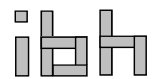

Patentrecherche und Überblick zu variablen Ventilsteuerungen

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Hannibal
Märkische Fachhochschule Iserlohn



Kathrin Meyer
ingenieurbüro böckmann – hannibal



Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung / Abstract	2
1.	Einleitung	2
2.	Überblick zu variablen Ventilsteuerungen an Serienmotoren	3
3.	Funktionsprinzipien variabler Ventilsteuerungen	5
4.	Datenbank zu variablen Ventilsteuerungen	7
5.	Patentanalyse	9
6.	Trends der Entwicklung variabler Ventilsteuerungen	14
7.	Zusammenfassung und Ausblick	19
8.	Literaturverzeichnis	20

Kurzfassung

In dem vorliegenden Beitrag werden variable Ventilsteuerungen ihrem Funktionsprinzip nach gegliedert und danach wird ein Überblick über Patentanmeldungen entsprechend des Funktionsprinzips erstellt. Zunächst werden die an Serienmotoren vorhandenen variablen Ventilsteuerungen aufgelistet. Im wesentlichen handelt es sich dabei um Systeme zur Verdrehung der Nockenwelle als Ganzes oder um Systeme, bei denen Koppellemente zur Veränderung der Ventilerhebung für mehrere Stellungen verwendet werden. Die Koppellemente befinden sich zwischen den Nocken und den Gaswechselventilen. Die Hauptaktivitäten der Patentanmeldungen zu variablen Ventilsteuerungen sind an den Systemen zu beobachten, die auch an den Serienmotoren eingesetzt sind. Zusätzlich sind eine Vielzahl an Patentanmeldungen auf dem Gebiet der elektro-mechanischen variablen Ventilbetätigung in den letzten Jahren getätigt worden. Aus dem Überblick über die Patentanmeldungen lassen sich Entwicklungstrends ableiten. Ein einheitlicher Entwicklungstrend zu einem bestimmten Funktionsprinzip für variable Ventilsteuerungen läßt sich nicht erkennen.

Abstract

In this article variable valve controllers are sub-divided on the basis of their function principle and after that an overview is given of patent applications for each function principle. First of all the variable valve controllers used on standard engines are listed. These essentially comprise systems for turning the camshaft as a whole or system in which connecting elements are used to change the valve lift in several settings. The connecting elements are between the cams and the gas change valves. The main activities of the patent applications for variable valve controllers can be observed on the systems that are also used on standard engines. In addition a wide range of patent applications have been made over the last few years in the field of electro-mechanical variable valve controllers. From the overview of the patent applications it is possible to derive development trends. A standard development trend for a specific function principle for variable valve controllers has not yet become established.

1. Einleitung

Mit dem Einsatz variabler Ventilsteuerungen (VVS) lassen sich an Verbrennungsmotoren die motorischen Zielgrößen, wie der spezifische Verbrauch, das Abgasverhalten, das Drehmoment, sowie die maximale Leistung, positiv beeinflussen. Variable Ventilsteuerungen werden ihrem physikalischen Wirkprinzip nach in mechanisch, hydraulisch, elektrisch und pneumatisch betätigte Systeme unterteilt. Sowohl zu einfachen Systemen, bei denen die Steuerzeiten in zwei Stellungen variiert werden können, als auch zu den komplexeren Systemen, bei denen sogar die Laststeuerung der Motoren durch variable Steuerzeiten realisiert werden kann, sind zahlreiche Systeme bekannt und liegen umfangreiche Forschungsergebnisse vor.

Die Vielzahl der variablen Ventilsteuerungen machen es dem Entwickler schwierig, eine für seine Anwendung geeignete Steuerung auszuwählen. Die verschiedensten Systeme greifen in das Zylinderkopfkonzepnt derart ein, daß erhebliche Bauteilanpassungen zu treffen sind. Für den Einsatz an Serienmotoren hat dieses in der Regel zur Folge, daß auch mit variablen Ventilsteuerungen an Serienmotoren gleichzeitig eine neue Zylinderkopfgeneration entwickelt werden muß. In der Regel ist mit

dem Einsatz variabler Steuerzeiten ein Mehraufwand gegenüber dem konventionellen Motor verbunden, der sich in Mehrkosten ausdrückt. Dieses Umfeld stellt sich für den Motorenentwickler besonders spannend dar.

Für die Automobilbranche stellt sich die Frage, an welchen Systemen in Ergänzung zu laufenden Aktivitäten zukünftig gearbeitet werden sollte.

Im Rahmen dieses Beitrags wird hierzu das Umfeld der variablen Ventilsteuerungen beleuchtet. Auf Basis eines Überblicks zu variablen Ventilsteuerungen an Serienmotoren und einer umfassenden Patentanalyse werden Trends der laufenden Entwicklungen zu variablen Ventilsteuerungen gegeben.

2. Überblick zu variablen Ventilsteuerungen an Serienmotoren

Von ersten Ideen und Patenten zu variablen Ventilsteuerungen bis hin zur Serieneinführung an Motoren, ist im Motorenbau eine Zeit von ca. 65 Jahren vergangen. Schon am 29. September 1918 wurde zur Verdrehung einer Ottomotoren-Nockenwelle ein Patent erteilt [1]. Durch eine innen und außen gerad-schrägverzahnte Hülse, die sich axial beweglich zwischen Nockenwelle und dem Antriebsrad befindet, wird die gewünschte Variation der Steuerzeiten während des Motorbetriebs erzielt. Die Fa. Alfa Romeo brachte das gleiche Funktionsprinzip 1983 an einem Vierzylinder-Motor als erste variable Ventilsteuerung auf den Markt [2]. Später folgen ähnliche Systeme zur Verdrehung der Nockenwellen wie z.B. von den Firmen Mercedes Benz, Toyota, BMW, Porsche, Nissan, Audi, Ford und Jaguar (s. **Tabelle 1** und **2**). Es handelt sich hierbei um Systeme, die mittels Öldruck und Federkraft die Verstellkomponenten bewegen und zwei Stellungen der Steuerzeiten ermöglichen. Die Fa. BMW hat hierüber hinaus ein System in Serie realisiert, bei dem auch eine kontinuierliche Verdrehung der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle erzielt wird [3] und [4]. Der zur Verstellung benötigte Kolben kann veränderlich zwischen zwei Endstellungen gehalten werden. Hierzu wird eine Steuerung mittels Öldruck verwendet, wobei eine zusätzliche Ölhochdruckpumpe benötigt wird. Der Verstellkolben wird beidseitig mit Öldruck beaufschlagt. Zum Halten der Zwischenstellungen ist eine elektro-hydraulische Regelung erforderlich. Die Fa. Cadillac brachte 1980 einen V8-Motor auf den amerikanischen Markt, bei dem einzelne Zylinder durch Abschaltung der Gaswechselventile deaktiviert wurden. Sowohl die Ein-, als auch die Auslaßventile des Zweiventilmotors, wurden mittels einer elektromagnetisch betätigten Klinke abgeschaltet [5].

Honda hat als erste Firma die Ventilabschaltung 1983 an einem Motorrad verwirklicht [6]. Später ab 1989 folgte der Pkw-Einsatz mit einem ähnlichen Funktionsprinzip an Vierventil-, Vierzylinder- und Sechszylindermotoren [7], [8] und [9]. Jedoch wurden an diesen Motoren erstmalig verschiedene Ventilhubkurven realisiert. Bei dem sogenannten „VTEC“-System werden kleine hydraulisch betätigte Kolben zwischen zwei Schleppebeln hin und her bewegt. Je nach Stellung dieser kleinen Kolben kommen unterschiedliche Schleppebel und Nocken zum Einsatz, die die Gaswechselventile öffnen. Ein ähnliches System ist von der Fa. Mitsubishi 1994 auf den Markt gebracht worden [10] und [11]. Auch hier wird mittels Öldruck und Federkraft ein Verstellkolben bewegt, so daß über verschiedene Nockenkonturen unterschiedliche Schleppebel betätigt werden und eine Variation in der Ventilerhebungskurve ermöglicht wird. Zusätzlich wird über die Stilllegung einzelner Ventile auch teilweise eine Zylinderabschaltung betrieben.

In **Tabelle 1** und **2** wird ein Überblick über die verschiedenen in Serie befindlichen variablen Ventilsteuerungen erstellt. Die Tabelle erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zumal in der letzten Zeit eine Vielzahl an Systemen an Serienmotoren ergänzt wurden. Anregungen und Ergänzungen zu der Tabelle werden gern entgegengenommen. Im Rahmen dieses Beitrages kann nicht auf alle Systeme eingegangen werden; es wird auf die Literatur verwiesen. Auffällig ist, daß bis auf das Cadillac-System, alle

Systeme an Mehrventilmotoren eingesetzt sind. Eine kontinuierliche Verstellung von Öffnungswinkel und Hübe der Ventilerhebungskurve wird nicht erreicht. Bei den meisten Motoren handelt es sich um neue Zylinderkopfgenerationen, die mit dem Einsatz der variablen Ventilsteuerungen auf den Markt gebracht wurden. Mercedes Benz hat mit ihrem aktuellen V8 Motor optional ein System in Serie [12], das sehr ähnlich dem Honda VTEC-System ist [8]. Hierbei können einzelne Zylinder abgeschaltet werden, so daß der Motor als ein Vierzylindermotor betrieben werden kann. Zu diesem Mechanismus sind eine Vielzahl von Patenten angemeldet.

Bei den variablen Ventilsteuerungen an den Serienmotoren handelt es sich um Systeme zur Nockenwellen-Winkelverstellung oder um Systeme mit Schleppebeln oder einer Schalttasse, die verschiedene Ventilhub ermöglichen. Dabei befindet sich der Wirkort der Variabilität zwischen einer konventionellen Nockenwelle und dem Gaswechselventil.

