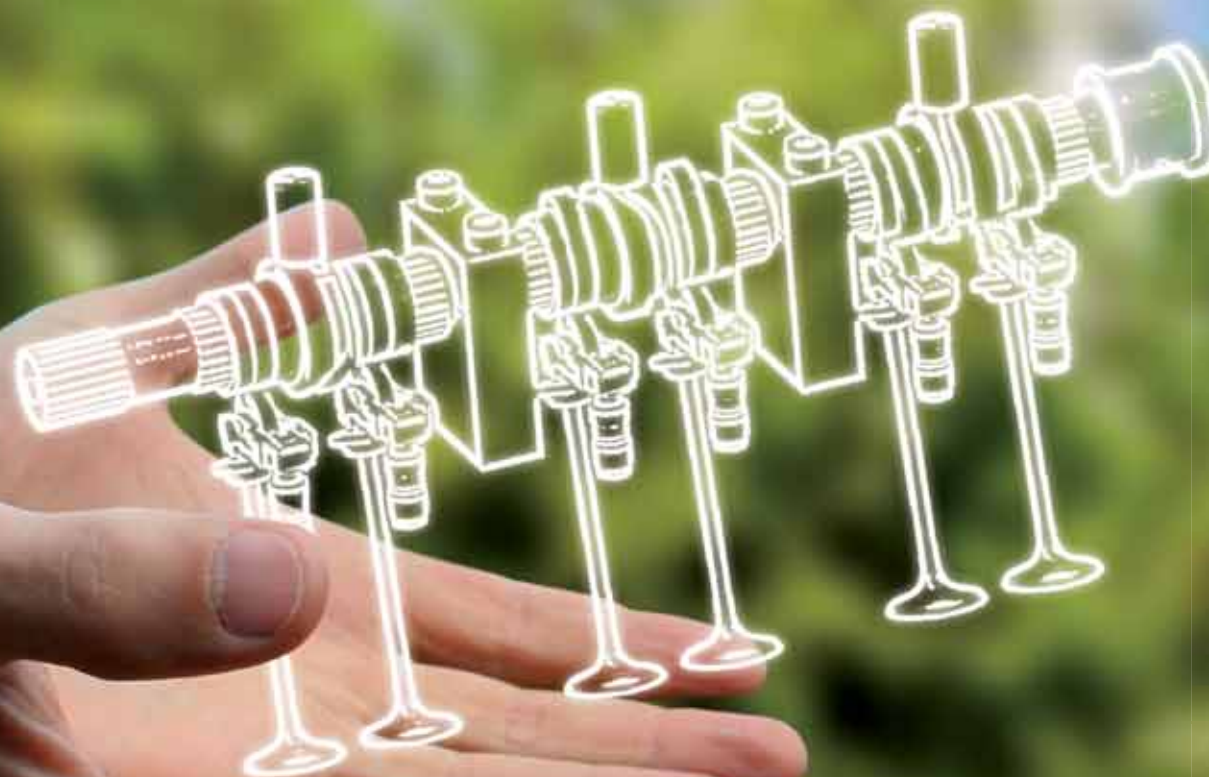


16

INA Schiebenockensystem

Gerüstet für die Zukunft

Norbert Nitz
Harald Elendt
Arndt Ihlemann
Andreas Nendel



Einleitung

Ein Hauptziel in der Weiterentwicklung von Verbrennungsmotoren ist die Verbrauchsreduzierung und somit die Senkung des CO₂ Ausstoßes. Zusätzlich fordern zukünftige Abgasvorschriften eine weitere Reduktion der Schadstoffemissionen.

Der Verbrennungsmotor wird noch lange eine wichtige Antriebsquelle für Kraftfahrzeuge bleiben, auch wenn heute schon viele Aktivitäten in Richtung elektrischer Antriebe und Brennstoffzelle zu verzeichnen sind. Beim Verbrennungsmotor gilt es, konsequent die Effizienz zu steigern.

Wichtige Potenziale bei der motorischen Optimierung sind die Reduktion der Ladungswechselarbeit, die Optimierung der Ladungsbewegung, die Beeinflussung des Restgasanteils speziell in der Teillast, die Steuerung der Temperatur bei Verdichtungsbeginn und die Dosierung der Frischgasmasse. Um diese Maßnahmen umzusetzen, sind Variabilitäten im Ventiltrieb erforderlich.

Die Möglichkeiten der Umsetzung reichen von der reinen Phasenverstellung über die teilvariable Ventilhubvariation bis hin zur vollvariablen Ventilhubvariation. Je mehr Variabilitäten eingesetzt werden, desto größer ist das erschließbare Poten-



Bild 1 Teilvariable Ventiltriebskomponenten mit elektrohydraulischer Betätigung

zial. Als vorteilhaft hat sich z. B. die Kombination von Nockenwellenversteller und teilvariablen Ventiltrieb herausgestellt. Dieser Beitrag konzentriert sich hauptsächlich auf die teilvariablen Ventiltriebe.

INA entwickelt seit über 20 Jahren u. a. teilvariable Ventiltriebe und kann auf über 10 Jahre Serienfertigung der Schalttasse zurückblicken. Ebenfalls war INA bei der Entwicklung des Schiebenockensystems involviert und hat das am Markt befindliche Audi Valve Lift System konsequent weiter entwickelt. Diese Veröffentlichung soll aufzeigen, wie es gelungen ist, durch ein intelligentes Aktorenkonzept bei gleichen Bau- und raumbedingungen mehr Funktionalität darzustellen.

