

Flugzeugenteisung durch Mischgas.

Von P. W e u t h e n

Übersicht:

Die Entwicklung der Warmluftenteiser für Tragflügel kann in Bezug auf die Formgebung der Enteisungsanlage im wesentlichen als abgeschlossen angesehen werden. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß eine allen Anforderungen gerecht werdende Enteisung möglich ist, wenn es gelingt, dem Flügel die nötige Wärmemenge zuzuleiten. Neuere Arbeiten beziehen sich deshalb in erster Linie auf die Bereitstellung der Warmluftmenge, die künftig nicht mehr über Wärmeaustauscher vom Triebwerk oder von Warmluftgeräten erzeugt, sondern zwecks Gewichts- und Brennstoffersparnis als Frischluft-Brenngas-Gemisch oder kurz als Mischgas der Enteisungsanlage zugeführt werden soll. Das Verbrennungsgas kann dabei dem Triebwerk oder einem gesonderten Heizofen entnommen werden.

Dieser Bericht vermittelt einen Überblick über die Erprobung und Vermessung einer Enteisungsanlage mit beiden Anordnungen der Mischgaserzeugung.

Gliederung:

- I. Einleitung
- II. Mischgasheizung durch Motorabgase
 1. Die Versuchsanordnung
 2. Die Durchführung der Messungen und Messergebnisse
- III. Mischgasheizung mittels Heizofen
 1. Die Versuchsanordnung
 2. Die Durchführung der Messungen und Messergebnisse
- IV. Zusammenfassung

I. Einleitung.

Die bisherigen Warmluftenteisungsanlagen sehen die Anwendung eines Wärmeaustauschers vor, in dem die Wärme der Abgase des Triebwerks oder eines Brenngerätes über eine Austauschfläche auf Frischluft übertragen wird, die dann dem zu enteisenden Teil des Flügels zugeführt wird. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen hängt in starkem Maße von der Güte dieser Wärmeaustauscher ab, die selbst bei hohem Gewichts- und Kostenaufwand nicht in der Lage sind, die verfügbare Wärmemenge vollständig zu übertragen. Ein Teil der Wärme wird immer noch ungenutzt ins Freie gehen.

Es besteht daher seit langem schon der Wunsch, die Abgase selber entweder ganz oder teilweise als Wärmeträger zur Enteisung zu verwenden. Den hierdurch erzielbaren Vorteilen einer besseren Wärmeausnutzung und Gewichts- und Raumersparnis stehen die Nachteile einer Verunreinigung der Enteisungsanlage und des Flügels, sowie der Explosionsgefahr entgegen. Vor allem letztere hat bisher von der Ausführung solcher Anlagen Abstand nehmen lassen. Wie bereits an dieser Stelle erwähnt werden soll, haben die Messungen gezeigt, daß die von vielen Seiten bezüglich der Korrosions- und Explosionsgefahr gehegten Befürchtungen zu Unrecht bestehen.

Zur Vermeidung derartiger Schäden waren vor allem bei der Entnahme der Brenngase vom Triebwerk besondere Maßnahmen erforderlich. So wurde nach einem Entwurf von Focke-Wulf eine Anlage entwickelt und vermessen, bei der die Abgase eines Triebwerks zunächst ins Freie gingen, um dann in einem gewissen Abstand hinter der Auspuffdüse mit Hilfe einer Fanghutze wieder aufgefangen zu werden. Die Abgase werden auf diese Weise im Freien mit Frischluft vermischt und eine eventuelle Nachverbrennung wird aller Voraussicht nach an dieser Stelle stattfinden. Zum anderen wird durch die freie Weglänge des Abgasstrahles zwischen Auspufföffnung und Hutze eine Übertragung der Abgasschwingungen auf das Rohrsystem des Enteisers zum großen Teil vermieden.

Für die Untersuchung der Mischgasenteisungsanlage mit einer Entnahme des Brenngases aus einem Brenngerät stand ein Kärcher-Ofen BFO 100 (Benzin-Feuer-Ofen / 100 000 kcal/h) zur Verfügung. Der Aufbau des Ofens gewährleistet eine Verbrennung und eine Durchmischung der Verbrennungsgase mit Frischluft bereits im Innern des Gerätes. Er besitzt eine Regelvorrichtung, die das Überschreiten einer bestimmten Höchsttemperatur des Mischgases bei den verschiedenen Flugzuständen verhindern soll.

Als Versuchsträger diente eine FW 200 mit Bramo 323-Triebwerken. Die zweckentsprechende Ausrüstung und Wartung der Maschine, die Funktions- und Dauererprobung der Geräte wurden von der Deutschen Lufthansa TE/VS Prag-Rusin durchgeführt. In den DLH-Berichten 287 [1] und 292 [2] sind die werkstattmäßigen Erfahrungen wie Angaben über Brennstoffverbrauch und Umfang der Verrostung enthalten. Der Außenstelle Prag der AVA Göttingen wurde die Aufgabe zuteil, die Temperatur- und Warmluftverhältnisse an den Mischgasanlagen wie am Enteiser des Flügels zu untersuchen, um die Güte und Wirksamkeit beurteilen zu können. Von der Firma Focke-Wulf wurden einige Schwingungsmessungen vorgenommen, die Aufschluß über den Einfluß der Abgasschwingungen auf Rohrleitungen und Enteisungsanlage des Flügels geben sollten.

II. Mischgasheizung durch Motorabgase

1. Die Versuchsanordnung

Beim Entwurf der Anlage lagen bei Focke-Wulf die Ergebnisse einiger Vorversuche an einem Bodenprüfstand sowie im Nachlauf der Auspuffdüsen einer FW 190 vor, die zwar ein Bild über die Temperaturverhältnisse an den genannten Versuchsständen vermittelten, jedoch keine allgemeinen Richtwerte über Höhe und Verlauf der Temperaturen unter anderen Bedingungen, d.h. bei anderen Flugzeugtypen abgaben. Es wurde deshalb beim Entwurf der Anlage die ursprüngliche Form der Abgasdüsen beibehalten (Bild 1) und im Nachlauf zweier solcher Düsen in einem Abstand von etwa 500 mm eine Auffanghülse angeordnet, deren Eintrittsöffnung in ihrer Form der der Austrittsöffnungen zweier Auspuffdüsen entsprach. Es zeigte sich jedoch schon nach den ersten Flügen, daß die aufgefangenen Wärmemengen

unzureichend waren und daß deren Größe sehr stark von der Abgasdüsenform und deren Lage zur Auffanghütze abhängt. Die Form der Abgasdüsen wurde deshalb während des Verlaufs der Erprobung mehrfach geändert, wie aus den Bildern 1 - 6 ersichtlich ist. Des Weiteren wurden der zu Beginn der Messung noch vorhandene, zur ursprünglichen Enteisungsanlage gehörende Wärmeaustauscher ausgebaut und dadurch die Wärmeverluste in den Abgasleitungen vor dem Austritt vermindert, sowie die zur Enteisung vorgesehene Abgasmenge durch Heranziehung weiterer Zylinder erhöht. Die Auffanghütze, am besten auf Bild 3 und 6 erkenntlich, ist zur Ermittlung ihrer günstigsten Stellung verschiebbar angeordnet. Sie kann gegebenenfalls zur Verminderung des Stirnwiderstandes gänzlich eingefahren werden und schließt dann mit der Motorverkleidung ab. Der gesamte Verschiebeweg beträgt 160 mm. Die Eintrittsöffnung hat eine mittlere Höhe von 75 mm und eine Fläche von $0,034 \text{ m}^2$. Das von der Hütze aufgefangene Gasgemisch wird durch eine Rohrleitung über eine Mengemeßdüse dem Flügelzugeleitet. Am Flügel ist die normale FW 200-Enteisungsanlage mit Ausblasung auf Druck- und Saugseite erhalten geblieben. Die Mischgase wurden jedoch nur der Saugseite zugeführt, während die Druckseite vollkommen abgeschaltet war.

Um ein Gesamtbild der Temperaturverhältnisse zu erhalten, wurde sowohl die Verteilung am Tragflügel, wie auch der Temperaturverlauf im Abgasstrahl sowie am Eintritt in die Fänghütze eingehend untersucht. Die Messungen wurden mittels Thermoelementen nach dem von der AVA-Frag entwickelten Meßverfahren [3] durchgeführt. Die Meßstellenanordnung im Abgasstrahl und vor der Fanghütze ist am besten aus Bild 2 ersichtlich. Mit den hier angeordneten, in Keramikröhren gehaltenen Thermoelementen konnte der Temperaturverlauf in Längsrichtung hinter der Abgasdüse sowie quer dazu vor der Auffanghütze gemessen werden. Auf diese Weise wurden der Mischungsvorgang längs des Abgasstrahls und dessen Temperaturprofil ermittelt. Die aufgefangene Wärme- und Luftmenge wurde durch Temperatur- und Mengemessung in der Rohrleitung festgestellt. Die Lage der Meßstellen ist aus Bild 7 ersichtlich. Die Mischgastemperatur wurde mit drei Thermoelementen in einem Schnitt der Rohrleitung gemessen. Durch diese Anordnung konnte festgestellt werden, wie weit der Mischungsvorgang an dieser Stelle abgeschlossen war.

Aus Bild 8 ist die Anordnung der Meßstellen am Tragflügel zu ersehen. Da beim Einbau der Temperaturmeßanlage nicht bekannt war, daß nur für die Saugseite des Flügels eine Beheizung vorgesehen war, wurden die Meßstellen auch auf der Druckseite angebracht. Sie wurden in Anlehnung an die früher bereits durchgeführte Vermessung der Enteisungsanlage einer FW 200, bei der die Warmluft einem Wärmeaustauscher entnommen wurde, über den Flügel verteilt. Diese Maßnahme bot Gelegenheit zu Vergleichsmessungen und zur Verwendung gleichgearteter Meßstellenhalterungen.

2. Durchführung der Messungen.

Die ersten Messungen galten der Untersuchung der Form und Ausbreitung des Abgasstrahls hinter der Auspuffdüse. Sie sollten zunächst darüber Aufschluß geben, mit welchen Temperaturen am Eintritt der Fanghütze zu rechnen war, bevor diese ausgefahren wurde. Erst dann sollte durch Verschieben der Hütze die günstigste Stellung ermittelt werden, bei der dem Flügel die größtmögliche Wärmemenge zugeführt werden konnte. Wie schon erwähnt, stellte sich gleich zu Anfang heraus, daß die aufgefangenen Wärmemengen unzureichend waren. Die Abgasanlage mußte daher mehrfach abgeändert werden, bis die Verhältnisse am Flügel den Werten der ursprünglichen Form des Warmlufteinlers mit Wärmeaustauscher gleichkamen. Die Änderungen erstreckten sich auf die Form der Auspuffdüse und den Abstand der Austrittsebene von der Fanghütze, zum anderen wurde eine Verbesserung dadurch erreicht, daß der noch vorhandene Wärmeaustauscher im weiteren Verlauf der Untersuchungen ausgebaut wurde, und daß ferner die Zahl der zur Enteisung herangezogenen Zylinder schrittweise bis zu drei erhöht wurde.

Bei der Auswertung der Messungen zeigte sich, daß die Temperaturverteilung hinter den Abgasdüsen stark von der Form und Lage derselben abhängt. Bei einem Teil der Ausführungen streicht der Abgasstrahl dicht an der Motorverkleidung entlang, bei einem anderen verläuft er in größerem Abstand von derselben. Infolge dieser Lageverschiebung, die nur durch Zufälligkeiten in der Fertigung der Düsen bedingt war, ist auch die Fanghützenstellung, bei der die größte Wärmemenge aufgefangen wird, jeweils eine andere. In Bild 9 ist zunächst die Temperaturabfall über den Verlauf des Abgasstrahls ersichtlich. Die Lage des Höchstwertes bei den verschiedenen Ausführungsformen der Abgasdüsen und die

Höhe der dabei auftretenden Temperaturen sind aus Bild 10 zu ersehen. Auf dem linken Teil des Bildes ist der Abstand der Auspuffdüse von der Meßebene und von der Fanghutze angegeben. Die Temperaturverhältnisse bei der 5. Änderung konnten nicht mehr ermittelt werden, da hier infolge des geringen Abstandes der Abgasdüse von der Fanghutze der Meßrechen entfernt werden mußte.

Bild 11 vermittelt einen Ueberblick über die Größe der aufgefangenen Wärmemengen bei den verschiedenen Ausführungen der Auspuffdüsen und über den Einfluß der Hutzenstellung. Eine Besserung der Verhältnisse nach der 5. Änderung ist klar erkenntlich.

Zu Beginn der Messungen war die Forderung gestellt worden, daß mit Rücksicht auf die Werkstofffestigkeit am Flügeleintritt eine Warmlufttemperatur von 150° C nicht überschritten werden sollte.

Mit der 5. geänderten Form der Abgasdüse wurde eine Erwärmung erzielt, die als ausreichend erachtet wurde, um den Flügel eisfrei zu halten. Mit dieser Düsenform wurde daraufhin eine eingehende Untersuchung der gesamten Anlage durchgeführt. Sie erstreckte sich im wesentlichen auf Flugmessungen in vier verschiedenen Höhen bei vier Geschwindigkeiten. Zur Vermeidung einer Fälschung der Meßwerte durch Sonneneinstrahlung wurde bei bedecktem Himmel oder nachts geflogen. Zu Beginn einer jeden Messung wurde die Fanghutze solange verschoben, bis am Flügeleintritt die höchsten Temperaturen auftraten. Es zeigte sich dabei, daß diese Hutzenstellung, bei der im Flügel die höchsten Temperaturen erzielt wurden, nur in geringen Grenzen von der Flugeschwindigkeit und Höhe abhängig ist. (Bild 12 und 13).

Infolge der praktisch trägheitslosen Temperaturanzeige weisen die Werte in Bild 12 und 13 naturgemäß geringe Streuungen auf, da jede Geschwindigkeitsänderung und jede Anstellwinkeländerung eine Änderung des Mischungsvorganges und damit der Temperatur und der aufgefangenen Wärmemenge zur Folge haben. Dies trifft in erster Linie für die Temperatur des warmen Gases im Zuführungrohr und am Flügeleintritt zu, während die Temperaturen zum Flügelende hin diese Schwankungen nur noch wenig und die Blechtemperaturen praktisch gar nicht mitmachen. Der Einfluß der Flugeschwindigkeit (Bild 12) wirkt sich dahin aus, daß die mit der erhöhten Triebwerksleistung verbundene Geschwindigkeitssteigerung

neben einem Anstieg des Gasdurchsatzes auch höhere Gastemperaturen zur Folge hat. Demnach wächst auch die aufgefangene Wärmemenge mit zunehmender Fluggeschwindigkeit an. Bei veränderlicher Flughöhe (Bild 13) bleibt die Wärmemenge annähernd konstant, da der Anstieg der Temperatur mit einem Abfall des durch den Enteisungsströmenden Gasgewichtes verbunden ist. Bei den hier ausgeführten Flugzuständen - es handelt sich nur um Horizontalflüge in Beharrungszustand - bei denen der zahlenmäßige Zusammenhang von Motorleistung und Fluggeschwindigkeit gewahrt bleibt, halten sich die Temperaturen im Bereich der zulässigen Grenzen.

Die Verhältnisse beim Start und im Steigflug wurden durch besondere Messungen ermittelt. Um die Steigflugverhältnisse im Beharrungszustand messen zu können, wurde die Maschine im Horizontalflug mit der Steigfluggeschwindigkeit geflogen, unter Beibehaltung der Steigflugleistung des der Enteisungsanlage zugeordneten rechten Außenmotors. Hierbei wurden folgende Werte gemessen:

Flughöhe	Geschwindigkeit	Gasdurchsatz	Temperat.	Wärmemenge
2000 m	200 km/h	0,3 kg/s	140° C	59000 kcal/h

Während hier in 2000 m die Temperatur am Flügelseintritt noch unterhalb der zulässigen Höchstgrenze lag, wurden während eines Steigfluges in 4000 m Temperaturen von annähernd 170° C gemessen. Da es sich hierbei jedoch um Δt -Werte handelt, also um Temperaturdifferenzen zwischen Außenluft und Warmluft, andererseits in diesen Höhen mit Lufttemperaturen unterhalb des Gefrierpunktes gerechnet werden kann, ist die Gefahr des Zuwarmerwerdens nur unerheblich. Beim Start liegen die Werte eindeutig unterhalb der zulässigen Höchstgrenzen.

Der Temperaturabfall über die Rohrleitung von der Fanghülse bis zum Flügelseintritt ist ganz erheblich und beträgt bei manchen Flugzuständen bis zu 20 %/o. Der Verlust ist auf mangelhafte Wärmeisolierung der langen und stark gewundenen Rohrleitung zurückzuführen. Auch eine zu Beginn der Messungen nachträglich angebrachte dünne Isolierung konnte daran nur wenig ändern.

Bei der Untersuchung der Temperaturverteilung am Flügel [3] wurden ähnliche Verhältnisse festgestellt, wie sie bei den seinerzeit durchgeführten Messungen am Tragflügel einer FW 200 unter Verwendung eines Wärmeaustauschers zur Warmlufterzeugung beobachtet wurden.

In Bild 14 ist der Verlauf der Temperaturen über die Spannweite bei verschiedenen Flugzuständen aufgetragen. Hier ist wie auch bei den früheren Messungen der starke Temperaturabfall zum Flügelende hin zu erkennen, ein Zeichen dafür, daß das warme Gas infolge des sich stark verjüngenden Kanalquerschnittes und vor allem infolge der am Austrittspalt herrschenden Druckverhältnisse, das Flügelende nicht mehr erreichte. Motorleistung und Flughöhe verändern naturgemäß die Lage der Kurven. Der Temperaturanstieg mit zunehmender Höhe ist eine Folge des geringeren gewichtsmäßigen Gasdurchsatzes, vor allem des Anteils an beigemengter Frischluft. Der Abgasanteil dürfte bei gleichbleibendem Ladeabdruck etwa derselbe bleiben.

Aus Bild 15 ist der Temperaturverlauf über die Tiefe des Profils erkenntlich. Es zeigt sich hier eine Spitze im Bereich der Staulinie und eine zweite hinter dem Austrittspalt auf der Saugseite. Die einseitige Erwärmung ist eine Folge davon, daß das warme Gas allein dem Saugseitenteil der Enteisungsanlage zugeführt wird. Der Temperatursprung im Bereich der Staulinie läßt sich damit erklären, daß an dieser Stelle die Trennwand zwischen dem warmen Oberteil und dem kalten Unterteil mit dem Nasenblech vernietet ist.

Nach Abschluß der ersten Messreihe wurde die Anlage einer Dauererprobung mit einer Flugzeit von ca. 50 Stunden unterzogen. Anschließend wurden Stärke und Einfluß der Verrußung ermittelt. Gleichzeitig mit dieser Dauererprobung lief die Untersuchung des Kärchlofens, der am anderen Tragflügel eingebaut war.

Die Stärke des Rußbelages ist an den verschiedenen Stellen der Enteisungsanlage sehr unterschiedlich und beträgt den Messungen der DLH zufolge bis zu 15 g/m^2 [2]. Besonders solche Stellen neigen zu einem starken Rußansatz, wo die Warmluftgeschwindigkeiten klein oder die Kühlung der Bleche von außen sehr groß ist. Der Einfluß der Verrußung auf den Wärmeübergang und damit auf die äußeren Blechtemperaturen ist meßbar, jedoch unbedeutend. In Bild

16 ist nochmals die Temperaturverteilung über die Tiefe des Profils und zwar der Vergleich zwischen einer Messung zu Beginn und am Ende der Erprobungszeit angezeigt. Die aufgetragenen Werte sind jeweils auf die Temperatur t_3 , also die Temperatur in der Nasenkammer im Schnitt III bezogen, das also fälschende Einflüsse bei den zu gänzlich verschiedenen Zeiten geflogenen Zuständen ausgeschaltet sind. Die Abweichung der beiden Kurven ist zwar gering und die Streuung liegt in Anbetracht der vielen Fehlerquellen fast innerhalb der Meßgenauigkeit, es ist jedoch eindeutig erkennbar, daß die Temperaturen zu Beginn der Erprobung, also ohne Rußbelag höher liegen als am Ende.

