

Ausgabe 2014
8. Auflage

Ernst Pucher

UNSERE LUFT

Was man über die Luftbelastung
wissen sollte.

- ▶ **Ursachen**
- ▶ **Ökologische Auswirkungen**
- ▶ **Gegenstrategien**



Ein gutes Gefühl, beim Club zu sein.

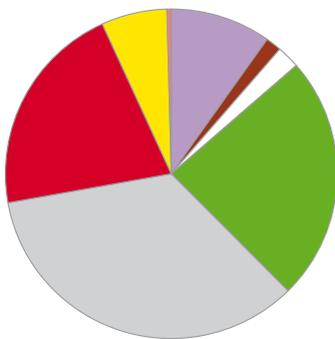
KURZFASSUNG „UNSERE LUFT“

Diese Publikation erscheint seit über zwanzig Jahren und in nunmehr achter Auflage. Sie befasst sich mit den von menschlichen Aktivitäten stammenden Stoffen in unserer Luft. Zurzeit stehen einerseits die global wirksamen, klimarelevanten Gase wie Kohlendioxid und andererseits die lokalen Schadstoffe Stickstoffoxide und Feinstaubpartikel im Mittelpunkt der Betrachtung. Die Relevanz der verschiedenen Schadstoffe änderte sich in den vergangenen Jahrzehnten erheblich. Beginnend mit Kohlenmonoxid und Blei, als für den Menschen direkt schädliche Komponenten, folgte Schwefeldioxid, eine für das sogenannte Waldsterben verantwortliche Komponente. Diese drei chemischen Verbindungen wurden sehr erfolgreich reduziert. Darauf folgte die verstärkte Betrachtung des bodennahen Ozons mit den Vorläufersubstanzen Stickstoffoxide und Kohlenwasserstoffverbindungen sowie die Treibhausgase. Mit verstärkter Umstellung der Fahrzeugantriebe auf Dieselmotoren rückten die Partikelemissionen in den Fokus.

Neu eingefügt wurde in diese Auflage eine Zeitreihe der globalen anthropogenen CO₂-Äquivalent-Emissionen von 1980 bis 2010. Den Berechnungen liegen neueste Daten des IPCC und der IEA zugrunde. Eine kontinuierliche Zunahme der Emissionen ist in allen Sektoren zu verzeichnen. Besonders stark fiel der Anstieg bei Kraft- und Heizwerken aus. Dieser beträgt sieben Milliarden Tonnen. Weitere große Emittenten sind die Land- und Forstwirtschaft sowie die Industrie. Beim Straßenverkehr, der weltweit einen Anteil von 10 % an den klimawirksamen Emissionen hat, ist eine Zunahme um zwei Milliarden Tonnen zu verzeichnen. In den Krisenjahren 2008 und 2009 gab es leichte Einbrüche, die ab 2010 jedoch bereits wieder kompensiert waren. Wie der weltweite Trend zeigt, werden leichte Absenkungen in Europa durch erhebliche Anstiege in den Schwellenländern mehr als kompensiert. Es finden also hauptsächlich Verschiebungen der Emissionen in andere globale Regionen statt.

Global wirksame Spurenstoffe:

Globale anthropogene Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen
 2010: 49 Milliarden Tonnen

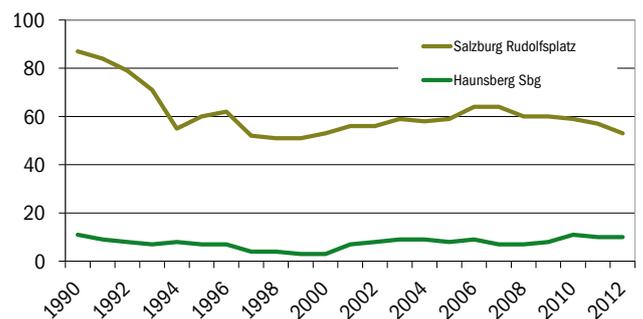


	%
■ Straßenverkehr	9,8
■ Schiffsverkehr	1,5
□ Flugverkehr	2,2
■ Land- und Forstwirtschaft	24,0
■ Kraft- und Heizwerke	34,6
■ Industrie	21,0
■ Kleinverbraucher	6,4
■ Sonstige	0,4
Summe	100

Lokale Schadstoffe:

Besonders wichtig für uns Menschen sind lokal wirksame Schadstoffe wie Stickstoffdioxid und Feinstaubpartikel. Bei diesen Komponenten hat es nach Absenkungen in den 90er-Jahren bis Mitte des vergangenen Jahrzehnts Anstiege gegeben. Durch die getroffenen Luftreinhaltemaßnahmen sinken die Belastungen nunmehr wieder.

Stickstoffdioxid (NO₂)
 in Salzburg Rudolfsplatz und
 Haunsberg, Salzburg
 (Jahresmittelwerte in µg/m³ Luft)



Derzeit gültiger EU-Grenzwert: 40µg

Die Trends der Luftgütemessungen an verkehrsnahen Messstationen korrelieren gut mit den zugehörigen Emissionsprognosen.

Wer sind die Verursacher:

Der Anteil des Straßenverkehrs beträgt je nach Schadstoffkomponente 10 % bis 30 % des gesamten Schadstoffausstoßes. Es ist zu erkennen, dass ein Drittel der in Österreich erzeugten Stickstoffoxide davon verursacht wird, während der Straßenverkehr bei Kohlendioxid zirka 20 %, bei Kohlenmonoxid und Staub weniger als 10 % und bei Kohlenwasserstoffen und Schwefeldioxid eine untergeordnete Rolle spielt.

STICKSTOFFOXID (NO_x)-EMISSIONEN 2014
in Österreich
(in 1000 Tonnen = 10³ t)
Insgesamt 133.000 Tonnen

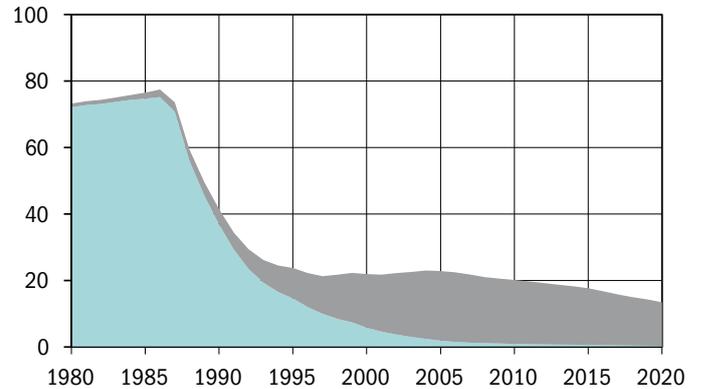


2014	10 ³ t	%
■ Straßenverkehr	38,9	29,2
■ Landwirtschaft	8,5	6,4
■ Off-Road Maschinen	10,8	8,1
■ Schiffsverkehr	1,3	1,0
□ Flugverkehr	5,3	4,0
■ Kraft- u. Heizwerke	11,9	8,9
■ Industrie	33,6	25,2
■ Kleinverbraucher	22,9	17,2
Summe insgesamt	133	100

Der Straßenverkehr im Detail:

In einer Straßenschlucht ist der Anteil des Verkehrs natürlich dominant. Hier bestehen jedoch zwischen verschiedenen Fahrzeugkategorien, wie Schwerfahrzeuge, PKW und Einspurige, und zwischen verschiedenen Antriebsarten ganz enorme Unterschiede. Benzin-PKW kann man seit einem Vierteljahrhundert als nahezu abgasfrei bezeichnen. Stickstoffoxide und Partikelemissionen des Straßenverkehrs werden praktisch zur Gänze von Dieselfahrzeugen verursacht, im Stadtverkehr und auf Transitautobahnen wiederum zu einem sehr hohen Teil von Güterfahrzeugen.

STICKSTOFFOXID (NO_x)-EMISSIONEN
DES PKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
■ PKW-Diesel	1,1	4,6	16,2	19,3	13,1
■ PKW-Benzin	72,1	36,8	5,8	0,9	0,3
Summe	73,2	41,5	21,9	20,2	13,4

Im Stadtverkehr beträgt der Unterschied bei NO₂ zwischen einem Benzin-Pkw und einem Schwer-Lkw bis 1 zu 1000 pro gefahrenem Kilometer! Bei den besonders lästigen Geruchsemissionen sind wiederum die einspurigen Kraftfahrzeuge mit einem bis zu 100-fachen Ausstoß gegenüber Pkw besonders dominant. Grund für diese teilweisen Fehlentwicklungen sind inkonsistente gesetzliche Rahmenbedingungen bei Luftreinhaltung und Begrenzung des Schadstoffausstoßes sowie steuerliche Rahmenbedingungen auf europäischer und teilweise auch nationaler Ebene.

Maßnahmen zur Verbesserung:

Die Vorteile der verbesserten Abstimmung und Weiterentwicklung der bestehenden Gesetzgebung liegen in der nachhaltigen Wirkung auch noch nach vielen Jahren. Alternative Antriebssysteme wie Hybride, Brennstoffzellen-elektrische und Batterie-elektrische Fahrzeuge sollen in optimierter Form berücksichtigt werden.

Verkehrsorganisatorische Maßnahmen, wie weiter reduzierte Tempolimits, können bei Aufrechterhaltung der Transportleistung den Schadstoffausstoß kaum beeinflussen. Bezogen auf die gesamte Schadstoffbelastung reduziert Tempo 80/100 die NO_x-Emissionen um bestenfalls zwei Prozent. Dies hat auch damit zu tun, dass die hohen Verkehrsleistungen meist im Kolonnenverkehr erbracht werden und damit ohnehin bereits eine niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeit gefahren wird.

INHALT

I. VORWORT	05
II. METHODIK	06
III. DIE MEISTDISKUTIERTEN LUFTGÜTEPROBLEME	08
1. Treibhauseffekt	08
2. Smog	11
3. Partikelbelastung	12
4. Ozon (O ₃)	13
5. Saurer Regen	14
IV. DIE GESUNDHEITLICHEN AUSWIRKUNGEN: RUSS, OZON UND NO₂	15
1. Rußpartikel	15
2. Ozonbelastung	16
3. Stickstoffdioxid NO ₂	17
V. WER DIE VERURSACHER SIND: EINE BILANZ	18
VI. VERGANGENHEIT UND ZUKUNFT: ENTWICKLUNG DER SCHADSTOFFEMISSIONEN	22
1. Emissionen von Industrie, Kleinverbrauchern, Kraftwerken und Verkehr	22
2. Straßenverkehr: Emissionen im Detail	27
VII. FÜR BESSERE LUFT: VIELE VORSCHLÄGE - VIELE FRAGEZEICHEN	36
1. Zukünftige Abgasstandards	36
2. Tempolimits	36
3. Umweltfreundlicher Güterverkehr	37
4. Premium & Biokraftstoffe	37
5. Erdgas	38
6. Hybridantrieb	39
7. Brennstoffzelle und Wasserstoff	40
VIII. LITERATURVERZEICHNIS	42
IX. INTERNETLINKS	43

I. VORWORT

Unsere Luft ist laut Brockhaus „das die Atmosphäre der Erde bildende Gasgemisch aus rund 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 0,9 % Edelgasen, 0,03 % Kohlendioxid, wechselnden Mengen Wasserdampf sowie Staub, Stickstoff- und Schwefelverbindungen“.

Unsere Luft ist aber auch, laut Bibel, jenes Gemisch, mit dem Gott dem ersten Menschen, Adam, das Leben einhauchte. Im indischen Sanskrit bedeutet Atman („atmen“) die Lebenskraft, die Persönlichkeit und schließlich die Seele. Und: Der Mensch kann tagelang ohne Wasser, wochenlang ohne feste Nahrung, aber nur wenige Minuten ohne Luft zum Atmen überleben.

In den Milliarden Jahren, die seit der Entstehung der Erdatmosphäre vergangen sind, wurde diese ausschließlich von natürlichen Ereignissen beeinflusst. So vermuten Wissenschaftler, dass vor allem Vulkanausbrüche die Atmosphäre und damit das Klima auf der Erde über Jahrmillionen hinweg verändert haben.

Heute ist auch der Mensch durch seine industrielle Tätigkeit an der Veränderung unserer Luft beteiligt. Im labilen Gleichgewicht der Atmosphäre können auch kleine Ursachen große Wirkungen haben. Die Schlagworte „Klimawandel“, „Feinstaub“ und „Oil-Peak“ lösen heute ähnliche Reaktionen aus wie Wirtschaftskrisen oder die Gefahr eines Krieges.

Auch das Automobil, jene Erfindung, die die industrielle und gesellschaftliche Entwicklung im 20. Jahrhundert beeinflusst hat, steht dabei im Schussfeld der Kritik. Eine sachliche Diskussion darüber, welche Rolle der private PKW bei der Gefährdung unserer Luft spielt, bleibt aber meist im polemischen Bereich stecken: mit der Gefahr, dass von einer falschen Faktenbasis falsche Maßnahmen und Forderungen abgeleitet werden.

Diese Broschüre will versachlichen und aufklären:

- ▶ Mit welchen Schadstoffen haben wir es zu tun und was bewirken sie?
- ▶ Wer sind die Hauptverursacher dieser Schadstoffe?
- ▶ Wie schreitet die Abgasreduzierung beim Verkehr voran?
- ▶ Wo liegen die großen Probleme der Zukunft?
- ▶ Welche Alternativen bestehen, um die individuelle Mobilität in einer lebenswerten Umwelt zu erhalten?

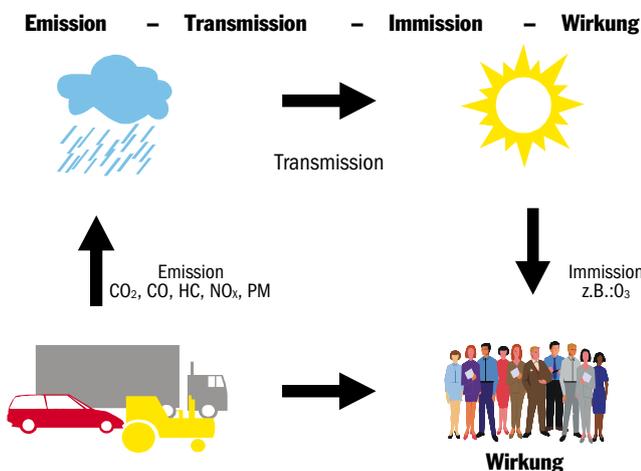
Die Rückkehr zu einer sachlichen Basis in der Abgasdiskussion ist vor allem deshalb notwendig, weil dies radikale Ideen am ehesten in die Schranken weist. Das Auto ist aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken, gleichzeitig werden wir aber alle sinnvollen Maßnahmen ergreifen müssen, um es so umweltverträglich wie möglich zu machen.

Vor gut fünfundzwanzig Jahren wurden in Österreich für PKW mit Benzinmotor Abgasvorschriften eingeführt, die eine katalytische Abgasreinigung erforderten. Was damals angesichts technischer Unsicherheiten und der mangelnden Versorgung mit bleifreiem Benzin im benachbarten Ausland ein mutiger Schritt war, ist heute eine Selbstverständlichkeit. Diese Entwicklung zeigt, dass es möglich ist, sinnvolle und vernünftige Umweltpolitik ohne Verbote zu machen. Ein ähnlicher Schritt wird ab 2014 mit der Einführung der Euro VI-Abgasgrenzwerte für die Erstzulassungen von PKW mit Dieselmotor vollzogen. Ein Großteil der neuen Diesel-PKW wird mit Partikelfilter und Stickstoffoxide reduzierenden Katalysatoren ausgerüstet sein.

Wien, 2014

II. METHODIK

In dieser Publikation wird auf die so genannten anthropogenen Schadstoffe in unserer Atmosphäre eingegangen. Darunter versteht man – im Unterschied zu den natürlichen Spurenstoffen – die von menschlichen Aktivitäten stammenden Stoffe in unserer Luft. Sie bestimmen insbesondere in Ballungszentren unsere Luftqualität, die auch als Immissionskonzentration bezeichnet wird, und führen zu bestimmten Wirkungen bei Menschen, Tieren, Pflanzen und Bauwerken.



Dabei wirken diese emittierten Schadstoffe nur zu einem Teil direkt auf den Menschen ein [1]. Die Immissionen setzen sich einerseits aus dem direkt vom Verursacher stammenden Emissionsanteil und andererseits aus dem durch Transmission in der Atmosphäre entstandenen Anteil zusammen. So sind an einem Ort einwirkende Belastungen nicht notwendigerweise auch auf dort emittierte Schadstoffe zurückzuführen, sondern können auch von weit entfernten Quellen stammen, wie es für CO₂ typisch ist. Darüber hinaus laufen bei der Übertragung der Schadstoffe vielfältige Prozesse ab, die dazu führen, dass aus diversen Vorläufersubstanzen ganz andere Schadstoffe entstehen. Die Ozonbildung ist ein typisches Beispiel. Daher müssen Emissionen (Schadstoffausstoß) und Immissionen (Luftqualität) getrennt bewertet werden.

Die Luftqualität wird an Luftgütemessstationen, die wiederum ein Teil eines Messnetzes sind, punktuell gemessen. Die Messwerte stellen somit einen Summenwert aller lokal einwirkenden Emissionsquellen und Vorbelastungen dar. Die Zeitdauer der Bewertung beträgt typischerweise zwischen 30 Minuten und einem Jahr. Für diese Zeiträume existieren unterschiedliche gesetzliche Grenzwerte. Überschreitungen treten meist bei Jahresmittelwerten auf. Die Schadstoffemissionen werden typischerweise mittels Stichprobenmessung in Abgaslabors und neuerdings immer häufiger mittels Real-Welt-Messsystemen direkt im Fahrzeug gemessen.



Die Erfassung der Emissionen erfolgt bei allen relevanten Betriebsbedingungen in der Stadt sowie bei Überland- und Autobahnfahrt. Die klimatischen Bedingungen und Nebenverbraucher werden ebenfalls berücksichtigt.

Mit diesen Basisdaten erfolgt eine aufwändige Detailberechnung des gesamten Schadstoffausstoßes des österreichischen Fahrzeugbestandes. Zur Validierung der Ergebnisse wird außerdem eine Top-down-Vergleichsrechnung des jährlichen Verbrauchs der verschiedenen Energieträger wie beispielsweise Dieselmotorkraftstoff und Benzin durchgeführt.

Die folgenden Spurenstoffe werden betrachtet:

KOHLENDIOXID (CO₂):

Kohlendioxid ist ein geruchloses, in niedriger Konzentration ungiftiges Gas und stellt einen Grundbestandteil unserer Luft dar. Kohlendioxid und Wasserdampf sind die natürlichen Endprodukte jeder vollständigen Verbrennung von Energieträgern. Etwa ein Zehntel der Autoabgase besteht aus Kohlendioxid. Obwohl Kohlendioxid ungiftig ist, macht es dennoch Probleme: Seine zunehmende Konzentration in der Atmosphäre lässt Experten eine längerfristige Klimaveränderung durch den so genannten Treibhauseffekt befürchten. Dennoch muss festgehalten werden, dass ohne den von der Natur selbst durch das CO₂ verursachten Treibhauseffekt menschliches Leben auf der Erde, wie wir es kennen, unmöglich wäre.

KOHLENMONOXID (CO):

Kohlenmonoxid ist in höheren Konzentrationen ein hochgiftiges, farb- und geruchloses Gas, das bei unvollständiger Verbrennung aufgrund von Luftmangel entsteht. Schon 0,3% CO in der Atemluft können in einer halben Stunde zum Erstickungstod führen. Als Autoabgas kann es bei den heute vorkommenden niedrigen Konzentrationen wegen der modernen Katalysator-technologie nur in geschlossenen Räumen gesundheitsschädigend wirken.

STICKSTOFFOXIDE (NO_x):

„Stickstoffoxide“ ist ein Sammelbegriff für Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen. Sie entstehen bei Verbrennungsprozessen mit hohen Temperaturen in Kraftfahrzeugen, in Kraftwerken und in der Industrie sowie bei Gewittern und durch Mikroorganismen. NO_x sind mitverantwortlich für die Ozonbildung und den Sommer-Smog. Direkt für den Menschen schädlich ist das Stickstoffdioxid, NO₂.

KOHLENWASSERSTOFFE (HC):

Kohlenwasserstoffe entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von Energieträgern wie Kohle, Erdöl und Holz, in Heizungen und von Kraftstoffen in Verbrennungsmotoren sowie durch Verdampfung von Lösungs- und Reinigungsmitteln und Benzin. Die Kohlenwasserstoffe sind ein zum Teil übel riechendes Gemisch von verschiedenartigen organischen Verbindungen mit unterschiedlicher Giftigkeit.

Chemische Reaktionen von HC mit Stickstoffoxiden (NO_x) unter dem Einfluss von Sonnenlicht bilden als Folge photochemischer Prozesse Ozon und Peroxide (Fotooxidantien), die beide für den Sommer-Smog und den sauren Regen mitverantwortlich sind. Manche der Kohlenwasserstoffe und Fotooxidantien reizen Augen-, Nasen- und Rachenschleimhäute. Weiters gehören zu diesen chemischen Verbindungen auch die Schadstoffe Benzol und Toluol.

BENZOL (C_6H_6):

Benzol ist ein Bestandteil von Rohöl, eine farblose, charakteristisch riechende Flüssigkeit, und entsteht bei unvollständiger Verbrennung von Biomasse [2]. Verwendung findet es als Lösungs- und Extraktionsmittel sowie bei der Herstellung zahlreicher Verbindungen, die Ausgangsprodukte für Kunststoffe, Arzneimittel, Farbstoffe usw. sind, und ist außerdem im Zigarettenrauch zu finden. In epidemiologischen Studien konnte die Entstehung von Leukämien auf die berufliche Benzolexposition zurückgeführt werden.

PARTIKEL (STAUB UND RUSS):

Als Partikel bezeichnet man feste Teilchen in der Luft, die sich als Feinstaub in den Lungenbläschen ablagern und schädliche Auswirkungen haben können. Sie stammen unter anderem aus Verbrennungsprozessen in Kraftwerken, Kraftfahrzeugmotoren, der Industrie und des Hausbrandes. Als Kurzbezeichnung wird international die englische Abkürzung für „Particulate Matters“ – PM – verwendet. Je nach Größe der Teilchen werden sie in Gruppen zusammengefasst: Fein-Partikel PM_{10} (Größe $10\ \mu\text{m}$ und kleiner), Feinst-Partikel $\text{PM}_{2,5}$ (Größe $2,5\ \mu\text{m}$ und kleiner), Ultra-Fein-Partikel $\text{PM}_{0,1}$ (Größe bis $0,1\ \mu\text{m}$ und kleiner) sowie Nano-Partikel (Größe $50\ \text{nm}$ und kleiner).

SCHWEFELDIOXID (SO_2):

Schwefeldioxid ist ein farbloses, stechend riechendes Gas, das bei der Verbrennung von schwefelhaltigen Produkten wie zum Beispiel Kohle, Schweröl, Heizöl und Dieseltreibstoff entsteht. Darüber hinaus ist Schwefeldioxid auch ein Nebenprodukt von chemischen Reaktionen. Bei der Verbrennung von Benzin entsteht kaum SO_2 . Schwefeldioxid ist ein starkes Pflanzengift und war maßgeblich an der Entstehung des so genannten sauren Regens und des Winter-Smogs beteiligt.

OZON (O_3):

Das in bodennahen Schichten und somit in unserer unmittelbaren Atemluftzone auftretende Ozon entsteht nicht direkt bei Verbrennungsvorgängen. Es bildet sich unter Einwirkung von Sonnenlicht aus Kohlenwasserstoffen, Stickstoffoxiden und anderen Spurengasen. Bemerkenswert ist, dass im Gegensatz zu bodennahen Schichten in der höheren Atmosphäre ein Ozonmangel droht (Stichwort „Ozonloch über der Antarktis“). Die hauchdünne Schicht Ozon in 15 bis 50 km Höhe ist für uns lebenswichtig. Sie schützt uns vor den schädlichen Anteilen der UV-Strahlung. Ozon in der Atemluft hingegen ist ein „Reizgas“.

BLEI:

Bleiverbindungen wurden früher Benzin als Antiklopffmittel zum Verbessern der Oktanzahl zugesetzt. Diese würden jedoch die in Katalysatoren eingesetzten Edelmetalle und die Lambdasonde angreifen, weshalb nunmehr für den Betrieb in Fahrzeugen mit Katalysator nur bleifreies Benzin verwendet wird. Seit dem Jahr 2000 ist in Europa verbleites Benzin nicht mehr zulässig – der Grenzwert liegt bei $5\ \text{mg/l}$. Um die Klopfestigkeit des Kraftstoffes dennoch zu gewährleisten, kommen metallfreie Zusätze wie Ether und Alkoholgemische zum Einsatz.

