



## Anhörung Verkehrsausschuss des Deutschen Bundestages am 25. Juni 2018: Stellungnahme der Deutsche Umwelthilfe e.V.

### Ausgangssituation

An etwa 50% der verkehrsnahen Messstellen wurde 2017 der seit 2010 geltende Jahresmittelwert der Konzentration von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) von 40 µg/m<sup>3</sup> überschritten. Die anhaltend hohe Belastung führt zu schwerwiegenden gesundheitlichen Belastungen. Die Europäische Umweltagentur beziffert in ihrem Air Quality Report 2017 die Zahl der vorzeitigen Todesfälle im Jahr 2014 auf 12.860. NO<sub>2</sub> verursacht unter anderem Atemwegs- sowie Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Das Umweltbundesamt veröffentlichte im März 2018 eine Studie zu den gesundheitlichen Auswirkungen von NO<sub>2</sub>-Belastungen unterhalb des EU-Grenzwerts. Die Studie zeigt unter anderem, dass acht Prozent der bestehenden Erkrankungen an Diabetes mellitus in Deutschland im Jahr 2014 auf Stickstoffdioxid in der Außenluft zurückzuführen waren. Dies entspricht etwa 437.000 Krankheitsfällen. Bei bestehenden Asthmaerkrankungen liegt der Anteil der Erkrankungen, die auf die Belastung mit NO<sub>2</sub> zurückzuführen sind, mit rund 14 Prozent sogar noch höher. Dies entspricht etwa 439.000 Krankheitsfällen. Insbesondere Kinder und ältere Menschen, aber auch Schwangere und deren ungeborenen Kinder gelten als besonders gefährdet. Die EU-Grenzwertsetzung war bereits in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts umstritten. Die Schweiz hatte bereits im Jahr 1986 auf Empfehlung der Weltgesundheitskommission einen Wert von 30 µg/m<sup>3</sup> festgeschrieben und die gesundheitlichen Gefahren wurden hierin detailliert aufgeführt (s. Anlage)

Die anhaltende NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen haben zur Folge, dass die EU Kommission vor wenigen Wochen entschieden hat, die Bundesrepublik vor dem Europäischen Gerichtshof im Rahmen eines Vertragsverletzungsverfahrens zu verklagen. Die Deutsche Umwelthilfe e.V. führt seit 2011 insgesamt 28 Klageverfahren zur Einhaltung der NO<sub>2</sub>-Luftqualitätswerte in neun Bundesländern. Am 27. Februar 2018 bestätigte das Bundesverwaltungsgericht in Leipzig die Zulässigkeit von Fahrverboten für Dieselfahrzeuge (BVerwG 7 C 26.16), (BVerwG 7 C 30.17). In einer ersten Anwendung des Grundsatzentscheids verurteilte das VG Aachen am 8. Juni 2018 (AZ 6 K 221 1/15) das Land NRW faktisch zur Einführung von zonalen Dieselfahrverboten ab dem 1. Januar 2019. Die DUH geht davon aus, dass in den 27 weiteren Verfahren entsprechende Urteile ergehen werden und noch im Jahr 2018 klar wird, dass in allen größeren Städten schmutzige Diesel Einfahrverbote erlassen werden.

### Bisherige Maßnahmen der Bundesregierung weitgehend unwirksam

Mit Blick auf Minderung von NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Hauptquelle der Belastung – Diesel-Pkw – ist die Wirkung der bisher beschlossenen Maßnahmen der Bundesregierung praktisch gleich null. Aus dem im Herbst 2017 mit großem Getöse verkündeten „Sofortprogramm“ ist bislang kein Cent abgeflossen. Keine einzige Nachrüstung eines ÖPNV Busses wurde bislang aus dem Programm finanziert. Auch die angeblichen Software-Updates außerhalb des amtlich verfügbaren VW-Rückrufs sind bis heute bei weit unter 10% der zugesagten Fahrzeuge erfolgt. Ein mit den

Automobilherstellern vereinbartes Anreizprogramm zum Kauf von Neufahrzeugen bei gleichzeitiger Stilllegung von Diesel Pkw der Euronormen 4 und älter soll den Flottenaustausch beschleunigen. Absurderweise verkauften die Diesel-Konzerne ihre Ladenhüter mit besonders hohen NOx-Emissionen und in mehreren Fällen sogar mit weiter enthaltenen illegalen Abschaltvorrichtungen im Rahmen des Programmes. Besonders auffallend war Audi mit dem Audi A6 und A7 3.0 Liter Diesel Euro 6, deren Produktion aktuell gestoppt und die Zulassung dieser Betrugsdiesel aktuell nicht möglich ist.

Die Wirksamkeit der Software-Updates liegt im Sommerhalbjahr bei bestenfalls 20-25% Verbesserung der NOx-Werte, im Winterhalbjahr bei 0%. Außerhalb der verpflichtenden VW-Rückrufe sind derzeit ca. 150.000 Fahrzeuge mit einem freiwilligen Software-Update versorgt worden, das entspricht ca. 1% des deutschen Diesel-Bestandes. Insofern lässt sich einfach errechnen, dass die freiwilligen Software-Updates aktuell keinen, aber auch bei Ausdehnung auf die 2 Mio. betroffenen Fahrzeuge nur rudimentären Beitrag leisten werden.

