

Füllungsoptimierung I



Keywords

- ✓ Downsizing (Prüfung)
- ✓ LSPI - Low Speed-Pre-Ignition, Ursache
- ✓ Downsizing Motoren, Vorteile
- ✓ **Mehrventiltechnik**, Ziele, Vor- und Nachteile
- ✓ Dreiventiltechnik, Vorteile
- ✓ **Nockenwellenverstellung** - variable Steuerzeiten, Vorteile, Ziele
- ✓ VarioCam (Audi, VW), Wie? Verstellbarer Kettenspanner, NW, UZS, spät/früh
- ✓ Vanos (BMW), Wie? steiles Gewinde, Verstellposition, spät/früh
- ✓ Flügelzellenversteller (Mercedes), Wie? Innen- und Außenrotor, Ölräume, Verdrehung der NW, spät/früh
- ✓ **Stufenweise variabler Ventiltrieb**, Vorteile, untere- u. obere Drehzahlbereich
- ✓ VTEC (Honda), Wie? Schlepphebeln, Verblocken, Öldruck, Sperrschieber, Nockenprofil
- ✓ VarioCam Plus (Porsche), Wie? Tassenstößel, Öldruck, zwei Stößel, Nocken
- ✓ Valvelift (Audi), Wie? Verstelleinheit, Metallstift, Spiralnut, Nockenprofil, Zylinderabschaltung
- ✓ **Stufenlos variabler Ventiltrieb**, Vorteile
- ✓ Valvetronic, Wie? Stellmotor, Exzenterwelle, Zwischenhebel, Leerweg, Ventilhub
- ✓ Elektrohydraulischer Ventiltrieb (MultiAir), Wie? Auslass-NW, Extranocken, Öldruck, Magnetventil close/offen, Druckspeicher
- ✓ Elektromagnetischer Ventiltrieb, Vorteile, Wie? Federn, Unterstützen, Abbremsen, halbgeöffnete Stellung

1 Downsizing (Prüfung)

Verkleinerung der Motoren (Hubraum und Zylinderzahl) bei gleicher Leistung.

2 LSPI - Low Speed-Pre-Ignition

LSPI = vorzeitige Zündung, betrifft hoch aufgeladene Downsizing Motoren ¹

- **Turbo aufgeladene Motoren**
 - geringes Verdichtungsverhältnis (7-8:1)
 - vor verdichtete Luft wird in den Zylinder eingeblasen und verdichtet
 - Ladedruckregelung (Lastwunsch)
 - vorgewärmte Luft (Ladeluftkühlung)
- **vs. hoch verdichtete Saugmotoren**
 - hohes Verdichtungsverhältnis (10-11:1), endet bei Klopfgrenze

Zwei Zündquellen, Ursache für die Selbstentzündung

1. Niedergeschlagen Kraftstoff in Verbindung mit sehr niedrig Viskoses Öl
 - → ein brennbares Gemisch entsteht, mit einer nicht ganz bekannten Selbstentzündungstemperatur
2. Ölkohlerückstände (Kraftstoffreste) im Bereich der Einspritzdüsen

Durch eine überhohe Verdichtung → steigt Verdichtungsdruck und damit Verdichtungstemperatur → dadurch hohe thermische Belastung. Die Folge ist ein kapitaler Motorschaden.

Körnerschlag ² Kolbenschäden → es entsteht eine Druckspritze bevor der Kolben OT erreicht, eine zweite Flammenfront entsteht, wenn jetzt zwei Flammfronten aufeinandertreffen, entstehen sehr hohe Druckspitzen, auch wenn der Kolben nach UT geht.

Kavitation ³ Dampfblasenbildung ⁴ z. B. Bootsschraube saugt Flüssigkeiten an, Druck fällt ab durch Unterdruck, wenn jetzt die Gasblasen implodieren, entstehen sog. Mikrojets → Druckspitzen.

¹<https://www.autobild.de/artikel/lspi-vorzeitige-zuendung-16385077.html>

²https://cdn.germanscooterforum.de/monthly_05_2009/post-24449-1241606436.jpg

³<https://prozesstechnik.industrie.de/wp-content/uploads/4/0/40278086.jpg>

⁴<https://www.youtube.com/watch?v=SEGTFbZ5RJ8>

3 Vorteile von Downsizing Motoren

1. Geringere Pumpverluste (2 l vs. 1,2 l bei gleicher Leistung 150 PS)
2. geringere Reibungsverluste aufgrund der geringeren Größe
3. weniger Wärmeübertrag von Gasen zur Zylinderwandung

4 Mehrventiltechnik

Fachbuch (Respondeck [2] S. 141)

Um die Zylinderfüllung zu verbessern, werden drei oder mehr Ventile pro Zylinder in Verbrennungsmotoren eingesetzt.

