

Aus der Geschichte der Flugzeugtriebwerke

*Flugmotorenentwicklung bei der Siemens & Halske AG
und der BMW-Flugmotorenwerke Brandenburg G. m. b. H.¹⁾*

Beginn des Verbrennungsmotorenbaus

Der steigende Bedarf verschiedener Abteilungen an Verbrennungsmotoren veranlaßte den Siemens-Konzern, 1907 im Blockwerk (Abteilung für Eisenbahnsicherungswesen) diese Maschinen selbst zu entwickeln. In den darauf folgenden Jahren wurde für die einzelnen Abteilungen eine große Zahl verschiedenartiger Benzinmotoren konstruiert und hergestellt. So wurden z. B. Motoren gebaut als Bootsantrieb, für Personenwagen und Lastkraftwagen, aber auch für Reservelicht- und Kraftstationen, für fahrbare Röntgenanlagen, Telefunkenstationen, Scheinwerfer- und Beleuchtungsanlagen, Feuerspritzen und Pumpen sowie für Motorpflüge und Bodenfräsen. Kurz vor Ausbruch des ersten Weltkrieges wurde für Sonderzwecke mit dem Bau großer Verbrennungsmotoren begonnen, während nach dem Weltkrieg für die inzwischen außerordentlich stark entwickelte Motorradfabrikation in Deutschland der Bau starker Motorradmotoren aufgenommen wurde, von denen auch einige als Hilfsmotoren in Versuchssegelflugzeugen Verwendung fanden.

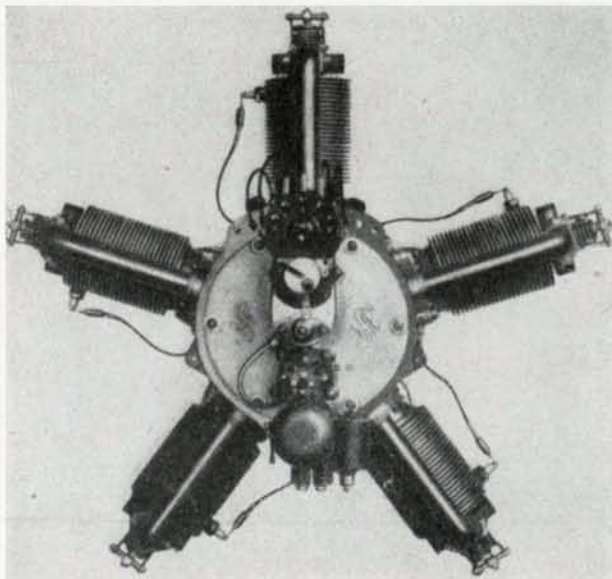
Flugmotoren

Als das Flugwesen zu einem wichtigen Faktor im wirtschaftlichen und militärischen Leben zu werden versprach und aus diesem Grund das Blockwerk der Siemens & Halske A.-G. im Jahre 1912 auch den Bau von Flugmotoren aufnahm, standen bereits die zahlreichen Erfahrungen einer fünfjährigen Arbeit im Verbrennungsmotorenbau zur Verfügung. Doch gehen bei der Entwicklung der Flugmotoren ganz andere Gesichtspunkte den Ausschlag als beim Bau von Schiffsmaschinen oder Fahrzeugmotoren. Dem Konstrukteur einer Schiffsdieselmachine beispielsweise stehen vielleicht 200 kg/PS Baustoffaufwand zur Verfügung, während dem Flugmotorenkonstrukteur nur rund 1 kg/PS Leistungsgewicht zugestanden wird. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß die Eigenart des Luftverkehrs trotz der aufs höchste gesteigerten Beanspruchung des Materials eine bei weitem höhere Betriebssicherheit als bei allen anderen Verbrennungskraftmaschinen fordert.