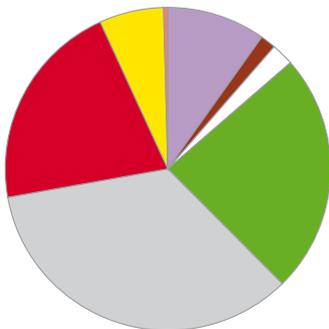
III. DIE MEISTDISKUTIERTEN LUFTGÜTEPROBLEME

1. TREIBHAUSEFFEKT

DIE GLOBALE PROBLEMATIK:

Grundsätzlich ist der Treibhauseffekt keine „Horrorvision“, sondern eigentlich ein Phänomen, das Leben auf unserem Planeten erst möglich macht. Der Anteil von CO₂ und der anderen für den Treibhauseffekt verantwortlichen Gase in der Atmosphäre beträgt weit unter 1%. Im Gegensatz zu Stickstoff und Sauerstoff, die mehr als 99% der Lufthülle dieses Planeten ausmachen, absorbieren sie gemeinsam mit Wasserdampf die Wärmestrahlung der Erde. Diese entweicht dadurch nicht in den Weltraum, sondern wird zur Erdoberfläche zurückgeschickt: Damit wird Wärme, die sonst in den Weltraum entweichen würde, in der Atmosphäre ähnlich wie in einem Glashaus gespeichert. Vereinfacht dargestellt bedeutet dies, dass einfallende UV-Strahlung die Schicht ungehindert durchdringen kann, während die von der Oberfläche reflektierte, langwellige IR-Strahlung (Wärmestrahlung) in der Erdatmosphäre zurückgehalten wird.

Globale anthropogene Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen
2010: 49 Milliarden Tonnen



	%
— Straßenverkehr	9,8
— Schiffsverkehr	1,5
□ Flugverkehr	2,2
■ Land- und Forstwirtschaft	24,0
■ Kraft- und Heizwerke	34,6
■ Industrie	21,0
■ Kleinverbraucher	6,4
■ Sonstige	0,4
Summe	100

Sicher kann man darüber diskutieren, ob die bisherigen Erkenntnisse der Wissenschaft über den Treibhauseffekt ausreichend sind. Niemand wird leugnen können, dass der Mensch durch seine industrielle Tätigkeit eine möglicherweise schon seit Jahrtausenden laufende Entwicklung, nämlich die langsame Erwärmung der Erdatmosphäre, in den letzten 200 Jahren beeinflusst hat. Nur ein Detail dazu: Seit der vorindustriellen Zeit hat sich der Anteil von Kohlendioxid in der globalen Atmosphäre um über 25% erhöht. Wie die globale CO₂-Bilanz für das Jahr 2010 ausweist, beträgt der weltweite Anteil des gesamten Straßenverkehrs an den vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen zirka 10%. Davon entfällt die Hälfte auf den PKW.

In Industrieländern stellt sich dieses Verhältnis naturgemäß etwas anders dar. Da nur die wenigsten Länder der Erde über ein ähnlich hohes Maß an elektrischer Energie aus Wasserkraft verfügen wie Österreich, beträgt der Anteil des Straßenverkehrs, je nach Energiegewinnung für Strom- und Heizzwecke, in diesen Ländern 15 bis 30%.

In Österreich trägt der PKW-Verkehr derzeit zu einem guten Zehntel der CO₂-Emissionen bei. Im europäischen Ausland mit einem höheren Anteil an fossilen Energieträgern in der Stromerzeugung liegt dieser Prozentsatz sogar noch darunter. Weiters: Autoabgase bestehen zu einem Zehntel aus Kohlendioxid. Maßnahmen, diesen CO₂-Anteil zu verringern, sind daher sinnvoll, können jedoch nur einen kleinen Beitrag zur Reduzierung des gesamten CO₂-Ausstoßes leisten. Das große Problem dabei: außer der Reduktion der Fahrleistung gibt es nur eine Möglichkeit, den CO₂-Ausstoß beim Kraftfahrzeug zu vermindern, nämlich den Verbrauch und den Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs zu reduzieren.

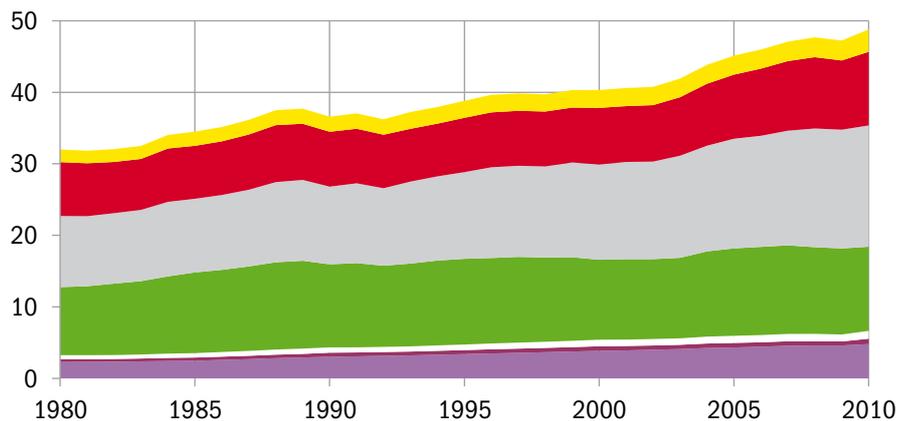
Auch andere, alternative Antriebsmodelle stoßen hier auf Probleme, denn jede Art von Verbrennung erzeugt CO₂. Elektrofahrzeuge, die etwa mit Strom aus kalorischen Kraftwerken betrieben würden, könnten daher gegen den Treibhauseffekt nur wenig ausrichten. Eine umweltfreundliche Alternative liegt nur dann vor, wenn der Strom aus Sonnenenergie, Wind- oder Wasserkraft und damit regenerativ erzeugt wird. Diese Mengen sind jedoch begrenzt.

ZEITREND DER GLOBALEN EMISSIONEN :

Neu eingefügt wurde in diese Auflage eine Zeitreihe der globalen anthropogenen CO₂-Äquivalent-Emissionen. Den Berechnungen liegen neueste Daten des IPCC [11] und der IEA zugrunde. Eine Zunahme der Emissionen ist in allen Sektoren zu verzeichnen. Besonders stark fiel der Anstieg von 1980 bis 2010 bei Kraft- und Heizwerken aus. Dieser beträgt sieben Milliarden Tonnen. Weitere große Emittenten sind die Land- und Forstwirtschaft sowie die Industrie.

Beim Straßenverkehr, der weltweit einen Anteil von 10 % an den klimawirksamen Emissionen hat, ist eine Zunahme um zwei Milliarden Tonnen zu verzeichnen. In den Krisenjahren 2008 und 2009 waren leichte Einbrüche zu verzeichnen, die ab 2010 jedoch bereits wieder kompensiert waren.

CO₂-ÄQUIVALENT-GESAMTEMISSIONEN GLOBAL
(in Milliarden Tonnen = 10⁹t)



	1980		1990		2000		2010	
	10 ⁹ t	%						
■ Sonstige	0,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4
■ Kleinverbraucher	1,8	5,5	2,1	5,7	2,5	6,2	3,1	6,4
■ Industrie	7,5	23,5	7,7	20,9	7,9	19,6	10,3	21,0
■ Kraft- und Heizwerke	9,9	31,0	10,9	29,6	13,3	32,9	17,0	34,6
■ Land- und Forstwirtschaft	9,5	29,6	11,6	31,6	11,2	27,6	11,8	24,0
□ Flugverkehr	0,6	1,7	0,7	2,0	0,9	2,3	1,1	2,2
■ Schiffsverkehr	0,4	1,3	0,6	1,5	0,6	1,6	0,8	1,5
■ Straße und Off-road	2,3	7,1	3,0	8,3	3,9	9,5	4,8	9,8
Summe gesamt	32,1	100	36,7	100	40,5	100	49,0	100

KLIMAWIRKSAME SPURENGASE:

Kohlendioxid ist zwar das wichtigste, aber nur eines der klimawirksamen Spurengase in der Atmosphäre. Es darf deshalb nicht alleine der CO₂-Ausstoß als Maß für die Klimarelevanz herangezogen werden. Die Betrachtung muss sämtliche klimawirksamen Spurengase beinhalten. Diese werden durch eine Vielzahl von menschlichen Tätigkeiten der Atmosphäre zugeführt.

Sie umfassen alle weiteren Verbrennungsvorgänge und die Freisetzung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), die aus Spraydosen oder von Kühlmitteln stammen. Ebenso bildet Methan aus Reisanbau, Großviehhaltung, Erdgasförderung und von Mülldeponien eine wichtige Quelle für klimawirksame Gase. Der weltweite Ausstoß an klimawirksamen direkten und indirekten Spurenstoffen kann für das Bezugsjahr 2010 wie folgt angegeben werden [IPCC]:

Spurenstoff	Milliarden Tonnen pro Jahr
Kohlendioxid (CO ₂)	37,0
Methan (CH ₄)	7,8
Lachgas (N ₂ O)	3,2
Fluorhaltige Gase	1,0

Diese Stoffe weisen ein sehr unterschiedliches Treibhauspotential auf. Darunter versteht man das Ausmaß, zu dem verschiedene Treibhausgase bei einer Erhöhung ihrer Konzentration zusätzliche Strahlungsenergie absorbieren können, was von ihren Absorptions-, Emissions- und Streuungseigenschaften abhängt.

Während sich das Treibhauspotential somit ausschließlich auf den Faktor Strahlung beschränkt, wurde für den Vergleich unterschiedlicher Einflussfaktoren das Konzept des „Radiative Forcing“ entwickelt. Dieses bezeichnet die Änderung des globalen Mittels der Strahlungsbilanz an der Stratopause und ist somit ein Maß für die Störung des Gleichgewichts zwischen einstrahlender Solarenergie und an den Weltraum abgegebener langwelliger Strahlung. Das Konzept des „Global Warming Potential“ (GWP) baut auf jenem des Radiative Forcing auf und umfasst die Summe aller „Radiative Forcing-Beiträge“ eines Gases bis zu einem gewählten Zeithorizont, die durch die einmalige Freisetzung einer Maßeinheit am Beginn des Zeitraumes verursacht werden. Somit ist es möglich, die Klimawirksamkeit von Treibhausgasen für unterschiedliche Zeithorizonte in die Zukunft zu extrapolieren. Meist wird das Global Warming Potential bezogen auf 100 Jahre angegeben [ACCC].

Spurenstoff	Global Warming Potential GWP pro 100 Jahre
Kohlendioxid (CO ₂)	1
Methan (CH ₄)	21
Lachgas (N ₂ O)	310
Schwefelhexafluorid (SF ₆)	23900
HFKW (Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe)	2530
FKW (Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe)	7600

KYOTO – WUNSCH UND WIRKLICHKEIT:

Das Kyoto-Protokoll von 1997 sah bis 2012 eine Reduktion der wichtigsten Treibhausgase unter das Niveau von 1990 vor. Die gewünschten Absenkungen wurden unterschiedlich über die wichtigsten Industriestaaten verteilt. Je nachdem, ob die Staaten bereits sehr bewusst mit CO₂-Emissionen umgegangen sind, konnte auch eine Erhöhung zulässig sein.

Berücksichtigt man die in dieser Studie vorliegenden Analysen, so erschien das Erreichen der Ziele für Österreich doch sehr unwahrscheinlich. Der weltweite Gesamtausstoß stieg beispielsweise von 37 Gigatonnen CO₂-Äquivalent im Jahr 1990 auf nahezu 50 Gigatonnen im Jahr 2010.

Österreich hat sich mit 13 % (Basisjahr 1990) Reduktion des Ausstoßes von klimawirksamen Gasen ein mehr als ambitioniertes Ziel gesetzt. Dieses wurde, wie wir heute wissen, bei weitem nicht erreicht. Statt einer Reduktion war vielmehr ein Anstieg der relevanten Treibhausgase zu verzeichnen. Die Gründe hierfür liegen in den stark gestiegenen Energieverbräuchen bei Verkehr, Strom und Wärme, mit bedingt durch die Bevölkerungszunahme von sieben auf über acht Millionen und die Steigerung des Bruttoinlandsprodukts um 50 % seit 1990. Hinzu kommen Veränderungen in den Verkehrsdichten, den Neufahrzeugmotorisierungen und ein gesteigener Transitverkehr, der bewirkte, dass eine große Menge im Ausland gefahrener Kilometer mit günstigem österreichischem Sprit gefahren wird und somit in die österreichische Kyoto-Bilanz einging. Auf den gesamten CO₂-Ausstoß Europas hat dieser Effekt natürlich keinen Einfluss.

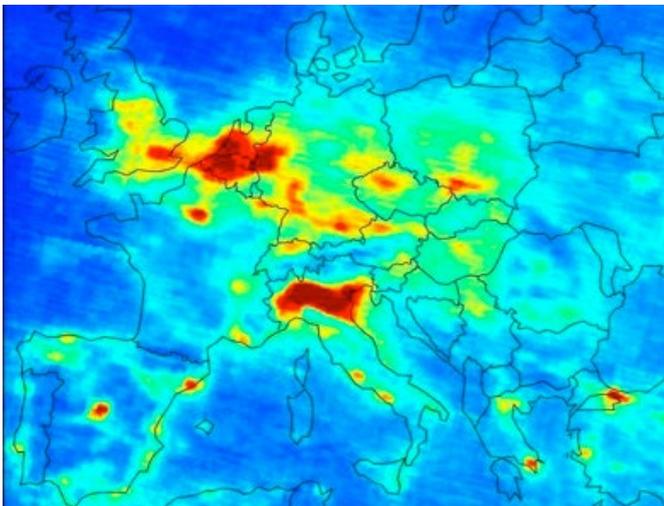
Optionen des Kyoto-Protokolls, die einen Handel mit Emissionen erlauben, wurden vor dem Jahr 2012 verstärkt genutzt. Staaten, die mit den in den nationalen Allokationsplänen zugewiesenen CO₂-Guthaben nicht auskommen oder diese nicht ganz verbrauchen, konnten CO₂-Kontingente auf dem Markt handeln. Dabei wurde nicht nur ganzen Staaten, sondern auch den einzelnen Unternehmen eine gewisse Menge an Tonnen CO₂ oder für andere Gase CO₂-Äquivalent zuerkannt. In zwei Phasen (2005-2007 und 2009-2012) konnten diese auf den Energiebörsen gehandelt werden. Auch Österreich machte von dieser Möglichkeit Gebrauch.

Seit 2005 wird außerdem eine gewisse Menge des Benzin- und Diesel-Treibstoffes durch Biokraftstoffe ersetzt. Bis heute ist dieser Anteil auf über 5 % gestiegen. Die Nutzung von Biokraftstoffen gilt als CO₂-neutral, weshalb diese Emissionen nicht in die Bilanz eingehen und so zur Reduktion der CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor auch weiterhin verstärkt beitragen werden.

2. SMOG

Smog ist ein englisches Kunstwort aus „Smoke“ (= Rauch) und „Fog“ (= Nebel) und gilt heute als Synonym für eine erhöhte Konzentration von Luftschadstoffen. Voraussetzung für die Smogbildung sind „austauscharme Wetterlagen“ (Inversionswetter). Diese entstehen vor allem im Winterhalbjahr, wenn in weniger als 700 Meter Höhe über dem Boden die Temperatur der Luft mit der Höhe zunimmt (Temperaturumkehr), sich also wärmere Luftschichten auf kältere Luftschichten aufschieben. Wenn es zudem gleichzeitig fast windstill ist, wird sowohl ein vertikaler als auch ein horizontaler Luftaustausch unmöglich. Dieser so genannte „Londoner Smog“ hat nach vorliegenden Schätzungen in den 50er-Jahren in London wegen des unkontrollierten Hausbrandes mit Holz und Kohle mehrere tausend Todesopfer gefordert. Zur heutigen Situation geben die Satellitenmessungen der ESA im Rahmen des Europäischen Envisat's SciAmachy Programms einen ausgezeichneten Überblick. Die nachfolgende Grafik zeigt die NO₂ Belastungen in Europa. Die „Hot Spots“ bilden der Raum London, Benelux und Ruhrgebiet sowie die norditalienischen Industriegebiete. Österreich ist mit Ausnahme der oberösterreichischen Industriegebiete verhältnismäßig gering belastet.

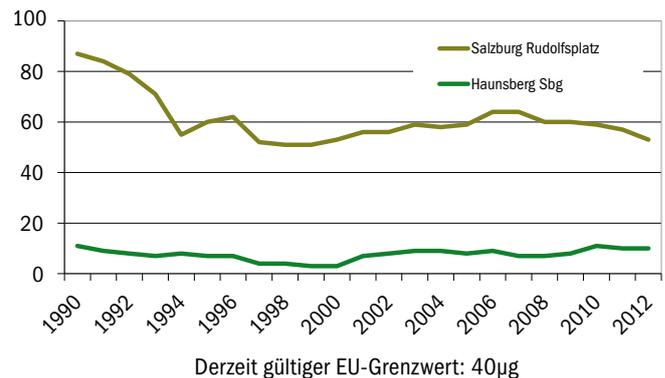
EUROPÄISCHE STICKSTOFFDIOXID (NO₂)-BELASTUNGEN
(Envisat's SciAmachy Satellitenmessungen [17])



Besonders vom lokalen Smog bedroht sind in Österreich jedoch das Grazer Becken, der Linzer Raum und das Tiroler Inntal. Daher gibt es insbesondere für diese Bereiche und auch für Wien Smogalarmpläne. Erfreulicherweise hat in den 90er-Jahren eine deutliche Verbesserung der Luftqualität stattgefunden. Die Konzentrationen der direkt emittierten Stoffe wie Schwefeldioxid und Stickstoffoxide sanken.

In den nachfolgenden Immissionsgrafiken sind jeweils Werte für einen Ballungsraum und ein Reinluftgebiet eingetragen. Dass die prognostizierten Abnahmen der NO_x-Emissionen auch an straßen-nahen Immissionsmessstellen nachvollzogen werden können, zeigt die folgende Grafik über NO₂-Konzentrationen an den Messstellen Salzburg Rudolfsplatz und Haunsberg [3]. Ab 2000 war jedoch wieder eine Zunahme der Luftbelastung zu verzeichnen. Seit Mitte der vergangenen Dekade nehmen die Werte durch den sinkenden NO_x-Ausstoß wieder ab.

STICKSTOFFDIOXID (NO₂) IN SALZBURG RUDOLFSPLATZ
UND HAUNSBERG, SALZBURG
(Jahresmittelwerte in µg/m³ Luft)

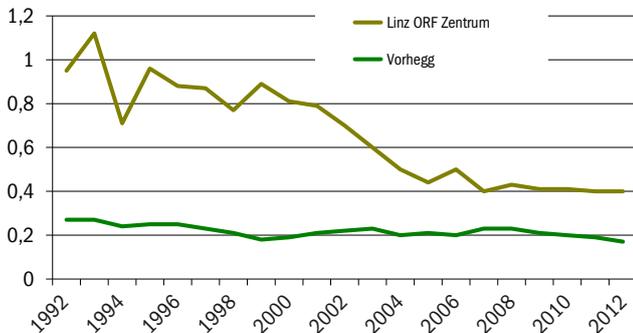


Die Gründe für den Anstieg der NO₂-Konzentrationen ab dem Ende der 90er-Jahre sind unterschiedlich: Einerseits steigt das Verkehrsaufkommen stetig an; zusätzlich fördert der Trend zu Dieselfahrzeugen im Individualverkehr den Stickstoffoxidausstoß, denn Dieselfahrzeuge besitzen derzeit noch keine Abgasnachbehandlung wie den Drei-Wege-Katalysator und emittieren unter realen Bedingungen mehr Stickstoffoxide wie vergleichbare Benzinmotoren.

Aus Sicht der Immissionsbelastung und damit der Luftqualität ist vor allem die Konzentration von NO₂ maßgeblich. Der Ausstoß von NO und NO₂ ist dabei von Fahrzeugtyp, Antriebskonzept und Abgasnachbehandlung stark unterschiedlich. Bei manchen Konzepten wie Dieselmotoren mit Oxidationskatalysator hat darüber hinaus der relative NO₂-Anteil zugenommen. Ebenso muss bei bestimmten Bauarten von Dieselpartikelfiltern mit einer Zunahme des NO₂-Anteils gerechnet werden.

Eine sehr erfreuliche Entwicklung zeigen hingegen die Kohlenmonoxid-Konzentrationen, die seit über zwanzig Jahren rückläufig sind. Bei dieser Komponente wirken sich die bereits in den 80er-Jahren eingeführten rigorosen Schadstofflimits für Benzin betriebene PKW und die Umstellung der Fahrzeugflotte hin zu Dieselantrieb sehr positiv aus. Generell beträgt der Anteil des Straßenverkehrs am CO-Ausstoß nunmehr etwa 10 %.

KOHLENMONOXID (CO)
LINZ UND VORHEGG, KÄRNTEN
(Jahresmittelwerte in mg/m³ Luft)

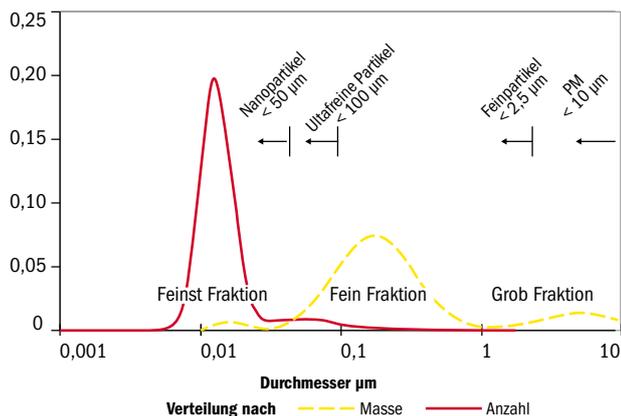


3. PARTIKELBELASTUNG

Die Partikelbelastungen werden hauptsächlich dem Verkehr und da vor allem den Dieselfahrzeugen angelastet. Doch der Gesamtstaub in unserer Luft setzt sich aus vielen verschiedenen festen und flüssigen Bestandteilen zusammen, die ebenso unterschiedliche Ursprünge haben.

Für die Auswirkungen auf die Umwelt und damit den Menschen werden die Partikel in verschiedene Größenklassen eingeteilt, wie die nachfolgende Grafik [4] zeigt.

VERTEILUNG DER PARTIKEL IM DIESELABGAS NACH ANZAHL UND MASSE
(Normalisierte Konzentration)



Die Zusammensetzung der verschiedenen Größenfraktionen lässt sich wie folgt erklären [4]:

Grob-Fraktion: Besteht aus wieder aufgewirbelten Partikeln und Kurbelgehäuseemissionen.

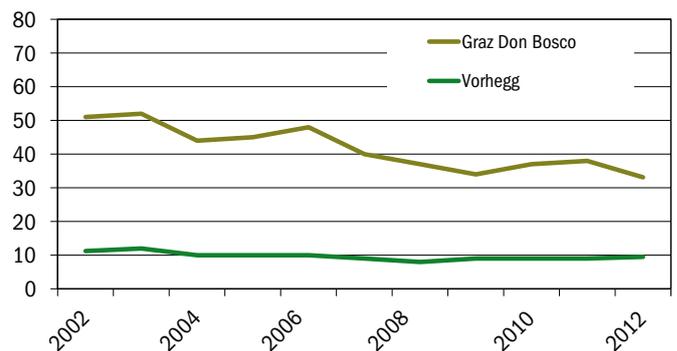
Fein-Fraktion: Besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffen, die den Verbrennungsprozess überlebt haben.

Feinst-Fraktion: Besteht aus Partikeln aus flüchtigen Vorläufer-substanzen, die bei der Durchmischung des Abgases mit Umgebungsluft entstehen.

Weiters werden die Partikel nach ihrer Entstehung unterschieden: diejenigen, die direkt an die Atmosphäre emittiert werden, bezeichnet man als primäre Partikel. Dagegen bilden sich sekundäre Partikel erst in chemischen Prozessen in der Luft aus gasförmig emittierten Vorläufer-substanzen. Die Gesamtbelastung der Luft ist also nicht nur von den direkt emittierten Partikeln abhängig, sondern steht auch im Zusammenhang mit den Emissionen nicht fester Stoffe. In einem urbanen Ballungsraum [5] [6] ist mehr als ein Drittel der Partikelbelastung auf externe Einflüsse zurückzuführen, die sich der Kontrolle lokaler Minderungsstrategien entziehen. Der Großteil des importierten Anteils besteht aus Sekundärstaub, der neben Verkehr und Industrie auch auf die Beiträge aus der Landwirtschaft, wie Ammoniakemissionen, zurückgeht.