Hersteller	Motor	Funktionsprinzip	Erscheinungsjahr / Quelle
Cadillac	V8 5,0 l	elektromechanische Ventilabschaltung für Ein- und Auslaßseite	1980 / [5]
Alfa Romeo und Fiat	R4 2,0 l Diverse Motoren	mechanische Nockenwellen-Verstelleinrichtung	1983 / [2]
Honda	R4 0,4 l Motorrad	mechanische Ventilabschaltung am Schleppebel mittels Öldruck	1983 / [6]
	R4 1,6 l	mechanische Schleppebelumschaltung mittels Öldruck und Federkraft	1989 / [7]
	V6 2,7 l		1990 / [8]
	R4 1,5 l		1990 / [9]
Nissan	V6 3,0 l	mechanische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1987 / [13]
	V8 4,5 l		1989 / [14]
	R4 1,6 l		1991 / [15]
	R4 2,0 l		1994 / [16]
Mercedes Benz	V8 5,0 l	mechanische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1989 / [17]
	R6 3,0 l		1990 / [18]
	V12 6,0 l		1991 / [19]
	V8 5,0 l	mechanische Ventilabschaltung am Schleppebel mittels Öldruck	1999 / [12]
	V12 6,0 l		1999 / [20]
	R4 1,8 l		1993 / [21]
Toyota	R4 2,0 l	mechanische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1991 / [22]
	R4 1,3 l		hydraulische Nockenwellen- Verstelleinrichtung (Van Type)
	R4 1,0l	1999 / [23]	
	R4 2,0 l		
Porsche	R4 3,0 l	hydraulische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1991 / [24]
	B6 3,6 l	mechanische Ventilhubumschaltung im Tassenstößel und mechanische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1996 / [25]
	B6 3,6 l		1999 / [26]
Suzuki	R4 0,4 l Motorrad	mechanische Schleppebellagerver-schiebung	1991 / [27]
Mitsubishi	R4 1,6 l	mechanische Ventilab- und umschaltung am Schleppebel mittels Öldruck und Federkraft	1992 / [10]
	V6 2,0 l		1994 / [11]
	V6 2,5 l		

Abkürzungen: l: Liter; R: Reihenmotor; V: V-Motor; B: Boxermotor

Tabelle 1: Überblick über die an Serienmotoren vorhandenen variablen Ventilsteuerungen
Overview of the variable valve timing systems (VVT) on production cars

Hersteller	Motor	Funktionsprinzip	Erscheinungs-
------------	-------	------------------	---------------

			jahr / Quelle
BMW	R6 2,0 l	mechanische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1992 / [28]
	R6 2,5 l		
	R6 2,8 l		
	R6 3,0 l	stufenlos wirkende Nockenwellen-Verstellung der Einlaßnockenwelle (Hochdrucksystem)	1993 / [3]
	R6 3,2 l	stufenlos wirkende Nockenwellen-Verstellung der Ein- u. Auslaßnockenw. (Hochdrucksystem)	1996 / [4]
	V8 5,4 l	stufenlos wirkende Nockenwellen-Verstellung der Ein- u. Auslaßnockenw. (Niederdrucksystem)	1999 / [29]
	R6 3,2 l		1996 / [5]
	V8 3,5 l	mechanische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1997 / [29]
	V8 4,4 l		
McLaren/BMW	V12 6,1 l	stufenlos wirkende Nockenwellen- Verstellung der Einlaßnockenwelle	1994 / [30]
Audi	V6 2,8 l	hydraulische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1996 / [31]
	V6 2,7 l		1999 / [32]
	V8 4,2 l		1999 / [32]
	R4 1,8 l		1999 / [32]
Jaguar	V8 4,0 l	mechanische Nockenwellen-Verstelleinrichtung	1997 / [33]
Ford	R4 1,7 l	mech. Nockenwellen- Verstelleinrichtung (Ausl.)	1998 / [34]
	R4 2,0 l	mech. Nockenwellen- Verstelleinrichtung (Einl.)	1998 / [35]
Renault	R4 2,0 l	hydraulische Nockenwellen- Verstelleinrichtung (Vane Type)	1999 / [36]
Volvo	R4 1,6 l	hydraulische Nockenwellen- Verstelleinrichtung (Vane Type)	1999 / [36]
	R4 2,0 l		
	R5 / R6	mechanische Nockenwellen-Verstelleinrichtung	
VW	R4 1,8 l	hydraulische Nockenwellen- Verstelleinrichtung	1999 / [37]
	V6 2,8 l		1999 / [37]
	R4 1,4 l	mechanische Nockenwellen-Verstelleinrichtung	1999 / [37]
Rover / MG	R4 1,8 l	mechanischer ungleichmäßiger Antrieb der Nockenwellen	1997 / [38]

Abkürzungen: l: Liter; R: Reihenmotor; V: V-Motor; B: Boxermotor

Tabelle 2: Überblick über die an Serienmotoren vorhandenen variablen Ventilsteuerungen (Fortsetzung zu **Tabelle 1**)

Overview of the variable valve timing systems (VVT) on production cars

3. Funktionsprinzipien variabler Ventilsteuerungen

Entsprechend der unterschiedlichen Funktionsprinzipien variabler Ventilsteuerungen wird auf die Gliederung der variablen Ventilsteuerungen des Autors aus seiner Dissertation verwiesen [39].

Bei der Gliederung der Systeme empfiehlt es sich, von dem Maschinenelement der „Nockenwelle“ auszugehen, wie es in **Bild 1** gezeigt wird. Von drei gewählten Gliederungsebenen stellt das Nockenwellenkriterium die Erste dar. Systeme, die ihre Energie zur Ventilbetätigung ohne Nockenwelle bereitstellen, werden direkt nach der Art des physikalischen Wirkprinzips unterteilt. Entsprechend handelt es sich hier um elektrisch, pneumatisch, hydraulisch und mechanisch betätigte Systeme. Bei Systemen, die eine Nockenwelle zur Steuerung verwenden, wird zwischen der Verwendung von konventionellen und speziellen Nockenwellen unterschieden. Nockenwellen, die eine übliche Geometrie aufweisen und mit gebräuchlichen Werkstoffen und bekannten Fertigungsverfahren herstellbar sind, werden als konventionelle Nockenwellen bezeichnet. Die zweite Untergliederungsebene wird durch den Wirkort der Variabilität gekennzeichnet. Für Systeme mit direktem Ventiltrieb wird diese Ebene nicht näher spezifiziert. Dagegen ist der Wirkort der Systeme verschieden, die Nockenwellen zur Steuerung variabler Ventiltriebe einsetzen. Die dritte Untergliederungsebene beschreibt das Wirk- und Funktionsprinzip der Variabilität.

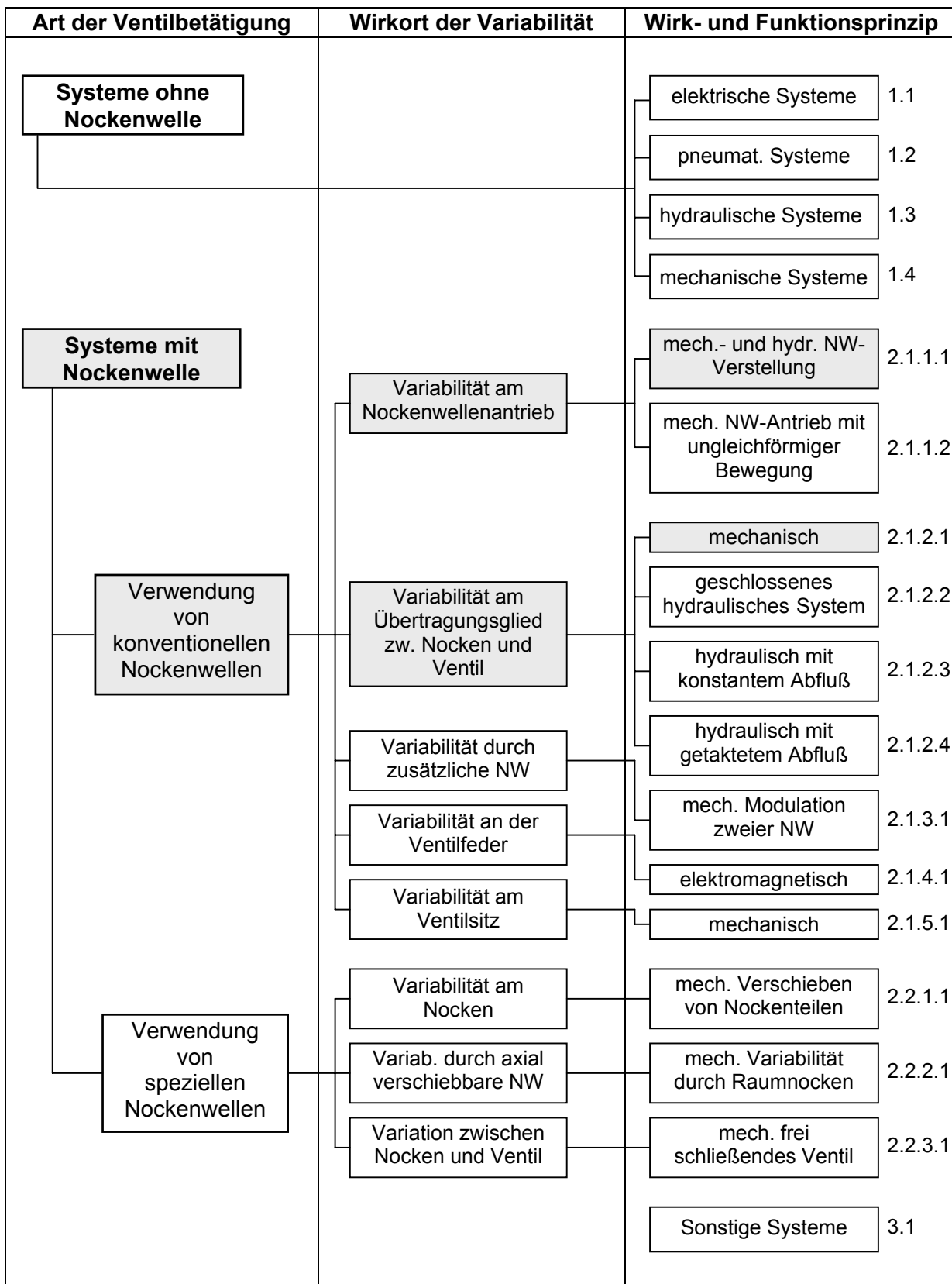


Bild 1: Gliederung der verschiedenen variablen Ventilsteuerungen in Gruppen
 Structure of the various variable valve timing systems

Die einzelnen Gruppen für die Einteilung der Systeme werden in **Bild 1** mit Ziffern gekennzeichnet. Bei der Gruppe 3.1 handelt es sich um Systeme, die nicht genau definiert werden können, jedoch dem Umfeld der variablen Ventilsteuerungen zuzuordnen sind. Bei der Auswertung der Patentanmeldungen später handelt es sich hierbei auch um viele Patentanmeldungen, die sich mit den Themen der Steuerung des Motors beschäftigen. Systeme an Großserienmotoren sind den Gruppen 2.1.1.1 und 2.1.2.1 zuzuordnen. Diese Felder sind in **Bild 1** im Text grau unterlegt dargestellt. Auf die Beschreibung und Darstellung der einzelnen Systeme wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Es wird auf das Literaturverzeichnis verwiesen.

4. Datenbank zu variablen Ventilsteuerungen

Um einen kompletten Überblick zu variablen Ventilsteuerungen zu bekommen, empfiehlt es sich, die Informationen in einer Datenbank zu verwalten. Hierzu wurden zwei Datensätze angelegt. Zunächst wurde versucht, alle seit Beginn von Patentanmeldungen bekannten Erfindungen zu erfassen. Im zweiten Datensatz werden die zu variablen Ventilsteuerungen bekannten Schriften verwaltet.

Für die Patentrecherche sind für die wichtigsten Länder bzw. Patentdatenregister wie Deutschland, Österreich, England, Frankreich, USA und Europa, sowie alle PCT-Anmeldungen und teilweise japanische Anmeldungen herangezogen worden. Mit dieser Vorgehensweise, die sehr zeitraubend war, hat man die Chance, den Hauptteil an Anmeldungen zu sichten. Für die unterschiedlichsten Patentklassen ist diese Recherche durchgeführt worden. Die auf den Patentanmeldungen notierten Untergruppen sind ebenfalls betrachtet worden. Die Recherche erfolgte entweder am Patentamt in München oder an einer der Auslegestellen. Erst in neuerer Zeit kann auch über Internet ein Teil der Recherche durchgeführt werden.

