die Bilder 16 bis 18 zeigen die Telleroberseite der Kegel A, B 1 und B 2 in zweifacher Vergrößerung. A hat eine aufgeraute Oberfläche und starken, in Umfangsrichtung gerissenen Belag. B 2 hat einen weniger aufgerissenen Belag als B 1, ist aber gebrochen. Der Rißausläufer verläuft in Stufen, vorzugsweise in Umfangsrichtung und kurze Strecken radial.

Der Belag der Kegel B 1 und B 2 wurde spektralanalytisch untersucht. Er enthielt viel Chrom, viel Blei, sehr viel Eisen, wenig Mangan und Silizium und nur feststellbare, also kleine Mengen Nickel und Wolfram. Es handelt sich um einen bleihaltigen Zunder, der in erster Linie neben Eisen- und Chrom-Sauerstoffverbindungen noch eine Bleiverbindung enthält. Das Fehlen nennenswerter Nickelmengen im Belag ist darauf zurückzuführen, daß das Nickel der edelste Bestandteil des Kegelstahles -aus-

1) Dieser Teilbericht wurde im Institut für Werkstoffforschung angefertigt. Bearbeiter: C o r n e l i u s und J a h n k e

tenitischer Chrom-Nickel-Wolfram - Stahl - ist.

Alle folgenden Schliffbilder sind auf Radialschnitten durch den Ventilkegelteller aufgenommen worden und geben den Schnitt in der Höhe der Ventilkegelteller-Oberseite wieder. Die Schliffstücke wurden in durchsichtigen Kunststoff eingebettet. Alle drei Kegel haben ein Grundgefüge aus Austenit mit eingelagerten Karbiden.

Der Kegel A hat an der Telleroberseite ein Gefüge ohne Besonderheiten gemäß Bild 19. Ein nennenswerter Belag ist nicht vorhanden. Die Telleroberfläche ist glatt.

Der Kegel B 1 hat nach dem Übersichtsbild 20 eine wellige Oberfläche. Die in Teller- Umfangsrichtung verlaufenden Wellen haben abgerundete oder spitzwinklige Täler (Kerben). Die Bilder 21 bis 23 zeigen Ausschnitte aus Bild 20 in stärkerer Vergrößerung. Zwischen dem Stahl und dem dicken Zunderbelag hat sich infolge selektiver Oxydation des Stahles eine metallische Schicht gebildet, die nach dem Ergebnis der Spektralanalyse des Belages (Fehlen größerer Mengen Nickel) aus Nickel bestehen muß. Wo der Belag zusammenhängend ist, ist die Nickelschicht ebenfalls zusammenhängend und der Kerbgrund abgerundet. Risse im Belag treten zusammen mit Durchbrechungen der Nickelschicht und verstärkter Oxydation und Rissansetzen im Kerbgrund auf.

Bild 24 zeigt den Ausläufer des Hauptrisses (vgl. Bild 18) in dem gebrochenen Ventilteller B 2. Der Riß verläuft interkristallin, ist also vermutlich bei hoher Temperatur entstanden. Der Teller B 2 wies noch eine größere Zahl kleinerer Anrisse auf. An ihnen läßt sich das Entstehen und Wachsen der Risse gut verfolgen: An Stellen mit abgerundetem Kerbgrund entsteht infolge der Biegebeanspruchung des Ventiltellers im Betriebe ein Anriss in dem Oxydbelag. Die Verbrennungsgase haben nun freien Zutritt zum Kerbgrund, so daß hier eine verstärkte Verzunderung eintritt. Die Nickelschicht wird an der tiefsten Stelle des Kerbes durch jetzt mögliche Oxydation durchbrochen, im Kerbgrund entsteht durch Zusammenwirken von Oxydation und Biegebeanspruchung ein kleiner Anriss, Bild 25. Es ist anzunehmen, daß das weitere Fortschreiten des Risses im wesentlichen infolge der Spannungserhöhung an der Rißspitze unter der Biegebeanspruchung des Kegeltellers im Be-

triebe erfolgt und von diesem Zeitpunkt ab die Oxydation der Riswandungen eine Folgeerscheinung ist. Auf diese Oxydation kann es zurückzuführen sein, daß der Riss im zuerst entstandenen Teil einen interkristallinen Verlauf zu haben scheint. Im später entstandenen, der Oxydation nur kurze Zeit unterworfenen Teil des Risses ist der interkristalline Rißverlauf deutlich erkennbar, Bild 26 und 27.

Zusammenfassung: Der Kegel A (ohne Bleizusatz gefahren) hat am Teller eine glatte Oberfläche mit nur dünnem Zunderbelag.

Die Kegel-B 1 und B 2 (mit Bleizusatz gefahren) haben eine wellige Oberfläche mit starker, bleihaltigen Zunderbelag. Die Wellen verlaufen in Umfangsrichtung des Tellers. An der Oberseite des Ventiltellers ist die Oxydschicht örtlich eingerissen unter dem Einfluß der Biegebeanspruchung des Tellers. Durch verschärfte Oxydation an diesen Stellen entsteht aus dem abgerundeten Wellental ein Scharfkern, der unter dem Einfluß der Biegebeanspruchung und der Oxydation zu einem Riß führt. Hierdurch entstehen infolge der Biegebeanspruchung hohe Spannungsspitzen, die zu raschem Wachsen des Risses bis zum Bruch führen können.

Die erste Ursache der Rissentstehung ist also in der örtlich verstärkten Oxydation der Telleroberfläche zu sehen, die zu dem in Teller- Umfangsrichtung verlaufenden Vertiefungen führt. Es ist nicht anzugeben, worauf diese örtlich verstärkte Oxydation zurückzuführen ist. Weiter ist nicht zu entscheiden, ob die allgemein und örtlich verstärkte Oxydation der mit Bleizusatz gefahrenen Kegel allein auf die Anwesenheit von Bleiverbindung in den Verbrennungsgasen oder auf eine höhere Kegeltemperatur oder auf beide Einflüsse zurückzuführen ist.

b) Vergleichskraftstoff mit 0,09% Bleizusatz

Die Versuche wurden mit einem neuen Jumo 211 H-Motor Werk Nr. 194 fortgesetzt. Als Vergleichskraftstoff wurde derselbe Grundkraftstoff wie bei B 4-Benzin verwendet, jedoch wurden nur 0,09 vol.% Blei zugesetzt. Der Aromatengehalt bewegte sich wie bei Normal-B 4 zwischen 0,15 und 0,20%

Die Dauer der verschiedenen Belastungsstufen blieb unverändert. Nach insgesamt 115 Betriebsstunden, die sich auf 88 Stunden Dauerleistung, 22 Stunden Kampfleistung und 5 Stunden Startleistung zusammensetzten, wurde der Motor überholt. Dieser Versuchslauf fand in der Zeit vom 23.4. bis 16.5.1942 statt und konnte ohne wesentliche Störungen bzw. ohne anzuhalten durchgeführt werden. Zündkerzenstörungen traten hierbei nicht auf. Am Ende des Laufes wurden die Auslaßventile mittels Benzinprobe auf Dichtheit untersucht und einwandfrei befunden. Die Befundaufnahme nach dem Zerlegen des Motors zeigte zwischen Block I und II an Zündkerzen, Ventilen und Kolben (Abb. 28 - 32) keine Unterschiede. Auch der äußere Befund dieser Teile zeigte im wesentlichen besseres Aussehen als beim 1. Versuchsmotor. Dies läßt sich vielleicht damit erklären, daß die Vitterungseinflüsse sich nicht so stark auswirken konnten wie beim 1. Versuchslauf, da dieser zweite Motor die 115 Stunden fast ohne Halt in Betrieb war. Da die mechanische Reinigung der Auslaßventile nicht genügte, wurde sämtliche Auslaßventile bei der Firma Junkers Flugmotoren Dossau auf elektrolytischem Wege entschlackt²⁾, d.h. die Ölkohle und Bleiniederschläge wurden restlos entfernt. Die auf diese Weise gereinigten Ventilkegel (Abb. 33 und 34) wurden auf Risse untersucht und miteinander verglichen. Je zwei Auslaßventile der beiden Zylinderblöcke wurden zur Untersuchung an das Institut für Werkstoff-Forschung gegeben.

