Desmodromische Ventilsteuerungen

Zwangs-Vorstellung

Nur wenige Begriffe aus der Motorentechnik sind so geheimnisumwittert wie die Desmodromik. Bei diesem Ausdruck bekommen Motorradfahrer leuchtende Augen und denken sofort an Ducati. Doch es gab genug andere Entwicklungen, wie dieser Überblick zeigt.

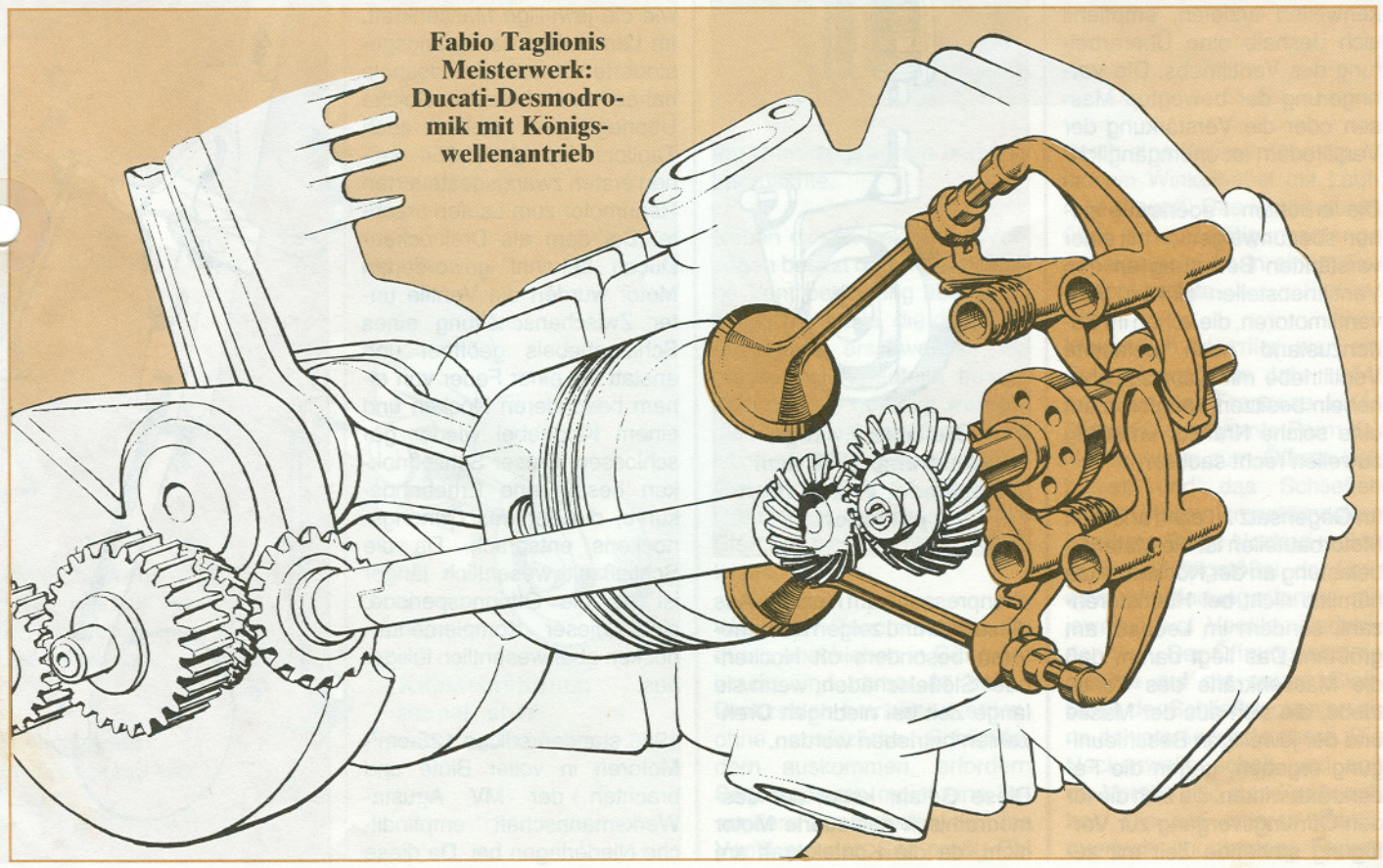
Text: Wolfgang Schnepf
Zeichnungen: Seybold, Werk
Dokumentation: Zimmerlin

Obwohl die Motorradmotorentechnik in den letzten Jahren riesige Fortschritte gemacht hat, vertrauen die Ingenieure auch bei fünfventiligen Brennräumen auf die herkömmliche Ventilsteuerung mit Nockenwellen und Ventilfedern. Die Abweichungen in den verschiedenen Systemen betreffen nur die Ventilöffnung, die über Tassenstößel, Kipphebel, Schlepphebel oder Stoßstangen erfolgt.

