



Volkswirtschaftliche Kosten durch Dieselrussemissionen in der Bundesrepublik Deutschland

Dieter Teufel
Petra Bauer
Günter Fischer
Sabine Voigt
Thomas Wagner

UPI-Bericht Nr. 49
Januar 2003

Einleitung

Das UPI-Institut führte in der Vergangenheit verschiedene Untersuchungen zur Quantifizierung der gesundheitlichen Folgen der Kraftfahrzeugemissionen durch.^{1, 2, 3} Für den vorliegenden Bericht wurden die in den letzten 3 Jahren veröffentlichten Studien analysiert und die bisherigen Berechnungen überprüft.

In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche epidemiologische Untersuchungen besonders über den Zusammenhang von Dieselermissionen und Bronchialkrebs durchgeführt (siehe Tabelle 1). Bei diesen 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 mehr als 6 000 Fälle von Lungenkrebs analysiert. Wichtet man die in den einzelnen Studien ermittelten relativen Risikowerte nach der Zahl der untersuchten Lungenkrebsfälle, ergibt sich aus den 28 epidemiologischen Studien ein relatives Risiko der Dieselruß-exponierten Beschäftigten im Vergleich zu Männern der Normalbevölkerung von 1,51, d.h. eine Erhöhung des Risikos um 50%. Bei 15 der 28 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 ein gewichtetes mittleres relatives Risiko in Höhe von 1,53.

Autor, Jahr	Type	korrigiert auf Rauchen:	Beruf	Exposition, Kategorie	Fälle	RR	95% CI
Ahlberg et al, 1981 ⁴	RC	Nein	LKW-Fahrer		161	1,10	1.1-1.6
Boffetta et al, 1988 ⁵	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 ⁶	CC	Ja	Diesel-exponiert	>30 Jahre	17	1,49	0.72-3.11
Brüske-Holfeld et al, 2000 ⁷	CC	Ja	Dieselruß-exponiert		3498	1,43	1.23-1.67
Coggon et al, 1984 ⁸	CC	Nein	Diesel-exponiert		172	1,30	1.0-1.6
Damber & Larsson, 1987 ⁹	CC	Ja	Fahrer	>20 Jahre	37	1,20	0.6-2.2
Edling et al, 1987 ¹⁰	RC	Nein	Busfahrer		6	0,67	0.24-1.46
Garshick et al, 1987 ¹¹	CC	Ja	Straßenarbeiter	>20 Jahre	117	1,64	1.18-2.20
Garshick et al, 1988 ¹²	RC	Nein	Straßenarbeiter	>15 Jahre	N/A	1,72	1.27-2.33
Gustavsson et al, 1986 ¹³	RC	Nein	Dock Arbeiter		70	1,32	1.05-1.66
Gustavsson et al, 1990 ¹⁴	RC	Nein	Busgaragen-Arbeiter	Hohe Exposition	12	2,00	1.43-2.8
Gustavsson et al., 2000 ¹⁵	CC	Ja	Normalbevölkerung		1042	1,63	1.14-2.33
Hansen, 1993 ¹⁶	RC	Nein	LKW-Fahrer		76	1,60	1.26-2.0
Hayes et al, 1989 ¹⁷	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 ¹⁸	RC	Nein	Straßenarbeiter	Wahrscheinl.Exp	279	1,35	1.2-1.52
Larkin et al., 2000 ¹⁹	RC	Ja	LKW-Fahrer			1,44	1.01-2.05
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
Nyberg et al., 2000 ²²	CC	Ja	Normalbevölkerung		1042	1,40	1.0-2.0
Raffle 1957 ²³	RC	Nein	Bus & Trolleyfahrer		30	1,40	0.94-2.0f
Rafnsson & Gunnarsdottir 1991 ²⁴	RC	Nein	LKW-Fahrer	>30 Jahre	24	2,32	0.85-5.04
Rushton et al, 1983 ²⁵	RC	Nein	Bus Mechaniker		102	1,01	0.82-1.22
Siemiatycki et al, 1988 ²⁶	CC	Ja	Dieselruß-exponiert		76	1,08	0.92-1.27
Steenland et al, 1990 ²⁷	CC	Ja	Diesel LKW-Fahrer	>25 Jahre	128	1,60	1-2.3
Swanson et al, 1993 ²⁸	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 ²⁹	CC	Ja	LKW-Fahrer		22	1,52	0.9-2.56
		Ja	Straßenarbeiter		12	1,40	0.74-2.64
Wichmann et al., 1997 ³⁰	CC	Ja	Dieselruß-exponiert		4184	1,60	1,33-1,92
Wong et al, 1985 ³¹	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 1: Zusammenstellung der epidemiologischen Studien über Lungenkrebs und Dieselruß-Exposition beim Menschen, nach Bhatia et al., 1998³², neuere Studien nach UPI