Im Hinblick auf die weitere Verwendung und den serienmäßigen Einbau kann über diese Art der Mischgaserzeugung abschließend folgendes gesagt werden:

Grundsätzlich ist es möglich, eine für die Enteisung des Tragflügels genügend große Wärmemenge bereitzustellen. Da aus Festigkeitsgründen die obere Temperaturgrenze des Mischgases festliegt, muß zur Erzielung der notwendigen Wärmemenge für einen entsprechenden großen Gasdurchsatz Sorge getragen werden. Diese Forderung setzt einen geringen Druckverlust in den Rohrleitungen voraus. Eine möglichst kurze Verbindung zwischen Fanghütze und Enteisler bei aerodynamisch günstiger Formgebung ist dafür die Voraussetzung. Zur Vermeidung von Wärmeverlusten ist weiterhin eine ausreichende Isolierung der Rohrleitung von besonderer Wichtigkeit. Diese hat sich auch auf die rückwärtige Schottwand der Nasenkammer zu erstrecken. Die hier auftretenden Verluste werden am besten durch die an einer Stelle der ungeschützten Schottwand gemessene Blechtemperatur (t_{43}) von 95°C (bei Steig- und Kampfleistung) veranschaulicht.

Größe, Form und Lage der Fanghütze sowie die Ausbildung der Auspuffdüsen sind für die aufgefangene Wärmemenge und die Höhe der Temperaturen von größter Bedeutung. Zu Beginn der Messungen hatte es den Anschein, als ob für die Stellung der Fanghütze eine besondere, von der Fluggeschwindigkeit abhängige, feinstufige Regelung notwendig wäre, um den zulässigen Temperaturbereich beherrschen zu können. Dies würde mit einer zusätzlichen Belastung der Flugzeugbesatzung gleichbedeutend sein oder eine selbsttätige Regelung voraussetzen. Im Verlauf der Dauererprobung, bei der eine mittlere, für Reisegeschwindigkeit günstigste Stellung der Fanghütze beibehalten wurde, hat sich herausgestellt, daß die vorge-

nannten Bedenken unbegründet waren. Ueber die gesamte Dauer der Erprobung wurde die Hutze auch für Start- und Steigflug nicht mehr eingefahren und laufende Kontrollmessungen ergaben, daß die zulässigen Grenzen für die Temperaturen am Enteisler nicht überschritten wurden. Lediglich für die Rohrleitungen zwischen der Fanghutze und dem Eintritt in den Flügelenteiser müssen Temperaturen in Kauf genommen werden, wie sie für tragende Teile wohl unzulässig wären. Sie können vor allem im vorderen Teil gleich hinter der Fanghutze, wo der Mischvorgang noch nicht restlos abgeschlossen ist, 200°C erreichen.

Bei der serienmäßigen Verwendung der Anlage wird man sich auf zwei Stellungen der Fanghutze ("Eingefahren - Ausgefahren") beschränken können. Die Justierung wird für jede neue Flugzeugtype an Hand von Messungen vorgenommen werden müssen. Im übrigen ist es von größter Wichtigkeit, daß die Abgasdüsen und Hutzen innerhalb einer Serie in der äußeren Form und Gestaltung untereinander vollkommen gleich ausgeführt und an das Flugzeug angebaut werden, da sich bereits kleine Abweichungen sehr nachteilig auf die Größe der aufgefangenen Wärmemenge auswirken können.

III. Mischgasheizung mittels Heizofen.

1. Versuchsanordnung.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, wurde als zweite Anordnung der Mischgaserzeugung ein Brenngerät der Firma Kärcher in Verbindung mit der Enteisungsanlage des linken Flügels der FW 200 untersucht. Dieser Kärcher-Ofen BFO 100 stellt eine Weiterentwicklung der früheren BLO-Geräte dar, nur mit dem Unterschied, daß keine Wärmetübertragung mehr über eine Austauschfläche auf Luft vor sich geht, sondern daß die Brenngase im Ofen mit Frischluft gemischt und so direkt zur Erwärmung herangezogen werden. Zur Vermeidung größerer konstruktiver Umbauten am Tragflügel wurde der Ofen unterhalb des Flügels aufgehängt und mit einer Blechverkleidung versehen. Diese Anordnung bot im Hinblick auf die Gefahr eines Brandes gewisse Vorzüge. Da es sich um ein vollkommen neuartiges Gerät handelte, mußte mit dieser Möglichkeit gerechnet werden, obwohl die Untersuchungen am Boden bei der Firma Kärcher und im Höhenprüfstand des Forschungsinstitutes für Kraftfahrwesen Stuttgart (Prof. G. Kamm) erfolgreich und ohne Störungen abgeschlossen worden waren. Die bezeichnete Lage des Ofens ermöglichte ferner eine kurze Rohrverbindung zum Enteisler

und gab damit die Gewähr für geringe Druckverluste. Seine Anordnung am Flügel und die schematische Darstellung seines Aufbaues sind aus den Bildern 17 - 20 ersichtlich.

Die Wirkungsweise des Gerätes ist wie folgt kurz geschildert: Die zur Verbrennung notwendige Luft wird durch das innere Rohr (70 Ø) einem porösen Keramikstein zugeführt, der ständig mit Brennstoff getränkt wird. Bei Inbetriebnahme des Ofens wird durch eine Glühkerze einmalig gezündet. Die heißen Brenngase strömen von hier innerhalb des Ringsylinders mit 193 mm Durchmesser nach vorn, wo sie im vorderen Teil des Gerätes mit Frischluft gemischt werden, um dann als Frischluft-Brenngas-Gemisch durch die Austrittsöffnung (200 Ø) über die Rohrleitung dem Enteiser des Flügels zugeleitet zu werden. Die Brennstoffzufuhr wird durch einen Temperaturschalter geregelt, so daß eine festgesetzte Höchsttemperatur des Mischgases nicht überschritten wird. Der Brennstoff läuft über zwei getrennte Leitungen zu und wird durch zwei kalibrierte Blenden gemessen. Durch die eine Leitung mit einer kleinen Blende fließt der Kraftstoff ständig, die zweite Leitung mit einem größeren Durchfluß unterliegt der schon bezeichneten Regelung durch einen Temperaturschalter. Die kleine Menge soll so bemessen sein, daß bei allen auftretenden Fluglagen die zulässige Höchsttemperatur nicht überschritten wird. Bei Unterschreiten einer bestimmten Temperaturgrenze wird die große Menge zugeschaltet und fließt so lange, bis die Höchsttemperatur erreicht ist und ein erneutes Abschalten herbeiführt. Mit Rücksicht auf die Festigkeit tragender Bauteile wurde die Höchsttemperatur auf 150° C am Enteisereintritt festgesetzt.

Die Rohrleitung, die den Ofen mit dem Enteiser des Flügels verbindet, wurde auf dem Wege zum Eintritt in den Enteiser gegabelt, um den Druck- und Saugseitenteil gesondert beliefern zu können (Bild 20). Da mit verschiedenen Druckverhältnissen auf Ober- und Unterseite gerechnet werden mußte, wurde an der Gabelung eine Klappe angeordnet, mit der die Verteilung geregelt werden konnte.

Die Größe des Gasdurchsatzes wurde mit Hilfe von drei Prandtlrohren gemessen, die in einem ein Meter langen, geraden Einlaufrohr von der Eintrittsöffnung des Ofens eingebaut waren. Um die Verteilung der Luftmenge für Druck- und Saugseite im Versuch regeln zu können, befand sich ebenfalls im geteilten Zuführungsrohr je ein Prandtlrohr. Bei einem Teil der Meßflüge wurde ferner

noch die Größe der Brennluftmenge mit Hilfe einer im inneren Rohr des Ofens (70 Ø) eingebauten Sonde gemessen. Auf diese Weise konnte die bei der Verbrennung vorliegende Luftüberschusszahl ermittelt werden.

Die Gastemperatur wurde an folgenden Stellen bestimmt: Einmal wurden in einem Schnitt der Rohrleitung kurz hinter der Austrittsöffnung des Ofens drei Meßstellen angeordnet. Sie waren gegen Strahlungseinflüsse geschützt und so über den Querschnitt der Leitung verteilt, daß die hier gemessenen Temperaturen Anhaltspunkte darüber geben konnten, wie weit der Mischungsvorgang der warmen und kalten Gase an dieser Stelle abgeschlossen ist. Des weiteren wurde am Eintritt in den Enteisler des Flügels auf Druck- und Saugseite je ein Thermometer eingebaut, um die Temperaturen der am Enteisler eintreffenden Gase messen zu können.

So war also die Möglichkeit gegeben, Temperatur und Menge des Mischgases und damit auch die Wärmemenge ermitteln zu können.

Zur Vermeidung von Wärmeverlusten wurde die Rohrleitung weitgehend, der Ofen selbst, abgesehen von der Blechverkleidung, nicht weiter isoliert. Um das Ausmaß der Wärmeverluste des Ofens festzustellen, wurde seine Oberflächentemperatur an zwei Stellen mitgemessen.

Zur Ermittlung der Temperaturverhältnisse am Tragflügel wurde dieser in ähnlicher Weise wie der rechte Flügel mit Meßstellen versehen, deren Anordnung aus Bild 21 ersichtlich ist.

II. Durchführung der Versuche und Meßergebnisse.

Wie im ersten Teil der Untersuchung erstreckten sich die Messungen auch hier einmal auf den Mischgas erzeugenden Teil der Anlage, zum anderen auf den durch Mischgas beheizten Enteisler am Flügel. Die Erprobung und Vermessung des Heizgerätes sollte über dessen Betriebssicherheit und Leistung Aufschluß geben, die Untersuchung des Enteislers ein Bild über die Brauchbarkeit des Verfahrens bezüglich Enteislerwirkung und Verrußung vermitteln. Wie schon früher erwähnt, oblag der DLH TE/VS Prag-Rusin die werkstattmäßige Erprobung des Gerätes, die sich neben der Wartung und Ueberwachung auch auf die Vermessung des Brennstoffverbrauches bei den einzelnen Versuchsbedingungen und auf die Ueberprüfung der Mischgaszusammensetzung und des Rußbelages erstreckte [2] .

Die Temperaturmessungen wurden wiederum nach dem schon genannten Verfahren mit Thermoelementen durchgeführt. Die Untersuchung der Anlage erfolgte bei Horizontalflügen über den verfügbaren Geschwindigkeitsbereich in verschiedenen Höhen bis zu 5000 m.

Beim ersten Meßflug zeigte sich, daß der Temperaturschalter, der die zulaufende Brennstoffmenge gemäß der zulässigen Höchsttemperatur regelt, bei mittleren Fluggeschwindigkeiten in sehr kurzen Zeitabständen die große Brennstoffmenge zu- und wieder abschaltet. Dabei verhielten sich die Brennstoffmengen wie 1 : 2 : 3, d.h. die kleine Menge betrug ca. 6 l/h, die große 12 l/h und der Gesamtverbrauch 18 l/h. Da nun in dem Falle, wo der Temperaturschalter die große Menge zuschaltet, ein Gesamtzulauf von 18 l Brennstoff pro Stunde erfolgt und damit eine dem Heizwert des Benzins entsprechende Wärmemenge von ca. 140 000 kcal/h (Sollwert des Ofens 100 000kcal/h ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades) frei wird, steigen die Temperaturen infolgedessen plötzlich stark an, worauf dann sehr schnell wieder die große Brennstoffmenge abgeschaltet wird. Diesen ständigen Wechsel des Brennstoffverbrauches machen die Temperaturen naturgemäß mit und erschweren dadurch ein genaues Messen, da nur in den seltensten Fällen Beharrung eintritt. Es kann auf diese Weise ein oberer und ein unterer Wert gemessen werden, der nur im Falle einer Beharrung, die für den oberen Wert bei großen Fluggeschwindigkeiten, für den unteren bei kleinen Fluggeschwindigkeiten, auftritt, ein Maß für die Größe der erzeugten Wärmemenge ist.

Um hier bessere Meßbedingungen zu schaffen, wurde zunächst durch Auswechseln der Blende die große Brennstoffmenge auf die Hälfte herabgesetzt. Es betragen demnach bei den folgenden Messungen die kleine wie die große Menge 6 l/h und die Gesamtmenge beim Durchfluß durch beide Leitungen 12 l/h. Auf diese Weise konnte über einen größeren Geschwindigkeitsbereich bei Beharrung gemessen werden. Der erste Teil der Untersuchung wurde mit dieser Anordnung durchgeführt, anschließend jedoch die ursprünglichen Verhältnisse wieder hergestellt, um auch den vorgesehenen Betriebszustand zu erfassen.

Noch ein weiterer Umstand gab nach dem ersten Flug Anlaß zur Verminderung der Brennstoffmenge. Die ungleichmäßige Verteilung der Gasmenge und Temperaturen auf Druck- und Saugseite machte eine Betätigung der Verteilerklappe am gegabelten Zuführungsrohr erforderlich. Durch einen unglücklichen Umstand klemmte die Klappe in einer bestimmten Stellung, so daß eine weitere Betätigung nicht

möglich war. Die Stellung der Klappe war dabei derart, daß der weitaus größere Teil des Mischgases der Druckseite des Flügels zufließt. Da der Regelschalter, der den Brennstoffzulauf regelt, an einer ungeeigneten Stelle saß, traten infolge der einseitigen Ausblasung und des damit verbundenen geringeren Luftdurchsatzes am Enteisler auf der Druckseite Temperaturen auf, die das zulässige Maß weit überschritten, ohne daß der Regelschalter rechtzeitig abgeschaltet hätte. Wie später noch gezeigt wird, ist die Durchmischung des Heizgases am Austritt des Ofens derart unvollkommen, daß die bezeichnete Stelle für die Anbringung des Temperaturschalters denkbar ungeeignet ist. Der Schalter wurde deshalb hier entfernt und in einem Abstand von etwa einem Meter von der Austrittsöffnung in der Rohrleitung untergebracht.

Dieser Vorgang zeigt, daß es selbst bei einem großen Tragflügel wie dem der FW 200 nicht einfach ist, eine derart große Wärmemenge unterzubringen und welche Bedeutung bei einer festgesetzten Höchsttemperatur der Größe des Luftdurchsatzes und damit der Druckverluste in den Rohrleitungen zukommt.

Die Zeitfolge, mit der die zusätzliche Brennstoffmenge zu- und wieder abgeschaltet wird, ist, wie schon erwähnt, von der Fluggeschwindigkeit und damit von der Größe des Gasdurchsatzes abhängig. Zur Veranschaulichung dieses wechselnden Brennstoffzuflusses ist in Bild 22 und 23 der Verbrauch bei großer und kleiner Blende unter sonst gleichen Bedingungen über der Zeit aufgetragen.

Die Temperaturverteilung am Austritt des Ofens läßt erkennen, daß die Durchmischung der Gase an dieser Stelle recht unvollkommen ist. Aller Voraussicht nach werden bei der liegenden Bauart des Ofens die heißen Gase den kürzesten Weg suchen und dabei den oberen Teil des Gerätes benutzen. Der heiße Kern des Gasstromes liegt anscheinend am hinteren Rand des Austrittsquerschnitts. Am Eintritt in den Enteisler sind die Temperaturen jedoch einigermaßen ausgeglichen. Mittels der Verteilerklappe und mit einer später noch beschriebenen Hilfsmaßnahme konnten jedenfalls die Temperaturen am Flügelintritt wie auch über die Länge des Flügels für eine mittlere Fluggeschwindigkeit so eingeregelt werden, daß sie auf Druck- und Saugseite übereinstimmten. Die Temperaturen der Meßstellen 19, 21 und 22, deren Lage auf Bild 20 erkenntlich ist, wurden über den Verlauf einer Schaltperiode gemessen und mit

Hilfe eines Registriergerätes aufgezeichnet. Der Verlauf der Temperaturen ist in Bild 24 über der Zeit aufgetragen. Der Vorgang umfaßt eine Zeit von etwa 50 sec, in der die kleine Brennstoffmenge dauernd fließt und während der die große Menge je einmal zugeschaltet und abgeschaltet wird. Wie aus den stetig abfallenden Kurven vor dem Umschalten auf große Menge hervorgeht, wird eine vollständige Beharrung nicht erreicht. Die Temperatur der Meßstelle 21 erfährt einen sehr steilen Anstieg auf den dreifachen Ausgangswert und erreicht im Zeitpunkt des Umschaltens den doppelten Wert wie die im gleichen Rohrquerschnitt befindliche Meßstelle 22. Dieser schon oben erwähnte einseitig gelagerte Kern ist also nur beim Zulauf der großen Brennstoffmenge vorhanden. Die Krüve 19 veranschaulicht die Verhältnisse am Eintritt in den Enteisler. Sie liegt naturgemäß etwas tiefer als die anderen. Bei einwandfreier Durchmischung wäre die Differenz ein Maß für die Wärmeverluste in der Rohrleitung. Die Schwankungen in den Kurven sind eine Folge von Ungleichmäßigkeiten in der Gasgeschwindigkeit. (Die Werte der einzelnen Kurven wurden nicht gleichzeitig aufgenommen). Jede Anstellwinkel- und Geschwindigkeitsänderung tritt vor allem bei den hohen Temperaturen der Meßstelle 21 stark in Erscheinung.

Ueber die ungleichförmige Durchmischung der Gase im Ofen muß an dieser Stelle noch einiges berichtet werden: Der Uebelstand ist gleich zu Beginn der Messungen wahrgenommen worden und soll auch der Fa. Körber aus Bodenuntersuchungen bekannt gewesen sein. Er gab neben anderen Dingen Veranlassung zu einer geringfügigen Umkonstruktion des Ofens. Diese endgültige Ausführung des Gerätes, in der durch Einbau von Leitblechen eine Durchwirbelung des Gases angestrebt wurde, ist am Ende der Erprobungszeit auch noch im Fluge untersucht worden. Ueber die Ergebnisse wird unten berichtet. Bei dem zunächst vorhandenen Gerät wurde durch Einbau eines Drallkörpers in die Austrittsöffnung eine behelfsmäßige Verbesserung der Anlage angestrebt. Die in Bild 24 aufgezeichneten Kurven stellen die Verhältnisse mit eingebautem Drallkörper dar. Durch diese Maßnahme konnte die Durchmischung wesentlich verbessert werden, sie führte jedoch, wie aus Bild 24 hervorgeht, nicht zum vollen Erfolg. Jedoch kann man die Durchmischung am Eintritt in den Enteisler als vollständig ansehen.

Längs der Rohrleitung und am Ofen selbst treten naturgemäß Wärmeverluste auf, die einen Abfall der Leistungen zur Folge hatten und die Größe des gesamten Wirkungsgrades beeinflussten. Die an zwei Stellen des Ofens gemessenen Oberflächentemperaturen, die bei den verschiedenen Versuchsbedingungen zwischen 40 und 60°C liegen, geben ein ungefähres Bild über die Größe dieser Verluste. Die Lage der Meßstellen ist auf Bild 18 mit Pfeilen bezeichnet. Die den Ofen umgebende Blechverkleidung schloß überall dicht an, so daß damit gerechnet werden kann, daß innerhalb der Verkleidung keine nennenswerte Luftbewegung stattgefunden hat. Für die folgenden Betrachtungen sind für die Bestimmungen der Wärmemengen die Verhältnisse am Enteisereintritt zu Grunde gelegt.

Die Wärmemenge ist dem Produkt Gasgewicht mal Temperatur proportional. Das Gasgewicht wurde, wie schon früher beschrieben, mit Hilfe von Prandtl-Rohren im Hinlaufrohr zum Kühröfen bestimmt. Dieser Teil der Anlage wurde nachträglich im Gebläse geeicht.

In den Bildern 25 und 26 ist der Verlauf des Gasdurchsatzes, der Wärmemenge und der Gastemperatur am Enteisereintritt abhängig von der Fluggeschwindigkeit dargestellt. Bild 25 zeigt die Verhältnisse mit kleiner, Bild 26 mit großer Brennstoff-Blende. In beiden Fällen sind nur die oberen Werte aufgetragen, d.h. die Werte, die den Temperaturen entsprechen, die beim Zufluß beider Brennstoffmengen gemessen wurden.