Beim Schließen der Ventile herrscht dagegen bemerkenswerte Einigkeit. Bis auf die italienische Marke Ducati vertrauen derzeit alle Hersteller auf Schraubenfedern, die den Ventiltrieb in Kontakt zum Steuernocken halten. Je nach Drehzahl, Ventilgewicht und Steuerungssystem werden eine oder zwei Federn mit dem Rücktransport des Ventils beauftragt.

Diese simple Art des Ventilschließens war dem langjährigen Chefkonstrukteur von Ducati, Fabio Taglioni, schon Ende der vierziger Jahre ein Dorn im Auge, da die Federn damals noch von gravierenden Mängeln geplagt wurden. Zum einen, weil die aus hochlegiertem Stahldraht gewickelten Federn immer wieder für Ausfälle durch Schwingungsbruch oder Erlahmen sorgten, und zum andern, weil sie die Reibleistung des Triebwerks erhöhen.

Damit aber nicht genug. Die Unterbringung der Federn im Zylinderkopf erfordert viel Bauraum, und die exakte Funktion ist stark drehzahlabhängig. Die



Fabio Taglionis Meisterwerk: Ducati-Desmodromik mit Königswellenantrieb

Federn kommen nämlich ihrer Aufgabe, die Ventiltriebsteile stets am Nocken zu halten, nur bis zu der Drehzahl nach, bei der die Massenkräfte kleiner sind als die Federkräfte. Wird diese Drehzahl (zum Beispiel durch einen Schaltfehler) überschritten, drückt das zu schnell beschleunigte Ventil die Feder zusammen und verliert den Kontakt zum Nocken; es tritt das sogenannte Ventilschnattern ein.

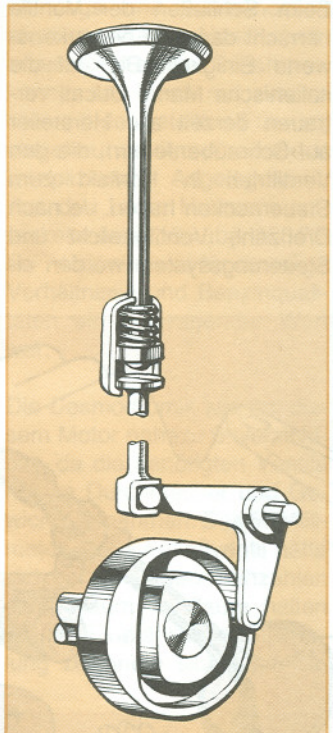
Ist der Sicherheitsabstand zwischen Kolben und Ventil zu gering, besteht die Gefahr, daß der Kolben das Ventil beschädigt. Im Extremfall kann ein Ventil nach einer solchen Berührung sogar abreißen und den Motor in einen Schrotthaufen verwandeln.

Besonders bei getunten Motoren, die ihre Mehrleistung über eine höhere Motordrehzahl und über schneller öffnende Nokkenwellen erzielen, empfiehlt sich deshalb eine Überarbeitung des Ventiltriebs. Die Verringerung der bewegten Massen oder die Verstärkung der Ventilfedern ist unumgänglich.

Die erhöhten Federkräfte gehen aber unweigerlich mit einer verstärkten Belastung an den Ventiltriebsteilen einher. Vierventilmotoren, die schon im Serienzustand hoch belastete Ventiltriebe mit Gabelschleppheben besitzen, reagieren auf eine solche Kraftkur im Alltag zuweilen recht sauber.

Im Gegensatz zu allen anderen Motorbauteilen ist die Materialbelastung an der Nockenspitze nämlich nicht bei Höchstdrehzahl, sondern im Leerlauf am größten. Das liegt daran, daß die Massenkräfte des Ventiltriebs, die sich aus der Masse und der jeweiligen Beschleunigung ergeben, gegen die Federkräfte wirken. Da sich die für den Öffnungsvorgang zur Verfügung stehende Zeit mit zunehmender Drehzahl verringert, muß sich die Beschleunigung und damit die Massenkraft vergrößern. Obwohl die Ventilfeder voll komprimiert ist, liegt die Kontaktkraft zwischen Stößel und Nockenspitze deshalb unter dem statisch zu messenden Betrag.