Diese Ventile wurden durch neue ersetzt und der Versuchslauf unter den gleichen Bedingungen fortgesetzt. Nach weiteren 57 Betriebsstunden ergab eine Besichtigung der Ventile durch die Kerzenöffnungen keine wesentlichen Merkmale. Um schneller zu einem Ergebnis zu gelangen, wurde die Startleistung auf jeweils 15 min Dauer festgesetzt. Der Betrieb mit Dauerleistung wurde entsprechend gekürzt. Unter diesen Bedingungen lief der Motor 2 Stunden und mußte dann wegen Bruch eines Zugankers abgestellt werden.

Die Versuche an Jumo 211 H-Motoren wurden damit abgeschlossen, da durch die Untersuchungen im Institut für Werkstoff-Forschung inzwischen festgestellt wurde, daß die 0,09% bzw. 0,12% Bleigehalt im Kraftstoff keinen Unterschied in der Haltbarkeit der Auslaßventile erkennen lassen. Auch bei

²⁾Entschlacken von Ventilkegeln Jumo N 52004.14-02.

der Beurteilung der Kolben und Zündkerzen konnte zwischen beiden Zylinderblöcken kein Unterschied festgestellt werden. Die Abbildungen 35 - 38 zeigen die Schnittbilder der elektrolytisch gereinigten Auslaßventilkegel. Die Kerbwirkungen und Anrisse sind in beiden Ventilen gleich stark zu sehen und es wird nur eine Frage der Zeit sein, wann diese Anrisse im Kegel zum Bruch führen; welches Ventil zuerst brechen wird, kann nicht vorausgesagt werden, da die Anrisse in beiden Fällen gleich tief sind. Wie schon vorher gesagt, konnten die Versuche am Motor Werk Nr. 194 fast ohne Unterbrechung zu Ende geführt werden, zudem herrschte beim letzten Lauf meist trocknes, warmes Wetter.

Daß dieser zweite Motor wesentlich längere Laufzeit ohne Zerstörung der Ventile aushielt, kann somit nur auf den Witterungseinfluß zurückgeführt werden, d.h. Kaltkorrosion unter Einfluß der Luftfeuchtigkeit und des Sauerstoffgehalts der Luft konnte sich bei diesem Versuchslauf nicht so stark auswirken.

IV. Zusammenfassung.

Der erste Versuchslauf mit dem Vergleichskraftstoff ohne Bleizusatz gab Aufschluß über den schädlichen Einfluß des Bleitetraäthyls. Während die bleifreie Seite nach 110 Betriebsstunden vollkommen glatte Ventiloberflächen ohne Zunderbelag und ohne Anrisse am Teller zeigte, waren die Ventile, die mit normalem B 4-Kraftstoff betrieben wurden, teils gebrochen, teils zeigten sich starke Anrisse am Teller, die bei längerem Betrieb auch zum Bruch geführt hätten.

Die Frage, ob eine Herabsetzung des Bleigehaltes auf 0,09 vol.% eine Verbesserung hinsichtlich Korrosion und Zunderbildung bringt, mußte durch den zweiten Versuch verneint werden. Der 175 Stunden-Dauerlauf am Jumo 211 H-Motor Werk Nr. 194 ließ keinen Unterschied erkennen zwischen den mit B 4 und 0,12 vol.% BTÄ-Gehalt und den mit 0,09% BTÄ-Gehalt betriebenen Ventilen.

Die Versuche mit Vergleichskraftstoff von 0,09 vol.% Bleigehalt werden an einem DB 605-Motor fortgesetzt. Gleichzeitig werden Motorversuche durchgeführt über den Einfluß der Kaltkorrosion bei Zutritt der Luftfeuchtigkeit und bei verschlossenen Auslaßkanälen nach dem Abstellen des Motors.

