

# Leistungssteigerung von Motoren mit Ram Air

Ein Versuch, etwas Licht in die mystische Stauluftaufladung zu bringen.

Mit der Stauluftaufladung soll die Fahrtgeschwindigkeit ausgenutzt werden, um dem Motor mehr Luft zuzuführen und somit die Leistung zu steigern.

Stauluftaufladung oder — wem es besser gefällt — Ram Air Charging, ist ein Thema, das bestimmt schon bei vielen Motorstammtischen und Benzingesprächen zu heißen Diskussionen geführt hat. Auch einige Beiträge in meinem Lieblingsforum ([www.corvetteforum.de](http://www.corvetteforum.de)) drehen sich um dieses Thema. Hauptsächlich diese threads im Corvetteforum waren der Grund, dass ich mich näher mit diesem Thema beschäftigt habe. Nachdem mich das Ergebnis sehr verblüfft hat, möchte ich es auch den anderen Mitgliedern nicht vorenthalten.



Ist es nicht seltsam, daß man die charakteristischen Lufthutzen für die Stauluft fast nur bei Show- oder Muscle Cars sieht und nicht bei herkömmlichen Autos, wenn damit eine Leistungssteigerung so einfach möglich wäre? Am Ende werden wir mehr wissen.

Gleich vorneweg eine (natürlich nicht ernst gemeinte) Warnung: Das Ergebnis wird nicht allen Lesern gefallen.

Ihr lest weiter? Gut Ihr habt es selbst so gewollt.

Wenn man die Wirkungsweise der Stauluftaufladung erklären will, kommt man nicht um Strömungsmechanik herum. Das schlechte dabei, dieser Wissenschaftszweig entzieht sich nahezu völlig dem, was man als „gesunden Menschenverstand“ bezeichnet.

Praktisch nichts befolgt in der Strömungsmechanik die normale Logik. Um die Verwirrung komplett zu machen, wird sie mathematisch fast völlig durch experimentell festgestellte Formeln definiert. Deshalb ist es schwer, normal denkenden Menschen die Strömungsmechanik nahe zu bringen.

In diesem Artikel werde ich deshalb versuchen, manche Begriffe der Strömungsmechanik mit einfacheren, logisch nachvollziehbaren Begriffen aus der „normalen“ Mechanik zu umschreiben. Falls der geneigte Leser ein Studienfach belegt hatte, in dem Strömungsmechanik vorkam, so möge er wohlwollend über diese hinkenden Vergleiche (Vergleiche hinken immer) hinwegsehen. Falls er einen Fehler findet ist eine Korrektur natürlich willkommen. Die Verwendung mathematischer Formeln soll auf das allernotwendigste beschränkt werden, sie sind aber im Interesse der Beweisführung unersetzlich.

Um das staubtrockene Thema wenigstens ein wenig aufzulockern, habe ich mich entschlossen das ganze als Dialog zu verfassen. (Hoffentlich) viel Vergnügen.

🔗 Also gut Meister dann schieß mal los.

⚠️ Zum Grundverständnis müssen wir ein wenig in die Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren hineinleuchten.

Luft und Kraftstoff müssen in einem genauen spezifischen Verhältnis, nämlich 14,2 Teile Luft zu 1 Teil Kraftstoff (dem stöchiometrischen Verhältnis von Superbenzin) gemischt werden. Nur dieses Verhältnis gewährleistet eine optimale Verbrennung im Zylinder bei maximaler Kraftentfaltung.

Wird lediglich mehr Kraftstoff eingebracht ohne die Luftmenge zu erhöhen, man sagt das Gemisch wird überfettet, würde die Leistung sogar sinken, bei gleichzeitig steigenden Kraftstoffverbrauch.

Es wäre das Gleiche, als wenn man einem Lagerfeuer mehr Hitze entlocken will, in dem man plötzlich eine große Menge Holz draufwirft. Wenn man Pech hat geht das Feuer aus, weil es unter Brennmaterial erstickt.

🔗 Klingt logisch, also ist das schon mal keine Lösung.

⚠ So ist es. Untersuchen wir doch mal das Motto der Motorentuner:

### **Mehr Verbrennungsluft = mehr Motorleistung.**

Oder wissenschaftlicher: Finde einen Weg, bei einer gegebenen Drehzahl und gegebener Drosselklappenstellung, mehr Luft in den Zylinder zu bringen, und man kann mehr Kraftstoff verbrennen, was mehr Leistung bedeutet.

❓ Wieso denn das?

⚠ Nur der verbrennende Kraftstoff ist gleichbedeutend mit Energie, deshalb bringt mehr Luft wirklich mehr Energie. Unser Feuervergleich wäre hier das Schmiedefeuer. Erst wenn durch einen Blasebalg Luft zugeführt wird, ist es heiß genug, dass Eisen glühend wird. Beim Motor wird die Leistung ja auch direkt mit der Luftmenge über die Drosselklappe gesteuert.

❓ Gut, Die Lösung wäre also gefunden. Mehr Luft in die Zylinder bedeutet mehr Leistung, weil mehr Kraftstoff verbrannt werden kann. Wie geht das nun praktisch?

⚠ Dazu muss man etwas weiter ausholen.

Bei niedrigem Luftdruck und/oder hoher Temperatur nehmen die Gasmoleküle durch vermehrte Bewegung einen größeren Raum ein.

Die Luft wird also quasi dünner. Es gelangen dadurch weniger Sauerstoffmoleküle in den Verbrennungsraum. Anders gesagt kommt es nicht auf das Volumen an das angesaugt wird, sondern auf die Masse.

❓ Häh? Na ein Liter Luft ist doch immer dasselbe oder?

⚠ Schon richtig. Ein Liter ist immer ein Liter. Aber was ist im Maßkrug drin? Ist dichte Luft drin, in der viele Sauerstoffmoleküle schwimmen und die prima Verbrennung liefert? Oder ist es 'ne dünne Plörre mit wenig Molekülen bei der die Verbrennung so dahindümpelt? Es ist ja jedesmal ein Liter.

❓ Oha ich glaub ich hab's kapiert. Es ist nicht das angesaugte Volumen wichtig, sondern die angesaugte Masse. Deshalb haben moderne Motoren ja auch einen Luftmassemesser statt wie früher einen Luftmengemesser.

⚠ Genau, denn die Masse der Luft ist ausschlaggebend, weil beim Volumen nicht gesagt werden kann wie dünn oder dick die Luft ist.

Vorsicht jetzt die erste Formel:

### **Die Masse ist das Produkt aus Volumen und Dichte.**

Nachdem der Hubraum unveränderlich ist, saugt der Motor immer das gleiche Volumen an. Zumindest theoretisch, praktisch wird durch die Trägheit der Gassäulen bei höheren Drehzahlen die Füllung immer schlechter.

❓ Es kommt also auf die Dichte der Luft an, wievielt Kraftstoff verbrannt werden kann.

⚠ So ist es. Wir wollen jetzt mal das Problem einkreisen:

Während die Luft den Luftfilter die Einlasskanäle und die Einlassventile durchfließt, verliert sie Druck und wie schon vor zwei Sätzen erklärt, bedeutet niedrigerer Druck geringere Dichte und damit weniger Leistung.