Umlaufmotoren

Die Bedingung, höchste Leistung bei geringstem Gewicht zu erzielen, veranlaßte das Blockwerk, zunächst für militä-

¹⁾ Nach einem werksinternen Bericht, von Werner Voß auszugsweise veröffentlicht in der BMW-Werkzeitschrift 4/5/6, 1912



rische Zwecke einen „Umlaufmotor“ zu entwickeln, d. h. einen Motor mit einem umlaufenden Zylinderstern. Motoren mit feststehender Kurbelwelle und umlaufenden Zylindern gab es zwar bereits, aber das Blockwerk baute erstmals einen Umlaufmotor mit Gegenläufigkeit von Kurbelwelle und Zylinderstern. Dadurch ergaben sich bei relativ hoher Kolbengeschwindigkeit geringere Ventilationsverluste, weniger Luftwiderstand, kleinere Zentrifugalkräfte, Verringerung des Gewichts und des Betriebsstoffverbrauchs bei gleichzeitiger Erhöhung des Luftschraubenwirkungsgrads infolge niedrigerer Drehzahl sowie fast völlige Aufhebung der Kreiselwirkung.

Der erste Versuchsmotor Sh 1, ein luftgekühlter 9-Zylinder-Motor mit einer Dauerleistung von 110 bis 115 PS bei 11,9 l Hubraum und 140 kg Gewicht, wurde im Oktober 1915 auf dem Bremsstand und kurz darauf im Flugbetrieb erprobt. Zylinderstern und Kurbelwelle drehten sich in entgegengesetzter Richtung mit der gleichen Drehzahl von 900 U/min. Das Gasgemisch wurde durch die hohle Kurbelwelle und das Kurbelgehäuse durch ein Ventil im Kolbenboden in den Verbrennungsraum geführt.

Es mag gerade heute besonders interessieren, daß schon damals versucht wurde, durch Zusammenbau zweier Sh 1-Motoren mit gegeneinander versetzten Zylindern einen 18-Zylinder-Umlaufsternmotor zu bauen. Wegen der Vielzahl der Einzelteile des 18-Zylinder-Motors und auch wegen des verhältnismäßig hohen Gewichts wurde jedoch auf die Durchentwicklung dieses Projektes verzichtet.

Grundsätzlich dieselbe Bauart und Drehzahl zeigte der 194 kg schwere, in Abb. 1 dargestellte Sh 3-Motor (1917), der mit 11 Zylindern bei 18,6 l Hubraum und einem Verdichtungsverhältnis von 5,1 : 1 durch Überbemessung und Überverdichtung bei einer Höchstleistung von 240 PS seine Dauerleistung von 160 PS bis zu einer Höhe von 3700 m beibehielt. Das Einlaßventil befand sich beim Sh 3 nicht mehr im Kolbenboden, sondern wie das Auslaßventil im Zylinderkopf.

Die Fabrikation dieser Umlaufmotoren mußte nach dem unglücklichen Ausgang des ersten Weltkrieges eingestellt werden. Die bereits gefertigten, aber noch nicht abgelieferten Motoren wurden von der Entente-Kommission vernichtet.

Leichte Sternmotoren

Die Knebelung der deutschen Luftfahrt durch den Friedensvertrag ermöglichte nur noch den Bau von Flugmotoren für Verkehr, Schule und Sport. Der erste Motor der Nachkriegszeit war daher für ein dreisitziges Verkehrsflugzeug bestimmt. Da die bisher bevorzugte Bauform des Umlaufmotors keine wesentliche Leistungssteigerung mehr zuzulassen schien, wurde — auch mit Rücksicht auf günstige Kühlung im Flugzeug und die kleine Leistung — als Bauart der luftgekühlte Motor mit feststehendem Stern gewählt. Abb. 2 zeigt diesen 1921 fertiggestellten 5-Zylinder-Sternmotor Sh 4, der bei 1500 U/min bei einer Verdichtung von 1 : 4,7, einer Hubraumleistung von 11,7 PS/l und einem Brennstoffverbrauch von 270 g/PS h im Dauerbetrieb 55 PS leistete. Für alle hochbeanspruchten Teile des Kurbeltriebs und der Steuerung wurden Kugellager verwendet. Unter Benutzung der gleichen Teile des 5-Zylinder-Sternmotors Sh 4 wurde der 7-Zylinder-Sternmotor Sh 5 mit 77 PS bei 6,6 l Hubraum und schließlich der 9-Zylinder-Sternmotor Sh 6 mit 100 PS Leistung bei 8,5 l Hubraum gebaut.

