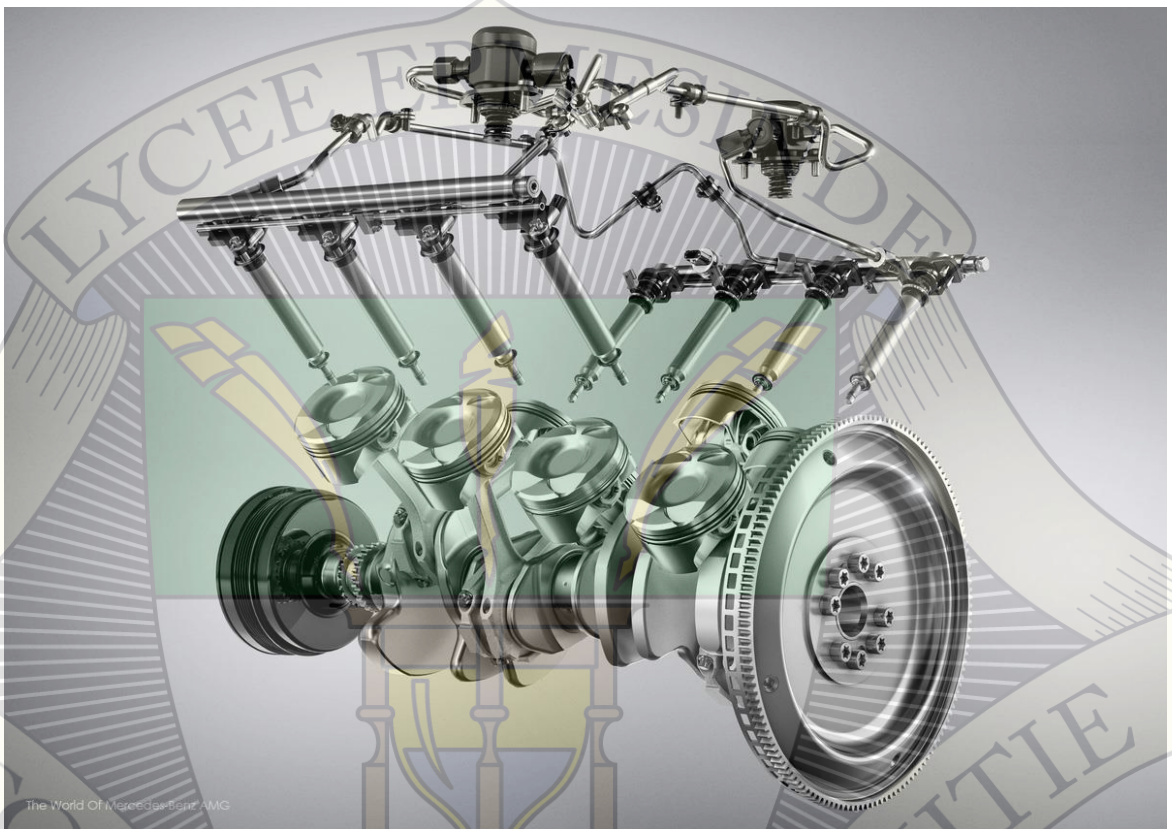


Motorentechnik

-Vom Verbrennungsmotor und seiner Entwicklung-



5,5 Liter V8 Motor mit Zylinderabschaltung, P = 310kW (422 PS)

Mémoire collectif, rédigé par Jeanne Pietschmann 3G,
Georges Meres 3D et
Sébastien Unsen 3B

Directeur de mémoire : Scholtes Pol

Membres du jury: Vico Manuel, Broers Maurice

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit wird versichert, dass die folgende Arbeit eigenständig und nur mit den in der Quellenangabe aufgelisteten Informationen, vervollständigt wurde.

Die vorliegende Arbeit wurde geprüft und für gut befunden.

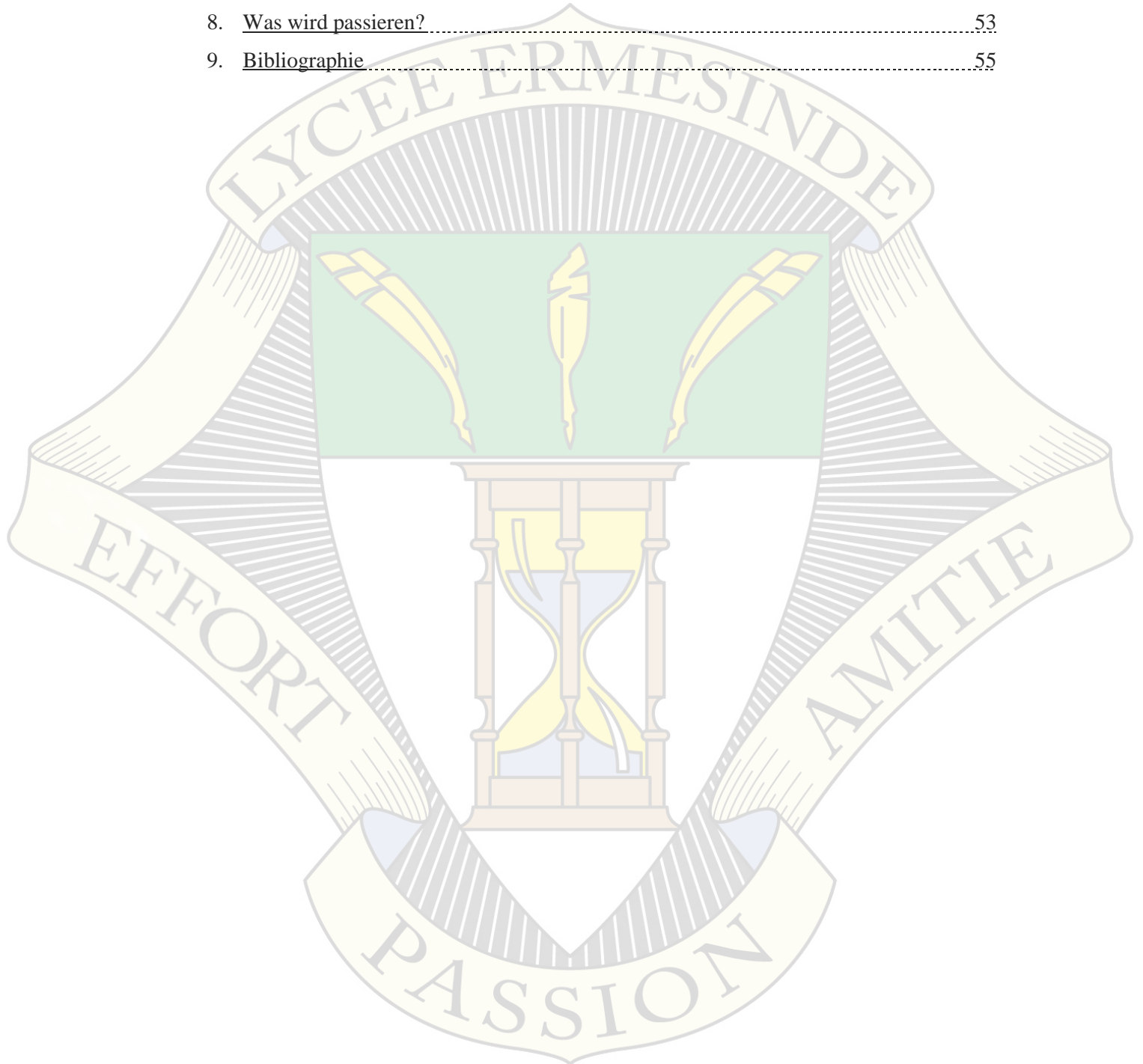
Mersch, Lycée Ermesinde, août 2016



Inhaltsverzeichnis

1. <u>Einleitung</u>	5
2. <u>Erfindung des Verbrennungsmotors</u>	6
2.1. Nicolaus Otto	6
2.2. Rudolf Diesel	9
3. <u>Der Verbrennungsmotor</u>	11
3.1. Der Aufbau des Verbrennungsmotors	11
3.2. Die Funktionsweise des Verbrennungsmotors	12
3.2.1. Die Takte	13
3.2.1.1. Das Viertaktverfahren	13
3.2.1.2. Das Zweitaktverfahren	15
3.2.1.3. Der Vergleich: Viertaktmotor vs Zweitaktmotor	15
3.2.2. Die Nockenwelle	17
3.3. Der Praktische Teil	20
4. <u>Die Leistung</u>	23
4.1. Das Drehmoment	23
4.2. Die Kräfte	25
4.2.1. Die Gaskraft	25
4.2.2. Die Massenkraft	25
4.3. Die Leistungssteigerung	27
4.3.1. Die Turboaufladung	28
4.3.1.1. Der Twin-/Biturbo	30
4.3.1.2. Der Turbo Compound	30
4.3.2. Die Kompressoraufladung	31
4.4. Der Leistungsverlust	32
4.5. Die Zylinderabschaltung	34
5. <u>Die Kraftstoffe</u>	37
5.1. Nennenswerte Kraftstoffe	37
5.1.1. Oktanzahl und Cetanzahl	38
5.2. Alternative Energieträger	39
5.2.1. Wasserstoff	39
5.2.2. E-Motoren	40
5.2.3. Autogas (LPG) und Erdgas (CNG)	43
5.2.4. Biodiesel	45
5.2.4.1. Pflanzenöl	45

6. <u>Die Abgase</u>	47
6.1. Die Bestandteile der Abgase.....	48
6.2. Der Katalysator und der Lambdawert.....	49
6.3. Konsequenzen auf die Umwelt.....	50
7. <u>Die Effizienzsteigerung</u>	52
8. <u>Was wird passieren?</u>	53
9. <u>Bibliographie</u>	55



1. EINLEITUNG

Motoren begegnen uns im Alltag und helfen uns dabei Arbeiten zu verrichten die wir selbst nicht bewältigen können. Insbesondere Verbrennungsmotoren, welche sich in PKW, Generatoren oder Flugzeugen befinden, machen uns das Leben einfacher. Jedoch bereiten uns diese Art von Motoren auch Probleme, wie zum Beispiel das Voranschreiten des Rohstoffmangels oder etwa die Erwärmung des Klimas durch Umweltverschmutzung.

Wir haben dieses Thema gewählt, weil wir uns die Frage gestellt haben, wie dieses Werkzeug, das wir jeden Tag benutzen unser Leben verändert hat und wie es unser Leben später noch verändern wird. Man hört jedenfalls immer mehr von Alternativen, wie zum Beispiel elektrischen Motoren, die den konventionellen Antrieb ersetzen können. Das hat uns zum Nachdenken angeregt, denn nun stellt sich die Frage, welche Zukunft der Verbrennungsmotor haben wird.

Diese Arbeit erläutert die sowohl die geschichtlichen und ökologischen, als auch die technischen Aspekte im Zusammenhang mit den Verbrennungsmotoren. Vorerst möchten wir herausfinden, wie ein Verbrennungsmotor funktioniert. Ein anderer Aspekt unserer Arbeit werden die Konsequenzen des Verbrennungsmotors sein, sowohl auf die Umwelt als auch auf unsere Gesellschaft. Wir setzten uns mit der Frage auseinander, ob jene Motoren in Zukunft an Einfluss verlieren könnten und durch alternative Konzepte ersetzt werden, oder lediglich perfektioniert werden, sodass Dinge wie der Rohstoffbedarf oder der Abgasausstoß auf ein Minimum reduziert werden.

Der erste Teil der Arbeit wird aus dem historischen Überblick bestehen. Es ist eine kleine Einleitung zum Verbrennungsmotor von heute, in der wir auf seine Entwicklung eingehen werden, vom ersten Explosionsmotor bis zum aktuellen Dieselmotor.

Danach werden wir erklären, wie ein Verbrennungsmotor funktioniert und wie sich die verschiedenen Arten voneinander unterscheiden. In diesem Teil gehen wir sowohl darauf ein, welche physikalischen Kräfte im Motor vorkommen, als auch welche Kraftstoffe benutzt werden können um ein Fahrzeug voranzutreiben. Im Kapitel über Kraftstoffe lernen wir ebenfalls alternative Kraftstoffe kennen, die in Autos genutzt werden und jene die nicht mit einem Verbrennungsmotor funktionieren.

Zum Schluss beschäftigen wir uns mit den Konsequenzen des Verbrennungsmotors auf unsere Gesellschaft, die Politik und unsere Umwelt.

2. DIE GESCHICHTE DES VERBRENNUNGSMOTORS¹

2.1 Nikolaus Otto

James Watts Mühen, einen brauchbaren Motor zu erfinden, regten im 18. Jahrhundert viele andere Wissenschaftler an, sich ebenfalls damit zu beschäftigen. Während er an seiner industriellen Maschine tüftelte, entstand eine Erfindergruppe, die sich für Motoren in Kraftfahrzeugen ganz besonders interessierte. Einer von ihnen war der Deutsche Nikolaus Otto.



Nikolaus Otto (1832-1891)

Er stammte wie James Watt von einer Familie mit bescheidenem Einkommen ab, die es sich nicht leisten konnte, ihn auf eine Universität zu schicken. Trotz seiner Liebe zur Wissenschaft musste er daher Kaufmann lernen und reiste bald als Handelsreisender durch Deutschland und Europa.

Er beobachtete auf seinen Reisen, wie sehr das Leben durch kleine Motoren verbessert werden könnte und die Gesellschaft nach dem industriellen Aufschwung von 1850 danach dürstete. Die Dampfmaschine war generell viel zu schwer und brauchte zu lange um angeheizt zu werden um im Alltag nutzbar zu sein. Sie eignete sich nur für industrielle Arbeit.

Der erste alternative Motor war der Gasmotor von Etienne Lenoir. Es handelte sich hierbei um einen mit Leuchtstoff betriebenen Ein- bis Zweitaktmotor der bis zu 4 PS leistete. Doch der Motor verschwand ziemlich schnell vom Markt, weil er zu viel Gas verbrauchte und der Gang zu stoßhaft war. Otto erkannte diesen als einen sehr großen Schritt in der Entwicklung des Motors für Kraftfahrzeuge. Der Autodidakt begann seine eigenen Forschungen an einem Modell dieses Motors zu machen.

¹ Erfährt mehr über die Vorgeschichte des Verbrennungsmotor im Anhang

Otto vertiefte sich vollkommen in seine Arbeit und gab sogar seine Stelle als Kaufmann auf, um weiter an seinem Motor zu tüfteln. Am Ende dieser Forschung stand dann das heute in den meisten Verbrennungsmotoren für Automobile genutzte Viertaktverfahren²: 1. Ansaugen; 2. Verdichten; 3. Expandieren; 4. Ausschleiben.

Doch die zu heftigen Verbrennungsstöße zerstörten die Maschine. Nach diesen misslungenen Versuchen wurde Ottos eher bescheidenes Kapital 1863 so langsam sehr knapp und reichte nicht mehr aus, um seine Forschungen zu finanzieren. Er brauchte also wie Watts einen Sponsor, der bereit wäre in seine Recherchen zu investieren.

So kam es, dass er Eugen Langen kennenlernte. Langen war ein Erfinder, ein Ingenieur und ein Unternehmer der durch die Zuckerfabrik seines Vaters zu Reichtum kam.



Eugen Langen (1833-1895)

Langen erkannte gleich Ottos Potenzial, und schon im März 1864, erst einen Monat nach ihrem ersten Treffen, gründeten sie gemeinsam die erste Motorenfirma der Welt: „N. A. Otto & Cie.“. So konnte Otto weiter forschen und gewann 1867 bei der Weltausstellung in Paris für seinen "Flugkolbenmotor" (einem verbesserten Gasmotor) die Goldmedaille. Der Flugkolbenmotor war stoßfrei und verbrauchte nur ein Drittel von dem was Lenoirs Motor verbrauchte.

Die Fabrik zog in den Kölner Vorort Deutz um und änderte demnach ihren Namen in "Gasmotorenfabrik Deutz AG" (später Klöckner-Humboldt-Deutz AG). Sie begann, langsam Form anzunehmen und sich zu organisieren. Otto wurde kaufmännischer Direktor, ein gewisser Gottlieb Daimler wurde technischer Direktor und der Konstrukteur Wilhelm Maybach wurde Chefkonstrukteur. Langen blieb Vorstandsmitglied, nahm jedoch nicht mehr an den täglichen Geschäften teil.

² Siehe Kapitel 3.2.1.1 Das Viertaktverfahren

Nach nur 10 Jahren entwickelte sich das kleine Unternehmen zu einer großen Motorenfirma. Bis 1877 wurden 2640 Motoren für Industrie und Handwerk verkauft. Überall auf der Welt wurden neue Filialfabriken, unter anderem in Wien, Philadelphia und Paris eröffnet. Zusätzlich besaßen sie auch noch eine Lizenzvergabe im englischen Manchester. All dies förderte die Verbreitung des Otto-Gasmotors in der ganzen Welt und vor allem in den Industrieländern.

1876 schaffte Otto endlich den Fortschritt den er erreichen wollte: Er steigerte die Leistung des Flugkolbenmotors, indem er einen funktionierenden Viertaktmotor entwickelte. Für die ganze Entwicklung brauchte er knapp ein halbes Jahr, was auch heute noch Wissenschaftlern und Ingenieuren Respekt einflößt. Der Motor funktionierte einwandfrei und 20 Jahre lang war es nicht nötig, Änderungen an ihm vorzunehmen. Schnell ersetzte er den überholten Flugkolbenmotor.

Der neue Viertaktmotor benutzte als Treibstoff immer noch Gas. Erst 1884 entstand der erste, mit flüssigem Treibstoff funktionierende Motor. Deutz ließ den Apparat jedoch nicht patentieren und so kam es, dass andere Unternehmer, wie zum Beispiel Robert Bosch, die Maschine kopierten und dadurch ihr Unternehmen ins Geschäft brachten.

Der Motor, von dem Otto seit 25 Jahren geträumt hatte war endlich da. Er hatte einen Motor erfunden, der sowohl in der Industrie als auch in alltäglichen Fahrzeugen nutzbar war. Nun war die Kraft nicht mehr bloß den Reichen und Herrschern zugeordnet, in Form von Arbeitskräften und Pferden, sondern war gleich verteilt, in Form des neuen Verbrennungsmotors, der nun nicht mehr wie die Dampfmaschine an einen Kessel oder an Schienen gebunden war. Bald schon begann der Viertaktverbrennungsmotor Zugpferde, Windmühlen und noch vieles mehr aus dem Leben der Menschen zu verdrängen. Nichts stand der Produktion der ersten Automobile mehr im Weg.

2.2 Rudolf Diesel

Wie der Name schon verrät, ist Rudolf Diesel der Erfinder des Dieselmotors. Dieser Motor ist heute gemeinsam mit dem Ottomotor fast überall präsent.



Rudolf Diesel (1858-1913)

Rudolf Diesel wurde 1858 in Paris geboren. Seine Eltern waren Migranten aus Bayern und besaßen in Paris eine kleine Fabrik für Lederarbeiten. Rudolf musste ihnen sehr oft in der Fabrik helfen. Nach und nach wuchs in ihm eine Leidenschaft für Maschinenbau und Ingenieurwesen. Da seine Eltern zu arm waren, um ihm das Studium zu bezahlen, schickten sie ihn nach Deutschland zu einem Onkel. Dort studierte er Ingenieurwissenschaften an der technischen Hochschule München. Diesel ist ein sehr fleißiger Schüler und hat sehr gute Noten. Er schreibt zum Schluss sogar das beste Examen seit Gründung der Schule.

Als Rudolf Diesel sein Studium abschließt hat er eine Idee: Er möchte einen Motor entwickeln, der billig genug sein würde um ihn auch an kleine Fabriken, oder an mehr Privatleute zu verkaufen. Trotz seiner Handlichkeit bleibt der Ottomotor nämlich teuer und verbraucht viel Benzin. Für seinen Motor erzeugt Diesel im Kolben eine solche Hitze dass ein Tropfen Treibstoff genügt um eine Explosion im Kolben zu verursachen. Diesel braucht jedoch sehr viele Versuche bis seine Erfindung richtig funktioniert. Er muss das richtige Gemisch für seinen Treibstoff finden und zudem die einzuspritzende Menge feststellen. Während seiner Versuche explodierte ihm einmal ein Prototyp ins Gesicht. 1897 war der Motor dann schlussendlich funktionstüchtig und Diesel konnte ihn zum Patent anmelden. Doch sobald der Motor fertig war, behaupteten viele Wissenschaftler und Ingenieure, sie hätten den Motor vor ihm erfunden. Diesel musste seine Erfindung oft vor Gericht verteidigen.