Stand der Technik

Für den Schlepphebelventiltrieb gibt es viele verschiedene teilvariable Ventiltriebskonzepte mit unterschiedlicher Aktorik und Realisierung der Variabilität.

In Bild 1 sind bekannte elektrohydraulische Systeme dargestellt. Das schaltbare Abstützelement (im Bild links) ermöglicht eine Ventil-/Zylinderabschaltung. Der schaltbare Hebel (rechts im Bild) kann eine Hubumschaltung bzw. eine Ventil-/Zylinderabschaltung realisieren.

Weiterhin ergibt sich die Möglichkeit, wie beim Audi Valve Lift System (AVS) die Hubvariabilität direkt an der Nockenwelle elektroaktorisch zu erzeugen (Bild 2) [1]. Dieses zweistufige Schalt-system besteht aus einer Grundwelle, je einem Nockenstück pro Zylinder, den dazugehörigen Schlepphebeln und Abstützelementen sowie je zwei Aktoren pro Nockenstück. Das Nockenstück ist mittels einer Axialverzahnung drehfest, aber axial verschiebbar mit der Grundwelle verbunden. Die Lagerung des Nockenstücks erfolgt mittig zwischen den Ventilen mit dem Nockenwellenlager. Das Nockenstück beinhaltet für beide Ventile jeweils zwei Nocken und die Steuernuten. Bei dieser aktuellen Ausgestaltung wird das Nockenstück über zwei S-förmige Nutkonturen und zwei elektrisch ansteuerbare Aktoren in beiden Axialrichtungen auf der Grundwelle verschoben (Bild 2).



Bild 2 Audi Valve Lift System [1]

Vergleich Schiebenockensystem zu anderen bekannten Schaltsystemen

Ein Vergleich dieser unterschiedlichen Systeme zeigt, dass das elektrisch betätigte Schiebenockensystem eine Reihe von Vorteilen besitzt.

Vergrößerter Temperatur-funktionsbereich

Elektrohydraulisch betätigte Systeme haben Einschränkungen im Tieftemperaturbereich (Bild 3). Unter 20 °C Öltemperatur ist nur ein Schaltvorgang mit Öldruck zulässig. Aufgrund der hohen Ölviskosität bei tiefen Temperaturen und dem damit verbundenen starken Ansteigen der Fehlschaltungen ist unter 20 °C in der Gegenrichtung kein Schalten erlaubt. Die uneingeschränkte Funktion ist meist erst ab 20 °C Öltemperatur sichergestellt. Das Schiebenockensystem funktioniert fehlschaltungsfrei durch den elektrischen Aktor und die zwangsgeführte Umschaltung in einem deutlich größeren Funktionsbereich (Bild 3). Weiteres Potenzial zur Erweiterung des Funktionsbereiches ist vorhanden.

Keine Einschränkungen der Ventilerhebungen

Ebenfalls nachteilig bei bekannten Komponenten mit Lost Motion Element (schaltbare Tassen,

schaltbare Hebel) sind die eingeschränkten Freiheiten bei der Gestaltung der Ventilerhebungen. Der schaltbare Hebel z. B. besteht aus einem Primärhebel und einem Sekundärhebel. Der Hub auf dem Primärhebel wird immer ausgeführt, der auf dem Sekundärhebel kann durch Umschaltung ausgeblendet werden. So muss der kleinere

Hub immer vom großen Hub eingehüllt werden oder der kleine Hub muss komplett außerhalb liegen (Bild 4). Wenn die beiden Kurven sich schneiden, sind die einzelnen Hübe nicht darstellbar. Es würde während des Ventilhubes zum Nockenwechsel kommen und die einhüllende Hubkurve dargestellt werden. Diese Einschränkungen kennt das Schiebenockensystem nicht. Die Hubkurven können frei gewählt werden.

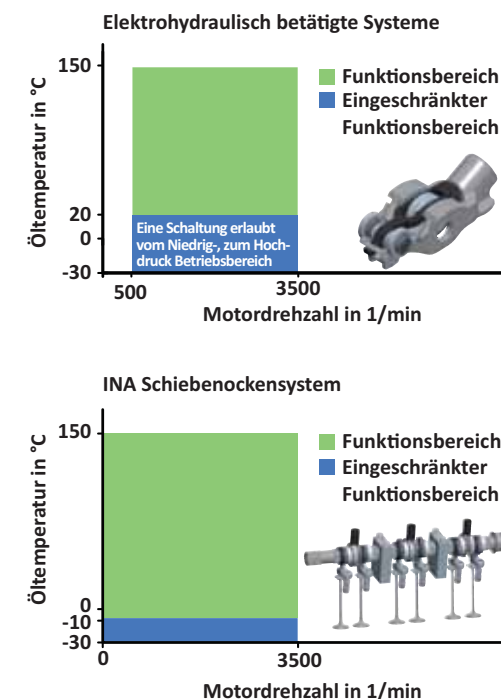


Bild 3 Vergleich der Funktionsbereiche

Kein hydraulisches System zum Schalten erforderlich

Bei elektrohydraulisch betätigten Systemen müssen der Ölkreislauf und speziell die Ölpumpe entsprechend dimensioniert sein, um den geforderten Mindestöldruck bei allen Schaltpunkten sicherzustellen. Hierbei ist es meist jedoch noch nicht möglich, Nockenwellenverstellung und Schaltkomponente gleichzeitig zu aktivieren. Das Schiebenockensystem mit elektrischer Betätigung ist unabhängig vom Ölkreislauf jederzeit einsetzbar.

