



Krebsrisiko durch Benzol und Dieselrußpartikel

Dieter Teufel
Petra Bauer
Sabine Voigt
Thomas Wagner

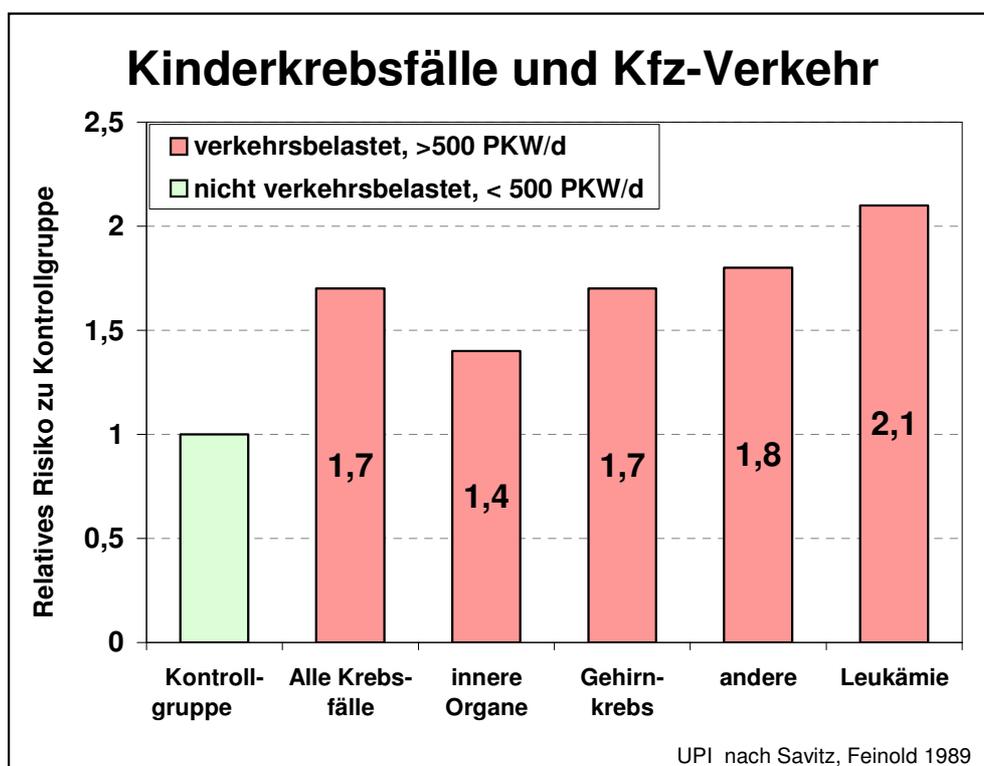
UPI-Bericht Nr. 44

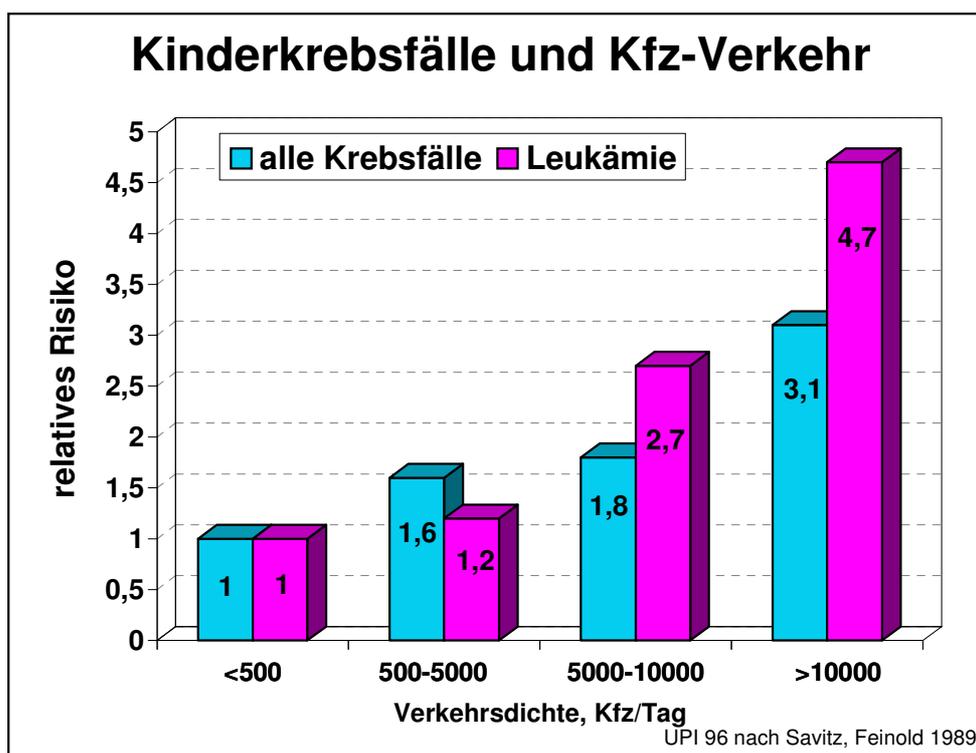
Oktober 1997

4. Auflage Juli 2000

1 Einleitung

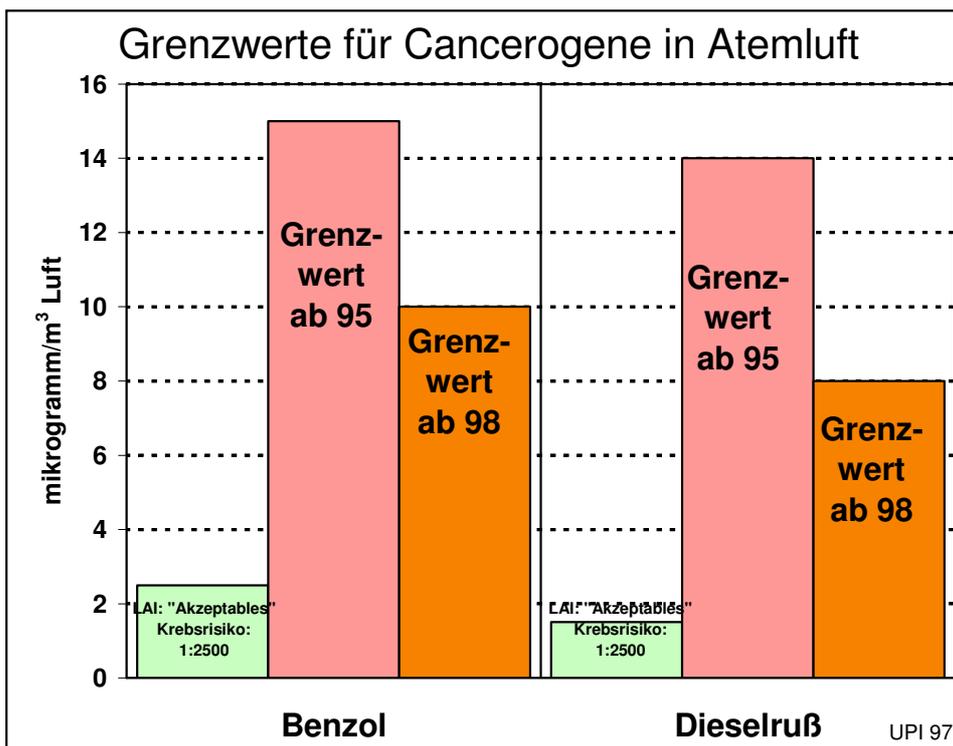
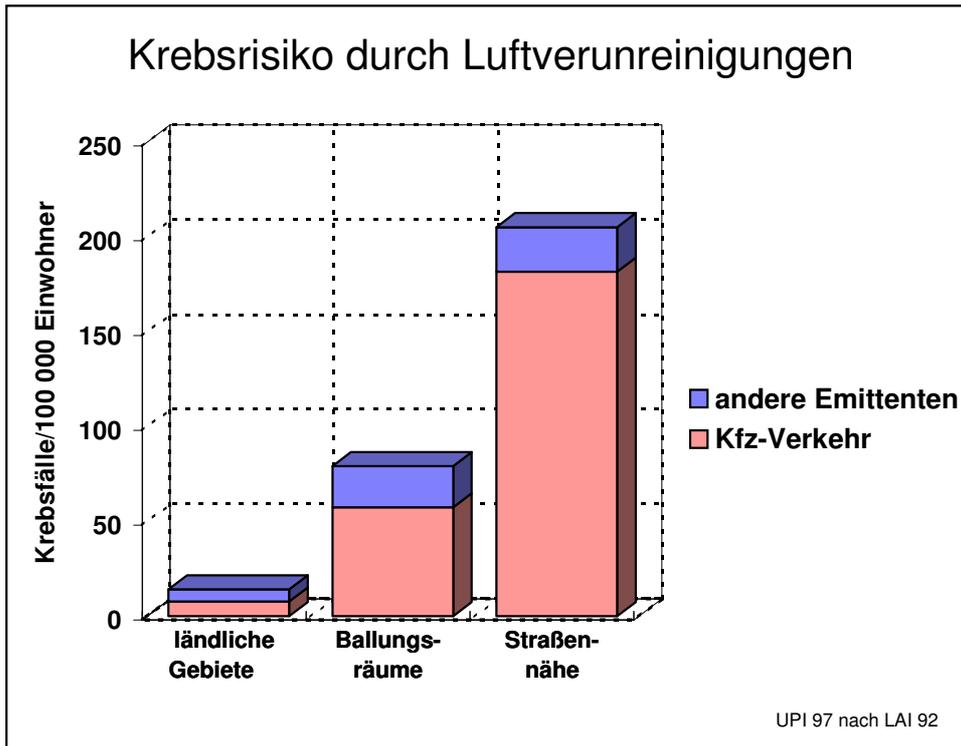
Es ist seit langem bekannt, daß Umweltschadstoffe des Straßenverkehrs bösartige Tumoren und Leukämie verursachen. Als Beispiel zeigen die beiden Grafiken "Kinderkrebsfälle und Kfz-Verkehr" die Ergebnisse einer epidemiologischen Untersuchung, in der Krebs- und Leukämiefälle von Kindern untersucht wurden. ¹ Nach der Nivellierung sozioökonomischer und anderer nichtökologischer Faktoren ergab sich, daß die Anzahl der Krebsfälle von Kindern stark mit dem Straßenverkehr zusammenhängt. Je dichter der Kraftfahrzeugverkehr in der Wohngegend des Kindes ist, um so höher ist das Risiko, an Leukämie oder Krebs zu erkranken.