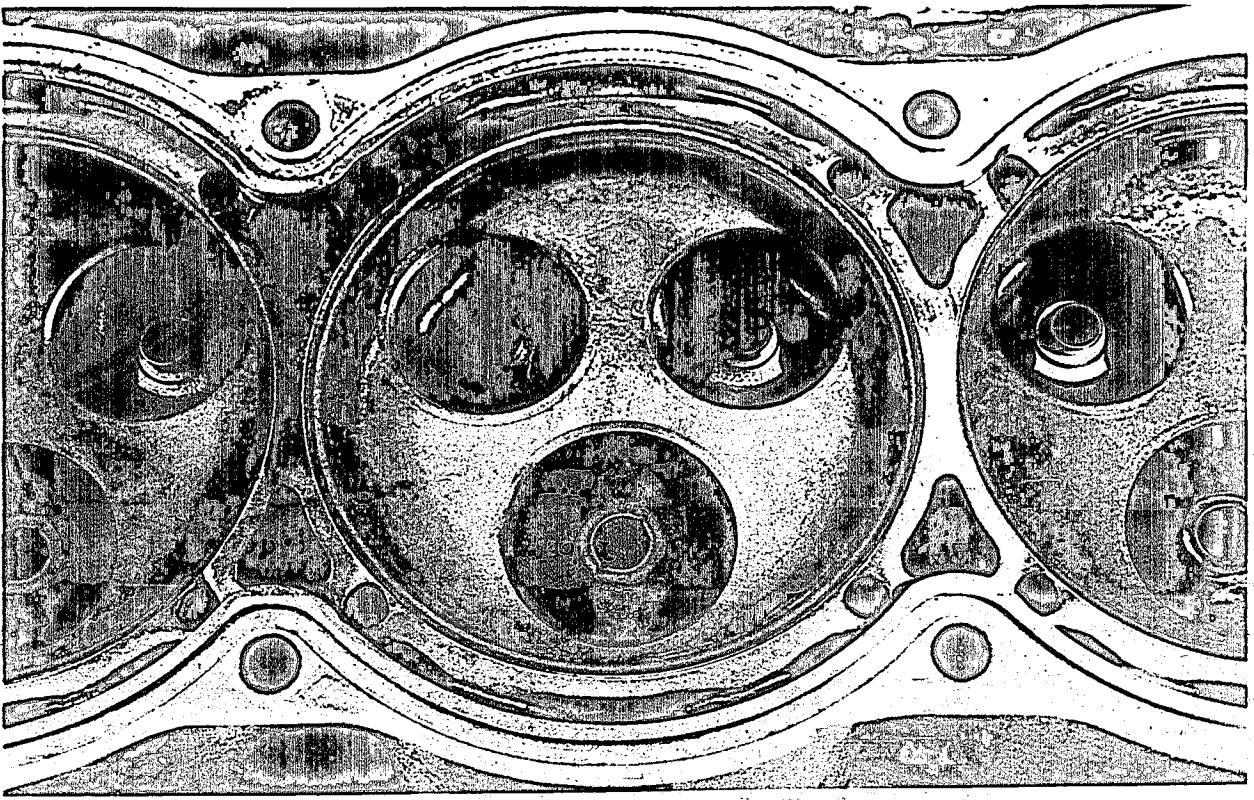


Abb. 1 Zylinderkopf I BTX-Zusatz 0,12%

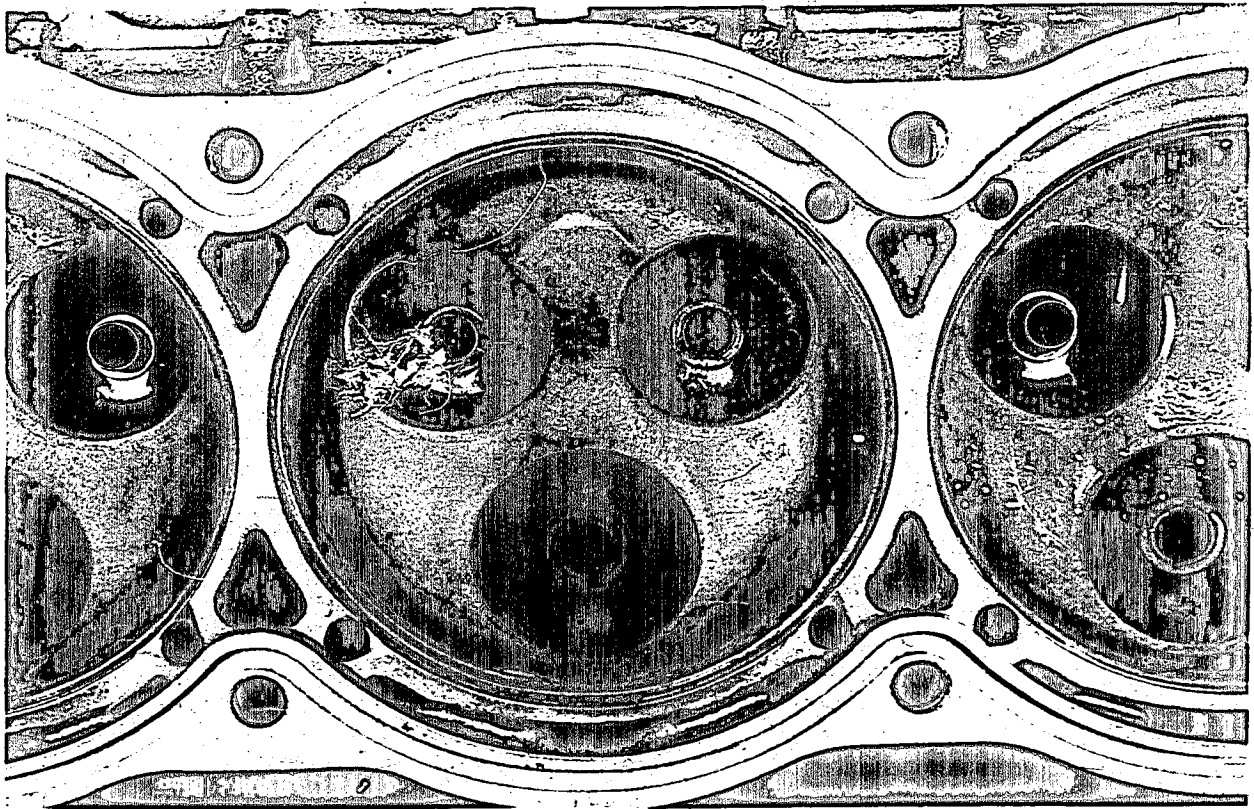


Abb. 2 Zylinderkopf II ohne BTX-Zusatz

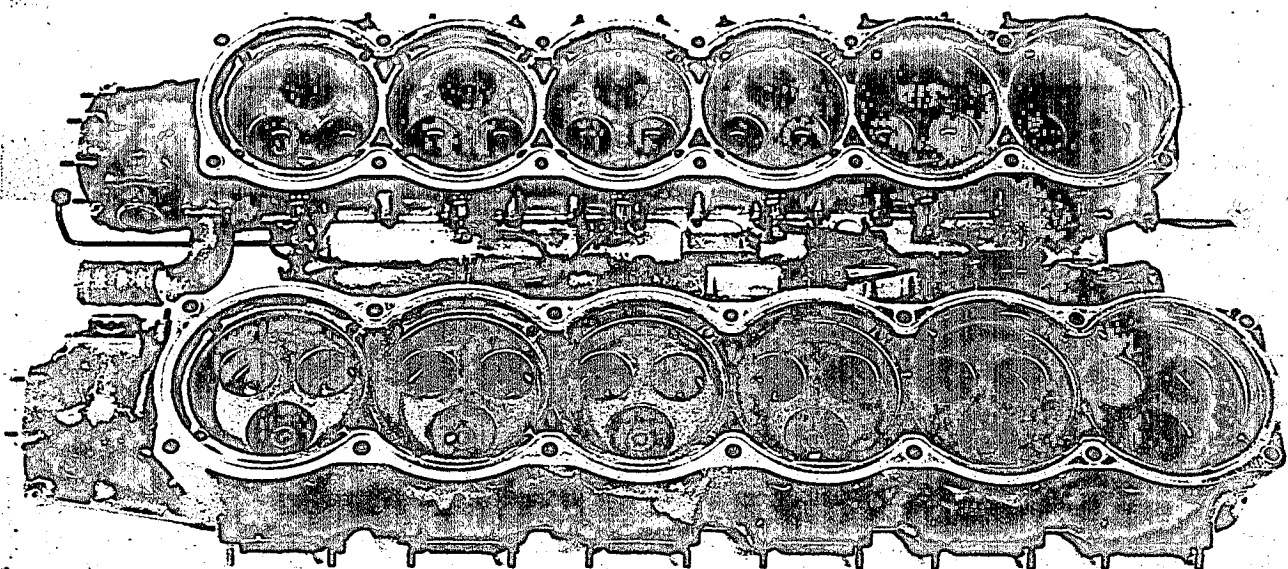


Abb. 3 Oberer Zylinderkopf I BTÄ-Zusatz 0,12%
Unterer Zylinderkopf II ohne BTÄ-Zusatz

