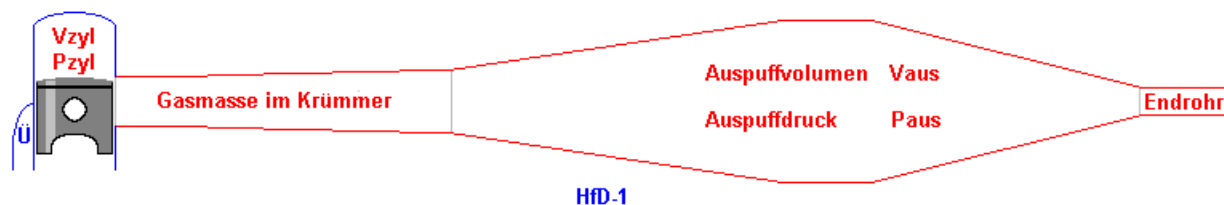


Ich möchte mal etwas erzählen über die Ereignisse im Motor. Ohne dabei zu rechnen (ihr rechnet schon genug), nur mit Logik, und zwar so das es ein 12Jähriger verstehen kann. Das liegt gerade noch im Bereich meiner Deutschkenntnisse.



Schaut euch doch mal das Bild HfD-1 an (ich habe auch so meine Abkürzungen; was HfD bedeutet, lüfte ich am Ende dieses Kurses).

Dort sieht man einen Zylinder. Über dem Kolben ist ein Volumen V_{zyl} und darin herrscht ein Druck P_{zyl} . Dann kommt ein Auspuffkrümmer. Darin befindet sich eine Gasmasse. Die bewegt sich noch nicht.

Nach dem Krümmer kommt das Auspuffvolumen V_{aus} und darin herrscht der Druck P_{aus} .

Jetzt betrachten wir was beim laufenden Motor in tausendstel von Sekunden passiert. Aber wir haben es nicht eilig; wir nehmen die Zeit um Schritt für Schritt genau zu verfolgen und zu überdenken.

Fall 1: Der Kolben gibt gerade den Auslassschlitz frei. Der Druck P_{zyl} im Zylinder ist höher als der Druck P_{aus} im Auspuff. Das heisst: links von der Gasmasse im Krümmer wird mehr gedrängt als rechts.

Die Masse wird also nach rechts beschleunigt. Es strömt Gas aus dem Zylinder im Krümmer und dadurch sinkt der Zylinderdruck P_{zyl} .

Gleichzeitig strömt Gas aus dem Krümmer im Auspuffvolumen und dadurch steigt der Auspuffdruck P_{aus} . So lange der Zylinderdruck P_{zyl} über der Auspuffdruck P_{aus} liegt, wird die Gasmasse im Krümmer immer weiter beschleunigt und nimmt die Strömungsgeschwindigkeit immer mehr zu.

Das geht so weiter, bis P_{zyl} gleich P_{aus} ist. Dann hat die Gasmasse ihre Höchstgeschwindigkeit erreicht.

Weil die Strömung von links nach rechts, also vom Zylinder zum Auspuff läuft, bleibt im Zylinder immer weniger Gas übrig, so dass der Druck P_{zyl} immer weiter sinkt. Und beim Auspuff ist es gerade andersrum. Dort strömt immer mehr Gas hinein, wodurch der Druck P_{aus} immer weiter steigt. P_{aus} wird somit höher als P_{zyl} . Rechts vom Krümmer wird also mehr gedrängt als links und die Strömung im Krümmer wird immer stärker gebremst, bis sie ganz zum Stillstand kommt.

Das Gedränge rechts ist jetzt viel stärker als links, also wird die momentan stillstehende Gasmasse im Krümmer nun nach links beschleunigt, zurück zum Zylinder.

Die Beschleunigung bleibt aktiv bis P_{zyl} wieder gleich P_{aus} ist. Dann hat die Gasmasse erneut ihre Höchstgeschwindigkeit erreicht, aber diesmal nach links. Danach wächst P_{zyl} über P_{aus} hinaus und wird die nach links strömende Gasmasse wieder abgebremst bis sie erneut stillsteht.

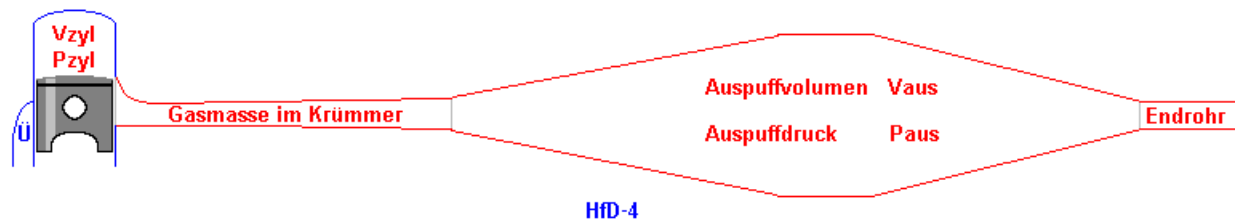
Jetzt sind wir zurück bei der Ausgangslage: der Zylinderdruck P_{zyl} ist hoch, der Auspuffdruck P_{aus} ist niedriger, und die Gasmasse im Krümmer steht still. Sie hat nun eine komplette Schwingung ausgeführt, von links nach rechts und zurück.

Fall 2: Stellen wir uns vor das das Zylindervolumen V_{zyl} jetzt zweimal so gross ist. Im Zylinder ist also viel mehr Gas wie im Fall 1. Wenn nun Gas aus dem Zylinder im Krümmer strömt, sinkt der Zylinderdruck P_{zyl} viel langsamer. Darum dauert es jetzt auch länger bis P_{zyl} bis unter der P_{aus} -Wert gesunken ist.