Ziele von Mehrventiltechnik

- Öffnungsquerschnitt der Ventile vergrößern, ohne die Drehzahlfestigkeit durch größere und damit trägere Ventile (mehr Masse) zu mindern.

Vor- und Nachteile von Mehrventiltechnik

- bessere Zylinderfüllung
- Drehzahlfest
- innere Reibung steigt
- Abgaswärmeentzug
 - Der Katalysator kommt schlechter auf Betriebstemperatur, da sich die Abgase an den Abgasrohren abkühlen können.
 - Je mehr Auslassventile vorhanden sind, desto größer ist die Oberfläche der Abgasrohre und desto mehr kühlen die Abgase aus.

Honda NR 750 - Ovale Kolben ⁵

Dreiventiltechnik (Vorteile)

- Verbrennungsdruck steigt (kürzere Flammwege)
- geringere Klopfneigung (weniger Zeit zur Gemischerwärmung vor Verbrennungsbeginn)
- Ausstoß unverbrannter Kohlenwasserstoffe verringert sich (Zündkerze ist in der Nähe der Zylinderwand, wo das Kondensat lagert)

⁵https://de.wikipedia.org/wiki/Honda_NR_750

- geringere NOx

Vgl. Kapitel »Motorsteuerung / Dreiventiltechnik mit zwei Zündkerzen«

5 Nockenwellenverstellung - variable Steuerzeiten

Fachbuch (Brand, Fischer, Gscheidle, Gscheidle, Heider, Hohmann, Keil, Lohuis, Mann, Renz, Schlögl und Wimmer [1] S. 249)

Verdrehen der Einlassnockenwelle bzw. der Ein- und Auslassnockenwelle, abhängig von der Motordrehzahl, Motorlast und Temperatur. Hierdurch lässt sich die *Länge der Ventilüberschneidung* anpassen.

Warum machen wir eine Nockenwellenverstellung? (Vorteile)

1. Optimale Zylinderfüllung in den unterschiedlichen Last- und Drehzahlbereichen zu ermöglichen
2. inneres AGR

Ziele der Nockenwellenverstellung

- Wann das Ventil öffnet und schließt zu beeinflussen (variabel)
- bei gleichbleibenden Nocken, Dauer und Öffnungswinkel (Hub) ändern sich nicht
- Verdrehrichtung der Nockenwelle: Früh, Spät

Verstellung der Einlassnockenwelle in Abhängigkeit vom Betriebszustand

Tab. 1

Betriebszustand	Leerlauf	Teillast	Volllast
Verstellrichtung NW	Spät	Früh	Spät
Ventilüberschneidung	klein	groß	klein
Abgas	CO sinkt	NOx sinkt	
EV schließt	weit nach UT	kurz nach UT	weit nach UT

Merkmale (Vgl. Tabelle Verstellung der Einlassnockenwelle in Abhängigkeit vom Betriebszustand)

- **Leerlauf** Kein Überströmen von Frischgasen und Abgasen, besserer Verbrennungsverlauf
- **Teillast** Abgase strömen in den Einlasskanal und werden mit den Frischgasen angesaugt. Temperatur sinkt, NOx-Anteil sinkt

- **Volllast Nachladeeffekt** Frischgase strömen trotz aufwärts gehenden Kolben in den Zylinder nach

Ausgangspunkt → 90er-Jahre, erste Form des AGR (inneres AGR), Drei-Wege-Katalysator, Ottomotor, Euro 2, Teillast (höchste AGR-Rate, 80 km/h auf der Landstraße, keine Lastabfrage, Spritspareffekt, NO_x-Anteil senken)

5.1 VarioCam - Verstellbarer Kettenspanner (Audi, VW)

→ Verändern der Ventilöffnungszeit der Einlassnockenwelle

Wie? Vgl. Tabelle Verstellung der Einlassnockenwelle in Abhängigkeit vom Betriebszustand

- KW treibt Auslass-NW an und diese über einer Kette die Einlass-NW
- **Kettenspanner** spannt **Kette nach oben** (federbelastet)
- NW dreht sich **gegen UZS** (Uhrzeigersinn) in **Verstellposition** »spät« (Ausgangslage, Ventilüberschneidung klein)
- SG bestromt Magnetventil, Motoröl fließt in Kettenspanner.
- **Kettenspanner** spannt **Kette nach unten** (Hydraulikzylinder)
- NW dreht sich **im UZS** in **Verstellposition** »früh«, (Ventilüberschneidung groß)

5.2 Vanos - Variable Nockenwellensteuerung (BMW)

Wie?

