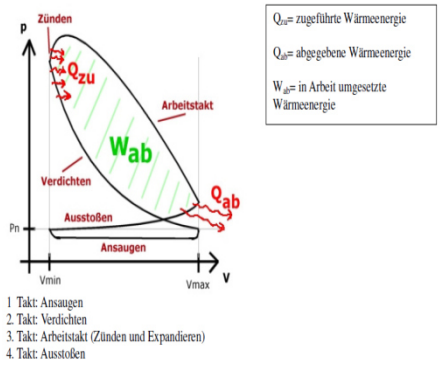
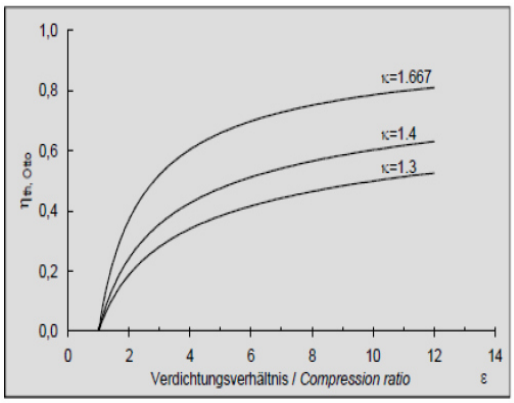
Zusammenfassung Ottomotor und alternative Antriebe (inkl. Hybrid)

Thermodynamische Grundlage ist der Gleichraumprozess (isochorer Prozess).

Nachteile 2-Takt: schlechtes Abgasverhalten
Nachteile 4-Takt: 2 Umdrehungen für ein Arbeitsspiel (Energie muss gespeichert werden: Schwungrad),
aufwendige Steuerung erforderlich





Der Wirkungsgrad des Ottomotors berechnet sich zu

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

ε= Verdichtungsverhältnis
κ= Wärmekapazität (in der Regel bei Superbenzin ROZ95: 1,4)

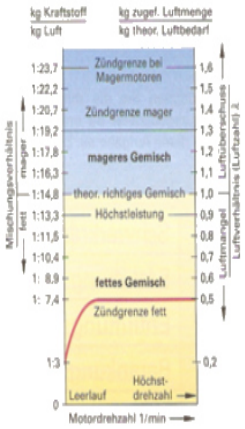
Durch eine höhere Verdichtung wird der Wirkungsgrad erhöht. Bei Superbenzin ROZ 95 ist ein ε von 10-11 möglich. Darüber hinaus kann es zum **Klopfen** des Motors kommen.

Die Oktanzahl ROZ gibt an, welcher Mischung ein aus ISO-Oktan (C_8H_{18}) und Normaloktan, bzw n-Heptan (C_7H_{16}) ein Kraftstoff entspricht.

Bsp.: ROZ 95: 95% C_8H_{18}
5% C_7H_{16}

Bei einem Ottomotor spricht man von einer quantitativen Gemischregulierung. Das Verhältnis Luft zu Kraftstoff ist nahezu immer konstant. Die Regelung erfolgt über die Ansaugdrosselung (Drosselklappe).

Aufgabe zu spez. Heizwert und Wärmeenergie



Das stöchiometrische Luftverhältnis λ ist die Menge (Masse) Luft, die man zur vollständigen Verbrennung von einem Kg Kraftstoff benötigt.

$$\lambda = \frac{tatsächlich\ verbrauchte\ Luftmasse}{theoretisch\ benötigte\ Luftmasse}$$

Kraftstoffförderanlage (Tank): Seit Einführung der EURO 3 Norm ist ein Aktivkohlefilter mit einem Regenerationssystem vorgeschrieben.
Kraftstoffpumpen für alle konventionellen Einspritzsysteme (Saugrohreinspritzung) sind als Rollenzellen- oder Flügelzellenpumen ausgelegt (Systemdruck ca 5bar). Diese Pumpen haben druckseitig eine hohe Leistung. Ihr Saugverhalten ist eher schlecht; daher werden sie immer in der Nähe des Tanks (In-Line-Pumpe) oder im Tank (In-Tank-Pumpe) verbaut.

Benzindirekteinspritzer benötigen (zusätzlich) eine Hochdruckpumpe (Axialkolbenpumpen)...ca. 80-120 bar

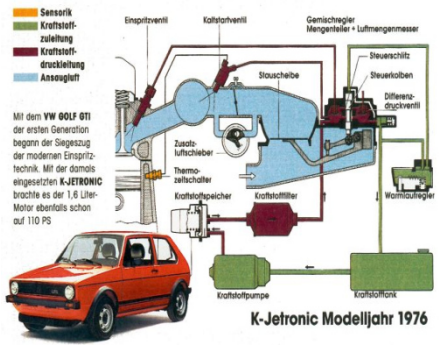
Gemischaufbereitungssyteme:

Vergaser : arbeiten nach dem Venturiprinzip

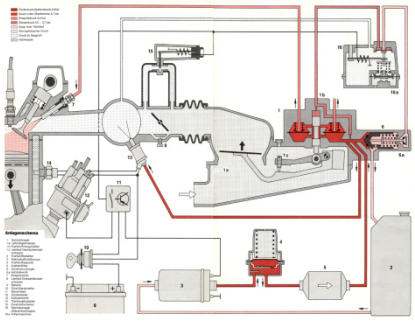
Singe-Point : „elektrischer Vergaser“

Mechanische Einspritzsysteme : Kugelfischer (BMW)