Weil der Zylinder ein konstantes Volumen hat, haben wir bei Verringerung der Luftdichte eine Verringerung der Luftmasse im Zylinder. Die Folge: Weniger verbrennbarer Kraftstoff – weniger Leistung.

Um die Leistung zu steigern gibt es nun mehrere Lösungen:

#### **Lösung 1:**

#### **Vergrößerung des Hubraumes**

- ② Logisch, größerer Hubraum = mehr angesaugte Luft = mehr verbrannter Kraftstoff = mehr Leistung.

Das ist die einfachste Möglichkeit der Leistungssteigerung. Wir wollen aber den schwierigeren Weg gehen und lassen den Motor und damit den Hubraum unverändert

### **Lösung 2:**

#### **Verringerung des Druckabfalles vom Ansaugfilter bis zum Brennraum.**

Das lässt sich in begrenzten Umfang tun. Man kann z.B. einen Luftfilters einbauen, der weniger Druckabfall erzeugt als der Serienfilter. Die Zubehörindustrie bietet in dieser Richtung ja manches an. Einen Betrieb ohne Luftfilter, soll man im Interesse einer guten Motorlebensdauer nicht machen.

Weiterhin kann man die Rohre im Ansaugtrakt glätten und störenden Ecken, Kanten und Passungenauigkeiten beseitigen.

- ② Ja das kenn' ich, bei meinem Moped habe ich damals die Kanäle sogar auf Hochglanz poliert.

△ Das früher gerne praktizierte hochglanzpolieren bringt gegenüber dem einfachen glätten kaum eine Verbesserung der Strömung. Wichtig ist, dass es keine Vorsprünge und scharfkantigen Einschnürungen gibt. Ein Beispiel für schlechte Luftführung ist der Faltenbalg am Einlassstrakt des LS1 Motors. Ungünstiger kann man eine Luftführung eigentlich nicht machen.

Kleine flache Mulden können dagegen sogar eine Verbesserung bringen. Der Golfball ist dafür ein gutes Beispiel, wie eine gewisse Rauigkeit eine Strömung verbessern kann.

Sagte ich schon daß Strömungsmechanik nicht mit dem gesunden Menschenverstand vereinbar ist?

Eine weitere Möglichkeit wäre es, das Einlassventil zu vergrößern. Nachdem das nicht unbegrenzt möglich ist, werden häufig zwei oder sogar mehrere kleine Einlassventile eingebaut.

Diese Maßnahmen führen zu einer Leistungssteigerung bei höheren Drehzahlen. Bei niedrigen Drehzahlen kann dadurch sogar eine Verschlechterung eintreten.

### **Lösung 3:**

#### **Erhöhen des Druckes vor der Drosselklappe, damit der Druckabfall im Ansaugtrakt ausgeglichen werden kann, oder daß sogar mehr als der normale atmosphärischen Luftdruck in die Zylinder gelangt.**

Diesen Ansatz wollen wir gleich vertiefen.

### **Lösung 4:**

#### **Senken der Temperatur der angesaugten Luft.**

Auch ein guter Ansatz. Darüber später mehr

- ② OK Jetzt haben wir Lösungen aber was hat das jetzt mit der Ram Air zu tun?

△ Stauluft ist der Versuch Lösung 3 zu verwirklichen.

Unter normalen Umständen ist der Druck an der Drosselklappe der atmosphärische Luftdruck. Dieser Druck fällt dann noch etwas, bis die Luft die Zylinder erreicht hat. So weit — so schlecht.

Stauluft soll nun mit einem höheren Druck als dem atmosphärischen Druck an der Drosselklappe anliegen. Nachdem der Druckabfall im Ansaugtrakt gleich bleibt, ist der Zylinderdruck wegen der Druckzunahme vor der Drosselklappe insgesamt höher.

- ② Genau so hatte ich mir das ja auch vorgestellt.

△ Wie würde nun diese Drucksteigerung entstehen? Die „schlüssige, logische, vernünftige, oder wie auch immer“ Theorie besagt, wenn man eine Lufthutze direkt im Luftstrom des Fahrzeuges platziert, dann wird die Luft wegen der Fahrtgeschwindigkeit in den Lufteinlass hineingedrückt.

Eine schöne und schlüssige Theorie — aber leider falsch.



② Hah! wieso soll das denn falsch sein? Wenn ich meine Hand aus dem offenen Fenster eines fahrenden Autos halte, dann spüre ich doch den Druck und der ist gewaltig. Offensichtlich entsteht ja Druck durch die Geschwindigkeit der Luft. Das ist der Beweis, dass die Theorie richtig ist.

⚠ Nun, zur Beantwortung, warum die Theorie falsch ist, muss man den Begriff „Druck“ näher definieren.

Es gibt zwei Arten von Druck: statischen Druck und dynamischen Druck, und als Summe daraus den Gesamtdruck.

② Wie, was, dynamisch? statisch? gesamt? Na Druck ist doch einfach Druck.

⚠ Leider nein, die Erklärung ist schwierig, darum soll hier ein mechanischer Vergleich weiterhelfen.

<b>Statischer Druck,</b>	
<i>Wissenschaftliche Erklärung:</i>	<i>Mechanischer Vergleich:</i>
Statischer Druck, ist eine Eigenschaft die dem Gas innewohnt, weil sich die Moleküle ständig bewegen. Es ist der Druck, den ein Gas im Ruhezustand auf eine Behälterwand ausübt.	Der statische Druck ist mit einer gespannten Feder vergleichbar. Die gespeicherte Energie kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt direkt freigesetzt und damit genutzt werden (Beispiel: Uhrenantrieb, Luftgewehr, Federspeicher-Bremszylinder am LKW).

<b>Dynamischer Druck</b>	
<i>Wissenschaftliche Erklärung:</i>	<i>Mechanischer Vergleich:</i>
Dynamischer Druck, ist nur ein Momenteneffekt während der Massenbewegung des Gases beim Auftreffen auf ein Hindernis.	Der dynamische Druck ist vergleichbar mit einer Masse die fällt. Solange sie am fallen ist, ist ihre kinetische Energie völlig nutzlos. Erst wenn sie auf einen Körper aufschlägt, wird die Energie wirksam und nutzbar (Beispiel: Hammer der auf einen Nagel schlägt).

<b>Gesamtdruck</b>	
<i>Wissenschaftliche Erklärung:</i>	<i>Mechanischer Vergleich:</i>
Jedes beliebige Medium (Gas oder Flüssigkeit), das sich bewegt, kann dynamischen und statischen Druck haben, aber ein Medium im Ruhezustand kann nur statischen Druck haben. Der Gesamtdruck ist die Summe aus statischem und dynamischen Druck.	Eine fallende Masse kann auch eine gespannte Feder enthalten, deren Energie beim Aufprall zusätzlich frei wird. Eine unbewegte gespannte Feder kann aber nur „statische“ Energie haben.

② Aha, so in etwa ist das jetzt schon klar, aber was hat das mit dem Motor zu tun?