Mit der relationalen EDV-Datenbank „Microsoft Access“ wurde je Patentanmeldung ein Datensatz mit den Kriterien laufende Sachnummer, Patentnummer, Anmelder, Anmeldetag, VVS-Gruppe, Titel und Thema angelegt. Die Daten sind derart verwaltet, daß sie auch in andere Datenbanken zu integrieren sind. Damit lassen sie sich zukünftig auch einfach pflegen. Zusätzlich sind zu den einzelnen Anmeldungen Ordner angelegt, in denen die Kopien der Anmeldungen registriert sind. Um beim Recherchieren als Entwickler schneller voran zu kommen, sind außerdem Karteikarten je Datensatz erstellt, auf denen ergänzend zu den Sachmerkmalen je ein Bild der Erfindungen dargestellt ist. Die Karteikarten und die Kopien in den Ordnern sind nach den VVS-Gruppen untergliedert aufgebaut. Besonders hilfreich hat sich erwiesen anhand der Karteikarten die Recherche zu führen. Bei einzelnen Rückfragen zu den Anmeldungen kann dann jeweils die komplette Anmeldekopie herangezogen werden.

Statistische Auswertungen lassen sich mittels des Programms Access recht einfach gestalten. So ist zum Beispiel in **Bild 2** die Gesamtzahl der Patentanmeldungen der letzten 20 Jahre aufgezeigt.

Es zeigt sich, daß die häufigsten Anmeldungen auch in den beiden Gruppen zu finden sind, aus denen die Systeme an Serienmotoren stammen; Nockenwellen-Verstellern und Systeme mit zwei Hubstellungen der Gaswechselventile. Die Anmeldungen zu elektrisch betätigten variablen Ventilsteuerungen ohne Nockenwelle stellen einen weiteren Schwerpunkt dar. Diese Statistik läßt sich entsprechend auch unter dem Gesichtspunkt der letzten Jahre oder vielleicht unter dem Aspekt anderer Kriterien erstellen. Damit ist für den Entwickler ersichtlich, in welchem Umfeld er sich bewegt. Für den Entwickler ist ferner ersichtlich, in welchem Umfeld sich auch der Wettbewerb bewegt. Aufgrund Häufigkeit und Inhalt der Patentanmeldungen

kann, auch auf den Entwicklungsstand einzelner Systeme geschlossen werden. Außerdem lassen sich vielfältige andere Schlüsse ziehen. So ist bei einigen Systemen z.B. erkennbar, welche Firmen kooperieren.

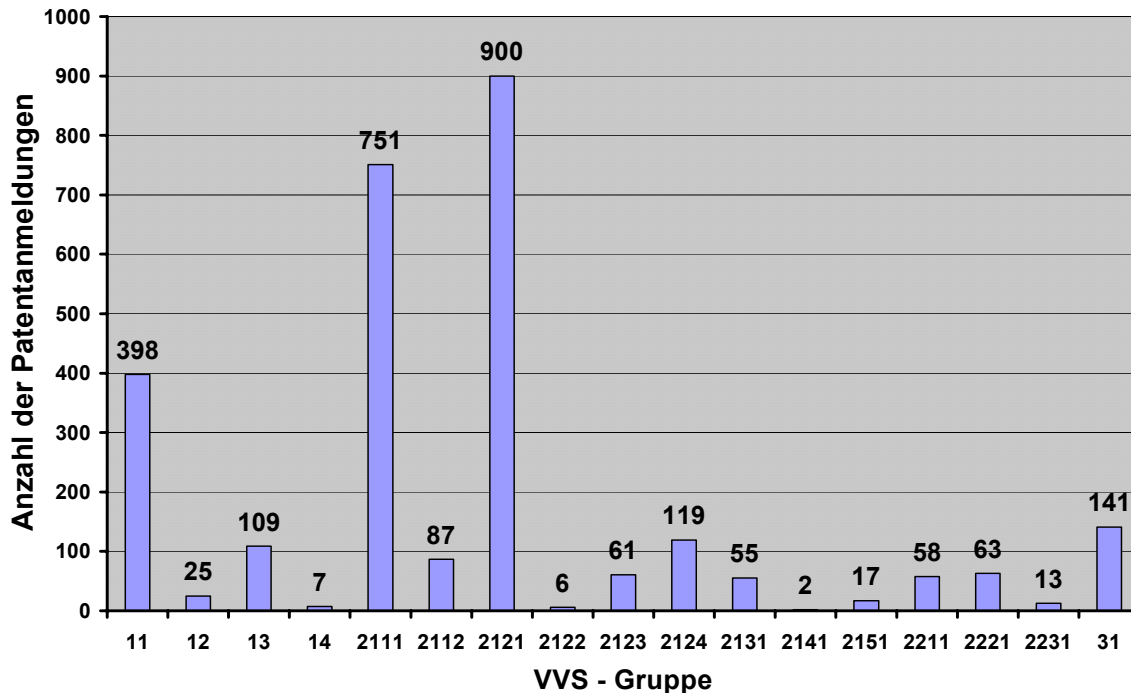


Bild 2: Anzahl der gesamten VVS-Anmeldungen pro Jahr von 1979 bis 1999 (Stand November 1999)
Total VVT-applications per year from 1979 to 1999 (Status: November 1999)

Bild 3 stellt ein Ausschnitt aus dem Programm Access dar, wo hier z.B. als Suchkriterium nach dem Anmelder der Fa. Siemens gefragt wird.

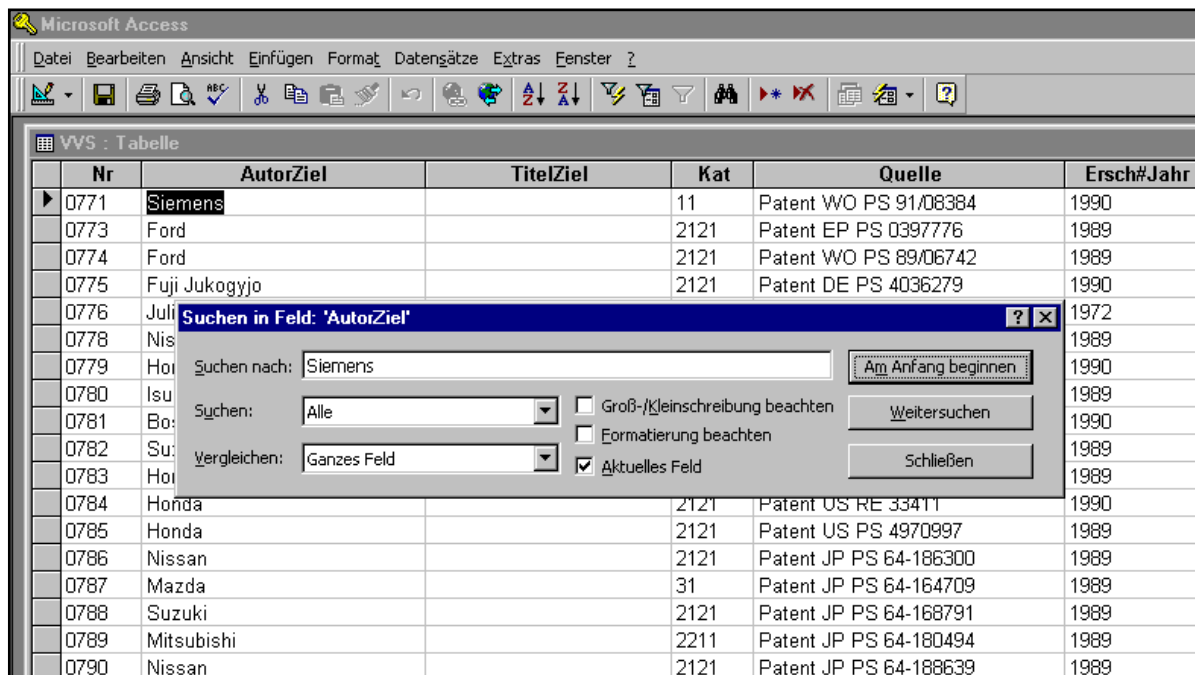


Bild 3: Auszug aus der Datenbank „Microsoft Access“; Darstellung der Suchmaske
Part of a mask from the software program „Microsoft Access“

Mit einzelnen zu definierenden Kriterien lassen sich dann auch Einschränkungen machen. Wird z.B. zusätzlich zu dem Anmelder der Fa. Siemens nach der VVS-Gruppe 1.1 –gemeint sind elektrische variable Ventilsteuerungen- und dem Kriterium Anmeldung nach 1993 gesucht, so kann diese Abfrage definiert und anschließend das Ergebnis betrachtet werden. Eine solche Auswahl sei hier beispielhaft in **Bild 4** dargestellt. Mit der so definierten Abfrage läßt sich die Ergebnisliste anzeigen und man findet sehr einfach die dazugehörigen Patente.

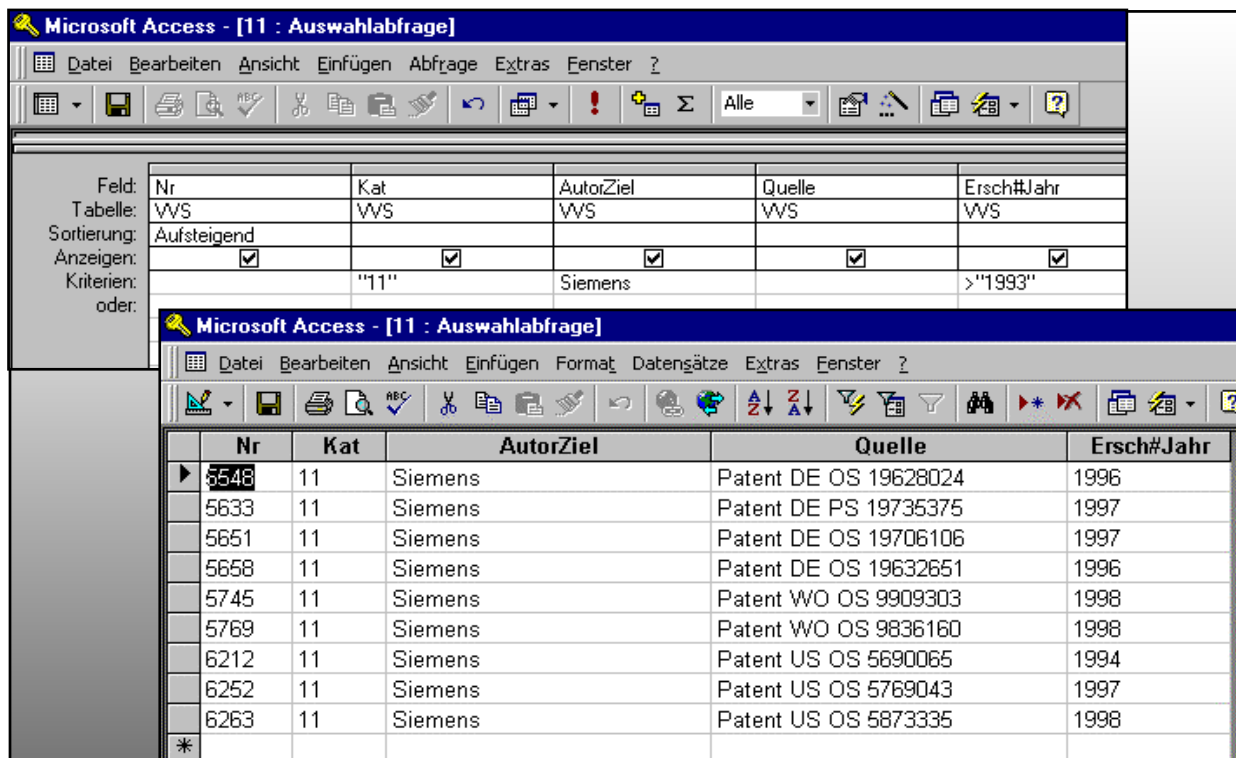


Bild 4: Auszug aus der Datenbank „Microsoft Access“; Darstellung einer Auswahlabfrage
Part of a mask from the software program „Microsoft Access“, illustration of a search order

Theoretisch wäre es auch möglich, die einzelnen Patentanmeldungen komplett als Kopie oder zumindest nur ein Bild je Anmeldung einzuscannen, so daß in einer Datenbank mehr Informationen verfügbar wären. Dabei würde jedoch eine solche Datenflut entstehen, so daß mit normalen PCs die Datenverwaltung nicht mehr wirtschaftlich erfolgen könnte. Anhand der vorhandenen Karteikarten, auf denen auch Bilder kopiert sind, gelingt die Weiterverfolgung einzelner Patentanmeldungen jedoch relativ einfach.