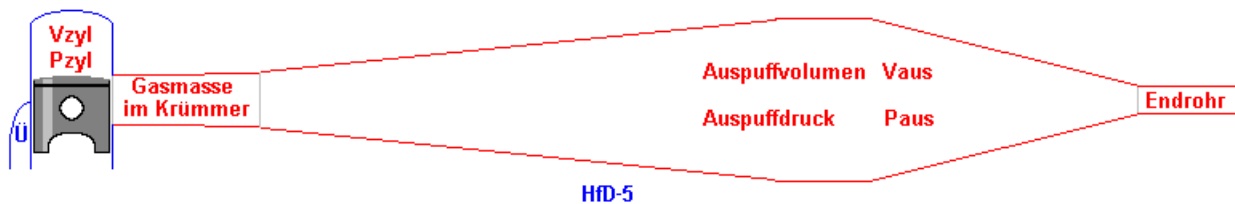
Es dauert länger bis die Strömung stoppt. Und wenn danach die Strömung nach links läuft, zurück zum Zylinder, steigt P_{zyl} viel langsamer an und dauert es länger bis diese Rückströmung stoppt.

Alles dauert halt länger.

Fall 3: Stellen wir uns jetzt vor das auch das Auspuffvolumen V_{aus} zweimal so gross gemacht wird. Wenn dann Gas aus dem Krümmer im Auspuff strömt, steigt der Druck P_{aus} auch viel langsamer an. Es dauert länger bis die Strömung nach rechts gebremst ist und die Rückströmung nach links in Gang kommt. Usw.



Fall 4: Jetzt machen wir den Krümmerdurchmesser viel kleiner, wie auf Bild HfD-4. Der Kolben gibt wieder den Auslassschlitz frei. Die Gasmasse im Krümmer wird von der Druckdifferenz $P_{zyl} - P_{aus}$ wieder nach rechts beschleunigt und die Strömungsgeschwindigkeit wächst wieder. Aber wegen dem kleinen Krümmerdurchmessers kommt trotz dieser Strömungsgeschwindigkeit weniger Gasmasse pro Sekunde vom Zylinder zum Auspuff. Der Zylinder entleert sich also langsamer, der Druck P_{zyl} sinkt langsamer, der Druck P_{aus} steigt langsamer; alles verläuft langsamer.



Fall 5: der Krümmer bekommt wieder seinen ursprünglichen Durchmesser, wie im Bild HfD-1. Aber jetzt machen wir, wie Bild HfD-5 zeigt, den Krümmer viel kürzer. Alle sonstige Werte V_{zyl} , P_{zyl} , V_{aus} und P_{aus} sind genau so wie im Fall 1. Die Druckdifferenz $P_{zyl} - P_{aus}$ der die Beschleunigung der Gasmasse versorgt, ist auch wieder der Gleiche. Aber die Masse selbst ist nun viel kleiner! Darum wird sie heftiger beschleunigt. Die Strömungsgeschwindigkeit steigt schneller, der Zylinderdruck P_{zyl} sinkt schneller und der Auspuffdruck P_{aus} steigt schneller. Die Strömungsgeschwindigkeit erreicht eher ihren Höchstwert, wird eher abgebremst, wechselt eher die Richtung von rechts nach links, wird auch dort wieder eher abgebremst. Kurzum, die ganze Schwingung spielt sich ab in kürzerer Zeit.

Leck

Jetzt zu einem anderen Thema. Ich habe einige Male behauptet: Gas strömt aus dem Krümmer im Auspuffvolumen und dadurch steigt der Auspuffdruck P_{aus} . Aber schon in Bild HfD-1 sieht man den Haken: das Endrohr! Der Auspuff hat ein Leck. Es kommt zwar Gas herein, aber gleichzeitig entwischt auch einiges. Darum steigt der Druck P_{aus} längst nicht so schnell wie man ohne das Endrohr erwarten mochte. Der Druckverlauf im Auspuff benimmt sich also das Auspuffvolumen grösser wäre wie in Wirklichkeit. Und je grösser der Endrohrdurchmesser, umso langsamer steigt P_{aus} und umso niedriger wird der P_{aus} -Höchstwert sein. Das Endloch funktioniert wie eine Dämpfer im System.

Ganz links auf den Bildern gibt es auch etwas bemerkenswertes: der Überströmkanal. Sobald der Kolben den Spülschlitz freigibt, hat nicht nur das Auspuffvolumen, sondern auch das Zylindervolumen ein Leck. Der Zylinderdruck P_{zyl} sinkt zwar, weil Gas aus dem Zylinder über dem Krümmer wegströmt, aber sobald P_{zyl} unter dem Spüldruck kommt, wird Frischgas nachgefüllt. P_{zyl} sinkt darum auch weniger schnell wie bei geschlossenen Überströmer.

Sobald durch das öffnen der Überströmer das Zylindervolumen in Verbindung gebracht wird mit dem Kurbelkastenvolumen, benimmt es sich also auch also es grösser wäre wie in Wirklichkeit. Die Schwingung in diesem gekuppelten Volumen- und Röhre-System läuft dann langsamer ab; die Systemfrequenz sinkt.

Jetzt habt ihr etwas zum nachdenken:

Eine Vergrößerung des Auspuffvolumens senkt die Systemfrequenz.

Eine Verkleinerung des Krümmerdurchmessers ebenso.

Eine Verkürzung des Krümmers erhöht die Frequenz.

Eine Vergrößerung des Spülsteuerwinkels senkt die Frequenz.

Eine Vergrößerung des Endrohrdurchmessers senkt die Frequenz und schwächt die Druckschwankungen im Auspuff.