Für alle Städte und Gemeinden, deren NO<sub>2</sub>-Belastung mehr als 10% über dem EU-Grenzwert liegt, werden die bisher beschlossenen Maßnahmen somit nicht ausreichen, eine sichere Einhaltung der EU-Luftreinhaltewerte sicherzustellen.

### Technische Nachrüstung ist zwingend notwendig

Die DUH hat seit Herbst 2015 auf die Notwendigkeit hingewiesen, dass alle Diesel-Pkw mit illegalen Abschaltvorrichtungen (dies ist faktisch der gesamte Bestand der bis 2017 zugelassenen Euro 5+6 Diesel-Modelle und auch ein erheblicher Teil der 2018 zugelassenen Diesel) entweder stillgelegt oder technisch so nachzurüsten sind, dass diese auf der Straße bei vergleichbarer Belastung wie im Labor die EU-Grenzwerte einhalten. Übrigens auch und gerade bei niedrigen Temperaturen.

Nachdem die Automobilindustrie dies als „technisch unmöglich“ dargestellt hat, zeigte die DUH die Machbarkeit im Sommer 2016 im Rahmen technischen Workshops bei VW. Mit Originalteilen gelang es, einen VW-Passat mit Betrugssoftware und 1.000 mg NO<sub>x</sub>/km auf Einhaltung der EU 6 Grenzwerte von 80 mg NO<sub>x</sub>/km, gemessen jeweils auf der Straße, technisch nachzurüsten.

Verschiedene Folgeuntersuchungen, darunter die des Landes Baden-Württemberg, des ADAC sowie mehrerer Autozeitschriften bestätigten diese Werte auch bei weiteren Nachrüstungen in derselben Größenordnung. Das im Januar 2018 im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums erstellte Gutachten von Prof. Wachtmeister belegt zudem, dass für einen großen Teil der Fahrzeuge derartige SCR-Systeme bereits durch die Hersteller fertig entwickelt sind und in früheren Jahren als aufpreispflichtiges Zubehör für 1.100 bis 1.900 € angeboten wurden.

Das Emissions-Kontroll-Institut der DUH (EKI) hat Fahrzeuge vor und nach einem Hardware-Update untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Hardwarenachrüstung von Diesel-Pkw mit SCR-Systemen die Absenkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf das Niveau der besten OEM-Diesel-Pkw der Schadstoffklasse Euro 6 ermöglicht (<https://www.duh.de/projekte/eki-kontrollen/eki-ergebnisse/>). Bei einem VW Passat B 7 1.6 TDI, Erstzulassung 08.2014, Euro 5 (EA 189 Motor mit Betrugssoftware) wurde ein SCR-System nachgerüstet. Vor der Nachrüstung stieß das Fahrzeug im Schnitt von 10 Messfahrten 1.030 mg NO<sub>x</sub>/km aus. Nach der Nachrüstung reduzierten sich die Emissionen ebenfalls im Schnitt

auf 69 mg NO<sub>x</sub>/km bzw. 52 mg NO<sub>x</sub>/km (mit Harnstoffeinspritzung und mit bzw. ohne Regeneration während der 10 Messfahrten). Damit liegt das Emissionsniveau des Euro 5 Fahrzeuges nach der Nachrüstung unterhalb des NO<sub>x</sub>-Grenzwertes für Euro 6.

Die DUH fordert die Durchführung der technischen Nachrüstung aller betroffener ca. 11 Millionen Diesel Pkw der Eurostufen 5 und 6, die mit einer illegalen Abschaltvorrichtung ausgestattet sind.

Die Nachrüstung muss nach Ansicht der DUH durch die Hersteller erfolgen und ausschließlich durch diese verantwortet und finanziert werden. Nur so ist eine korrekte Ansteuerung des SCR-Systems durch die von den Herstellern programmierte Motorsteuerung sichergestellt. Im Ergebnis muss der aktuelle EU6-Grenzwert für NO<sub>x</sub> auf der Straße auch bei winterlichen Minusgraden sicher eingehalten werden.

Durch die verpflichtende technische Nachrüstung wäre der Wertverlust der betroffenen Diesel-Fahrzeuge gestoppt und die Mobilität der betroffenen Fahrzeugeigner in den belasteten Innenstadtbereichen sichergestellt. Dergestalt nachgerüstete Bestandsfahrzeuge können von Verkehrsbeschränkungen ausgenommen werden.

Die Finanzierung und Durchführung sowie Übernahme der Fahrzeug- und Bauteilgewährleistung muss durch die Fahrzeughersteller erfolgen. Die DUH rechnet mit durchschnittlichen Kosten von 1.500 Euro pro Fahrzeug.

