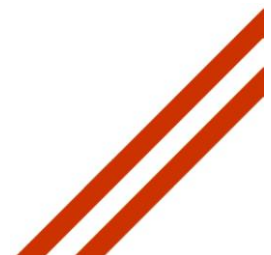




# LITERATUR ZU EMISSIONEN VON DIESELMOTOREN BEI BETRIEB MIT FOSSILEN UND BIOGENEN KRAFTSTOFFEN

**Manfred Wörgetter**  
**Ewald Luger**

Heft Nr. 51 / Mai 2009





# **Literatur zu Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit fossilen und biogenen Kraftstoffen**

Mai 2009

Manfred Wörgetter  
Ewald Luger  
FJ-BLT Wieselburg, Österreich

Erstellt für die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. im Rahmen des Projekts

„Wissenschaftliche Untersuchung: Emissionen bei der motorischen Verbrennung von Biokraftstoffen und Kraftstoffmischungen“

Subvertrag „Sichtung der Fachliteratur“

# Impressum

Hofrat Dipl.-Ing. Manfred Wörgetter und Dipl.-Ing. Ewald Luger

HBLFA Francisco Josephinum  
BLT Biomass – Logistics – Technology



Mai 2009

ISBN 978-3-902451-06-4

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt BLT 08 2288 „Übersicht über die Literatur zu Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit fossilen und biogenen Kraftstoffen“

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis der Arbeiten im Rahmen des Subvertrags „Sichtung der Fachliteratur“ in dem von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. beauftragten Projekt „Wissenschaftliche Untersuchung: Emissionen bei der motorischen Verbrennung von Biokraftstoffen und Kraftstoffmischungen“. Für das Gesamtprojekt zeichnet das Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz verantwortlich, Projektleiter war Dr. Jürgen Blassnegger.

Alle Rechte gehören dem Auftraggeber, der Fachagentur Nachwachsende Rohstoff e.V., Güstrow bei Gülzow, Deutschland.

Mit dem Agrarrechtsänderungsgesetz 2004 (BGBl. Nr. 83/2004) wurden die Höhere landwirtschaftliche Bundeslehranstalt Francisco-Josephinum in Wieselburg und die Bundesanstalt für Landtechnik in Wieselburg mit 1. Jänner 2005 zur „**Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Landtechnik und Lebensmitteltechnologie Francisco Josephinum in Wieselburg**“ zusammengeführt. Die Kurzbezeichnung „BLT“ steht für den F & E Bereich Biomass – Logistics – Technology der HBLFA Wieselburg. Der Aufgaben- und Wirkungsbereich hat sich gegenüber der ehemaligen Bundesanstalt für Landtechnik (BLT) nicht verändert.

Rottenhauser Straße 1  
AT 3250 Wieselburg  
AUSTRIA

Tel.: +43 (0)7416 52175-0  
Fax: +43 (0)7416 52175-45  
E-Mail: [blt@josephinum.at](mailto:blt@josephinum.at)

Liste aller bisherigen Forschungsberichte von FJ-BLT Wieselburg:

<http://blt.josephinum.at/index.php?id=963>

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ABSTRACT</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>EXECUTIVE SUMMARY</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>DEFINITIONEN UND ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>GEGENSTAND, ZIEL UND METHODE DER BEARBEITUNG</b> .....	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>DIESELABGASE UND KREBS - ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE STUDIEN</b> .....	<b>12</b>
6.1	Einführung .....	12
6.2	Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust/ EPA (2002) [7] .....	13
6.3	HEI Air Toxics Review Panel (2007) [21].....	18
6.4	Predicting rodent carcinogenicity from the AMES Salmonella assay (1997) [40].....	21
6.5	A review of the mutagenicity and rodent carcinogenicity of ambient air (2007) [39] .....	22
6.6	Gesundheitlicher Auswirkungen von Partikelfiltern in Deutschland (2003) [33] .....	23
6.7	Liste der krebserzeugenden Stoffe des BGIA (KMR-Liste).....	23
6.8	Zusammenfassung .....	24
<b>7</b>	<b>EMISSIONEN BEI BETRIEB MIT PFLANZENÖL UND FAME</b> .....	<b>26</b>
7.1	Einleitung .....	26
7.2	Übersicht über Ergebnisse relevanter Arbeiten.....	26
7.3	Zusammenfassung .....	37
<b>8</b>	<b>INSTITUTIONEN UND EXPERTEN</b> .....	<b>39</b>
8.1	Projektpartner .....	39
8.2	Umwelttoxikologische Institutionen und Experten in Deutschland .....	39
8.3	Institutionen in Deutschland, die mit Emissionen von Biotreibstoffen befasst sind .....	43
8.4	Institutionen und Experten in Österreich .....	45
<b>9</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN</b> .....	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>DANK</b> .....	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>QUELLEN</b> .....	<b>51</b>
<b>12</b>	<b>WEITERE PUBLIKATIONEN</b> .....	<b>57</b>
<b>13</b>	<b>GEGENÜBERSTELLUNG WESENTLICHER ERGEBNISSE VON MUTAGENITÄTSTESTS</b> .....	<b>59</b>



## 1 ABSTRACT

FJ-BLT hat im Rahmen des Auftrags der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. „Wissenschaftliche Untersuchung: Emissionen bei der motorischen Verbrennung von Biokraftstoffen und Kraftstoffmischungen“ eine Übersicht über die Literatur zu Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit fossilen und biogenen Kraftstoffen erstellt. Der Bericht beginnt mit einer allgemeinen Einführung über Dieselmotoren und die Markteinführung von Biotreibstoffen, beschreibt das Ziel und die Methode der Erhebung, geht auf die Ergebnisse relevanter Studien über Dieselabgase und Krebs sowie andere Effekte von Dieselemissionen auf die menschliche Gesundheit ein und behandelt auch die Frage des quantitativen Zusammenhangs zwischen den Ergebnissen von Mutagenitätstests und der Tumorbildung. Des Weiteren ist eine umfangreiche Aufstellung von Untersuchungen der Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit Pflanzenöl und Fettsäuremethylester enthalten. Ergänzt wird der Bericht mit einer Aufstellung über einschlägige Institutionen und Experten in Deutschland und Österreich. Die wesentlichsten Ergebnisse sind eingangs in einer „Executive Summary“ zusammengefasst.

Die CD-Version des Berichts enthält alle verfügbaren Literaturquellen, die hinterlegten Links führen direkt zu den Originalarbeiten auf der CD und fallweise auch im Internet. Bei den Quellen wird zwischen Arbeiten mit wissenschaftlichem Charakter und Artikeln in populären Publikationen unterschieden.

## 2 EXECUTIVE SUMMARY

**Der Dieselmotor ist die Wärmekraftmaschine mit dem besten Wirkungsgrad** und hat als Antrieb für schwere Nutzfahrzeuge eine Monopolstellung. In PKWs ist ihm in den letzten Jahrzehnten europaweit der Durchbruch gelungen. Durch die hohe Effizienz kann er zur CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen.

**Der Dieselmotor ist aber auch Gegenstand von Kritik** bezüglich Stickoxid- und Partikelemissionen. Die Produkte der unvollständigen Verbrennung sind ein Gemisch aus gasförmigen, flüssigen und festen Substanzen und enthalten u. a. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Durch die Vorgaben der Gesetzgebung in Europa sind die Emissionen deutlich gesunken und werden in den nächsten Dekaden um Größenordnungen weiter absinken.

Ende der 70er Jahre wurde gezeigt, dass ein Langzeitbetrieb von Dieselmotoren mit reinem Pflanzenöl nicht möglich ist. Zu Beginn der 80er Jahre wurde nachgewiesen, dass Fettsäuremethylester für handelsübliche Dieselmotoren geeignet sind. Dabei wurden auch die Emissionen von mutagen und kanzerogen wirkenden Substanzen ohne Hinweise auf ein erhöhtes Risiko untersucht. Durch die Öffnung der Europäischen Dieselmotornorm für eine Beimengung von 5 % Biodiesel konnte Fettsäuremethylester am europäischen Treibstoffmarkt eingeführt werden.

Die Steuerbegünstigung für Biotreibstoffe hat in Deutschland das Interesse an Pflanzenöl als Treibstoff für modifizierte Dieselmotoren geweckt. Wissenschaftliche Untersuchungen haben auf das Risiko mutagener Effekte der Abgase hingewiesen. Um diesbezüglich eine breite Datenbasis aufzubauen, hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe ein Untersuchungsprogramm „Emissionen bei der motorischen Verbrennung von Biokraftstoffen und Kraftstoffmischungen“ ausgeschrieben.

**Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, die einschlägige Fachliteratur zu sichten** und eine Übersicht über Institutionen und Fachleute auf diesem Gebiet zusammen zu tragen. Im speziellen werden relevante Arbeiten über mutagene Wirkung von Biotreibstoffen für Dieselmotoren erfasst. Die Ergebnisse basieren auf eigenen Arbeiten, Recherchen im Internet, telefonischen Befragungen von Experten und auf den Gesprächen mit den Partnern im Projekt. Da über die genotoxische Wirkung von Dieselabgasen bei Betrieb mit Biotreibstoffen wenige Daten vorliegen, wurde eine Übersicht über Arbeiten zu Emissionen bei Betrieb mit Pflanzenöl und Fettsäuremethylester zusammengestellt.

Die mutagene Wirkung von Abgasen des Dieselmotors waren in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts Gegenstand mannigfacher Diskussionen. Unter anderem wurde darüber in einem Kolloquium der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft umfangreich berichtet. Seither wurde eine lange Reihe wissenschaftlicher Arbeiten publiziert. Mit der Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft haben sich in Europa die Bemühungen auf die Minderung der Stickoxide und Partikelbelastung konzentriert, wobei der Feinstaub besondere Beachtung gefunden hat.

**Die Studie der EPA aus dem Jahr 2002** ist das weltweit umfassendste Dokument über die Gefährdung des Menschen durch Dieselabgase. Dieselabgase, eine Mischung von gasförmigen, flüssigen und festen Anteilen, tragen zur Belastung der Umwelt durch Stickoxide und Feinstaub sowie andere toxische Stoffe bei. Eine langzeitige Inhalation beim Menschen kann wahrscheinlich Lungenkrebs auslösen und schädigt in Abhängigkeit von der Exposition die Lunge auch auf andere Art. Kurzzeitige Exposition kann Reizungen und Entzündungen vorübergehender Art bewirken. Bestehende Allergien und Asthmasymptome können verschlimmert werden. Obwohl die potentielle Gesundheitsgefährdung durch

Dieselabgase evident ist, bestehen viele Unsicherheiten bezüglich der Daten und der Mechanismen der Schädigung von menschlichen und tierischen Organismen.

Die Emissionen von Dieselmotoren variieren signifikant in Abhängigkeit von der Motorbauart, dem Betrieb und der Art des Kraftstoffs. Eine besondere Rolle spielt der Entwicklungsstand der Motoren. Die Schlussfolgerungen über die Gesundheitsgefährdung beziehen sich auf Dieselmotoren, die vor Mitte 1990 gebaut und in den USA eingesetzt wurden. Daten über die Risiken bei modernen Dieselmotoren mit wesentlich geringeren Emissionen liegen für eine Risikoabschätzung nicht in ausreichendem Maß vor.

Mit den verfügbaren Testsystemen werden Wirkungen untersucht, die für gewisse Aspekte der Tumorbildung relevant sein können. Einschlägige Agenturen werten diese Tests als nützlich für die Identifizierung von Risiken für die menschliche Gesundheit. Inhalationsstudien zeigen bei Ratten signifikante Steigerung bei Lungenkrebs, lassen aber keine eindeutigen Schlüsse über Risiken für den Menschen bei geringerer Belastung zu. Die Effekte bei den Ratten werden durch die Überladung der Lunge durch hohe Konzentrationen bewirkt. Mit Konzentrationen in dieser Höhe ist bei Menschen nicht zu rechnen.

Beim Stand des Wissens ist es nicht wahrscheinlich, dass Dieselabgase ein Risiko für die Reproduktion beim Menschen darstellen. Bei Versuchen mit Nagetieren wurden keine teratogene, fötotoxische oder andere Reproduktionseffekte beobachtet. Hohe Belastungen haben aber zu Auswirkungen auf die Spermien von Hamstern und Ratten geführt. Da mittlerweile eine Reihe von Studien zu diesem Thema veröffentlicht wurden, sollte die Bewertung aktualisiert werden.

Die Studie schließt, dass die Emissionen von Dieselmotoren „durch Inhalation wahrscheinlich krebserregend sind“. Anzeichen deuten darauf hin, dass bei Berufstätigen, die mit Dieselabgasen belastet sind, eine Verbindung zwischen der Belastung und höherem Lungenkrebsrisiko besteht. Wenn auch diese Berufsgruppenstudien einen kausalen Zusammenhang zwischen Belastung und Lungenkrebsrisiko zu bestätigen scheinen, reichen die Ergebnisse jedoch für die Schlussfolgerung, dass Dieselabgase definitiv krebserregend sind, nicht aus. Somit reichen die verfügbaren Daten auch nicht aus, für Dieselabgase das Krebsrisiko quantitativ abzuschätzen. Annahmen, dass für chronische Effekte Grenzwerte der Belastung durch kumulative Dosen bestehen und dass irreversible und nicht auf Schwellenwerte bezogene spezifische Effekte die Entstehung von Lungenkrebs bewirken, erscheinen vernünftig und umsichtig.

**Das Health Effect Institute (HEI) hat 2007 das Air Toxics Review Panel mit einem Literaturreview** über die Auswirkung von Dieselabgasen auf die menschliche Gesundheit beauftragt. Das HEI ist eine Non-Profit-Forschungsgesellschaft und hat das Ziel, qualitativ hochwertige, unparteiische und wissenschaftlich relevante Arbeiten über die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die Gesundheit bereitzustellen. Üblicherweise erhält das HEI die Mittel zur Hälfte von der EPA und der weltweiten Fahrzeugindustrie. Der Review aktualisiert die Ergebnisse der EPA-Studie aus 2002.

Schätzungen gehen von 3 bis 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Dieselpartikel in der Umgebungsluft aus, während Berufstätige mit 10 bis 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  belastet sein können. Die höchsten Konzentrationen von 100 bis 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  findet man in Bergwerken. In allen Studien wurden Dieselabgase als „möglicherweise beim Menschen krebserregend“ bezeichnet, wobei die Bewertung mit den Ergebnissen von epidemiologischen Studien, Tierversuchen und in-vitro Studien begründet wird. Kein einziges Testsystem ist geeignet, Tumorbildung bei Nagetieren qualitativ oder quantitativ vorherzusagen. Umweltagenturen erachten diese Methoden jedoch als nützlich für die Erkennung von Risiken.

Die kalifornische EPA schließt, dass „... die mögliche Bedeutung immunologischer Effekte wegen häufiger Klagen von Menschen über Asthma in Ballungsräumen hoch ist“. Die EPA schließt weiters, dass sehr hohe Konzentrationen von Dieselabgasen zu Infektionen im Atemtrakt und der Lunge führen können.

Der Bericht kommt zu dem Schluss, dass in den USA mehr als 90 % der Bevölkerung durch toxische Substanzen in der Luft gesundheitlich beeinträchtigt wird. Für 1 bis 25 Personen aus einer Million besteht das Risiko verkürzter Lebensdauer. Fast die Hälfte der toxischen Substanzen stammt aus mobilen Quellen. Mobile Quellen tragen wesentlich zur Belastung mit 1,3-Butadien, Benzol, Formaldehyd, Acetaldehyd und Acrolein sowie durch PAHs bei.

**Der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen von Salmonellentests** mit einer großen Zahl von Stoffen und dem Tumorbildungspotential für Nagetiere (und schlussfolgernd für den Menschen) wurde 1997 von Fettermann und Mitarbeitern untersucht. Die daraus resultierenden Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen von Mutagenitätstests und einer quantitativer Tumorbildung sind im besten Fall sehr schwach.

**Über die Methoden zur Untersuchung der Mutagenität und krebserregende Wirkung** der Umgebungsluft berichteten 2007 Claxton und Mitarbeiter. Die aktuellen Standards für die Qualität der Umgebungsluft machen Aussagen, welche luftverunreinigenden Stoffe zu welchen Krankheiten beitragen, immer schwieriger. Studien zeigen, dass die Konzentration erbgutschädigender Substanzen in der Umgebungsluft von Städten in drei, vielleicht sogar vier Größenordnungen variieren kann.

Bewertungen sind am wertvollsten, wenn unterschiedliche Testsysteme gemeinsam verwendet werden. Epidemiologische Studien liefern generische Aussagen wie „Luftverschmutzung korreliert mit Mortalität durch Lungenkrebs“, Zelltests sind für vergleichende Untersuchungen geeignet. Viele Argumente sprechen dafür, Zelltests, Biomarker und chemische Analysen zu kombinieren.

Um sicherzustellen, dass zukünftige Studien mit Methoden nach dem Stand des Wissens geplant, durchgeführt und berichtet werden, sollten diese durch internationale Gesellschaften koordiniert werden. Solche Studien sollen die Bewertung der Mutagenität und Kanzerogenität sowie chemische, physiochemische und meteorologische Informationen beinhalten.

**Die Auswirkungen der Einführung von Partikelfiltern auf die menschliche Gesundheit** wurde 2003 von Wichmann in einem Gutachten für das Umweltbundesamt Berlin untersucht. Dabei wurde geprüft, welche positiven gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition gegenüber Dieselpartikeln auf die Gesundheit der Bevölkerung Deutschlands durch den Einsatz von Partikelfiltern erzielt werden können.

In Deutschland sterben pro Jahr ca. 800.000 Menschen, 1 bis 2 % davon sind Dieselabgasen zuzuordnen. Ca. 1.100 bis 2.200 betreffen Personen mit Lungenkrebs. Durch den Einsatz von Partikelfiltern ließe sich ein vorzeitiger Tod zu überwiegenderem Teil verhindern. Die betrachteten Erkrankungen führen in hohem Alter zum Tod. Sinnvoller ist daher die Betrachtung der Lebenserwartung. Mit vereinfachten Annahmen errechnet sich eine Verlängerung des Lebensalters um 1 bis 3 Monaten.

**Eine Liste der krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Stoffe** wird regelmäßig vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung veröffentlicht. Die Liste vom 24. September 2008 bezeichnet 600 Stoffe als erbgutverändernd, und/oder krebserzeugend und/oder fortpflanzungsgefährdend.

**Eine vergleichende Übersicht über Emissionen bei Betrieb von Dieselmotoren mit Pflanzenöl** wurde 1996 von Krahl und Mitarbeitern zusammengestellt. Für Kammermotoren werden deutlich höhere Emissionen unverbrannter Substanzen (CO, HC, PAHs, Aldehyde, Aromaten) bei Betrieb mit Pflanzenöl

ausgewiesen. Eine 1999 veröffentlichte Arbeit der Chalmers University zeigt, dass die Verbrennung von fossilem Dieseldieselkraftstoff, RME und Pflanzenöl in einem Versuchsreaktor zu unterschiedlichen Produkten führt, wobei bei Pflanzenöl deutlich mehr Acrolein und andere Aldehyde gebildet werden.

**Bürger hat 2007 eine Erhöhung der mutagenen Wirkung der Partikelproben** aus dem Abgas eines Dieselmotors im AMES-Test bei Betrieb mit Pflanzenöl festgestellt und Bedenken bei der Verwendung von Rapsöl in solchen Motoren geäußert. Untersuchungen der Mutagenität von Abgasen von für den Betrieb mit Pflanzenöl adaptierten Motoren im Auftrag der Herstellerfirmen kommen jedoch bei Pflanzenölbetrieb im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff zu günstigen Ergebnissen.

**Die Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl betriebenen Traktors** wurde vom TFZ Straubing untersucht. Die mutagene Wirkung der Probenextrakte ist allgemein sehr gering und liegt teilweise an der unteren Nachweisgrenze, wobei bei Betrieb mit Pflanzenöl tendenziell geringere Mutagenität gefunden wurde. Bezüglich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Arbeiten weisen die Autoren auf die Notwendigkeit einheitlicher Messmethoden und vergleichbarer Protokolle hin.

**Diese und weitere Arbeiten weisen auf den Einfluss von Lastzyklen** auf die Emission toxischer Substanzen im Abgas von Pflanzenölmotoren hin. Ergebnisse stationärer Zyklen sind nicht mit Messungen bei transientem Betrieb vergleichbar. Die höchste Mutagenität wird bei Tests mit Kaltstartphasen gemessen. Viele Ergebnisse basieren auf Einzelmessungen und sind statistisch nicht abgesichert. Fallweise fehlen Hinweise auf die technischen Daten der Motoren und die eingesetzten Kraftstoffe sowie Aussagen über die Messtoleranzen. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird durch die verwendeten Testzyklen erschwert. Eine Forschergruppe schätzt die Dosis/Wirkung-Beziehung als „statistisch nicht relevant“ ein.

**Ergänzend wurden Arbeiten zu Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit Biodiesel erhoben.** Erste Untersuchungen im Jahr 1990 haben gezeigt, dass mit Biodiesel die Emissionen organischer Substanzen sinken. Formaldehyd bleibt gleich, Acetaldehyd sinkt deutlich, Acrolein steigt. Die Emissionen von Aromaten sinken ab, Benzol steigt. Bei fossilem Dieseldiesel und RME ist Kraftstoff in der gleichen Größenordnung im Abgas zu finden, wobei bei RME im Leerlauf auffallend viel unverbrannter Kraftstoff gefunden wurde. Bei Betrieb mit RME sinken die PAH-Emissionen deutlich bis stark ab.

Die Unterschiede der Mutagenität der Abgase serienmäßiger Dieselmotoren im Betrieb mit (reinem) Biodiesel und fossilem Dieseldieselkraftstoff scheinen gering. Auffallend ist die Lastabhängigkeit der Emissionen. Die Kohlenwasserstoffe sowie die mutagene Wirkung der Abgase steigen mit sinkender Last an und sind im Leerlauf am größten, wobei der relative Anstieg bei Biodiesel höher ist als bei fossilem Dieseldieselkraftstoff.

**Die EPA hat 2002 die Emissionen aus dem Betrieb von Dieselmotoren mit Biodiesel untersucht.** Diese und nachfolgende Arbeiten bestätigen die starke Reduktion der Emissionen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Partikeln und PAHs sowie den Anstieg der NO<sub>x</sub>-Emission bei Betrieb mit Biodiesel im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff. Einzelne Arbeiten weisen auch auf die geringere mutagene Wirkung der Abgase bei Biodieselbetrieb hin.

**Weiterführende Untersuchungen in Deutschland** bestätigen die bekannten Vor- und Nachteile. Mit Biodiesel sinkt die Emission teilverbrannter Substanzen deutlich bis stark, die Stickoxide steigen um ca. 10 %. Ein weiterer Vorteil des Biodieselbetriebs ist die Minderung nichtlimitierter organischer Substanzen wie Aromate, Aldehyde, Ketone und PAK sowie der gesamten Partikelmasse. Die Ergebnisse von Untersuchungen der Partikelzahl sind nicht einheitlich: während bei Biodiesel die Gesamtpartikelzahl geringer ist, steigt die Zahl der Partikel in der Größenklasse von 10 bis 30 nm.

**Zusammenfassend wird auf die Komplexität der Materie hingewiesen.** Zu einer sicheren Beurteilung gehören Umweltforschung, Medizin und Präventivmedizin, Allergieforschung, molekulare medizinische Forschung, Umweltmedizin und Umwelthygiene, Krebsforschung, Toxikologie und Umweltepidemiologie, biologische Wirkung von Umweltchemikalien, Genetik, biologische und biochemische Messtechnik, analytische Chemie und Spurenanalytik, Risikoforschung, Emissionsmesstechnik, Motor-, Kraftstoff- und Fahrzeugtechnik sowie Kenntnisse über einschlägige normative Regelwerke.

Höhere Emissionen von Produkten unvollständiger Verbrennung sind wegen der deutlichen Unterschiede der verbrennungstechnischen Eigenschaften von Pflanzenöl und fossilem Dieselkraftstoff nicht unerwartet. Es ist daher dringend anzuraten, Motoren ausschließlich mit bestimmungsgemäßen und von Gesetzgebung und Behörden vorgeschriebenen Kraftstoffen zu betreiben.

In der Öffentlichkeit ist der Eindruck entstanden, dass die Einführung von Pflanzenöltreibstoffen Menschen unmittelbar gefährdet. Negative Ergebnisse von Messungen an unveränderten Motoren bei Betrieb mit Pflanzenöl wurden durch Untersuchungen an adaptierten Motoren nicht bestätigt. Aus den bis zu Beginn des gegenständlichen Projekts vorliegenden Informationen geht hervor, dass mit einer Bedrohung durch genotoxisch wirkende Substanzen aus für den Betrieb mit Pflanzenöl vorgesehenen Motoren nicht zu rechnen ist. Ängste werden jedoch leicht geweckt und Laien sind durch sachliche Argumentationen von Experten schwer zu überzeugen. Dies erfordert von den mit den Fragestellungen befassten Wissenschaftlern sorgsamem Umgang bei der Verbreitung von Informationen.

In Anbetracht der Größe und Komplexität der Aufgabe wird empfohlen, für die Durchführung von Untersuchungen der krebserregenden Wirkung von Abgasen von Motoren Mindestanforderungen an die Methoden und die Protokolle festzulegen. Untersuchungen sollen bereits bei der Planung mit einem Kreis einschlägiger Experten abgestimmt werden. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen sollen eingehend diskutiert und die Diskussion in den Bericht aufgenommen werden. Die Gründung eines Panels mit internationaler Besetzung sollte erwogen werden.