2 Die Risikofaktoren des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI)

Der Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) faßte im Jahr 1992 die vorhandenen Untersuchungen in einem Bericht für die Bundesländer und die Bundesregierung zusammen.² Darin wird das Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen verschiedener Arten ermittelt und z.B. räumlich differenziert dargestellt (siehe Grafik "Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen"). Daraus ist ersichtlich, daß das Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen überwiegend durch den Kraftfahrzeugverkehr verursacht wird. Um das Problem für den Gesetzgeber behandelbar zu machen, schlägt der Länderausschuß für Immissionsschutz ein sogenanntes "Akzeptables Krebsrisiko von 1 Krebsfall pro 2 500 Einwohnern" vor. Ein darüber hinausgehendes Krebsrisiko solle durch die Umweltgesetzgebung verhindert werden. Aus diesem Risikowert leitet der Länderausschuß für Immissionsschutz Vorschläge für Grenzwerte z.B. für Benzol und Dieselrußpartikel in Höhe von 2,5 bzw. 1,5 µg/m³ ab. Obwohl diese Grenzwerte wegen ihrer Höhe medizinisch problematisch wären, wurden vom Gesetzgeber noch nicht einmal diese Werte umgesetzt. Mit mehrjähriger Verzögerung verabschiedete die Bundesregierung die 23. BImSch-Verordnung, die im März 1997 in Kraft trat. Darin werden ab 1995 für Benzol und Dieselruß ein Grenzwert von 15 µg/m³ und 10 µg/m³ und ab 1998 ein Grenzwert von 10 bzw. 8 µg/m³ festgeschrieben. Diese Grenzwerte liegen um das 3- bis 10-fache über den vom Länderausschuß für Immissionsschutz vorgeschlagenen Grenzwerten.



Auch diese Grenzwerte werden in bewohnten Gebieten durch den Straßenverkehr häufig überschritten. Tabelle 1 zeigt als Beispiel Ergebnisse von Immissionsmessungen in Baden-Württemberg. Gemessen wurde der Jahresmittelwert von Benzol und Dieselruß an 64 Meßorten. An 44% der Meßorte war der Grenzwert der 23. BImSchV von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Benzol und an 70% der Grenzwert von $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für

Dieseluß überschritten. Die durch den Länderausschuß für Immissionsschutz empfohlenen Grenzwerte von 2,5 µg/m³ für Benzol und 1,5 µg/m³ für Dieseluß waren an 100% der Meßorte weit überschritten.

Meßort	Straße	Benzol µg/m³	Ruß µg /m³
Umkirch	Ortsdurchfahrt	14,7	9,7
Freiburg-Ebnet	Schwarzwaldstraße (B31)	10,6	16,5
Freiburg-Neuburg	Habsburgerstraße	10,5	8,8
Freiburg-Oberau	Schwarzwaldstraße	10,3	12,8
Achern	Sasbacher Straße (B3)	11,5	7,1
Bühl	Hauptstraße (B3)	7,9	6,9
Rastatt	Kehler Straße (B3)	8,9	9,1
Karlsruhe-Oststadt	Waldhornstraße	9,1	6,9
Karlsruhe-Daxlanden	Eckener Straße (B36)	6,5	6,7
Ettlingen	Albstraße (B3)	6,7	6,2
Pfinztal	Ortsdurchfahrt (B10)	9,1	9,3
Graben-Neudorf	Ortsdurchfahrt (B36)	9,2	10,4
Waghäusel	Hauptstraße	8,0	7,9
Karlsruhe-Grötzingen	Ortsdurchfahrt (B10)	11,3	12,7
Wiesloch	Baiertaler Straße	7,9	7,5
Schwetzingen	Mühlstraße	7,2	6,6
Heidelberg-Rohrbach	Viktoriastraße (B3)	10,8	7,8
Mannheim-Jungbusch	Kaiserring	10,4	8,9
Mannheim-Jungbusch	Luisenring	11,0	9,9
Heidelberg-Bergheim	Ernst-Walz-Brücke	12,5	9,7
Weingarten	B3	9,9	9,1
Weinheim	Bergstraße (B3)	7,3	7,0
Offenburg	Orkenstraße	11,2	8,7
Pforzheim-Südweststadt	Zerrenner Straße	13,3	11,0
Pforzheim-Innenstadt	Jahnstraße	9,8	10,3
Pforzheim-Oststadt	Karl-Friedrich-Straße	8,1	8,7
Leonberg	Grabenstraße	18,6	15,4
Böblingen	Berliner Straße	13,0	7,2
Herrenberg	Hindenburgstraße/Seestraße	9,6	8,9
Reutlingen	Lederstraße	8,8	10,8
Esslingen	Augustinerstraße	9,5	7,8
Wernau	Kirchheimerstraße	10,5	6,8
kirchheim-Teck	Jesinger Straße (B297)	11,4	7,0
Süssen	Ortsdurchfahrt (B10)	4,9	8,0
Geislingen	Sternplatz (B10)	7,6	8,8
Stuttgart-Ost	Schwarenbergstraße	11,0	10,8
Stuttgart-Mitte	Kriegsbergstraße	10,1	7,4
Stuttgart-Feuerbach 1	Siemensstraße/Alarichstraße	13,2	19,4
Stuttgart-Feuerbach 2	Heilbronner-/Krailenshaldenstr.	9,5	13,5
Stuttgart-Süd	Paulinenstraße	11,0	9,8

Stuttgart-West	Rotebühlstraße/Herzogstraße	9,4	8,7
Ditzingen	Autenstraße	10,8	8,9
Heilbronn-Frankenbach	Speyerer Straße (B39)	11,9	7,5
Heilbronn-Zentrum	B27/B39	10,8	11,4
Heübronn-Zentrum	Kilianstraße	9,6	9,1
Heilbronn-Zentrum	Südstraße (B293)	7,5	7,5
Eislingen	Hauptstraße (B10)	11,8	13,7
Vaihingen an der Enz	Franckstraße	12,1	8,8
Nagold	Marktstraße	13,1	10,0
Rottenburg am Neckar	Stuttgarter Straße (B14)	8,1	9,4
Tübingen	Kelternstraße/Bethlestraße	13,6	10,8
Ostfildern Ruit	Stuttgarter-/Scharnhäuserstr.	11,6	9,4
Schwäbisch-Gründ	Baldung-/Aalenstraße (B19)	9,5	12,4
Mögglingen	Hauptstraße (B29)	5,2	10,5
Aalen	Friedrichstraße	9,2	10,2
Heidenheim Schnaitheim	Hauptstraße (B19)	8,5	12,0
Heidenheim	Clichystraße	7,6	9,0
Langenau	Hindenburgstraße	5,8	7,7
Merklingen	Landesstraße 1230	4,7	10,1
Blaustein	Ottostraße (B28)	7,2	11,0
Ulm	Zinglerstraße	7,9	12,2
Ulm	Wagnerstraße	7,5	8,2
Erbach	Hauptstraße (B311)	6,2	11,1
Biberach an der Riß	Kolping Straße	8,6	11,0
Zahl der Meßpunkte		64	64
Meßwerte über Grenzwert		28	45
= Prozent > Grenzwert		44%	70%
Meßwerte über LAI-Zielwert		64	64
= Prozent > LAI-Zielwert		100%	100%

Tabelle 1: Immissionsmessungen von Benzol und Dieselruß an 64 Meßorten in Baden-Württemberg, Jahresmittelwerte, UMEG, 1999³

Die vom LAI verwendeten Risikofaktoren, mit denen das Krebsrisiko ermittelt wird, stellen dabei nicht den Stand der Wissenschaft dar. Dies wird im Folgenden am Beispiel der Dieselrußpartikel erläutert. Tabelle 2 zeigt die in verschiedenen Untersuchungen ermittelten Risikofaktoren („unit-risk“ bei einer lebenslangen Inhalation von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Dieselrußpartikel) für Lungenkrebs.