## **Auch Benzin GDI Fahrzeuge müssen nachgerüstet werden**

Benzin Pkw mit Direkteinspritzung (GDI) weisen im Bestand sehr hohe Emissionen von ultrafeinen Partikeln auf, die besonders gesundheitsgefährdend sind. Messungen im Auftrag der DUH seit dem Jahr 2010 haben das wiederholt gezeigt. Ebenso belegen die von uns beauftragten Messungen, dass die Nachrüstung mit einem Benzinpartikelfilter diese Emissionen so reduzieren, dass sie den auch für Dieselfahrzeuge geltenden Partikelanzahl-Grenzwert sicher einhalten. Eine serienmäßige Ausstattung von Neufahrzeugen ist ab 2019 wahrscheinlich, aber praktisch alle Bestandsfahrzeuge haben deutlich zu hohe Partikelanzahl-Emissionen.

## **Welche Diesel-Fahrzeuge sollten nachgerüstet werden?**

Um eine in den hochbelasteten Stadtbereichen ausreichende NO<sub>2</sub>-Minderung zu erzielen, ist wie bereits ausgeführt die technische Nachrüstung aller ca. 10 bis 11 Millionen betroffenen Euro 5 und Euro 6 Diesel Pkw erforderlich.

Die Frage der technischen Nachrüstung wird derzeit eingeschränkt auf die kommenden Diesel-Fahrverbote in den bekannten Städten mit Überschreitung der NO<sub>2</sub>-Grenzwerte diskutiert. Verkehrsnahe stationäre Messstationen sind in nur 154 von insgesamt mehr als 11.092 Städten und Gemeinden in Deutschland zu finden. So bleibt die faktisch hohe Belastung vieler bisher amtlich nicht beobachteter Orte trotz der tatsächlich hohen Luftbelastung, die mit Citizen Science Messungen der DUH und diverser Rundfunkanstalten ermittelt wurde, unberücksichtigt. Messreihen der DUH und weiterer Akteure (darunter SWR, RBB, Green City München, VCD), die mittels Passivsammler die NO<sub>2</sub>-Konzentration über einen Zeitraum von ein bzw. zwei Monaten erfasst hatten, zeigen auch

abseits der amtlichen Messstellen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die eine Überschreitung des Jahresmittelwertes ziemlich eindeutig belegen. Darüber hinaus weisen etwa Europäische Umweltagentur oder das Umweltbundesamt in ihren aktuellen Untersuchungen darauf hin, dass auch bei Exposition mit NO<sub>2</sub> bei Konzentrationen unterhalb des Grenzwertes von 40µg/m<sup>3</sup> ernsthafte Gesundheitsbelastungen sowie vorzeitige Todesfälle zu beklagen sind (<https://www.umweltbundesamt.de/no2-krankheitslasten>; EEA Air Quality Report 2017).

Eine umfassende technische Nachrüstung für alle Fahrzeuge und nicht nur für solche, die an den bekannten Belastungsorten fahren, ist daher unverzichtbar.

### Verpflichtung der Hersteller zur Übernahme der Kosten

Die Hersteller sind in der Pflicht, die Kosten für eine technische Nachrüstung zu übernehmen. Die Verwendung von Abschaltvorrichtungen, die im Ergebnis zu den erhöhten NO<sub>x</sub>-Emissionen führt, ist rechtswidrig. Dies bestätigen das Rechtsgutachten des Wissenschaftlichen Dienstes des Deutschen Bundestages sowie das Gutachten von Martin Führ, die im Rahmen des 5. Untersuchungsausschusses der 18. Wahlperiode erstellt wurde. Die EU Verordnungen 715/2007 und 692/2008 sind in ihren Aussagen eindeutig. Ebenso eindeutig ist festgelegt, dass Abschaltvorrichtungen, so sie denn ein Hersteller ausnahmsweise nutzen möchte, im Typzulassungsverfahren anzugeben sind, sodass die Zulassungsbehörde deren Zulässigkeit prüfen kann. In keinem der bislang bekannt gewordenen Fälle der Verwendung von Abschaltvorrichtungen ist das der Fall. Die Fahrzeuge entsprechen also nicht der Typgenehmigung. Die vom Kraftfahrtbundesamt in einigen Fällen verfügte nachträglichen Nebenbestimmungen zur Typgenehmigung und zur Durchführung eines Software-Updates sind nicht ausreichend, um dies zu beheben. Denn zum einen sind die Minderungswirkungen des Updates nicht ausreichend, zum anderen sind auch nach dem Update weitere Abschaltvorrichtungen aktiv, wie am Beispiel des VW Sharan nahe liegt.

Weder Fahrzeughalter noch Steuerzahler sind für diese Misere verantwortlich, sondern allein der Hersteller. Bislang wurden in Deutschland trotz vorhandener rechtlicher Möglichkeiten keine Sanktionen gegen Hersteller ausgesprochen, die illegale Abschaltvorrichtungen verwenden.

