

Antworten auf häufig gestellte Fragen zum Thema „Stickstoffoxide (NO_x)“

Was sind Stickstoffoxide (NO_x)?

Stickstoffoxide – in der chemischen Formelsprache NO_x – ist eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffes, also für verschiedene gasförmige Verbindungen, die aus den Atomen Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) aufgebaut sind. In Bezug auf die Luftqualität werden vereinfacht nur die beiden wichtigsten Verbindungen NO (Stickstoffmonoxid) und NO₂ (Stickstoffdioxid) dazu gezählt.

Woher stammen Stickstoffoxide (NO_x)?

Für die Luftqualität relevante Stickstoffoxide (hier Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂)) entstehen als Produkte unerwünschter Nebenreaktionen bei Verbrennungsprozessen. Dabei wird sowohl Stickstoffmonoxid als auch Stickstoffdioxid erzeugt und aus dem Auspuff oder Schornstein emittiert. Dieser Anteil wird als primäres Stickstoffdioxid bezeichnet. Stickstoffmonoxid wird in der Außenluft mit Luftsauerstoff später zu so genanntem sekundären Stickstoffdioxid umgewandelt.

Die Hauptquellen von Stickstoffoxiden sind Verbrennungsmotoren und Feuerungsanlagen (für Kohle, Öl, Gas, Holz, Abfälle). Die Abgase von Großfeuerungsanlagen werden in der Regel über hohe Schornsteine abgeleitet und deshalb viel stärker verdünnt als solche aus bodennahen Quellen. In Ballungsräumen ist daher der Straßenverkehr die bedeutendste NO_x-Quelle, wobei der größte Anteil aus Diesel-PKW stammt.

Böden emittieren Stickstoffmonoxid aufgrund der mikrobiellen Umsetzung organisch gebundenen Stickstoffs.

Wie entstehen Stickstoffoxide (NO_x) in Verbrennungsvorgängen?

Stickstoffoxide entstehen in vom Menschen herbeigeführten und auch in natürlichen Verbrennungsvorgängen aus dem gasförmigen Stickstoff (N₂) und Sauerstoff (O₂), die über die Verbrennungsluft zugeführt werden. Aber auch chemisch gebundener Stickstoff im Brennstoff selbst – etwa Kohle, Öl, Abfall, Holz und Biogas – wird mit dem Sauerstoff der Verbrennungsluft zu seinen Oxiden umgesetzt. Stickstoffoxide werden in allen diesen Prozessen nicht gezielt, sondern als unerwünschte Nebenprodukte erzeugt.

Wieso emittieren Fahrzeuge mit Ottomotor wenig Stickstoffoxid (NO_x)?

In Fahrzeugen mit Ottomotor werden Stickstoffoxide neben Kohlenstoffmonoxid (CO) und teil-/unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) im Abgas in einem technischen Bauteil, dem

sogenannten geregelten Dreiwegekatalysator, in vielen Betriebszuständen wirksam reduziert. Diese Katalysatoren werden bereits seit den 1980er Jahren in Pkw verbaut.

Kritisch für die Minderungswirkung und damit bis heute wichtige Felder der Entwicklung sind ausgewählte Betriebszustände wie die Kaltstartphase und der Vollastbetrieb. In der Kaltstartphase ist der Katalysator nicht auf Betriebstemperatur, so dass die gewünschten Reaktionen nicht ablaufen können. Durch eine motornahe Positionierung und optimierte Zusammensetzung der beigemischten Substanzen wurde diese Kaltstartphase von mehreren Minuten auf wenige Sekunden verkürzt. Im Vollastbetrieb wird vom optimalen Luft-/Kraftstoffverhältnis (~ 1) abgewichen, sodass den Reaktionen am Katalysator nicht genug Luftsauerstoff zur Verfügung steht. Moderne Katalysatoren können Sauerstoff in ihren Oberflächen puffern und damit das Defizit im Vollastbetrieb ausgleichen.

Warum haben ältere Fahrzeuge mit Dieselmotoren so hohe Stickstoffoxid (NO_x)-Emissionen?