Unter- suchungsart	Bemerkungen	Organismus	Lungenkrebsrisiko	
			unit risk 1×10^{-5}	Autoren
Kurzzeittests	"Comparative potency"	Maus, Bakterien	4	Albert et al. ,1983
Kurzzeittests	"Comparative potency"	Maus, Bakterien	3	Albert et al. ,1983
Kurzzeittests	"Comparative potency"	Maus, Bakterien	7	Cuddihy et al. ,1984
Kurzzeittests	M.wert von 3 Motoren	Maus, Bakterien	69	Harris ,1983
Inhal.versuch	Multistage Modell	Ratte	1	Albert und Chen ,1986 Auswertung von Mauderly
Inhal.versuche	Linear	Ratte	6 -12	Pott und Heinrich,1987 Auswertung von Brightwell, Heinrich, Mauderly
Inhal.versuch	Time-to-tumor Modell	Ratte	2 - 3	Smith und Stayner ,1990
Inhal.versuche	Logistische Regression	Ratte	8	McClellan et al. ,1989
Epidemiologie	Londoner Transport- arbeiter	erwachsener Mensch	140	Harris ,1983 ⁴
Epidemiologie	Eisenbahnarbeiter (Garshick)	erwachsener Mensch	60 - 200	McClellan et al. ,1989 ⁵
Inhal. versuche	Dosimetriemodell	Ratte	2	Pepelko und Chen ,1993 Auswertung von Brightwell, Ishinishi, Mauderly
Inhal. versuche	Dosimetriemodell	Ratte	7	LAI 1992
Inhal. versuche	Dosimetriemodell	Ratte	80	Hattis und Silver, 1992

Tabelle 2: Risikofaktoren für Lungenkrebs bei einer lebenslangen Inhalation von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Dieselrußpartikel, aus LAI 1992

Risikofaktoren wurden aus Tierexperimenten mit Mäusen, Ratten und aus epidemiologischen Untersuchungen am (erwachsenen) Menschen ermittelt.

Tierversuche haben eine Reihe von Nachteilen, von denen die meisten in Richtung einer Unterschätzung des Risikos bei der Übertragung auf den Menschen führen: So beträgt die Zeitdauer, denen die Versuchstiere einem Schadstoff im Experiment ausgesetzt sind, in der Regel nur einige Monate. (Maximale Lebensdauer von Ratten: 2 bis 2,5 Jahre). Der Mensch hingegen ist dem Schadstoff in der Umwelt meist Jahrzehnte ausgesetzt. Gerade bei der Bildung bösartiger Tumoren ist seit Jahrzehnten bekannt, daß die Latenzzeit beim Menschen Jahre bis Jahrzehnte beträgt.

Versuchstiere sind zwar in der Regel auch Säugetiere. Die Übertragung quantitativer Ergebnisse von Versuchstieren auf den Menschen ist jedoch mit großen Unsicherheitsfaktoren verbunden. Das bekannteste Beispiel ist die Contergankatastrophe, die die Folge der Tatsache war, daß der Mensch 200 bis 700 mal empfindlicher auf Thalidomid, den Wirkstoff des Contergans, reagierte als die Versuchstiere, an denen das Präparat getestet worden war.

In Tierexperimenten werden genetisch einheitliche Versuchstierstämme eingesetzt. Dies bringt zwar den Vorteil besserer wissenschaftlicher Reproduzierbarkeit, klammert jedoch die hohe genetische Variabilität beim Menschen und eine genetisch verur-

sachte besondere Empfindlichkeit einzelner Menschen gegenüber bestimmten Schadstoffen aus. Dasselbe gilt für die Tatsache, daß im Tierexperiment in aller Regel nur gesunde Versuchstiere eingesetzt werden, während die Schadstoffe der Umwelt beim Menschen auf eine Gesamtbevölkerung treffen, in der Gesunde genauso vertreten sind wie Kranke, Ältere, Gebrechliche, Säuglinge und Kleinkinder. Siehe dazu ⁶

Wie sich aus Tabelle 2 ergibt, liegen die aus epidemiologischen Untersuchungen am (erwachsenen) Menschen ermittelten Risikofaktoren mit 140 bis 200×10^{-5} um mehr als eine Zehnerpotenz höher als die aus Tierexperimenten gewonnenen Daten. Trotzdem stützt sich der LAI in seiner Risikobewertung auf einen aus Rattenexperimenten ermittelten Risikofaktor von 7×10^{-5} . Auch dieser Wert liegt noch nicht einmal für Ratten auf der sicheren Seite, da z.B. Hattis and Silver, 1992, aus Rattenexperimenten einen Risikofaktor von 80×10^{-5} ermitteln. Die Höhe der Risikofaktoren geht linear in die Höhe des berechneten Krebsrisikos ein.

Während die LAI-Studie, die in den letzten Jahren die amtliche Grundlage für Risikoberechnungen durch Dieselruß und Benzol in der Bundesrepublik Deutschland darstellte, nur zwei epidemiologische Studien über das Krebsrisiko durch Dieselruß beim Menschen anführt (Tabelle 2), existieren in der Realität über 20 solcher epidemiologischen Studien. Wie Tabelle 3 zeigt, war die überwiegende Zahl dieser epidemiologischen Studien bereits vor Abfassung der LAI-Studie veröffentlicht. Bei diesen insgesamt 24 Studien wurden verschiedene Berufsgruppen, die z.B. als LKW- oder Busfahrer Kraftfahrzeug-Abgasen ausgesetzt waren, in Form von retrospektiven, prospektiven oder Fall-Kontroll-Studien untersucht. Insgesamt wurden dabei 6 231 Fälle von Lungenkrebs analysiert. Wichtet man die in den einzelnen Studien ermittelten relativen Risikowerte nach der Zahl der untersuchten Lungenkrebsfälle, ergibt sich aus den 24 epidemiologischen Studien ein relatives Risiko der Dieselruß-exponierten Beschäftigten im Vergleich zu Männern der Normalbevölkerung von 1,45, d.h. eine Erhöhung des Risikos um 45%. Bei 10 der 23 Studien wurden die Ergebnisse nach den Rauchgewohnheiten der Beschäftigten korrigiert. Legt man lediglich diese Studien zugrunde und ermittelt das nach Zahl der untersuchten Lungenkrebsfälle gewichtete relative Risiko der Beschäftigten nach Korrektur auf Rauchgewohnheiten, ergibt sich bei insgesamt 5 027 erfaßten Lungenkrebsfällen ein gewichtetes mittleres relatives Risiko in Höhe von 1,65.

Autor, Jahr	Type	korrigiert auf Rauchen:	Beruf	Exposition, Kategorie	Fälle	RR	95% CI
Ahlberg et al, 1981 ⁷	RC	Nein	LKW-Fahrer		161	1,10	1.1-1.6
Boffetta et al, 1988 ⁸	PC	Ja	LKW-Fahrer		48	1,24	0.93-1.48
		Ja	Maschinisten		5	2,60	1.12-6.06
		Ja	Straßenarbeiter		14	1,59	0.94-2.69
Boffetta et al, 1990 ⁹	CC	Ja	Diesel-exponiert	>30 Jahre	17	1,49	0.72-3.11
Coggon et al, 1984 ¹⁰	CC	Nein	Diesel-exponiert		172	1,30	1.0-1.6
Damber & Larsson, 1987 ¹¹	CC	Ja	Fahrer	>20 Jahre	37	1,20	0.6-2.2
Edling et al, 1987 ¹²	RC	Nein	Busfahrer		6	0,67	0.24-1.46
Garshick et al, 1987 ¹³	CC	Ja	Straßenarbeiter	>20 Jahre	117	1,64	1.18-2.20
Garshick et al, 1988 ¹⁴	RC	Nein	Straßenarbeiter	>15 Jahre	N/A	1,72	1.27-2.33
Gustafsson et al, 1986 ¹⁵	RC	Nein	Dock Arbeiter		70	1,32	1.05-1.66
Gustavsson et al, 1990 ¹⁶	RC	Nein	Busgaragen-Arbeiter	Hohe Exposition	12	2,00	1.43-2.8
Hansen, 1993 ¹⁷	RC	Nein	LKW-Fahrer		76	1,60	1.26-2.0
Hayes et al, 1989 ¹⁸	CC	Ja	Busfahrer	>10 Jahre	38	1,60	0.9-2.8
		Ja	LKW-Fahrer	>10 Jahre	147	1,50	1.1-1.9
		Ja	Maschinisten	>10 Jahre	14	1,30	0.6-3.1
Howe et al, 1983 ¹⁹	RC	Nein	Straßenarbeiter	Wahrscheinl.Exp	279	1,35	1.2-1.52
Lerchen et al, 1987 ²⁰	CC	Ja	Diesel Mechaniker		7	0,60	0.2-2.0
Menck & Henderson 1976 ²¹	RC	Nein	LKW-Fahrer		109	1,65	1.35-1.99
Raffle 1957 ²²	RC	Nein	Bus & Trolleyfahrer		30	1,40	0.94-2.0f
Rafnsson & Gunnarsdottir 1991 ²³	RC	Nein	LKW-Fahrer	>30 Jahre	24	2,32	0.85-5.04
Rushton et al, 1983 ²⁴	RC	Nein	Bus Mechaniker		102	1,01	0.82-1.22
Siemiatycki et al, 1988 ²⁵	CC	Ja	Dieselruß-exponiert		76	1,08	0.92-1.27
Steenland et al, 1990 ²⁶	CC	Ja	Diesel LKW-Fahrer	>25 Jahre	128	1,60	1-2.3
Swanson et al, 1993 ²⁷	CC	Ja	LKW-Fahrer	>20 Jahre	121	2,44	1.43-4.16
		Ja	Straßenarbeiter	>10 Jahre	40	2,46	1.24-4-87
Williams et al, 1977 ²⁸	CC	Ja	LKW-Fahrer		22	1,52	0.9-2.56
		Ja	Straßenarbeiter		12	1,40	0.74-2.64
Wichmann et al., 1997 ²⁹	CC	Ja	Dieselruß-exponiert		4184	1,60	1.33-1.92
Wong et al, 1985 ³⁰	RC	Nein	Maschinisten	>20 Jahre	163	1,07	0.91-1.24

RC = retrospective cohort study; PC = prospective cohort study; CC = case-control study

Tabelle 3: Zusammenstellung der epidemiologischen Studien über Lungenkrebs und Dieselruß-Exposition beim Menschen, nach Bhatia et al., 1998³¹ und UPI

7 Studien analysierten das Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit von der Expositionsdauer (siehe Tabelle 4). Dabei ergab sich in jedem Fall eine deutliche Zunahme des Risikos mit der Dauer, der die Beschäftigten Kraftfahrzeugabgasen ausgesetzt waren.