Berlin, Juni 2018

Anlage: Bundesamt für Umweltschutz Bern (Hg): Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe in: Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 52, Juni 1986 (Auszug NO<sub>2</sub>)

Schriftenreihe Umweltschutz  
Nr. 52

---



# **IMMISSIONSGRENZWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFE**

Herausgegeben vom Bundesamt für Umweltschutz  
Bern, Juni 1986

Artenzusammensetzung der Wasserlebewesen aus. In der Schweiz sind vor allem Bergseen in Gebieten mit kristallinen geologischen Strukturen betroffen (Tessin). Auch in Böden können saure Niederschläge zu Veränderungen führen. Ein Absinken des Säuregrades kann beispielsweise zu erhöhter Mobilität von pflanzentoxischen Schwermetallen und zur Verarmung an Nährsalzen führen. Auch direkte Wirkungen von sauren Niederschlägen auf Pflanzen sind bekannt. Insbesondere die stark sauren und schadstoffreichen Nebel - der Säuregehalt des Nebelwassers kann zehn- bis hundertmal höher sein als jener des Regens - können in Kombination mit der Einwirkung von Photooxidantien zu Nährstoffauswaschungen aus den Blattorganen führen (sog. leaching).

## 52 Stickstoffoxide

Unter den Begriff Stickstoffoxide (kurz auch Stickoxide genannt) fallen eine Vielzahl von Verbindungen des Typs  $N_xO_y$ , von denen aus lufthygienischer Sicht allerdings nur die beiden Verbindungen NO (Stickstoffmonoxid) und  $NO_2$  (Stickstoffdioxid) von Bedeutung sind, welche zusammenfassend als  $NO_x$  bezeichnet werden.

Sowohl natürliche als auch anthropogene Prozesse können zu  $NO_x$ -Emissionen in die Atmosphäre führen. Zu den natürlichen  $NO_x$ -Bildungsprozessen gehören mikrobielle Umsetzungen in den Böden (Nitrifikation, Denitrifikation) sowie luftelektrische Entladungen in der Atmosphäre (Blitze). Sogenannt gemischt anthropogen/natürliche  $NO_x$ -Emissionen entstehen einerseits bei Wald- und Buschbränden, andererseits bei der Oxidation von Ammoniak  $NH_3$  (u.a. aus der Landwirtschaft, insbesondere der Intensivtierhaltung) in der Atmosphäre. Rein anthropogene  $NO_x$ -Emissionen werden schliesslich bei der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe bei hohen Temperaturen gebildet (vorwiegend durch Umsetzung von Luftstickstoff  $N_2$  mit Sauerstoff  $O_2$ ).

In Gebieten mit hoher Besiedlungs-, Industrie- und Verkehrsdichte, wie zum Beispiel in der Schweiz, sind die natürlichen  $NO_x$ -Emissionen (mit einem Anteil in der Größenordnung von etwa 4-5%) gegenüber den anthropogenen  $NO_x$ -Emissionen praktisch vernachlässigbar.

1982 waren in der Schweiz die Bereiche Industrie und Hausfeuerungen für ca. 17%, der Motorfahrzeugverkehr für ca. 83% der  $NO_x$ -Emissionen von insgesamt rund 180'000 t verantwortlich.

Die gesamten anthropogenen Stickoxidemissionen in der Schweiz haben sich von 1950 bis anfangs der 80er Jahre etwa verzehnfacht. Die  $NO_x$ -Emissionen des Motorfahrzeugverkehrs haben sich im gleichen Zeitraum gar verzwanzigfacht.

Bei den Immissionen ist ebenfalls ein eindeutig zunehmender Trend feststellbar. Die  $NO_x$ -Immissionskonzentrationen in den Stadtzentren und in den Agglomerationen haben sich seit 1965 verdoppelt bis verdreifacht. Die Jahresmittelwerte für  $NO_2$  liegen heute in Stadtzentren je nach Lage der Messstation bei etwa 60-140  $\mu g NO_2/m^3$ , in Agglomerationen bei 30-50  $\mu g/m^3$  und in ländlichen Gebieten bei 10-30  $\mu g/m^3$ . Kurzzeitig auftretende Belastungen können erheblich über diesen Werten liegen. In Reinluftgebieten betragen die  $NO_2$ -Immissionskonzentrationen weniger als 5  $\mu g/m^3$ .

In der Atmosphäre können die Stickoxide ( $NO_x$ ) in sekundäre Luftschadstoffe wie salpetrige Säure ( $HNO_2$ ), Salpetersäure ( $HNO_3$ ) und in Salze (Nitrite, Nitrate) der erwähnten Säuren umgewandelt werden. Ausserdem sind die Stickoxide zusammen mit reaktiven Kohlenwasserstoffen für die vor allem während der strahlungsreichen Jahreszeit (März-September) ablaufende Bildung von Photooxidantien (z.B. Ozon) in bodennahen Luftschichten verantwortlich.