Dieselmotoren erzeugen prozessbedingt mehr Stickstoffoxide (NO_x) als Ottomotoren. Der permanent hohe Luftüberschuss in der Flamme und höhere Verbrennungstemperaturen begünstigen die chemischen Reaktionen, die zur Oxidation des Stickstoffs in der angesaugten Luft führen. Hinzu kommt, dass aufgrund des höheren Luftanteils während der Verbrennung kein Dreiwegekatalysator wie beim Ottomotor eingesetzt werden kann. Um die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) zu verringern und die vorgegebenen Grenzwerte sicher einzuhalten, kommen bei Diesel-Pkw Oxidationskatalysatoren zum Einsatz. Diese wandeln auch das im Motor primär entstandene Stickstoffmonoxid (NO) (je nach Zusammensetzung des Katalysators unterschiedlich stark) in Stickstoffdioxid (NO₂) um; der direkt emittierte NO₂-Anteil steigt somit an. Ältere Dieselfahrzeuge (Euro 5 und älter) haben keine Katalysatoren zur Minderung von Stickoxiden und verwenden lediglich eine Abgasrückführung die sauerstoffärmere Luft in den Brennraum des Motors zurückführt. Diese Konzepte reichen nicht aus, um die hohen NO_x-Konzentrationen im Rohabgas in allen Betriebszuständen des Fahrzeugs effizient zu mindern.

Wie erreichen moderne Diesel-Fahrzeuge niedrige Stickstoffoxid (NO_x)-Emissionen?

Eine Minderung der Stickstoffoxid-Emissionen auf ein niedriges Niveau ist bei Diesel-Fahrzeugen ausschließlich durch den Einsatz von Katalysatoren zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR-Katalysatoren) möglich. Diese werden dazu teilweise gleich doppelt im Abgasstrang eingesetzt oder mit einem Stickoxid-Speicherkatalysator kombiniert, um die notwendigen Minderungen zu erreichen. Voraussetzung ist, dass die Abgasnachbehandlungssysteme auch in den verschiedenen Betriebszuständen eingesetzt werden und ausreichend leistungsfähig ausgelegt sind. So zeigen Fahrzeuge der Abgasnormen Euro 6d-TEMP oder modernere Fahrzeuge niedrige NO_x-Emissionen.

Warum sind Stickstoffoxide (NO_x)schädlich?

Sie schädigen die Gesundheit von Mensch, Tier und Vegetation in vielfacher Weise unmittelbar; im Vordergrund steht die stark oxidierende Wirkung von Stickstoffdioxid. Außerdem tragen sie

als Vorläuferstoffe zur Bildung von bodennahem Ozon und sekundärem Feinstaub bei, wirken überdüngend und versauernd und schädigen dadurch auch mittelbar die Vegetation und belasten Flüsse, Seen und Meere sowie den Boden und das Grundwasser.

Die Aufnahme von Stickstoffdioxid erfolgt über die Atmung. Als stark reaktives Reizgas wirkt es auf die Schleimhäute der Atmungsorgane, vor allem die unteren Atemwege sind besonders betroffen. Akut können Hustenreiz und Atembeschwerden auftreten. Aus der Reizwirkung und dem damit assoziierten oxidativen Stress resultieren des Weiteren entzündliche Prozesse, die zum Beispiel in der Lunge chronisch schädigende Wirkungen hervorrufen können. Auch wird eine Zunahme von Herz- und Kreislauferkrankungen beobachtet.

Stickoxide tragen neben anderen Stickstoffverbindungen zur Eutrophierung und Versauerung von naturnahen terrestrischen Ökosystemen bei. Dadurch verändern sich die Gleichgewichte zwischen Stickstoff und anderen Nährstoffen wie Magnesium, Phosphor und Kalium im Boden und damit auch ihre ausgewogene Aufnahme durch die Pflanzen. Der unausgewogene Ernährungsstatus im Ökosystem führt zu geringerer Toleranz gegenüber kurzzeitigen Störungen oder Stress (Frost, Trockenheit, Schädlinge). Pflanzen und Pflanzengesellschaften, die auf neutrale Bodenverhältnisse angewiesen sind, haben durch Versauerungsprozesse eine geringere Überlebenschance. Durch Eutrophierung und Versauerung können Ökosystemtypen verschwinden und die Vielfalt der Ökosysteme wird verringert.

Außerdem können Stickstoffoxide, insbesondere Stickstoffdioxid, Pflanzen direkt schädigen und unter anderem ein Gelbwerden der Blätter (sog. Nekrosen), vorzeitiges Altern und Kümmerwuchs bewirken.

Wie wirken sich Stickstoffoxide (NO_x) auf die menschliche Gesundheit aus?

Stickstoffdioxid (NO₂) ist ein ätzendes Reizgas, es schädigt unmittelbar das Schleimhautgewebe im gesamten Atemtrakt und kann auch die Augen reizen. Stickstoffdioxid zeigt eine stärkere schädliche Wirkung als Stickstoffmonoxid (NO), weshalb Stickstoffdioxid im Zentrum der Bemühungen um saubere Luft steht.