Rudolf Diesels Tod am 29.09.1913 war tragisch. Diesel war am Ende seines Lebens sehr arm. Er hatte sein Geld schlecht angelegt und hatte auch Probleme mit der Produktion seiner Motoren erlebt. All das nagte immer mehr am Reichtum, den er durch seine Erfindung erlangt hatte. Trotz seiner Berühmtheit hatte er kein Geld mehr und musste sogar das Familienauto verkaufen. Während einer Schiffsüberfahrt von Belgien nach England stürzte er über Bord. Man könnte auf Selbstmord schließen, aber ein Mord wäre auch nicht auszuschließen. An dem Abend war Diesel gut gelaunt, hatte gut gegessen und redete begeistert von der Zukunft seines Motors.

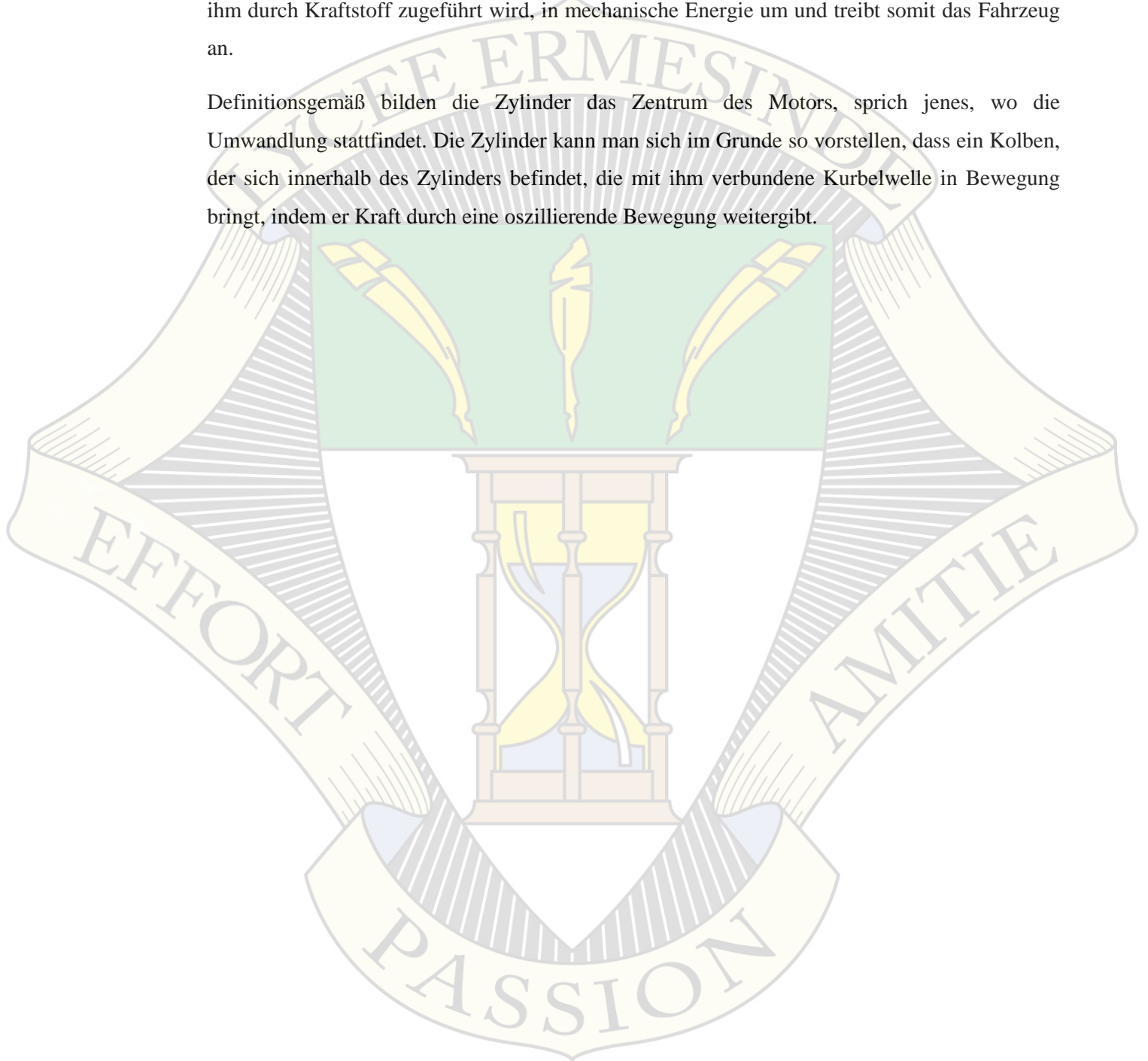


3. DER VERBRENNUNGSMOTOR

3.1 Der Aufbau des Verbrennungsmotors

Der Motor bildet das Herz des Wagens, da er ihn antreibt. Er wandelt chemische Energie, die ihm durch Kraftstoff zugeführt wird, in mechanische Energie um und treibt somit das Fahrzeug an.

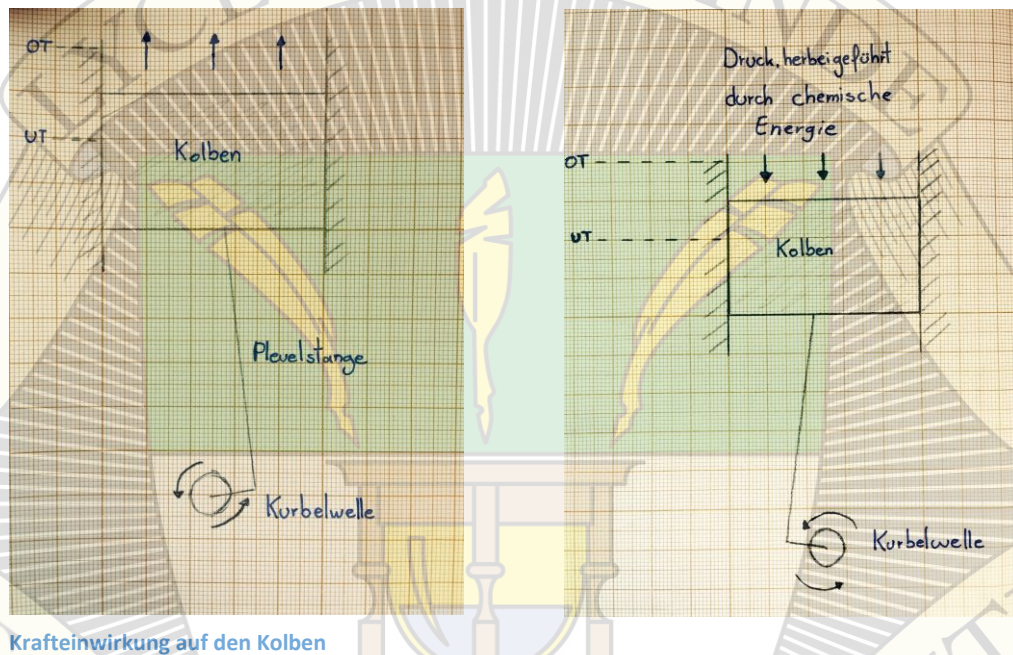
Definitionsgemäß bilden die Zylinder das Zentrum des Motors, sprich jenes, wo die Umwandlung stattfindet. Die Zylinder kann man sich im Grunde so vorstellen, dass ein Kolben, der sich innerhalb des Zylinders befindet, die mit ihm verbundene Kurbelwelle in Bewegung bringt, indem er Kraft durch eine oszillierende Bewegung weitergibt.



3.2 Die Funktionsweise des Verbrennungsmotors

Die Arbeit im Zylinder wird verrichtet, indem sich die im Treibstoff³-Luftgemisch befindliche Energie freisetzt und somit den Kolben antreibt.

Die Pleuelstange, die durch ein Gelenk beweglich am Kolben befestigt ist, folgt in einer rotierenden Bewegung der Kurbelwelle, sodass sie nach einer halben Umrundung, sprich 180° um die Kurbelwelle, den Kolben wieder nach oben drückt.



3.2.1 Die Takte

Jeder Takt beschreibt die Aktion, die im Zylinder geschieht, wenn sich der Kolben von ganz oben (oberer Totpunkt, kurz OT) nach ganz unten (unterer Totpunkt, UT) bewegt, sprich nach Abschluss eines Kolbenhubes. Die gängigsten Arten sind 4 und 2 Taktmotoren, wobei in heutigen Fahrzeugen meistens 4-Takt-Motoren verbaut werden, da diese sich als umweltfreundlicher, leiser und pflegeleichter erwiesen haben.

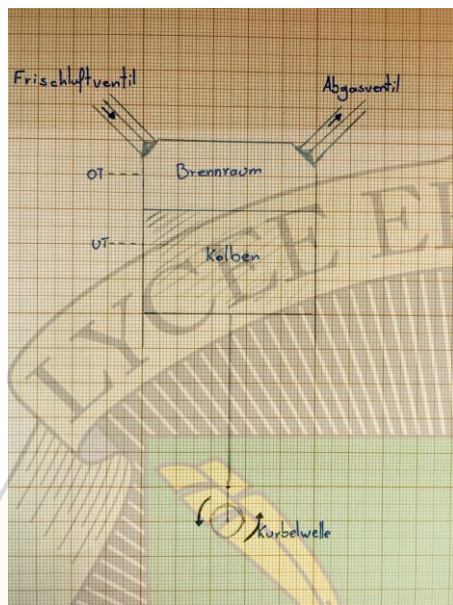
3.2.1.1 Das Viertaktverfahren

Das Viertaktverfahren wurde von Nikolaus Otto erstmals erdacht. Beim Viertaktverfahren⁴ wird die Kraftstoffzufuhr mittels Ventilen gesteuert, die durch einen Kettentrieb mit der Kurbelwelle

³ Siehe Kapitel 5. Kraftstoffe

⁴ Im Laufe dieses Mémoires wurde ein Funktionsmodell eines Viertaktmotors angefertigt, welches im Kapitel 3.3 näher erläutert wird.

verbunden sind. Somit öffnen und schließen die Ventile proportional zu den Umrundungen der Kurbelwelle und dementsprechend auch zum Kolbenhub.



Veranschaulichung Ladungswechsel

Das Viertaktverfahren basiert auf dem Prinzip:

1. Ansaugen, 2. Verdichten, 3. Expandieren, 4. Ausstoßen

1. Ansaugen :

Beim ersten Takt befindet sich der Kolben am oberen Totpunkt, was bedeutet, dass alle Ventile geschlossen sind und kein Raum mehr zwischen den Ventilen und dem Kolben verbleibt. Anschließend bewegt sich der Kolben in Richtung unterer Totpunkt, sodass die Ventile geöffnet werden, die die Frischluft bzw. das Frischluft-Kraftstoffgemisch in den Zylinder mittels Unterdruck ansaugen.

2. Verdichten:

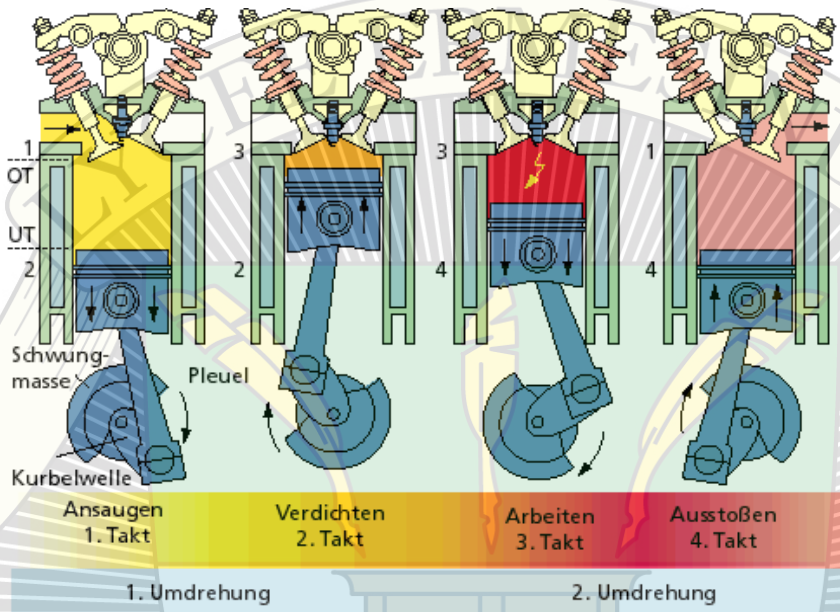
Der Kolben bewegt sich nun wieder in Richtung des oberen Totpunktes und alle Ventile schließen sich. Da das Kraftstoff-Luftgemisch nicht entweichen kann, wird es komprimiert und entweder durch einen Hochspannungsfunken (Ottomotor), der von der Zündkerze ausgeht gezündet. oder durch den Druck (Dieselmotor), der im Inneren des Zylinders herrscht.

3. Expandieren:

Durch die Zündung des Gemisches entsteht ein Überdruck im Zylinder, sodass der Kolben zum unteren Totpunkt gedrückt wird. Bei diesem Takt bleiben alle Ventile geschlossen, damit es zu keinem Druckabfall kommt. Lediglich in diesem Takt wird Arbeit verrichtet.

4. Ausstoßen:

Die sich im Zylinderinneren befindlichen Abgase werden nun mit dem letztem Zylinderhub Richtung oberen Totpunkt gepresst, wo sie schließlich durch ein geöffnetes Ventil entweichen. Der vierte Zylinderhub wird zusätzlich unterstützt, da durch das geöffnete Ventil ein Sog entsteht.



3.2.1.2 Das Zweitaktverfahren

Funktionsweise

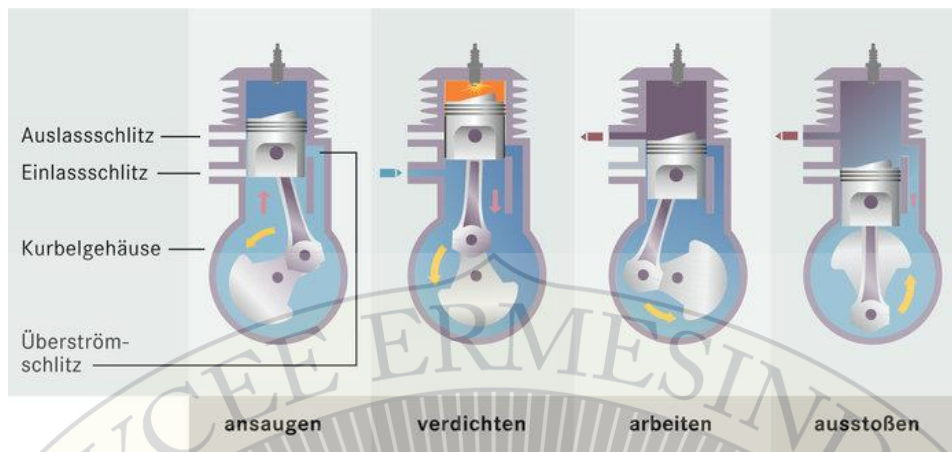
Das Zweitaktverfahren basiert, wie der Name schon sagt, auf 2 Arbeitsschritten, den Takten. Der Unterschied zum 4-Takt-Motor liegt nun darin, dass jeweils 2 Arbeitsschritte gleichzeitig ablaufen.

1. Ansaugen

Wir starten am unteren Totpunkt, der Kolben beginnt nun den Weg nach oben, (Richtung oberer Totpunkt)

1. Verdichten

Der nun entstehende Unterdruck im unteren Teil des Zylinders (Kurbelwellengehäuse) bewirkt ein Ansaugen von frischem Kraftstoff-Luft-Gemisch vom Vergaser in das Kurbelwellengehäuse.



3.2.1.3 Der Vergleich: Zweitaktmotor gegen Viertaktmotor

Takt	Position Kurbelwelle	4 Taktverfahren	2 Taktverfahren
1	0° - 180°	Ansaugen	Ansaugen + Verdichten
2	180° - 360°	Verdichten	Arbeiten + Ausstoßen
3	360° - 540°	Arbeiten	Ansaugen + Verdichten
4	540° - 720°	Ausstoßen	Arbeiten + Ausstoßen

Nun stellt man sich die Frage, wieso es beide Varianten eines Motors gibt. Demzufolge gehen wir auf die Vor- und Nachteile der jeweiligen Bauweise ein.

4-Takt-Motoren

Vorteile	Nachteile
Weniger Verbrauch	Benötigt doppelt so viele Takte ⁵
	Energie geht verloren bei Betätigung von Ventilen, Ketten,...

⁵ Der Motor arbeitet nur in einem von vier Takten. Beim Zweitaktmotor wird in einem von zwei Takten gearbeitet.

2-Takt-Motoren

Vorteile	Nachteile
Einfacher Aufbau (keine Ventile,...)	Höherer Kraftstoffverbrauch
Größere Literleistung ⁶	Schwierige Wärmeableitung
Geringeres Leistungsgewicht ⁷	Hohe Lärmbelastung
Geringe Wartungs-/Herstellungskosten	Hohe Abgaswerte

In heutigen Kraftfahrzeugen werden vor allem 4-Takt-Motoren verwendet, da diese schlicht und ergreifend weniger Kraftstoff verbrauchen und weniger laut sind. Zweitaktmotoren findet man heutzutage beispielsweise in Motorsägen oder Motorrollern, bei denen der Kraftstoffverbrauch vernachlässigt werden kann.

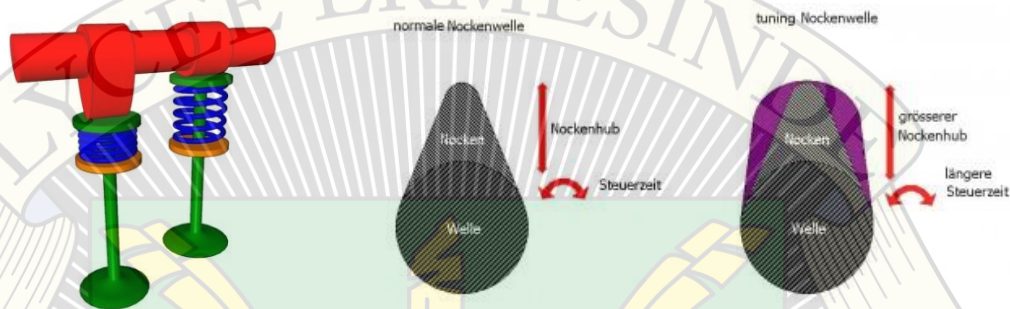
Zweitaktmotoren haben ein schnelleres Ansprechverhalten, welches jedoch nur bei kleineren Aggregaten bemerkbar wird. Zweitaktmotoren stoßen zudem mehr Abgase aus, da die Verbrennung meist nicht vollständig ausgeführt wird.

⁶ Literleistung : Leistung pro Hubraum, Bsp: Leistung: 100kW Hubraum : 1.8l Literleistung : 55,55kW

⁷ Leistungsgewicht : Leistung verteilt auf Masse

3.2.2 Die Nockenwelle

Das Arbeitsspiel, also jenes, was die mechanischen Abläufe im Motor regelt, wird von der Nockenwelle gesteuert, die mit der Kurbelwelle durch einen Kettentrieb verbunden ist. Durch die an der Nockenwelle befestigten Nocken werden die einzelnen Ventile betätigt und somit nach unten gedrückt. Durch eine Sprungfeder fahren die Ventile wieder zurück, nachdem kein Kontakt⁸ mehr zu den Nocken besteht.



Die Form der Nocken, ist für die Steuerzeiten ausschlaggebend (Abb. links), da sie bestimmt, wieviel Kraftstoff in den Zylinder einströmen kann. Je breiter die Nocke ist (lila), desto länger bleibt das Ventil geöffnet. Die Form der Nocken wird meist dann angepasst, wenn die Gesamtleistung des Motors gesteigert werden soll. Damit erzielt man ein höheres Drehmoment im oberen Drehzahlbereich, verliert dieses jedoch im unteren. Auch die Lebenserwartung des Motors wird dadurch reduziert.

Die Nockenwelle rotiert halb so schnell (Viertakt) wie die Kurbelwelle, da das Arbeitsspiel des Zylinders zwei Umrundungen (dementsprechend auch 4 Takte) der Kurbelwelle benötigt und während dieser vier Takte nur zwei mal ein Ventil betätigt werden muss. Daraus resultiert ein Übersetzungsverhältnis von 2:1.

Der Begriff Ladungswechsel beschreibt den Austausch der Zylinderfüllung, also jenes, was sich im Zylinder befindet und anschließend durch die Ventile ausgestoßen, bzw. angesaugt wird. Am Zylinder befinden sich mindestens zwei Ventile, ein Auslass- und ein Einlassventil.