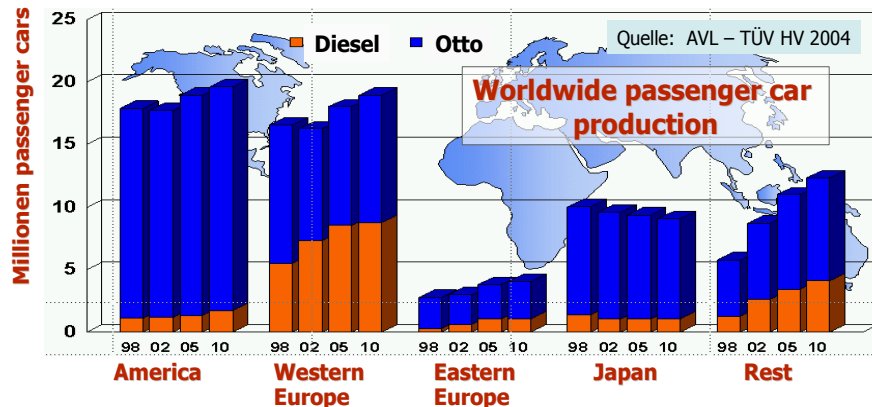
### 3 DEFINITIONEN UND ABKÜRZUNGEN

B(n)	Kraftstoff bestehend aus n vol.% Biodiesel in fossilem Diesel, z.B. B20	
DE	„Diesel exhausts“, eine komplexe Mischung von Bestandteilen in Form von Gasen oder Partikeln	EPA (2002)
DEE	Diesel Exhaust Emissions - feste, flüssige und gasförmige Emissionen von Dieselmotoren	
DK	Dieselmotoren	
DP	Dieselpartikel; sie bestehen aus einem Kern aus elementarem Kohlenstoff und adsorbierten organischen Bestandteilen sowie aus einem kleinen Anteil von Sulfaten, Nitraten, Metallen und anderen Substanzen. DP enthalten kleine Partikeln unter 2,5 µm sowie ultrafeine Partikeln unter 0,1 µm.	EPA (2002)
DPM	Dieselpartikelmasse in µg/m <sup>3</sup> ; sie wird als Ersatzmaß für die Belastung durch Dieselabgase verwendet, wobei unsicher ist, ob es der richtige Parameter für die Beschreibung der Toxizität ist.	EPA (2002)
EPA	US Environmental Protection Agency	<a href="http://epa.gov/">http://epa.gov/</a>
FAME	Fatty acid methyl ester - Fettsäuremethylester („Biodiesel“ bei Verwendung in Motoren)	
Gefahrstoffverordnung	Die Verordnung über gefährliche Stoffe regelt das Inverkehrbringen gefährlicher Stoffe und den Umgang mit Gefahrstoffen. Die Verordnung verpflichtet den Arbeitgeber, gefährliche Einsatzstoffe durch ungefährlichere zu ersetzen.	<a href="http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/">www.bvdm-online.de/uwlexikon/</a>
HC	„Hydrocarbons“; häufig im Sinn von „bei 180 °C gasförmige Kohlenwasserstoffe“ verwendet.	
HEI	Health Effect Institute, ein von der EPA und der weltweiten Fahrzeugindustrie finanziertes Institut	<a href="http://www.healtheffects.org">www.healtheffects.org</a>
Kanzerogenität	Kanzerogenität bezeichnet die Eigenschaft von Stoffen, eine unkontrollierte und ungeordnete Neubildung von Gewebe, d.h. Krebs hervorzurufen. Vom Beginn der Einwirkungen bis zum Auftreten der Erkrankungen können längere Zeiträume (Jahre bis Jahrzehnte) vergehen.	<a href="http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/">http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/</a>

MAK-Wert	Maximale Arbeitsplatzkonzentration; solange die Konzentration eines Stoffes am Arbeitsplatz den Wert nicht übersteigt, ist nach dem Stand der Kenntnisse Gesundheitsgefährdung nicht zu erwarten.	<a href="http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/">www.bvdm-online.de/uwlexikon/</a>
MSAT	Mobile Source Air Toxic substances, eine Bezeichnung der EPA für toxische Substanzen aus mobilen Quellen.	<a href="http://epa.gov/otaq/toxics.htm">http://epa.gov/otaq/toxics.htm</a>
Mutagenität	Eigenschaft bestimmter Chemikalien oder energiereicher Strahlung, Veränderungen am Erbgut hervorzurufen. Man unterscheidet Mutationen an Körperzellen, die Ursache für Krebs sein können und Mutationen an Keimzellen, die sich auf die Nachkommen vererben.	<a href="http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/">http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/</a>
Nitro-PAK	Stickstoffhaltige polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.	
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.	
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.	
RME	Rapsölmethylester, „Biodiesel“ aus Rapsöl.	
Teratogen	Der Begriff nimmt Bezug auf Missbildungen und Fehler bei der Geburt.	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Teratogen">http://en.wikipedia.org/wiki/Teratogen</a>
TRK	Technische Richtkonzentrationen; TRK werden für Gefahrstoffe benannt, für die zurzeit keine toxikologisch arbeitsmedizinisch begründeten MAK-Werte aufgestellt werden können. Dies gilt vorwiegend für krebserzeugende und erbgutverändernde Arbeitsstoffe.	<a href="http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/">www.bvdm-online.de/uwlexikon/</a>
VOC	Volatile Organic Carbon.	

## 4 EINLEITUNG

Der Dieselmotor ist die Wärmekraftmaschine mit dem besten Wirkungsgradverhalten und hat als Antrieb für schwere Nutzfahrzeuge eine Monopolstellung. In Personenkraftwagen ist ihm in den letzten zwei Jahrzehnten dank des geringen Verbrauchs europaweit der Durchbruch gelungen. Der Dieselmotor kann somit dazu beitragen, die CO<sub>2</sub> Minderungsziele zu erreichen.



Der Dieselmotor ist aber auch Gegenstand von Kritik; bezüglich der Stickoxid- und Partikelemissionen hat er ohne Abgasnachbehandlung gegenüber dem Ottomotor Nachteile.

Die mutagene Wirkung von Abgasen des Dieselmotors wurde in Zelltests nachgewiesen. Epidemiologische Studien haben einen Zusammenhang zwischen der Belastung mit Dieselabgasen und der Tumorfrequenz beim Menschen gezeigt. Die publizierten Ergebnisse waren in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wegen der Brisanz und der Unsicherheit der Ergebnisse Gegenstand mannigfacher Diskussion. Die Vorgaben der Gesetzgebung in Europa und die dadurch ausgelöste technische Entwicklung hat die Belastung der Umwelt deutlich verringert. Durch die in Stufen wirksamen Minderungsziele werden die Emissionen in den nächsten zwei Dekaden weiter um Größenordnungen sinken.

Die Produkte der unvollständigen Dieselerbrennung sind ein Gemisch aus verschiedenen gasförmigen, flüssigen und festen organischen Substanzen; enthalten sind u. a. aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polare organische Verbindungen und andere mehr. Während der unvollständigen Verbrennung kommt es zu zunehmender Dehydrierung von Kohlenwasserstoffmolekülen in Stufen bis hin zum Acetylen, aus dem durch Pyrolyse über freie Radikale PAH gebildet werden. Organisch lösliche Substanzen in den Abgaspartikeln und Ruß werden durch verschiedenen Verbrennungsbedingungen gebildet. Örtlich niedrige Temperaturen im Brennraum fördern die Emission löslicher Fraktionen, während der Betrieb bei hohen Temperaturen die Rußbildung begünstigt. Vor allem bei frühem Einspritzzeitpunkt und bei hoher Last werden Kohlenstoffpartikel im Kern des Einspritzstrahls gebildet. Späte Einspritzung und/oder niedrige Last führt zur Bildung organischer löslicher Partikel. Die Reaktionsbedingungen im Motor beeinflussen z.B. auch die Bildung von Nitropyrenen<sup>1</sup>.

In den 80er und 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts fand der Faktor Luftverunreinigung als fremd verschuldetes Risiko bei der Verursachung von Krebsfällen beträchtliche Aufmerksamkeit. Unter

<sup>1</sup> Wachter, W.: „Die Umweltrelevanz des Dieselmotors“, Skriptum zur Dozentenvorlesung TU Graz, Sommersemester 2007; [http://vkm-thd.tugraz.at/PDF/VO\\_Wachter\\_2007.pdf](http://vkm-thd.tugraz.at/PDF/VO_Wachter_2007.pdf)

anderem wurde darüber in einem Kolloquium der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI im April 1991 umfangreich berichtet.

Seither wurden eine Reihe wissenschaftlicher Arbeiten publiziert. Die U.S. Environmental Protection Agency (EPA) hat im Jahr 2002 einen umfangreichen Review über die Ergebnisse einschlägiger Forschungsarbeiten veröffentlicht, weitere Arbeiten bis ins Jahr 2007 folgten, wobei das Thema vorwiegend in den USA wissenschaftlich behandelt wurde.

Spätestens mit dem Inkrafttreten der Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft haben sich in Europa die Bemühungen um Minderung der gesundheitlichen Risiken durch luftgetragene Schadstoffe auf die Stickoxide und Partikelbelastung konzentriert, wobei der Feinstaub besondere Beachtung gefunden hat<sup>2</sup>. Da diese Richtlinie zu signifikanten Minderungseffekten der Umweltbelastung führt, ist in Europa das Interesse an spezifischen Fragen wie die mutagene Wirkung von Dieselabgasen gesunken.

Die Bemühungen zur Sicherung der Versorgung des Transportsektors mit Treibstoffen, zur Minderung der Treibhausgasbelastung sowie zur wirtschaftlichen Stärkung der ländlichen Regionen haben die Entwicklung biogener Kraftstoffe angestoßen. Ende der 70er Jahre wurde gezeigt, dass serienmäßige Dieselmotoren mit reinem Pflanzenöl und Mischungen von Pflanzenöl mit fossilem Dieselmotoren betrieben werden können, dass aber ein Langzeitbetrieb wegen massiver Verkokungen nicht möglich ist.

Zu Beginn der 80er Jahre wurde in Pilot- und Demonstrationsprojekten nachgewiesen, dass Fettsäuremethylester in reiner Form sowie in Mischung mit fossilem Kraftstoff als Treibstoff für handelsübliche Dieselmotoren geeignet sind. Dabei wurde auch die Emission von mutagen und kanzerogen wirkenden Substanzen sowie die mutagene Wirkung von Abgaskondensaten und Partikeleluaten ohne Hinweise auf ein erhöhtes Risikopotential bei Verwendung von Fettsäuremethylester untersucht.

Getrieben durch die Biotreibstoffdirektive der Europäischen Union haben einzelne Mitgliedsstaaten vorteilhafte wirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Markteinführung von Biotreibstoffen geschaffen. Durch die Normung von Biodiesel sowie die Öffnung der Europäischen Dieselmotorennorm für eine Beimengung von 5 % Biodiesel konnte Fettsäuremethylester am europäischen Treibstoffmarkt eingeführt werden.

Die Steuerbegünstigung für Biotreibstoffe hat in Deutschland das Interesse an unverestertem Pflanzenöl wachsen lassen. Kleine Umrüsterfirmen, engagierte Wirtschaftstreibende, aber auch die günstigen Preise für Pflanzenöl haben vor einigen Jahren einen Boom bei Pflanzenöltreibstoff ausgelöst. Im 100-Schlepper-Programm der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. wurde nachgewiesen, dass der Betrieb umgerüsteter Schlepper mit reinem Pflanzenöl mit gewissen Einschränkungen möglich ist. Wissenschaftliche Untersuchungen haben auf das Risiko mutagener Effekte der Abgase solcher Motoren hingewiesen. Um diesbezüglich eine breite Datenbasis aufzubauen, hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe das gegenständliche Untersuchungsprogramm ausgeschrieben.

---

<sup>2</sup> Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:163:0041:0060:DE:PDF>

## 5 GEGENSTAND, ZIEL UND METHODE DER BEARBEITUNG

Gegenstand der vorliegenden Arbeit im Rahmen des Auftrags der FNR ist, die Fachliteratur zur Bewertung der Emission von Dieselabgasen bezüglich ihrer mutagenen, kanzerogenen und teratogenen Wirkung zu sichten und eine Übersicht über einschlägige Institutionen und Experten auf diesem Gebiet in Deutschland und Österreich zusammen zu tragen. Damit soll Verständnis über die komplexen Zusammenhänge zwischen Belastung der Menschen mit Emissionen aus Dieselmotoren bei Betrieb mit Biokraftstoffen und Kraftstoffmischungen gewonnen und dieses Verständnis mit dem Konsortium und dem Auftraggeber geteilt werden.

Im Speziellen werden folgende Punkte behandelt:

- Relevante Studien über Mutagenität / Kanzerogenität / Teratogenität von Dieselabgasen,
- AMES-Test und Tumorrisiko,
- Relevante Arbeiten über mutagene Wirkung von Dieselabgasen bei Betrieb mit Pflanzenölkraftstoff.

Die Ergebnisse basieren auf eigenen Arbeiten aus den Jahren 1988 bis 1991, aus Recherchen im Internet, auf telefonischen Recherchen bei anerkannten Experten vorwiegend im deutschen Sprachraum sowie auf Gesprächen mit den Partnern im gegenständlichen Projekt.

Da über gesundheitsrelevante Auswirkungen von Dieselabgasen bei Betrieb mit Biotreibstoffen nur wenig belastbare Daten über die genotoxische Wirkung vorliegen, wurde bei dieser Fragestellung versucht, eine Übersicht über Arbeiten zu Emissionen bei Betrieb mit Pflanzenöl und Fettsäuremethylester zusammenzustellen.

## 6 DIESELABGASE UND KREBS - ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE STUDIEN

### 6.1 Einführung

In den 80er und 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts fand der Faktor Luftverunreinigung als Ursache von Krebsfällen beträchtliche Aufmerksamkeit. Unter anderem wurde darüber in einem Kolloquium der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI 1991 umfangreich berichtet. Aufgabe war zu klären, inwieweit polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Dieselmotor-Emissionen, fasrige Stäube, Metalle, Benzol und halogenierte organische Verbindungen für die Krebshäufigkeit eine Rolle spielen [52].

Seither wurde eine lange Reihe wissenschaftlicher Arbeiten publiziert. Die U.S. Environmental Protection Agency (EPA) hat 2002 eine umfangreiche Übersicht über das Ergebnis einschlägiger Forschungsarbeiten veröffentlicht, wobei ca. 1.000 Literaturquellen berücksichtigt wurden. Im Jahr 2007 erließ die EPA neue Regeln zur Minderung gefährlicher Luftschadstoffe aus mobilen Quellen. In einem Umfeld steigender Bedenken des Gesetzgebers und der Öffentlichkeit über die gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen aus mobilen Quellen hat das Health Effect Institute (HEI) 2005 ein Panel beauftragt, eine Übersicht über Studien zu Dieselabgasen zu erstellen. Diese 240 Seiten umfassende Studie wurde 2007 veröffentlicht. Ähnlich umfangreiche Arbeiten wie in den USA liegen in Europa nicht vor.

Spätestens mit dem Inkrafttreten der Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft haben sich in Europa die Bemühungen um Minderung der gesundheitlichen Risiken durch luftgetragene Schadstoffe auf die Stickoxide und die Partikelbelastung konzentriert, wobei der Feinstaub besondere Beachtung gefunden hat.

PM<sub>10</sub>-Grenzwerte gemäß RL 1999/30/EG in µg/m<sup>3</sup>  
in der Fassung vom 17. Oktober 2001

	Zeitpunkt, bis zu dem der GW zu erreichen ist	
	2005	2010
24-Stundenmittel	50	50
Jahresmittel	40	20

Die „World Health Organization“ (WHO) geht in ihren Guidelines für Partikel, Ozon, Stickstoffdioxid, und Schwefeldioxid nicht auf die Rolle der Dieselabgase ein [47]. Partikel in der Umgebungsluft in Städten schädigen in entwickelten Ländern und in Entwicklungsländern die menschliche Gesundheit. Schäden am Atemtrakt und Herz- und Gefäßerkrankungen herrschen dabei vor. Betroffen ist die gesamte Bevölkerung, die Anfälligkeit hängt vom Gesundheitszustand und vom Alter ab. Das Risiko steigt mit der Belastung, es gibt aber keine Hinweise auf Grenzwerte, unter denen keine Gefahr besteht. Der untere Wert, bei dem Effekte nachgewiesen wurden, liegt im Bereich der Hintergrundbelastung, die bei PM<sub>2,5</sub> in den USA bei 3 bis 5 µg/m<sup>3</sup> liegt. Daher ist auch nicht zu erwarten, dass Richtwerte oder zulässige maximale Konzentrationen negative Auswirkungen auf die Gesundheit aller Individuen verhindern können. Es gilt daher, die Partikelkonzentration in der Umgebungsluft möglichst gering zu halten. Folgende Grenzwerte sollen nicht überschritten werden:

PM <sub>2,5</sub>	10 µg/m <sup>3</sup> im Jahresmittel
	25 µg/m <sup>3</sup> im 24-Stunden-Mittel
PM <sub>10</sub>	20 µg/m <sup>3</sup> im Jahresmittel
	50 µg/m <sup>3</sup> im 24-Stunden-Mittel

Die Umgebungsluft in Städten enthält grobe und feine Partikel, das Verhältnis ist weltweit unterschiedlich. In manchen Regionen kann die Verbrennung von Holz wesentlich zur Belastung mit feinen Partikeln beitragen. Es liegen kaum epidemiologische Studien, die die Toxizität der Emissionen der Verbrennung fossiler und biogener Brennstoffe vergleichen, vor. Da jedoch ähnliche Auswirkungen auf die Gesundheit in entwickelten und unterentwickelten Ländern beobachtet werden, ist die Annahme berechtigt, dass die Auswirkungen der Verbrennung fossiler und biogener Brennstoffe ähnlich sind.

Die Entwicklung des Fahrzeugbestands in Europa unterscheidet sich wesentlich von der in den USA. Während in Nordamerika Dieselmotoren fast ausschließlich in schweren Nutzfahrzeugen verwendet werden, steigt der Anteil des Dieselmotors in PKWs in Europa ständig an. Gesetzgebung und Industrie sind bemüht, die von Dieselmotoren ausgehende Gefährdung durch Minderung der Partikelemission zu verringern. Über die positiven Auswirkungen des Einsatzes von Partikelfiltern wurde 2004 vom GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit berichtet [33].

## 6.2 Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust/ EPA (2002) [7]

Die US Environmental Protection Agency (EPA) hat im „Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust“ die wesentlichen Ergebnisse der wichtigsten Arbeiten zum Thema der Auswirkungen von Dieselabgasen auf die menschliche Gesundheit zusammen getragen. Auf fast 700 Seiten werden in neun Kapiteln (Executive Summary, Charakterisierung der Dieselabgase, Dosimetrie, Mutagenität, andere Gesundheitsgefährdungen, allgemeine Risikoabschätzung, krebserregende Wirkung, Dosis-Wirkungs-Bewertung und Gefährdung der Menschen) an die 1.000 einschlägiger Veröffentlichungen breit und tief behandelt. Die Studie ist die erste Übersicht über potentielle Auswirkungen von Dieselabgasen (DE, „Diesel Exhaust Emissions“) in der Umgebungsluft auf den Menschen. Zweck der Studie ist, Informationen über Gefahren für die Gesundheit zur Bewertung der gesetzlichen Erfordernisse im Rahmen des „Clean Air Act“ bereitzustellen. Unter anderem wurde versucht, eine Beziehung zwischen der Belastung mit DE und die daraus resultierenden Krankheiten herzuleiten (=„Dose-Response-Assessment“). Eine vollständige Bewertung der Belastung und aller daraus resultierenden Risiken im Sinne eines vollständigen „Risk Assessment“ war jedoch mit den verfügbaren Daten nicht möglich.

Im Folgenden wird versucht, die für die Frage der Mutagenität von Abgasen aus Dieselmotoren wichtigsten Ergebnissen allgemein verständlich darzustellen.

**Dieselabgase.** „Diesel Exhaust“ sind eine komplexe Mischung von Hunderten von Bestandteilen in Form von Gasen und Partikeln. Gasförmige Bestandteile schließen Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf, Kohlenstoffmonoxid, stickstoff- und schwefelhaltige Gase sowie eine Reihe leichter Kohlenwasserstoffe ein. Zu den bekannten toxischen Gasen gehören die Aldehyde (z.B. Formaldehyd, Acetaldehyd, Acrolein), Benzen, 1,3-Butadien sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und Nitro-PAHs.

Die Partikel in Dieselabgasen (DP) bestehen aus einem Kern von elementarem Kohlenstoff und adsorbierten organischen Bestandteilen sowie aus einem kleinen Anteil von Sulfaten, Nitraten, Metallen und anderen Substanzen. DP bestehen aus kleinen Partikeln unter 2,5 µm sowie aus einer sehr großen Anzahl ultrafeiner Partikel unter 0,1 µm. Die große Oberfläche der Partikel unterstützt die Adsorption von Kohlenwasserstoffen. Durch die geringe Größe können sie leicht eingeatmet und tief in die Lunge transportiert werden. Viele der angelagerten organischen Substanzen sind toxisch. Der organische Anteil liegt im Allgemeinen bei 20 bis 40 %<sup>3</sup>. Der Anteil der PAHs mag bis zu einem Prozent betragen. Von manchen der Substanzen ist mutgene oder kanzerogene Wirkung bekannt; dies gilt z.B. für PAHs, Nitro-PAHs und oxydierte PAH-Derivate.

<sup>3</sup> Ergänzende Bemerkung der Autoren: der Anteil organisch löslicher Substanzen ist bei Betrieb mit Pflanzenöl oder FAME höher; daraus lässt sich auch auf einen höheren organischen Anteil schließen.

Die Emissionen von Dieselmotoren variieren signifikant in der Zusammensetzung und der Partikelgröße in Abhängigkeit von der Motorbauart, der Belastung der Motoren und der Art des Kraftstoffs. Eine besondere Rolle spielt der Entwicklungsstand der Motoren, da die Emissionen in den vergangenen Jahren drastisch reduziert wurden. Ausreichend Informationen über die Minderung der Emissionen organischer Substanzen in der Umwelt fehlen jedoch.

Der Anteil von Dieselpartikeln an den Partikeln in der Umgebungsluft ist in ländlichen Gebieten gering, in urbanen Gebieten hoch. Zum Beispiel wird berichtet, dass in den Städten Kaliforniens, Colorados und Arizonas der den Dieselfahrzeugen zuzurechnende Anteil zwischen 10 bis 36 % liegt <sup>4</sup>.

Nach der Emission aus dem Abgasrohr des Fahrzeugs werden die Deselemissionen in der Atmosphäre umgewandelt. Die Verweilzeit in der Atmosphäre beträgt Stunden bis Tage. Das Wissen über die Veränderungen ist unzureichend. Vor allem sind die Konsequenzen bezüglich der Änderung der Toxizität unklar, da manche Substanzen bei der Alterung toxischer werden.

Die Dieselpartikelmasse DPM in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wird üblicherweise als Ersatzmaß für die Belastung durch Dieselabgase verwendet, wobei jedoch unsicher ist, ob dies der richtige Parameter für die Beschreibung der Toxizität ist.

**Auswirkungen von Dieselabgasen auf die menschliche Gesundheit.** Es erscheint evident, dass mit der Belastung durch Dieselabgase eine Reihe von Gesundheitsgefährdungen verbunden ist. Die Gefährdungen schließen akute belastungsbezogene Symptome, chronische nicht krebsartige Wirkungen im Atmungstrakt und Lungenkrebs ein.

Über akute Effekte durch kurzzeitige Belastung liegen nur wenige Informationen vor. Bei den chronischen Effekten geht die Bewertung davon aus, dass Menschen bei einer lebenslangen Belastung durch DPM kleiner gleich  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  außer durch krebsartige Erkrankungen gesundheitlich nicht gefährdet sind. Dies entspricht in etwa dem Grenzwert des 1997 US National Ambient Air Quality Standard von  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für  $\text{PM}_{2,5}$  <sup>5</sup>.

Die Bedenken werden durch Tierversuche bestätigt. Die krebserregende Wirkung von Dieselpartikel und Dieselabgasextrakte in nichtinhalatorischen Tests an Mäusen und Ratten ist evident. Ebenso unterstützt wird die Annahme der krebserregenden Wirkung durch mutagene und chromosomale Effekte von Dieselabgasbestandteilen in organischen Testsystemen. Obwohl sich bei hohen Abgaskonzentrationen in Inhalationsstudien bei Ratten signifikante Steigerungen bei Lungenkrebs zeigen, lassen sich keine eindeutigen Schlüsse über Risiken für den Menschen bei geringerer Belastung ziehen. Die Effekte bei den Ratten können durch die Überladung der Lunge durch die hohen Konzentrationen bewirkt werden. Mit Konzentrationen in dieser Höhe ist bei Menschen nicht zu rechnen.

Es erscheint sinnvoll anzunehmen, dass nicht nur bei erhöhter Belastung, sondern auch bei üblicher Belastung mit Dieselabgasen in der Umgebungsluft Gefährdung besteht. Dies u. a. deshalb, weil die Konzentrationen in der Umgebung nicht wesentlich geringer sind als an die an Stellen höherer Belastung.

Obwohl die potentielle Gesundheitsgefährdung durch Dieselabgase evident ist, bestehen viele Unsicherheiten bezüglich der Daten und der Mechanismen der Schädigung von menschlichen und tierischen Organismen. Unsicher ist auch, ob die Ergebnisse von Dieselabgasen aus alten Motoren auf die derzeitige Belastung durch moderne Dieselmotoren übertragen werden können. Eine Ursache dafür

---

<sup>4</sup> Appelhans nennt für Berlin einen Anteil von 42 %. (Appelhans, Y. J.: „Verkehrsbedingte Feinstäube in der Stadt“, Tagungsband der gleichnamigen Tagung vom 14./15. 2. 2005 in Leipzig, Umweltbundesamt Berlin).

<sup>5</sup> Wichmann (2003) nimmt für Deutschland eine mittlere  $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentration von  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an. Die aus Kfz-Dieselmotoren stammende mittlere  $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentration wird mit  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eingeschätzt ( $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in der Stadt,  $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am Land). Das Minderungspotential durch Partikelfiltern wird mit  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  angenommen.

ist die Veränderung der chemischen und physikalischen Charakteristika der Emissionen. Die verfügbaren Daten reichen für Aussagen nicht aus, da sowohl die Änderung der Abgaszusammensetzung als auch die Wirkungsmechanismen unklar sind.

Es liegen keine Informationen über unterschiedliche Empfindlichkeit von Menschen gegenüber Dieselabgasen vor. In Hinblick auf die nicht-krebsbezogenen Effekte der Dieselabgase erscheint es vernünftig, besonders gefährdete Gruppen wie Kinder, ältere Menschen und Personen mit Schäden im Atmungstrakt gesondert zu betrachten. Die Effekte hängen darüber hinaus davon ab, wie stark das Einzelindividuum belastet wurde und wie die Partikel im Atmungstrakt zurück gehalten werden. Die EPA Studie geht auch nicht auf Effekte, die durch Belastung mit anderen Schadstoffen in der Umgebung bewirkt werden, ein. Um die Unsicherheiten zu verringern, erscheinen weitere Forschung unumgänglich.

Die Schlussfolgerungen beziehen sich auf Emissionen von Dieselmotoren, die vor 1990 gebaut wurden. Es wird erwartet, dass 2007 durch sauberere Abgase eine geringere Gefährdung verbunden ist.

**Karzinogene Effekte, Dosis-Wirkungsbewertung.** Da große Gruppen Berufstätiger Dieselabgasen ausgesetzt und weitere große Gruppen von Menschen betroffen sind, ist die mögliche krebserregende Wirkung zu einem Gegenstand öffentlichen Interesses geworden. Insgesamt erscheint es überzeugend, dass bei ständiger Exposition Lungenkrebsrisiko besteht. Daraus lässt sich jedoch nicht auf eine eindeutige Dosis-Wirkungsbeziehung schließen. Annahmen, dass für chronische Effekte Grenzwerte der Belastung durch kumulative Dosen bestehen und dass irreversible und nicht auf Schwellenwerte bezogene spezifische Effekte die Entstehung von Lungenkrebs bewirken, erscheinen vernünftig und umsichtig.

Dosis-Wirkungsbewertungen stellen eine Beziehung zwischen der Dosis der Exposition und dem Grad der (krebserregenden) Wirkung her und bewerten das potentielle Risiko von Menschen, an Krebs zu erkranken. Meist liegt die Belastung, die für die Bewertung von Interesse ist, deutlich unter den Belastungen, über die Beobachtungen vorliegen. In solchen Fällen ist es notwendig, aus Ergebnissen von Untersuchungen mit hoher Belastung (z.B. Expositionsstudien oder Tierversuche) auf typische Belastungen zu extrapolieren. Ebenfalls zu berücksichtigen ist das Wissen über die Wirkungsmechanismen des Entstehens von Krebs. Wenn über den Wirkungsmechanismus („*mechanism of action*“) des Krebsentstehens nur Teilinformationen vorliegen, wird die Wirkungsweise („*mode of action*“) betrachtet; dazu werden diejenigen Schlüsselereignisse verwendet, die als ausreichend für die Beschreibung der Form der Dosis-Wirkungskurve beurteilt werden.