5. Patentanalyse

Die Patentanalyse soll erkennen lassen, an welchen Systemen Entwicklungen betrieben werden. Hieraus können Entwicklungstrends abgeleitet werden. Auf einzelne Patentanmeldungen wird inhaltlich nicht eingegangen.

Es wird dabei auf die komplette Datenbank mit dem Stand November 1999 des Verfassers verwiesen. In dieser Datenbank werden mehr als 3.000 Datensätze verwaltet. Es handelt sich dabei um Anmeldungen zu Patenten und Gebrauchsmustern, sowie um erteilte Patente und Gebrauchsmuster. Anmeldungen, die in verschiedenen Ländern gleichzeitig getätigt wurden, werden mit erfaßt. Ferner existieren zu den einzelnen unterschiedlichen VVS-Systemen in der Regel mehrere Anmeldungen. Es läßt sich nicht genau festlegen, um wieviel verschiedene VVS-Systeme es sich dabei handelt.

Schwierig ist auch die Erfassung an Patentanmeldungen zur Steuerung und Regelung von variablen Ventilsteuerungen. Die Anmeldungen hierzu befinden sich nicht in den üblichen Patentklassifikationen, so daß diese nicht immer aufzufinden sind. Vermutlich liegt hierzu nur ein Teil der Anmeldungen vor.

In **Bild 4** sind die Anmeldeaktivitäten der letzten 20 Jahre aus der vorhandenen Datenbank zahlenmäßig erfaßt.

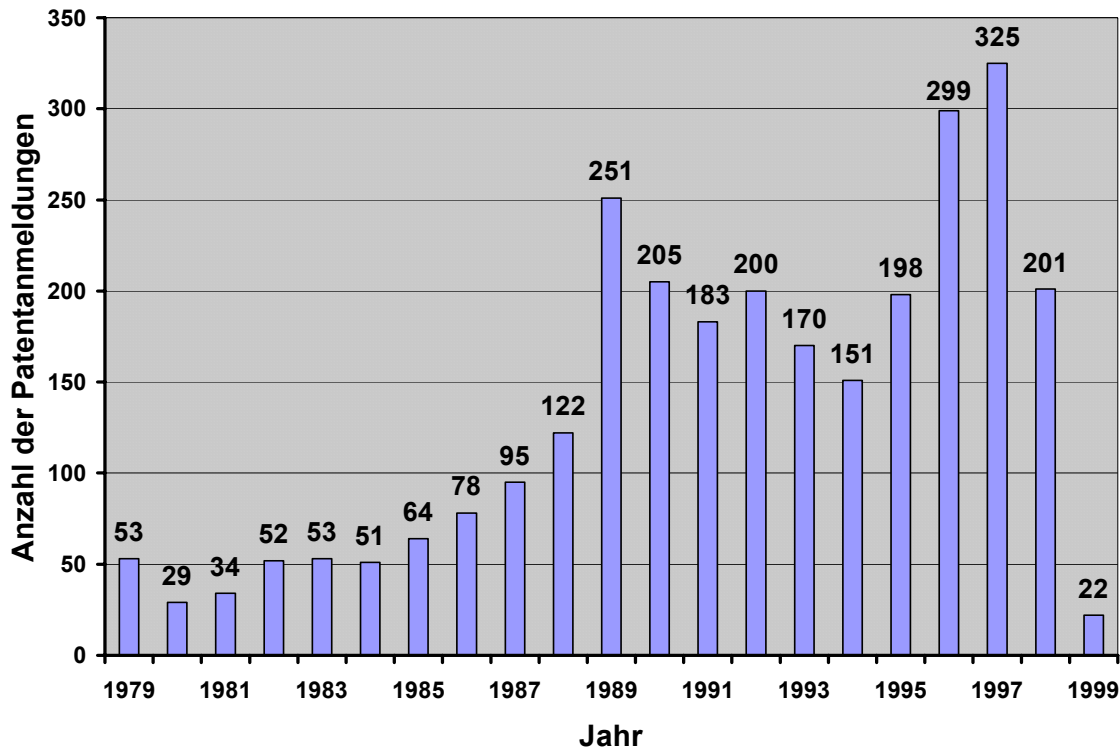


Bild 5: Anzahl der erfaßten Patentanmeldungen und Offenlegungsschriften von variablen Ventilsteuerungen der Jahre 1979 bis 1999
Number of patent applications of variable valve timing systems from 1979 to 1999

Ein stetiger Zuwachs an Patentanmeldungen ist über diesen Zeitraum zu verzeichnen. Die meisten Firmen der Automobilbranche sind hierbei vertreten. Es läßt sich sehr gut erkennen, daß erst Ende der 80er Jahre die Patentanmeldungen auf diesem Gebiet drastisch zugenommen haben. Die Zahl der Patentanmeldungen bleibt durch die gesamten 90er Jahre hindurch recht hoch, wobei 1996 ein Spitzenwert erreicht wird. Die Statistik kann die Jahre 1998 und 1999 nur unvollständig erfassen, weil die Erfindungen zum Ende November 1999 noch nicht offengelegt sind, da zwischen Anmeldung und Veröffentlichung in der Regel 18 Monate vergehen. Auffällig ist ein Einbruch an Anmeldungen in den Jahren 1993 bis 1995. In dieser Zeit herrschte eine Krise in den Firmen der Automobilbranche. Die Freisetzung von Arbeitsplätzen in dieser Zeit wirkte sich auch auf die Zahl der Anmeldungen aus –zumindest auf dem Gebiet der variablen Ventilsteuerungen-.

Die Markteinführung der VVS-Systeme an Serienmotoren folgt dem Verlauf an Patentanmeldungen. 1989 ging Mercedes Benz mit dem Nockenwellen-Versteller in Serie. Dadurch wurde allein eine Flut von ähnlichen Systemen in der Gruppe 2.1.1.1 angemeldet. Mit der Verbreitung der Mehrventilmotoren auf dem Markt ist auch die Entwicklung von VVS-Systemen einfacher geworden. Naheliegend war die Entwicklung von Nockenwellen-Verstelleinrichtungen, die ähnlich wie bei Mercedes Benz, den Leerlaufkomfort, die Abgasqualität und die Maximalleistung verbessert haben. Der zweite große Schwerpunkt der Anmeldungen liegt in der VVS-Gruppe 2.1.2.1. Hierbei wird durch Koppellelemente der Ventilhub (ähnlich Honda VTEC) verändert. Geht man im Mittel von ca. 200 neuen Patentanmeldungen pro Jahr seit 1989 aus, so ist dies doch ein Zeichen deutlicher Aktivitäten auf diesem Gebiet.

In den **Bildern 6** und **7** kann man noch einmal ausführlich die Veränderungen der letzten fünf Jahre (1995-1999) nachvollziehen. Dieser Zeitbereich gibt vielleicht am ehesten wieder, welche aktuellen

Entwicklungstrends vorhanden sind. Lediglich die Zahlen von 1999 sind nicht repräsentativ, da dieser Zeitraum mit dieser Patentrecherche noch nicht komplett abgedeckt werden konnte. An dieser Stelle wird kurz auf die Veränderungen der letzten Jahre eingegangen.

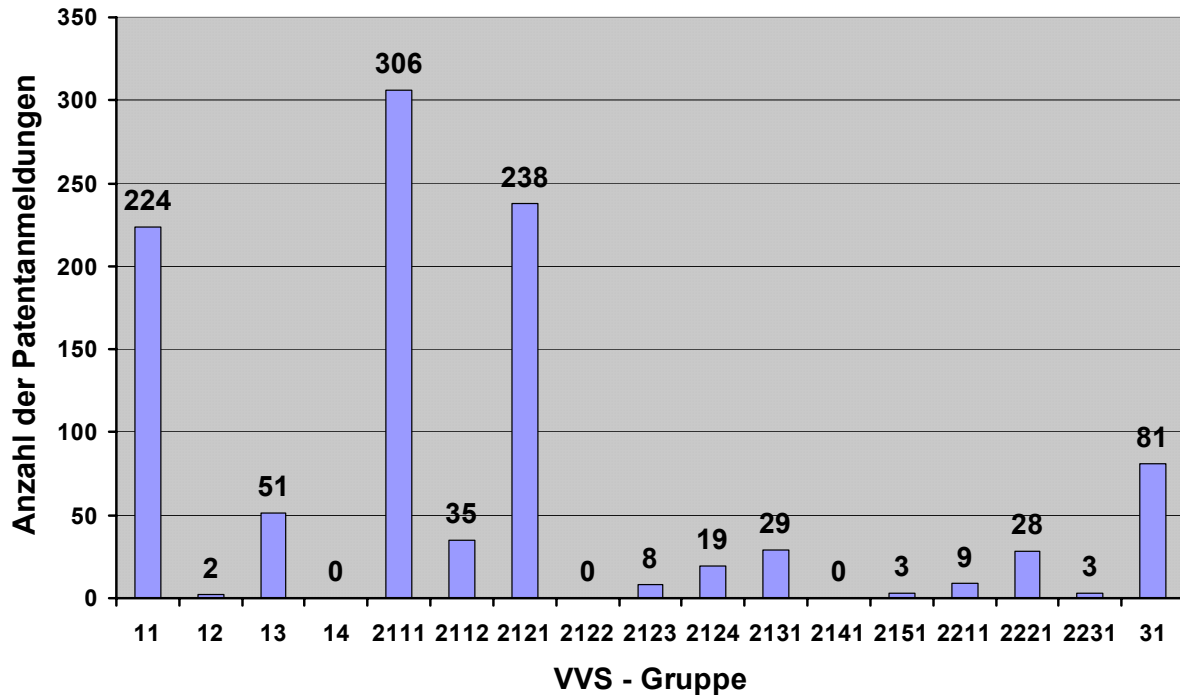


Bild 6: Anzahl der VVS-Anmeldungen insgesamt in den Jahren 1995 bis 1999
Total number of VVT-applications from 1995 to 1999