Wie schon oben beschrieben, sind die Ventile für den Ladungswechsel ausschlaggebend, da sie beispielsweise den Treibstofffluss kontrollieren. Sie werden durch die Nockenwelle gesteuert, die mit der Kurbelwelle durch einen Kettentrieb verbunden ist. Das bedeutet, dass die Drehung der Nockenwelle und dementsprechend auch die Öffnungszeiten der Ventile von der Rotation der Kurbelwelle abhängig sind, beziehungsweise in einem Verhältnis zueinander stehen.

⁸ Keine Krafteinwirkung auf die Nocke

Die Nockenwelle kann entweder jeweils nur eine Art von Ventilen betätigen, oder die sogenannten Nocken sind so angeordnet, dass alle Ventile von nur einer Welle betätigt werden können.

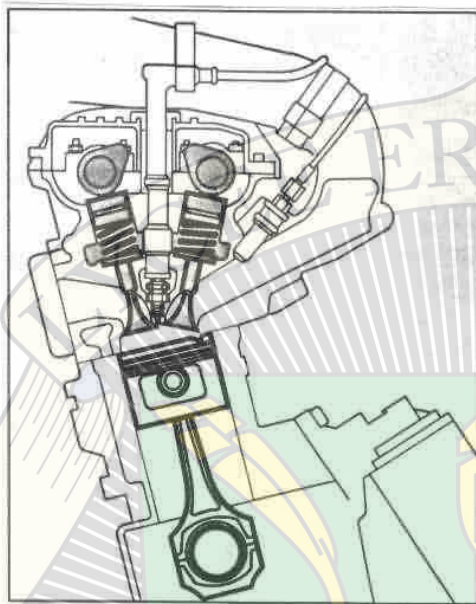


Bild 5.4: Anordnung der Ventile in einem Winkel zueinander

In diesem Beispiel sieht man, dass die Ventile von zwei Nockenwellen angetrieben werden. An den Ventilen befinden sich Sprungfedern, die, nachdem das Ventil betätigt wurde, zusammengepresst werden und sich dementsprechend anschließend wieder ausdehnen, um somit das Ventil wieder in die Ausgangsposition zu bringen.

Aus der Abbildung lässt sich schließen, dass es sich hierbei um einen Ottomotor handelt, da sich zwischen den Ventilen eine Zündkerze befindet, die die Zündung einleitet. Außerdem ist erkennbar, dass sich der Abgaskanal an der linken Seite befindet, da der Kanal an der rechten Seite mit einer Benzinzuführungsanlage ausgestattet ist.

Bezieht man sich nun auf die Nocken, die an den Ventilstößeln liegen, erkennt man, dass sie in einem Winkel von 90° angeordnet sind. Man beachte, dass beide Nockenwellen in die gleiche Richtung rotieren und ein Übersetzungsverhältnis von $1/2$ zur Kurbelwelle haben. Das bedeutet, dass sich die Nockenwellen mit halber Geschwindigkeit zur Kurbelwelle drehen.

Die Nocken, die beispielsweise die Auslassventile betätigen sind logischerweise anders angeordnet als jene, die die Einlassventile betätigen, da dessen Schließ- und Öffnungszeiten von den Takten abhängig sind. Das bedeutet, dass wenn eine Nocke das Einlassventil betätigt, tut die andere dies nicht beim Auslassventil.

Position Kurbelwelle	Position Nockenwelle	Takt	Kontakt	Einlassventil	Auslassventil
180°	90°	Ansaugen(1)	Betätigung	offen	geschlossen
360°	180°	Verdichten(2)	keine Betätigung	geschlossen	geschlossen
540°	270°	Expandieren(3)	keine Betätigung	geschlossen	geschlossen
720°	360°	Ausstoßen(4)	Betätigung	geschlossen	offen

Unabhängig von der obigen Tabelle können die Öffnungszeiten der Ventile justiert werden, so dass zum Beispiel zwischen dem 4. und dem 1. Takt beide Ventile geöffnet sind, wodurch ein Sog entsteht, der alle Reste der vorherigen Verbrennung ausströmen lässt. Dies hat den Vorteil, dass eine effektivere Verbrennung stattfindet. Da beide Ventile jedoch gleichzeitig geöffnet sind, wird auch eine kleine Menge (nicht verbrannter) Treibstoff ausgestoßen.

3.3 DER PRAKTISCHE TEIL

Die vielen Recherchen zu dem schriftlichen Teil der Arbeit haben uns dazu angeregt ein Funktionsmodell eines Verbrennungsmotors zu bauen. Als Vorlage dafür hatten wir einen 4-Takt Einzylinder Motor, der aus einem Motorrad entnommen wurde.

Zunächst stellte sich die Frage, ob wir den Motor 1:1 nachbauen sollten oder ob wir unserer Kreativität freien Lauf lassen sollten. Entgegen der Erwartung entschieden wir uns schließlich dafür, den Motor möglichst detailgetreu nachzubauen. Lediglich bei den verwendeten Materialien gibt es Unterschiede zum Original. Das Funktionsmodell basiert auf verschiedenen Hölzern, die uns zur Verfügung standen.

Bevor wir anfangen konnten, mussten wir erst das Original vermessen und die gesammelten Daten notieren, sodass es zu keinen Komplikationen während der Zusammenstellung gibt.

Anschließend konnten wir mit der Fertigung beginnen. Wir teilten uns auf, sodass sich jeder auf einige bestimmte Teile des Motors konzentrieren konnte. Es belief sich darauf, dass ich mich größtenteils auf die Arbeiten am Holz beschäftigt habe und Georges die Teile, die nicht aus Holz sind, auf einer Drehbank gefertigt hat. Natürlich kam es manchmal vor, dass der eine verschiedene Arbeiten des anderen übernommen hat, bzw. vollendet hat.

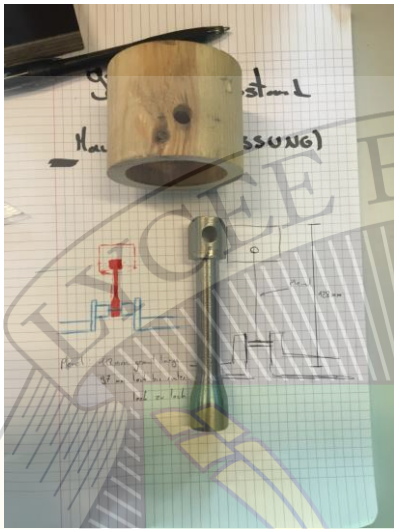
Wir merkten schnell, dass ein Funktionsmodell das ausschließlich aus Holz besteht, nicht, oder nur sehr schwierig zu betreiben ist, da Holz auf Holz eine relativ hohe Reibung hat. Dementsprechend entschieden wir uns dafür, alle beweglichen Teile, die irgendwo aufliegen mit Metall zu ummanteln. Das hat den Vorteil, dass weniger Reibungsverluste entstehen.

Auch kleinere Teile, wie zum Beispiel die Ventile, fertigten wir aus Metall, da das Holz unserer Meinung nach den Belastungen nicht standhalten würde.

Bemerkenswert war es, dass die Fehler, die wir begangen haben, ihre Ursache stets in der Tatsache hatten, dass es Kommunikationsprobleme gegeben hat. Das lag vor allem daran, dass wir oft in getrennten Räumen gearbeitet haben und somit weniger Möglichkeiten hatten, die gesammelten Informationen auszutauschen.

Der Kolben besteht aus Holz, dass aus einem Holzblock herausgebohrt wurde. Es ist eines der wenigen beweglichen Teile, das aus Holz besteht, da uns kein ebenso großer Metallblock zur Verfügung stand. Die Führung des Kolbens besteht aus Aluminium, was Reibungsverluste mindern soll.

Der Pleuel wiederum besteht aus Metall, bei dem wir darauf geachtet haben es dynamisch zu gestalten. Die Verbindung zwischen Pleuel und Kolben erfolgt durch einen simplen Bolzen, der durch die Öffnungen in Kolben und Pleuel geschoben wird.

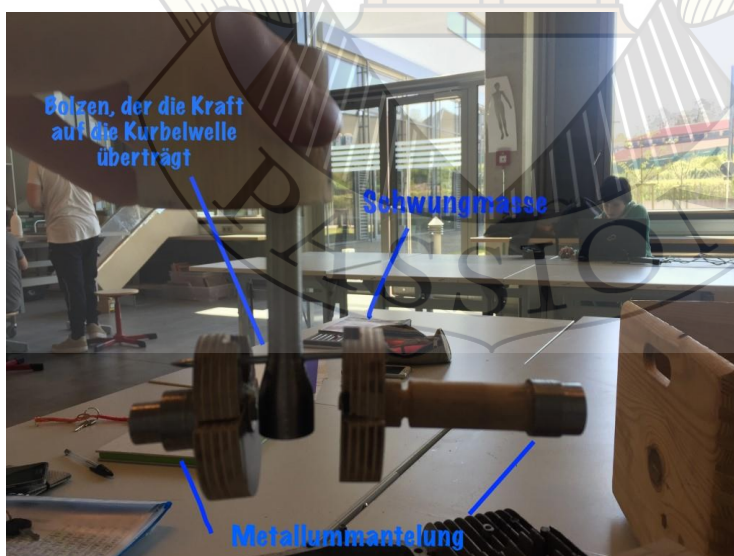


Oben Kolben aus Holz, Unten Pleuel aus Metall

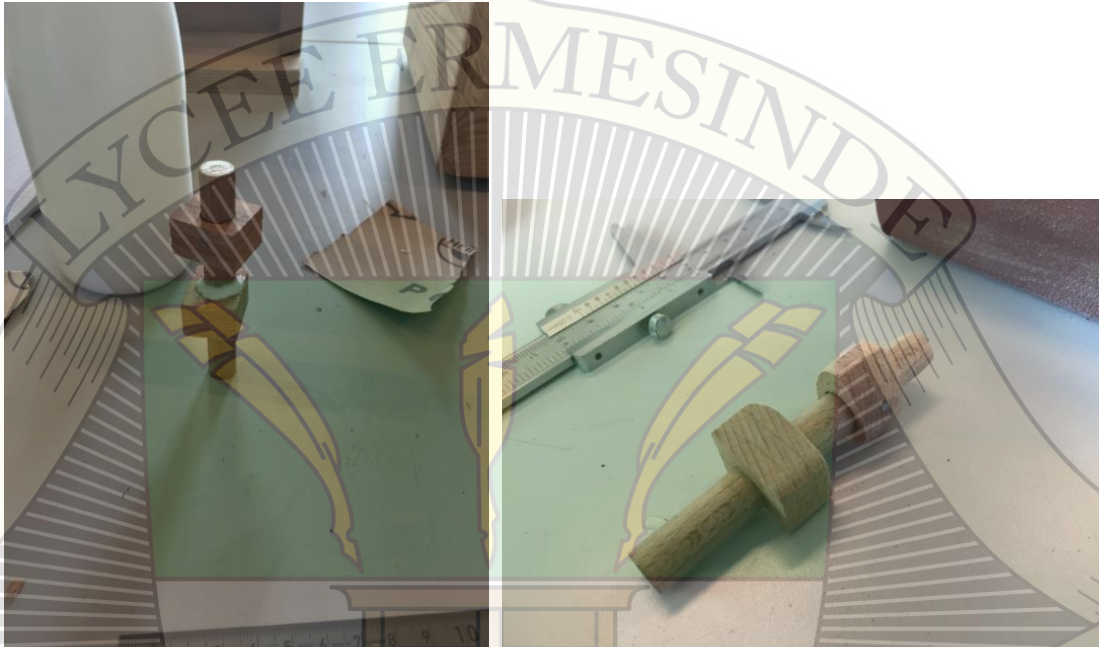
Die Ventile wurden sehr einfach gehalten, indem wir den Radius einer Metallstange (Basis für alle Bauteile des Modells, die aus Metall sind) verkleinert haben, um die Ventilführung zu schaffen. Lediglich ein Ende der Stange haben wir nicht behandelt, sodass es die Funktion des Ventilkopfes übernimmt.

Die Kurbelwelle besteht aus Holz, dessen Enden wieder mit Metall versehen sind. Des weiteren wurden Schwungmassen an der Welle angebracht, die durch einem Bolzen mit dem Pleuel verbunden sind.

In der Welle wurde eine Führung(Abb.) eingefräst, die den Riemen halten soll, der das Modell antreibt.



Die Nockenwelle wurde ebenfalls aus Holz gefertigt, da sie einer relativ geringen Belastung ausgesetzt ist, da sie lediglich die Ventile betätigen muss. Sowohl die Nocken, als auch die Welle selbst bestehen aus demselben Material und wurden mithilfe von Leim und Metallstiften miteinander verbunden. Die Schwierigkeit bestand darin eine originalgetreue Form der Nocken herzustellen.



Auf den Fotos ist zu erkennen, dass die Nocken aus drei verklebten Holzplatten bestehen (links), die anschließend abgeschliffen wurden (rechts).

Auf den folgenden Abbildungen ist das fertige Funktionsmodell zu sehen.



4. DIE LEISTUNG

4.1 Das Drehmoment

Das Drehmoment (Formelzeichen M) beschreibt Kraft (F) mal Hebelarm (r), die in einer rotierenden Bewegung auf einen Körper wirkt. Hierbei wird als Maßeinheit das Newtonmeter (Nm) verwendet.

Der Betrag der Kraft (M) ergibt sich aus dem Produkt der Länge des Hebelarms(r) und dem Betrag der wirkenden Kraft(F) auf den Hebelarm. Daraus resultierend ergibt sich:

$$M = r \cdot F$$

bzw. in vektorieller Form:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Diese Formel ist applizierbar auf ganz herkömmliche Dinge wie z.B. das Lösen einer Schraube mit einem Schraubenschlüssel.

Beispielrechnung :

Hebellänge (r)	0,5m
Kraft (F)	1000 N
Gesucht	Drehmoment (M)

Berechnung: $1000\text{N} \cdot 0,5\text{m} = 500\text{ Nm}$

Im Fall eines Motors, bei dem die Kraft auf die Kurbelwelle übertragen wird, bestimmt das Drehmoment zusammen mit der Drehzahl⁹ der Welle, die übertragene Leistung.

Merksatz: Leistung ist proportional zum Produkt aus Drehmoment und Drehzahl.

Die Leistung (P) lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$P = 2\pi \cdot M \cdot n$$

Wobei M das Drehmoment ist und n die Drehzahl (in 1/s ausgedrückt).

Beispielrechnung :

Ein Motor läuft bei einer Drehzahl von 2000 Umdrehungen in der Minute bei einem Drehmoment von 90Nm. Wieviel kW leistet die Maschine in einer Minute?

⁹ Definition Drehzahl : Die Anzahl der Drehungen der Kurbelwelle um ihre eigene Achse. Im Alltag in Umdrehungen pro Minute ausgedrückt.

Gegeben:

$$n = 2000 \cdot 1/\text{min} = 33,3 \cdot 1/\text{s}$$

$$M = 90 \text{ Nm}$$

$$\text{In der Formel: } P = 2\pi \cdot 90 \text{ Nm} \cdot 33,3/\text{s} = 18,8 \text{ kW}$$

Fazit: Die Maschine leistet in einer Minute, bei einer Drehzahl von 2000 Umdrehungen pro Minute, 18,8 kW.



4.2 Die Kräfte

Im Inneren eines Motors herrschen verschieden Kräfte, die mittels verschiedenster Bewegungen der einzelnen Komponenten übertragen werden.

4.2.1 Die Gaskraft

Die Kraft, die den Kolben nach unten drückt, wird Gaskraft genannt, da sie entsteht, wenn das Gasgemisch gezündet wird und somit Druck entsteht, der den Kolben fortbewegt.

Sie ist verantwortlich für zwei Prozesse:

- die oszillierende (auf und ab) Bewegung des Kolbens
- die rotierende Bewegung der Kurbelwelle

4.2.2 Die Massenkraft

Im Motor herrschen Massenkkräfte, die durch das Umherschwingen des Pleuels entstehen. Das bedeutet, dass das Pleuel, welches eine gewisse Masse besitzt, für Ungereimtheiten¹⁰ im Motor sorgt, da es zwar konstant eine Kraft ausübt, jedoch nie in alle Richtungen gleichzeitig.

Aus diesem Grund sind an der Kurbelwelle Schwungmassen angebracht, die dieser Kraft entgegenwirken sollen. Anders erklärt wird die von dem Pleuel verursachte Massenkraft F_1 von der von der Schwungmasse verursachte Massenkraft F_2 ausgeglichen, da sie 180° (sprich exakt umgekehrt) von der Kurbelwelle aus wirkt.

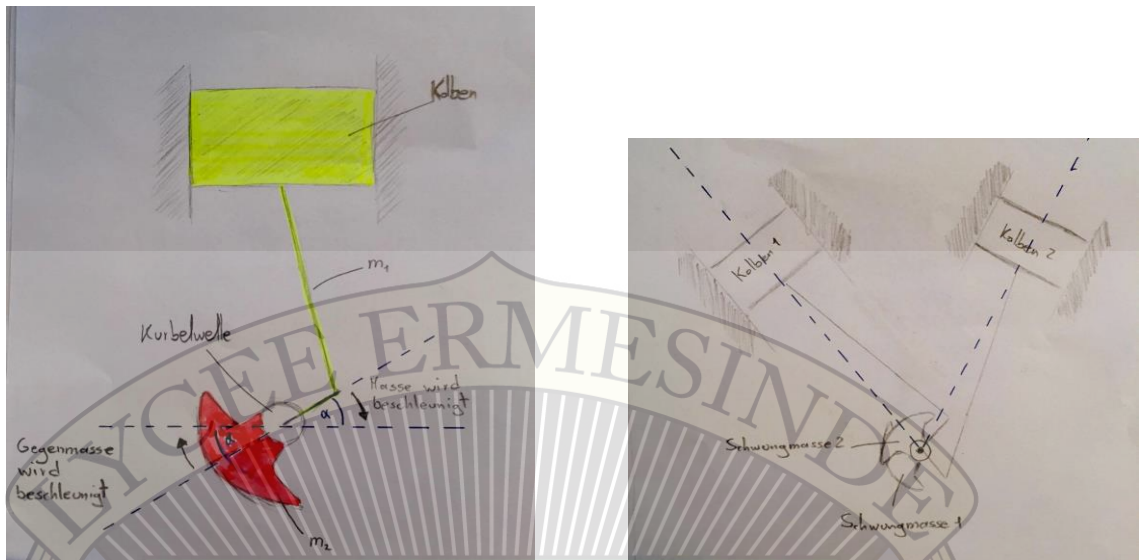
Daraus ergibt sich:

Je nach Anzahl der Pleuel (V-Motor, W-Motor..) ¹¹, muss die Masse, beziehungsweise die Form der Schwungmasse(n) angepasst werden.

Im Fall des Boxermotors, bei dem zwei Kolben in einem Winkel von 180° zu einander auf die Kurbelwelle eine Kraft ausüben, wird meist keine Schwungmasse benötigt, da sie die von ihnen verursachten Massenkkräfte gegenseitig ausgleichen.

¹⁰ Kräfte die den Motor vibrieren lassen

¹¹ Zylinder sind V- bzw. W-Förmig angeordnet. Eine Zylinderreihe ist einer weiteren gegenüber angeordnet, bzw. Zwei weiteren (W-Motor).



Veranschaulichung der Schwungmasse(m_2), V-Motor

Dies funktioniert jedoch nur wenn die von dem ersten Kolben übertragene Kraft gleich der des zweiten ist. Kommt es zu einem Leistungsabfall in einem der Zylinder, ergeben sich Ungereimtheiten und mehr Massenkräfte herrschen, wodurch auch der Energieverlust steigt.

Heute übliche Motoren in Pkw laufen im 4 Takt-Verfahren.

Da der Kolben nur im 3.Takt (Expandieren/Arbeiten) Kraft an die Kurbelwelle übermittelt, entsteht eine gewisse Laufunruhe des Motors, da sie nicht konstant angetrieben wird.

Dies ist ein Grund, wieso die Zündungen versetzt durchgeführt werden, sodass ein gleichzeitiges Antreiben aller Kolben verhindert wird. Damit würde sich der Effekt nur noch verstärken.

Es würde auch dazu beitragen, die Kurbelwelle zu entlasten, da sich diese unter permanenten Einfluss einer auf eine bestimmte Stelle konzentrierte Krafteinwirkung, verformen würde (wenn auch nur minimal).