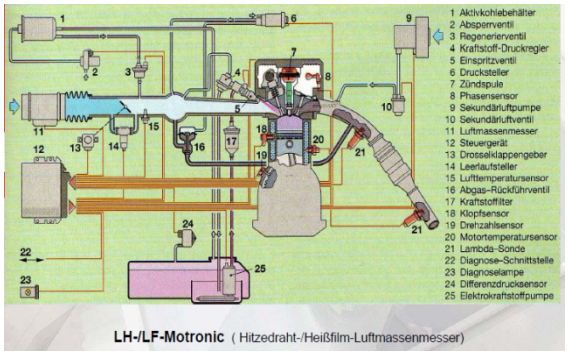
K-Jetronic: kontinuierliche „Einspritzung“ vor Einlassventil



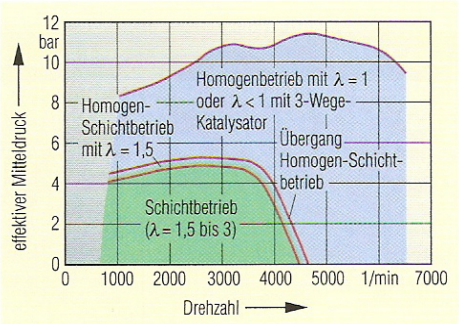
KE-Jetronic: Drucksteller ersetzt den Warmlaufregler → Lambda-Regelung möglich

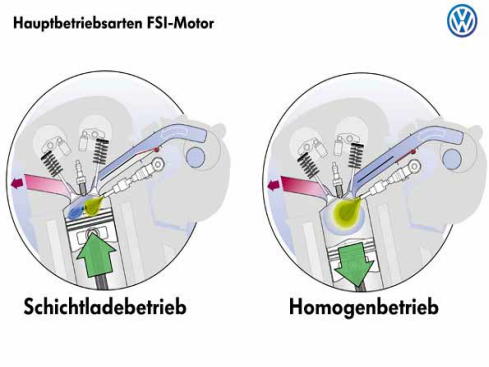


L- Jetronic, LH-Jetronic: sequentiell intermittierende Einspritzung möglich.
LH-Jetronic ermöglicht mit Hilfe eines Hitzdrahtes (-Filmes) die Messung der Luftmasse → Dichteschwankungen der Luft (Gebirgsfahrten) führen nicht zum Leistungsverlust des Motors



Benzindirekteinspritzer

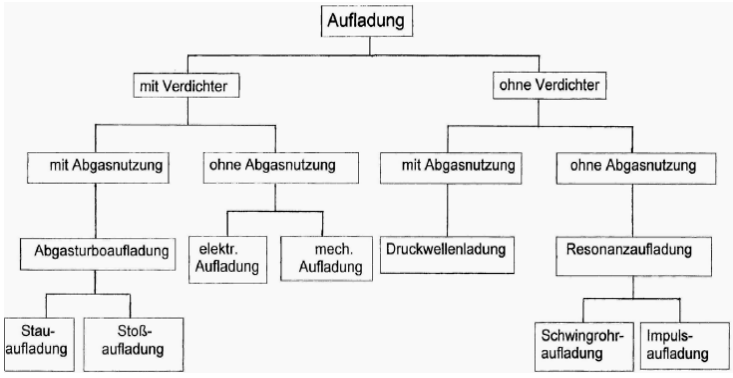




SCHICHTLADEBETRIEB	HOMOGENBETRIEB
Einspritzbeginn kurz vor OT	Kraftstoffzufuhr zu Beginn des Ansaugtaktes
heterogene Gemischverteilung $\lambda \leq 1$ an Zündkerze $\lambda > 1$ im Rest des Brennraumes	homogene Gemischverteilung im gesamten Brennraum $\lambda = 1$ im gesamten Brennraum
Saugrohrklappe geschlossen	Saugrohrklappe geöffnet
Drosselklappe: geöffnet ➔ Qualitätsregelung	Drosselklappe: je nach Lastzustand geöffnet → Quantitätsregelung

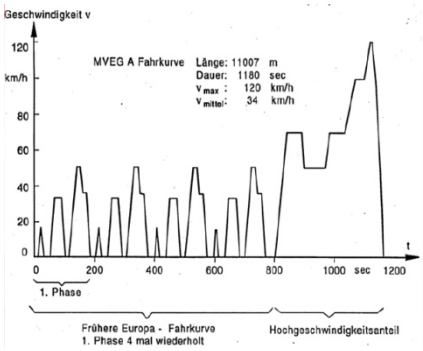
Abgastechnik verlangt Direkteinpritzer. Der Trend geht zum Downsizing: Weniger Hubraum bei gleicher Leistung, weil aufgeladene Motorenhaben einen geringeren spezifischen Verbrauch als gleiche Saugmotoren.