⚠ **Ein Verbrennungsmotor benötigt statischen Druck.**

② Wieso denn das, im Ansaugrohr herrscht doch eine Strömung und die ist nicht statisch.

⚠ Der Kolben bewegt sich vom oberen zum unteren Totpunkt. Dadurch wird ein Unterdruck erzeugt. Der statische Druck der Umgebungsluft versucht nun diesen Unterdruck auszugleichen und es strömt Luft in den Zylinder. Wenn genug Zeit vorhanden ist, strömt so lange Luft in den Zylinder bis dort der gleich Druck herrscht wie im Freien, danach gibt es keine Strömung im Ansaugrohr mehr. Größerer statischer Außendruck bedeutet also größeren Druck im Zylinder.

② So einfach ist das also. Gut, ist verstanden.

⚠ Weiter geht's. Mechanische Lader oder Turbolader machen nun genau das, was auch die Ram Air tun soll. Sie erhöhen den statischen Druck. Eine Leistungssteigerung durch Verwendung eines Laders ist ja Tatsache oder?

❓ Klar durch Lader lässt sich ordentlich die Leistung steigern. Aber ein Lader ist doch auch nur ein Gebläse das eine Strömung erzeugt.

⚠ Nein, nicht nur. Würde man die Luft die ein Lader liefert, in einen geschlossenen Behälter leiten (was der Zylinder zum Zeitpunkt des Ansaugtaktes ja auch ist), wäre der statische Druck in diesen Behälter höher als der Luftdruck.

❓ Auch wieder wahr.

⚠ Damit Stauluftaufladung funktionieren könnte, müsste die Energie der strömenden Luft, verursacht durch die Fahrtgeschwindigkeit, also in statischen Druck umgewandelt werden.

❓ Wieso umwandeln die Stauluft drückt doch auch so in den Zylinder?

⚠ Ohne Umwandlung wäre es so, als würde man in ein leeres Trinkglas hineinblasen. Das Glas ist ja mit dem statischen Druck der Umgebungsluft „gefüllt“. Bläst man nun in das Glas wird nur die gleiche Menge Luft die man hineinbläst an den Seiten wieder herausgewirbelt.

❓ OK so einfach geht es also nicht.

⚠ Die einzige Möglichkeit mit Luftgeschwindigkeit den statischen Druck zu erhöhen, ist den dynamischen Druck abzubremesen. Dies kann nur in einer Düse geschehen.

❓ Das verstehe ich nicht, wieso Abbremsen? Mit einer Düse?

⚠ Das ist ein Teil der Strömungslehre den die meisten Menschen nicht verstehen, es ist einfach irgendwie unlogisch. Eine mechanischen Analogie soll wieder helfen:

Strömungsmechanik:	Normale Mechanik:
Dynamischer Druck ist nutzlos solange die Luft strömt.	Eine fallende Masse ist nutzlos, solange sie fällt.
Um die kinetische Energie der strömenden Luft nutzen zu können muss sie abgebremst werden.	Um die kinetische Energie der bewegten Masse nutzen zu können muss sie abgebremst werden.
Lässt man die strömende Luft in einer Düse abbremsen kann man die kinetische Energie nutzen um den statischen Druck zu erhöhen.	Bremst man die Masse ab, in dem man sie auf eine gespannte Feder aufprallen lässt, kann man die kinetische Energie nutzen um eine gespannte Feder noch stärker zu spannen.

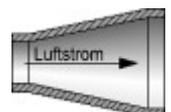
❓ Aha, ist ja gar nicht so schwer — eine Düse muss her. Aber wie soll die denn aussehen?

⚠ Prinzipiell gibt es zwei Bauformen:

Bei der ersten Bauform verengt sich der Luftstrom, man sagt die Düse ist konvergierend also am Einlass größer als am Auslass. Alles klar?



Bei der zweiten Bauform erweitert sich der Luftstrom, man sagt die Düse ist divergierend also am Einlass kleiner als am Auslass. Wieder klar?



❓ Jaaaa, Klar

⚠ Ihr habt nun die Aufgabe eine von beiden Düsen zu wählen:

❓ Na, das ist doch leicht, sie muss sich verjüngen, also wie war das gleich: sie muss konvergierend sein, dann steigt der Druck an.

⚠ Möööööööp, falsche Antwort. Danke fürs Mitspielen, das wäre Ihr Preis gewesen ... Fast jeder, der nicht mit Strömungsmechanik vertraut ist, hätte diese falsche Antwort gegeben<sup>1</sup>.

❓ Ach was, das kann doch gar nicht sein. Wieso ist denn meine Antwort falsch?

⚠ Jetzt wird es schwierig. Um das beantworten zu können müssen wir die berühmte Formel von Bernoulli bemühen.

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{const}$$

Sehen wir uns die beiden Summanden einmal genauer an:

Der erste Summand ( $p$ ) ist der statische Druck. Er entsteht aufgrund der Teilchenbewegung und wirkt gleichmäßig in alle Richtungen. Das hatten wir ja schon.

Der zweite Summand ( $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ ) das ist der dynamische Druck oder Staudruck. Er wirkt nur in Strömungsrichtung. Das ist aber auch nichts Neues mehr.

Der Satz des Bernoulli besagt nun:

**der Gesamtdruck, also die Summe aus dynamischen und statischen Druck ist immer konstant.**

Das klingt vielleicht banal ist aber extrem wichtig.

❓ Naja die Formel ist ja nicht so schwer, aber ich seh' jetzt immer noch nicht, warum meine Antwort mit der Düse falsch gewesen sein soll.

⚠ Zugegeben, es ist auch schwer zu verstehen. Nehmen wir mal die Düse die vorgeschlagen wurde, die verjüngende oder konvergierende Düse, auch Konfusor genannt:

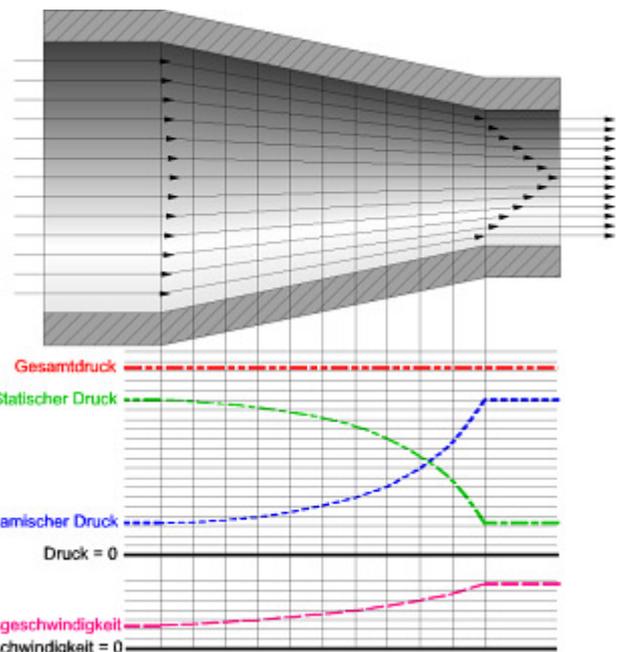
Die Kontinuitätsgleichung

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

besagt, daß die Geschwindigkeit in einem engen Strömungsquerschnitt höher sein muss, als in einem weiten, weil das Volumen gleich bleibt.

