

# Járművek és motorok hő- és áramlástanai rendszerei

## 7. Előadás

### Károsanyag kibocsátás

# Tematika

- 1. Károsanyagképződés a motorban
- 2. Emissziós előírások
- 3. Mérési eljárások
- 4. Kipufogógázkezelési eljárások

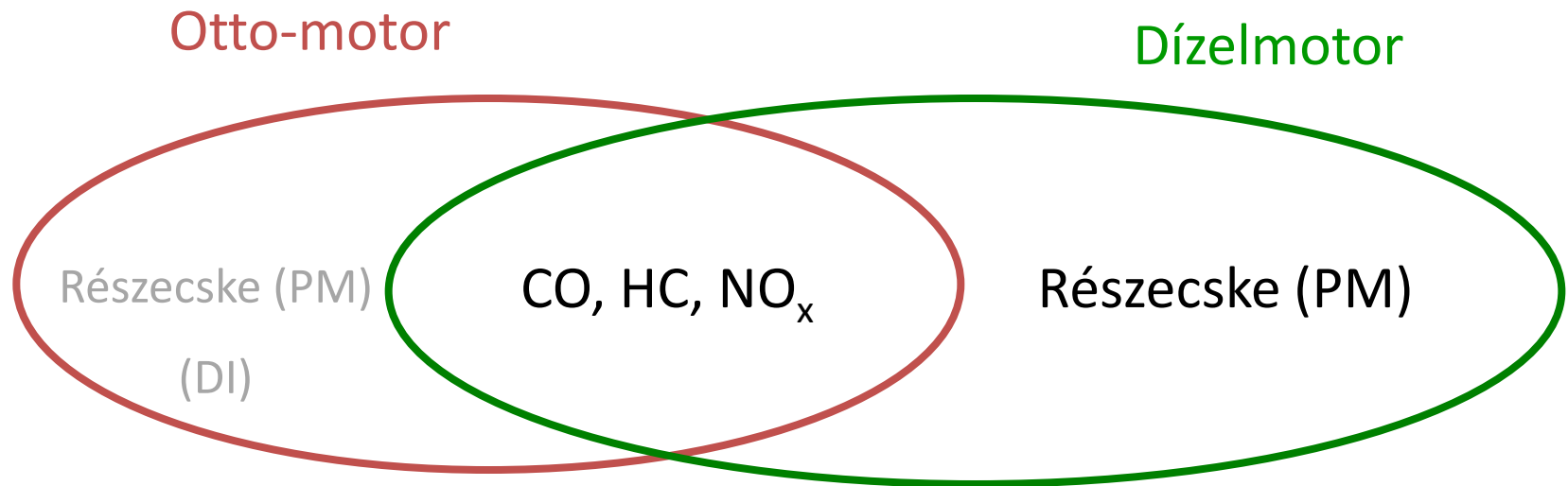


- Nem törzsanyag

# 1. Károsanyag képződés a motorban

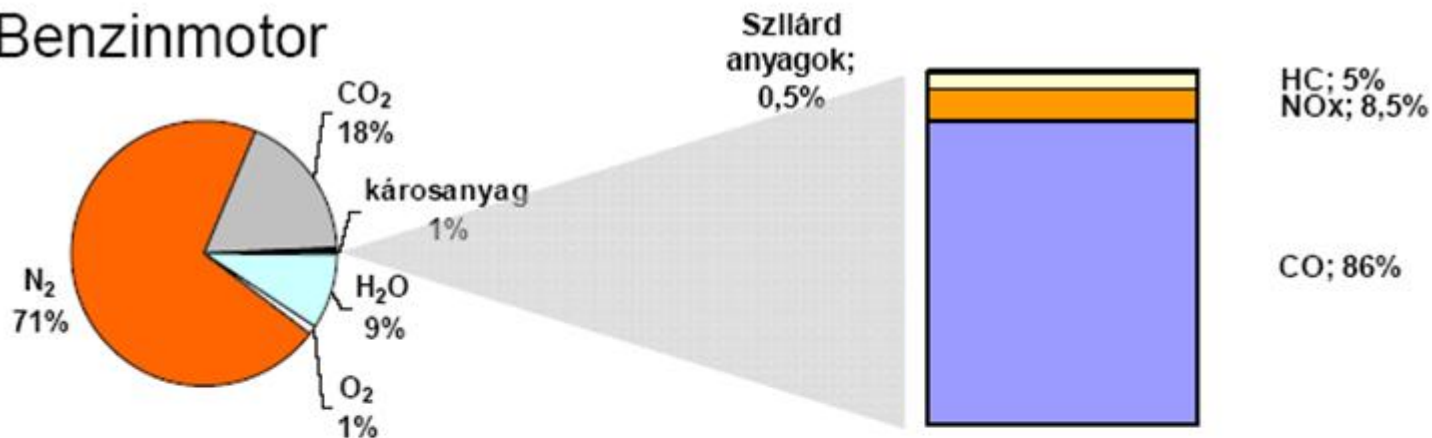
- Az égésfolyamat nem ideális termodinamikai körülmények között zajlik le:
  - Nem homogén a keverék
  - Kémiai reakciók lezajlására nincs elég idő
  - Nem egyenletes a hőmérsékleteloszlás a hengerben
- A nem teljes égés és a másodlagos reakciók egyik mellékterméke a keletkező károsanyag

# Diesel- és Otto-motorokban keletkező károsanyagok

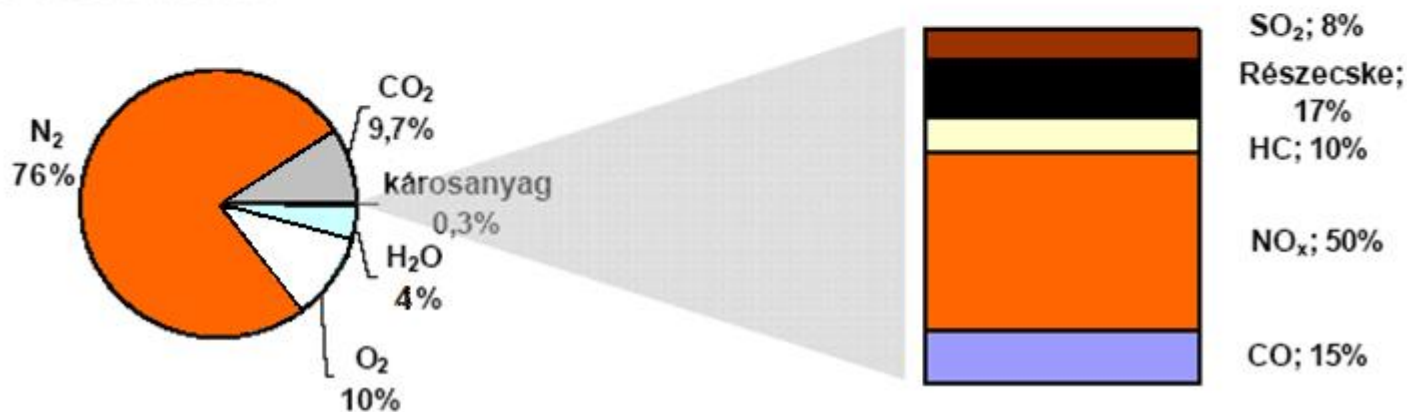


# Egyes Diesel- és Otto-motorokban keletkező károsanyagok részarányai

## Benzinmotor



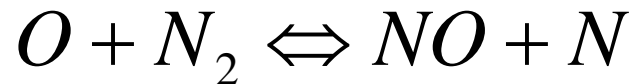
## Dízelmotor



Diesel ma kénmentes

# Nitrogén-oxid(ok) keletkezése

- Nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_x$ )
  - Termikus úton: magas hőmérsékleten az  $\text{O}_2$  molekula disszociál, aktív O atomok lépnek reakcióba  $\text{N}_2$ -vel. Nagyobb része a lángban keletkezik



## Nitrogén-oxid(ok) keletkezése

- Prompt NO képződés: szénhidrogén aktív gyökök oxigén hiányában  $N_2$  molekulával is reakcióba lépnek  $\rightarrow$ HCN, CN  $\rightarrow$  oxidációjuk során NO keletkezik.

Nagyságrendekkel kevesebb prompt NO képződik, mint termikus úton. Csak akkor fordul elő, ha a lángban helyi oxigénhiány alakul ki a lángfront kezdeti szakaszában.



- N tartalmú tüzelőanyagból (ált. nehézolaj esetén)

## Nitrogén-oxid(ok) keletkezése

- Keletkezés feltétele Otto-motoroknál:
  - Légviszony ( $\lambda$ ):  $\lambda=1,1$ -nél van a maximum. Alatta kevés az oxigén, felette csökken a csúcshőmérséklet
  - Előgyújtás növelésével az égés a FHP-hoz viszonyítva korábban kezdődik → csúcsnyomás nő → csúcshőmérséklet nő → nagyobb NO kibocsátás
  - Kipufogógáz visszavezetés: min. 15-20% visszavezetéssel jelentősen csökkenthető NO kib.



# Nitrogén-oxid(ok) keletkezése

- Diesel-motoroknál:

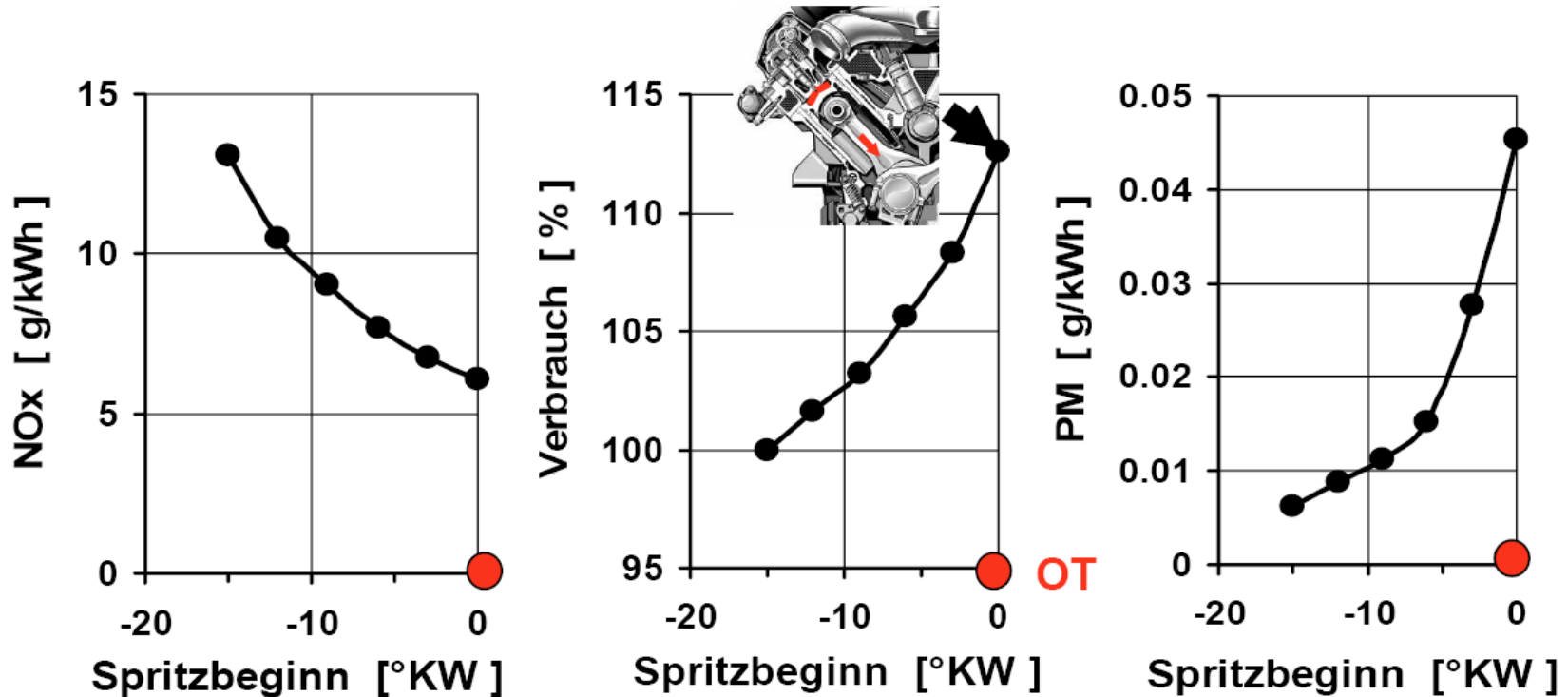
- Befecskendezés kezdet: később → később kezdődő égés → alacsonyabb égési csúcshőmérséklet → kevesebb NO képződik (nő a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás).
- Kipufogógáz visszavezetés: hőmérséklet csökkentés érhető el bizonyos üzemállapotoknál.
- Az légf felesleg miatt itt a NO továbboxidálódik NO<sub>2</sub>-vá (kb. 25-30%-a)



# Nitrogén-oxid(ok) keletkezése

- Az előbefecskendezés hatása a fogyasztásra,  $\text{NO}_x$  és a korom kibocsátásra

(  $B \times H = 130 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ ,  $n = 1420/\text{min}$ ,  $p_{\text{me}} = 20,5 \text{ bar}$  )

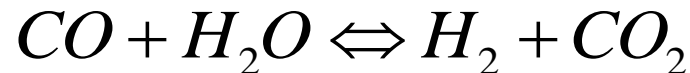


# CO keletkezése

- Szén-monoxid keletkezése (CO)
  - Közbenső lépés a szénhidrogének oxidációs folyamatában,
  - CO egy a képződésénél lassabb reakció során oxidálódik CO<sub>2</sub>-vé
$$CO + OH \Leftrightarrow CO_2 + H$$
  - Tüzelőanyag oxidációjának mértéke függ:
    - Oxigén koncentráció,
    - Gáz hőmérséklete,
    - Reakcióhoz rendelkezésre álló időtől (ford.szám)
  - Legfontosabb tényező: *légfelesleg tényező* (dús keverék → oxigénhiány → tökéletlen égés).

# CO keletkezése

- Benzinmotor
  - Esetenként dús keverékekkel üzemelnek (teljes terhelés, gyorsítás, hidegindítás) → jelentősebb CO kibocsátás.
- Dízelmotor
  - Mindig légtfelesleg van → jóval kisebb CO emisszió.
- Víz-gáz reakció, koncentrációméréshez:



## HC keletkezése

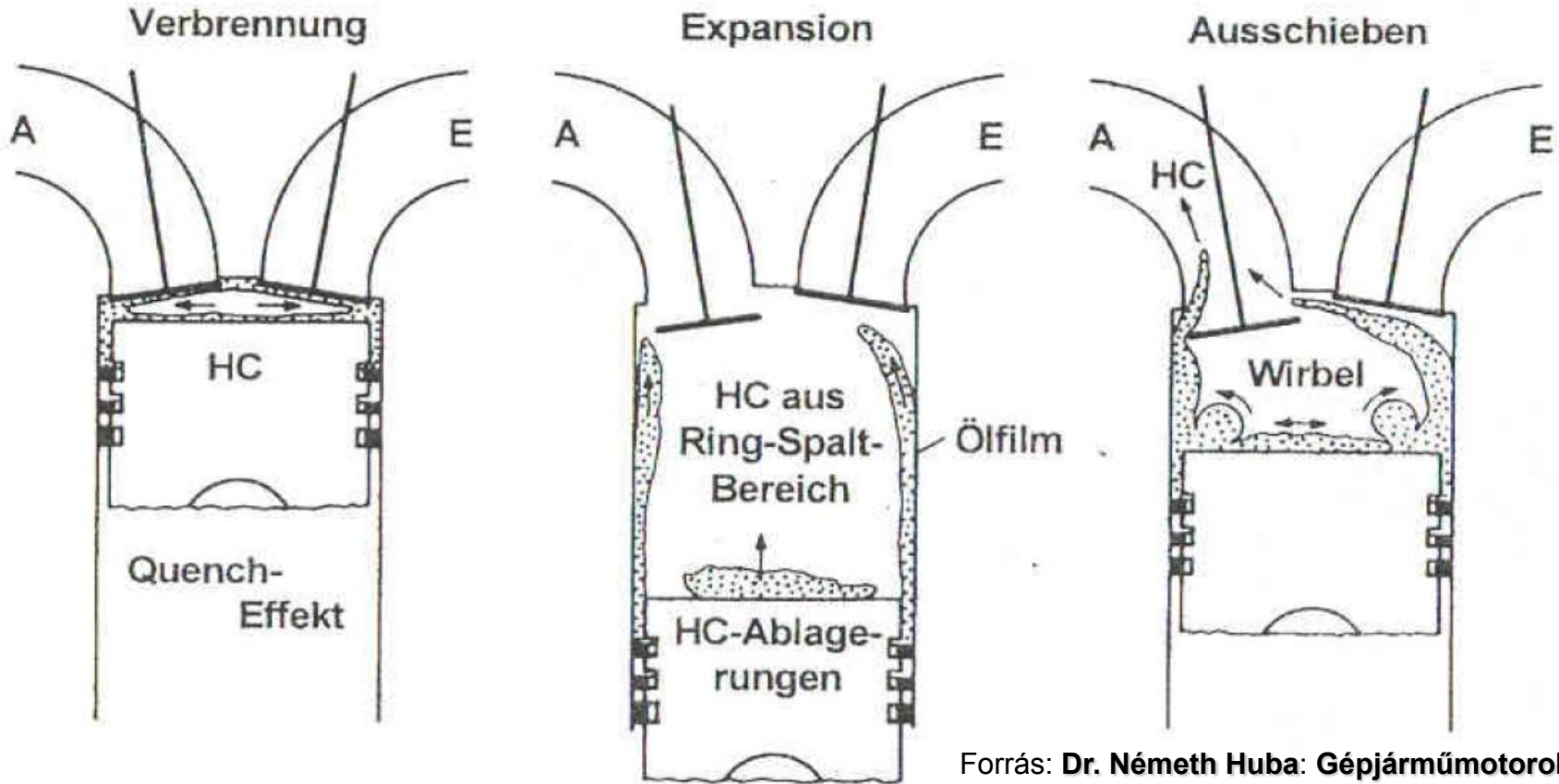
- Szénhidrogének (HC)
  - Sokféle eltérő tulajdonságú szerves vegyület
  - Aktív szabad gyökök reakciói kombinálódnak (dehidrogénezés, izomerizációs folyamatok) → különböző formájú oxidálódott szerves vegyületek (pl.: keton, aldehidek)
  - Lángkialvás: hőelvonás → visszaalakítja a lángban képződött aktív gyököket (köztes vegyületek maradnak)
  - kenőanyag abszorpciós és deszorpciós hatása
  - Szénhidrogén-emisszióknak csak egy részét adják az elégetlen tüzelőanyag részek, a kenőolaj és a tartályból párolgó tüzelőanyag is hozzájárul

# HC keletkezésének okai

- Benzinmotor
  - Tökéletlen égés inhomogenitás miatt
  - Gyújtáskimaradás
  - Lángkialvás
- Dízelmotor
  - Falról párolgás
  - Túlságosan dús keverék az öngyulladáshoz vagy a láng terjedéséhez
  - Koromrészecskék felületén adszorpció

# HC keletkezése

- HC emisszió keletkezésének helye az égéstérben



Forrás: **Dr. Németh Huba: Gépjárműmotorok II.**  
Belsőégésű motorok égésfolyamatai

## Korom keletkezése

- Részecske (korom) emisszió képződése
  - Első fázis: részecskék kialakulása a tüzelőanyag-molekulák átmeneti oxidációja során.  
Kiinduló vegyületek: telítetlen vegyületek (acetilén és policiklikus aromások - PAK) → krisztallitok (0,001  $\mu\text{m}$ )
  - Második fázis: részecskék növekedése  
Koaguláció: felületnövekedés → különböző vegyületek kötődnek a gázfázisú anyagokból a részecskékre → tömegnövekedés
  - Harmadik fázis: halmozódás  
Agglomeráció: Részecskeláncolatok, aggregátumok létrejötte

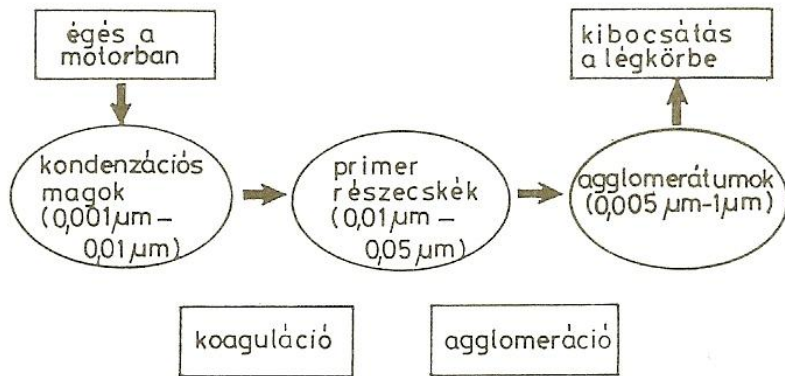


# Korom keletkezése

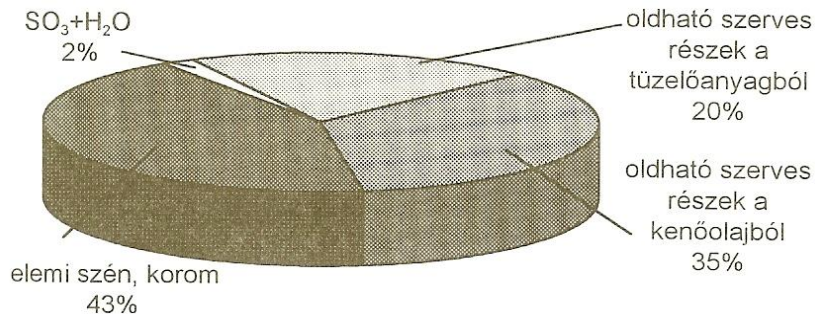
- Benzinmotor:
  - Adalékolt vegyületekből (ólom) ill. kéntartalomból (szulfátok)
  - Extrém dús keverék esetén
  - Közvetlen befecskendezésnél
- Dízelmotor:
  - Nagyságrendekkel nagyobb koromkibocsátás
  - Közepes ( $T > 1800^{\circ}\text{K}$ ) hőmérsékleten gázolajból is képződik (dús keverék esetén)
  - Porlasztás minősége  $\rightarrow$  cseppmérettel nő a koromkibocsátás.