Die Angabe von Zeitreihen ist nunmehr möglich, da diese seit 2002 als flächendeckende Messergebnisse vorliegen. Es werden wiederum städtische und ländliche Messstationen verglichen.

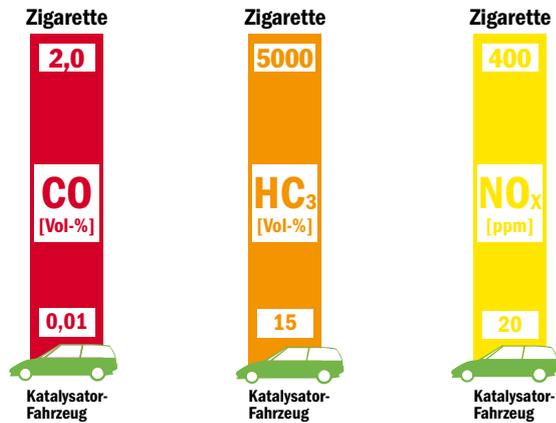
FEINSTAUB (PM10)
GRAZ DON BOSCO UND VORHEGG, KÄRNTEN
(Jahresmittelwerte in µg/m³ Luft)



Das Kriterium für die Luftqualität ist die Anzahl der Überschreitungen pro Jahr der Tagesmittelwerte von 50 µg/m³ Luft. Insbesondere in Kessellagen mit wenig Luftaustausch und bei trockener Witterung im Winter kommt es zu hohen Feinstaubbelastungen.

Zur Relativierung der in der Umwelt auftretenden Schadstoffkonzentrationen sei ein Vergleich der Spurenstoffkonzentrationen im Zigarettenrauch zu den Schadstoffkonzentrationen im Motorabgas angeführt. Wer eine durchschnittlich starke Zigarette raucht, inhaliert mehr als zehnfach soviel Kohlenmonoxid und hundertmal soviel Kohlenwasserstoffe wie im Auspuff eines Katalysator-Autos gemessen werden.

SCHADSTOFFKONZENTRATION IM ZIGARETTENRAUCH UND IM ABGAS EINES KATALYSATOR-FAHRZEUGES



4. OZON (O₃)

Ozon in Bodennähe entsteht wegen des Luftaustausches zwischen der Stratosphäre und der Troposphäre bei chemischen Prozessen, die unter Sonnenlicht zwischen Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Kohlenmonoxid in Bodennähe ablaufen.

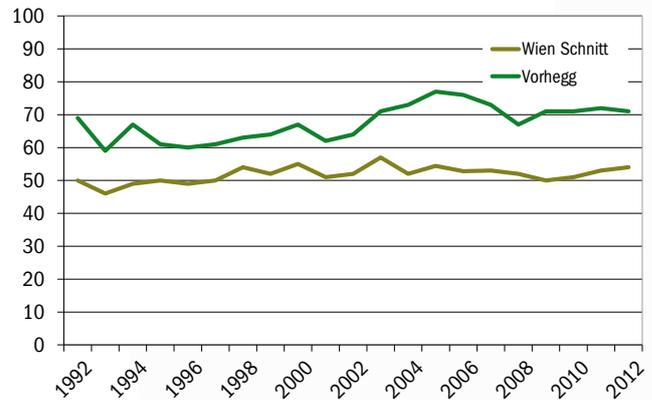
Zusätzlich zu den natürlichen Emissionen sind Ozon-Vorläufer-substanzen (NO_x und HC) aus Verkehr, Industrie und Hausbrand sowie Gase aus der Abfallzersetzung und anderen natürlichen Fäulnisprozessen die Ursachen für die Ozonentstehung. Zwischen diesen Schadstoffen besteht eine komplexe Wechselwirkung, die vor allem durch das Wetter, das Klima und den Ferntransport beeinflusst wird. So werden beispielsweise während so genannter „Ozon-Episoden“, die mehrere Tage dauern, europaweit von West nach Ost fortziehende erhöhte Ozonkonzentrationen gemessen.

Im Vergleich der weltweiten Ballungszentren [7] liegt Wien erfreulicherweise unter den Städten mit den geringeren Ozon-Jahresmittelwerten. Ähnlich verhält es sich bei den beobachteten Maximalwerten.

In Los Angeles, Kalifornien, liegen die Ozonwerte zeitweise beim ca. zweifachen Wert.

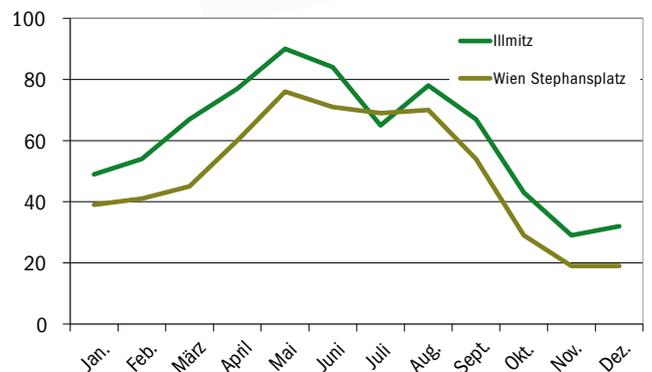
Die nachfolgende Grafik zeigt, dass in Österreich seit 1990 [8] relativ gleich bleibend bodennahe Ozonkonzentrationen auftreten. Im besonders heißen Sommer des Jahres 2003 wurden tendenziell höhere Werte gemessen. Wobei die höheren Werte in ländlichen Gebieten auftreten, wie z.B. in Vorhegg (Kärnten).

OZON (O₃) IN WIEN UND VORHEGG, KÄRNTEN (Jahresmittelwerte in µg/m³ Luft)



Ein typischer „Jahresgang“ der Ozon-Spitzenwerte ist im folgenden Diagramm aufgetragen. Erhöhte Werte treten also aufgrund der hohen UV-Strahlung und Temperatur im Juli und August auf.

OZON (O₃) WIEN STEPHANSPLATZ UND ILLMITZ, BURGENLAND 2012 (Monatsmittelwerte in µg/m³ Luft)



Die höheren Konzentrationen zeigen sich dabei am frühen Nachmittag und werden nicht direkt in den Ballungsgebieten, sondern in ländlichen Gegenden gemessen. In Illmitz im Burgenland werden daher höhere Werte gemessen als im Stadtzentrum von Wien.

Die Ozonbelastung ist somit ein überregionales und kein lokales Problem. Dies wurde auch durch die Festlegung der so genannten Ozon-Vorwarngebiete berücksichtigt: Niederösterreich, Wien und nördliches Burgenland wurden zum Gebiet 1 zusammengefasst.

Zum Schutz der Bevölkerung vor zu hoher Ozonbelastung hat die Kommission für Reinhaltung der Luft der österreichischen Akademie der Wissenschaften Warnwerte vorgeschlagen, die anschließend in nationale Richtlinien übergangen. Als Informationsschwelle für Österreich gilt: 180 Mikrogramm Ozon pro m³ Luft (µg/m³) als ein-stündiger Mittelwert. Als Alarmschwelle gilt: 240 Mikrogramm Ozon pro m³ Luft (µg/m³). Als Zielwert für Gesundheitsschutz gilt: 120 Mikrogramm Ozon pro m³ Luft (µg/m³) als höchster Achtstundenmittelwert des Tages, der maximal an 25 Tagen pro Jahr überschritten werden darf.

Nach dem derzeitigen Wissensstand kann die Ozonbildung nur durch eine langfristige Verminderung der Vorläufersubstanzen, das heißt der Kohlenwasserstoffe und Stickoxide, verringert werden. Mit lokalen, zeitlich begrenzten Maßnahmen lassen sich die Ozonwerte kaum beeinflussen.

Die Reduktion der Kohlenwasserstoffe aus Hausbrand, Gewerbebetrieben und Lösungsmitteln ist ebenfalls dringend erforderlich, da auf diesem Gebiet der Verkehr nur mehr zu einem geringen Prozentsatz an den Gesamt-HC-Emissionen beteiligt ist.

Aufwändige Großversuche, beispielsweise in Baden-Württemberg [9], bei denen drastische Verkehrsbeschränkungen – Fahrverbot für Altfahrzeuge, Tempo 60 auf Autobahnen – sowie Drosselung der industriellen Produktion angeordnet wurden, führten praktisch zu keiner Beeinflussung der Ozonkonzentrationen vor Ort.

Der Ferntransport von Luftmassen mit einer hohen Grundbelastung sowie importierte Vorläufersubstanzen verzerren die lokalen Daten. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Der Grundpegel ist lokal nicht beeinflussbar! Das bedeutet, dass in einem Gebiet in der Größe eines europäischen Landes ein vergleichbarer Grundpegel herrscht.
- ▶ Lokal sind Ozon-Spitzenwerte im Ausmaß von maximal 10 bis 20 Mikrogramm beeinflussbar, wenn die Vorläufersubstanzen – insbesondere HC-Emissionen – um mindestens 50 % abgesenkt werden (z.B. Fahrverbote für Altfahrzeuge)! Diese Werte liegen allerdings im Bereich der Messunsicherheit.

Auch die Ergebnisse des Ozon-Sanierungsplanes für das Ozonüberwachungsgebiet Wien, Niederösterreich und nördliches Burgenland kamen zu einem ähnlichen Schluss. Effekte lokaler Maßnahmen auf die Ozonkonzentrationen sind praktisch kaum nachweisbar. Ziel-führend sind hingegen dauerhaft wirkende Maßnahmen, die unbedingt international durchgeführt werden müssen. Dies wird im Rahmen des National Emission Ceilings (NEC) in den einzelnen Staaten derzeit durchgeführt.

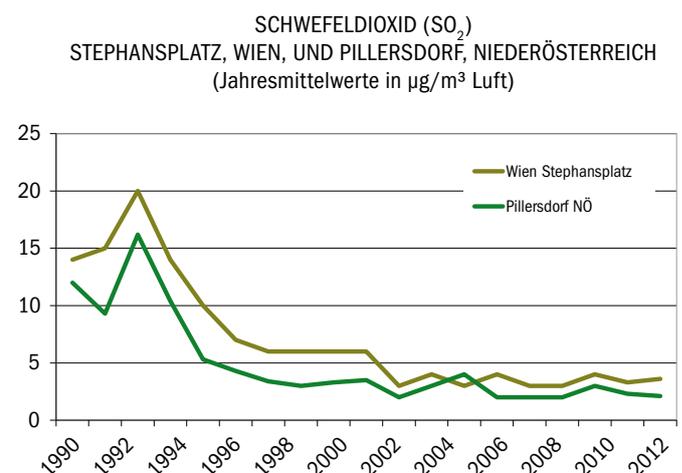
5. SAURER REGEN

Wie der so genannte saure Regen entsteht, ist leicht erklärt. Durch die Verbrennung von fossilen schwefelhaltigen Energieträgern wie etwa Kohle, Erdöl und Erdgas werden Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Schwefeldioxid und Stickoxide umgewandelt. In der Atmosphäre verbinden sie sich mit Wasser – und das Resultat ist der saure Regen.

Zusammen mit anderen Faktoren – vor allem Trockenheit, Schälschäden durch Wildbestände und Krankheiten – und in gegenseitiger Wechselwirkung mit diesen macht der saure Regen vor allem den Wäldern zu schaffen.

Von den Menschen verursacht wird der saure Regen durch die großen SO₂-Emittenten: Industrie, Kraftwerke und Hausbrand sowie durch die NO_x-Emittenten Verkehr und Industrie.

Dass bereits Hervorragendes geleistet wurde, zeigt die Grafik für die gemessenen Immissionskonzentrationen des Spurenstoffes SO₂. Die Werte markieren einen deutlich sinkenden Trend.



Autor: Prof. Dr. Hugo Rüdiger

IV. DIE GESUNDHEITLICHEN AUSWIRKUNGEN: RUSS, OZON UND NO₂

1. RUSSPARTIKEL

HERKUNFT UND EITEILUNG VON RUSSPARTIKELN:

Rußpartikel entstehen bei Verbrennungsvorgängen von organischem Material und bestehen aus unverbranntem Kohlenstoff. Der porösen Oberfläche der Rußpartikel haften dabei in der Regel eine Vielzahl von weiteren Verbrennungsprodukten an. Die gesundheitliche Auswirkung von Rußpartikeln wird durch zwei Eigenschaften bestimmt: durch die erwähnte Beladung mit toxischen Verbrennungsprodukten und durch die Partikelgröße, welche die Lungengängigkeit der Partikel bestimmt. Partikel größer als 7 µm (= 0,007 mm) werden als grobe Partikel bezeichnet, sie können nicht in die Lungenbläschen (Alveolen) eindringen, ihre gesundheitsgefährdende Wirkung ist daher als vergleichsweise gering einzuschätzen. Die kleineren alveolengängigen Partikel teilt man nach ihrem Durchmesser in vier Gruppen ein:

1. Nanopartikel mit einem Durchmesser < 50 nm (= 0,00005 mm)
2. Ultrafeinpartikel mit einem Durchmesser zwischen 50 und 100 nm (=0,00005 mm und 0,0001 mm)
3. Feinstpartikel mit einem Durchmesser zwischen 0,1 und 2,5 µm (=0,0001 mm und 0,0025 mm)
4. Feinpartikel mit einem Durchmesser > 2,5 µm (= 0,0025 mm), soweit sie noch alveolengängig sind.

Obwohl eine Partikel-Emission bei Verbrennungsvorgängen in der Regel durch Rauchentwicklung erkennbar ist, ist dieses Kriterium für eine quantitative Abschätzung völlig unbrauchbar, weil Feinstpartikel kaum mehr sichtbar sind und Ultrafeinpartikel überhaupt nur durch aufwändige Messverfahren erfasst werden können. Sichtbarer Rauch, der aus einem Auspuff quillt, ist also weder ein guter Indikator für die Menge an Rußpartikeln noch für deren gesundheitliche Gefährlichkeit.

MÖGLICHE GESUNDHEITSRISIKEN DURCH DIESELRUSS:

Verfügbare Informationen über gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln beziehen sich nahezu ausnahmslos auf Gesamtpartikel in der Luft, nicht spezifisch auf Dieselruß, weil es praktisch nicht möglich ist, die Partikel danach zu klassifizieren, ob sie aus Dieselmotoren stammen oder aus anderen Verbrennungsquellen.

Darüber hinaus ist die messtechnische Ausstattung erst in jüngster Zeit so weit vervollkommen, dass Feinststäube (so genannte PM_{2,5}) routinemäßig mit erfasst werden, während Ultrafeinstäube (Partikeldurchmesser < 0,1 µ) auch heute noch nur sehr selten mitgemessen werden. Die nachfolgend genannten Daten beziehen sich daher überwiegend auf Feinstaub (PM₁₀) mit einem Partikeldurchmesser zwischen 10 und 2,5 µ. Aus tierexperimentellen Untersuchungen kann aber gefolgert werden, dass die beobachteten Effekte auch für Partikel mit kleinerem Durchmesser gelten, einige Untersuchungen sprechen sogar dafür, dass auch innerhalb der alveolengängigen Feinstäube die gesundheitsgefährdende Wirkung mit abnehmendem Partikeldurchmesser größer wird, die Partikel also um so bedeutender werden, je kleiner sie sind. Die in der folgenden Tabelle aufgeführten gesundheitlichen Effekte von Feinstaubbelastungen, wie sie heute in der wissenschaftlichen Literatur als gesichert gelten, beziehen sich keineswegs ausschließlich auf den Dieselruß, sondern betreffen die hiermit verbundene Problematik nur insoweit, als der Dieselruß zur allgemeinen Partikelbelastung beiträgt. Kinder reagieren empfindlicher als Erwachsene.

Feinstaub (PM₁₀) – Welche Risiken sind gesichert?

	% Änderung eines Gesundheitsindikators pro jeweils 10 µg/m ³ Zunahme an PM ₁₀
Gesamt-Mortalität	1,00
Mortalität an kardiovaskulären Erkrankungen	1,40
Mortalität an Lungenerkrankungen	3,40
Verschlimmerung vorbestehender Lungenerkrankungen (Bronchitis, Asthma)	3,00



KREBSERZEUGENDE WIRKUNG VON DIESELRUSS?

Weil tierexperimentelle Untersuchungen an der Ratte Mitte der 80er-Jahre zu einer Erhöhung der Anzahl von Lungentumoren nach massiver chronischer Belastung mit Dieselmotorabgasen geführt hatten, wurden Bedenken laut, ob sich daraus nicht auch ein Krebsrisiko durch Dieselmotorabgase für den Menschen ableiten lässt. Umfangreiche tierexperimentelle Untersuchungen in den letzten zehn Jahren haben indes diese Bedenken weitgehend ausräumen können:

- ▶ Tumore treten bei den Versuchstieren nur nach Belastungen auf, die so massiv sind, dass sie den Reinigungsmechanismus der Lunge überschreiten (Überladungseffekt).
- ▶ Die Tumore treten nur bei der Ratte, nicht jedoch bei anderen untersuchten Tierspezies auf.
- ▶ Der Effekt ist unspezifisch und kann bei der Ratte durch Lungenüberladung mit beliebigem Feinstaub in gleicher Weise hervorgerufen werden.
- ▶ Es gibt einen Schwellenwert-Effekt, der weit oberhalb von Expositionen liegt, wie sie im Umweltbereich auch unter ungünstigsten Bedingungen (Ballungsgebiete, verkehrsreiche Straßen, etc.) vorkommen können.

Untersuchungen an großen Kollektiven von Arbeitnehmern, die am Arbeitsplatz gegenüber Dieselruß exponiert waren, haben zwar eine geringe Überhäufigkeit von Lungenkrebs ergeben, solche Studien können jedoch zur definitiven Klärung eines Zusammenhangs zwischen Dieselrußexposition und Lungenkrebs wenig beitragen, weil die Expositionen in keiner Studie genau gemessen wurden und weil andere bedeutende Einflussgrößen wie Zigarettenrauchen, Ernährungsgewohnheiten, sonstige Expositionen wie Asbest etc. nicht oder nicht durchgehend erfasst wurden. Schätzungen haben ergeben, dass berufliche Expositionen an Dieselruß 10- bis 100-fach höher waren, als gegenwärtig im Umweltbereich möglich ist. Eine relevante Krebsgefährdung der Bevölkerung durch Dieselruß ist anhand der vorliegenden Daten somit nicht zu befürchten.

2. OZONBELASTUNG

ENTSTEHUNG UND EIGENSCHAFTEN VON OZON:

Ozon zählt zu den Spurengasen in der Atmosphäre, darunter versteht man solche Stoffe, die weniger als ein Promille Anteil an der Zusammensetzung der Atmosphäre haben, unter anderem gehören dazu auch Kohlendioxid und Methan. Unter diesen Spurengasen nimmt Ozon eine Sonderstellung ein, weil es nicht emittiert wird, sondern unter dem Einfluss von Sonnenlicht unter katalytischer Beteiligung von Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen aus Luftsauerstoff entsteht.

Ozon hat eine niedrige Geruchsschwelle, es ist bereits ab 20 ppb entsprechend $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wahrnehmbar. Seine biologische Wirkung beruht in erster Linie auf seinem sehr starken Oxidationspotential. Neben seiner negativen Eigenschaft als Reizgas hat Ozon auch positive Wirkungen als sehr effizienter Filter für kurzwellige UV-Strahlen und durch die Bildung von Sauerstoffradikalen als „Waschmittel“ der unteren Atmosphäre. Allgemein kann man sagen, dass in der oberen Atmosphäre die positiven, in der unteren Atmosphäre, im Bereich der unmittelbaren Biosphäre, die negativen Wirkungen des Ozons überwiegen. Kontinuierliche Messungen des bodennahen Ozons in den letzten Jahrzehnten zeigen eine Zunahme bis Anfang der 80er-Jahre in den meisten Industrieländern, dann ein etwa gleich bleibendes Niveau und seit Anfang der 90er-Jahre eine geringfügige Abnahme, die auf verminderten Ausstoß der so genannten Vorläufersubstanzen, vor allem von Feuerungsanlagen und Kraftfahrzeugen, zurückgeführt wird. Die Emissionen in Ballungsgebieten, die einerseits die Ozonbildung fördern, tragen aber am Emissionsort selbst nach Aufhören der Sonneneinstrahlung in den Abendstunden und nachts auch zu einem raschen Ozonabbau bei, so dass die Ozonmittelwerte in Ballungsgebieten in der Regel sogar deutlich niedriger liegen als in so genannten Reinluftgebieten. Es darf weiterhin nicht unberücksichtigt bleiben, dass etwa 90 % der Kohlenwasserstoffe, die zur Ozonbildung beitragen, nicht durch den Menschen verursacht sind, sondern aus Pflanzen stammen (zum großen Teil aus Nadelwäldern). Auch der Methaneintrag in die Atmosphäre durch Verrottungsprozesse und durch Tierhaltung spielt eine nicht vernachlässigbare Rolle.

WIRKUNG VON OZON AUF DIE ATEMWEGE:

Langzeituntersuchungen an Freiwilligen haben gezeigt, dass bei einer Belastung ab 80 ppb ($= 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bei einigen Probanden reversible Veränderungen der Lungenfunktion eintreten, und ab 120 ppb ($= 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Einschränkungen der körperlichen Leistungsfähigkeit. Diese Effekte sind zwar messbar, ihr Ausmaß ist jedoch so gering, dass sie keine gesundheitliche Bedeutung haben. Ähnliches gilt für die ebenfalls gemessene Freisetzung von Entzündungsmediatoren in der Lunge bei den genannten Ozonbelastungen. Von den meisten Wissenschaftlern wird die Auffassung vertreten, dass es sich hier nicht um krankhafte Veränderungen, sondern eher um Anpassungs- und Regulationsvorgänge handelt, vergleichbar dem Anstieg von Puls und Blutdruck bei körperlichen Belastungen. Subjektive Angaben von Beschwerden wie Augenbrennen, Mundtrockenheit, Hauterscheinungen, Kopfschmerzen, Unwohlsein etc. an ozonreichen Sommertagen sind in der Regel nicht auf Ozon, sondern auf andere Belastungen und Begleitumstände an heißen Tagen zurückzuführen. Alle biologischen Wirkungen von Ozon zeigen einen deutlichen Gewöhnungseffekt. Das gilt sowohl für die Geruchswahrnehmung als auch für die beschriebenen Veränderungen der Lungenfunktion, welche in der Regel bei erneuter Belastung am darauf folgenden Tag nicht mehr nachweisbar sind.

PERSONEN MIT BESONDERER EMPFINDLICHKEIT GEGENÜBER OZON:

Entgegen einer weit verbreiteten Meinung haben Menschen mit einer vorbestehenden Lungenerkrankung wie Bronchitis oder Asthma, aber auch starke Raucher, keine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Ozon. Gelegentlich publizierte Ratschläge, dass sich besonders solche Personen bei höheren Ozonkonzentrationen in den frühen Nachmittagsstunden nicht im Freien aufhalten sollten und sich nicht körperlich belasten sollten, entbehren somit der Grundlage. Nachgewiesen ist eine erhöhte Ozonempfindlichkeit für Kinder und Jugendliche sowie bei etwa 6% der Erwachsenen, ohne dass diese Menschen außer ihrer erhöhten Ozonempfindlichkeit sonst irgendwie krank oder auffällig wären.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die bei uns gemessenen Ozonspitzenwerte keine Gesundheitsbedrohung darstellen, auch nicht für den Kreis der besonders empfindlichen Personen. Dies ist anders in einigen Ballungsgebieten der Welt, z.B. in Mexiko City, wo Spitzenwerte von $1000 \mu\text{g Ozon}/\text{m}^3$ gemessen werden und wo auch Tagesmittelwerte von $300\text{--}500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht selten sind. Generell gilt, dass für die gesundheitlichen Auswirkungen nicht allein kurzzeitige Konzentrationsspitzen an Ozon maßgebend sind, sondern das Produkt aus Konzentration und Zeitdauer der erhöhten Ozonwerte.

IST OZON KREBSERZEUGEND?

Eine Erhöhung der Krebshäufigkeit beim Menschen durch Ozon wurde bisher durch keine einzige wissenschaftliche Untersuchung belegt. In Tierversuchen führen erst Ozonbelastungen über $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu einer Erhöhung von Lungentumoren, und auch nur dann, wenn diese Konzentrationen über viele Monate einwirken. Solche Belastungen und über so lange Zeiträume werden in der menschlichen Umwelt in keinem Falle auch nur annähernd erreicht.