Registerauladung: kleiner + großer Abgasturbolader
Mehrstufige Aufladung: Abgasturbolader + mechanischer Lader verhindert Turboloch



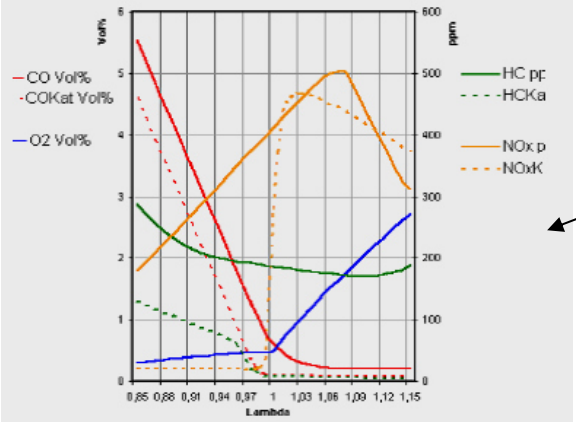
ABGASE

so wird das Abgasverhalten eines Motors gemessen.....und das wird dann daraus gemacht:



	Emissionsgrenzwerte für PKW mit Benzinmotor. Angaben in mg/km							
Norm	Euro 1	Euro 2	Euro 3	D3	Euro 4	D4	Euro 5	Euro 6
Typprüfung	ab 1. Jul. 1992	ab 1. Jan. 1996	ab 1. Jan. 2000		ab 1. Jan. 2005		ab 1. Sep. 2009	ab 1. Sep. 2014
Erstzulassung	ab 1. Jan. 1993	ab 1. Jan. 1997	ab 1. Jan. 2001		ab 1. Jan. 2006		ab 1. Jan. 2011	ab 1. Jan. 2015
CO	3.160	2.200	2.300	1.500	1.000	700	1.000	1.000
(HC + NO_x)	1.130	500						
NO_x			150	170	80	80	60	60
HC			200	140	100	70	100	100
davon NMHC							68	68
PM							5*	4,5*
PN	--	--	--	--	--	--	--	wird noch festgelegt

* mit Direkteinspritzung



Nebenstehendes Diagramm zeigt die Abgase in Abhängigkeit vom λ-Wert

Die verschiedenen Abgase haben unterschiedliche toxische Wirkung auf den Mensch und auf die Natur:

	Entstehungsursache im Motor	Wirkung auf den Organismus
Stickstoffoxid NO_x	hohe Spitzentemperaturen im Brennraum, Sauerstoffüberschuss	NO: starkes Blutgift → zentrale Lähmungserscheinung → Wirkungsmechanismus ähnlich CO
		NO_2: starke Reizwirkung → Ätzung der Schleimhäute → in Verbindung mit Sonnenlicht entsteht bodennahes Ozon „Sommer-Smog"
Ruß	örtlicher Luftmangel	→ toxisch durch angelagerte polyzyklische Aromaten → krebserregend und mutagen (Chromosomenaberrationen)
Kohlenmonoxid CO	Sauerstoffmangel, generell oder örtlich	→ ca. 200-fach höhere Affinität zu Hämoglobin des Blutes als zum Luftsauerstoff O_2 → Sauerstoffmangel, Ersticken
Kohlenwasserstoff HC	Niedrige Prozesstemperaturen, Sauerstoffmangel, generell oder örtlich	Wirkung abhängig von Struktur des Stoffes: → Benzol verursacht Leukämie → polyzyklische Aromaten (Benzpyren) sind krebserregend

Welche Möglichkeiten gibt es, den Abgasausstoß zu mimimieren:

Motorische	Nachbehandlung
AGR	Lambda-Sonde
Magermix	Einsatz von Katalysatoren
Aufladung	Sekundärlufteinblasung
Kraftstoffe	

Ein Katalysator ist ein Stoff, der eine chemische Reaktion hervorruft und/oder beschleunigt, ohne selbst daran teilzunehmen.

Keramikkatalysator: billiger, Rückgewinnung der Edelmetalle möglich, schnell auf Konvertierungstemperatur und hält diese auch

Metallkatalysator : resistenter gegen Stöße, schwieriger auf Temp. zu halten.

Verbrennungsprodukte von Benzin

- Idealisierte Verbrennung: $C_8H_{18} + 12{,}5\ O_2 \longrightarrow 8\ CO_2 + 9\ H_2O$

- Ungefiltertes Abgas:

Stoff	Vol. %
CO_2	87,6
CO	10,3
NO_x	0,6
SO_2	0,06
C_xH_y	1,07

Abgasvolumen auf 100km bei 7 Liter Kraftstoffverbrauch

Stoff	Volumen [L]
CO_2	7422,3
CO	872,7
NO_x	50,8
SO_2	5,1
C_xH_y	90,7
Summe	8441,6

Entstehung der Schadstoffe und Wirkung

Kohlenstoffmonoxid: $C \equiv O$

- Sauerstoffmangel bei Verbrennung von KW (Schwelbrand)

$$2\ C_8H_{18} + 12{,}5\ O_2 \longrightarrow 16\ CO + 9\ H_2O$$

- hemmt Sauerstofftransport der roten Blutkörperchen

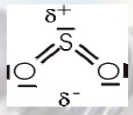
Stickoxide: NO_X: N_2O, NO, N_2O_3, NO_2, N_2O_4, N_2O_5