Zwangsgesteuerte Schaltung innerhalb einer Nockenwellenumdrehung

Das Schiebenockensystem basiert auf einer Zwangsführung während des Schaltvorganges, d.h. nach einer Nockenwellenumdrehung muss der Nocken verschoben sein. Bei hydraulisch betätigten Systemen, speziell bei niedrigen Temperaturen, kann es vorkommen, dass der Schaltvorgang auch länger als eine Umdrehung dauert. Zyklustreues Schalten ist somit bei niedrigen Temperaturen nicht möglich. Das Schiebenockensystem erlaubt eine zyklustreue Schaltung innerhalb einer Nockenwellenumdre-

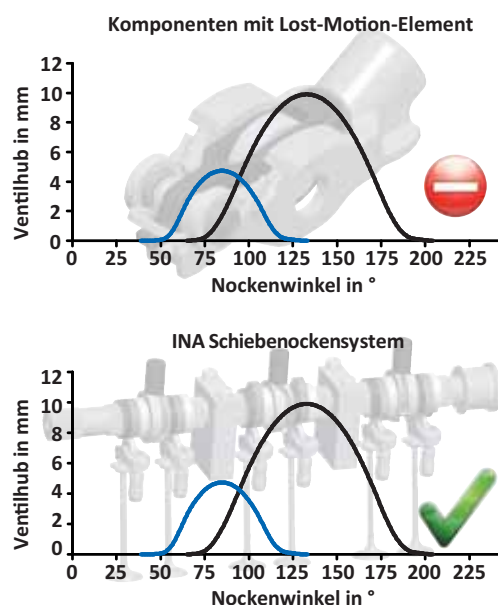


Bild 4 Einschränkungen bei der Gestaltung der Ventilhuberhebungen

hung. Vereinzelt bei hydraulisch betätigten Systemen vorkommende Fehlschaltungen werden mit dem Schiebenockensystem vermieden.

Zylinderindividuelles Umschalten möglich

Bei elektrohydraulisch betätigten Systemen ist nur unter Mehraufwand ein zylinderindividuelles Schalten möglich. Für den Fall müssen mehr Schaltventile verbaut und der Hydraulikölkreislauf aufwändiger ausgeführt werden. Das Schiebenockensystem mit seiner klaren Zuordnung der Aktoren je Zylinder ermöglicht ein zylinderindividuelles Umschalten ohne Mehraufwand. Somit können weitere Verbrauchseinsparungspotenziale bei der Applikation kostenneutral genutzt werden.

Keine zusätzliche Ventilhubvariation

Verriegelungsmechanismen, welche auf Kolben basieren, weisen toleranzbedingt ein Spiel in der Verriegelung auf. Dieses, je nach Ausführung unterschiedlich große Verriegelungsspiel, führt somit beim Sekundärhub zu einer entsprechenden Ventilhubvariation. Das Schiebenockensystem hat im Vergleich zum schaltbaren Hebel keine zusätzlichen Ventilhubvariationen.

Geringe bewegte Massen/ Massenträgheitsmoment

Der Schalthebel hat durch den Aufbau mit zwei parallel angeordneten Hebeln eine größere bewegte Masse und ein größeres Massenträgheitsmoment, als das Schiebenockensystem. Der Schleppebel für das Schiebenockensystem ist vom Grunddesign nur leicht modifiziert gegenüber bekannten Standardhebeln. Somit kann die Originalbefederung beibehalten und eine höhere Ventiltriebreibung vermieden werden. Beim Schiebenockensystem sind die Ventilhuberhebungen im Rahmen der derzeit im Schleppebeltrieb realisierbaren Beschleunigungen frei wählbar, während es beim schaltbaren Hebel häufig zu Einschränkungen durch das größere Massenträgheitsmoment kommt. Um die Belastungen einzuschränken, muss die Ventilhuberhebung beim schaltbaren Hebel häufig angepasst werden.

