

BIA-Report

Leukämie und Benzolexposition: Auswertung und Zusammenfassung epidemiologischer Studien

Vorabveröffentlichung



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Verfasser/in:

Annette Nold, Frank Bochmann

Herausgeber:

Hauptverband der gewerblichen
Berufsgenossenschaften (HVBG)

Alte Heerstraße 111, D-53754 Sankt Augustin

Telefon: 0 22 41 / 2 31-01

Telefax: 0 22 41/ 2 31-13 33

Internet: www.hvbg.de

- Oktober 2002 -

Kurzfassung

Über die vermutete leukämogene Wirkung von Benzol existiert eine Vielzahl von Veröffentlichungen. Es liegen ca. 110 epidemiologische Studien zu Benzolexposition und Leukämie vor. Die Aussagen bzgl. der Leukämieart sind nicht eindeutig, ein erhöhtes Risiko für akute myeloische Leukämie (AML) wird bisher vermutet. Aufgrund mangelnder Expositionsdaten bieten die meisten dieser epidemiologischen Studien keine bzw. nur grobe Abschätzungen einer Dosis-Wirkungs-Beziehung.

In dieser Arbeit werden epidemiologische Studien zu Leukämie, die in Branchen mit Benzolexposition durchgeführt wurden, beschrieben. Des Weiteren werden die Benzolexpositionen aus internationalen Publikationen branchenspezifisch dargestellt und die für die einzelnen Branchen angegebenen Benzolexpositionen den epidemiologischen Erkenntnissen gegenübergestellt. Die veröffentlichten Ergebnisse über die Zusammenhänge zwischen Benzol und Leukämie werden beschrieben.

Tierstudien sowie Fallbeschreibungen sind nicht berücksichtigt.

Die vorliegende Auswertung unterscheidet verschiedene Arten der Leukämie, um der Frage nachzugehen, ob Benzol, wie bisher vermutet, vor allem akute myeloische Leukämie verursacht. Die Expositionsdaten sowie die ermittelten Risikodaten aller relevanten bisherigen Studien werden dargestellt.

Ziel ist es, die Expositions- und Risikodaten für die Beziehung Benzol - Leukämie aktuell, quantitativ und umfassend darzustellen. Da trotz zahlreicher Publikationen Ergebnisse nur fragmentarisch vorliegen, soll diese Synopse eine Basis für weitere Diskussionen und Interpretationen bieten. Eine kritische Bewertung und Zusammenfassung des vorliegenden Datenmaterials durch weitere vertiefende Analysen kann die derzeit noch unzureichenden Risikoabschätzungen für Benzol weiter verbessern.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
2 Methoden.....	6
3 Aufnahme von Benzol in den menschlichen Körper	7
4 Gesundheitsgefährdung durch Benzol.....	8
5 Leukämie	9
6 Biomarker	13
7 Grenzwerte und Einstufung.....	14
8 Auswertung und Ergebnisse.....	16
8.1 Benzolexposition	16
8.1.1 Expositionsdaten aus Studien	20
8.1.2 Zusammenfassung der Benzolexpositionen.....	28
8.2 Epidemiologische Studien zum Thema Benzol und Leukämie.....	29
8.2.1 Übersichtsarbeiten	30
8.2.2 Pliofilm-Studien.....	34
8.2.3 Kohortenstudien.....	36
8.2.4 Fall-Kontroll-Studien.....	51
9 Rauchen	62
10 Dosis-Wirkungs-Beziehung	63
11 Zusammenfassung.....	66
12 Literatur.....	70
Anhang A: Tabellenverzeichnis.....	112
Anhang B: Abbildungsverzeichnis.....	113
Anhang C: Tabellen 8 bis 24 und Abbildungen 17 bis 26.....	115

1 Einleitung

Die Wirkung von Benzol auf die Gesundheit des Menschen ist Thema vieler Forschungsarbeiten. Es besteht seit langem der Verdacht, dass Benzol negative Einflüsse auf das blutbildende System haben kann. 1928 wurde der erste Fall der sogenannten „Benzol-leukämie“ beschrieben (Delore, 1928). Später folgten viele Veröffentlichungen zu diesem Thema und die leukämogene Wirkung von Benzol wurde in Einzelfallstudien, in toxikologischen und epidemiologischen Studien beschrieben. Die unterschiedlichen Leukämiearten können nach heutigem Kenntnisstand durch verschiedene Faktoren verursacht werden und gelten daher heute als unterschiedliche Krankheiten (Heath, 1982; Toolis, 1981; Finch, 1990).

Benzol erscheint in der Liste der Berufskrankheiten unter der Ziffer 1303: „Erkrankungen durch Benzol, seine Homologe oder durch Styrol“. Schon 1925 gehörten Erkrankungen durch Benzol zu den ersten Berufskrankheiten (BeKV, 1925). 1992 wurde die Berufskrankheit 1303 um die Erkrankungen durch Styrol erweitert (BeKV, 1992).

Aus bisherigen Studien wurden Dosis-Wirkungs-Beziehungen für das Leukämierisiko bei Benzolexposition abgeleitet, die sich auf eine Exposition von 3 bzw. 32 mg/m³ beziehen (Greim, 1992). Dabei gibt es jedoch hohe Unsicherheiten in Bezug auf die durchschnittliche Benzolkonzentration in den einzelnen Studien, zudem wird die Leukämieart häufig nicht differenziert.

Durch Schwierigkeiten bei der Expositionsermittlung von Benzol, die lange Latenzzeit der Leukämien sowie den Einfluss von Confoundern und anderen Biasfaktoren sind die ermittelten relativen Leukämierisiken von Benzol bis heute nicht ganz einheitlich. Um sowohl Expositionsdaten als auch Daten von relativen Risiken für die Beziehung von Benzol und Leukämie aktuell und quantitativ aufzuzeigen, sollen hier die bisherigen Forschungsergebnisse aus der internationalen Literatur zusammengetragen und dargestellt werden.

2 Methoden

Durch umfangreiche Recherchen in einschlägigen Literaturdatenbanken wurden die für die Fragestellung relevanten Studien ermittelt. Es wurde in den folgenden Datenbanken recherchiert: MEDLINE, EMBASE, CANCERLIT, NIOSHTIC, RTECS, LITDOK, CISDOC, HSELINE, RILOSH, ZIGUV, LITDOK und SOMED.