Die bekannten Vorteile der luftgekühlten Sternmotoren gegenüber anderen Flugmotoren-Bauarten und die guten Erfahrungen im Flugbetrieb veranlaßten das Blockwerk, 1924

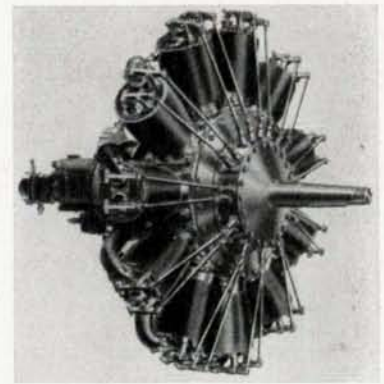


Abb. 1. Siemens Umlaufmotor Sh 3

Abb. 2. Fünfzylinder-Sternmotor Sh 4, erste Versuchsausführung

nach eingehenden Vorversuchen ihre Sternmotoren unter Beibehaltung bewährter Bauteile durch praktische Auswertung wichtiger Erkenntnisse weiter zu entwickeln. So wurden die Zylinderköpfe nach neuen Gesichtspunkten konstruiert, wobei der Verbrennungsraum durch Wahl eines halbkugelförmigen Kompressionsraumes zweckmäßiger gestaltet und die inzwischen gewonnenen Erfahrungen über die thermischen Eigenschaften der Leichtmetalllegierungen und ihrer Herstellung angewandt wurden. Die neue Zylinderbauart, die eine Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses von 1:4,7 auf 1:6,2 ermöglichte, steigerte die Spitzenleistung ohne Drehzahländerung erheblich bei gleichzeitiger Senkung des Brennstoffverbrauchs und Verlängerung der Lebensdauer der Ventilsitze um ein Vielfaches.

Mit diesen Bauteilen wurden 1926 aus den Motoren Sh 4, Sh 5 und Sh 6 die 5-, 7- und 9-Zylinder-Sternmotoren Sh 10, Sh 11 und der in Abb. 3 gezeigte Sh 12 mit 70 PS, 96 PS bzw. 125 PS Höchstleistung bei 1750 U/min fertiggestellt.

