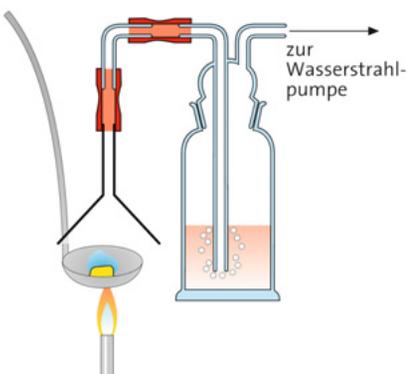




B1 Blick auf Mexico-City. **A:** Erklären Sie, warum die geografische Lage der Stadt die Inversionswetterlage verstärkt.



B2 Inversionswetterlage. **A:** Erklären Sie, warum die Kaltluft nicht aufsteigen kann und warum diese Situation „unnormale“ ist.



B3 Nachweis von Verbrennungsprodukten (V1 bis V3)

Schadstoffe in Verbrennungsprodukten

Versuche

V1 Nachweis von Kohlenstoffdioxid: Untersuchen Sie die Verbrennungsgase bei der Verbrennung von a) Benzin*, b) Kartuschenbrenner-Gas* oder Erdgas* und c) Dieselöl* auf Kohlenstoffdioxid, indem Sie die Gase durch eine Bariumhydroxid-Lösung* leiten (B3). (*Hinweise:* Benzin (ca. 1 mL) kann im Verbrennungslöffel verbrannt werden. Dieselöl lässt sich nur entzünden, wenn man einen Docht oder etwas Watte in die Flüssigkeit steckt. Die Gase werden in einem entsprechenden Brenner verbrannt.)

V2 Nachweis von Schwefeldioxid (**Abzug!**): Geben Sie in einen Verbrennungslöffel eine kleine Portion Schwefel und entzünden Sie sie in der Brennerflamme. Leiten Sie die Verbrennungsgase durch Fuchsin-Lösung (0,01 g Fuchsin* in 100 mL Wasser). Führen Sie anschließend diesen Nachweis auch mit den Stoffgemischen a) bis c) aus V1 und mit zerkleinerter Braunkohle durch. (*Hinweis:* Die Fuchsin-Lösung wird durch Schwefeldioxid entfärbt.)

V3 Nachweis von Stickstoffoxiden: Beschicken Sie die Waschflasche aus B3 ca. 4 cm hoch mit SALTZMANN-Lösung* (5 g Sulfanilsäure*, 0,05 g N-(Naphthyl-(1))-ethylendiammoniumchlorid* und 50 mL Eisessig* in 1 L Lösung). Saugen Sie zunächst 1 min lang Luft durch die Lösung. Leiten Sie dann jeweils die Verbrennungsgase der Stoffgemische a) bis c) aus V1 durch dieses Nachweisreagenz. (*Hinweis:* Die SALTZMANN-Lösung wird durch Stickstoffoxide rosa-pink gefärbt.)

Auswertung

- Fertigen Sie eine Tabelle mit allen Versuchsergebnissen an.
- Erklären Sie in jedem Einzelfall, wie sich das nachgewiesene Oxid gebildet hat bzw. warum es nicht in den Verbrennungsgasen enthalten war.
- Formulieren Sie für V1 die Nachweisreaktion. Geben Sie an, wie V1 bei den Verbrennungsgasen von Wasserstoff ausfallen würde und begründen Sie.
- Begründen Sie, welches Verbrennungsprodukt von Kohlenwasserstoffen man in der Vorrichtung von B3 nicht nachweisen kann.

	Emissionsrate in 10^9 kg pro Jahr	Hauptemissionsquellen	Verhältnis natürlich: anthropogen
Kohlenstoffdioxid CO_2	830 000	Atmung, biologischer Abbau, Verbrennung fossiler Brennstoffe, Rodung	33:1
Kohlenstoffmonoxid CO	3 400	unvollständige Verbrennung, atmosphärische Oxidation von Kohlenwasserstoffen	3,5:1
Methan CH_4	500	Erdgas, Sümpfe, Reisfelder, Tierhaltung, Termiten, Mülldeponien, arktische Tundra	1:1
Schwefelverbindungen (als SO_2 bezeichnet)	400	Verbrennung von Holz, Kohle, Erdölprodukten; Sümpfe, Vulkane	1:1,5
Stickstoffoxide (ohne N_2O , als NO_2 berechnet)	160	Verbrennungsprozesse, Gewitter, atmosphärische Oxidation von NH_3 , Stickstoffdüngung	1:2,1

B4 Globale jährliche Emissionen einiger atmosphärischer Spurenstoffe. **A:** Vergleichen Sie die Angaben aus der rechten Spalte für Kohlenstoffdioxid und Stickstoffoxide und erklären Sie den Unterschied.