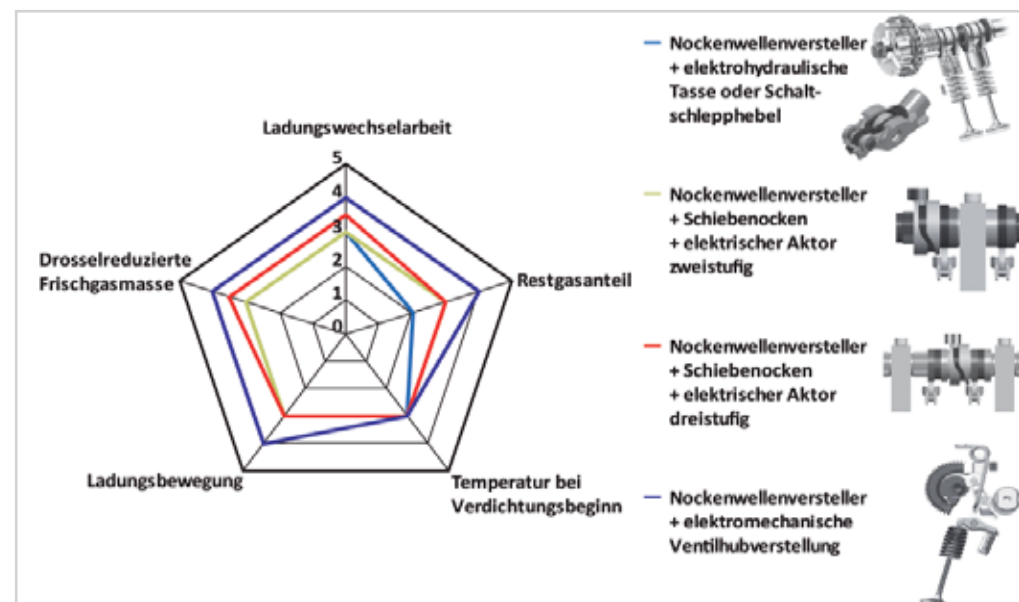


Bild 5 Vergleich thermodynamisches Potenzial verschiedener Konzepte

Systemflexibilität für CPS, CDA und CAI/HCCI

In der Entwicklung sind häufig flexible Systeme mit großen Freiheitsgraden gefordert, um unterschiedliche Konzepte zu erproben. Weiterhin sind die Motorenhersteller bestrebt, im Serieneinsatz Systeme flexibel für mehrere Motorenkonzepte einzusetzen. Dies erspart signifikant Kosten und ermöglicht eine Reduktion der Komponentenvielfalt.

So sind zum Beispiel die Anforderungen bei Motorstart (Start mit kleinem oder großem Ventilhub) unterschiedlich. Diese werden bei hydraulisch betätigten Systemen je nach Anwendungsfall durch unterschiedliche Verriegelungsmechanismen (drucklos entriegelt oder drucklos verriegelt) realisiert.

Beim Schiebenockensystem wird diese Funktionalität einfach durch unterschiedliche Ansteuerung der Aktoren erzielt. Somit ist das Schiebenockensystem bei gleicher Grundfunktionalität ohne technische Nachteile einfach auf verschiedene Anforderungen adaptierbar.

Motivation

In der Summe führen die beschriebenen Vorteile des Schiebenockensystems zur Erzielung von größeren Verbrauchseinsparungen verglichen mit dem schaltbaren Hebel.

Die vorgeschlagene dreistufige Ventilhubvariation in Kombination mit einem Elektroaktor kommt dem vollvariablen Ventiltrieb näher, hat aber ein günstigeres Verhältnis von Aufwand zu Nutzen (Bild 5). Dies war für INA der Grund, das dreistufige Schiebenockensystem zu entwickeln.

INA Schiebenockensystem

Aufbau und Funktion

Das Ziel für das INA Schiebenockensystem ist die Umsetzung eines dreistufigen Schaltsystems ohne signifikante Änderung des Grundgedankens „axiale Verschiebung eines Nockenstücks auf einer Grundwelle“. Eine weitere INA Anforderung besteht darin, dass das Schiebenockensystem auf eine möglichst große Motorenpalette mit unterschiedlichen Ventil- und Zylinderabständen adaptierbar sein soll.

Herzstück des Schiebenockensystems ist die Nutkontur, in welche der Aktorpin eingreift und das Nockenstück für einen Zylinder axial auf der Grundwelle verschiebt. Für eine Umsetzung der drei Schaltstufen wird, bei vorliegendem Ventil- und Zy-

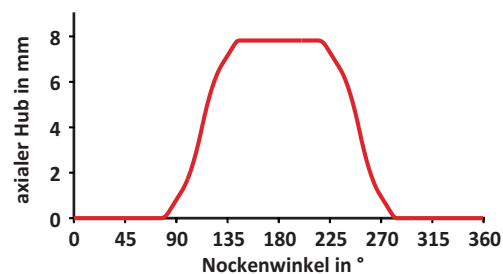
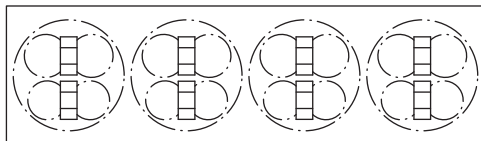


Bild 6 Axialhub des Nockenstücks mit der Doppel-S-Nut

linderabstand, der Bauraum für die Verschiebungen deutlich eingeschränkt. Eine Ausführung mit zwei S-Nuten (Bild 2) ist dadurch nicht mehr möglich. Nach Analyse von verschiedenen Nutkonfigurationen stellte sich die Doppel-S-Nut als zielführend heraus. Diese Nutausführung erzeugt die Bewegung in beiden Verschieberichtungen in einer Grundkreisphase von ca. 210° Nockenwelle. Zusätzlich zu den beiden Axialbewegungen muss in dieser Phase ein Einfahrbereich für die Aktorpinbewegung in den Nutgrund vorgehalten werden (ca. 70° Nockenwelle). Dadurch bleiben effektiv nur noch ca. 70° Nockenwelle für eine Axialverschiebung des Nockenstücks zur Verfügung. Mit einem Simulationsmodell wurde die Doppel-S-Nut (Bild 6) optimiert. Die Kontaktkräfte am Aktorpin konnten fast auf dem Niveau der Serien-S-Nut (Bild 2) gehalten werden, obwohl deutlich weniger Phasenwinkel zur Verfügung steht. Im Bild 6 ist beispielhaft der Axialhub des Nockenstücks mit der Doppel-S-Nut dargestellt.