In einem ersten Schritt wurden diejenigen Studien ermittelt, die Benzolexpositionsdaten aus dem beruflichen und privaten Bereich lieferten. In den meisten dieser Studien waren nur Expositionsdaten genannt, keine Krankheitsdaten.

In einem zweiten Schritt wurde nach epidemiologischen Studien recherchiert, die Leukämieerkrankungen in benzolexponierten Branchen untersuchten. Schließlich wurden Reviews und Metaanalysen ermittelt, um die vorhandenen Studien noch zu ergänzen.

Die Expositionsstudien, die Angaben zu Benzolexpositionen sowohl im beruflichen als auch im privaten Bereich enthalten, wurden in einer Tabelle chronologisch nach Veröffentlichungsjahr geordnet (s. Tabelle 8 auf Seite 116). Die Benzolexpositionen wurden nach Branchen geordnet und grafisch dargestellt (s. Tabellen 9 bis 21 und Abbildungen 1 sowie 17 bis 26).

Ebenso wurden die epidemiologischen Studien zusammengestellt, geordnet nach dem Veröffentlichungsjahr (Tabellen 22 bis 24 auf den Seiten 150 bis 178 und Abbildungen 3 bis 16). Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien wurden in drei Tabellen dargestellt: Fall-Kontroll-Studien, Kohortenstudien und Studien, die zu der so genannten Pliofilm-Studie gehören. Die Pliofilm-Studie ist eine Kohortenstudie, bei der in drei Gummifabriken in Ohio, USA ab 1936 die Mortalität der Beschäftigten untersucht wurde. Diese Kohorte wurde bekannt, da sie die einzige größere Kohorte ist, bei der die Arbeiter wahrscheinlich ausschließlich einer hohen Benzolkonzentrationen ausgesetzt waren. Die Daten über die Arbeitshistorie sowie die Expositionsdaten in diesen Fabriken liegen in einer guten Qualität vor. Daher wurde diese Kohorte häufig für Risikoanalysen genutzt.

Die Tabellen der Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien enthalten die zusammengefassten Studienergebnisse. Die aus den Studien ermittelten Risiken SMR, RR, SIR, PMR, OR¹ wurden nach den Kriterien Veröffentlichungsjahr, Branche und Leukämieart geordnet und grafisch dargestellt.

Abschließend wurden die Ergebnisse aus denjenigen Veröffentlichungen zusammengefasst, die Dosis-Wirkungs-Beziehungen berechnet haben.

¹ SMR: standardisierte Mortalitäts-/Morbiditätsratio; RR: relatives Risiko; SIR: standardisierte Inzidenzratio; PMR: proportionale Mortalitäts-/Morbiditätsratio; OR: Odds Ratio

3 Aufnahme von Benzol in den menschlichen Körper

Die Aufnahme von Benzol erfolgt beim Menschen hauptsächlich über die Atemwege (Boehncke, 1997), z.T. auch über die Haut. Bei Beginn einer Benzolexposition erfolgt die stärkste Aufnahme: In den ersten Minuten werden 80 % des inhalierten Benzols adsorbiert. Danach reduziert sich die Aufnahme in der Lunge, da ein Gleichgewicht zwischen Aufnahme und Abgabe entsteht. Die Speicherung von Benzol im Körper hängt vom Fettgehalt des Körpergewebes ab (Sabourin, 1987).

Eine Aufnahme von Benzol ist auch über Hautkontakt möglich, sowohl bei direktem Hautkontakt mit flüssigem Benzol bzw. mit benzolhaltigen Lösemitteln als auch durch eine Aufnahme von Benzoldämpfen aus der Luft. Die Aufnahme durch perkutane Resorption ist aber gegenüber der Aufnahme durch die Lunge vernachlässigbar (Boehncke, 1997). Die Aufnahme von Benzol über die Nahrung bzw. das Trinkwasser ist ebenfalls so gering, dass sie bei den vorliegenden Untersuchungen keine Rolle spielt (Boehncke, 1997).

Die Metabolisierung von Benzol erfolgt vorwiegend in der Leber mit Phenol als Hauptmetabolit (Snyder, 1996; Cox, 1991). Die Moleküle werden zu 2- und 3-fach hydroxylierten Benzolkörpern oxidiert, die in konjugierter Form als Glucuronid oder Sulfat in Verbindung mit dem Harn ausgeschieden werden. Die myelotoxische Wirkung (giftig für das Knochenmark) von Benzol wird in einem oder mehreren kurzlebigen, hochreaktiven Metaboliten vermutet, die über den Blutweg ins Knochenmark gelangen und dort zum eigentlichen reaktiven Molekül aktiviert werden. Die genauen metabolischen und molekulargenetischen Vorgänge bei der Kanzerogenese von Benzol sind jedoch bis heute ungeklärt (Golding, 1999; Smith, 1997; Rangan, 1997).

4 Gesundheitsgefährdung durch Benzol

Es gibt wissenschaftliche Hinweise darauf, dass Benzol schädigend auf das hämatopoetische (blutbildende) System wirken kann. Die genauen Prozesse der Leukämogenese sind jedoch noch unklar. Benzol bzw. die entsprechenden Zwischenprodukte, die bei einer Exposition hauptsächlich in der Leber und im Knochenmark entstehen, rufen bei den zellulären Blutbestandteilen morphologische Veränderungen, funktionelle Störungen und Veränderungen der Anzahl der Blutbestandteile hervor (Irons, 1996a+b). Bei Langzeitexpositionen werden aplastische Anämien (bestimmte Formen der Blutarmut), Leukämien (bösartige Erkrankungen der weißen Blutbestandteile), Osteomyelofibrose (Vermehrung des Bindegewebes des Knochenmarks) und Panmyelopathien (Knochenmarksinsuffizienz mit Störung der Blutbildung) genannt (Cirasino, 1995; Valentin, 1985; Greim, 1987).

Trotz einer Vielzahl von Veröffentlichungen über die Leukämogenese herrscht Unklarheit bzgl. der Latenzzeit für Leukämie und ihre unterschiedlichen Formen. Die Vermutungen über die Latenzzeiten bewegen sich für die verschiedenen Leukämien zwischen 5 und 45 Jahren, im Durchschnitt zwischen 18 und 24 Jahren; für akute Leukämie werden etwa 5 Jahre, für die chronische myeloische Leukämie (CML) etwa 10 Jahre (BeKV, 1995) vermutet.