Durchfahrt also in Zukunft Autobahnbaustellen, die einen Fahrstreifen sperren, einfach doppelt so schnell, dann bildet sich kein Stau.

An der Verengung **muss die Luft also beschleunigt werden**, weil alles was vorne reingeht auch hinten wieder raus muss.



❓ Das ist wie bei einem Fluss. Wenn er breit ist fließt er langsam und wenn dann Stromschnellen kommen, wo sich das Flussbett verengt, fließt er viel schneller.

⚠ Gutes Beispiel, könnte von mir sein. Aber weiter: Nach der Teilgleichung  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$  für den dynamischen Druck steigt dieser im Quadrat der Geschwindigkeit.

❓ Hah! na bitte, sagte ich doch, der Druck steigt, wenn man eine Düse nimmt die sich verjüngt.

⚠ Richtig aber es steigt der **dynamische Druck**! Welchen Druck braucht der Motor?

❓ Ähem, der Motor braucht statische Druck.

So ist es! Wie gesagt am Ende der konvergierenden Düse herrscht ein höherer dynamischer Druck, weil die Geschwindigkeit höher ist.

<sup>1</sup> Falsch ist es nur für Unterschallströmungen. Bei Überschallströmungen wäre es sogar richtig gewesen. Bei Überschall ist strömungstechnisch eigentlich alles genau umgekehrt wie beim Unterschall und noch etwas komplizierter. Das nur, damit das Ganze nicht zu einfach wird.

Achtung jetzt wird es spannend. Wie war der Satz des Bernoulli:

② **Statischer Druck + Dynamischer Druck = konstant**

Am Lufteintritt ist die Geschwindigkeit niedrig und somit der dynamische Druck auch niedrig.

Am Luftaustritt ist die Geschwindigkeit hoch und damit ist auch der dynamische Druck hoch.

Gut aufpassen, denn jetzt kommt der Knackpunkt:

Die Bernoullische Gleichung besagt nun ja nichts anderes, als dass die Summe aus statischem Druck und dynamischen Druck immer gleich ist.

② **Klar, aber wo ist jetzt der Knackpunkt?**

⚠ Wenn am Lufteintritt der dynamische Druck niedrig ist, ist der statische Druck hoch. Wie ist das dann auf der Luftaustrittsseite?

② **Jetzt hat es geknackt. Wegen der Konstanz ist dann am Luftaustritt der dynamische Druck hoch und der statische Druck muss infolgedessen niedrig sein.**

⚠ Völlig korrekt. Und was braucht der Motor noch mal

② **Schon gut schon gut, er braucht statischen Druck, mit dynamischen Druck kann er nichts anfangen. Eine Düse bei der sich der Durchmesser verjüngt, verringert also den statischen Druck, verringert also somit die Leistung.**

Manoman und ich wollte schon vorschlagen, dass man vorne am Lufteinlass doch einen großen Trichter anbringen könnte, der dann möglichst viel Luft einfängt und in die Zylinder drückt.

⚠ Der gesunde Menschenverstand würde den Luftfangtrichter vorschlagen. Aber diese verflixte Strömungsmechanik verhält sich eben genau gegensätzlich.

Die Idee mit dem „Luftfangtrichter“ wäre das falscheste was man tun könnte, denn der am Trichterende zur Verfügung stehende statische Druck wäre niedriger als ohne diese „Luftfanganlage“ und dementsprechend die Leistung verringert.

② **Aber Moment mal, früher hatte man doch auf diesen Mehrfachvergäsern die schönen trompetenförmigen Lufttrichter. Das waren dann doch auch Düsen?**

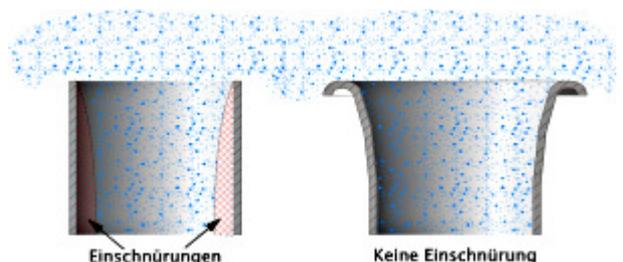


⚠ Es waren keine Düsen zum Zweck den „dynamischen Druck einzufangen“. Denn sie befanden sich nicht im Luftstrom des Fahrtwindes. Außerdem waren die Durchmesserunterschiede gering. Wichtig ist die Abrundung am oberen Ende. Sie dienten dazu einen möglichst strömungsgünstigen also aerodynamischen Lufteinlass zu bilden.

In der linken Skizze sieht man wie die Strömung bei einem einfachen zylindrischen Rohr einströmt. Es erfolgt eine Einschnürung wegen der scharfen Kante.

Rechts eine Strömung mit einem Einlasstrichter. Hier gibt es keine Einschnürung, weil der Rand abgerundet ist.

Obwohl unten beide Einlässe den gleichen Durchmesser haben, ist der Querschnitt beim Lufttrichter besser ausgefüllt, die Luftmenge kann also etwas größer sein.



② **OK ähnliches Aussehen, verschiedene Funktion.**

⚠ Also wieder zurück zur richtigen Düse. Welche Düse brauchen wir?

② **Es muss eine Düse sein die sich erweitert. Eine divergierende Düse.**

⚠ Richtig so eine Düse wird übrigens auch Diffusor genannt. Und wie lautet die Begründung?

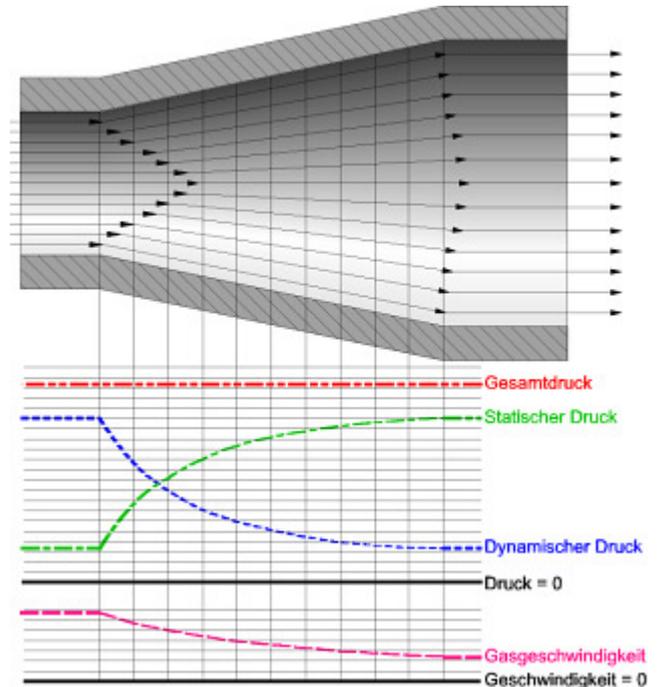
- ② Am Einlass:  
 hohe Geschwindigkeit =  
 hoher dynamischer Druck =  
 niedriger statischer Druck

Am Auslass:  
 niedere Geschwindigkeit =  
 niedriger dynamischer Druck =  
 hoher statischer Druck.