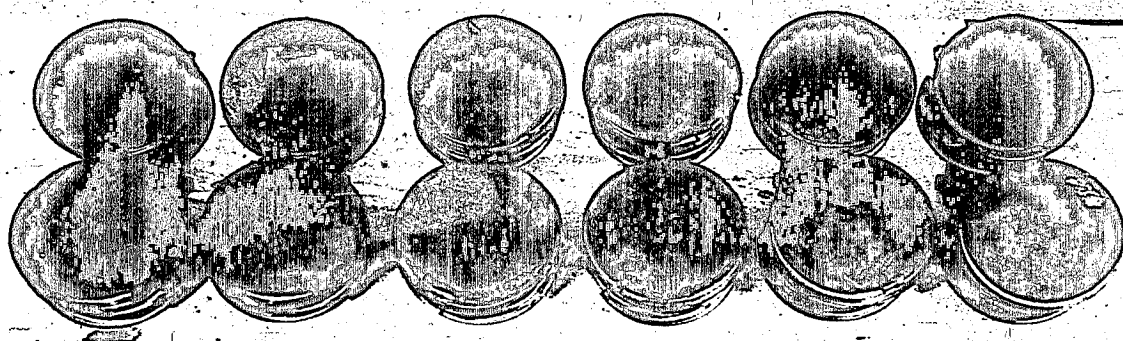


Abb. 4 Obere Kolbenreihe BTÄ-Zusatz 0,12%
Untere Kolbenreihe ohne BTÄ-Zusatz

Abb. 5 Obere Ventilreihe BTÄ-Zusatz 0,12%
Untere Ventilreihe ohne BTÄ-Zusatz

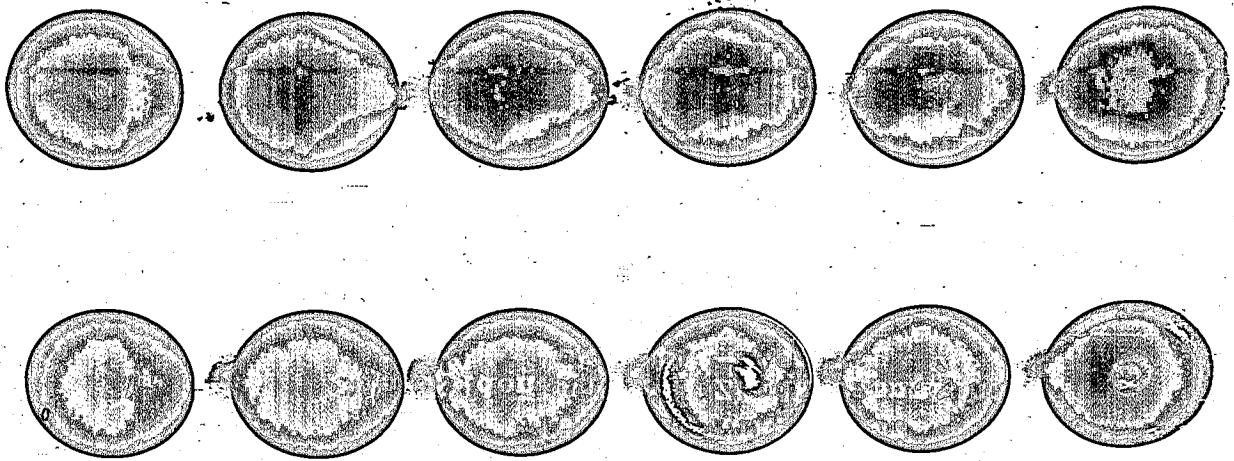
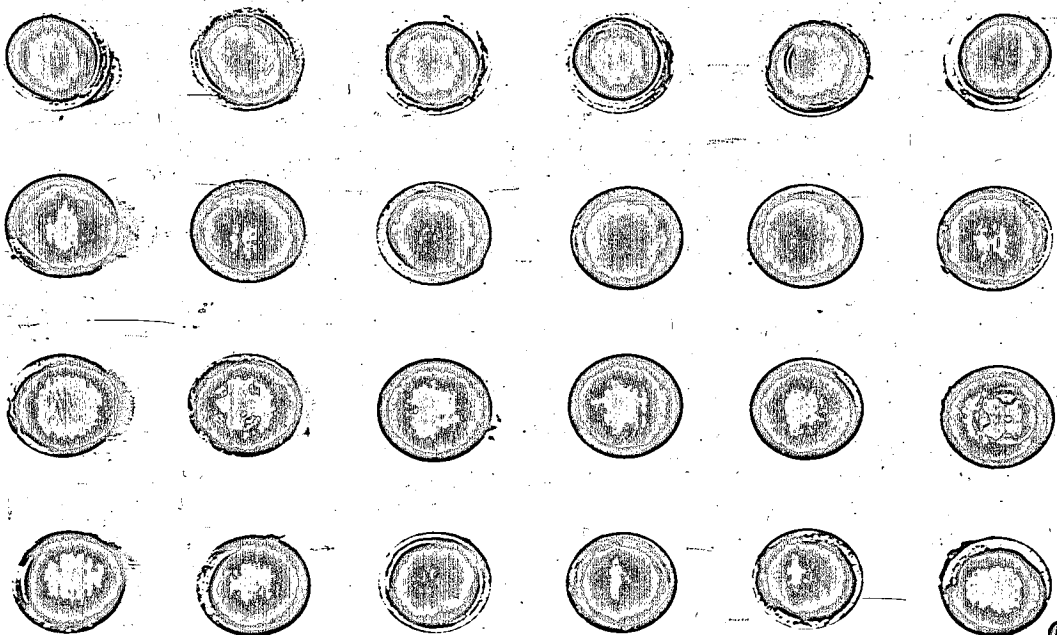


Abb.12 Die beiden oberen Zündkerzenreihen
mit 0,12% BTÄ-Zusatz
Die beiden unteren Zündkerzenreihen
ohne BTÄ-Zusatz



3-fache Vergrößerung der Auslaßventilsitze



Abb. 6 Ventilkegel Nr. 1
mit 0,12% BTA

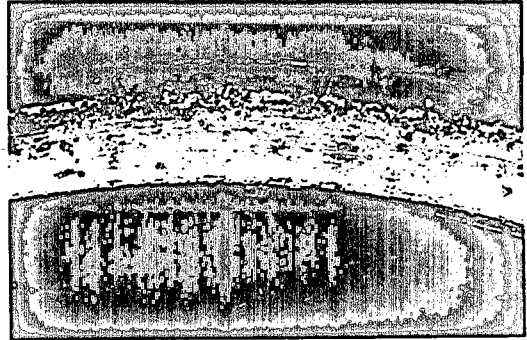


Abb. 9 Ventilkegel Nr. 7
ohne Blei

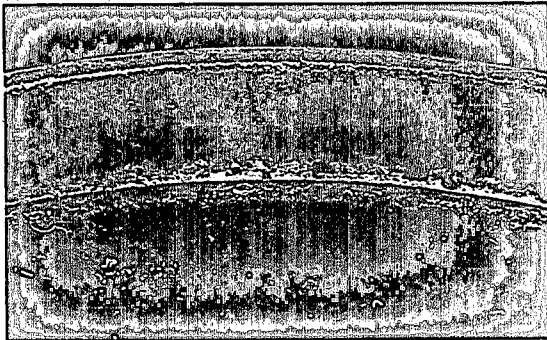


Abb. 7 Ventilkegel Nr. 3
mit 0,12% BTA

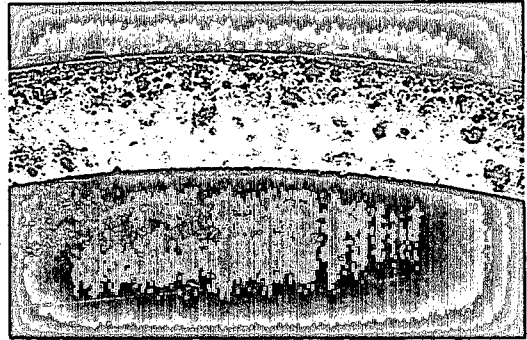


Abb. 10 Ventilkegel Nr. 9
ohne Blei

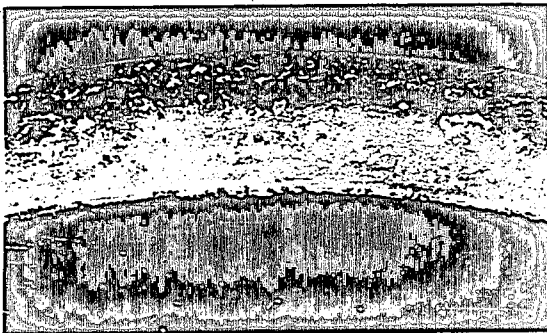


Abb. 8 Ventilkegel Nr. 5
mit 0,12% BTA

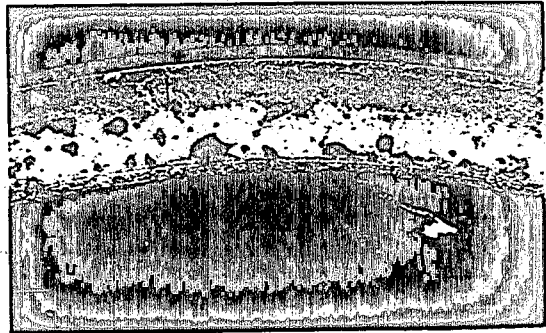
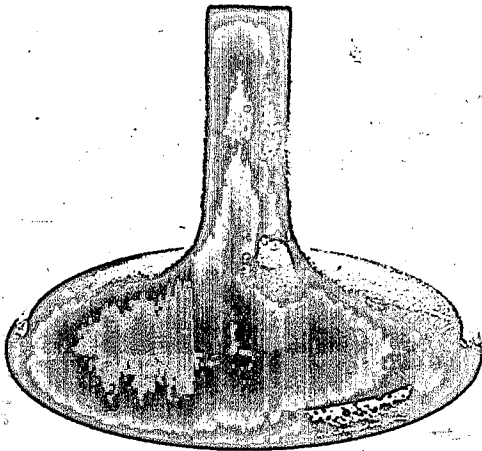
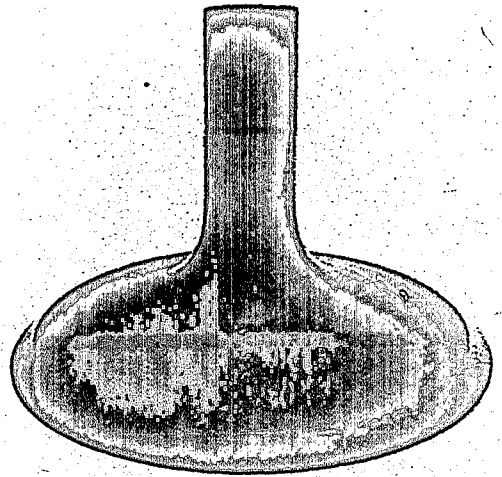