Die durchströmende Gasmenge wächst mit zunehmender Geschwindigkeit naturgemäß an, während die Temperatur entsprechend abnimmt. Bei kleinen Geschwindigkeiten liegen die Temperaturen oberhalb der zulässigen Grenze (Bild 26), wahrscheinlich als Folge der Trägheit des Schaltthermometers. Dieses kann offenbar den schnell ansteigenden Temperaturen nach Zuschalten der großen Brennstoffmenge nicht schnell genug folgen. Ähnliches dürfte auch für die Metalltemperaturen am Enteisereintritt gelten. Es ist daher unwahrscheinlich, daß sie die zulässigen Grenzen überschreiten. Die Thermometer im Gasstrom sind infolge der geringen Masse der Thermoelementstützstellen praktisch trägheitslos und zeigen die wirkliche Temperatur des Gases ab, während die Temperaturen der beheizten Metallteile langsamer ansteigen und im Zeitpunkt des Umschaltens die des Gases noch nicht erreicht haben. Dieser Vorgang zeigt daher, welche Bedeutung der Lage des Temperaturschalters zukommt und wie wichtig es ist, denselben gegen Wärmeablei-

tung zu schützen. Die Wärmemenge steigt bei zunehmender Flugeschwindigkeit an, solange kein Beharrungszustand erreicht ist, d.h. solange die Anlage noch schaltet. Das kommt daher, daß bis dahin eine Temperatur gemessen wird, die nicht der Größe der zugesetzten Brennstoffmenge entspricht. In dem Augenblick, da beide Brennstoffmengen ständig fließen, ist die gelieferte Wärmemenge praktisch gleichbleibend. Bei der endgültigen Ausführung des Ofens, die in einem späteren Teil des Berichtes näher beschrieben wird, sind diese Verhältnisse auch in Bezug auf die unteren Werte eingehender untersucht worden. Die Bilder 30 und 31 geben darüber näher Aufschluß. In Bild 26 ist des weiteren noch die Größe der Verbrennungsluft eingezeichnet, d.h. die Luftmenge, die das innere Rohr (70 Ø) des Ofens durchströmt und an der Verbrennung direkt beteiligt ist. Ihre Größe ist ein Maß für die Luftüberschusszahl λ , die für die Verhältnisse beim Zufluß beider Brennstoffmengen ebenfalls im Bild aufgetragen ist. Diese Luftüberschusszahl ist über dem gesamten Geschwindigkeitsbereich größer als 1. Es kann daher unter den vorliegenden Verhältnissen angenommen werden, daß eine vollständige Verbrennung stattfindet.

Der Einfluß der Flughöhe, der aus Bild 27 ersichtlich ist, wirkt sich dahingehend aus, daß die Temperatur mit zunehmender Höhe ansteigt und der Gewichtsdurchsatz des Gases abnimmt, während die verfügbare Wärmemenge praktisch gleichbleibt. Im vorliegenden Falle sind wiederum die oberen Werte, d.h. die Verhältnisse beim Zulauf beider Brennstoffmengen dargestellt. Als Temperatur ist wie üblich die Differenz zwischen Gas- und Außentemperatur aufgetragen. Bei den in großen Höhen auftretenden großen Temperaturunterschieden ist zu bedenken, daß in diesen Höhen die Außentemperaturen erheblich unter 0°C liegen und infolgedessen die absoluten Temperaturen in tragbaren Grenzen bleiben.

Wie aus dem Vorangegangenen zu entnehmen ist, beträgt die dem Enteisler zugeleitete Wärmemenge bei entsprechender Brennstoffmessung in der Größenordnung von etwa 100 000 kcal/h. Diese große Wärmemenge, die bei der Festsetzung der Höchsttemperatur auf 150°C einen bedeutenden Gasdurchsatz voraussetzt, hat natürlich eine über die bisher gekannten Maße hinausgehende starke Aufheizung des Enteislers zur Folge. Durch die große Gasmenge werden ferner die hohen Temperaturen sehr weit zum Flügelende hin vorgetragen, d.h. der Abfall zur Flügelspitze ist nur allmählich. Entsprechend

dieser Temperaturverteilung, die aus Bild 28 ersichtlich ist, kann auf jeden Fall mit einer vollkommenen Enteisung des Flügels bis zum Ende hin gerechnet werden.

In Bild 28 sind die oberen und die unteren Werte der Gastemperatur in der Nasenkammer sowohl für die Verhältnisse mit großer wie auch mit kleiner Brennstoffblende aufgetragen. Die unterste Kurve stellt außerdem den Verlauf der Hauttemperatur in der Staulinie dar.

Ergebnisse der Untersuchung des umkonstruierten Gerätes.

Bei der konstruktiven Aenderung des Kärcher-Ofens BFO 100 ist lediglich der Einbau von Leitblechen thermodynamisch von Bedeutung. Diese Leitbleche haben, wie schon angedeutet, den Zweck, eine vollständigere Durchmischung der Gase innerhalb des Ofens herbeizuführen. Ein Fortschritt ist hierbei sicherlich zu verzeichnen, wenn auch das Ziel einer vollkommen gleichmäßigen Temperaturverteilung im Austrittsquerschnitt des Ofens nicht erreicht wurde. Für eine eingehende Untersuchung dieser Verhältnisse wurde eine größere Zahl von Temperaturmeßstellen in der Nähe der Austrittsöffnung angeordnet. Die Lage der Meßstellen und die Temperaturverteilung für einen bestimmten Flugzustand sind aus Bild 29 zu ersehen.

Bis auf eine Spitze im hinteren Teil des Querschnitts ist die Temperaturverteilung einigermaßen gleichförmig. Diese ausgeprägte Spitze tritt wiederum nur beim Zulauf der großen Brennstoffmenge auf. Ueber die Leistung dieses umkonstruierten Ofens wurden eingehende Versuche bei einer größeren Zahl von Flugzuständen angestellt und hierbei auch das Verhalten der Wärmemengen und Temperaturen bezüglich ihres oberen und unteren Wertes näher betrachtet. Auf eine Untersuchung des Enteisers konnte hierbei verzichtet werden, da diese kaum weitere Anhaltspunkte über dessen Güte abgeben hätte. Zu Beginn der Messungen stellte sich heraus, daß die Brennstoffdurchflussmengen sich gänzlich anders verhielten, als beim ersten Gerät. Bei der Feinheit der Bohrungen in den Bleenden ist das weiter nicht verwunderlich. Da es sich hier um Druckmesser von nur wenigen Zehntel Millimeter handelt, hat eine Gratbildung, eine verschiedenartige Versenkung oder ein einseitiger Schliff des Bohrers eine andere Durchflußmenge zur Folge. Bei der Abnahme von Seriengeräten muß deshalb die Forderung gestellt wer-

den, daß auch die Blenden in der Brennstoffleitung wie ihre Durchflußmenge einer Kontrolle unterzogen werden.

Da die im Gerät mitgelieferten Blenden eine zu große Brennstoffmenge durchließen, wurden sie gegen die Blenden des ersten Gerätes ausgetauscht. Aber selbst diese hatten hier nicht mehr genau denselben Durchfluß wie im ersten Ofen. Bei den folgenden Versuchen in 2000 m Höhe betragen die Brennstoffmengen im ersten Falle im Mittel 11 und 6 l/h, im anderen Falle 20 zu 8 l/h, bei der Untersuchung des Höheneinflusses lag ein Verbrauch von 12 und 7 l/h zugrunde (vergl. S.13). Die Verhältnisse des ersten Falles ermöglichten eine Messerie, bei der im Bereich kleiner Fluggeschwindigkeiten nur die kleine Brennstoffmenge, im Bereich großer Geschwindigkeiten nur die große Menge zufließt. Die Grenzen, bei denen das periodische Schalten des Gerätes aufhört, sind daher deutlich zu erkennen.

Die Kurve für die Wärmemenge in Bild 30 zeigt wieder das charakteristische Ansteigen der oberen Werte bis zum Punkt, an dem Beharrung eintritt. Von da ab verläuft sie horizontal. Dieser sich hierbei deutlich abzeichnende Knick, der etwa bei 300 km/h Geschwindigkeit liegt, ist auch in den Kurven für Temperatur und Wirkungsgrad wiederzuerkennen. Das schraffierte Feld zwischen der oberen und unteren Kurve für die Wärmemenge gibt den Bereich an, in dem das Gerät periodisch schaltet. In entsprechender Weise, nur mit fallender Tendenz, verhält sich auch die Temperaturkurve. Der Wirkungsgrad, ausgedrückt durch das Verhältnis von erzeugter Wärmemenge zum Wärmeinhalt des pro Zeiteinheit verbrauchten Brennstoffs, läßt sich nur im Falle der Beharrung einwandfrei bestimmen und zeigt bei veränderlicher Fluggeschwindigkeit einen praktisch gleichbleibenden Wert. Unterhalb des Beharrungszustandes sind die errechneten Werte kein Maß für die einem bestimmten Brennstoffverbrauch zugehörige Größe des Wirkungsgrades, da bei längerer Dauer der Umschaltzeiten sich eine weit höhere Temperatur einstellen würde und damit auch die Wärmemenge höher liegen würde. Maßgebend für die Güte der Anlage ist daher nur der hier angegebene obere Wert im Beharrungszustand. Im Falle einer Vereisung oder Beaufschlagung in Wolken wird sich dieser infolge der entsprechend geringeren Außentemperaturen und der für die Verdampfung der Wassertröpfchen aufzuwendenden Wärme schon bei kleineren Fluggeschwindigkeiten einstellen.

In Bild 31 sind ähnliche Verhältnisse wie in Bild 30 nur für einen höheren Brennstoffverbrauch dargestellt. Infolge dieser größeren Brennstoffmenge erreichen die oberen Werte für Temperatur und Wärmemenge nicht den Beharrungszustand. Des Weiteren weisen die Temperaturkurven eine größere Steigung auf und ihre oberen Werte überschreiten dabei die zulässige Höchstgrenze. Der Grund hierfür ist, wie schon eingehend geschildert wurde, in der Trägheit des Reglers zu suchen, der bei der großen Brennstoffmenge und der damit verbundenen schnellen Schaltfolge der Gastemperatur nicht schnell genug folgen kann. In Bild 31 sind des Weiteren die Werte für Verbrennungsluft wie für die Luftüberschusszahl aufgetragen. Letztere ergibt entsprechend den zwei verschiedenen Brennstoffmengen eine obere und eine untere Kurve. Die Werte für die Luftüberschusszahl sind in allen Fällen größer als 1, d.h. daß mit einer fast vollständigen Verbrennung gerechnet werden kann. Beim Vergleich mit den Werten des ersten Gerätes (Bild 25 und 26) kann eindeutig festgestellt werden, daß der Gasdurchsatz beim zweiten Ofen geringer ist. Die Ursache hierfür dürfte in den erhöhten Druckverlusten durch den Einbau der Leitbleche zu suchen sein.

Bild 32 veranschaulicht die Verhältnisse beim Flug in verschiedenen Höhen. Es wurde hier mit einer möglichst hohen Geschwindigkeit geflogen, mit dem Ziel, das periodische Schalten des Gerätes zu verhindern. Die aufgetragenen Werte stellen also nur obere Werte dar. Die Kurven zeigen wieder den schon beim ersten Gerät beobachteten Verlauf: gleichbleibende Wärmemenge und Ansteigen der Temperatur mit abfallendem Gasdurchsatz.

Das zweite Gerät stellt gegenüber der Erstausführung in Bezug auf eine vollständigere Durchmischung der Gase im Ofen zweifellos einen Fortschritt dar, der jedoch mit etwas erhöhten Druckverlusten erkauft ist. Trotz dieser günstigeren Temperaturverteilung scheint es aber auch hier nicht ratsam, das Schaltthermometer im Ofen selbst unterzubringen, sondern es ebenfalls in einiger Entfernung vom Austritt an einer gut belüfteten Stelle in der Rohrleitung anzuordnen. Das bedeutet für den Hersteller Trennung von Schaltthermometer und Heizofen. Der Einbau der Schalter ist so vorzunehmen, daß durch Wärmeableitung keine ins Gewicht fallenden Fehler entstehen können.

Bezüglich ihrer Betriebssicherheit und Zündfähigkeit in der Höhe können beide Geräte als zuverlässig angesehen werden. Die Bemessung der stündlichen Brennstoffmenge sollte für jede Flugzeugtype gesondert vorgenommen werden, nachdem die Größe des Luftdurchsatzes durch Messungen ermittelt worden ist. Wie bereits erwähnt, soll die kleine Brennstoffmenge so bemessen sein, daß die zulässige Höchsttemperatur bei allen vorkommenden Flugzuständen und atmosphärischen Bedingungen nicht überschritten wird, während die große Menge gerade so groß sein sollte, daß sie ein periodisches Schalten bis in den oberen Geschwindigkeitsbereich, d.h. bis annähernd zur Höchstgeschwindigkeit herbei führt. Damit ist die Gewähr gegeben, daß einmal die zulässige Obergrenze für die Temperatur nicht überschritten wird, sofern die Temperaturschalter an geeigneter Stelle angebracht ist, zum anderen gibt der Ofen im oberen Geschwindigkeitsbereich seine volle Leistung ab, während die Zahl der Umschaltungen über den gesamten Geschwindigkeitsbereich möglichst klein ist und nach oben hin auf 0 zurückgeht. Eine Leistungssteigerung der Anlage ist demnach mit einer größeren Brennstoffmenge allein nicht zu erreichen, sondern wäre nur noch durch eine gleichzeitige Erhöhung des Gasdurchsatzes möglich.

Das Ziel einer jeden neu zu entwickelnden Anlage muß also sein, die Druckverluste möglichst klein zu halten, d.h. es sind möglichst große Leitungsquerschnitte und kurze Rohrlängen vorzusehen. Durch die volle Ausnutzung des Staudruckes und eventuell auch des am Tragflügel auftretenden Unterdruckes läßt sich fernerhin die Größe des Gasdurchsatzes steigern.

IV. Zusammenfassung:

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse einer Untersuchung von Enteisungsanlagen mit Mischgasheizung. Diese Enteisungsanlagen gleichen im Aufbau den bisher bekannten Warmluftenteisern nur mit dem Unterschied, daß zur Beheizung nicht mehr Warmluft verwendet wird, d.h. Frischluft, die mittels der Motorabgase oder eines Brenngerätes in einem Wärmeaustauscher erhitzt wird, sondern daß dem Enteisler ein Gemisch aus Frischluft und Abgas, kurz Mischgas genannt, zugeführt wird. Das Abgas wird

dabei entweder dem Auspuff eines Triebwerkes entnommen, oder in einem gesonderten Brenngerät durch Verbrennung von Benzin erzeugt. Im ersten Falle wurden die Abgase zunächst ins Freie geführt, und dann in einem bestimmten Abstand mit Frischluft vermischt hinter den Auspuffstutzen mit Hilfe einer Fanghütze wieder aufgefangen. Auf diese Weise wurden sowohl die Gefahr einer Nachverbrennung in Rohrleitungen und Enteisern, als auch die Übertragung unerwünschter Abgasschwingungen vermindert. Für die Erzeugung des Brenngases in einem Brenngerät stand ein Kärcher-Ofen BFO 100 zur Verfügung, bei dem die Durchmischung der Brenngase mit Frischluft im Innern des Gerätes vor sich ging.

Auf Grund der Erprobung und der Meßergebnisse können beide Anlagen als betriebsicher und zuverlässig angesehen werden. Dem größeren Gewichtsaufwand bei der Anlage mit Fanghütze steht ein zusätzlicher Brennstoffverbrauch bei dem Brenngerät entgegen. Der ausschlaggebende Vorzug der Anlage mit Heizgerät liegt in der Möglichkeit der Anwendung kurzer Rohrleitungen, die infolge ihrer geringeren Druckverluste große Gasmengen gewährleisten. Diese bestimmen die verfügbare Wärmemenge, da den Gastemperaturen aus Gründen der Werkstofffestigkeit obere Grenzen gesetzt sind.

Die Enteisung des Tragflügels konnte in beiden Fällen als gewährleistet angesehen werden. Die Verunreinigung des Enteisers durch Abgasrückstände war gering und für die Wärmeübertragung ohne Bedeutung. Flammenbildung oder Explosionen wurden nicht beobachtet.

Schrifttum:

- [1] "Ueber die Erprobung des Mischgasenteisern an FW 200 CE + IU".
Zwischenbericht der Deutschen Lufthansa Nr. 287 (1944).
- [2] "Ueber die Erprobung der Mischgasenteisern in der FW 200 CE + IU".
Bericht Nr. 292 der Deutschen Lufthansa (1944).
- [3] "Meßverfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von thermischen Enteisungsanlagen an Flugzeugen".
UM Nr. 3214 (1945).

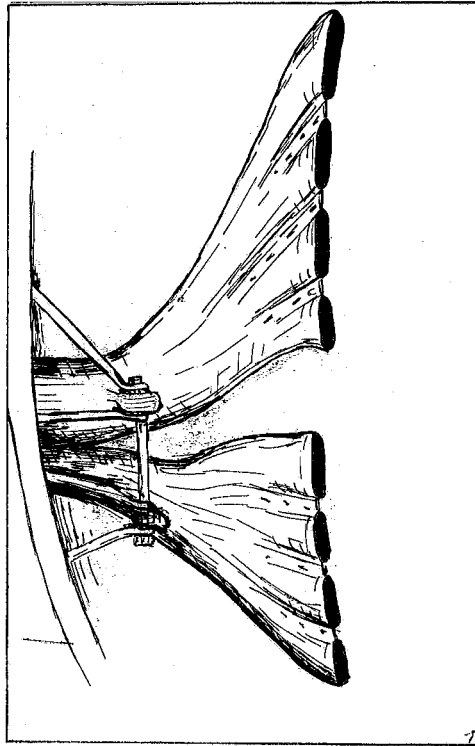


Bild 1: Normale Anordnung der Abgasdüse.

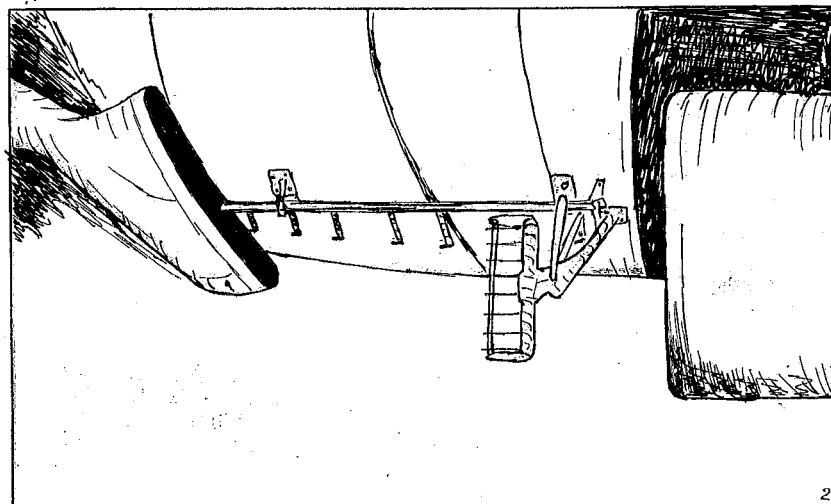


Bild 2: 1. geänderte Ausführung der Abgasdüse und Meßstellenanordnung im Abgasstrahl.

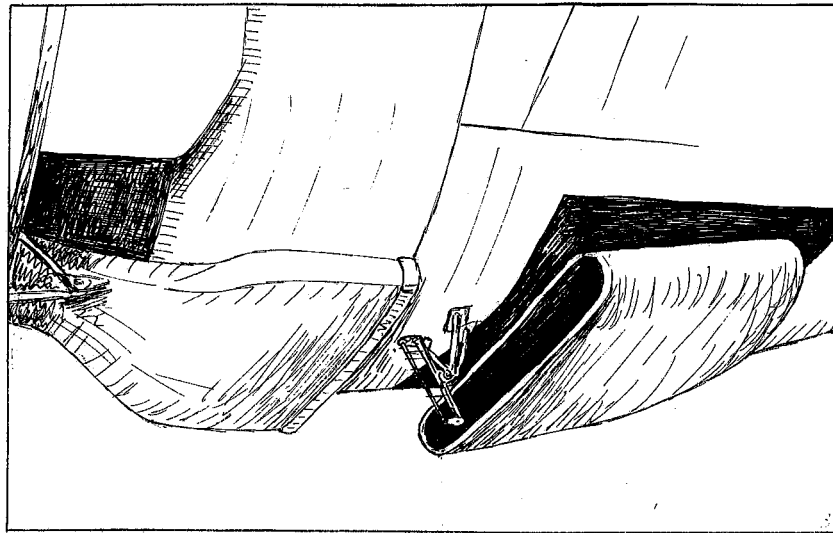


Bild 3: 2. geänderte Ausführung der Abgasdüse und voll ausgefahrene Fanghutze.