Allgemein wird angenommen, dass chronische Benzolexposition zu einer fortschreitenden Abnahme der Knochenmarkfunktion führt und im peripheren Blut Anämie, Leukopenie und/oder Thrombozytopenie auslöst, die z. T. als Vorformen der Leukämie angesehen werden.

5 Leukämie

Unter Leukämie werden neoplastische Veränderungen der weißen Blutbestandteile und ihrer Vorstufen verstanden. Leukämien stellen ca. 3 % aller Krebserkrankungen weltweit dar (Linnet, 1985). Die verschiedenen Leukämiearten werden nach folgenden klinischen und morphologischen Kriterien eingeteilt:

- Klinischer Verlauf
- Reifegrad
- Abstammung der pathologisch veränderten Leukozyten.

Nach diesen Kriterien erfolgt die Eingruppierung der Leukozyten in unreifzellige und reifzellige (Reifegrad der Zellen), lymphatische und myeloische Zellen. Weiterhin erfolgt die Einteilung der Krankheitsbilder in akut und chronisch. In älteren Studien wurde häufig noch nicht zwischen verschiedenen Leukämiearten unterschieden. Meist wurden nur Leukämie bzw. Aleukämie (Leukämie mit geringer Anzahl von Leukozyten) genannt.

Neuere Studien liefern oft ein differenzierteres Bild über die Leukämieart. Dies führt aber auch zu Verwirrungen, da die Leukämiearten nicht einheitlich benannt bzw. unterschiedliche Kodierungen (ICD 7 bis 9)² benutzt werden und damit die Auswertung epidemiologischer Studien erschwert ist. Die vier üblichen Leukämietypen sind die akute bzw. chronische lymphatische Leukämie und die akute bzw. chronische myeloische Leukämie. Die aktuelle, gültige Standard-Kodierung ICD10³ liefert heute die Einteilung nach Tabelle 1:

² ICD 7-9: Internationale Klassifikation der Krankheiten

³ ICD 10: Internationale Statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision

Tabelle 1: Übersicht der verschiedenen Leukämiearten

Überbegriff	Subtypen
lymphatische Leukämie	akute lymphatische Leukämie (ALL) (auch Lymphoblastenleukämie genannt)
	chronische lymphatische Leukämie (CLL)
	subakute lymphatische Leukämie
	prolymphozytäre Leukämie
	Haarzellen-Leukämie (HCL)
	T-Zellen-Leukämie beim Erwachsenen
	sonstige lymphatische Leukämien
myeloische Leukämie	akute myeloische Leukämie (AML) (auch ANLL, akute nichtlymphatische Leukämie genannt)
	chronische myeloische Leukämie (CML)
	akute promyelozytäre Leukämie (APL)
	akute myelomonozytäre Leukämie
	Monozytenleukämie (MoL)
	subakute myeloische Leukämie
	Myelosarkom
	sonstige myeloische Leukämie
Sonstige Leukämien	Erythrämie (akut bzw. chronisch)
	Mastzellenleukämie
	akute Panmyelose
	akute Myelofibrose
	sonstige nicht näher bezeichnete Leukämien
	akute Megakaryoblastenleukämie

Laut früheren Publikationen soll Benzol hauptsächlich die folgenden Leukämiearten verursachen:

- akute myeloische Leukämie (AML)
- akute myelomonozytäre Leukämie
- akute Erythrämie.

Daneben werden in der Literatur z. T. noch die folgenden Arten von Leukämie genannt, die Benzol verursachen soll:

- akute lymphatische Leukämie (ALL)

- akute promyeloische Leukämie
- Haarzell-Leukämie (HCL)
- chronisch-myeloische Leukämie (CML)
- chronisch-lymphatische Leukämie (CLL).

Auch andere Krankheiten des lymphatischen und hämatopoetischen Systems werden z. T. im Zusammenhang mit durch Benzol verursachten Erkrankungen genannt:

- Morbus Hodgkin (Lymphogranulomatose)
- Non-Hodgkin-Lymphom (follikuläres und diffuses)
- multiples Myelom
- periphere und kutane T-Zell-Lymphome
- bösartige immunproliferative Krankheiten
- Plasmozytom und bösartige Plasmazellen-Neubildungen
- myelodysplastisches Syndrom.

In Zusammenfassungen hat diese Differenzierung der Leukämiediagnosen zu einer starken Ungenauigkeit beigetragen, die den o.g. Verdacht auf die drei wahrscheinlichsten Leukämiearten in Zweifel stellt. Dies wird inzwischen auch in der Fachliteratur diskutiert (Raabe, 1996). Bei der Auswertung der epidemiologischen Studien wird näher auf diese Problematik eingegangen.

Als Ursache von Leukämien werden neben Benzol weitere Risikofaktoren angenommen, die sich den folgenden drei Gruppen zuordnen lassen (Zeeb, 1998; Sandler, 1987; Gallo, 1978; Gunz, 1974; Linos, 1980b; Heath, 1975; Jacobsen, 1976):

- familiäre bzw. genetische Faktoren wie:
angeborene Krankheiten, Down-Syndrom, andere Chromosomaberrationen
- Umgebungsfaktoren wie:
berufsbezogene Expositionen (z. B. in der Leder- und Druckindustrie), ionisierende und nichtionisierende Strahlung, Chemikalien, Pestizide, Zigarettenrauch, Nahrung etc.
- medizinische und therapiebezogene Faktoren wie:
Radio- und Chemotherapie, diagnostische Radiologie, Arzneimittel (Chloramphenicol), Viren (z. B. HTLV, Herpesviren).

Männer sind von allen Leukämiearten stärker betroffen. Im Allgemeinen kommt AML am häufigsten vor, dann folgen CLL, CML und ALL. Die altersadjustierte durchschnittliche Inzidenz für Leukämie liegt bei ca. zwei bis zwölf Erkrankungen pro 100 000 Männern bzw. bei ca.

einer bis elf pro 100 000 Frauen in verschiedenen Bevölkerungen (Goldstein, 1988). Insgesamt ist die Inzidenz in Westeuropa und Nordamerika höher als in Asien oder Afrika. In Deutschland erkrankten jährlich rund 8900 Personen an Leukämien, darunter etwa 570 Kinder unter 15 Jahren (AGBKD, 1999). Die altersbereinigte Sterblichkeitsrate für Leukämie, bezogen auf 100 000 Personen, betrug in Deutschland im Jahr 1990 für Männer 5,9 (Westdeutschland) bzw. 5,7 (Ostdeutschland) sowie für Frauen in beiden Teilen Deutschlands 3,6 (Becker, 1998). Für den Zeitraum von 1986 bis 1990 lagen diese Werte in Westdeutschland bei 5,90 (Männer) und 3,70 (Frauen), für 1981 bis 1985 bei 5,90 bzw. 3,87.