4.3 Die Leistungssteigerung

Um Motoren einen höheren Wirkungsgrad zu verleihen, sprich die Effizienz zu erhöhen, werden heutige Motoren aufgeladen. Das hat der Vorteil, dass man Motoren kleiner konstruieren kann, bei einer gleichen oder höheren Leistung, als größere Motoren ohne Aufladung.

Man spricht auch von Downsizing.

Durch verschiedenste Aufladungsarten kann, je nach Bedarf das Hubvolumen im Zylinder, beziehungsweise die Anzahl der Zylinder verringert werden, was dementsprechend weniger Kraftstoff benötigt und die Reibverluste minimiert.

Vorteile der Aufladung	Nachteile der Aufladung
<ul style="list-style-type: none">• geringer Bauaufwand	<ul style="list-style-type: none">• hohe Belastung der einzelnen Komponenten
<ul style="list-style-type: none">• Anzahl der Zylinder kann verringert werden	<ul style="list-style-type: none">• Turboloch bei niedrigen Drehzahlen
<ul style="list-style-type: none">• der Motor wird kürzer	
<ul style="list-style-type: none">• weniger Gewicht	
<ul style="list-style-type: none">• Verhältnis Leistung/Gewicht	
<ul style="list-style-type: none">• weniger Leistungsabfall bei geringer Luftdichte	
<ul style="list-style-type: none">• kostengünstig	

Die häufigsten Aufladungsarten bei Verbrennungsmotoren sind:

- Mechanische Aufladung
- Turboaufladung

Die gängigste Art Motoren aufzuladen ist heutzutage die Turboaufladung, da dessen Prinzip sehr simpel und vergleichsweise kostengünstig ist. Auch Motoren, die von Werk aus ohne einen Turboauflader ausgestattet sind, lassen sich einfach aufrüsten, da weder in den Kurbel- oder Nockenwellentrieb eingegriffen wird.

"Da gibt es Unterschiede in den Details, doch generell gilt, dass die neuen Turbomotoren hubraumkleiner, zugleich aber sparsamer und leistungsstärker werden" - Josef Schwuger

4.3.1 Die Turboaufladung

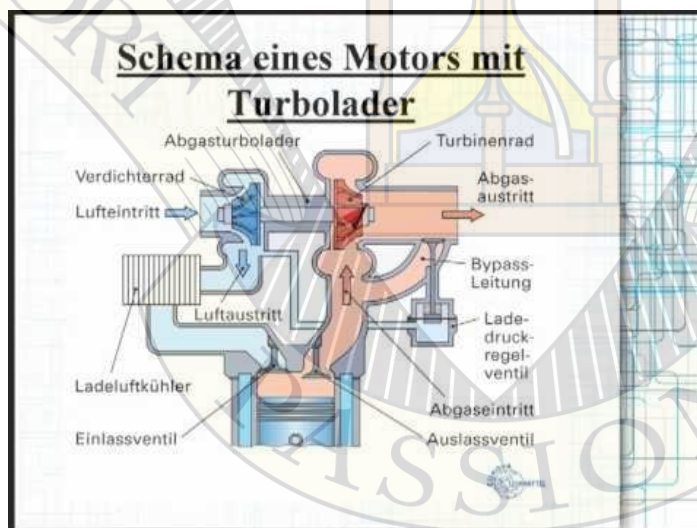
Die Turboaufladungstechnik wurde 1905 vom Schweizer Alfred Büchi erfunden. Büchi bemerkte, dass bei herkömmlichen Autos zwei Drittel der Energie beim Abgasstrom als Wärme verloren gingen. So kam er auf die Idee mit der Energie der Abgase eine Turbine anzutreiben. 1925 wurde dank dieser Erfindung bereits eine Leistungssteigerung der Motoren von über 40% registriert.

Die Turboaufladung, genauer gesagt, die Abgasturboaufladung(ATL) wird durch den Abgasstrom angetrieben, um dem Motor wieder Frischluft zuzuführen. Dabei ist der Lader nicht mit der Kurbelwelle verbunden, wodurch Reibverluste minimiert werden.

Der Lader besteht aus zwei Schaufelrädern, die durch eine Welle verbunden sind. Jedes Schaufelrad befindet sich jedoch in einem separaten Raum, sodass sich keine Gase vermischen können.

Das Prinzip funktioniert im Grunde so, dass der vom Zylinder ausgehender Abgasstrom auf ein Schaufelrad trifft, welches dann anfängt zu rotieren und dementsprechend das andere Antreibt. Das zweite Schaufelrad verursacht einen Sog und verdichtet die Luft zusätzlich, die anschließend wieder in den Zylinder geleitet wird.

Durch die höhere Dichte der Frischluft findet auch eine effizientere Verbrennung statt, die den Kolben (bei gleicher Kraftstoffzugabe) stärker antreibt als mit Luft normaler Dichte.



Funktion Turbolader

Zusätzlich am Turbolader befindet sich eine Bypass-Leitung, auch Wastegate genannt, die den Abgasstrom schneller ins Freie leitet, sodass das Schaufelrad bei Bedarf nicht weiter oder stärker angetrieben wird. Somit wird verhindert, dass der Druck auf das empfindliche Bauteil nicht zu groß wird.

In den 70ern und 80ern verbaute man erstmals Turbolader in herkömmlichen PKW. Jedoch trat stets das Phänomen auf, das Turboloch genannt wurde. Es beschrieb die nicht vorhandene Leistung im unteren Drehzahlbereich, wie zum Beispiel beim Anfahren.

"Bei einem Gangwechsel lief für zwei Sekunden alles im Rollbetrieb ab, dann kam der große Hammer. Ungefähr so, als ob einem an der Ampel ein anderer mit 30 km/h hinten drauf rauscht"... "oder kurz gesagt: heute Gas geben, morgen losfahren."

-Walter Röhrl, ehem. Rallyefahrer

Das Problem bestand darin, dass es sich hier um einen Kreislauf handelt, sodass jede Komponente von einer anderen Abhängig ist. Im unterem Drehzahlbereich wird der Abgasstrom mit weniger Druck abgegeben, dementsprechend wird weniger Druck auf das Schaufelrad ausgeübt, was wiederum dafür sorgt dass weniger Frischluft verdichtet wird.

Man könne nun denken, dass mit steigender Motorleistung, die Leistung der Turbine proportional ansteigt. Jedoch herrschten in der Turbine Trägheitsmomente, die erst ab einer bestimmten Drehzahl überwunden wurden. War die erforderliche Drehzahl erst erreicht, entfaltete sich das Potenzial der Turbine und verlieh dem Motor einen Leistungsschub, der wie oben Zitiert eine Art Impuls abgibt.

Das Problem wurde gelöst, indem man die Turbine kleiner konzipierte, wodurch sie zwar nicht mehr so effektiv war, jedoch ruhiger lief. Zudem wurde die Verbindungswelle zwischen den beiden Schaufelrädern nun gelagert, was die Reibung zusätzlich minimierte.

Das Turboloch lässt sich nicht beseitigen, jedoch kann man es auf ein Minimum reduziert, sodass man es nicht bemerkt, dass für einen Bruchteil einer Sekunde ein Leistungsausfall vorliegt.

Ladeluftkühler:

Die bereits verdichtete Ladeluft (verringertes Volumen bei gleicher Masse) wird abgekühlt, um das Volumen weiter zu senken, sodass proportional gesehen mehr Kraftstoff verbrannt werden kann, wodurch die Motorleistung gesteigert wird. Durch die niedrigere Temperatur werden die

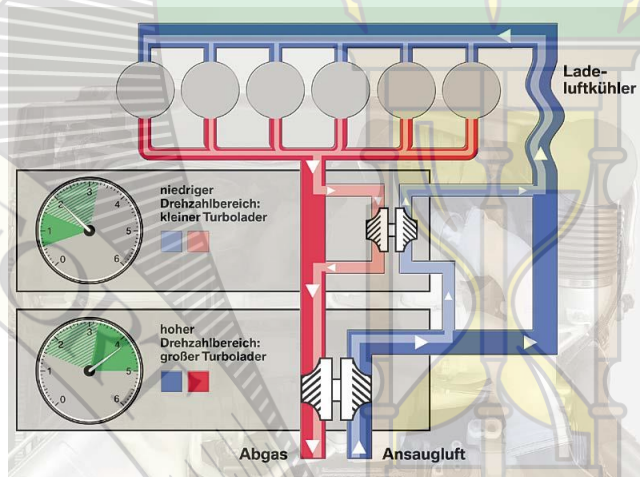
einzelnen Bauteile weniger beansprucht und der Turbolader kann bei niedrigeren Drehzahlen die gleiche Fördermenge an Luft liefern.

Ein Nachteil des Ladeluftkühlers ist, dass der Weg vom Turbolader zum Ventil dementsprechend länger wird, sodass die Luft eine größere Distanz zurücklegen muss, wodurch ein verschlechtertes Ansprechverhalten riskiert wird bei Lastwechseln¹².

4.3.1.1 Der Twin-/Biturbo

Wie der Name schon andeutet, handelt es sich hier um zwei Turbolader. Anstelle eines sehr großen Laders, werden zwei kleinere verwendet, die entsprechend kleinere Trägheitsmomente mit sich ziehen und somit das Turboloch weiter minimieren.

Jedoch bedeuten kleinere Turbolader, dass sie nur bis eine bestimmte Drehzahl effektiv arbeiten. Deshalb verwendet man heutzutage anstelle zwei kleine Turbolader, einen kleinen und einen etwas größeren, was den Vorteil hat, dass der Kleine bei niedriger Drehzahl vorverdichten kann und dementsprechend genug Druck erzeugt, um den Großen beim Überwinden der Trägheit zu helfen.



Biturbo

Wie auf dem Schema abgebildet, lässt sich entnehmen, dass der kleinere Turbo im niedrigem Drehzahlbereich vorverdichtet, damit der große Turbo anschließend hochverdichten kann. Bei hoher Drehzahl wird der Druck, mithilfe von Klappensteuerung auf die größeren Schaufelräder übertragen, um eine höhere Verdichtung zu erzeugen.

Dasselbe Prinzip gilt dementsprechend auch für Twinturbo-motoren und höher.

¹² plötzliche Beanspruchung von mehr Leistung

4.3.1.2 Der Turbo Compound

Der Turbo-Compound-Motor beinhaltet neben einem herkömmlichen Turbolader noch eine weitere Nutzturbine, die durch die aus dem Turbolader austretenden Abgase angetrieben wird. Diese wieder aufgenommene Energie kann durch einen Kettentrieb wieder der Kurbelwelle zugeführt werden, um die Motorleistung zusätzlich zu steigern. Andererseits könnte die Turbine auch als Generator fungieren, um somit beispielsweise die Versorgung der Bordelektronik zu unterstützen.

Jedoch ist diese Methode der Leistungssteigerung nur im größerem Maßstab bei zum Beispiel Schiffsmotoren (Swesda M520) sinnvoll einsetzbar, da die Effizienz im Vergleich zu reinen Turboladern im günstigstem Fall nur etwa 5% beträgt.

4.3.2 Die Kompressorenaufladung

Eine Frage die häufig gestellt wird ist: Was ist der Unterschied zwischen der Turboaufladung und der Kompressorenaufladung in Verbrennungsmotoren?

Zunächst einmal: Haben beide Verfahren Gemeinsamkeiten? Ja, denn bei beiden Verfahren wird verdichtete Luft in den Motor gepresst, was bedeutet dass man mehr Kraftstoff hinzugeben kann, was wiederum bedeutet, dass der Motor mehr Leistung liefert.

Der fundamentaler Unterschied besteht jedoch darin, dass der der Turbolader durch die Abgase angetrieben wird und der Kompressor mechanisch mit einem Keilriemen an den Motor gebunden ist und somit direkt in Verbindung zu den Motortrieben steht.

Vorteile eines Kompressors:

- Sofortige Mehrleistung auch in den unteren Drehzahlen (kein Turboloch)

Nachteile eines Kompressors:

- Geringer Wirkungsgrad im Vergleich zu einem Turbolader
- Kraftstoffverbrauch steigt leicht an

4.4 Der Leistungsverlust

Anhand eines Rechenbeispiels wird demonstriert wie viel Leistung durch Ungeschicktheit verloren gehen kann.

Man gehe davon aus, dass in einem 4 Zylinder Ottomotor bei einem der Zylinder die Zündung ausfällt, da der Motor nicht entsprechend gewartet wurde.

Instinktiv würde man schlussfolgern, dass die Motorleistung um 25 % sprich 1/4 abfallen würde, da nur noch drei Aggregate Arbeit verrichten und dementsprechend die von ihnen praktizierte Leistung addiert wird.

Im Grunde genommen erscheint diese Überlegung logisch, jedoch wurde der Wirkungsgrad des Motors nicht in Betracht gezogen. Das bedeutet, dass alle Kolben eine Reibleistung praktizieren, die natürlich geringer ist, als die Zylinderleistung. Man stelle sich vor der Motor liefere eine effektive Leistung von $P = 100\text{kW}$ bei einem mechanischem Wirkungsgrad von 85%, was darauf schließen lässt, dass der Motor theoretisch eine Leistung von 117,6 kW bereitstellen müsste. Die Differenz von 17,6kW (15%) kommt durch Reibungs- und Ladungsverluste zustande, die gleichmäßig auf die Kolben verteilt werden :

$$17,6\text{kW} : 4 = 4,4 \text{ kW}$$

Verteilt man die effektive Leistung des Motors auf die einzelnen Zylinder, ergibt sich :

$$100\text{kW} : 4 = 25 \text{ kW}$$

Aus diesen Werten kann man darauf schließen, dass ein Zylinder eine theoretische Leistung von 29,4 kW und eine effektive, sprich tatsächliche, Leistung von 25kW ausübt.

Man stelle nun einmal die Rechnung im Falle von vier arbeitenden Zylindern auf :

$$29,4 \text{ kW} * 4 - 4,4\text{kW} * 4 = 100\text{kW}$$

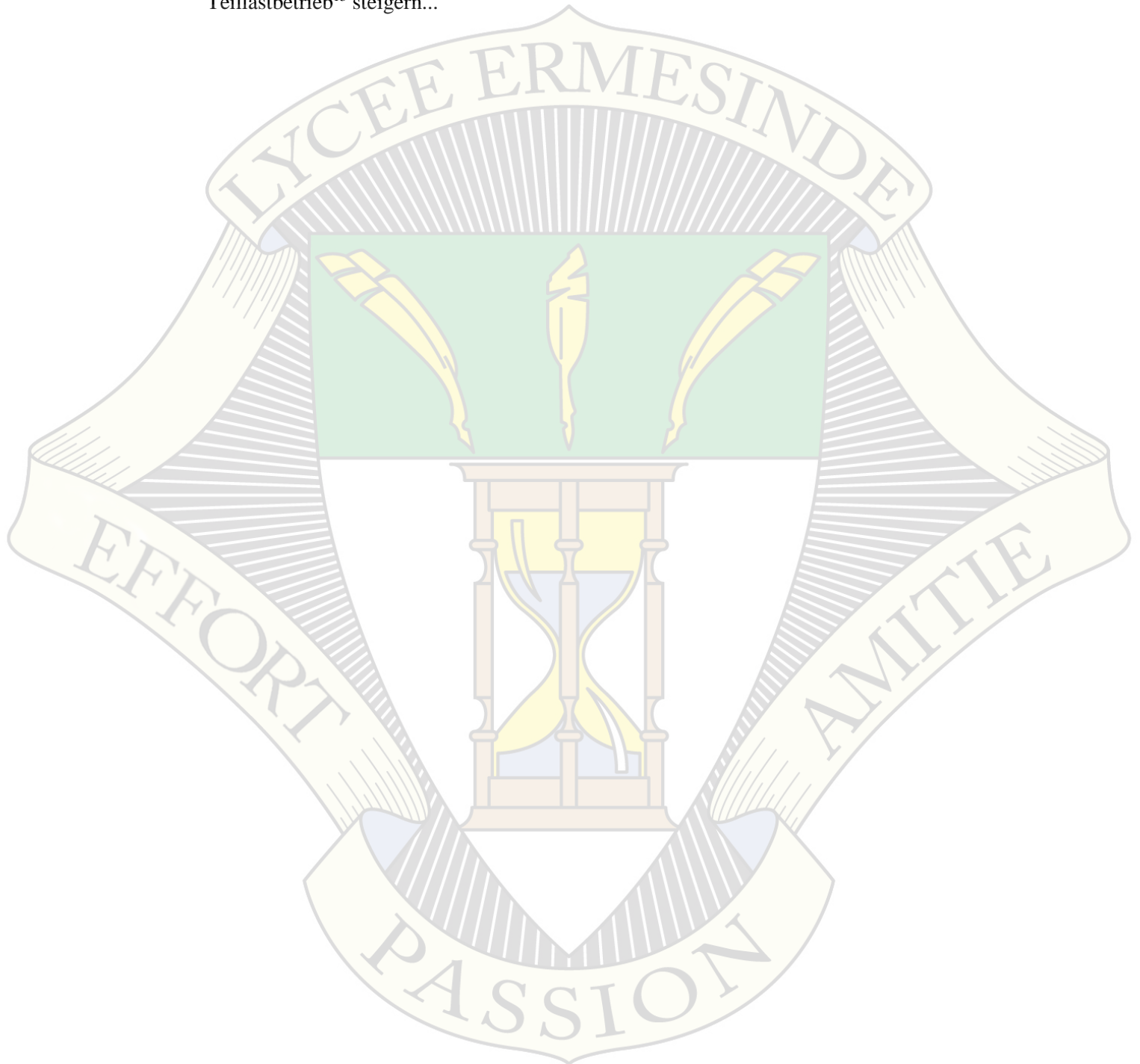
Im Falle von nur drei arbeitenden Zylindern :

$$29,4 \text{ kW} * 3 - 4,4\text{kW} * 4 = 70,6\text{kW}$$

Die ausgefallene Zylindereinheit vermindert die Gesamtleistung zusätzlich, indem die von dessen Kolben ausgehende Reibungsverluste, ihr entgegenwirken.

Somit beantwortet man die oben gestellte Frage mit der Antwort 29,4%. Um den Leistungsverlust jedoch noch präziser auszudrücken muss man aber auch die Thermodynamik des Motors in Betracht ziehen.

Schaltet man jedoch kontrolliert einige Zylinder ab, kann man die Effizienz des Motors im Teillastbetrieb¹³ steigern...



¹³ Teillast : Weniger Leistung wird benötigt, als bereitgestellt werden kann.

4.5 Die Zylinderabschaltung

Die Zylinderabschaltung ist ein System das in den späten 70er Jahren Entwickelt wurde um den Treibstoffverbrauch von Verbrennungsmotoren zu verringern.

Dieses Verfahren gerät immer häufiger in den Fokus der Automobilbranche, da dies ein Weg ist, um die Effizienz von heutigen und zukünftigen Motoren zu steigern.

Mittlerweile werden Motoren für PKW gebaut, die mit einem Modul ausgestattet sind, die eine Zylinderabschaltung durchführen können. Ein Beispiel für solch ein Konzept wäre der 1.4-1-TSI Motor von Volkswagen, welcher in der Lage ist 2 seiner 4 Zylinder abzuschalten, um weniger Kraftstoff zu verbrauchen, wenn weniger Leistung benötigt wird.

Arten der Zylinderabschaltung:

Es gibt mehrere Arten, wie man den Zylinder abschalten kann :

- 1) Das Abschalten der Kraftstoffzugabe
- 2) Das Abschalten der Kraftstoffzugabe und der Ventile
- 3) Das Abschalten des gesamten Kolbens

1)

Strömt kein Kraftstoff mehr in den Zylinder, findet auch keine Verbrennung statt, die dafür sorgt, dass die betroffenen Zylinder Kraftstoff verbrauchen, deswegen aber auch keine Arbeit verrichten, die die Gesamtleistung steigert.

Da die von der Nockenwelle gesteuerten Ventile jedoch weiter dem Takt folgen, wird nun Luft angesaugt und wieder ausgestoßen, weshalb Ladungsverluste entstehen.

Zusätzlich treten die uns bekannten Reibungsverluste auf, die sich wiederum negativ auf die Gesamtleistung auswirken.

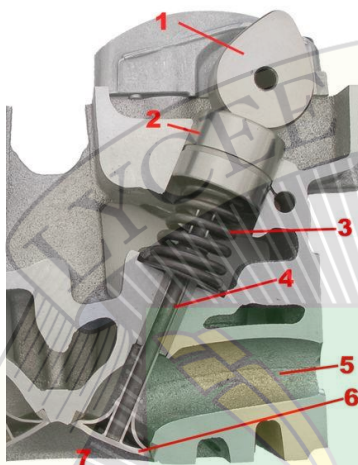
Aus diesen Gründen hat sich diese Methode der Zylinderabschaltung nicht durchgesetzt.