3. STICKSTOFFDIOXID NO_2

In der Atmosphäre wird das weitgehend harmlose NO rasch zu dem sehr giftigen NO_2 oxidiert. NO_2 ist stark schleimhautreizend und führt in Verbindung mit Wasser zur Bildung von salpetriger Säure. Kurze hohe Expositionen oberhalb von $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind besonders gefährlich und können auch nach einem Intervall von mehreren Tagen zu einem Lungenödem führen. Bei empfindlichen Personen werden Reizerscheinungen auch noch unterhalb $200 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ beobachtet.

Die Verweildauer von NO_2 an der Luft ist mit 5-7 Tagen relativ lang. Regen verkürzt diese Zeit nicht wesentlich. Unter Einfluss von UV-Strahlung wird NO_2 in NO unter Freisetzung von hoch reaktivem, atomarem Sauerstoff gespalten, welcher sich mit dem Luftsauerstoff O_2 zu O_3 (Ozon) verbindet. Damit ist NO_2 außerdem die wichtigste Quelle für die Entstehung von bodennahem Ozon.

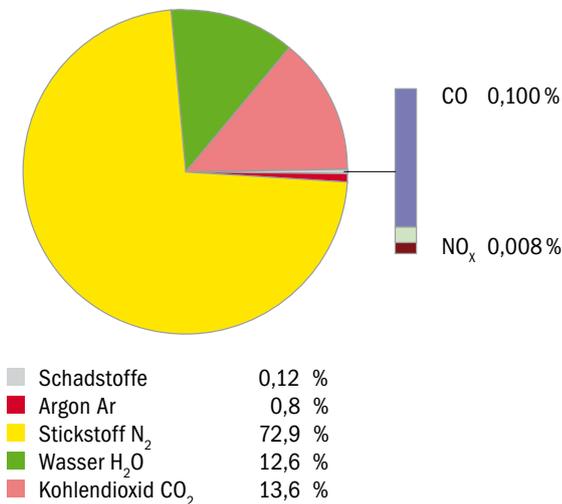


V. WER DIE VERURSACHER SIND: EINE BILANZ

Die in der Studie erstellten Prognosen wurden auf Basis neuester statistischer Zahlen aus dem Verkehr, der Umweltbeobachtung und Energiebilanzen erstellt. Aufgrund der in den Statistiken enthaltenen Unschärfe und den Modellen, die naturgemäß eine vereinfachte Abbildung der Wirklichkeit darstellen, sind die präsentierten Zahlen und Daten mit einer natürlichen Ungenauigkeit belegt. Diese verstehen sich daher nicht als exakte und vollständige Abbildung der Umwelt, sondern sollen Potentiale, Auswirkungen und aktuelle Entwicklungen verdeutlichen.

Zunächst sollte man sich vor Augen halten, dass bei einem modernen Mittelklassewagen mit Benzinmotor weniger als ein Promille der Abgase, die aus dem Auspuff strömen, tatsächlich auch unmittelbar für den Menschen schädliche Stoffe sind. 72,9% sind Stickstoff, 13,6% Kohlendioxid, 12,6% Wasserdampf und 0,8% andere unschädliche Gase.

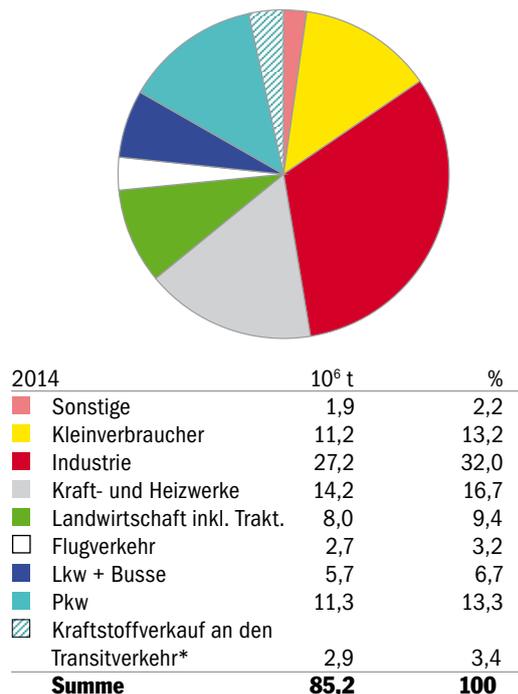
ABGASZUSAMMENSETZUNG EINES
BENZIN-PKW IM ABGASTEST



Es ist wichtig, diese Größenordnungen zu kennen, wenn man die Hauptverursacher der Schadstoffe in Österreichs Luft für das Jahr 2014 betrachtet. Die Emissionen landwirtschaftlicher Zugfahrzeuge werden getrennt von den Verkehrsemissionen ausgewiesen, da diese überwiegend abseits der Straßen auftreten [13].

Daneben sind bei den lokalen Spurenstoffen noch alle anderen Kleinverbraucher wie Baumaschinen und andere selbstfahrende Arbeitsgeräte unter dem Begriff Off-Road-Maschinen zusammengefasst. Trotz geringer Stückzahlen verursachen gerade diese Fahrzeuge verhältnismäßig hohe Emissionen, da sie eingeschränkt über moderne Abgasreinigungstechnologien verfügen.

KOHLENDIOXID (CO₂)-EMISSIONEN 2014
in Österreich
(in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent = 10⁶t)
Insgesamt 85,2 Millionen Tonnen



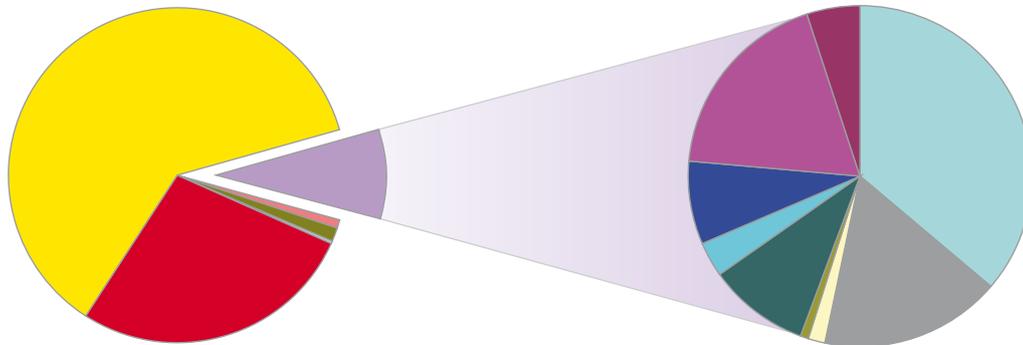
Es ist zu erkennen, dass der Bereich „Verkehr“ – und in dieser Gruppe wiederum der Güterverkehr – den überwiegenden Teil der in Österreich erzeugten Stickstoffoxide verursacht, während der Transportsektor bei Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Staub nur noch einer der Hauptverursacher ist und bei Kohlenwasserstoffen und Schwefeldioxid eine eher untergeordnete Rolle spielt.

*Entspricht nicht dem sogenannten „Tanktourismus“ nach Berechnungsmethode des Umweltbundesamtes.

KOHLENMONOXID (CO)-EMISSIONEN 2014 in Österreich
(in 1000 Tonnen = 10³t)

Insgesamt **602.000 Tonnen**

Straßenverkehr **52.300 Tonnen**



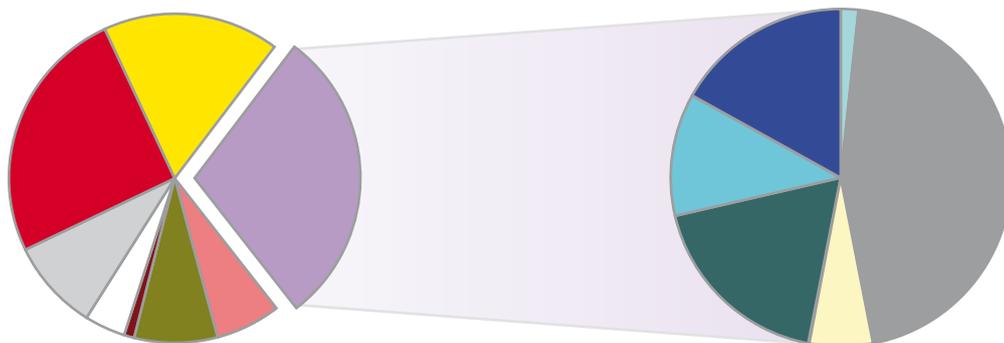
2014	10 ³ t	%
Strassenverkehr	52,3	8,7
Landwirtschaft	4,9	0,8
Off-Road-Maschinen	8,0	1,3
Kraft- und Heizwerke	1,5	0,2
Industrie	165,0	27,4
Kleinverbraucher	370,0	61,5
Summe insgesamt	602	100

2014	10 ³ t	%
PKW-Benzin	18,9	36,2
PKW-Diesel	8,9	17,1
Busse	0,8	1,6
Leichte LKW-Benzin	0,4	0,8
Leichte LKW-Diesel	5,0	9,6
Sattelzüge	1,7	3,3
LKW	4,1	7,9
Motorräder	9,7	18,6
Mofas	2,6	5,0
Summe Straßenverkehr	52,3	100

STICKSTOFFOXID (NO_x)-EMISSIONEN 2014 in Österreich
(in 1000 Tonnen = 10³t)

Insgesamt **133.000 Tonnen**

Straßenverkehr **38.900 Tonnen**



2014	10 ³ t	%
Strassenverkehr	38,9	29,2
Landwirtschaft	8,5	6,4
Off-Road-Maschinen	10,8	8,1
Schiffsverkehr	1,3	1,0
Flugverkehr	5,3	4,0
Kraft- und Heizwerke	11,9	8,9
Industrie	33,6	25,2
Kleinverbraucher	22,9	17,2
Summe insgesamt	133	100

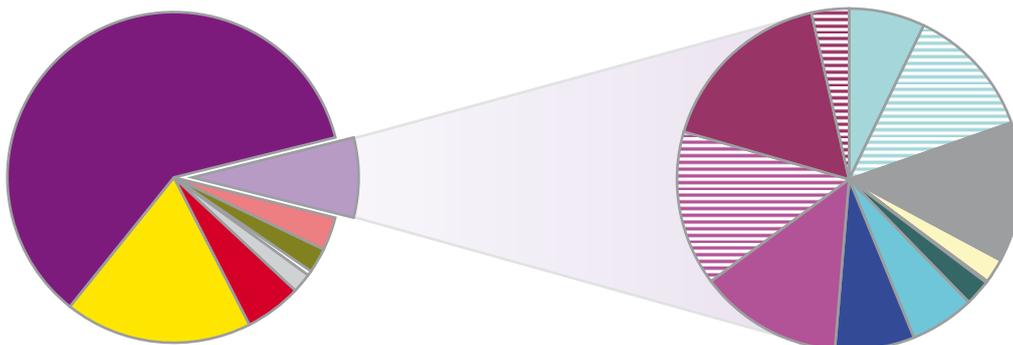
2014	10 ³ t	%
PKW-Benzin	0,7	1,7
PKW-Diesel	17,6	45,3
Busse	2,3	6,0
Leichte LKW-Benzin	0,0	0,1
Leichte LKW-Diesel	7,1	18,3
Sattelzüge	4,6	11,7
LKW	6,6	16,9
Summe Straßenverkehr	38,9	100

KOHLENWASSERSTOFF (HC)-EMISSIONEN 2014 in Österreich

(in 1000 Tonnen = 10³ t)

Insgesamt **132.000 Tonnen** ohne Methan

Straßenverkehr **10.300 Tonnen**



2014	10 ³ t	%
■ Straßenverkehr	10,3	7,8
■ Landwirtschaft	4,3	3,3
■ Off-Road-Maschinen	3,2	2,4
□ Flugverkehr	0,6	0,5
■ Kraft- und Heizwerke	2,5	1,9
■ Industrie	7,3	5,5
■ Kleinverbraucher	24,1	18,2
■ Lösungsmittel	79,7	60,4
Summe	132	100

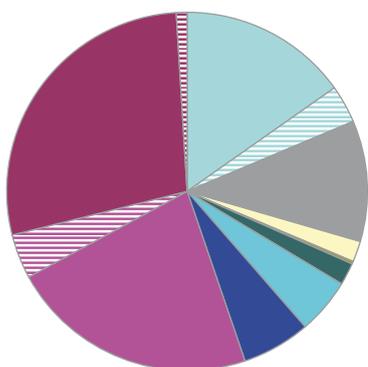
2014	10 ³ t	%
■ PKW-Benzin Verbrennung	0,7	7,1
■ PKW-Benzin-Verdunstung	1,3	12,5
■ PKW-Diesel	1,4	13,3
■ Busse	0,2	2,3
■ Leichte LKW-Benzin Verbrennung	0,0	0,1
■ Leichte LKW-Benzin Verdunstung	0,0	0,0
■ Leichte LKW-Diesel	0,3	2,4
■ Sattelzüge	0,6	6,1
■ LKW	0,8	7,5
■ Motorräder	1,4	13,5
■ Motorräder-Verdunstung	1,5	14,7
■ Mofas	1,8	17,0
■ Mofas-Verdunstung	0,4	3,5
Summe Straßenverkehr	10,3	100

In die Schadstoffbilanz wurde wiederum eine Emissionsbilanz für Benzol aufgenommen. Im Vergleich zu den Vorjahren ist die Tendenz wie bei den Gesamtkohlenwasserstoffen sinkend.

Die deutlichsten Reduktionen ergeben sich durch die schadstoffarmen Motoren sowie bei Altfahrzeugen durch die Absenkung des Benzolgehaltes auf unter 1 %.

BENZOL (C₆H₆)-EMISSIONEN 2014 in Österreich

Straßenverkehr **376 Tonnen**

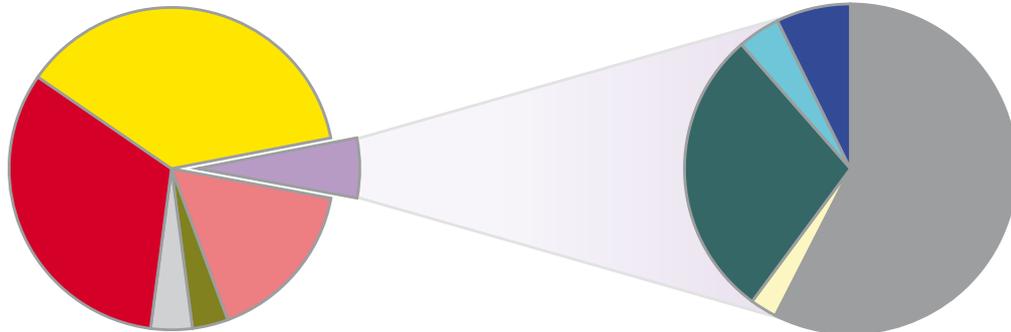


2014	t	%
■ PKW-Benzin	57	15,2
■ PKW-Benzin-Verdunstung	13	3,4
■ PKW-Diesel	41	10,9
■ Busse	7	1,9
■ Leichte LKW-Benzin	1	0,2
■ Leichte LKW-Benzin-Verdunstung	0	0,0
■ Leichte LKW-Diesel	8	2,0
■ Sattelzüge	19	5,0
■ LKW	23	6,2
■ Motorräder	84	22,3
■ Motorräder-Verdunstung	15	4,0
■ Mofas	105	28,0
■ Mofas-Verdunstung	4	1,0
Summe Straßenverkehr	376	100

PARTIKEL (PM)-EMISSIONEN (AUF BASIS PM 2,5) 2014 in Österreich
(in 1000 Tonnen = 10³t)

Insgesamt **25.400 Tonnen**

Straßenverkehr **1.500 Tonnen**



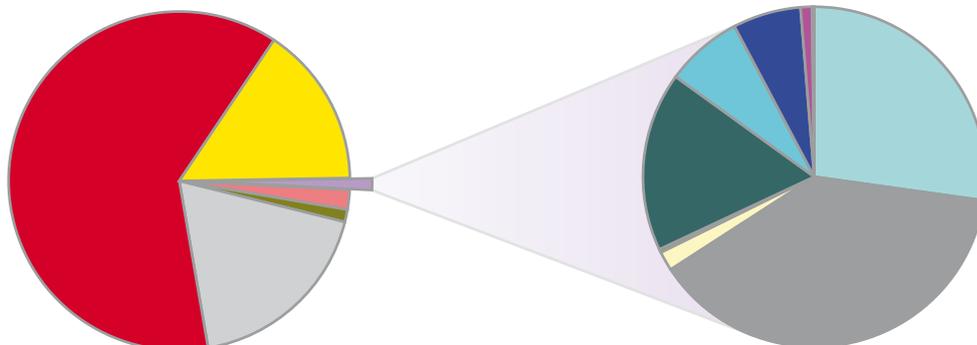
2014	10 ³ t	%
Strassenverkehr	1,5	6,0
Landwirtschaft	4,2	16,4
Off-Road-Maschinen	0,9	3,6
Kraft- und Heizwerke	1,1	4,1
Industrie	8,3	32,6
Kleinverbraucher	9,5	37,3
Summe insgesamt	25,4	100

2014	10 ³ t	%
PKW-Diesel	0,9	57,5
Busse	0,0	2,6
Leichte LKW-Diesel	0,4	28,5
Sattelzüge	0,1	4,2
LKW	0,1	7,2
Summe Strassenverkehr	1,5	100

SCHWEFELDIOXID (SO₂)-EMISSIONEN 2010 in Österreich
(in 1000 Tonnen = 10³t)

Insgesamt **16.300 Tonnen**

Straßenverkehr **180 Tonnen**



2014	10 ³ t	%
Strassenverkehr	0,2	4,4
Landwirtschaft	0,3	1,2
Off-Road-Maschinen	0,2	0,7
Kraft- und Heizwerke	3,0	16,8
Industrie	10,1	34,9
Kleinverbraucher	2,5	42,0
Summe insgesamt	16,3	100

2014	10 ³ t	%
PKW-Benzin	0,05	27,2
PKW-Diesel	0,07	38,6
Busse	0,00	1,8
Leichte LKW-Benzin	0,00	0,3
Leichte LKW-Diesel	0,03	17,0
Sattelzüge	0,01	7,3
LKW	0,01	6,4
Motorräder	0,00	1,1
Mofas	0,00	0,2
Summe Strassenverkehr	0,18	100

Die Grundlage für die positiven Entwicklungen dieser Schadstoffbilanzen ist, dass bereits die überwiegenden Fahrleistungen mit schadstoffarmen PKW erfolgen.

Im nächsten Kapitel wird gezeigt, welche Schadstoffreduktionen durch die bisherige Abgasgesetzgebung bereits erzielt wurden und welche zukünftigen Entwicklungen zu erwarten sind.

VI. VERGANGENHEIT UND ZUKUNFT: ENTWICKLUNG DER SCHADSTOFFEMISSIONEN

1. EMISSIONEN VON INDUSTRIE, KLEINVERBRAUCHERN, KRAFTWERKEN UND VERKEHR

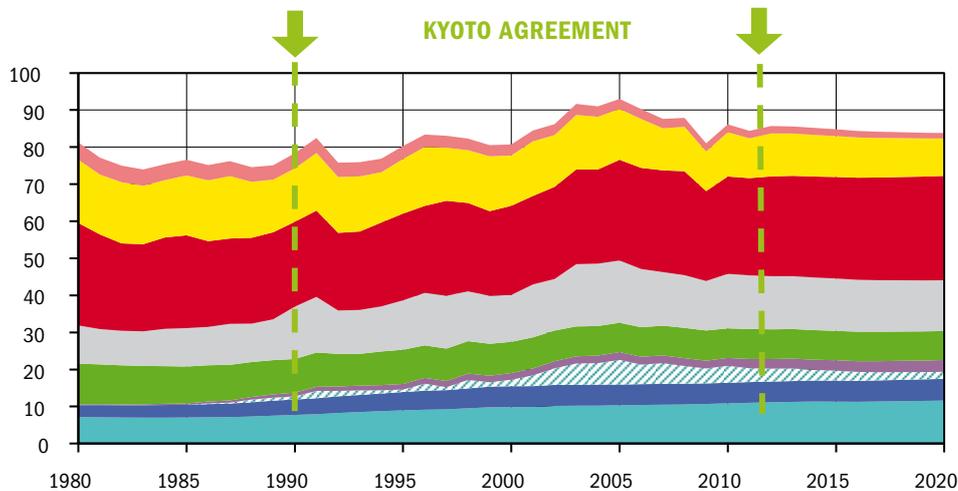
Im Gegensatz zum Straßenverkehr, wo aufgrund der strengen Abgasvorschriften eine Reduktion der meisten Emissionsmengen bis zum Jahr 2020 zu erwarten ist, fällt diese Bilanz bei anderen Verkehrsarten und stationären Quellen je nach Schadstoffkomponente und Sektor recht unterschiedlich aus. Insbesondere Kleinverbraucher und Hausbrand stellen nach wie vor beträchtliche Emissionsquellen dar. Die folgenden Graphiken geben eine Übersicht über die Entwicklung der Emissionen bei stationären Quellen, Straßenver-

kehr und landwirtschaftlichen Quellen in Österreich [14] [15] [16]. In den Erläuterungen zu den einzelnen Abgaskomponenten wird jeweils auf die Verursacher mit den größten Anteilen eingegangen.

KOHLENDIOXID (CO₂):

In der folgenden Abbildung sind neben den Emissionen unter Berücksichtigung der klimarelevanten Emissionen von CH₄, N₂O und F-Gase in CO₂-Äquivalenten dargestellt. Daten aus den Straßenverkehrssektoren stammen aus „Bottom up“-Modellrechnungen als auch energetischen Gesamtenergieverbräuchen. Getrennt dargestellt wird außerdem jener Anteil, der als Differenz zwischen diesem Gesamtenergieverbrauch und der Summe der Einzelverbräuche des Straßenverkehrs hervorgeht.

CO₂-ÄQUIVALENT-GESAMTEMISSIONEN IN ÖSTERREICH
(in Millionen Tonnen = 10⁶t)



	1980		1990		2000		2010		2020	
	10 ⁶ t	%								
Sonstige	4,7	5,7	4,1	5,2	3,0	3,7	2,1	2,5	1,5	1,7
Kleinverbraucher	17,1	21,0	14,4	18,4	13,6	16,8	11,9	13,9	10,1	12,1
Industrie	27,6	34,0	22,9	29,2	24,1	29,8	26,3	30,5	28,2	33,6
Kraft- und Heizwerke	10,3	12,7	14,2	18,1	12,7	15,7	14,7	17,1	13,7	16,3
Landwirtschaft	11,0	13,5	9,1	11,6	8,4	10,4	8,0	9,3	7,8	9,3
Flugverkehr	0,2	0,3	1,0	1,3	1,8	2,2	2,1	2,5	3,2	3,8
Lkw + Busse	3,2	3,9	4,2	5,3	5,6	7,0	5,5	6,4	5,9	7,0
Pkw	7,2	8,8	7,7	9,9	9,8	12,2	10,9	12,6	11,6	13,8
Kraftstoffverkauf an den Transitverkehr*	0,0	0,0	0,8	1,0	1,8	2,2	4,6	5,3	1,9	2,3
Summe gesamt	81,2	100	78,4	100	80,7	100	86,1	100	83,8	100

*Entspricht nicht dem sogenannten „Tanktourismus“ nach Berechnungsmethode des Umweltbundesamtes.



Die Industrie, Kleinverbraucher, Kraft und Heizwerke sowie der Verkehr sind die größten Emittenten. Darüber hinaus ist ein steigender Energiebedarf in fast allen Sektoren festzustellen. Dies gilt insbesondere für den Kraft- und Wärmesektor wegen der steigenden Wohnraumnutzung und des erhöhten elektrischen Bedarfs. Ein gutes Drittel des erzeugten elektrischen Stroms fließt dabei wiederum der Industrie zu. Eine verstärkte Nutzung elektrischer Geräte im Haushalt sowie der modernen Informationstechnologien erhöht den elektrischen Energiebedarf zusätzlich. Die Kategorie PKW erfährt trotz sinkenden Treibstoffverbrauchs beim Einzelfahrzeug eine Steigerung der CO₂-Emissionen aufgrund einer starken Bestandszunahme besonders bei Diesel-Fahrzeugen. Der Gesamtverbrauch von Benzin ist nunmehr seit Anfang der 90er-Jahre ständig rückläufig. Die Emissionen des Flugverkehrs werden in dieser Prognose getrennt ausgewiesen, da sich der Treibstoffverbrauch bis 2020 – allerdings auf niedrigem Niveau – vervielfachen wird. Zu deren Berechnungen wurden die Energieverbräuche des Flugverkehrs in Österreich herangezogen [18].