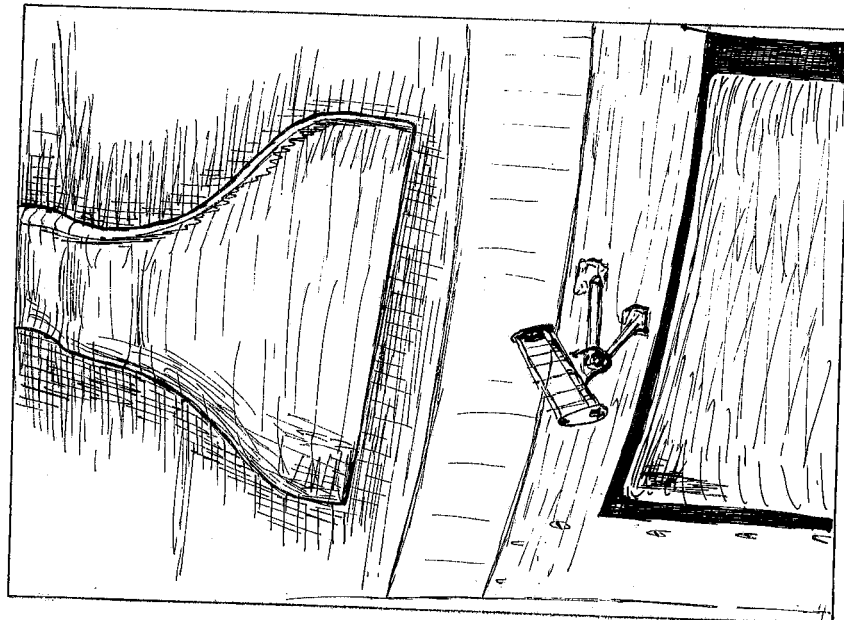


Bild 4: 3. geänderte Ausführung.

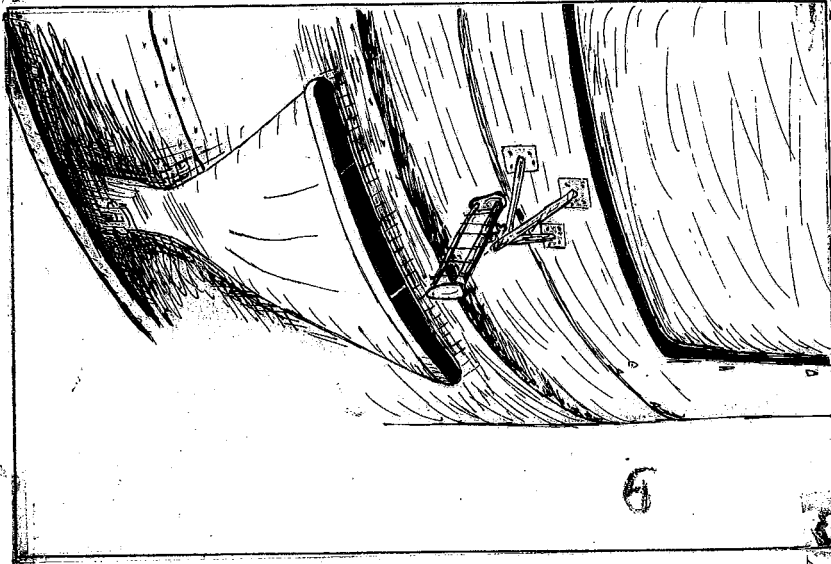


Bild 5: 4. geänderte Ausführung.

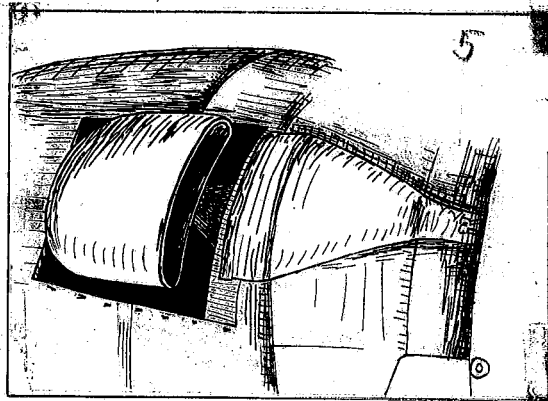


Bild 6: 5. geänderte Ausführung.

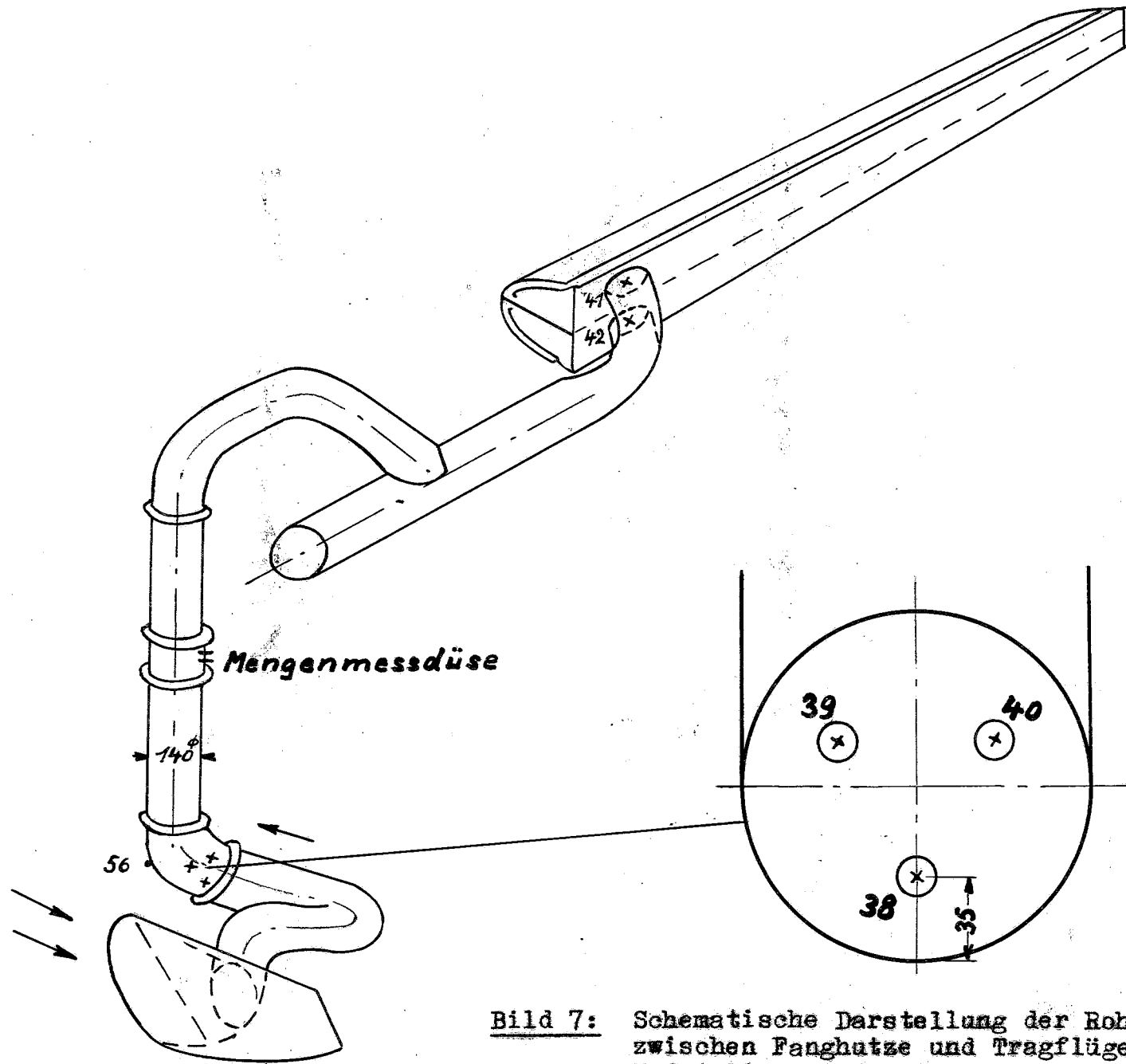


Bild 7: Schematische Darstellung der Rohrleitung zwischen Fanghütze und Tragflügel und Meßstellenanordnung.

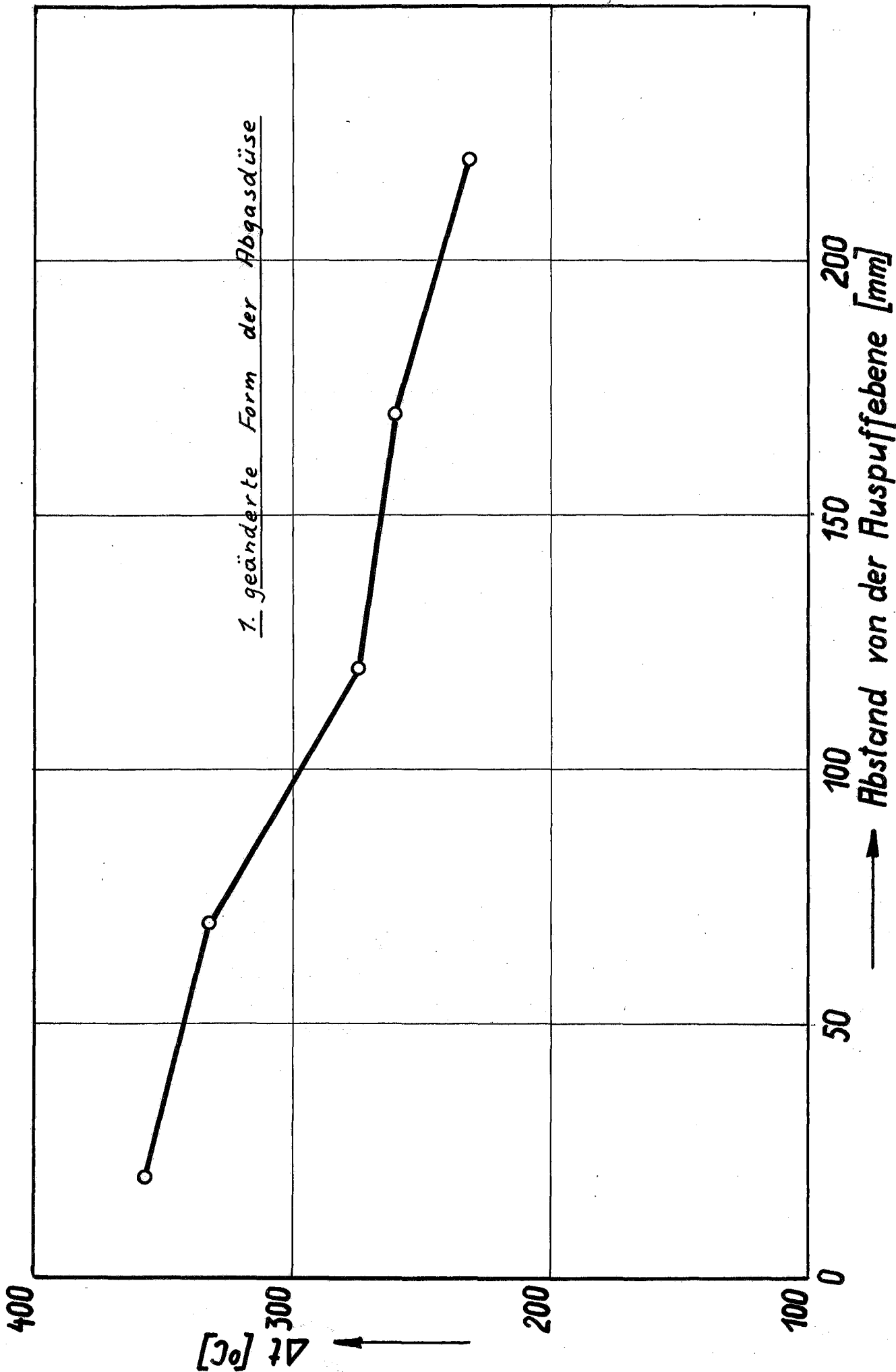


Bild 9: Temperaturabfall über den Verlauf des Abgasstrahls.

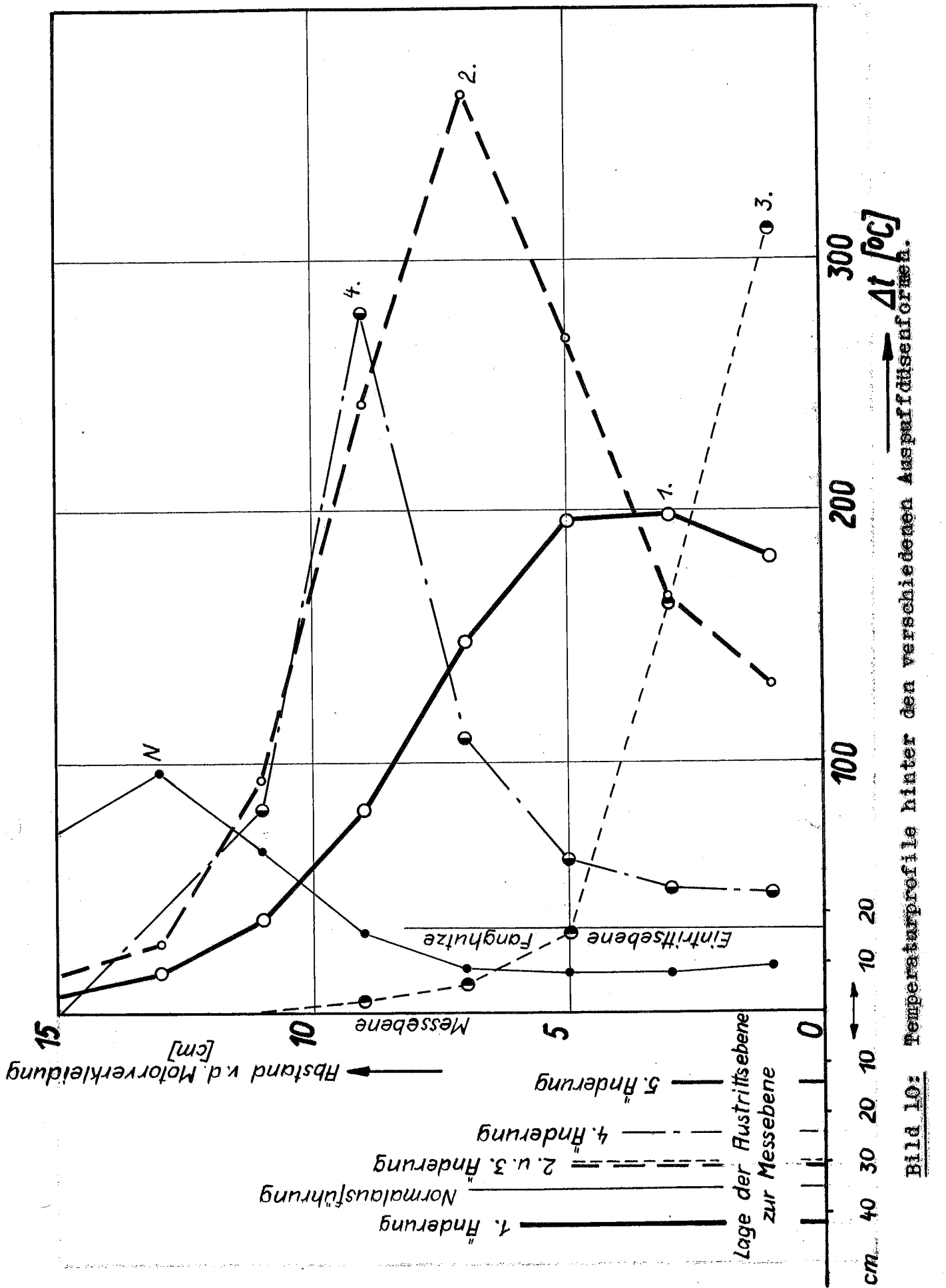


Bild 10: Temperaturprofile hinter den verschiedenen Auspuffdüsenformen.

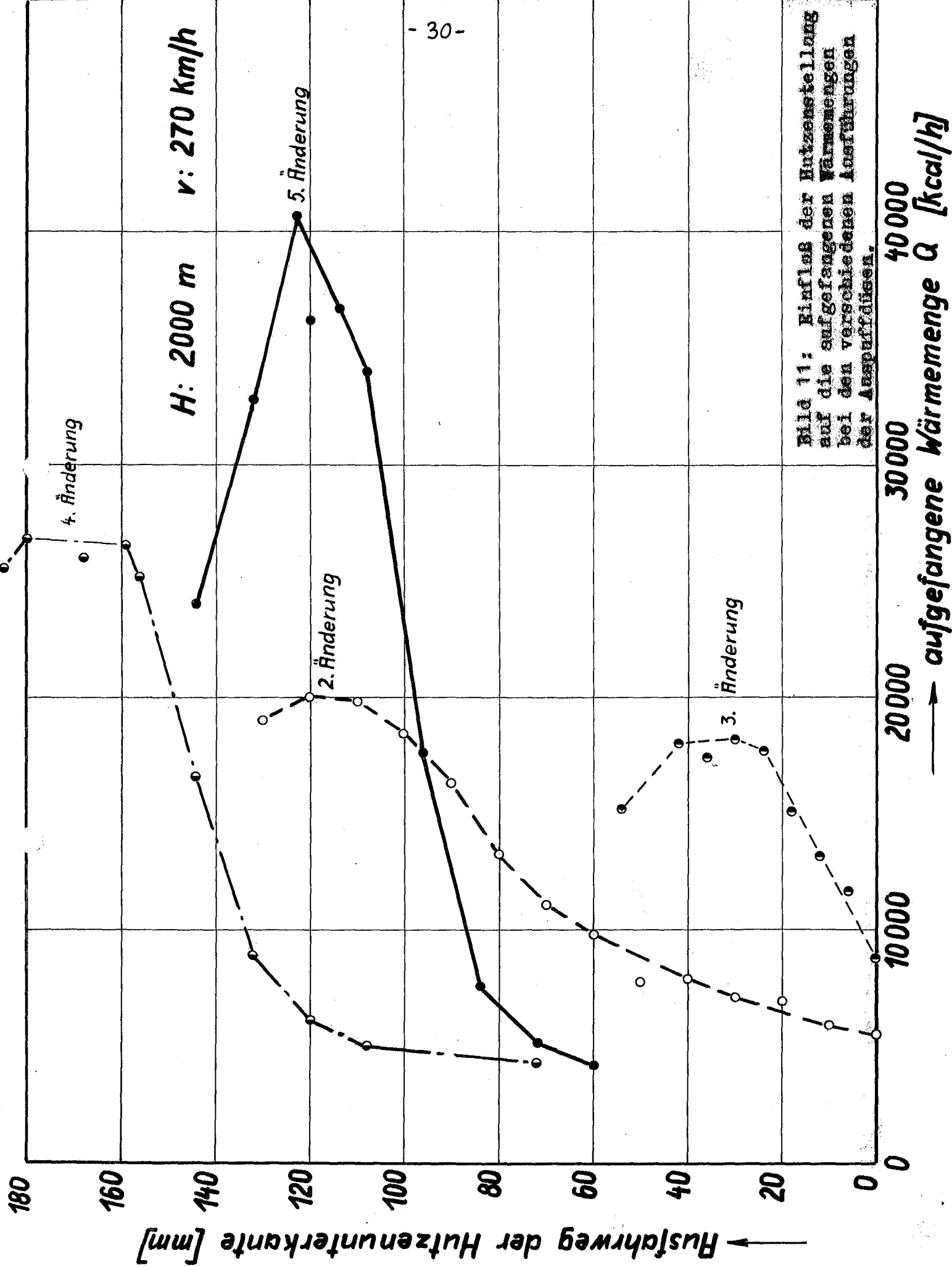


Bild 11: Einfluß der Hutzenstellung auf die aufzufangene Wärmemengen bei den verschiedenen Ausführungen der Auspuffröhen.