2)

Werden jedoch die Ventile geschlossen, wird der Luftzustrom gestoppt, sodass keine Ladungsverluste entstehen. Lediglich die Im Zylinder "gefangene" Luft muss komprimiert

werden was Arbeit kostet. Diese wird aber wieder zurückgegeben während der Expansionsphase des Motors, sprich von OT zu UT.

Das Problem der Ventilabschaltung ist, dass die Ventile in der Regel mechanisch von der Nockenwelle, die mit der Kurbelwelle verbunden ist, betätigt werden.



Gaskanal (5), Brennraum (7)

Das Ventil (4 + 6) wird über eine Feder (3) und einen Tassenstößel (2) von der Nocke(1), die mit der Nockenwelle verbunden ist, betätigt. Das Ventil müsste auf eine Weise ausgekoppelt werden, ohne das die Nocke den Tassenstößel betätigen kann, der das Ventil öffnet. Beispiele für solche Motoren wären der TSI- Motor von VW oder 8Zylinder Motoren von Audi.

Jedoch treten bei dieser Methode immer noch Reibungsverluste auf, da sich der Kolben immer noch (oszillierend) bewegt...

3)

...aus diesem Grund müsste man den Kolben von der Kurbelwelle lösen können, wodurch dieser sich nicht mehr bewegen würde und dementsprechend keine Reibungsverluste mehr verursachen würde. Jedoch müsste man dann in den Kurbeltrieb des Motors eingreifen, der die Kraft der einzelnen Zylinder übermittelt.

Man müsste entscheiden ob man den Pleuel von der Kurbelwelle lösen soll oder den Kolben vom Pleuel. Abgesehen davon, dass der Kolben in beiden Fällen durch die Zylinderlaufbuchse rutschen würde, würde auch das Pleuel unkontrolliert umherschwingen und sich im schlimmsten Fall verkeilen und den Motor beschädigen.

Problematisch würde sich auch das einkoppeln des Kolbens oder des Pleuel mit der Kurbelwelle herausstellen, die ihre Drehzahl nicht verringern kann, da sonst Antrieb verloren geht.

Das sind nur einige Gründe weshalb bisher noch kein Konzept solcher Art in Serie erschienen ist.

Verwendung der ZAS:

Die ZAS wird häufig in Motoren mit mehr als 6 Zylindern angewendet, da es bei Aggregaten mit einer kleinen Anzahl von Zylindern schneller zu einer Laufunruhe des Motors kommen könnte. Bei einer größeren Anzahl von Zylindern, lassen sich die Massenkräfte besser ausgleichen. (siehe Massenkräfte)

Lediglich Volkswagen setzt diese Technik in einem Vierzylinder-Aggregat ein, bei denen noch penibler auf den Massenausgleich geachtet werden muss. Erfahrungsberichten zufolge wird das Abschalten (2. Variante) jedoch kaum wahrgenommen und erfolgt in der Regel im unteren und mittleren Drehzahlbereich zwischen 1400 und 4000 Umdrehungen pro Minute.

Das Prinzip der ZAS geht bis in die 70er Jahre zurück und wurde damals schon von Mercedes-Benz und Audi angewendet. Da damals nur PKW mit einer großen Anzahl an Zylindern (Massenausgleich) mit diesem System bestückt waren, war dementsprechend die Leistung dieser Motoren höher. Es handelte sich fast ausschließlich um Sportwagen, dessen Besitzer recht wenig Wert auf eine ökonomische Fahrweise gelegt haben – weshalb es in den Augen der Motorenentwickler als nicht rentabel angesehen wurde, diese Technik weiter zu erkunden, da sie niemand beanspruchen wollte. Ein möglicher Grund für ein solches Verhalten ist der damals ausgesprochen niedriger Erdölpreis.

In heutigen Zeiten, in denen wir verantwortungsbewusster, sprich nachhaltig handeln müssen, wird die ZAS wieder interessant, da diese auf lange Dauer Umwelt und Geldbeutel schonen kann.

Die Abschaltung wird eingeleitet, sobald der Bordcomputer erkennt, dass weniger Leistung benötigt wird. Im Schnitt lohnt sich eine Abschaltung erst ab einer Dauer von circa drei Sekunden im Teillastbetrieb, da das Abkoppeln, bzw. Blockieren auch Kraftstoff verbraucht.

Um zu vermeiden, dass der Bordcomputer stets eine Abschaltung einleitet, wenn nur für eine kurze Zeit weniger Leistung benötigt wird - beispielsweise in einem Kreisverkehr oder einer kurvigen Straße -, beobachtet der Computer das Fahrverhalten (Gaspedal-, Bremspedal- und Lenkbewegungen), um solche Situationen schneller wahrnehmen zu können.

5. DIE KRAFTSTOFFE

5.1 Nennenswert Kraftstoffe

Chemischer Aspekt:

Der fundamentale Unterschied zwischen Benzin und Diesel ist die Länge der Alkane¹⁴, welche beim Benzin kürzer sind, als beim Diesel. Daraus folgt, dass beim Diesel mehr Energie freigegeben werden kann, da mehr Kohlenstoffteilchen vorhanden sind.

Finanzieller Aspekt:

Die Frage ob es ein Diesel oder ein Benziner werden soll, stellt sich bei jedem Neuwagenkauf. Ganz klar: Die Dieselvariante ist in der reinen Anschaffung um einiges teurer, was daran liegt dass im inneren eines Dieselmotors wesentlich höhere Drücke entstehen. Dadurch muss ein Dieselmotor dementsprechend robust gebaut werden, was natürlich zu Lasten des Preises fällt. Andererseits ist der Dieselmotorkraftstoff ein gutes Stück billiger. Nun lautet die Frage: Ab wann rentieren sich die höheren Anschaffungskosten?

Früher ging man davon aus dass sich Dieselfahrzeuge erst ab einer Laufleistung jenseits von 15000 km pro Jahr auszahlen, laut einer aktuellen Studie vom ADAC zahlt sich bei der Mehrheit der Fahrzeuge jedoch schon ab 10000 km pro Jahr die etwas teurere Dieselvariante aus.

Benzinsorten:

91er Benzin	früherer Normalbenzin, verschwindet nach und nach
Super	95 Oktan, heutzutage das am häufigsten getankte Benzin
V-Power 95	Normales Super, mit speziellen Zusatzstoffen
Superplus	Super (98Oktan) mit speziellen Zusatzstoffen. Hauptsächlich für Hochleistungsmotoren und Oldtimer. Super (100/102 Oktan) mit speziellen Zusatzstoffen, nur für Hochleistungsmotoren
Super E10	Besteht aus 10 % Ethanol und 90 % Benzin (95 Oktan). Ethanol wird aus stärkehaltigen Pflanzen wie z.B. Mais, Weizen, Zuckerrohr und Zuckerrüben gewonnen.
E85	Besteht aus 85% Ethanol und 15% Benzin, nur für speziell freigegebene Kraftfahrzeuge geeignet. Dieser Kraftstoff ist hauptsächlich Brasilien,

¹⁴ Alkane sind einfache Kohlenwasserstoffe, lediglich aus Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) bestehend.

	Schweden und USA auf dem Markt.
(E100)	Besteht aus 100% Ethanol. In unseren Gegenden nicht vertreten, anders in Brasilien, dort ist er Gang und Gebe.

Dieselsorten:

Diesel	Manche Tankstellen verwenden Zusätze wie z.B. FuelSave.
V-Power Diesel oder Ultimate-Diesel	Diesel-Spezialsorten: Sollen zündfreudiger sein, sauberer verbrennen, sowie einen Leistungszuwachs und Verbrauchsvorteil aufweisen.

5.1.1 Die Oktan- und Cetanzahl

Die *Oktanzahl* bestimmt die Klopfestigkeit eines Kraftstoffes, soll heißen je mehr Oktan im Kraftstoff enthalten ist desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer ungewollten Selbstzündung im Zylinder.

Die *Cetanzahl* beschreibt die Zündwilligkeit des Kraftstoffes, dieses Verhalten ist vor allem beim Dieseltreibstoff erwünscht. Außerdem bedeutet eine hohe *Cetanzahl* zu einem geringen Motorenverschleiß, sowie einen ruhigen Lauf des Motors.

5.2 Alternative Energieträger

Wir haben bereits gelernt, dass Verbrennungsmotoren Energie aus fossilen Energiequellen, wie zum Beispiel Erdöl beziehen. Auch wissen wir, dass die Verfügbarkeit dieser Energie leider limitiert ist, was bedeutet, dass wir schon in wenigen Jahrzehnten einen Mangel dieser Rohstoffe zu verspüren bekommen.

Zwar wurden zuletzt weiter Erdölvorkommen entdeckt, jedoch werden irgendwann auch diese verbraucht sein. Gerade deshalb erscheint es uns als wichtig schon heute nach alternativen Energieträgern Ausschau zu halten. Doch welcher Energieträger eignet sich am besten, um unseren Ansprüchen zu genügen? Die wichtigsten Aspekte sind die Umweltfreundlichkeit, die Verfügbarkeit und nicht zuletzt der Preis, bzw. die laufenden Kosten.

Wir ziehen den Vergleich zu jenen Energieträgern, die eine Alternative zu Benzin oder Diesel darstellen. Die hier beschriebenen Energieträger sind:

- Wasserstoff
- elektrischer Strom
- Erd- und Flüssiggas
- Biodiesel
- Pflanzenöl

5.2.1 Wasserstoff

Eine weitere Alternative zu konventionellen Motoren, sind die sogenannten Wasserstoffautos. Wie der Name schon andeutet, werden diese Motoren mithilfe von Wasserstoff (H_2) angetrieben, indem dessen chemische Energie in mechanische Energie umgewandelt wird.

Der größte Vorteil von Wasserstoff als Treibstoff sind die Abgase welche ausschließlich aus Wasserdampf bestehen. Hinzu kommt der höhere Wirkungsgrad, welcher bei bis zu 45 % liegt. (Im Vergleich, Ottomotoren erreichen einen Wirkungsgrad von lediglich 25-30 %). Außerdem ist Wasserstoff in unerschöpflichen Mengen verfügbar.

Jedoch muss man auch den Herstellungsprozess von Wasserstoff berücksichtigen der relativ gesehen sehr Energieaufwändig ist. Der Energieträger Wasserstoff, kommt in der Natur nahezu nicht als H_2 vor, da er sich stets mit anderen Stoffen bindet. Die uns am bekanntesten Beispiele sind Wasser (H_2O) und Methan (CH_4).

Damit Wasserstoff verbrannt werden kann, muss er zuerst von seinem Bindungspartner isoliert werden, um als reines H_2 gespeichert werden zu können. Dies wiederum benötigt 30% der Energie, die dadurch gewonnen werden soll. Man bedenke auch, dass Wasserstoff nur schwer zu speichern ist. Er muss flüssig gespeichert werden, um möglichst viel Platz zu sparen, weshalb er auf eine Temperatur von stets $-252,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ runtergekühlt werden muss. Zu beachten ist auch, dass dessen Tankstellennetz wesentlich kleiner ist, als jenes von Benzin, bzw. Diesel.

5.2.2 E-Motoren

Wir stellen einen Vergleich auf zwischen Verbrennungsmotoren und Motoren, die mithilfe von Akkumulatoren angetrieben werden. Dabei wurden die signifikantesten Merkmale miteinander verglichen.

	Verbrennungsmotoren	elektr. Motoren
Energieträger	Erdöl	elektr. Strom
Speicherbar	Ja	Bedingt
Verfügbarkeit	Limitiert	nicht limitiert
Abgase	Ja	Nein*

*Die Motoren selbst verursachen keine Emissionen, jedoch muss elektrischer Strom vorerst produziert werden. Dabei ist nicht gewiss, ob dieser Strom umweltfreundlich hergestellt wurde, da noch heute Strom aus fossilen Energieträgern produziert wird. Der Anteil grünen Stromes (in Deutschland) liegt bei knapp 33% der Rest wird umweltschädlich gewonnen (Stand 30.06.2015). Man könne also erst behaupten, dass E-Motoren emissionsfrei wären, wenn gewährleistet ist, dass der Strom, der von ihnen bezogen wird, umweltfreundlich hergestellt wurde.

Aus der Tabelle lässt sich entnehmen, dass der einzige Nachteil von elektrischen Motoren, die Tatsache ist, dass sich deren Energieträger nicht in ausreichender Kapazität speichern lässt.

Weitere Vorteile von sogenannten E-Motoren sind:

- Die Energie steht sofort zur Verfügung
- Keine Turbolader/Kompressoren, die Reibungsverluste mit sich bringen

Damit E-Motoren herkömmliche Verbrennungsmotoren verdrängen können müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- A) Strom muss in ausreichender Kapazität speicherbar sein
- B) Strom muss als Energieträger billiger sein als beispielsweise Benzin oder Diesel
- C) Der Kunde muss subventioniert werden
- D) Der Kunde darf nicht eingeschränkt werden

Die Funktionsweise eines Elektromotors ist im Grunde genommen simpel:

Indem eine Spule, die um die Antriebswelle liegt, elektrifiziert wird, entsteht ein Magnetfeld, das die Antriebswelle rotieren lässt, da diese sich im Zentrum dieses Magnetfeldes befindet.

A)

Allerdings löst sich hierbei nicht das Problem der unzureichenden Speicherbarkeit von elektr. Strom. Alternativ zu E-Motoren die Strom aus Akkumulatoren beziehen, könnte man in Betracht ziehen, den Strom aus dem Straßennetz zu beziehen, wie es heute schon Straßenbahnen tun.

Jedoch wäre die Flexibilität von Autos stark eingeschränkt, da sie stets den Kontakten in der Straße folgen müssten, die sie mit Strom beliefern.

Man könnte dieses Problem lösen, indem man Autos, die mit Akkumulatoren ausgestattet sind (und somit flexibel sind), den Strom aus dem Straßennetz beziehen lassen könnte. Das würde ermöglichen, dass man das elektrifizierte Straßennetz für eine bestimmte Dauer verlassen könnte. Begibt man sich wieder auf solch eine Straße würden die Akkumulatoren des Wagens während der Fahrt aufgeladen werden können.

Man muss aber auch bedenken, dass es aufwändig wäre auch nur einen Bruchteil der Straßen mit solch einem System auszustatten.

Vielmehr konzentriert man sich darauf, wie man elektrischen Strom effektiv in Akkus speichern kann. Bislang versuchte man das Problem dadurch zu lösen, indem man einfach größere Akkus in Autos verbaute, um dessen Reichweite zu steigern. Jedoch bedeuten größere Akkus auch größeres Gewicht, welches wiederum die Reichweite beeinträchtigt.

Mittlerweile werden Lithium-Ionen Akkus verwendet, die nicht nur den Vorteil haben leichter zu sein als konventionelle Akkus, sie müssen vor dem Aufladen nicht komplett entladen werden. Das bedeutet, dass man auch einen halb vollen Akku ohne Einschränkungen ans Stromnetz schließen kann.

Wie alles, was sich bewegt, verrichten auch die Elektronen in den Akkumulatoren Reibung und setzen somit als Nebenprodukt thermische Energie, sprich Wärme frei. Diese wird kompensiert, indem wie bei Verbrennungsmotoren, Kühlflüssigkeit die Wärme abtransportiert. Es muss aber auch darauf geachtet werden, dass die Akkus in einer angepassten Temperatur gelagert werden, da sonst der Elektronenfluss beeinträchtigt werden könnte.

Schon heute werden E-Motoren mit solchen Akkus gebaut. Beispiel hierfür wären das Tesla Model S bzw. Tesla Model 3 und X.

B)

In diesem Abschnitt soll geklärt werden, ob elektr. Strom eine günstige Alternative zu fossilen Energieträgern ist. Hierbei wurden lokale Preise der Energieträger mit dessen Wirkungsgrad (in kWh ausgedrückt) miteinander verglichen.

Energieträger	Energie in kWh	Preis (inkl. MwSt.)	Preis/kWh
1kg Erdgas	12,87	0,621€	0,048€
1l Benzin (ø 95,98)	8,77	1,067€	0,121€
1l Diesel	9,86	0,887€	0,089€

Stand 12.03.2016, Luxemburg

In Luxemburg wird (12.03.2016) **1kWh Strom für 0,127€** angeboten (Enovos).

Demzufolge ist Strom der teuerste Energieträger...

Was jedoch nicht berücksichtigt wurde, ist die Tatsache, dass die Ausbeute pro kW bei elektronischen Antrieben höher ist als jene der Verbrennungsmotoren. Das liegt vor allem daran, dass bei der Verbrennung bis zu 50% der potentiellen Energie in Wärme umgewandelt werden. Zwar lässt sich diese Energie wiedergewinnen, jedoch nur in einem bescheidenem Ausmaß, wie zum Beispiel das Betreiben der Heizung.

C)

Strom muss subventioniert werden, um den Preis für den Verbraucher auf einen attraktiven Wert zu stützen.

In der Regel werden Prämien bei Anschaffung von E-Fahrzeugen ausbezahlt, bzw. entfällt die Mehrwertsteuer auf den für das Fahrzeug genutzten Strom oder des Fahrzeugs selbst .

In Luxemburg wurden bis zum Jahr 2015 Prämien von 5000€ beim Kauf eines E-Fahrzeugs oder Hybrid (<60g CO₂/km) ausgezahlt. Momentan werden E-Fahrzeuge nicht subventioniert-ein Konzept ist jedoch bereits in Planung.

Demzufolge stellt man sich die Frage, ob es sich überhaupt lohnt ein Elektroauto zu kaufen, welches im Grunde teurer sein könnte, als jene, < die mit herkömmlichen Kraftstoff angetrieben werden.

D)

Da Verbrennungsmotoren wesentlich komplexer aufgebaut sind als E-Motoren, sind diese auch anfälliger für Verschleiß.

E-Motoren besitzen keine Hubkolben, Nockenwellen, bzw. ein Getriebe. Die Kraft, die vom Motor ausgeht, wird auf kurzem Wege direkt auf die Räder geleitet.

Solche Motoren benötigen dementsprechend eine geringere Energiezufuhr, da weniger große Reibungsverluste stattfinden. Das wäre ein Argument, um den hohen Strompreis recht-zu-fertigen.

Anders als bei konventionellen Motoren müssen hier keine Trägheitsmomente überwunden werden, bzw. Verluste beim Gangwechsel eingebüßt werden. Die Kraft wird konstant weitergegeben, was bedeutet, dass stets das volle Drehmoment zur Verfügung steht.

Elektromotoren besitzen ein direktes Ansprechverhalten, da die Trägheitsmomente des Turboladers(siehe Turboloch) nicht vorhanden sind, weil keiner benötigt wird. Turbolader arbeiten nur dann effektiv, wenn genug Druck aufgebaut wurde, um die Schaufelräder anzutreiben, die die Verbrennung ankurbeln.

Um das direkte Ansprechverhalten von Elektromotoren zu demonstrieren, traten ein Tesla Model S und eine Boeing 737 in einem Beschleunigungsrennen gegeneinander an. Entgegen aller Erwartungen hielt der Tesla die Führung - natürlich nur bis zu dem Moment, als das Flugzeug abhob.

5.2.3 Autogas (LPG) und Erdgas (CNG)

Zunächst stellt man sich die Frage, wie sich beide Kraftstoffe voneinander unterscheiden. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass in Erdgas hauptsächlich Methan(CH_4) enthalten ist und in Autogas Propan(C_3H_8) und Butan(C_4H_{10}).

Im Gegensatz zu Erdgas, wird das Autogas in flüssiger Form im Tank des Wagens gespeichert. Das hat den Vorteil, dass es weniger Platz benötigt und im Tank kein Überdruck herrscht, da man Flüssigkeiten ohnehin nicht komprimieren kann. Erdgas hingegen wird komprimiert, um mehr Masse im Tank zu speichern, wodurch aber auch der Druck im Innerem des Tanks steigt, weshalb Erdgastanks wesentlich stabiler sein müssen als jene, die mit Flüssiggas befüllt werden. Erdgas benötigt etwa 4-mal so viel Platz wie Benzin oder Diesel, weshalb diese Druckbehälter entweder sehr schwer(Stahl) oder sehr teuer (Verbundwerkstoffe) sind.