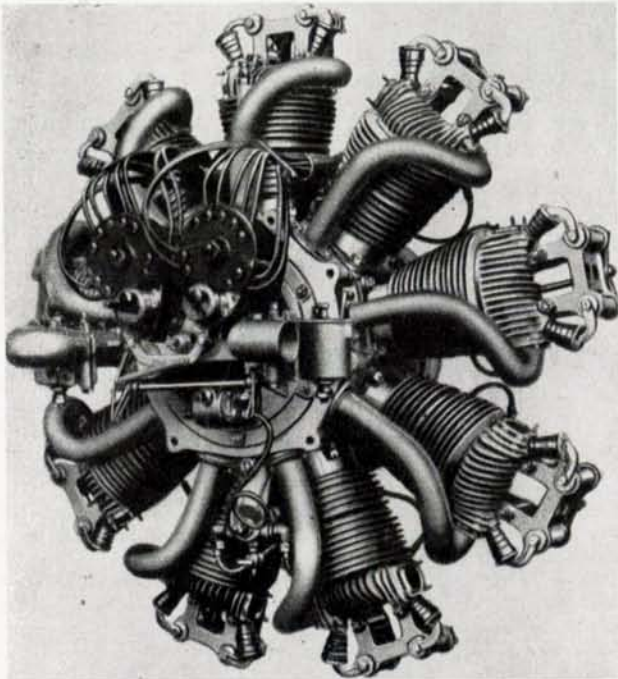


Abb. 3. Neunzylinder-Sternmotor Sh 12, Rückansicht

Die Weiterentwicklung dieser Siemens-Motoren führte 1928 zu dem 5-Zylinder-Sternmotor Sh 13 mit 5,2 l und dem 7-Zylinder-Sternmotor Sh 14 mit 7,2 l Hubraum. Der Motor Sh 13 leistete 80, später als Sh 13 A 83 PS, während der bekannteste und meistgebaute Motor, der in Abb. 4 gezeigte 7-Zylinder-Sternmotor Sh 14 A 4, schließlich eine Leistung von 160 PS erreichte.

Schwere Sternmotoren

Erst im Jahre 1926 wurde der Weg zum Bau größerer Flugzeuge und schwerer Motoren mit der Aufhebung der einschränkenden Begriffsbestimmungen durch das Pariser Abkommen frei. Das Ausland hatte nun in der Zwischenzeit reiche Erfahrungen im Bau von Flugmotoren hoher Leistung gesammelt und es galt, diesen Vorsprung rasch aufzuholen. Aus diesem Grund nahm das Blockwerk 1927 Lizenz auf den Bau des Bristol-Jupiter-Motors der Firma Gnome & Rhône, Paris. Der 9-Zylinder-Sternmotor wurde in zwei verschiedenen Ausführungen gebaut, nämlich für direkten Antrieb der Luftschaube und mit Untersetzungsgetriebe. Bei einem Verdichtungsverhältnis von 5,3:1 betrug die Startleistung des Siemens-Jupiter-Motors mit direktem Antrieb bei 370 kg Gewicht 490 PS und bei 6,3:1 mit 1870 U/min 510 PS. Der Motor mit einem Untersetzungsgetriebe 1:2 wog 426 kg und leistete 510 PS mit einem Verdichtungsverhältnis von 5,3:1 und 530 PS mit 6,3:1 bei einer Kurbelwellendrehzahl von 2100 U/min. In dieser Zeit wurde im Forschungslaboratorium erstmalig die Frage der Luftkühlung von Motorzylindern wissenschaftlich angefaßt und untersucht, bis zu welchen Zylinderleistungen die Luftkühlung ausreichende Betriebssicherheit gewährleistet.

Um den Lizenzbau so schnell wie möglich ablösen zu können, begann das inzwischen vom Blockwerk getrennte Flugmotorenwerk der Siemens & Halske A.-G. gleichzeitig mit der Entwicklung eines eigenen großen luftgekühlten Sternmotors, des Sh 20. Der Motor Sh 20 leistete mit direktem und untersetztem Antrieb der Luftschaube 540 PS und wog 415 bzw. 475 kg. Kostspielige Entwicklungsarbeit wurde beim Bau dieser Motoren für das aus Duralumin oder Lantal im Gesenk geschmiedete Kurbelgehäuse geleistet.

Um den inzwischen weiter gesteigerten Forderungen des Flugwesens insbesondere auch in bezug auf die Flughöhe gerecht zu werden, hat das Flugmotorenwerk aus dem Motor Sh 20 den auf denselben Grundelementen aufgebauten Sh 22 weiterentwickelt. Der Sh 22 wurde von vornherein mit einem Untersetzungsgetriebe 1:1,61 und einem Lader gebaut, der die Leistung bis zu einer Höhe von 1200 m konstant hielt. Die Leistung des Sh 22 betrug 600 PS bei 2200 U/min. Gleichzeitig wurde der Bau eines zweiten Sh 22 vorbereitet, der außer dem Lader noch einen zuschaltbaren Kompressor System Farman-Rateau für eine Nennleistungshöhe von 5500 m erhielt. Von großem Erfolg waren die in Zusammenarbeit mit dem Aerodynamischen Institut der Technischen Hochschule Aachen durchgeführten Untersuchungen zur zweckmäßigsten Verkleidung der Sternmotoren zur Herabsetzung des Luftwiderstandes. Nach der im Jahre 1934 erfolgten Eingliederung des Flugmotorenwerkes in die Siemens-Apparate- und Maschinen-G. m. b. H. erhielt der Sh 22 die Baumusterbezeichnung SAM 322. Seine Leistung war inzwischen auf 715 PS bei 2350 U/min gesteigert worden. Die durch den Aufbau der deutschen Rüstung an das Flugmotorenwerk gestellten Anforderungen machten umfangreiche Erweiterungen der Betriebsanlagen notwendig und brachten schließlich 1936 die Gründung eines selbständigen Unternehmens, der „Brandenburgischen Motorenwerke G. m. b. H.“