Stickstoffdioxid führt als starkes Oxidationsmittel zu Entzündungsreaktionen in den Atemwegen und verstärkt die Reizwirkung anderer Luftschadstoffe zusätzlich. In der Folge können Akuteffekte wie Atemnot, Husten, Bronchitis, die sich bei wiederholtem Auftreten zu chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen mit einer steigenden Anfälligkeit für Atemwegsinfekte sowie Lungenfunktionsminderung entwickeln können. Durch derart angegriffene und empfindlichere Atemwege steigt auch das Risiko für Allergien. Nimmt die NO₂-Belastung der Außenluft zu, leiden besonders Menschen mit vorgeschädigten Atemwegen darunter. Die Folge: Bei hohen NO₂-Konzentrationen werden mehr Menschen mit Erkrankungen der Atemwege und Lunge, sowie des Herz-Kreislaufsystems (zum Beispiel Asthma, Herzinfarkte und Schlaganfälle) ins Krankenhaus eingewiesen. Auch eine Zunahme der Sterblichkeit kann beobachtet werden.

Die mittelbare Wirkung des Stickstoffdioxids auf die menschliche Gesundheit besteht in seiner Eigenschaft als Vorläufersubstanz für die Bildung von Feinstaub. Eine dauerhaft erhöhte Feinstaubbelastung führt zu mehr Herzkreislauf- und Atemwegserkrankungen in der Bevölkerung und verkürzt die Lebenserwartung weiter.

Eine weitere – gesundheitlich wie pflanzenphysiologisch bedeutsame – mittelbare Wirkung des Stickstoffdioxid rührt daher, dass das Stickstoffdioxid auch eine Vorläufersubstanz für das sekundär in Bodennähe gebildete Ozon ist. Ozon wirkt ebenfalls als sehr starker Reizstoff auf die Schleimhäute, die Atemwege und Augen; es schädigt auch Pflanzen und Ökosysteme.

Stickstoffmonoxid reagiert im Vergleich zu Stickstoffdioxid in geringerem Maße am Lungengewebe. Daher kann es stärker aufgenommen und mit dem Blut weit im Körper verteilt werden. Seine systemische Wirkung ist die Beeinflussung der Blutgefäßspannung, z. B. Gefäßerweiterung (sog. Vasodilatationseffekt). Stickstoffmonoxid ist auch ein körpereigen gebildeter Botenstoff, so dass von außen zugeführte NO-Mengen in diese Regelungsmechanismen eingreifen und stören können.

Auch durch das Rauchen entstehen zum Teil sehr hohe NO₂-Konzentrationen, sowohl für die Rauchenden selbst, als auch in deren näherem Umfeld. Im Vergleich zum Rauchen ist das individuelle Risiko für eine gesundheitsschädigende Wirkung durch Luftschadstoffe wie Stickstoffdioxid klein. Jedoch ist die Anzahl der betroffenen Menschen deutlich größer als die Gruppe der Rauchenden, weil alle Menschen ein Leben lang Luftschadstoffen ausgesetzt sind.

Welche Grenzwerte gibt es für die Stickstoffdioxidbelastung (NO₂) Belastung der Luft?

Die Bewertung der Luftqualität erfolgt anhand der nach EU-Recht gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Grundlage ist die Luftqualitäts-Richtlinie 2008/50/EG vom 11. Juni 2008. Mit der 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (39. BImSchV) sind die EU-weit geltenden Grenzwerte für Stickstoffdioxid (NO₂) zum Schutz der menschlichen Gesundheit sowie Stickstoffoxide (NO_x) zum Schutz der Vegetation in deutsches Recht übernommen worden.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit legt die Verordnung folgende NO₂-Grenzwerte fest:

Seit dem 1.1.2010 dürfen die NO₂-Jahresmittelwerte 40 µg/m³ (Mikrogramm NO₂ pro Kubikmeter Luft) nicht überschreiten.

Seit dem 1.1.2010 dürfen die NO₂-Einstundenmittelwerte 200 µg/m³ nicht öfter als 18mal im Kalenderjahr überschreiten.

Neben den zuvor genannten Grenzwerten legt die 39. BImSchV eine Alarmschwelle von 400 µg/m³ (als Einstundenmittelwert, gemessen in drei aufeinanderfolgenden Stunden) für Stickstoffdioxid fest. Im Überschreitungsfall besteht die Pflicht, Maßnahmen unverzüglich zu ergreifen.