# Károsanyagok keletkezése

## • Korom keletkezése



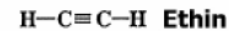
A koromképződés fizikai folyamata



A dizelmotorban képződő részecskék alkotói

**Kraftstoff**

↓ **Verbrennung**

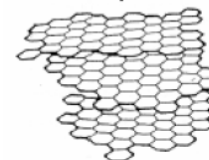


↓



**aromatische Kohlenwasserstoffe**

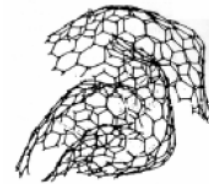
↓



**graphitähnliche Rußteilchen**

↓

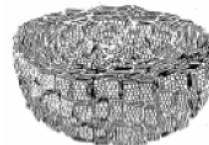
**Koagulation**



**Primärrußteilchen**

↓

**Agglomeration**

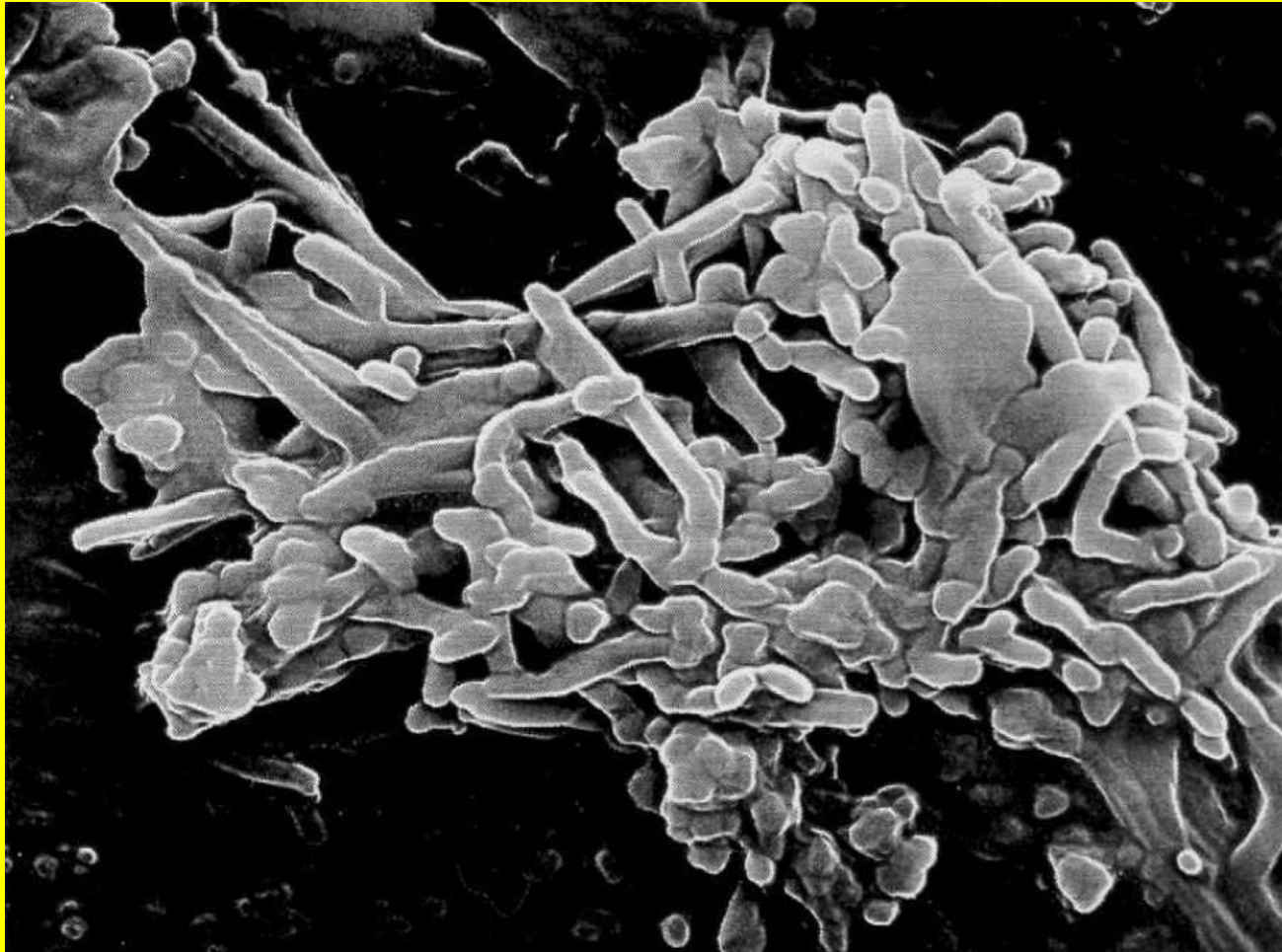


**Rußpartikel**

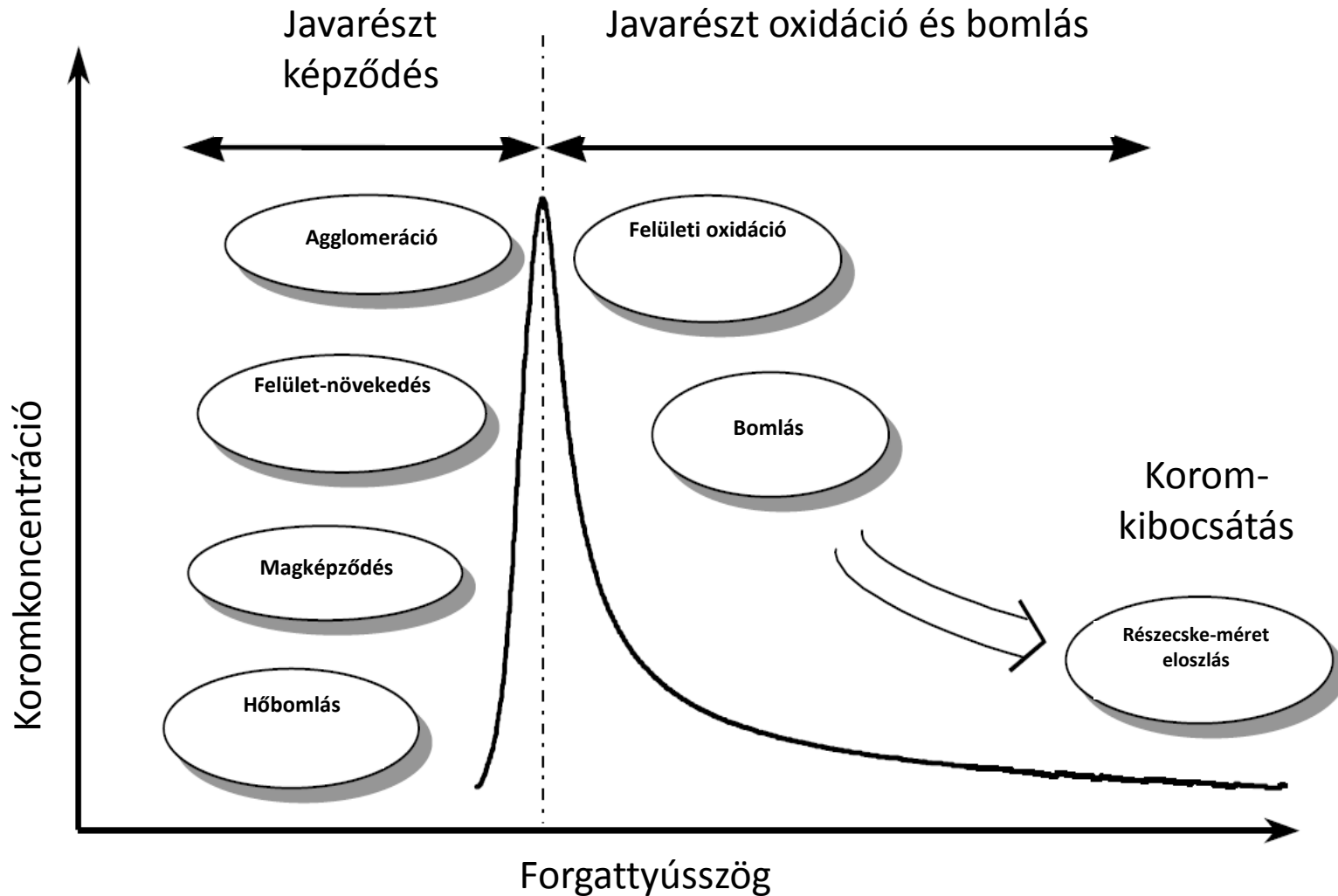
Forrás: **Dr. Németh Huba: Gépjárműmotorok II.**  
Belsőégésű motorok égésfolyamatai

## Károsanyagok keletkezése

- A koromszemcse elektronmikroszkóp alatt

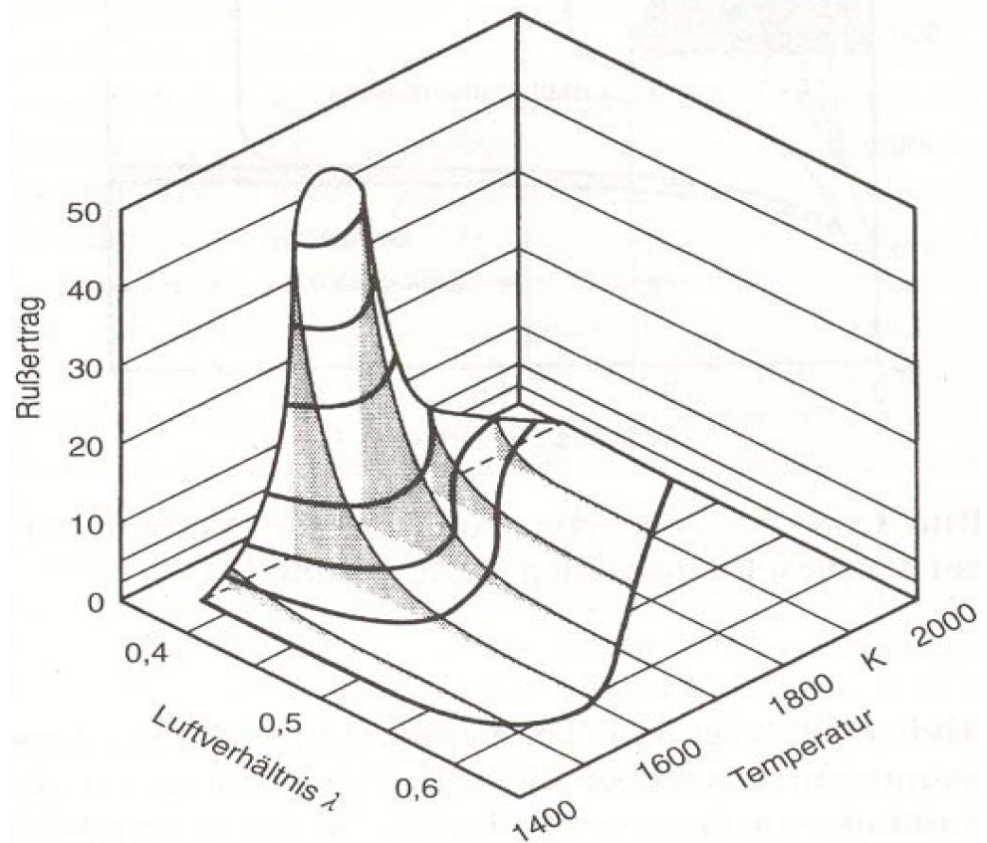
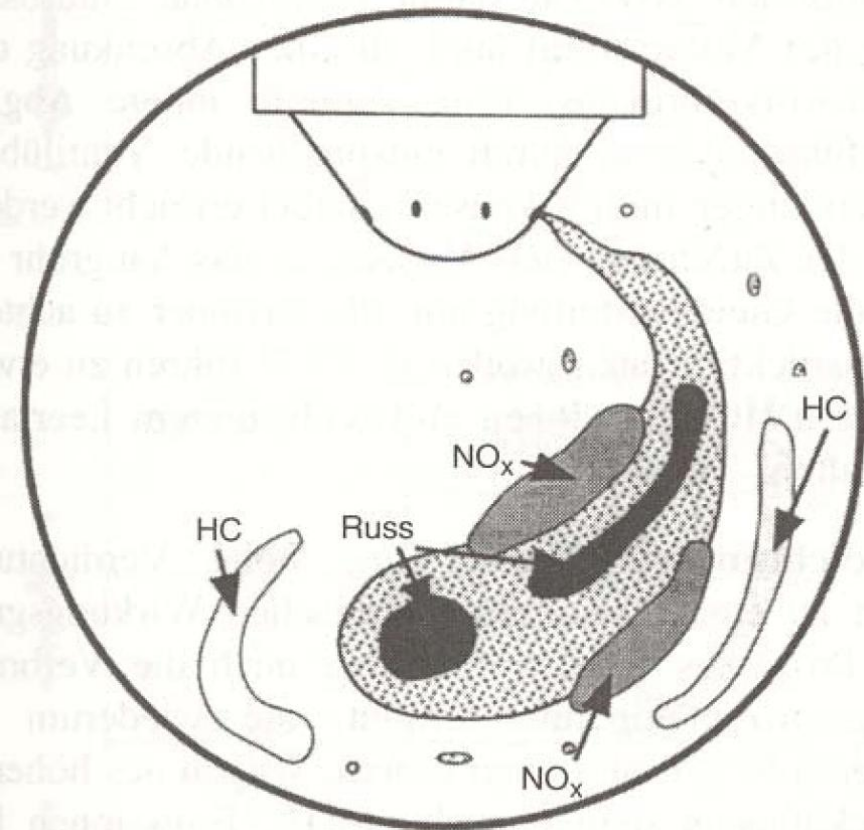


# A korom képződésének és oxidációjának időbeli lefolyása

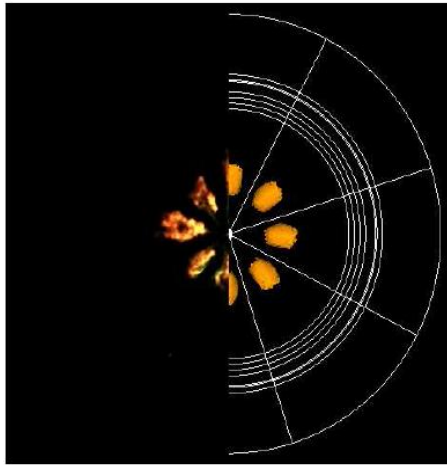


## Károsanyagok keletkezése

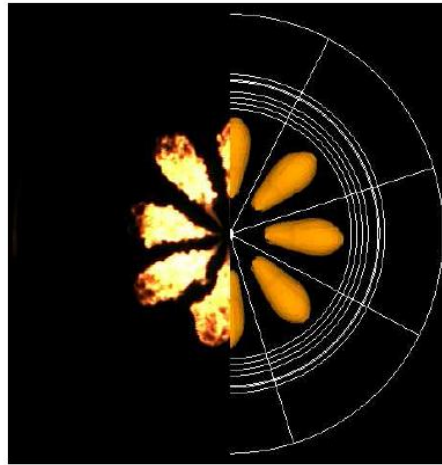
- Károsanyagok keletkezési helye kompressziógyújtás esetén



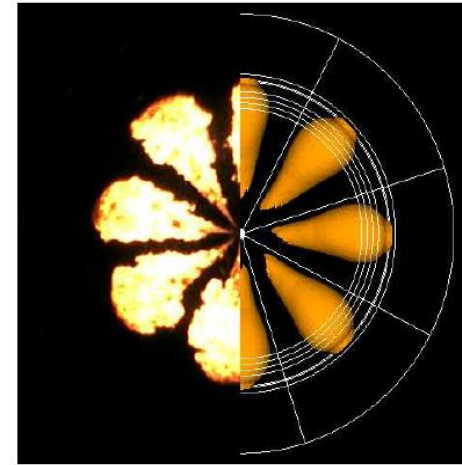
# Koromvilágítás az égés során, hőmérséklet-izofelületek 1400°K



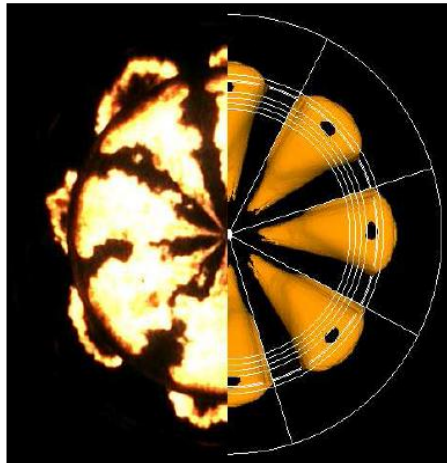
-0.1°KW nOT



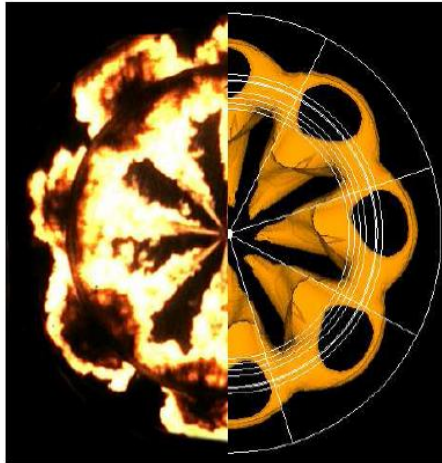
2.1°KW nOT



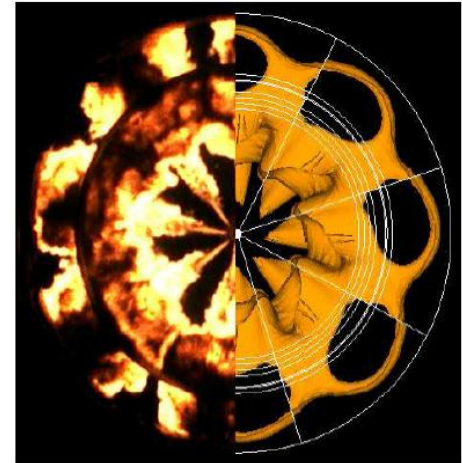
6.5°KW nOT



9.8°KW nOT



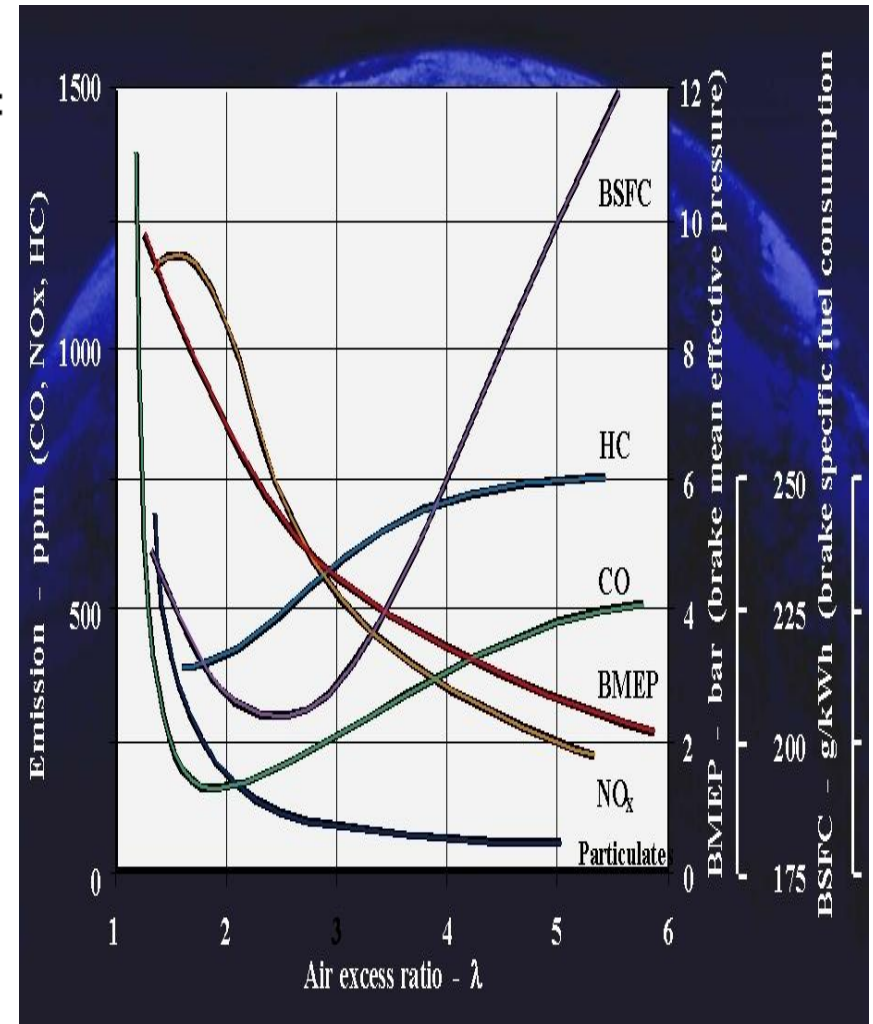
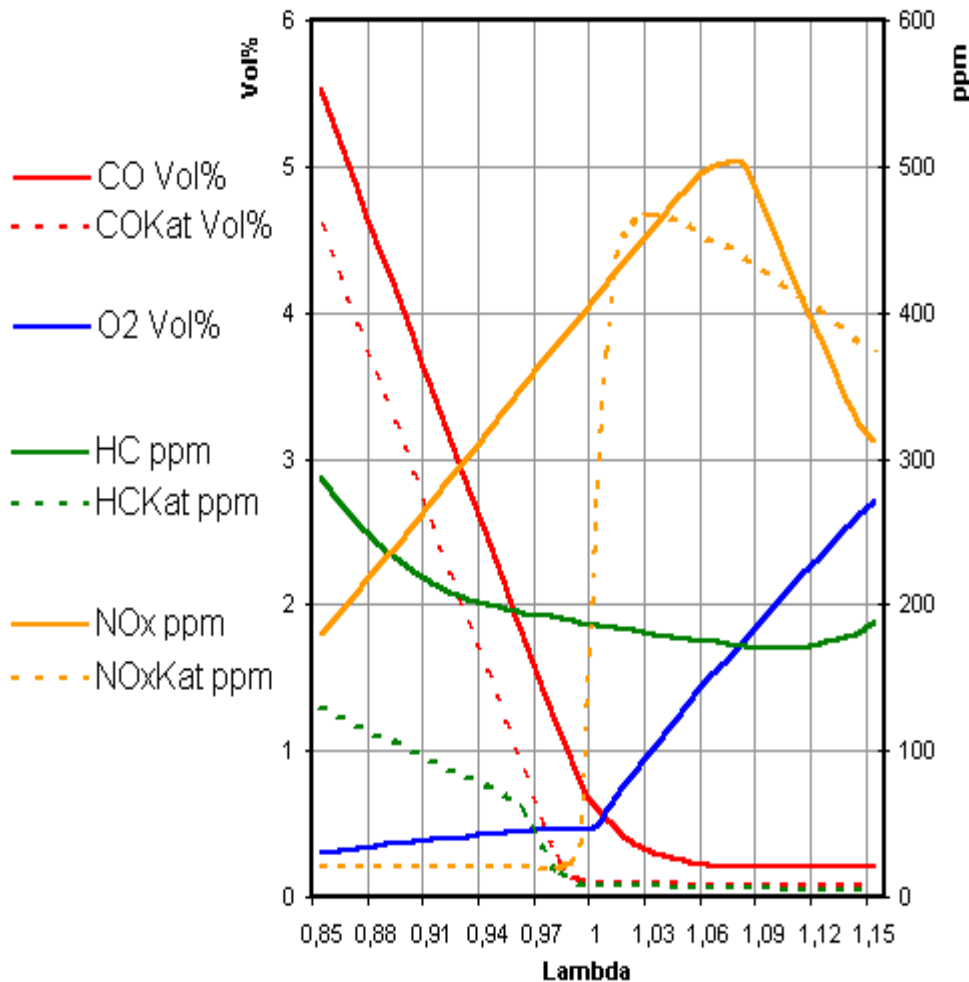
15.3°KW nOT



20.5°KW nOT

# Károsanyagok keletkezése

- Károsanyag-keletkezés összehasonlítása Otto- és Diesel-motorok esetén



## 2. Kipufogógáz előírások

- Minden fejlett ország rendelkezik hatósági előírásokkal a gépjárműmotorok károsanyag kibocsátására vonatkozóan. Ez országonként változhat.
- A korlátozás a következő káros összetevőkre vonatkozik:
  - szénhidrogének (HC),
  - szén-monoxid (CO),
  - nitrogénoxidok (No<sub>x</sub>)

Ezen túlmenően a Diesel-motorokra vonatkozik még:

- a részecske (cseppfolyós- és szilárdanyag) -tartalom és/vagy
- a füstűrűség (a látást korlátozó kipufogógáz-összetevők)



## Kipufogógáz előírások

- Emisszió: levegőterhelés, egy adott szennyező forrásból időegység alatt kijutó szennyezőanyag mennyisége.
- Imisszió: levegőterheltségi szint, a levegőben lévő szennyezőanyagok koncentrációja, megadja a levegő minőségét. Mértékegysége:  $\text{mg}/\text{m}^3$

# Kipufogógáz előírások

- **A típusvizsgálaton ellenőrzött értékek tartóssága:**

A járművek meghatározott út - Európában 2005-ig a személygépkocsik 80 000 km, 2005-től 100 000 km - megtételéig nem léphetik túl a típusvizsgálati korlátozás másfélszeres értékét

- **A jármű fogyasztása:**

Közvetlenül nincs szabályozva, csak a CO<sub>2</sub> kibocsátáson keresztül, 2008-ig 140g/km alá kellett csökkenteni az autógyártóknak az átlagos flottakibocsátást, 2010-re pedig 120g/km alá.