Der Vorteil vom Gasantrieb ist, dass man ihn nachträglich in einen Ottomotor integrieren kann. Das bedeutet, dass beispielsweise der Wagen dann mit Benzin und Gas angetrieben wird. Bei Dieselmotoren ist dies nicht der Fall, da dort das Treibstoffgemisch mithilfe von Druck gezündet wird und nicht wie bei Ottomotoren durch einen Funken.

Alternativ zu einer Nachrüstung, gibt es bereits Motoren die nur mithilfe von Gas angetrieben werden. Diese Motoren unterscheiden sich nur geringfügig von normalen Ottomotoren, da lediglich ein Unterschied in der Gemisch Aufbereitung besteht.

Aus der obigen Tabelle lässt sich entnehmen, dass Erdgas wesentlich billiger ist, als andere Energieträger. Die Preise für Flüssiggas sind etwas höher.

In Punkto Umweltfreundlichkeit bieten LPG und CNG weitere Vorteile gegenüber Benzin und Diesel:

- Kaum Ausstoß von Schwefeldioxyden oder Rußpartikeln
- Geringerer Ausstoß von Stickoxyden und Kohlenmonoxid
- Geringerer Ausstoß von CO₂
- Erdgas ist nicht giftig und geruchlos

CNG ist ein natürlich vorkommender Rohstoff, der weitaus mehr vertreten ist als Erdöl, wodurch die Versorgung gesichert ist. LPG hingegen ist ein Raffinerieprodukt und hängt vom Erdöl ab.

Es besteht jedoch das Problem, dass man eher eine ablehnende Haltung gegenüber Gasfahrzeugen vertritt, da die Bedenken um die Sicherheit bei einem Unfall immer noch sehr groß sind.

Diese Haltung ist jedoch unbegründet, da der Tank einem Druck von 600bar standhalten kann und durch Ventile gesichert ist. Außerdem wird er von einem Stahlkäfig umgeben, der ebenfalls das Risiko eines Gasaustritts minimiert. Sollte jedoch Gas austreten, verflüchtigt es sich sofort, da es leichter als Luft ist. Lediglich bei Flüssiggas besteht das Problem, dass es sich bei Austritt entzündet.

Das sich stets ausbauende Tankstellennetz in Deutschland ermöglicht eine zufriedenstellende Versorgung bei etwa 900 Erdgas- und 6000 Flüssiggastankstellen.

5.2.4 Biodiesel

Wie wird Biodiesel hergestellt?

Ausgangsprodukt für die Biodieselherstellung ist Raps aus welchem das Öl ausgepresst wird (40% der Rapskörner können ausgepresst werden der Rest wird als hochwertiges Eiweißfutter benutzt. Dazu wird dann Ethanol beigefügt und in Anwesenheit eines Katalysators erwärmt. Überschüssiges Methanol wird durch Destillation wieder entfernt, so wird die Qualität sowie optimales Fließverhalten gewährleistet

Vorteile:

Einer der größten Vorteile ist sicherlich, dass Biodiesel nachhaltiger ist, da er aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wird.

Biodiesel ist von Natur aus nahezu schwefelfrei und hat zugleich eine hohe Schmierfähigkeit. Zudem kommt dass er eine hohe *Cetanzahl* (*Verweis auf vorigen Abschnitt*) was wiederum weitere Vorteile hat.

Des weiteren hat Biodiesel einen hohen Sauerstoffgehalt von um die 11%, was zur Folge hat das eine sauberere Verbrennung stattfindet als beim fossilen Diesel, es entsteht weniger Ruß, die Rückstände im Motor werden so minimiert.

Außerdem hat dieser Kraftstoff eine bessere CO₂ Bilanz als herkömmlicher Diesel.

Ein weiterer Vorteil ist das bei der Produktion von Biodiesel kein Abfall entsteht.

Nachteile:

Der gravierendste Nachteil des Biodiesels ist der enorme Bedarf an Anbauflächen, in Deutschland zum Beispiel können nur 5% des Dieselbedarfs mit Biodiesel abgedeckt werden.

Fazit:

Biodiesel ist in punkto Sauberkeit, Nachhaltigkeit und Schonung des Motors normalem Diesel weit voraus, jedoch ist es sehr schwierig bis Unmöglich den Großteil des Bedarfs damit zu decken, da man allein in Deutschland eine Ackerfläche von 936.000 km² benötigen würde um den gesamten Dieselbedarf zu decken, und Deutschland hat insgesamt lediglich eine Gesamtfläche von 357.168 km².

5.2.4.1 Pflanzenöl

Oft wird Pflanzenöl mit Biodiesel verwechselt: Der Unterschied besteht darin dass Pflanzenöl kaltgepresst ist und bedenkenlos zum Fahren geeignet ist.

Biodiesel ist ein Gemisch aus Pflanzenöl und chemischen Zusätzen und ist weitaus aggressiver, die Dichtungen der Kraftstoffanlage werden angegriffen.

Vorteile:

Es besteht ein ökologischer Vorteil, die Energie wird aus nachhaltigen Rohstoffen gewonnen. Dazu kommt, dass der Literpreis unter einem Euro liegt, zwischen 0,70 und 0,75€.

Nachteile:

Zum ersten sind Tankstellen an denen man Pflanzenöl tanken kann ziemlich selten. Dazu kommt dass bei niedrigeren Temperaturen schnell Probleme entstehen da Pflanzenöl eine hohe Viskosität hat.

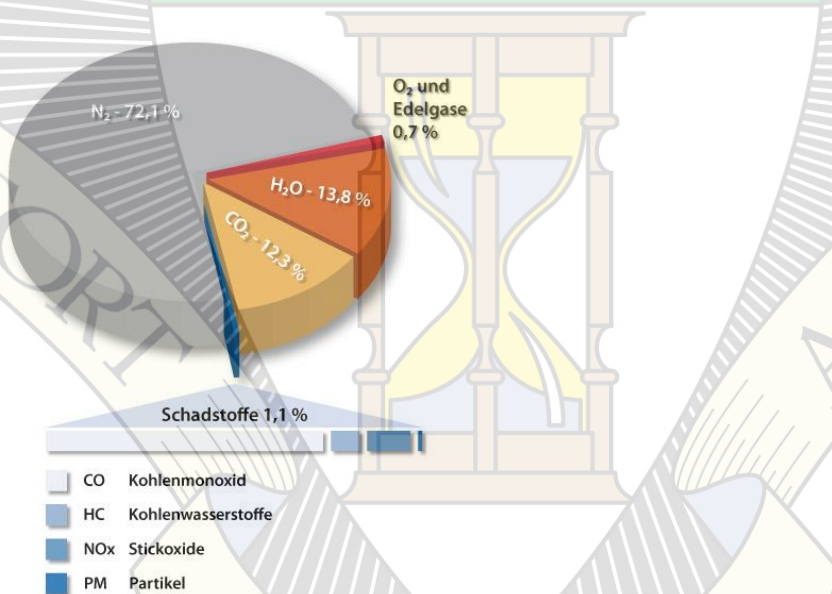
6. DIE ABGASE¹⁵

Wodurch entstehen überhaupt die schädlichen Abgase bei Verbrennungsmotoren?

Sie entstehen durch eine *unvollständige Verbrennung* der Kohlenwasserstoffverbindungen. Das bedeutet, dass nicht genügend Sauerstoff im Motor vorhanden war, der den Treibstoff zündet. Ein Anzeichen für eine unvollständige Verbrennung sind Rußablagerungen und schwarzer Qualm, der aus dem Auspuff austritt.

Sie machen erstaunlicherweise jedoch bei mittlerer Belastung und Drehzahl nur etwa 1 % der Abgase aus. Der größte Teil des Ausstoßes besteht aus Stickstoff N_2 . Stickstoff ist nicht schädlich und wird lediglich vom Motor angesaugt und anschließend wieder ausgestoßen, da es ohnehin bereits zu 78% in der Luft enthalten ist, die wir einatmen.

Jedoch sorgt bereits dieser Bruchteil an schädlichen Abgasen, dass beispielsweise Ozon (O_3) entsteht, was zu Smog und dementsprechend auch zu Atembeschwerden führt.



¹⁵ Im Anhang befinden sich Informationen über die Abgasklassen und Normen

6.1 Die Bestandteile der Abgase

CO (**Kohlenstoffmonoxid**) ist ein farb- und geruchloses Gas, das als schweres Gift wirkt wenn man es einatmet. Die roten Blutkörperchen des Menschen nehmen 200–300 mal leichter CO-Moleküle auf, als Sauerstoff. Das bedeutet, dass schon relativ geringe CO-Konzentrationen in der Luft (3 % bei längerer Einwirkzeit) tödlich sein können.

HC (**Hydrocarbon**) sind nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe. Sie sind teilweise krebserregend, erzeugen den unangenehmen Abgasgeruch und sind beteiligt am Smog.

NO_x (**Stickoxide**): **Stickstoffmonoxid (NO)** ist ein farb- und geruchloses, giftiges Gas, das an der Luft sofort zu Stickstoffdioxid reagiert.

Distickstoffmonoxid (N₂O) ist im Volksmund auch unter dem Namen „Lachgas“ bekannt. Es ist ein sehr wirksames Treibhausgas (wesentlich stärker als CO₂).

PM (**particle matter**) sind Feststoffe im Dieselabgas. Im Benzinabgas liegt der Anteil 20–200 mal niedriger, kann also vernachlässigt werden. Die Partikel sind Zusammenlagerungen von Kohlenstoffteilchen, also Ruß, mit einer großen Oberfläche, an der sich andere Stoffe anlagern können, z. B. HC, Wasser, evtl. Schwefel und Schwefelverbindungen.

SO₂ (**Schwefeldioxid**) und andere Schwefelverbindungen spielen in den Abgasen nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Schwefelbelastung von Kraftstoff ist gesetzlich auf 10 mg/kg beschränkt („schwefelfreier Kraftstoff“). Diese Menge wird in Deutschland wegen der schädigenden Wirkung des Schwefels auf die Katalysatoren noch deutlich unterschritten.

6.2 Der Katalysator und der Lambdawert

Katalysatoren in Fahrzeugen dienen der Abgasnachbehandlung und können die Emissionen der Schadstoffe erheblich senken, diese werden durch eine chemische Reaktion in ungefährliche Gase umgewandelt.

FOTO

Verschiedene Arten von Fahrzeugkatalysatoren:

EOBD: EOBD bedeutet Europäische On Board Diagnose, es handelt sich hierbei um Katalysatoren, welche bei EURO3 und EURO4 Autos eingesetzt werden. Die EOBD hat die Aufgabe, während der Fahrt alle abgasrelevanten Bauteile und Sensoren zu überwachen. Dabei hält sie Fehlfunktionen fest, die dem Fahrer beispielsweise durch eine Warnlampe (MIL) angezeigt werden.

Oxidationskatalysator: Dies ist der typische Katalysator für Dieselmotoren. Er oxidiert:

- Kohlenmonoxid (CO) zu Kohlendioxid (CO₂)
- Kohlenwasserstoffe (HC) zu Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O).

Drei-Wege-Katalysator: Dieser Katalysator ist für Ottomotoren bestimmt und wandelt:

- Nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) in Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O)
- Kohlenmonoxid (CO) in Kohlendioxid (CO₂)
- Stickoxide (NO, NO₂) in Stickstoff (N₂) und Sauerstoff (O₂)

Die Besonderheit dieses Katalysators liegt darin, dass alle drei chemischen Abläufe zeitgleich ablaufen.

Der Lambdawert (λ -Wert) ist das Luftverburnungsverhältnis und gibt die Höhe des Luftüberschusses, bezogen auf eine vollständige Verbrennung an. Bei Lambda 1 werden genauso viele Sauerstoffatome herangeführt wie nötig.

6.3 Konsequenzen auf die Umwelt

Heute stehen wir vor einem großen Problem: die Verschmutzung die von unseren Verbrennungsmotoren verursacht wird wirkt auf einer globalen Skala extrem schlecht auf unsere Umwelt.

Zum Antreiben der meisten unserer heutigen Motoren werden fossile Treibstoffe, wie zum Beispiel Benzin oder Diesel, benutzt. Bei der Verbrennung die im Motor stattfindet werden diese teilweise in gefährliche Schadstoffe Umgewandelt.

SCHADSTOFF	FORMEL	AUSWIRKUNGEN
Kohlenmonoxid	CO	-verursacht Kopfschmerzen, Übelkeit, bei hohen Konzentrationen Atemlähmungen -kann tödlich wirken
Schwefeldioxid	SO ₂	-verursacht Reizungen von Haut und Atemwege -Hauptverursacher des sauren Regens: schädigt Pflanzen und Gebäude ¹⁶
Stickoxide	NO _x	-verursachen Reizungen von Haut und Atemwegen
Stickstoffmonoxid	NO	-Mitverursacher des "sauren Regens"
Stickstoffdioxid	NO ₂	-sind an bodennahe Ozonbildung beteiligt
Kohlenwasserstoffe	CH _x	-sind krebsfördernd -verursachen Pflanzenschäden -unterstützt bodennahe Ozonbildung ¹⁷
Feinstaub	PM 10 ³	-verursacht Erkrankungen der Atemwege -kann krebsfördernd wirken
Dieselsruß		-schädigt Pflanzen
Benzol	C ₆ H ₆	-wirkt Blutschädigend

¹⁶ Siehe Anhang: Der saure Regen

¹⁷ Siehe Anhang: Ozonbildung

Ozon	O ₃	-reizt die Schleimhäute in den Augen und Atemwegen ("Sommersmog")

Wenn man von diesen Luftschadstoffen spricht, unterscheidet man Emissionen und Immissionen. Bei den Emissionen handelt es sich um die Luftschadstoffe die aus dem Auspuff des Autos kommen, wohingegen Immissionen die Luftschadstoffe bezeichnet die auf die Natur und Umwelt einwirken.



7. DIE EFFIZIENZSTEIGERUNG

Man stellt sich nun die Frage ob es vielleicht sinnvoller wäre die Effizienz bestehender Motoren zu verbessern, indem man beispielsweise das Gewicht einzelner Komponenten reduziert, sodass weniger Kraftstoff verbraucht wird.

Auch wenn die Effizienz von herkömmlichen Verbrennungsmotoren gesteigert wird, reicht dies nicht aus, um die uns bevorstehende Rohstoffknappheit zu verhindern. Der Wirkungsgrad von Ottomotoren liegt im Durchschnitt bei etwa 25-30%, der von Dieselmotoren bei 30-35%.

Wir setzen uns das erdachte Ziel von einem Wirkungsgrad von 100%¹⁸. Um dieses Ziel zu erreichen steigern wir die heutige Effizienz um das 3-4 fache, was auch bedeuten würde, dass wir 3-4mal so wenig Treibstoff benötigen.

Tatsächlich lässt sich die Effizienz durch ein geringeres Gewicht erhöhen, was auch der Grund ist, wieso viele Teile beispielsweise aus leichtem und robustem Carbon gefertigt werden.

Vorerst klingt dieses Vorhaben nicht schlecht, jedoch zögert man die Rohstoffknappheit damit nur heraus und hat im Endeffekt keine permanente Lösung des Problems gefunden. Auch zum Thema Umweltschutz würde dieses Vorhaben im Endeffekt die selben Auswirkungen von sich tragen, da der Rohstoff im Endeffekt solange genutzt wird, bis er nicht mehr da ist.

Das bedeutet, dass wiederum im Endeffekt die Umwelt nicht geschont wurde und der Rohstoff nicht mehr existiert. Daher eignet sich dieses Konzept eher als temporäre Lösung, bevor ein alternativer Antrieb benutzbar wird.

¹⁸ Einen Wirkungsgrad von 100% kann man niemals erreichen, da im Motor stets ein Mindestbetrag an Reibung herrscht, der die Bilanz negativ beeinflusst. Dieser Wirkungsgrad ist nur in der Theorie erreichbar, wenn man alle Reibungskräfte vernachlässigt.

8. WAS WIRD PASSIEREN?

"Das letzte Auto, das gebaut werden wird, wird ein Sportwagen sein" –Ferry Porsche

Schon damals erkannte man die Problematik, dass Verbrennungsmotoren irgendwann aussterben werden. Allein schon wegen der begrenzten Verfügbarkeit der uns heute gängigen Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel und die dennoch energieaufwändige Gewinnung von Wasserstoff.

Ferry Porsche wies darauf hin, dass in späterer Zeit der Verbrennungsmotor nur denen vorbehalten ist, die ihn sich auch leisten können. Mit der Rohstoffknappheit wird er auch stets teurer, sodass die breite Masse früher oder später gezwungen ist auf alternative Konzepte umzusteigen. Der Verbrennungsmotor wird irgendwann nicht mehr gebaut werden, sodass er nach und nach verschwindet und nur noch in Museen oder dann als Oldtimer zu sehen, bzw. zu hören ist.

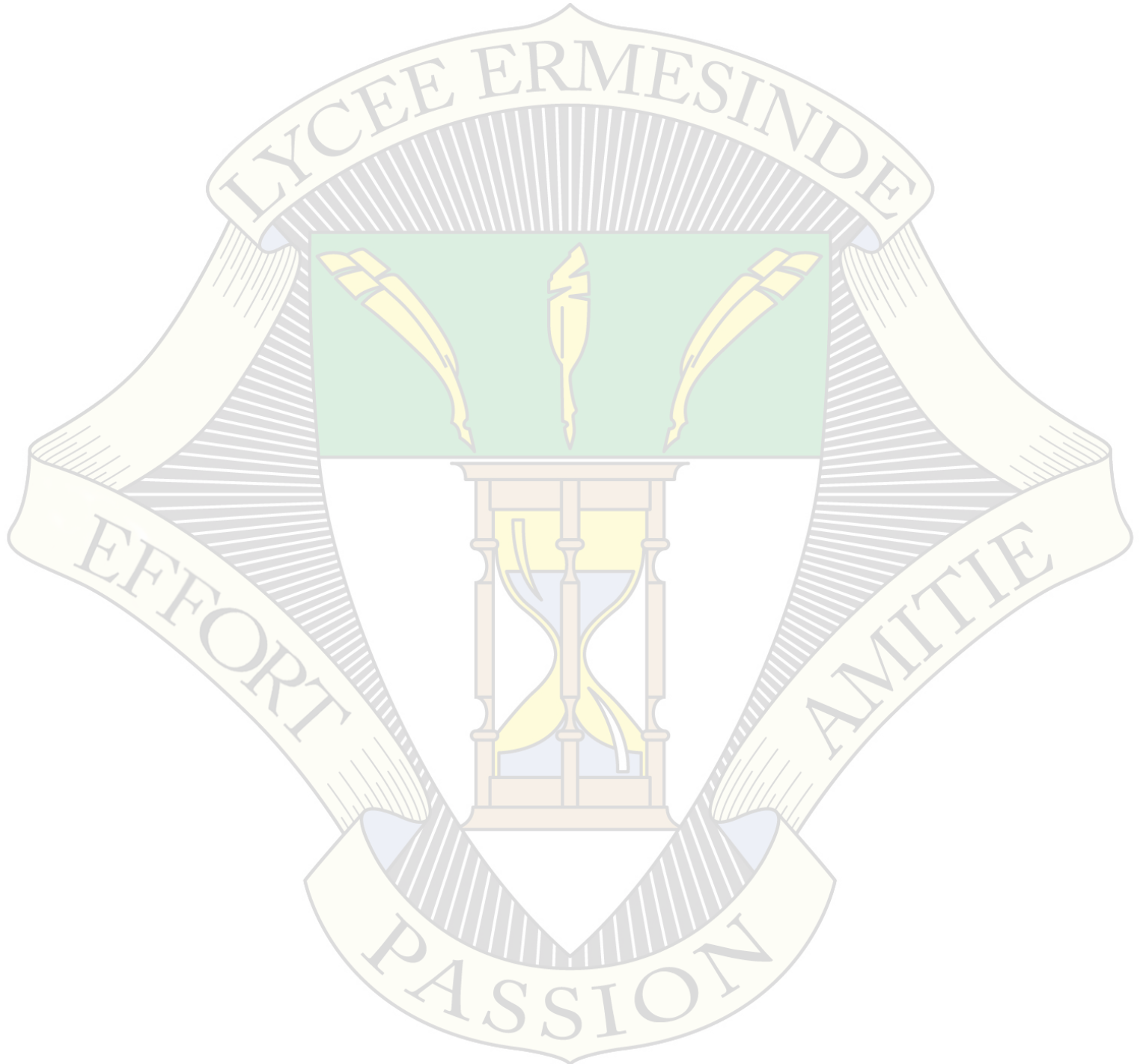
Was man damals noch nicht erkannte waren die heute diskutierten alternative Antriebe, wie beispielsweise elektr. Strom. Deshalb wird das letzte Auto sicherlich kein Sportwagen sein, sondern eher ein herkömmliches, bzw. kann man auch diskutieren ob irgendwann keine Autos mehr gebaut werden oder nicht- ob es dann fliegende Autos gibt? Doch das ist Zukunftsmusik und bleibt unserer Generation vermutlich vorenthalten.