Autor	Typ	Rauch-korr.	Untergruppe	Expositionsdauer	RR	95% CI
Boffetta et al 1990	CC	Ja	Diesel-exponiert	1-15	0,52	0.15-1.86
				16-29	0,70	0.34-1.44
				>30	1,49	0.72-3.11
Damberg & Larsson,1987	CC	Ja	Fahrer	1-19	1	0.7-1.5
				>20	1,20	0.6-2.2
Garshick et al. 1987	CC	Ja	Straßenarbeiter	5-19	1,02	0.72-1.4
				>20	1,64	1.18-2.2
Garshick et al. 1987	RC	Nein	Straßenarbeiter	1-4	1,20	1.01-1.44
				5-9	1,24	1.06-1.44
				10-14	1,32	1.13-1.56
				>15	1,72	1.27-2.33
Hayes et al, 1989	CC	Ja	Maschinisten	<10	1,50	0.4-4.3
				>10	1,30	0.6-3.1
			LKW-Fahrer	<10	1	0.8-1.3
				>10	1,50	1.1-1.9
			Busfahrer	<10	1,10	0.6-2.1
				>10	1,60	0.9-2.8
Steenland et al. 1990	CC	Ja	Diesel LKW-Fahrer	1-24	1,27	0.7-2.27
				25-34	1,26	0.74-2.16
				>35	1,89	1.04-3.42
Swanson et al. 1993	CC	Ja	Straßenarbeiter	1-9	1,57	0.8-3.11
				>10	2,46	1.24-4.87
			Schwer-LKW-Fahrer	1-9	1,56	0.95-2.58
				10-19	1,67	0.87-3.18
				>20	2,44	1.43-4.16

Tabelle 4: Epidemiologische Studien über Lungenkrebs und Dieselruß-Exposition beim Menschen nach Zeitdauer der Exposition, nach Bhatia et al., 1998

Die umfangreichste Fall-Kontroll-Studie zum Lungenkrebsrisiko durch berufliche Belastungen wurde in den letzten Jahren durch ein Wissenschaftlerteam des Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, der Universität München, des Universitätsklinikums Essen, des Bremer Instituts für Präventionsforschung und Sozialmedizin und des Hessischen Ministeriums für Frauen, Arbeit und Sozialordnung durchgeführt und im Jahr 1997 veröffentlicht^{32 33}.

Dabei handelte es sich um die geordnete Zusammenführung zweier großer Fall-Kontroll-Studien über Lungenkrebs in der Bundesrepublik Deutschland. Die eine Studie wurde von dem Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin über 1 004 Lungenkrebsfälle der Jahre 1988 bis 1993 durchgeführt, die andere Studie

durch das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, über 3 180 Lungenkrebsfälle der Jahre 1990 bis 1995. Beide Studien beruhen auf histologisch bzw. zytologisch gesicherten inzidenten Lungenkrebsfällen, die mit einer entsprechenden gleich hohen Zahl von Kontrollfällen verglichen wurden. Die Lungenkrebs-Patienten und die Kontrollpersonen aus der Allgemeinbevölkerung wurden durch ausgebildete Interviewerinnen detailliert zu ihren Rauchgewohnheiten und ihrer Berufsbiographie befragt.

Die Studie ergab interessante Unterschiede im Risiko zwischen West- und Ostdeutschland. Während das Lungenkrebsrisiko für beruflich Dieselruß-Abgasen ausgesetzte Berufsgruppen in Ostdeutschland kaum erhöht war, liegt es in Westdeutschland deutlich über dem Durchschnitt. Dies steht in Übereinstimmung mit der in Ostdeutschland vor der Wende wesentlich geringeren Verkehrsdichte auf den Straßen und dem hohen Anteil von Benzinmotoren bei LKW.

Die folgenden Tabellen zeigen das Lungenkrebsrisiko bei Männern in Berufen mit Dieselruß-Exposition in Westdeutschland, aufgeschlüsselt nach der Länge der Exposition und dem Zeitpunkt des Beginns und des Endes der Exposition. Die relativen Risiken wurden als „rohes relatives Risiko“ (OR1), als „relatives Risiko“ nach der Korrektur nach Rauchgewohnheiten (OR 2) und als „relatives Risiko“ korrigiert nach Rauchgewohnheiten und Asbest-Exposition berechnet (OR 3).

Tabelle 7 zeigt zusammengefaßt das Lungenkrebsrisiko für Männer in verschiedenen Berufen mit Dieselmotoremissionen (=DME)-Exposition.

Berufe mit DME-Exposition	Kontrolle	Fälle	OR1	OR2	OR3	95 %-CI
nicht exponiert	2356	2162	1,00	1,00	1,00	---
exponiert	279	527	2,10	1,65	1,60	1,33-1,92
Kalenderjahre unter Exposition						
0-3 Jahre	63	101	1,79	1,69	1,64	1,14-2,38
3-10 Jahre	84	125	1,66	1,36	1,30	0,94-1,80
10-20 Jahre	49	126	2,88	2,17	2,06	1,41 -3,01
20-30 Jahre	48	100	2,31	1,59	1,56	1,05-2,33
>30 Jahre	35	75	2,33	1,60	1,61	1,01 -2,54
Erstes Jahr der Exposition						
-1945	40	50	1,31	1,05	0,98	0,60-1,59
1946-1955	91	175	2,04	1,60	1,55	1,14-2,09
1956+	148	302	2,38	1,86	1,81	1,43-2,31
Letztes Jahr der Exposition						
-1965	105	133	1,37	1,27	1,22	0,90-1,66
1966-1975	50	109	2,48	2,02	1,95	1,32-2,87
1976+	124	285	2,59	1,79	1,75	1,37-2,25

Tabelle 5: Lungenkrebsrisiko bei Männern in Berufen mit DME-Exposition (Westdeutschland), aus Wichmann et al., 1997 (Abk. siehe Tabelle 7)

GRUPPE A	Kontrolle	Fälle	OR1	OR2	OR3	95 %-CI
nicht exponiert	2409	2277	1	1	1	---
exponiert	226	412	1,96	1,47	1,44	1,18-1,76
Kalenderjahre unter Exposition						
0-3 Jahre	50	89	1,92	1,72	1,69	1,13-2,53
3-10 Jahre	70	94	1,46	1,12	1,09	0,76-1,58
10-20 Jahre	38	102	2,9	2,08	2,02	1,32-3,08
20-30 Jahre	39	68	1,89	1,17	1,15	0,74-1,80
>30 Jahre	29	59	2,13	1,5	1,51	0,90-2,52
Erstes Jahr der Exposition						
-1945	29	42	1,51	1,22	1,19	0,68-2,07
1946-1955	73	130	1,83	1,39	1,34	0,96-1,88
1956+	124	240	2,16	1,58	1,56	1,21 -2,03
Letztes Jahr der Exposition						
-1965	79	113	1,5	1,36	1,32	0,94-1,87
1966-1975	49	83	1,86	1,54	1,49	0,99-2,25
1976+	98	216	2,4	1,52	1,5	1,14-1,98
KFZ-Stunden						
1 -9999	74	107	1,55	1,27	1,26	0,89-1,78
10000 - 49999	93	181	2,11	1,57	1,54	1,15-2,07
50000+	50	104	2,24	1,45	1,42	0,96-2,09
keine Std,-angaben	9	20	2,4	2,28	2,11	0,86-5,21

Tabelle 6: Lungenkrebsrisiko für Berufskraftfahrer in Westdeutschland (Männer), aus Wichmann et al., 1997 (Abk. siehe. Tabelle 7)