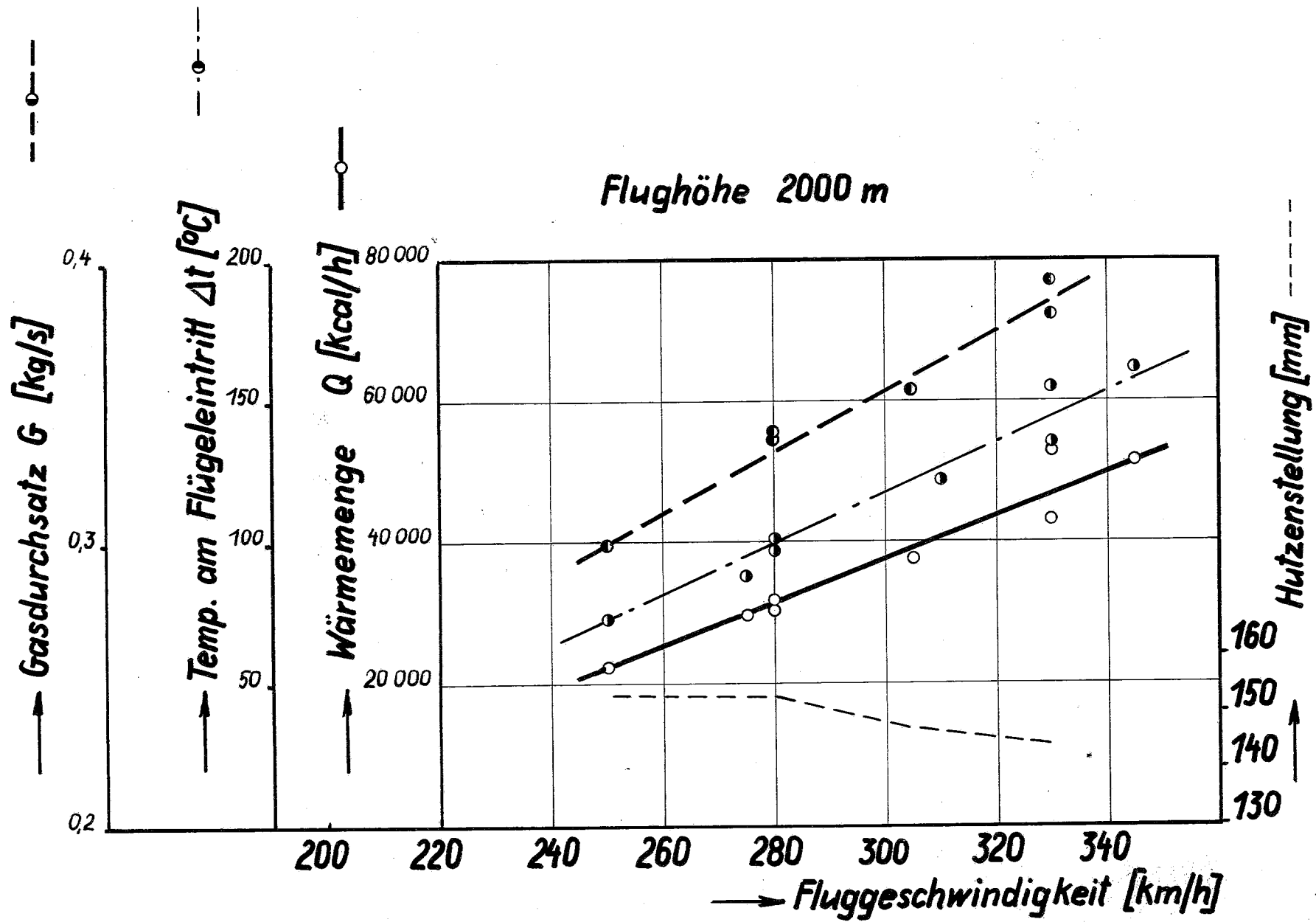


Bild 12: Wärmemenge, Luftmenge und Temperaturen bei verschiedenen Fluggeschwindigkeiten.

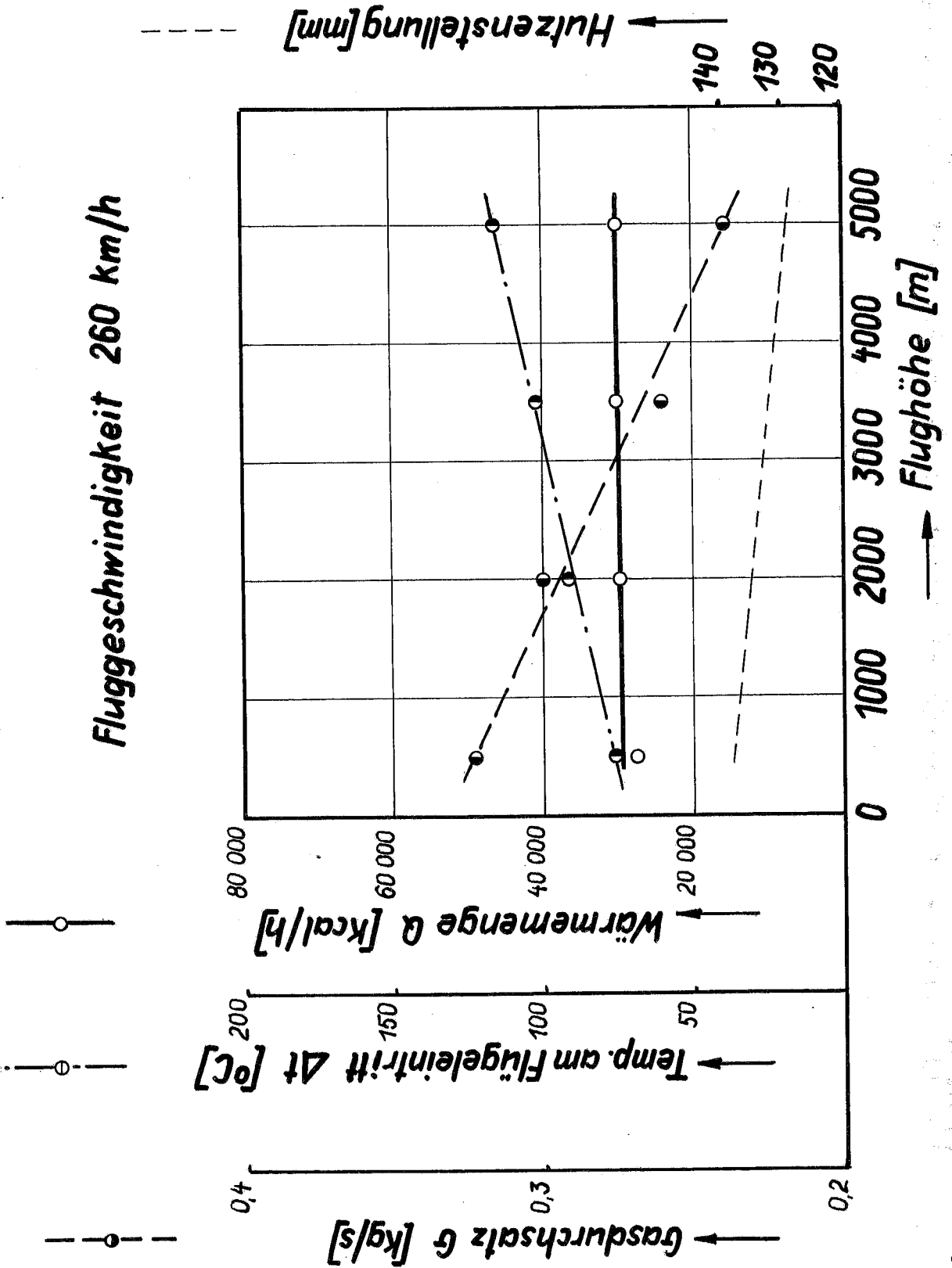


Bild 13: Wärmemenge, Luftmenge und Temperaturen in verschiedenen Höhen.

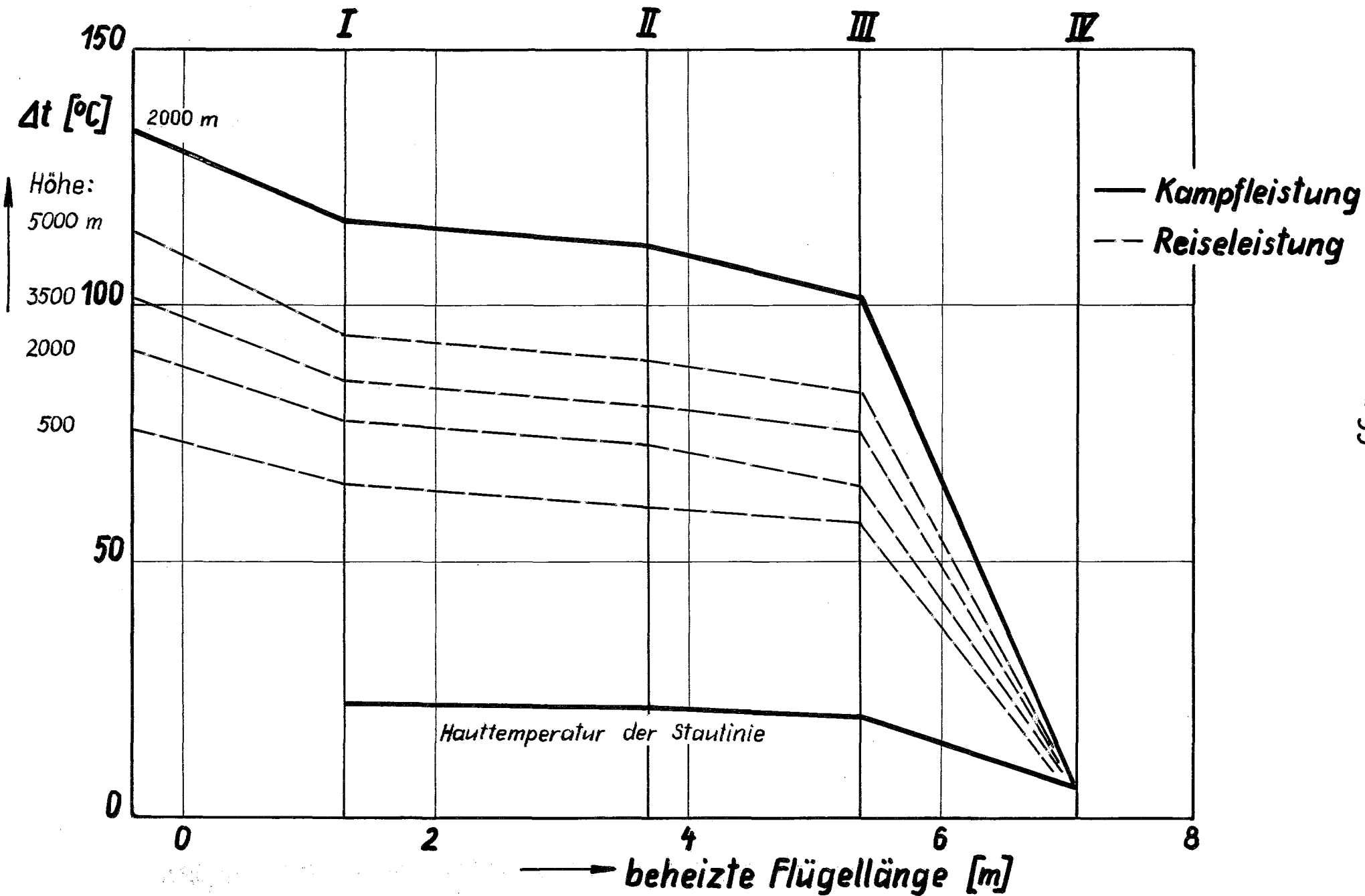
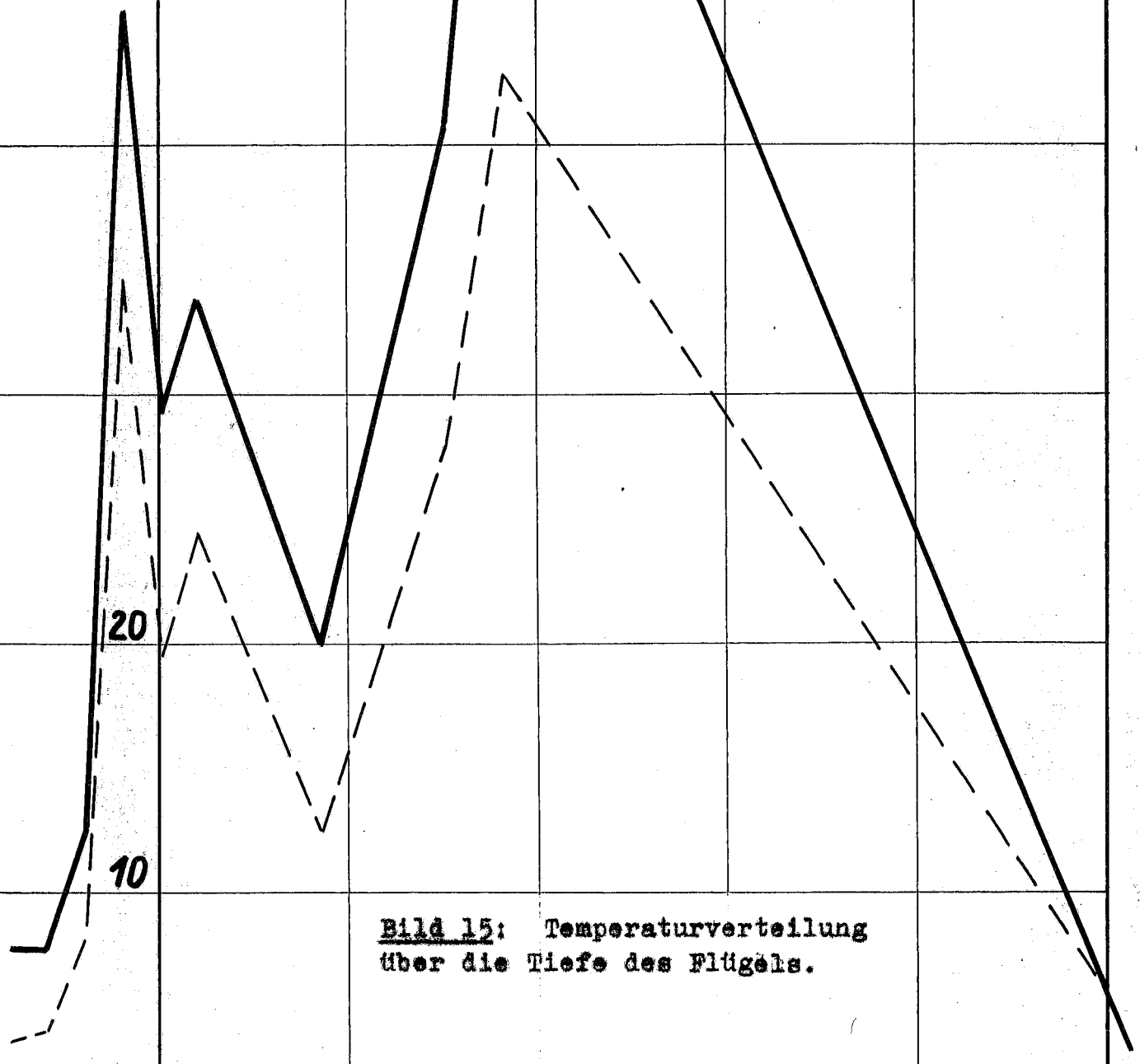


Bild 14: Temperaturverteilung über die Spannweite

Δt [°C]
↑
50
60

— Kampfleistung
--- Reiseleistung



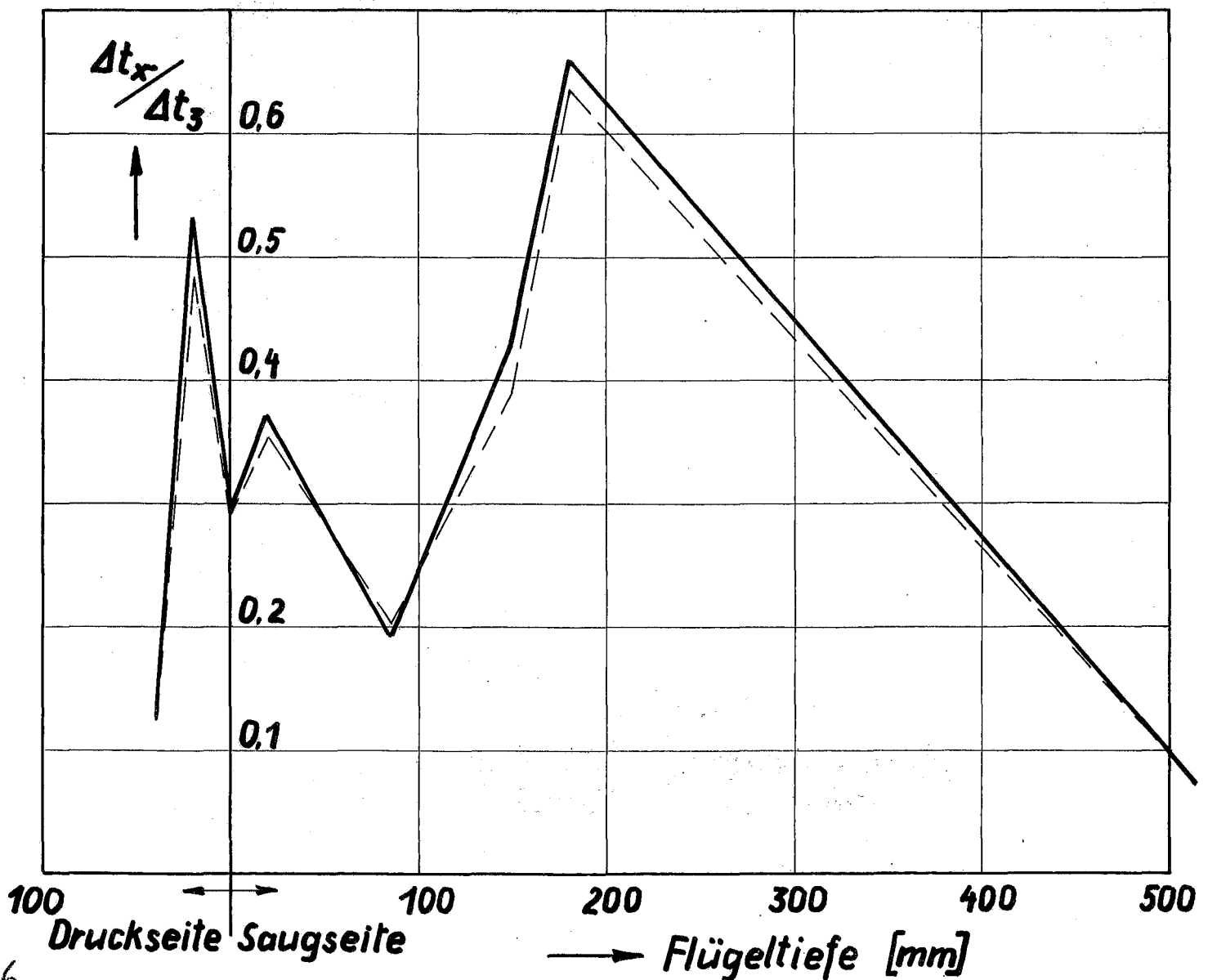
20
10

Bild 15: Temperaturverteilung über die Tiefe des Flügels.

15 100 ← → 100 200 300 400 500
Druckseite Saugseite
→ Flügeltiefe [mm]

Bild 16: Der Einfluß der Verrussung auf die Temperaturverteilung über die Tiefe des Flügels.

— zu Beginn der Erprobung
- - nach 50 Flugstunden



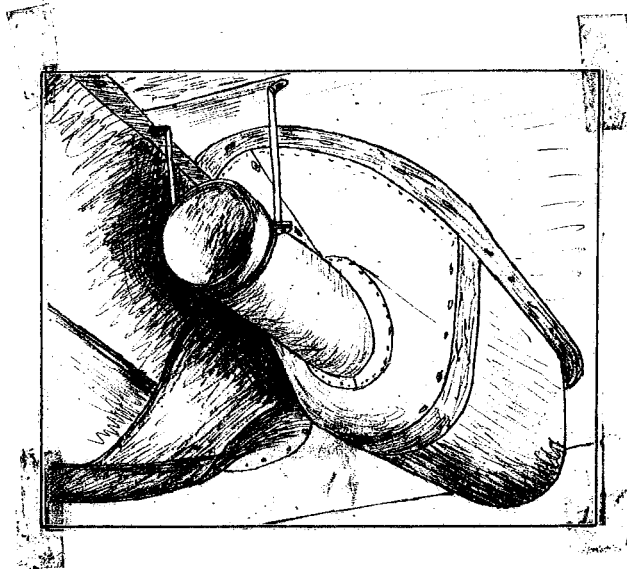


Bild 17: Die Anordnung des Kärcherofens BFO 100 unterhalb des Tragflügels der FW 200.