- **Nockenwellenrad und Nockenwelle** sind über ein **steiles Gewinde** miteinander verbunden.
- *Grundposition* NW steht in **Verstellposition** »spät«
- SG bestromt ein Magnetventil (4/2-Wegeventil) → gibt den **Ölzufluss** zum Frühkanal frei
- NW verdreht sich gegen Uhrzeigersinn in **Verstellposition** »früh«
- Durch wechselseitigen Druckaufbau lässt sich die Position der Verstelleinheit halten.

5.3 Flügelzellenversteller (Mercedes)

→ Verändern der Steuerzeiten

Wie?

- **Innenrotor** (fest mit NW) **und Außenrotor** (fest mit Kettenrad)
- SG bestromt **Magnetventil** → die **Ölräume** zwischen den Rotorblättern können wechselseitig mit Öl befüllt werden
- Die Kraftübertragung vom Nockenwellenrad auf die NW erfolgt immer über das Öl.
- wird Ölraum rechts vom Innenrotorblatt mit Öl befüllt, kommt es zu einer **Verdrehung der NW gegen UZS** (Uhrzeigersinn) in Richtung »spät«
- wird Ölraum links vom Innenrotorblatt mit Öl befüllt, kommt es zu einer **Verdrehung der NW im UZS** in Richtung »früh«
- Durch wechselseitigen Druckaufbau lässt sich die Position der Verstelleinheit halten.

6 Variabler Ventiltrieb

6.1 Stufenweise variabler Ventiltrieb

Vorteile

Bessere Zylinderfüllung durch zwei unterschiedliche Nockenprofile

- *obere Drehzahlbereich* → steiler Nocken
 - schnelles Öffnen, lange Öffnungsdauer, schnelles Schließen
- *untere Drehzahlbereich* → spitzer Nocken
 - Verhinderung von ungewollter Abgasrückführung durch zu lange Ventilüberschneidung

6.1.1 VTEC - Variable Valve Timing and Lift Electronic Control (Honda)

→ Verändern von Ventilhub und Ventilöffnungszeit

Wie?

- Verstelleinheit liegt in den Schlepphebeln
- **Umschaltung** zwischen dem Nockenprofilen erfolgt durch **Verblocken der Schlepphebel**
- **Schlepphebel entriegelt**
 - Die beiden äußeren Nocken öffnen mithilfe der äußeren Schlepphebel die Ventile.
 - **Spitzer Nocken**
 - * kleiner Ventilhub
 - * kurze Ventilöffnungszeit
 - * *niedrige Drehzahlen*
- SG bestromt Elektromagnet, **Öldruck** verschiebt die **Sperrschieber** und verblockt die Schlepphebel untereinander.
- **Schlepphebel verriegelt**
 - wenn der steile Nocken auf den mittleren Schlepphebel aufläuft, nimmt dieser die beiden äußeren Schlepphebel mit und diese öffnen die Ventile.
 - **Steiler Nocken**
 - * großer Ventilhub
 - * lange Ventilöffnungszeit
 - * *hohe Drehzahlen*

6.1.2 VarioCam Plus (Porsche)

→ Verändern von Ventilhub und Ventilöffnungswinkel

Wie?

- Verstelleinheit liegt im Tassenstößel
- SG bestromt **Elektromagnet**, damit wird der **Tassenstößel mit Öldruck** gesteuert
- Diese bestehen aus **zwei Stößeln**, die mithilfe eines **Bolzens** gegeneinander verriegelt werden können.
- innere Stößel → kleinen Nocken
- äußere Stößel → großen Nocken
- **Stößel verriegelt** → große Ventilhub
 - Innere und äußere Stößel wird durch einen Bolzen verriegelt
- **Stößel entriegelt** → kleiner Ventilhub
 - sinkt der Öldruck, wird durch die Federkraft der Bolzen zurückgeschoben

6.1.3 Valvelift (Audi, + Zylinderabschaltung)

Wie?

- Änderung des Nockenprofils durch Verschieben der Verstelleinheit (Nockenstück) auf der NW
- SG bestromt **Elektromagnet** → **Metallstift** fährt aus **in eine Spiralnut** und verschiebt das **Nockenstück**
- damit schalte ich zwischen **zwei Nockenprofilen** um
- Arretierung des Nockenstücks erfolgt durch eine federbelastete Kugel.
- **Zylinderabschaltung** (Teillast)
 - Nockenprofil → Nockengrundkreis
 - Die Ventile bleiben bei abgeschaltetem Zylinder geschlossen.