- **Átlagos flottakibocsátás:** a gyártó által értékesített összes jármű kibocsátásának átlaga.

# Kipufogógáz előírások

- **Tüzelőanyag párolgásából származó környezetszennyezés:**

Megfelelő előkészítés után a motor tüzelőanyag-tartályában lévő benzint 20 °C-ról 35 °C-ra melegítik, és meghatározzák a tartályban lévő gőzök eltávozásából származó szennyezést.

A motorral egy európa-menetciklust (UDC+EUDC) járatnak végig, meghatározzák a melegen leállított motorból elpárolgott benzinmennyiséget.

- **Kartergáz emisszió**

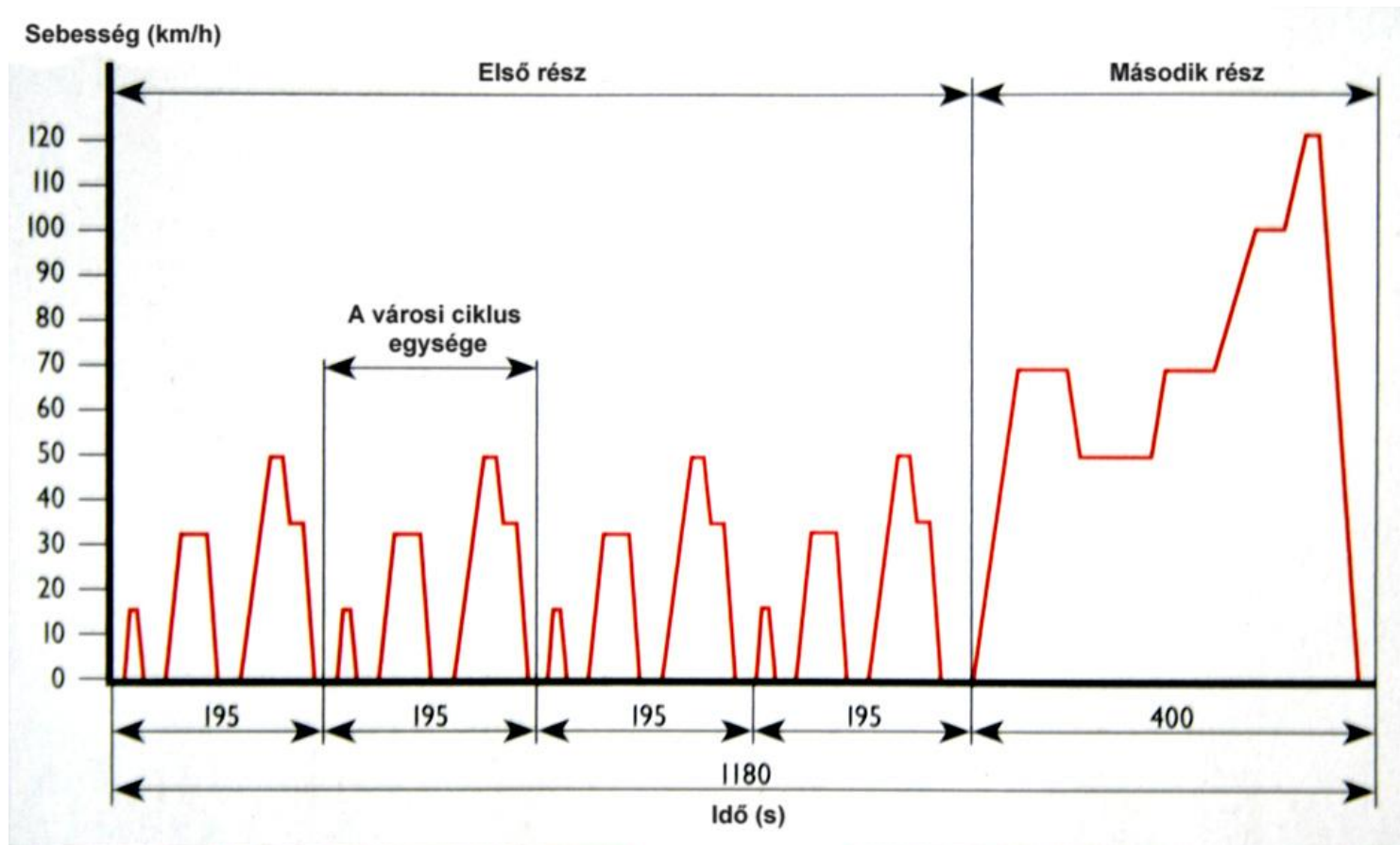
A motor a szabadba nem bocsáthat ki kartergázt!

# Kipufogógáz előírások

EU besorolás	Bevezetés éve
EURO 1	1993
EURO 2	1996
EURO 3	2000
EURO 4	2005
EURO 5	2008
EURO 6	2014
EOBD	2000

EURO 1 és EURO 2 esetében csak városi menetciklusban vizsgálták a személygépkocsikat, 18,7 km/h átlagsebességgel (UDC-Urban Driving Cycle), EURO 3-tól már országúti ciklust is belevonnak (EUDC), kettő együtt adja a teljes ciklust, 33,6 km/h átlagsebességgel. EURO 5-től a HC és CO értékeket -7°C-os hidegindítás után mérik.

# EU ciklus



Ábra: Totalcar.hu

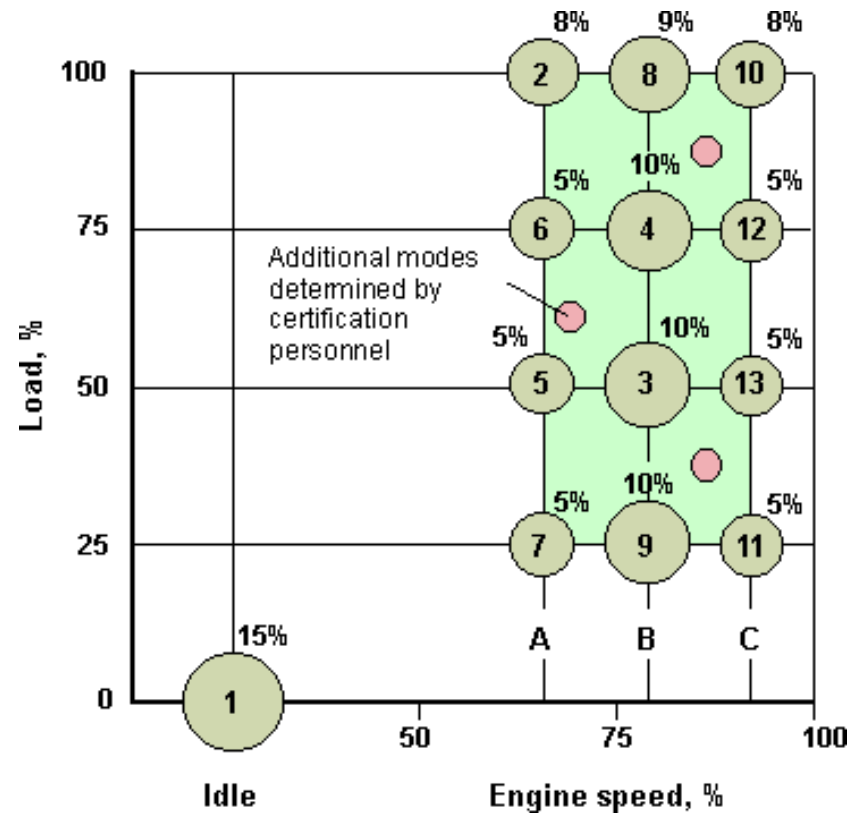
## Vizsgálatok (Heavy Duty)

- ESC (European Steady Cycle)
  - Minden Diesel-motornál elvégzendő
- ETC (European Transient Cycle)
  - Elvégzendő minden DPF és DeNOx katalizátoros Diesel-motornál
- ELR (European Load Response Test)

# ESC ciklus mérés

Üzem mód	Fordulatszám	Terhelés [%]	Súlyozás [%]	Időtartam
1	Low idle	0	15	4 perc
2	A	100	8	2 perc
3	B	50	10	2 perc
4	B	75	10	2 perc
5	A	50	5	2 perc
6	A	75	5	2 perc
7	A	25	5	2 perc
8	B	100	9	2 perc
9	B	25	10	2 perc
10	C	100	8	2 perc
11	C	25	5	2 perc
12	C	75	5	2 perc
13	C	50	5	2 perc

# ESC ciklus mérés

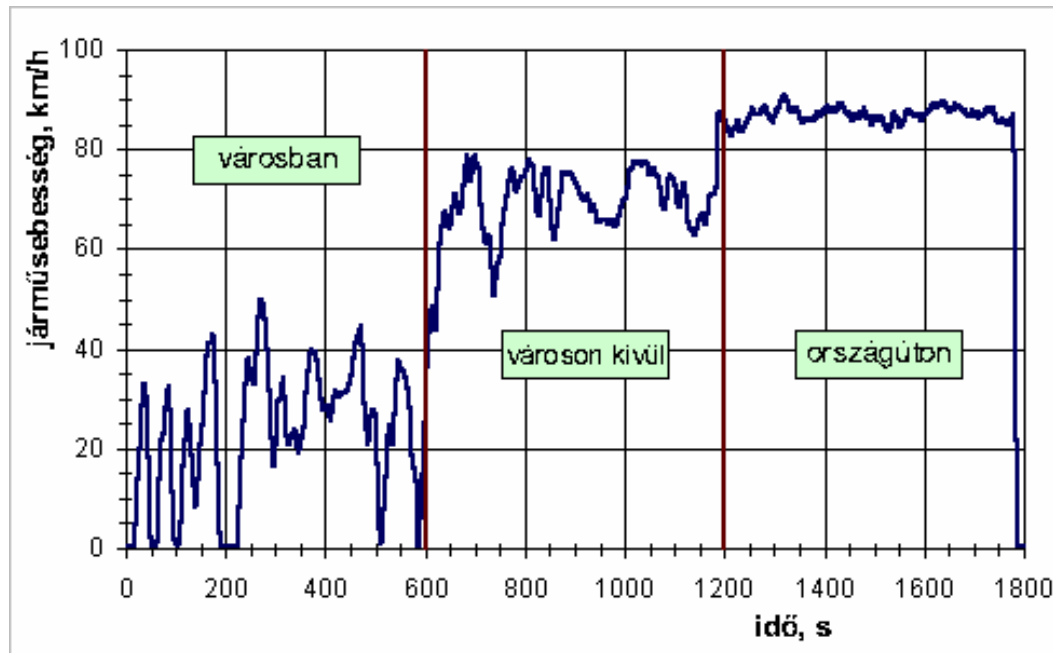


Forrás: <http://www.dieselnet.com>



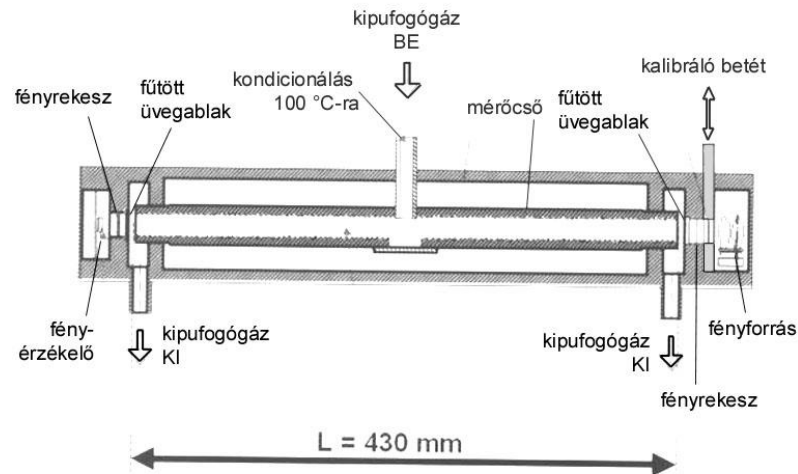
# ETC ciklus

- Városi, max 50 km/h, gyakori megállás és alapjárat
- Városon kívül, gyorsítás 72 km/h-ig
- Országúti, 88 km/h



# ELR ciklus

- EURO 3-tól alkalmazzák
- Kipufogógázt fényforrás és fényérzékelő közé vezetik, megvizsgálják az ún. fényelnyelést (opacitás vizsgálat)



# Fékpadi mérések

- Koncentrációmérés a kezeletlen kipufogógázban a gázelemző készüléktől kapott jel integrálásával
- CVS higítórendszer higított kipufogógázában mért koncentráció integrálásával, vagy zsákos mintavétellel

### 3. Mérési eljárások

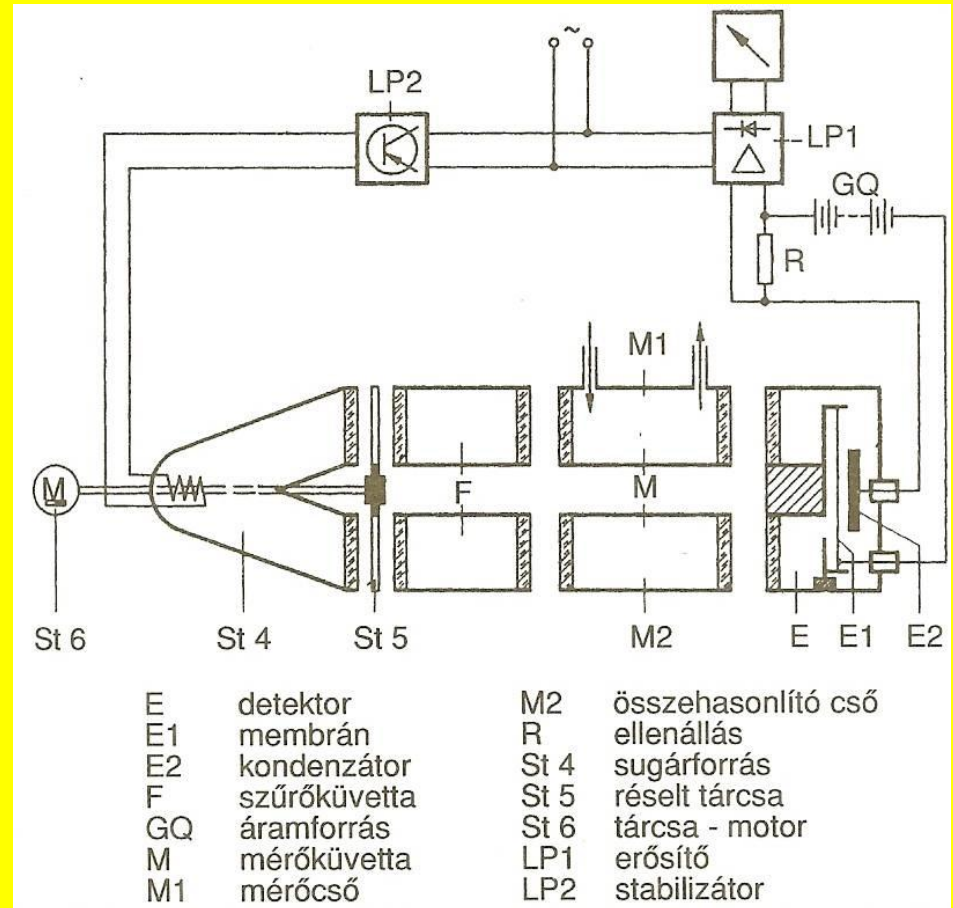
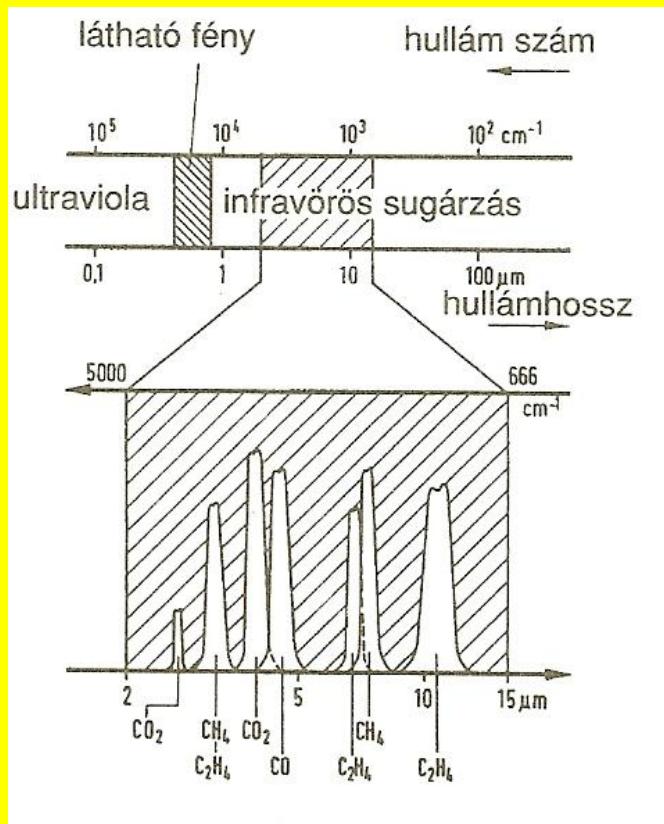
- Károsanyagok mérése:
  - Katalizátor hatásfoka [%]: 
$$\eta_i = \frac{E_{ie} - E_{iv}}{E_{ie}} \cdot 100$$

ahol  $E_{ie}$  a kat-ba belépő károsanyag mennyisége (koncentrációja),  
 $E_{iv}$  a kat-ból kilépő károsanyag mennyisége (koncentrációja).

- Emisszió koncentráció mérése: Infravörös sugárzás szelektív abszorpcióján alapuló mérés (NDIR - Non Dispersive Infrared Absorption)
- CO és CO<sub>2</sub> mérésére

# Mérési eljárások

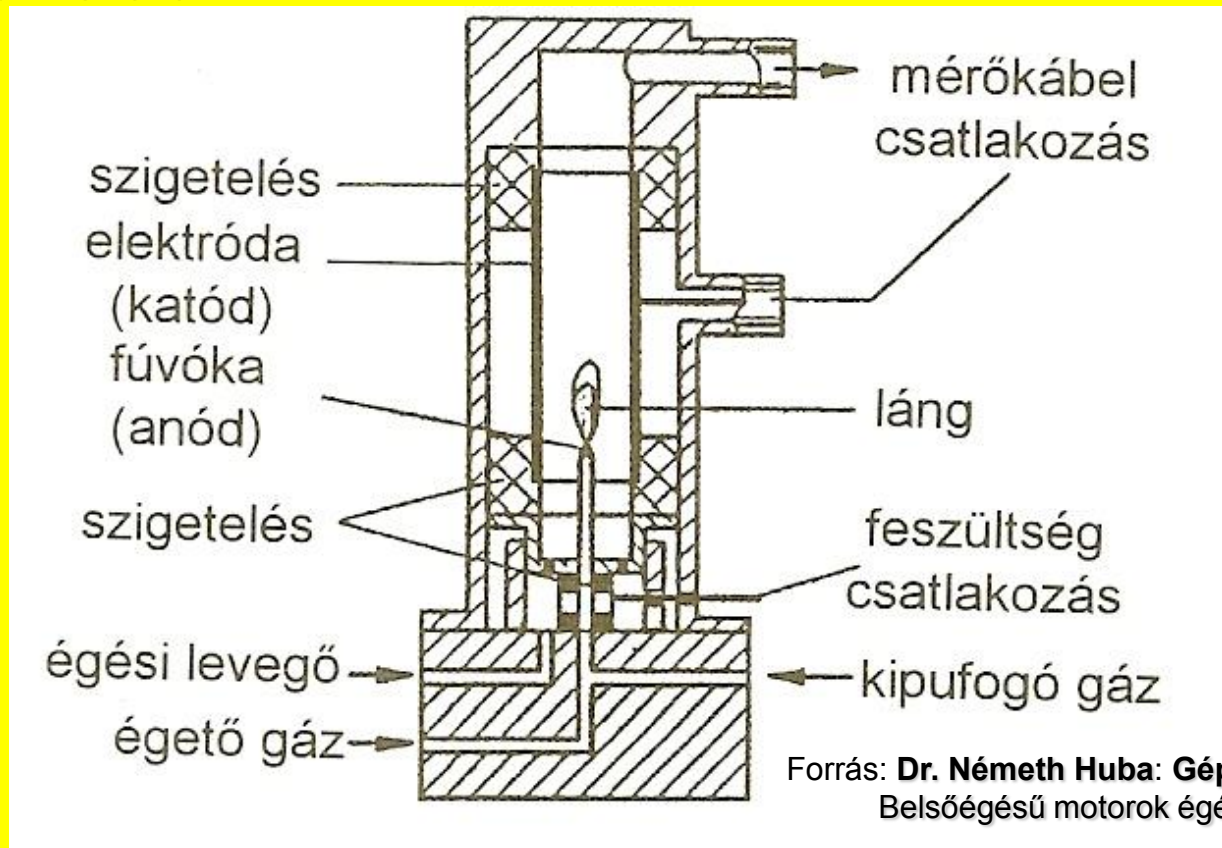
- NDIR



Forrás: Dr. Németh Huba: Gépjárműmotorok II.  
Belsőégésű motorok égésfolyamatai

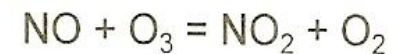
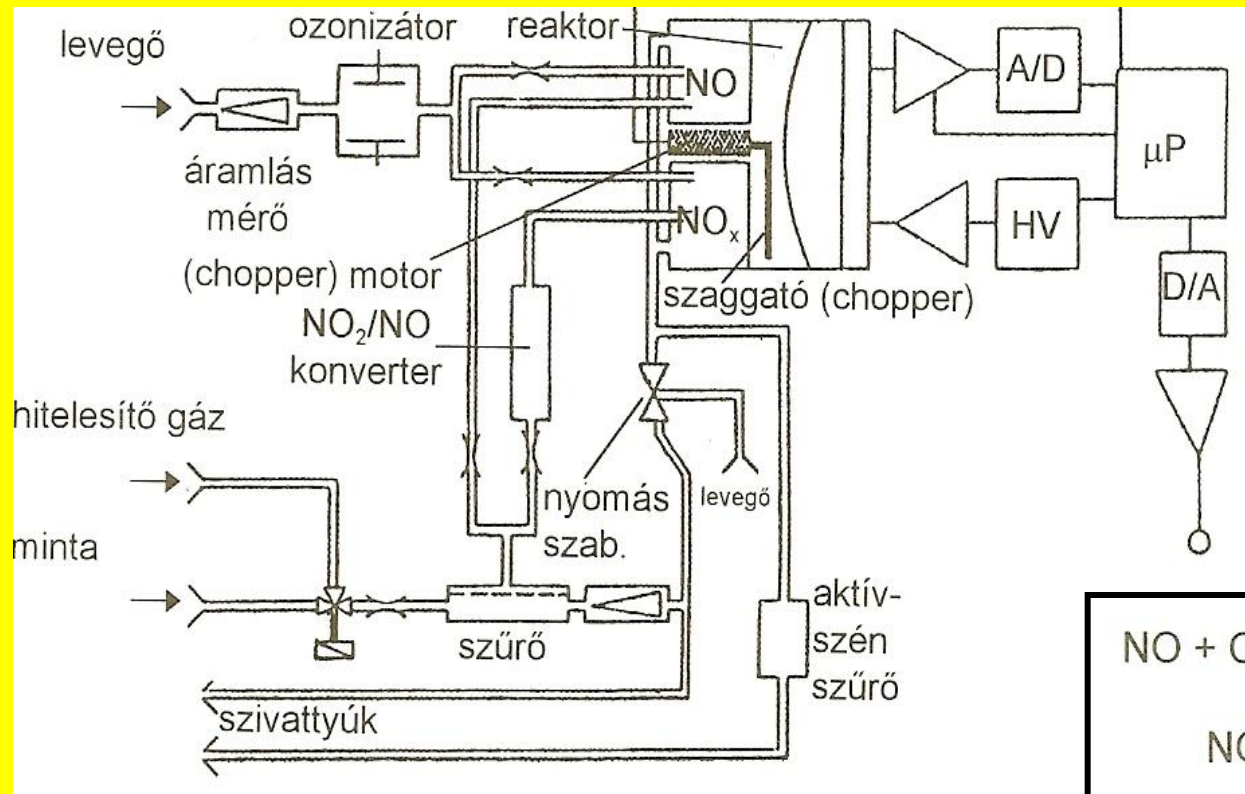
# Emisszió koncentráció mérése

