

## Katalytische Reinigung von Autoabgasen

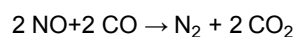
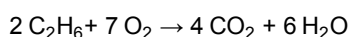
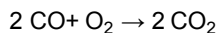
### Versuchsziele

- Funktionsweise von Kraftfahrzeugkatalysatoren kennenlernen.
- Abgasanalyse kennenlernen.
- Arbeiten mit Prüfröhrchen.
- Verschiedene Nachweisreaktionen kennenlernen.

### Grundlagen

Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas entstehen verschiedene luft- und umweltschädigende Stoffe. Dazu zählen beispielsweise Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und verschiedene Kohlenwasserstoffe. Diese Stoffe entstehen auch bei der Verbrennung von Benzin in Otto- und Dieselmotoren und sind auch für den Menschen toxisch.

Seit den 90er Jahren wurden in Kraftfahrzeugen Katalysatoren verbaut, welche den Ausstoß dieser Schadstoffe verringern. Sie bestehen aus einem temperaturbeständigen Keramikmaterial in Form eines Zylinders, welcher in Strömungsrichtung von zahlreichen parallelen Kanälen durchzogen ist. Dieser Zylinder ist mit Aluminiumoxid und Sauerstoffspeicherkomponenten, wie Cer-(IV)-oxid beschichtet. In die Beschichtung eingelagert sind Edelmetalle wie Platin, welche katalytisch aktiv sind. Die dabei ablaufenden Reaktionen sind Redoxreaktionen und lauten folgendermaßen:



Da bei diesem Katalysator drei Reaktionen parallel stattfinden, wird er auch als Dreiwegekatalysator bezeichnet. Es entsteht hierbei zwar grundsätzlich ungiftiges CO<sub>2</sub>, jedoch ist dieses hauptsächlich mitverantwortlich für den Treibhauseffekt. Dieser führt zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre.

In diesem Versuch sollen drei verschiedenen Stoffe bzw. Stoffgruppen in dem Abgas eines Kraftfahrzeuges nach dem Einsatz eines Katalysators nachgewiesen werden. Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). CO bindet im Blut an Hämoglobin und blockiert so die Aufnahme von Sauerstoff aus dem Blut.

Die Stickoxide zählen in die Gruppe der reizenden Stoffe. Sie sind starke Atemgifte und sind an der Entstehung des Atmosphärentoxins Ozon mitverantwortlich. Auch SO<sub>2</sub> schädigt die Atemorgane, da es ein starkes Atemgift ist. Außerdem ist es hauptverantwortlich für die Entstehung sauren Regens. Im Versuch soll zunächst das Abgas mit dem Katalysator gereinigt und anschließend mit Hilfe von Prüfröhrchen analysiert werden. In diesen findet bei Vorliegen des jeweiligen Analyten eine Farbreaktion statt, welche direkt am Röhrchen abge-



Abb. 1 Versuchsaufbau

lesen werden kann. Die jeweiligen Reaktionen sind in Versuch C5.3.1.1 genauer erläutert.

### Gefährdungsbeurteilung

Die im Versuch untersuchten Substanzen Kohlenstoffmonoxid, Stickoxide und Schwefeldioxyde entstehen in nur so geringen Mengen, dass sie keine Gefahr darstellen. Trotzdem sollte der Versuch aufgrund des Abgases unter einem Abzug durchgeführt werden.

CO-Prüfröhrchen	
	<p><b>Gefahrenhinweise</b></p> <p>R20/21/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut.</p> <p>R35 Verursacht schwere Verätzungen.</p> <p>R37 Reizt die Atmungsorgane.</p> <p><b>Sicherheitshinweise</b></p> <p>P102 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen</p> <p>P260 Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen</p> <p>P262 Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen</p> <p>P305+P351+ P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minutenlang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiterspülen.</p> <p>P313 Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen</p> <p>P302+P352 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.</p>
NO <sub>x</sub> -Prüfröhrchen	
	<p><b>Gefahrenhinweise</b></p> <p>R21/22 Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut. und Verschlucken.</p> <p>R34 Verursacht Verätzungen.</p> <p>R43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.</p> <p><b>Sicherheitshinweise</b></p> <p>P102 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen</p> <p>P262 Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen</p> <p>P305+P351+ P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minutenlang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiterspülen.</p> <p>P313 Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen</p> <p>P302+P352 BEI BERÜHRUNG MIT</p>

	DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.
SO <sub>2</sub> -Prüfröhrchen	
	<p><b>Gefahrenhinweise</b></p> <p>R20/21/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut.</p> <p>R35 Verursacht schwere Verätzungen.</p> <p><b>Sicherheitshinweise</b></p> <p>P102 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen</p> <p>P260 Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen</p> <p>P262 Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen</p>

### Geräte und Chemikalien

1	Abgaskatalysator .....	666 360
2	Kolbenprober 100 ml, mit Dreiwegehahn .....	665 914
3	Glasverbinder, 2 x GL 18 .....	667 312
1	Mobile-CASSY 2 .....	524 005
1	Temperaturfühler NiCr-Ni, 1,5 mm, Typ K ...	529 676
1	Profilrahmen C50, zweizeilig, für CPS .....	666 425
2	Magnet-Hafttafel, 500 mm .....	666 4659
2	Halter, magnetisch, Gr. 1, 9...11 mm .....	666 4661
1	Halter, magnetisch, Gr. 2, 11...14 mm .....	666 4662
2	Halter, magnetisch, Gr. 5, 30...32 mm .....	666 4665
1	Bunsenbrenner, Allgas .....	656 016
1	Sicherheitsgasschlauch mit Endmuffe, 0,5 m	607 020
1	Laborboy 16 cm x 13 cm .....	300 76
1	Silikondichtung, GL 18, .....	667 296
1	Prüfröhrchen NO <sub>x</sub> 0,5 ... 50 ppm, Satz 10 ....	666 313
1	Prüfröhrchen CO 0,5 ... 7,0 %, Satz 10 .....	666 319
1	Prüfröhrchen SO <sub>2</sub> 1 ... 25 ppm, Satz 10 .....	666 314
1	Glasfeile .....	667 015
1	Handstoppuhr.....	313 07
1	Luftsack, Satz 30.....	662 302
1	Trichter, PP, ø 75 mm .....	665 009

Zusätzlich erforderlich:

Autoabgase oder ein selbst hergestelltes Abgasgemisch aus Stickstoffdioxid und Methan oder Kohlenmonoxid, evtl. Gummiring

### Versuchsaufbau und -vorbereitung

#### Aufbau der Apparatur

1. Die Apparatur wird wie in Abb.1 dargestellt aufgebaut.
2. Die Magnethafttafeln in den CPS-Rahmen einsetzen.
3. Die Kolbenprober rechts und links an der oberen Tafel mit den magnetischen Haltern (Gr. 5) anbringen.
4. Die Kolbenprober jeweils über einen Glasverbinder mit einem Dreiwegehahn verbinden.
5. In die Mitte der beiden Dreiwegehähne wird der Katalysator befestigt. Dazu das Ende der Dreiwegehähne in die Stopfen einsetzen und mit magnetischen Haltern stabilisieren.
6. Durch den linken Stopfen muss zusätzlich der Temperaturfühler in den Katalysator eingeführt werden, welcher ebenfalls mit Hilfe eines magnetischen Halters (Gr.2) an der Platte befestigt wird.

7. Der Temperaturfühler wird über den NiCr-Ni-Adapter S mit dem Mobile-CASSY 2 verbunden.

8. Der Bunsenbrenner wird auf einem Laborboy unter dem Katalysator platziert werden.

### Vorbereitung des Versuches

1. Die Prüfröhrchen werden am rechten Dreiwegehahn am noch freien Ausgang mit Hilfe eines Glasverbinders angebracht.

2. Dafür werden zwei verschiedene Dichtungen in den Schraubkappen benötigt. Die größere Dichtung ist für das Glasstück des Dreiwegehahns und die kleinere für das Prüfröhrchen.

3. Das erste Prüfröhrchen für CO wird in die Schraubkappe mit der kleineren Dichtung eingesetzt. Zuvor mit Hilfe der Glasfeile beiden Spitzen abbrechen und die scharfen Bruchkanten abfeilen.

4. Das Prüfröhrchen so anbringen, dass der Pfeil in Richtung des Gasstromes zeigt.

5. Für die Analyse wird das Abgas eines Kraftfahrzeuges benötigt.

6. Um Abgas aufzufangen werden ein Luftsack und ein Trichter verwendet. Der Schlauch des Luftsackes sollte bis auf ca. 5 cm abgeschnitten werden.

*Hinweis: Das Abschneiden ist nötig, da sich der Luftsack ansonsten sehr schlecht füllen lässt.*

7. Den Trichter in den Schlauch des Luftsackes einsetzen und an den Auspuff eines Kraftfahrzeuges halten, um dessen Abgase aufzufangen.