6.2 Stufenlos variabler Ventiltrieb

Vorteile

→ Verändern von Ventilhub in allen Drehzahlbereichen

Ziel im unteren Drehzahlbereich: Ein zündbares Gemisch zu realisieren.

Wie?

- Durch geringe Ventilöffnung und damit Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit der Frischgase
 - »Venturi-Prinzip« eine Verengung in einem Strömungskanal
 - * → höhere Strömungsgeschwindigkeit
 - * → bessere Verwirbelung
 - * → bessere Verteilung des Kraftstoff-Luftgemisches
- Drosselklappe könnte wegfallen, wird aber weiterhin verbaut
- **Wozu ist die Drosselklappe dann noch notwendig?**
 - Schaltung des AGR (Abgasrückführung)
 - * Aufbau eines Druckgefälles/Druckdifferenz, durch Schließen der Drosselklappe wird ein Unterdruck erzeugt, was dazu führt, dass die Abgase in den Ansaugtrakt einströmen können
- Notlauf

6.2.1 Valvetronic

→ Verändern von Ventilöffnungswinkel (Hub) und Ventilöffnungsdauer (Nockenwellenverstellung)

Wie?

- SG verdreht mithilfe eines **Stellmotors** eine **Exzenterwelle** (Halbmondförmig)
- Druck des Nockens wird zunächst auf einen **Zwischenhebel** übertragen
- Der **Leerweg**, den der Zwischenhebel von der Betätigung durch den Nocken bis zur Übertragung auf das Ventil durchläuft, ist mittels einer Exzenterwelle einstellbar.
- Je größer der Leerweg, desto kleiner der Ventilhub.
- **Ventilhub** 0,3 mm und 9,85 mm

6.2.2 Elektrohydraulischer Ventiltrieb (MultiAir)

Vorteil Vollvariable Steuerzeiten

→ stufenlose Veränderung von Ventilhub, Ventilöffnungsdauer und die Anzahl der Ventilhübe der EV

Wie?

- auf der **Auslassnockenwelle** gibt es einen **Extranocken**, über Schlepphebel wird ein **Pumpenelement** betätigt
 - → der erzeugt einen **Öldruck**, um die **Einlassseite** zu steuern,
- **Magnetventil geschlossen** Druck wird auf den Kolben übertragen, Ventil öffnen
- **Magnetventil offen** Ventil schließen. Der Öldruck fließt in den Druckspeicher ab.
- **Vorteil Druckspeicher**: von der Nockenwelle unabhängiger Zeitpunkt, mit Öffnung eines Magnetventils (SG) ein Öldruck aus dem Druckspeicher nutzen, der das **Ventil öffnet/schließt**
- **elektrohydraulisch-pneumatisch** (Ventile unabhängig von NW betätigen, noch nicht in der Großserie)
- chinesische Hersteller Qoros und der schwedische Luxusportwagenhersteller Königsegg

6.2.3 Elektromagnetischer Ventiltrieb (noch nicht zur Serienreife geschafft)

Vorteile

- Vollvariable Steuerzeiten
- Anzahl der geöffneten Ventile pro Zylinder frei wählbar
- Zylinderabschaltung (ohne Gaswechselverluste möglich)
- Wegfall von Nockenwellen (Gewichtseinsparung)

Wie?

- Unterstützung des Elektromagneten beim schnellen Öffnen und Schließen des Ventils.
- Abbremsen des Ventils kurz vor den Endstellungen geöffnet und geschlossen
- Ventile beim abgeschalteten oder defekten Systems in halbgeöffnete Stellung bringen, um Motorschäden durch Aufsetzen der Ventile zu verhindern.

Literaturverzeichnis

- [1] Monika Brand, Richard Fischer, Rolf Gscheidle, Tobias Gscheidle, Uwe Heider, Berthold Hohmann, Wolfgang Keil, Rainer Lohuis, Jochen Mann, David Renz, Bernd Schlögl und Alois Wimmer. *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik*. ger. 31., neubearbeitete Auflage, korrigierter Nachdruck. Europa-Fachbuchreihe für Kraftfahrzeugtechnik. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 2020. ISBN: 9783808523254.
- [2] Michael Respondeck. *Servicetechniker Band 1*. German. Vogel Business Media GmbH & Co. KG, 2019. ISBN: 9783834333759.