Sowohl die Tierversuche als auch die Kombination von Experimenten liefern wesentliche Hinweise, dass Dieselabgase in der Umgebung wahrscheinlich ein Krebsrisiko darstellen. Kritisches Organ ist die Lunge. Belegt ist ein kausaler Zusammenhang zwischen der Belastung bestimmter Berufsgruppen (Eisenbahnbedienstete, LKW-Fahrer u. ä.) mit Dieselabgasen und Lungenkrebs.

Die Wirkungsmechanismen, die beim Menschen durch Einwirkung von Dieselabgasen zu Krebs führen, sind nicht einwandfrei festgestellt. Basierend auf mechanistischen Studien wurde eine Reihe von Wirkungsweisen wie direkte DNA-Effekte durch adsorbierte organische Substanzen und die gasförmigen Komponenten, indirekte DNA-Effekte wie Chromosomenaberration, Schwesterchromatidenaustausch, Micronuclei sowie oxidative DNA-Schädigung über reaktiven Sauerstoff und partikelinduzierte chronische entzündliche Reaktionen postuliert. Es ist wahrscheinlich, dass eine Kombination dieser Modi zur gesamten krebserregenden Wirkung beiträgt und dass der relative Beitrag der Einzelnen bei verschiedenen Belastungen unterschiedlich ist. Es wäre auch möglich, dass die mutagene Wirkung organischer Substanzen in Dieselabgasen nicht erst ab einem Schwellenwert beginnt.

Solange die unterschiedlichen Wirkungen der Bestandteile des Dieselabgases nicht voll verstanden sind, erscheint eine lineare Extrapolation als umsichtige Wahl für Vorgaben für Dosis-Wirkungsbeziehungen;

dies auch deshalb, weil die Unterschiede zwischen der berufsbedingten Belastung und die Belastung der Umgebung relativ gering sind. Die vorgeschlagenen Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind jedoch zu unsicher für eine quantitative Abschätzung des Krebsrisikos.

Daten über die Mutagenität werden für die Bewertung der möglichen krebserregenden Wirkung von Dieselabgasen verwendet, weil bei allen Krebserkrankungen genetische Veränderungen gefunden werden und weil manche der Stoffe in Deselemissionen in unterschiedlichen Testsystemen mutagene Wirkung zeigen. Keines dieser Testsysteme ermöglicht jedoch eine Voraussage der kanzerogenen Wirkung in Versuchen mit Nagetieren. Wegen der inhärenten Unterschiede der biologischen Systeme ist eine direkte Extrapolation der Ergebnisse von Mutagenitätstests auf Ergebnisse aus Testsystemen zur Untersuchung der Kanzerogenität nicht möglich. Darüber hinaus werden Daten aus in-vitro-Untersuchungen der genotoxischen Wirkung häufig mit Konzentrationen, die um Größenordnungen höher sind als die in der natürlichen Umgebung, gewonnen. Dazu kommt, dass es sich bei der Untersuchung von Dieselabgasen um eine komplexe Mischung von Stoffen handelt.

Somit erscheint klar, dass kein einziges Testsystem geeignet ist, Tumorbildung qualitativ oder quantitativ vorherzusagen. Die Tumore in der Lunge von Ratten bei langzeitiger Belastung mit hohen Konzentrationen schwer löslicher Partikel werden durch die Schädigung der Reparaturmechanismen der Lunge bewirkt (Überladung der Lunge). Dies führt zu ständiger chronischer Entzündung, zu Umwandlung des Zellgewebes (Metaplasie) und letztendlich zu Tumoren. Bestimmte Extrakte von Dieselabgasen zeigen bei Mensch und Tier mutagene und kanzerogene Effekte. Wenn auch der Respons nicht für die Dosis-Wirkungs-Extrapolation beim Menschen ausreicht, lässt sich doch auf eine Gefährdung beim Menschen schließen.

Laut EPA (2002) ist es nicht wahrscheinlich, dass Dieselabgase ein Risiko für die Reproduktion beim Menschen darstellen. Bei Versuchen mit Ratten, Mäusen und Kaninchen bei Konzentrationen von 12 µg Dieselpartikel pro m<sup>3</sup> wurden keine teratogene, fötotoxische oder andere Reproduktionseffekte beobachtet. Hohe Belastungen haben aber zu Auswirkungen auf die Spermien von Hamstern und Ratten geführt. EPA Kalifornien schließt jedoch, dass „die verfügbare Literatur nicht für Aussagen über Reproduktionseffekte beim Menschen ausreicht. Da mittlerweile eine Reihe von Studien zu diesem Thema veröffentlicht wurden, sollte die Bewertung aktualisiert werden“.

Die Studie schließt auf Basis von Untersuchungen an Menschen, Tieren und anderen unterstützenden Untersuchungen, dass die Emissionen von Dieselmotoren „durch Inhalation wahrscheinlich krebserregend sind“ und dass diese Gefährdung auch durch Dieselabgase in der Umgebungsluft gegeben ist. Schwerwiegende Anzeichen deuten darauf hin, dass bei Berufstätigen, die in Berufen, in denen Dieselmotoren verwendet werden, tätig waren, eine Verbindung zwischen der Belastung durch Dieselabgase und höherem Lungenkrebsrisiko besteht. Wenn auch die Ergebnisse von Berufsgruppenstudien einen kausalen Zusammenhang zwischen Belastung und Lungenkrebsrisiko zu bestätigen scheinen, reichen die Ergebnisse jedoch nicht für die Schlussfolgerung, dass Dieselabgase definitiv krebserregend sind, nicht aus. Es bestehen Unsicherheiten bezüglich Störgrößen, die die Beobachtungen beeinflussen. Darüber hinaus fehlen Daten über die Belastung von Berufstätigen durch Dieselabgase.

**In Kürze:** Die Studie der EPA aus dem Jahr 2002 ist das weltweit umfassendste Dokument über die Gefährdung des Menschen durch Dieselabgase. Deselemissionen tragen zur Belastung der Umwelt durch Stickoxide und Feinstaub und andere toxische Stoffe bei. Eine langzeitige Inhalation beim Menschen löst wahrscheinlich Lungenkrebs aus und schädigt in Abhängigkeit von der Exposition die Lunge auch auf andere Art. Kurzzeitige Exposition kann Reizungen und Entzündungen vorübergehender Art auslösen. Die Bewertung weist auch darauf hin, dass Allergien und Asthmasymptome verschlimmert werden können. Obwohl die potentielle Gesundheitsgefährdung durch Dieselabgase evident ist, bestehen

viele Unsicherheiten bezüglich der Daten und der Mechanismen der Schädigung von menschlichen und tierischen Organismen.

Studien mit Salmonellentestsätzen zeigen die mutagene Aktivität von Partikeln und gasförmiger Komponenten im Dieselabgas. Kein einziges Testsystem ist jedoch geeignet Tumorbildung bei Nagetieren qualitativ oder quantitativ vorherzusagen. Obwohl Inhalationsstudien bei Ratten eine signifikante Steigerung bei Lungenkrebs zeigen, lassen sich keine eindeutigen Schlüsse über Risiken für den Menschen bei geringerer Belastung ziehen. Die Effekte bei den Ratten können durch die Überladung der Lunge durch die hohen Konzentrationen bewirkt werden. Mit Konzentrationen in dieser Höhe ist bei Menschen nicht zu rechnen. Mit den verwendeten Testsystemen werden Wirkungen untersucht, die für gewisse Aspekte der Tumorbildung relevant sein können, einschlägig befassete Agenturen werten diese Testsysteme allgemein als nützlich für die Identifizierung von Risiken für die menschliche Gesundheit.

Beim Stand des Wissens ist es nicht wahrscheinlich, dass Dieselabgase ein Risiko für die Reproduktion beim Menschen darstellen. Bei Versuchen mit Nagetieren wurden keine teratogenen, fötotoxischen oder andere Reproduktionseffekte beobachtet. Hohe Belastungen haben aber zu Auswirkungen auf die Spermien von Hamstern und Ratten geführt. Da mittlerweile eine Reihe von Studien zu diesem Thema veröffentlicht wurde, sollte die Bewertung aktualisiert werden.

Die Studie schließt, dass die Emissionen von Dieselmotoren „durch Inhalation wahrscheinlich krebserregend sind“. Anzeichen zeigen klar, dass bei Berufstätigen, die mit Dieselabgasen belastet sind, eine Verbindung zwischen der Belastung und höherem Lungenkrebsrisiko besteht. Wenn auch Berufsgruppenstudien einen kausalen Zusammenhang zwischen Belastung und Lungenkrebs zu bestätigen scheinen, reichen die Ergebnisse jedoch für die Schlussfolgerung, dass Dieselabgase definitive krebserregend sind, nicht aus. Somit reichen die verfügbaren Daten auch nicht aus, für Dieselabgase oder Dieselabgaspartikeln das Krebsrisiko quantitativ abzuschätzen. Annahmen, dass für chronische Effekte Grenzwerte der Belastung durch kumulative Dosen bestehen und dass irreversible und nicht auf Schwellenwerte bezogene spezifische Effekte die Entstehung von Lungenkrebs bewirken, erscheinen vernünftig und umsichtig.

Die Emissionen von Dieselmotoren variieren signifikant in der Zusammensetzung und der Partikelgröße in Abhängigkeit von der Motorbauart, dem Betrieb und der Art des Kraftstoffs. Eine besondere Rolle spielt der Entwicklungsstand der Motoren, da die Emissionen in den vergangenen Jahren drastisch reduziert wurden. Die Schlussfolgerungen über die Gesundheitsgefährdung beziehen sich auf Dieselmotoren, die vor Mitte 1990 gebaut wurden und in den USA in Betrieb sind. Daten über die Risiken bei modernen Dieselmotoren mit wesentlich geringeren Emissionen liegen für eine Risikoabschätzung nicht in ausreichendem Maß vor.

### 6.3 HEI Air Toxics Review Panel (2007) [21]

Das Health Effect Institute (HEI) hat im Jahr 2007 einen Literaturreview über toxische Substanzen in der Umgebungsluft veröffentlicht. HEI ist 1980 als unabhängige Non-Profit-Forschungsgesellschaft gegründet worden und hat das Ziel, qualitativ hochwertige, unparteiische und wissenschaftlich relevante Arbeiten über die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die Gesundheit bereitzustellen. Üblicherweise erhält HEI die dazu nötigen Mittel zur Hälfte von der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) und der weltweiten Fahrzeugindustrie. HEI hat mittlerweile mehr als 250 Studien in Nordamerika, Europa und Asien finanziert, alle Resultate werden auf [www.healtheffects.org](http://www.healtheffects.org) publiziert. Die gegenständliche Studie kann als Update der Studie der EPA aus dem Jahr 2002 betrachtet werden und wurde von der U.S. Federal Highway Administration mit finanziert.

**Belastung mit Dieselabgasen.** Derzeitige Schätzungen gehen von einer Konzentration von 3 bis 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Dieselpartikel in der Umgebungsluft aus, während einschlägig Berufstätige mit 10 bis 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  belastet sein können. Die höchsten Konzentrationen von 100 bis 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  findet man in schlecht belüfteten Bergwerken.

**Genotoxische Wirkung.** Seit 1970 wurde die genotoxische Wirkung von Dieselabgasen intensiv untersucht. Dazu wurden in in-vitro Systemen Bakterien und Säugetierzellen und in-vivo Systeme verwendet. Studien mit Salmonellentestsätzen zeigen die mutagene Aktivität sowohl der Partikel als auch der gasförmigen Komponenten im Dieselabgas. Die Induktion von Genmutationen und Chromosomenaberration nach Einwirkung von Dieselpartikelextrakten in unterschiedlichen Säugetierzellen wurde nachgewiesen. Es musste jedoch erkannt werden, dass kein einziges Testsystem geeignet ist, Tumorbildung bei Nagetieren qualitativ oder quantitativ vorherzusagen (EPA 2002). Mit den Testsystemen werden jedoch Vorgänge untersucht, die für die Tumorbildung relevant sein können und Umweltagenturen erachten diese Methoden als nützlich für die Erkennung von Risiken.

**Dieselabgase und Krebs.** Die Environmental Protection Agency hat 2002 in ihrer Studie Informationen über das Gefährdungspotential von Dieselabgasen für die menschliche Gesundheit zusammengestellt. Andere Agenturen wie das „National Institute for Occupational Safety and Health“ (1988), the „International Agency for Research on Cancer“ (1989), die WHO (1996) und das „National Toxicology Programm“ (2005) haben die die Literatur über die gesundheitlichen Auswirkungen von Dieselabgasen auf den Menschen gesichtet und das krebserregende Potential von Dieselabgasen bewertet. In all diesen Studien wurden Dieselabgase als „möglicherweise beim Menschen krebserregend“ („Probable human carcinogen“) bezeichnet, wobei diese Bewertung mit den Ergebnissen von epidemiologischen Studien, Tierversuchen und in-vitro Studien begründet werden (siehe auch dazu die Tabelle aus dem Bericht auf der nächsten Seite).

Gesetzliche Regelungen haben zur Verbesserungen der Kraftstoffe und Motoren geführt. Motoren nach dem Stand der Technik von 2007 emittieren vergleichsweise sehr geringe Mengen von Partikeln. EPA (2002) hebt hervor, „... dass sich die Schlussfolgerungen der Bewertung auf den allgemeinen Gebrauch heutiger Dieselmotoren<sup>6</sup> beziehen“. Da moderne und saubere Dieselmotoren mehr und mehr die bestehenden Motoren verdrängen, sollte die allgemeine Anwendbarkeit dieser Schlussfolgerungen neu bewertet werden.

---

<sup>6</sup> Das heißt, dass sich die Ergebnisse auf Studien, die vor 2002 abgeschlossen waren, beziehen; ergänzend sei vermerkt, dass dabei vorwiegend Emissionen von Heavy Duty Motoren, vorwiegend US-amerikanischer Provenienz untersucht wurden.

**Table 10. Summary of Diesel Hazard Assessments<sup>a</sup>**

Agency and Year	Findings
National Institute of Occupational Safety and Health 1988	Animal evidence "confirmatory" for carcinogenesis Human evidence "limited" DE classified as "potential occupational carcinogen" No quantitative risk assessment
International Agency for Research on Cancer 1989	"Sufficient evidence" for carcinogenicity in experimental animals Epidemiology data provide "limited evidence" for carcinogenicity DE considered a "probable" human carcinogen. No quantitative risk assessment
World Health Organization 1996	Rat data support carcinogenicity Human epidemiology data suggest "probably carcinogenic" Epidemiology studies considered "inadequate for a quantitative estimate of human risk" Rat data used for quantitative risk assessment
California Environmental Protection Agency 1998	Rat data "have demonstrated" carcinogenicity of DPM Causal association of DE and lung cancer in epidemiology studies is a "reasonable and likely explanation" Human epidemiology data used for quantitative risk assessment because of uncertainties in extrapolation from animals to humans DPM designated a "toxic air contaminant" (by California Air Resources Board)
National Toxicology Program 2005	DPM listed as "reasonably anticipated to be a human carcinogen" based on findings of elevated lung cancer in occupational groups exposed to DE and supporting animal and mechanistic studies No quantitative risk assessment
Environmental Protection Agency 2002a	Diesel emissions considered "likely to be carcinogenic to humans" No quantitative risk assessment Perspective of the range of possible lung-cancer risk was developed on the basis of occupational epidemiologic studies Evidence considered: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strong but less-than-sufficient epidemiologic evidence</li> <li>• Rat lung tumor response (occurring only at high doses that cause inhibition of particle clearance, resulting in lung particle overload) not considered relevant to effects in humans exposed to low ambient concentrations</li> <li>• Results in mice considered equivocal; hamster results considered negative</li> <li>• Evidence of carcinogenicity of DPM in rats and mice when exposed by non-inhalation routes</li> <li>• Extensive supportive data include mutagenic or chromosomal effects of DE and its organic constituents</li> </ul>

**Andere Effekte von Dieselemissionen auf die menschliche Gesundheit.** Die EPA (2003) hat chronische Effekte durch Belastung bei inhalatorischer Referenzkonzentrationen untersucht und geschlossen, „... dass wahrscheinlich kein nennenswertes Risiko von schädlichen Wirkungen bei lebenslanger Belastung verbunden ist“. Bezüglich kurzzeitiger Auswirkungen schließt EPA (2002) aus Tierversuchen, dass Dieselpartikel eine mögliche Ursache gesteigerter allergischer Reaktionen sind. Die EPA schließt weiter, dass Forschungen über die immunologische Wirkung bei geringer Belastung notwendig sind.

Da keine belastbaren Daten über die Auswirkungen von Dieselabgasen auf das kardiovaskuläre System verfügbar sind, sind dazu auch keine Schlüsse gezogen worden. Die kalifornische EPA schließt, dass „... die mögliche Bedeutung immunologischer Effekte wegen häufiger Klagen von Menschen über Asthma in Ballungsräumen hoch ist“. Darüber hinaus schließt die EPA bei sehr hohen Konzentrationen von Dieselabgasen auf Infektionen im Atemtrakt und in der Lunge.

**Toxische Substanzen in der Luft stammen aus vielen verschiedenen Quellen.** Eingeschlossen sind unterschiedliche Gruppen luftverunreinigender Stoffe, von denen bekannt ist, dass sie bei ausreichend starker und langer Einwirkung schädigende Wirkungen auf die menschliche Gesundheit, wie z.B. Tumorbildung, Schädigung des Immunsystems, neurologische Wirkungen und Schädigung des

Atmungstrakts bewirken können. Die verfügbaren Werkzeuge und Methoden zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von toxischer Substanzen aus mobilen Quellen (Mobile Source Air Toxics, „MSAT“) sind eher unzureichend und es bestehen ungeachtet ihrer Herkunft bei den Konzentrationen in der Umgebungsluft wesentliche Unsicherheiten über die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

Die EPA hat unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten im „National Air Toxics Assessment (NATA)“ abgeschätzt, dass 92 % der Bevölkerung der USA durch toxische Substanzen in der Umgebungsluft gesundheitlich beeinträchtigt werden und dass in den USA bei lebenslanger Belastung durch luftgetragene toxische Substanzen bei einer Konzentration wie im Jahr 1999 ein Risiko von 1 bis 25 pro einer Million für eine verkürzte Lebensdauer durch Krebs besteht.

MSATs sind eine Untergruppe toxischer Substanzen in der Umgebungsluft. Nur einige Stoffe aus der Gruppe werden vorwiegend von mobilen Quellen emittiert. Die EPA geht davon aus, dass ca. 44 % der toxischen Substanzen aus der Umgebungsluft aus mobilen Quellen stammen. Ungefähr die Hälfte des kalkulierten Krebsrisikos und  $\frac{3}{4}$  der anderen gesundheitlicher Risiken gehen zu Lasten mobiler Quellen. Die EPA hat 2007 1162 MSATs identifiziert, von denen folgende als Leitsubstanzen angesehen werden:

- Benzol, 1,3 Butadien, Formaldehyd, Acetaldehyd, Acrolein, polizyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Naphtalen und Dieselabgase.

Seit 1992 werden in Erwartung wesentlicher Umweltvorteile reformulierte und alternative Kraftstoffe eingeführt. Diese Änderungen haben dazu geführt, dass einzelne MSATs gesunken, andere aber gestiegen sind. Neue Treibstoffkomponenten mögen ihre eigenen Risiken haben und der Ersatz einzelner Komponenten, wie z.B. Benzol, führt nicht automatisch zu sichereren Treibstoffen.

Vor dem Hintergrund wachsender Bedenken der Öffentlichkeit und einer Reihe gesetzlicher Maßnahmen hat das HEI im Winter 2005 mit einer Übersicht über die Literatur zu gesundheitlichen Effekten von MSATs begonnen. Für die gesundheitlichen Auswirkungen der von der EPA im Jahr 2001 genannten 21 MSATs wurde peergeachtete Literatur verwendet. Das Panel hat daraus einzelne MSATs ausgewählt und kritisch analysiert. MSATs in der Umgebung bestehen üblicher Weise aus einer komplexen Mischung von Substanzen. Sie entstammen unterschiedlichen Quellen und sind auch im Wasser, in der Nahrung und im Boden zu finden.

Der Beitrag mobiler Quellen ist für 1,3-Butadien am größten, danach kommen Benzol, Formaldehyd, Acetaldehyd und Acrolein. Mobile Quellen tragen zur Belastung mit den an partikelgebundenen polizyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen bei. Da MSATs in komplexen Mischungen auftreten, ist es schwierig, die Beiträge der einzelnen Komponenten zum Gesundheitsrisiko zu identifizieren. Toxikologische Studien mit Tieren geben Auskunft über die toxikologischen Mechanismen von Einzelsubstanzen, die Ergebnisse solcher Untersuchungen werden aber durch Unsicherheiten bei der Extrapolation von hohen Dosen auf geringe Belastungen eingeschränkt. Mit epidemiologischen Studien an Kohorten von Berufstätigen konnten die Risiken durch Belastung mit verschiedenen MSATs identifiziert werden. Wegen der geringeren Belastungen und einer Mischung unterschiedlicher Schadstoffe ist es jedoch schwieriger, die Effekte auf durchschnittlich belastete Menschen zu übertragen.

**In Kürze:** Das Health Effect Institute (HEI) ist eine Non-Profit-Forschungsgesellschaft und hat das Ziel, qualitativ hochwertige, unparteiische und wissenschaftlich relevante Arbeiten über die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die Gesundheit bereitzustellen. Üblicherweise erhält HEI die Mittel zur Hälfte von der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) und der weltweiten Fahrzeugindustrie. HEI hat 2007 das Air Toxics Review Panel mit einem Literaturreview über die Auswirkung von Dieselabgasen auf die menschliche Gesundheit beauftragt. Diese Studie kann somit als Aktualisierung der Ergebnisse der EPA-Studie aus 2002 gesehen werden.

Schätzungen gehen von 3 bis 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Dieselpartikel in der Umgebungsluft aus, während einschlägig Berufstätige mit 10 bis 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  belastet sein können. Die höchsten Konzentrationen von 100 bis 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  findet man in schlecht belüfteten Bergwerken. In allen Studien wurden Dieselabgase als „möglicherweise beim Menschen krebserregend“ bezeichnet, wobei die Bewertung mit den Ergebnissen von epidemiologischen Studien, Tierversuchen und in-vitro Studien begründet wird. Kein einziges Testsystem ist jedoch geeignet, Tumorbildung bei Nagetieren qualitativ oder quantitativ vorherzusagen. Umweltagenturen erachten diese Methoden jedoch als nützlich für die Erkennung von Risiken.

Die kalifornische EPA schließt, dass „... die mögliche Bedeutung immunologischer Effekte wegen häufiger Klagen von Menschen über Asthma in Ballungsräumen hoch ist“. Die EPA schließt weiters, dass sehr hohe Konzentrationen von Dieselabgasen zu Infektionen in Atemtrakt und Lunge führen können.

In den USA werden mehr als 90 % der Bevölkerung durch toxische Substanzen in der Luft gesundheitlich beeinträchtigt, für 1 bis 25 Personen aus einer Million besteht das Risiko verkürzter Lebensdauer. Toxische Substanzen in der Luft stammen aus vielen verschiedenen Quellen, 44 % davon werden mobilen Quellen zugeordnet. Mobile Quellen tragen wesentlich zur Belastung mit 1,3-Butadien, Benzol, Formaldehyd, Acetaldehyd und Acrolein sowie durch PAHs bei.

Da moderne und saubere Dieselmotoren mehr und mehr die bestehenden Motoren verdrängen, sollte die allgemeine Anwendbarkeit dieser Schlussfolgerungen neu bewertet werden.

#### 6.4 Predicting rodent carcinogenicity from the AMES Salmonella assay (1997) [\[40\]](#)

Es wurde eine Vielzahl von in-vitro Tests zur Identifikation der Schädigung der DNA oder Verursachung von Mutationen und zur Erkennung des Krebserregungspotentials entwickelt. Die meiste Beachtung hat dabei der Salmonellen (SAL) Mutagenitätstest von AMES et al. wegen der Erwartung qualitativ hochwertiger JA/NEIN Vorhersagen über die Tumorbildung bei Nagetieren und, daraus abgeleitet, beim Menschen, gefunden. Zusätzlich wurde von Meselson and Russell [in Hiatt HH et al (1977): "Origins of Human Cancer, Book C: Human Risk Assessment"] für eine kleine Zahl von Chemikalien eine quantitative Beziehung zwischen dem mit dem SAL-Test und dem kanzerogenen Potential bei Nagetieren gefunden. Andere Arbeiten mit einer größeren Anzahl von Chemikalien haben jedoch nur einen sehr schwachen Zusammenhang gefunden.

Die gegenständliche Studie untersucht, ob unterschiedlichen Methoden geeignet sind, das ermittelte Potential der Krebserregung qualitativ oder quantitativ zu beschreiben. Dazu wurden acht SAL-Methoden geprüft. Ergebnis der Arbeiten ist, dass der Zusammenhang zwischen der mutagenen Wirkung im SAL-Test und der Tumorbildung bei Nagetieren im besten Fall schwach ist. Für eine qualitative Vorhersage der Tumorbildung sind ausschließlich qualitative Ergebnisse von Mutagenitätstests sinnvoll. Keine der untersuchten quantitativen Methoden verbessert die Vorhersage der Tumorbildung. Wenn auf qualitative Mutagenitätstudien Bezug genommen wird, sind quantitative Aussagen über die Tumorbildung nicht sinnvoll. Für das quantitative Tumorbildungspotential wurden verschiedene Methoden untersucht. Die daraus folgenden Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen von Mutagenitätstests und einer quantitativen Tumorbildung sind sehr schwach.

**In Kürze:** Der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen von acht verschiedenen Salmonellentests mit einer großen Zahl von Stoffen und dem Tumorbildungspotential für Nagetiere (und schlussfolgernd für den Menschen) wurde untersucht. Die daraus folgenden Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen von Mutagenitätstests und einer quantitativen Tumorbildung sind im besten Fall sehr schwach.

## 6.5 A review of the mutagenicity and rodent carcinogenicity of ambient air (2007) [39]

Die Studie enthält eine Übersicht über Literatur über die Mutagenität und Kanzerogenität der Umgebungsluft in Städten. Die Luft in Städten wird in den meisten Untersuchungen als für Nagetiere krebserregend beschrieben. Als Ursache dafür werden PAHs, Nitroarene und andere aromatische Komponenten genannt. Unterschiede in der Konzentration, der Art der Stoffe, sowie der atmosphärischen Bedingungen tragen zu unterschiedlichen Ergebnissen bei. Mutagenitäts- und Karzinogenitätsstudien zeigen, dass die Konzentration erbgutschädigender Substanzen in der Umgebungsluft von Städten in drei, vielleicht sogar vier Größenordnungen variieren können.

Pope et al. (2002) schätzten, dass die Mortalität durch Lungenkrebs um 8 % pro  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  steigt. Für Europa hat Boffetta (2006) geschätzt, dass Lungenkrebs in fast 11 % der Fälle der Umgebungsluft zuzuschreiben ist. In anderen Berichten wird darauf hingewiesen, dass Opfer von Lungenkrebs eine um 5 Jahre reduzierte Lebenserwartung haben. Die verfügbare Literatur gibt jedoch keinen Aufschluss, welche Kombination von Quellen, Belastung und Wirkungsmechanismen zu diesen Auswirkungen auf die Gesundheit führen. Walker et al. (1982) haben einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Salmonella Mutagenität organischer Partikel in der Luft und der Mortalität durch Lungenkrebs nachgewiesen.