Berufe mit DME-Exposition	Kontrolle	Fälle	OR1	OR2	OR3	95 %-CI
insgesamt						
nicht exponiert	3111	2782	1	1	1	---
exponiert	430	716	1,91	1,46	1,43	1,23-1,67
GRUPPE A Berufskraftfahrer insgesamt						
nicht exponiert	3204	2964	1	1	1	---
exponiert	337	534	1,75	1,27	1,25	1,05-1,47
Berufskraftfahrer (Ost)						
nicht exponiert	795	687	1	1	1	---
exponiert	111	122	1,29	0,83	0,83	0,60-1,14
Berufskraftfahrer (West)						
nicht exponiert	2409	2277	1	1	1	---
exponiert	226	412	1,96	1,47	1,44	1,18-1,76
GRUPPE B andere Verkehrsberufe						
nicht exponiert	3481	3399	1	1	1	---
exponiert	60	99	1,69	1,58	1,53	1,04-2,24
GRUPPE C Maschinisten						
nicht exponiert	3509	3417	1	1	1	---
exponiert	32	81	2,76	2,35	2,31	1,44-3,70
GRUPPE D Traktoristen						
nicht exponiert	3505	3446	1	1	1	---
exponiert	36	52	1,57	1,28	1,29	0,78-2,14

OR1: rohes Odds Ratio

OR2: Odds Ratio, adjustiert nach Rauchen

OR3: Odds Ratio, adjustiert nach Rauchen und Asbestexposition

95 %-CI: 95 %-Konfidenzintervall für OR3 ($p < 0.05$, zweiseitiger Test)

Tabelle 7: Zusammenfassende Darstellung des Lungenkrebsrisikos für Männer, die jemals in Berufen mit DME-Exposition gearbeitet haben (Mehrfachnennungen möglich), Gesamt-BRD, aus Wichmann et al., 1997

Zur Berechnung des Risiko durch Dieselrußpartikel in der Umwelt müssen Unit-Risk-Werte zugrundegelegt werden. Diese geben die Zahl der Lungenkrebsfälle pro 100 000 Menschen bei einer lebenslangen Schadstoff-Inhalation von durchschnittlich $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an.

Stayner, L. et al., 1998, führten einen Review der bisher aus epidemiologischen Studien errechneten Unit-Risk-Berechnungen durch (siehe Tabelle 8). Je nach der Art der Berechnung der Schadstoffkonzentrationen in der Vergangenheit bei den in der jeweiligen epidemiologischen Studie exponierten Personen, dem verwendeten statistischen Auswertemodell und der angenommenen Latenzzeit für Lungenkrebs

ergeben sich Abweichungen in den erhaltenen Unit-Risk-Werten. Die berechneten Unit-Risk-Werte liegen zwischen 48 und 438 x 10⁻⁵.

Studie	Datenquelle	Exposition	Statistisches Modell	unit risk x 10 ⁻⁵ Normalbevölkerung	unit risk x 10 ⁻⁵ 95%-Wert
Harris, 1983	Londoner transportarbeit, Harris, 1983	Expositions-konzentration	Additives relatives Risikomodell	62	238
Smith and Stayner, 1991	Fall-Kontrollstudie von US-Straßenarbeitern, Garshick et al., 1988	Expositions-konzentration	Log-lineares relatives Risikomodell	76	391
Kalifornische EPA, 1997	Kohortenstudie von US-Straßenarbeitern, Garshick et al., 1988	Kumulative Exposition, Dachkurve	Inverse varianzgewichtete lineare Regression	286	381
		Kumulative Exposition, Dachkurve	Poisson Verteilung	181	257
		Kumulative Exposition, Rampenkurve	Poisson Verteilung	438	666
		gewichtete durchschnittliche Exposition, Dachkurve	Armitage-Doll-Modell: 10 Jahre Latenzzeit	48	71
		gewichtete durchschnittliche Exposition, Dachkurve	Armitage-Doll-Modell: 5 Jahre Latenzzeit	57	86
		gewichtete durchschnittliche Exposition, Rampenkurve	Armitage-Doll-Modell: 5 Jahre Latenzzeit	162	276
Steenland et al., 1998 ³⁴	Fall-Kontrollstudie von US-LKW-Fahrern, Steenland et al., 1990	Kumulative Exposition	logistische Regression	214	367

Tabelle 8: Lungenkrebsrisiko (unit-risk, Inzidenz) Risiko durch Dieselrußpartikel für Normalbevölkerung aus verschiedenen epidemiologischen Studien, nach Stayner, L. et al., 1998³⁵

Die jüngste Berechnung wurde von Steenland et al., 1998, durchgeführt. Sie beruht auf den Daten einer Fall-Kontroll-Studie von LKW-Fahrern in den USA mit 994 Lungenkrebsfällen und 1 085 Kontrollen. Die Stärke der Studie liegt u.a. darin, daß die gesamte Lebensspanne der Exponierten berücksichtigt wurde (Fälle und Kontrollen im Pensionsalter) und somit die Gesamtheit der aufgetretenen Karzinome erfaßt wurde. Die Konzentrationen an Dieselrußpartikeln wurden bei verschiedenen Tätigkeiten der Exponierten gemessen und konnten so der Auswertung in Abhängigkeit von der ausgeübten Tätigkeit zugrunde gelegt werden. Die Berechnungen wurden für Alter, Rauchgewohnheiten, Asbestexposition und Rasse korrigiert. Sie ergaben bei Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung einen Unit-Risk-Wert von 45 x 10⁻⁵ für beruflich Exponierte (45 Jahre Berufszeit, 240 Tage pro Jahr und einer Atemrate

von 10 m³ pro Tag während der Arbeitszeit). Für die Normalbevölkerung (70 Jahre Expositionszeit, 365 Tage pro Jahr und einer Atemrate von 20 m³ pro Tag) errechnet sich ein Unit-Risk-Wert in Höhe von 214 x 10⁻⁵. Diese Unit-Risk-Werte wurden mit der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ermittelt. In der Studie zeigte sich jedoch eine bessere Übereinstimmung mit einer logarithmischen Kurve. Da diese im niedrigen Konzentrationsbereich ein höheres Risiko als bei einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ergibt, stellen die linear berechneten Werte wahrscheinlich eine Unterschätzung des Risikos dar.

Lungenkrebs stellt nur eine Art des Krebs-Risikos durch den Kraftfahrzeugverkehr dar. Verschiedene epidemiologische Untersuchungen zeigen auch bei anderen Tumorraten ein erhöhtes Risiko bei Personen, die Kraftfahrzeug-Abgasen ausgesetzt sind.

In einer Fall-Kontrollstudie von 675 Blasenkrebsfällen (531 Männer, 144 Frauen) und der gleichen Anzahl von vergleichbaren Kontrollpersonen wurden von Claude, J.C. et al, 1988, die Zusammenhänge zu möglichen Ursachen der Krebsfälle untersucht.³⁶ Die untersuchten Personen lebten in Norddeutschland (Raum Göttingen und Bad Salzgitter) und wurden in dortigen Krankenhäusern in den Jahren 1977 bis 1985 behandelt. In den epidemiologischen Untersuchungen wurden detaillierte Erhebungen über die Rauchgewohnheiten, den Konsum von Alkohol, Kaffee, Tee und Drogen, die medizinische Behandlung, Bestrahlung, Kosmetika u.a. durchgeführt. Erfasst wurden weiterhin alle Beschäftigungsverhältnisse über 6 Monate Dauer mit Beginn und Ende der Beschäftigung und beruflicher Kontakt mit kritischen chemischen Substanzen.

Nach Abzug des Risikoanteils durch Rauchen ergab sich für LKW-Fahrer eine statistisch signifikante Erhöhung des Blasenkrebsrisikos um 99 %. Andere Tumorarten wurden in der Untersuchung nicht berücksichtigt. Das höhere Blasenkrebsrisiko stieg dabei mit der Beschäftigungsdauer an. Fahrer, die 30 Jahre oder länger als LKW-Fahrer beschäftigt waren, hatten ein statistisch signifikantes dreimal höheres Risiko als andere Beschäftigte. Dieser zeitabhängige Effekt zeigte sich statistisch signifikant nur bei LKW-Fahrern.

Die Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit anderen Veröffentlichungen^{37 38 39 40 41}. Eine kanadische Untersuchung zeigte ein um 180 % erhöhtes Blasenkrebsrisiko bei Beschäftigten, die Diesel- und Motorabgasen ausgesetzt waren.⁴² Dieselabgase enthalten neben Dieselrußpartikeln polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH). Sowohl aus Tierversuchen als auch aus epidemiologischen Untersuchungen bei Menschen ist bekannt, daß PAH Krebs verursachen. Sie sind wahrscheinlich die Ursache für erhöhte Krebsraten bei Arbeitern in Gaswerken⁴³, Aluminiumschmelzen⁴⁴ und bei Schornsteinfegern⁴⁵.

Bereits vor 20 Jahren ergab eine epidemiologische Auswertung der Todesursachen von Beschäftigten der Badischen Anilin- und Sodafabrik (BASF) in Ludwigshafen durch Frentzel-Beyme, R. et al, 1978, ein signifikant höheres Lungenkrebs- und allgemeines Krebsrisiko bei LKW-Fahrern.⁴⁶ Dieses lag deutlich über der Erhöhung des Lungenkrebsrisikos bei anderen Berufsgruppen der Beschäftigten der BASF. Insgesamt wurden 542 Beschäftigte mit einer Beschäftigungszeit von zusammen 7 823 Personenjahren untersucht.

Die deutlichste Erhöhung des Risikos ergab sich bei Lungenkrebs (10 Fälle gegenüber 3,5 erwartet). Die Gesamtzahl aller aufgetretenen zum Tode führenden Krebsfälle lag bei 18 und damit 50 % über der erwarteten Zahl von 12. Die Verteilung der Tumorfälle in Abhängigkeit von der Beschäftigungszeit als LKW-Fahrer deutete darauf hin, daß das Krebsrisiko mit der Beschäftigungszeit ansteigt. An Todesfällen durch zerebrale Durchblutungsstörungen wurden 5 Fälle beobachtet, der Erwartungswert lag bei 3,4 Fällen.