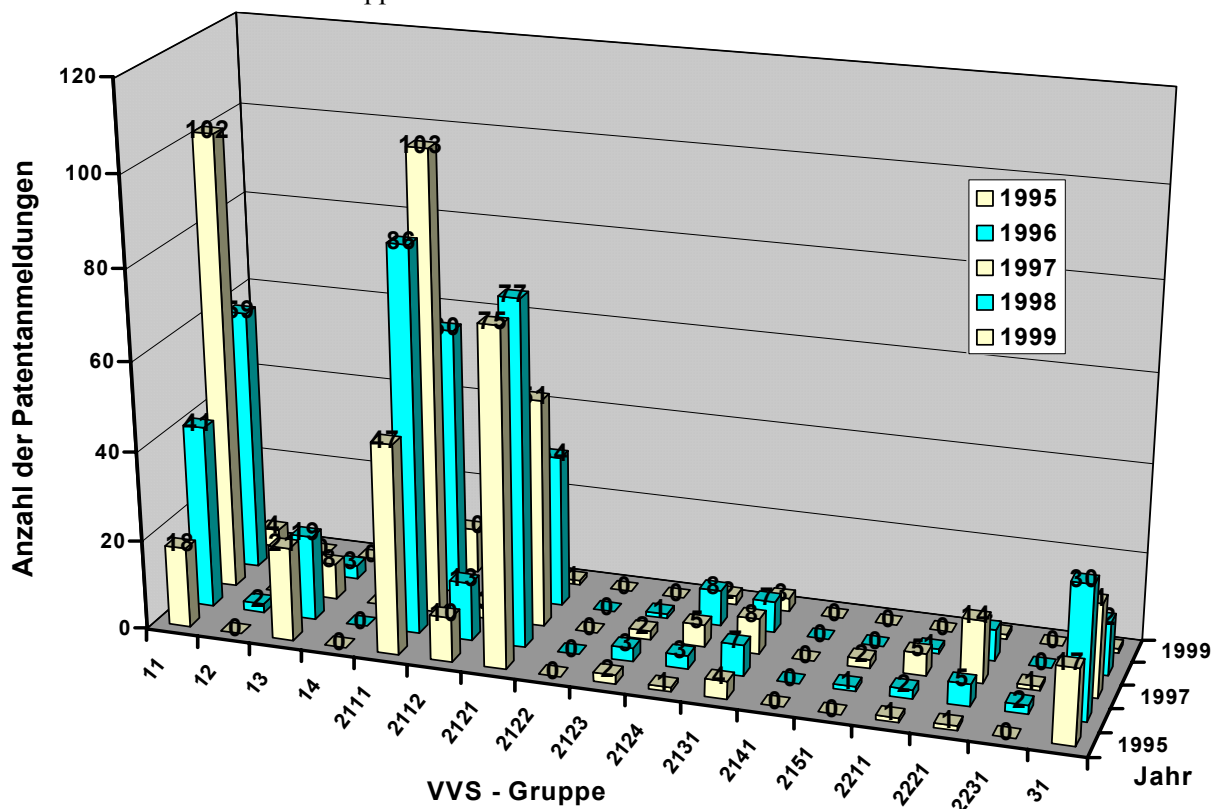


Bild 7: Anzahl der VVS-Anmeldungen pro Gruppe in den Jahren 1995 bis 1999
Amount of VVT-applications per VVT group from 1995 to 1999

Auffällig ist, daß in der Gruppe 2.1.2.1 die Patentanmeldungen ab 1996 abnehmen. Der Rückgang an Anmeldungen hierzu ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß man an diesen mechanischen Systemen kaum noch neue Ideen anmelden kann. Außerdem sind diese Honda-VTEC ähnlichen Systeme an Serienmotoren aufwendig. Die Aktivitäten in der Motorenentwicklung haben sich auf die Entwicklung von direkt einspritzenden Benzinmotoren verlagert. Die zunehmenden Aktivitäten an frei betätigbaren elektrischen Systemen werden ebenfalls eine Aktivitätsverlagerung aus dieser Gruppe bewirkt haben.

In der Gruppe 2.1.1.1 erfolgt nach dem vorangegangenen Rückgang wieder ein recht hoher Zuwachs. Hier werden vermehrt Systeme zur stufenlosen Verdrehung der Nockenwelle angemeldet. Viele Anmeldungen hierzu beschäftigen sich nur noch mit Detailverbesserungen.

Die Anmeldungen in der Gruppe 2.1.2.4 –hydraulische Systeme mit getaktetem Abfluß des Öls- sind kaum noch nennenswert.

In der Gruppe 1.1 kann man einen ziemlich großen Anstieg bis 1999 verzeichnen. Auch hier werden viele Detailerfindungen angemeldet.

Ein Anstieg und auch fast sofortiger Abfall der Patentanmeldungen, ist in der Gruppe 1.3 feststellbar.

In der Gruppe 2.1.1.2 sind einige Anmeldungen getätigt worden. Hierbei handelt es sich um Systeme mit ungleichförmigen Nockentrieb, wodurch je nach Konstruktionslage die Steuerzeiten veränderlich gestaltet werden können [40], [41].

Versucht man eine Auswertung der gesamten Patentanmeldungen zu treffen, so läßt sich folgendes feststellen:

- Zunächst kann man feststellen, daß die Patentanmeldungen allgemein in der Sparte der variablen Ventilsteuerungen zugenommen haben. Man kann ungefähr eine Verfünffachung der angemeldeten Patente zwischen 1979 und 1997 ausmachen, wobei der Anstieg bei den Patentanmeldungen zwischen 1990 und 1995 stagniert.
- In den Hauptgruppen ist, wenn man die 5-Jahres-Statistiken betrachtet, im allgemeinen ein recht großer Aufwärtstrend zu verzeichnen.
- Am auffälligsten ist hier die Gruppe mit den elektrischen Systemen ohne Nockenwelle (1.1). Betrachtet man die Anzahl der Anmeldungen pro Block in der Reihenfolge nebeneinander, haben sich die Patentanmeldungen mehr als verzehnfacht.
- Ähnlich sieht es in der Gruppe 2.1.1.1 aus. Auch in dieser Gruppe sind die Patentanmeldungen kontinuierlich gestiegen. In der Zeitspanne von 1994 bis 1998 sind die Anmeldungen siebenmal so hoch, wie in der Spanne von 1979 bis 1983.
- Einen Einbruch dagegen hat es in der Gruppe 2.1.2.1 gegeben. Die Anzahl der Patentanmeldungen ist in den letzten fünf Jahren (1994 bis 1998) sogar extrem zurückgegangen, nachdem diese Art der variablen Ventilsteuerungen zuvor sehr stark vorangetrieben wurde. So kann im Endeffekt nur eine Vervierfachung der Patentanmeldungen erreicht werden.
- Von weiterer Bedeutung ist ferner die Gruppe 1.3 mit den hydraulischen Systemen ohne Nockenwelle. Auch diese unterliegt einem stetigen Aufwärtstrend, wobei eine Gesamtsumme der Patentanmeldungen erreicht wird, welche noch weit unter den Anmeldungen der anderen Gruppen liegt.
- Die Systeme mit der Verwendung eines ungleichmäßigen Antriebs gelten ebenfalls als interessant (Gruppe 2.1.1.2). Hierzu sind einige Anmeldungen zu verzeichnen, zu denen auch sehr viel an Detailwissen vorhanden ist. Den Ventilhub können diese Ventilsteuerungen nicht verändern.

Die wichtigsten VVS-Gruppen aus Sicht der Patentanalyse sind die Gruppen:

- 1.1 Systeme ohne Nockenwelle mit elektrischer Betätigung
- 2.1.1.1 Verwendung von konventionellen Nockenwellen, mit mechanischer und hydraulischer Variabilität am Nockenwellenantrieb
- 2.1.2.1 Verwendung von konventionellen Nockenwellen, mit mechanischer Variabilität zwischen Nocken und Ventil
- 2.1.1.2 Systeme mit ungleichmäßigem Nockenwellenantrieb

6. Trends der Entwicklung variabler Ventilsteuerungen

Wertet man die Ergebnisse der Patentanalyse aus, können bestimmte Trends an Anmeldungen zu den einzelnen Gruppen der variablen Ventilsteuerungen festgestellt werden. Im Rahmen dieses Beitrags wird nur auf einzelne Schwerpunkte eingegangen.

Zunächst ist festzustellen, daß eine Vielzahl an Patenten sich mit Nockenwellen-Verstellern nach dem Flügelzellenprinzip -auch als Schwenkmotor bezeichnet- beschäftigt. Mit diesen Systemen läßt sich auf eine kostengünstigere Basis, als mit Systemen, die mit einer Verzahnung arbeiten, die Nockenwelle stufenlos verstellen. Die Anmeldungen hierzu behandeln technische Details eines schon von 1989 bekannten Systems [42].

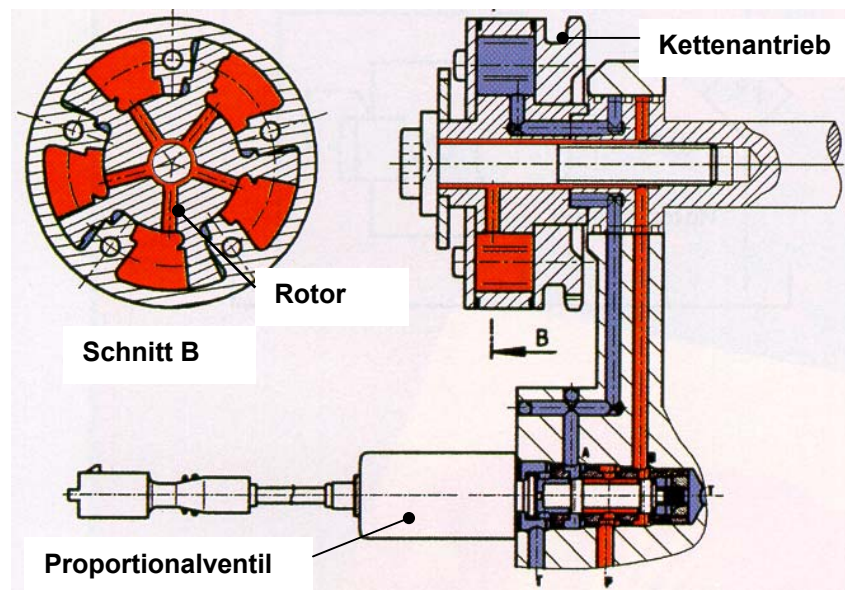


Bild 8: Funktionsprinzip eines stufenlos wirkenden Nockenwellen-Verstellers nach dem Flügelzellenprinzip [43]

Functional principal of a stepless acting camshaft phaser (van-ty) [43]

Neben den in Serie befindlichen Systemen bei den Firmen Renault [36], Toyota [23] und Volvo [36] hat auch die Fa. Hydraulik-Ring hat ein solches System zur Serienreife entwickelt [44]. Sowohl an der Einlaß- als auch an der Auslaßnockenwelle kann das System einfach an vorhandene Zylinderköpfe adaptiert werden. Im Inneren des Verstellers befindet sich nach dem Prinzip des Flügelzellenverstellers der schwenkbare Rotor, der mit der Nockenwelle fest verbunden ist. Das Außenteil wird entweder über eine Kette oder einen Zahnriemen angetrieben. Die Verbindung zwischen Außen- und Innenteil stellt der Ölraum dar, der je nach Befüllung Einfluß auf die relative Winkellage der Nockenwelle hat. Die Flügel des Rotors werden beidseitig mit Öldruck versorgt, der über ein Proportionalventil geregelt wird. Damit lassen sich relativ stabile Winkelzwischenstellungen der Nockenwelle im Betrieb des Motors einhalten. Die Ölversorgung erfolgt von Motoröldruck. Die Regelung des Systems geschieht in Abhängigkeit von Drehzahl, Last und Motortemperatur. Im Vergleich zu den herkömmlichen verzahnten, stufenlos wirkenden Verstellsystemen, stellen diese Versteller eine deutlich kostengünstigere Lösung dar, so daß mit diesen Systemen vermehrt an Serienottomotoren zu rechnen ist. Der Aufwand an Bauteilen kann ebenfalls gering gehalten werden, wenn der Rotor gesintert wird und die Abdichtung des Ölraums konstruktiv einfach gestaltet wird. Diese Lösung stellt selbst im Vergleich zu verzahnten Zweipunkt-Verstellern eine kostengünstigere Lösung dar. Die genauere Beschreibung des Systems erfolgt in [44].