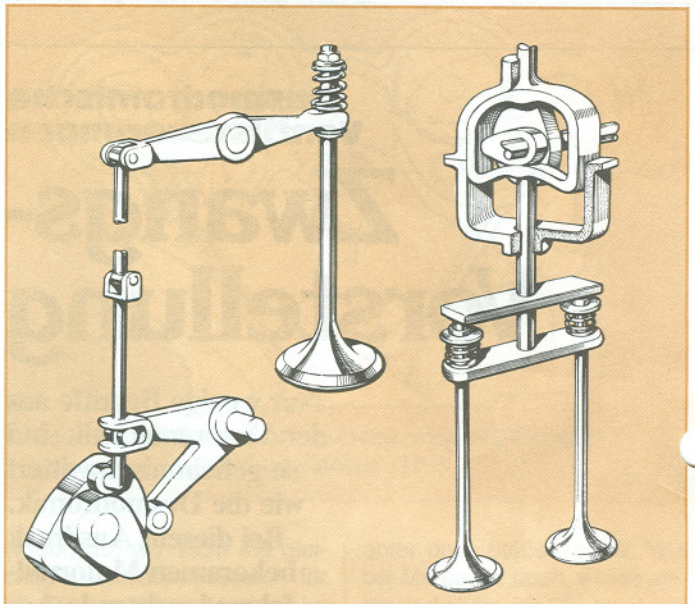
Bei niedrigen Drehzahlen hingegen, wenn sich die Ventile nur verhältnismäßig langsam öffnen, ist die entlastende Massenkraft fast vernachlässigbar klein. In dieser Situation bestimmt die Federkraft die Flächenpressung am Nocken. Aus diesem Grund zeigen Rennmotoren besonders oft Nocken- oder Stößelschäden, wenn sie lange Zeit bei niedrigen Drehzahlen betrieben werden.



Die erste Zwangssteuerung: 1910 dem Engländer F.H. Arnott patentiert

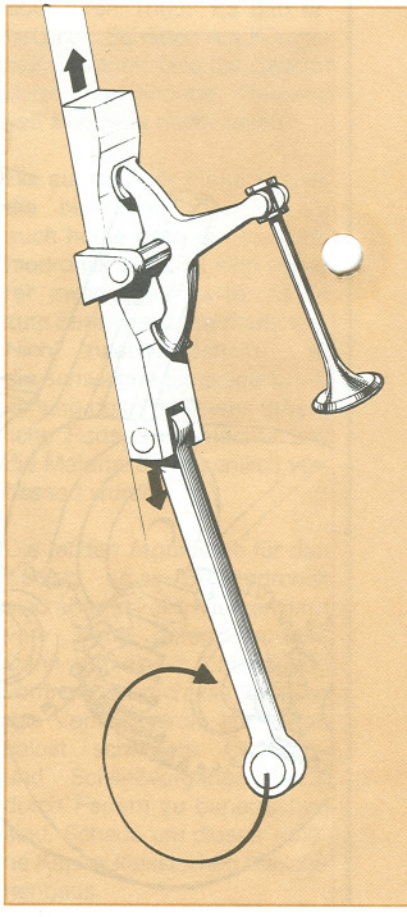
Diese Gefahr kennt der desmodromisch gesteuerte Motor nicht, da die Kontaktkraft am Nocken nur so groß sein kann wie die jeweilige Massenkraft. Im Leerlauf ist der zwangsgesteuerte Ventiltrieb deshalb nahezu nicht belastet. Solche Überlegungen stellte auch Taglioni an, der 1954 seinen ersten zwangsgesteuerten Rennmotor zum Laufen brachte. Bei dem als Dreinocken-Ducati bekannt gewordenen Motor wurden die Ventile unter Zwischenschaltung eines Schlepphebels geöffnet und anstatt mit einer Feder von einem besonderen Nocken und einem Kipphebel wieder geschlossen. Dieser Schließnokken besaß eine Erhebungskurve, die der des Öffnungsnockens entsprach. Da die Schließzeit wesentlich länger ist als die Öffnungsperiode, sieht dieser Komplementärnocken aber wesentlich fülliger aus.