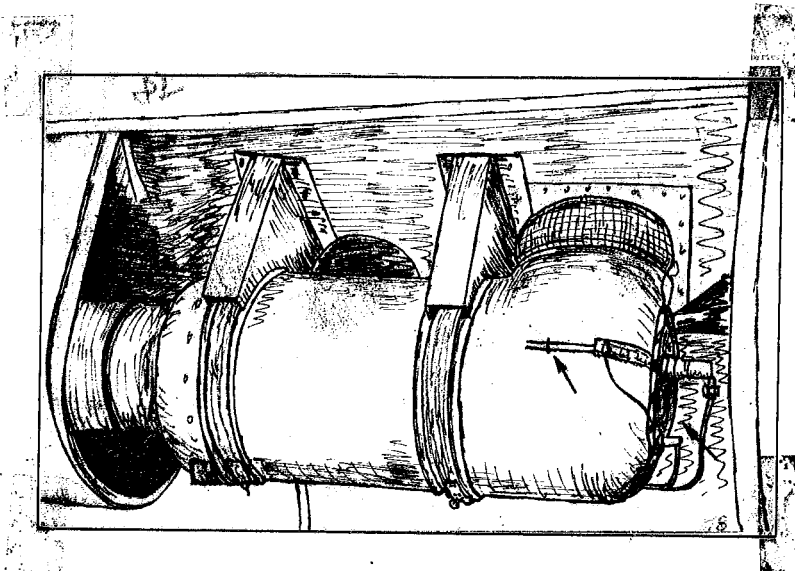


Bild 18: Der Ofen bei geöffneter Verkleidung.

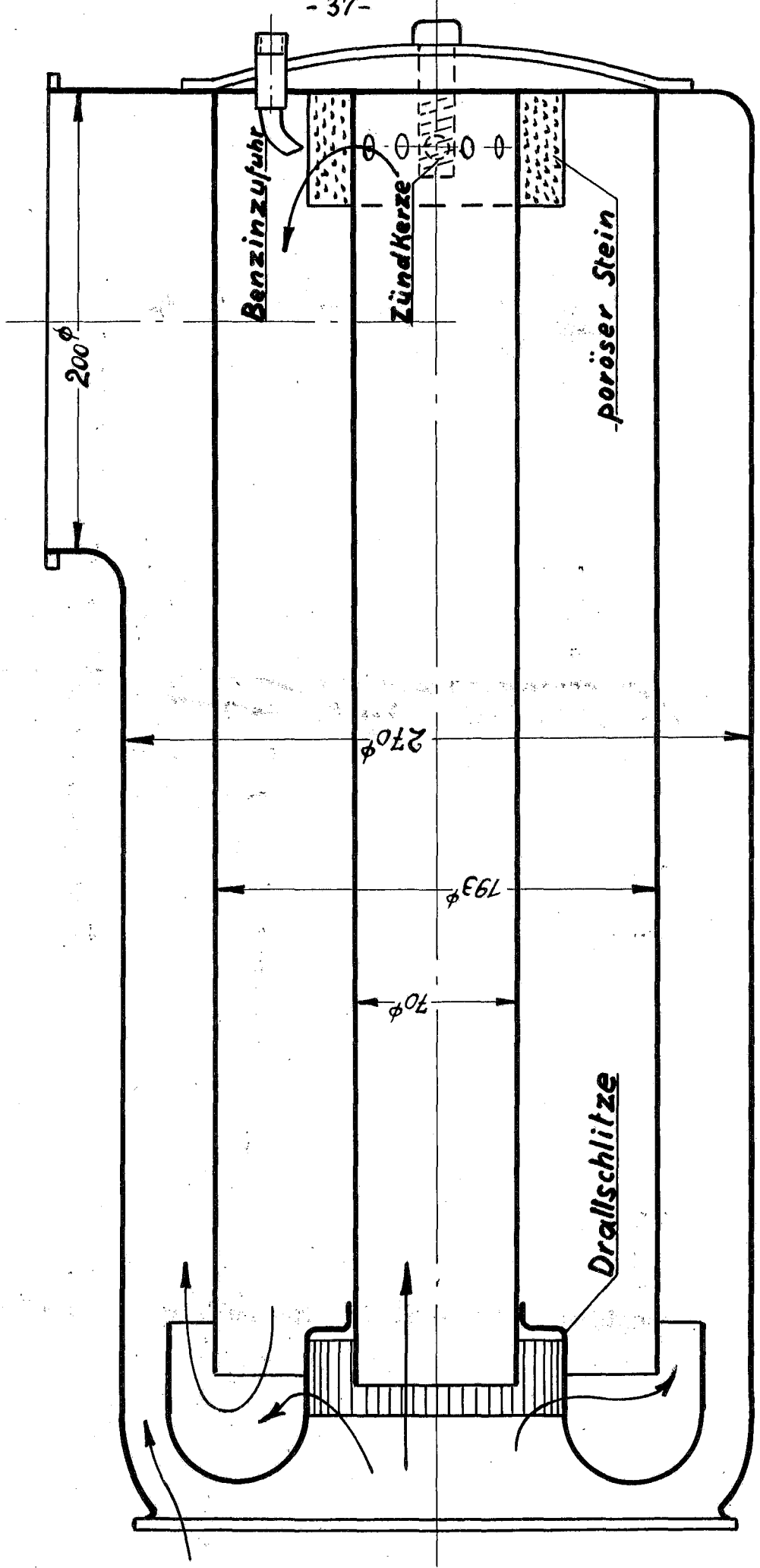


Bild 19: Schema des Kärcher-Ofens BFO 100

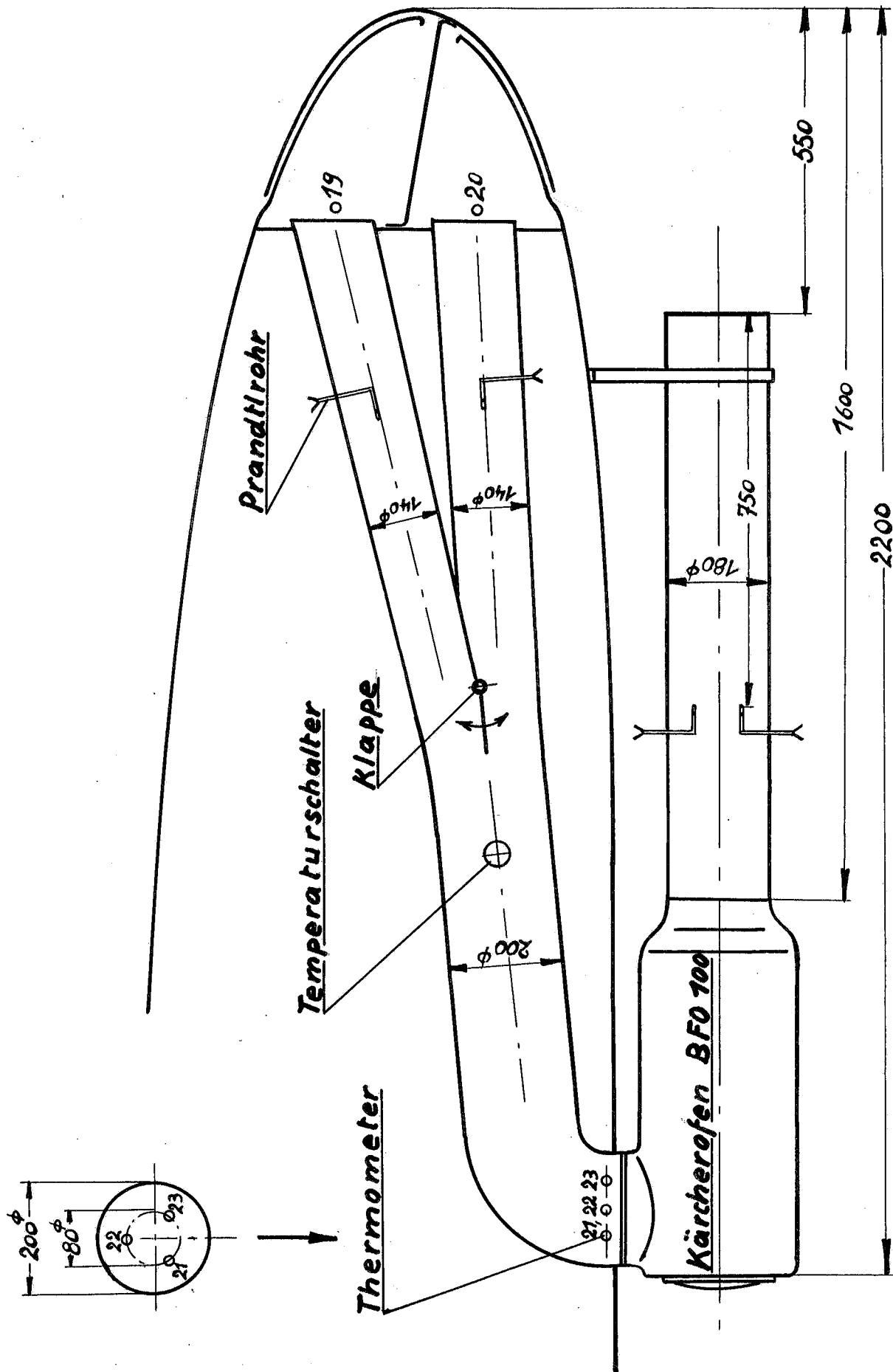


Bild 20: Einbauschema des BFO 100 am Tragflügel der F 200

Abteilung:

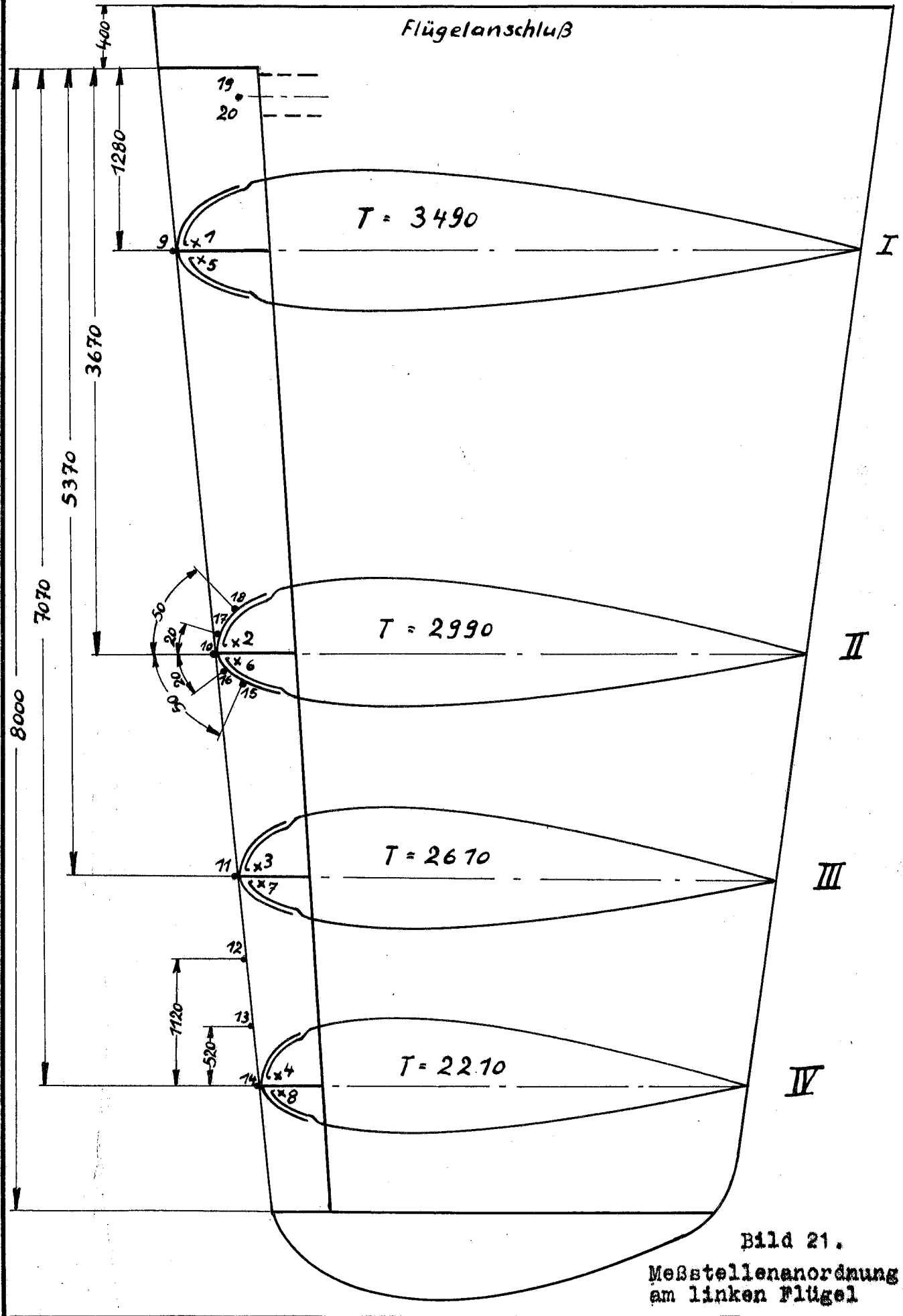


Bild 21.
Meßstellenanordnung
am linken Flügel

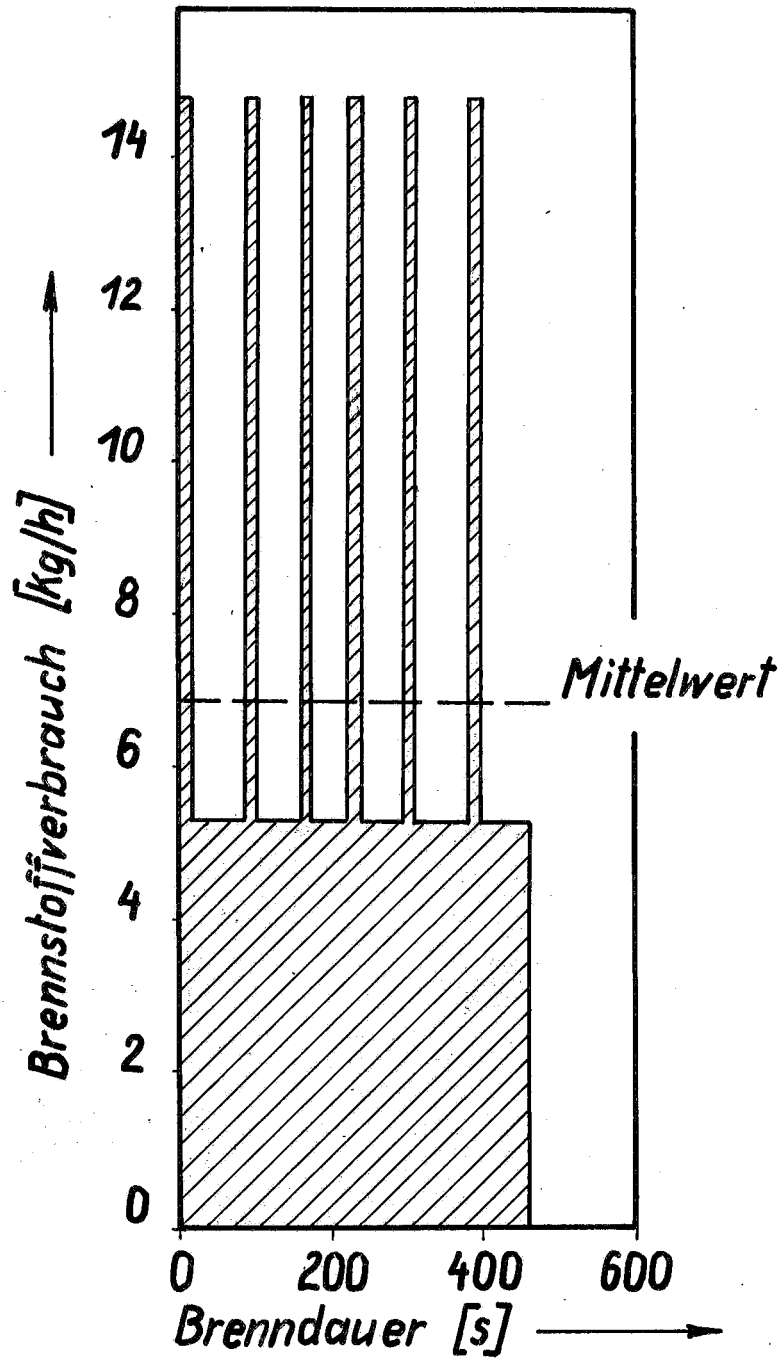


Bild 22; Brennstoffverbrauch und Schaltzeiten bei großer Blende.
Fluggeschwindigkeit; 260 km/h in 2000 m Höhe.

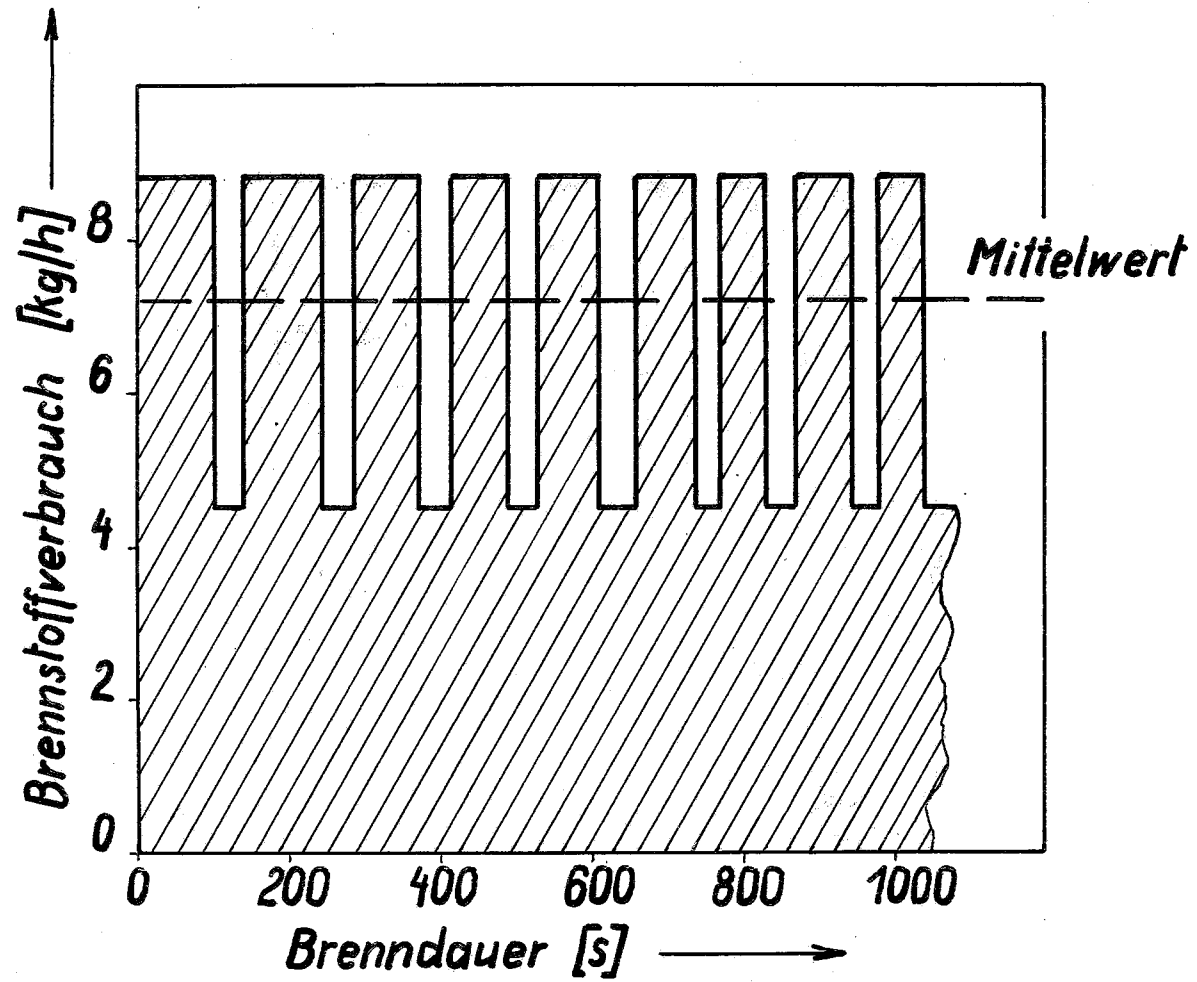
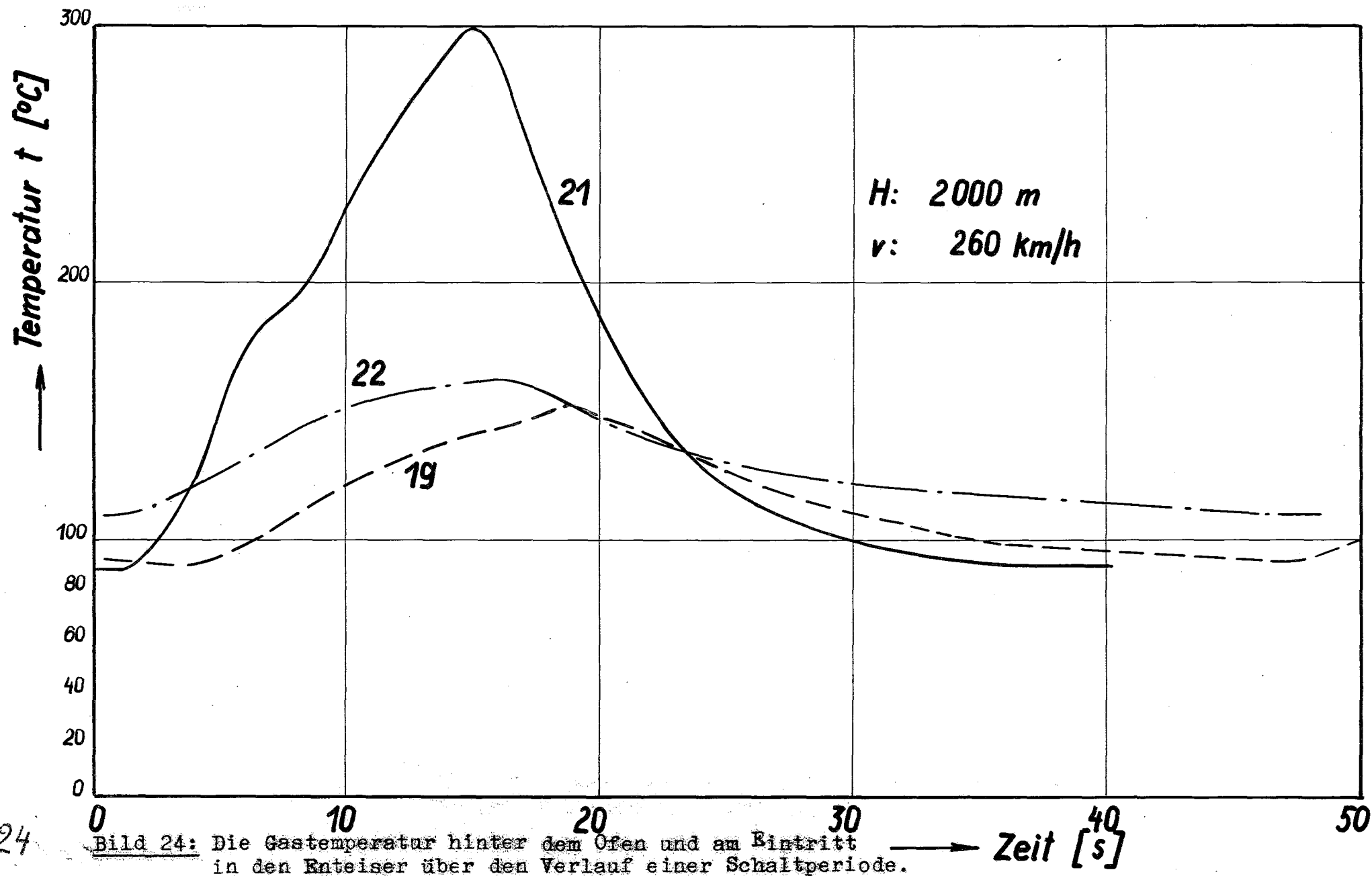