Man merkt wie sehr der Verbrennungsmotor unsere Lebensqualität beeinflusst, im guten sowie im schlechten Sinn. Einerseits ermöglichen uns Autos uns frei zu bewegen und erleichtern uns die Transporte im Alltag. Andererseits verschmutzen die Abgase der Motoren die Luft die wir atmen und gefährden somit unsere Gesundheit und die Natur. Für unser Überleben und das Wohlergehen der ganzen Welt müsste der Mensch unbedingt auf nachhaltige Energieträger wechseln. Die Möglichkeiten und Alternativen zum Verbrennungsmotor existieren bereits, werden aber entweder teuer verkauft, noch nicht akzeptiert oder befinden sich noch im Stadium der Forschung.

Wir denken, dass die Menschheit nicht so schnell auf alternativen zurückgreifen wird. Man gewöhnt sich schnell an gewisse Standards, und ich denke das die Menschen oft angst vor Veränderung haben. Solange Alternativen teurer oder weniger Fahrspaß bereiten, als die Verbrennungsmotoren, können oder wollen sich viele Leute nicht darin investieren. Dazu kommt außerdem noch das Lobbying der Firmen und Länder die durch das Gewinnen von Erdöl reich geworden sind.

Andererseits werden wir umdenken müssen, da begehrte Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas nur begrenzt vorkommen. Demzufolge wäre es besser schon heute zu reagieren und nach

alternativen Ausschau zu halten, um der uns drohenden Rohstoffknappheit entgegenzuwirken. Unserer Meinung nach wird in den nächsten Jahrzehnten der Umschwung stattfinden, da wir bereits heute globale Auswirkungen spüren, wie die Rohstoffknappheit oder Erderwärmung, die sich derzeit verstärken. Das bedeutet im Endeffekt, dass wir auf die alternativen Konzept umsteigen müssen - ob wir wollen oder nicht



9. BIBLIOGRAPHIE

Internetseiten

Alle hier angegebenen Hyperlinks sind zurzeit (02.09.16) noch aktuell und aufrufbar.

Bild Dampfmaschine:

<http://buchrain.educanet2.ch/move1/mo/b/dampf/newcom4.gif>

Explosionsmotor:

<http://marc.mistral.free.fr/moteurs/01.htm>

<http://www.astrosurf.com/quasar95/exposes/huygens.pdf>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Explosionsmotor>

http://hvsn.de/index.php?option=com_content&task=view&id=90

Dampfmaschine:

<http://www.britannica.com/biography/James-Watt>

http://www.lem.lu/memoires/2014_bemtgen_blum_rischette.pdf

https://de.wikipedia.org/wiki/Matthew_Boulton#Boulton_26_Watt_28093_2809Ewhat_all_the_world_desires_to_have:_power.2809C

Ottomotor:

<http://heureka-stories.de/Erfindungen/1876---Der-Ottomotor/Die-ganze-Geschichte>

<http://martins.deutzwelt.de/geschichte.html>

https://de.wikipedia.org/wiki/Eugen_Langen

https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Maybach

<http://themen.autoscout24.de/extras/gewicht-von-autos-frueher-und-heute>

E-Motoren:

<http://www.manager-magazin.de/unternehmen/energie/oekostrom-anteil-springt-auf-34-prozent-a-1041355.html>

https://my.teslamotors.com/de_AT/roadster/technology/battery

http://swe-emmendingen.de/wp-content/uploads/2012/09/erdgas_tankstelle_umrechnung.pdf

http://www.aral.de/de_lu/luxembourg/kraftstoffe-und-preise/aktuelle-kraftstoffpreise.html

<http://www.enovos.lu/de/privatkunde/strom/naturstrom>

<http://www.auto-motor-und-sport.de/news/elektrifizierung-der-supersportwagen-hybrid-power-schlaegt-alles-6990561.html>

Erdgas/Flüssiggas

<http://www.welt.de/wirtschaft/energie/specials/gas/article8791425/Das-sind-die-Unterschiede-zwischen-Autogas-und-Erdgas-Fahrzeugen.html>

Wasserstoff

http://www.energieportal24.de/fachberichte_artikel_18.html

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffherstellung>

<http://www.brennstoffzelle-nrw.de/brennstoffzellen/grundlagen/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>

Motoraufladung

<http://www.bswiki.de/mediawiki/index.php?title=Motoraufladung>

<https://i.ytimg.com/vi/5niDtrUUdI0/hqdefault.jpg>

<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/die-technischen-innovationen-die-das-turboloch-verschwinden-liessen-a-855876.html>

<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/twinturbo-doppelte-verdichtung-a-296300.html>

http://www.7-forum.com/news/news2004/6zyl/bmw_turbo_diesel_diagramm_p0014340-b.jpg

<https://de.wikipedia.org/wiki/Ladeluftk%C3%BChler>

<http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/zylinderabschaltung.htm>

https://de.wikipedia.org/wiki/Alfred_B%C3%BCchi

<http://www.meine-auto.info/lexikon/autolexikon/buchstabe-t/1451-turbo.html>

Motorpflege

https://de.wikipedia.org/wiki/Erzwungene_Konvektion

<http://grund-wissen.de/physik/mechanik/arbeit-leistung-energie/arbeit.html>

<http://grund-wissen.de/physik/mechanik/dynamik/arten-mechanischer-kraefte.html#reibungskraft>

Ladungswechsel:

<http://www.technikatlas.de/~tc13/seite2b.htm>

<http://www.koopiworld.de/pub/motor5.htm>

Kraft und Drehmoment:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Drehmoment>

<http://www.cnc-lehrgang.de/drehmoment-und-hebelgesetz/>

<http://www.e34.de/tuning/drehmoment.htm>

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d8/Boxer-engine.svg/2000px-Boxer-engine.svg.png>

http://www.vmotoren.be/www.vmotoren.be/Media/engine_animation.gif

Das Arbeitsspiel:

<http://www.autoplenum.de/Antworten/D/34417/Scharfe-Nockenwelle-oder-Chiptuning--was-bringt-mehr-leistung.html>

<http://www.3d-meier.de/tut6/XPresso17.html>

http://www.fiestaforum.de/files/thumbs/t_nockenwellen_skizze_167.jpg

<https://de.wikipedia.org/wiki/Nockenwelle>

<http://www.eric-online.de/mopeds/grundwissen.html>

Zwei- und Viertaktverfahren:

<http://www.s51.de/tech-2t.html>

<http://www.techniklexikon.net/d/zweitaktmotor/zweitaktmotor.htm>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Zweitaktmotor>

<http://www.bahnsport.org/zweitakt.htm>

https://homepages.thm.de/~hg54/mmk_2005/script/img_technik/motor1_ansaugen.jpg

<http://www.duden.de/media/full/Z/Zweitaktmotor-201100280061.jpg>

SI-Einheiten:

https://de.wikipedia.org/wiki/Internationales_Einheitensystem#SI-Einheiten

Newcomen:

<http://buchrain.educanet2.ch/move1/mo/b/dampf/newcom4.gif>

Kraftstoffe:

<http://tecosol.de/kraftstoff-lexikon/>

<http://alternative-kraftstoffe.com>

<http://www.biokraftstoffverband.de>

<http://www.poel-tec.com/>

<http://www.nuetec-forschung.de/pflanzenoel.html>

http://www.feelgreen.de/wasserstoffauto-vor-und-nachteile/id_50470122/index

<http://chemieunterricht.de>

<https://chemie-am-auto.de>

<http://enzyklo.de>

<http://www.kfztech.de>

https://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/ADAC_Autokostenvergleich.aspx

Schadstoffe:

https://www.youtube.co/watch?v=1PhoVb2_h2c

<http://www.klassewasser.de/content/language1/html/3628.php>

<http://www.hvv-futuretour.de/infopool/luftschadstoffe>

<http://www.mz->

<web.de/image/view/2012/7/31/21267748,17129079,dmData,Tote+Fische+%25281342037188376%2529.jpg>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Bayerischer_wald_kahlgefressen.jpg

https://de.wikipedia.org/wiki/Alternative_Antriebstechnik

Ozon:

<http://www.lenntech.de/bibliothek/ozon/eigenschaften/ozon-eigenschaften.htm>

http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Troposph%C3%A4risches_Ozon#Gesamtmenge_an_Ozon_in_der_Troposph.C3.A4re

<http://www.globalisierung-fakten.de/ozonloch/ozon-bildung/>

<http://www.seilnacht.com/Lexikon/Ozon.htm>

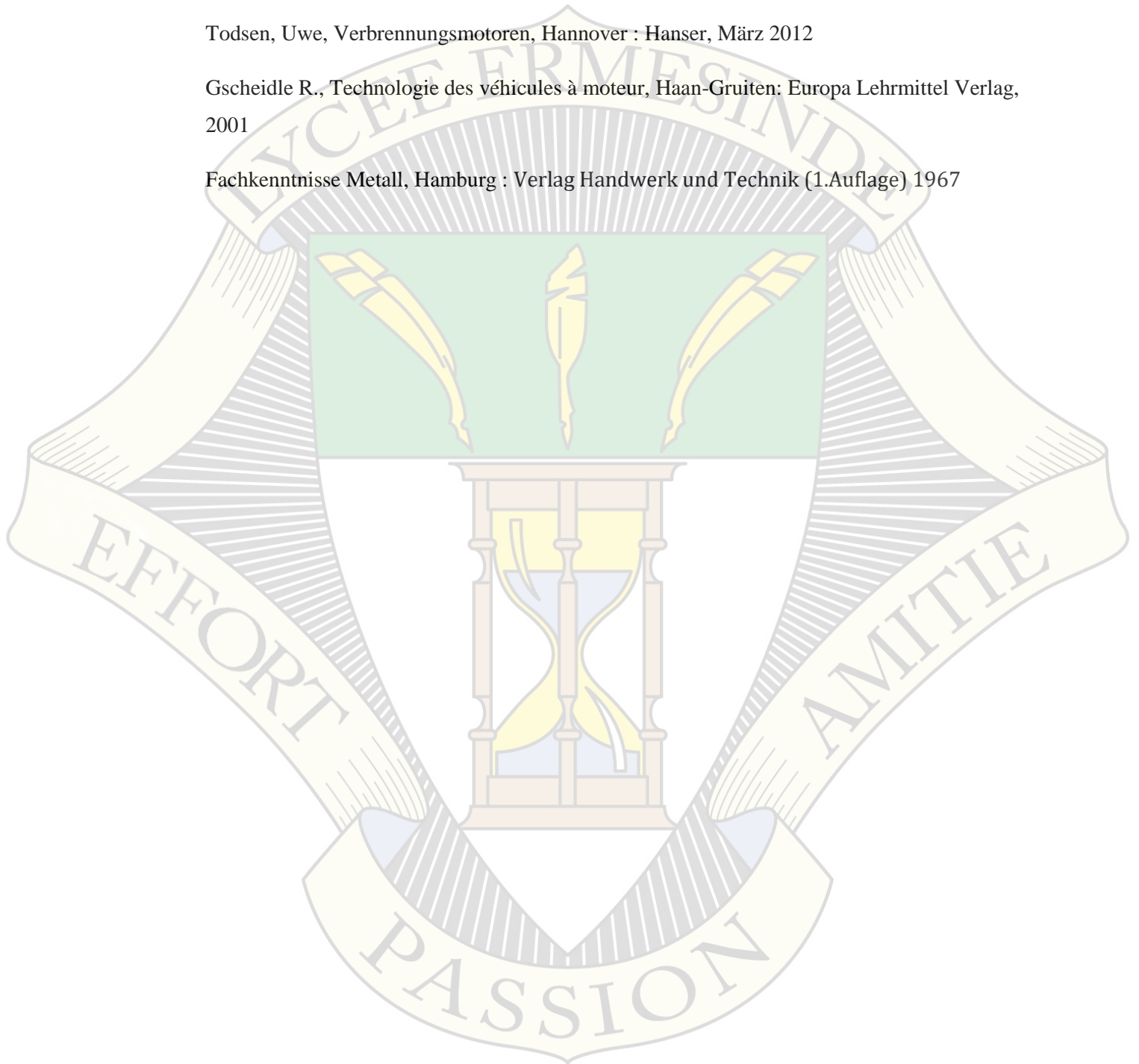
Bücher

Schreiner, Klaus ,Basiswissen Verbrennungsmotor (2.Auflage),Wiesbaden : Springer Vieweg, 2015

Todsen, Uwe, Verbrennungsmotoren, Hannover : Hanser, März 2012

Gscheidle R., Technologie des véhicules à moteur, Haan-Gruiten: Europa Lehrmittel Verlag, 2001

Fachkenntnisse Metall, Hamburg : Verlag Handwerk und Technik (1.Auflage) 1967



10. Anhang

-Motorentechnik-

Dieser Anhang vermittelt einen Überblick über verschiedene Abgasklassen, sowie einige physikalische Einheiten, die helfen sollen verschiedene Abschnitte der Arbeit besser verstehen zu können.

Zudem finden sich hier einige Abschnitte über jenes, was zur Entwicklung des heutigen Verbrennungsmotors beigetragen haben. Letzteres findet sich in diesem Anhang ein Bericht über den Fertigungsprozess des von uns gefertigten Funktionsmodells eines Verbrennungsmotors.

Physikalische Einheiten

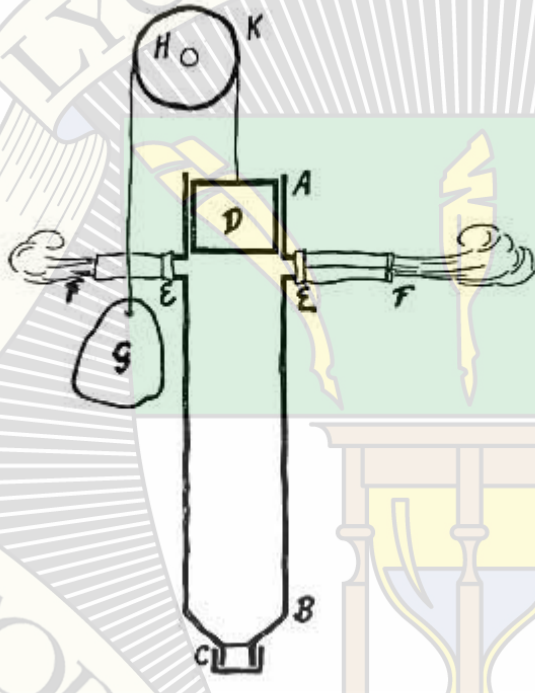
Größe	Definition	Einheit(SI)	Begriff
Kraft (F)	Betrag der Kraft	N	Newton
Leistung (P)	mechanische Leistung	W	Watt
s	Abfolge von Ereignissen	t	Zeit
Energie (E)	Ausdruck für Energie	J	Joule
Masse (m)	Materie	kg	Kilogramm

Vorgeschichte des Verbrennungsmotors

Der Explosionsmotor

Der Explosionsmotor war das erste Gerät das man als Motor bezeichnen konnte. Er wurde 1673 von Christiaan Huygens und seinem Assistenten Denis Papin erfunden, und damit sind sie die ersten die das Prinzip des Verbrennungsmotors hervorheben. Ihre Entdeckungen haben späterhin im XIX Jahrhundert zur Erfindung des Autos beigetragen.

Es handelt sich bei ihrem Motor jedoch nicht um einen Verbrennungsmotor. Da die Verbrennung sehr schnell verläuft wird es ein Explosionsmotor genannt. Bei Huygens Erfindung handelt es sich um eine Pulvermaschine.



Originalskizze von Huygens für seinen Bruder

A-B Zylinder; C Pulverpfanne; D Kolben;

E-F Lederschläuche; G Nutzlast; H Roll; D-K-G Seil

Als Assistent von Huygens hat Papin das Prinzip der Pulvermaschine kennengelernt und später sogar Huygens Motor verbessert. Den hat er dann in den 1690 zu einer einfachen atmosphärischen Dampfmaschine weiterentwickelt. Es war eher ein Denkmodell als von praktischem Wert, trotzdem gilt Papin als einer der frühen Miterfinder der Dampfmaschine.

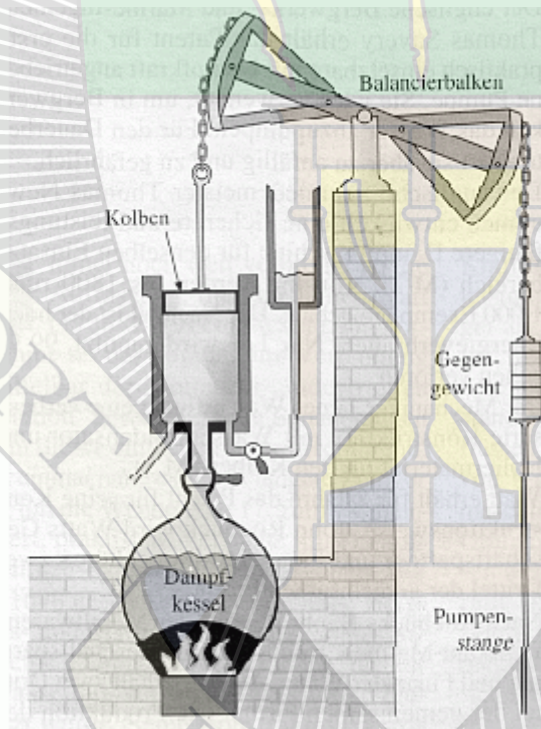
Pulverbetriebene Maschinen haben sich damals aber nicht im Alltag durchgesetzt, da der Umgang mit Schießpulver noch sehr gefährlich war. Außerdem waren die Pumpe oder der Flaschenzug viel unkomplizierter und einfacher zu nutzen.

Die Dampfmaschine

Thomas Newcomen

Nach den gescheiterten Versuchen von Papin und vielen anderen Wissenschaftlern eine Dampfmaschine zu bauen, gelang es 1712 Thomas Newcomen als erster eine verwendbare, auf Dampfkraft beruhende Maschine zu bauen. Im 18. Jahrhundert wurde in Bergwerken immer tiefer nach Bodenschätzen gegraben. Dadurch waren diese öfters von Grundwasser überschwemmt. Newcomens Maschine diente dazu, das Wasser aus überfluteten Bergwerken abzupumpen. Diese Erfindung erleichterte das Leben der Minenarbeiter um einiges, da sie nicht mehr selber das Wasser abschöpfen mussten. Bis zum Ende des Jahrhunderts waren mehr als 100 seiner Maschinen in England aktiv. Sie wurden erst zum Schluss des 18. Jahrhunderts durch die effizientere Maschine von James Watt ersetzt.

Newcomen baute seine Maschine nach Papins Prinzip. Bei seiner atmosphärischen Dampfmaschine wird durch einspritzen von Wasser in einen mit Dampf gefüllten Zylinder ein Unterdruck erzeugt, dadurch wird der Kolben runtergedrückt. Später wird dieser dann wieder vom Gewicht der zu ziehenden Pumpenstange heraufgezogen. Zur Kraftübertragung nützt eine Kette die die Kolbenstange und den Balancier verbindet.



Newcomens Dampfmaschine

Diese Maschine war aber noch nicht perfekt. Ihr Wirkungsgrad war sehr tief und sie verbrauchte Unmengen von Kohle um geheizt zu werden. Diese Nachteile der Maschine versuchte James Watt später zu verbessern.

James Watt

James Watt war ein schottischer Erfinder. Sein bekanntester Beitrag zur heutigen Entwicklung war die Verbesserung der Newcomen Dampfmaschine durch die Erfindung des Kondensators.



James Watt (1736-1819)

James Watt wurde in einer recht bescheidenen Familie geboren. Er war jedoch schon als Kind umgeben von Wissenschaftlern, da sein Vater und Großvater angesehene Mathematiker, Ingenieure und Unternehmer waren. Da er als Kind ziemlich kränklich war, besuchte er selten die Schule und wurde zuhause von seiner Mutter unterrichtet. Er war Interessiert und lernte schnell. Schon immer faszinierten ihn die Wissenschaften und er mochte es, Lösungen für wissenschaftliche Probleme auszutüfteln.