Sieben Studien analysierten das Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit von der Expositionsdauer (siehe Tabelle 2). 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	Expositions-dauer	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
Damber & 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 2: 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 in den Jahren 1997 und 2000 veröffentlicht ^{33 34 7.}

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 5 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 3: Lungenkrebsrisiko bei Männern in Berufen mit DME-Exposition (Westdeutschland), aus Wichmann et al., 1997 (Abk. siehe Tabelle 5)

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 4: Lungenkrebsrisiko für Berufskraftfahrer in Westdeutschland (Männer), aus Wichmann et al., 1997 (Abk. siehe Tabelle 5)

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 5: 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 6). 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 438×10^{-5} .

Studie	Datenquelle	Exposition	Statistisches Modell	unit risk $\times 10^{-5}$ Normal- bevölkerung	unit risk $\times 10^{-5}$ 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 ³⁵	Fall-Kontrollstudie von US-LKW-Fahrern, Steenland et al., 1990	Kumulative Exposition	logistische Regression	214	367

Tabelle 6: Lungenkrebsrisiko (unit-risk, Inzidenz) Risiko durch Dieselrußpartikel für Normalbevölkerung aus verschiedenen epidemiologischen Studien, nach Stayner, L. et al., 1998³⁶

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 45×10^{-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.

Berechnung der Lungenkrebsfälle durch Dieselruß

Im Folgenden wird die Zahl der Lungenkrebsfälle durch Dieselruß-Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 1998 berechnet. Tabelle 7 zeigt die Bevölkerungsverteilung und die Dieselruß-Emissionen Ende der 80er Jahre (LAI-Studie) und 1998. Der zur Berechnung der Lungenkrebsfälle verwendete Unit-Risk-Wert für Dieselruß wurde aus Steenland et al., 1998, (siehe Tabelle 6) entnommen.

Gebiet	Bevölkerung %	Mio	Ende 80er Jahre	1998
			Dieselruß µg/m ³	Dieselruß µg/m ³
ländliche Gebiete	16%	12,9	0,9	0,8
Kleinstädtische Gebiete	29%	23,5	1,5	1,3
Ballungsräume	56%	45,5	6,2	5,3
Hauptstraßen			14	11,9
Gesamt	100%	81,8		

Tabelle 7: Bevölkerungsverteilung und durchschnittliche Exposition durch Dieselruß in der Bundesrepublik Deutschland

	Lungenkrebsfälle pro Jahr durch	
	Dieseleru	Jeder x erleidet Krebs durch Dieseleru
ländliche Gebiete	282	611.
Kleinstädtische Gebiete	854	367.
Ballungsräume	6 840	89.
Hauptstraen		39.
Gesamt	7 977	137.

Tabelle 8: Zahl der durch Dieseleru in der Bundesrepublik Deutschland verursachten Lungenkrebsfälle pro Jahr und Höhe des durchschnittlichen individuellen Risikos

Insgesamt ergibt sich, da durch Dieseleru aus dem Kraftfahrzeugverkehr in der Bundesrepublik Deutschland unter den heutigen Bedingungen knapp 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 Hauptverkehrsstraen sogar jeder 39. Anwohner einen Lungenkrebs, der durch Dieseleru-Emissionen des Straenverkehrs 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).³⁷ Das Risiko, in Ballungsräumen durch Dieseleruemissionen des Verkehrs an Lungenkrebs getötet zu werden, liegt 6-mal, an Hauptstraen sogar 14-mal höher als das Risiko, durch Gewalteinwirkung zu sterben.