Aus lufthygienischer Sicht müssen die Stickoxide, insbesondere  $\text{NO}_2$ , heute in erster Linie aus folgenden Gründen als problematisch bezeichnet werden:

- $\text{NO}_2$  ist in den vorkommenden Konzentrationen ein human-toxikologisch relevanter Luftschadstoff.
- $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}$  haben in den vorkommenden Konzentrationen u.a. in Kombination mit andern Luftschadstoffen (z.B.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ) phytotoxische Wirkungen.
- $\text{NO}_2$  ist ein bedeutender Primärschadstoff für die photochemische Bildung von Oxidantien wie zum Beispiel Ozon ( $\text{O}_3$ ) und die Gruppe der Peroxyacylnitrate (PANs).
- Die Stickoxide sind wie das Schwefeldioxid wichtige Vorläufersubstanzen für die Bildung saurer Niederschläge.

Bei der gesundheitlichen Beeinträchtigung des Menschen wie auch der Tiere durch Stickoxide steht  $\text{NO}_2$  im Vordergrund.  $\text{NO}_2$  ist wie  $\text{SO}_2$  ein Reizgas, ist jedoch aggressiver und gelangt im Gegensatz zu  $\text{SO}_2$  eher in den tiefer gelegenen Atemwegen zur Wirkung. Aufgrund seiner chemischen Aggressivität (ungesättigtes Radikal) reagiert  $\text{NO}_2$  bei Kontakt unmittelbar mit den Schleimhäuten bzw. wird in deren Strukturelementen gelöst. Dabei können die Alveolarstrukturen morphologisch verändert und geschädigt werden, so dass Störungen des Gasaustausches als Folge von Permeabilitätsänderungen auftreten. In Abhängigkeit von Konzentration und Expositionsdauer kann die Einatmung von  $\text{NO}_2$  zu reversiblen und irreversiblen nachteiligen Wirkungen führen, die sich im wesentlichen im Bereich der Bronchiolen und Alveolen einstellen.

Die akute Vergiftung mit sehr hohen  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen führt zum Tod durch Lungenödem. Niedrigere und umweltrelevante Konzentrationen können zu einer Vielzahl funktionaler, zellulärer, subzellulärer und biochemischer Veränderungen führen:

- Schleimhautreizungen (Augen, Atemwege), besonders ausgeprägt bei gleichzeitiger Anwesenheit aggressiver Sekundärschadstoffe wie z.B. Photooxidantien,
- Subjektive Beschwerden wie Atemnot und Kopfschmerzen.
- Auslösung von Asthma-Anfällen,
- Leistungsverminderung bei starker körperlicher Belastung,
- Zunahme des Atemwegswiderstandes und Beeinflussung weiterer Lungenfunktionsparameter (Strömungsgeschwindigkeit, Vitalkapazität, alveolo-arterielle Sauerstoffdruckdifferenz),
- Erhöhte bronchiale Reagibilität (z.B. erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Bronchokonstriktoren),
- Erhöhte Empfindlichkeit gegenüber bakteriellen und viralen Infektionen (höchstwahrscheinlich im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung der Makrophagenaktivität und des Schleimtransports in der Lunge),
- Vermehrtes Auftreten chronischer Atemwegserkrankungen (Husten, Auswurf, Bronchitis),
- Morphologische und histologische Veränderungen im Lungengewebe (z.B. Schädigung von Alveolarepithelzellen, Veränderung und Schädigung der Trachealmukosa und der Zilien, strukturelle Veränderung von Kollagenfasern, strukturelle Veränderung von Makrophagen),
- Biochemische und metabolische Veränderungen (z.B. Erhöhung der Lipidperoxidation im Lungengewebe, Hemmung des Prostaglandin-Stoffwechsels, Hydroxyprolinausscheidung im Urin, Veränderung biochemischer Parameter im Serum).

Als besonders empfindlich gelten vor allem Kinder und Menschen, die bereits an Atemwegserkrankungen leiden (z.B. an chronischer Bronchitis, Asthma).

Ueber ein mögliches karzinogenes Potential der Stickoxide in den in der Umwelt vorkommenden Konzentrationen können noch keine abschliessenden Aussagen gemacht werden. Grundsätzlich können jedoch nitrose Gase mit Gewebsaminen Nitrosamine bilden, welche als potentielle Karzinogene bekannt sind.

Gestützt auf die vorhandenen Ergebnisse von kontrollierten toxikologischen als auch epidemiologischen Untersuchungen sollte zum Schutze der Bevölkerung eine Langzeitbelastung von höchstens  $40-50 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  (definiert als Jahresmittelwert) sowie eine Kurzzeitbelastung von ca.  $100 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  (definiert als 95%-Wert aller 1/2h-Mittelwerte eines Jahres) nicht überschritten werden.