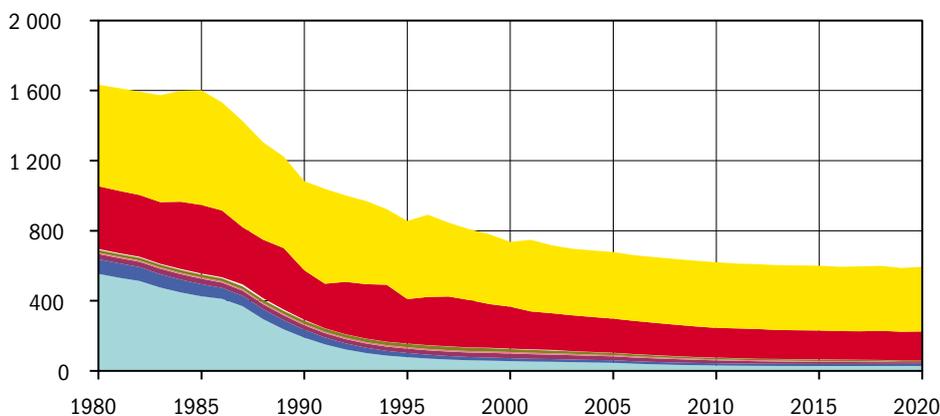
Für die Beurteilung der Relevanz der Emissionen für den Treibhauseffekt sind nicht nur die CO₂-Emissionen wesentlich, sondern auch der Ausstoß anderer Spurenstoffe wie Methan, Lachgas, Schwefelhexafluorid und Fluorkohlenwasserstoffe.

Für die gesamte Bilanz der CO₂-Emissionen aus Österreich tragen Methan und Lachgas zusammen mit Fluorkohlenwasserstoffen und Schwefelhexafluorid maßgeblich bei. Mit gut 14 Mio. t CO₂-Äquivalent für das Jahr 2007 erhöhen sie die CO₂-Bilanz Österreichs auf insgesamt über 80 Mio. t. [12]. Daten vor 1990 und nach 2012 wurden teilweise aus Trendanalysen extrapoliert.

KOHLENMONOXID (CO):

Die hier angegebenen Emissionsmengen aus Kraft- und Heizwerken sowie industriellen Prozessen beziehen sich auf publizierte Emissionsbilanzen (Umweltbundesamt Wien), wobei die künftige Entwicklung mit Trendanalysen ermittelt wurde.

KOHLENMONOXID (CO)-GESAMTEMISSIONEN IN ÖSTERREICH
(in 1000 Tonnen = 10³t)



	1980		1990		2000		2010		2020	
	10 ³ t	%								
Kleinverbraucher	579,0	35,5	509,2	47,0	370,0	50,3	375,0	60,5	368,8	62,1
Industrie	358,3	21,9	282,5	26,1	239,3	32,5	169,5	27,3	166,7	28,1
Kraft- und Heizwerke	5,9	0,4	5,4	0,5	2,8	0,4	1,7	0,3	1,2	0,2
Off-Road-Maschinen	15,0	0,9	17,6	1,6	16,7	2,3	8,3	1,3	6,5	1,1
Landwirtschaft	8,0	0,5	8,3	0,8	8,5	1,2	5,8	0,9	0,9	0,1
Einspurige	29,4	1,8	25,5	2,4	26,7	3,6	16,6	2,7	9,6	1,6
LKW + Busse	83,5	5,1	45,3	4,2	16,8	2,3	12,6	2,0	12,1	2,0
PKW	554,0	33,9	189,4	17,5	55,5	7,5	30,7	4,9	28,0	4,7
Summe	1630	100	1080	100	736	100	620	100	594	100

Die Verbrennungsemissionen bei Industrieanlagen sind von 1980 bis 2010 kontinuierlich gesunken und betragen im Jahr 2010 ca. 170.000 Tonnen. Die Emissionen aus dem Bereich Kleinverbraucher (Hausbrand und Gewerbe) werden mit 579.000 Tonnen im Jahr 1980 bewertet und nahmen bis zum Jahre 2020 etwas ab.

Trotz der seit etwa 1990 angenommenen Ausweitung der Fernwärme liegen die Emissionen aus dem Sektor „Kleinverbrauch“ im Jahre 2010 bei 375.000 Tonnen. Im Jahre 2020 wird der „Kleinverbrauch“ einen Anteil von über 60 % an den Gesamtemissionen haben. Er ist und bleibt mit Abstand der größte CO-Emittent, dessen Emissionen nur sehr schwer vom Gesetzgeber wirkungsvoll beeinflusst werden können.

STICKSTOFFOXIDE (NO_x):

Stickstoffoxid ist die einzige gasförmige Schadstoffkomponente, bei der der Straßenverkehr heute noch einen überwiegenden Anteil an den Gesamtemissionen aufweist. Im Jahre 2020 wird der Anteil des PKW an der Gesamtemission bei ca. 11 % NO_x liegen.

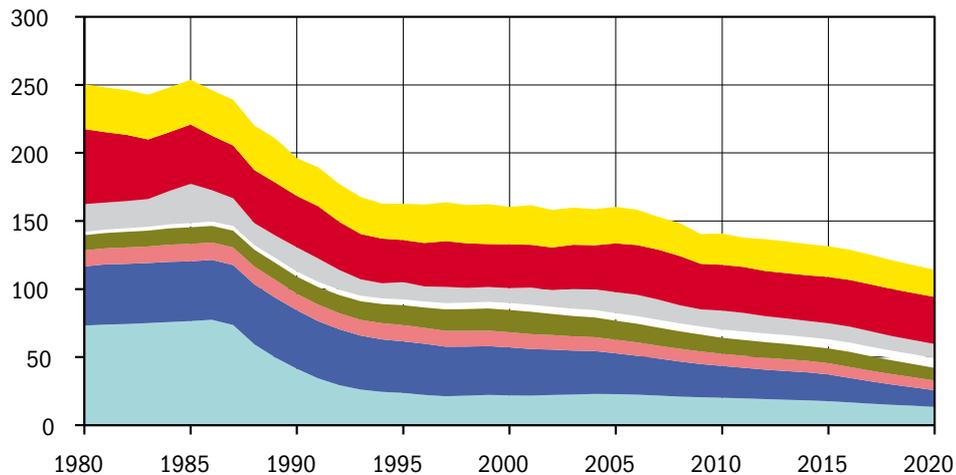
Der LKW wird trotz der sinkenden Emissionen einen Anteil von etwa 14 % aufweisen. Dieser Prozentsatz ist gegenüber früheren Prognosen deutlich niedriger. Der Grund dafür sind neue Emissionsfaktoren, die in umfangreichen internationalen Programmen erhoben wurden, an denen auch Österreich beteiligt war [6].

Die Emissionen der Kraftwerke und Kleinverbraucher nehmen tendenziell ab, der Sektor Industrie steigt an und wird damit 2020 einen Anteil von fast 30 % an den Stickoxidemissionen haben.

Einen Anteil von 8 % tragen 2010 die Emissionen der Off-Road-Fahrzeuge sowie die Land- und Forstwirtschaft bei. Da im Bereich der anderen Emittentenkategorien massive Anstrengungen laufen, um die Stickoxidemissionen zu reduzieren, werden diese Anteile in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

STICKSTOFFOXID (NO_x)-GESAMTEMISSIONEN IN ÖSTERREICH

(in 1000 Tonnen = 10³t)



	1980		1990		2000		2010		2020	
	10 ³ t	%								
Kleinverbraucher	32,9	13,1	27,7	14,1	27,5	17,2	23,0	16,3	20,0	17,5
Industrie	55,1	22,0	37,8	19,3	32,1	20,0	33,7	23,9	34,6	30,3
Kraft- und Heizwerke	20,4	8,1	17,7	9,0	11,0	6,8	13,9	9,9	10,2	9,0
Flugverkehr	1,9	0,7	3,0	1,5	4,2	2,6	4,8	3,4	5,8	5,0
Schiffsverkehr	0,5	0,2	0,8	0,4	0,9	0,5	1,2	0,9	1,5	1,3
Off-Road-Maschinen	11,2	4,5	12,6	6,4	16,4	10,2	11,8	8,3	9,2	8,1
Landwirtschaft	11,8	4,7	12,1	6,1	11,1	6,9	8,9	6,3	7,2	6,3
LKW + Busse	43,4	17,3	43,0	21,9	35,3	22,0	23,4	16,6	12,3	10,7
PKW	73,2	29,2	41,5	21,1	21,9	13,7	20,2	14,3	13,4	11,8
Summe	250	100	196	100	160	100	141	100	114	100



Die NO_x-Emissionen der Kategorie Flugzeuge haben zwar derzeit einen Anteil von lediglich 3,5 % der Gesamtemissionen. Dieser Anteil bezieht sich jedoch lediglich auf die Starts und Landungen. Die Emissionen im Reiseflug werden hingegen in hohem Maße in der oberen Troposphäre ausgestoßen. Ihre Wirkung ist noch nicht gänzlich geklärt.

Der Schiffsverkehr, der sehr deutliche Zuwachsraten aufweist, wurde wieder in die Gesamtbilanzen aufgenommen. Im Jahr 2020 wird die Summe der NO_x-Emissionen des Flugverkehrs [20] [21] und der Binnenschifffahrt in etwa 50 % des PKW-Verkehr entsprechen.

ca. 20 % abgezogen werden müssten, damit die Werte jenen aus stationären Quellen vergleichbar sind.

Weiters ist anzumerken, dass in dieser Prognose die HC-Emissionen aus der Mineralölkette und Kfz-Betankung bei Tankstellen dem Sektor „Industrielle Prozesse“ zugeordnet wurden, während die Verdunstungsemissionen aus Kfz den Emissionen der jeweiligen Kfz-Kategorie zugewiesen sind.

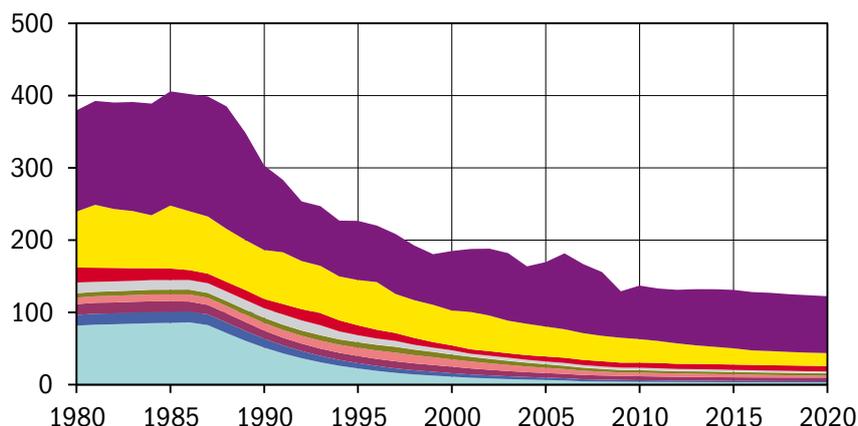
Die HC-Emissionen der Industrie waren Mitte der 80er-Jahre auf einem Niveau von ca. 20.000 Tonnen und wurden in etwa halbiert. Die Emissionen aus dem Sektor Kleinverbrauch – überwiegend aus Heizungen – sinken vom Jahr 1980 mit 77.000 Tonnen auf 32.000 Tonnen im Jahr 2010 und werden unter der Annahme einer zukünftigen Überprüfung von Kleinfeuerungsanlagen im Jahr 2020 immer noch auf einem bedeutenden Niveau liegen. Die HC-Emissionen aus dem Straßenverkehr werden bis 2020 auf etwa 8 % des Gesamtausstoßes zurückgehen.

KOHLWASSERSTOFFE (HC):

Aufgrund der vorliegenden Daten werden hier unter Kohlenwasserstoffe die als NMHC (Non Methan Hydro Carbons) bezeichneten „Kohlenwasserstoffe ohne Methan“ von den stationären Emissionsquellen mit den Summen-Kohlenwasserstoffen (HC) der mobilen Quellen zusammengefasst. Man kann davon ausgehen, dass nach neuen Erkenntnissen von den Kohlenwasserstoffen aus dem Verkehr

KOHLWASSERSTOFFE (HC)-GESAMTEMISSIONEN IN ÖSTERREICH

(in 1000 Tonnen = 10³t)



	1980		1990		2000		2010		2020	
	10 ³ t	%								
■ Lösungsmittel	140,2	36,9	117,2	38,6	82,5	44,6	74,2	54,1	78,7	64,3
■ Kleinverbraucher	77,3	20,4	67,7	22,3	48,2	26,1	32,5	23,7	17,9	14,6
■ Industrie	20,7	5,5	12,8	4,2	6,7	3,6	7,1	5,2	7,6	6,2
■ Kraft- und Heizwerke	14,7	3,9	13,0	4,3	5,6	3,0	2,9	2,1	2,0	1,6
□ Flugverkehr	0,2	0,1	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,7	0,6
■ Off-Road-Maschinen	6,0	1,6	7,0	2,3	6,7	3,6	3,3	2,4	3,3	2,7
■ Landwirtschaft	9,0	2,4	10,6	3,5	10,0	5,4	5,0	3,6	2,5	2,1
■ Einspurige	15,0	3,9	11,2	3,7	8,9	4,8	5,5	4,0	5,1	4,2
■ LKW + Busse	14,8	3,9	12,3	4,1	4,9	2,7	2,3	1,6	1,7	1,4
■ PKW	81,6	21,5	51,3	16,9	11,0	6,0	3,9	2,8	3,0	2,4
Summe	379	100	303	100	185	100	137	100	122	100

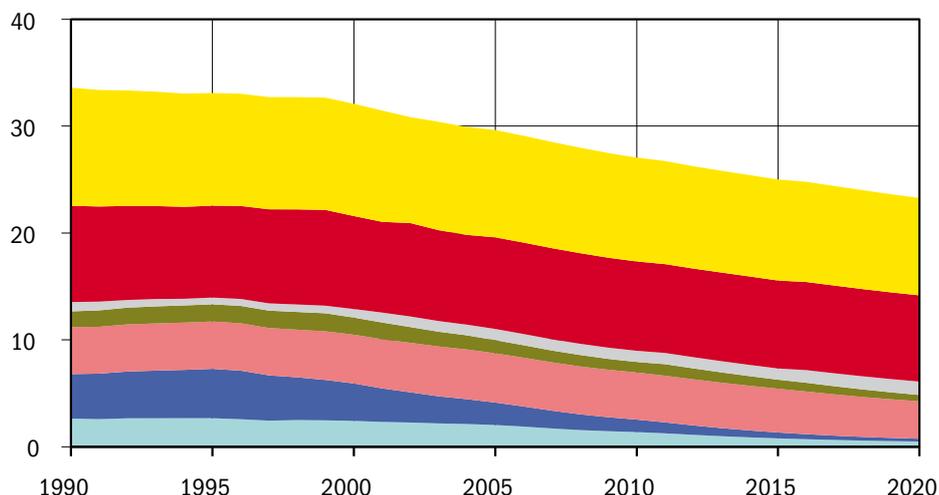
PARTIKEL:

Die Ermittlung von vergleichbaren Partikelemissionen des Straßenverkehrs und anderer Emittentengruppen gestaltet sich besonders schwierig. Es wird, bedingt durch die aufwändige Abgasgesetzgebung bei Kraftfahrzeugen, seit vielen Jahren die aus dem Auspuff ausgestoßene Partikelmenge gravimetrisch bestimmt. In dieser Menge sind definitionsgemäß überwiegend kohlenstoffhaltige Komponenten enthalten. Andere Stäube, die vom Auto verursacht werden, wie Bremsen- und Reifenabrieb sowie Aufwirbelungen, sind darin nicht enthalten. Die Größe der Partikel liegt damit überwiegend unter 1 µm. Die derzeit stark diskutierte PM10-Problematik bezieht sich aber auch auf Partikel, die um den Faktor 10 größer sein können.

Um eine vergleichbare Prognose zu erhalten, wurden Partikelemissionen der anderen Quellen auf Basis PM_{2,5} herangezogen, die eine gute Vergleichbarkeit mit Auspuffemissionen zeigen. Damit können ab 1990 die folgenden Aussagen getroffen werden.

Der Anteil der stationären Quellen an der Gesamtemission beträgt derzeit ca. zwei Drittel, wobei Kleinverbraucher und Industrie den größten Teil ausmachen. Der starke Zuwachs an dieselbetriebenen PKW führt zu einem Anteil von ca. 7 % an den Gesamtemissionen und wird in den nächsten Jahren aufgrund der Einführung von Partikelfiltern sinken. Einen ähnlichen Anteil zeigen die Off-Road-Maschinen. Die Landwirtschaft und LKW wurden aufgrund der neuen Emissionsfaktoren mit nunmehr gut 15 % Anteil berechnet.

PARTIKEL-GESAMTEMISSIONEN (AUF BASIS PM 2,5) IN ÖSTERREICH
(in 1000 Tonnen = 10³t)



	1990		2000		2010		2020	
	10 ³ t	%						
Kleinverbraucher	11,1	32,9	10,5	32,7	9,7	35,9	9,1	39,1
Industrie	9,0	26,8	8,7	27,1	8,4	30,9	8,1	34,7
Kraft- und Heizwerke	0,9	2,6	0,8	2,5	1,1	3,9	1,3	5,4
Off-Road-Maschinen	1,5	4,4	1,6	5,0	1,0	3,6	0,6	2,6
Landwirtschaft	4,4	13,1	4,6	14,2	4,4	16,3	3,5	15,0
LKW + Busse	4,2	12,4	3,5	10,9	1,2	4,3	0,3	1,1
PKW	2,6	7,8	2,4	7,5	1,4	5,1	0,5	2,1
Summe	33,6	100	32,1	100	27,1	100	23,3	100

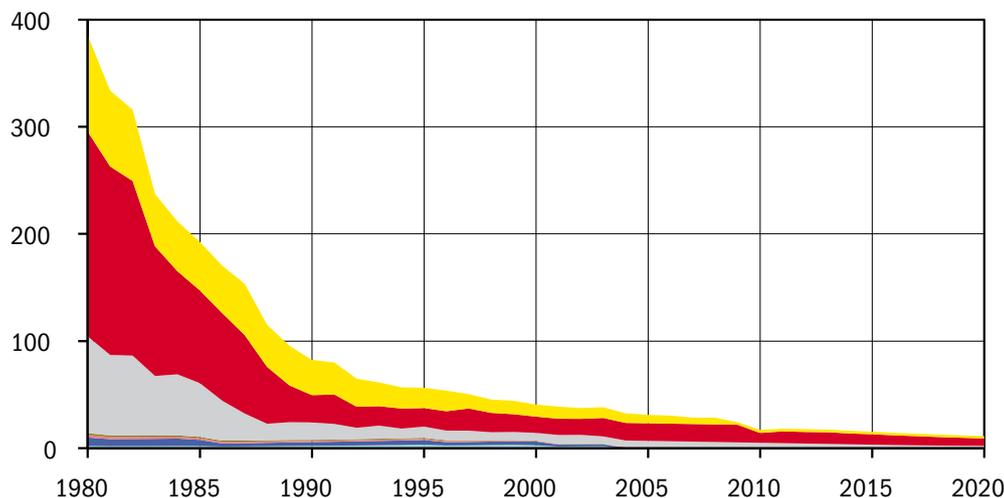
SCHWEFELDIOXID (SO₂):

Die stationären Quellen haben gemäß der neuen Bilanzen im Jahr 2010 einen Anteil von über 95 % an der Gesamtemission. Aufgrund der immer strengeren Grenzwertbestimmungen für Schwefel in Heizölen nehmen die Emissionen jedoch ab.

Den größten Anteil an der Gesamtemission im Jahr 2010 weisen die Industrie und die Kleinverbraucher auf. Der gesamte Straßenverkehr ist für ca. 1 % der Gesamtemissionen verantwortlich. Generell ist eine enorme Absenkung der Emissionen erzielt worden, was sich auch in den sehr guten Immissionsmesswerten widerspiegelt.



SCHWEFELDIOXID (SO₂)-GESAMTEMISSIONEN IN ÖSTERREICH
(in 1000 Tonnen = 10³t)



	1980		1990		2000		2010		2020	
	10 ³ t	%								
Kleinverbraucher	89,7	23,3	32,9	39,9	11,2	27,5	2,9	16,8	2,2	19,3
Industrie	191,0	49,6	25,4	30,8	15,2	37,3	9,1	53,4	6,8	60,7
Kraft- und Heizwerke	90,3	23,5	16,4	19,8	7,3	17,9	4,4	25,8	1,6	13,9
Off-Road-Maschinen	1,5	0,4	0,8	0,9	0,3	0,8	0,2	1,1	0,2	1,7
Landwirtschaft	2,5	0,6	1,2	1,5	0,5	1,2	0,3	1,8	0,3	2,7
LKW + Busse	8,0	2,1	3,5	4,3	3,5	8,6	0,1	0,3	0,1	0,6
PKW	2,0	0,5	2,2	2,7	2,8	6,8	0,1	0,7	0,1	1,1
Summe	385	100	82,5	100	40,7	100	17,1	100	11,2	100

2. STRASSENVERKEHR: EMISSIONEN IM DETAIL

PKW

Wie ist es nun zu der überwiegend erfreulichen Absenkung der PKW-Emissionen gekommen? Jährliche Kilometerleistung, Fahrzeugbestand sowie die vom Fahrzeugtyp und Zulassungsjahr abhängigen Abgasemissionsfaktoren beeinflussen das Ergebnis am stärksten. Für einzelne Spurenstoffe ist wiederum die Kraftstoffzusammensetzung maßgebend, dies gilt besonders für Schwefeldioxid, bei PKW ohne Katalysator für Benzol und bis 1993 auch für die Bleiemissionen.

JÄHRLICHE KILOMETERLEISTUNG DER PKW:

Bei ÖAMTC-Stützpunkten wurden die durchschnittlichen Jahresfahrleistungen je nach Erstzulassungsjahr der PKW erhoben. Dabei wurde deutlich, dass die durchschnittliche Jahresfahrleistung bei neueren Erstzulassungsjahrgängen merklich höher liegt als bei älteren. Liegt die durchschnittliche Kilometerleistung von Neufahrzeugen gemäß Rohdaten bei nahezu 17.000 km pro Jahr, so sinkt sie bei etwa 20 Jahre alten Fahrzeugen auf weniger als die Hälfte ab.

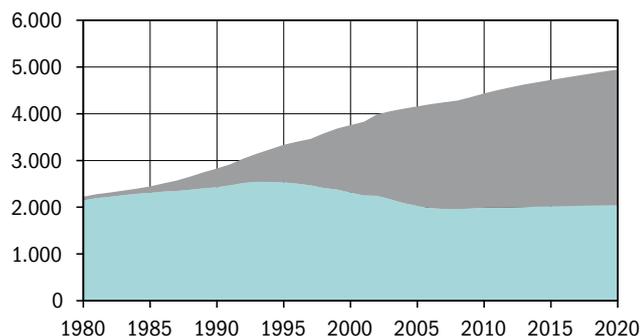
Ebenso bemerkenswert ist der markante Unterschied der Kilometerleistungen der PKW mit Benzinmotor (15.000 Kilometer im ersten Jahr) zu den PKW mit Dieselmotor (20.000 Kilometer im ersten Jahr).

FAHRZEUGBESTAND:

Frühere Prognosen der Fahrzeugbestände führten immer wieder zu einer Unterbewertung der später tatsächlich eingetretenen Entwicklung. Die stärksten Einflüsse auf den PKW-Bestand [19] üben das Bevölkerungswachstum (deutlich stärker als vorhergesagt), die Zunahme der Anzahl der Haushalte und die steigende Wirtschaftskraft der Frauen aus.

Etwas nach unten korrigiert wurden die Daten und Prognosen im Vergleich zu früheren Publikationen, da durch eine Anpassung der Erhebungsmethode des Statistischen Zentralamts seit 2002 Daten mit geringeren Falschbeständen, vor allem bei Fahrzeugen mit Ottomotoren, zur Verfügung stehen. Der Bestand der Kraftfahrzeuge vor 2001 ist damit um etwa 8 % niedriger als früher angenommen und nimmt etwas langsamer zu.