3 Berechnung der Lungenkrebsfälle durch Dieselruß

Analog zu den Berechnungen der LAI-Studie werden im folgenden die Zahl der Lungenkrebsfälle durch Dieselruß- und Benzol-Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 1998 berechnet. Tabelle 9 zeigt die Bevölkerungsverteilung und die Dieselruß- bzw. Benzol-Emissionen Ende der 80er Jahre (LAI-Studie) und 1998. Der zur Berechnung der Lungenkrebsfälle verwendete Unit-Risk-Wert für Benzol wurde aus der LAI-Studie, der für Dieselruß aus Steenland et al., 1998, (siehe Tabelle 8) entnommen.

Gebiet	Bevölkerung %	Mio	Ende 80er Jahre		1998	
			Dieselruß $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Benzol $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Dieselruß $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Benzol $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ländliche Gebiete	16%	12,9	0,9	0,7	0,8	0,2
Kleinstädtische Gebiete	29%	23,5	1,5	1,5	1,3	0,5
Ballungsräume	56%	45,5	6,2	7,2	5,3	2,2
Hauptstraßen			14	20	11,9	6
Gesamt	100%	81,8				

Tabelle 9: Bevölkerungsverteilung und durchschnittliche Exposition durch Dieselruß und Benzol in der Bundesrepublik Deutschland

Lungenkrebsfälle pro Jahr durch	Dieselruß			Benzol			Summe		
	Dieselruß	Benzol	Summe	Jeder x. erleidet Krebs durch Dieselruß	Benzol	Summe			
ländliche Gebiete	282	2	285	611.	73 260.	606.			
Kleinstädtische Gebiete	854	9	863	367.	34 188.	363.			
Ballungsräume	6 840	85	6 926	89.	7 123.	88.			
Hauptstraßen				39.	2 564.	39.			
Gesamt	7 977	97	8 074	137.	11 285.	135.			

Tabelle 10: Zahl der durch Dieselruß und Benzol in der Bundesrepublik Deutschland verursachten Lungenkrebsfälle pro Jahr und Höhe des durchschnittlichen individuellen Risikos

Insgesamt ergibt sich, daß durch die beiden Schadstoffe Dieselruß und Benzol aus dem Kraftfahrzeugverkehr in der Bundesrepublik Deutschland unter den heutigen Bedingungen über 8 000 Lungenkrebsfälle pro Jahr verursacht werden. Das entspricht u.a. der Gesamtzahl der bei Verkehrsunfällen pro Jahr in der Bundesrepublik Deutschland getöteten Personen.

In Ballungsräumen erleidet etwa jeder 90. Bewohner, an Hauptverkehrsstraßen sogar jeder 39. Anwohner einen Lungenkrebs, der durch Dieselruß- und Benzol-Emissionen des Straßenverkehrs verursacht wird. Dies ist ein unakzeptabel hohes Risiko. Zum Vergleich: In der Bundesrepublik Deutschland stirbt jeder 560. Bewohner durch alle Arten krimineller Gewalteinwirkung (Mord, Totschlag, Körperverletzung mit Todesfolge).⁴⁷ Das Risiko, in Ballungsräumen durch Dieselrußemissionen des Verkehrs an Lungenkrebs getötet zu werden, liegt 6-mal, an Hauptstraßen sogar 14-mal höher als das Risiko, durch Gewalteinwirkung zu sterben.

Tabelle 11 zeigt die von verschiedenen Institutionen für zulässig erachteten Krebsrisiken.

Institution	1 Krebsfall „zulässig“ pro
Amerikanische Umweltbehörde (EPA 1990)	1 000 000 Menschen
Länderausschuß für Immissionsschutz , abgeleitet aus Rattenexperimenten (LAI 1992), Summe der cancerogenen Immissionen	2 500 Menschen
Länderausschuß für Immissionsschutz , umgerechnet auf Epidemiologie erwachsener Menschen, nur Benzol und Dieselruß	330 Menschen
Bundesregierung 23. BImSchV: Grenzwerte für Benzol und Dieselruß in Normalluft 1996, nach LAI, Rattenexperimente .	1 500 Menschen
Bundesregierung 23. BImSchV: Grenzwerte für Benzol und Dieselruß in Normalluft 1996, umgerechnet auf Epidemiologie erwachsener Menschen	60 Menschen

Tabelle 11: „Zulässiges Krebsrisiko“ durch Luftschadstoffe für Normalbevölkerung

Die Berechnungen wurden mit den in Westdeutschland gemessenen Dieselruß-Expositionen in der Gewichts-Einheit $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durchgeführt. Verschiedene Untersuchungen der letzten Jahre deuten jedoch darauf hin, daß nicht das Gewicht des Dieselrußes in der Atemluft, sondern die Anzahl der lungengängigen Partikel für die Krebsentstehung verantwortlich ist. Während das Gewicht der Emission von Dieselruß aus Dieselmotoren in den letzten Jahrzehnten gesunken ist, blieb die Zahl der lungengängigen Partikelemissionen gleich bzw. nahm zu. Dies konnte bei der Ermittlung dieses Unit-Risk-Wertes nicht berücksichtigt werden, da genaue Meßwerte über die auf der Zahl lungengängiger Dieselrußpartikel basierenden Dieselruß-Emissionen von Motoren über die letzten Jahrzehnte nicht vorliegen. Eine Abschätzung zeigt jedoch, daß unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes der Unit-Risk-Wert für Dieselruß deutlich höher als hier berechnet ausfallen würde: Die gemessene Übersterblichkeit an Lungenkrebs von Dieselruß-exponierten Berufsgruppen wurde in den letzten Jahrzehnten durch eine deutlich geringere Zahl lungengängiger Dieselrußpartikel verursacht als es den auf dem Gewicht der Dieselruß-Exposition basierenden Meßwerten entspricht. Dies bedeutet einen höheren Risikowert für die heutige Situation, in der zwar das Gewicht der Dieselruß-Emissionen reduziert, die Zahl lungengängiger Partikel jedoch bisher durch die Abgasgesetzgebung nicht begrenzt und nicht reduziert wurde.

Da die Abgasgesetzgebung bisher weder Grenzwerte noch Pläne für zukünftige Grenzwerte für die Begrenzung der Zahl lungengängiger Dieselruß-Partikel realisiert hat und der Verkehr mit Dieselmotoren nach verschiedenen Prognosen in den nächsten Jahrzehnten deutlich zunehmen wird (Zunahme des Güterverkehrs, Verlagerung von Güterverkehr von der Schiene auf die Straße, Förderung von Dieselmotoren im Personenverkehr durch eine geringere Mineralölsteuer), werden die durch Dieselruß-Emissionen des Verkehrs verursachten Gesundheitsschäden und Todesfälle in Zukunft nicht ab-, sondern zunehmen.

4 Situation in Heidelberg

In Heidelberg wurden in den letzten Jahren an verschiedenen Stellen die Konzentrationen von Dieselruß und Benzol gemessen. Tabelle 12 und Tabelle 13 zeigen die an Hauptverkehrsstraßen gemessenen Werte.

Standorte	Benzol Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Vertrauens bereich $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ruß Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Vertr. bereich $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dossenheimer Landstraße (Hans-Thoma-Platz)	6,2	(5,6-6, 8)	5,2	(4,6-5,7)
Brückenstraße	8,1	(7,4-8,8)	5,0	(4,2-5,5)
Mittermaierstraße	9,1	(8,3-9,9)		
Sofienstraße (Bismarckplatz)	4,4	(4,0-4,8)	5,1	(4,6-5,8)
Friedrich-Ebert-Anlage	7,3	(6,6-8,0)	5,6	(4,9-6,2)
Rohrbacher Straße (staatl. Liegenschaftsamt)	8,6	(7 8-9 4)	5,2	(4,5-5,7)
Karlsruher Straße	11,3	(10,3-12,3)	6,6	(5,9-7,5)

Tabelle 12: Auswertung der Immissionsmeßwerte für Benzol und Ruß in Heidelberg zwischen dem 29.9.95 und dem 27.9.96; UMEG 1996, nach ifeu 1997

Straße	Meß 92/93	Meß 94/95	Meß 95/96
Am Götzenberg/Berghalde		4,5	4,1
Bahnhofsvorplatz	18,6		
Bergheimer Straße		7,2	5,1
Bergheimer /Mittermaierstr.		13	11,3
Berliner Str./Gundolfstraße		5,3	4,8
Blumenstr./Häusserstr		4,3	4,1
Brückenstraße		10,7	9,9
Eppelheimer Str/Marktstr		6,5	5,5
Friedr.-Ebert-An./ Hölderl.		12	10,2
Hans-Thoma-Platz	14,3		
Ladenburger Str./Verderstr.		7,6	6,6
Mannheimer Str		4,9	5,2
Neckarstaden westl. Tankst.		7,7	7,9
Neuenheimer Str SAS-Inst.		4	3,6
Peterstaler Str/Paracelsiusap.		10,6	8,9
Rohrbach Markt		11,1	9
Rohrbacher Str/Beth.Krkhs		6,2	5,5
Rohrbacher Str/Bunsenstr.		13,2	11,4
Rohrbacher Str. 2.0G		8,7	6,7
Römerkreis		13,2	10,9
Schwetzinger Str/Hegen.str		6,2	5,5
Sophienstraße	15,2	10,2	9,3

(Die meisten Messungen wurden im Aug.95 abgebrochen, d.h. Mittelwert von März 95 bis Aug 95)
Quelle: UMEG (1996): Ergebnisse der Benzolmessungen in Straßennähe 1992-1995, Abschlußbericht.