Rauchgasreinigung und Autokatalysator

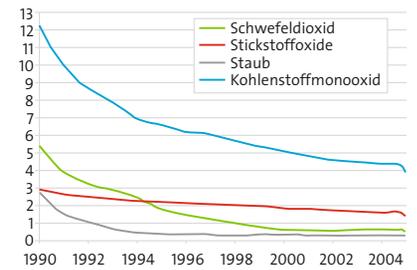
Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen bilden sich als Hauptprodukte immer *Wasser* und *Kohlenstoffdioxid* (V1). Darüber hinaus entstehen je nach Zusammensetzung des Brennstoffs und den Bedingungen, unter denen die Verbrennung abläuft, auch geringe Mengen anderer Oxide. *Schwefeldioxid* bildet sich nur, wenn im Brennmaterial Schwefelverbindungen enthalten sind (V2). Dagegen entstehen *Stickstoffoxide* auch dann, wenn das Brennmaterial keine Stickstoffverbindungen enthält. Bei hoher Verbrennungstemperatur kann die endotherme Reaktion von Stickstoff und Sauerstoff zu Stickstoffoxiden stattfinden. Verläuft die Verbrennung in begrenztem Luftvolumen, so fällt hochgiftiges *Kohlenstoffmonooxid* an, bei einem Volumenanteil von 0,1% in der Atemluft wirkt es tödlich. Auch Schwefeldioxid und Stickstoffoxide zählen zu den Luftschadstoffen. Sie reizen und entzünden die Schleimhäute in Augen und Atemwegen. Diese Gase verursachen den **sauren Regen** und **Smog**¹ und schädigen so die Umwelt auf unterschiedliche Art, beispielsweise durch Steinfraß bei Bauten, durch Waldsterben und durch Übersäuerung von Gewässern.

Trotz Zunahme des Verkehrs und der Stromerzeugung gehen seit dem Jahr 1975 die Emissionen an Luftschadstoffen in Deutschland und Westeuropa zurück (B5). Möglich wurde dies, da sowohl die Qualität der Brennstoffe als auch die technischen Anlagen erheblich verbessert wurden. Erdgas und Erdöl werden heute entschwefelt, bevor sie zu Treibstoffen für Autos und Brennstoffen für Kraftwerke weiterverarbeitet werden.

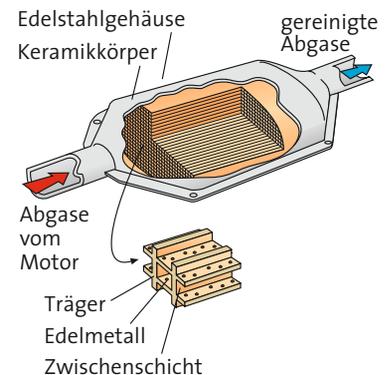
Die modernen **Kraftwerke** verfügen über Anlagen, in denen die **Rauchgase** in mehreren Stufen hintereinander gereinigt werden (B8).

Bei Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren gewährleistet der **Abgaskatalysator**, der **Kat**, dass die Schadstoffe (Kohlenstoffmonooxid, Stickstoffoxide und unverbrannte Kohlenwasserstoffe) in einem Schritt zu ungiftigem Stickstoff, Wasser und Kohlenstoffdioxid umgesetzt werden (B6). Kohlenstoffdioxid verbleibt aber bei diesen Verbrennungstechniken in den Abgasen.

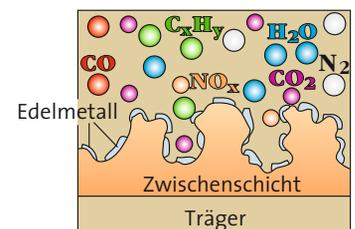
Emissionen
in Mio. t



B5 Emissionsentwicklung von Luftschadstoffen in Deutschland. **A:** Erklären Sie, worauf diese Entwicklung zurückzuführen ist.



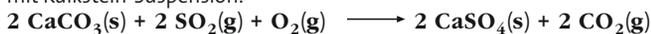
B6 Abgaskatalysator. Ein Regelsystem (mit der sog. λ -Sonde) sorgt dafür, dass in die Verbrennungsräume des Motors genau so viel Sauerstoff gelangt, wie für die vollständige Verbrennung der eingesaugten Benzindportionen zu CO_2 und H_2O notwendig ist: λ -Wert = 1). **A:** Erklären Sie, warum die Regelung der Luftzufuhr notwendig ist.



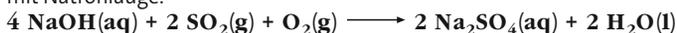
B7 Nanoskalige Edelmetallcluster aus Platin, Palladium und Rhodium katalysieren Reaktionen. **A:** Analysieren Sie, ob im Abgaskatalysator Oxidationen oder Reduktionen stattfinden.

Rauchgasentschwefelung

- mit Kalkstein-Suspension:

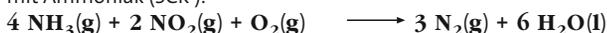


- mit Natronlauge:



Rauchgasentstickung

- mit Ammoniak (SCR¹):



B8 Bruttoreaktionen bei der Rauchgasentschwefelung und -entstickung in Kraftwerken (¹SCR: selective catalytic reduction). **A:** Geben Sie die Oxidationszahlen der Stickstoff-Atome in den Edukten und dem Produkt der Rauchgasentstickung an und vergleichen Sie sie.

¹ von *smoke* (engl.) = Rauch und von *fog* (engl.) = Nebel, Dunst

Fachbegriffe

saurer Regen, Smog, Rauchgase, Rauchgasentschwefelung, Rauchgasentstickung, Abgaskatalysator