

Der Kampf gegen Nitrose Gase: Rauchgasentstickung (DeNO_x) und Autokatalysator



Bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen aufgrund der hohen Temperaturen stets auch Stickoxide (NO, NO₂, N₂O₄; allgemein: NO_x) und bei höherem Schwefelgehalt der Energieträger auch Schwefeloxide. Die Schwefeloxide sind zu etwa zwei Dritteln, die Stickoxide zu etwa einem Drittel für die Versauerung der Niederschläge verantwortlich. Die Maßnahmen zur Vermeidung und Entfernung dieser Schadstoffe aus den Abgasen der Verbrennungsprozesse, den **Rauchgasen**, sind die Rauchgasentschwefelung und die Rauchgasentstickung.

Zu den **Primärmaßnahmen** der Entstickung zählen diejenigen Vorkehrungen, die der Entstehung von NO und NO₂ (=NO_x) bei Verbrennungsprozessen vorbeugen. Dazu gehören das Einhalten günstiger Temperaturen und eine

nur kurze Verweilzeit der Verbrennungsgase in der heißen Phase.

Sekundärmaßnahmen sind zur chemischen Vernichtung bereits gebildeten NO_x da. Es wird zu Stickstoff reduziert. Je nachdem, ob ein Katalysator verwendet wird, unterscheidet man:

- **Selektive katalytische Reduktion:** Findet bei relativ niedrigen Temperaturen (50 - 200 °C) statt, beispielsweise in Kraftfahrzeugen (*siehe unten*). Katalysatoren erforderlich: Übergangsmetalloxide (z.B. V₂O₅, TiO₂) oder Zeolithe.
- **Selektive nicht-katalytische Reduktion:** Höhere Temperatur des Abgases notwendig (900-2000 °C).

1. Details zu Sekundärmaßnahmen

1.1 Ergänzen Sie im gesamten Dokument die fehlenden Reaktionsgleichungen.

Zur Rauchgasentstickung werden die **Rauchgase (= Abgase von Verbrennungsprozessen)** in eine wässrige **Ammoniaklösung** eingedüst. Mit dem NO_x bildet sich durch eine Komproportionierung Stickstoff (N₂):

Vernichtung von NO mithilfe des NH ₃ , bei O ₂ -Abwesenheit:	
Vernichtung von NO mithilfe des NH ₃ , in Anwesenheit von Luftsauerstoff, im Verhältnis NO: O ₂ = 4:1:	

Da bei Anwesenheit von Luftsauerstoff nicht nur NO, sondern auch O₂ durch das NH₃ reduziert wird, ist die Vernichtungsbilanz bezüglich des NO pro NH₃-Molekül etwas schlechter. Noch schlechter ist allerdings die Vernichtungsbilanz pro NH₃, wenn NO₂ („NO₂+ ½ O₂“) vernichtet werden muss, dies ist allerdings nur zu geringem Anteil enthalten:

Vernichtung von NO ₂ mithilfe des NH ₃ , bei O ₂ -Abwesenheit:	
---	--

Statt Ammoniak kann eine **wässrige Harnstofflösung** (H₂NC(O)NH₂) eingedüst werden. Sie ist einfacher und gefahrloser zu handhaben, da sie nicht ätzend ist und unter Umgebungsbedingungen kein Ammoniak ausgast. In der Hitze hydrolysiert der Harnstoff zu Ammoniak, der dann nach den oben angegebenen Reaktionsgleichungen NO_x vernichtet:

Hydrolyse in Strukturformeln:	
-------------------------------	--

Dieses Verfahren nutzt man auch bei der Abgasentstickung in Dieselmotoren (**AdBlue®**, *siehe unten*).

2. Kraftfahrzeugkatalysator bei Ottomotoren („Benziner“ die „E10“ oder „Super“ tanken)

In den Abgasen des Verbrennungsmotors von Kraftfahrzeugen fallen als Schadstoffe neben NO_x auch Kohlenstoffmonoxid und Kohlenwasserstoffe an, die aus unvollständiger Verbrennungsprozessen resultieren. Beim Autokatalysator findet die Oxidation von CO und C_mH_n sowie die Reduktion von NO_x gleichzeitig statt: Es werden (1) C_mH_n mit O_2 zu CO_2 und H_2O oxidiert, (2) CO mit O_2 zu CO_2 oxidiert und (3) NO mit CO zu N_2 und CO_2 reduziert. Insgesamt können bis zu 98% dieser Schadstoffe vernichtet werden, weil die notwendige O_2 -Sauerstoffzufuhr für diese Prozesse elektronisch optimiert wird:

Rkt.gl. zu (1)

Rkt.gl. zu (2)

Rkt.gl. zu (3)

Voraussetzung dafür ist ein konstant stöchiometrisches Kraftstoffverhältnis von ca. 14,7 Gramm Luft pro Gramm Superbenzin (Oktan 95) und 14,8 Gramm Luft pro Gramm Normalbenzin (Oktan 91).

2.1 Zeigen Sie durch eine Rechnung, dass die Größenordnung für das stöchiometrische Kraftstoffverhältnis zutrifft. Approximieren Sie den Ottokraftstoff durch Decan.

Rauchgasentstickung bei Diesel-Fahrzeugen

Anders als Ottomotoren verbrennen Dieselmotoren kein vorbereitetes Brennstoff-Luft-Gemisch. Sie besitzen keinen Vergaser. Der Brennstoff wird stattdessen innermotorisch in die komprimierte Luft eingespritzt. Im Abgas sind deshalb noch höhere Sauerstoffkonzentrationen vorhanden. Das restliche O_2 kann im Nachgang auch hier genutzt werden, um nicht verbranntes C_mH_n und CO mit Hilfe eines *Dieseloxydationskatalysators* aufzuoxidierten. Eine Reduktion von NO_x wie beim

Autokatalysator von Ottomotoren ist wegen des O_2 -Überschusses jedoch nicht möglich. Sie muss deshalb nach der Entfernung von C_mH_n und CO in einem eigenständigen Prozess erfolgen. Bei dieser Abgasnachbehandlung wird wie in der Industrie Harnstoff genutzt. Die genormte Harnstofflösung mit $w(\text{Harnstoff}) = 32\%$ muss als Medium getankt werden, eine bekannte Marke ist AdBlue®