Ergänzend zu den NO₂-Grenzwerten gilt zum Schutz der Vegetation bereits seit dem 19.7.2001 ein kritischer Wert für Stickstoffoxide, als Summe von Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, von 30 µg/m³ im Jahresmittel.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass es neben den NO₂-Grenzwerten für die Außenluft zudem Beurteilungswerte für die Bereiche der Innenraumluft und für besondere Arbeitsplätze gibt. Weitere Informationen dazu finden Sie [hier](#).

Wo treten die höchsten und die niedrigsten Stickstoffdioxid (NO₂)-Konzentrationen in der Außenluft auf?

Ballungsräume und Städte sind erwartungsgemäß aufgrund der dort im Vergleich zum Umland hohen Emissionen von einer stärkeren Luftschadstoffbelastung betroffen. Dabei ist die Belastung nicht im gesamten Gebiet einer Stadt einheitlich. Die höchsten NO₂-Konzentrationen werden nahe der Hauptemissionsquelle, an viel befahrenen Straßen, gemessen. Je nach Lage der Messstation werden verkehrsnah NO₂-Jahresmittelwerte zwischen 30 und 60 Mikrogramm pro Kubikmeter (µg/m³), vereinzelt sogar darüber gemessen. Mit zunehmender Entfernung zu verkehrsreichen Straßen verringert sich die NO₂-Konzentration in der Luft. Da jedoch neben dem Verkehr weitere Stickstoffoxid (NO_x)-Quellen über das gesamte Stadtgebiet verteilt sind, entsteht eine Grundbelastung über dem Stadtgebiet. Diese wird als städtische Hintergrundbelastung bezeichnet und ist typisch für städtische Wohngebiete anzusehen. Hier liegen die NO₂-Jahresmittelwerte im Bereich von 10 bis 30 µg/m³. Mit Jahresmittelwerten um 10 µg/m³ wird die deutlich niedrigste NO₂-Belastung entfernt von Emissionsquellen in ländlichen Gebieten gemessen. An den Messstationen des Umweltbundesamtes, die weit entfernt von lokalen Schadstoffquellen liegen, um weiträumig und grenzüberschreitend transportierte Luftmassen zu untersuchen, werden NO₂-Konzentrationen deutlich unter 10 µg/m³ gemessen.

Wie hat sich die Stickstoffoxid (NO_x)-Belastung in den letzten Jahren entwickelt?

Einhergehend mit der deutlichen Reduzierung der NO_x-Emissionen, hier Stickstoffmonoxid (NO)- und Stickstoffdioxid (NO₂)-Emissionen, zeigen die NO₂-Konzentrationen seit 1995 ebenfalls einen Rückgang. Der verstärkte Rückgang seit 2017 lässt sich auf mehrere Faktoren zurückführen: Zunächst sind hier lokale Maßnahmen zu nennen, wie zum Beispiel Tempolimits, Fahrverbote oder der Einsatz schadstoffärmerer Busse im öffentlichen Nahverkehr. Auf regionaler und nationaler Ebene haben Softwareupdates sowie die Erneuerung der Fahrzeugflotte zum Rückgang beigetragen. Die genannten Maßnahmen zur Emissionsreduktion werden jedoch von Witterungseinflüssen überlagert, die die Ausbreitung von Luftschadstoffen beeinflussen, und so dafür sorgen, dass vereinzelt von Jahr zu Jahr die NO₂-Konzentrationen zunehmen oder nicht so stark wie erwartet sinken.

Von 1990 bis 2018 gingen die NO_x-Emissionen um 59 % zurück. Dieser Rückgang erfolgte in allen Quellkategorien. Der Straßenverkehr ist mit einem Emissionsanteil von 39 % weiterhin mit Abstand der größte Verursacher von NO_x-Emissionen.

Wo kann ich erfahren, wie hoch die NO₂-Belastungswerte der Luft sind?

An rund 500 Messstationen in Deutschland wird die NO₂-Konzentration in der Luft gemessen. Die Behörden der Länder veröffentlichen zeitnah im Internet die Messergebnisse. Das Umweltbundesamt (UBA) bietet aktuelle Luftqualitätsdaten für ganz Deutschland und Jahresbilanzen auf seinen Webseiten an. Für eine zeitnahe Information können die NO₂-Konzentrationen auch in der UBA-App *Luftqualität* eingesehen werden.