Für das dreistufige Schiebenockensystem ist die Lagerung des Nockenstücks neu zu definieren. Bei einer Lagerung zwischen den Ventilen (Bild 7) steht bei kleinen Ventilabständen kein ausreichend brei-

Nockenwellenlager zwischen den Ventilen



Nockenwellenlager zwischen den Zylindern

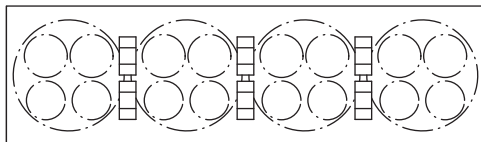


Bild 7 Möglichkeiten der Nockenwellenlagerung

ter Lagersteg mehr zur Verfügung. Somit ist die Lagerung der Grundwelle zwischen den Zylindern zielführend (Bild 7).

In Bild 8 ist zu erkennen, dass bei einer zusätzlichen Lagerung der Grundwelle zwischen den Zylindern die Position der Doppel-S-Nut zwischen den Nocken liegen muss. Hiermit ist der Nockenwellenaufbau des dreistufigen INA - Schiebenockensystems definiert.



Bild 8 INA Schiebenockensystem dreistufig

Das INA Schiebenockensystem kann auch zweistufig ausgeführt sein (Bild 9). In diesem Fall ist nur ein Ein-Pin-Aktor pro Zylinder erforderlich und die Lagerung der Grundwelle kann zwischen den Zylindern erfolgen.

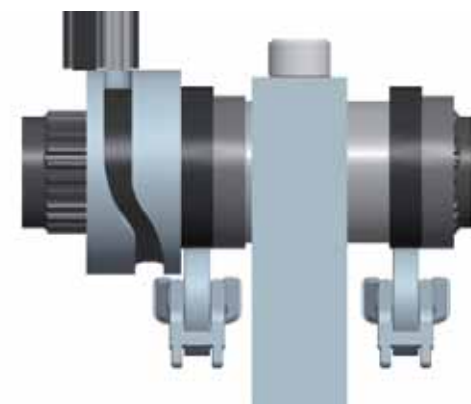


Bild 9 INA Schiebenockensystem zweistufig

Das Nockenstück ist mittels einer Axialverzahnung drehfest, aber axial verschiebbar mit der Grundwelle verbunden. Die Ventilhubumschaltung bedeutet eine axiale Verschiebung des Nockenstücks auf der Grundwelle um eine Nockenbreite. Bleibt das Nockenstück unbetätigt, fixiert die Arretierung (Bild 10) das Nockenstück auf der Grundwelle in

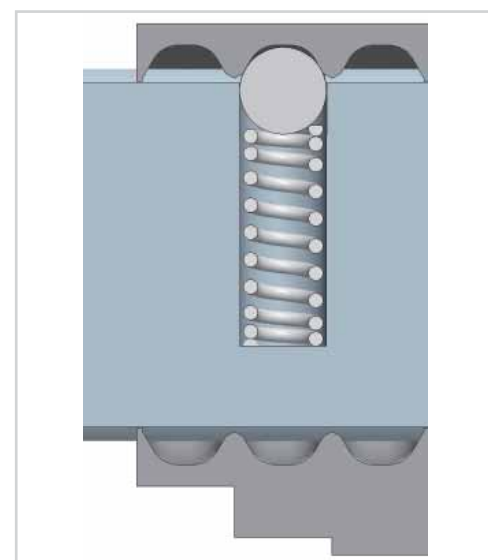


Bild 10 Dreistufige Arretierung

der entsprechenden Position. Die Arretierung wird pro Zylinder jeweils mit einer federbelasteten Kugel ausgeführt. Drei Einstiche zur Arretierung des Nockenstücks sind den drei Nocken zugeordnet (Bild 10).

Um die Umschaltung zwischen den drei Nockenerhebungen vorzunehmen, wirkt ein INA Zwei-Pin-Aktor auf die Doppel-S-Nut. Wird der Aktor über ein Steuersignal der Motorsteuerung aktiviert, fährt nur einer der beiden Aktorpins vor Beginn des Nockengrundkreises in die erste Nutbahn ein und verschiebt mit deren Steigung während der Grundkreisphase das Nockenstück. Dem anderen Pin ist es nicht möglich, in eine Nut einzutauchen. Er gleitet auf der Hochkreisfläche der Schiebenuht. Die Drehung der Nockenwelle und die Steigung der Nutkontur bewegen das Nockenstück axial um eine Nockenbreite und der Aktorpin wird am Ende der Nutkontur über eine radiale Ausfahrsschräge aus der Nut in seine Ausgangslage zurück gedrückt. Eine weitere Nockenstückverschiebung in die gleiche Richtung erzeugt der zweite Aktorpin wieder mit der ersten Nutbahn. Soll nun das Nockenstück in die entgegengesetzte Richtung verschoben werden fährt der zweite Aktorpin, während der Nocken Grundkreisphase in die zweite Nutbahn ein. Durch die Steigung dieser Nut wird das Nockenstück um eine Nockenbreite zurückgeschoben. Am Ende der zweiten Verschiebenut ist ebenfalls eine radiale Ausfahrsschräge, die den Aktorpin in seine Ausgangslage zurückbewegt (Bild 11).