Einen weiteren Schwerpunkt bilden variable Ventilsteuerungen, bei denen ein Koppelglied zwischen Nocken und Ventil zur Variation des Ventilhubes oder der Ventilöffnungszeit verwendet wird. Diese Systeme sind der Gruppe 2.1.2.1 zuzuordnen. In den letzten Jahren sind hierzu schwerpunktmäßig die Schalttassen entwickelt worden. Hierbei werden in Tassenstößeln die Koppelglieder untergebracht. Mit diesen Systemen lassen sich unterschiedliche Ventilhubes realisieren. In der Regel sind nur zwei verschiedene Stellungen möglich. Gleichzeitig mit dem Ventilhub kann auch die Ventilöffnungszeit verändert werden. Je Hubstellung ist ein Nocken nötig. Mehrere Hubstellungen erfordern aufwendige Tassenstößellösungen. In Serie ist die Lösung der Fa. Porsche zu finden [26].

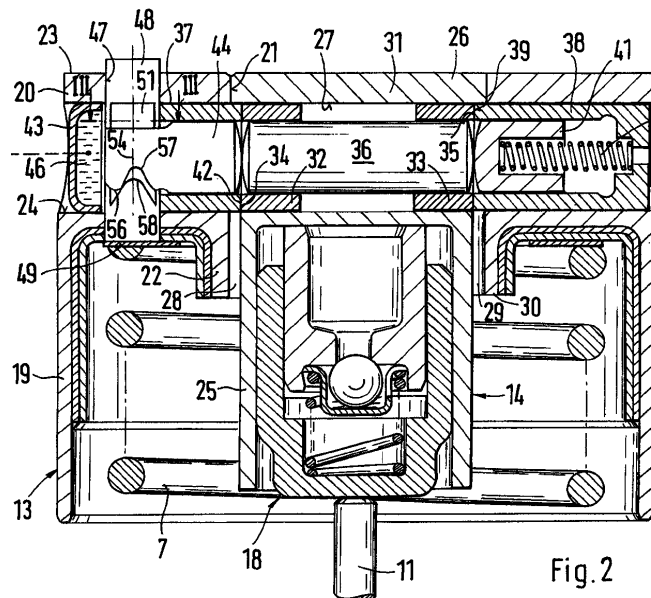


Bild 9: Variable Ventilsteuerung der Fa. Porsche mittels einer Schalttassen-Lösung [45]
Variable valve timing system of Porsche company with a switching tappet [45]

In **Bild 9** ist das Funktionsprinzip eines schaltbaren Tassenstößels aus einer Patentanmeldung der Fa. Porsche dargestellt. Der Tassenstößel besteht aus einer Innen- und Außentasse, die wahlweise mit kleinen quer zur Ventilachse verlaufenden Verstellkolben verbunden werden können. Die Betätigung der Koppelglieder erfolgt über Öldruck, die Rückstellung über Federkraft. Zu diesem Prinzip sind eine Vielzahl an Patentanmeldungen getätigt worden.

Variable Ventilsteuerungen dieser Art lassen sich mit Nockenwellen-Verstellern kombinieren, da der Wirkort der Variabilität dieser Systeme am Nockenwellenantrieb liegt. Die Fa. Porsche hat dieses auch an ihrem aktuellen Turbomotor in Serie [26].

Einen weiteren Schritt in der Steigerung der Variabilität der Steuerzeiten, stellt die auf Basis mechanisch wirkendem Funktionsprinzip teilvariable Verstellung des Ventilhubes und der Ventilöffnungszeit dar. Hierzu wird ein Beispiel angeführt, mit dem die Fa. BMW in Entwicklung ist [46]. Eine in gewissen Grenzen kontinuierlich variable Verstellung des Ventilhubes wird dabei mit der gleichzeitigen Verstellung der Öffnungszeiten erzielt. Zu diesem System existieren einige Patentanmeldungen.

In **Bild 10** ist das System in einem Querschnitt durch den Zylinderkopf dargestellt. Es zeigt sich, daß der Aufbau der Komponenten zur Verstellung des Ventilhubes deutlich aufwendiger ist, als bei einfachen Nockenwellenverstellern oder bei Schalttassen. Der Platzbedarf im Zylinderkopf ist ebenfalls nicht gering. Die verwendeten Systemkomponenten auf Basis des mechanisch wirkenden Funktionsprinzips sind jedoch aus anderen Ventiltriebsentwicklungen bekannt. Das Potential zur Verbesserung eines Motors kann an dieser Stelle im Vergleich zu den einfacheren variablen Ventilsteuerungen nicht beurteilt werden. Sicherlich stellen diese variablen Hubsysteme einen deutlichen Schritt in Richtung Steigerung der Variabilität der Ventilhubkurve dar. Die Funktionssicherheit der mechanischen Komponenten dieser Lösungen kann

während der Entwicklung gut verfolgt und beurteilt werden. Das Entwicklungsrisiko hält sich diesbezüglich in Grenzen.

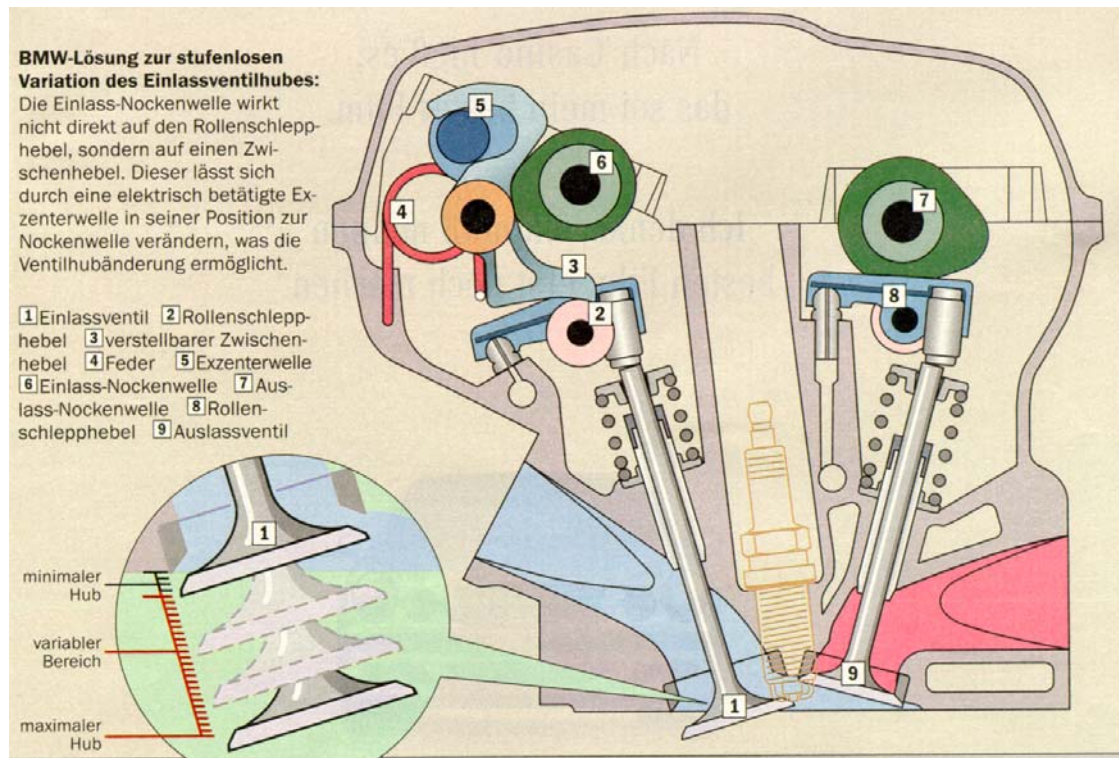
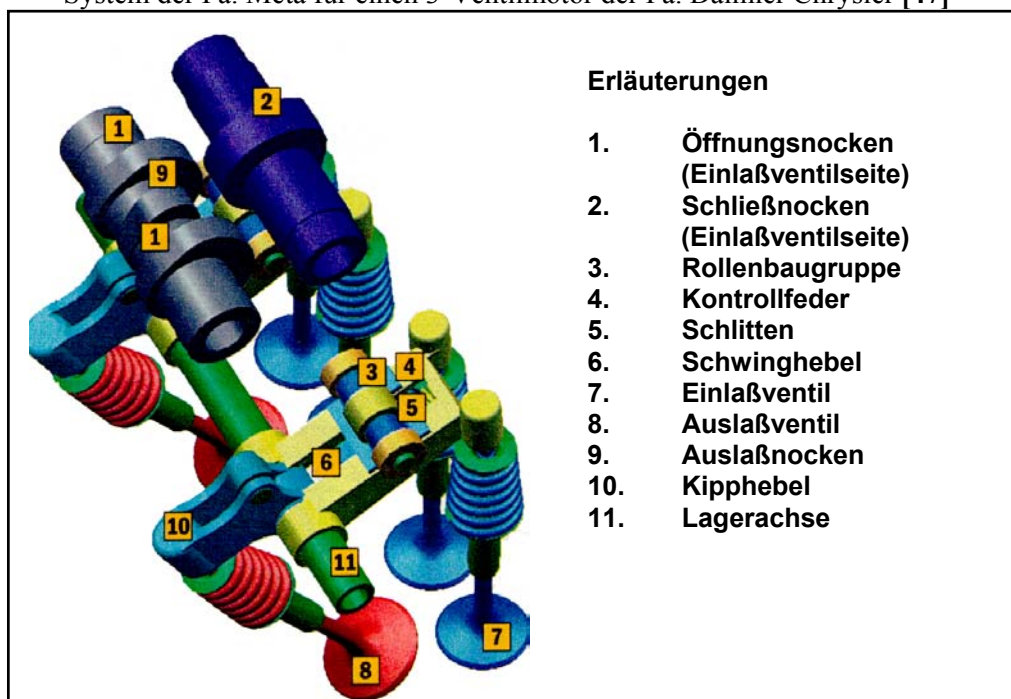


Bild 10: Variable Ventilhubverstellung der Fa. BMW [46]
Variable valve lift system of BMW company [46]

Zu der variablen Verstellung des Ventilhubes sind auch andere Lösungen in der Patentliteratur vorhanden, an denen intensive Entwicklungen betrieben werden.