- Oxidation von Stickstoff aus der Luft:

$$N_2 + 2\ O_2 \longrightarrow 2\ NO_2$$

- Saurer Regen: $2\ NO_2 + H_2O \longrightarrow HNO_3 + HNO_2$

Schwefeldioxid:



- Oxidation von Schwefel mit Sauerstoff

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2$$

- Saurer Regen:

$$2\ SO_2 + O_2 \longrightarrow SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

Oder:

Reaktionen im Katalysator

Oxidation:

Platin / Palladium

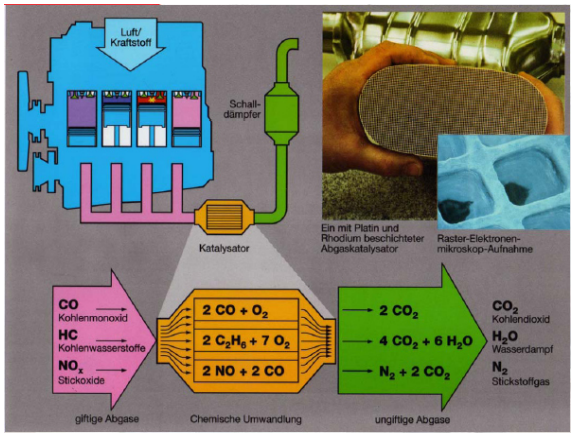
$$2\ CO + O_2 \xrightarrow{Pt/Pd} 2\ CO_2$$

$$CH + O_2 \xrightarrow{Pt/Pd} CO_2 + H_2O$$

Reduktion:

Rhodium

$$2\ CO + 2\ NO \xrightarrow{Rh} 2\ CO_2 + N_2$$



Um jedoch Stickoxide zu reduzieren, die besonders im Magerbetrieb und bei hohen Temp. entstehen, sind spezielle katalytische Verfahren gefragt

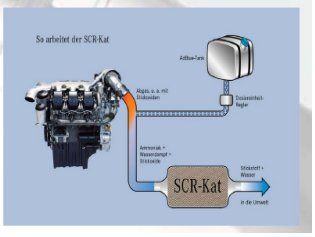
Eine weitere Möglichkeit ist die (u.U. gekühlte) Abgasrückführung. Wird der angesaugten Reinluft Abgas zugemischt, sinkt die Sauerstoffkonzentration des Gemisches. Um die Menge des eingesetzten Kraftstoffs vollständig zu verbrennen, wird wegen der geringeren Sauerstoffkonzentration weniger Kraftstoff eingespritzt. Demnach sinkt der Heizwert des Gemisches und dadurch auch die Reaktionsgeschwindigkeit und die Verbrennungstemperatur. Dies kann beim Dieselmotor allerdings wieder zur Rußbildung führen. Man unterscheidet innermotorische (Ventilsteuerzeiten, Auslassventil im Ansaugtakt länger geöffnet) und außermotorische AGR. (AGR-Ventil)

SCR (Selektive katalytische Reduktion)

- Einspritzung von 32,5%ige Harnstofflösung („Adblue“)
- Hydrolyse: $CH_4N_2O + H_2O \xrightarrow{Urease} 2NH_3 + CO_2$
- Reduktion von NOx:

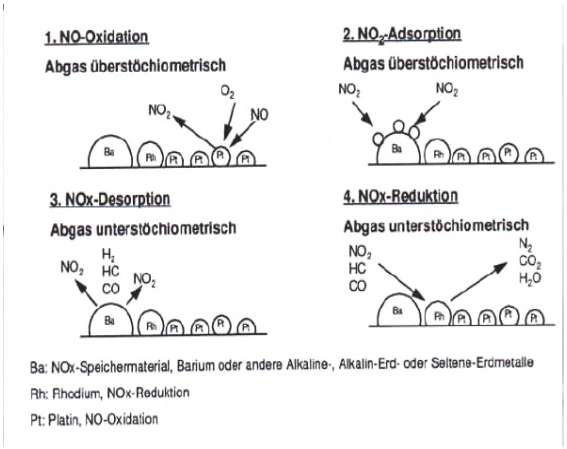
$NH_3 + NO_X \longrightarrow N_2 + H_2O$

- Verhältnis 1/25



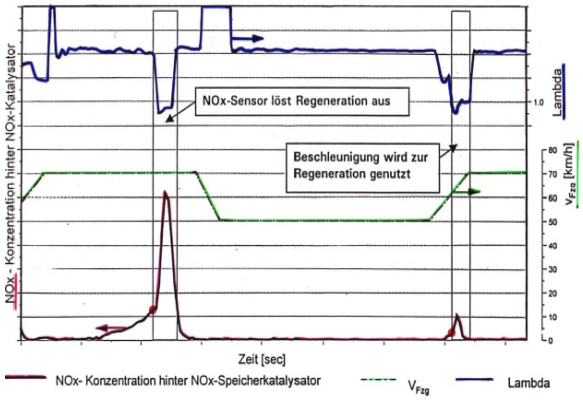
und/oder:

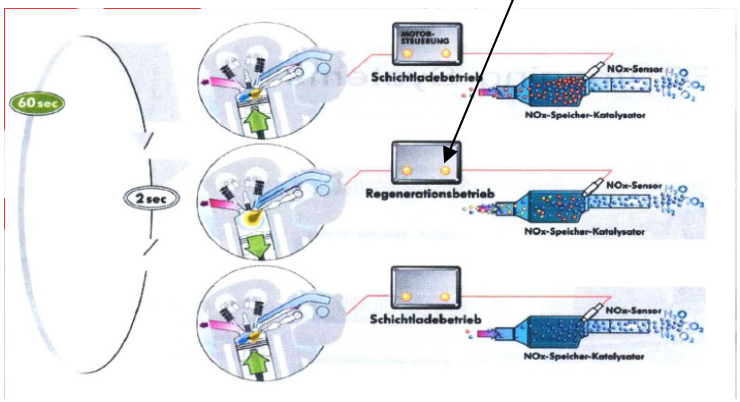
NO_x Speicher-Katalysator



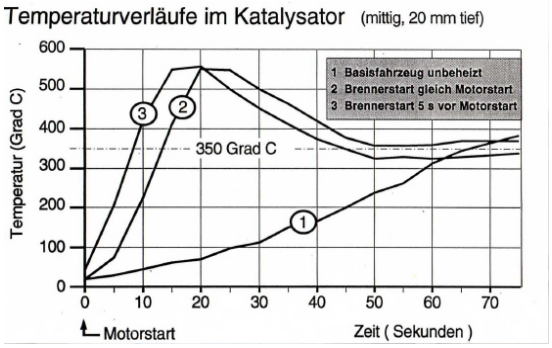
NO_x Bindung durch Barium im Kat : $BaNO_3$
Bei erreichter Kapazität → weniger O_2-Zufuhr(für ca.2s)
Reduktion NO_x zu N_2

Regenerationszyklus:





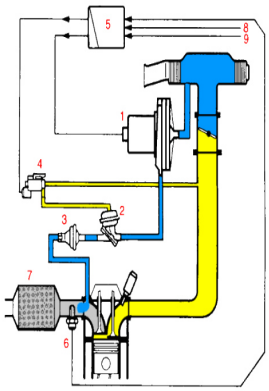
Der 3-Wege-Kat braucht eine bestimme Temperatur bis er eine größtmögliche Konvertierungsrate hat.



Der Trend geht zu beheizten Katalysatoren, um möglichst schnell die optimale Konvertierungstemperatur zu erreichen.

➔ Brennerstart bereits beim Öffnen der Tür

Um bereits in der Warmlaufphase die in erhöhtem Maße vorhandenen unverbrannten Kohlenwasserstoffe zu „verbrennen“ : $C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ wird über eine Sekundärlufteinblasung Luft (Sauerstoff) vor den Katalysator geblasen. Durch diese Maßnahme heizt sich der Kat schneller auf. Wenn Kat und Lambda-Sonde warm sind, wird SL-Einblasung abgeschaltet.

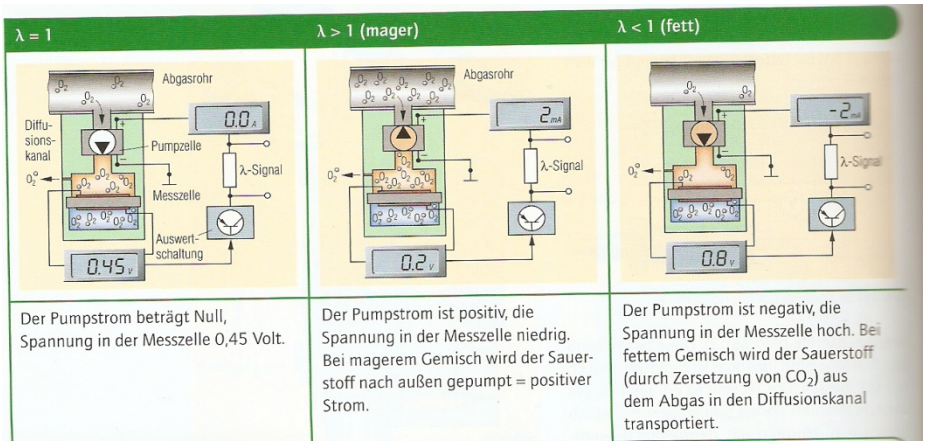


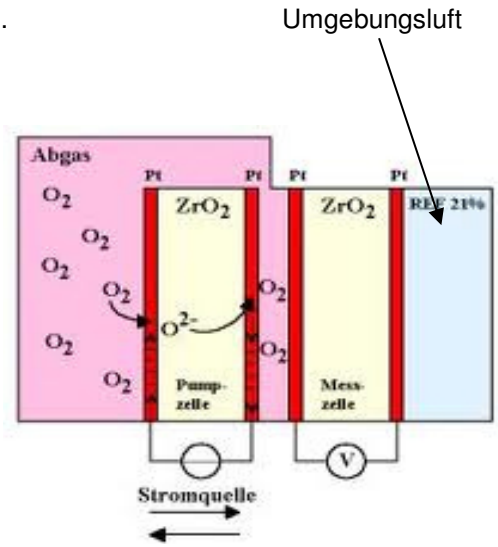
1	Sekundärluftpumpe	5	Steuergerät
2	Sekundärluftventil	6	Lambda-Sonde vor Kat
3	Rückschlagventil	7	Katalysator
4	Umschaltventil	8	Motordrehzahl
		9	Motortemperatur