Tabelle 9 zeigt die von verschiedenen Institutionen für zulässig erachteten Krebsrisiken.

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

Tabelle 9: „Zulässiges Krebsrisiko“ durch Luftschadstoffe für Normalbevölkerung

Die Berechnungen wurden mit den in Westdeutschland gemessenen Dieselermissionen in der Gewichtseinheit $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durchgeführt. Verschiedene Untersuchungen der letzten Jahre deuten jedoch darauf hin, daß nicht das Gewicht des Dieselermissionen in der Atemluft, sondern die Anzahl der lungengängigen Partikel für die Krebsentstehung verantwortlich ist. Während das Gewicht der Emission von Dieselermissionen 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 Dieselermissionen basierenden Dieselermissionen von Motoren über die letzten Jahrzehnte nicht vorliegen. Eine Abschätzung zeigt jedoch, daß unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes der Unit-Risk-Wert für Dieselermissionen deutlich höher als hier berechnet ausfallen würde: Die gemessene Übersterblichkeit an Lungenkrebs von Dieselermissionen-exponierten Berufsgruppen wurde in den letzten Jahrzehnten durch eine deutlich geringere Zahl lungengängiger Dieselermissionenpartikel verursacht als es den auf dem Gewicht der Dieselermissionen-Exposition basierenden Meßwerten entspricht. Dies bedeutet einen höheren Risikowert für die heutige Situation, in der zwar das Gewicht der Dieselermissionen 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 Dieselermissionen-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 Dieselermissionen des Verkehrs verursachten Gesundheitsschäden und Todesfälle in Zukunft nicht ab-, sondern zunehmen.

Die Reproduktionskosten pro Lungenkrebsfall werden nach Tabelle 10 berechnet. Die in Bundesministerium für Gesundheit, 1993³⁸ angegebenen Reproduktionskosten enthalten einen Rechenfehler, da bei ihrer Berechnung nicht berücksichtigt wurde, daß Lungenkrebs-Patienten mehrmals stationär aufgenommen werden. Die Ressourcenausfallkosten sind nach der Bruttosozialproduktmethode mit einer Diskontrate von 2% berechnet und aus³⁹ übernommen.

Krankenhausentlassungen/Jahr, Bronchial-CA	131 023
stationäre Verweildauer, Tage	13,9
Todesfälle/Jahr	37 147
Inzidenz Fälle/Jahr	41 274
gesamte stationäre Verweildauer, Tage/Fall	44,1
stationäre Kosten, DM/Tag	576,8
stationäre Kosten, DM/Bronchial-CA 1995	25 452
stationäre Kosten, DM/Bronchial-CA 1997	26 091
sonst. Kosten (ambulant, Medikamente, Pflege u.a.), DM/Bronchial-CA 1997	7 000
Reproduktionskosten gesamt, DM/Bronchial-CA 1997	33 091
Reproduktionskosten gesamt, €/Bronchial-CA 2000	18 760

Tabelle 10: Berechnung Reproduktionskosten Bronchial-CA

Tabelle 11 zeigt die Gesamtkosten durch Lungenkrebs, die durch den Kraftfahrzeugverkehr Ende der neunziger Jahre verursacht wurden. Insgesamt ergeben sich dadurch in der Bundesrepublik Deutschland externe volkswirtschaftliche Kosten in Höhe von 2,3 Milliarden € pro Jahr.

	Kosten pro Fall	Gesamtkosten
Kosten Lungenkrebs durch KFZ-Verkehr	€/Bronchial-CA	Mio €/a
Reproduktionskosten	18 760	150
Ressourcenausfallkosten	272 930	2 177
Gesamt	291 690	2 327

Tabelle 11: Volkswirtschaftliche Kosten durch Dieselruß-Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs; Lungenkrebstodesfälle

In diesen Zahlen sind nur die Kosten durch chronische Gesundheitsschäden in Form von durch Dieselruß verursachten Lungenkarzinomen enthalten. Dieselerussmissionen haben auch einen Anteil an den durch PM10-Immissionen verursachten akuten und chronischen Gesundheitsschäden in Form von chronischer Bronchitis, Asthma und Erhöhung der Gesamtsterblichkeit. (siehe dazu UPI-Bericht 43 ²)