Unterschiedlichen Bewertungsmethoden liefern wertvolle Hinweise auf Risiken, Bewertungen sind jedoch am wertvollsten, wenn unterschiedliche Testsysteme gemeinsam verwendet werden. Epidemiologische Studien liefern generische Aussagen (z.B. Luftverschmutzung korreliert mit Mortalität durch Lungenkrebs), während Methoden wie Salmonellentests eher Anhaltspunkte über Wirkungsmechanismen liefern und besser für vergleichende Untersuchungen und detaillierte Untersuchungen geeignet sind. Die Bewertung allein anhand analytischer Daten für genotoxische Auswirkungen mag zu wenig vertrauenswürdigen Aussagen führen. Pflanzensysteme sind relativ kostengünstig und liefern Aussagen über Mutationen und Chromosomenwechsel, können aber nicht zur Gänze auf Säugetiere übertragen werden. Die Argumente sprechen dafür, Zelltests, Biomarker und chemische Analysen zu kombinieren.

Die aktuellen Standards für die Qualität der Umgebungsluft machen Aussagen, welche luftverunreinigenden Stoffe zu welchen Krankheiten beitragen, immer schwieriger. Zukünftige Studien sollten durch internationale Organisationen koordiniert werden. Damit soll sichergestellt werden, dass die Arbeiten mit geeigneten Methoden nach dem aktuellen Stand des Wissens geplant, durchgeführt und berichtet werden. Grundlagenstudien sollen die Bewertung der Mutagenität und Kanzerogenität sowie chemische, physiochemische als auch meteorologische Informationen beinhalten.

**In Kürze:** Studien zeigen, dass die Konzentration erbgutschädigender Substanzen in der Umgebungsluft von Städten in drei Größenordnungen variieren können. Bewertungen sind am wertvollsten, wenn unterschiedliche Testsysteme gemeinsam verwendet werden. Die Standards für die Qualität der Umgebungsluft machen Aussagen, welche luftverunreinigenden Stoffe zu welchen Krankheiten beitragen, immer schwieriger. Epidemiologische Studien liefern generische Aussagen wie „Luftverschmutzung korrelierte mit Mortalität durch Lungenkrebs“, Zelltests sind für vergleichende Untersuchungen geeignet. Argumente sprechen dafür, Zelltests, Biomarker und chemische Analysen zu kombinieren.

Studien sollen nach dem Stand des Wissens geplant, durchgeführt und berichtet sowie durch internationale Gesellschaften koordiniert werden. Die Bewertung der Mutagenität und Kanzerogenität sowie chemische, physiochemische und meteorologische Informationen sollen beinhaltet sein.

## 6.6 Gesundheitlicher Auswirkungen von Partikelfiltern in Deutschland (2003) [33]

Ziel des im Jahr 2003 erstellten Gutachtens im Auftrag des Umweltbundesamts Berlin war abzuschätzen, welche negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition gegenüber Dieselpartikeln auf die Gesundheit der Bevölkerung Deutschlands durch den Einsatz von Partikelfiltern vermieden werden können. Das Gutachten geht von folgenden Annahmen aus:

- Die mittlere PM<sub>2,5</sub>-Konzentration in Deutschland wird mit 15 µg/m<sup>3</sup> angenommen. Die aus Kfz-Dieselmotoren stammende mittlere PM<sub>2,5</sub>-Konzentration wird mit 4 µg/m<sup>3</sup> eingeschätzt (5,5 µg/m<sup>3</sup> in der Stadt, 2,3 µg/m<sup>3</sup> am Land). Das Minderungspotential durch Partikelfiltern wird mit 3 µg/m<sup>3</sup> abgeschätzt.
- Zur Risikoabschätzung werden die Daten der American Cancer Society verwendet, die einen linearen Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber PM<sub>2,5</sub> und allen Todesursachen unterstellen. Man geht davon aus, dass die Beziehung zwischen 7,5 und 50 µg/m<sup>3</sup> gilt.
- Die Mortalität in Deutschland wird mit dem Ansatz der WHO ermittelt.

Damit kommt das Gutachten zu folgenden Schlüssen:

- In Deutschland sterben pro Jahr ca. 800.000 Menschen, 1 bis 2 % davon sind Dieselabgasen zuzuordnen. Etwa 8.000 bis 17.000 davon betreffen Personen mit Atemwegs- und Herz-Kreislauf-erkrankungen, ca. 1.100 bis 2.200 Personen mit Lungenkrebs. Durch den Einsatz von Partikelfiltern ließe sich ein vorzeitiger Tod zu überwiegenderm Teil verhindern.
- Die betrachteten Erkrankungen führen in relativ hohem Alter zum Tod. Sinnvoller ist daher die Betrachtung der Lebenserwartung. Mit vereinfachten Annahmen errechnet sich eine mittlere Verlängerung des Lebensalters um 1 bis 3 Monate.

Der Gutachter weist darauf hin, dass die Zahlenangaben von zahlreichen vereinfachenden Annahmen ausgehen und Unsicherheiten enthalten. Tendenziell sind die Aussagen konservativ. Bedauert wird, dass in Deutschland kein detailliertes Health Impact Assessment zum Gesundheitsrisiko durch Partikel durchgeführt wurde.

**In Kürze:** In Deutschland sterben pro Jahr ca. 800.000 Menschen, 1 bis 2 % davon sind Dieselabgasen zuzuordnen. Ca. 1.100 bis 2.200 betreffen Personen mit Lungenkrebs. Durch den Einsatz von Partikelfiltern ließe sich ein vorzeitiger Tod zu überwiegenderm Teil verhindern. Die betrachteten Erkrankungen führen in hohem Alter zum Tod. Sinnvoller ist daher die Betrachtung der Lebenserwartung. Mit vereinfachten Annahmen errechnet sich eine Verlängerung des Lebensalters um 1 bis 3 Monate.

## 6.7 Liste der krebserzeugenden Stoffe des BGIA (KMR-Liste)

Das BGIA - Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung veröffentlicht und aktualisiert regelmäßig eine Liste der krebserzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungsgefährdenden Stoffe. Diese Liste beinhaltet Stoffe,

- die gemäß § 5 der GefStoffV im Anhang I der EG-Richtlinie 67/548/EWG als krebserzeugend (karzinogen),
- erbgutverändernd (mutagen) oder
- fortpflanzungsgefährdend (reproduktionstoxisch) eingestuft sind;
- in der TRGS 905 "Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe" aufgeführt werden

- oder in der TRGS 906 "Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV" verzeichnet sind.

Die Liste enthält nicht die komplexen Mineralöl-, Kohle- und Erdgasderivate aus der EG-Richtlinie 67/548/EWG. Der Datenbestand darf zum Zwecke des Arbeitsschutzes bzw. zur Informationsgewinnung über die von chemischen Stoffen ausgehenden Gefährdungen genutzt werden. Die Liste vom 24. September 2008 bezeichnet 600 Stoffe als erbgutverändernd, und/oder krebserzeugend und/oder fortpflanzungsgefährdend. Die Liste kann unentgeltlich von [www.dguv.de/bgia/de/fac/kmr/index.jsp#\\_top](http://www.dguv.de/bgia/de/fac/kmr/index.jsp#_top) herunter geladen werden.

## 6.8 Zusammenfassung

Der Dieselmotor hat wegen seiner Effizienz und den geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa bei schweren Nutzfahrzeugen eine Monopolstellung, auch im PKW ist ihm der Durchbruch gelungen. Der Dieselmotor wird aber auch wegen Emissionen von Stickoxiden und Produkten unvollständiger Verbrennung wie gasförmige, flüssige und feste Substanzen, z.B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe kritisch betrachtet.

In einem Kolloquium der deutschen Kommission Reinhaltung der Luft im VDI im April 1991 wurde das mit der Emission von Dieselmotoren verbundene Krebsrisiko eingehend behandelt. Mit der Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für luftgetragene Schadstoffe haben sich in Europa die Bemühungen auf die Minderung der gesundheitlichen Risiken durch Feinstaub konzentriert. Da die Richtlinie zu signifikanter Minderung der Umweltbelastung führt, ist in Europa das Interesse an der mutagenen Wirkung von Dieselabgasen gesunken.

Die Ergebnisse der Gesundheitsgefährdung durch Dieselabgase basieren daher vorwiegend auf Arbeiten aus den Vereinigten Staaten, wo die US EPA eine tief schürfende Risikobewertung durch Belastung mit Dieselabgasen durchgeführt hat. Dabei wurden Literaturübersichten erstellt und die Ergebnisse zusammengefasst. Partikel in der Umgebungsluft führen beim Menschen zu Schäden am Atemtrakt und zu Herz- und Gefäßerkrankungen. Betroffen ist die gesamte Bevölkerung, die Anfälligkeit hängt vom Gesundheitszustand und vom Alter ab. Das Risiko steigt mit der Belastung, es gibt aber keine Hinweise auf Grenzwerte, unter denen keine Gefahr besteht. Der untere Wert, bei dem Effekte nachgewiesen wurden, liegt im Bereich der Hintergrundbelastung, die bei PM<sub>2,5</sub> in den USA bei 3 bis 5 µg/m<sup>3</sup> liegt. Laut EPA ist es nicht wahrscheinlich, dass Dieselabgase ein Risiko für die Reproduktion beim Menschen darstellen. Daher wurde auf weitere Recherchen über die teratogene Wirkung von Dieselabgasen verzichtet.

Die WHO verlangt die Einhaltung von 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2,5</sub> und von 20 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> im Jahresmittel. Die Europäische Richtlinie 1999/30/EG fordert bis 2010 einen PM<sub>10</sub>-Grenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel. Die aktuellen Werte liegen in vielen Ländern der Europäischen Union derzeit deutlich darüber, Maßnahmen zur Minderung sind unerlässlich. Dem haben die nationalen Gesetzgebungen und die technischen Entwicklungen Rechnung getragen. Bei Dieselmotoren wurden mittlerweile Maßnahmen getroffen, die zu Emissionsminderung in Größenordnungen führen werden.

Wissenschaftliche Untersuchungen der Abgaskomponenten von Dieselmotoren haben im AMES-Test auf erhöhte mutagene Wirkung bei Betrieb mit Pflanzenöl hingewiesen. Um eine Datenbasis aufzubauen, hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe das gegenständliche Programm „Emissionen bei der motorischen Verbrennung von Biokraftstoffen und Kraftstoffmischungen“ ausgeschrieben. Ziel des vorliegenden Arbeitspakets war, aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse in das fachliche Umfeld einzuordnen.

Die mutagene Wirkung von Abgasen des Dieselmotors waren in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts Gegenstand mannigfacher Diskussion. Das umfangreichste Dokument dazu ist die Studie der EPA aus dem Jahre 2002. Danach löst eine langzeitige Inhalation von Dieselabgasen beim Menschen wahrscheinlich Lungenkrebs aus und schädigt die Lunge auch auf andere Art. Wenn auch Berufsgruppenstudien einen kausalen Zusammenhang zwischen Belastung und Lungenkrebsrisiko zu bestätigen scheinen, reichen die Ergebnisse jedoch für die Schlussfolgerung, dass Dieselabgase definitiv krebserregend sind, nicht aus.

Inhalationsstudien zeigen bei Ratten signifikante Steigerung bei Lungenkrebs, lassen aber keine eindeutigen Schlüsse über Risiken für den Menschen bei geringerer Belastung zu. Die Effekte bei den Ratten werden durch die Überladung der Lunge durch hohe Konzentrationen bewirkt. Mit Konzentrationen in dieser Höhe ist bei Menschen nicht zu rechnen.

Beim Stand des Wissens ist es nicht wahrscheinlich, dass Dieselabgase ein Risiko für die Reproduktion beim Menschen darstellt. Bei Versuchen mit Nagetieren wurden keine teratogenen, fötotoxischen oder andere Reproduktionseffekte beobachtet.

In den USA werden mehr als 90 % der Bevölkerung durch toxische Substanzen in der Luft gesundheitlich beeinträchtigt. Für 1 bis 25 Personen aus einer Million besteht das Risiko verkürzter Lebensdauer durch Krebs. Fast die Hälfte der toxischen Substanzen stammt aus mobilen Quellen. In Deutschland sterben pro Jahr ca. 800.000 Menschen, 1 bis 2 % davon sind Dieselabgasen zuzuordnen. Ca. 1.100 bis 2.200 betreffen Personen mit Lungenkrebs. Durch den Einsatz von Partikelfiltern lässt sich ein vorzeitiger Tod zu überwiegendem Teil verhindern.

Der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen von Salmonellentests und dem Tumorbildungspotential für Nagetiere ist im besten Fall sehr schwach. Die aktuellen Standards für die Qualität der Umgebungsluft machen Aussagen, welche Stoffe zu welchen Krankheiten beitragen, immer schwieriger. Studien zeigen, dass die Konzentration erbgutschädigender Substanzen in der Umgebungsluft von Städten in drei, vielleicht sogar vier Größenordnungen variieren können. Bewertungen sind am wertvollsten, wenn unterschiedliche Testsysteme gemeinsam verwendet werden. Epidemiologische Studien liefern generische Aussagen wie „Luftverschmutzung korreliert mit Mortalität durch Lungenkrebs“, Zelltests sind für vergleichende Untersuchungen geeignet. Viele Argumente sprechen dafür, Zelltests, Biomarker und chemische Analysen zu kombinieren. Um sicherzustellen, dass zukünftige Studien mit Methoden nach dem Stand des Wissens erstellt werden, sollten diese durch internationale Gesellschaften koordiniert werden. Solche Studien sollen die Bewertung der Mutagenität und Kanzerogenität sowie chemische, physiochemische als auch meteorologische Informationen beinhalten.

Wissenschaftliche Untersuchungen haben im AMES-Test auf erhöhte mutagene Wirkung der Abgase von Dieselmotoren bei Betrieb mit Pflanzenöl hingewiesen. Mit dem Untersuchungsprogramm der FNR wird eine Datenbasis über die mutagene Wirkung von Abgasen aus der motorischen Verbrennung von Biokraftstoffen und somit eine Voraussetzung für eine künftige Bewertung der Auswirkung der Emissionen von Biotreibstoffen geschaffen. Eine quantitative Aussage über das Risiko einer Tumorbildung beim Menschen anhand der Ergebnisse von AMES-Tests ist jedoch nicht möglich.

## 7 EMISSIONEN BEI BETRIEB MIT PFLANZENÖL UND FAME

### 7.1 Einleitung

Ende der 70er Jahre wurde gezeigt, dass ein Langzeitbetrieb von serienmäßigen Dieselmotoren mit reinem Pflanzenöl nicht möglich ist. Zu Beginn der 80er Jahre wurde nachgewiesen, dass Fettsäuremethylester für handelsübliche Dieselmotoren geeignet sind. Dabei wurden auch die Emissionen von mutagenen und kanzerogenen Substanzen ohne Hinweise auf ein erhöhtes Risiko untersucht. Die Steuerbegünstigung für Biotreibstoffe hat in Deutschland das Interesse an unverestertem Pflanzenöl als Treibstoff wachsen lassen. Wissenschaftliche Untersuchungen haben auf das Risiko mutagener Effekte der Abgase hingewiesen.

Im Rahmen der vorliegenden Erhebung wurde versucht, eine repräsentative Übersicht über Arbeiten zu mutagenen Emissionen bei Betrieb von Dieselmotoren mit Pflanzenöl zusammenzutragen. Da über die genotoxische Wirkung von Dieselabgasen bei Betrieb mit reinem Pflanzenöl wenig belastbare Daten vorliegen, wurden ergänzend die Ergebnisse von Arbeiten zu Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit Fettsäuremethylester aufgenommen. Dies unter anderem deshalb, weil bei der motorischen Verbrennung von Methylestern der Fettsäuren ähnliche Emissionen vermutet werden.

### 7.2 Übersicht über Ergebnisse relevanter Arbeiten

Krahl, J. et al.: „[Review: Utilization of Rapeseed Oil, Rapeseed Oil Methyl Ester or Diesel Fuel - Exhaust Gas Emissions and Estimation of Environmental Effects](#)“, University of Missouri, (1996); [36] [Abstract](#)

Krahl et al. haben bereits 1996 Ergebnisse von Untersuchungen der Emissionen limitierter und nicht limitierter Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit Pflanzenöl und Fettsäuremethylester zusammen getragen. Die Ergebnisse basieren auf den Durchschnittswerten von wiederholten Messungen sowie auf Einzelmessungen. Die folgende Tabelle vergleicht Durchschnittswerte limitierter Emissionen von Motoren bei Betrieb mit Rapsöl und RME mit Dieselkraftstoff.

*Gesetzlich limitierte Emissionen von Motoren mit bei Betrieb Rapsöl und RME (DK = 100 %)*

Bestandteil	Rapsöl		RME	
	Kohlenwasserstoffe (HC)	210 % 110 %	IDI DI	70 % 80 %
Kohlenmonoxid (CO)	180 % 115 %	IDI DI	70-90 % 100 %	IDI DI
Stickoxide (NOx)	100 %		110 %	
Partikelmasse	320 % 90 % 80 %	inst: IDI stat: IDI DI	100 % 60-80 %	DI
Russschwärzung	55 %		60 %	
IDI: indirekte Einspritzung; DI: direkte Einspritzung; stat: stationärer Test; inst.: instationärer Test				

Mit Ausnahme der Stickoxide ist RME günstiger, Pflanzenöl ungünstiger als Dieselkraftstoff, wobei Motoren mit indirekter Einspritzung bei Pflanzenölkraftstoffen deutlich schlechter arbeiten.

Die folgende Tabelle zeigt den Vergleich der Messungen organischer Substanzen bei Betrieb mit Rapsöl und RME im Vergleich zum Betrieb mit Dieselmotoren.

*Nicht limitierte Emissionen von Motoren bei Betrieb mit Rapsöl und RME (DK = 100 %)*

Bestandteil	Rapsöl		RME	
PAH	10-75 % 240 %	FTP/13/5 ECE	75 % 75 % 15 %	inst. 13 5
Aldehyde	280 %		120 % 400 %	FTP
Aromate	135 %		60 %	
Benzene	160 %		70 % 135 %	
FTP: FTP-75 Test; ECE: ECE-15 Test; 13: 13-Mode Test; 5: 5-Mode Test; inst.: instationärer Test				

Die Emissionen organischer Substanzen bei Betrieb mit Rapsöl sind mit Ausnahme der PAH-Emissionen im FTP-Zyklus deutlich höher. RME hat nach Wissenstand 1996 weniger Nachteile oder sogar Vorteile gegenüber Dieselmotoren. Eine Unterscheidung zwischen den Motorbauarten war nicht möglich. Darüber hinaus erscheinen die PAH Werte in der Literatur fragwürdig. Die Arbeiten geben keinen Hinweis auf die zugrunde liegende Anzahl von Messwerten, Angaben über Wiederholungen fehlen.

**Pedersen, J. et al.:** „[Oxidation of rapeseed oil, rapeseed methyl ester and diesel fuel studied with GC/MS](#)“, *Chemosphere*, Vol. 38, (1999); [12] [Abstract](#)

Rapsöl, RME und Dieselmotoren wurden bei 550 °C in einem Reaktor oxidiert. Rapsöl und RME liefern im Vergleich zu Dieselmotoren um den Faktor 10 mehr 1-Alkene, Diene und Benzene. Rapsöl führte zu hohen Anteilen an Acrolein und anderen Aldehyden. Die Oxidation von RME führte zu signifikanten Mengen von Methylacrylat. Die Untersuchungen zeigen deutliche Unterschiede bei der Bildung organischer Substanzen in der Versuchseinrichtung. Ob die Ergebnisse auf den praktischen Betrieb von Dieselmotoren übertragen werden können, erscheint fragwürdig.

**Bünger, J. et al.:** „[Strong mutagenic effects of diesel engine emissions using vegetable oil as fuel](#)“, *Arch Toxicol*, Springer-Verlag (2007); [11] [Abstract](#)

Im Vergleich zu Dieselmotoren zeigten zwei Rapsölkraftstoffe eine signifikante Erhöhung der mutagenen Wirkung der Partikelproben um den Faktor 9,7 bis zu 59 beim AMES-Test mit Mutantenstamm TA98 beziehungsweise von 5,4 bis zu 22,3 beim Mutantenstamm TA100. Die Kondensate der Rapsölkraftstoffe führten zu einer um 13,5 höhere Mutagenität als der Referenzkraftstoff. RME Proben zeigen eine moderat, aber signifikant höhere Mutagenität beim Mutantenstamm TA98 bei metabolischer Aktivierung und bei TA100 ohne metabolische Aktivierung.

Die starke Erhöhung der Mutagenität bei Verwendung von Rapsölkraftstoff im Vergleich zum Referenzdieselmotoren und anderen Kraftstoffen verursacht schwere Bedenken bei der Verwendung von Rapsöl in nicht angepassten Motoren.

**Krist, H.J. et al.: „[Prüfung der Mutagenität von Inhaltstoffen partikulärer Abgasbestandteile im AMES-Test](#)“, bifa Umweltinstitut (2007); [8] [Abstract](#)**

Das bifa Umweltinstitut hat im Auftrag der bioltec evolv-ram GmbH Regensburg die Mutagenität der Abgase eines für Rapsölbetrieb adaptierten Motors untersucht. Bezogen auf die extrahierte Russmenge war die Anzahl an Revertanten bei den Abgasruss-Extrakten aus Pflanzenöl mit bioltec-Umrüstung um den Faktor 2 bis 3 niedriger als bei den Diesel-Russextrakten. Die untersuchten Extraktinhaltsstoffe der Proben im AMES-Test erwiesen sich als vergleichsweise wenig wirksam. Die mutagene Wirkung des Probenextraktes P-BIOLTEC lag teilweise an der unteren Nachweisgrenze. Ein Grund ist die relativ geringe absolute Menge an Russ, mit denen die Filter beladen waren. Bisherige Erfahrungen des bifa zeigten, dass erst ab einer Russmenge von ca. 20 mg aufwärts deutlich signifikante mutagene Wirkungen bei EURO III Motoren feststellbar waren. Das bioltec-System erwies sich in Hinblick auf die mutagenen Wirkungen in den Tests als günstig. Sowohl die Russmenge als auch die mutagene Wirkung sind beim Betrieb mit variabler Kraftstoffzusammensetzung tendenziell niedriger als bei reinem Dieselmotorbetrieb.

**[Untersuchung der Emissionen bei Einsatz von Diesel und Rapsöl als Kraftstoff eines LKW Dieselmotors auf Mutagenität und Kanzerogenität](#); [4] [Abstract](#) sowie [5] [Abstract](#)**

Das Clausthaler Umwelttechnik-Institut hat im Auftrag von eoil automotive & technologies die Emissionen eines für Pflanzenöl adaptierten Motors auf mutagene und kanzerogene Wirkung untersucht. Die gewonnenen Abgasextrakte wurden im AMES- und Mauslymphomtest (ML) hinsichtlich ihrer toxikologischen Wirkung geprüft. Viele Messwerte lagen in der Nähe der Nachweisgrenze bzw. der statistischen Gültigkeiten. Ein Trend in Form einer Dosis/Wirkung-Beziehung lässt sich - obwohl im strengeren Sinne „statistisch nicht relevant“ - beim ML-Test erkennen. Es gibt eine konzentrationsabhängige leichte Erhöhung der Mutagenität beim Dieselmotorextrakt, die geringfügig stärker ausgeprägt ist als beim Rapsöl.

**Thuneke, K. et al.: „[Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotorkraftstoff betriebenen Traktors](#)“, Straubing, Oktober 2007; [2] [Summary](#)**

Das TFZ Straubing hat mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten eigene Untersuchungen über mutagene Emissionen von für den Pflanzenölbetrieb angepassten Dieselmotoren durchgeführt und die Ergebnisse mit denen aus vorliegenden Arbeiten verglichen. Die mutagene Wirkung aller Probenextrakte aus den eigenen Untersuchungen liegen trotz einer Partikelprobenmenge von jeweils ca. 30 mg auf sehr geringem Niveau und teilweise an der unteren Nachweisgrenze, so dass der beobachtete Anstieg der Revertantenzahl nicht immer eindeutig dem Extrakt zurechenbar ist.

Ein Vergleich der Ergebnisse zwischen Rapsöl- und Dieselmotorkraftstoff zeigt, dass das mutagene Potenzial der Partikel beim Betrieb mit Rapsölkraftstoff über den gesamten Testzyklus etwa 10 bis 60 % und im Leerlaufbetrieb etwa 50 bis 80 % niedriger ist als mit Dieselmotorkraftstoff. Bezogen auf ein einheitliches Abgasvolumen ist die Mutagenität der Partikel beim Betrieb mit Rapsölkraftstoff im Vergleich zum Dieselmotorbetrieb über den gesamten Prüfzyklus um ca. 30 bis 70 % niedriger und im Leerlauf zwischen 20 % höher und 50 % niedriger.

Die chemische Partikelanalyse zeigt, dass die Summe der Nitro-PAK der Partikelproben eine deutlich höhere Konzentration bei Dieselmotorbetrieb im Vergleich zum Rapsölbetrieb aufweist. Die höheren Revertantenzahlen im Dieselmotorbetrieb können somit zumindest teilweise auf die erhöhte Konzentration an Nitro-PAK zurückgeführt werden.

Der Vergleich der PAK-Summenkonzentrationen zeigt kein eindeutiges Bild. Die Menge der an die Partikel angelagerten PAK waren im Rapsölbetrieb während des Leerlaufs höher als im Zyklus. Der Dieselmotorbetrieb zeigt diesbezüglich ein umgekehrtes Bild, obwohl in beiden Fällen die Nettoeventanzahl im Leerlauf höher liegt als über dem gesamten Zyklus. Dies kann darauf hindeuten, dass die Nitro-PAK einen stärkeren Einfluss auf die Mutagenität haben als die PAK-Komponenten und bestätigt somit bisherige Ergebnisse aus der Literatur.

#### Übersicht bisheriger Untersuchungen zur Mutagenität von Rapsölkraftstoff

Quelle	STALDER et al. (1994)	BÜNGER et al. (2007)	KRIST et al. (2007)	THUNEKE et al. (2007)
Testzyklus bei Probenahme	Volllast	13-Stufen-Test	13-Stufen-Test	8-Stufen-Test und Leerlauf
Maschine/ Fahrzeug/Motor	Traktor KHD- Wirbelkammermotor F4L912W	Mercedes- Benz OM 906 LA, EURO III	Lkw DAF CF 85, EURO V	Traktor mit Deutz-Motor BF6M1013EC, Abgasstufe II
Motoranpassung/ Umrüstung	gilt als pflanzenöлтаuglich	mit und ohne Kraftstoffheizung	Zweitank-System „Bioltec“	Ein-Tank-System „Hausmann“
Kraftstoff	Rapsöl und Diesel	Rapsöl und Diesel	Rapsöl-/Diesel- mischung und Diesel	Rapsölkraftstoff (DIN V 51605), Diesel (EN 590)
Mutagenität bezogen auf gleiche extrahierte Partikelmasse			0,4 bis 0,6 x DK	8-Stufen-Zyklus: 0,4 bis 0,9 x DK Leerlauf: 0,2 bis 0,5 x DK
Mutagenität bezogen auf gleiches Volumen gefilterten Abgases	0,1 bis 4,0 x DK RK nicht vorgeheizt:	5 bis 18 x DK RK vorgeheizt: 13 bis 59 x DK	-	8-Stufen-Zyklus: 0,3 bis 0,7 x DK Leerlauf: 0,5 bis 1,2 x DK

**Rathbauer, J. et al.:** „[Rapsöl als Treibstoffalternative in der Landwirtschaft](#)“, Wieselburg (2009); [50]

Im Rahmen eines vom österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft geförderten Projekts wurde der Betrieb von 37 adaptierten Traktoren mit Rapsöl als Kraftstoff untersucht. Beim Vergleich der Messungen zwischen Dieselmotor und Pflanzenöl zeigte sich im Mittel über die Fahrzeugflotte bei den CO-Emissionen ein Absinken zugunsten des Rapsölbetriebs um 11 % am Versuchsbeginn bzw. 4 % am Versuchsende. Bei den HC-Emissionen wurde eine Verringerung beim Betrieb mit Rapsöl um 55 % ermittelt. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen lagen bei Rapsölbetrieb im Mittel um 14 % (Beginn) bzw. 11 % (Ende) über denen bei Dieselmotorbetrieb. Bei den Partikelemissionen wurde bei Rapsölbetrieb eine signifikante Verringerung um durchschnittlich 33 % ermittelt. Bei jenen Fahrzeugen, die am Versuchsende ein signifikant höheres Emissionsniveau aufwiesen, wurde meist auch ein kritischer Zustand bei der abschließenden Motorbegutachtung festgestellt.