λ-Regelung

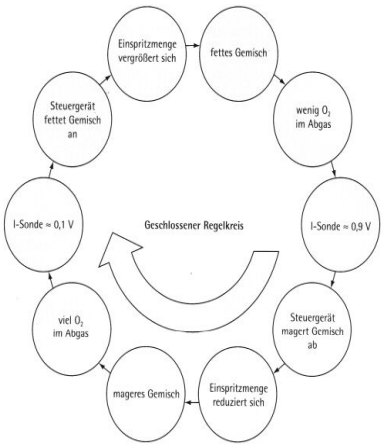
λ-Sonde ist ein galvanisches Element. Man unterscheidet zwischen einer Breitbandsonde und einer Sprungsonde (2-Punkt-Sonde)

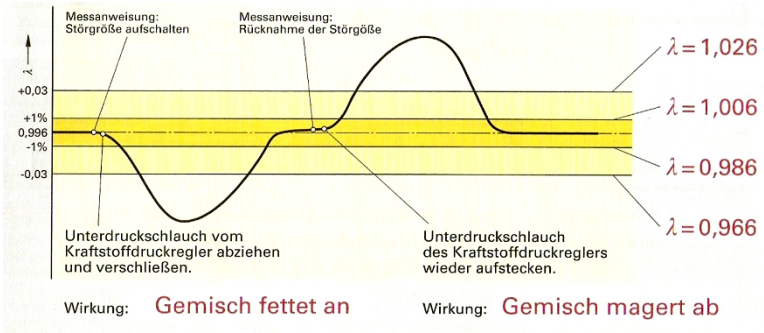
Die Lambda-Sonde ist mit dem Abgasstrom und der Umgebungsluft verbunden.



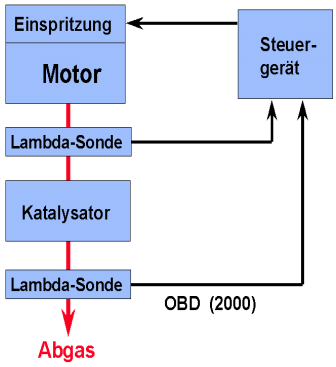


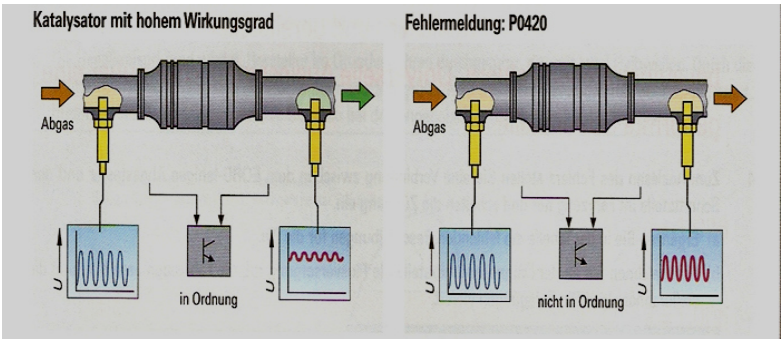
Die Breitbandsonde vorm Kat misst mehrmals in der Sekunde den Restsauerstoff im Abgas → Regelkreis





Seit Einführung der OBD überwacht hinter dem Katalysator eine (meist Sprungsonde) die Umwandlung im Kat und somit auch die Breitbandsonde vor Kat.





Sondensignal der Sprungsonde eines defekten Katalyastors

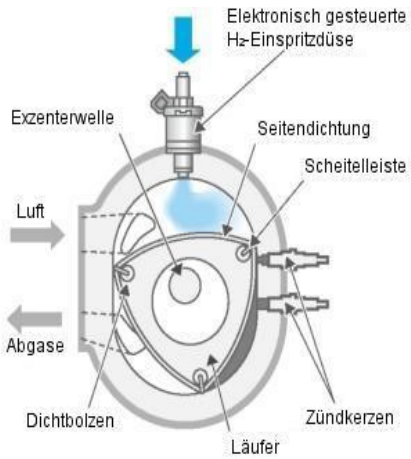
Alternative Kraftstoffe

	Wasserstoff H_2	Methan (Erdgas) CH_4	Propan C_3H_8	Methanol (Methylalkohol) CH_3OH
chemische Zusammensetzung	Wasserstoff H_2	Methan CH_4	Propan C_3H_8	Methanol CH_3OH
Speicherform im Fahrzeug	flüssig bei −273 °C oder gasförmig bei 200 bar	flüssig bei −162 °C oder gasförmig bei 200 bar	flüssig bei 3 bar	flüssig bei Atmosphärendruck
Zündtemperatur	530 °C	645 °C	510 °C	500 °C
Eigenschaften	• wird aus Kohle, Erdöl oder Erdgas oder durch Elektrolyse gewonnen • sehr aufwändig herzustellen	• ist in sehr großen Mengen verfügbar • sehr gute Abgaswerte • Hochdrucktanks brauchen sehr viel Platz	• sehr gute Abgaswerte • zusätzlicher Drucktank zum Benzintank erforderlich	• kann aus Erdöl und aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden • sehr gute Abgaswerte • sehr hohe Oktanzahl (140 ROZ) • kein Hochdrucktank erforderlich
Einsatzbereich	in Brennstoffzellen (guter Wirkungsgrad)	in Fahrzeugen mit Ottomotoren (Fahrzeuge haben einen Benzin- und Gasdrucktank) Vorteil: in Ballungsgebieten schon jetzt ausreichende Tankstellenzahl	wie Erdgasfahrzeuge	in Südamerika verbreitet, in Europa keine Tankstellen