*Hinweis: Der Trichter darf nicht zu dicht auf den Auspuff gehalten werden und auch erst kurz nach dem Starten. Außerdem muss die Abgasprobe innerhalb von 5 Minuten nach starten des Kraftfahrzeuges entnommen werden, da danach der Katalysator des Kraftfahrzeuges aktiviert ist. Gegebenenfalls etwas Gas geben um einen größeren Druck zu erzeugen.*

8. Wenn der Luftsack gefüllt ist den Trichter abnehmen und den Sack gut verschließen.

### Durchführung

1. Der Luftsack wird über den noch freien Ausgang des Dreiwegehahns unter dem linken Kolbenprober verbunden. Dazu den Knoten im Schlauch lösen und diesen über das Glasstück des Dreiwegehahns stülpen. Um Dichtigkeit zu garantieren mit den Fingern oder einem Gummiring fixieren.

2. Den Dreiwegehahn nun so einstellen, dass eine Verbindung zwischen Luftsack und Kolbenprober entsteht.

3. Für die Analyse muss die Apparatur zunächst gut gespült werden. Dazu den Kolben des Kolbenprobers langsam rausziehen und leicht auf den Luftsack drücken.

4. Ist der Kolbenprober gefüllt, den Dreiwegehahn des Kolbenprobers so schließen, dass keine Verbindung zwischen Kolbenprober und Atmosphäre entstehen kann und das Abgas im linken Kolbenprober eingeschlossen ist. Mit dem anderen Dreiwegehahn eine Verbindung zwischen Kolbenprober und Apparatur herstellen.

5. Der Luftsack braucht nicht abgenommen werden, da keine Verbindung zur Apparatur besteht.

6. Überprüfen, dass der rechte Kolbenprober nur mit der Apparatur und noch nicht mit dem Prüfröhrchen verbunden ist.

7. Den Bunsenbrenner entzünden und unter dem Katalysator platzieren.

8. Der Katalysator benötigt eine Betriebstemperatur von 300-350 °C. Wenn diese erreicht ist kann der Bunsenbrenner

gelöscht werden. Der Temperaturanstieg wird auf dem Mobile-CASSY 2 verfolgt.

9. Den Dreiwegehahn des linken Kolbenprober nun so einstellen, dass eine Verbindung zur Apparatur entsteht.

10. Das Abgas durch Runterdrücken des Kolbens des linken Kolbenprober und durch Hochziehen des Kolbens des rechten Kolbenprober über den Katalysator leiten.

11. Für die Analyse nun eine Verbindung zwischen rechtem Kolbenprober und Glasverbinder herstellen und langsam und ohne großen Druck den Kolbenprober entleeren, so dass das Abgas in das Prüfröhrchen gelangt. Die Stoppuhr starten und nach 2 Minuten das Ergebnis vom Prüfröhrchen ablesen.

Diesen Versuch mit den Prüfröhrchen für Stickoxide und SO<sub>2</sub> wiederholen. Dafür wieder den linken Kolbenprober mit Abgas füllen und den Katalysator auf Betriebstemperatur bringen.

*Hinweis: Prüfröhrchen bei denen eine Analyse negativ ausfällt können am selben Tag erneut verwendet werden.*

### Beobachtung

Der Kolbenprober wird durch das Aufziehen mit dem Abgas gefüllt, dabei leert sich der Luftsack. Das zu untersuchende Abgas entstammt von einem Dieselfahrzeug. Durch das Durchleiten des Abgases durch die Prüfröhrchen kommt es dort bei Vorhandensein des jeweiligen Analyten zu einer Reaktion zwischen diesem und dem Prüfröhrchenmaterial. Es finden für die Auswertung der Analysen Farbumschläge in den Prüfröhrchen statt. Bei CO findet bei positivem Ergebnis ein Farbumschlag von weiß/gelblich zu braun statt. Bei den Stickoxiden NO<sub>x</sub> ist dieser von weiß bzw. blassblau zu dunkelblau. Bei SO<sub>2</sub> soll ein Farbumschlag von violett zu weiß stattfinden.

Das Ergebnis der jeweiligen Analyse kann direkt am Prüfröhrchen abgelesen werden. Anzumerken ist, dass der Test auf CO und NO<sub>x</sub> positiv ist. Für SO<sub>2</sub> hingegen fallen die Tests negativ aus.