Aus phytotoxikologischer Sicht sind die Stickstoffoxide u.a. deshalb von Bedeutung, weil sie in niedrigen Konzentrationen vor allem in Kombination mit einigen anderen Luftschadstoffen (z.B.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ) ausgeprägte Schädwirkungen zeigen. So konnten beispielsweise bereits nach nur vierstündiger gleichzeitiger Einwirkung von  $130 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  und  $90 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  sichtbare Blattschädigungen an verschiedenen Pflanzenarten festgestellt werden, während bei alleiniger Begasung mit  $\text{SO}_2$  oder  $\text{NO}_2$  zur Auslösung derselben Schadsymptome bei gleicher Einwirkungszeit wesentlich höhere Konzentrationen benötigt wurden ( $3800 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ ;  $1300 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ ). Bei länger dauernden Begasungen (mehrere Tage bis Monate) mit  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen im Bereich von  $75-125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen von  $100-160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden u.a. beträchtliche Wachstumsreduktionen von 50 und mehr Prozent beobachtet sowie Auswirkungen auf die Morphogenese (z.B. kleinere Blattflächen, weniger Seitentriebe), auf den Stoffwechsel (Veränderung von Enzymaktivitäten mit Beeinträchtigung der Schadstoffentgiftung) und auf Alterungsvorgänge (z.B. vorzeitiger Blattabwurf). Schliesslich kann es bei zusätzlicher Einwirkung von Ozon zu weiteren Wirkungsverstärkungen kommen.

Die Schadgase Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) werden von den Pflanzen unterschiedlich schnell aufgenommen, haben aber nach der Aufnahme durchaus vergleichbare Wirkungen. So wurde u.a. bei gleichzeitiger Begasung mit NO und  $\text{NO}_2$  eine Hemmung der Photosynthese festgestellt, welche der Summe der von beiden Schadstoffen alleine hervorgerufenen Wirkung entsprach. Diese Ergebnisse spielen bei der Beurteilung der Stickoxidwirkungen insofern

eine Rolle, als in der Umwelt neben  $\text{NO}_2$  immer auch NO in vergleichbaren oder kurzzeitig sogar höheren Konzentrationen vorkommt und damit die  $\text{NO}_x$ -Gesamtbelastung grösser ist als in den meist nur mit  $\text{NO}_2$  durchgeführten Begasungsexperimenten.

Aufgrund der vorhandenen Wirkungsdaten sollte zum Schutze der Vegetation vor chronischer Schädigung eine Langzeitbelastung von  $20-40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  (definiert als Jahresmittelwert) nicht überschritten werden. Zur Verhinderung akuter Schädigungen sollten kurzzeitig nicht höhere Konzentrationen als ca.  $100 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  auftreten.

Auch materialschädigende Wirkungen von Stickoxiden sind bekannt. Stickoxide greifen insbesondere natürliche und synthetische Polymere an, wobei die Farbstabilität sowie das mechanische Verhalten negativ beeinflusst werden.

Stickoxide tragen wie Schwefeldioxid zur Versauerung der Niederschläge bei. Einige Wirkungen der sauren Niederschläge sind im Kapitel 51 beschrieben.

Die aus den Stickoxiden gebildeten Nitrite und Nitrate wirken aber auch als Dünger. Diese Düngung ist in vielen Fällen nicht unproblematisch. So werden vor allem nährstoffarme, naturnahe Biotope durch diese Düngung gestört, aber auch in Wäldern kann es als Folge des erhöhten Stickstoffeintrages zu Ungleichgewichten bei der Nährstoffversorgung kommen.

Stickstoffdioxid gehört zusammen mit reaktiven Kohlenwasserstoffen zu den wichtigen Vorläufersubstanzen für die Photooxidantienbildung. Die mengenmässig wichtigste Komponente der Photooxidantien ist Ozon ( $\text{O}_3$ ). Daneben werden weitere aggressive Stoffe wie zum Beispiel Peroxyacetylnitrat (PAN) und seine Homologen,  $\text{H}_2\text{O}_2$  und andere Peroxide sowie Aldehyde und Säuren gebildet.



Immissionsgrenzwerte für NO<sub>2</sub>

Statistische Definition	Zahlenwert	Land/Fachorganisation
Jahresmittelwert	30 µg/m <sup>3</sup>	WHO (28)
	30 µg/m <sup>3</sup>	Schweiz (5)
	50 µg/m <sup>3</sup>	Sachverständigenanhörung, Berlin (29)
		(UBA)
	60 µg/m <sup>3</sup>	Kanada (4)
	80 µg/m <sup>3</sup>	BRD (13)
	100 µg/m <sup>3</sup>	Kanada (10)
	100 µg/m <sup>3</sup>	USA (30)
50%-Wert aller 1h-Mittelwerte eines Jahres	50 µg/m <sup>3</sup>	EG (31)
50%-Wert aller Tages- oder 1h-Mittelwerte eines Jahres	50 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (16)
95%-Wert aller Tagesmittelwerte eines Jahres	100 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (16)
98%-Wert aller Tagesmittelwerte eines Jahres	120 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (16)
	150 µg/m <sup>3</sup>	Finnland (6)
Tagesmittelwert	74-112 µg/m <sup>3</sup>	Japan (32)
	80 µg/m <sup>3</sup>	Schweiz (5)
	100 µg/m <sup>3</sup>	VDI (33)
	150 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (34)
	200 µg/m <sup>3</sup>	Kanada (10)
95%-Wert aller 1/2h-Mittelwerte eines Jahres	100 µg/m <sup>3</sup>	Schweiz (5)
95%-Wert aller 1h-Mittelwerte eines Jahres	110 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (16)
98%-Wert aller 1h-Mittelwerte eines Jahres	135 µg/m <sup>3</sup>	EG (31)
	135 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (16)
	200 µg/m <sup>3</sup>	EG (17)
98%-Wert aller 1/2h-Mittelwerte	200 µg/m <sup>3</sup>	BRD (13)