- ⚠ Wunderbar das hätte ich nicht besser sagen können.  
 Machen wir doch mal eine Beispielsrechnung.

- ② Wenn es unbedingt sein muss ...

- ⚠ Keine Gnade, es muss sein.



Statischer Druck am Lufteinlass:	1,013 Bar = 101300,0 Pa	(das ist der Norm-Luftdruck)
Fahrtgeschwindigkeit $v$ 300 km/h =	83,3 m/s	(wenn schon, dann mit richtig speed)
Dichte $\rho$ der Luft bei 20°C =	1,2 kg/m <sup>3</sup>	(Luftdichte bei 20°C und 1,013Bar)
Dynamischer Druck am Eintritt =	4166,7 Pa	(errechnet mit: $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ )
Gesamtdruck am Eintritt =	105466,7 Pa	(Summe aus stat. und dyn. Druck)
Eintrittsquerschnitt bei Durchmesser 40 mm	1256,6 mm <sup>2</sup>	(Eintrittsdurchm. ist willkürlich)
Austrittsquerschnitt bei Durchmesser 80 mm	5026,4 mm <sup>2</sup>	(Austrittsdurchm. ist der des LS1 Motors)
Austrittsgeschwindigkeit:	20,8 m/s	(errechnet mit: $A1 \cdot v1 = A2 \cdot v2$ )
Dynamischer Druck am Austritt:	260,4 Pa	(errechnet mit: $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ )
Gesamtdruck am Austritt = Eintritt	105466,7 Pa	(der Gesamtdruck bleibt ja konstant)
Statischer Druck am Austritt:	105206,2 Pa	(Gesamtdruck minus dynamischer Druck)
Differenz Stat. Druck Ein, zu Stat. Druck Aus:	3906,3 Pa	(statt „Ein“ minus statt. Druck „Aus“)

Die Zunahme an statischem Druck beträgt also 3906 Pa = 0,04 Bar (großzügig aufgerundet) bei einem Durchmesserunterschied von 2 zu 1.

- ② Naja berauschend ist das nicht 0,04 Bar. Aber immerhin das sind rund 4 %, also 4 % mehr Leistung, somit funktioniert doch die Stauaufladung. Ein Einbau diese Düse würde sich doch lohnen oder?

Langsam langsam, im Prinzip ja, aber ... da gibt es ein erstes Problem: die Geschwindigkeit am Luftaustritt. Sie ist noch zu niedrig. Aus den Daten des LS1 Motors:

Mittlere Kolbengeschwindigkeit bei 6000 rpm 18,4 m/s  
 (Daten LS1 Motor errechnet mit: Mittlere Kolbengeschw. [m/s] =  $\frac{\text{Kolbenhub [mm]} \cdot \text{Drehzahl [min}^{-2}\text{]}}{1000 \cdot 60} = \frac{92 \cdot 6000}{1000 \cdot 60}$ )

Geschw. im Ansaugrohr  $\varnothing$  80 mm bei 6000 rpm 28,2 m/s  
 (Daten LS1 Motor errechnet mit: Strömungsgeschw. [m/s] =  $\frac{\text{Zylinderdurchmesser}^2 \text{ [mm]}}{\text{Ansaugrohrdurchmesser}^2 \text{ [mm]}} \cdot \text{Mittlere Kolbengeschw. [m/s]} = \frac{99}{80} \cdot 18,4$ )

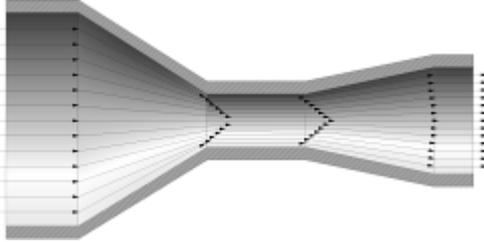
- ② Oha wir brauchen 28,2 m/s haben aber nur 20,8 m/s. Hmmm, wir müssen also leider den Lufteinlass etwas größer machen damit die Strömung nicht so stark abgebremst wird.

- ⚠ Sehr gut ich sehe ich werde verstanden. Passen wir also den Lufteinlass der Düse an die Geschwindigkeit im Ansaugrohr an.

Die Berechnung erspar ich Euch jetzt. Wir brauchen einen Durchmesser von 47 mm am Lufteintritt. Leider wird dann aber auch der Anstieg des statischen Drucks weniger. Er beträgt nur noch 0,036 Bar

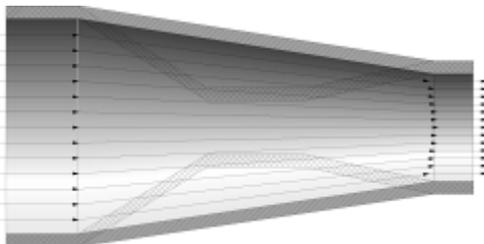
⊗ Das wird ja immer schlechter also bleiben 3,6 % Leistungszunahme. Aber jetzt hab ich eine Idee: Man könnte doch vorne auf die Divergierende Düse noch eine Konvergierende Düse aufsetzen.

⚠ Etwa so?:



⊗ Genau so. Dann wäre doch die Geschwindigkeit der Strömung im zylindrischen Teil höher als die Fahrtgeschwindigkeit, weil ja die Luft durch die konvergierende Düse beschleunigt wird. Dadurch ist der dynamische Druck höher und ich kann ihn in der divergierenden Düse noch stärker abbremsen und somit mehr statischen Druck gewinnen.

⚠ Auf den ersten Blick scheint das eine gute Idee zu sein. Wenn man aber nur Lufteintritt und Luftaustritt betrachtet, was ergibt sich dann?



⊗ Ach wieder nix. Hab schon verstanden. Am Ende hat man wieder nur eine Düse die sich verjüngt.

⚠ So ist es leider. Was zwischen Ein- und Austritt liegt ist für unsere Anwendung relativ unwichtig (mögliche Überschallströmungen bleiben mal unberücksichtigt). Außer dass wegen der stärkeren Wandreibung und Verwirbelung das Ergebnis noch schlechter wird.

⊗ Das ist also auch nichts. Verwenden wir also die berechnete divergierende Düse. Es bringt ja immerhin 3,6% und kostet praktisch nichts.

⚠ Langsam langsam, im Prinzip ja, aber ... da gibt es das zweite Problem:

Das ganze funktioniert nur, wenn die Bedingungen genau eingehalten werden. Weder die Fahrtgeschwindigkeit noch die Motordrehzahl dürfen variieren.

⊗ Oha naja aber man könnte das ganze ja auf die maximale Speed optimieren oder?

⚠ Langsam langsam, im Prinzip ja, aber ... da gibt es das dritte Problem:

Nachdem wir uns das nun alles mühsam erarbeitet haben, können wir den Hammer loslassen, der alles vorher gesagte wider völlig einstampft:

**Unterhalb 500 km/h gilt Luft annähernd als inkompressibel.**

⊗ Häh? was soll'n das nun wieder?