Als er zuhause fertig gelernt hatte, und es Zeit wurde, an eine Weiterbildung zu denken, träumte James Watt davon, Medizin studieren zu gehen. Seine Eltern konnten sich dieses Studium jedoch nicht leisten, und so machte er zuerst in Glasgow eine Lehre zum Instrumentenbauer und Feinmechaniker bevor er in London eine Lehre zum Mechaniker begann, um Berufserfahrung zu gewinnen. Diese brach er jedoch nach einem der sieben vorgeschriebenen Jahre ab, da er das Gefühl hatte, nichts dabei zu lernen und seine Zeit zu verlieren. Er kam zurück nach Schottland und fand dort eine Arbeit als Instrumentenmacher an der Universität von Glasgow. Seine Arbeit bestand darin, Instrumente wie zum Beispiel Kompass oder Quadranten für die Universität herzustellen und zu reparieren. Er fand an der Universität schnell Anschluss und war sowohl bei den Studenten als auch bei den Dozenten sehr beliebt. Er wurde von den Leuten vom Campus als "außerordentlich bescheidend und liebenswert" (Quelle: Wikipedia) beschrieben.

Im Jahr 1764 bekam er einen Auftrag an der Universität: er sollte ein schlecht funktionierendes Modell der Newcomen Dampfmaschine reparieren. Beim Reparieren fielen ihm jedoch Fehler und Probleme an dieser Maschine auf. Er erkannte, dass die Maschine enormen Energieverlust durch einen ungünstigen Wärmeausgleich erlitt. Immer wenn der Zylinder kalt sein sollte war er warm, und wenn er warm sein sollte war er kalt. Das Meiste des benötigten Wasserdampfes wurde benutzt um die Wand des Zylinders auf einer Temperatur von 100°C zu erhitzen. Nach Newcomens Prinzip wurde Wasser in den Zylinder gespritzt, damit der Dampf kondensierte. Der Zylinder musste sich jedes mal aufs neue erwärmen wenn Dampf eingespritzt wurde, da er immer abkühlte, wenn genug Wasser für eine vollständige Kondensation eingespritzt wurde. Das minderte die Leistung drastisch. Wenn man jedoch keine komplette Kondensation hatte, weil man weniger Wasser einspritzte, war die Entstehung eines Vakuums behindert, was wiederum zu einem Energieverlust führte. Wegen der kleineren Größe des Modells, und dadurch des unterschiedlichen Verhältnisses zwischen Zylinderoberfläche und -volumen,

konnte man diese Probleme deutlicher erkennen als bei den Originalmaschinen, die viel grösser waren.

Nach diesen Erkenntnissen, beschloss Watt die Maschine auszubessern. Er tüftelte mehrere Jahre an einer Lösung, bis er dann darauf kam anstatt des Zylinders ein anderes Gefäß zur Kondensation zu benutzen. So erfand er den Kondensator.¹ Es war ein Einspritzkondensator. Das kalte Wasser wird jetzt in ein getrenntes Gefäß gespritzt. Das Prinzip bleibt dasselbe: der Dampf kondensiert und im Zylinder entsteht ein fast vollständiges Vakuum. Durch Watts Kondensator kühlt der Zylinder jedoch nicht jedes Mal dabei ab, da das Wasser in einen anderen Behälter gespritzt wird. Nach dieser Entwicklung verbrauchte die Maschine nur noch ein Drittel (mehr als 60%) der früher gebrauchten Kohle. Außerdem war sie billiger und brauchte weniger Angestellte zur Nutzung.

Kurz nach der Erfindung des Kondensators wurde der britische Physiker, Chemiker und Erfinder John Roebuck auf James Watt und seine Dampfmaschine aufmerksam. Er wollte das Watt ihm einen Motor daraus baut. Watt probierte es mit Erfolg, da er einen Sponsor brauchte um weiter zu forschen. Nach der Fertigstellung eines kleinen Testmotors im Jahr 1768 gingen sie eine Partnerschaft ein. Roebuck finanzierte die Forschungen Watts in Bezug auf die Dampfmaschine, und im darauf folgenden Jahr meldete Watts seine Maschine zum Patent unter dem Namen "Neue Methode zur Verminderung von Dampf- und Betriebsstoffverbrauch in Feuermaschine" an.

Doch Watt hatte Schwierigkeiten bei seinen Forschungen. Er konnte was in Modellgröße funktionierte nicht an die normale Maschinengröße anpassen. Da er nicht weiterkam, arbeitete er ab 1766 nebenbei auch als Landvermesser. Dies nahm ihm viel Zeit und für ein paar Jahre waren die Forschungen an der Dampfmaschine für ihn eher Nebensache. 1772 ging Roebuck Bankrott. Doch schon 1774 traf Watts auf einen Mann der bereit war ihn zu sponsern. Es handelte sich dabei um Matthew Boulton, ein englischer Ingenieur und Unternehmer.

Daraufhin gründeten sie 1775 gemeinsam eine Firma: *Boulton and Watt*. Watts Dampfmaschinen waren schon 4-mal effektiver als das alte Modell von Newcomen und als er begann sie zu verkaufen ersetzten diese sie in den Bergwerken. Gleichzeitig verbesserte Watt seine Maschine auch immer wieder mit Hilfe anderer Ingenieuren, wie zum Beispiel William Murdoch. Schließlich kam ein Modell der Wattschen Maschine auf den Markt die anstatt mit einer linearen Bewegung mit einer Rotation angetrieben wurde. Dies war endlich der große Durchbruch, denn diese Entwicklung ermöglichte den Einsatz der Maschine als Motor für fast alles, zum Beispiel auch für Lokomotiven und anderen Dampffahrzeugen. Diese Erfindung ermöglichte die Industrialisierung und die Globalisierung. Sie hat für immer unsere Kultur und Landschaft geprägt.

Motorpflege

Kühlung des Motors

Da im innerem des Motors Arbeit verrichtet wird, entsteht sehr viel Hitze, die die einzelnen Bestandteile des Motors beschädigen könnte. Kurzzeitig entstehen Temperaturen von bis zu 2300 Kelvin ($>2000^{\circ}\text{C}$), die eine Verzerrung des Materials begünstigen würden.

Die Temperatur der Abgase eines Ottomotors liegen bei ca. 800°C im Leerlauf, bei Volllast können Temperaturen von bis zu 900°C erreicht werden. Beim Dieselmotor sieht dieser Aspekt schon etwas anders aus, im Leerlauf haben die Abgase eine Temperatur um die 250°C und unter Volllast $500-600^{\circ}\text{C}$.

Die zur Verbrennung angesaugte Frischluft reicht nicht aus, um den Motor ausreichend abzukühlen, dementsprechend gibt es zwei weitere Kühlungsarten, die den Motor abkühlen :

- Die Luftkühlung, die kältere Luft aus der Umgebung bezieht, weshalb die Zylindergehäuse in diesem System meist Kühlrippen besitzen, um der kühlenden Luft mehr Oberfläche zu bieten.
- Die Wasserkühlung, sprich das Kühlwasser, das in Hohlräumen in den Zylinderwänden fließt wird vorerst durch den Luftstrom, der während der Fahrt herrscht, gekühlt. Die Kurbelwelle treibt hierbei ein Schwungrad an, das im Kühlwasserkreislauf integriert ist, um es in Bewegung zu setzen, sodass der Wärmeaustausch effektiver wird.

In geschlossenen Kreisläufen, wie zum Beispiel im Verbrennungsmotor, wird dem Kühlwasser zusätzlich Frostschutzmittel zugeführt, sodass es auch bei niedrigen Temperaturen flüssig bleibt.

Die Verteilung der Hitze, beziehungsweise der thermischen Energie wird auch Konvektion genannt. In diesem Fall handelt es sich um eine erzwungene Konvektion, welche besagt, dass das Fluid, bzw. die kühlende Substanz durch Pumpen oder Ventilatoren bewegt wird.

Weitere Beispiele für eine erzwungene Konvektion wären :

- Das Föhnen der Haare, die durch eine Gebläse Konvektion hervorgerufen wird.
- Die Kühlung von PC-Prozessoren durch einen Lüfter, bzw. Wasserkühlung.

Die Schmierung

Die Schmierung von kommerziellen Motoren in PKW, wird mit Öl ausgeführt, da es auf die verschiedenen Ansprüche eines Motors angepasst werden kann.

Das Motoröl hat folgende Aufgaben zu bewältigen:

- Übertragung von Kräften
- Minimierung von Reibung, dementsprechend auch Energieabfall
- Durch Zusätze im Motoröl, kann auch der Verschleiß einiger hochbeanspruchten Teile (Kolbenringe, Nocken) im Motor hinausgezögert werden.
- Öl fungiert zudem auch als Korrosionsschutz, da er sich wie ein Film über die Oberfläche zieht.

- Das Öl dichtet Restspalte ab, die zwischen den Kolbenringen und der Zylinderlaufbuchse eine Verbindung vom Hubraum zum Rest des Motors bilden.
- Letzteres hat Öl die Funktion den Motor von innen heraus abzukühlen, da es die im Motor herrschende Hitze aufnimmt und effektiv im Ölkreislauf verteilt, sodass es gleichmäßig die aufgenommene Hitze wieder abgeben kann.

Je nach Betriebszustand des Motors, verändert sich auch der Zustand des sich darin befindlichen Öles. Dieses Phänomen wird durch die sogenannte Viskosität ausgedrückt, welche beschreibt, ob ein Stoff eher zähflüssig (hohe Viskosität) oder dünnflüssig ist (niedrige Viskosität).

Je zähflüssiger(kälter) das Öl ist, desto mehr Arbeit muss verrichtet werden, im Vergleich zu erwärmtem Öl. Dies kommt zu Stande, da elementare Einzelteile des Motors, wie zum Beispiel die Kurbelwelle im Öl eingelegt sind und somit permanent Reibung verrichten, die den Energieverlust erhöhen.

Aus diesem Grund verbraucht ein Pkw, der einer niedrigen Umgebungstemperatur ausgesetzt ist, mehr Kraftstoff. Zudem wird mehr Energie benötigt, um den Motor zu starten (Kaltstart).



Normen und Abgasklassen

Europäische Abgasnormen (EU-Norm)

Die Europäischen Abgasnormen sind in verschiedene Fahrzeugkategorien unterteilt, alle Vorgaben gelten für alle EU-Länder.

Pkw mit Ottomotor
Pkw mit Dieselmotor
Motorrad
Kleinkrafttrad
LKW und Busse
mobile Arbeitsmaschinen

Hier wird hauptsächlich auf die Abgasnormen für Pkw mit Ottomotor und Pkw mit Dieselmotor eingegangen:

Abgasklassen für PKW mit Ottomotor

Schadstoff	EWG Stufe 1 (EU 1) ab 1993	EG Stufe 2 (EU 2) ab 1997	Euro 3 (EU 3) ab 2001	Euro 4 (EU 4) ab 2006	Euro 5 * (EU 5) ab 2011	Euro 6 (EU 6) ab 2015
Erstzulassung						
CO	2,72	2,2	2,3	1,0	1,0	1,0
HC			0,2	0,1	0,1	0,1
davon NMHC					0,068	0,068
HC +NOx	0,97	0,5				
NOx			0,15	0,08	0,06	0,06
PM					0,0045	0,0045
PN						6x10 ¹¹ /km

Angaben in g/km

PM = Particle Matter = Partikelmasse, PN = Partikelanzahl,

NMHC = Nichtmethankohlenwasserstoffe

Abgasklassen für PKW mit Dieselmotor

Schadstoff	EWG Stufe 1 ab 1993	EG Stufe 2 ab 1997	Euro 3 ab 2001	Euro 4 ab 2006	Euro 5 a ab 2011	Euro 5 b ab 2013	Euro 6 ab 01/09/15
Erstzulassung							
CO	2,72	1,0	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5
NOx			0,5	0,25	0,18	0,18	0,08
HC +NOx		0,7 (0,9DI)	0,56	0,3	0,23	0,23	0,17
PM	0,196	0,08 (0,1DI)	0,05	0,025	0,005	0,0045	0,0045
PN						6x10 ¹¹ /km	6x10 ¹¹ /km

* Alle Fahrzeuge, welche seit dem 1. September 2009 neu auf den Markt kommen, müssen die Euro-5-Norm erfüllen. Für Geländewagen gilt eine dreijährige Übergangsfrist, ehe auch sie Euro 5 erfüllen müssen. Ab dem 1. September 2014 müssen neu entwickelte Fahrzeuge die Euro-6-Norm schaffen.

*DI bedeutet *Direkteinspritzung*

Motorräder:

Ab 2020 werden die Abgaswerte von Motorrädern denen der Autos angepasst, es tritt dann die Euro 5 Norm in Kraft. Ab 2016 muss das Abgasreduzierende System von Motorrädern mit einer Höchstgeschwindigkeit von über 130 km/h mindestens 35.000 km halten.

Kleinkrafttrad:

Kleinkraftträder müssen ab 2014 die Abgasnorm Euro 4 erfüllen und zusätzlich nachweisen können dass das eingebaute System zur Abgasreduzierung mindestens 11.000 km hält.

Lkw und Busse:

Ein grundlegender Unterschied bei den Abgasnormen der Lkw und Busse ist die Messung der Arbeit des Motors in g/kWh, und erfolgt nicht wie bei den Pkw an kompletten Fahrzeugen auf dem Rollenprüfstand, wodurch beide Fahrzeugarten hinsichtlich der Abgasnormen nicht wirklich miteinander verglichen werden können. Es besteht allerdings ein ähnlicher Stufenplan wie bei den Pkw, das heißt es existieren die Normen Euro I bis Euro VI. Wichtig ist noch zu wissen dass mit Euro VI die Grenzwerte für Lkw bei Partikeln um etwa 67 Prozent und bei Stickstoffoxiden sogar um 80 Prozent gegenüber Euro V gesenkt wurden. Auch ein Grenzwert für die Partikelanzahl wurde mit Euro VI eingeführt.

Konsequenzen der Abgase auf die Umwelt

Der saure Regen

Eine der Konsequenzen der Umweltverschmutzung durch Verbrennungsmotoren ist der saure Regen. Als saurer Regen bezeichnet man Regen der einen p.H. Wert hat der niedriger als 5,5 sind. Er wird verursacht, wenn zu viele Schwefeloxide, Stickoxide und Kohlenstoffdioxid in der Luft ist. Diese Gase verwandeln sich im Kontakt mit der Luft in Säuren.

Aus dem Kohlenstoffdioxid (O_2) wird in der Luft beim Kontakt mit Wasser (H_2O) Kohlensäure (H_2CO_3). Da der Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft so gering ist, kann man Kohlensäure nicht als einer der Gründe für sauren Regen mitzählen.

Schwefeloxide (SO_2) verwandeln sich in der Atmosphäre in Schwefelsäure (H_2SO_4). Schwefelsäure ist eine der stärksten Säuren die es gibt.

Die ausgestoßenen Stickoxide (NO_x) werden in Kombination mit Wasser (H_2O) zu saurem HNO_3 und HNO_2 (Salpetersäure).

Dies erhöht den p.H. Wert des Regens dann erheblich. Üblich ist bei Regen ein p.H. Wert von 5,5. Wenn es sich aber um sauren Regen handelt, kann dieser bis zu 4,5 sinken. Das bedeutet der Regen ist in dem Moment 10-mal saurer als im Normalzustand.

Durch den sauren Regen wird der Boden saurer und Pflanzen und Bäume sterben ab. Es ist einer der Hauptgründe für das Waldsterben.

Durch die Versauerung steigt der p.H. Wert der Meere und Sees ebenfalls. Das stört wiederum ihr empfindliche Ökosystem der Gewässer und verursacht das sterben vieler Wasserpflanzen und Fische.

Außerdem zerstören die Säuren Gebäude und Skulpturen die zum Beispiel aus Kalkstein oder Beton gebaut wurden.

Die Ozonbildung

Eigenschaften:

Ozon, auch "aktiver Sauerstoff " genannt ist ein Molekül welches aus 3 aneinandergereihten Sauerstoffatomen(O_3) besteht. Ozon entsteht wenn Sauerstoffmoleküle aufgebrochen werden ($O_2 \rightarrow 2 O$), z.B. durch Einwirkung des UV-Lichts oder durch elektrische Entladungen, wie bei Gewittern, dabei entstehen dann 2 einzelne Sauerstoff-Atome entstehen. Einzelne Sauerstoff-Atome sind sehr reaktionsfreudig und verbinden sich zu Ozon-Molekülen. ($2 O + 2 O_2 \rightarrow 2 O_3$)

Ozon ist chemisch sehr reaktiv und kann uns Menschen schädigen. Außerdem ist es ein Treibhausgas, trägt also zur Erderwärmung bei. Erhöhte Ozonvorkommen im Sommer basieren vor allem auf den Abgasemissionen des Straßenverkehrs. Durch die Entstehung von Stickoxiden (NO, NO_2) in den Verbrennungsmotoren entsteht ebenfalls immer mehr Ozon.

Eigenschaften:

Schmelzpunkt: $-192,5^\circ C$

Siedepunkt: $-119,5^\circ C$

Was passiert beim Kontakt mit Lebewesen?

Vorab kann man sagen, dass Ozon hochgiftig für uns Menschen ist. In geringen Konzentrationen ist es Geruchslos, bei hohen Konzentrationen riecht es eher scharf oder stechend, was daran liegt, dass das Ozon mit unser Nasenschleimhaut reagiert. Ozon greift als erstes die Atemwege an, kann aber hin bis zu Kopfschmerzen reichen und sogar bei erhöhter

Konzentration zur Verminderung der gesamten Leistungsfähigkeit des Körpers führen. Langfristige Schäden können Lungenkrebs und Herz-Kreislauf Probleme sein.

Vorkommen und Nutzen:

Ozon kommt primär in der Stratosphäre in 15-50km Höhe vor, wo es die Erde vor der schädlichen UV-Strahlung schützt. Das Ozon in der Stratosphäre ist das nützliche Ozon. Es schwächt die Energie der UV Strahlen, schützt uns also vor Strahlung aus dem All, die Strahlung wird abgelenkt. 90% des gesamten Ozonvorkommens befindet sich in dieser Schicht, kommt jedoch auch in der Troposphäre vor, die Menge ist jedoch schwer abzuschätzen.

Einflüsse der Motorenabgase auf die Ozonschicht:

Im Sommer ist die Ozonkonzentration viel höher als im Winter, was auf die Abgasemissionen des Straßenverkehrs zurückzuführen ist. Dadurch dass es immer mehr Menschen und somit immer mehr Autos gibt werden automatisch immer größere Mengen an Stickstoffdioxiden ausgestoßen. Diese Moleküle verfallen unter Einwirkung von UV-Licht in Stickstoffdioxid und Sauerstoff. (a) Dieses Sauerstoffatom verbindet sich dann anschließend mit einem Sauerstoffmolekül zu einem Ozon-Molekül. (b)



Das alles führt wiederum zur unwiderruflichen Zerstörung der Ozonschicht.

Was sind FCKW?

Die Abkürzung FCKW steht für Fluorchlorkohlenwasserstoffe, ein künstlich hergestelltes Gas, welches zusammen mit Kohlendioxid, Methan und Lachgas zu den langlebigen Treibhausgasen gehören, das bedeutet dass sie dauerhaft ihre Struktur behalten, außerdem sind weitere Merkmale die nicht Entzündlichkeit, Geruchlosigkeit, Transparenz und meistens ungiftig.

Ein großes Problem der FCKW ist Schädigung der Ozonschicht, denn steigt das Gas erst bis in die Stratosphäre auf arbeiten die Energiereichen UV-Strahlen an der Zerlegung, wobei auch Fluor- und Chlor-Radikale freigesetzt werden. Diese radikale sind reaktionsfreudig mit dem Ozon und somit wird die Ozonschicht enorm geschädigt.

Ozonloch

Als Ozonloch bezeichnet man das Fehlen von Ozon in einer bestimmten Höhe über der Erde, sowie eine deutliche Abnahme der Ozonschicht in einer bestimmten Region.

Es ist seit 30 Jahren bekannt dass die Ozonschicht durch bestimmte Chemikalien wie FCKW irreparabel beschädigt wird

Ursache für Ozonlöcher sind chemische Abbauprozesse, welche sich in der Atmosphäre abspielen. Diese haben zum Teil einen natürlichen Ursprung, zum größten Teil entstehen sie aber durch von Menschen verursachte Emissionen (FCKW, Autoabgase, usw...) Zu den natürlichen Ursachen gehören normale Fluktuationen, welche von der Sonnenstrahlung beeinflusst werden können. Des Weiteren stellen Vulkanausbrüche einen Mitverursacher dar, da es dort zu enormem Ausstoß schädlicher Gase kommt.