- Lángionizációs detektor (FID – Flame Ionization Detection)
- HC mérése
- $H_2$ , He égőgáz keverék



# Emisszió koncentráció mérése

- Kemilumineszcencia elvű gázelemzők
- NO, NO<sub>2</sub> mérése

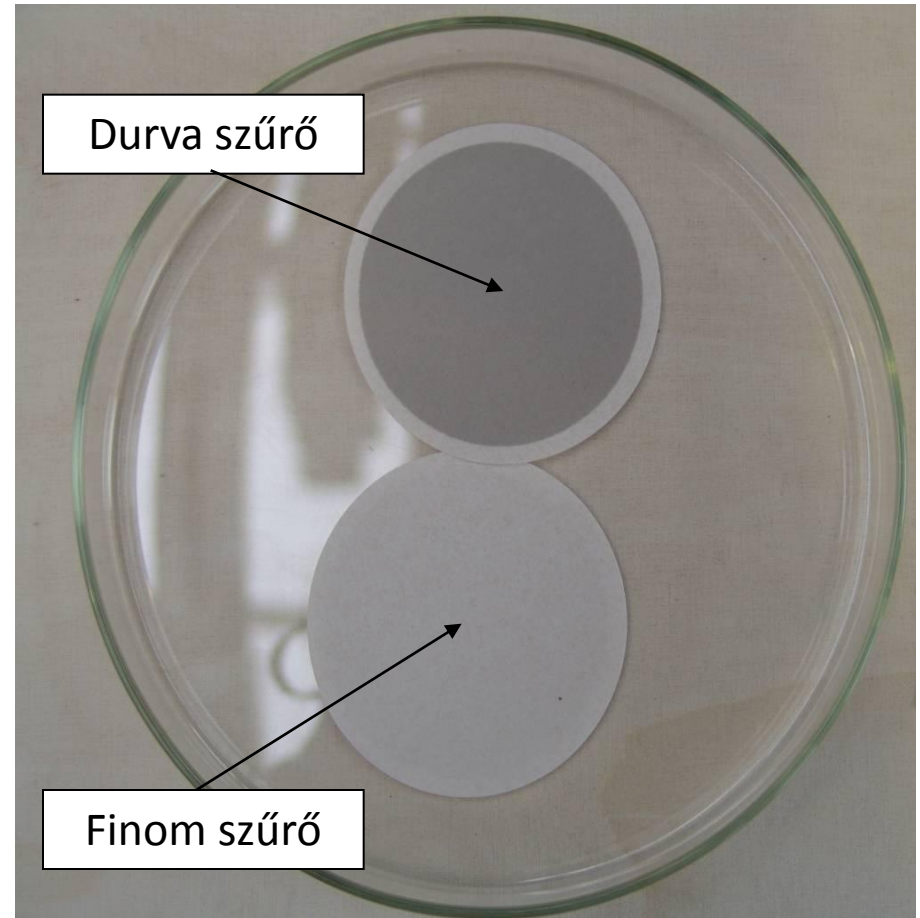


# Emisszió koncentráció mérése

Szűrés elvén működő részecske,  
korom mérése

2 módszer használatos:

- K (Bosch) feketedési fok
  - etalon skálához való összehasonlítás
- A ciklusban összegyűjtött részecske tömegének mérése
  - Szűrő tömegnövekménye
  - 2 szűrő: durva és finom





## 4. Kipufogógáz kezelési eljárások

### Károsanyag emisszió csökkentésének lehetőségei

- Keletkezés csökkentése:
  - Égéstérforma
  - Kipufogógáz visszavezetés
  - Alternatív égésfolyamatok (HPLI, HCLI, HCCI, rétegzett keverék)
  - Tüzelőanyag befecskendezés és/vagy a gyújtás optimalizálása
  - Töltőlevegő+kipufogógáz hűtés
- Utánkezelés

# Utánkezelés

- Kipufogógáz visszavezetés
  - Belső → szívó- és kipufogószelep összenyitása,
  - Külső → kipufogócsőből egy szelepen keresztül visszavezetjük a gázt a szívóoldalra (visszahűthető!).
- Jelentősen csökkenthető a  $\text{NO}_x$ -kibocsátás,
- Bizonyos értéke felett jelentősen megugrik a CH-emisszió
- Bizonyos értéke felett a fajlagos fogyasztást növeli

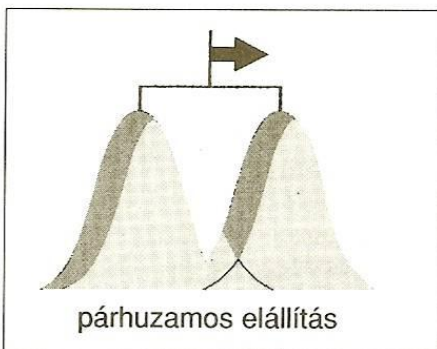
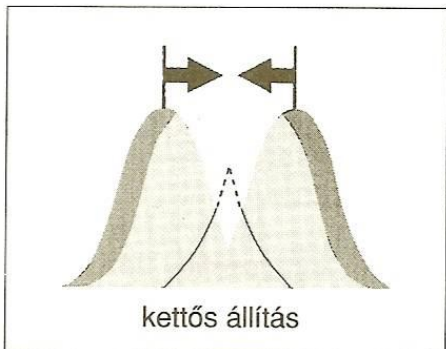
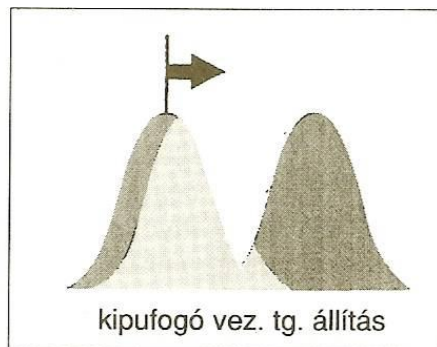
AGR = **A**bgasrückführung

=

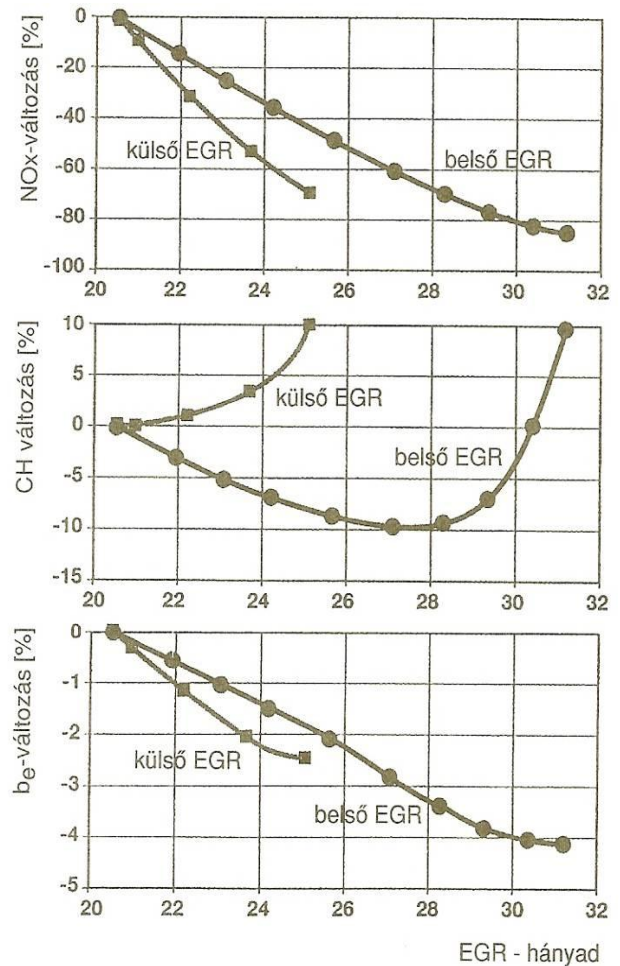
EGR = **e**xhaust **g**as **r**ecirculation

# Kipufogógáz visszavezetés

- Belső kipufogógáz visszavezetés



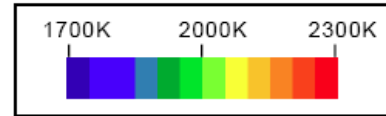
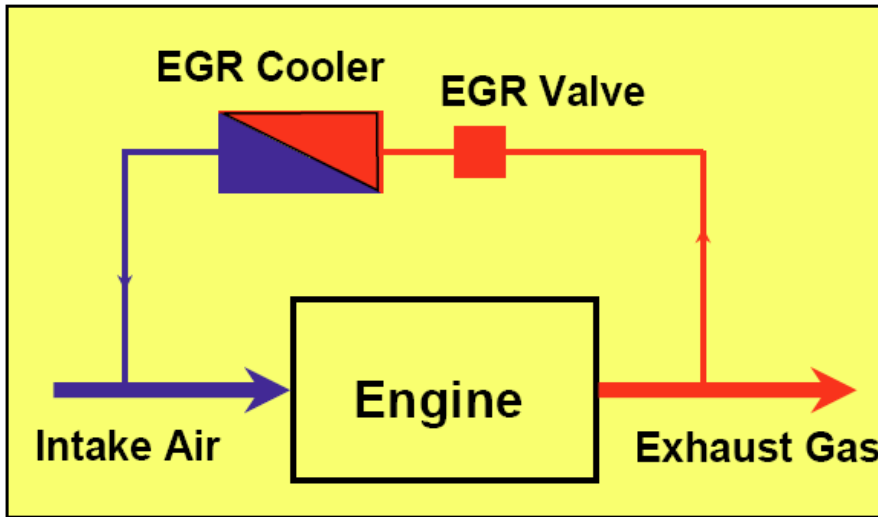
A vezérműtengely fázishelyzet állításainak elvi lehetőségei belső kipufogógáz-visszavezetéshez



A belső és külső kipufogógáz-visszavezetés hatása a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásra a CH és NO<sub>x</sub> emisszióra (n = 2.000 1/min, p<sub>0</sub> = 2 bar)

# Kipufogógáz visszavezetés

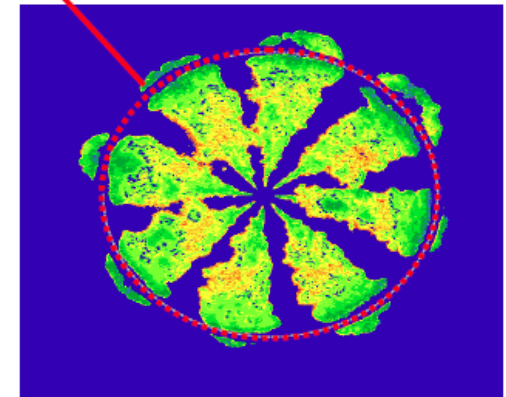
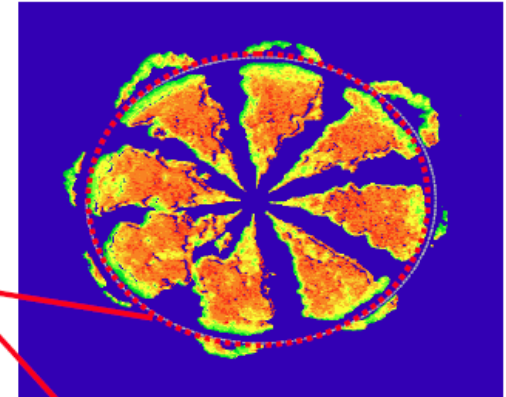
- Kipufogógáz visszavezetése és befolyása az égési hőmérsékletre



ohne EGR

Kolbenmulden Grenze

10 % EGR



- Hatásmechanizmusok
  - A kipufogógáz inert gáz
  - Légfelesleg csökkenése
  - A munkaközeg hőkapacitásának növekedése

Forrás: **Dr. Németh Huba: Gépjárműmotorok II.**  
Belsőégésű motorok égésfolyamatai

# Kipufogógáz visszavezetés

- Magas- és alacsony nyomású EGR turbótöltött motoroknál

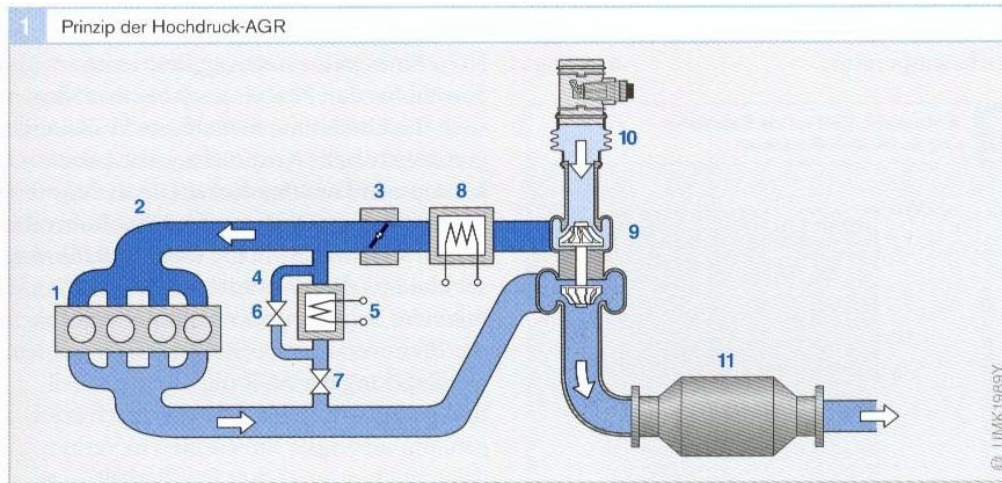


Bild 1

- 1 Motor
- 2 Saugrohr
- 3 Drossel
- 4 Bypass
- 5 AGR-Kühler
- 6 Bypass-Ventil
- 7 AGR-Ventil
- 8 Ladeluftkühler
- 9 Abgasturbolader
- 10 Luftmassenmesser
- 11 Oxidationskatalysator

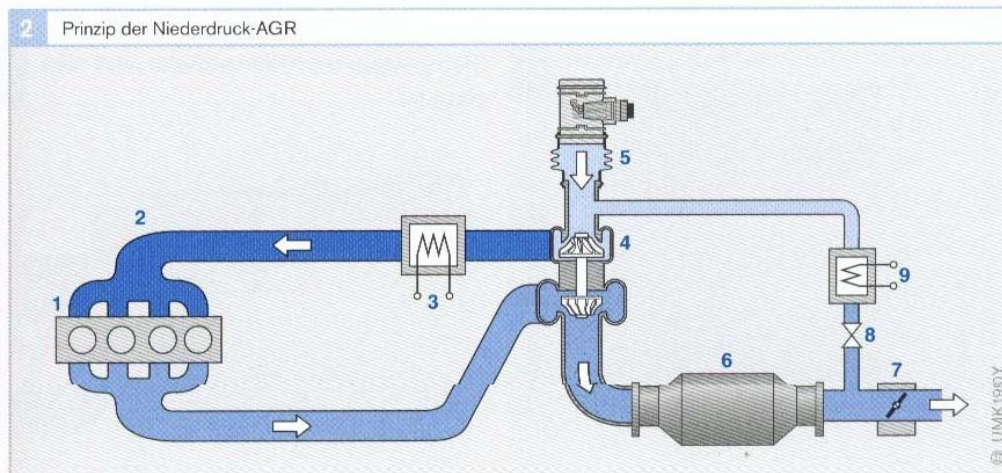
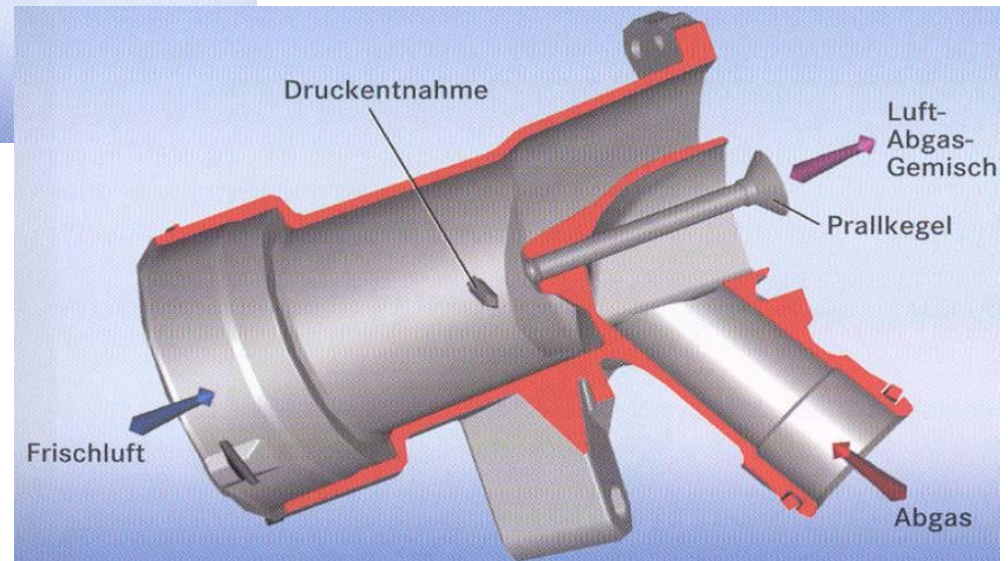
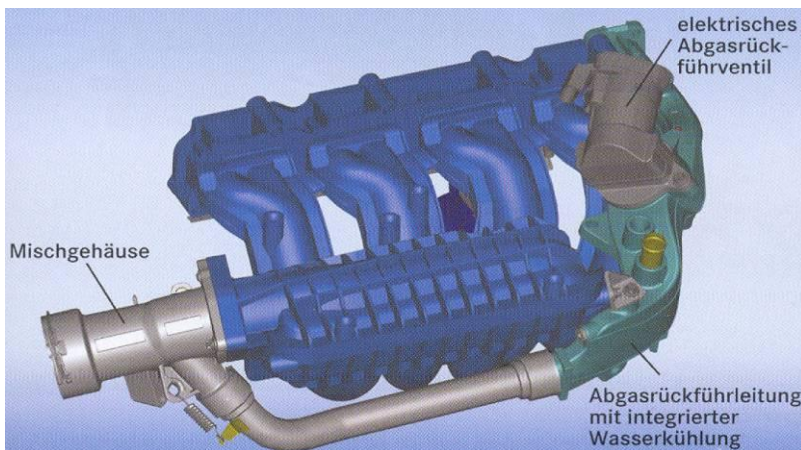
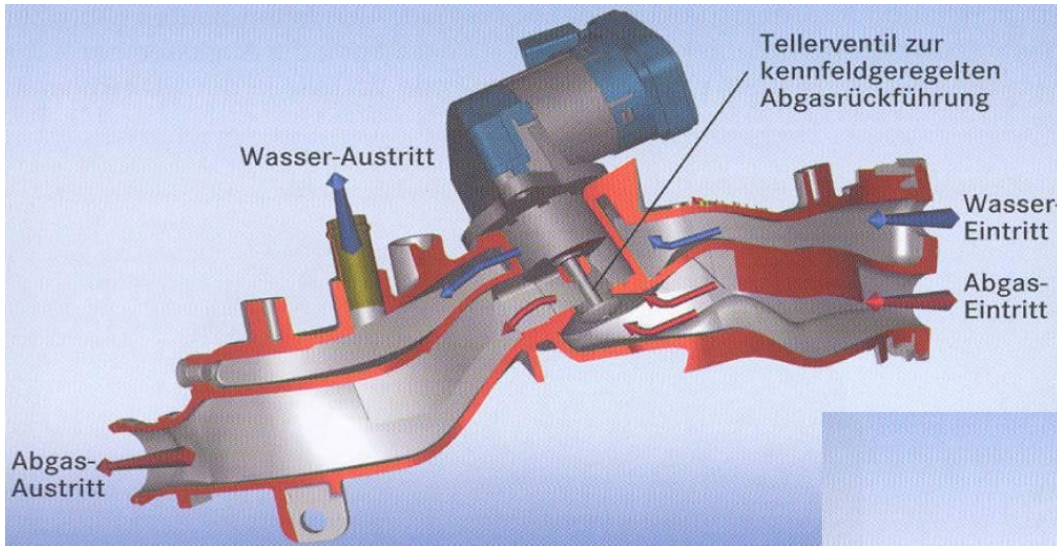


Bild 2

- 1 Motor
- 2 Saugrohr
- 3 Ladeluftkühler
- 4 Abgasturbolader
- 5 Luftmassenmesser
- 6 Oxidationskatalysator
- 7 Drossel
- 8 AGR-Ventil
- 9 AGR-Kühler