Tabelle 13: Auswertung der Immissionsmessung von Benzol (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) für die Meßkampagnen von 1992 bis 1995/1996 in Heidelberg, nach ifeu 1997

Das ifeu-Institut erstellte im Auftrag der Stadt Heidelberg eine Berechnung der Entwicklung der Benzol- und Dieselrußemissionen bis zum Jahr 2010. ⁴⁸ Danach

werden die innerstädtischen Benzolmissionen bis zum Jahr 2010 um etwa 72 % und die innerstädtischen Dieselrußmissionen um etwa 53 % im Vergleich zum Stand 1996 zurückgehen. Diese Berechnung gilt für Dieselruß nur für das Gewicht, nicht für die Partikelzahl.

5 Berechnung des Risikos für Heidelberger Straßen

Die Risikofaktoren für Benzol und Dieselruß beziehen sich auf eine lebenslange Einatmung der Schadstoffe. Zur Berechnung des Krebsrisikos muß deshalb die Belastung über einen längeren Zeitraum integriert werden. Im Folgenden wird das Risiko für Personen berechnet, die im Jahr 1970 geboren wurden und nach der statistischen Lebenserwartung bis zum Jahr 2042 leben werden. Zugrunde gelegt werden die im Jahr 1996 an Hauptverkehrsstraßen in Heidelberg gemessenen Immissionen von Benzol und Dieselruß. Die zur Integration notwendigen Immissionshöhen werden wie folgt abgeschätzt:

Zeitraum	Benzol	Dieselruß
1970 bis 1996	2,2	0,8
1996	1	1
1996 bis 2010	0,4	0,75
2010 bis 2042	0,25	0,4
1970 bis 2042	0,98	0,61

Tabelle 14: Verhältnis innerstädtischer Immissionen von Benzol und Dieselruß im Vergleich zur Immissionshöhe im Jahr 1996

Die Berechnung ergibt für die Anwohner auf der Basis des Unit-Risk-Wertes⁴⁹ das in

Tabelle 15 dargestellte Risiko.

	Benzol	Diesel-Ruß	Summe	Summe 1 Krebsfall pro
Dossenheimer Landstraße (H-Th-Pl)	5,5E-05	6,4E-03	6,5E-03	150 Anwohner
Brückenstraße	7,2E-05	6,2E-03	6,3E-03	160 Anwohner
Sofienstraße (Bismarckplatz)	3,9E-05	6,3E-03	6,3E-03	160 Anwohner
Friedrich-Ebert-Anlage	6,5E-05	6,9E-03	7,0E-03	140 Anwohner
Rohrbacher Straße (staatl. Lieg.amt)	7,6E-05	6,4E-03	6,5E-03	150 Anwohner
Karlsruher Straße	1,0E-04	8,2E-03	8,3E-03	120 Anwohner

Tabelle 15: Risiko für die Anwohner Heidelberger Straßen durch Benzol und Dieselruß auf der Basis epidemiologischer Studien

Es ergibt sich, daß an den untersuchten Straßen jeder 120. bis 160. Anwohner im Laufe seines Lebens an Krebs durch Dieselruß und Benzol aus dem Straßenverkehr erkranken wird. Diese Werte dürften in ähnlicher Höhe auch für die meisten anderen

Hauptstraßen Heidelbergs mit ähnlicher Fahrzeugdichte und Bebauung gelten. In Wohngebieten in der Nähe der Autobahnen (A5, A535) könnten höhere Werte vorliegen. Aus den vorliegenden Immissionsmessungen an anderen Stellen des Stadtgebiets und den daraus gebildeten durchschnittlichen Immissionswerten⁵⁰ läßt sich abschätzen, daß das entsprechende durchschnittliche Risiko für das gesamte Stadtgebiet Heidelbergs bei ca. 1 Krebsfall durch Dieselruß und Benzol aus dem Straßenverkehr pro 400 bis 500 Einwohnern liegt.

Diese Werte stellen die Untergrenze des Risikos für etwa 1970 geborene Anwohner dar. Enthalten sind Leukämie durch Benzol und Lungenkrebsfälle durch Dieselruß. Nicht enthalten sind Lungenkrebsfälle durch Benzol, Lungenkrebsfälle durch Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe aus Kfz-Emissionen und das Krebsrisiko von Kindern⁵¹. Die verwendeten Risikofaktoren gelten nur für Erwachsene.

Zum Vergleich ist das nach LAI berechnete Risiko in Tabelle 16 dargestellt.

	Benzol	Diesel- Ruß	Summe	Summe 1 Krebsfall pro
Dossenheimer Landstraße (H-Th-Pl)	5,5E-05	2,2E-04	2,8E-04	3 600 Anwohner
Brückenstraße	7,2E-05	2,1E-04	2,9E-04	3 500 Anwohner
Sofienstraße (Bismarckplatz)	3,9E-05	2,2E-04	2,6E-04	3 880 Anwohner
Friedrich-Ebert-Anlage	6,5E-05	2,4E-04	3,0E-04	3 280 Anwohner
Rohrbacher Straße (staatl. Lieg.amt)	7,6E-05	2,2E-04	3,0E-04	3 340 Anwohner
Karlsruher Straße	1,0E-04	2,8E-04	3,8E-04	2 610 Anwohner

Tabelle 16: Risiko für die Anwohner Heidelberger Straßen durch Benzol und Dieselruß auf der Basis von Rattenversuchen

6 Handlungsmöglichkeiten der Stadt

Die Höhe des Risikos durch Dieselruß- und Benzolimmissionen wird im wesentlichen bestimmt durch die Höhe der Emissionsgrenzwerte, die Höhe der Fahrleistung, die gefahrenen Fahrmodi und die Freisetzungshöhe der Emissionen.

Da die Stadt auf die Höhe der Emissionsgrenzwerte keinen Einfluß nehmen kann, bleiben vor allem Maßnahmen zur Reduzierung der Fahrleistungen von Kraftfahrzeugen auf dem Stadtgebiet Heidelbergs. Dies sind:

- Verkehrsentwicklungsplan: Die wichtigste dieser Maßnahmen ist die möglichst zügige und vollständige Umsetzung des Verkehrsentwicklungsplanes und des

Straßenräumlichen Handlungskonzeptes. Dadurch können die Kfz-Fahrleistungen in den Hauptstraßen Heidelbergs um 20 bis 60% reduziert werden.

- Der geplante 6-spurige Ausbau der A6 und der A5 würde zu einer Verkehrsverlagerung von der Schiene auf die Straße führen (Nord-Süd-Güter-Korridor) und die BAB-Fahrleistungen, insbesondere von LKW, erheblich anwachsen lassen. Dadurch würde eine wichtige Quelle von Dieselrußpartikeln im Rhein-Neckar-Raum deutlich erhöht werden. Gegen den geplanten 6-spurigen Ausbau der A6 hat die Stadt Heidelberg im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens bereits Einspruch erhoben. Sie sollte dies zu gegebener Zeit auch bei dem geplanten 6-spurigen Ausbau der A5 tun. Bei der A5 wäre auch ein Einspruch bei der demnächst anstehenden Fortschreibung des 5-jährigen Bundesfernstraßenplans der Bundesregierung sinnvoll.
- Die HSB könnte in das von der Bundesregierung geförderte Programm Erdgasbusse einsteigen. Bei Erdgasbussen treten im Gegensatz zu Dieselnbussen keine Partikelemissionen auf.⁵²
- Hilfsweise könnte die HSB beim Kauf neuer Busse High-Pipe-Busse einkaufen, bei denen die Auspufföffnung ca. 2,5 m höher liegt. Dies führt mit sehr geringen Kosten zu einer geringeren Belastung anderer Verkehrsteilnehmer.
- Auf einzelnen Hauptstraßen könnten Nachtfahrverbote für LKW angeordnet werden. Dies wäre z.B. für den Neckarstaden zu prüfen, der eine Ausweichroute für LKW-Verkehr der A 6 darstellt.