Vergleicht man die entsprechenden Raten in Europa, bewegen sich diese zwischen 4,6 und 7,5 bei Männern und zwischen 2,8 und 4,7 bei Frauen.

Ähnliche Werte findet man auch in den USA. Dort beträgt die Leukämiersterblichkeitsrate bezogen auf 100 000 Personen 6,5 für Männer und 3,9 für Frauen.

6 Biomarker

Für die Ermittlung der Benzolexposition am Arbeitsplatz werden i.d.R. Luftmessungen durchgeführt. Diese Daten sind jedoch mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Um genaue Informationen über die aktuelle Benzolbelastung eines Beschäftigten zu erhalten, werden in manchen Studien Messungen direkt beim Menschen über die entsprechenden Metaboliten im Blut oder Urin durchgeführt.

Die Metaboliten, die als sensitive und spezifische Biomarker für Benzolexposition gelten, sind S-Phenylmerkaptursäure (S-PMA) im Blut bzw. Urin, trans-trans-Mukonsäure (tt-MA) im Urin, Hydrochinon im Urin und Benzol im Blut (Ong, 1995; Göen, 1997). Auch andere Metaboliten werden gemessen, sind aber weniger geeignet (z. B. Phenol im Urin, Popp, 1994).

Vergleicht man die ermittelten Benzolwerte aus Biomarkermessungen mit denen aus direkten Luftmessungen, ergibt sich eine gute Korrelation zwischen tt-MA bzw. S-PMA und Benzolkonzentrationen in der Luft. Diese beiden Metaboliten gelten als sensitive Biomarker. S-PMA ist nur bis zu 0,3 ppm Benzol in der Luft benutzbar, besitzt aber eine längere Halbwertszeit und ist leichter zu messen als andere Biomarker (Boogaard, 1995). Bei Konzentrationen von mehr als 1 ppm Benzol in der Luft ist der Einsatz von tt-MA sinnvoll. Unterhalb von 5 ppm Benzol in der Luft ist Phenol im Urin als Biomarker geeignet (Ong, 1995).

7 Grenzwerte und Einstufung

Der MAK-Wert⁴ für Benzol betrug bis 1970 in der Bundesrepublik Deutschland 10 ppm. 1977 wurde der TRK-Wert⁵ von Benzol auf 8 ppm festgesetzt. Seit 1993 gilt ein gesplitteter Grenzwert für Benzol von 8,0 mg/m³ (2,5 ppm) für

- Kokereien (Dickteerscheider, Kondensation, Gassaugerhaus),
- Tankfelder in der Mineralölindustrie,
- Reparatur und Wartung von ottokraftstoff- bzw. benzolführenden Teilen

und von 3,2 mg/m³ (1 ppm) für die übrigen Bereiche. Der Geltungsbereich „Reparatur und Wartung von benzolführenden Teilen“ der TRK wurde 1998 geändert und der Grenzwert für Benzol von 8 mg/m³ gilt nun für die „Reparatur und Wartung von benzolführenden Teilen in der chemischen Industrie und Mineralölindustrie“ sowie für „Ottokraftstoffversorgungsräume für Prüfstände“. Damit wurde der Grenzwert für den Bereich der Kfz-Werkstätten von 8 mg/m³ auf 3,2 mg/m³ abgesenkt, sie gehören zu den „im übrigen“ zusammengefassten Bereichen. Der Umrechnungsfaktor beträgt 1 ppm Benzol = 3,25 mg/m³ Benzol.

Nach der EG-Stoffliste (Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG) und TRGS 905 ist Benzol als beim Menschen krebserzeugend (Kategorie 1) eingestuft, außerdem sollte Benzol nach EG-Stoffliste als erbgutverändernd für den Menschen angesehen werden (Kategorie 2). Seit 1. Januar 2000 legt die EU-Richtlinie 98/70/EG die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen durch die Höchstinhalte bestimmter Stoffe fest. Danach dürfen seit dem 1.1.2000 nur noch Ottokraftstoffe verkauft werden, die einen Aromatengehalt von kleiner als 42 %, einen Benzolgehalt von kleiner als 1 % und einen Schwefelgehalt von kleiner 150 ppm aufweisen. Laut Richtlinie 97/42/EG soll ein für alle EU-Staaten verbindlicher Benzol-Grenzwert von 1 ml/m³ spätestens ab 27.6.2003 gelten.

In Deutschland mussten Tankstellen bis 1998 Saugrüssel mit Gasrückführung einführen, um Schadstoffexpositionen während des Tankvorgangs noch weiter zu reduzieren.

Nach Aussage der US-amerikanischen Umweltbehörde (EPA, 1980) enthielt Benzin in den USA früher ca. 0,8 % Benzol, in Europa bis zu 5 % Benzol. Die IARC (1989) beschrieb den Benzolanteil im Benzin weltweit mit ca. 0,5-2,5 %. Umfangreiche Informationen zum Benzolgehalt von Benzin liefert der CONCAWE-Bericht 96/51.

In Deutschland dürfen laut Chemikalienverbotsverordnung und Gefahrstoffverordnung Benzol und Zubereitungen mit mehr als 0,1 % Benzol nicht mehr in den Verkehr gebracht oder

⁴ MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration

⁵ TRK: Technische Richtkonzentration

verwendet werden bzw. sie müssen substituiert werden oder dürfen nur in geschlossenen Systemen eingesetzt werden. Ausnahmen bilden hierbei Treibstoffe, Rohöl, Rohbenzin bzw. Treibstoffkomponenten und der Einsatz für Forschungszwecke wie z. B. als Laborchemikalie. In der aktuellen Fassung der Gefahrstoffverordnung von 1997 steht für Benzol:

„Gefahrstoffe mit einem Massegehalt von gleich oder mehr als 0,1 von Hundert Benzol dürfen nicht verwendet werden. Satz 1 gilt nicht für:

1. Treibstoffe, die zum Betrieb von Verbrennungsmotoren mit Fremdzündung bestimmt sind,
2. die Verwendung von Stoffen und Zubereitungen, die bei industriellen Verfahren in geschlossenen Systemen zur Anwendung kommen,
3. die Verwendung von Rohöl, Rohbenzin und Treibstoffkomponenten, die bei industriellen Verfahren zur Anwendung kommen,
4. die Herstellung und Verwendung ausschließlich zu Forschungs-, Entwicklungs- und Analyse- sowie wissenschaftlichen Lehr- und Ausbildungszwecken.“

8 Auswertung und Ergebnisse

8.1 Benzolexposition

Wegen seiner hervorragenden Lösungseigenschaften wurde Benzol früher in vielen industriellen Arbeitsbereichen verwendet und sowohl bei der Gewinnung als auch der Verarbeitung von Benzol traten Expositionen auf. Es wurde häufig in Lösungs-, Reinigungs-, Extraktions- und Entfettungsmitteln und in Klebern eingesetzt. Die Expositionen in der Gummiindustrie, im Tiefdruck, in der Erdölindustrie sowie bei der Schuhherstellung waren daher relativ hoch. Mit Inkrafttreten der Arbeitsstoffverordnung im Jahr 1971 wurde der zulässige Benzolgehalt in Lösungsmitteln auf 1 % festgelegt. Inzwischen wurde er durch eine Änderung der Gefahrstoffverordnung im Jahr 1992 auf weniger als 0,1 % begrenzt. Durch diese Verwendungsbeschränkungen und Verwendungsverbote hat sich der Einsatz von Benzol stark verringert.

Benzol ist heute dennoch ein wichtiges Ausgangsmaterial für chemische Synthesen. Benzol entsteht infolge Pyrolyse bei der Verbrennung von organischen Verbindungen und Polymeren. Benzol wird aus Pyrolysebenzin von Crackanlagen durch Extraktion gewonnen (80 % der Gesamtmenge), eine andere Herstellungart ist die Verkokung von Steinkohle, bei der Benzol als Nebenprodukt anfällt.

Die wichtigsten Produkte, die aus Benzol hergestellt werden, sind in Tabelle 2 zusammengefasst (Boehncke, 1997).

Tabelle 2: Wichtigste Produkte, die aus Benzol hergestellt werden

Produkt	Einsatz
Ethylbenzol	zur Verarbeitung von Styrol
Cumol	zur Herstellung von Phenol
Nitrobenzol	Vorprodukt für Farbstoffe, Pharmazeutika, Pflanzenschutzmittel u. ä.
Cyclohexan	zur Herstellung von Polyamidfasern
Chlorbenzole	zur Herstellung von Pflanzenschutzmitteln und Farbstoffen
Alkylbenzole	Verarbeitung von Waschrohstoffen
Maleinsäureanhydrid	zur Herstellung ungesättigter Polyesterharze

Personen, die in der Produktion dieser Stoffe arbeiten, sind benzolexponiert, sie stellen aber aufgrund der häufig vorkommenden Mischexpositionen eine für epidemiologische Studien schwer erfassbare Gruppe dar. Meist wurden epidemiologische Untersuchungen in den Branchen durchgeführt, die bekanntermaßen durch Benzolexpositionen belastet sind.

Als berufliche Tätigkeiten mit hohen Benzolexpositionen werden derzeit genannt (Gist 1997, s. a. Kapitel 8.1.1):

- Tätigkeiten in unmittelbarer Umgebung von Auspuffgasen (Kfz-Werkstätten, Tankstellen etc.)
- das Abfüllen von Benzin (Tankstellen, Tanklastzüge) (früher ca. 2 bis 5 % Benzolgehalt in Ottokraftstoffen, jetzt 1 %)
- Wartungs- und Reparaturarbeiten in der Kfz-Branche
- die Verwendung und der Umschlag von Ottokraftstoffen
- Verarbeitung von Rohölprodukten, Pyrolysebenzin und Rohbenzol in Raffinerieanlagen
- petrochemische Industrie (Ethylenanlagen, Benzolextraktion, Entalkylierung)
- chemische Industrie (Benzolverarbeitung)
- Kokereien (Auftreten von Benzol als Nebenprodukt bei der Verkokung von Steinkohle)
- Tätigkeiten in Gießereien beim Abgießen von Formen
- Laserschneiden von speziellen Kunststoffen
- Untersuchung von Edelsteinen (Korhonen, 1983)
- Aufenthalt in Fahrzeuginnenräumen (Fromme, 1998).

Durch die Einführung der Selbstbedienung an Tankstellen in den 70er-Jahren konnte die Exposition der Tankwarte stark reduziert werden. Wie bereits in Kapitel 7 erwähnt, wurde mit Inkrafttreten der EU-Richtlinie 98/70/EG der Benzolgehalt im Ottokraftstoff von ca. 2 bis 5 % Benzol auf ca. 1 % reduziert. In Deutschland liegen aus dem Arbeitskreis „Retrospektive Benzolexpositionen“ im BIA die folgenden Schätzungen für den durchschnittlichen Benzolgehalt von Super- und Normal-Kraftstoffen vor:

alte Bundesländer:

1970 bis 1979: ca. 3,5 Vol.-%

1980 bis 1989: ca. 2,8 Vol.-%

1990 bis 1999: ca. 2,1 Vol.-%.

DDR:

bis in die 80er-Jahre 0,5 bis 5 Vol.-%.

In den USA war der Benzolgehalt im Benzin mit ca. 0,8 % geringer als in Europa, wo er bis zu 5 % betrug (IARC, 1982a). Der Unterschied in der Benzolbelastung an Tankstellen ist aber auch durch weitere Faktoren bedingt: Tankfrequenz, Außentemperatur, Windbedingungen, Arbeitspraxis und der Einführungstermin von Selbstbedienung.

Primär wurden in den o. g. Bereichen Expositions- bzw. epidemiologische Studien durchgeführt. Problematisch ist bei den folgenden Betrachtungen die zeitliche Varianz der Benzolexpositionen: Wurden früher die Arbeiter hohen Benzolexpositionen ausgesetzt, haben heute technische Schutzmaßnahmen, Grenzwerte und Einschränkungen im Einsatz zu einer starken Verminderung der Expositionen geführt. Aufgrund der langen Latenzzeit kann eine Leukämie jedoch häufig erst nach jahrelang zurückliegender Exposition entstehen.

So waren in Kfz-Werkstätten und an Tankstellen früher die Benzolbelastungen hoch, heute liegen die Werte i. d. R. deutlich unterhalb der für diesen Arbeitsbereich gültigen TRK-Werte (Göen, 1997).