Bild 23: Brennstoffverbrauch und Schaltzeiten bei kleiner Blende.
Fluggeschwindigkeit + 260 km/h in 2000 m Höhe.



24

Bild 24: Die Gastemperatur hinter dem Ofen und am Eintritt in den Enteisler über den Verlauf einer Schaltperiode.

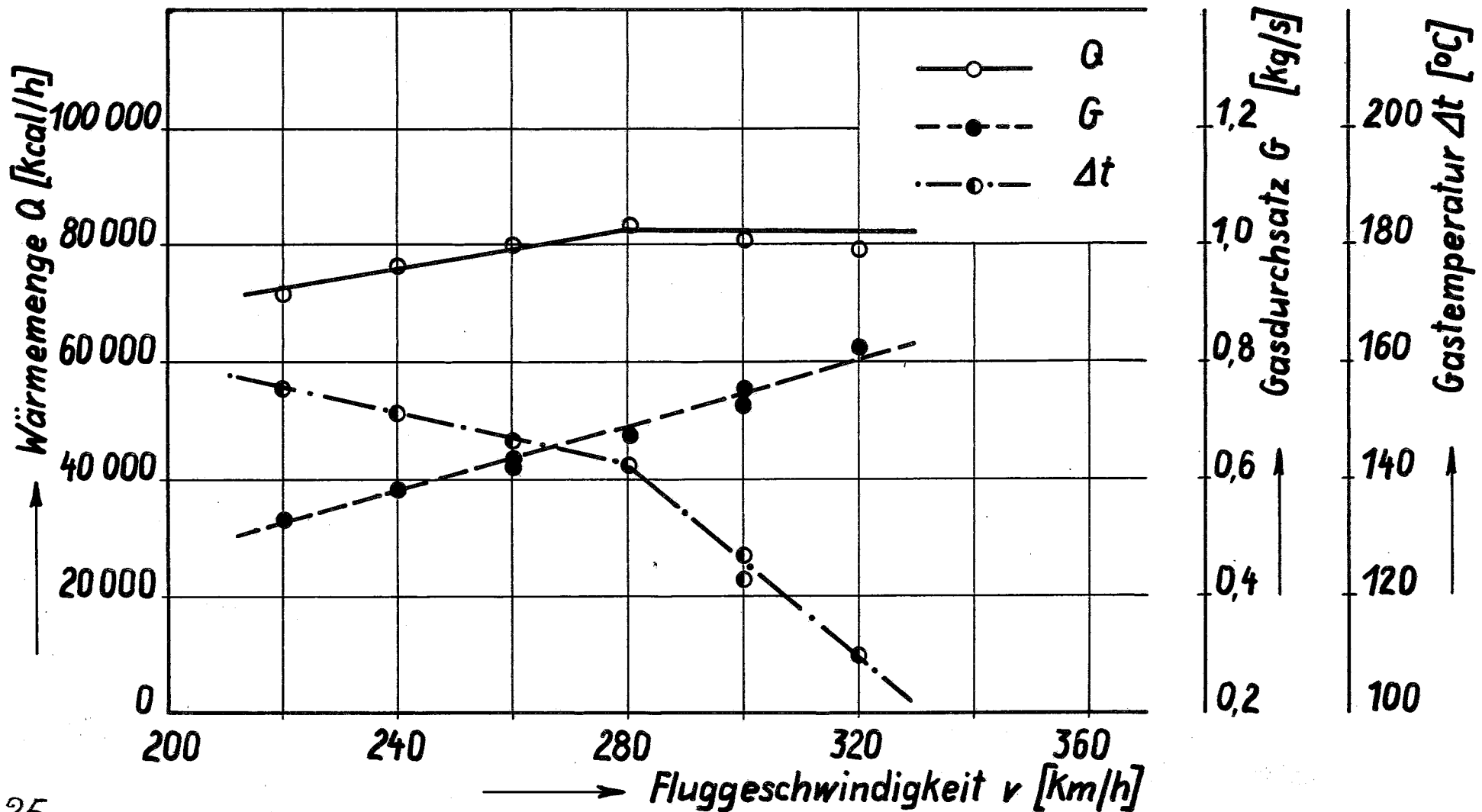


Bild 25: Gasdurchsatz, Wärmemenge und Temperatur bei verschiedenen Geschwindigkeiten in 2000 m Höhe. Kleine Brennstoffblende.

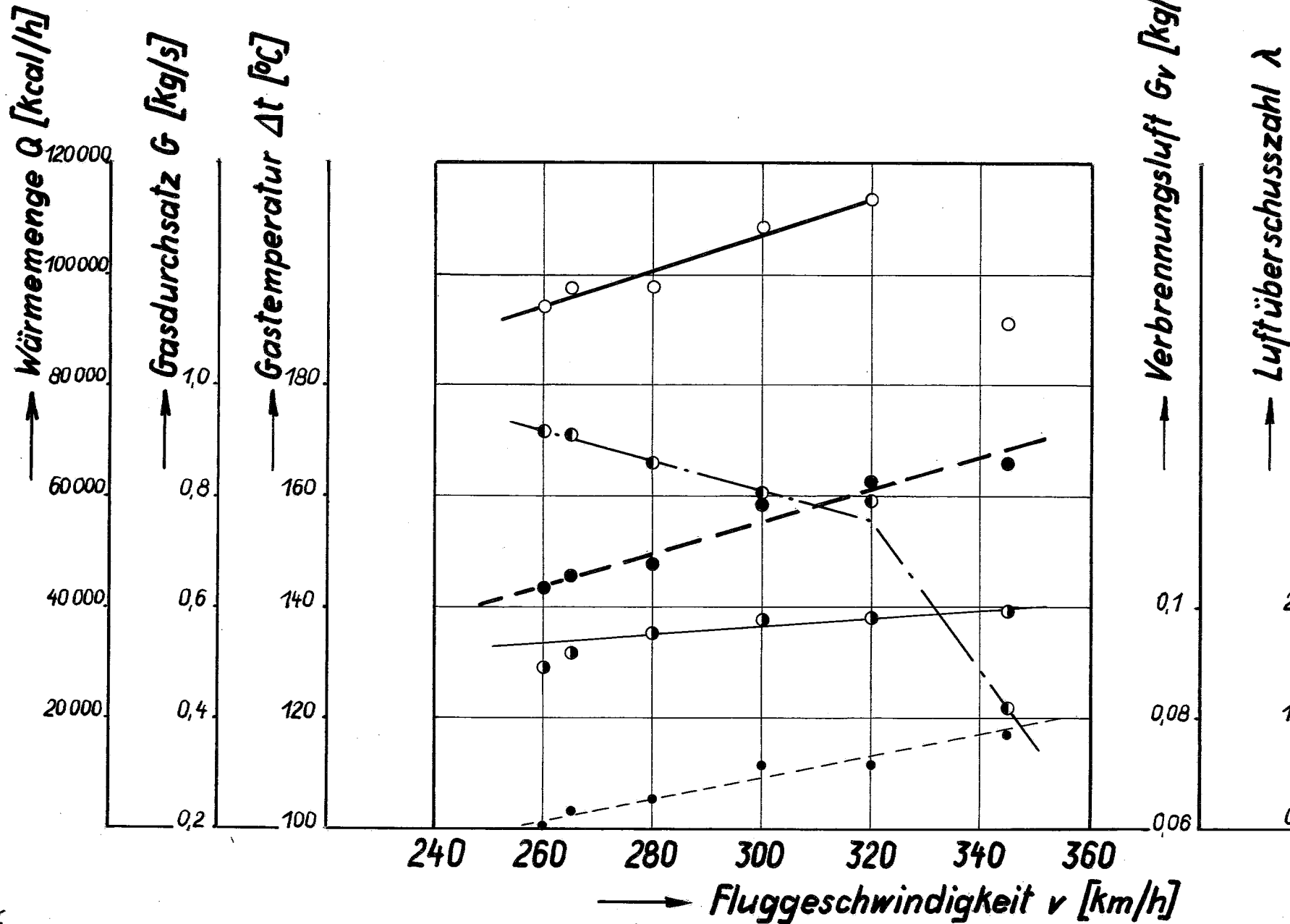
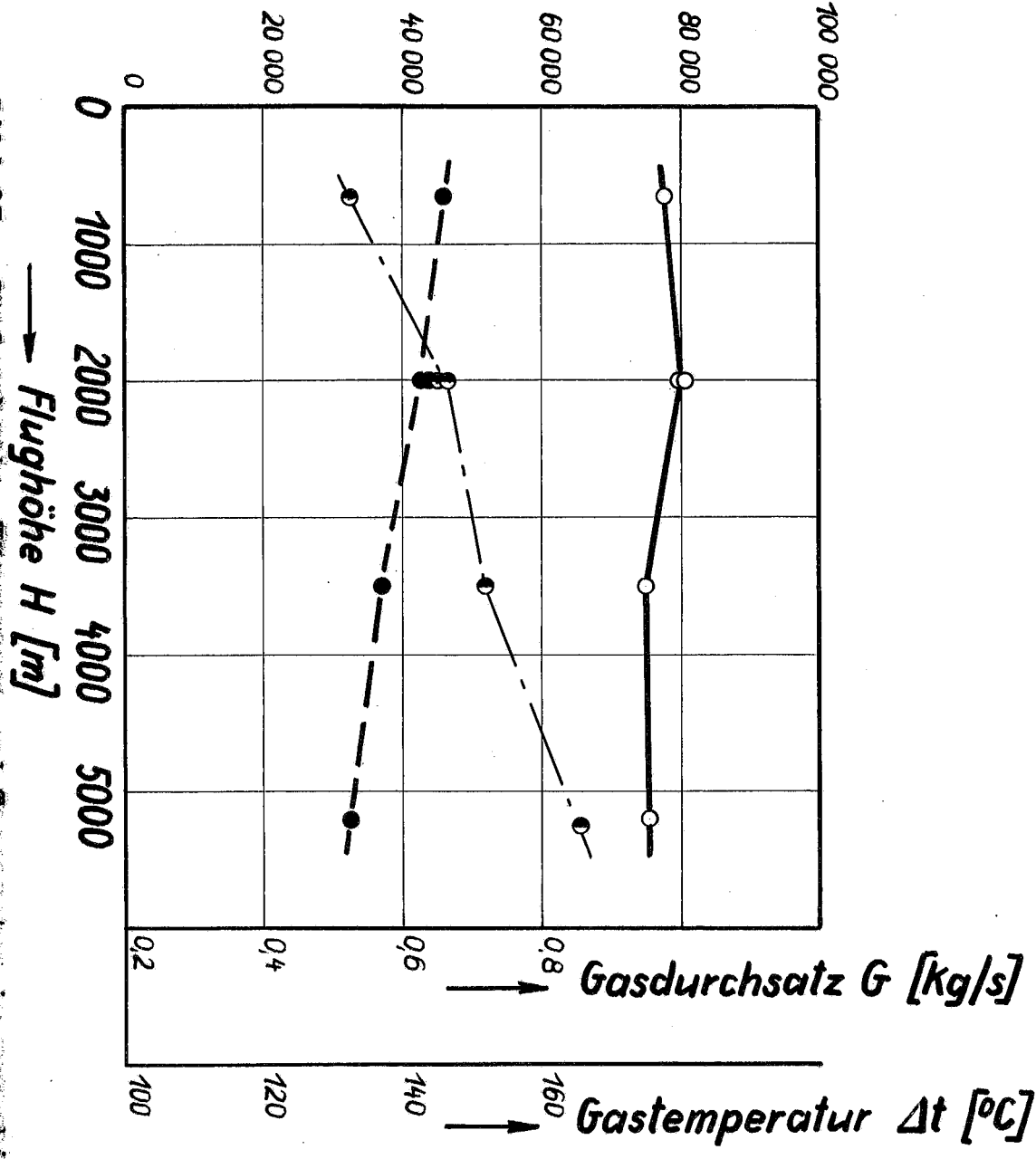


Bild 26: Gasdurchsatz, Wärmemenge und Temperatur bei verschiedenen Fluggeschwindigkeiten. Grosse Brennstoffblende.

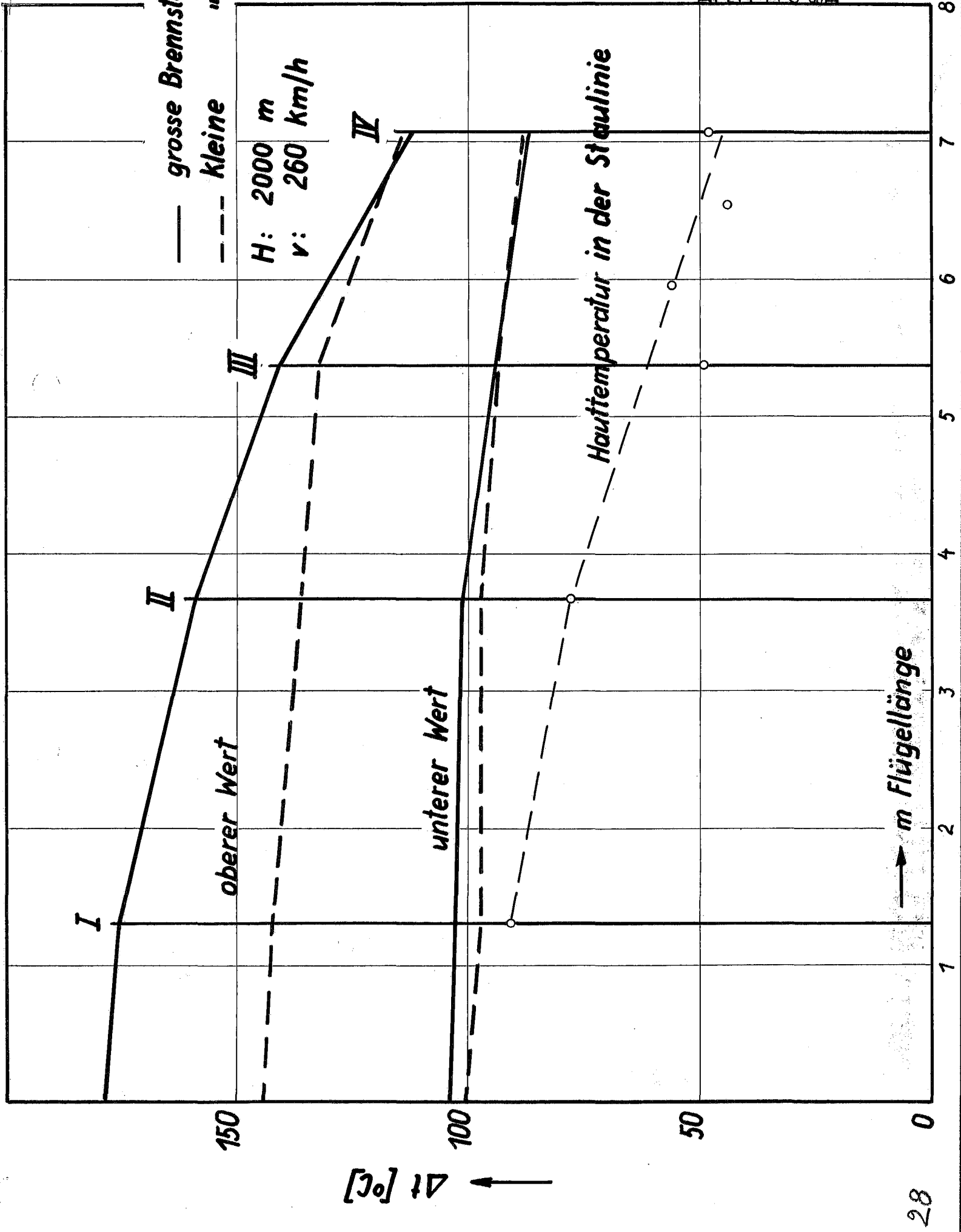
→ Wärmemenge Q [kcal/h]



Q ——— ○ ———
 G - - - ● - - -
 Δt - · - · - ·

Bild 27: Gasdurchsatz, Wärmemenge und Temperatur in verschiedenen Höhen bei 260 km/h Geschwindigkeit. Kleine Brennstoffbrücke.

Bild 28:
Temperaturverteilung über die Länge der Flügel.