Immissionsgrenzwerte für NO<sub>2</sub> (Fortsetzung)

Statistische Definition	Zahlenwert	Land/Fachorganisation
99%-Wert aller 1h-Mittelwerte eines Jahres	300 µg/m <sup>3</sup>	Finnland (6)
4h-Mittelwert	95 µg/m <sup>3</sup>	WHO (28)
	95 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (15)
1h-Mittelwert	190-320 µg/m <sup>3</sup>	WHO (35)
	300 µg/m <sup>3</sup>	Niederlande (34)
	400 µg/m <sup>3</sup>	Kanada (10)
1/2h-Mittelwert	200 µg/m <sup>3</sup>	VDI (33)

Bemerkungen

- ( 1 ) International Union of Forest Research Organizations: Immissionsgrenzwert zur Aufrechterhaltung der Schutz- und Sozialfunktionen des Waldes auf kritischen oder extremen Standorten (z.B. Erosions- und Lawinenschutz in höheren Lagen). Der 97,5%-Wert ist aus den 1/2h-Werten der Vegetationszeit zu ermitteln.
- ( 2 ) "Long term goal" zum Schutze von Wäldern, Landwirtschaftszonen, Naturreservaten.
- ( 3 ) Weltgesundheitsorganisation, Regionalbüro für Europa: Empfehlung einer Expertengruppe insbesondere zum Schutze der Vegetation. Der angegebene Grenzwert wird von den WHO-Experten im Falle extremer Umweltbedingungen und/oder gleichzeitiger Anwesenheit anderer Luftschadstoffe als u.U. zuwenig streng erachtet.
- ( 4 ) "Maximum desirable level".
- ( 5 ) Immissionsgrenzwerte in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV), festgelegt nach den gesetzlichen Kriterien (Umweltschutzgesetz): Schutz von Menschen, Tieren, Pflanzen sowie von Risikogruppen. Berücksichtigung von Kombinationswirkungen mit andern Luftschadstoffen.  
Für weitere Angaben zur statistischen Definition siehe Kapitel 6 des vorliegenden Berichts.
- ( 6 ) "Air Quality Standard" zum Schutze der menschlichen Gesundheit.
- ( 7 ) Weltgesundheitsorganisation, Genf: Environmental Health Criteria. Richtlinie zum Schutze der menschlichen Gesundheit. Kombinationswirkungen mit Staub berücksichtigt.
- ( 8 ) International Union of Forest Research Organizations: Immissionsgrenzwert zum Schutze der vollen Leistungsfähigkeit des Waldes auf den meisten Standorten (vgl. Bemerkung 1). Bezogen auf die Empfindlichkeit der Fichte.  
Der 97,5%-Wert ist aus den 1/2h-Werten der Vegetationszeit zu ermitteln.
- ( 9 ) "Guideline Concentration for Air Quality Assessment".
- (10) "Maximum acceptable level".
- (11) Administratives Ziel für Agglomerationsgebiete.

- (12) "National primary ambient air quality standard". Der "primary standard" soll, unter Berücksichtigung eines angemessenen Sicherheitsabstandes, den Schutz der menschlichen Gesundheit gewährleisten.
- (13) Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft): Immissionswert zur Beurteilung des Einwirkungsbereiches von genehmigungspflichtigen Anlagen. Der Beurteilungszeitraum beträgt in der Regel ein Jahr.
- (14) Nicht zu überschreitender Halbjahresmittelwert (Oktober bis März, April bis September) zum Schutze der menschlichen Gesundheit.
- (15) "Target value to protect plants and/or livestock".
- (16) Interimgrenzwert zum Schutze der menschlichen Gesundheit.
- (17) Rat der Europäischen Gemeinschaften: Grenzwert zum Schutze der menschlichen Gesundheit.
- (18) Empfohlener Grenzwert zum Schutze der menschlichen Gesundheit.
- (19) International Union of Forest Research Organizations: Immissionsgrenzwert zur Aufrechterhaltung der Schutz- und Sozialfunktionen des Waldes auf kritischen oder extremen Standorten (z.B. Erosions- und Lawinenschutz in höheren Lagen). Darf 12 mal pro Halbjahr überschritten werden.
- (20) Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen: Höchstwert für die Monate April bis Oktober, bezogen auf die Empfindlichkeit der Fichte.
- (21) International Union of Forest Research Organizations: Immissionsgrenzwert zum Schutze der vollen Leistungsfähigkeit des Waldes auf den meisten Standorten (vgl. Bemerkung 19), bezogen auf die Empfindlichkeit der Fichte. Darf 12 mal pro Halbjahr überschritten werden.
- (22) Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen: Höchstwert für die Monate November bis März, bezogen auf die Empfindlichkeit der Fichte.
- (23) Zweite Verordnung gegen forstliche Luftverunreinigungen: Höchstwerte für die Monate April bis Oktober für Waldbestände mit weniger als 5% Nadelbaumarten, bezogen auf die Empfindlichkeit der Buche.
- (24) "Ambient Air Quality Standard. Value not to exceed".
- (25) Höchstwert zum Schutze der menschlichen Gesundheit.
- (26) Masszahl zur Berechnung von Kaminhöhen.