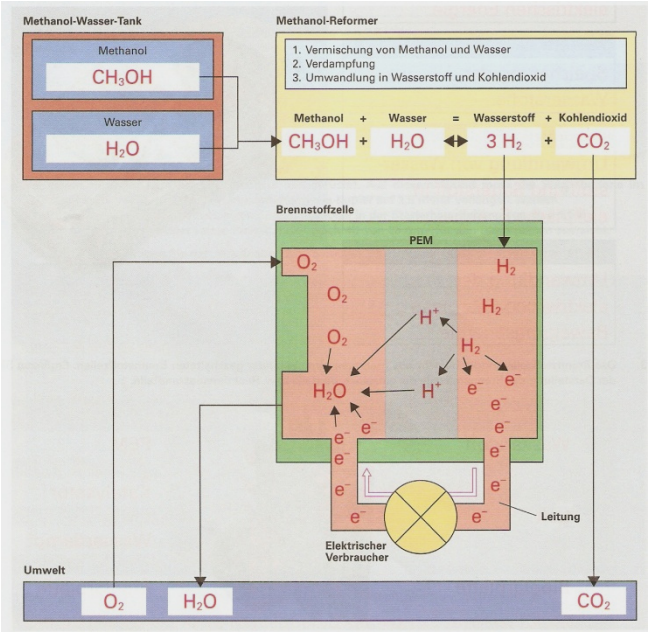
LPG: Liquified Petroleum Gas, entsteht als „Abfallprodukt“ bei der Erdölraffination (überwiegend Propan). Wird als Zusatz in Ottomoren gemeinsam mit Benzin verwendet. Universelle Umbaumöglichkeiten auf fast alle Ottomotoren → *bivalenter Antrieb*
Motoren haben allerdings oft thermische Probleme
Motor muss im Benzinmodus gestartet werden, bis Kühlwasser eine best. Temp. erreicht hat, da sonst der Verdampfer vereist. Mehrverbrauch von bis zu 10% gegenüber Benzinbetrieb.
AU muss(!) im Benzinmodus durchgeführt werden.

CNG: Compressed Natural Gas → komprimiertes Erdgas hat sehr gute Abgaswerte, weil es fast rückstandslos verbrennt. Kommt oft als *monovalenter Antrieb* zum Einsatz (ohne Benzin).

Methanol: FFV→ Flexible Fuel Vehicle; kann mit Benzin, Methanol und einem Gemisch aus beiden betrieben werden. In Südamerika weit verbreitet. Alle Teile, die mit dem Kraftstoff in Verbindung kommen, müssen besonders korrosionsbeständig sein. Wegen der schlechten Kaltstarteigenschaften, wäre in unseren Breiten u.U eine Kühlwasser-/Ölvorwärmung erforderlich. ROZ ca. 105 und mehr.
Im Prinzip E85 und höher!!!



Wasserstoff: Als Brennstoff in einer Verbrennungskraftmaschine. Neben Wasser entstehen nur NO_x bei der Verbrennung. Problematisch ist die (energieintensive) Herstellung des Wasserstoffs, da er fast ausschließlich in gebundener Form auf der Erde vorkommt. Ferner stellt seine Speicherung in einem Tank ein Risiko und erheblichen Aufwand dar. Wasserstoff als Kraftstoff könnte dem Wankelmotor zu einer Renaissance verhelfen.



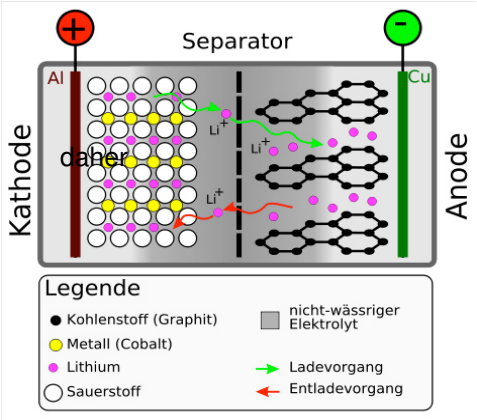
Nebenstehendess Bild zeigt den schematischen Aufbau und das Wirkprinzip einer Brennstoffzelle. Dabei ist es nicht unbedingt erforderlich, dass Wasserstoff in reiner Form mitgeführt wird, sondern in einem Reformer aus Methanol und Wasser erzeugt wird.
Eine PEM ist eine Proton-Exchange-Membran und lässt nur die positiven H^+-Ionen des Wassersoffs passieren. Die Elektronen werden gezwungen einen „Umweg“ zu gehen, ehe sie sich wieder mit dem Wasserstoffkern und Sauerstoff zu Wasser verbinden können.