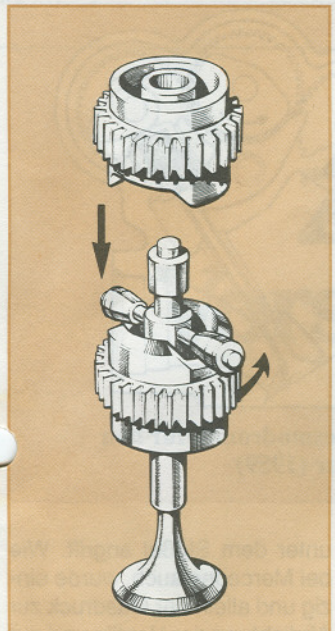
1958 standen solche 125-cm³-Motoren in voller Blüte und brachten der MV Agusta-Werksmannschaft empfindliche Niederlagen bei. Da diese



Hebelwerk: 1916 von J.M. Brewster für untenliegende Nockenwellen entworfen

Kunstwerk: die mechanisch aufwendige Steuerung des Franzosen Louis Delage





Elegant: Fiat-Entwurf mit zwei umlaufenden Nockenkurven

Motoren keine natürliche Grenzdrehzahl aufweisen, bei der die Ventile zu schnattern anfangen, ließen sich ganz beachtliche Überdrehzahlen verwirklichen. Obwohl die Leistung von 19 PS bei 12 500/min produziert wurde, waren Drehzahlen von 16 000/min ohne Folgeschäden möglich. Das spricht nicht nur für den Ventiltrieb, sondern auch für den Kurbeltrieb, der bei solchen Tourenzahlen extrem belastet wird.

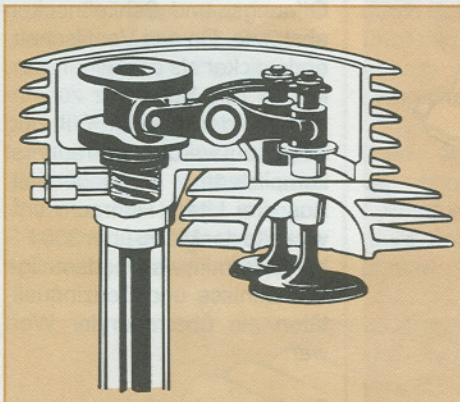
Ein weiterer Vorteil dieser mechanisch sehr aufwendigen Lösung liegt darin, daß sich die Ventile wesentlich schneller öffnen lassen, da der Schließhebel jedes Überschwingen verhindert. Aus diesem Grund ist es möglich, die Füllung des Zylinders bei hohen Drehzahlen zu verbessern, ohne daß riesige Überschneidungszeiten mit Spülverlusten bei niedrigen Drehzahlen in Kauf genommen werden müssen.

Mercedes-Benz-Ingenieur Dr. Scherenberg, der maßgeblich an der Desmodromik des Weltmeisterwagens von 1954 mitgearbeitet hatte, bezifferte den möglichen Gewinn an Ventilhub mit 42 Prozent. Die Ventilbeschleunigung ließ sich sogar um 128 Prozent höher auslegen. Dazu kam noch, daß sich die Steuerzeit von 284 Grad auf 256 Grad zurücknehmen ließ, was sich in besonders guten Durchzugswerten bemerkbar machte.

Neben diesen bekannten Vorzügen besitzt die formschlüssige Ventilbetätigung aber auch einige Nachteile, die den Serieneinsatz erschweren. So müssen alle Bauteile besonders präzise gefertigt werden, die Einstellung des Ventilspiels ist oft recht kompliziert, und die Gasdichtheit bei niedrigen Drehzahlen, zum Beispiel beim Start, ist nicht immer gewährleistet.

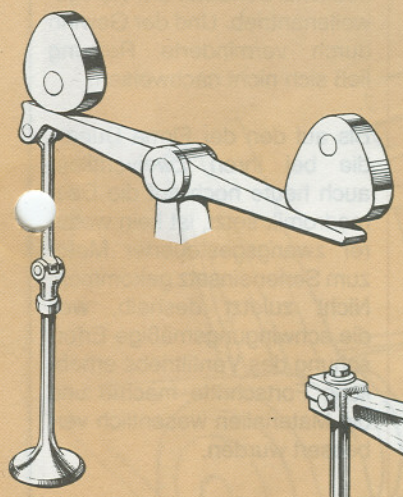
Während Rennmotoren, die durch Anschieben in Gang gebracht und immer in hohen Drehzahlen betrieben werden, ohne zusätzliche Schließfedern auskommen, erfordern Serienmotoren meist eine besondere Zusatzfeder, die das Ventil auf den Sitz preßt. Bei höheren Drehzahlen hingegen reicht der Gasdruck auf den Ventiltellern zur Abdichtung und zur Wärmeübertragung völlig aus. Diese Nachteile und die hohen Fertigungskosten waren die Hauptgründe dafür, daß sich die Desmodromik nicht durchsetzen konnte.