Bild 11: System der Fa. Meta für einen 3-Ventilmotor der Fa. Daimler Chrysler [47]



Meta-system for a 3-valve-engine of Daimler Chrysler company[47]

In **Bild 11** ist z.B. das System der Fa. Meta dargestellt, daß durch Vertreter der Fa. Daimler Chrysler auf der IAA 1999 gezeigt wurde. Im Umfeld dieser Lösungen sind einige Patente angemeldet. Die Möglichkeiten zur Variation der Ventilerhebungskurven ist in **Bild 12** dargestellt.

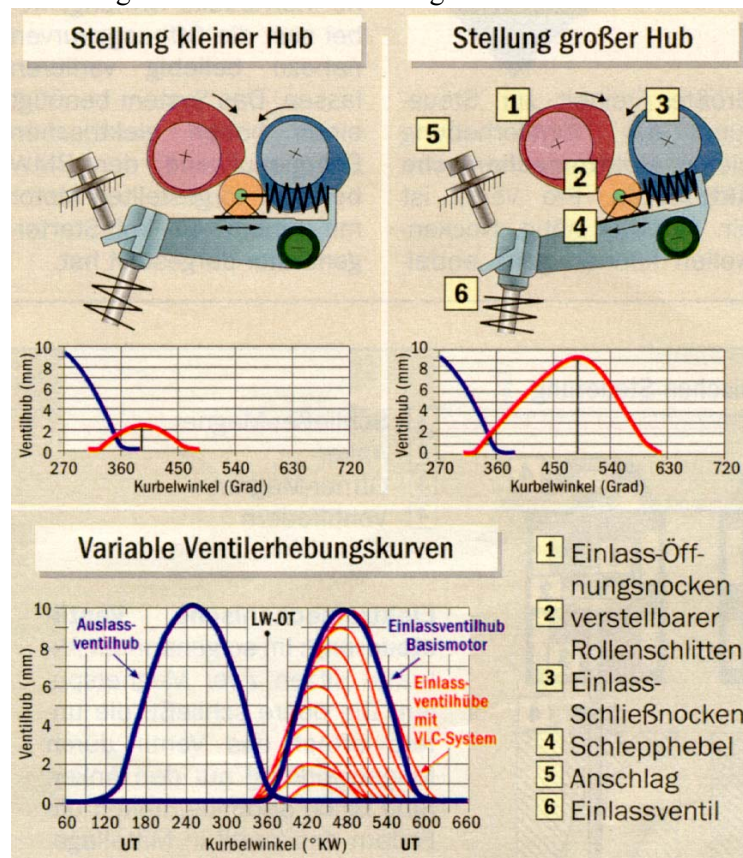


Bild 12: System Meta der Fa. Daimler Chrysler Meta [46]
Meta-system of Daimler Chrysler company [46]

Der Aufwand an Komponenten, der für diese Lösung eingesetzt werden muß, ist erheblich. Zur Verstellung der Öffnungs- und Schließwelle wird ein eigenes Getriebe verwendet. Da der Schließzeitpunkt von der Schließerwelle abhängig ist, ist auch die Auslegung der Ventilaufsetzgeschwindigkeit komplex. Zur genaueren Beschreibung des Systems wird auf die Literatur verwiesen.

Bei beiden in den **Bildern 10 bis 12** gezeigten Systemen muß während der Entwicklung genau analysiert werden, inwieweit das Verbesserungspotential der Motoren mit diesen Systemen sich von Motoren abhebt, die zum Beispiel schon mit einer stufenlosen Nockenwellenverstellung oder einer Hubkonturumschaltung ausgerüstet sind. Durch die variable Hubveränderung kann zwar ein Teil der Gaswechselarbeit des Motors eingespart werden aber dieser Vorteil sollte nicht durch erhöhten Aufwand an Bauteilen, Reibung oder Kosten erkauft werden. Die Etablierung dieser Systeme an Serienmotoren bleibt spannend zu beobachten.

Einen Großteil der Patentanmeldungen ist von Firmen zu beobachten, die sich mit variablen Ventilsteuerungen auf Basis des elektromechanischen Wirkprinzips beschäftigen. Diese Systeme werden seit ca. 20 Jahren erforscht. Die Idee, die Ventilerhebung ohne Nockenwelle frei nach den Erfordernissen des Motors zu bewerkstelligen, wird dabei angestrebt. Gerade auch in letzter Zeit sind einige Veröffentlichungen hierzu erschienen. Die Fa. Siemens hat mit ihren Kunden zusammen lauffähige Motoren im Einsatz. Auf der letzten IAA waren am Stand der Fa. BMW [48] hierzu ein Schnittmotor und verschiedene Entwicklungsstände ausgestellt.

In **Bild 13** ist das Funktionsprinzip des elektromechanischen Ventiltriebs dargestellt.

Aktuell ist vermutlich der Stand der Entwicklung, der 1999 in Wien auf dem Motorensymposium vorgestellt wurde [49]. Dabei handelt es sich um die seit Jahren immer wieder weiterentwickelte Idee der Fa. FEV eines mechanischen Schwingers zwischen zwei Magnetspulen. Die wesentlichen Bauteile dieses nockenwellenlosen Ventilantriebs sind die Aktuatoren, die die Ventile direkt antreiben, das dazugehörige Steuergerät und das Kabelrail, das die Verbindung zwischen Aktuatoren und Steuergerät bildet. Zusätzlich ist ein Positionsgeber erforderlich, der in den Aktuator integriert ist. Dieser soll die exakte Position des Ankers und damit des Gaswechselventils erfassen.

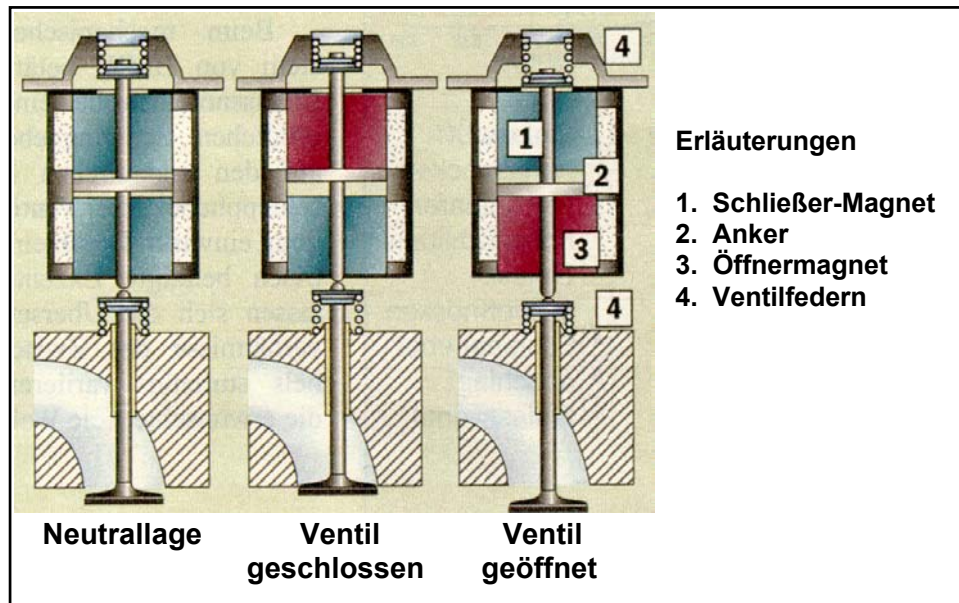


Bild 13: Funktionsprinzip der elektro-mechanischen variablen Ventilsteuerung von Siemens [46]
Functional principal of an electro-mechanical VVT system of Siemens company [46]

In **Bild 14** ist dieser Mechanismus für einen BMW-Motor dargestellt. Je Gaswechselventil ist ein Aktuator vorgesehen [48].

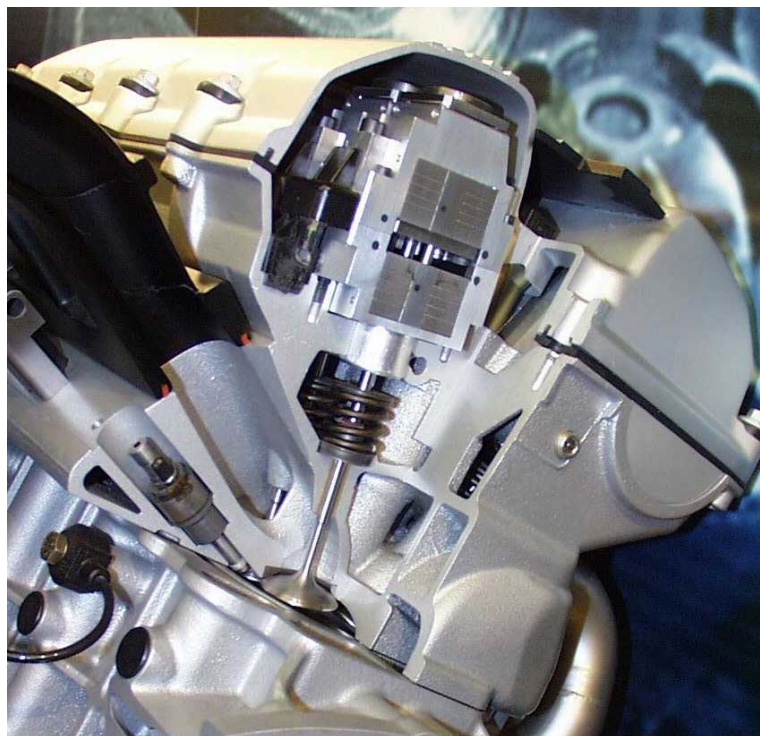


Bild 14: Vollvariable Ventilsteuerung der Fa. Siemens an einem BMW-Forschungsmotor [48]
Fully variable valve timing system of Siemens for a BMW research engine [48]

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Übersicht über die variablen Ventilsteuerungen an Serienmotoren stellt deutlich dar, daß sich die unterschiedlichsten Systeme an den Serienottomotoren etabliert haben. Es handelt sich dabei um Nockenwellen-Versteller und um Systeme, die mit zwei oder drei Stellungen die Steuerzeiten der Ventilerhebungskurve verändern. Systeme mit variabler Hub- oder Öffnungsdauervariation sind an Serienmotoren, außer dem Rover-System [38], den Autoren nicht bekannt.

Die Zunahme der Patentanmeldungen zu variablen Ventilsteuerungen der letzten Jahre ist deutlich. Unterteilt man die Anmeldungen nach Gruppen, stellt man fest, daß in drei wesentlichen Gruppen die intensivsten Aktivitäten zu verzeichnen sind. Es sind zunächst die Gruppen, aus denen auch die Serienlösungen sind, und dienockenwellenlosen elektromechanischen Systeme. Gerade hier stellt sich die Frage, die mit Spannung in Zukunft zu beobachten sein wird, wann diese Systeme an Serienmotoren zu finden sind. Diese Frage kann am besten auf Basis der Erkenntnisse der an diesen Systemen entwickelnden Firmen beantwortet werden.