Hybriedtechnologie

Ziel ist es, die kinetische Energie eines Kfz zu speichern, wenn sie nicht gebraucht wird (z.B. beim Bremsen oder im Schiebebetrieb)
Dazu sind zum einen geeignete Batterien nötig und zum anderen Elektromaschinen (Generator und Motor) die stark genug sind.
Der Generator kann somit auch den Verbrennungsmotor starten.

In der ersten Hybrid-Generation kamen/kommen Metallhydrid-Batterien zum Einsatz. NiMH: Nickelhydroxid $Ni(OH)_2$
Nickelhydrid NiH_4

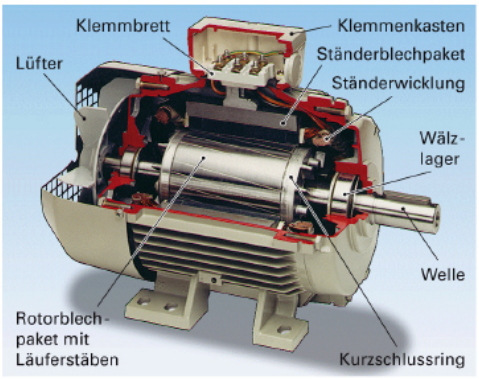
Neuere Versionen nutzen Lithium-Ionen-Akkus



Lithium-Ionen-Akkus erhitzen sich stark und müssen daher entsprechend gekühlt werden. Bei Ausfall der Kühlung ist der Hybridbetrieb nicht mehr möglich.

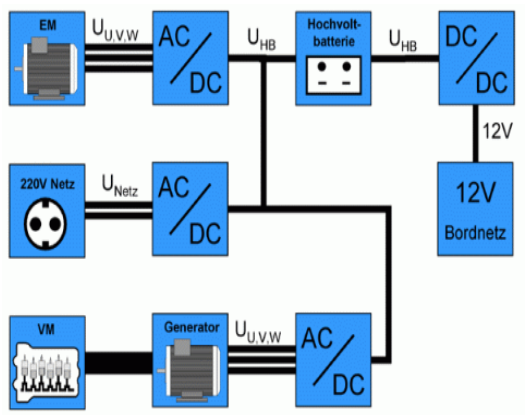
Als Elektromaschinen werden Wechselstrommaschinen eingesetzt, weil sie einen höheren Wirkungsgrad und ein hohes Anlaufmoment besitzen. Zum Einsatz kommen Synchron und Asynchronmaschinen.

Da diese nur mit Wechselstrom betrieben werden, ist immer ein AC/DC-Wandler erforderlich. Wechselstrom ist nicht speicherbar. Zudem muss die hohe Spannung auf 12V Bordnetzspannung runtertransformiert werden.



Drehstrom-Asychronmotor

PLUG-IN-HYBRID

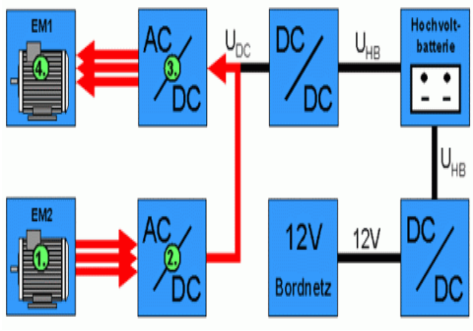


Verbrennungsmotor hat eine mech. Verbindung zum Antriebsstrang → kann daher schwächer sein.

→serieller Hybrid

Dieses System ist vergleichbar mit einem hydrostatischen Antrieb.

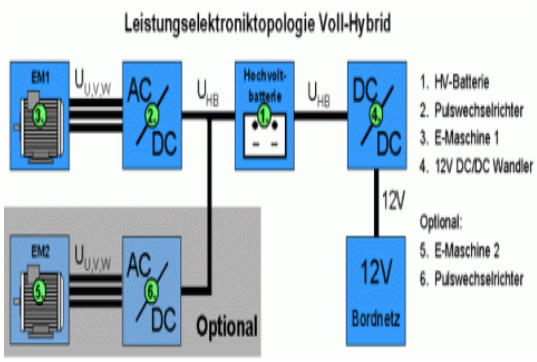
POWERSPLIT-HYBRID



Paralleler Hybrid.

V-Motor (fehlt auf diesem Bild) und E-Motor wirken beide auf den Anriebsstrang (vgl. Toyota Prius)
Beide Motoren können schwächer ausgelegt sein (Mild-Hybrid)

VOLLHYBRID



E-Maschine mit hoher Leistung
Auch im reinen E-Betrieb höhere Geschwindigkeiten möglich. E-Motor Unterstützt den V-Motor.
Eine hoher Anteil kinetischer Energie kann beim Lastwechsel in elektr. Energie umgewandelt werden. → Rekuperation!

Vgl: KERS in der Formel 1

Hier werden neben Batterien auch Kondensatoren zur Speicherung der elektrischen Energie eingesetzt. Daher steht die die elekt. Energie auch nur kurzzeitig zur Verfügung

Beachte die besondere Funktion des DC/DC- Wandlers.

Bei Arbeiten an Hybridfahrzeugen sind besondere Regeln zu beachten. Wer darf was?

Literatur:
HUT Kfz-Mechatroniker
Europa- Kraftfahrzeugtechnik
Bosch-Kfz Technik
MTZ
Opel-Prospekt