Ansätze und Lösungsvorschläge gab es allerdings genug. Schon 1910 wurde das erste Patent für eine Zwangssteuerung erteilt, die der Engländer F.H. Arnott entwickelt hatte. Er ersetzte die Nockenwelle durch eine Kulissenführung, in die ein Winkelhebel mit Laufrolle eingriff. Das Ventil wurde über eine Betätigungsstange angekoppelt, die in einem Federtopf endete.

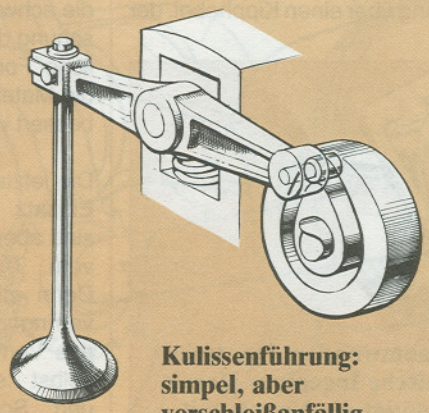


Küchen-Rezept: Die vertikal laufende Kulissenführung stammt von dem deutschen Motorenbauer Richard Küchen

Wesentlich skurriler war ein Entwurf aus dem Jahr 1914, bei dem der Franzose Louis Delage die bekannte Form der Nockenwelle zum Öffnen beibehielt und das Schließen einem Komplementärnocken übertrug. Beide Nocken saßen in einem Käfigstößel, der über eine Verbindungsstange mit jeweils zwei Ventilen verbunden war. Der Öffnungsnocken drückte auf die untere Gleitbahn, der Schließnocken an eine dahinterliegende obere. Die Nockenwelle schob und zog die Ventile also ständig hin und her. Die am unteren Ventilquerjoch montierten Federn



Waagebalken: je ein Nocken für das Öffnen und Schließen

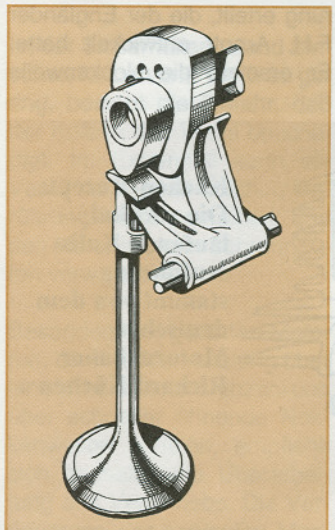


Kulissenführung: simpel, aber verschleißanfällig

Nockenschieber: einfach, aber mit viel Reibung

dienten lediglich dazu, die Ventile auf ihren Sitz zu pressen.

Da bei dieser Konstruktion riesige Massen in Bewegung waren und die Fertigung viel Aufwand erforderte, ging Delage später auf eine Doppelkipphebelsteuerung über, die prinzipiell der späteren Mercedes-Ausführung entsprach. Bei ihr wurde das Ventil am Schaftende beweglich mit dem Kipphebel verbunden; die beiden anderen Enden des Hebels waren mit Rollen bestückt, die sich auf den beiden Nocken abwälzten.



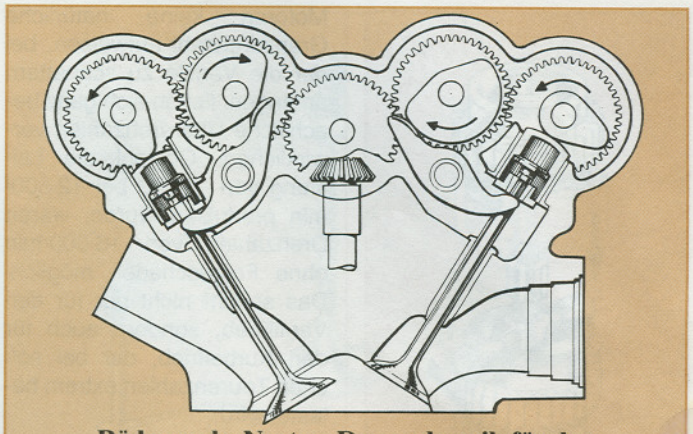
Schwabenstreich: erfolgreiche Desmodromik des Mercedes M 196-Motors