Relativiert man die Höhe der Benzolexposition im beruflichen Bereich, so gelten als hochexponierte Berufe Schuhmacher, Arbeiter bei Gummioberflächenbearbeitung/Kalandern und Farbmischer; mittlere Benzolexpositionen haben Chemiker, Maler und Arbeiter in der Lederproduktion; als gering exponierte gelten Tankwarte, Mechaniker und Maschinisten (Gerin, 1998).

Ein weiteres Problem stellt die Vergleichbarkeit internationaler Messdaten dar. Durch den Einsatz verschiedener Messstrategien kann es zu Verzerrungen bei den Expositionsangaben kommen.

Trotz der genannten Einschränkungen soll hier versucht werden, die vielfältigen Informationen zu diesem komplexen Thema zusammenzutragen. Es soll dargestellt werden, welche Erkenntnisse bisher vorliegen, welche Fragen noch offen sind und welche Risikoabschätzungen für Leukämie bei Benzolexposition existieren.

8.1.1 Expositionsdaten aus Studien

Für die Ermittlung der Daten wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt. Die hier vorliegenden, internationalen Expositionsdaten stammen sowohl aus reinen Expositionsermittlungen als auch aus epidemiologischen Studien, die die zugehörige Benzolexposition erfassten. Die Daten wurden durch Expositionsdaten aus Reviews ergänzt (NIOSH, 1974; Weaver, 1983; Fishbein, 1984, 1988; IARC, 1982a+b, 1989; Runion, 1985; Wallace, 1996; Boehncke, 1997; Holmberg, 1985; UBA, 1982; EPA, 1980; CONCAWE 1987, 1994, 1996, 1999; Wallace 1989a+b, 1996; BIA, 1993, 1996; Lyngge, 1997a; BGAA, 1999).

In Tabelle 8 auf Seite 116 sind die 116 Veröffentlichungen zusammengestellt, die diese Expositionsdaten lieferten. Die Studienergebnisse sind nach Publikationsjahr geordnet und in systematisierter Form aufgeführt.

Die ermittelten Expositionsdaten wurden darüberhinaus nach Branchen geordnet. Die gefundenen Benzolexpositionen stammen schwerpunktmäßig aus den folgenden Branchen:

- Chemische Industrie
- Erdölbranche
- Gummiindustrie
- Tankstellen
- Kfz-Werkstätten
- Bohrseln.

Einige Untersuchungen liegen auch für die Benzolexpositionen durch die Luft (in der Stadt und auf dem Land), in Wohnungen, im Fahrzeuginnenraum und in der Umgebung von Zigarettenrauch vor.

Die Expositionsdaten zu Benzol, die aus Deutschland stammen, sind gesondert in Tabelle 21 auf Seite 145 aufgeführt.

Zurzeit werden in dem deutschen Arbeitskreis „Retrospektive Benzolexpositionen“ verschiedene Belastungsdaten ermittelt, die den Zeitraum 1940 bis 1998 in der Bundesrepublik Deutschland und der damaligen DDR abdecken sollen, bisher liegt dazu nur ein Entwurf vor.

Die retrospektive Abschätzung von Benzolexpositionen im internationalen Vergleich ist dagegen schwierig, wie die Diskussionen in der Fachliteratur zeigen (Barrot, 1998; Barrott, 1997; Peter, 1998). Ein Problem ist die Vielzahl der unterschiedlichen Methoden für die Erfassung von Benzolexpositionen (IPCS, 1993; Verma, 1999a+b). Die Vergleichbarkeit internationaler Expositionsdaten muss daher noch geklärt werden.

Die Abbildungen 1 sowie 17 bis 26 sowie die Tabellen 9 bis 21 stellen die Expositionsdaten aus unterschiedlichen Studien branchenspezifisch dar und sind im Anhang zu finden. Lagen in einer Studie Expositionsdaten aus unterschiedlichen Zeitphasen vor, wurden die aktuellsten Daten übernommen. Die Durchschnittswerte in einer Studie wurden mit der entsprechenden Schwankungsbreite, sofern vorhanden, übernommen bzw. berechnet. Bei der Übernahme von Mittelwerten war meist nicht erkennbar, ob es sich um arithmetische oder geometrische Mittelwerte handelt.

Um die Expositionen für eine Branche, basierend auf allen bisherigen Studien abschätzen zu können, wurden Gesamtmittelwerte (gemittelter Wert) berechnet. Dabei wurden, sofern keine Mittelwerte in einer Studie vorlagen, die arithmetischen Mittelwerte gebildet. Diese sollen hier nur als Orientierung verstanden werden, da sie aus einem sehr heterogenen Datenmaterial ermittelt wurden und für genaue Expositionsangaben einer Branche nicht geeignet sind.

Häufig fehlen in den einzelnen Studien Angaben zur Probenahmedauer; sofern vorhanden, wurden sie in Tabelle 8 auf Seite 116 im Feld „Bemerkungen“ angegeben. Ebenso fehlen z. T. Angaben über 50- bzw. 90%-Werte. Sie sind meist nur bei deutschen Veröffentlichungen vorhanden (s. Tabelle 21 auf Seite 145).

Analog Tabelle 3 zeigt die Abbildung 1 auf Seite 23 die mittleren Werte, die für die branchenbezogenen Benzolexpositionen aus internationalen Veröffentlichungen insgesamt bestimmt werden konnten.

Tabelle 3: Zusammenfassung der branchenbezogenen Benzolexpositionen

Branche	Mittelwert in mg/m³	Wertebereich^x in mg/m³ (ggf. mit %-Werte)	Studien	Bemerkungen
<i>Beruflicher Bereich</i>				
Chemische Industrie	11,2	0,19 - 55	10	starke Schwankungen s. Abb. 1 und 2 und Tab. 9
Bohrinseln	1,78	0,65 - 3,80	4	s. Abb. 1 und Tab. 10
Erdölbranche	6,60	0,02 - 35	33	s. Abb. 1 und 3 und Tab. 11
Tankwagen	1,38	0,1 - 6,5	9	hohe Werte bei Tankreinigung s. Tab. 11
Tankschiffe	5,2	0,6 - 21	9	s. Tab. 11