**In Kürze:** Die Zusammensetzung der Abgase von Dieselmotoren bei Betrieb mit Pflanzenöl unterscheidet sich deutlich von fossilem Dieselmotor und hängt von der Motorbauart ab. Die von Bünger et al. (2007) nachgewiesene Erhöhung der mutagenen Wirkung bei Verwendung von Pflanzenöl in nicht für den Betrieb mit Pflanzenöl geeigneten Motoren verursacht schwere Bedenken.

Untersuchungen der Mutagenität von Abgasen von für Pflanzenöl adaptierten Motoren im Auftrag der Herstellerfirmen kommen zu günstigen Ergebnissen bei Pflanzenöl im Vergleich mit Dieselmotor. Zu

ähnlichen Ergebnissen kommt eine Arbeit des TFZ Straubing. Die Autoren dieser Arbeit weisen auch auf einen Zusammenhang zwischen der Nitro-PAK-Konzentration und der Mutagenität hin.

In einem Flotteversuch mit pflanzenöltauglichen Traktoren wurde gezeigt, dass die Emissionen brennbarer Substanzen im Abgas (CO, HC, Partikel) bei Betrieb mit Pflanzenöl geringer sind als bei Betrieb mit Dieselkraftstoff. Weiters wurde erkennbar, dass die Emissionen über die Betriebszeit steigen.

**Eckl, P.M. et al.** „[The mutagenic potential of diesel and biodiesel exhausts](#)“, Potsdam 1997; [1] [Abstract](#)

Zusammenfassend scheinen die gesundheitlichen Risiken im Zusammenhang mit der Verwendung von RME im Vergleich zu Diesel niedriger zu sein, da Dieselabgase eine höhere Zytotoxizität aufweisen, stärker mutagen im AMES-Test sind, ein vergleichbares mutagenes Potential im Leberzellen-Test haben und die Partikelemissionen bei RME signifikant geringer sind, was wiederum das karzinogene Potential verringert.

**Bünger, J. et al.:** „[Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel](#)“, Universität Göttingen, FAL Braunschweig, FH Coburg, Universität Magdeburg (1998); [44] [Abstract](#)

Der AMES-Test mit den Mutantenstämmen TA98 und TA100 zeigt eine signifikante Zunahme der Mutationen bei den Partikelextrakten beider Kraftstoffe. Für Dieselkraftstoff war die Anzahl der Rückmutationen im Vergleich zu RME signifikant höher. Das höchste Ausmaß an Rückmutationen wurde bei Tests, die eine Kaltstartphase beinhalten, festgestellt. Das ist möglicherweise in der unvollständigen Verbrennung im kalten Motor und der geringeren Konversionsrate des kalten katalytischen Konverters begründet.

Tests mit Aktivierung durch S9 Extrakt führen in den meisten Untersuchungen zu einem etwas geringeren Anstieg an Rückmutationen. Die Mutantenstämme TA97a und TA102 zeigen keine signifikante Zunahme von spontanen Rückmutationen. Im FTP-75 Testzyklus zeigen RME-Extrakte etwas höhere toxische Auswirkungen im Bezug auf L929 Zellen als Dieselkraftstoff.

Die Untersuchungen weisen auf ein höheres mutagenes Potential der Abgase von Dieselmotoren bei Betrieb mit Dieselkraftstoff im Vergleich zu RME hin. Dies ist möglicherweise durch den geringeren Gehalt an polyzyklischen aromatischen Verbindungen im RME Abgas begründet, obwohl die emittierten Massen bei RME bei den meisten Messungen dieser Studie etwas höher waren.

**Wurst, F., Wörgetter, M. et al.:** „[Emissionen beim Einsatz von Rapsölmethylester an einem Prüfstandsmotor](#)“, Wieselburg 1990 [49] [Summary](#)

Die aus anderen Untersuchungen bekannten Ergebnisse für gesetzlich limitierten Emissionen wurden bestätigt: mit Rapsölmethylester verringert sich die Emission von Summenkohlenwasserstoffen deutlich, die Stickoxide steigen schwach an. Formaldehyd bleibt gleich, Acetaldehyd sinkt deutlich, Acrolein steigt fast auf das Dreifache. Die Emissionen von Aromaten sinken weitgehend ab. Dies gilt jedoch nicht für Benzol, das um 30 % steigt. Bei fossilem Diesel und bei RME ist Kraftstoff in der gleichen Größenordnung im Abgas zu finden, wobei bei RME im Leerlauf auffallend viel unverbrannter Kraftstoff emittiert wird. Bei Betrieb mit RME sinken die PAH-Emissionen deutlich bis stark ab. BaP sinkt von 1,4 µg/kWh auf 0,4 µg/kWh. Das mengenmäßig am bedeutendsten Phenantren sinkt von 2,3 µg/kWh auf 0,08 µg/kWh. Während bei Stickoxyden die spezifischen Emissionen bei niedriger Last gering sind,

steigen sie bei brennbaren Substanzen stark an. Die spezifische HC-Emission ist bei Leerlauf fast das 20fache der Emission bei hoher Last; bei RME steigt Acenaphtylen sogar auf das 80fache. Die Lastabhängigkeit der PAH-Emissionen bei Diesel weicht von diesem Bild ab, bei hoher Drehzahl steigt die Emission mit steigender Last.

**In Kürze:** Die Untersuchungen zeigen geringe Unterschiede der Mutagenität der Abgase serienmäßiger Dieselmotoren im Betrieb mit (reinem) Biodiesel und fossilem Dieselkraftstoff. Auffallend ist die Lastabhängigkeit der Emissionen. Die Kohlenwasserstoffe sowie die mutagene Wirkung der Abgase steigen mit sinkender Last an und sind im Leerlauf am größten, wobei der relative Anstieg bei Biodiesel höher ist als bei fossilem Dieselkraftstoff.

**[www.biodieseltgear.com](http://www.biodieseltgear.com)** (1998); [14] [Abstract](#)

Das "National Biodiesel Board" hat in den USA ein Tier I Testprogramm durchgeführt. Das Programm geht auf die strengsten bis zum Zeitpunkt der Untersuchung gestellten Forderungen der US Environmental Protection Agency für die Einführung neuer Kraftstoffe ein. Die Untersuchungen entsprechen nahezu einer vollständigen Datenerhebung der gesundheitlichen Auswirkung von Biodiesel. Der Bericht enthält folgende Ergebnisse:

- Das Ozon bildende Potential der Abgasemissionen von Biodiesel ist um 50 % geringer als bei DK.
- Die Emissionen von Kohlenmonoxid von Biodiesel sind um 50 % geringer.
- Die Partikelemissionen von Biodiesel sind um 30 % geringer. Die unlöslichen Anteile der Partikelemissionen werden durch Biodiesel um 80 % reduziert.
- Die Emissionen von Aldehydverbindungen wie Formaldehyd sind bei Biodiesel um 30 % geringer als jene von DK.
- Die Emissionen von Stickoxiden bei Biodiesel sind um 13 % höher als die bei DK.
- Die HC-Emissionen sind bei Biodiesel um 95 % geringer als bei DK.

Bezüglich toxischer Wirkung wurde festgestellt:

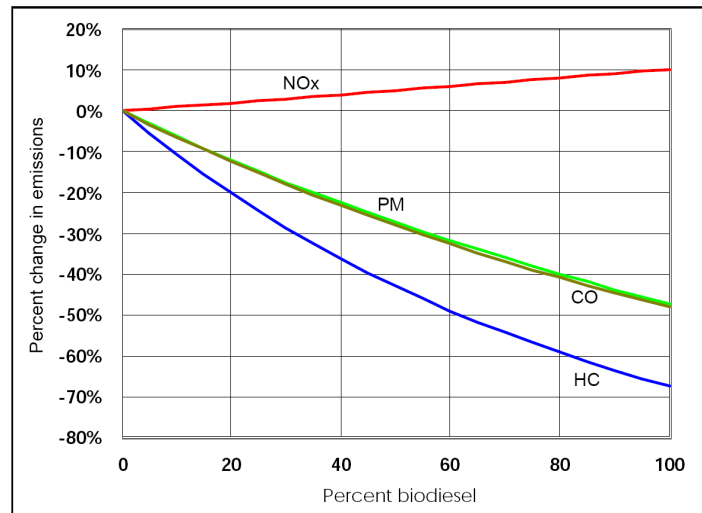
- Die Emissionen von PAH und NPAH Verbindungen werden bei Biodiesel gegenüber Dieselabgasen wesentlich reduziert. Alle PAH Verbindungen werden um 75 % bis 85 % reduziert, ausgenommen Benzo(a)anthracene, welches um 50 % reduziert wird. Alle NPAH Verbindungen werden um mehr als 90 % reduziert, wobei die meisten NPAH Verbindungen bis zur Nachweisgrenze reduziert werden.
- Eine Durchsicht der bestehenden Studien zeigt, dass die Mutagenität bei Biodiesel wesentlich geringer ist als bei Diesel. Von den 10 betrachteten Studien zeigen alle wesentlichen Reduzierungen der mutagenen Auswirkungen für Biodiesel. Die Emissionen bei Mischungen sind weniger mutagen als bei Dieselkraftstoff, aber mutagener als bei reinem Biodiesel.

**Environmental Protection Agency: "[A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust](#)"**, Draft Technical Report, (2002); [17] [Abstract](#)

Der Bericht enthält eine technische Analyse der Emissionen aus dem Betrieb von Fahrzeugen mit Biodiesel. Dazu wurden verfügbare Daten aus Untersuchungsprogrammen ausgewertet. Die Schlussfolgerungen basieren auf dem Stand des Wissens zum Zeitpunkt der Untersuchung und können jederzeit wiederum bewertet werden. Die Analyse enthält Informationen für interessierte Parteien und Gruppen, die den Wert, die Effektivität und die Verwendung von Biodiesel beurteilen. Er ist als Entwurf öffentlich

zugänglich gemacht worden und soll bezüglich Methode, Annahmen und Schlussfolgerungen kritisch gesichtet werden. Der Bericht ist kein Regelwerk und schafft keinerlei Rechte.

Das folgende Diagramm basiert auf einer statistischen Regression von Daten aus Untersuchungen mit unterschiedlichen Mischungen von Biodiesel mit fossilem Diesel, wobei die meisten Untersuchungen mit schweren Nutzfahrzeugen durchgeführt wurden.



*Durchschnittliche Auswirkungen von Biodiesel auf die Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen*

Eine der häufigsten Beimischungen von Biodiesel in den USA besteht aus 20 vol% Biodiesel und 80 %<sup>7</sup> konventionellen Dieselmotorkraftstoff. Bei B20 aus Sojaöl betragen die Emissionsauswirkungen für die derzeitige Fahrzeugflotte (fast ausschließlich schwere Nutzfahrzeuge) bei

- NOx +2 %,
- PM -10 %,
- HC -21 %,
- CO -11 %.

**Morris, R. E. et al.:** [“Impact of Biodiesel Fuels on Air Quality and Human Health”](#), NREL (2003); [15] [Abstract](#)

Die analysierten Daten zeigen, dass Dieselpartikelemissionen von B100 und B20 Biodiesel jeweils um 20 % bzw. 5 % weniger Toxizität als jene von Standard Dieselmotorkraftstoff haben.

Die durchschnittliche Änderungen durch die Verwendung von Biodiesel in Relation zu DK betragen bei

- NO<sub>x</sub> Emissionen: B20 +2,4 % bzw. B100 +13,2 %;
- Partikelemissionen: B20 -8,9 % bzw. B100 -55,3 %;
- CO Emissionen: B20 -13,1 % bzw. B100 -42,7 %;
- VOC Emissionen: B20 -17,9 % bzw. B100 -63,2 %;
- SO<sub>2</sub> Emissionen: B20 -20,0 % bzw. B100 - 100,0 %.

Der berechnete Anstieg oder die Verringerung der Ozon-, CO und PM-Konzentrationen in der Umgebungsluft durch die Verwendung von Biodiesel ist sehr gering (<± 1 %) für alle Luftschadstoffe, Regionen und die in der Studie betrachteten Zeit. Die Änderungen liegen somit unter der Auflösungs-

<sup>7</sup> B20 - 20 vol% Biodiesel in fossilem Diesel; B100 - 100 % Biodiesel

grenze der üblichen Messungen. Daher kann man unter den getroffenen Annahmen die Auswirkungen von Biodiesel auf die Umgebungsluft als nicht messbar betrachten.

**Holden, B. et al.:** "[Effect of biodiesel on diesel engine nitrogen oxide and other regulated emissions](#)", **University of California (2006); [13] [Abstract](#)**

Das Projekt konzentrierte sich auf B20, da diese Mischung bei Militärfahrzeugen verwendet wird. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen keine statistisch signifikanten Unterschiede bei CO, HC, NO<sub>x</sub> und PM Emissionen zwischen B20 und dem ULSD. Höhere Biodiesel Mischungen (B50 bis B100) wurden nur an einem Fahrzeug getestet. Bei diesem Humvee zeigten höhere Biodieselbeimischungen einen Trend zu höheren CO und HC Emissionen und geringeren PM Emissionen.

**Koo-Oshima, S. et al.:** "[Comprehensive health and environmental effects of biodiesel as an alternative fuel](#)", **[16] [Abstract](#)**

In einem vom National Biodiesel Board finanzierten Projekt wurde die Umweltauswirkung der Verwendung von Biodiesel untersucht. Das Projekt steht in Zusammenhang mit den EPA-Aktivitäten und weist signifikante Vorteile zur Erreichung der U.S. Federal Clean Air Standards zur Reduzierung der angestrebten Emissionsziele nach.

B20 führt zu prozentuellen Verringerungen im Bereich von:

- 16-33 % bei Gesamtpartikeln,
- 11-25 % bei Kohlenmonoxid und
- 19-32 % bei den gesamten Kohlenwasserstoffen.

Die PAH-Emissionen sind bei Biodieselmischungen im Vergleich zu Diesel geringer. Die Untersuchungen zur Mutagenität mit Salmonella-Mutantenstämmen an einer Auswahl an Testkraftstoffen (beispielsweise Rapsmethylester, Rapsethylester, Sojamethylester) zeigen eine geringere Mutagenität von Biodiesel.

**Von Wedel, R.:** "[Biodiesel 101: Emission Reductions and Experience in San Francisco](#)", **San Francisco Biodiesel Task Force, San Francisco, (2006); [35] [Abstract](#)**

Die Verwendung von Biodiesel reduziert die Partikelmasseemissionen bei B20 um 18 % und bei B100 um 47 - 55 %. Auch die PAH-Emissionen werden verringert. Die Mutagenität des Abgases sowohl in der gasförmigen als auch der Feststoffphase wird abgesenkt. Inhalationsuntersuchungen mit Ratten zeigten auch bei hohen Dosen keine Mortalität, aber geringfügige pathologische Veränderungen.

**In Kürze:** Ausgehend von einer Initiative des National Biodiesel Board hat die US Environmental Protection Agency eine technische Analyse der Emissionen aus dem Betrieb von Fahrzeugen mit Biodiesel erstellt. Die Analyse enthält Informationen für interessierte Parteien und Gruppen, die den Wert, die Effektivität und die Eignung der Verwendung von Biodiesel beurteilen. Er war als Entwurf öffentlich zugänglich und soll bezüglich Methode, Annahmen und Schlussfolgerungen kritisch gesichtet werden. Nachfolgende Arbeiten bestätigen die starke Reduktion der Emission von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Partikeln und PAHs sowie den Anstieg der NO<sub>x</sub>-Emission bei Betrieb mit Biodiesel im Vergleich zu Dieselkraftstoff. Die Resultate decken sich mit den Ergebnissen von Arbeiten in Europa. Einzelne Arbeiten weisen auch auf die geringere mutagene Wirkung in Zelltests und geringe Auswirkungen in Inhalationstests bei Ratten hin.

**Munack, A. et al.: „[Systematische Untersuchungen der Emissionen aus der motorischen Verbrennung von RME, MK1 und DK](#)“, Braunschweig (2003); [6] [Summary](#)**

Die Studie nimmt Bezug auf die Ergebnisse einer Untersuchung an der Chalmers Universität in Schweden, in der die Bildung organischer Substanzen bei instationärer Verbrennung von Kraftstoffen in einem Rohrreaktor untersucht wurde. Die Studie ist als Antwort auf die Ergebnisse der schwedischen Arbeiten gedacht und wurde durch die AGQM finanziert.

RME führt bei den CO-Emissionen zu einer deutlichen Absenkung gegenüber Dieseldieselkraftstoff, auch bei den Summenkohlenwasserstoffen und den Partikeln bewirkt RME eine deutliche Emissionsminderung. Die Emissionen von Aromaten, Ethen, Propen und Ethin sowie von Aldehyde und Ketonen sinken deutlich, organisch unlöslichen Partikelbestandteile werden erheblich gemindert. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen steigen mit RME geringfügig an. Bei der Partikelgrößenverteilung wurden bei RME im Bereich bis 80 nm deutlich mehr Partikel festgestellt, oberhalb von 80 nm zeigt RME gegenüber allen anderen Dieseldieselkraftstoffen eine deutlichen Minderung.

Die Untersuchungen zur Mutagenität der organisch löslichen Partikelphase führen im AMES-Test beim Teststamm TA 98 mit und ohne S9-Aktivierung zu sehr klaren Vorteilen von RME gegenüber allen mineralischen Dieseldieselkraftstoffen.

**Munack, A. et al.: „[Untersuchung von Biodiesel und seinen Gemischen mit fossilem Dieseldieselkraftstoff auf limitierte Emissionen](#)“, FAL Braunschweig und Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik, Coburg, (2003); [9] [Summary](#)**

Die Emissionen liegen bei allen Versuchen mit Dieseldieselkraftstoff RME sowie deren Mischungen unter den gesetzlich festgelegten Grenzwerten von EURO II. Die Stickoxidemissionen unterschreiten den Grenzwert nur knapp. Die Partikelemissionen und insbesondere die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen liegen weit unterhalb der Grenzwerte.

RME weist dabei gegenüber Dieseldieselkraftstoff bei NO<sub>x</sub> eine um ca. 10 % höhere Emission auf. Eine Reduktion ist dagegen bei HC (50 %), CO (40 %) und der PM-Emission (40 %) zu verzeichnen. Die Emissionen von Kraftstoffmischungen ändern sich weitgehend linear mit dem Anteil von RME im Dieseldieselkraftstoff. Nur bei der Partikelmasse ist dieser Trend nicht so deutlich ausgeprägt.

**Munack, A. et al.: „[Vergleich von Shell Mittel-Destillat, Premium-Dieseldieselkraftstoff und fossilem Dieseldieselkraftstoff mit Rapsölmethylester](#)“, FAL Braunschweig und Steinbeis-Transferzentrum Coburg und Universität Göttingen (2005); [19] [Abstract](#)**

Ziel des Projekts waren vergleichende Abgasuntersuchungen bei Verwendung von Shell Mittel-Destillat (GTL) mit Schmierfähigkeitsadditiv, fossilem Dieseldieselkraftstoff (DK), Rapsölmethylester (RME), Premium-Dieseldieselkraftstoff (PDK – bestehend aus 60 % DK, 20 % RME und 20 % GTL) sowie einem Gemisch aus 95 % GTL und 5 % RME (B5GTL). Bei dem letztgenannten Gemisch ist RME dem GTL als Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit beigemischt.

Für die Untersuchungen wurden ein Nutzfahrzeugmotor OM 906 LA der Firma Mercedes-Benz (Euro III) im ESC-Test mit den genannten Kraftstoffen betrieben und die limitierten Abgaskomponenten, die Partikelgrößenverteilung sowie die Mutagenität der organisch löslichen Partikelfractionen ermittelt.

Insgesamt verursacht GTL durchwegs niedrigere Emissionen als herkömmlicher DK, wobei die besonders niedrigen Stickoxidemissionen und die signifikant geringere Mutagenität hervorzuheben sind. RME zeigt bei den Kohlenwasserstoff-, Kohlenmonoxid- und Partikelmassenemissionen Vorteile. Der

Premium-Dieselmotoren verbindet diese Vorteile, verursacht aber - wie Rapsölmethylester - hohe Emissionen von Ultrafeinpartikeln. Während B5GTL nahezu in allen Messwerten der zu erwartenden Kombination aus GTL mit geringer Verschiebung zum RME entspricht, zeigen sich beim Premium-Dieselmotoren nicht-lineare Effekte. Dazu gehört eine geringere Partikelmassenemission, aber auch eine hohe Mutagenität.

**Munack, A. et al.:** „[Messung ultrafeiner Partikel im Abgas von Dieselmotoren beim Betrieb mit Biodiesel](#)“, FAL Braunschweig und Steinbeis-Transferzentrum Coburg (2007); [10] [Abstract](#)

In früheren Untersuchungen bezüglich des Emissionsverhaltens von RME im Vergleich mit anderen Kraftstoffen wurde für RME stets ein höherer Ausstoß an Partikeln im Nukleationsbereich von 10 bis 30 nm festgestellt, während dies für andere untersuchte Kraftstoffe nicht so gravierend war. In den Messungen der gesetzlich limitierten Emissionen war mit Ausnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen ein deutlicher Vorteil für RME im Vergleich zu mineralischen Dieselmotoren zu erkennen. In den Messungen der gesetzlich nicht limitierten Emissionen wurden für RME im Vergleich zu den anderen Kraftstoffen durchwegs Vorteile festgestellt. In den Untersuchungen der Partikelzusammensetzung konnte für RME ein im Vergleich zu den anderen untersuchten Kraftstoffen erhöhter Anteil an unverbranntem Kraftstoff an den Partikeln nachgewiesen werden.

In den Messungen der Partikelanzahl wurden für RME die niedrigsten Emissionen nachgewiesen. Das Niveau der Mutagenität war für die untersuchten Kraftstoffe insgesamt niedrig. Durch den Oxidationskatalysator konnte eine weitere Absenkung der Zahl der Mutationen erreicht werden.

**Stein, H.:** „[Dieselmotoremissionen aus der Verbrennung von Biodiesel und verschiedenen fossilen Dieselmotoren unter besonderer Berücksichtigung der Partikelemissionen](#)“, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, (2008); [41] [Abstract](#)

In der von der Fakultät für Lebenswissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig wurde eine Dissertation durchgeführt. Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- CO ist bei RME tendenziell geringer als bei den anderen Testkraftstoffen.
- Auch die Kohlenwasserstoffemissionen bewirkte bei RME eine spürbare Reduktion gegenüber DK.
- Hinsichtlich der Stickoxidemissionen wurden für RME Steigerungen gemessen. Bei synthetischem Dieselmotoren (GtL, „Gas to Liquid“) werden Emissionsvorteile erzielt.
- Biodiesel konnte bei der aus dem verdünnten Abgas bestimmten Partikelmasse eine Absenkung gegenüber den DK bewirken. Auch GtL senkt die Partikel teilweise signifikant.

Die Ergebnisse der differenzierten Analytik der Partikelemissionen im unverdünnten Abgas mittels Impaktor zeigen, dass bei Biodiesel der Anteil ausheizbarer Masse die Emissionen dominierte. Darüber hinaus zeigten die Partikelanzahlverteilungen aus dem verdünnten und unverdünnten Abgas Emissionsmaxima im Bereich zwischen etwa 40 und 80 nm Mobilitätsdurchmessers. Offensichtlich besteht das Biodieselabgas aus einem höheren Anteil kondensierbarer Bestandteile als die übrigen Testkraftstoffe. Trotz der zum Teil erheblichen Unterschiede bei den Kraftstoffeigenschaften wurde kein systematischer Einfluss auf die Partikelmassenemissionen aus dem verdünnten und unverdünnten Abgas gefunden.

In Summe zeigten die PAK-Emissionsergebnisse eine Aufteilung der Kraftstoffe in drei Gruppen. Dieselmotoren emittierten am meisten partikelgebundene PAK. Danach folgten mit deutlichem Abstand optimierter Dieselmotoren und GTL, bevor mit Biodiesel das größte Reduktionspotenzial erzielt wurde.

**In Kürze:** Weiterführende Untersuchungen der Emissionen bei Betrieb unveränderter Dieselmotoren mit Biodiesel, reformulierten Dieselmotoren und synthetischem Dieselmotoren (GtL = „Gas to Liquid“) bestätigen die bekannten Vorteile von Biodiesel bei der Emission von brennbaren Bestandteilen. GtL zeigt ähnliche Vorteile und mindert zusätzlich die Stickoxidemissionen. Ein weiterer Vorteil des Biodieselbetriebs ist die Minderung nicht limitierter organischer Substanzen wie Aromaten, Aldehyde, Ketone und PAK sowie der gesamten Partikelmasse. Die Ergebnisse von Untersuchungen der Partikelgrößenverteilung sind uneinheitlich: während mit Biodiesel die Gesamtpartikelzahl geringer ist, steigt die Zahl der Partikel in der Größenklasse von 10 bis 30 nm.

Auffallend ist die Änderung des organisch löslichen Anteils der Partikel. Bei Betrieb mit Biodiesel ist bei kleinerer Partikelmasse der lösliche Anteil höher. Ergebnisse früherer Untersuchung über höheren Gehalt unverbrannten Kraftstoffs im Abgas bei Biodieselbetrieb werden bestätigt.

**Correa, M. w, G.:** [“Carbonyl emissions in diesel and biodiesel exhaust“](#), Brazil, (2007); [42] [Abstract](#)

In dieser Arbeit werden die Emissionen von Formaldehyd, Acetaldehyd, Acrolein, Acetone, Propionaldehyd, Butyraldehyd, und Benzaldehyd an einem Hochleistungsdieselmotor bei Betrieb mit Dieselmotoren und Biodieselmischungen B2, B5, B10 und B20 untersucht. Die Tests erfolgten an einem Sechszylinder-Motor, wie er in brasilianischen Bussen im ländlichen Raum eingesetzt wird, unter stationären Bedingungen bei drei Drehzahlen. Die Durchschnittswerte der drei Betriebszustände zeigten bei Benzaldehyd eine Reduktion der Emissionen (3,4 % für B2, 5,3 % für B5, 5,7 % für B10 und 6,9 % für B20), alle anderen Carbonyle zeigten einen signifikanten Anstieg: 2,6 / 7,3 / 17,6 und 35,5 % bei Formaldehyd; 1,4 / 2,5 / 5,4 und 15,8 % bei Acetaldehyd; 2,1 / 5,4 / 11,1 und 22,0 % bei Acrolein+Acetone; 0,8 / 2,7 / 4,6 und 10,0 % bei Propionaldehyd; 3,3 / 7,8 / 16,0 und 26,0 % bei Butyraldehyd.