Abb. 5 zeigt das Baumuster 323 „Bramo-Fafnir“, dessen Entwicklung in diese Zeit fällt, ein 9-Zylinder-Sternmotor, der mit einem Hubraum von 26,8 l heute 1000 PS leistet²⁾. Der zuerst herausgebrachte Höhenmotor 323 A ist mit einem einstufigen Lader ausgerüstet, der dem Motor eine Nennleistungshöhe von 4200 m gibt. Zur Erhöhung der Startleistung und Verbesserung der Steigleistung in Bodennähe erhielten die später entwickelten Baumuster 323 P und R einen Zweiganglader, dessen verschiedene Übersetzungen den Betrieb des Motors mit Boden- oder Höhenlader zulassen. Der wichtigste technische Fortschritt dieses Motors gegenüber

²⁾ „Luftwissen“ Bd 8 (1941), N 6, S 189.

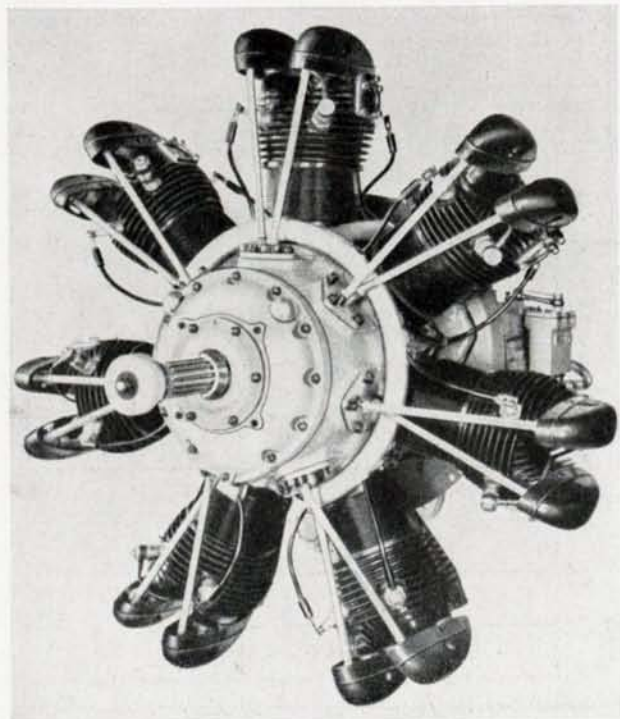


Abb. 4. Siebenzylinder-Sternmotor Sh 14 A 4

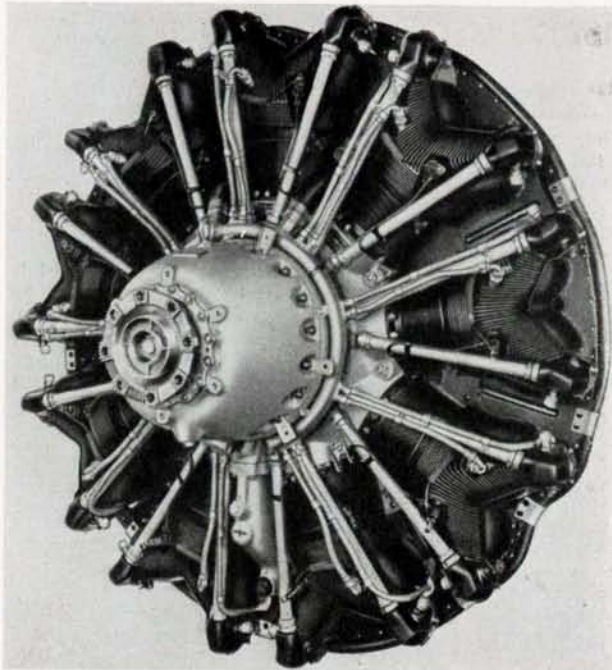


Abb. 5. Bramo Fafnir 323. Neunzylinder-Sternmotor mit Benzineinspritzung

den früheren Baumustern ist der Übergang von der Gemischbildung durch Vergaser auf die unmittelbare Kraftstoffeinspritzung in die Zylinder. Die um diese Zeit bei allen deutschen Hochleistungsmotoren eingeführte Benzineinspritzung