Abb. 11 Ventilkegel Nr. 11
ohne Blei



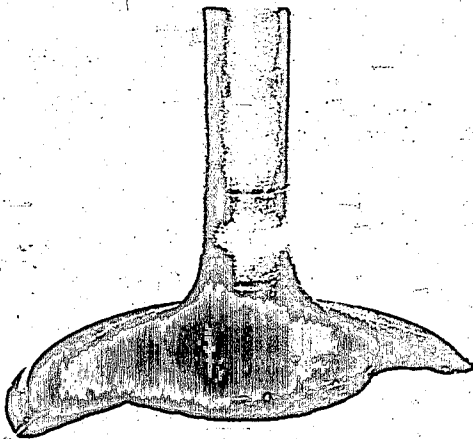
V = 1

Bild 13: Ohne Pb-Zusatz
gefahrenes Ventil A



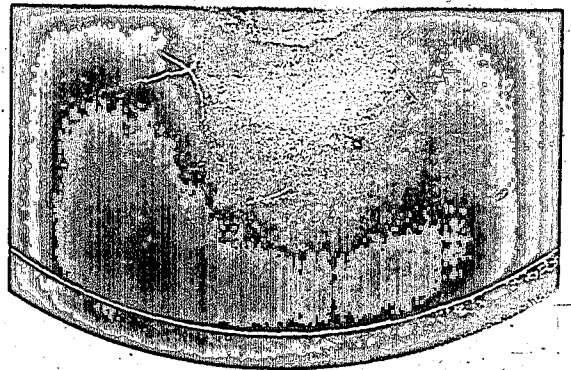
V = 1

Bild 14: Mit Pb-Zusatz
gefahrenes Ventil B 1



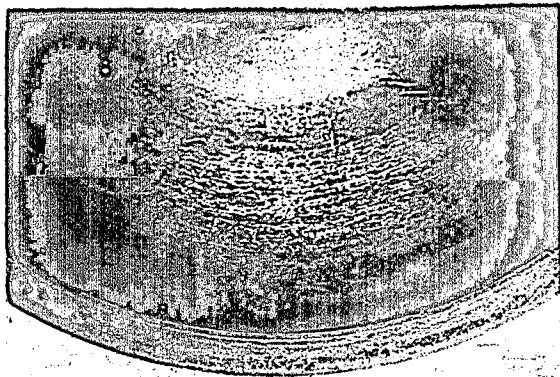
V = 1

Bild 15: Mit Pb-Zusatz
gefahrenes Ventil B 2



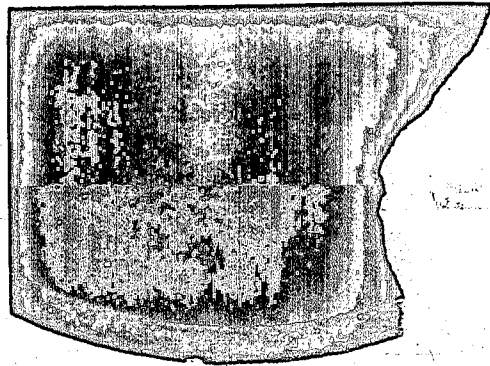
V = 2

Bild 16: Tellerfläche eines
ohne Pb-Zusatz gefahrenen
Ventils A



V = 2

Bild 17: Tellerfläche eines
mit Pb-Zusatz gefahrenen
Ventils B 1