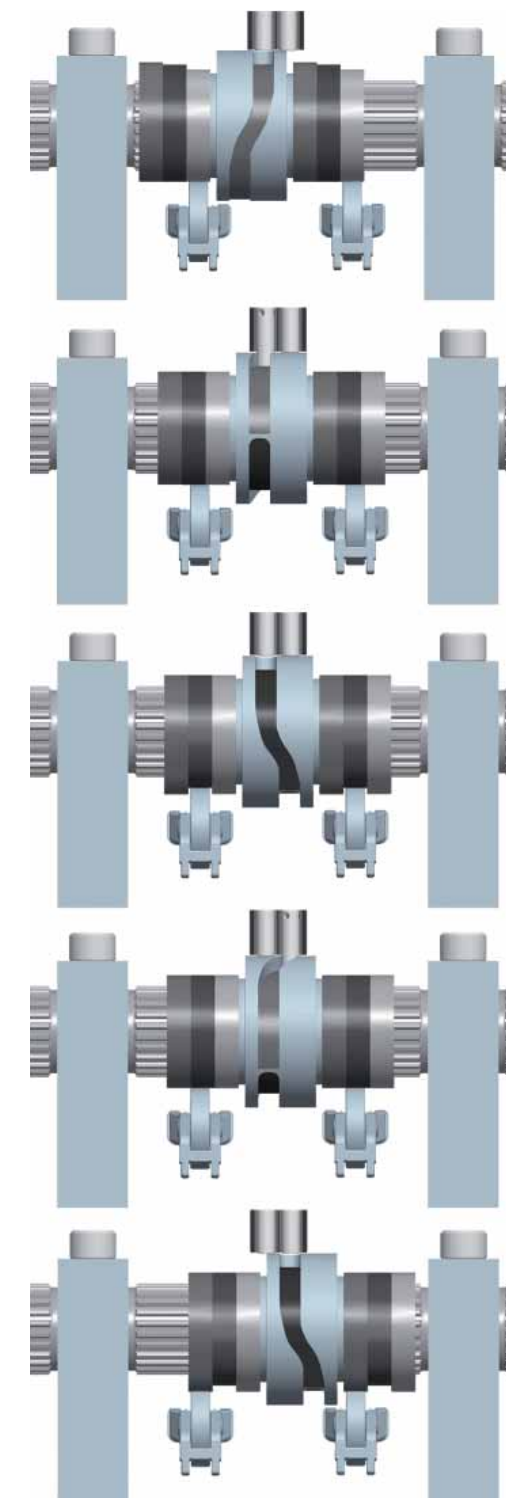


Bild 11 Funktion dreistufiges INA Schiebenockensystem



Bild 12 INA Schlepphebelsystem für Schiebenocken

Für das dreistufige Schiebenockensystem kommt weiterhin das in Serie befindliche INA Schlepphebelsystem (Bild 12) zum Einsatz. Der optimierte INA Schlepphebel mit einer Nockenrollenbreite von nur 5,4 mm und einem Rollendurchmesser von 21 mm hat sich seit der Serieneinführung 2006 bestens bewährt.

INA-Multipinaktor

Konzept

Um den Anforderungen der neuen Generation von Schiebenockensystemen gerecht zu werden, wurden die erforderlichen Aktorfunktionen von Grund auf neu analysiert. Aus der strikten Umsetzung der einzelnen Funktionen wurde der INA-Multipinaktor entwickelt. Konzeptionell wurden folgende Punkte erfasst und umgesetzt:

- die beim Einschieben des Pins in den Aktor geleistete Arbeit wird gespeichert
- die gezielte Freisetzung dieser Energie um den Pin auszuschieben
- die Reduzierung des Pinhubs auf den minimal nötigen Weg
- die Maximierung der möglichen Eintauchtiefe
- die Minimierung des Bauraums