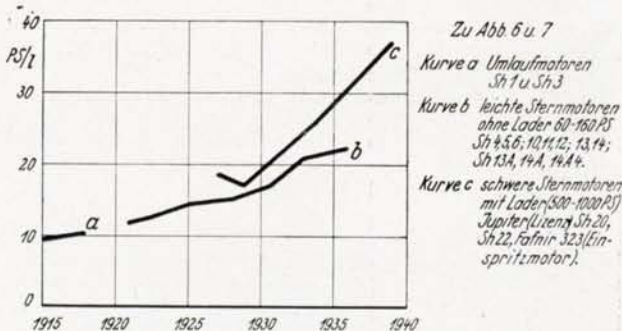


Abb. 6. Verbesserung der Hubraumleistung

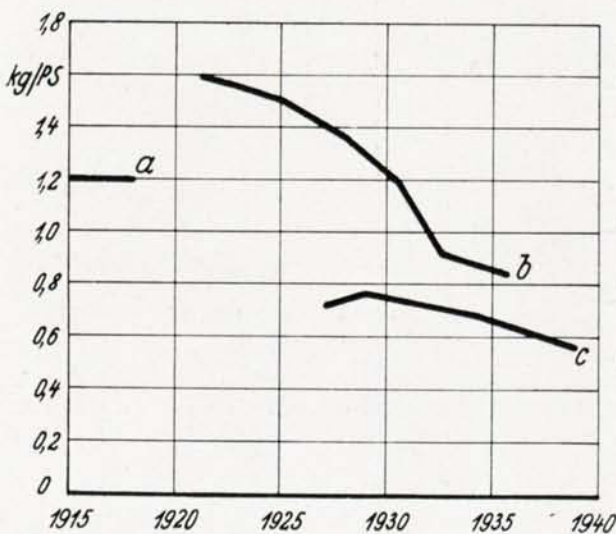


Abb. 7. Senkung des Leistungsgewichts

steigerte die Motorleistung um etwa 5 bis 10 % durch gleichmäßige Gemischzuteilung in alle Zylinder und brachte gleichzeitig eine Senkung des Benzinverbrauchs. Zugleich ermöglicht sie eine Spülung des Totraums sowie die Verwendung von hochsiedenden Kraftstoffen, die der Vergaser nicht mehr verarbeiten könnte und beseitigt mit dem Vergaser dessen Vereisungsgefahr und Abhängigkeit von der Fluglage. Die Benzineinspritzung erlaubt auch in gewissem Sinne eine Innenkühlung durch Spülung der Zylinder mit Frischluft bei entsprechender Wahl der Ventilüberschneidung. Mit der Steigerung der Leistung wuchs aber auch die thermische Belastung und forderte eine starke Verbesserung der Kühlung aller Bauteile. Durch gründliche Erforschung der günstigsten Rippenform und Rippenzahl am Zylinder wurde die Wärmeabfuhr wesentlich gesteigert. Im Lauf von nur vier Jahren wurde so bei gleichbleibendem Hubraum von rund 3 l die gesamte Kühlfläche eines Zylinders von 1,2 auf 2,2 m² vergrößert.