⚠ Zur Begründung hole ich mir jetzt mal einfach fremde Hilfe. Das folgende ist einem Manuskript von Dipl.-Ing. R. Lux von der TU Dresden entnommen.

Zitat aus: ([http://www.ifl.tu-dresden.de/fach/pdf/ad\\_kap12.pdf](http://www.ifl.tu-dresden.de/fach/pdf/ad_kap12.pdf))

*Kompressibilität der Luft - Machzahl*

*Die Kompressibilität (auch: Zusammendrückbarkeit) ist die Eigenschaft eines Körpers, sein Volumen (bzw. seine Dichte) unter der Wirkung äußerer Druckkräfte zu verändern.*

*(Nichtaerodynamisches) Beispiel:*

- Ein Schwamm ist kompressibel.
- Ein Stein ist inkompressibel.

*Die Dichteänderung eines strömenden Mediums bei Umströmung eines Körpers ist abhängig von:*

*- der Art des Mediums*

- der Größe der Druckänderungen (Druckkräfte), die wiederum vom Quadrat der Geschwindigkeit abhängen.

(Strömungsdynamisches) Beispiel: - Luft ist kompressibel.  
- Wasser ist inkompressibel.

Unter Verwendung der Machzahl  $Ma$  kann die Größenordnung der (relativen) Dichteänderung bestimmt (bzw. abgeschätzt) werden:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx \frac{1}{2} Ma^2$$

Wenn  $\Delta\rho/\rho$  sehr klein ist ( $\Delta\rho/\rho \ll 1$ ), kann man in einer Strömung die Kompressibilität des strömenden Mediums vernachlässigen!

**Die Strömung ist dann näherungsweise inkompressibel.**

Aus der letztgenannten Gleichung folgt, daß  $\Delta\rho/\rho$  klein ist, wenn die Machzahl klein (gegenüber 1) ist (d.h., die Fluggeschwindigkeit  $v$  klein gegenüber der Schallgeschwindigkeit  $a$  ist).

**Bis zu einer Machzahl von 0,4 kann die Dichteänderung der Luft, also die Kompressibilität, vernachlässigt werden!**

Für eine Machzahl  $Ma$  von 0,4 gilt, daß die Dichteänderung  $\Delta\rho/\rho \approx 0,4^2/2 \approx 0,08$ , also etwa 8 % beträgt. Unter ICAO-Bedingungen entspricht die Machzahl  $Ma$  von 0,4 in der Höhe 0 einer Geschwindigkeit von etwa 500 km/h.

Zitat Ende

❓ Wie bitte? Luft ist inkompressibel? Unmöglich, im Motor wird doch die Luft ständig verdichtet also komprimiert?

⚠ Das ist natürlich richtig. Obiges gilt auch nur bei der Verdichtung von Gasströmungen aber nicht, wenn die Luft unter mechanischen Kraft komprimiert wird. Hab ich euch nicht am Anfang gewarnt? Strömungsmechanik ist hirnerweichend.

Verwenden wir wieder unser Modell aus der Mechanik: Unter 500 km/h ist die Geschwindigkeit mit der die Masse auf die Feder prallt einfach zu gering um die Feder noch weiter nennenswert zu spannen.

❓ Nun ja das klingt eigentlich ganz plausibel. Was bedeutet das nun praktisch?

⚠ Ganz einfach, von den 0,036 Bar Drucksteigerung bleiben bei 300 km/h (das sind in Bodennähe rund Mach 0,25;  $\Delta\rho/\rho \approx 0,25^2/2 \approx 0,03$ ) nur noch 3 % übrig.

❓ Aber, dann hab ich ja nur noch 0,001 Bar Druckzunahme! Das ist ja weniger als nichts.

⚠ Genau denn das entspricht etwa der Druckzunahme, wenn man von einem 8(!) Meter hohen Berg runtergefahren ist. (Druckunterschied ca 0,001 Bar auf 8 Meter in Bodennähe.) Und diese Leistungssteigerung gilt bei einer Fahrtgeschwindigkeit von 300 km/h(!) Bei niedrigeren Geschwindigkeiten ist es entsprechend weniger.

❓ Na, noch weniger geht ja schon nicht mehr.

⚠ Aber jetzt wieder zurück. Dass Luft unter 500 km/h praktisch nicht kompressibel ist, bedeutet einfach nichts anderes, als:

**Die kinetische Energie der Luft kann unter 500 km/h nicht verwendet werden um den statischen Druck der Luft wirksam zu erhöhen.**

❓ Dann kann die Stauluftaufladung unter 500 km/h Fahrtgeschwindigkeit ja niemals richtig funktionieren!

⚠ **Genau so ist es! Stauluftaufladung funktioniert unter 500 km/h kaum.** Würden nicht alle Autohersteller diese Aufladung benutzen, wenn es

sie geben würde? Immerhin könnte man so ja fast ohne Mehrkosten eine Mehrleistung erhalten.

⊗ Also sorry, aber ich kann es immer noch nicht so richtig glauben, dass die Stauaufladung nicht funktionieren soll.

⚠ Die Strömungsmechanik ist auch schwer zu verstehen. Ich versuch es mit einem letzten Beispiel:

Wir nehmen einen Lader (Turbo oder mechanisch spielt hier keine Rolle) und schließen ihn gasdicht am Lufteinlass an. Was passiert?

⊗ Durch den Lader steigt die Leistung, weil der statische Druck durch den Lader höher wird.

⚠ Genau so ist es. Jetzt verwenden wir den gleichen Lader, montieren aber die gasdichte Verbindung zum Ansaugrohr ab. Wir lassen den Luftaustritt des Laders einfach so über eine geringe Entfernung in das Ansaugrohr blasen. Was passiert?

⊗ Aha ich glaub jetzt der Cent, gefallen. Es gibt keine Leistungssteigerung.

Weil der Lader nicht dicht mit dem Motor verbunden ist, kann sich kein höherer statischer Druck aufbauen. Der Lader bläst zwar in Richtung Ansaugrohr, aber was der Motor nicht sowieso einsaugt wird einfach in die Gegend geblasen.

⚠ Das hätte ich nicht besser sagen können.

⊗ Na gut jetzt glaube ich es, dass es die Stauaufladung nicht gibt. Aber es bringt doch sicher Vorteile, wenn man die Luft direkt von vorne einströmen lässt.

⚠ In der Realität könnte es durchaus sein, dass durch Luftwirbel die der vermeintliche Ram Air Duct erzeugt, oder auch durch Verwirbelungen an der Karosserie, oder durch ungünstige Gassäulenschwingungen die Strömung so gestört wird, dass es sogar zu einer Minderleistung kommt. Denkbar wäre auch, daß durch eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit der statische Druck niedriger ist. Der denkbar ungünstigste Einbauort für den Ansaugschnorchel wäre auf dem Fahrzeugdach. Dort ist die Strömungsgeschwindigkeit am höchsten und damit der statische Druck niedriger als im relativ strömungsfreien Motorenraum.

⊗ Ja aber die Formel Rennwagen haben den Ansaugschnorchel doch auch direkt oben drauf?