**Dwivedi, D. et al.:** [“Particulate emission characterization of a biodiesel vs diesel-fuelled compression ignition transport engine: A comparative study“](#), IIT Kanpur, India, (2006); [45] [Abstract](#)

Ziel der Studie war die Bestimmung der Partikelemissionen von Motoren bei Betrieb mit mineralischem Diesel und B20 in Bezug auf Metalle und Benzen lösliche organische Fraktionen (BSOF, ein Indikator für Toxizität und Karzinogenität). Dazu wurde ein mittelstarker Dieselmotor im Leerlauf, bei 25 %, 50 %, 75 % und bei Nennlast bei der Drehzahl mit maximalem Drehmoment betrieben. Die Ergebnisse zeigen mit B20 vergleichsweise geringe Emissionen von Partikeln. Metalle wie Cd, Pb, Na, und Ni in den Partikeln sind geringer als bei mineralischem Diesel, Fe, Cr, Ni, Zn, und Mg sind jedoch im B20 Abgas höher. Die Reduktion von Partikeln und Metallen im B20 Abgas wird auf das Fehlen von aromatischen Verbindungen, Schwefel, sowie den relativ geringen Gehalt an Metallen im Biodiesel zurückgeführt. In den B20 Abgaspartikeln wurden jedoch höhere Anteil an BSOF gefunden.

**In Kürze:** Die Emissionen von Motoren bei Betrieb mit Biodiesel werden auch in Entwicklungsländern wissenschaftlich untersucht. In Brasilien wurden bei Betrieb mit B20 geringere Emission von Benzaldehyd, aber ein signifikanter Anstieg von Carbonylen gemessen. Auffallend war der starke Anstieg bei Acrolein sowie bei Butyraldehyd. In Indien wurde die Emission von Metallen und Benzen löslichen Substanzen (BSOF) als Indikator für die Toxizität und Karzinogenität untersucht. Bei Betrieb mit Biodiesel wurde geringerer Gehalt von Cd, Pb, Na, und Ni und ein höherer Gehalt von BSOF, Fe, Cr, Ni, Zn, und Mg in den Partikeln beobachtet.

### 7.3 Zusammenfassung

Krahl und Mitarbeiter haben 1996 eine Übersicht über vergleichende Emissionsmessungen bei Betrieb von Dieselmotoren mit Biodiesel und Pflanzenöl zusammengestellt und dabei deutlich höhere Emissionen unverbrannter Substanzen (CO, HC, PAHs, Aldehyde, Aromaten) bei Betrieb von Kammermotoren mit Pflanzenöl festgestellt. Eine Arbeit an der Chalmers Universität mit einem Laborreaktor im Jahr 1999 hat gezeigt, dass bei der unvollständigen Verbrennung von Rapsöl, RME und fossilem Dieselmotorkraftstoff unterschiedliche Produkte gebildet werden, wobei bei der Verbrennung von fossilem Dieselmotorkraftstoff weniger toxische Substanzen detektiert wurden.

Bünger et al. haben 2007 eine signifikante Erhöhung der mutagenen Wirkung der Partikelproben aus dem Abgas eines mit Pflanzenöl betriebenen serienmäßigen Dieselmotors im AMES-Test festgestellt und schwere Bedenken geäußert. Untersuchungen der Mutagenität von Abgasen von für Pflanzenöl adaptierten Motoren im Auftrag der Herstellerfirmen kommen zu günstigeren Ergebnissen bei Pflanzenöl im Vergleich mit Dieselmotorkraftstoff.

Das TFZ Straubing hat eigene Untersuchungen zur Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl betriebenen Traktors durchgeführt und die Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Arbeiten verglichen. Die mutagene Wirkung der Probenextrakte aus den eigenen Untersuchungen sowohl aus dem Betrieb mit Rapsöl- als auch mit Dieselmotorkraftstoff ist insgesamt sehr gering und liegt teilweise an der unteren Nachweisgrenze, wobei bei Betrieb mit Pflanzenöl tendenziell geringere Mutagenität gefunden wurde. Bezüglich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Arbeiten weisen die Autoren auf die Notwendigkeit einheitlicher Messmethoden und vergleichbarer Protokolle hin.

Viele Arbeiten enthalten Einzelmessungen und sind statistisch nicht abgesichert. Die in der Literatur verfügbaren Werte geben häufig keinen Hinweis auf die Anzahl von Messwerten und machen keine Aussage über Messfehler. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird durch die unterschiedlichen Testzyklen erschwert. Die Ergebnisse stationärer Zyklen sind nicht mit transientem Betrieb vergleichbar. Die höchste Mutagenität wird bei Tests mit Kaltstartphasen festgestellt. Eine Forschergruppe schätzt die Dosis/Wirkung-Beziehung als „statistisch nicht relevant“ ein.

In einem Flottenversuch mit für den Betrieb von Pflanzenöl adaptierten Traktoren in Österreich wurde gezeigt, dass die Emissionen brennbarer Substanzen im Abgas (CO, HC, Partikel) bei Betrieb mit Pflanzenöl geringer sind als bei Betrieb mit Dieselmotorkraftstoff. Weiters wurde erkennbar, dass die Emissionen über die Betriebszeit der Traktoren steigen.

Da über gesundheitsrelevante Auswirkungen von Dieselabgasen bei Betrieb mit reinem Pflanzenöl wenige Daten über die genotoxische Wirkung vorliegen, wurden ergänzend wichtige Arbeiten zu Emissionen von Motoren bei Betrieb mit Biodiesel ausgewertet. Dies unter anderem deshalb, weil bei der motorischen Verbrennung von Biodiesel ähnliche Emissionen vermutet werden.

Wurst und Mitarbeiter haben 1990 die Emission organischer Substanzen bei Betrieb eines Traktor-Dieselmotors mit Biodiesel mit untersucht und für den Biodieselbetrieb geringere Emissionen von Kohlenwasserstoffen gefunden. Formaldehyd bleibt gleich, Acetaldehyd sinkt deutlich, Acrolein steigt. Die Emissionen von Aromaten sinken ab, Benzol steigt jedoch an. Bei fossilem Diesel und bei RME ist Kraftstoff in der gleichen Größenordnung im Abgas zu finden, wobei bei RME im Leerlauf auffallend viel unverbrannter Kraftstoff emittiert wird. Bei Betrieb mit RME sinken die PAH-Emissionen deutlich bis stark ab. Die Emission teilverbrannter Produkte ist stark lastabhängig.

Eckl und Mitarbeiter haben 1997 darauf hingewiesen, dass die gesundheitlichen Risiken der Emissionen aus dem Betrieb eines Traktor-Dieselmotors bei Verwendung von RME im Vergleich zu fossilem Dieselmotorkraftstoff niedriger zu sein scheinen. Vorteile wurden bei der Zytotoxizität und im AMES-Test

gefunden. Die Ergebnisse des Leberzellentestsystems sind bei beiden Kraftstoffen ähnlich, wobei die geringere Partikelmasse für Biodiesel spricht. Die Untersuchungen von Bünger und Mitarbeiter (1998) weisen auf ein geringeres mutagenes Potential der Abgase von Dieselmotoren bei Betrieb mit RME im Vergleich zu DK hin. Grund mag der geringere Gehalt an polyzyklischen aromatischen Verbindungen im RME sein.

Ausgehend von einer Initiative des National Biodiesel Board hat die US Environmental Protection Agency 2002 eine technische Analyse der Emissionen aus dem Betrieb von Fahrzeugen mit Biodiesel veröffentlicht. Die Analyse enthält Informationen für interessierte Gruppen, die den Wert, die Effektivität und die Eignung der Verwendung von Biodiesel beurteilen. Er war als Entwurf öffentlich zugänglich und soll bezüglich Methode, Annahmen und Schlussfolgerungen kritisch gesichtet werden. Nachfolgende Arbeiten bestätigen die starke Reduktion der Emission von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Partikeln und PAHs sowie den Anstieg der NO<sub>x</sub>-Emission bei Betrieb mit Biodiesel im Vergleich zu Dieselmotoren; diese Resultate decken sich auch mit den Ergebnissen von Arbeiten in Europa. Einzelne Arbeiten weisen auch auf die geringere mutagene Wirkung der Abgase bei Biodieselbetrieb hin.

Weiterführende Untersuchungen in Deutschland bestätigen die bekannten Vor- und Nachteile. Mit Biodiesel sinkt die Emission teilverbrannter Substanzen deutlich bis stark, die Stickoxide steigen um ca. 10 %. Ein weiterer Vorteil des Biodieselbetriebs ist die Minderung nicht limitierter organischer Substanzen wie Aromate, Aldehyde, Ketone und PAKs sowie der Partikelmasse. Die Ergebnisse von Untersuchungen der Partikelgröße sind uneinheitlich: während im Biodiesel die Gesamtpartikelzahl geringer ist, steigt die Zahl der Partikel und der Größenklasse von 10 bis 30 nm.

## 8 INSTITUTIONEN UND EXPERTEN

### 8.1 Projektpartner

#### **O. Univ. Prof. Dr. Reinhard Nießner**

Institut für Wasserchemie und chemische Balneologie  
Lehrstuhl für analytische Chemie  
TU München  
[www.ws.chemie.tu-muenchen.de](http://www.ws.chemie.tu-muenchen.de)

Der Lehrstuhl beschäftigt sich mit Umweltfragen von aktuellem Interesse. Forschungsschwerpunkte sind analytische Chemie, Prozessanalyse und biochemische Messtechnik. Wesentliche Arbeitsgebiete sind die Spurenanalytik von gesundheitsgefährdenden Verbindungen wie PAK, PCB, PCDD und PCDF sowie natürliche Toxine, Allergene und Schwermetalle.

#### **Prof. Dr. Dr. Karl-Werner Schramm**

Department für Biowissenschaftliche Grundlagen  
TUM - Technische Universität München  
Weihenstephaner Steig 23  
DE 85350 Freising-Weihenstephan  
Tel.: +49 (0)89 3187 3147  
E-Mail: [schramm@wzw.tum.de](mailto:schramm@wzw.tum.de); [Kwsschramm@aol.com](mailto:Kwsschramm@aol.com)

#### **Mitarbeiter am Deutschen Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt**

Helmholtz Zentrum München  
Ingolstädter Landstraße 1  
DE 85764 Neuherberg  
[www.helmholtz-muenchen.de](http://www.helmholtz-muenchen.de)

Forschungsschwerpunkte sind unter anderem die Analytik von Umweltchemikalien im Freien und in Innenräumen (PAH, Dioxine, Pestizide), die Untersuchung von Expositionen von Menschen am Arbeitsplatz und in Innenräumen, Konzepte zur ökologischen Bewertung von Umweltchemikalien, die Wirkung von Umweltchemikalien sowie ökologische Untersuchungen zur Chemikalienwirkung auf Einzelspecies, Populationen und Modellökosystemen.

### 8.2 Umwelttoxikologische Institutionen und Experten in Deutschland

#### **Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin**

Nikolai-Fuchs-Straße 1  
DE 30625 Hannover  
[www.item.fraunhofer.de/](http://www.item.fraunhofer.de/)

Univ. Professor Dr. Dr. Uwe Heinrich  
Tel.: +49 (0)511 5350 0  
Fax: +49 (0)511 5350 155  
Tel.: +49 (0)511 5350 120  
E-Mail: [sekretariat@item.fraunhofer.de](mailto:sekretariat@item.fraunhofer.de)

Dr. Bernd Bellmann  
Tel.: +49 (0)511 5350 452  
E-Mail: [Bernd.bellmann@item.fraunhofer.de](mailto:Bernd.bellmann@item.fraunhofer.de)

Forschung für die Gesundheit des Menschen steht im Mittelpunkt des Fraunhofer ITEM: sowohl unter präventivmedizinischen Gesichtspunkten – mit Studien und Risikoabschätzungen zu Umwelt-, Arbeitsplatztoxikologie und Verbraucherschutz – als auch im Hinblick auf die Entwicklung diagnostischer Methoden und innovativer Therapiekonzepte – mit Untersuchungen für die Pharmaforschung und -entwicklung. Das Spektrum des Forschungs- und Dienstleistungsangebots reicht von Untersuchungen zu Gewerbe-, Umwelttoxikologie über die Prüfung und Registrierung von Chemikalien und Pflanzenschutzmitteln bis zur präklinischen und klinischen Pharmaforschung und -entwicklung sowie der Allergie- und Asthmaforschung. Seit über 25 Jahren leistet das Institut Auftragsforschung für Kunden aus der Industrie und den Behörden.

**Institut für Epidemiologie  
Helmholtz Zentrum München**

Ingolstädter Landstraße 1  
DE 85764 Neuherberg

Prof. Dr. Dr. H.-Erich Wichmann  
Tel.: +49 (0)89 3187 4066  
E-Mail: [wichmann@helmholtz-muenchen.de](mailto:wichmann@helmholtz-muenchen.de)  
[www.helmholtz-muenchen.de/epi/wir-ueber-uns/das-institut/index.html](http://www.helmholtz-muenchen.de/epi/wir-ueber-uns/das-institut/index.html)

Zum Institut gehören rund 40 Wissenschaftler/innen und 40 technische Mitarbeiter/innen. Etwa zwei Drittel der Mitarbeiter/innen werden über Drittmittel finanziert, die aus Deutschland, aus der EU sowie aus den USA (EPA, HEI) kommen. Die Mitarbeiter des Instituts beteiligen sich in nationalen und internationalen Gremien sowie in der fachlichen Beratung von Behörden und der Bevölkerung zu aktuellen Themen.

Das zentrale Institutsziel ist die Untersuchung der Rolle von Umwelteinflüssen und genetischen Veranlagungen auf die menschliche Gesundheit mit epidemiologischen Methoden. Arbeitsgruppen befassen sich mit Umweltepidemiologie, Epidemiologie von Luftschadstoffwirkungen, Epidemiologie chronischer Krankheiten, genetische Epidemiologie sowie Bioproben und Genomik. Im Institut werden Kohortenstudien mit Erwachsenen, Kindern und Neugeborenen durchgeführt, ferner Zeitreihenanalysen, Fall-Kontroll-Studien und Familienstudien. Besonderes Augenmerk wird auf die internationale Zusammenarbeit gelegt. Mittlerweile besteht eine Zusammenarbeit mit etwa 70 wissenschaftlichen Einrichtungen und Universitäten im In- und Ausland. Besonders erwähnenswert sind die Zusammenarbeiten mit der US-Environmental Protection Agency (EPA).

**BGFA - Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung**

Bürkle-de-la-Camp Platz 1  
DE 44789 Bochum  
Tel.: +49 (0)234 3024 501  
Fax: +49 (0)234 3024 505  
E-Mail: [bgfa@bgfa.ruhr-uni-bochum.de](mailto:bgfa@bgfa.ruhr-uni-bochum.de)  
[www.bgfa.ruhr-uni-bochum.de](http://www.bgfa.ruhr-uni-bochum.de)

Dr. med. Jürgen Bünger  
Tel.: +49 (0)234 302 4556  
E-Mail: [buenger@bgfa.de](mailto:buenger@bgfa.de)

Das BGFA - Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung ist als Institut der Ruhr-Universität Bochum an der Schnittstelle zwischen arbeitsmedizinischer Forschung und dem Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz positioniert. Das Institut ist für die medizinisch-akademische Forschung und Lehre an der Universität verantwortlich und unterstützt die gewerblichen Berufsgenossenschaften, die Unfallkassen und die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung bei der Erfüllung ihrer Aufgaben. Seine Wurzeln gehen bis in das Jahr 1929 zurück ("Silikose-Forschungsinstitut"). Arbeitsschwerpunkte sind Medizin, Epidemiologie, Allergologie/Immunologie, Toxikologie und Molekulare Medizin. Zentralen Aufgaben sind die Erforschung der komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehungen von Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und die Entwicklung neuer Verfahren zu deren Diagnostik und Prävention, besonders im Hinblick auf multikausale Zusammenhänge und Gen-Umwelt-Interaktionen.

### **Deutsches Krebsforschungszentrum**

Im Neuenheimer Feld 280  
DE 69120 Heidelberg

Dr. Heinz Schmeiser  
Tel.: +49 (0)6221 423348  
E-Mail: [h.schmeiser@dkfz-heidelberg.de](mailto:h.schmeiser@dkfz-heidelberg.de)  
[www.dkfz.de/](http://www.dkfz.de/)

Das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ) ist die größte biomedizinische Forschungseinrichtung in Deutschland. Über 2.000 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, davon 850 Wissenschaftler, erforschen die Mechanismen der Krebsentstehung und arbeiten an der Erfassung von Krebsrisikofaktoren. Die Abteilung Epidemiologie von Krebserkrankungen betreibt Krebsursachenforschung in Bevölkerungsgruppen mit dem Ziel, Risikofaktoren zu bestimmen und, wenn möglich, zu vermeiden und dadurch Krebserkrankungen vorzubeugen. Identifiziert werden Risiken, die mit möglichen Krebs erregenden Substanzen in Umwelt und Beruf zusammenhängen.

*Mit 450.000 Neuerkrankungen und 270.000 Todesfällen pro Jahr ist Krebs die zweithäufigste Todesursache in Deutschland. Kaum eine Erkrankung stellt die Forschung vor so große Herausforderungen wie Krebs. Jedes Organ kann befallen sein, die zugrunde liegenden Veränderungen in den Zellen sind höchst komplex.*

### **bifa Umweltinstitut**

Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik  
Am Mittleren Moos 46  
DE 86167 Augsburg  
[www.bifa.de](http://www.bifa.de)  
Tel.: +49 (0)821 7000 0  
Fax: +49 (0)821 7000 100

Dr. Klaus Hoppenheidt  
Tel.: +49 (0)821 7000 157  
E-Mail: [khoppenheidt@bifa.de](mailto:khoppenheidt@bifa.de)

Das bifa Umweltinstitut ist Anlaufpunkt in Bayern für Unternehmen, die auf der Grundlage von Umweltüberlegungen ihre Erträge steigern wollen. Bifa arbeitet für Kunden im In- und Ausland und bietet individuelle Komplett- und Teillösungen auf der Basis breiten Wissens und ausgewählter Kernkompetenzen an. Bifa ist in ein Netzwerk von Unternehmen, Hochschulen und Staat eingebunden. Ziel ist, für Unternehmen einen Mehrwert zu generieren und gleichzeitig einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.

Kompetenzen rund um den technischen Umweltschutz: Verfahrenstechnik Maschinen- und Apparatebau, Mikrobiologische Technologien und Testverfahren sowie integrierter betrieblicher Umweltschutz, Software- und Datenbankentwicklung, nachhaltige Abfallwirtschaft, System- und Prozessanalyse, Strategieentwicklung und Politikberatung, Prozesstechnik und chemische Analytik.

### **Institut für umweltmedizinische Forschung**

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Auf'm Hennekamp 50  
DE 40225 Düsseldorf

Tel.: +49 (0)211 3389 0

E-Mail: [roel.schins@uni-duesseldorf.de](mailto:roel.schins@uni-duesseldorf.de)

[www.iuf.uni-duesseldorf.de/forschung/profil.htm](http://www.iuf.uni-duesseldorf.de/forschung/profil.htm)

Das Institut für Umweltmedizinische Forschung (IUF) wurde 2001 gegründet. Alleiniger Gesellschafter ist die Gesellschaft zur Förderung umweltmedizinischer Forschung e.V.. Molekulare präventivmedizinische Erforschung umweltinduzierter Erkrankungen ist die zentrale Aufgabe des Instituts. Hierdurch sollen die Gesundheitsvorsorge im Hinblick auf Umweltbelastungen verbessert und präventive Strategien entwickelt werden. Das IUF widmet sich den biologischen Wirkungen, die Umweltschadstoffe (insbesondere Partikel und nichtionisierende Strahlung) auf den menschlichen Organismus ausüben. Dabei stehen umweltinduzierte Alterungsprozesse und umweltinduzierte Störungen des Immunsystems, besonders Allergien, im Vordergrund. Das Institut verfügt über Expertise in den Bereichen Zellbiologie, Immunologie und Allergologie, Toxikologie, Epidemiologie und molekulare Altersforschung.

Das IUF hat derzeit rund 110 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, von denen zwei Drittel über projektgebundene Fördermittel des Bundesministeriums für Umwelt, der DFG, der EU und anderer Drittmittelgeber finanziert werden.

### **Gesellschaft zur Förderung umweltmedizinischer Forschung e.V.**

Die Gesellschaft zur Förderung umweltmedizinischer Forschung e.V., Düsseldorf, wurde am 25. Februar 2000 durch folgende sieben wissenschaftliche Fachgesellschaften gegründet:

- Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Epidemiologie
- Deutsche Gesellschaft für Allergologie und Immunologie
- Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Umweltmedizin
- Deutsche Gesellschaft für Pharmakologie und Toxikologie
- Deutsche Gesellschaft für Pneumologie
- Deutsche Gesellschaft für Public Health
- Internationale Gesellschaft für Umweltmedizin

Der Verein fungiert als alleiniger Gesellschafter des Instituts für Umweltmedizinische Forschung. Vorstandsvorsitzender ist zurzeit Prof. Dr. Dr. Heinz-Erich Wichmann, Institut für Epidemiologie, GSF München, stellvertretender Vorstandsvorsitzender ist Prof. Dr. Dr. Johannes Ring, TU München.

### **Leibniz-Institut für Arbeitsforschung**

Ardeystraße 67  
DE 44139 Dortmund  
Tel.: +49 (0)231 1084 0  
[www.ifado.de/](http://www.ifado.de/)

Prof. Dr. Dr. Gisela Degen, Leiterin der Projektgruppe "Chemikalienrisiken"  
Tel.: +49 (0)231 1084 351  
E-Mail: [degen@ifado.de](mailto:degen@ifado.de)

Univ. Prof. Dr. med. Jan G. Hengstler  
Tel.: +49 (0)231 1084 348  
E-Mail: [hengstler@ifado.de](mailto:hengstler@ifado.de)

Das Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund erforscht die Potenziale und Risiken moderner Arbeit auf lebens- und verhaltenswissenschaftlicher Grundlage. Aus den Ergebnissen werden Prinzipien der leistungs- und gesundheitsförderlichen Gestaltung der Arbeitswelt abgeleitet.

### **Lehrstuhl für Toxikologie und Umwelthygiene der TU München**

Biedersteiner Straße 29  
DE 80802 München

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Mücke  
Tel.: +49 (0)89 4140 3411  
E-Mail: [itu-tum@lrz.tu-muenchen.de](mailto:itu-tum@lrz.tu-muenchen.de)

Univ.- Prof. Dr. med. Helmut Greim

## **8.3 Institutionen in Deutschland, die mit Emissionen von Biotreibstoffen befasst sind**

### **Institut für Technologie und Biosystemtechnik**

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Bundesallee 50  
DE 38116 Braunschweig

Prof. Dr. Ing. Axel Munack  
Tel.: +49 (0)531 596 4201  
Fax +49 (0)531 596 4299  
[www.fal.de](http://www.fal.de)  
[www.fal.de/cln\\_045/nn\\_792532/DE/institute/TB/Home/technologieundbiosystemtechnik\\_node.html\\_nnn=true](http://www.fal.de/cln_045/nn_792532/DE/institute/TB/Home/technologieundbiosystemtechnik_node.html_nnn=true)

Arbeitsgebiete des Instituts sind die Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft und Umwelt, Produkte und Energie aus nachwachsenden Rohstoffen, Reststoffverwertung und Schadstoffelimination, Rechnergestützte Systeme in der Nahrungs- und Rohstoffproduktion sowie die Wechselwirkung Landwirtschaft/Umwelt.

**Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik**

Draesekestraße 10  
DE 96450 Coburg

Prof. Dr. Jürgen Krahl  
Tel.: +49 (0)9561 36869  
Fax: + 49 (0)9561 319654  
E-Mail: [stz371@stw.de](mailto:stz371@stw.de)  
[www.stw.de](http://www.stw.de)

Schwerpunkthemen sind Biokraftstoffe (technische Beratung beim Einsatz von Biokraftstoffen, Emissionsmessung limitierter und nicht limitierter Schadstoffe in Abgasen, human- und ökotoxikologische Wirkungsabschätzung) und Umweltmesstechnik (Beratung bei Probenahme und Messtechnik, Ergebnisbewertungen, Emissionsmessungen, Raum- und Stallluftanalysen)

**CUTEC-Institut GmbH**

Leibnizstraße 21+23  
DE 38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel.: +49 (0)5323 933 0  
Fax: +49 (0)5323 933 100  
E-Mail [cutec@cutec.de](mailto:cutec@cutec.de)  
[www.cutec.de](http://www.cutec.de)

CUTEC arbeitet an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und betreibt anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung mit dem Ziel, Ergebnisse der Grundlagenforschung in praxisgerechte Technologien umzusetzen. Wenn spezifische Kenntnisse erforderlich sind, wird auf projektbezogen externen Sachverstand zugegriffen (TU Clausthal, andere Hochschulen, außer-universitäre Forschungseinrichtungen und Unternehmen der Wirtschaft oder der öffentlichen Hand).

**Technologie- und Förderzentrum TFZ**

Schulgasse 18  
DE 94315 Straubing

Dr. Edgar Remmele  
Tel.: +49 (0)9421 300 210  
E-Mail: [edgar.remmele@tfz.bayern.de](mailto:edgar.remmele@tfz.bayern.de)  
[www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

Das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe ist eine dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten zugeordnete Institution und hat seinen Sitz im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing. Aufgabe des TFZ ist, die Bereitstellung und Nutzung von Energieträgern und Rohstoffen aus Erntegütern und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft durch anwendungsorientierte Forschung, Technologie- und Wissenstransfer voranzubringen. Die Tätigkeit erstreckt sich auf die Produktionstechnik von Rohstoffpflanzen, Technologien zur Nutzung Nachwachsender Energieträger und Rohstoffe, einschließlich biogener Kraftstoffe und die Beratung der Politik. Unter anderem wurden in Zusammenarbeit mit dem bifa Untersuchungen der erbgutverändernden Eigenschaften der Emissionen eines mit Pflanzenöl betriebenen Traktors durchgeführt.

## 8.4 Institutionen und Experten in Österreich

### **Kommission für Reinhaltung der Luft, Österreichische Akademie der Wissenschaften**

Fleischmarkt 20  
AT 1010 Wien  
Tel.: +43 (0)1 51581 2450  
E-Mail: [krl@oeaw.ac.at](mailto:krl@oeaw.ac.at)

Das Arbeitsgebiet der Kommission umfasst alle Fragen der Reinhaltung der Luft, insbesondere alle Einflüsse auf die Luftqualität (Emission), die Verteilung und Änderung von Luftschadstoffen in der Atmosphäre (Transmission) und die Auswirkungen auf verschiedene Wirkobjekte (Mensch, Tier, Pflanzen, Boden, Klima, Sachgüter) (Immission) sowie die Vernetzung dieser Problemkreise.