# Kipufogógáz visszavezetés

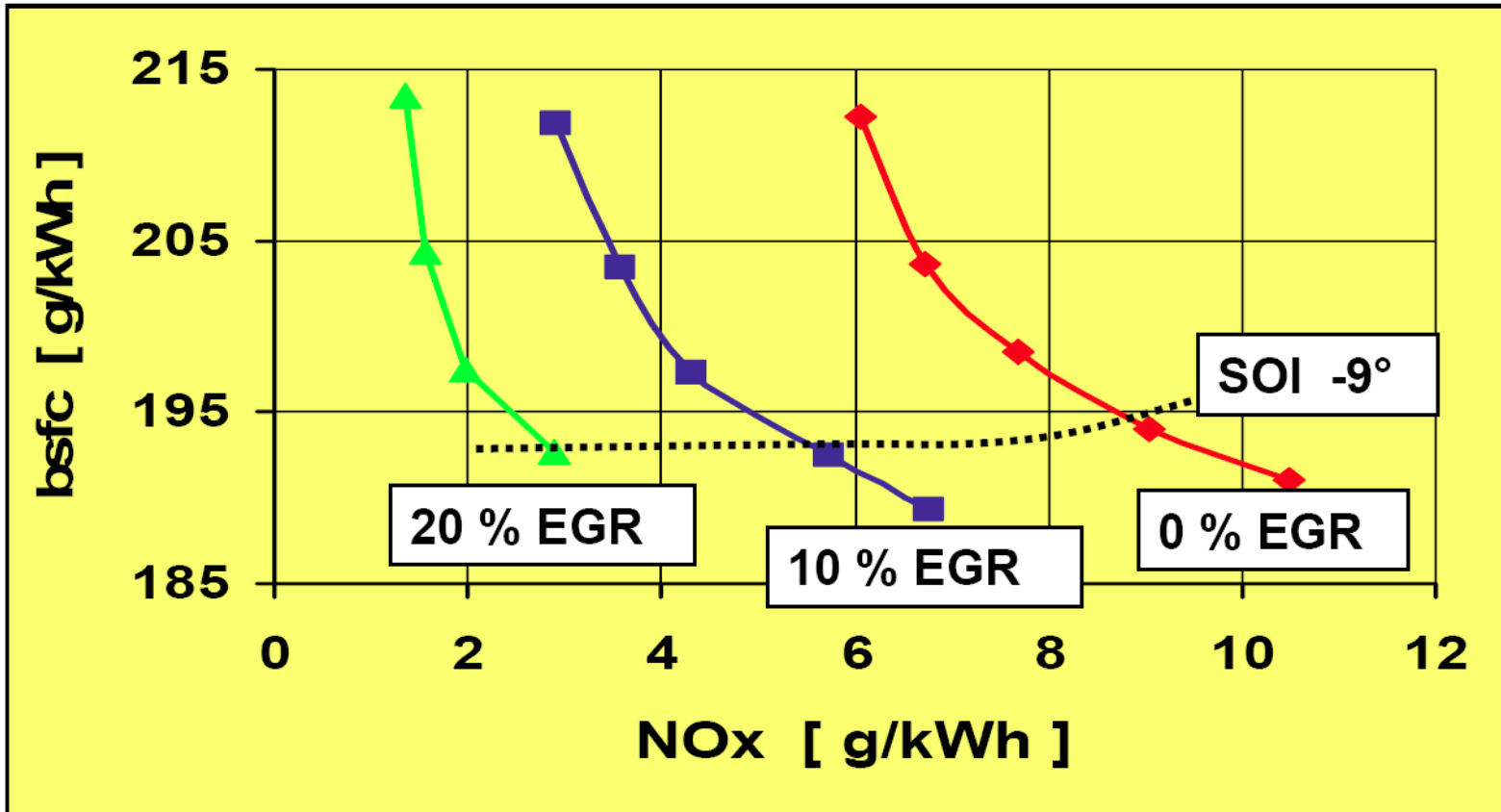
- A visszavezetett kipufogógáz keverése és adagolás



# Kipufogógáz visszavezetés

- A  $\text{NO}_x$  és a fogyasztás alakulása kipufogógáz visszavezetéssel

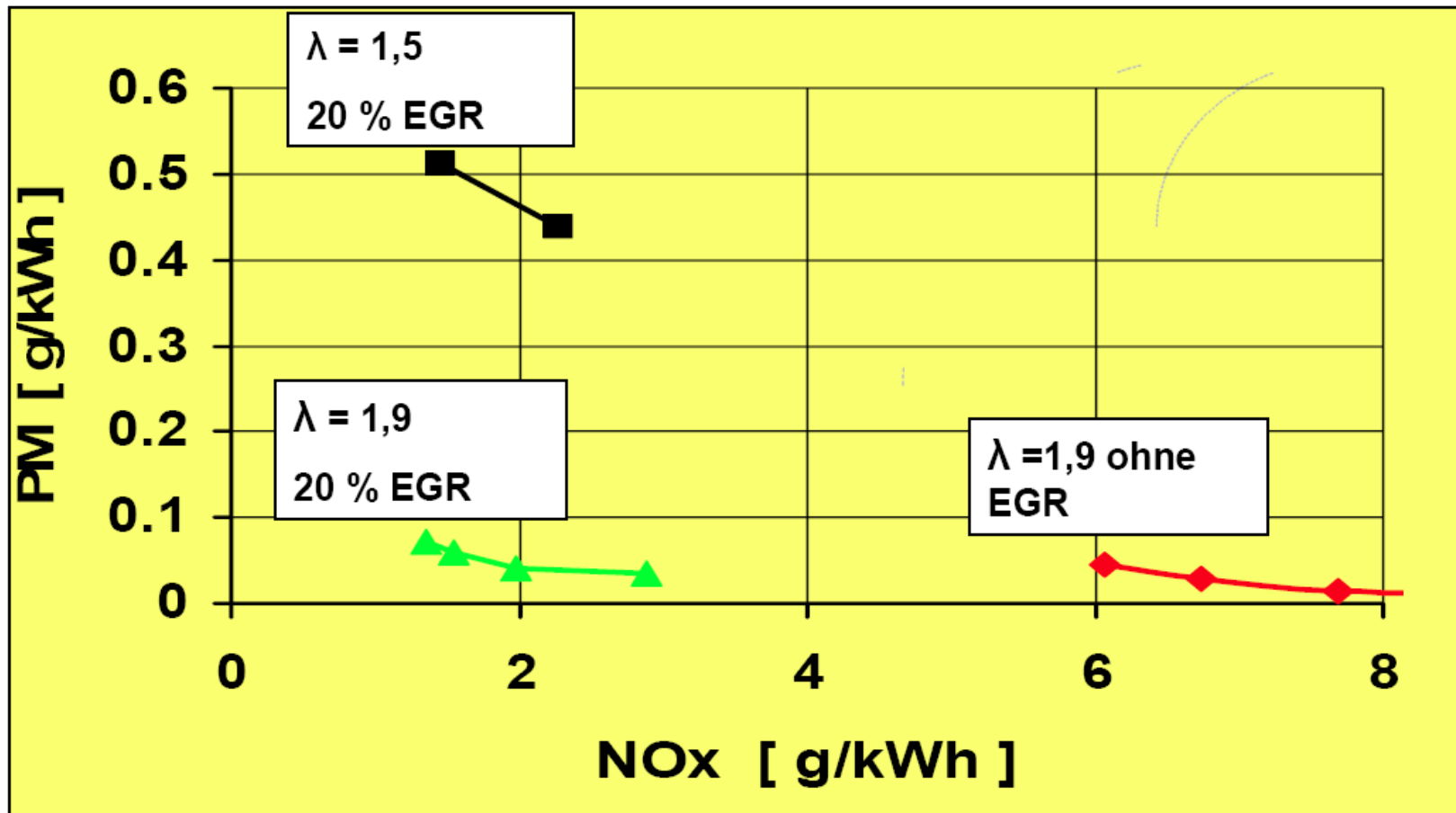
Series 500, BxS: 130x150 mm, 1420 rpm, bmep = 20,5 bar ,  $\lambda = 1,9$



# Kipufogógáz visszavezetés

- A  $\text{NO}_x$  és PM emissziók alakulása kipufogógáz visszavezetéssel

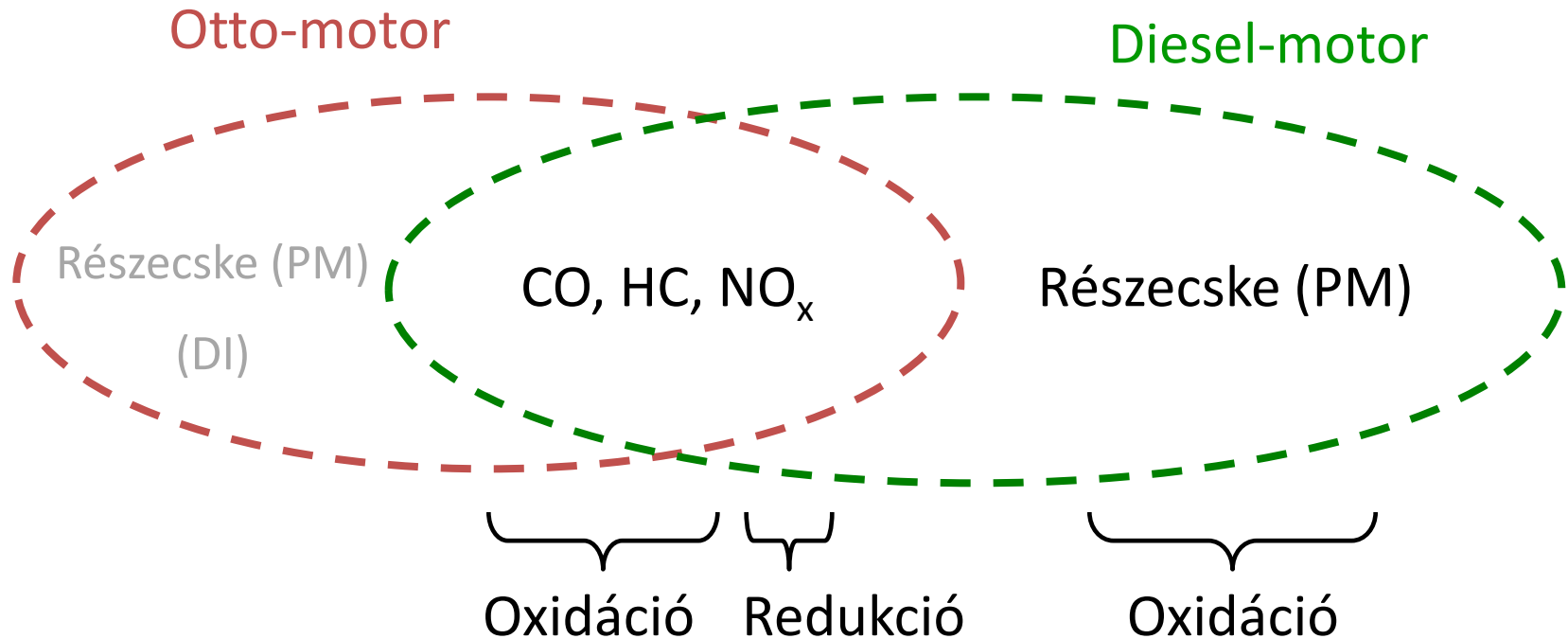
Series 500, BxS: 130x150 mm, 1420 rpm, bmep = 20,5 bar





# Az utánkezelési lehetőségek

- Különböző katalizátorokkal és segédberendezésekkel



# Kipufogógáz utánkezelési eljárások

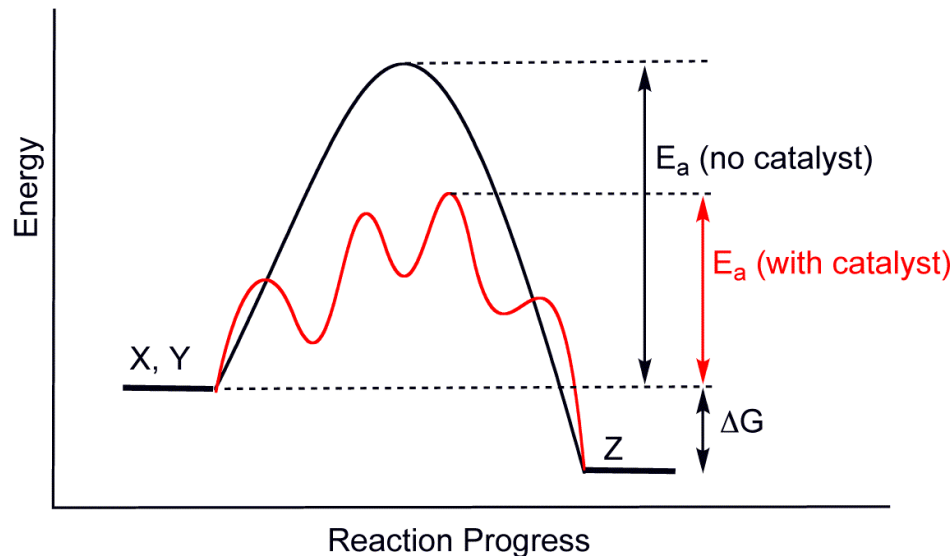
- Otto-motor
  - 3-hatású katalizátor (TWC): HC, CO, NO<sub>x</sub>
  - Oxidációs katalizátorok (OC): HC, CO
  - NO<sub>x</sub>-tároló katalizátorok (NSC, NST): NO<sub>x</sub>
  - Szelektív katalitikus redukció (SCR): NO<sub>x</sub>
  
- Diesel-motor
  - Oxidációs katalizátor (DOC): HC, CO
  - NO<sub>x</sub>-tároló katalizátorok (NSC, NST): NO<sub>x</sub>
  - Szelektív katalitikus redukció (SCR): NO<sub>x</sub>
  - Részecskeszűrők (DPF): Részecske (PM)

# Kipufogógáz utánkezelési eljárások áttekintése

Motor	Kezelt komponens	Utánkezelés módja	Hatáselv	Átalakítási hatásfok	Légfelesleg
Otto	HC, CO, NO <sub>x</sub>	3-hatású katalizátor (TWC)	Katalitikus	90-98%	$\alpha=1$
Otto (DI)	HC, CO, NO <sub>x</sub>	3-hatású katalizátor (TWC)	Katalitikus	90-98%	$\alpha=1$
Otto (DI)	HC, CO	Oxidációs kat. (OC)	Katalitikus	>95%	$\alpha>1$
Otto (DI)	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> -tároló (NSC, NST)	Sztöchiometria, kat. támogatással	Kb. 90%	$\alpha>1$
Otto (DI)	NO <sub>x</sub>	SCR katalizátor	Sztöchiometria, kat. támogatással	Kb. 90%	$\alpha>1$
Diesel	HC, CO	Oxidációs kat. (DOC)	Katalitikus	>95%	$\alpha>1$
Diesel	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> -tároló (NSC, NST)	Sztöchiometria, kat. támogatással	Kb. 90%	$\alpha>1$
Diesel	NO <sub>x</sub>	SCR katalizátor	Sztöchiometria, kat. támogatással	Kb. 90%	$\alpha>1$
Diesel	Részecske (PM)	Részecskeszűrő (DPF)	Mechanikai szűrés, kat. oxidációval	>95%	$\alpha>1$

# Katalizátorok

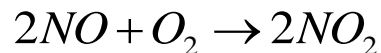
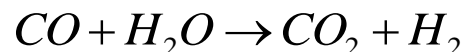
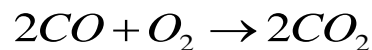
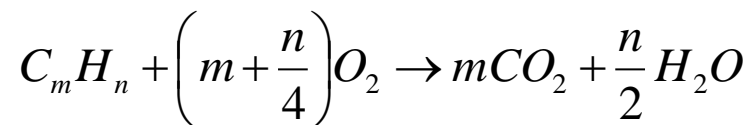
- Alternatív reakció utat biztosítanak
- Alacsonyabb aktiválási energiaigénnyel, ill. nagyobb reakciósebességgel (pozitív katalízis)
- Szobahőmérsékleten ennek hatása sem elegendő => indulási hőmérséklet
- A katalitikus anyag részt vesz a reakcióban
- A mennyisége jelentős mértékben nem csökken, de kis mértékben igen => adott futásteljesítmény után cserélendő



# Oxidációs katalizátorok (OC, DOC)

- Oxidációs katalizátor technológia

- HC és CO komponensek majdnem teljes mértékű átalakítása
- Légfelesleges motorüzem szükséges, hogy oxidáló anyagok rendelkezésre álljanak (elsősorban  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ )
- Az oxidációt a nemesfém katalizátorok segítik elő (hőmérsékletcsökkenés), elsősorban Pt és Pd használatosak
- Oxidációs reakciók:



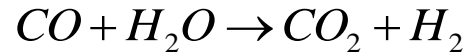
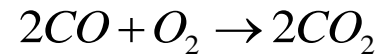
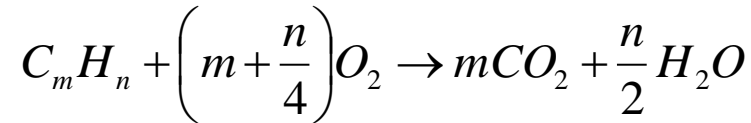
# Hármas hatású katalizátorok (TWC)

- 3-hatású katalizátor technológia

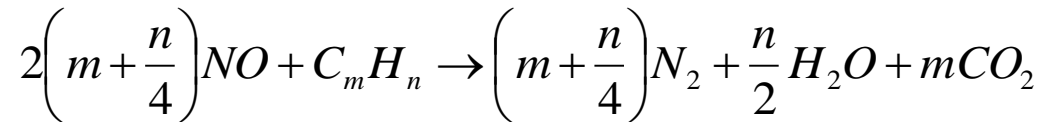
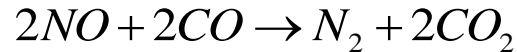
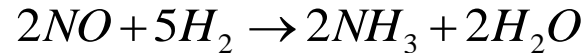
- HC, CO és NO<sub>x</sub> komponensek majdnem teljes mértékű átalakítása (>95%)
- Előfeltétel a sztöchiometrikus motorüzem, hogy mind az oxidáló anyagok (elsősorban O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO), mind redukáló anyagok (elsősorban H<sub>2</sub>, HC, CO) egyidejűleg elegendő mennyiségben rendelkezésre álljanak
- Az oxidációt a nemesfém katalizátorok segítik elő, elsősorban Pt és Pd használatosak.
- A redukciót Ródium nemesfém katalizátor teszi lehetővé

# Hármas hatású katalizátorok (TWC)

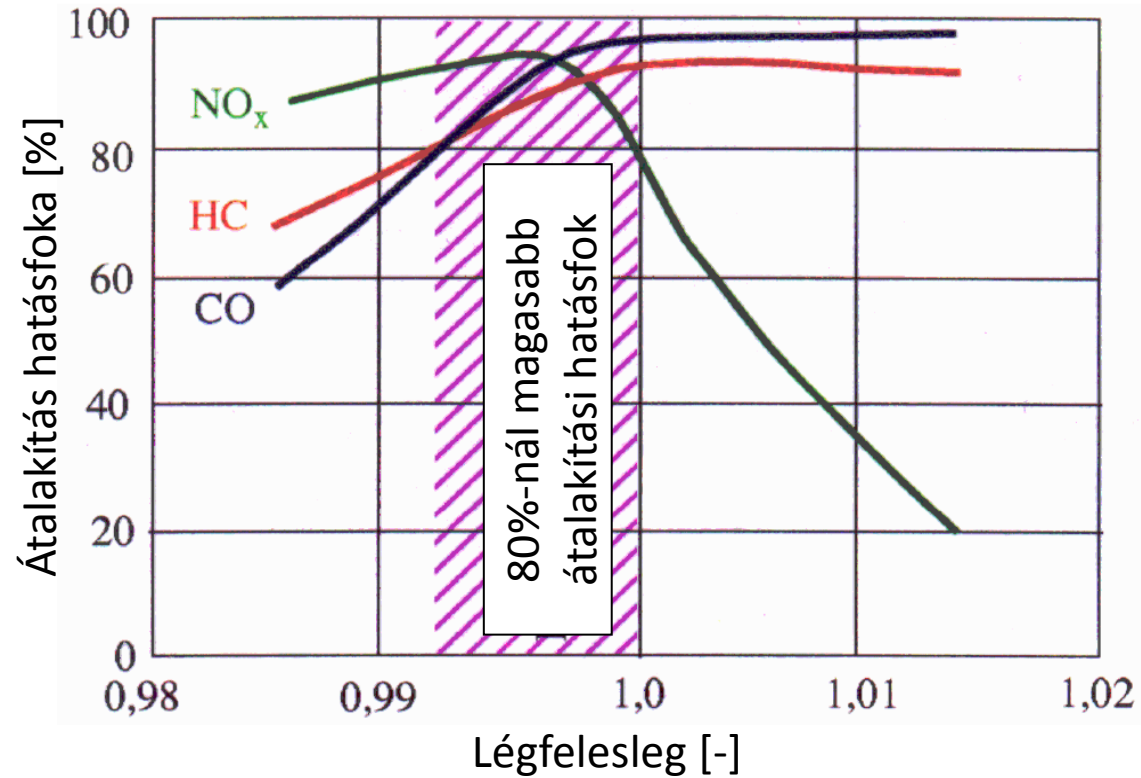
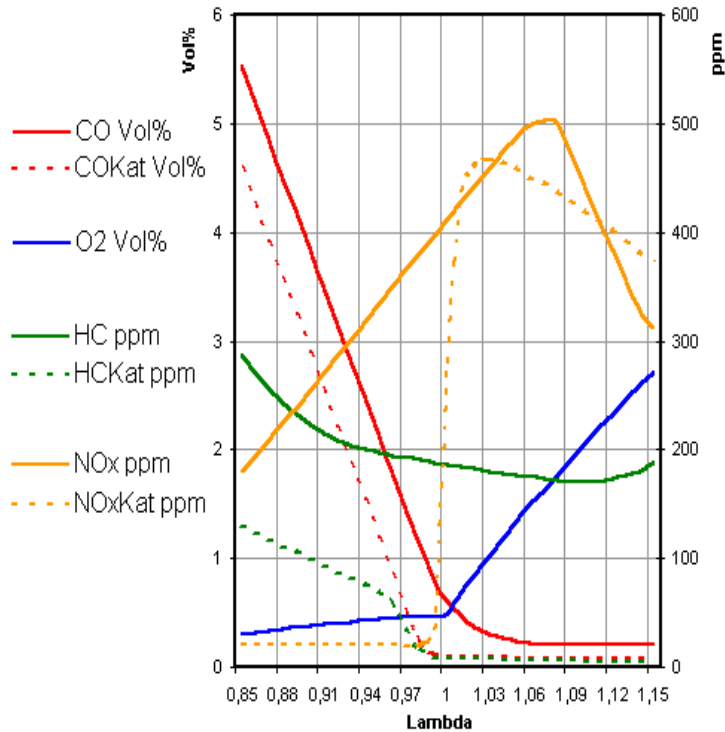
- Oxidációs reakciók:



- Redukciós reakciók:



# A hármas hatású katalizátor átalakítási hatásfoka

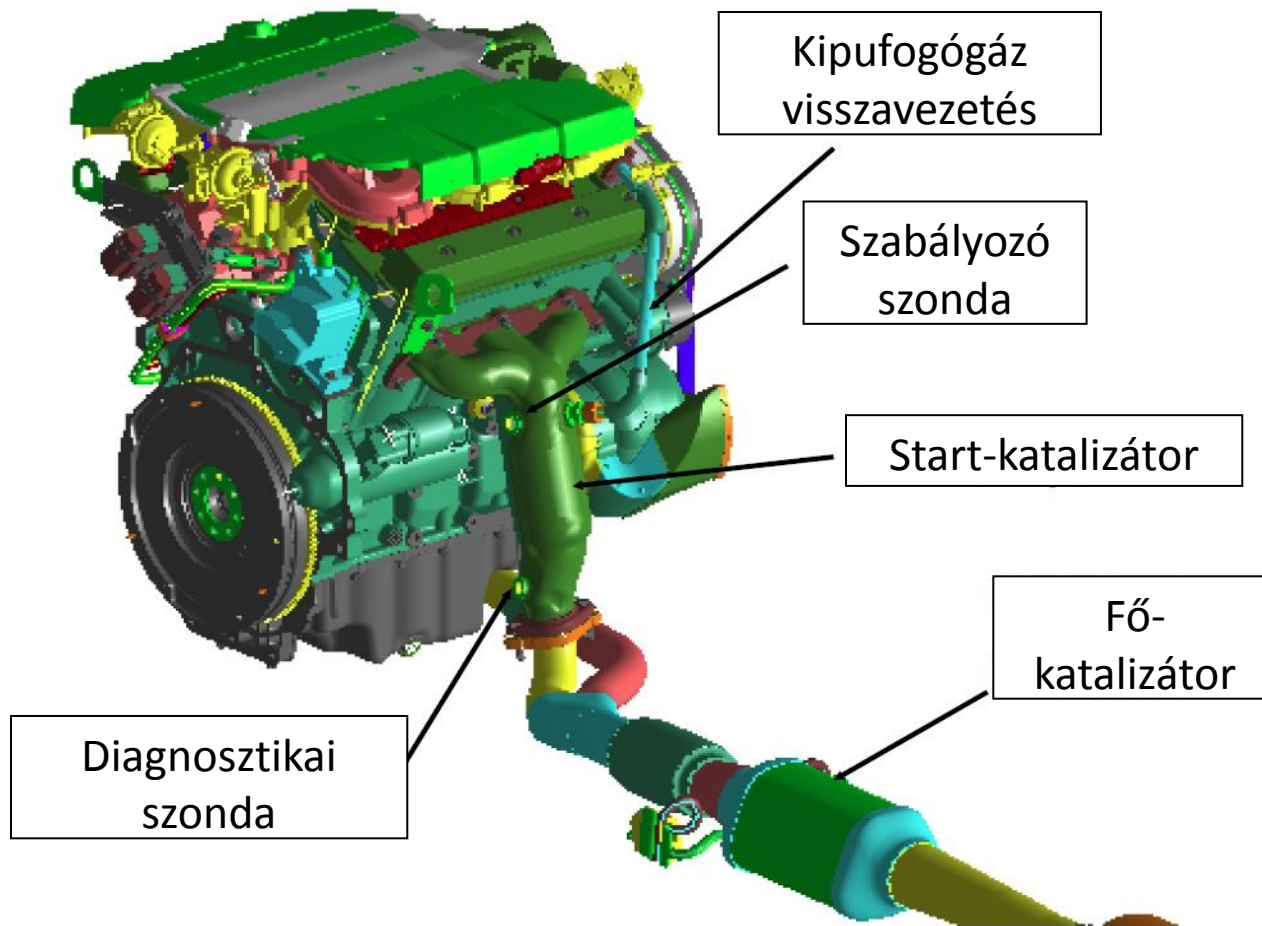


A jó katalizátor-hatásfokhoz pontos keverékszabályozás kell!