Wie werden die Stickstoffoxid(NO_x)-Emissionen begrenzt?

Stickstoffdioxid (NO₂) gilt als Leitsubstanz für Stickstoffoxide mit der stärksten Wirkung auf die Gesundheit von Mensch, Tier und Vegetation. Da Stickstoffmonoxid (NO) in der Luft auch zu Stickstoffdioxid (NO₂) umgewandelt wird, muss der NO_x-Ausstoß in Summe begrenzt werden.

Dazu gibt es NO_x-Emissionsgrenzwerte (als Summe von NO + NO₂) für zahlreiche Einzelquellen, beispielsweise für stationäre Feuerungsanlagen und mobile Quellen wie Fahrzeuge. Hier einige Beispiele:

- Die im Jahre 2010 novellierte Kleinf Feuerungsanlagenverordnung (1. Bundes-Immissionsschutzverordnung [1. BImSchV]) begrenzt u. a. die NO_x-Emissionen von Kleinf Feuerungsanlagen.
- Die NO_x-Emissionen von großen Kraftwerken werden durch die Verordnung für Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen (13. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung [13. BImSchV]) begrenzt. Die 17. Bundes-Immissionsschutzverordnung gilt für Großfeuerungsanlagen, in denen Abfälle verbrannt oder mitverbrannt werden.
- Für mittelgroße Anlagen gilt seit Mitte 2019 die 44. Bundes-Immissionsschutzverordnung, die u. a. auch die NO_x-Emissionen von bestehenden und neuen Anlagen regelt. Für Anlagen, die von der 44. BImSchV ausgenommen sind, gelten in der Regel die Vorgaben der Technischen Anleitung Luft (TA Luft, 1. Allgemeine VwV).
- Zu den Emissionsbegrenzungen für Kfz siehe <https://cms.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge#europaische-abgas-gesetzgebung>

Zusätzlich werden auch die jährlichen NO_x-Gesamtemissionen Deutschlands durch die europäische NEC-Richtlinie aus 2001 und deren Novellierung 2016 (engl.: NEC – „national emission ceilings“) seit 2010 begrenzt und sind zukünftig weiter zu reduzieren. Die ab 2020 geltenden Reduktionsverpflichtungen können u. a. durch den Kohleausstieg, die fortschreitende Reduzierung von Fahrzeugemissionen und die kommende Wirkung der 44. BImSchV voraussichtlich eingehalten werden. Dies gilt aber nur, wenn alle Maßnahmen wie vorgesehen umgesetzt werden ([vgl. nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland 2019](#)).

Was kann der Einzelne zur Verringerung der Stickstoffoxid(NO_x)-Emissionen beitragen?

Klimaschonendes Handeln reduziert fast immer auch die Emission von Stickstoffoxiden, also von Stickstoffdioxid und -monoxid. Die Einsparung von Energie und eine bessere Energieausnutzung führen also zu einer geringeren Freisetzung von Stickstoffoxiden in die Umwelt. Besonders beim Heizen und dem Betrieb von Haushaltsgeräten kann jede*r Einzelne viel Energie einsparen. Die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen (Wind, Wasser, Sonne) trägt gleichfalls dazu bei, NO_x-Emissionen zu vermeiden, die bei der Stromerzeugung durch Verbrennung entstehen.

Dies gilt auch für den Straßenverkehr: je weniger Treibstoff pro gefahrenem Kilometer verbraucht wird, desto weniger reaktiver Stickstoff wird freigesetzt. Eine ruhige, spritsparende Fahrweise ist erlernbar und bringt bei jedem Verbrennungsmotor deutliche Vorteile – nicht nur bei den Emissionen. Ottomotor-Fahrzeuge mit niedriger Motorleistung und geringem Kraftstoffbedarf (z. B. Erdgas-, Hybridantrieb) weisen deutlich geringere Stickstoffemissionen

auf als Dieselfahrzeuge. Bei Neuanschaffungen sollte auf einen Euro 6d-TEMP bzw. 6d Abgasstandard geachtet werden.

Darüber hinaus kann jede*r Einzelne Kfz-Verkehr und somit Emissionen reduzieren oder ganz vermeiden: Viele Ziele lassen sich zu Fuß, per Fahrrad oder mit den öffentlichen Verkehrsmitteln (ÖPNV) erreichen.

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt

Fachgebiet II 4.2

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-0

Fax: +49 340-2103-2285

buergerservice@uba.de

Internet:

www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Stand: 30.06.2020