Mitglieder:

Univ.-Prof. Dr. Manfred NEUBERGER Institut für Umwelthygiene  
Medizinische Universität Wien  
Kinderspitalgasse 15  
AT 1090 Wien

Tel.: +43 (0)1 4277 64710  
Fax +43 (0)1 4277 64799  
E-Mail: [Manfred.Neuberger@meduniwien.ac.at](mailto:Manfred.Neuberger@meduniwien.ac.at)  
<http://www.univie.ac.at/umwelthygiene/neuberger/LIST.doc>

Univ.-Prof. Dr. Hans PUXBAUM  
Institut für Chemische Technologien und Analytik  
Technische Universität Wien  
Getreidemarkt 9/164/UPA  
AT 1060 Wien  
Tel.: 43 (0)1 58801 15170 (15102 oder 16401)  
E-Mail: [hpuxbaum@mail.zserv.tuwien.ac.at](mailto:hpuxbaum@mail.zserv.tuwien.ac.at)  
[www.cta.tuwien.ac.at/environ/](http://www.cta.tuwien.ac.at/environ/)

### **Institut für Krebsforschung der Medizinischen Universität Wien**

Univ.-Prof. Dr. med. Michael Micksche  
Tel.: +43 (0)1 4277 65161  
E-Mail: [helga.hoffmann@meduniwien.ac.at](mailto:helga.hoffmann@meduniwien.ac.at); [michael.micksche@meduniwien.ac.at](mailto:michael.micksche@meduniwien.ac.at)  
<http://www.meduniwien.ac.at/innere-med-1/krebsforschung/>

Auftrag des Instituts ist, die Ursachen und Charakteristika von Krebserkrankungen zu erforschen und die Erkenntnisse zur Prävention und Heilung anwendbar zu machen, sie in der Lehre zu vermitteln und in den Dienst der Volksgesundheit zu stellen. Das Institut fungiert als nationales und internationales Kompetenz- und Referenzzentrum für experimentelle Krebsforschung. Die im Rahmen dieser Struktur vorhandene wissenschaftliche Expertise ermöglicht multi-disziplinäre Krebsforschung und ihre Umsetzung im klinischen Kontext.

O. Univ.-Prof. Dr. Rolf Schulte-Hermann

<http://www.meduniwien.ac.at/innere-med-1/krebsforschung/science/staff/academic/schulte-hermann.htm>

A.o. Univ.-Prof. Dr. Wilfried Bursch

<http://www.meduniwien.ac.at/innere-med-1/krebsforschung/science/staff/academic/bursch.htm>

A.o. Univ.-Prof. Dr. Siegfried Knasmüller

<http://www.meduniwien.ac.at/innere-med-1/krebsforschung/science/staff/academic/knasmueller.htm>

A.o. Univ.-Prof. Dr. Wolfram Parzefall

<http://www.meduniwien.ac.at/innere-med-1/krebsforschung/science/staff/academic/parzefall.htm>

### **Institut für Umwelthygiene Medizinischen Universität Wien**

Kinderspitalgasse 15

AT 1095 Wien

<http://www.meduniwien.ac.at/umwelthygiene/mitarb.htm>

Das Institut befasst sich mit der Erforschung umweltbedingter Gesundheitsrisiken und umweltassoziierten Aspekten der Gesundheitsförderung. Dabei wird angestrebt, die Existenz solcher Wirkungen nachzuweisen, die Beziehungen zwischen Dosis und Wirkung aufzuklären und die Wirkmechanismen zu analysieren. Die Forschung wird mit dem Ziel der Prävention, als Wissenschaft von der Erhaltung und Förderung der Gesundheit im ganzheitlichen Sinne betrieben.

A.o. Univ.- Prof. Dr. Michael Kundi

Tel.: +43 (0)4277 64726

E-Mail: [Michael.Kundi@meduniwien.ac.at](mailto:Michael.Kundi@meduniwien.ac.at)

Dr. Hanns Moshhammer

Tel.: +43 (0)1 4277 64711

Tel.: +43 (0)1 7899 5699

E-Mail: [hanns.moshhammer@meduniwien.ac.at](mailto:hanns.moshhammer@meduniwien.ac.at)

### **Referat Gesundheit, Hygiene und Umweltmedizin**

#### **Amt der Salzburger Landesregierung**

Dr. med. Gerd Oberfeld

AT 5010 Salzburg

Sebastian-Stief-Gasse 2

Tel.: +43 (0)662 8042 2969

E-Mail: [gerd.oberfeld@salzburg.gv.at](mailto:gerd.oberfeld@salzburg.gv.at)

[www.salzburg.gv.at/umweltmedizin](http://www.salzburg.gv.at/umweltmedizin)

### **Universität Salzburg, Fachbereich Zellbiologie**

Hellbrunnerstraße 34

AT 5020 Salzburg

A.o. Univ.-Prof. Dr. Peter Eckl

Tel.: +43 (0)662 8044 5782

E-Mail: [Peter.Eckl@sbg.ac.at](mailto:Peter.Eckl@sbg.ac.at)

Der Fachbereich Zellbiologie besteht aus den Abteilungen Genetik, Pflanzenphysiologie und Tierphysiologie sowie aus der Arbeitsgruppe Muskelphysiologie. Im Fachbereich wurde ein Mutagenitätstest mit Hepatozyten von Ratten entwickelt. Dieser Test ist hoch sensitiv und daher für die Untersuchung von reinen und komplexen Substanzen in der Umwelt besonders geeignet.

## 9 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Für die Untersuchung und Bewertung des Tumorrisikos durch Dieselabgase sind Experten, Gruppen und Institutionen unterschiedlichster Fachrichtungen erforderlich. Dazu gehören Umweltforschung, Medizin und Präventivmedizin, Allergieforschung, molekulare medizinische Forschung, Umweltmedizin und Umwelthygiene, Krebsforschung, Toxikologie und Umweltepidemiologie, biologische Wirkung von Umweltchemikalien, Genetik, biologische und biochemische Messtechnik, analytische Chemie und Spurenanalytik, Risikoforschung, Wissen und Know-how über Veränderung von Chemikalien an der Umwelt sowie Emissionsmesstechnik, Motor-, Kraftstoff- und Fahrzeugtechnik sowie Kenntnisse über einschlägige normative Regelwerke.

Die VDI-Kommission Reinhaltung der Luft hat 1991 umfangreich über mutagene Effekte von Deselemissionen berichtet. Mit der Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schadstoffe in der Luft hat in Europa Feinstaub besondere Beachtung gefunden. In den USA wurde die Erforschung von Deselemissionen bis zum heutigen Tag fortgesetzt. Die derzeitigen Erkenntnisse reichen nicht aus, eindeutige Schlüsse über die Risiken bei geringer Konzentration von Dieselabgasen in der Umgebungsluft zu ziehen und das Krebsrisiko zu quantifizieren. Beim Stand des Wissens ist es nicht wahrscheinlich, dass Dieselabgase ein Risiko für die Reproduktion beim Menschen darstellen, teratogene Risiken sind also höchst unwahrscheinlich.

Klar ist jedoch, dass die menschliche Gesundheit durch Partikel in der Umgebungsluft gefährdet ist und massive Maßnahmen zur Verringerung der Belastung unerlässlich sind. Klar ist auch, dass ein beträchtlicher Anteil toxischer Substanzen in der Umgebungsluft aus mobilen Quellen stammt. Dieselmotoren sind jedoch nicht die einzige Quelle genotoxischer Stoffe. Der Arbeitnehmerschutz sammelt seit langer Zeit Informationen, eine Liste erbgutverändernder, krebserzeugender und fortpflanzungsgefährdender Stoffe enthält derzeit 600 Einträge.

Für eine Bewertung sollen unterschiedliche Testsysteme gemeinsam verwendet werden. Epidemiologische Studien liefern generische Aussagen wie „Luftverschmutzung korreliert mit Mortalität durch Lungenkrebs“, Zelltests sind für vergleichende Untersuchungen geeignet. Umfassende Studien sollen nach dem Stand des Wissens geplant und berichtet werden, eine Koordinierung durch (internationale) Gesellschaften ist wünschenswert. Die Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen von Mutagenitätstests und einer quantitativen Tumorbildung sind im besten Fall sehr schwach. Aus einer erhöhten Mutagenität von Proben im AMES-Test können keine unmittelbaren Schlüsse auf höheres Krebsrisiko beim Menschen gezogen werden. Aussagen, welche luftverunreinigenden Stoffe zu welchen Krankheiten beitragen, sind schwierig. Zu bedenken ist dabei, dass die Konzentration erbgutschädigender Substanzen in der Umgebungsluft in drei, vielleicht sogar vier Größenordnungen variieren kann.

Gesetzgeber und Industrie haben auf die Bedrohung der Gesellschaft reagiert und normative und technische Maßnahmen ergriffen, die zur Minderung der mutagenen Emissionen von Dieselmotoren in einer Größenordnung führen. Geänderte Emissionen aus Motoren mögen aber auch mit neuen Risiken für die menschliche Gesundheit in Verbindung gebracht werden.

Untersuchungen von pflanzenölbetriebenen Motoren haben wegen erhöhter Mutagenität des Abgases große Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit gefunden. Dabei ist der Eindruck entstanden, dass die Einführung von Biotreibstoffen Menschen unmittelbar gesundheitlich gefährdet. Die Ergebnisse von Messungen an unveränderten Motoren wurden durch Untersuchungen an adaptierten Motoren nicht bestätigt. Einzeluntersuchungen der Mutagenität von Dieselabgasen bei Betrieb mit Biokraftstoffen reichen nicht für Aussagen über die Gesundheitsgefährdung aus. Aus den bis zu Beginn des gegenständlichen Projekts vorliegenden Informationen geht jedoch hervor, dass mit einer Bedrohung

durch genotoxisch wirkende Substanzen aus für den Betrieb mit Pflanzenöl vorgesehen Motoren nicht zu rechnen ist.

Höhere Emissionen von Produkten unvollständiger Verbrennung sind wegen der deutlichen Unterschiede der verbrennungstechnischen Eigenschaften von Pflanzenöl und fossilem Dieselmotorkraftstoff nicht unerwartet. Es ist daher dringend anzuraten, Motoren ausschließlich mit bestimmungsgemäßen und von Gesetzgebung und Behörden vorgeschriebenen Kraftstoffen zu betreiben.

Für die Entwicklung ist der Faktor „Zeit“ wesentlich. Neue Erkenntnisse in der Medizin, der Risiko- und Umweltforschung und in anderen einschlägigen Wissenschaftszweigen erfordern die Schaffung und gesetzliche Verankerung neuer Normen durch die Gesetzgeber, wobei auch andere öffentliche Interessen, wie z.B. der Klimaschutz, adäquat zu berücksichtigen sind. Technologien müssen entwickelt und am Markt verbreitet werden. Die erwünschte Wirkung wird erst nach ausreichender Marktdurchdringung erzielt. Die Zeit vom Erkennen eines Problems bis zur endgültigen Lösung mag Jahrzehnte betragen. In dieser Zeit ändern sich der Stand des Wissens und die Einschätzung der Situation durch die breite Öffentlichkeit.

Bei der Betrachtung von Risiken durch genotoxische Substanzen spielt die Öffentlichkeit eine bedeutende Rolle. Ängste werden leicht geweckt und Laien sind durch sachliche Argumentationen von Experten schwer zu überzeugen. Dies erfordert von den mit den Fragestellungen befassten Wissenschaftlern sorgsamem Umgang bei der Verbreitung von Informationen.

In Anbetracht der Größe und Komplexität der Aufgabe wird empfohlen, für die Durchführung von Untersuchungen der krebserregenden Wirkung von Abgasen von Motoren Mindestanforderungen an die Methoden und die Protokolle festzulegen. Untersuchungen sollen bereits bei der Planung mit einem Kreis einschlägiger Experten abgestimmt und die Ergebnisse und Schlussfolgerungen sollen eingehend diskutiert werden. Die Gründung eines Panels mit internationaler Besetzung sollte erwogen werden.

## 10 DANK

Die vorliegende Erhebung des Standes des Wissens über die Mutagenität der Emissionen von Dieselmotoren bei Betrieb mit Pflanzenöl wurde durch den Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. ermöglicht. Dank gebührt der Agentur für die Schaffung einer aktuellen Datenbasis über die mutagene Wirkung von Emissionen, die zur Versachlichung der öffentlichen Diskussion über die Risiken von Biotreibstoffen für die menschliche Gesundheit beitragen wird, und den Mitarbeitern der FNR, die durch ihren aktiven und engagierten Input die Studie mit gestaltet haben.

Dank auch an die Projektleitung und das Konsortium des Projekts für die effiziente, effektive und outputorientierte Verfolgung der Projektziele und die aktive Unterstützung bei der Gestaltung des gegenständlichen Arbeitspakets.

Weiterer Dank gilt allen, die bei der Zusammentragung der Literatur geholfen haben. Besonders bedanken wollen wir uns bei denen, die uns in langen Interviews am Telefon geholfen haben, einiges Verständnis über Humanmedizin, Toxikologie, Mutagenität, Epidemiologie, Risikoforschung und weitere für Techniker schwer zugängliche Materien zu gewinnen.

# 11 QUELLEN

*Kurzzeichen*

h - hohe Relevanz	m - mittlere Relevanz	l - geringe Relevanz
O - Originalarbeit	Bd - Biodiesel als Kraftstoff	Pö - Pflanzenöl als Kraftstoff

[1]	Eckl, P.M., Leikermoser, P., Wörgetter, M., Prankl, H., Wurst, F.: „ <a href="#">The mutagenic potential of diesel and biodiesel exhausts</a> “; veröffentlicht in den Proceedings des Symposiums „Plant oil as fuels - present state of science and future development“, Potsdam 1997, herausgegeben im Springer-Verlag von N. Martini und J. Schell; <a href="#">Abstract</a> <b>Hardcopy, Bibliothek FJ-BLT Wieselburg</b>	m		Bd
[2]	Thuneke, K., Emberger, P., Gassner, T., Remmele, E., Widmann, B., Fischer, H., Krist, H.J., fa), Schnelle-Kreis, J., Hoppenheidt, K.: „ <a href="#">Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselkraftstoff betriebenen Traktors</a> “, Berichte aus dem TFZ 14, Straubing, Oktober 2007; <a href="#">Summary</a> < <a href="http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/15951/mutagenitaettfz_bericht14.pdf">http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/15951/mutagenitaettfz_bericht14.pdf</a> >	m	O	Pö
[3]	Wachter, W.: „ <a href="#">Die Umweltrelevanz des Dieselmotors</a> “, Skriptum zur Dozentenvorlesung im Rahmen der Lehrveranstaltung „Ausgewählte Kapitel der Verbrennungskraftmaschine“, TU Graz, Sommersemester 2007; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://vkm-thd.tugraz.at/PDF/VO_Wachter_2007.pdf">http://vkm-thd.tugraz.at/PDF/VO_Wachter_2007.pdf</a> >	m		
[4]	Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC), Fraunhofer Institut Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM): „ <a href="#">Zusammenfassung der Untersuchung der Emissionen bei Einsatz von Diesel und Rapsöl als Kraftstoff eines LKW Dieselmotors auf Mutagenität und Kanzerogenität</a> “; Auftraggeber: eoil automotive & technologies GmbH, TecCenter, Bad Salzdetfurth, Februar 2008; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.eoil.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&amp;u=0&amp;file=uploads/media/Zusammenfassung_Mutagenitaet_und_Kanzerogenitaet_Bericht_CUTEC.pdf&amp;t=1211885155&amp;hash=d0e5f9278f3c664f1a58084e188efe98">http://www.eoil.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&amp;u=0&amp;file=uploads/media/Zusammenfassung_Mutagenitaet_und_Kanzerogenitaet_Bericht_CUTEC.pdf&amp;t=1211885155&amp;hash=d0e5f9278f3c664f1a58084e188efe98</a> >	m	O	Pö
[5]	Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC): „ <a href="#">Untersuchung der Emissionen bei Einsatz von Diesel und Rapsöl als Kraftstoff eines LKW Dieselmotors auf Mutagenität und Kanzerogenität</a> “, Auftraggeber: eoil automotive & technologies GmbH, TecCenter, Bad Salzdetfurth, Februar 2008; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.eoil.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&amp;u=0&amp;file=uploads/media/Mutagenitaet_und_Kanzerogenitaet_Bericht_CUTEC.pdf&amp;t=1211885155&amp;hash=072e588450740bc455709392293d280c">http://www.eoil.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&amp;u=0&amp;file=uploads/media/Mutagenitaet_und_Kanzerogenitaet_Bericht_CUTEC.pdf&amp;t=1211885155&amp;hash=072e588450740bc455709392293d280c</a> >	m	O	Pö
[6]	Munack, A., Schröder, O., Stein, H., Krahl, J., Bünger, J.: „ <a href="#">Systematische Untersuchungen der Emissionen aus der motorischen Verbrennung von RME, MK1 und DK</a> “, Sonderheft 252 der Landbauforschung Völknerode - Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, Coburg und Göttingen, Mai 2003; <a href="#">Summary</a> < <a href="http://www.agqm-biodiesel.de/downloads/pdfs/FAL_252_MK1.pdf">http://www.agqm-biodiesel.de/downloads/pdfs/FAL_252_MK1.pdf</a> >	m	O	Bd
[7]	U.S. Environmental Protection Agency (EPA): „ <a href="#">Health assessment document for diesel engine exhaust</a> “, prepared by the National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, for the Office of Transportation, 2002; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.epa.gov/ttn/atw/dieselfinal.pdf">http://www.epa.gov/ttn/atw/dieselfinal.pdf</a> >	h		
[8]	Krist, H.J., Fischer, H., Hoppenheidt, K.: „ <a href="#">Prüfung der Mutagenität von Inhaltstoffen partikulärer Abgasbestandteile im AMES-Test</a> “, Berichterstellung: bifa Umweltinstitut, Augsburg, Auftraggeber: bioltec evolv-ram GmbH, Regensburg, Juli 2007; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.bioltec.de/pdf/zu_news_070726.pdf">http://www.bioltec.de/pdf/zu_news_070726.pdf</a> >	m	O	Pö

[9]	Munack, A., Capan, E., Schröder, O., Stein, H., Krahl, J.: „ <a href="#">Untersuchung von Biodiesel und seinen Gemischen mit fossilem Dieseldieselkraftstoff auf limitierte Emissionen</a> “, FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig, Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik, Coburg, Dezember 2003; <a href="#">Summary</a> < <a href="http://www.agqm-biodiesel.de/downloads/pdfs/FAL_Emissionen.pdf">http://www.agqm-biodiesel.de/downloads/pdfs/FAL_Emissionen.pdf</a> >	m	O	Bd
[10]	Munack, A., Grope, N., Ruschel, Y., Schröder, O., Krahl, J.: „ <a href="#">Messung ultrafeiner Partikel im Abgas von Dieselmotoren beim Betrieb mit Biodiesel</a> “, FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig, Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik, Coburg, 2007; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.ufop.de/downloads/Bericht_Feinstpartikel.pdf">http://www.ufop.de/downloads/Bericht_Feinstpartikel.pdf</a> >	m	O	Bd
[11]	Bünger, J., Krahl, J., Munack, A., Ruschel, Y., Schröder, O., Emmert, B., Westphal, G., Müller, M., Hallier, E., Brüning, T.: „ <a href="#">Strong mutagenic effects of diesel engine emissions using vegetable oil as fuel</a> “, Arch Toxicol, Springer-Verlag Februar 2007; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.bv-pflanzenoel.de/pdf/ArchTox.pdf">http://www.bv-pflanzenoel.de/pdf/ArchTox.pdf</a> >	h	O	Pö Bd
[12]	Pedersen, J., Ingemarsson, Å., Olsson, J.: „ <a href="#">Oxidation of rapeseed oil, rapeseed methyl ester (RME) and diesel fuel studied with GC/MS</a> “, Department of Physical Chemistry Chalmers University of Technology, Göteborg, published in <i>Chemosphere</i> , Vol. 38, 1999; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.folkecenter.dk/plant-oil/press/chemosphere.pdf">http://www.folkecenter.dk/plant-oil/press/chemosphere.pdf</a> >	l	O	Pö Bd
[13]	Holden, B., Jack, J., Miller, W., Durbin, T.: „ <a href="#">Effect of biodiesel on diesel engine nitrogen oxide and other regulated emissions</a> “, Naval Facilities Engineering Command, Technical Report, NFESC, U.S. Army Aberdeen Test Center, University of California, May 2006; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20060501_gen371.pdf">http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20060501_gen371.pdf</a> >	m		Bd
[14]	www.biodieselgear.com: „ <a href="#">Summary results from NBB/USEPA TIER I Health and environmental effects testing for biodiesel under the requirements for USEPA registration of fuels and fuel additives</a> “, summary results from final report, March 1998; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.biodieselgear.com/documentation/NBB_EPA_Tier1_report.pdf">http://www.biodieselgear.com/documentation/NBB_EPA_Tier1_report.pdf</a> >	m		Bd
[15]	Morris, R. E., Pollack, A. L., Mansell, G.E., Lindhjem, C., Jia, Y., Wilson, G.: „ <a href="#">Impact of Biodiesel Fuels on Air Quality and Human Health</a> “, Summary Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado, May 2003; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20030501_gen-365.pdf">http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20030501_gen-365.pdf</a> >	m		Bd
[16]	Koo-Oshima, S., Hahn, N., Van Gerpen, J.: „ <a href="#">Comprehensive health and environmental effects of biodiesel as an alternative fuel</a> “, OECD Paris, EA Engineering, Science and Technology, Inc., USA, Iowa State University of Science and Technology, USA; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19981001_gen-251.pdf">http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19981001_gen-251.pdf</a> >	m		Bd
[17]	Environmental Protection Agency: „ <a href="#">A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust</a> “, Draft Technical Report, United States Environmental Protection Agency - EPA - Air and Radiation, USA, October 2002; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.epa.gov/oms/models/analysis/biodsl/p02001.pdf">http://www.epa.gov/oms/models/analysis/biodsl/p02001.pdf</a> >	m		Bd
[18]	CASAC: „ <a href="#">Review of EPA's Health Assessment Document for Diesel Exhaust</a> “, review by the Clean Air Scientific Advisory Committee (CASAC), Washington DC, December 2000; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/EDCCF7168C8C1D978525718D0051AE9B/\$File/casc0103.pdf">http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/EDCCF7168C8C1D978525718D0051AE9B/\$File/casc0103.pdf</a> >	h		

[19] Munack, A., Herbst, L., Kaufmann, A., Ruschel, Y., Schröder, O., Krahl, J., Bünger, J.: „ <a href="#">Vergleich von Shell Mittel-Destillat, Premium-Dieselmkraftstoff und fossilem Dieselmkraftstoff mit Rapsölmethylester</a> “, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig, Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik, Coburg, Universität Göttingen, Zentrum für Arbeits- und Sozialmedizin, Göttingen, Dezember 2005; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.ufop.de/downloads/SMDS_Bericht_130206.pdf">http://www.ufop.de/downloads/SMDS_Bericht_130206.pdf</a> >	m	O	Bd
[20] Nauss, K.: „ <a href="#">Diesel Exhaust: A Critical Analysis of Emissions, Exposure, and Health Effects</a> “; Summary of a Health Effects Institute (HEI) Special Report, HEI Diesel Working Group, Boston, USA, October 1997; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.dieselnet.com/papers/9710nauss.html">http://www.dieselnet.com/papers/9710nauss.html</a> >	m		
[21] HEI: „ <a href="#">Summary of Studies of Diesel Exhaust - Mobile-Source Air Toxics: A Critical Review of the Literature on Exposure and Health Effects</a> “, HEI Air Toxics Review Panel 2007, Health Effects Institute, Boston, USA, November 2007; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=395">http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=395</a> >	h		
[22] Quirin, M., Gärtner, S., Pehnt, M., Reinhardt, A.: „ <a href="#">CO<sub>2</sub>-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe - Eine Bestandsaufnahme</a> “, Endbericht der Studie durchgeführt am ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg, Mai 2004; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/CO2-neutrale_Wege_Biokraftstoffe_IFEU.pdf">http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/CO2-neutrale_Wege_Biokraftstoffe_IFEU.pdf</a> >	l		
[23] Škarek, M.: „ <a href="#">Assessment of Genotoxic Potency and Risks of Compounds associated with the Suspended Particulate Matter in the Air</a> “, Dissertation Thesis, Masaryk University Brno, Faculty of Science, Brno, 2007; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.is.muni.cz/th/12300/prif_d/Dissertation_Thesis_Text.pdf">http://www.is.muni.cz/th/12300/prif_d/Dissertation_Thesis_Text.pdf</a> >	m		
[24] Pohjola, S., Lappi, M., Honkanen, M., Rantanen, L., Savela, K.: „ <a href="#">DNA binding of polycyclic aromatic hydrocarbons in a human bronchial epithelial cell line treated with diesel and gasoline particulate extracts and benzo[a]pyrene</a> “, Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, Technical Research Centre of Finland, Espoo, Fortum Oil and Gas Oy, Porvoo; published in Oxfordjournals, Mutagenesis vol. 18 no. 5 pp. 429±438, 2003; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.mutage.oxfordjournals.org/cgi/reprint/18/5/429.pdf">http://www.mutage.oxfordjournals.org/cgi/reprint/18/5/429.pdf</a> >	m		
[25] Miller, D., et al.: „ <a href="#">Carcinogenic Effects of Exposure to Diesel Exhaust</a> “, Homepage, National Institute for Occupational Safety and Health Centers for Disease Control, Cincinnati, USA, August 1988; <a href="#">Summary</a> < <a href="http://www.cdc.gov/niosh/88116_50.html">http://www.cdc.gov/niosh/88116_50.html</a> >	h		
[26] American Cancer Society: „ <a href="#">Known and Probable Carcinogens</a> “, Homepage, American Cancer Society, Inc., USA, March 2006; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://www.cancer.org/docroot/PED/content/PED_1_3x_Known_and_Probable_Carcinogens.asp?sitearea=PED&amp;viewmode=print&amp;">http://www.cancer.org/docroot/PED/content/PED_1_3x_Known_and_Probable_Carcinogens.asp?sitearea=PED&amp;viewmode=print&amp;</a> >	m		
[27] U.S. Department of Health and Human Services: „ <a href="#">Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 15 Listings - Reasonably anticipated to be a human carcinogen</a> “, 11th Report on Carcinogens, U.S. Department of Health and Human Services - Public Health Service - National Toxicology Program; <a href="#">Abstract</a> < <a href="http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/eleventh/profiles/s150pah.pdf">http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/eleventh/profiles/s150pah.pdf</a> >	m		