# A hármás hatású katalizátor kivitelezése

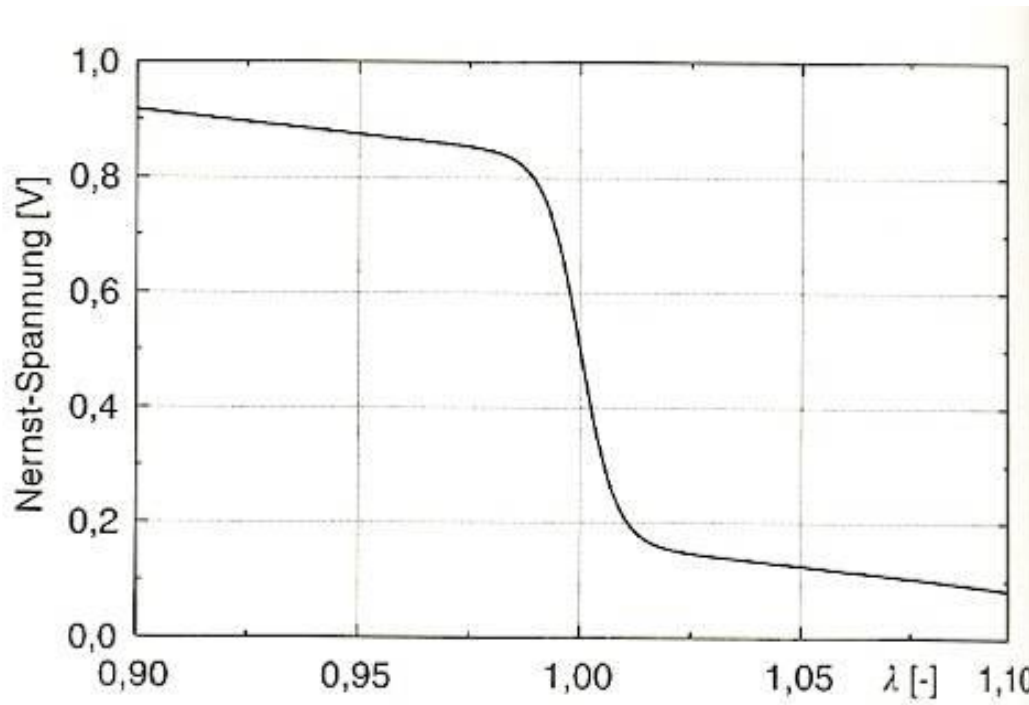
- 3-hatású katalizátor rendszer kipufogó-könyékbe építet start-katalizátorral



# Lambda-szonda

- Oxigén-szonda ( $\lambda$ -szonda)

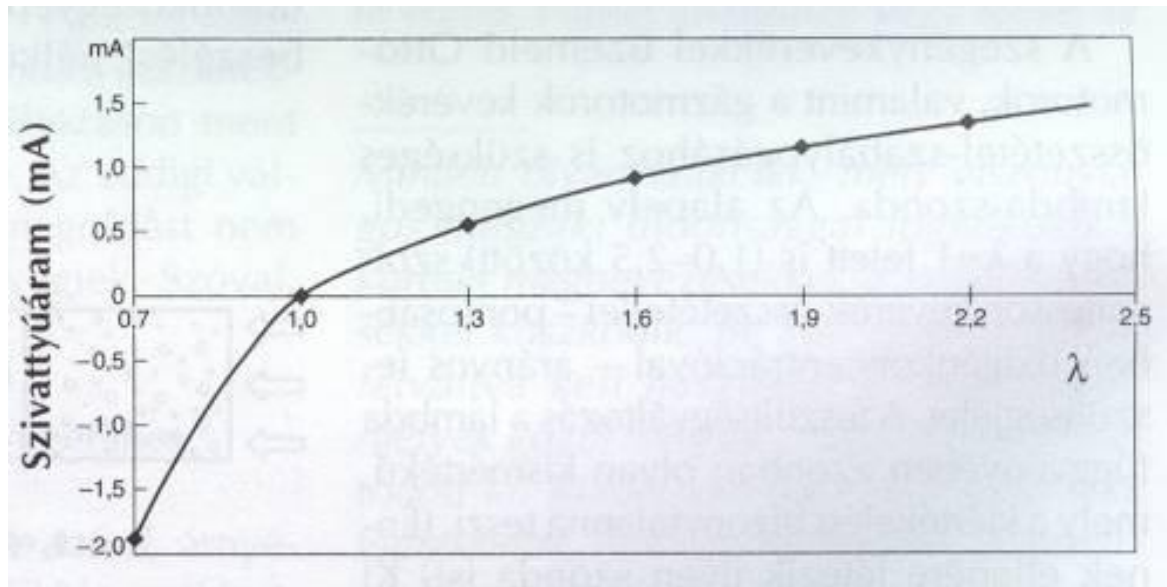
- A keverékképzés visszacsatoló jeladója (összetétel-szabályozás)  $\rightarrow$  katalizátor hatékonysága miatt
- Kipufogógáz  $O_2$ -tartalma  $\rightarrow$  bemenő töltet összetétele
- Alapelv: szilárd elektrolitos oxigénion-vezetés (W. Nernst)
- A hagyományos  $\lambda$ -szonda karakterisztikája:



# Lambda-szonda (5 vezetékes)

- Szélessávú  $\lambda$ -szonda (5 vezetékes)
  - Egy Nernst-szonda és egy ionszivattyú-cella kombinációja.
  - Referencia feszültségértéket hasonlít össze a Nernst-szonda jelével. Nernst-szonda fölé mindig megfelelő mennyiségű  $O_2$ -t kell juttatni az ionszivattyúval.

•Szélessávú szonda karakterisztikája



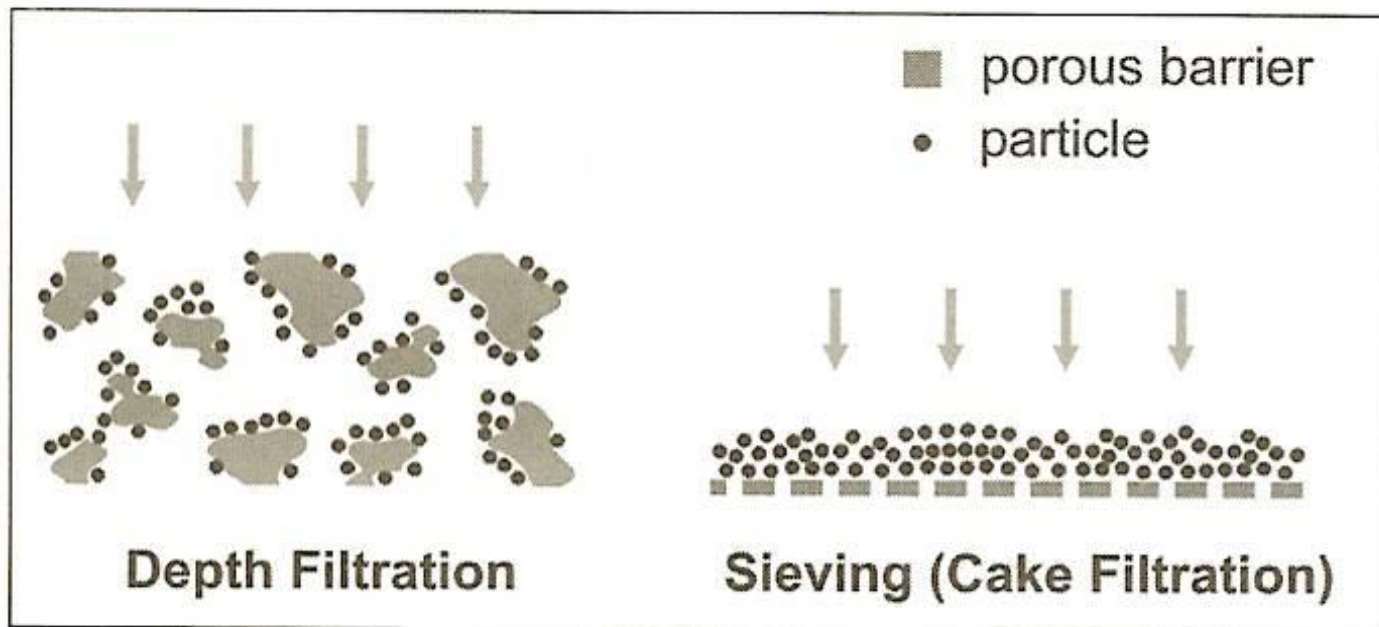
# Részecskeszűrők (DPF)

## Csoportosításuk

- A szűrés módja szerint
  - Zárt szűrési elvűek (fali átáramlásúak)
  - Nyitott szűrési elvűek (szabad átáramlásúak)
- A kipufogógáz előkezelés szerint
  - Oxidációs katalízis nélküliek
  - Oxidációs katalízissel működők (DOC)
- A regeneráció módja szerint
  - Aktív regeneráció utó-befecskendezéssel (pl. nyomástárolós befecskendező)
  - Aktív regeneráció adalékanyag befecskendezéssel
  - Aktív regeneráció villamos fűtéssel
  - Aktív regeneráció utánégetővel
  - Passzív, folyamatos regeneráció  $\text{NO}_2$ -al, és DOC támogatással (CRT - Continuously Regenerating Trap)
  - Katalizátorral támogatott (CDPF – Coated Diesel Particulate Filter)

# Részecskeszűrők (DPF)

- Szűrési eljárások
  - Mély- (térfogati) szűrés
  - Szita- (felületi) szűrés



# Részecskeszűrők (DPF)

- Szűrési során történő áramlások: áramlás módja és a cellakeresztmetszet

– Fali átáramlású szűrő (a),

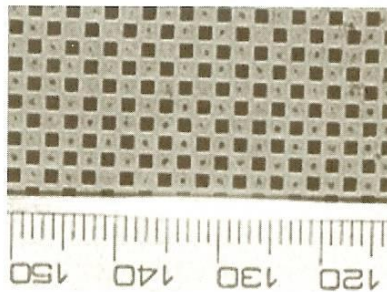
Szabad átáramlású szűrő (b)



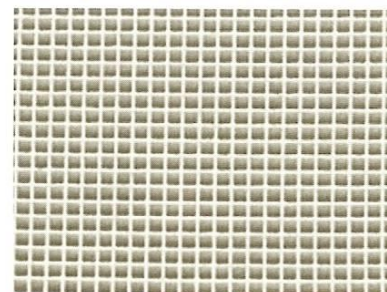
(a)



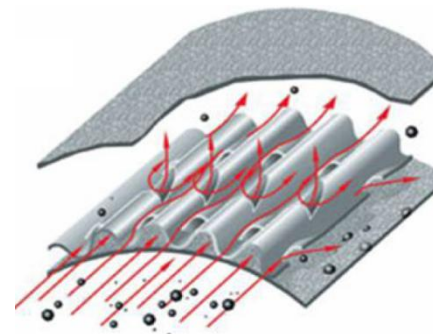
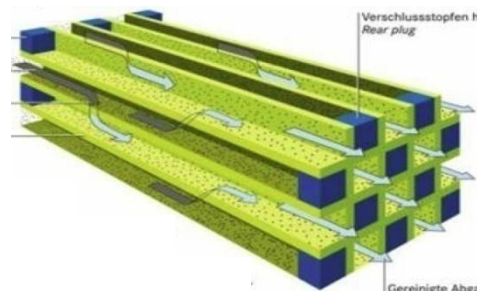
(b)



(a)

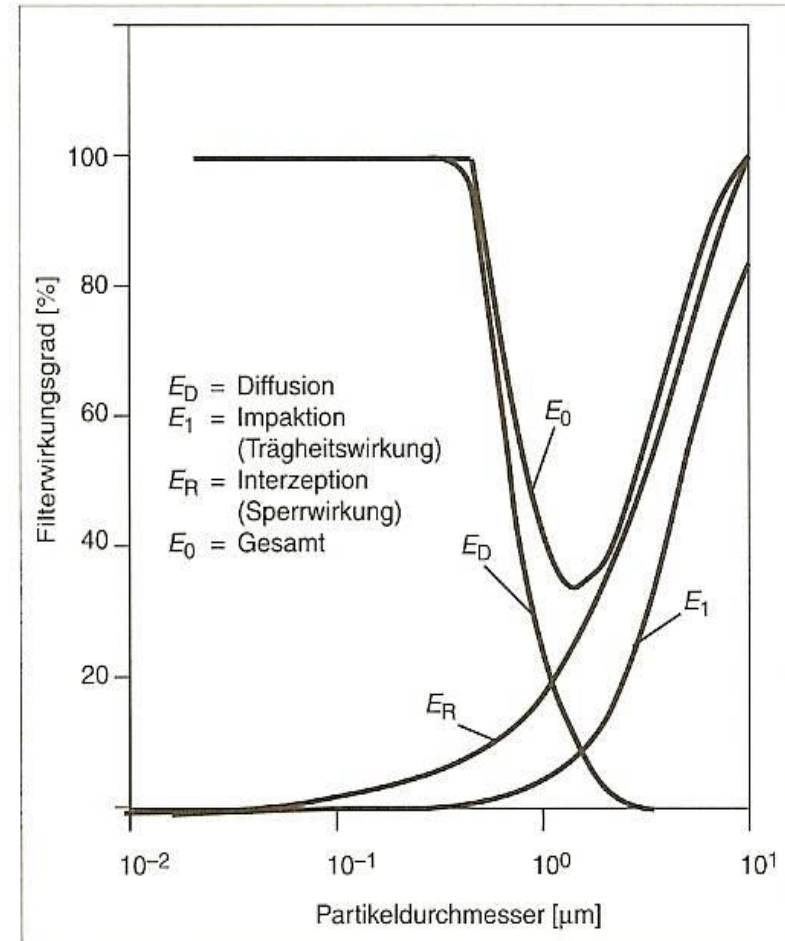
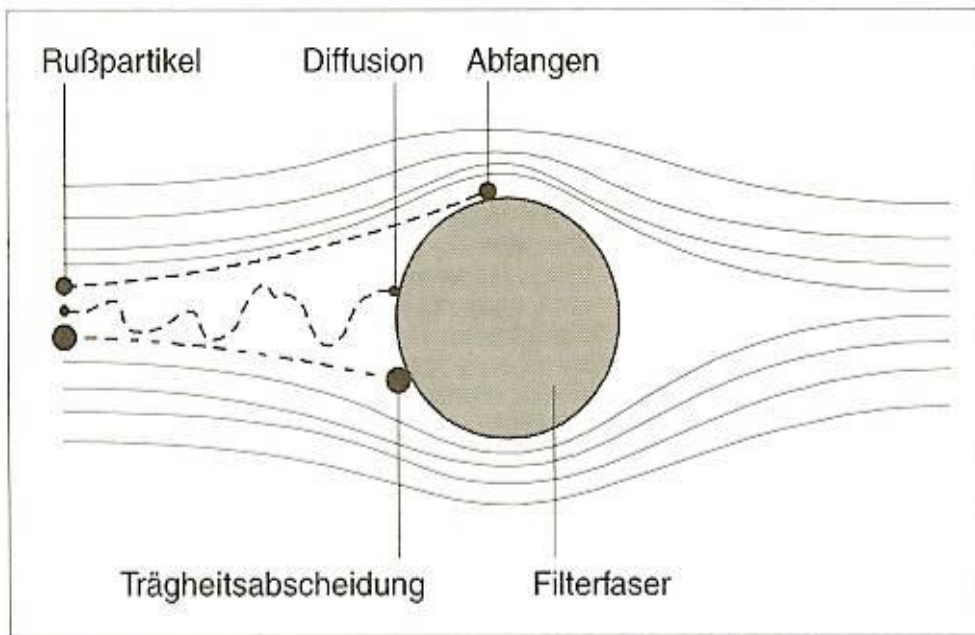


(b)



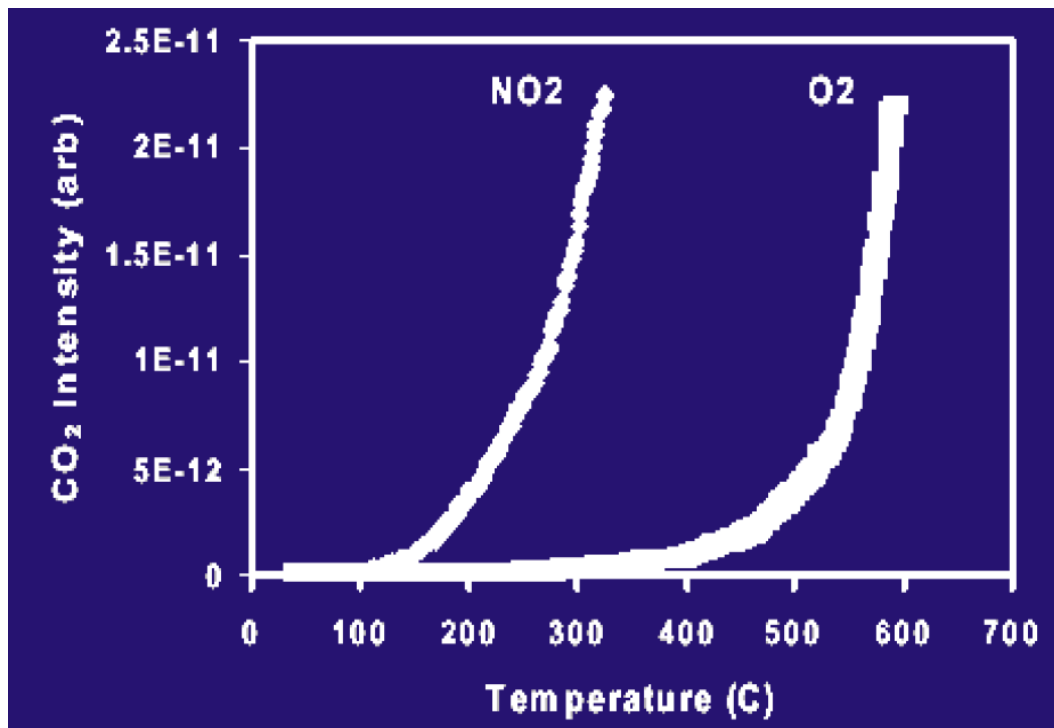
# Részecskeszűrők (DPF)

- A szűrési alapelvek és hatásfokuk a részecskeméret szerint
  - Diffúziós hatáselv
  - Tehetetlenségi hatáselv
  - Felületi befogási hatáselv



# Részecskeszűrők (DPF)

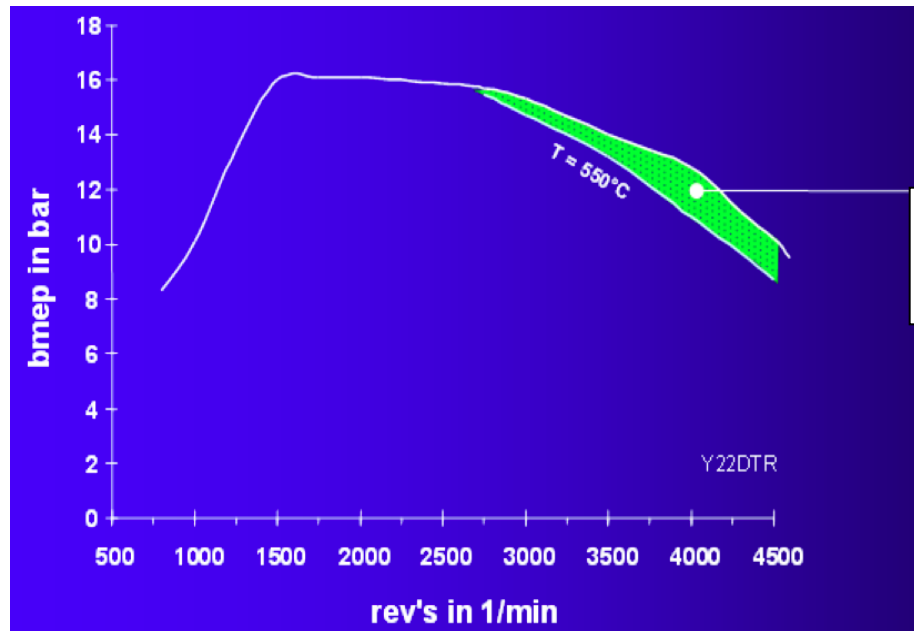
- A részecskeszűrők központi kérdése a regeneráció módja
  - Légfelesleg esetén a részecske (korom) oxidálható kb. 450 °C felett
  - Magas NO<sub>2</sub> kibocsátás esetén a kiégetési határhőmérséklet lecsökken kb. 250 °C-re





# Részecskeszűrők (DPF)

- Az önműködő regeneráció tartománya



Önműködő  
regeneráció

- A kiterjesztés módjai:
  - Utó-befecskendezés
  - Adalékolás
  - Katalitikus felületi bevonatok
  - Motorközeli elhelyezés
  - Kiegészítő villamos fűtés
  - Utánégető

# Részecskeszűrők (DPF)

- Regenerációs eljárások

**Széria felszerelés, 1.  
generáció**

## Módja

## Leírása

- Adalék-befecskendezéssel A koromkiégési hőmérséklet csökkentése

- Utó-befecskendezéssel Nyomástárolós befecskendezés esetén
- Katalitikus bevonattal CDPF, bevonat az oxidációs hőmérséklet csökkentésére (Pt, Pd)