⚠ Schon, die Strömungsverhältnisse sind bei einer solchen Karosserie aber auch von einem normalen Auto recht verschieden.

Eigentlich sollte die Luft an einem möglichst ruhigen Ort (ruhig bezogen auf Luftströmungen) entnommen werden. Optimal ist es dann noch, wenn der Lufteinlass keine scharfen Kanten hat. Das ist aber jetzt ein anderes Teilgebiet der Strömungsmechanik, und zwar die Aerodynamik.

⊗ Also ist Direkteinströmung an der Fahrzeugfront auch nicht das wahre?

⚠ Das kann man nicht pauschal beantworten. Es kommt auf die aerodynamischen Verhältnisse an der Fahrzeugfront an, und die sind bei jedem Fahrzeug anders.

⊗ Aber es gibt doch ein paar Autohersteller die so eine Ram Air Anlage anbieten. z.B. gab es bei Pontiac für den TransAm das Paket WS6 das sich sogar Ram Air Kit oder ähnlich nannte.



⚠ Es ist ein reines Werbeargument, es hört sich gut an und ist im übrigen hauptsächlich ein optisches Tuning.

⊗ hmmm na gut. Aber für die Corvette gibt doch auch diese speziellen Ram Air Ducts, z.B. den XxxxRam der mit einer Garantie für Mehrleistung geliefert wird. Was ist denn damit?

⚠ Nun da frage ich mich, wie die Konstrukteure diese Leistungssteigerung gemessen haben. Auf einem Motorenprüfstand muß die Stauluft simuliert werden, das Auto also gleichzeitig im Windkanal stehen. Aufwändig aber machbar und reproduzierbar.

Auf der Straße wäre eine Leistungsmessung auch sehr aufwändig und zudem schwer reproduzierbar.

Man muß sich die Konstruktion mal genau anschauen. Sie entnehmen die „Stau“ Luft ja generell außerhalb des Motorenraumes.

Und hier kommt Punkt 4 unserer Problemlösungen ins Spiel: **Senken der Temperatur der angesaugten Luft.**

⊕ Ach ja, es gibt ja auch diese „Cold Air Induction Systems“.

⚠ Und im Gegensatz zu den Ram Air Intakes funktioniert das mit der kalten Luft sogar, was sich physikalisch leicht beweisen lässt. Leider müssen wir wieder ein paar Formeln bemühen:

⊕ Nicht schon wieder ...

⚠ Doch doch, ohne Beweis glaubt Ihr mir ja nicht (ich würde es jedenfalls nicht). Die Dichte der Luft errechnet sich aus:

$$Dichte [kg/m^3] = \frac{Druck [Pa]}{Spezielle Gaskonstante [\frac{J}{kg \cdot K}] \cdot Temperatur [K]}$$

Die Spezielle Gaskonstante für Luft =  $287 \frac{J}{kg \cdot K}$

⊕ Oh Mann immer diese blöden Formeln.

⚠ Mit Beispielen wird's wieder einfacher:

Beispiel 1:	Beispiel 2:
Die Luft wird aus dem heißen Motorenraum entnommen, die Ansaugleitungen können sich durch die Motorabwärme aufheizen.	Die Luft wird außerhalb des Motorenraumes entnommen, die Ansaugleitungen sind gut gegen Hitze isoliert.
Luftdruck = 1,013 Bar = 101300 Pascal Temperatur = 40°C = 313 Kelvin	Luftdruck = 1,013 Bar = 101300 Pascal Temperatur = 20°C = 293 Kelvin
Das ergibt dann für die Luftdichte $\rho = \frac{101300}{287 \cdot 313} = 1,128 \text{ kg/m}^3$	Das ergibt dann für die Luftdichte $\rho = \frac{101300}{287 \cdot 293} = 1,205 \text{ kg/m}^3$

⊕ Hey da ist die Dichte ja rund 7 % höher wenn die Temperatur 20° niedriger ist.

⚠ Genau, und durch die größere Luftdichte ist auch die Motorleistung größer. In der Praxis wird es unter Umständen nicht ganz so viel sein, denn der Motorenraum ist ja im allgemeinen gut belüftet. Aber hier ist eine Mehrleistung doch vorhanden und real messbar.

Die so genannten Ram Air Intakes verwenden also zur (garantierten) Leistungssteigerung einen völlig anderen physikalischen Effekt als sie uns glauben machen wollen.

⊕ Alles klar, weil kalte Luft dichter ist, gelangt mehr davon in die Zylinder, kann mit mehr Kraftstoff verbrannt werden und das ergibt die Leistungssteigerung.

⚠ Genau so ist es. Ein gutes Beispiel für Leistungssteigerung durch kühlere Luft ist der Ladeluftkühler, der einem Lader nachgeschaltet wird.

⊕ Im Ladeluftkühler wird die Luft die sich durch den Verdichtungsprozess im Lader aufgeheizt hat wieder abgekühlt und damit die Dichte vergrößert.

⚠ Das ist richtig. Leider ist das ganze wieder sehr aufwändig und damit auch teuer. Aber es funktioniert.

⊕ Leistungssteigerung ist also immer mit hohem Aufwand und Kosten verbunden.

⚠ Leider ja. Von nichts kommt nichts, sonst würde es ja einfach jeder machen, vor allem die Motorenhersteller selbst. Allgemein kann man sagen, dass eine Leistungssteigerung bis zu

10 % mit einfachen Mitteln möglich sein kann. Eine größere Mehrleistung wird nur durch aufwändige Umbauten am und im Motor möglich sein.

Und nicht zu vergessen: Wenn der Luftfilterhersteller 6 % Mehrleistung garantiert und der Auspuffhersteller 8 % und das Chiptuning 7 % und der Nockenwellenhersteller 12 %, dann beträgt die Mehrleistung **nicht** einfach die Summe aller Prozentwerte, (im Beispiel wären das dann 33 %). Denn die einzelnen Werte beeinflussen sich immer gegenseitig. Manche Tuningmaßnahmen verbessern die Leistung im unteren Drehzahlbereich, andere bei höheren Drehzahlen.

Besonders mit der Nockenwelle kann man sich seinen Wunschmodor bauen - oder verzweifeln:

Durchzugsstarke und elastische Motoren weisen eine relativ geringe Ventilüberschneidung von ca. 80 bis 120 Grad auf. Bei Rennmotoren ist die Überschneidung zugunsten der kompromisslosen Höchstleistung sehr hoch: bis zu 190 Grad KW teilweise noch mehr.

Bei diesen Sportnockenwellen schliesst das Einlassventil mit bis zu 100 Grad nach UT sehr spät; so wird bei hoher Drehzahl eine hohe Nachladung und damit auch Leistung erzielt. Im unteren Drehzahlbereich dagegen ist die Leistung miserabel, weil ein Teil des Frischgases wieder in den Einlasskanal zurückgeschoben wird.

Das aber jetzt nur am Rande

#### 🔍 Schade so einfach ist es also nicht.

Erfolgreiches Motortuning ist eine Kunst. Vor allem, wenn auch noch eine annehmbare Haltbarkeit des Triebwerks gefordert ist. Man muss schon sehr genau wissen was man tut, um eine tatsächlich messbare Leistungssteigerung und nicht nur eine *gefühlsmäßigen* Leistungszuwachs zu erreichen.