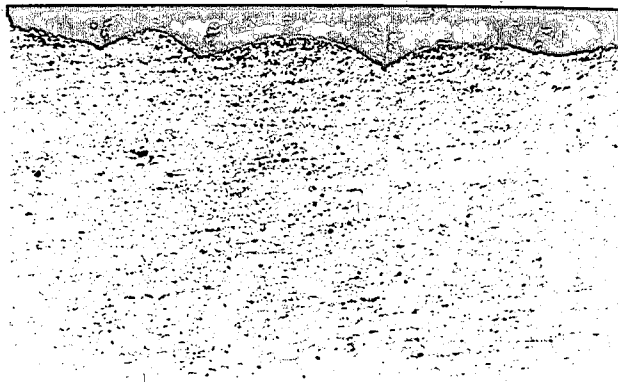
V = 2

Bild 18: Tellerfläche des
gebrochenen Ventils B 2



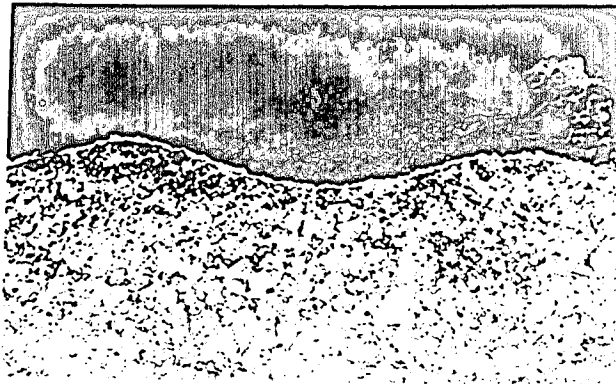
V = 200

Bild 19: Kegel A



V = 50

Bild 20: Kegel B 1
Übersicht



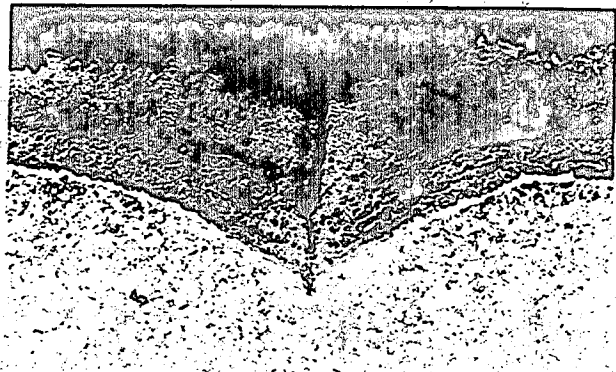
V = 200

Bild 21: Kegel B 1



V = 200

Bild 22: Kegel B 1



V = 200

Bild 23: Kegel B 1



V = 200

Bild 24: Ausläufer des Hauptrisses im
Ventilteller des gebrochenen Ventils B 2



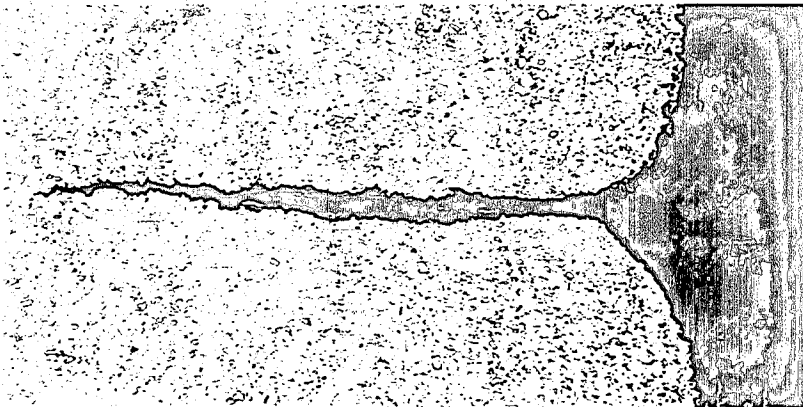
V = 200

Bild 25: Kegel B 2



V = 200