Hätte man vor ca. zehn Jahren die Prognose geäußert, daß die meisten modernen Ottomotoren im Jahr 2000 variable Steuerzeiten im Serienbetrieb nutzen, so hätten das wohl nur die wenigsten Entwickler geglaubt.

Wagt man die Vermutung zu äußern, wie dieser Trend sich weiterentwickelt, gilt es zunächst die Patentrecherche genauer zu untersuchen. Anhand der Sachinhalte von Details zu Patentanmeldungen können einzelne Schlüsse und Trends für die Entwicklung variabler Ventilsteuerungen erarbeitet werden. Ohne das intensive Studium der Patente wird es schwierig, die einzelnen Entwicklungsschwerpunkte zu erfassen. Die vorhandene Datenbank stellt für die Patentrecherche eine sinnvolle Hilfe dar und kann einfach erweitert und gepflegt werden. Wird während der Entwicklung ein Schutzrecht eines Anderen verletzt, kann bei der Entwicklung eines VVS-Systems oder einer dazugehörigen Steuerung schnell eine Sackgasse erreicht sein.

Vermutlich werden in den nächsten 10 Jahren weiterentwickelte VVS-Systeme zum Standard der Ottomotoren werden. Den Überblick dabei zu wahren, wird schwer fallen. Ähnlich wie Lenkhilfepumpen oder Klimakompressoren werden variable Ventilsteuerungen zum Basismotor gehören. Damit wird der Markt an variablen Ventilsteuerungen für die Firmen, die diese System entwickeln und produzieren, sich weiter expandierend gestalten.

Schwierig ist zu beantworten, welches VVS-System den Markt beherrschen wird. Aus Sicht der Autoren werden mehrere, der an Serienmotoren eingesetzten ähnlichen Systeme, zum Einsatz kommen. Mit den variablen Ventilsteuerungen kommen in der Regel neue Zylinderkopfgenerationen zum Einsatz, da auch für die Steuerung der Systeme entsprechende Maßnahmen, wie zum Beispiel die Abstimmung des Motoröldrucks oder der Einsatz von hydraulischen Schaltventilen, zu treffen sind.

Bei vollvariablen variablen Ventilsteuerungen bleibt es spannend, inwieweit sie die einfacheren Systeme ablösen oder ergänzen.

Auch mit der Thematik direkteinspritzender Ottomotoren wird vermutlich der variable Ventiltrieb nicht zu vernachlässigen sein. Die Praxis zeigt, daß technische Errungenschaften nur schrittweise nacheinander umgesetzt werden können. Vielleicht gehört der variable Ventiltrieb auch hier zeitversetzt zur Basis der Serienausstattung.

Für die Ingenieure der Automobilbranche stellt sich der darzustellende Entwicklungsaufwand als sehr umfangreich dar. Die Bildung strategischer Allianzen zwischen Automobilherstellern und den Firmen, die variable Ventilsteuerungen entwickeln und produzieren, wird an dieser Stelle als sehr sinnvoll erachtet.

8. Literaturverzeichnis

- [1] **Haltenberger, S.:** Vorrichtung zur Ventilverstellung. Patent DE PS 0368775, 1918
- [2] **Bassi, A.; Arcari, F.; Perrone, F.:** C.E.M.- The Alfa Romeo Engine management System-Design Concepts-Trends for the future. SAE-Paper 85 0290, 1985
- [3] **von Fersen, O.:** Technik der neuen VANOS-Motoren. MOT-Sonderteil 03/93, S. 82 ff
- [4] **N.N.:** M3-Vanos. Pressemappe M3-Motor der Fa. BMW, München 1996
- [5] **Mueller, R.; Uitvlugt, M.:** Valve Sector Hardware. SAE-Paper 78 0146, 1978
- [6] **Kimura, H.:** Fahrbericht Honda CBR 400 F. Motorrad 4/1984, S. 50-51
- [7] **Inoue, K.; Nagahiro, R.; Ajiki, Y.:** A High Power, Wide Torque Range, Efficient Engine with a Newly Developed Variable Valve-Lift and –Timing Mechanism. SAE-Paper 89 0675, 1989
- [8] **N.N.:** Konkurrenz für Ferrari, Porsche & Co. Automobil Revue Nr. 27, 29. Juni 1989
- [9] **Horie, K.; Nishizawa, K.; Ogawa, T.; Akazaki, S.; Miura, K.:** The Development of a High Fuel Economy and High Performance Four-Valve Lean Burn Engine.
- [10] **Hatono, K.; Iida, K.; Higashi, H.; Murata, S.:** Ein neuer Mehrphasen-Motor mit variabler Ventilabschaltung. MTZ 54 (1993) 9, S. 412-418
- [11] **N.N.:** Der Mitsubishi Emeraude mit 2,0 V6-24V. Automobil Revue 1994
- [12] **Fortnagel, M.; Doll, G.; Kollmann, K.; Weining, H.-K.:** Aus Acht mach Vier: Die neuen V8-Motoren mit 4,3 und 5l Hubraum. Sonderausgabe MTZ Mercedes-Benz S-Klasse 1998
- [13] **Nishimura, S.; Fukuhara, T.; Teramoto, M.:** Nissan V6 3.0 Litre, 4-Cam 24-Valve High Performance Engine. SAE-Paper 87 0351, 1987
- [14] **N.N.:** Nockenwellenverstellung der Fa. Atsugi für den Nissan V8-Infinity. Prospekt der Fa. Kolbenschmidt, Neckarsulm, 1990
- [15] **Yasuda, M.; Maruyama, H.:** A new 1.6 Litre Twin-Cam 16-Valve Nissan Engine. SAE-Paper 910677, 1991
- [16] **N.N.:** Der Nissan 200SX mit 2,0 Turbo 16V. Firmenprospekt der Fa. Nissan, 1994
- [17] **Frey, J.; Ohlendorf, R.; Strauber, H.:** Der neue V8-Viertentilmotor mit 5,0 l Hubraum für den neuen Mercedes-Benz 500 SL. MTZ 50 (1989) 5
- [18] **Brüggemann, H.; Gobien, E.; Schäfer, M.:** Der neue Sechszylinder-Viertentilmotor mit 3,0 l Hubraum für den neuen Mercedes-Benz 300 SL-24. MTZ 50 (1989) 4
- [19] **Abthoff, J.; Bachschmid, R.; Brüggemann, H.; Willand, J.:** Der neue Zwölfzylinder-Motor für die Mercedes-Benz S-Klasse Teil 2. MTZ 52 (1991) 5
- [20] **N.N.:** Vorstellung des neuen V12 6,0 l Motors der Fa. Daimler Chrysler. IAA 1999

- [21] N.N.: Information Pressestelle. Fa. Daimler Chrysler , 1999
- [22] N.N.: Die neue Corolla/Sprinter-Generation von Toyota. Automobil Revue Nr.27, 27. Juni 1991, S. 25-27
- [23] N.N.: Information der Fa. Toyota. IAA 1999
- [24] **Ulrich, J.; Fiedler, O.:** Der Motor des neuen Porsche 968. MTZ 52 (1991) 12
- [25] **Batzill, M.; Kirchner, W.; Körkemeier, H.; Ulrich, H. J.:** Der Antrieb für den neuen Porsche Boxter. Sonderausgabe der ATZ und MTZ, 1997
- [26] **Hack, G.:** Turbo-Lenz. Auto Motor Sport 24/1999
- [27] N.N.: The VC-Engine; Novel Suzuki Technology Leads to Further Evolution of Motorcycle Engine Design. Suzuki/Bandit 400V Press Release, pp. 1-11
- [28] **Bergmann, D.; Krause, G.; Niggemeyer, H.; Troll, H.:** Der weiterentwickelte BMW-Sechszylinder mit Vierventiltechnik. MTZ 53 (1992) 10, S. 444-453
- [29] N.N.: Information Pressestelle. Fa. BMW, 1999
- [30] **Ostmann, Bernd:** His Masters Voice. Reportage McLaren F1, Auto Motor Sport 19/1994 S. 197-201
- [31] **Knirsch, S.; Mann, M.; Dillig, H.; Reichert, H.-J.; Bartholmeß, T.:** Der neue Sechszylinder-V-Motor von Audi mit Fünfventiltechnik. MTZ 57 (1996), S. 48-55
- [32] N.N.: Presseinformation der Fa. Audi. IAA 1999
- [33] N.N.: Erstmals Achtzylindermotor entwickelt. MTZ 57 (1996) 10, S. 583
- [34] **Heuser, G.; Oppel, R.; Eden, M.; Farenden, G.; Warren G. A.; Menne, R. J.:** Der neue 1,7-l- Zetec-SE-Motor für das Sportcoupé Puma. MTZ 58 (1997) 4, S. 192
- [35] **Wenzel, C.:** Information Fa. Mannesmann Rexroth Fahrzeugtechnik. 1999
- [36] N.N.: Information der Fa. Aisin. IAA 1999
- [37] N.N.: Presseinformation der Fa. VW. IAA 1999
- [38] N.N.: Presseinformation der Fa. MG. IAA 1997
- [39] **Hannibal, W.:** Vergleichende Untersuchung verschiedener variabler Ventilsteuerungen für Serien-Ottomotoren. Dissertation, Universität Stuttgart, 1993
- [40] **Hannibal, W.; Bertsch, A.:** VAST: A New Variable Valve Timing System for Vehicle Engines. SAE-Paper 980769
- [41] **Hannibal, W.:** Anforderungen, Funktionsprinzipien und technische Bewertung variabler Ventilsteuerungen für Serien-Ottomotoren. Vortrag Haus der Technik, 18.06.1997
- [42] **Hannibal, W.:** Patentanmeldung der Fa. Audi. DE OS 39 22 962, 1989

- [43] **Knecht, A.:** Kontinuierliche Nockenwellenverstellung. Sonderdruck MTZ/ATZ System Partners 98, S. 60-62
- [44] **Wenzel, C.; Stephan, W.; Hannibal, W.:** Hydraulische Komponenten für variable Ventilsteuerungen. Vortrag Haus der Technik Essen, 2000
- [45] **Kraxner, D.; Schwarzenthal, D.; Gruenberger, J.:** Patentanmeldung der Fa. Porsche, DE PS 197 17 537 C1, 1997
- [46] **Hack, G.:** Freie Wahl. Autor Motor Sport, 17/1999, S. 48-50
- [47] **Krämer, M.; Thom, R. W.; Kühn, M.; Baier, K.:** Variable Ventilsteuerungen Ein Weg zur Verbrauchsreduzierung bei Ottomotoren. 20. Wiener Motoren Symposium, 6. Mai 1999
- [48] **N.N.:** Information der Fa. BMW. IAA 1999
- [49] **Koch, A.; Kramer, W.; Warnecke, V.:** Die Systemkomponenten eines elektromechanischen Ventiltriebs. 20. Wiener Motoren Symposium, 6. Mai 1999