PKW-BESTAND IN ÖSTERREICH
(in 1000)

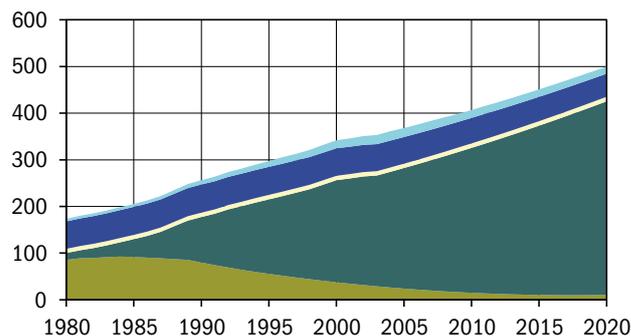


	1980 [in 1000]	2010 [in 1000]	2020 [in 1000]
PKW-Diesel	78	2.446	2.908
PKW-Benzin	2.147	1.988	2.038
Summe	2.225	4.434	4.946

Bedingt durch die Preisunterschiede bei Benzin- und Dieselmotoren sowie durch die Normverbrauchsabgabe (NOVA) bei der Neuanschaffung wächst der Fahrzeugbestand bei Dieselmotoren noch immer am stärksten. Die subjektive Überschätzung der Treibstoffkosten im Verhältnis zu den Anschaffungskosten und den sonstigen Erhaltungskosten eines Fahrzeuges verstärken diesen Trend noch. Abgesehen vom Kostenvorteil für den Fahrzeughalter sollte sich diese Entwicklung auch mit geringeren CO₂-Emissionen positiv auswirken. Steigende Fahrzeuggröße und Fahrzeuggewichte sowie damit verbundene höhere Fahrwiderstände wirken diesem Trend aber deutlich entgegen.

Der Bestand an Lastkraftfahrzeugen steigt seit 1980 stetig an. Bereits 2010 wurde mehr als der doppelte Bestand im Vergleich zu 1980 erreicht. Während Busse und LKW über 3,5 t nur eine leichte Bestandzunahme verzeichnen, haben sich die Sattelzüge von 1980 bis 2010 mehr als vervierfacht. Noch viel stärker als die Entwicklung des PKW-Bestandes ist der LKW-Bestand von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig. Die enormen Steigerungen im LKW-Bestand sind ebenfalls auf die Entwicklung bei den Leichten-LKW unter 3,5 t zurückzuführen, deren Zahlen sich von 1980 bis 2010 ebenfalls verdreifacht haben. In dieser Kategorie fand zudem eine starke Verlagerung von den Benzinantrieben zu den Dieselantrieben statt. Diese sind unter den gegenwärtigen steuerlichen Rahmenbedingungen finanziell am günstigsten.

LKW-BESTAND IN ÖSTERREICH
(in 1000)



	1980 [in 1000]	2010 [in 1000]	2020 [in 1000]
Leichte LKW-Benzin	86	15	10
Leichte LKW-Diesel	15	311	415
Busse	9	10	10
LKW	59	55	50
Sattelzüge	5	17	15
Summe	173	407	500

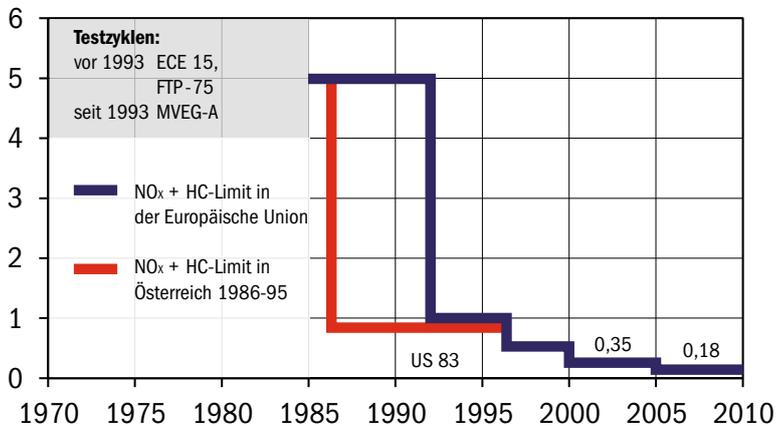
Für unsere Luft entstehen dabei Nachteile, da diese Leicht-LKW vielfach im Kurzstrecken-Zulieferverkehr eingesetzt werden und unter diesen Betriebsbedingungen sehr hohe Emissionen verursachen. Wenngleich die Anzahl der Sattelzüge dagegen gering erscheint, haben diese Fahrzeuge durch ihre hohen Jahresfahrleistungen wesentlichen Einfluss auf die Emissionen im LKW-Verkehr.

ABGASGESETZGEBUNG:

Durch strenge Abgasvorschriften für PKW, die Österreich als erstes Land Europas mit Wirksamkeit 1987 flächendeckend eingeführt hat, wurden die meisten Schadstoffe aus dem PKW-Verkehr laufend deutlich geringer. Bei Benzinmotoren erforderten diese Grenzwerte den Einsatz des geregelten Katalysators und beim Dieselmotor aufwändige innermotorische Maßnahmen.

Gezeigt werden die Emissionsgrenzwerte für Kohlenwasserstoffe und Stickoxide. Die Europäische Gemeinschaft (EG) vollzog erst 1992 eine ähnliche Absenkung. 1996 wurde mit der Euro II-Norm eine nochmalige Halbierung der Grenzwerte beschlossen. Damit wurde die Abgasgesetzgebung in Europa harmonisiert. Für das Jahr 2000 wurde der niedrigere Grenzwert Euro III festgelegt, der mit den amerikanischen LEV-Grenzwerten (Low Emission Vehicles) durchaus vergleichbar war. Ab 2011 ist der Euro V Grenzwert mit 0,06 g/km zu erfüllen. Für Diesel-PKW galten leider noch nicht so weit entwickelte Grenzwerte. Dies wirkt sich noch immer bei den NO_x-Emissionen aus.

NO_x + HC SUMMENABGASGRENZWERTE
FÜR PKW MIT BENZINMOTOR



Erst Euro VI (2015) sieht auch für Diesel-PKW einen verschärften NO_x-Grenzwert von 0,08 g/km vor. Dieser Grenzwert wird voraussichtlich nur noch mit Hilfe von außermotorischen Abgasmachbehandlungen erreichbar sein. Zu hoffen ist auch, dass die Testzyklen den realen Gegebenheiten besser angepasst werden und es zu einer Harmonisierung der Grenzwerte verschiedener Antriebsarten kommt. Eine Zero-Emission-Gesetzgebung, wie sie Kalifornien seit Mitte der 90er-Jahre kennt, ist in Europa noch immer ausständig. Der gesetzliche Druck hin zu weiterentwickelten Antriebssystemen kommt hier hauptsächlich über die CO₂-Gesetzgebung.

MOTORENTECHNIK:

In den vergangenen Jahrzehnten ist es auf dem Gebiet der Fahrzeugantriebe zu deutlichen Fortschritten gekommen. Insbesondere ermöglichte die Mikroelektronik eine extreme Steigerung der Qualität der Motorsteuerungen. Erfreulich ist, dass österreichische Ingenieure und Facharbeiter eine international anerkannte Position in dieser Sparte einnehmen. Stellvertretend seien die Motorenhersteller BMW Motoren GmbH und Opel Austria sowie die AVL List GmbH als weltweit aktives Forschungs- und Entwicklungsinstitut auf dem Gebiet der Verbrennungsmotoren genannt. Bezogen auf die Einwohnerzahl ist Österreich eines der Länder mit der höchsten Motorenproduktion weltweit. Welche hervorstechenden Merkmale weisen moderne Motorkonzepte nun auf?

DER OTTOMOTOR (BENZINMOTOR):

Das weltweit am meisten verwendete Antriebsaggregat für PKW ist der Ottomotor. In Amerika und Asien wurde er früher auch vielfach in Nutzfahrzeugen eingesetzt. Dieser Motortyp zeichnet sich durch eine so genannte homogene Gemischbildung aus. Das heißt, die angesaugte Luft und der eingespritzte Kraftstoff sollen im Idealfall ein gasförmiges Gemisch bilden, das zu einem bestimmten Zeitpunkt, ausgelöst durch einen Funken der elektronischen Zündanlage, zu brennen beginnt. Die sich daraus ergebende gute Verbrennungsqualität gestattet es, den Motor ohne Luftüberschuss zu betreiben und ermöglicht damit den Einsatz eines so genannten Drei-Wege-Katalysators. Der Name geht auf den Umstand zurück, dass die Abgaskomponenten CO, HC und NO_x gleichzeitig in die ungiftigen Abgasbestandteile Wasser, Stickstoff und Kohlendioxid umgewandelt (konvertiert) werden.

Euro IV-Motoren erreichen mit dieser Technologie eine Abgasreinigung von über 99 %.

Der Katalysator alleine würde diese hohe Reinigungsqualität jedoch nicht sicherstellen können. Deshalb weisen sämtliche zugelassenen Katalysatorautos eine hochwertige Motorelektronik samt Lambda-Regelung und Benzin-Einspritzanlage auf. Die Lambda-Regelung misst ständig mit Hilfe einer Sonde die Zusammensetzung des Abgases und steuert mit dieser Information sehr feinfühlig die Einspritzmenge. In dieser Güte der elektronischen Regelung liegt das eigentliche „Know how“ moderner Motoren. Vollelektronische, wartungsfreie Hochleistungszündanlagen runden die „Computerausstattung“ ab.

Bleibt also noch der im Vergleich zum Dieselmotor höhere Kraftstoffverbrauch. Nachdem der Kraftstoffverbrauch vom Fahrzeugbesitzer üblicherweise in Liter gemessen wird, ergibt sich aus der Tatsache, dass ein Liter Benzin um gut 10 % leichter ist als Diesel, ein entsprechend niedrigerer Energieinhalt bzw. höherer volumetrischer Verbrauch. Der zweite wichtige Grund für den höheren Verbrauch des Ottomotors ist die Leistungsregelung mittels einer Luftklappe. Dies stellt physikalisch gesehen eine „Drosselung“ dar und verschlechtert den Gesamtwirkungsgrad. Dem wird heute durch Mehrventil-Technologie mit variabler Ventilsteuerung und erhöhter Abgasrückführung im Motor begegnet. Pro Zylinder sind deshalb zwei bis drei Einlassventile und ein bis zwei Auslassventile vorgesehen.

Einen weiteren technischen Lösungsansatz stellt der „Direkteinspritzende Benzinmotor“ dar. Das Benzin wird also nicht - wie heute üblich - außerhalb des Brennraumes in das Saugrohr gespritzt, sondern wie beim Dieselmotor „direkt“ in den Brennraum. Der prinzipielle Hauptvorteil dieses Motorkonzeptes ist die mögliche „Ladungsschichtung“. Es wird kein homogenes Kraftstoff-Luft-Gemisch im gesamten Brennraum erzeugt, sondern nur in der Nähe der Zündkerze. Dadurch kann ein Großteil des genannten „Drosselverlustes“ vermieden werden, wodurch der Kraftstoffverbrauch bei niedrigen Leistungen sinken kann.



Der erhebliche Nachteil dieses Verfahrens ist, dass der Motor in diesem Betriebszustand nicht mehr mit dem für die Abgasreinigung optimalen Lambdawert von 1,00 betrieben werden kann. Dadurch wird die NO_x-Schadstoffreduktion des Katalysators deutlich verringert. Der so genannte NO_x-Speicherkatalysator weist gegenüber dem Dreiwege-Katalysator erheblich geringere Konversionsraten auf.

Eine zukünftige Möglichkeit, die CO₂-Emissionen des Kraftfahrzeugsektors zu senken, könnte der Einsatz von Erdgas als Treibstoff in herkömmlichen Ottomotoren sein. Dieses bietet neben den geringeren Schadstoffausstößen auch Vorteile für den Nutzer. So sind Motoren im Erdgasbetrieb effizienter, da sie durch die theoretische Klopfestigkeit von Erdgas von ca. 120 ROZ höhere Verdichtungen erreichen. Neben dem somit geringen Verbrauch ist der Treibstoff von einigen Steuern befreit, denen Benzin und Diesel unterliegen, wodurch der Betrieb mit Erdgas noch um einiges günstiger fällt als bei einem vergleichbaren Dieselantrieb.

Eine andere Möglichkeit kann die Weiterentwicklung des Ottomotors durch die Einführung von selbstzündenden Ottomotoren sein. Der Ausstoß von NO_x wird beim selbstzündenden HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) auch ohne Katalysator erheblich reduziert. Allerdings ist Selbstzündung beim Ottomotor auch nur im Teillastbereich einsetzbar und stellt damit sehr hohe Anforderungen an das Motormanagement und die Ventilsteuerung. So muss der Übergang von Selbst- auf Fremdzündung vom Nutzer völlig unbemerkt passieren und im Bereich der Selbstzündung eine vergleichbar gute Fahrbarkeit garantiert sein wie beim fremdgezündeten Ottomotor. Aus diesen Gründen hat diese Technologie noch einen hohen Entwicklungsbedarf.

DER DIESELMOTOR:

Über 100 Jahre war dieser Motor ein kostengünstiger Antrieb für vielerlei Zwecke. Niedrige Kraftstoffpreise und niedrige Kraftstoffverbräuche, die durch das prinzipielle Arbeitsverfahren bei nur teilweise genutzter Leistung bedingt sind, stellen die Hauptkriterien dar. Beim Dieselmotor wird der Kraftstoff mit Hochdruck in die verdichtete und damit heiße Luft eingespritzt und verbrennt sofort tröpfchenweise. Die Leistungsregelung erfolgt über die Menge des eingespritzten Kraftstoffes, die angesaugte Luftmenge bleibt gleich.

Das Verbrennungsverfahren der schnelllaufenden Dieselmotoren für den Einsatz im PKW ist seit den 70er-Jahren einem sehr deutlichen Wandel unterworfen. Die derzeit gebräuchlichste und verbrauchs-günstigste Variante ist der direkt einspritzende Dieselmotor, bei dem die geteilten Brennräume entfallen und die besten Wirkungsgrade erzielt werden. Dieses Verfahren stellt die höchsten Ansprüche an die Einspritzanlagen, da sämtliche Vorgänge in wesentlich kürzerer Zeit ablaufen. Durch höheren technischen Aufwand, wie gekühlte Abgasrückführungen, müssen vor allem die NO_x-Emissionen reduziert werden. Um dem Zielkonflikt mit erhöhten Partikelemissionen zu entgehen, weist die derzeitige Generation an Einspritzanlagen für den PKW-Dieselmotor bereits einen Einspritzdruck von über 1800 bar und Piezoeinspritzventile für mehrmalige, genau dosierte Einspritzung auf! Eine ebenfalls gute Möglichkeit zur Verbesserung der Motoreigenschaften stellt die Ausführung in Mehrventil-Technologie dar. Zusätzlich zur verbesserten Füllung des Brennraumes mit Ansaugluft kann meist eine deutlich zentralere Einspritzdüsen-Position gewählt werden.

Die Technologie, die dem Dieselmotor in all seinen Varianten zum Durchbruch am PKW-Markt verholfen hat, ist jedoch die Turboaufladung. Damit konnte das Leistungsniveau der Benziner der gleichen Hubraumklasse erreicht werden. Nachdem beim Dieselmotor lediglich Luft verdichtet werden muss und da aufgrund des ungedrosselten Betriebes im gesamten Leistungsbereich ein hoher Abgasdurchsatz gegeben ist, passt die Abgasturboaufladung ausgezeichnet zu diesem Motortyp.

Als Nachteile sind die NO_x-Emissionen und in bestimmten Fahrzuständen sichtbare Partikel-Emission (Ruß) zu nennen. Die weiteren Entwicklungen zielen deshalb darauf ab, den Rußausstoß zu minimieren und auch die Geruchsbelästigung hintanzuhalten. Partikelfilter werden in Serie eingesetzt. Beim LKW zeichneten sich zwei Entwicklungsrichtungen ab: im Stadtverkehr Partikelfilter und beim Überland-Fahrzeug De-NO_x-System mit Additiven (Ad-blue). Mit Euro VI werden beide Reinigungstechnologien zum Einsatz kommen.



DIE EMISSIONEN DES EINZELFAHRZEUGES – BERECHNUNGSTABELLEN:

Was bedeuten die spezifischen Eigenschaften der oben beschriebenen Motoren nun in tatsächlichen Abgasmengen? Zur Veranschaulichung und gleichzeitig zur Erhöhung des Nutzens für den Leser enthält diese Broschüre eine Berechnungstabelle zur Ermittlung des Abgasausstoßes für Einzelfahrzeuge. Mit dieser Tabelle ist es möglich, in Abhängigkeit von Zulassungsjahr und Antriebsart (Benzin- oder Dieselmotor) die Emissionen der Abgaskomponenten Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickstoffoxide (NO_x) und Partikel (PM) je gefahrenem Kilometer zu ermitteln. Die Tabelle zeigt den Abgasausstoß eines Personenkraftwagens je gefahrenen Kilometer:

Personenkraftwagen		CO	HC	NO _x	PM
Antriebsart	Baujahr	in g/km			
Benzinmotor	vor 1980	16	1,80	2,80	-
Benzinmotor	1981	11	1,60	2,70	-
Benzinmotor	1987	1,9	0,4	0,38	-
Benzinmotor	1996	1,5	0,25	0,25	-
Benzinmotor	2001	1,0	0,2	0,15	-
Benzinmotor	2006	1,0	0,1	0,08	-
Benzinmotor	2011	1,0	0,1	0,06	0,05
Benzinmotor	2015	1,0	0,1	0,06	0,05
Dieselmotor	vor 1986	0,94	0,18	0,76	0,50
Dieselmotor	1986	0,35	0,053	0,52	0,37
Dieselmotor	1990	0,35	0,053	0,52	0,20
Dieselmotor	1993	0,30	0,056	0,43	0,10
Dieselmotor	2001	0,30	0,050	0,50	0,05
Dieselmotor	2006	0,30	0,05	0,25	0,025
Dieselmotor	2011	0,20	0,05	0,18	0,005
Dieselmotor	2015	0,20	0,05	0,08	0,005

Hinzu kommt ab 2015 ein Grenzwert für die Partikelanzahl pro gefahrenen Kilometer
Die angegebenen Werte basieren auf den mittleren Messwerten im Typprüfverfahren. Das heißt, es sind Stadt- und Überlandverkehr sowie anteilige Kaltstarts enthalten. Diese Emissionswerte können deshalb ab einer Fahrstrecke von drei Kilometern Länge eingesetzt werden.

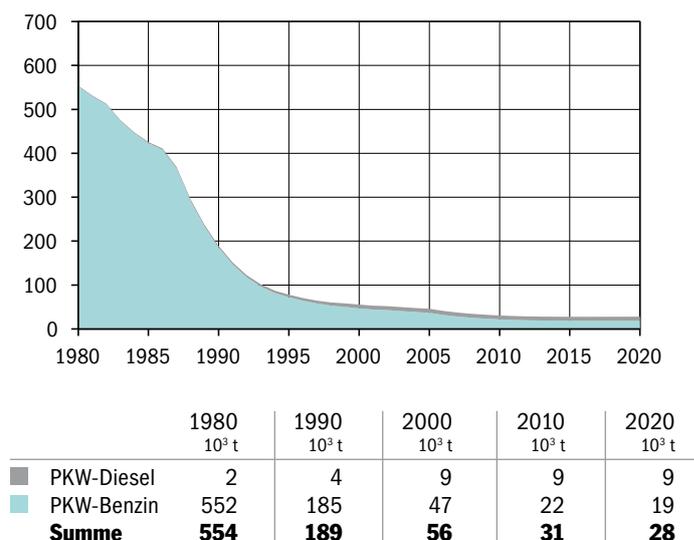
DIE TRENDS BEI DEN SCHADSTOFF-EMISSIONEN:

Die folgenden Grafiken zeigen die zeitliche Entwicklung bei den einzelnen Schadstoffarten.

KOHLENMONOXID (CO):

Durch den geregelten Katalysator und gezielte Motoroptimierung beim Benzinmotor sowie durch die steigende Anzahl an Dieselmotoren reduzieren sich die aus dem PKW-Verkehr stammenden CO-Emissionen zwischen 1980 und 2020 um mehr als 95 %!

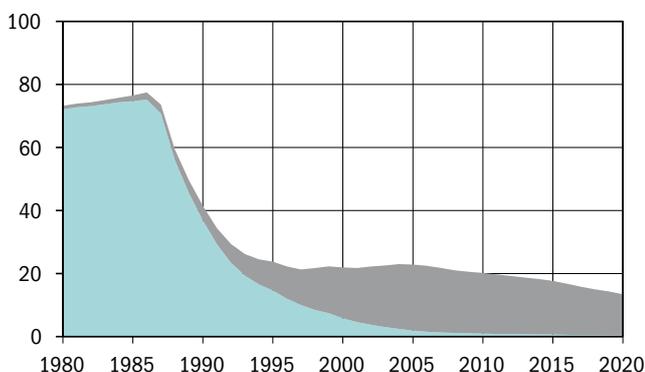
KOHLENMONOXID (CO)-EMISSIONEN
DES PKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³t)



STICKSTOFFOXIDE (NO_x):

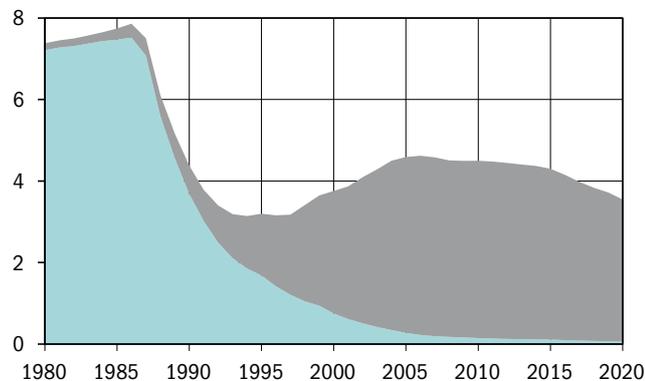
Von 1980 bis 2020 wird sich die Stickoxid-Belastung aus dem PKW-Verkehr trotz steigender Fahrzeugbestände um 80 % verringern. Als Verursacher werden aber die Benzinantriebe gänzlich in den Hintergrund treten und die Dieselantriebe für mehr als 95 % der PKW-Emissionen 2020 verantwortlich sein. Um der neu entstandenen Problematik der steigenden NO₂-Immissionskonzentrationen bei andererseits sinkendem NO_x-Ausstoß gerecht zu werden, wurde wiederum eine spezielle NO₂-Prognose für den Straßenverkehr erstellt, um etwas mehr Klarheit in die Angelegenheit zu bringen.

STICKSTOFFOXID (NO_x)-EMISSIONEN
DES PKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
PKW-Diesel	1,1	4,6	16,2	19,3	13,1
PKW-Benzin	72,1	36,8	5,8	0,9	0,3
Summe	73,2	41,5	21,9	20,2	13,4

STICKSTOFFDIOXID (NO₂)-EMISSIONEN
DES PKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



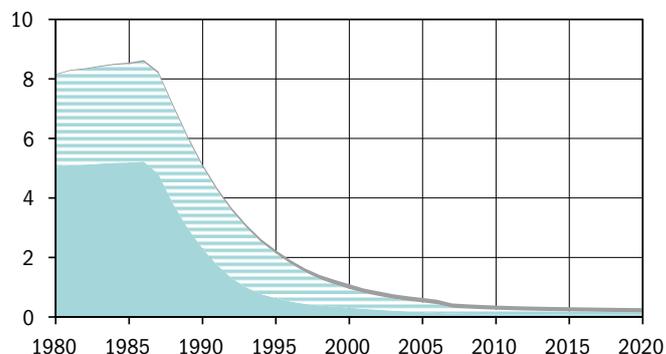
	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
PKW-Diesel	0,2	0,7	3,0	4,4	3,5
PKW-Benzin	7,2	3,7	0,7	0,1	0,1
Summe	7,4	4,4	3,8	4,5	3,5

Es zeigt sich deutlich, dass durch die Umstellung der Fahrzeuge auf Dieselantrieb, die nunmehr in einem hohen Prozentsatz mit Oxidationskatalysatoren ausgestattet sind, seit Mitte der 90er-Jahre ansteigende NO₂-Emissionen zu verzeichnen sind, die seit 2005 aufgrund der Euro IV-Abgasgrenzwerte wieder etwas sinken.

KOHLENWASSERSTOFFE (HC):

Die Einführung des Katalysators alleine bewirkt eine drastische Verringerung der HC-Emissionen der PKW und Kombis. Weiters ergab sich durch den höheren Dieselantrieb ebenfalls ein niedrigerer HC-Ausstoß.