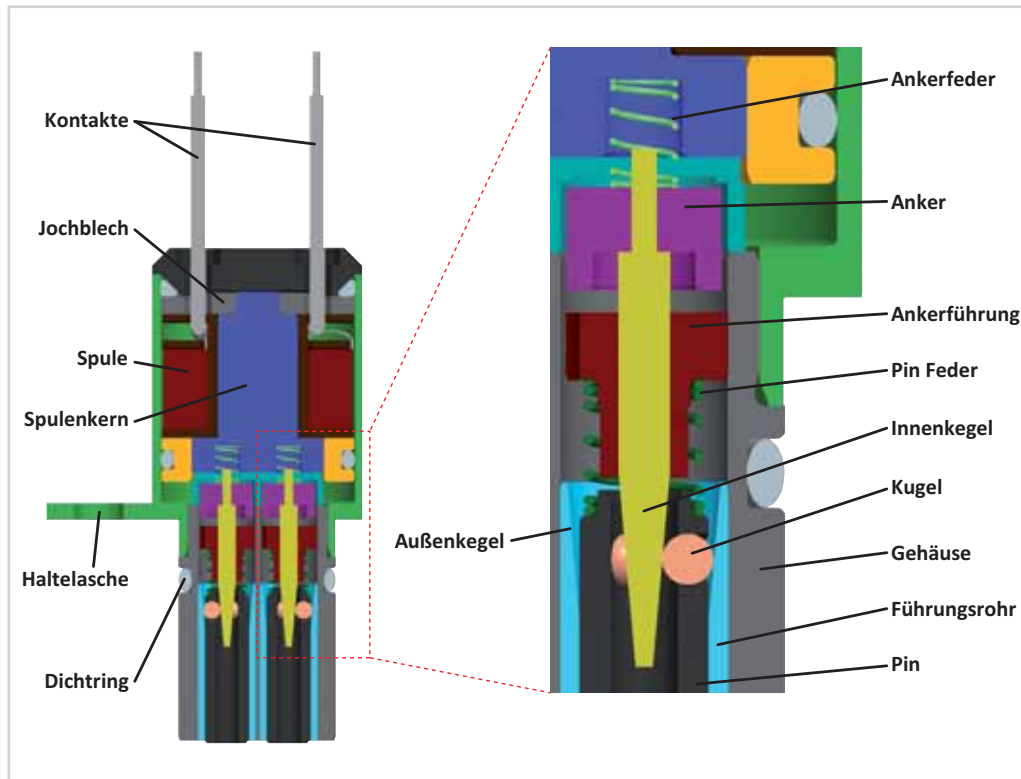


Bild 13 Grundaufbau Multipinaktor

Funktionen des INA-Multipinaktors

Energiespeicherung

Um den Bauraum des Aktors möglichst gering zu halten, wurde darauf verzichtet jeden Pin mit einem eigenen elektrischen Antrieb zu versehen. Die Antriebsenergie bezieht jeder einzelne Pin aus der Bewegung, die in ihm beim Einschleibvorgang in den Aktor gespeichert wurde. Eine Feder speichert diese potentielle Energie, bis sie durch Lösen der Klemmeinheit wieder freigesetzt wird.

Reduzierung des Pinhubs durch stufenlose Arretierung

Die Klemmeinheit hat neben der Erhaltung der Speicherfunktion eine weitere Aufgabe, indem sie Positions- und Fertigungstoleranzen im Hinblick auf die ungenaue Lage des Aktors zum Schiebenockenstück kompensiert. Diese Toleranzen werden bei aktuellen Serienaktoren durch einen zusätzlichen Hub berücksichtigt. Hierbei zieht der Permanentmagnet den Pin in den Aktor. Dieser zusätzlich zurückgelegte Weg wirkt sich jedoch beim Einspuren des Pins negativ auf die Schaltzeit aus. Um dies zu vermeiden, wurde eine stufenlose Klemmeinheit realisiert, welche unabhängig von Toleranzen den kürzest möglichen Einspurweg gewährleistet.

Die Klemmeinheit besteht aus zwei kegelförmigen Reibflächen, zwischen denen sich drei kugelförmige Klemmkörper befinden. Hierbei ist die äußere Kegelfläche fest mit dem Aktorgehäuse verbunden, während die innere Kegelfläche mit dem Anker verbunden ist und federbelastet auf die Klemmkörper drückt. Die Klemmkörper sind durch Bohrungen im Pin, in gleicher Ebene mit einem Abstand von 120° angeordnet. Im Rahmen des Passungsspiels zwischen den Kugeln

und den Bohrungen bewegt sich der Pin im Führungsrohr.

Beim Einschleiben des Pins (Bild 14) bewegt dieser die Kugeln im Führungsrohr in Richtung des inneren Kegels, bis sie diesen berühren. Sie heben den inneren Kegel entgegen einer Federkraft an, bis sie zwischen die beiden Kegelflächen geraten. Ab diesem Punkt verharrt der innere Kegel aufgrund der Winkelgleichheit zum äußeren Kegel in seiner Position, obwohl der Pin die Kugeln weiter bewegt.

Die Einschubbewegung des Pins endet mit dem Verlassen der radialen Auswurframpe im Nockenstück. Ist nach der Rampe der Kontakt zwischen Pin und Nockenstück aufgehoben, versucht die Pinfeder den Pin wieder auszuschieben. Der Pin bewegt sich um das Passungsspiel zwischen Bohrung und Kugel und wird dann durch die Kugeln gestoppt (Bild 14). Die Kugeln verharren in Ihrer Position auf Grund der Selbsthemmung zum inneren Kegel. Die Selbsthemmung entsteht durch die Reibkraft am inneren Kegel, welche entgegen der Ausfahrrichtung wirkt und somit die Klemmkraft erhöht. Die Haltefunktion ist hierdurch unabhängig von der Federkraft, die den Pin belastet.

Zum Lösen des Pins wird die Spule bestromt und der Anker sowie der mit ihm verbundene Innenkegel bewegen sich gegen die Vorspannung der Ankerfeder nach oben. Dadurch ist die Klemmwirkung zum Außenkegel aufgehoben und der Pin wird von der Pinfeder in die Nut eingeschoben.