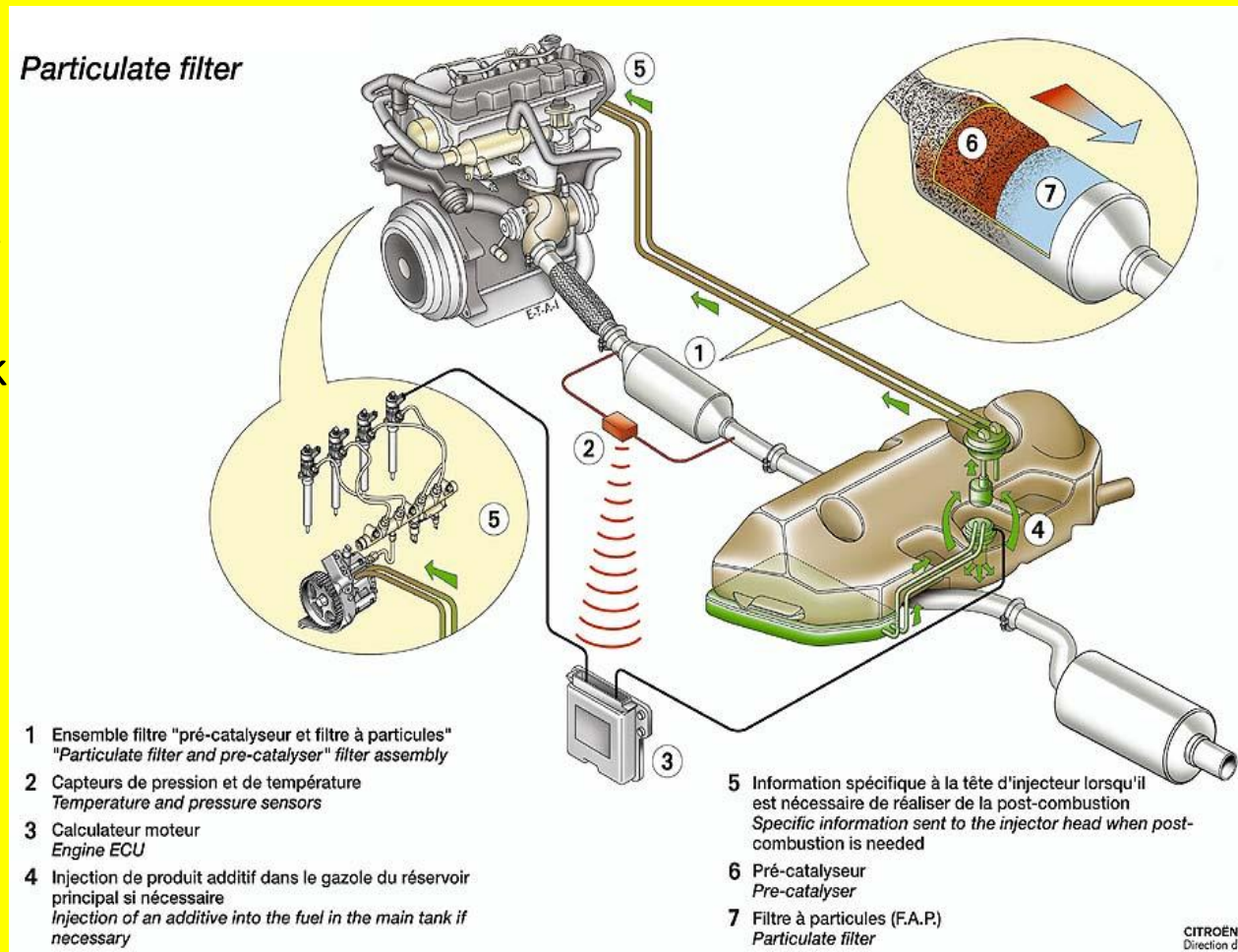
**Széria felszerelés, 2.  
generáció**

- CRT (folyamatos reg.) NO<sub>2</sub> felhasználása a kiégetéshez  
Alacsony kéntartalmú tüzelőanyagot igényel!  
Működési tartománya: 200-400 °C
- Villamos fűtés Kiegészítő energiát igényel
- Utánégetés Láng/égőfejet igényel

**Utólagos  
felszerelés**

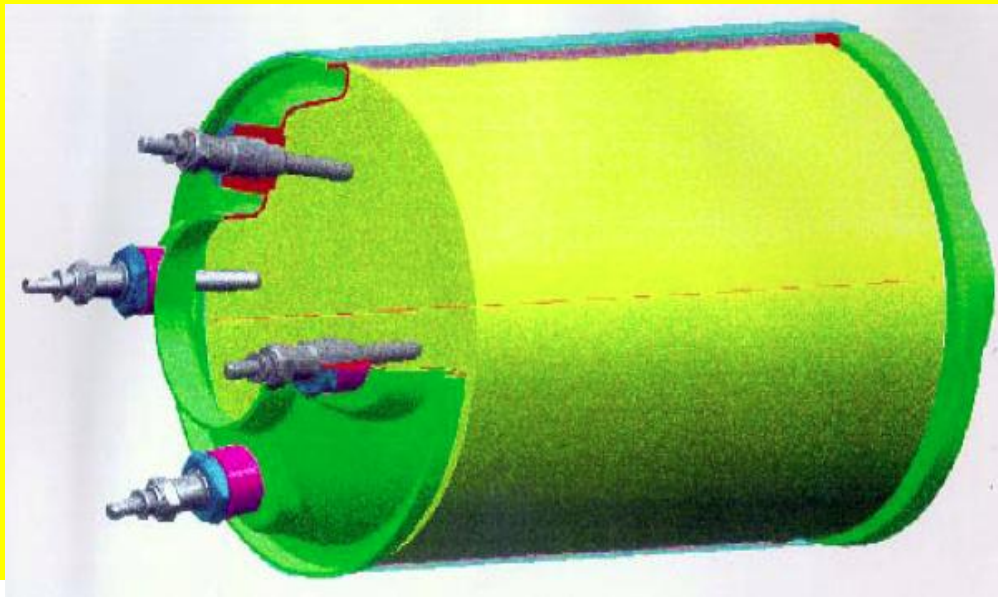
# Részecskeszűrők (DPF)

- Adalék-befecskendezés
- Konceptiós elemek
  - Utóbefecskendezés
  - Oxidációs kat. és SiC hordozójú DPF
  - Cérium alapú adalék (37.5 ml / 60l tü.a.)
  - 5l-es adaléktartály (80000 km)
  - DPF regeneráció: 300-400 km-enként, néhány percig (dp mérés)
  - Részecskeszűrőtisztítás: 80000 km-ként



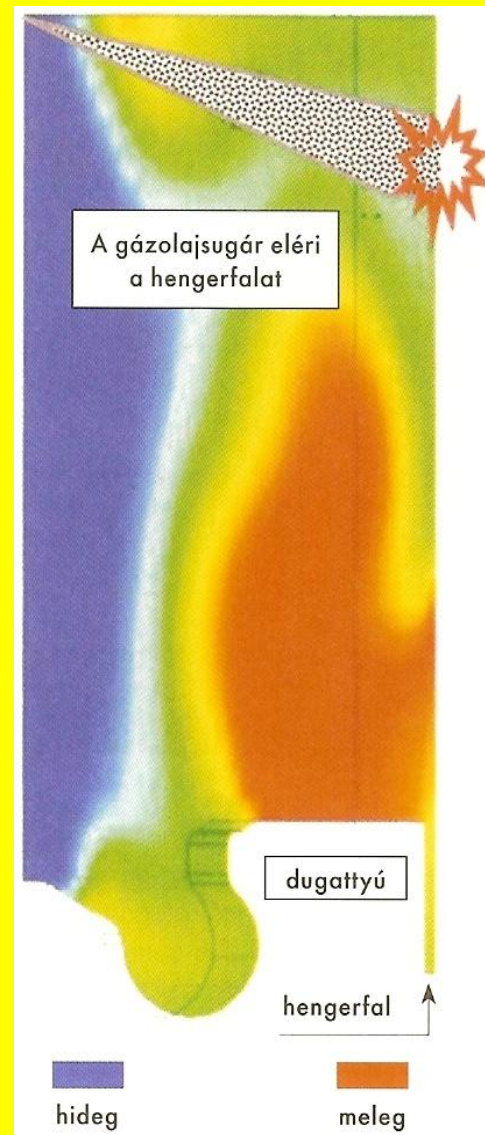
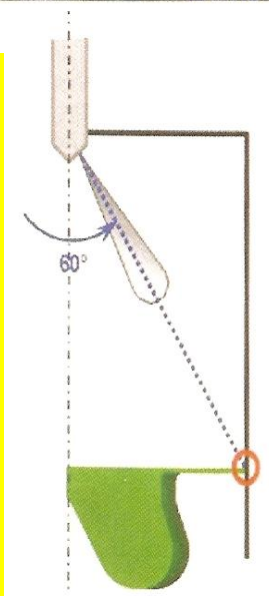
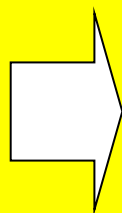
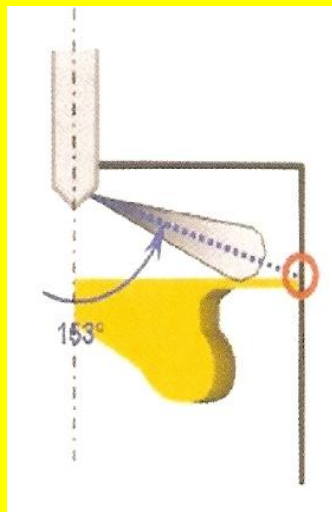
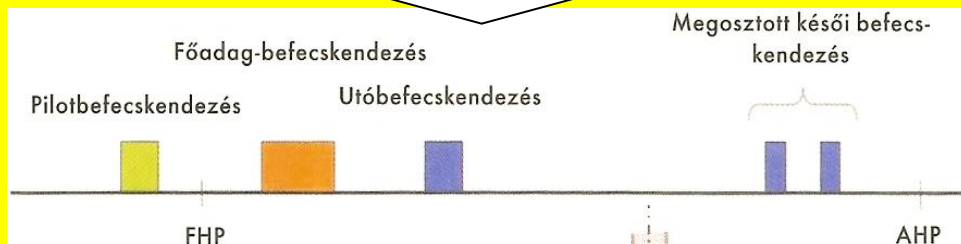
# Részecszeszűrők (DPF)

- Regeneráció villamos fűtéssel
- Konceptiós elemek
  - Az izzítógyertyák helyi koromgyulladásához vezetnek
  - A tüzelőanyag kései befecskendezésével a fenti hatás tovább erősödik
  - A hőmérséklet jelentősen nő, így a kiégetés lehetővé válik



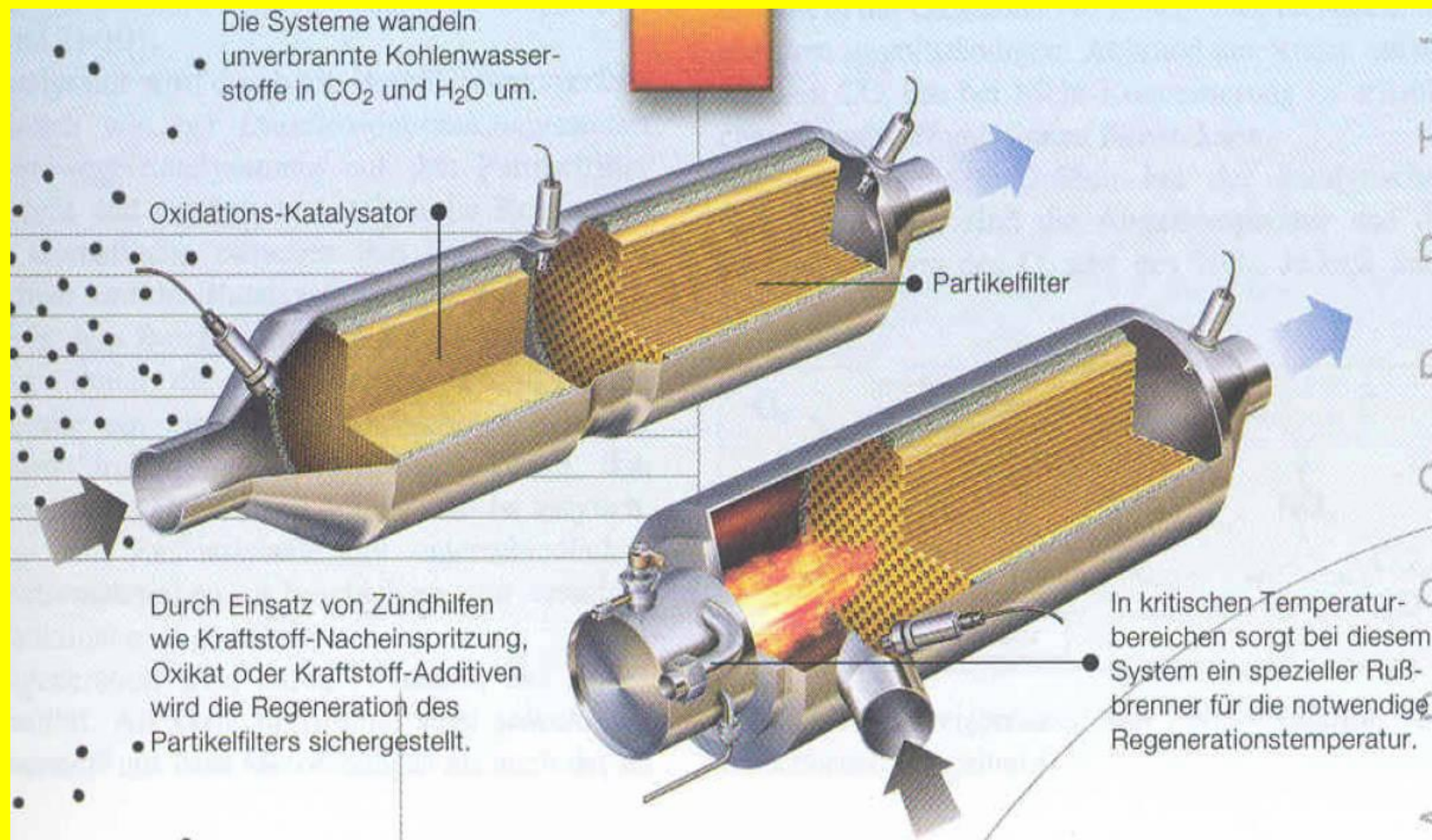
# Késői utóbefecskendezés káros hatása

- Kenőoljahígulás és csökkentése



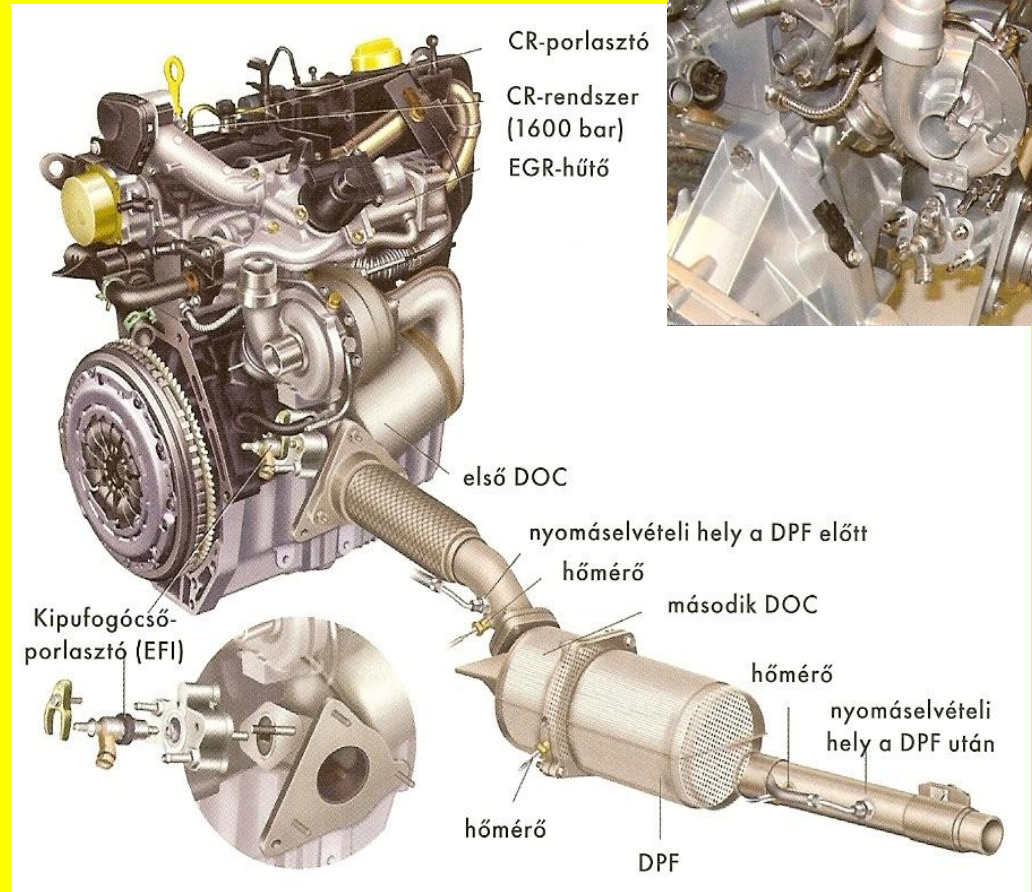
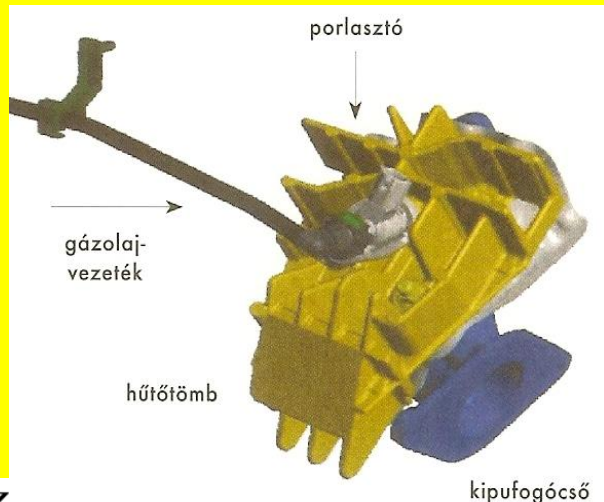
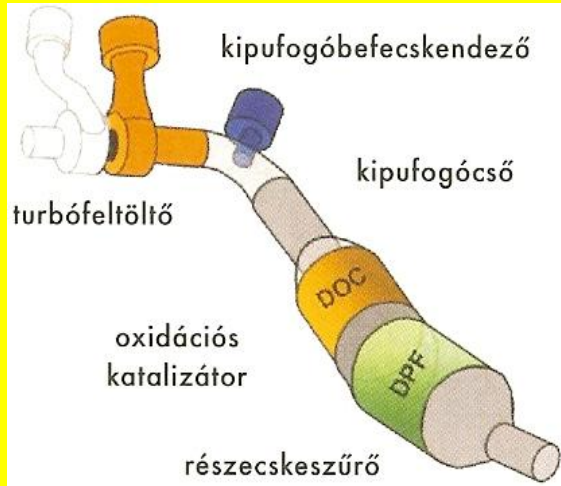
# Részecskeszűrők (DPF)

- Utánégető



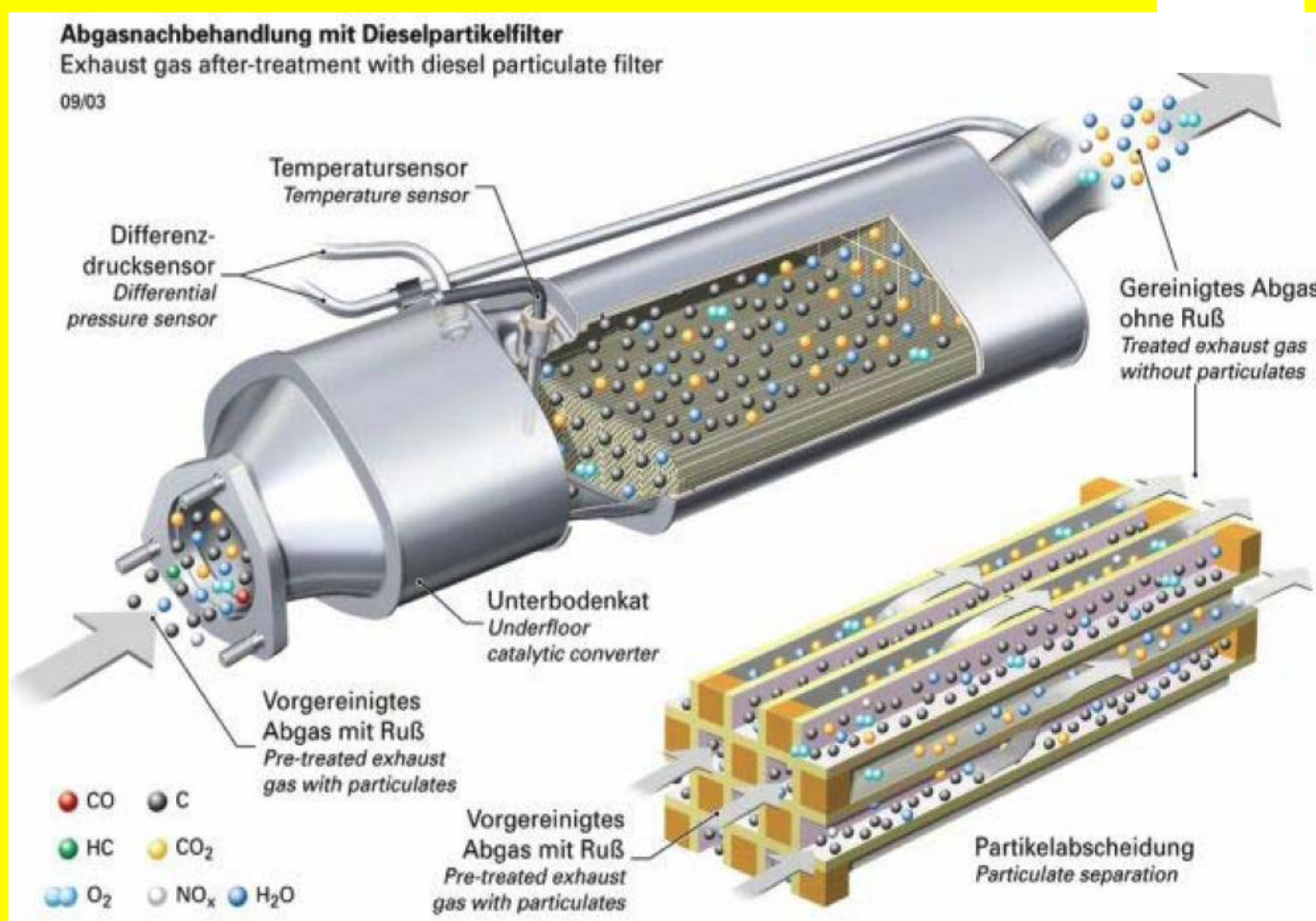
# Részecskeszűrők (DPF)