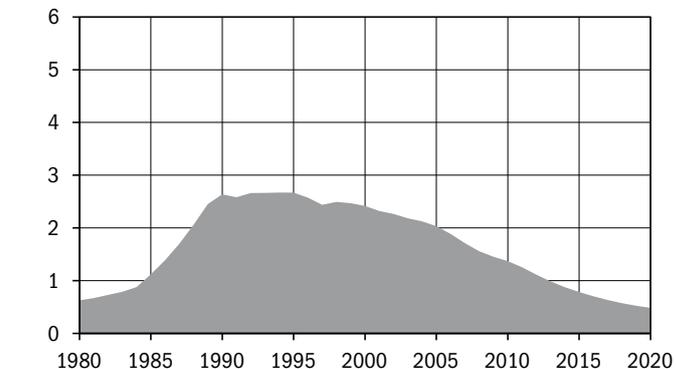
KOHLENWASSERSTOFF (HC)-EMISSIONEN
DES PKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
PKW-Diesel	0,3	0,8	1,5	1,4	1,4
PKW-Benzin	30,9	27,5	6,3	1,6	0,9
PKW-Benzin Verdunstung	50,4	23,1	3,2	0,9	0,7
Summe	81,6	51,3	11,0	3,9	3,0

PARTIKEL (PM):

Die Partikel zeigten bis 1995 einen sehr deutlichen Anstieg, der erst mit verschärften Grenzwerten abgefangen wurde.



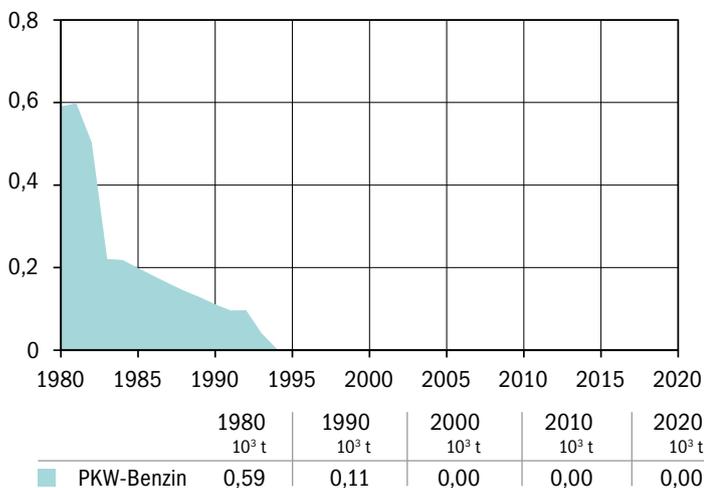
	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
PKW-Diesel	0,6	2,6	2,4	1,4	0,5

Mit einer weitgehend flächendeckenden Ausstattung der Diesel-PKW und LKW mit Partikelfiltern kann verhindert werden, dass 2020 der Partikelaustritt wieder auf dem Niveau von 1980 liegen wird.

BLEI:

Durch die Einführung bleifreier Benzin in den 80er-Jahren und durch die gänzliche Verbannung von Bleiverbindungen aus sämtlichen Kraftstoffen Anfang der 1990er-Jahre kann dieses Thema heute als erledigt betrachtet werden.

BLEI-EMISSIONEN
DES PKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³t)



LKW

ABGASGESETZGEBUNG:

Die Abgassituation bei Nutzfahrzeugen ist durch mehrere markante Entwicklungen geprägt. In den 90er-Jahren wurde erstmals eine europaweite Abgasgesetzgebung für LKW eingeführt.



Diese als Euro I-, Euro II- und Euro III-Grenzwerte bekannten Normen führten zu einer Reduktion bei Partikelemissionen von schweren LKW über 3,5 t. Ab dem Jahr 2005 galt die Euro IV-Norm, die ab 2009 durch Euro V abgelöst wurde. Diese Standards sind mit einer aufwändigeren Prüfmethode verbunden. Für das Jahr 2014 werden neuerliche Absenkungen im Bereich der NO_x- und Partikelemissionen durch Euro VI angestrebt.

Die zweite bemerkenswerte Entwicklung betrifft die leichten Nutzfahrzeuge. Einerseits wurden Ende der 80er-Jahre wie beim PKW die amerikanischen Abgasbestimmungen übernommen. Andererseits kam es zu drastischen Verlagerungen im Fahrzeugbestand hin zu dieselgetriebenen Fahrzeugen. In der folgenden Tabelle wird die Entwicklung der österreichischen und nunmehr europäischen Emissionsgrenzwerte für Diesel-LKW und Busse mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht gezeigt.

Diesel-LKW und Busse über 3,5 t					
Datum der Einführung	CO	HC	NO _x	PM	
	in g/km				
				<85kW	>85kW
1987	14	3,5	18,0	-	-
1988	11,2	2,8	14,4	-	-
1992	4,9	1,23	9,0	0,7	0,7
1994	4,9	1,23	9,0	0,7	0,4
1996	4,0	1,1	7,0	0,15	0,15
2000	2,0	0,6	5,0	0,1	0,1
2005	1,5	0,46	3,5	0,02	0,02
2009	1,5	0,46	2,0	0,02	0,02
2014	1,5	0,13	0,4	0,01	0,01

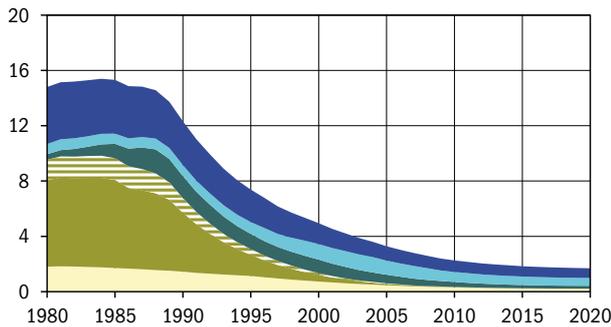
Grenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge und Busse mit Dieselmotor bis 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht in Österreich sind nachstehend aufgelistet.

Leichte Nutzfahrzeuge unter 3,5 t				
Datum der Einführung	CO	HC	NO _x	PM
	in g/km			
1990	6,2	0,5	1,43	0,373
1996	6,2	0,5	1,43	0,162
2000	0,80	NO _x + HC: 0,72		0,08
2005	0,63	NO _x + HC: 0,39		0,04
2011	0,63	NO _x + HC: 0,30		0,005
2016	0,63	NO _x + HC: 0,20		0,005

Die folgenden Grafiken zeigen, wie sich die Abgassituation zwischen 1980 und 2020 mit diesen neuen Vorschriften bei HC, NO_x, Partikeln und SO₂ entwickelt.

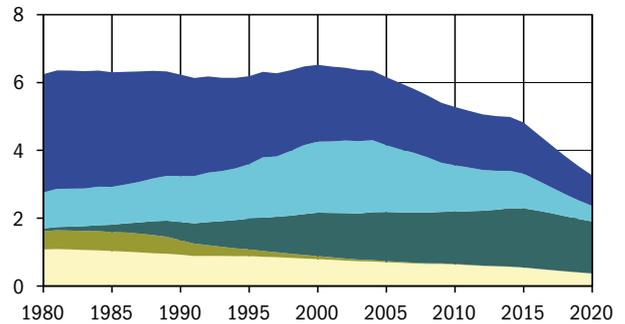
Auf die Darstellung der Kohlenmonoxid-Emissionen wird wegen der niedrigen Werte verzichtet.

KOHLENWASSERSTOFF (HC)-EMISSIONEN
DES LKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



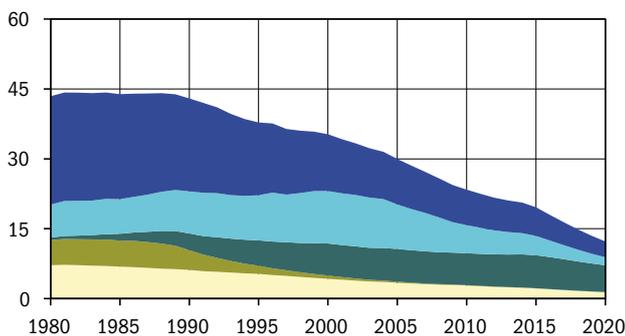
	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
LKW	4,1	3,2	1,5	0,8	0,7
Sattelzüge	0,7	0,8	1,1	0,7	0,6
Leichte LKW-Diesel	0,4	1,6	1,0	0,4	0,2
Leichte LKW-Benzin					
Verdunstung	1,5	1,1	0,1	0,0	0,0
Leichte LKW-Benzin					
Verbrennung	6,3	4,3	0,5	0,0	0,0
Busse	1,8	1,4	0,7	0,3	0,2
Summe	14,8	12,3	4,9	2,3	1,7

STICKSTOFFDIOXID (NO₂)-EMISSIONEN
DES LKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



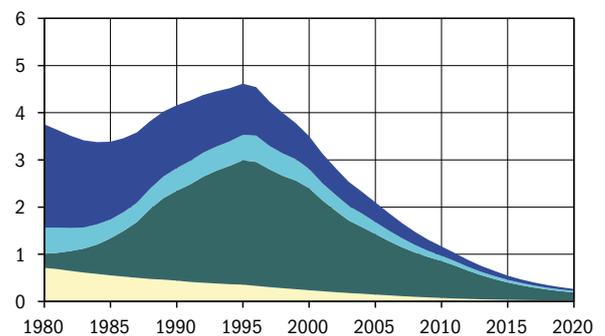
	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
LKW	3,5	3,0	2,3	1,7	0,9
Sattelzüge	1,1	1,4	2,1	1,4	0,5
Leichte LKW-Diesel	0,1	0,5	1,3	1,5	1,5
Leichte LKW-Benzin	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0
Busse	1,1	0,9	0,8	0,6	0,4
Summe	6,2	6,2	6,5	5,3	3,3

STICKSTOFFOXID (NO_x)-EMISSIONEN
DES LKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



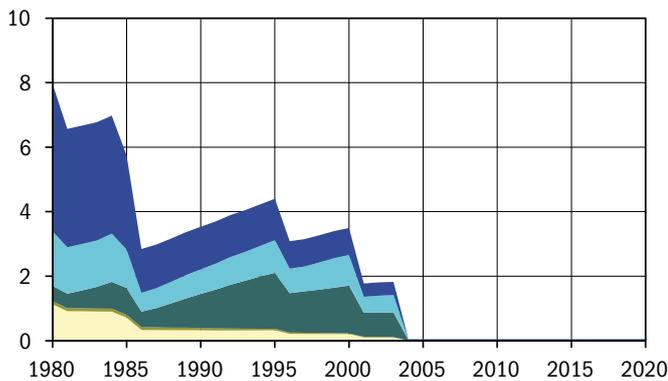
	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
LKW	23,3	19,9	12,2	7,6	3,4
Sattelzüge	7,1	9,0	11,3	6,0	1,7
Leichte LKW-Diesel	0,5	3,6	6,9	6,8	5,8
Leichte LKW-Benzin	5,4	4,2	0,7	0,1	0,0
Busse	7,2	6,2	4,3	2,8	1,4
Summe	43,4	43,0	35,3	23,4	12,3

PARTIKEL-EMISSIONEN
DES LKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³ t)



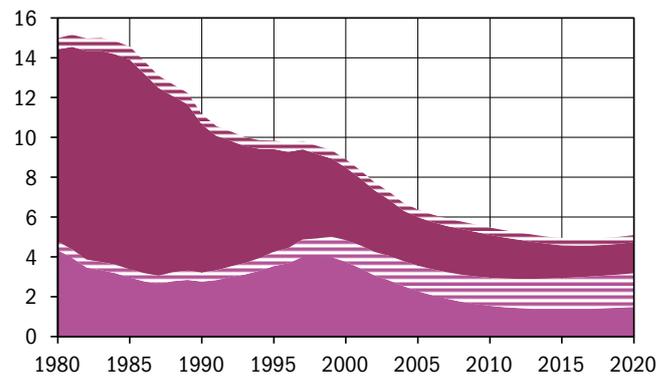
	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
LKW	2,2	1,3	0,7	0,2	0,0
Sattelzüge	0,6	0,5	0,4	0,1	0,0
Leichte LKW-Diesel	0,3	1,9	2,2	0,8	0,2
Busse	0,7	0,4	0,2	0,1	0,0
Summe	3,8	4,2	3,5	1,2	0,3

SCHWEFELDIOXID (SO₂)-EMISSIONEN
DES LKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³t)



	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
LKW	4,58	1,32	0,84	0,01	0,01
Sattelzüge	1,69	0,76	0,95	0,01	0,01
Leichte LKW-Diesel	0,48	1,05	1,48	0,03	0,04
Leichte LKW-Benzin	0,09	0,07	0,02	0,00	0,00
Busse	1,13	0,33	0,21	0,00	0,00
Summe	7,97	3,53	3,50	0,06	0,06

KOHLENWASSERSTOFF (HC)-EMISSIONEN
DES EINSPURIGEN KFZ-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³t)



	1980 10 ³ t	1990 10 ³ t	2000 10 ³ t	2010 10 ³ t	2020 10 ³ t
Mofas Verdunstung	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
Mofas Verbrennung	9,7	7,4	3,6	2,2	1,6
Motorräder Verdun.	0,4	0,5	1,1	1,4	1,7
Motorräder Verbr.	4,3	2,8	3,8	1,5	1,5
Summe	15,0	11,2	8,9	5,5	5,1

EINSPURIGE KFZ

Einen deutlichen Nachholbedarf gibt es – insbesondere aufgrund der steigenden Zulassungszahlen – bei diesen Fahrzeugkategorien, die bei Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen einen Abgasstandard wie PKW Anfang der 80er-Jahre aufweisen. Insbesondere die HC sorgen für unangenehme Geruchsemissionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen und sind Vorläufersubstanzen für die Ozonbildung.

Bei den Kleinmotorrädern kommt es zwar seit 1990 zu einer tendenziellen Schadstoffreduktion bei allen drei Schadstoffen. Trotzdem ist bei dieser Fahrzeugkategorie ebenfalls dringend Handlungsbedarf hinsichtlich niedrigerer zukünftiger Grenzwerte gegeben, da einspurigen Kfz gegenüber PKW die 30- bis 100-fachen HC-Emissionen je gefahrenem Kilometer aufweisen und damit zu erheblichen Umwelt- und Geruchsbelastungen führen!

Erst zwischen 2016 und 2020 werden halbwegs akzeptable Schadstoffgrenzwerte für Einspurige eingeführt.



VII. FÜR BESSERE LUFT: VIELE VORSCHLÄGE – VIELE FRAGEN

An mehr oder weniger kreativen Ideen, wie man den Abgasausstoß durch den PKW-Verkehr weiter reduzieren könnte, mangelt es wahrhaftig nicht. Schnell werden quantitative Maßnahmen wie beispielsweise Fahrverbote und noch niedrigere Tempolimits gefordert. Wichtig ist aber zu wissen, welche Erfolge mit den einzelnen Maßnahmen zu erzielen sind.

1. ZUKÜNFTIGE ABGASSTANDARDS

Die Vorteile der Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwerte liegen in der nachhaltigen Wirkung auch noch nach vielen Jahren, da diese in der gesamten Europäischen Union eingeführt werden. Sie müssen aber vom Fahrzeugkäufer finanziert werden. Der Grenzwert für NO_x der EU 2010-Abgasvorschrift (Euro V) liegt derzeit bei 0,06 g/km für Fahrzeuge mit Ottomotor, bei 0,18 g/km für Fahrzeuge mit Dieselmotor. Diese Maßnahme hat in etwa eine Halbierung der Emissionsfaktoren neu zugelassener PKW zur Folge.

Wünschenswert wäre, die Abgasvorschriften für möglichst alle Fahrzeug- und Antriebsarten zu harmonisieren, da es ansonsten, wie die Vergangenheit gelehrt hat, immer wieder zu einseitigen Änderungen der Käuferströme kommt. Ein weiterer Punkt ist die Adaptierung der Prüfmethode für den realen Einsatzbereich der Fahrzeuge, da die tatsächlichen Emissionen von den zertifizierten bereits erhebliche Abweichungen zeigen.

Im Laufe der Entwicklung früher Abgasstandards waren seit jeher die amerikanischen Vorschriften tief greifender und strenger als die europäischen. In den USA litten in den siebziger Jahren die Menschen vor allem in den Großstädten an der Westküste an den Abgasen und deren Folgen wie Smog. In Europa dauert es aufgrund der später einsetzenden Massenmotorisierung etwas länger. Auf diese Entwicklung wollten einige Staaten nicht warten und so übernahmen Schweden, die Schweiz und Österreich schon frühzeitig amerikanische Vorschriften, die schließlich zur Einführung von unverbleitem Kraftstoff und Katalysatoren führten.

In Kalifornien begann 2005 die verpflichtende Einführung von abgasfreien Autos (ZEV, Zero Emission Vehicles). Diese Vorschrift bedeutet, dass ein bestimmter Prozentsatz des Neufahrzeug-Angebotes Elektrofahrzeuge (Brennstoffzelle oder Batterie) sein müssen. Daran anknüpfende Vorschläge führten zu so genannte E-ZEV (Equivalent Zero Emission Vehicles). Diese Kategorie darf nicht mehr Abgasemissionen ausstoßen als ein Elektrofahrzeug, das über das Stromnetz mit Energie vom modernsten kalifornischen Gaskraftwerk aufgeladen wird. Diese Fahrzeuge haben nur mehr ca. ein Tausendstel der Abgasemissionen von Fahrzeugen vor 1987!

Der Zeitraum zur Einführung erstreckt sich nunmehr bis zum Jahr 2018, wobei einerseits der Prozentsatz von PZEV (Partial Zero Emission Vehicles) erhöht und durch eine Kategorie AT-PZEV (Advanced Technology PZEV) ergänzt wurde. Der Anteil der neu zugelassenen ZEV soll damit von 2003 bis 2018 von 10 % auf 16 % steigen, wovon die Hälfte der Fahrzeuge dem AT-PZEV-Standard entsprechen kann, der den SULEV- (Super Ultra Low Emission Vehicle) Abgasstandard beinhaltet. Europäische Hersteller liefern seit etwa zehn Jahren Fahrzeuge nach dem neuen amerikanischen AT-PZEV-Standard in die USA. Derzeit wird die Einführung von ZEV-Schwerfahrzeugen (Lkw und Busse) vorbereitet.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Einführung der so genannten On-board-Diagnose für emissionsrelevante Bauteile und Funktionsgruppen des Gesamtfahrzeuges nunmehr auch bei schweren Dieselfahrzeugen. Vereinfacht bedeutet dies, dass das Fahrzeug durch eine entsprechend intelligente Elektronik einer „permanenten §57a-Überprüfung“ unterzogen wird. Eine derartige Einrichtung bietet auch für den Fahrzeughalter erhebliche Vorteile. Beispielsweise kann durch den Anschluss eines Diagnosecomputers ein Großteil der aufgetretenen Defekte sofort im Fahrzeug lokalisiert werden. Auch bei der Pannenhilfe ist diese Einrichtung entsprechend sinnvoll.

Selbstverständlich müssen sämtliche relevanten Fehlercodes und Daten für qualifizierte Fachleute der Fachwerkstätten, Autofahrerclubs und technischen Überwachungsorganisationen zugänglich sein. Damit kann eine schnelle und effiziente Hilfe im Schadensfall sowie eine kostengünstige Analyse bei der „Pickerl-Überprüfung“ gewährleistet werden.

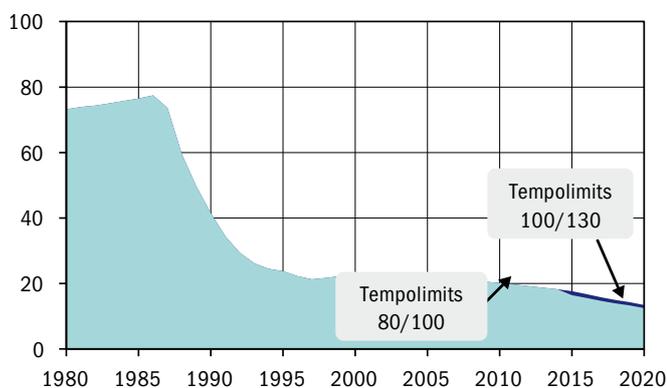
2. TEMPOLIMITS

Eine erstmals 1984 vorgeschlagene Maßnahme zur Schadstoffreduzierung ist die Einführung von Tempo 100 auf Autobahnen und Tempo 80 auf den übrigen Freilandstraßen.

Die folgende Grafik zeigt allerdings, dass ein derartiges Tempolimit die Verringerung von Stickoxiden bis zum Jahr 2020 kaum beeinflussen würde. Bezogen auf die gesamte Schadstoffbelastung unserer Luft, reduziert Tempo 80/100 die Kohlenwasserstoff-Emissionen (HC) gar nicht, NO_x um bestenfalls zwei Prozent. Dies hat auch damit zu tun, dass die hohen Verkehrsleistungen meist im Kolonnenverkehr erbracht werden und damit ohnehin bereits eine niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeit gefahren wird.



EINFLUSS VON TEMPOLIMITS AUF STICKSTOFFOXID (NO_x)-EMISSIONEN DES PKW-BESTANDES
(in 1000 Tonnen = 10³t)



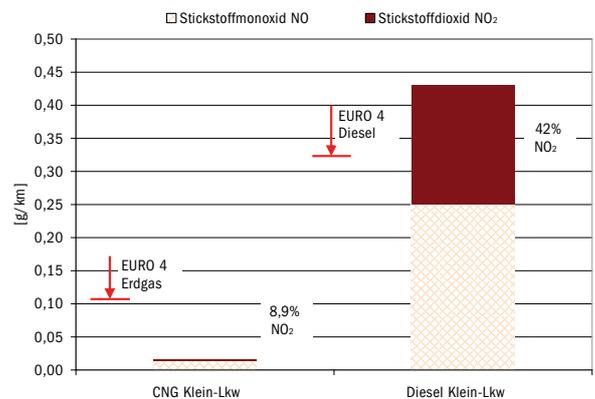
Betrachtet man eine weitere Absenkung von Tempolimits im Geschwindigkeitsbereich unter 50 km/h, dann muss sogar mit einer tendenziellen Zunahme aller Abgaskomponenten gerechnet werden. Tempo-30-Zonen können also auf bestimmten Strecken aus verkehrstechnischer Sicht (Unfallhäufigkeit, etc.) sinnvoll sein, aus umwelttechnischer Sicht sind sie eher kontraproduktiv.

3. UMWELTFREUNDLICHER GÜTERVERKEHR

Der Güterverteilverkehr in Städten stellt eine besonders rasch wachsende Verkehrskategorie dar. Er verursacht derzeit rund die Hälfte der Stickstoffoxid- und Partikel-Emissionen des Straßenverkehrs in Ballungsgebieten. Verteilfahrzeuge werden typischer Weise etwa 40.000 km pro Jahr im Stadtgebiet betrieben.

Ein privater PKW-Nutzer kommt auf gut 2000 km Stadtverkehr. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Umstellung von nur einem leichten Nutzfahrzeug auf sauberen Antrieb, wie beispielsweise Naturgas, einen Umwelteffekt wie zwanzig neue Privat-PKW aufweist. Entsprechende Forschungsarbeiten wurden bereits in Kooperation von ÖAMTC Akademie und TU Wien durchgeführt und haben durch umfangreiche Messserien am Prüfstand und im realen Straßenverkehr die Nachhaltigkeit der Maßnahme bestätigt, wie die nachfolgende Grafik zeigt.

NO_x-EMISSIONEN GÜTERVERTEIL-LKW



Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Güterfernverkehr auf Transitstrecken. Wie aus Luftgütemessungen an verkehrsnahen Monitoringstationen ersichtlich ist, kommt es praktisch nur wochentags zu hohen Belastungen. Aufwändige Messserien in Autobahntunnel, wie beispielsweise dem Tauerntunnel, die im zehnjährigen Abstand wiederholt wurden, zeigten, dass wochentags der Schwerverkehr für 90 % der Stickstoffoxid- und Partikelemissionen verantwortlich ist. Die begleitend durchgeführten, detaillierten Modellrechnungen des individuellen Schadstoffausstoßes der einzelnen Fahrzeugkategorien identifizierten die Sattelzug-LKW als wichtigste Emittenten.

Es ist also besonders wichtig, mittels einer gesamthaften Berücksichtigung aller Fahrzeugkategorien und Energieträger zu umweltfreundlichen und kostengünstigen Lösungen zu kommen.

4. PREMIUM- & BIODIESELSTOFFE

An bestimmten Tankstellen sind seit etwa zehn Jahren so genannte Bio-Kraftstoffe verfügbar. Die aus Sonnenblumen, Raps, Zuckerrüben, Weizen oder anderen landwirtschaftlichen Produkten gewonnenen Treibstoffe versprechen durch ihre Gewinnung aus Biomasse einen CO₂-neutralen Gesamtkreislauf.