Bild 26: Kegel B 2



V = 200

Bild 27: Kegel B 2

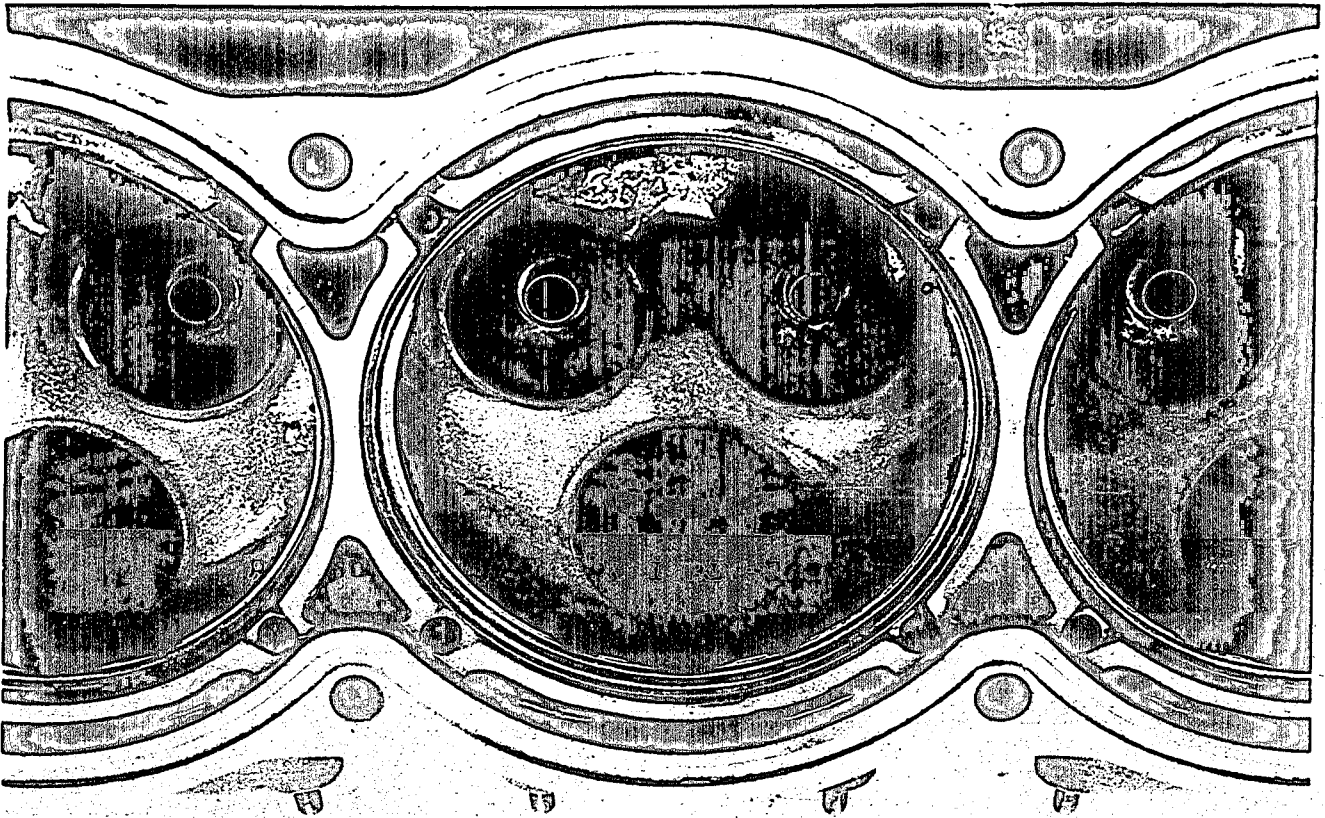


Abb. 28 Zylinderkopf I BTA-Zusatz 0,12%

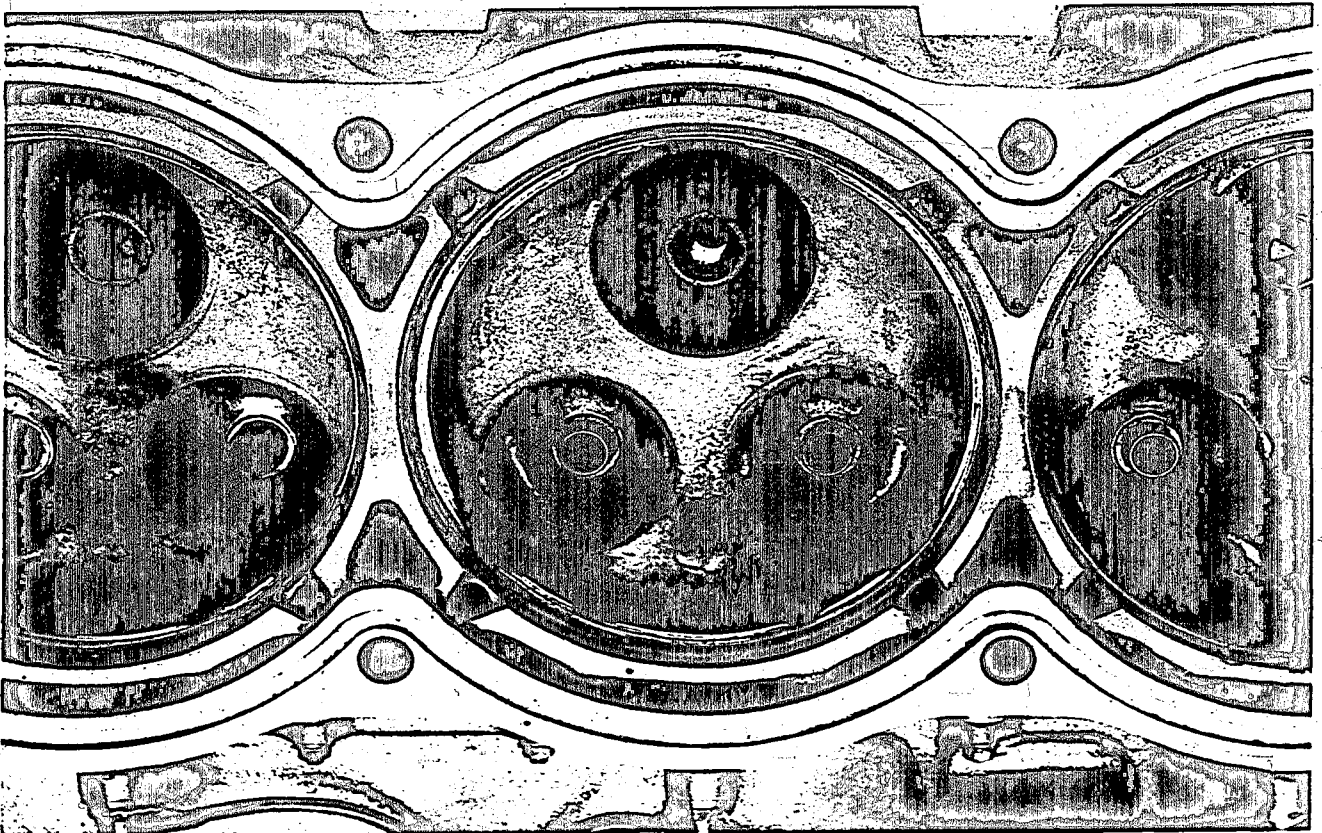


Abb. 29 Zylinderkopf II BTA-Zusatz 0,09%

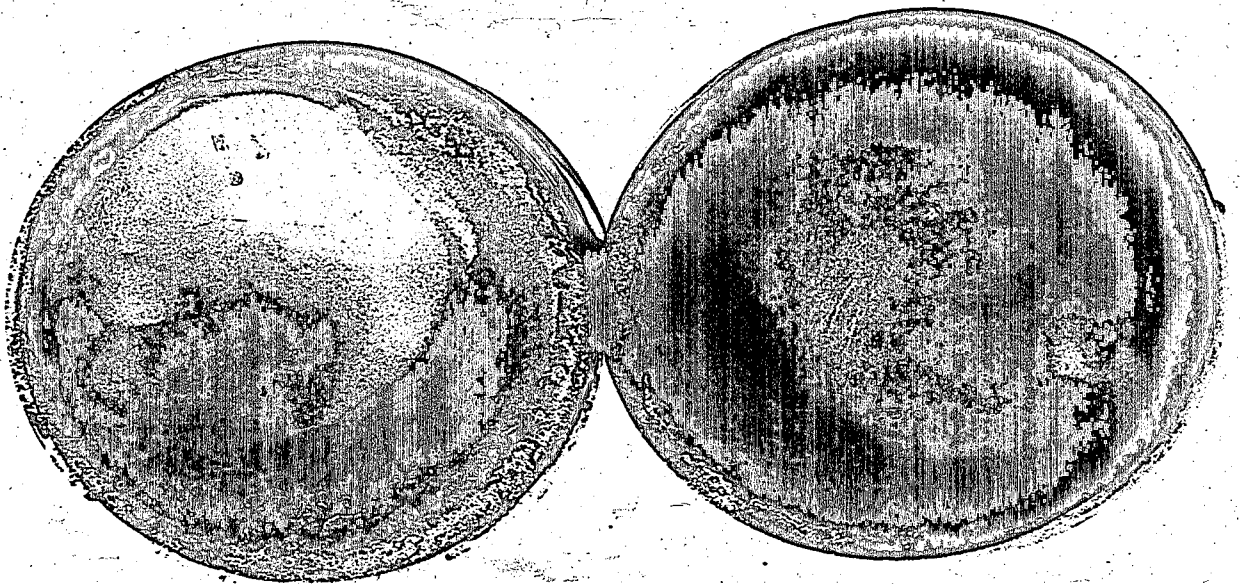


Abb. 30 Linker Kolben BTÄ-Zusatz 0,12%
Rechter Kolben BTÄ-Zusatz 0,09%

942

Abb. 31 Auslassventilteller: obere Reihe PTK-Zusatz 0,12

Auslassventilteller: untere Reihe PTK-Zusatz 0,09

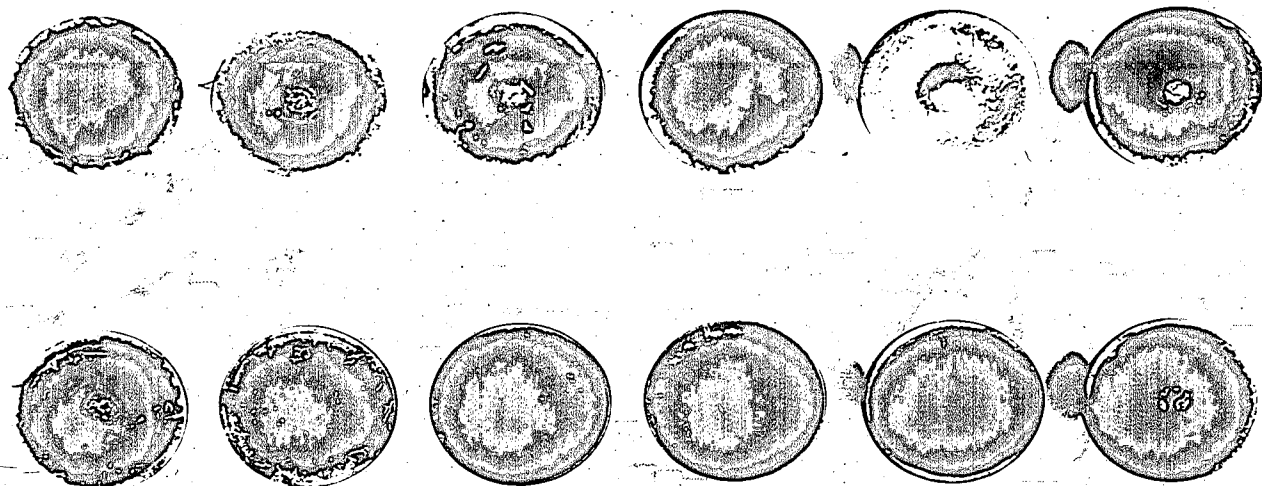
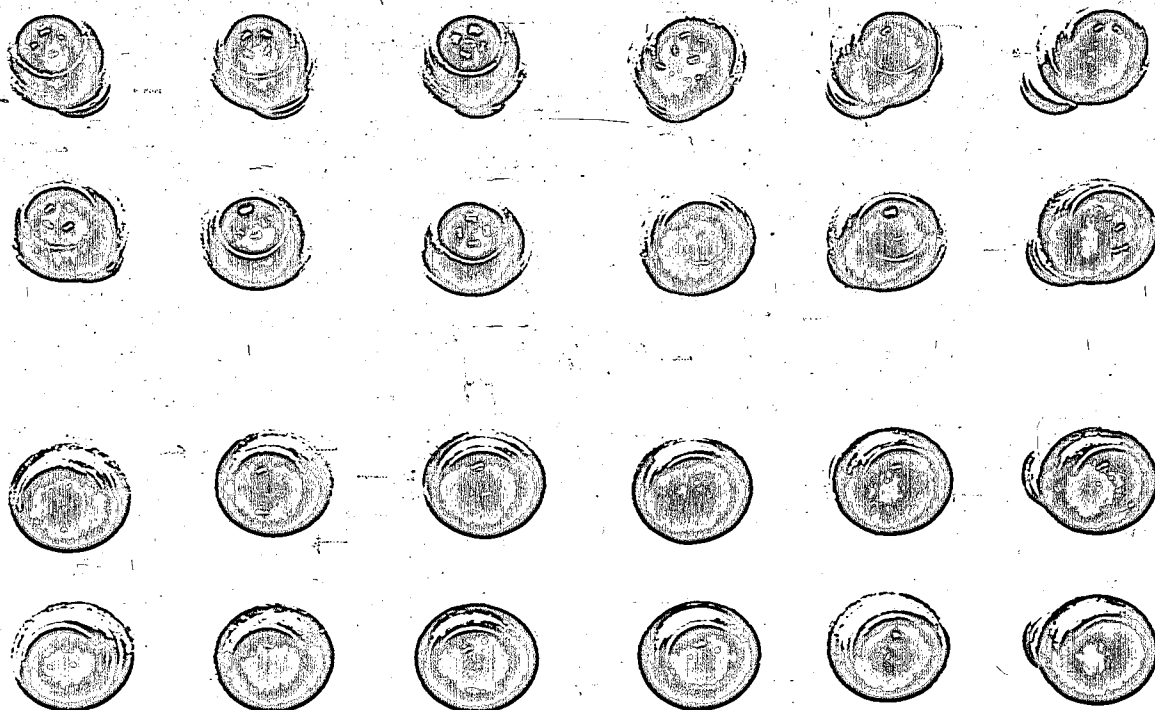