### Auswertung

In diesem Versuch wurde das Abgas eines Kraftfahrzeuges ohne aktivierten Katalysator untersucht. Überprüft wurde dabei der Gehalt an CO, NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> im Abgas nach Behandlung mit einem Katalysator.

Die Auswertung der Analysen erfolgt mittels der geeichten Skala auf den Prüfröhrchen. Die Werte müssen abgelesen und notiert und können mit Literaturwerten verglichen werden.

### Ergebnis

In Tab.1 sind die Ergebnisse der Analysen von CO, NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> im Abgas eines Dieselfahrzeuges nach Behandlung mit einem Katalysator aufgeführt.

Tab. 1: Ergebnisse der einzelnen Analysen nach Behandlung mit einem Katalysator.

Analyt	Ergebnis
CO (n = 1)	-
NO <sub>x</sub> (n = 5)	0,5 ppm
SO <sub>2</sub> (n = 3)	-

Je nach Angabe auf dem Prüfröhrchen müssen die Konzentrationsangaben (z.B. % oder ppm) mit dem Faktor  $n$ , welcher im Beipackzettel angegeben ist, multipliziert werden, um auf die genaue Konzentration des Analyten zu kommen.

In Tab.3 sind die Literaturwerte für die Analyten im Abgas eines Ottomotors aufgeführt.

Tab. 2: Literaturwerte für Analyten im Abgas.

Analyt	Vol %
CO	0,2 - 5 (Dieselmotor geringer)
NO <sub>x</sub>	0,005 - 0,4 (Dieselmotor höher)
SO <sub>2</sub>	0,006 (Dieselmotor höher)

Es können auch Abgase mit und ohne Behandlung (s. Tab. 3) eines Katalysators verglichen werden. Zu der Analyse ohne Behandlung mit einem Katalysator siehe Versuch C5.3.1.1.

Tab. 3: Ergebnisse einer Analyse ohne Behandlung mit einem Katalysator.

Analyt	Ergebnis
CO (n = 1)	0,3 %
NO <sub>x</sub> (n = 5)	3 ppm
SO <sub>2</sub> (n =3)	-

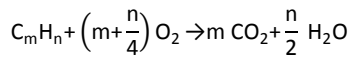
CO ist im Abgas von Dieselmotoren nur in geringen Mengen vorhanden (s. Tab. 2). Es entsteht durch die unvollständige Verbrennung von Kohlenwasserstoffen. Nach Behandlung des Abgases mit einem Katalysator ist CO vollständig entfernt worden. Der Katalysator hat das enthaltene CO, nach der anfangs beschriebenen Reaktion, vollständig zu CO<sub>2</sub> oxidiert.

Stickoxide entstehen bei der Verbrennung von Benzin aus dem in der Luft enthaltenen Stickstoff und Sauerstoff unter

hohen Temperaturen. Durch den Katalysator werden diese zu über 80 % aus dem Abgas entfernt. Die Reaktionsgleichung ist ebenfalls in den Grundlagen dieses Versuches beschrieben.

SO<sub>2</sub> lässt sich nicht nachweisen, da die Konzentration im Abgas zu gering ist. Der im Erdöl noch enthaltene Schwefel wird bei der Herstellung von Benzin weitestgehend entfernt. Die Entfernung ist notwendig, da das sonst bei der Verbrennung entstehende SO<sub>2</sub> als Katalysatorgift wirken und diesen zerstören würde.

Eine weitere Reaktion, die am Katalysator abläuft ist die vollständige Verbrennung von Kohlenwasserstoffen.



Diese lassen sich jedoch in diesem Versuch nicht nachweisen, da hier ein Gemisch vorliegt, für welches die Prüfröhrchen nicht geeignet sind.

### Reinigung und Entsorgung

Die Prüfröhrchen dürfen auf keinen Fall in den normalen Müll gelangen, da sie geringe Mengen an Chemikalien enthalten. Zu beachten ist dabei Gesetz über die Beseitigung von Abfällen (AbfG) sowie das Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (ChemG).

In den Prüfröhrchen für CO und SO<sub>2</sub> sind anorganische Stoffe enthalten, sie müssen also in den Abfall für anorganische Feststoffe. Im Prüfröhrchen für NO<sub>x</sub> ist ein organisches Amin vorhanden sowie Chrom(VI)-oxid, welches stark giftig ist. Deswegen müssen die Prüfröhrchen in einem gesonderten und gekennzeichneten Gefäß gesammelt und entsorgt werden.

Die Reste des Abgases im Luftsack können im Abzug entleert werden.