— grosse Brennstoffblende

- - - kleine

H: 2000 m

v: 260 km/h

I

II

III

IV

oberer Wert

unterer Wert

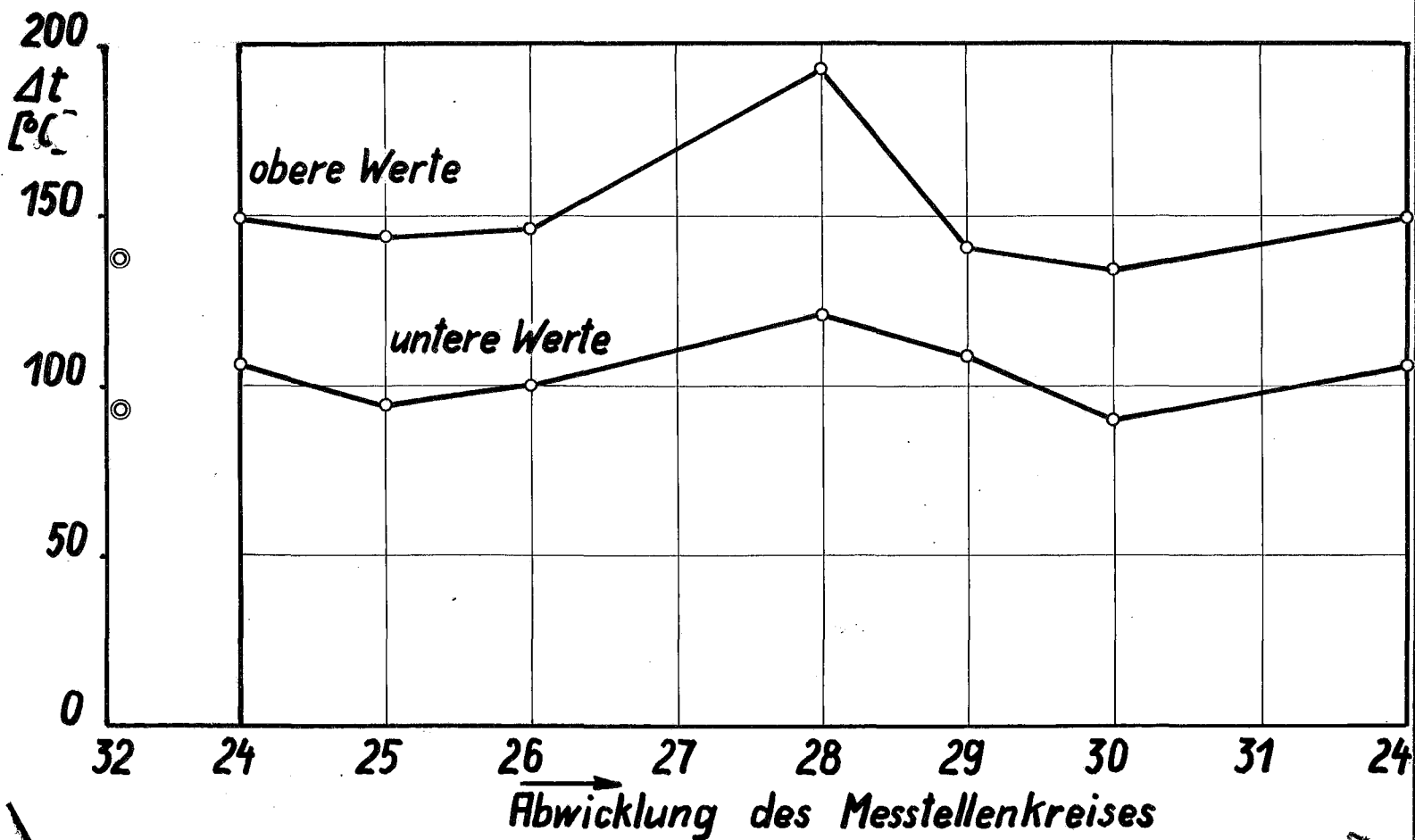
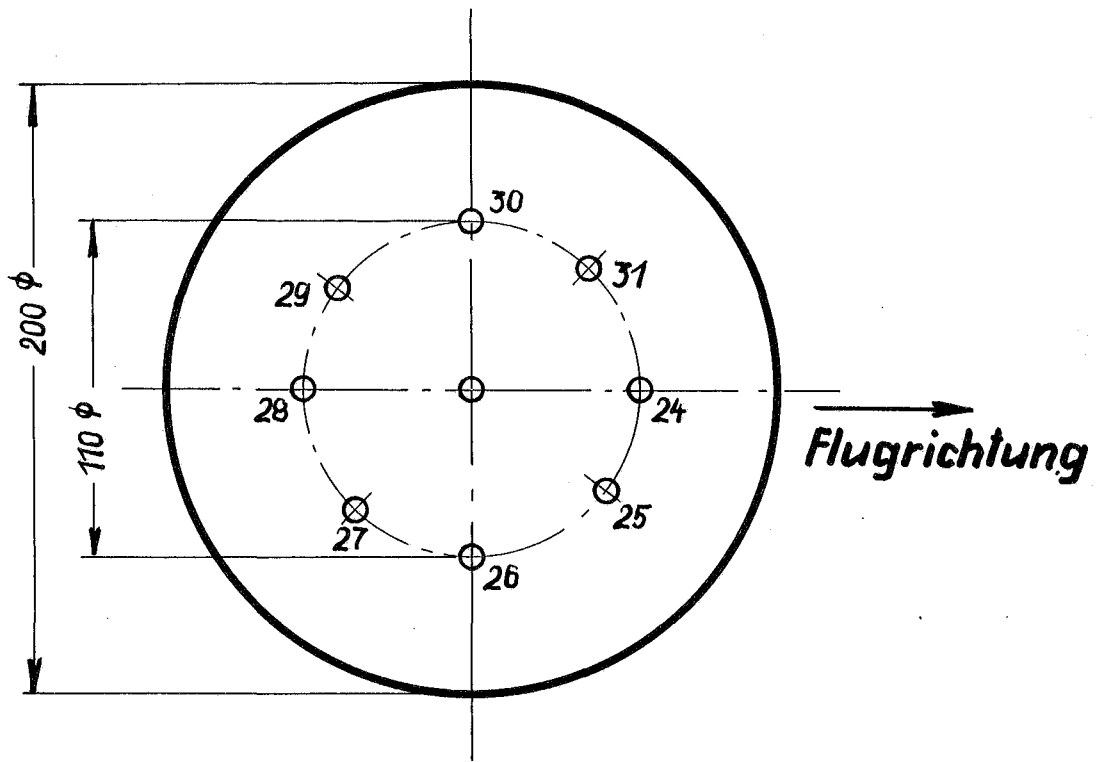
Hauttemperatur in der Staulinie

→ m Flügellänge

Δt [°C]

28

Bild 29: Temperaturverteilung im Austrittsquerschnitt des Ofens bei einer Fluggeschwindigkeit von 280 km/h in 2000 m Höhe.
Brennstoffverbrauch oberer Wert: 11,6 l/h
unterer Wert: 6,3 l/h



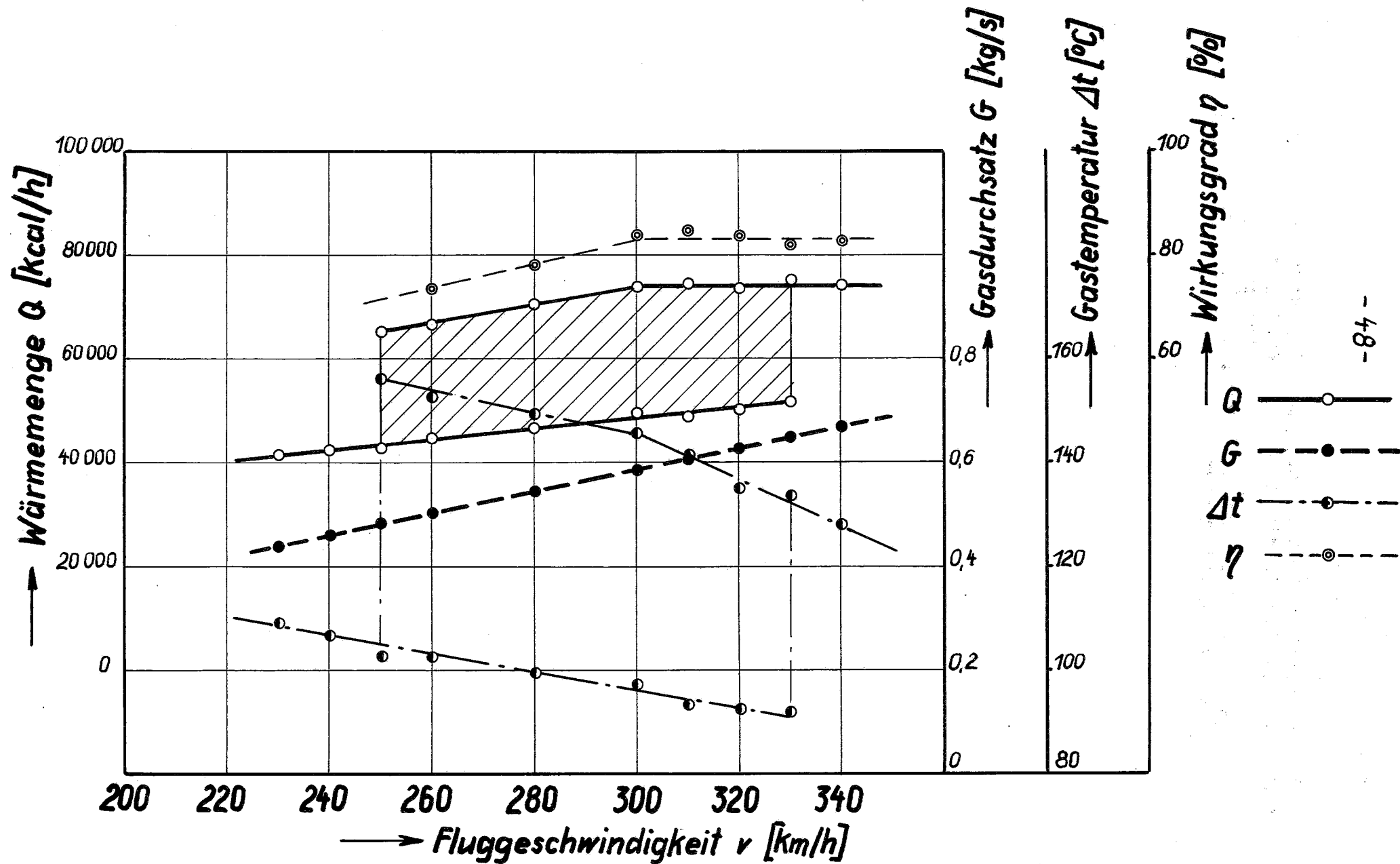
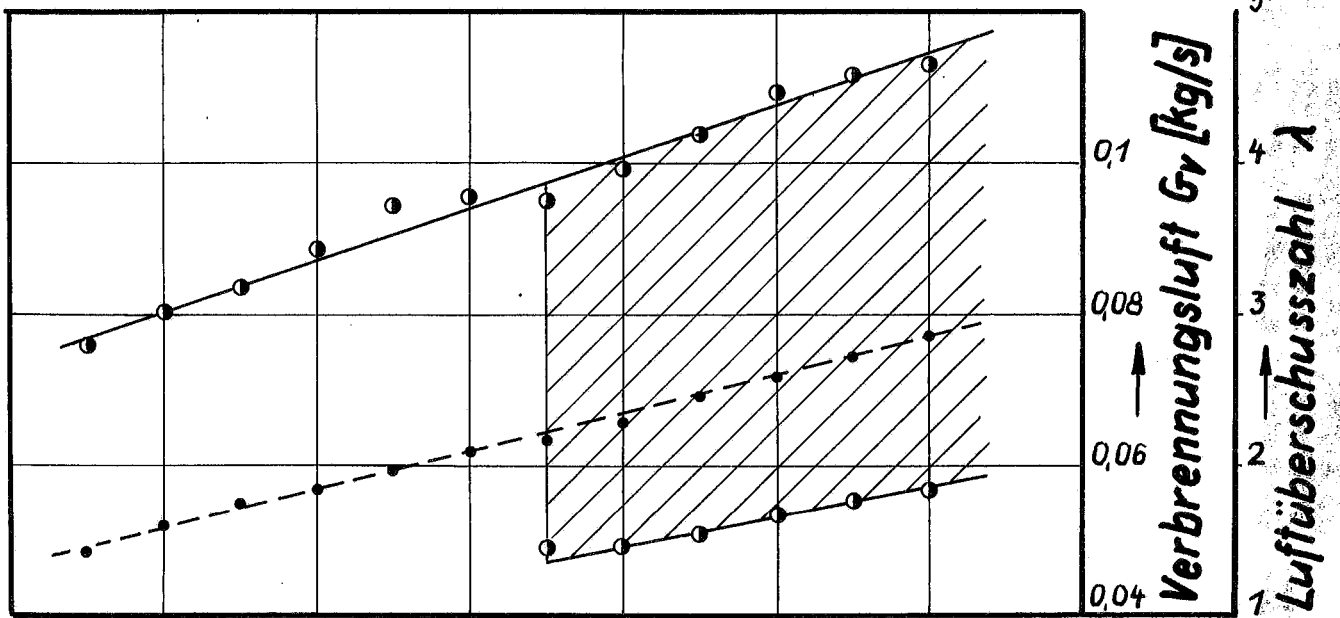
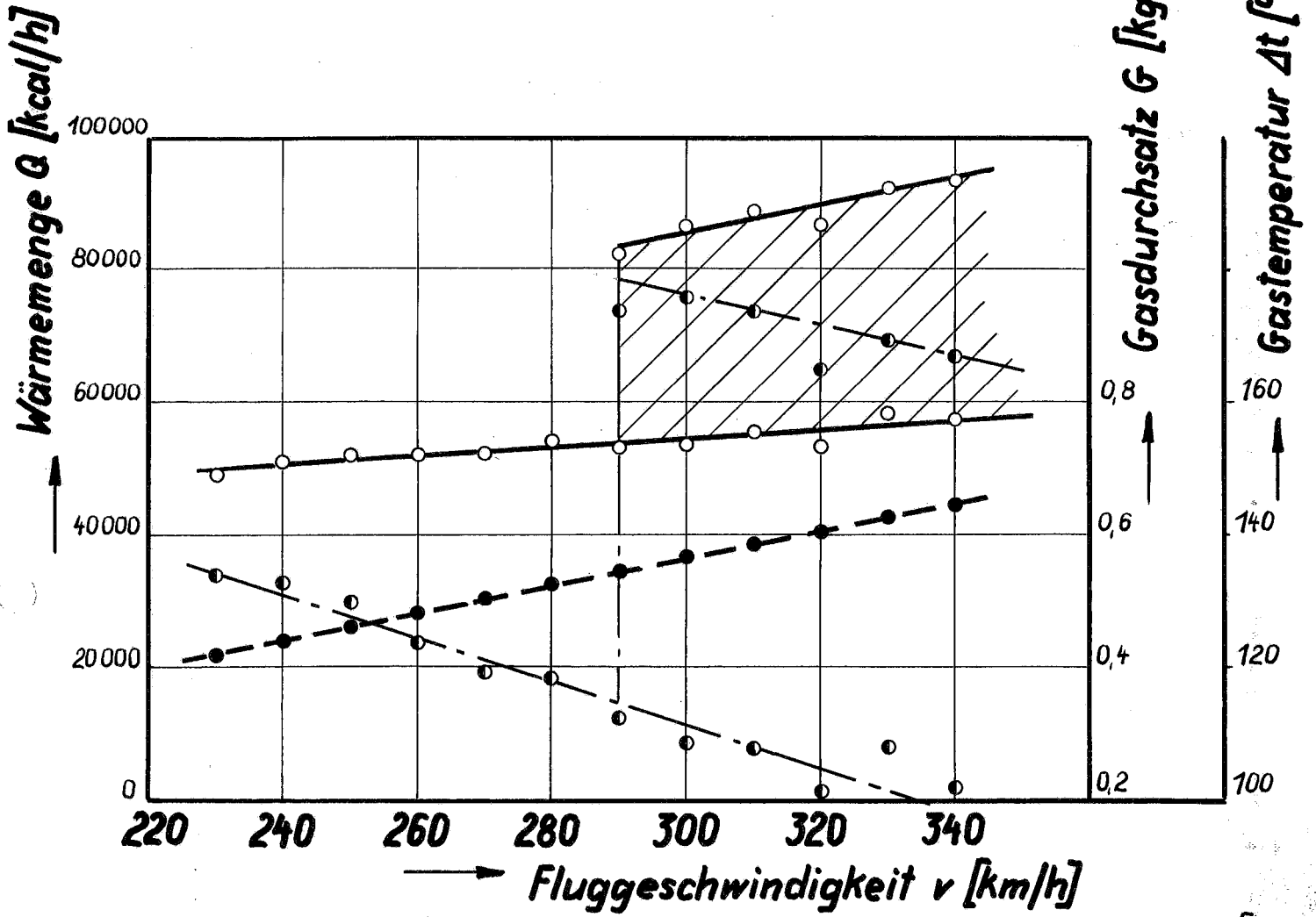


Bild 30: Gasmenge, Wärmemenge, Temperatur und Wirkungsgrad bei verschiedenen Geschwindigkeiten in 2000 m Höhe. Mittlere Brennstoffmenge 11 und 6 l/h.



- Q —○—
- G —●—
- Δt —○—
- G_v —●—
- λ —○—

Bild 31: Gasmenge, Wärmemenge, Temperatur und Luftüberschusszahl in 2000 m Höhe. Mittlere Brennstoffmenge 20 und 8 1/h

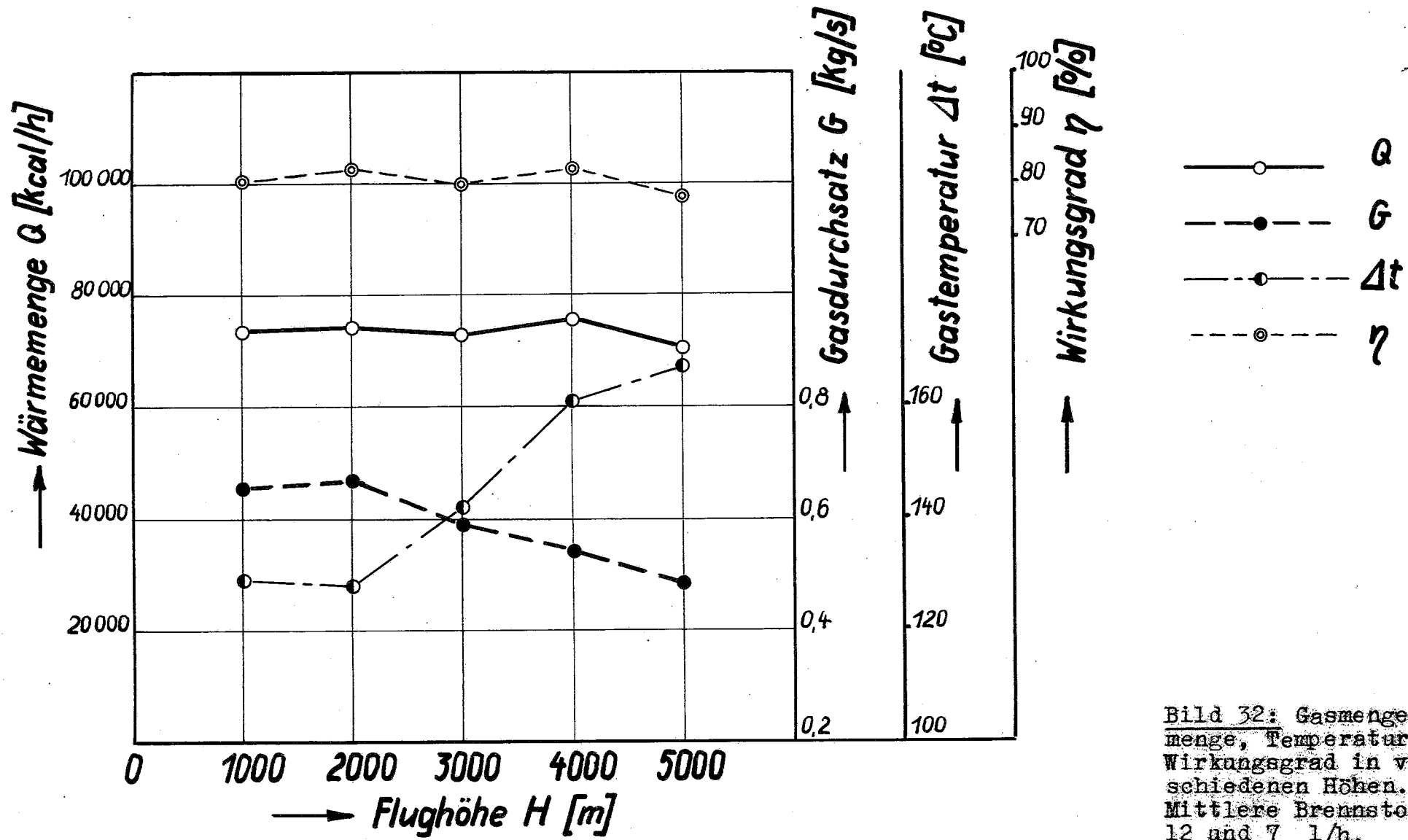


Bild 32: Gasmenge, Wärmemenge, Temperatur und Wirkungsgrad in verschiedenen Höhen. Mittlere Brennstoffmenge 12 und 7 l/h.