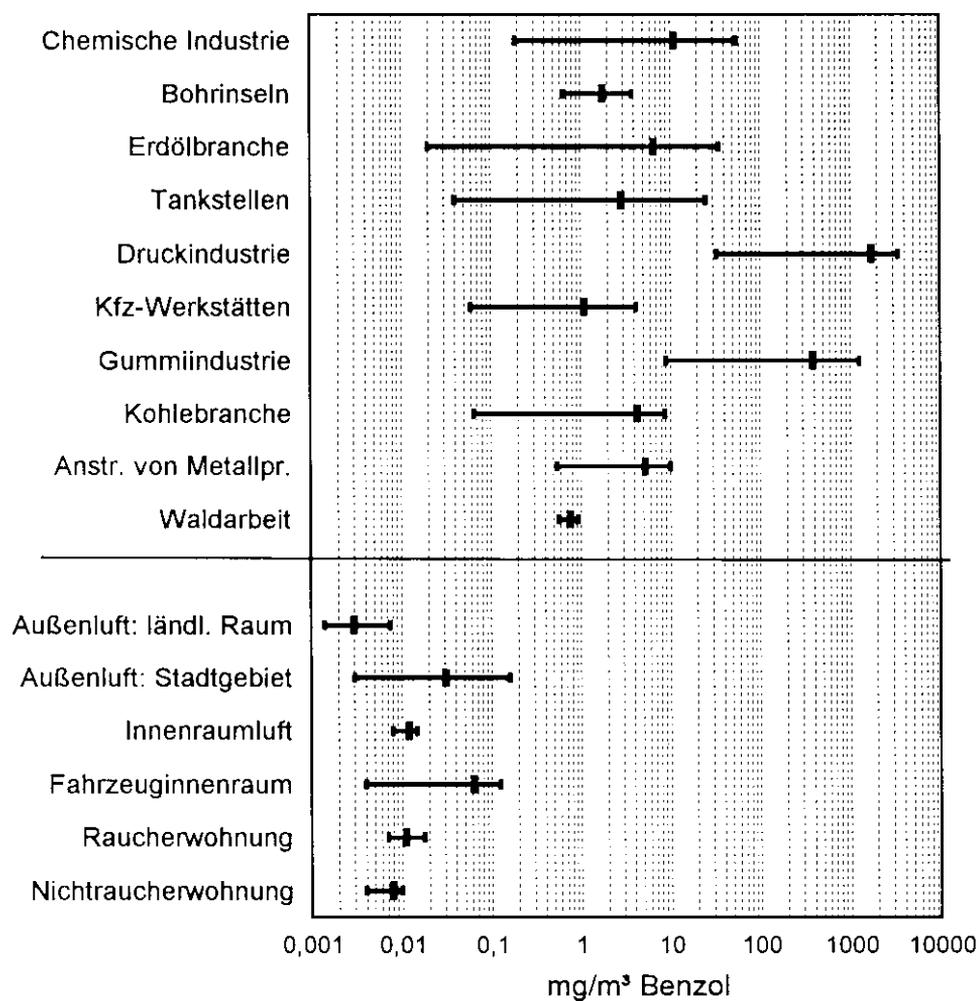
Tankstellen	2,9	0,04 - 25	38	Werte meist < 1 mit Absaugschutz 4- bis 6-fache Reduzierung der Benzolexposition s. Abb. 1 und 4 und Tab. 11
Kfz-Werkstätten, Garagen	1,1	0,06 - 4,2	6	s. Abb. 1 und 5 und Tab. 13
Gummiindustrie	389	9 - 1280	9	s. Abb. 1 und 6 und Tab. 14
Gummiindustrie ohne Schuhproduktion	194	9 - 832	5	s. Abb. 7
Maschinen- und Fahrzeugbau		95 % < 5,9	1	+
Druckindustrie	1739	33 - 3445	1	s. Abb. 1
Oberflächenbehandlung und Kleben		90 % < 29,6 95 % < 0,8	2	+
Kohlebranche	4,34	0,065 - 8,84	3	s. Abb. 1
Gießereien		95 % < 5,0 90 % < 3,9	2	+
Anstreichen von Metallprodukten	5,3	0,55 - 10,1	1	s. Abb. 1
Waldarbeit	0,76	0,58 - 0,94	2	s. Abb. 1
Privatbereich				
Außenluft, ländlicher Raum	0,003	0,0014 - 0,0075	8	s. Abb. 1 und 8 und Tab. 16
Außenluft, Stadtgebiet	0,031	0,003 - 0,16	26	s. Abb. 1 und 9 und Tab. 17 (ohne Spitzenwerte aus CONCAWE 4/87)
Außenluft, industrielle Umgebung	0,012	0,0082 - 0,015	3	* s. Tab. 17
Innenraumluf	0,012	0,008 - 0,015	4	*
Innenraumluf mit Kohleofen	0,034	0,011 - 0,057	2	*
in U-Bahn	0,0069		1	*
Fahrzeuginnenraum	0,064	0,004 - 0,125	7	s. Abb. 1 und 10 und Tab. 19
Raucherwohnung	0,011	0,007 - 0,018	4	s. Abb. 1 und 11 und Tab. 20
Nichtraucherwohnung	0,008	0,004 - 0,010	4	s. Abb. 1 und 11 und Tab. 20

x Wertebereich der Mittelwerte, die aus den einzelnen Studien ermittelt wurden

* zu wenig Daten, daher keine grafische Darstellung

+ Daten ungeeignet für grafische Darstellung (z. B. %-Wert)

Abbildung 1:
Benzolexposition: Arithmetische Mittelwerte und
Streubreite nach Branche, Zeitraum 1935 bis 2001



Beruflicher Bereich

Die bisher höchsten gemessenen Benzolwerte traten bei der **Reinigung von Erdöltanks** (633 mg/m³; Berlin, 1985), in der **Druckindustrie** (33 bis 3445 mg/m³; NIOSH, 1974) und bei der **Schuhherstellung** (480 bis 2080 mg/m³ in der Zeit von 1966 bis 1978; EPA, 1980) auf. Diese Werte wurden in den letzten Jahrzehnten durch Schutzmaßnahmen deutlich gesenkt. Heute können hohe Benzolkonzentrationen nur kurzfristig auftreten.

Die starke Abnahme der Expositionswerte im Lauf der Jahre zeigt sich deutlich in der Schuhherstellung: Lagen 1956 die Benzolwerte noch bei bis zu 1528 mg/m³, so waren sie 1974 auf ca. 15 % dieses Wertes gefallen.