- Kipufogócső befecskendezés/Után-égetés



# Részecskeszűrők (DPF)

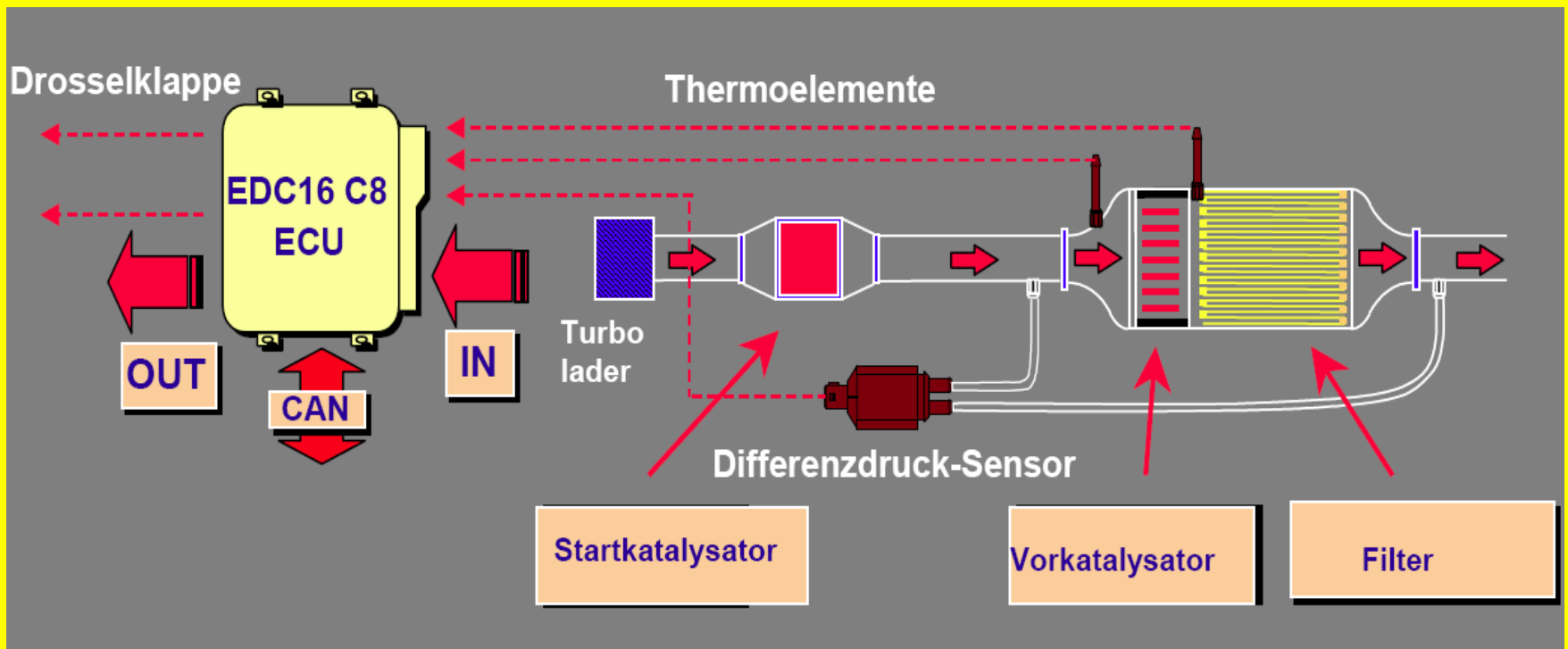
- DOC és DPF kombinációja





# Részecskeszűrők (DPF)

- DOC/DPF szabályozás elemei



# Részecskeszűrők (DPF)

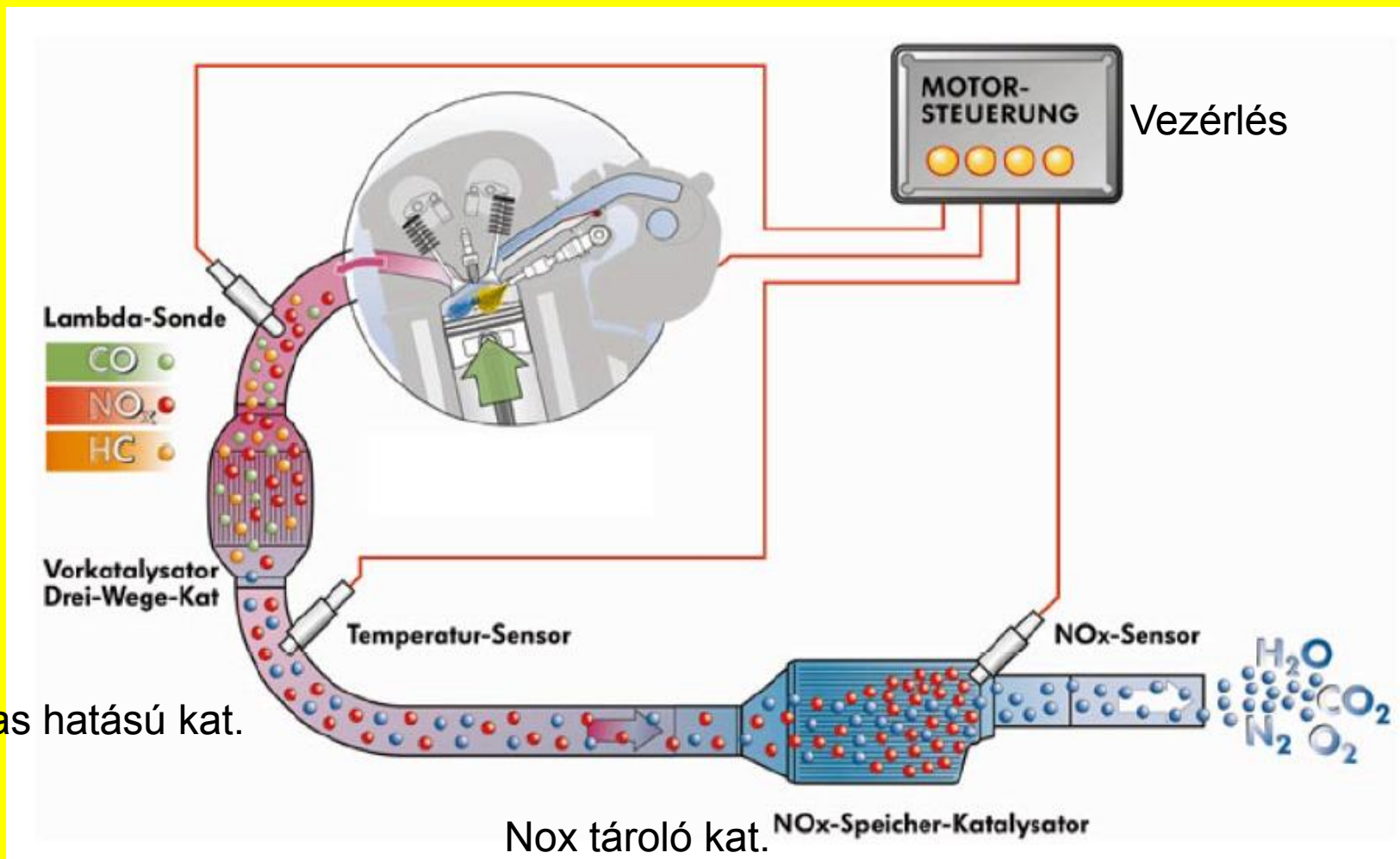
- A részecsketerhelés meghatározása
  - Nyomáskülönbség ( $\Delta p$ ) méréssel:  
Előre felvett jellegmezőből a  $\Delta p$ , a kipufogógáz-légáram és annak hőmérséklete alapján meghatározható a megkötött részecskék tömege
  - Megkötött részecske mennyiségének becslésével, a nyers emisszió integrálásával
  - A mért és becsült értékek összevetése felhasználható a hibamódok detektálására
- Regeneráció indítása:
  - A mért vagy becsült részecsketömeg meghalad egy megadott határértéket

# NO kezelése – DeNOx rendszerek

Kritérium	NO <sub>x</sub> -tároló katalizátor	SCR-eljárás
Maximális átalakítás mértéke	>90%	>90%
Üzemi hőmérséklettartomány	200-500 °C	175-550 °C
Tartós maximális hőmérséklet	700-800 °C	800-850 °C
Tüzelőanyag-fogyasztás többlet	Százalékos tartományban!	Csekély
Kiegészítő üzemanyag	Nem szükséges	Szükséges
Motorvezérlő beavatkozási igénye	Szükséges	Nem szükséges
Tüzelőanyag igény	Kénmentes (<10ppm)	Hagyományos
Működés teljes terhelésnél	Nem lehetséges	Lehetséges
Helyszükséglet	Katalizátor	Katalizátor+adagoló rendszer

# NO<sub>x</sub>-tároló katalizátor

- Rendszerfelépítés (Otto DI)

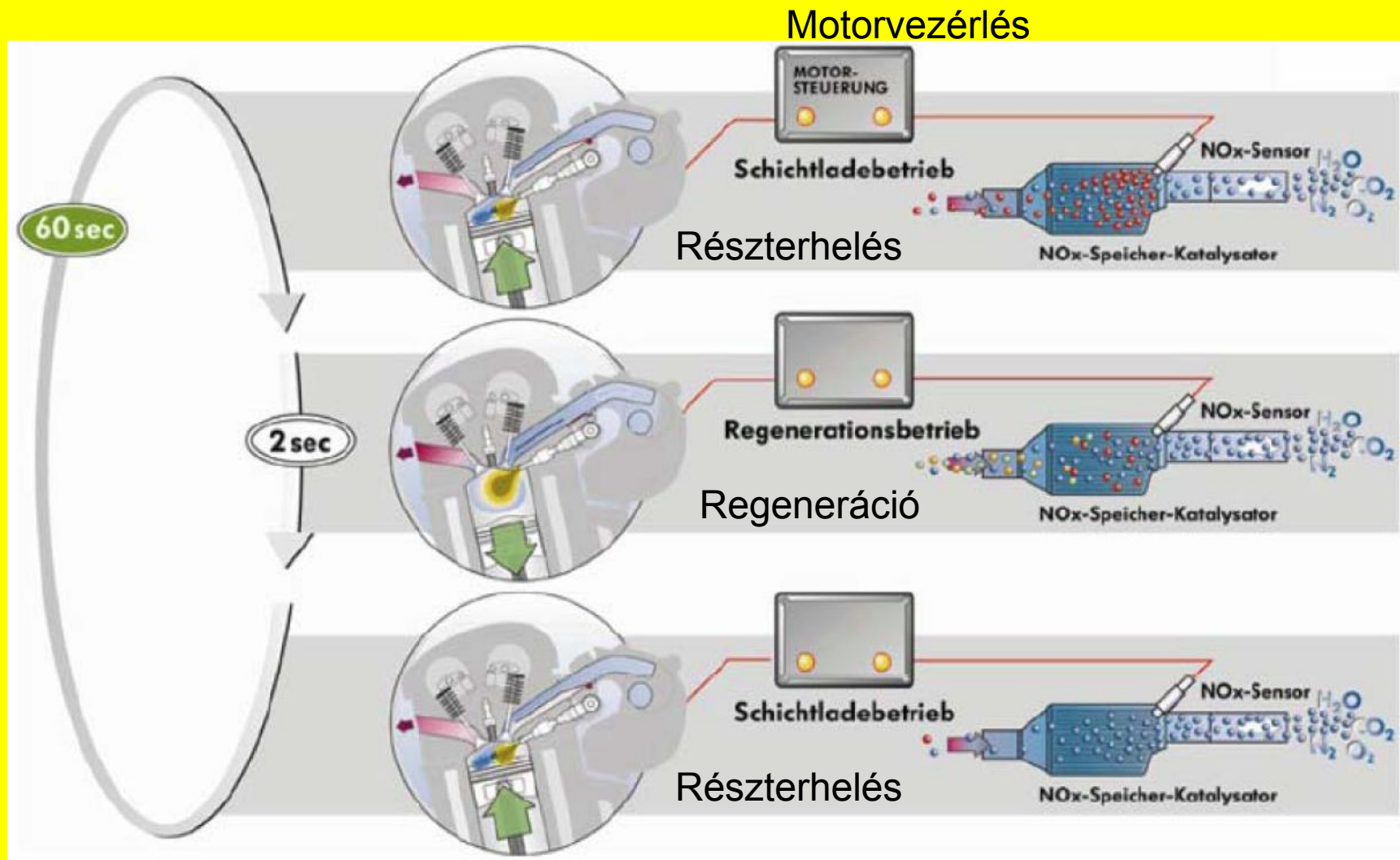


3-as hatású kat.

Nox tároló kat. NOx-Speicher-Katalysator

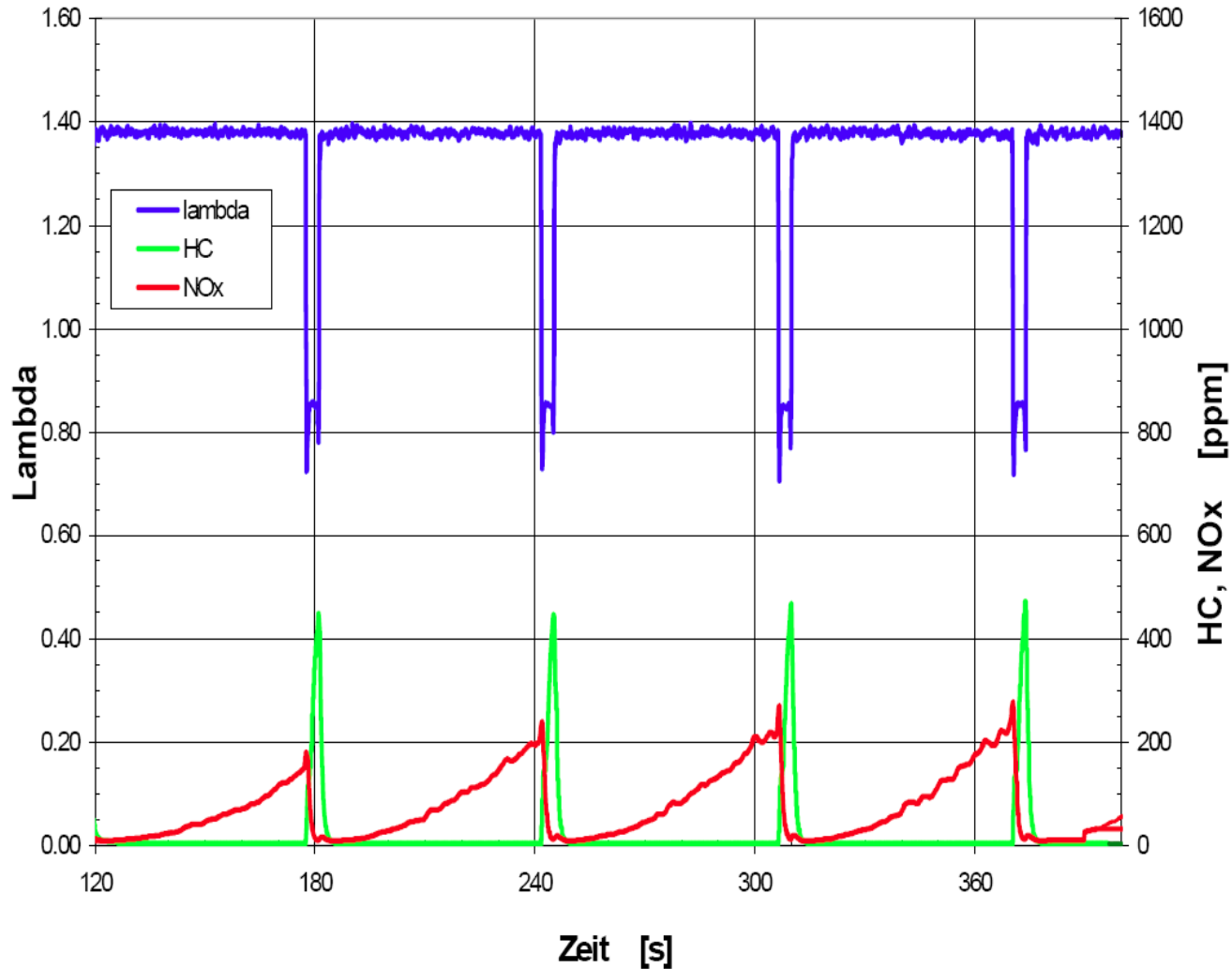
# NO<sub>x</sub>-tároló katalizátor

- Üzemállapotok



# NO<sub>x</sub>-tároló katalizátor

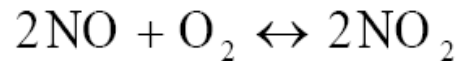
- A periodikus regeneráció



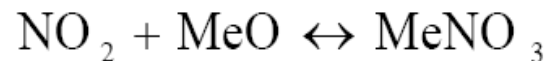
# NO<sub>x</sub>-tároló katalizátor

- A tároló katalizátor reakciói általános tároló

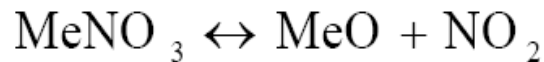
1. Oxidáció



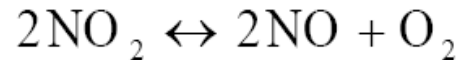
2. Tárolás



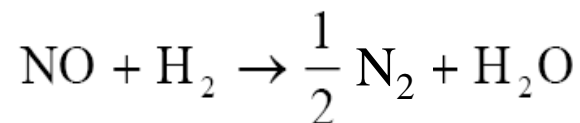
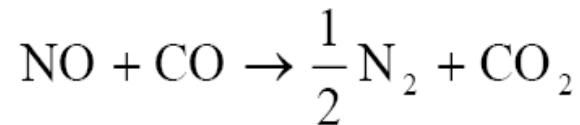
3. Kiürítés



4. Részleges redukció



5. Teljes redukció

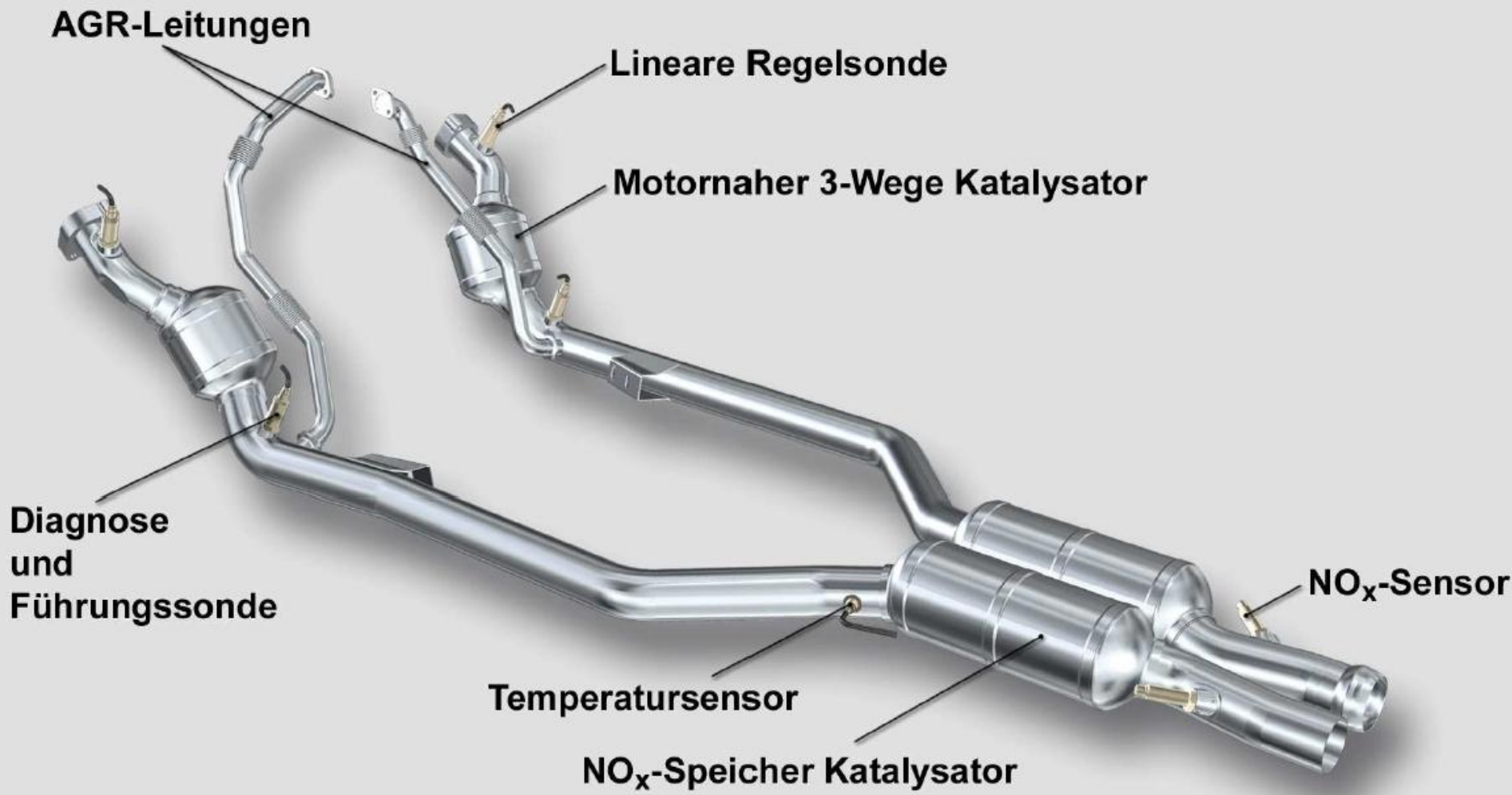


Hosszabb szegénykeverékes üzem

Légfelesleg váltás

Rövid dús keverékes üzem

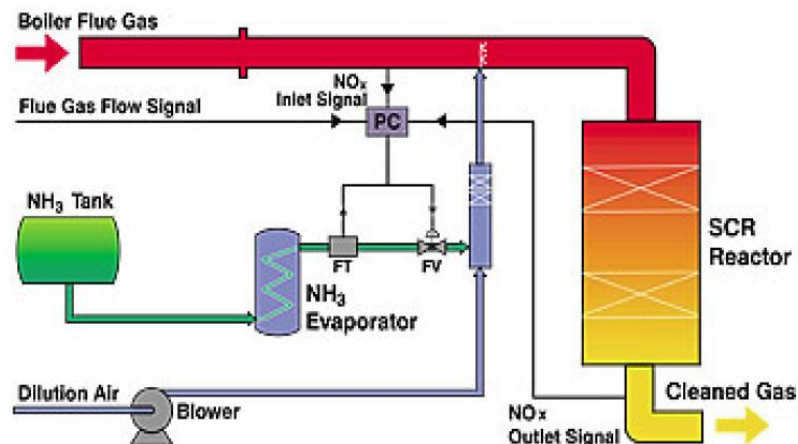
# No<sub>x</sub>-tároló beépítése





# SCR katalizátor

- SCR = A nitrogén-oxidok szelektív katalitikus redukciója
- Katalitikus anyag: Vanádium-pentoxid ( $V_2O_5$ )
- Az 1970-es évek óta standard eljárás az erőművi kipufogógázok  $NO_x$  mentesítésében
- Redukciós anyag: Ammónia ( $NH_3$ ) - mérgező!
- Lehetséges ammóniaképző hordozók:
  - Ammónium-karbamát ( $NH_2CO_2NH_4$ )
  - Szilárd karbamid ( $(NH_2)_2CO$ )
  - Karbamid vizes oldata – AdBlue ( $(NH_2)_2CO+H_2O$ )



# SCR katalizátor

- Az SCR katalizátoros rendszer kémiai reakcióinak áttekintése