Abb. 32 Die beiden oberen Zündkerzenreihen mit 0,12 PTK-Zusatz

Die beiden unteren Zündkerzenreihen mit 0,09 PTK-Zusatz



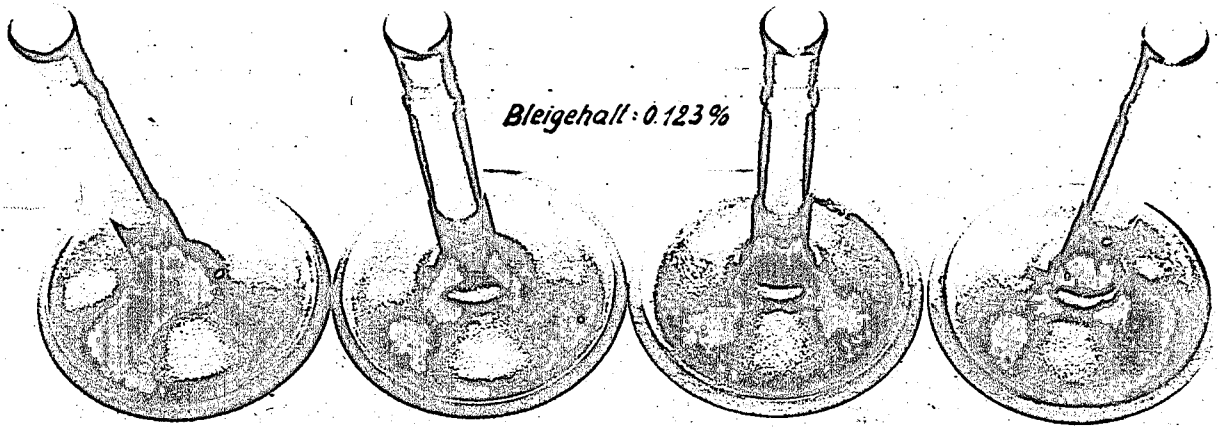


Abb. 33 Auslaßventile: elektrol. gereinigt

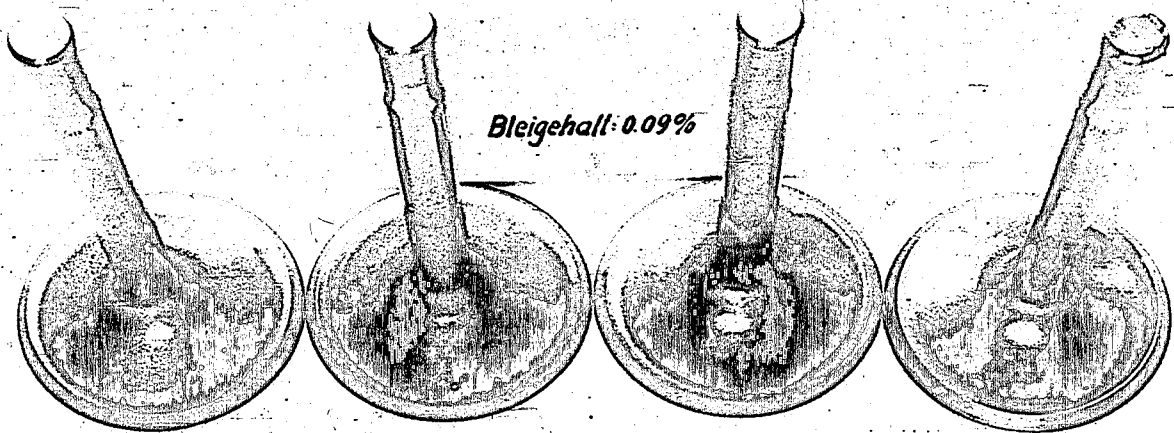


Abb. 34 Auslaßventile: elektrol. gereinigt

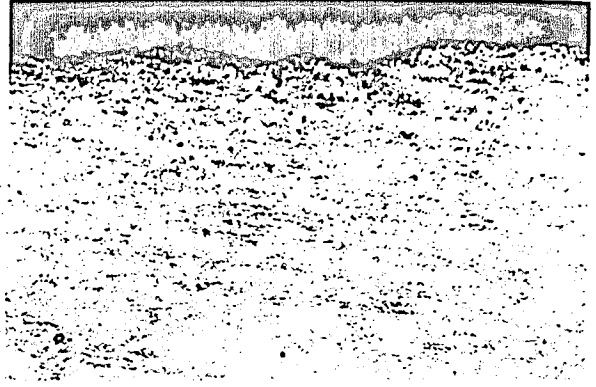
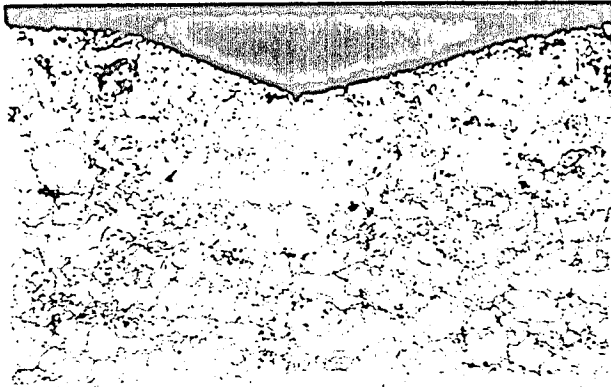


Abb. 35 Schliffbilder von Ventilkegel 6

BTA-Zusatz 0,12%
V=200

Radialschnitt an der Telleroberseite
V=50

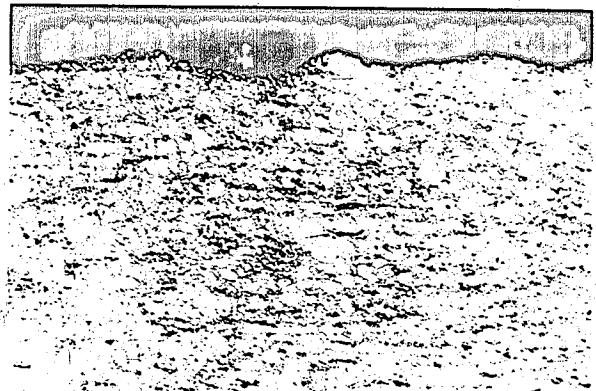
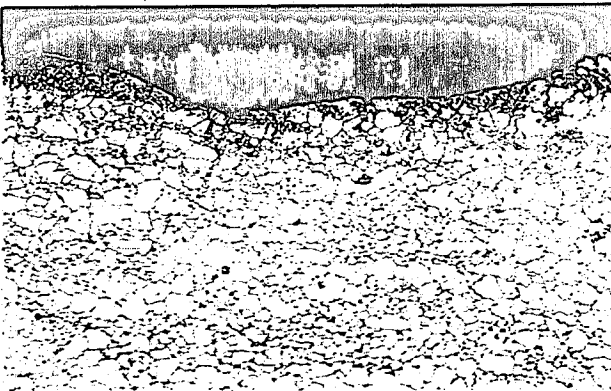


Abb. 36 Schliffbilder von Ventilkegel 12

BTA-Zusatz 0,09%
V=200

Radialschnitt an der Telleroberseite
V=50

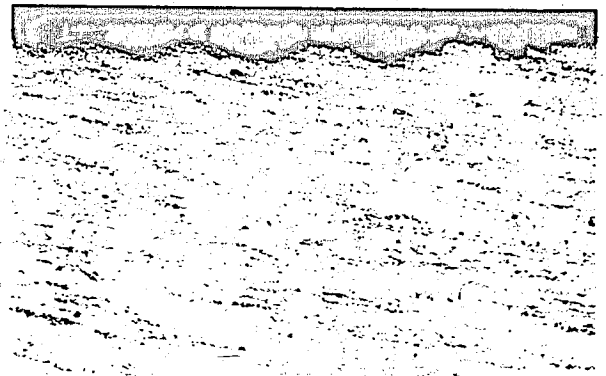
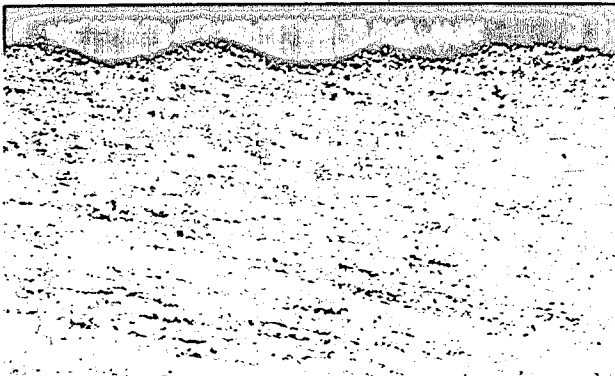


Abb. 37 Schliffbild Ventilkegel 4
BTA-Zusatz 0,12%
V=50

Abb. 38 Schliffbild Ventilkegel 8
BTA-Zusatz 0,09%
V=50