Die Komplizierung des modernen Flugmotors macht seine Bedienung im Flug zu einem Problem. Unmöglich kann der Flugzeugführer alle Organe des modernen Motors für die verschiedenen Betriebszustände auf beste Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit einzeln einregeln. Die Automatik soll dem Flugzeugführer die Arbeit abnehmen, der nur noch mit einem einzigen Bedienungshebel die gewünschte Leistung des Motors wählt. Diese Einhebelbedienung ist heute mit Hilfe der im Kommandogerät zusammengefaßten Gesamtautomatik weitgehend verwirklicht.

Leistungsvergleiche

Interessant und typisch für den enormen Aufschwung des gesamten Flugwesens und Motorenbaus ist die in den Abb. 6 und 7 dargestellte Entwicklung der Hubraumleistungen und der Leistungsgewichte der Siemens-Motoren. Die Hubraumleistungen der leichten Sternmotoren bis 160 PS haben sich im Verlauf einer etwa 20jährigen Entwicklung nahezu verdreifacht, während die Hubraumleistung der schweren Sternmotoren ungefähr das Vierfache der ersten Siemens-Motoren beträgt. Diese Leistungssteigerung brachte zusammen mit der Verwendung von Leichtmetalllegierungen für eine Anzahl von Bauteilen und konstruktiven Verbesserungen der einzelnen Bauelemente eine gleichzeitige Senkung der Leistungsgewichte auf ungefähr die Hälfte bis ein Drittel der ursprünglichen Werte. Die Erhöhung der Hubraumleistung wurde einmal durch Steigerung des mittleren wirksamen Kolbendrucks von 6 kg/cm² beim Sh 4 auf 9,2 kg/cm² beim Sh 14 A 2 bzw. auf 13,5 kg/cm² beim Bramo Fafnir bei Spitzendrücken von 60 bis 90 kg/cm² erzielt. Dabei war das Verdichtungsverhältnis von 1 : 4,7 auf 1 : 6,0 bei den leichten und auf 1 : 6,4 bei den schweren Sternmotoren erhöht worden. Der zweite Weg war die Steigerung der Drehzahl von 1500 U/min auf 2200 U/min bzw. auf 2500 U/min (Bramo Fafnir), bzw. der Kolbengeschwindigkeiten von etwa 6 m/s beim Sh 4 auf 8,8 m/s beim Sh 14 A 4 bzw. auf 13,5 m/s beim Bramo Fafnir. Die Drehzahlsteigerung brachte aber eine wachsende Beanspruchung der Steuerungsorgane und wachsende Drosselverluste bei der Füllung der Zylinder mit Frischgas. Ferner wuchsen mit dem Quadrat der Kolbengeschwindigkeit die Massenkräfte im Kurbeltrieb und damit die Beanspruchungen der Lager und einzelner Kurbeltriebteile sowie die Reibungsverluste. Steigerung des mittleren wirksamen Kolbendrucks und der Drehzahl waren daher nur möglich durch sorgfältige Konstruktion aller Elemente, durch Verbesserung des Wärmeabflusses unter Verwendung neuer Werkstoffe sowie durch Erhöhung der Klopfestigkeit der Treibstoffe und der Schmierfähigkeit der verwendeten Flugmotorenöle.

Weiterentwicklung des Werkes

Mit dem Fafnir 323 ist die Geschichte der selbständigen Motorenentwicklung, soweit sie in der Fertigung zum Ausdruck kommt, abgeschlossen. Im Herbst 1938 wurde die Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der luftgekühlten Sternmotoren durch einen Entwicklungsgemeinschaftsvertrag mit BMW München zusammengefaßt. Im Juni 1939 gingen die Brandenburgischen Motorenwerke in den Besitz der BMW-Flugmotorenbau G. m. b. H. München über und führen seit Herbst 1939 den Namen BMW-Flugmotorenwerke Brandenburg G. m. b. H. Das Entwicklungswerk in Spandau wurde seit Juni 1939 unter der Firma BMW-Flugmotorenbau G. m. b. H. München betrieben.

Dr.-Ing. Helmut Löhner