- (27) Verein deutscher Ingenieure: Maximale Immissionskonzentration zum Schutze der menschlichen Gesundheit. Auf einmalige Exposition abgestellt. Kombination mit Schwebestaub berücksichtigt.
- (28) Weltgesundheitsorganisation, Regionalbüro für Europa: Empfehlung einer Expertengruppe insbesondere zum Schutze der Vegetation. Gilt in Kombination mit SO<sub>2</sub> (30 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel) sowie mit O<sub>3</sub> (60 µg/m<sup>3</sup> im Mittel während der Vegetationsperiode).
- (29) Sachverständigenanhörung des Bundesministers des Innern, Berlin: Grenzwertvorschlag für Stickstoffdioxid zum Schutze der Bevölkerung vor möglichen NO<sub>2</sub>-bedingten Gesundheitsschäden.
- (30) "National primary and secondary ambient air quality standard". Der "primary standard" soll, unter Berücksichtigung eines angemessenen Sicherheitsabstandes, den Schutz der menschlichen Gesundheit gewährleisten. Der "secondary standard" hat die Erhaltung der öffentlichen Wohlfahrt zum Ziel, also insbesondere den Schutz der menschlichen Umwelt.
- (31) Rat der Europäischen Gemeinschaften: Leitwert zum Schutz insbesondere der menschlichen Gesundheit sowie als Beitrag zu einem langfristigen Schutz der Umwelt.
- (32) "Ambient Air Quality Standard". Der Tagesmittelwert muss innerhalb oder unterhalb des angegebenen Bereichs liegen.
- (33) Verein deutscher Ingenieure: Maximale Immissionskonzentration zum Schutze des Menschen. Der Wert soll nicht mehr als einmal pro Monat überschritten werden. Kombinationswirkungen mit SO<sub>2</sub> und Schwebestaub berücksichtigt.
- (34) "Emergency level" (Alarmwert).
- (35) Weltgesundheitsorganisation, Genf: Environmental Health Criteria. Richtlinie zum Schutze der menschlichen Gesundheit. Beinhaltet einen minimalen Sicherheitsfaktor von 3 bis 5. Größere Sicherheitsfaktoren werden als notwendig erachtet zum Schutze von Risikogruppen und bei gleichzeitiger Anwesenheit weiterer Luftschadstoffe.
- (36) Verein deutscher Ingenieure: Maximale Immissionskonzentration zum Schutze der menschlichen Gesundheit (Richtlinie vom September 1974).

- (37) Weltgesundheitsorganisation, Regionalbüro für Europa: Empfehlung einer Expertengruppe insbesondere zum Schutze der Vegetation. Gilt in Kombination mit SO<sub>2</sub> (30 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel) sowie mit NO<sub>2</sub> (30 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel und 95 µg/m<sup>3</sup> als maximaler 4h-Mittelwert).
- (38) Umweltbundesamt Berlin: Luftqualitätskriterien für photochemische Oxidantien. Ozon-Höchstkonzentrationen zum Schutze empfindlicher Pflanzen gegen Ozon als Einzelkomponente.
- (39) Umweltbundesamt Berlin: Luftqualitätskriterien für photochemische Oxidantien. Ozon-Höchstkonzentrationen zum Schutze mittelempfindlicher Pflanzen gegen Ozon als Einzelkomponente.
- (40) "Ambient Air Quality Standard" für Gesamtoxidantien. Darf nicht überschritten werden.
- (41) Weltgesundheitsorganisation, Genf: Environmental Health Criteria. Richtlinie für Photooxidantien insgesamt zum Schutze der menschlichen Gesundheit. Soll höchstens einmal pro Monat überschritten werden.
- (42) Weltgesundheitsorganisation, Genf: Environmental Health Criteria. Richtlinie für Ozon zum Schutze der menschlichen Gesundheit. Beinhaltet keinen Sicherheitsfaktor.
- (43) Weltgesundheitsorganisation, Regionalbüro für Europa: Empfehlung einer Expertengruppe insbesondere zum Schutze der Vegetation.
- (44) Verein deutscher Ingenieure: Maximale Immissionskonzentration zum Schutze der menschlichen Gesundheit (Richtlinien-Entwurf vom März 1986).
- (45) Weltgesundheitsorganisation, Genf: Environmental Health Criteria. Richtlinie zum Schutze der menschlichen Gesundheit.