#### 🔍 Aber jetzt noch mal zurück zur Leistung bei Verwendung von kalter Luft. Wenn bei kaltem Wetter die Luft dichter ist, dann heißt das doch daß ich mehr Leistung zur Verfügung habe, dann kann ich auch eine höhere Endgeschwindigkeit erzielen.

⚠️ Leider nein, denn auch beim Luftwiderstand geht die Luftdichte mit ein. Einfach gesagt, bei kaltem Wetter ist die Molekülsuppe dicker als bei warmen Wetter. Und um eine dicke Molekülsuppe zu durchpflügen braucht es mehr Leistung. Aber im Bereich bis etwa 100 km/h dürfte die Beschleunigung besser werden.

#### 🔍 So'n Mist wieder nix. Aber es soll doch Rennstrecke geben, bei denen streckenweise die Motoren mehr Leistung bringen.

⚠️ Das soll es geben. Das sind dann meist Abschnitte die durch viel Wald führen. Dort soll der Anteil des Sauerstoffes in der Umgebungsluft minimal höher sein. Mehr Sauerstoff würde dann, einfach gesagt, mehr Verbrennung bringen, denn der Stickstoff der Luft wird ja ungebraucht wieder „ausgeschieden“.

#### 🔍 Ahaaa, Dann könnte ich doch einfach eine Sauerstoffflasche im Auto anbringen um bei Gelegenheit einen extra Boost zu erreichen? Dann bräuchte man dieses sauteure NOS nicht.

⚠️ Reinen Sauerstoff zu verwenden ist äußerst kritisch, denn der Zunahme an Leistung steht die enorme Zunahme an Verbrennungstemperatur gegenüber. Da sind dann schneller als man Überholen könnte Kolben und Ventile zusammengeschmolzen.

Beispiel gefällig:

Eine handelsübliche Gaslötlampe verbrennt das Gas mit angesaugter Umgebungsluft. Flammentemperatur so ca. 1500°C.

Ein Schweißbrenner führt dem Brenngas reinen Sauerstoff zu. Flammentemperatur ca. 3000°C

#### 🔍 Gut Sauerstoffeinspritzung ist also auch keine Lösung. Wie funktioniert dann das NOS ?

△ NOS als Bezeichnung für **Nitrous Oxide System** verwendet Distickstoffoxid (Trivialname Lachgas) mit der chemischen Formel  $N_2O$ . Distickstoffoxid ist ein farbloses und unbrennbares Gas, es wird zusätzlich zum Kraftstoff-Luftgemisch eingespritzt.

② Was unbrennbares Gas? Aber wie soll denn das dann die Leistung steigern?

Durch die Lösung 4: Senken der Temperatur der angesaugten Luft.

$N_2O$  Moleküle bestehen aus zwei Atomen Stickstoff ( $N_2$ ) und einem Atom Sauerstoff (O). Bei der Einspritzung in den Brennraum wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch sehr stark abgekühlt (ca. 20-40 Grad Minus je nach Einspritzmenge), dadurch wird die Dichte höher. Somit kann mehr Kraftstoff-Luft-Gemisch angesaugt werden.

Ab einer Temperatur von ca. 300 °C wird dann das Sauerstoff-Atom freigesetzt und unterstützt die Verbrennung, es kann nochmals etwas mehr Kraftstoff eingebracht werden. Das Lachgas wird mit einer Temperatur von ca. minus 80° eingespritzt, deshalb ist die thermische Schädigung des Motors durch Überhitzung wesentlich geringer als es bei reinem Sauerstoff der Fall wäre. Eine Schädigung von Motor, Antriebsstrang und Getriebe durch mechanische Überlastung kann aber möglich sein.

② OK ich glaube jetzt sind alle Klarheiten beseitigt. Es gibt also scheinbar keinen einfachen Weg meiner Corvette zu merklich mehr Leistung zu verhelfen, schon garnicht mit Stauluftaufladung.

△ Es gibt viele Wege zur Leistungssteigerung und alle haben ihre Vor- und Nachteile, aber keinen einfachen und vor allem billigen Weg. Bevor wir noch weiter vom ursprünglichen Thema abschweifen, wäre jetzt das Ende dieses Artikels erreicht. Falls der geneigte Leser bis hierher durchgehalten hat und sagt „wieder was gelernt“ dann würde mich das freuen.

Noch ein paar Anmerkungen:

Die Resultate der Rechenbeispiele sind rein theoretischer Art. Gerade in der Strömungsmechanik sind viele Ergebnisse nur ungenügend vorausberechenbar. Sonst bräuchte niemand Windkanäle. Die verwendeten Rechengänge sind außerdem stark vereinfacht, rein modellhaft und nur für ideale Gase gültig.

Nicht berücksichtigt wurde, ob die Strömung laminar oder turbulent verläuft. Es dürfte aber bereits bei Leerlaufdrehzahl eine Reynoldszahl von weit mehr als 2320 erreicht werden, somit ist die Strömung im Ansaugtrakt sicher turbulent. Auch ob eventuell Strömungsablösungen durch eine zu rasche Querschnittserweiterung zu erwarten sind wurde nicht berechnet. Wir nahmen weiterhin an, daß die Strömung über den ganzen Querschnitt gleich schnell ist, auch das entspricht nicht der Wirklichkeit.

Unberücksichtigt blieb auch der Wirkungsgrad des Diffusors und die Temperaturerhöhung beim Kompressionsvorgang im Diffusor.

Die errechneten Ergebnisse würden zwar dadurch an der x-ten Stelle nach dem Komma genauer, aber die Ergebnisse werden sicher noch ungünstiger, das heißt die extrem geringe Leistungssteigerung durch Stauluftaufladung (zur Erinnerung: 0,001 % bei 300 km/h) wird noch weiter reduziert, geht also vollends gegen Null.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wurde eine mögliche Überschallströmung in einen auf den Lufterlass aufgesetzten Konfusor. Eine Strömung mit Überschall würden durch Verdichtungsstöße tatsächlich einen Anstieg des statischen Druckes bewirken, allerdings verbunden mit einer Zunahme der Lufttemperatur = Abnahme der Luftdichte. Diese Verdichtungsstöße sind aber extrem schwierig zu berechnen und in der Praxis noch schwieriger zu realisieren, vor allem, wenn sie bei normalen Kfz-Geschwindigkeiten funktionieren sollen.

Einige der Leser werden jetzt denken, „hab ich doch immer gesagt, Ram Air ist Humbug“. Bei einigen wird das Gesicht etwas länger geworden sein, weil sie fest an den Mythos Stauluftaufladung geglaubt hatten.

Sicherlich wird es noch ein paar Autobesitzer geben (vornehmlich solche, die eine Stauluftthutze angebaut haben) die sich auch durch diesen Beitrag nicht von Ihrem Glauben an die Ram Air Charging abbringen lassen.



Ich denke, wir wissen es jetzt besser.

Euer Harald AKA TeraVolt