UPI 7/99

¹ Savitz, D., Feingold, L., Association of childhood cancer with residential traffic density, Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, Vol. 15, Nr. 5, October 1989, 360 ff

² Länderausschuß für Immissionsschutz, Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen, Düsseldorf, 1992

³ UMEG-Gesellschaft für Umweltmessungen mbH, Ergebnisse der Messungen zum Vollzug der 23. BImSchV, Meßzeitraum Herbst 97 - Herbst 98, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, Januar 1999

⁴ Harris, J.E., Diesel Emissions and lung cancer, Risk Analysis, 3, 83-100, 1983

⁵ McClellan, R.O., Cuddihy, R.G., Griffith, W.C., Mauderly, J.L., Integrating diverse data sets to assess the risks of airborne pollutants. In. Mohr, U., ed: Assessment of inhalation hazards: Integration and extrapolation using diverse data, ILSI Monografie, Berlin, Springer, S. 3-22, 1989

⁶ Teufel, D., Arnold, S., Bauer, P., Humm, L., Wagner, T., Externe Gesundheitskosten des Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland, UPI-Bericht Nr. 43, Juni 1997

⁷ Ahlberg J, Ahlbom A, Lipping H, Norell S, Osterblom. L. Cancer in Professional Drivers Problem-Orientated Registry Study. Lakartidningen 1981;78154:5-6

⁸ Boffetta, P, Stellman SD, Garfinkel L. Diesel exhaust exposure and mortality among males in the American Cancer Society prospective study. Am J Ind Med 1988;14:403-415

- 9 Boffetta P, Harris RE, Wynder EL. Case-control study on occupational exposure to diesel exhaust and lung cancer risk. *Am J Ind Med* 1990;17: 577-591
- 10 Coggon D, Pannett B, Acheson ED. Use of job-exposure matrix in an occupational analysis of lung and bladder cancer on the basis of death certificates. *J Nat Cancer Inst* 1984;72:61-65
- 11 Damber L, Larsson LG. Professional driving, smoking, and lung cancer: a case referent study. *Br J Ind Med* 1987;42:246-252
- 12 Edling C, Anjou CG, Axelson O, Kling H. Mortality among personnel exposed to diesel exhaust. *Int Arch Occup Environ Health* 1987;59:559-565
- 13 Garshick E, Schenker MB, Muftoz A, Segal M, Smith TJ, Woskie SR, Harrunond SK, Speizer FE. A case-control study of lung cancer and diesel exhaust exposure in railroad workers. *Am Rev Respir Dis* 1987;135:1242-1248
- 14 Garshick E, Schenker MB, Muftoz A, Segal M, Smith TJ, Woski~ SR, Hammond SK, Speizer FE. A retrospective cohort study of lung cancer and diesel exhaust exposure in railroad workers. *Am Rev Respir Dis* 1988;137: 820-825
- 15 Gustafsson L ' Wall S, Larsson LG, Skog B. Mortality and cancer incidence among Swedish dock workers: a retrospective cohort study. *Scand J Work Envir Health* 1986;12:22-26
- 16 Gutavsson P, Plato N, Lidstrom EB, Hogstedt C. Lung cancer and exposure to diesel exhaust among bus garage workers. *Scand J Work Enviror~ Health* 1990;16:348-354
- 17 Hansen ES. A follow-up study on the mortality of truck drivers. *Am J Ind Med* 1993;23:811-821
- 18 Hayes RB, Thomas T, Silverman IYT, Vineis P, Blot WJ, Mason TI, Pickle LW, Correa P, Foritharri ETH, Schoenberg JB. Lung cancer in motor exhaust-related occupations [Published erratum appears in *Am J Ind Med* 1991;191:1351. *Am J Ind Med* 1989;16:685-695
- 19 Howe GR, Fraser D, Lindsay J, Presnal B, Yu SZ. Cancer mortality (1965-77) in relation to diesel fume and coal exposure in a cohort of retired railway workers. *J Natt Cancer Inst* 1983;70:1015-1019
- 20 Lerchen ML, Wiggins CL, Samet JM. Lung cancer and occupation in New Mexico. *J Nat Cancer Inst* 1987;79:639-645
- 21 Menck HR, Henderson BE. Occupational differences in rates, of lung cancer. *J Occup Med* 1976;18:797-801
- 22 Raffle PAB. The health of the worker. *Br J Ind Med* 1957;14:73-80
- 23 Rafnsson V, Gunnarsdottir H. Mortality among professional drivers. *Scand J Work Environ Health* 1991;17:312-317
- 24 Rushton L, Alderson MR, Nagarajah CR. Epidemiological survey of maintenance workers in London T'.nVn Executive bus garages and Chiswick Works. *Br J Ind Med* 1983;40:340-345
- 25 Siemiatycki J, Gerin M, Stewart P, Nadon L, Dewar R, Richardson L. Association between several sites of cancer and ten types of exhaust and combustion products: results from a case-referent study in Montreal. *Scand J Work Environ Health* 1988;14:79-90
- 26 Steenland NK, Silverman DT, Homung RW. Case-control study of lung cancer and truck driving in the Teamsters Union. *Am J Public Health* 1990;80:670-674
- 27 Swanson GM, Lin CS, Burns PB- Diversity in the association between occupation and lung cancer among black and white men. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1993;2:313-320
- 28 Williams RR, Stegens NL, Goldsmith JR. Association of cancer site and type with occupation and industry from the Third National Cancer Survey Interview. *J Nat Cancer Inst* 1977;59:1147-1185
- 29 Wichmann, H.E. et al, Lungenkrebsrisiko durch berufliche Exposition - gemeinsame Auswertung zweier epidemiologischer Fall-Kontroll-Studien hinsichtlich beruflicher Belastungsfaktoren, Manuskript des Instituts für Epidemiologie, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, November 1997
- 30 Wong O., Morgan RW, Kheifets L, Larson SR, Whorton MD. Mortality among members of a heavy construction equipment operators union with potential exposure to diesel exhaust emissions. *Br J Ind Med* 1985;42:435-448

- 31 Bhatia, R., Lopipero, P., Smith, A., Diesel exhaust exposure and lung cancer, Review, Epidemiology, January 1998, Vol. 9, Nr. 1, p 84-91
- 32 Wichmann, H.E. et al, Lungenkrebsrisiko durch berufliche Exposition - gemeinsame Auswertung zweier epidemiologischer Fall-Kontroll-Studien hinsichtlich beruflicher Belastungsfaktoren, Manuskript des Instituts für Epidemiologie, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, November 1997
- 33 Brüske-Hohlfeld, I. et al, Risiken durch ausgewählte berufliche Expositionen, Lungenkrebsrisiko durch berufliche Exposition - Dieselmotor-Emissionen, Manuskript des Instituts für Epidemiologie, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, 1997
- 34 Steenland, K., Deddens, J., Stayner, L., Diesel exhaust and lung cancer in the trucking industry: Exposure-response analyses and risk assessment, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio, USA, Department of Mathematics, University of Cincinnati, Ohio, Am J Ind Med 1998 Sep;34(3):220-28
- 35 Stayner, L., Dankovic, D., Smith, R. und Steenland, K., Predicted lung cancer risk among miners exposed to diesel exhaust particles, Risk Evaluation Branch, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio, USA, Am J Ind Med 1998 Sep;34(3):207-19
- 36 Claude, J.C., Frentzel-Beyme, R.R., Kunze, E.: Occupation and risk of cancer of the lower urinary tract among men. A Case-Control Study. Int. J. Cancer: 41, 371-379, 1988
- 37 Hoar, S.K. and Hoover, R., Truck driving and bladder cancer mortality in rural New England. J.nat. Cancer Inst., 74, 771-774, 1985
- 38 Jensen, O.M. et al., The Copenhagen case-control study on bladder cancer. IV: Risks in drivers, painters and certain other occupations. Scand. J. work environ. Hlth., 13, 129-134, 1987
- 39 Schiffers, E., Jamart, J. and Renard, V., Tobacco and occupation as risk factors in bladder cancer: a case-control study in southern Belgium. Int. J. Cancer, 39, 287-292, 1987
- 40 Silverman, C.T. et al., Occupation and cancer of the lower urinary tract in Detroit. J. nat. Cancer Inst., 70, 237-245, 1983
- 41 Schoenberg, J.B. et al., Case-control study of bladder cancer in New Jersey. I. Occupational exposures in white males. J. nat. Cancer Inst., 72, 973-981, 1984
- 42 Howe, G.R. et al., Tobacco use, occupation, coffee, various nutrients, and bladder cancer. J. nat. Cancer Inst., 64, 701-713, 1980
- 43 Doll, R. et al., Mortality of gasworkers-final report of a prospective study. Brit. J. industr. Med., 29, 394-406, 1972
- 44 Theriault, G. et al., Bladder cancer in the aluminium industry. Lancet, I. 947-950, 1984
- 45 Hammond, E.C. et al., Inhalation of benzpyrene and cancer in man. Ann. N.Y. Acad. Sci., 271, 116-124, 1976
- 46 Frentzel-Beyme, R., Link, R. and Thiess, A.M., Truck drivers in the Chemical Industry, a Comparison Group useful for Mortality Studies? Occupational Medicine and Health Protection BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen/Rhein, 1978, unveröffentlicht
- 47 errechnet aus: Bundeskriminalamt, Polizeiliche Kriminalstatistik Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden. 1996
- 48 Schmidt, M., Deligiannidu, P., Benzolemissionen durch den Straßenverkehr in Heidelberg, ifeu, Juli 1997
- 49 durchschnittlicher Risikofaktor für Dieselrußpartikel von 214×10^{-5} pro $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 50 Umweltministerium Baden-Württemberg, Luftreinhalteplan Großraum Mannheim-Heidelberg 1995
- 51 Für die Kindheit der Anwohner wurde mit dem Risikofaktor für Erwachsene gerechnet.
- 52 Teufel, D., Bauer, P., Lippold, R., Wagner, T., Optimierung der Öko-Bilanz des Öffentlichen Personennahverkehrs der HSB in Heidelberg, im Auftrag der HVV - Heidelberger Versorgungs- und Verkehrsbetriebe GmbH, UPI-Bericht 34, Dezember 1994