Literatur:

1 UPI-Bericht 44: "Krebsrisiko durch Benzol und Dieselrußpartikel an Straßen", 4. Auflage Juli 2000

-
- 2 UPI-Bericht 43: „Externe Gesundheitskosten des Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland“, Berechnung der durch Verkehrsemissionen verursachten Todes- u. Krankheitsfälle und volkswirtschaftlichen Kosten, 3. Aufl. Juli 2000
 - 3 UPI-Bericht 46: „Kostenumschichtung im Gesundheitswesen durch Anwendung des Verursacherprinzips - Vorschläge für eine Finanzreform im Gesundheitswesen“ Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten durch Tabak, Alkohol, Kfz-Verkehr u.a., Vorschläge für Gesundheitsabgaben, 4. Aufl. Oktober 2001
 - 4 Ahlberg J, Ahlbom A, Lipping H, Norell S, Osterblom L. Cancer in Professional Drivers Problem-Orientated Registry Study. *Lakartidningen* 1981;78154:5-6
 - 5 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
 - 6 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
 - 7 Brüske-Hohfeld I, Möhner M, Pohlabeln H, Ahrens W, Bolm-Audorff U, Kreienbrock L, Kreuzer M, Jahn I, Wichmann HE, Jöckel KH: Occupational lung cancer risk for men in Germany: results from a pooled case-control study. *Source: Am J Epidemiol*, 151(4): 384-95 2000
 - 8 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
 - 9 Damber L, Larsson LG. Professional driving, smoking, and lung cancer: a case referent study. *Br J Ind Med* 1987;42:246-252
 - 10 Edling C, Anjou CG, Axelson O, Kling H. Mortality among personnel exposed to diesel exhaust. *Int Arch Occup Environ Health* 1987;59:559-565
 - 11 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
 - 12 Garshick E, Schenker MB, Muftoz A, Segal M, Smith TJ, Woskie 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
 - 13 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
 - 14 Gustafsson P, Plato N, Lidstrom EB, Hogstedt C. Lung cancer and exposure to diesel exhaust among bus garage workers. *Scand J Work Envir Health* 1990;16:348-354
 - 15 Gustafsson P, Jakobsson R, Nyberg F, Pershagen G, Jörup L, Schöle P, Occupational exposure and lung cancer risk: a population-based case-referent study in Sweden. *Am J Epidemiol*, 152(1): 32-40 2000
 - 16 Hansen ES. A follow-up study on the mortality of truck drivers. *Am J Ind Med* 1993;23:811-821
 - 17 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
 - 18 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 Nat Cancer Inst* 1983;70:1015-1019
 - 19 Larkin EK, Smith TJ, Stayner L, Rosner B, Speizer FE, Garshick E, Diesel exhaust exposure and lung cancer: adjustment for the effect of smoking in a retrospective cohort study. *Am J Ind Med*, 38(4): 399-409, 2000
 - 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 Nyberg F , Gustavsson P , Jörup L , Bellander T , Berglind N , Jakobsson R , Pershagen G, Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology*, 11(5): 487-95 2000
 - 23 Raffle PAB. The health of the worker. *Br J Ind Med* 1957;14:73-80
 - 24 Rafnsson V, Gunnarsdottir H. Mortality among professional drivers. *Scand J Work Environ Health* 1991;17:312-317
 - 25 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
 - 26 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
 - 27 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
 - 28 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
 - 29 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
 - 30 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
 - 31 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
 - 32 Bhatia, R., Lopipero, P., Smith, A., Diesel exhaust exposure and lung cancer, Review, *Epidemiology*, January 1998, Vol. 9, Nr. 1, p 84-91
 - 33 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
 - 34 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
 - 35 Steenland, K., Daddens, 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
 - 36 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
 - 37 errechnet aus: Bundeskriminalamt, Polizeiliche Kriminalstatistik Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden. 1996
 - 38 Kohlmeier, L. et al, Ernährungsabhängige Krankheiten und ihre Kosten, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Gesundheit, Band 27, 1993
 - 39 Statistisches Bundesamt, Abschlußbericht zum Methodenforschungsprojekt Krankheitskostenrechnung, Wiesbaden, 1998