<p>[28] WHO: "<a href="#">Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes - Summary of Data Reported and Evaluation</a>", IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 46, World Health Organization - International Agency for Research on Cancer, 1998; <a href="#">Summary</a>  <a href="http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol46/volume46.pdf">http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol46/volume46.pdf</a></p>	h	
<p>[29] U.S. Department of Health and Human Services: "<a href="#">11th Report on Carcinogens</a>", U.S. Department of Health and Human Services - Public Health Service - National Toxicology Program; <a href="#">Abstract</a>  <a href="http://ntp-server.niehs.nih.gov/index.cfm?objectid=72016262-BDB7-CEBA-FA60E922B18C2540">http://ntp-server.niehs.nih.gov/index.cfm?objectid=72016262-BDB7-CEBA-FA60E922B18C2540</a></p>	h	
<p>[30] Bolm-Audorff, U.: "<a href="#">Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe</a>", Konietzko, J., Dupuis, H.: „Handbuch der Arbeitsmedizin“, 21. Ertg. Lfg. 11/98, ecomed Verlagsgesellschaft AG &amp; Co, Landsberg, 1998; <a href="#">Abstract</a>  <b>Hardcopy, Bibliothek FJ-BLT Wieselburg</b></p>	m	
<p>[31] Oberfeld, G.: "<a href="#">Auswirkungen der Luftschadstoffe auf die menschliche Gesundheit</a>", Amt der Salzburger Landesregierung, Landessanitätsdirektion, Referat Umweltmedizin, März 2005; <a href="#">Abstract</a>  <a href="http://www.provincia.bz.it/gesundheitswesen/2305/weiterbildung/downloads/1.%20Seminar/Oberfeld-Auswirkungen_Luftschadstoffe.pdf">http://www.provincia.bz.it/gesundheitswesen/2305/weiterbildung/downloads/1.%20Seminar/Oberfeld-Auswirkungen_Luftschadstoffe.pdf</a></p>	m	
<p>[32] U.S. Department of Health and Human Services: "<a href="#">Diesel Exhaust Particulates</a>", 11th Report on Carcinogens, U.S. Department of Health and Human Services - Public Health Service - National Toxicology Program; <a href="#">Abstract</a>  <a href="http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/eleventh/profiles/s069dies.pdf">http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/eleventh/profiles/s069dies.pdf</a></p>	h	
<p>[33] Wichmann, E.: "<a href="#">Abschätzung positiver gesundheitlicher Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen in Deutschland</a>", Umweltbundesamt Berlin, Berlin, Juni 2003; <a href="#">Summary</a>  <a href="http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2352.pdf">http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2352.pdf</a></p>	m	
<p>[34] Kielhorn, J. Wahnschaffe, U., Mangelsdorf, I.: "<a href="#">Environmental Health Criteria for Selected Nitro- and Nitro-Oxy-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</a>", Fraunhofer Institute of Toxicology and Aerosol Research, Hanover, Germany, draft published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Programme, the International Labour Organization and the World Health Organization, WHO, Geneva, 2003; <a href="#">Abstract</a>  <a href="http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc229.htm">http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc229.htm</a></p>	m	
<p>[35] Von Wedel, R.: "<a href="#">Biodiesel 101: Emission Reductions and Experience in San Francisco</a>", PowerPoint, San Francisco Biodiesel Task Force, SF City Hall, San Francisco, June 2006; <a href="#">Abstract</a>  <a href="http://www.sfenvironment.org/downloads/library/eseljune132006presentation.ppt">http://www.sfenvironment.org/downloads/library/eseljune132006presentation.ppt</a></p>	l	Bd
<p>[36] Krahl, J. and Munack, A., Bahadir, M., Schumacher, L. and Elser, N.: "<a href="#">Review: Utilization of Rapeseed Oil, Rapeseed Oil Methyl Ester or Diesel Fuel - Exhaust Gas Emissions and Estimation of Environmental Effects</a>", Federal Research Center, Technical Univ., University of Missouri, Copyright Society of Automotive Engineers, Inc., 1996; <a href="#">Abstract</a>  <a href="http://journeytoforever.org/biofuel_library/ro_rev.html">http://journeytoforever.org/biofuel_library/ro_rev.html</a></p>	m	Pö Bd
<p>[37] Aakko, P.; Harju, T.; Niemi, M.; Rantanen-Kolehmainen, L.: "<a href="#">PAH content of diesel fuel and automotive emissions</a>", research report, No VTT-R-1155-06, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, February 2006; <a href="#">Abstract</a>  <a href="http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/VTT-1155-06-AROM.pdf">http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/VTT-1155-06-AROM.pdf</a></p>	m	O

<p>[38] Nils-Olof Nylund, N.-O., Erkkilä, K., Lappi, M.; Ikonen, M.: "<a href="#">Transit bus emission study: Comparison of emissions from diesel and natural gas buses</a>", research report PRO3/P5150/04, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, October 2004; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://www.madagascar.eu/fileadmin/dam/spritspar/downloads/Transit_Bus_Emissions_Study.pdf">http://www.madagascar.eu/fileadmin/dam/spritspar/downloads/Transit_Bus_Emissions_Study.pdf</a>&gt;</p>	m	O	
<p>[39] Claxton, L., Woodall, G.: "<a href="#">A review of the mutagenicity and rodent carcinogenicity of ambient air</a>", National Health and Environmental Effects Research Laboratory, National Center for Environmental Assessment, both U.S. Environmental Protection Agency, ScienceDirect, Mutation Research, USA, March 2007; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>&gt;</p>	m		
<p>[40] Fetterman, B., Soo Kim, B., Margolin, B., Schildcrout, J., Smith, M., Wagner, M., Zeiger, E.: "<a href="#">Predicting Rodent Carcinogenicity From Mutagenic Potency Measured in the AMES Salmonella Assay</a>", University of North Carolina, Yonsei University, Seoul, National Institute of Environmental Health, North Carolina; Environmental and Molecular Mutagenesis, USA, 1997; <a href="#">Abstract</a>; &lt;<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9142175?dopt=Abstract">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9142175?dopt=Abstract</a>&gt;</p>	m		
<p>[41] Stein, H.: "<a href="#">Dieselmotoremissionen aus der Verbrennung von Biodiesel und verschiedenen fossilen Dieselmotoren unter besonderer Berücksichtigung der Partikelemissionen</a>", Dissertation, Fakultät für Lebenswissenschaften, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, 2008; <a href="#">Abstract</a></p>	m	O	Bd
<p>[42] Correa, M., Arbilla, G.: "<a href="#">Carbonyl emissions in diesel and biodiesel exhaust</a>", Universidade do Estado do Rio de Janeiro and, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil, September 2007; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>&gt;</p>	m	O	Bd
<p>[43] Lapinskiene, A., Martinkus, P., Rebzdaite, V.: "<a href="#">Eco-toxicological studies of diesel and biodiesel fuels in aerated soil</a>", Klaipeda University, School of Maritime Technology, Klaipeda, Lithuania, October 2005; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>&gt;</p>	m	O	Bd
<p>[44] Bünger, J., Krahl, J., Franke H.-U., Munack, A., Hallier, E.: "<a href="#">Mutagenic and cytotoxic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel</a>", Center of Environmental and Occupational Medicine, University of Göttingen, Federal Agricultural Research Center, Braunschweig, Fachhochschule Coburg, University of Magdeburg, Germany, February 1998; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>&gt;</p>	m	O	Bd
<p>[45] Dwivedi, D., Agarwal, A. K., Sharma, M.: "<a href="#">Particulate emission characterization of a biodiesel vs diesel-fuelled compression ignition transport engine: A comparative study</a>", Department of Civil Engineering, IIT Kanpur, Department of Mechanical Engineering, IIT Kanpur, India, May 2006; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>&gt;</p>	m	O	Bd
<p>[46] Scholz, V., da Silva, J. N.: "<a href="#">Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel</a>", Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Potsdam, Germany, Depto. Engenharia Agricola, Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, Brazil, October 2007; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>&gt;</p>	l		
<p>[47] WHO: "<a href="#">WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide</a>", <i>Global update 2005 - Summary of risk assessment</i>, World Health Organization 2006, Geneva, Switzerland, 2006; <a href="#">Abstract</a> &lt;<a href="http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf">http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf</a>&gt;</p>	h		

- [48] HEI: „[Mobile-Source Air Toxics: A Critical Review of the Literature on Exposure and Health Effects](#)“, HEI Special Report 16, Health Effects Institute, Boston, USA, January 2008; [Abstract](#)  
<<http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=384>>
- [49] Wurst, F., Wörgetter, M. et al.: „[Emissionen beim Einsatz von Rapsölmethylester an einem Prüfstandsmotor](#)“, Forschungsbericht Heft 22 der Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg, Jänner 1990; [Abstract](#)  
**Hardcopy, Bibliothek FJ-BLT Wieselburg**
- [50] Rathbauer, J., Krammer, K., Kriechbaum, T., Prankl, H., Breinesberger, J.: „[Rapsöl als Treibstoffalternative in der Landwirtschaft](#)“, Entwurf Endbericht, FJ-BLT Wieselburg und Agrar Plus GmbH St. Pölten, September 2008; [Abstract](#)  
**FJ-BLT Wieselburg**
- [51] Nelson, P. F., Tibbett, A. R., Day, S. J.: „[Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles](#)“, Macquarie University, Sydney, CSIRO Energy Technology, Newcastle, Australia, February 2008; [Abstract](#)  
<<http://www.sciencedirect.com>>
- (52) „Krebserzeugende Stoffe in der Umwelt – Herkunft, Messung, Risiko – Minimierung“; VDI-Berichte 888 (1991).

l		
m		

## 12 WEITERE PUBLIKATIONEN

- [A1] eoil: „[Gutachten nach Umrüstung mit dem eoil-SystemE5: Neue Ergebnisse zur Mutagenität und Kanzerogenität bei Betrieb eines EuroV-LKW mit Pflanzenöl](#)“, März 2008  
<<http://www.eoil.de/extra/news/detailansicht/article/gutachten-nach-umruestung-mit-dem-eoil-systeme5-neue-ergebnisse-zur-mutagenitaet-und-kanzerogenitaet.html>>
- [A2] FAL Johann Heinrich von Thünen-Institut, Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltanalytik, Coburg, Krahl, J., Bünger J.: „[Vergleichende Bestimmung der Mutagenität von Motorabgasen aus der Verbrennung von Rapsöl und Dieselmotorkraftstoff](#)“, Forschungsprojekt laufend bis September 2008  
<[http://datenbanken.fal.de/fpd/index2.php?detail\\_id=45590&site\\_key=67&stichw\\_suche=DUMMY&zeilenzahl\\_zaehler=75](http://datenbanken.fal.de/fpd/index2.php?detail_id=45590&site_key=67&stichw_suche=DUMMY&zeilenzahl_zaehler=75)>
- [A3] Central Pollution Control Board - Ministry of Environment & Forests, Govt of India, Delhi: „[Polycyclic Aromatic Hydrocarbons \(PAHS\)](#)“  
<<http://www.cpcb.nic.in/News%20Letters/Archives/PAHs/ch2-PAHs.html>>
- [A4] Geitmann S. - energieportal24: „[Erhöhte Mutagenität beim Einsatz von Rapsöl](#)“, Dezember 2006  
<[http://www.energieportal24.de/artikel\\_2321.htm](http://www.energieportal24.de/artikel_2321.htm)>
- [A5] Galileo Wissen: „[Ist Fahren mit Rapsöl krebserregend?](#)“  
<<http://www.prosieben.at/wissen/galileo/aktionen/artikel/37968/>>
- [A6] FAL Institut für Technologie und Biosystemtechnik: „[Mutagenität - Publikationen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft](#)“, Mai 2008  
<<http://literatur.fal.de/fallit.asp?T=mutagenit%E4t&FR=1947&TO=2008&AL=&S=Jahr&X=Suchen&F=V T&M=100&L=DE&I=TB>>
- [A7] Antwort auf Anfrage von Bündnis 90/Die Grünen: „[Krebsrisiko durch Pflanzenölkraftstoff](#)“, November 2007  
<[http://www.bundesverband-pflanzenoele.de/pdf/Antwort\\_BR\\_Krebsrisiko.pdf](http://www.bundesverband-pflanzenoele.de/pdf/Antwort_BR_Krebsrisiko.pdf)>
- [A8] Dorn, B.: „[Aktuelle Untersuchungen bestätigen: Pflanzenölkraftstoff birgt deutlich weniger Krebsrisiko als Diesel](#)“, Hochschule Offenburg, Oktober 2007  
<[http://dateien.poeltec.de/forschung/krebsrisiko\\_pressebericht\\_dorn\\_V3\\_20071017.pdf](http://dateien.poeltec.de/forschung/krebsrisiko_pressebericht_dorn_V3_20071017.pdf)>
- [A9] Dorn, B., Wehmann, C., Winterhalter, R., Zahoransky, R.: „[Nanoparticle Emissions CR Diesel Engine EURO 4 Fuelled by Plant Oils](#)“, Hochschule Offenburg, Universität Mainz, Heinzmann GmbH, Schönau, 2007  
<[http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/FHO\\_Conference\\_poster\\_ETHZ\\_2007.pdf](http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/FHO_Conference_poster_ETHZ_2007.pdf)>
- [A10] Bundesverband Pflanzenöle e.V.: „[Stellungnahme des Bundesverbandes Pflanzenöle e.V. \(BVP\) zur angeblich erhöhten Mutagenität von Rapsöl-Kraftstoff](#)“, Dezember 2006  
<<http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/BVP-Stellungnahme-Mutagenitaet.pdf>>
- [A11] Reuter, U.: „[Stellungnahme zu Emissionen von Biodiesel und Pflanzenölen im Vergleich](#)“, evaTox Consulting, Haag/Amper, April 2007  
<<http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/Rapsoelstudie.pdf>>
- [A12] Bünger, J.: Projekt „[Genotoxizität von partikulären Dieselmotoremissionen \(DME\): Einfluss von in der Entwicklung befindlichen Designer-Kraftstoffen](#)“, BGFA Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum, Laufzeit bis Dezember 2006  
<<http://www.bgfa.ruhr-uni-bochum.de/forschung/ unter 'Suchen' DME eingeben>>
- [A13] Voegelin, D.: Presseerklärung 01/2007 „[Erneut fragwürdige Beweise für Krebsrisiko von Rapsöl - Prof. Krahls Kreuzzug wider den Rapsölkraftstoff](#)“, Bundesverband Pflanzenöle e.V. (BVP), Söhrewald, 2007  
<[http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/presseerklaerung\\_1-07.pdf](http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/presseerklaerung_1-07.pdf)>

- [A14] Dotzer, A., Gruber, G., Kaiser, T.: PANORAMA-Bericht vom 29.06.2006 - Gefährlicher Öko-Sprit - Untersuchung zeigt Krebsrisiko bei Rapsöl - "[Stellungnahme der Vereinigten Werkstätten für Pflanzenöltechnologie](#)", Vereinigten Werkstätten für Pflanzenöltechnologie, Allersberg, Juli 2006  
<[http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/VWP\\_Stellungnahme.pdf](http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/VWP_Stellungnahme.pdf)>
- [A15] Krahl, J.: „[Serienantwort auf Anfrage zum mutagenen Potenzial von Dieselmotorabgasen](#)“, FH Coburg, 2006  
<<http://www.bv-pflanzenoele.de/aktuelles.html>>
- [A16] Munack, A., Krahl, J., Bünger J.: Hintergrund zur PANORAMA-Sendung am 29.06.2006 - „[Ergebnisse des Rapsöl-Betriebs eines LKW-Motors \(OM 906LA\)](#)“, FAL - Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Braunschweig, FH Coburg - FB Physikalische Technik und Allgemeinwissenschaften, Uni Göttingen - Zentrum für Arbeits- und Sozialmedizin  
<[http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/FAL\\_panorama\\_2006.pdf](http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/FAL_panorama_2006.pdf)>
- [A17] Voegelin, D.: „[Stellungnahme zum angeblichen Krebsrisiko von Rapsöl](#)“, Bundesverband Pflanzenöle e.V. (BVP), Söhrewald, Juli 2006  
<<http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/stellungnahme.pdf>>
- [A18] DasErste - PANORAMA-Sendung: „[Gefährlicher Öko-Sprit - Untersuchung zeigt Krebsrisiko bei Rapsöl](#)“, Mitschrift der Panoramasedung Nr. 670 vom 29.06.2006, Bundesverband Pflanzenöle e.V. (BVP), Söhrewald, Juni 2006  
<[http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/Text\\_zu\\_Panorama.pdf](http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/Text_zu_Panorama.pdf)>
- [A19] Olsson, J., Pedersen, J.: "[Biodiesel \(RME\) more mutagenic than SMK1 diesel !!!](#)", ActaNova, Sweden, May 2002  
<[http://www.actanova.com/articles/article\\_11.shtml](http://www.actanova.com/articles/article_11.shtml)>
- [A20] Daey Ouwens, C., Adriaans, T.: "[Supposed carcinogenicity of emissions from biofuels](#)", FACT Foundation, www.fact-fuels.com, Eindhoven, The Netherlands, Year 2006  
<[www.fact-fuels.org/media\\_en/Supposed\\_carcinogenicity.pdf](http://www.fact-fuels.org/media_en/Supposed_carcinogenicity.pdf)>
- [A21] ufop: „[Krebsrisiko bei Pflanzenöleinsatz gegenüber Diesel halbiert](#)“, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen - ufop Technik & Infos, Jahr  
<<http://www.ufop.de/2530.php>>
- [A22] Hildebrand, A.: „[Forschung muss man wollen - Interview mit Prof. Dr. Jürgen Krahl über Pflanzenölkraftstoffe und Partikelemissionen](#)“, Auszug aus dem Forschungsbericht 2007 der Hochschule Coburg, Coburg, 2007  
<<http://www.hs-coburg.de/uploads/media/Forschungsbericht1.pdf>>
- [A23] O2Diesel: „[O2Diesel-PowerPoint Presentation](#)“, O2Diesel Inc, Delaware USA, Rio de Janeiro Brazil, Brussels Belgium, Seville Spain, 2007  
<[http://www.o2diesel.com/downloads/o2diesel\\_march\\_master\\_05-25-06.pdf](http://www.o2diesel.com/downloads/o2diesel_march_master_05-25-06.pdf)>
- [A24] American Cancer Society: "[Diesel Exhaust](#)", Homepage, American Cancer Society, Inc., USA, May 2007  
<[http://www.cancer.org/docroot/PED/content/PED\\_1\\_3x\\_Diesel\\_Exhaust.asp?sitearea=PED&viewmode=print&](http://www.cancer.org/docroot/PED/content/PED_1_3x_Diesel_Exhaust.asp?sitearea=PED&viewmode=print&)>
- [A25] Iwai, K. et al.: "[Mutagenicity and Tumorigenicity of Diesel Exhausts of High- and Low-Sulfur Fuels: Inhalation and Particle Instillation Studies in Rats](#)", Project and Abstract, Journal of Japan Society for Atmospheric Environment, Japan 2002  
<<http://sciencelinks.jp/j-east/article/200215/000020021502A0586094.php>>
- [A26] Mabilia, R., Cecinato, A., Tomasi Sciano, M. C., Palo, V., Possanzini, M.: "[Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons and carbonyl compounds in diesel exhaust emissions](#)", Annali di chimica, 2004, vol. 94, n°9-10, pp. 733-740, Società chimica italiana, Roma, Italie, 2004  
<<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=16153695>>

### **13 GEGENÜBERSTELLUNG WESENTLICHER ERGEBNISSE VON MUTAGENITÄTSTESTS**

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse von Messungen der gesetzlich limitierten Emissionen, nicht limitierten Emissionen wie Aldehyde, Aromaten, polyzyklische Aromaten, Nitro-PAHs, andere organische Verbindungen sowie Metallen und andere Umweltauswirkungen, und Mutagenität sowie Toxizität bei Betrieb mit Biodiesel, Mischungen von Biodiesel mit fossilem Dieselmotorkraftstoff und reinem Pflanzenöl gegenübergestellt.

**Emissionen von gesetzlich limitierten Verbindungen von Motoren die mit Biodieselbeimischungen, RME und Rapsöl betrieben werden (DK = 100 %)**

Bestandteil	Biodieselbeimischungen		RME		Rapsöl	
Kohlenwasserstoffe (HC)	keine statistisch	B20 [13]	deutliche Minderung	[6]	210 %	indirekte Einspritzung [36]
	signifikanten		50 %	[9]	110 %	direkte Einspritzung [36]
	Unterschiede	B20 [16]	deutlicher Vorteil	[10]		
	68-81 %	B20 Soja-ME [17]	höher	[13]		
	78,9 %	B20 [17] Abb.	5 %	[14]		
	80 %	B40 [17] Abb.	33 %	[17] Abb.		
	64 %	B60 [17] Abb.	Vorteil	[19]		
	51 %	B80 [17] Abb.	70 %	indirekte Einspritzung [36]		
61 %		80 %	direkte Einspritzung [36]			
		spürbare Reduktion	[41]			
Kohlenmonoxid (CO)	keine statistisch	B20 [13]	deutliche Absenkung	[6]	180 %	indirekte Einspritzung [36]
	signifikanten		60 %	[9]	115 %	direkte Einspritzung [36]
	Unterschiede	B20 [15]	deutlicher Vorteil	[10]		
	86,9 %	B20 [16]	höher	[13]		
	75-89 %	B20 Soja-ME [17]	50 %	[14]		
	89 %	B20 [17] Abb.	57,3 %	[15]		
	88 %	B40 [17] Abb.	52 %	[17] Abb.		
	76 %	B60 [17] Abb.	Vorteil	[19]		
	68 %	B80 [17] Abb.	70-90 %	indirekte Einspritzung [36]		
	59 %		100 %	direkte Einspritzung [36]		
		Verringerung	[41]			
Stickoxide (NOx)	keine statistisch	B20 [13]	geringfügiger Anstieg	[6]	100 %	[36]
	signifikanten		110 %	[9]		
	Unterschiede	B20 [15]	kein deutlicher Vorteil	[10]		
	102,4 %	B20 Soja-ME [17]	113 %	[14]		
	102 %	B20 [17] Abb.	113,2 %	[15]		
	102 %	B40 [17] Abb.	110 %	[17] Abb.		
	104 %	B60 [17] Abb.	110 %	[36]		
	106 %	B80 [17] Abb.	Steigerung	[41]		
108 %						
Partikelmasse (PM)	keine statistisch	B20 [13]	vermindert	[6]	320 %	instationärer Test,
	signifikanten		60 %	[9]		indirekte Einspritzung. [36]
	Unterschiede	B20 [15]	deutlicher Vorteil	[10]	90 %	gleichförmiger Test,
	91,1 %	B20 Soja-ME [17]	geringer	[13]		indirekte Einspritzung. [36]
	89,9 %	B20 [17] Abb.	44,7 %	[15]	80 %	direkte Einspritzung [36]
88 %	B40 [17] Abb.	53 %	[17] Abb.			

	78 %	B60 [17] Abb.	45-53 %	[35]	
	68 %	B80 [17] Abb.	100 %	direkte Einspritzung	[36]
	60 %	B20 [35]	60-80 %	[36]	
	82 %		Absenkung	[41]	
gesamte Partikelemission	67-84 %	B20 [16]	signifikant geringer	[1]	
	geringer	B20 [45]	70 %	[14]	
			Vorteil	[19]	
Partikelanzahl			niedriger	[10]	
Partikelanzahlverteilung			mehr	Im Bereich bis 80 nm [6]	
			deutlich gemindert	oberhalb 80 nm [6]	
			höher	im Bereich 10-20 nm [10]	
Partikelzusammensetzung			erhöhter Anteil an un-	[10]	
			verbranntem Kraftstoff		
unauflösliche Anteile der Partikelemission			20 %	[14]	
organisch unlösliche Partikelbestandteile			50 %	[14]	
Rußschwärzungszahl			60 %	[36]	55 % [36]
Russmenge					tendenziell niedriger [8]
Schwefeloxide und Sulfate			vollständig eliminiert	[14]	
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	80 %	B20 [15]	0 %	[15]	

**Nicht limitierte Emissionen von Motoren die mit Biodieselbeimischungen, RME und Rapsöl betrieben werden ( Dieselkraftstoff = 100 %)**

Bestandteil	Biodieselbeimischungen		RME		Rapsöl
Aldehyde			deutlich abgesenkt	[6]	280 % [36]
			70 %	[14]	
			120 %	[36]	
			400 %	FTP-75 Test [36]	
Acetaldehyd	101,4 %	B2 [42]			
	102,5 %	B5 [42]			
	105,4 %	B10 [42]			
	115,8 %	B20 [42]			

Benzaldehyd	96,6 %	B2 [42]			
	94,7 %	B5 [42]			
	94,3 %	B10 [42]			
	93,1 %	B20 [42]			
Butyraldehyd	103,3 %	B2 [42]			
	107,8 %	B5 [42]			
	116 %	B10 [42]			
	126 %	B20 [42]			
Formaldehyd	102,6 %	B2 [42]			
	107,3 %	B5 [42]			
	117,6 %	B10 [42]			
	135,5 %	B20 [42]			
Propionaldehyd	100,8 %	B2 [42]			
	102,7 %	B5 [42]			
	104,6 %	B10 [42]			
	110 %	B20 [42]			
Acrolein + Acetone	102,1 %	B2 [42]			
	105,4 %	B5 [42]			
	111,1 %	B10 [42]			
	122,0 %	B20 [42]			
Aromate			deutlich weniger [6] wesentlich reduziert [14] 60 % [36]	135 % [36]	
polyaromatische Kohlenwasserstoffe	geringer [16]		reduziert [35]		
PAK-Summenkonzentration				höher geringer	Leerlauf [2] im Zyklus [2]
partikelgebundene PAK			größte Reduktion [41]		
PAH	15-25 %	[14]		10-75 %	FTP-75 Test / 13-Mode Test / 5-Mode Test [36]
	75 %	instationärer Test [36]			
	75 %	13-Mode Test [36]		240 %	ECE-15 Test [36]
	15 %	5-Mode Test [36]		Werte fragwürdig	[36]
NPAH			Werte fragwürdig [36]		
			<10 % bis hin zur Nachweisgrenze [14]		

Summe der Nitro-PAK				deutlich geringer	[2]
Benzo(a)anthracene			50 %	[14]	
Benzene			70 %	[36]	160 % [36]
			135 %	[36]	
Ethen, Propen, Ethin			50 %	[14]	
Ketone			70 %	[36]	
			135 %	[36]	
CD, Pb, Na und Ni Emissionen	geringer	B20 [45]			
Fe, CR, Ni Zn und Mg Emissionen	höher	B20 [45]			
VOC Emissionen	82,1 %	B20 [15]	36,8 %	[15]	
Emissionen allgemein	Änderung weitgehend linear mit RME Anteil				[9]
nicht limitierte Emissionen allgemein			durchwegs Vorteile	[10]	
gesamtes ozonbildendes Potential			50 %	[14]	
Umweltauswirkungen			weniger Nachteile	[36]	
biologische Abbaubarkeit	200 %	B20 [14]	400-500 %	[14]	
			leichter abbaubar	[43]	
Kraftstoff-Wirtschaftlichkeit	98-99 %	B20 [17]			

**Mutagenität und Toxizität der Emissionen von Motoren die mit Biodieselbeimischungen, RME und Rapsöl betrieben werden (Dieselkraftstoff = 100 %)**

	Biodieselbeimischungen	RME	Rapsöl
Mutagenität	weniger mutagen [14] weniger mutagen [16]	signifikant höher TA98 bei metab. Aktiv. [11] signifikant höher TA100 ohne metab. A. [11] wesentlich geringer [14] wesentlich geringer [16] signifikant weniger TA98 und TA100 [44]	geringfügig schwächer [4], [5]
Mutagenität bezogen auf gleiche Masse extrahierter Partikel			40-90 % 8-Stufen-Zyklus [2] 20-50 % Leerlauf [2] 40-60 % [8]
Mutagenität bezogen auf gleiches Volumen gefilterten Abgases			30-70 % 8-Stufen-Zyklus [2] 50-120 % Leerlauf [2] 10-400 % [2] 500-1.800 % RK nicht vorgeh. [11] 1.300-5.900 % RK vergeheizt [11]
Mutagenität bezogen auf extrahierte Rußmenge			33-50 % [8]
Mutagenität organisch löslicher Partikelphase			sehr klare Vorteile [6]
Mutagenität der gasförmigen Phase		verringert [35]	
Mutagenität der Feststoff Phase		verringert [35]	
mutagene Wirkung			teilweise an der unteren Nachweisgrenze tendenziell niedriger [6] [6]
mutagene Wirkung der Partikelproben			970-5.900 % Mutantenstamm TA98 [11] 540-2.230 % Mutantenstamm TA100 [11]
Mutagenität der Kondensate			1.350 % [11]
mutagenes Potential an DEE emittierte Massen (bez. auf		geringer [44] meist höher [44]	

DEE)		
Toxizität	95 % B20 [15]	signifikant reduziert [13] 80 % [15] etwas höher FTP-75 Test, L929 [44]
toxische Eigenschaften		erst bei 400 % höherer Konzentration in lockerer Erde [43]
krebserregende Verbindungen		reduziert [35]
Inhalationsuntersuchungen bei hohen Abgaskonzentrationen		keine Mortalität aber geringfügige pathologische Veränderungen Laborratten [35]