Das durch die Verbrennung emittierte CO_2 wird beim Wachstumsprozess der Pflanzen von diesen zum Teil wieder aufgenommen. Ebenso kann aus den genannten Ausgangsstoffen Biomethan mit hohem Wirkungsgrad erzeugt werden.

Biomasse kann generell als Ausgangsstoff für die Produktion einer Reihe von flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen genutzt werden.

RME (RAPSMETHYLESTER) BIODIESEL

Rapsmethylester, besser bekannt als „Biodiesel“, wird aus der Ölpflanze Raps gewonnen und ist somit ein nachwachsender Rohstoff. Biodiesel ist biologisch rasch abbaubar und nicht Grundwasser gefährdend. Die Emissionswerte von Dieselmotoren sind mit Biosprit günstiger als beim Betrieb mit handelsüblichem Dieseltreibstoff aus Mineralöl. Um das Rapsöl haltbar zu machen, muss es chemisch behandelt werden („verestert“ - daher die Bezeichnung Rapsmethylester), was allerdings bewirkt, dass sich manche Kunststoffmaterialien, die mit dem Treibstoff in Berührung kommen, auflösen. Fahrzeuge, die mit RME betrieben werden sollen, müssen vom Fahrzeughersteller daher für den Betrieb mit RME freigegeben sein [20]. Über die genannten Schwierigkeiten hinaus müssen auch die Emissionen der Gesamtproduktionskette betrachtet werden. Da bei der Produktion von Biodiesel auch CO_2 -Ausstoß auftreten kann, sind Biokraftstoffe nicht vollständig CO_2 -neutral. Per gesetzlicher Regelung werden dem Dieseltreibstoff über 5 % Biodiesel beigemischt.

Zusätzlich zu diesen schon länger bekannten Treibstoffen sind seit kurzem von einigen Tankstellenketten Premiumsorten im Angebot. Inwieweit diese Kraftstoffe nun zur Reinhaltung unserer Luft beitragen und ob sich der Mehrpreis lohnt, hat auch der ÖAMTC getestet. Es zeigten sich bei den verschiedenen Schadstoffen teilweise sehr unterschiedliche Tendenzen hinsichtlich der Abgasemissionen.

BIO-ETHANOL

Herkömmliche Benzinmotoren lassen sich ohne allzu große Schwierigkeiten für den Mischbetrieb adaptieren. In Brasilien fährt ein beachtlicher Teil der Autos mit Ethanol – allerdings entsprechen sie nicht unbedingt unserem Emissionsstandard. Ethanol ist chemisch aggressiver, sodass für das Tanksystem neue Materialien und für den Motor neue Schmieröle entwickelt werden müssen.

Die technischen Probleme, wie z.B. schwieriger Kaltstart, sind zwar zum Teil gelöst, es tauchen aber andere Fragen auf, wie z.B. der doppelt so hohe volumetrische Verbrauch und das dadurch erforderliche größere Tankvolumen. Sinnvoller ist es daher, den in Europa bereits beschrittenen Weg der Beimischung von Alkoholen zu dem aus Erdöl gewonnenen Kraftstoff weiter zu beschreiten. Derzeit wird bereits ca. ein Zehntel sauerstoffhaltige Substanzen (überwiegend Alkohole) dem Benzin beigemischt. Das bedeutet, jedes zehnte Auto fährt indirekt mit Alkohol. Der Effekt ist damit deutlich höher als beim gänzlichen Umstieg kleiner Fahrzeugflotten auf Alkoholbetrieb [22].

5. ERDGAS

Eine weitere aktuelle Möglichkeit ist Erdgas, dessen Nutzung als Kraftstoff nennenswerte Vorteile verspricht. Es können durch die hohe Klopffestigkeit des Erdgasmotoren mit hoher Verdichtung und somit sehr guter Effizienz eingesetzt werden, was zu noch geringeren Verbräuchen als beim Dieselmotor führt.

AUFBAU EINES SERIENFAHRZEUGES MIT ERDGASANTRIEB



Foto: GM Europe

Gleichzeitig zeigen sich Vorteile beim Ausstoß von CO_2 , NO_2 und Partikeln [21]:

Auf Grund des effizienten Erdgasmotors und des geringeren Kohlenstoffanteils im Kraftstoff Erdgas kommt es unter realen Bedingungen bei monovalenten Motoren zu einem CO_2 -Einsparungspotential von rund 10 % gegenüber Dieselfahrzeugen. NO_x -Emissionen können unter die Nachweisbarkeitsgrenze gedrückt werden und Partikelemissionen treten praktisch nicht auf.

Zwar steht der Einsatz im Personen- und Transportverkehr in Österreich erst am Beginn, aber einige Flottenbetreiber im privaten wie auch im öffentlichen Verkehr haben bereits Fahrzeuge in Betrieb und sind vor allem von den geringeren Unterhaltskosten überzeugt [21].

Nachdem Erdgas üblicherweise nicht in flüssiger Form vorliegt, ist das Mitführen in hochkomprimierter Form (200 bar) als Compressed Natural Gas (CNG) notwendig, wodurch ein höherer Bauaufwand entsteht. Bei bivalenten Fahrzeugen muss mit zusätzlichem Gewicht gerechnet werden. Voraussetzung für einen vernünftigen und rentablen Einsatz ist selbstverständlich die Verfügbarkeit entsprechender Erdgastankstellen. Das Betanken der Fahrzeuge dauert bei so genannten „Fast fill“-Anlagen, die heute eingesetzt werden, etwa gleich lang wie bei der Betankung mit Diesel.

SERIENFAHRZEUG MIT ERDGASANTRIEB



Foto: Audi

Große Autofloten in Amerika, Neuseeland, Argentinien, Russland und zunehmend auch in Europa fahren bereits mit Erdgas. Spitzenreiter im internationalen Vergleich ist Italien. Mehr als 500.000 Fahrzeuge fahren dort bereits mit Erdgas. Praktisch alle großen KFZ-Hersteller wie etwa Opel, Fiat, Ford, Mercedes, Volvo, VW u. a. m. bieten bereits erdgasbetriebene Fahrzeuge an, die z.T. im bivalenten Betrieb (Benzin oder Erdgas) oder im monovalenten Betrieb (ausschließlich Erdgas) betrieben werden können. Selbstverständlich ist der Betrieb dieser Fahrzeuge mit bis zu 100 % Biomethan möglich. Das Netz von Tankstellen in Österreich wurde auf etwa 200 aufgestockt, womit Erdgas für Flottenbetreiber eine interessante Alternative ist. Insbesondere für den Schwerverkehr ist der Einsatz von verflüssigtem Methan (LNG, Liquefied Natural Gas) eine interessante Alternative. Die Speicherdichte ist ähnlich hoch wie bei konventionellen Kraftstoffen. Weltweit werden bereits 30 % des Naturgases in flüssiger Form gehandelt. Europa baut derzeit eine Versorgungsinfrastruktur auf.

6. HYBRIDANTRIEB

„Hybridantrieb“ steht für einen an sich intelligenten Gedanken: die Kombination von Elektro- und Verbrennungsmotor. Wenn schon das Batterieproblem das „reine“ Elektromobil in weitere Ferne verweist, warum dann nicht die spezifischen Vorteile des Elektromotors gezielt nutzen und sie dort einsetzen, wo der Verbrennungsmotor am wenigsten effizient arbeitet? Also: Im Stadtgebiet fährt man bei Stop-and-Go-Verkehr überwiegend abgasfrei mit Elektroantrieb, im Überlandbetrieb und auf Autobahnen kommt überwiegend der Verbrennungsmotor zum Einsatz. Zusätzlich ist eine hohe Gesamtleistung verfügbar, wenn beide Antriebe parallel geschaltet werden. Millionen Fahrzeuge sind weltweit bereits im Einsatz und werden vor allem in den USA vom Markt gut aufgenommen.

PKW MIT HYBRIDANTRIEB



Foto: Toyota

Eine weitere aktuelle Entwicklung stellen die so genannten Plug-in-Hybride dar. Sie verfügen über einen leistungsstarken Elektromotor, eine vergrößerte Batterie und können zusätzlich mit 220 Volt Strom aufgeladen werden. Damit werden alltägliche Fahrstrecken praktisch zur Gänze mit Elektroantrieb gefahren.

Die aktuellen Entwicklungen, die bereits am Markt angeboten werden – wie Toyota Prius, Mitsubishi Outlander, Volvo V60, Audi e-tron, VW Golf GTE –, haben als „Basismotorisierung“ einen abgas- und verbrennungsoptimierten Verbrennungsmotor und einen leistungsstarken Elektromotor. Alle Fahrzeugkonzepte haben sehr gute Marktchancen, da sie im Handling praktisch nicht von herkömmlichen Fahrzeugen zu unterscheiden sind und viel mehr Fahrspaß und Leistung bieten als frühere Hybridkonzepte. Freilich ist der technische Aufwand mit höheren Kosten verbunden, die die Automobilfirmen in der Markteinführungsphase mehr oder weniger an den Käufer weitergeben und erst mit einer größeren Serie sicherlich geringer werden.



AUFBAU EINES PKW MIT HYBRIDANTRIEB

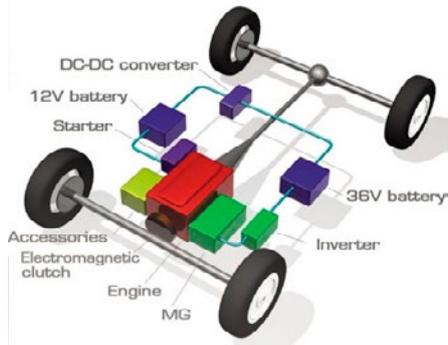


Foto: Toyota

Ein interessantes Spezialanwendungsgebiet für Hybridsysteme ist der Allradantrieb, der es gestattet, eine Achse mit einem Verbrennungsmotor und die zweite Achse mit einem Elektromotor anzutreiben, wobei das Verteilergetriebe entfällt. Gleichzeitig werden bei allen Hybridfahrzeugen auch eine Reihe anderer Kraftstoff sparender „Features“ verwendet, die auch in konventionellen Fahrzeugen Verwendung finden können: Start-Stop-Automatik, elektrische Servolenkungen, verbrauchoptimierte Klimaanlage etc. Generell ist ein Trend zu elektrischen Nebenaggregaten in Kraftfahrzeugen zu verzeichnen. Es kommt also der Elektroantrieb durch die „Hintertüre“ in die neuen Fahrzeuge. Die enorm gestiegene Leistungsdichte der Elektromotoren und die bessere Regelbarkeit treiben die Entwicklung voran.

7. BRENNSTOFFZELLE UND WASSERSTOFF

Ein weiteres, derzeit mit hohem Entwicklungsaufwand vorangetriebenes Antriebskonzept ist die Brennstoffzelle für den Fahrzeug-einsatz. Dabei wird die kontrollierte Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zur Stromerzeugung genutzt. Brennstoffzellen-Fahrzeuge verfügen über Elektroantrieb und teilweise Pufferbatterien oder Hochleistungskondensatoren. Blickt man einige Jahrzehnte in die Zukunft, so bietet sich die Wasserstofftechnologie als möglicher Ersatz für unsere heutigen Brennstoffe an.

Wasserstoff ist das im Universum am häufigsten vorkommende Element. Auf der Erde existiert es nicht in reiner Form. Aufgrund seiner Reaktionsfreudigkeit bildet es jedoch eine große Anzahl von Verbindungen, deren bekannteste das Wasser ist. Es ist daher fast in unerschöpflichem Ausmaß vorhanden.

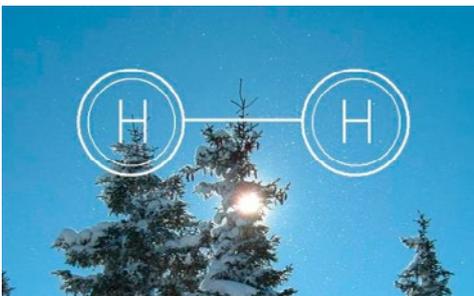


Foto: E. PUCHER

Wasserstoff als Autoantrieb hat den enormen Vorteil, dass er von herkömmlichen Erdölquellen unabhängig ist und aus einer Vielzahl von umweltfreundlichen Energiequellen, die auch diskontinuierlich anfallen können, wie beispielsweise Windkraft und Solarenergie, gewonnen werden kann. Wasserstoff kann durch Elektrolyse, d.h. elektrolytische Zerlegung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff, hergestellt werden.

Das Prinzip der Brennstoffzelle ist denkbar einfach: Wasserstoff wird mit Sauerstoff aus der Luft in einer Brennstoffzelle oxidiert, und es bildet sich lediglich reiner Wasserdampf als Abgas. Dabei entstehen durch die sehr niedrige Reaktionstemperatur von unter 100°C keinerlei Schadstoffe.

AUFBAU EINES PKW MIT WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENANTRIEB



Foto: Toyota

Derzeit aufgebaute Brennstoffzellenantriebe lassen sich bereits wie ein herkömmlicher Verbrennungsmotor (inklusive Getriebe- und Motorsteuerung) in das Fahrzeug integrieren.

Die wesentlichen Probleme beim Wasserstoff:

- ▶ Da er unter normalen Bedingungen gasförmig ist, entsteht bei der Speicherung ein erhöhter technischer Aufwand. Wie soll also der Wasserstoff im Fahrzeug gespeichert werden? Da Wasserstoff erst unter -250°C flüssig wird, ist eine Speicherung in Tieftemperaturtanks eine Möglichkeit, aber mit Verlusten durch Erwärmung verbunden. Bei der Verwendung gasförmiger Speicher ist die Energiedichte nicht so hoch wie in flüssiger Form, allerdings sind die Verluste in Standzeiten geringer. Vorserienfahrzeuge verschiedener Hersteller werden heute zu einem hohen Anteil mit Druckgastanks, die bereits mit 700 bar befüllt werden, betrieben. Damit sind Reichweiten von 400 km unter realen Bedingungen zu erreichen. So genannte Metallhydridspeicher sind derzeit weniger „im Rennen“ und werden überwiegend im stationären Bereich und bei U-Booten angewendet.



- Da Wasserstoff in der Natur ungebunden nicht vorkommt, ist zur Erzeugung aus Wasser Energie notwendig, was den Wasserstoff sehr teuer macht. Dem gegenüber steht die Chance, in Verbindung mit regenerativen Stromerzeugungsmethoden eine extrem umweltfreundliche Energiekette aufzubauen. Die meisten regenerativen Energiequellen auf der Erde wie Windkraft, Wasserkraft oder Solarenergie sind starken zeitlichen Schwankungen unterworfen und so für eine Einspeisung von Strom in elektrische Netze nur bedingt geeignet. Zusätzlich sind die Energiedichten in oftmals weit von den Ballungsräumen entfernten Gebieten am höchsten. So würde es sich anbieten, Wasserstoff lokal zu erzeugen und diesen dann erst zu transportieren. Die Potentiale für Emissionsreduktionen sind damit aber enorm. In Deutschland wird bereits an einer „Wasserstoff-Autobahn“ gearbeitet.

BRENNSTOFFZELLEN-ANTRIEBSEINHEIT FÜR EINEN PKW



Foto: GM Europe

BRENNSTOFFZELLE

In der Brennstoffzelle wird die kontrollierte Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt, der einen Elektromotor treibt. Dies stellt im Prinzip die Umkehrung der Elektrolyse dar. Wasserstoff und Sauerstoff sind in der Brennstoffzelle durch eine Polymer-Membrane getrennt.

Das Wasserstoffatom ist vom Aufbau her das einfachste Atom, das es gibt: ein Elektron und ein Proton. Durch die Poren der Membrane gelangt kein Gas, die Poren sind aber groß genug, um ionisierten Wasserstoff, d.h. die Protonen, durchzulassen und gleichzeitig die Elektronen zurückzuhalten. Diese Membrane, die auf beiden Seiten mit einer dünnen Katalysatorschicht und einer gasdurchlässigen Elektrode aus Graphitpapier beschichtet ist, wird daher auch als Proton Exchange Membrane (PEM) bezeichnet.

Sauerstoff und ionisierter Wasserstoff verbinden sich zu Wasser. Gleichzeitig entsteht zwischen den beiden Elektroden eine Potentialdifferenz (Spannung). Auf der Wasserstoffseite sammeln sich Elektronen an, während es auf der Sauerstoffseite eine positive Ladung gibt. Verbindet man die beiden Elektroden miteinander, fließt ein Gleichstrom. Mehrere solcher Brennstoffzellen sind zu „Stacks“ zusammengeschaltet.

FUNKTIONSPRINZIP EINER BRENNSTOFFZELLE

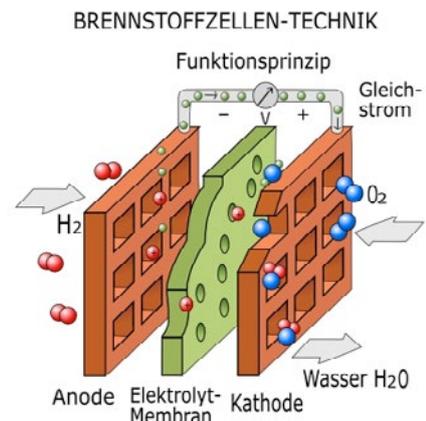


Foto: Wikipedia Enzyklopädie

WASSERSTOFF BETANKUNGSINFRASTRUKTUR

Erfreulicherweise nimmt Österreich durch die Initiative der OMV für den Aufbau eines Wasserstoff-Tankstellennetzes mit eine Spitzenposition in Europa ein. Bereits 2012 wurde die erste öffentliche H₂-Tankstelle in Wien eröffnet. Weitere folgen in nächster Zeit.



Foto: E. Pucher

Damit wird einer energiesicheren und abgasfreien Mobilitätszukunft der Weg geebnet!

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Pucher, E.: Skriptum zur Vorlesung „Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen“, TU Wien, V.3.03, Wien 2012
- [2] Stroh, K.: Benzol, Umweltberatung Bayern im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2004
- [3] Spangl, W.; Nagl, C. et al: Jahresbericht der Luftgütemessungen 2012, Umweltbundesamt (Hrsg.), Wien 2013
- [4] Stenitzer, M.: Nano Particle Formation in the Exhaust of Internal Combustion Engines, Diplomarbeit, IVK, TU Wien, Wien 2003
- [5] Lutz, M.: Erster Versuch einer Quellzuordnung für PM10 in Berlin, „PMx-Quellenidentifizierung“ am 12./13.9.01 in Duisburg, Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), Nordrhein-Westfalen, 2001
- [6] Pucher, E.; Puxbaum, H.; Schmid, H.: Tauerntunnel Air Quality Measurement 1997 - Verification of the Modelling by Measured Results. Report of the institute for internal combustion engines and thermodynamics. Volume 76, Page 273-286, Graz 1999
- [7] Pucher, E.; Lenz, H.P.; Kohoutek, P.: Man made air Pollution and emission trends in the new Europe, Vortrag, 4th International Conference on Vehicle and Traffic Systems Technology, EAEC, S. 313-332, 16-18 June, Strasbourg 1993
- [8] Augustyn, R.; Riess, P.; et al: Jahresbericht 2012 – Luftgütemessungen der Umweltschutzabteilung der Stadt Wien gemäß dem Immissionsschutzgesetz Luft, MA 22, Wien 2013
- [9] Janik, D.: Warten auf die Ozonwerte, Umweltpolitik, UMWELT, 11/1994
- [10] Datenquelle: EMEP, Cooperative Program for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe, Web Datenbank, <http://www.emep.int/>, Stand vom 20.3.2005
- [11] N.N.: IPCC Assessment Report 5 final draft – Working Group III – Mitigation of Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014
- [12] Anderl, M.; et al: Austria's National Inventory Report 2014, Umweltbundesamt (Hrsg.), ISBN 978-3-99004-280-9 ,Wien 2014
- [13] Eichelseder, H.; Hausberger S.: Entwicklung von Luftschadstoffemissionen aus dem Verkehr bis 2010 und Abschätzung von Maßnahmenwirkungen, IVT, TU Graz, Graz 2003
- [14] Anderl, M.; Gangl, M. et al: Emissionstrends in Österreich 1990-2011, Umweltbundesamt (Hrsg.), Wien 2013
- [15] Bittermann, W.: Energiebilanzen Österreich 1970 bis 2012, Statistik Austria, Wien 2014
- [16] Bittermann, W.: Energetische Energiebilanz 1970-2012, Statistik Austria, Wien 2014
- [17] N.N.: Global air pollution map produced by Envisat's SCIAMACHY. University of Heidelberg's Institute of Environmental Physics Satellite Group. 2005
- [18] Anderl, M.; Banko, G.: et al: Zehnter Umweltkontrollbericht, Umweltbundesamt (Hrsg.), Wien 2013
- [19] Fischer, G.; Kvapil, G.: Statistik der Kraftfahrzeuge, Statistik Austria (Hrsg.), Wien 2007
- [20] Kurzweil, A.; Lichtblau, G.; Pözl, W.: Einsatz von Biokraftstoffen und deren Einfluss auf die Treibhausgasemissionen in Österreich, Umweltbundesamt (Hrsg.), Wien 2003
- [21] Pucher, E.; Müller J.: Sauberer Güterverkehr in Wien, „Ökologische und ökonomische Effizienz der Fahrzeuge: Opel Combo 1.7 CDTi - Diesel / 1.6 CNG / 1.4i - Benzin“, Wien 2004
- [22] Geringer, B.: „Kurz- und mittelfristiger Einsatz von alternativen Kraftstoffen“, MTZ extra 12/2006; S. 30 - 35.

VERWENDETE LITERATUR ZU KAPITEL IV:

- Health Effect Institute: Diesel exhaust: A critical analysis of emissions, exposure and health effects, Health Effect Institute, Cambridge, MA, 1995
- J. Ferin, G.; Oberdörster; D.P. Penney: Pulmonary retention of ultra-fine and fine particles in rats, Am J Respir Cell Mol Biol 6; 535-542, 1992
- Oberdörster, G.: Lung particle overload: implications for occupational exposures to particles, Regul Toxicol Pharmacol 27: 123-135, 1995
- Toxikologisch Arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten. Herausgeber: Prof. Dr. H. Greim. VCH-Weinheim 1996
- Nowak, D.: Klinisch experimentelle und epidemiologische Untersuchung zur Wirkung irritativer Berufs- und Umweltnoxen auf den Atemtrakt, Habilitationsschrift, Hamburg 1995
- Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, Anonymous Health Effects of Outdoor Air Pollution, Am. J. Respir. Crit. Care Med, Vol 153 (1): pp 3-50, 1996

IX. INTERNETLINKS

LUFTGÜTEINFORMATIONEN

Umweltbundesamt Wien
<http://www.umweltbundesamt.at>

Stadt Wien – Umweltschutzabteilung
<http://www.magwien.gv.at/ma22/luftgue.html>

Land Niederösterreich
<http://www.noel.gv.at/Umwelt/Luft.html>

Land Oberösterreich
<http://www.ooe.gv.at/umwelt/luft/luftguet/>

Land Salzburg
<http://www.salzburg.gv.at/themen/nuw/umwelt/luftreinigung.htm>

Land Steiermark
<http://www.umwelt.steiermark.at/>

Land Tirol
<http://www.tirol.gv.at/luft/index.html>

Land Burgenland
<http://www.luft-bglid.at/>

Land Kärnten
<http://www.verwaltung.ktn.gv.at/>

Land Vorarlberg
http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/umwelt_zukunft/umwelt_umweltinstitut/start.htm

Deutschland – Umweltbundesamt
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/schadsto.htm>

Schweiz – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_luft/index.html

WEITERE LINKS

ÖAMTC
<http://www.oeamtc.at>

BM f. Verkehr, Innovation und Technologie
<http://www.bmvit.gv.at>

BM f. Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
<http://www.bmu.gv.at>

Technische Universität Wien
<http://www.tuwien.ac.at>

Österreichische Energieagentur
<http://www.energyagency.at/>

Wirtschaftskammer Österreich
<http://www.wk.or.at/>



IMPRESSUM:

MEDIENINHABER/VERLEGER: ÖAMTC, Schuberttring 1-3, 1010 Wien
VERLAGS- UND HERSTELLUNGSORT: Wien

AUTOREN:

ao. Univ.-Prof. Dr. techn. Ernst Pucher

Kapitel III: Prof. Dr. Hugo Rüdiger

Mitwirkende an der vorangegangenen Auflage:

Dr. Christine Zach, Dr. techn. Alexander Sekanina, Dipl.-Ing. Otto Kelch

Copyright bei den Autoren. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des Medieninhabers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Redaktion: Dr. techn. Max Lang

ISBN: 978-3-200-03836-3



Ein gutes Gefühl, beim Club zu sein.