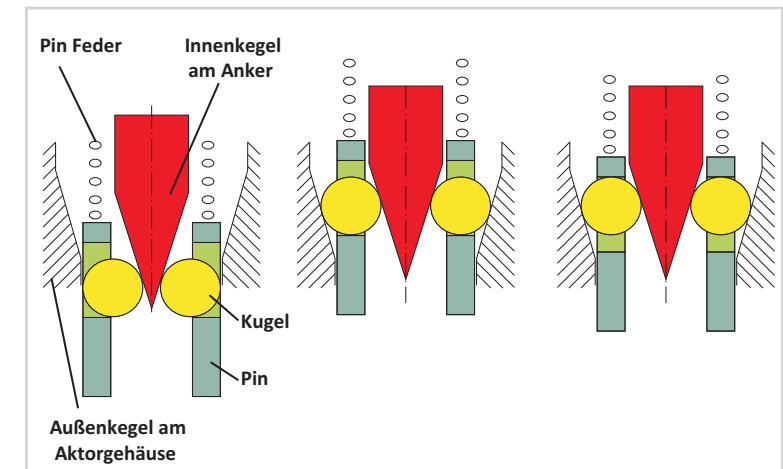


Bild 14 Klemmeinheit Aktor (Schematische Darstellung; beide Kugeln in eine Ebene gedreht)

Kundennutzen des INA Schiebenockensystems

Mit dem INA Schiebenockensystem steht den Motorenentwicklern ein flexibles, leistungsfähiges und zukunftssicheres variables Ventiltriebssystem für die Entwicklung und den Serieneinsatz zur Verfügung.

Ziel war es, durch konsequente Weiterentwicklung das Schiebenockensystem noch attraktiver zu gestalten. Das INA Schiebenockensystem hat folgende Vorteile gegenüber bekannten Schiebenockenlösungen:

- reduzierte Bauraumanforderungen des Aktors
- Realisierung der Dreistufigkeit im Bauraum der Zweistufigkeit
- halbe Anzahl der Aktoren und Nuten (bei Zweistufigkeit)
- geringerer Bauraumbedarf in axialer Richtung der Nockenwelle
- Reduktion der Reibung durch eine neue Arretierung

Anwendungsbeispiele

Das stark gewachsene Wissen in der Thermodynamik und die Freiheitsgrade des drei- bzw. zweistufigen INA Schiebenockensystems machen den Einsatz beim Otto-Motor, beim Diesel-Motor und bei neuen Brennverfahren attraktiv [5]. Hierbei werden durch die unterschiedliche Gestaltung der Ventilerhebungskurven verschiedene thermodynamische Konzepte umgesetzt.

Zusammenfassung

Das hier vorgestellte INA Schiebenockensystem zeichnet sich durch eine Reihe von Vorteilen aus. Zu nennen sind hier unter anderem:

- dreistufige Hubvariabilität
- die freie Gestaltung der Ventilhubkurven
- öldruckunabhängiges Schalten
- die Nutzung eines erweiterten Temperaturbereiches
- zylinderindividuelles Umschalten

Nicht zuletzt diese Eigenschaften machen es zu einem flexiblen, leistungsfähigen und zukunftssicheren Hubumschaltensystem. Es lässt sich einfach auf verschiedene Anforderungen anpassen. Durch das neuartige Aktorkonzept bietet die vorgestellte Lösung weitere Vorteile, die eine Verbesserung der Bauraumsituation und Reduktion der Systemkomplexität bewirken. Durch konsequente Weiterentwicklung ist es gelungen, eine Dreistufigkeit in dem Bauraum einer Zweistufigkeit darzustellen.

Das dreistufige INA Schiebenockensystem positioniert sich zwischen den bekannten zweistufigen elektrohydraulisch betätigten Systemen und der Vollvariabilität bei einem guten Verhältnis von Aufwand zu Nutzen. Mit dem vorgestellten System gibt Schaeffler den Motorenentwicklern eine weitere Variabilität an die Hand, die in Verbindung mit modernen Motorsteuerungen weitere Verbrauchs- und Emissionspotenziale speziell im transienten Motorbetrieb erschließt.

Verwendete Abkürzungen

CPS	cam profile switching (Hubumschaltung)
CDA	cylinder deactivation (Zylinderabschaltung)
CAI	controlled auto ignition (Kontrollierte Selbstzündung)
HCCI	homogenous charge compression ignition (Homogene Kompressionszündung)
AVS	Audi Valve Lift System
AGR	Abgasrückführung

Literatur

- [1] Wurms, Löbber, Dengler, Budack, Eiser: Welche Ventiltriebsvariabilität ist sinnvoll?, Vortrag im Haus der Technik, Essen 13.02.2007
- [2] Schutting, Neureiter, Fuchs, Schatzberger, Klell, Eichseder, Kammerdiener: Miller- und Atkinsonzyklus am aufgeladenen Dieselmotor, MTZ 06/2007
- [3] Copp, C.: Variable Ventilsteuerung für PKW-Dieselmotoren mit Direkteinspritzung, Dissertation 06/2006
- [4] Neußer: Die neuen 4,8-l-V8-Ottomotoren von Porsche mit Benzindirekteinspritzung und variabler Ventilsteuerung, MTZ 12/2007
- [5] Kirsten, K.: Der Motor – Verständnis für das Ganze, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010