1916 ersann der Engländer J.M. Brewster eine ähnliche Zwangssteuerung für Motoren mit untenliegender Nockenwelle. Bei ihm verband eine kleine Zwischenfeder das Ventil mit einem Kipphebel, der auf der anderen Seite die Verbindungsstange zum Doppelschlepphebel trug. Zum Ausgleich der leichten Schwenkbewegung besaß diese Schub- und Zugstange Gelenke.

Nach diesen doch recht komplizierten Gebilden frühzeitlichen Maschinenbaus wirkt eine Konstruktion von Fiat richtig elegant. Hier ersetzten zwei übereinanderliegende Bahnkurven die Nockenwelle. Das Ventil verfügte über einen Quersteg mit zwei aufgesetzten Rollen, der gegen Mitdrehen gesichert war. Die Einstellung des Ventilspiels erfolgte über eine zentrale Einstellscheibe und der Antrieb der umlaufenden Nockenkurven durch Zahnräder.

Die Achtzylinder-Rennmotoren von Mercedes-Benz, die 1954 im 300 SLR zu Weltmeisterehren kamen, besaßen hingegen einen Doppelhebel, der sich am Öffnungs- und Schließnocken abstützte. Da das Ventilschaftende dicker als der Schaft war, konnte das Ventil nur zusammen mit der geteilten Führung eingebaut werden; eine äußerst komplizierte Angelegenheit. Aus drei Litern Hubraum entwickelte der M 196 über 300 PS bei 7450/min, was für damalige Verhältnisse und Benzinqualitäten ein überragender Wert war.

Die Desmodromik war bei diesem Motor nahezu unverzichtbar, da die benötigten Ventile riesige Durchmesser und Gewichte annahmen. Das 50 Millimeter große Einlaßventil hätte sich bei den hohen Drehzahlen sonst kaum im Zaum halten lassen. Eine ähnliche Entwicklung zeichnete sich auch bei Norton ab, wo 1956 die gleichen Ventildurchmesser für die 500-cm³-Manx-Motoren im Einsatz waren. Um die Leistung der Einzylindermotoren noch weiter zu steigern, bauten die Engländer 1959 einen Motor mit Zwangssteuerung auf, der aber nie bis zur nötigen Reife weiterentwickelt wurde.



Räderwerk: Norton-Desmodromik für den Manx-Motor (1959)

Bei diesem Motor mußte der fünfrädrige Zahnradsatz der Production Racer-Zylinderköpfe nur leicht geändert werden. Die beiden äußeren Zahnräder trugen die Öffnungsnocken und die beiden davor liegenden die Schließnocken. Während das Ventil über einen sehr leichten Hohlstößel geöffnet wurde, erfolgte der Schließvorgang über einen Kipphebel, der unter dem Stößel angriff. Wie bei Mercedes auch, wurde einzig und allein der Gasdruck zur Abdichtung der Ventile und zur Wärmeübertragung herangezogen.

Die wesentlich höheren Ventilbeschleunigungen forderten aber ihren Tribut: Es gab erhebliche Schäden am Königswellenantrieb. Und der Gewinn durch verminderte Reibung ließ sich nicht nachweisen.

Bis auf den der Firma Ducati, die bei ihren Zweiventilern auch heute noch auf die Desmodromik setzt, ist kein weiterer zwangsgesteuerter Motor zum Serieneinsatz gekommen. Nicht zuletzt deshalb, weil die schwingungsmäßige Erforschung des Ventiltriebs erhebliche Fortschritte machte und die Materialien wesentlich verbessert wurden.

Die letzten Argumente für den Einsatz einer Desmodromik sind aber mit den Vierventilern vom Tisch gefegt worden. Denn mit dieser Entwicklung verringerten sich die Massen des Ventiltriebs so stark, daß selbst schnellste Öffnungs- und Schließvorgänge leicht durch Federn zu beherrschen sind. Schade um dieses schöne Kapitel klassischen Maschinenbaus.

Raumwunder: Der tschechische Ingenieur Horak betätigt die Ventile mit einer horizontal über den Zylindern liegenden Raumnockenwelle