Der vorliegende Vergleich von Expositionswerten aus den Studien kann nur eine Annäherung an die wahren Expositionsbedingungen geben. Die zur Verfügung stehenden Daten geben Hinweise auf die Größenordnungen, in denen sich die Benzolexpositionen in den einzelnen Branchen bewegen. Für die Druckindustrie liegen zu wenige Daten vor, um valide Aussagen machen zu können. Die Daten aus der Chemie- und der Erdölindustrie liefern heterogene Werte.

Die mittleren Benzolexpositionen in den einzelnen Industriebranchen bewegen sich zwischen etwa 1 und 10 mg/m³, außer in der Druck- und Gummiindustrie. Die Schwankungsbreiten in den einzelnen Branchen sind groß. Abbildung 1 zeigt deutlich, dass einige Branchen noch erhöhte Benzolexpositionen aufweisen können. Die Gummiindustrie hat noch erhöhte Werte, die primär aus den 70er-Jahren stammen. Die hohen Werte aus der Druckindustrie stammen aus dem Jahr 1939.

In den Branchen chemische Industrie, Erdölindustrie, Bohrinseln, Tankstellen, Kfz-Werkstätten, Kohleindustrie und beim Anstreichen von Metallprodukten liegen die Expositionen niedriger, können aber z. T. noch über den Grenzwerten liegen. Bei Waldarbeiten mit motorbetriebenen Holzsägen liegt die Benzolexposition mit 0,76 mg/m³ weit unter dem heutigen TRK-Wert.

Betrachtet man die Expositionsangaben aus den einzelnen Branchen etwas genauer, muss Folgendes berücksichtigt werden: Bei den Abbildungen 17 bis 26 mit Expositionsdaten einer Branche aus unterschiedlichen Untersuchungen stammen die Daten direkt aus den entsprechenden Studien. Im Gegensatz dazu bietet die Übersichtsabbildung 1 auf Seite 23 den Bereich der gemittelten Werte aus allen gefundenen Studien.

Die Werte in den branchenbezogenen Abbildungen sind chronologisch nach Veröffentlichungsjahr geordnet. Die Entwicklungen in einzelnen Branchen sind im Folgenden dargestellt:

Erdölbranche

In der Erdölbranche (s. Tabelle 11 und Abbildung 18 auf Seite 131 bzw. 190) nehmen die Expositionen seit 1978 ab. In den jüngsten Studien bewegen sich die Expositionsdaten zwischen 0 und 25 mg/m³, viele Mittelwerte liegen unter 5 mg/m³ (Daten aus neueren Studien ab 1990). Die Benzolbelastungen sind in dieser Branche tätigkeitsabhängig, wie aus den detaillierten Angaben in Tabelle 11 hervorgeht. Am stärksten belastet sind Arbeiter auf Tankschiffen und beim Abfüllen bzw. Umfüllen von Tankinhalten. Hohe Belastungen bis zu 630 mg/m³ können beim Reinigen von Tanks auftreten (Berlin, 1985 für die 80er-Jahre). Detaillierte Expositionsdaten zu bestimmten Tätigkeiten im Erdölbereich liefert Verma (2001). Arbeiter auf Bohrinseln (s. Tabelle 10 auf Seite 130) waren im Mittel ca. 1,8 mg/m³ Benzol ausgesetzt, aber auch kurzfristigen, hohen Expositionen bis zu 19 mg/m³ (etwa um 1990).

Tankstellen

In Tankstellen (s. Tabelle 12 und Abbildung 19 auf Seite 134 bzw. 191) liegen die meisten Mittelwerte bei ca. 0,5 bis 2 mg/m³. Die Schwankungsbreiten sind auch hier hoch, besonders beim Tankvorgang treten kurzzeitig hohe Benzolexpositionen auf. Die Belastungen der Arbeitnehmer wurden jedoch durch die Einführung von Selbstbedienungstankstellen in den 70er-Jahren und die Einführung von Zapfhähnen mit Gasrückführung in den 90er-Jahren reduziert. Durch Abgase aus verbleitem Benzin gelangt mehr Benzol in die Atemzone der Arbeiter als durch Abgase aus unverbleitem Benzin.

Kfz-Werkstätten und Garagen

Expositionswerte für Kfz-Werkstätten und Garagen liegen nur aus sechs Studien vor (s. Tabelle 13 und Abbildung 20 auf Seite 136 bzw. 192). Die Werte schwanken stark und die meisten Mittelwerte liegen unter 2 mg/m³.

Gummiindustrie

Für die Gummiindustrie beschreiben insbesondere ältere Untersuchungen aus den 40er- bis in die 80er-Jahre hohe Benzolexpositionen (s. Tabelle 14 und Abbildung 21 auf Seite 137 bzw. 193). Auffallend hohe Werte existieren für die Schuh- und Kunstlederproduktion und Gummibeschichtung. Ignoriert man die beiden aus der Schuhindustrie stammenden Peaks (s. Abbildung 22 auf Seite 194), bewegen sich die Werte bei ca. 194 mg/m³.

Durch Schutzmaßnahmen lassen sich die Expositionen reduzieren, wie in einer Studie der NIOSH (NIOSH, 1974) deutlich gemacht wurde. Da die letzten Studien 1980 veröffentlicht wurden und keine aktuelleren Daten vorliegen, können kaum Aussagen über die derzeitige Expositionssituation in der Gummibranche gemacht werden. Ein weiteres Problem stellen die

Mischexpositionen in der Gummiindustrie dar: Es treten z. T. hohe Konzentrationen von Styrol und Butadiene auf (Macaluso, 1996).

Andere Branchen

In der Kohlebranche können erhöhte Benzolkonzentrationen (s. Tabelle 15 auf Seite 138) von bis zu 39 mg/m³ auftreten, der Durchschnitt beträgt ca. 4 mg/m³.

Beim Anstreichen von Metallprodukten treten Benzolbelastungen von bis zu 10 mg/m³ auf.

Waldarbeiter sind geringen Expositionen von durchschnittlich 0,8 mg/m³ Benzol ausgesetzt.

Hohe Expositionen

Internationale Studien bestätigen, dass bei bestimmten Tätigkeiten in der Erdölbranche wie z. B. bei der Benzolreinherstellung hohe Benzolexpositionen auftreten können. Auch auf Tankschiffen und bei der Tankreinigung sind die Konzentrationen noch hoch. In den übrigen Branchen sind die Expositionen relativ gering, nur kurzzeitig können erhöhte Werte auftreten (s. Tabellen 11 und 12 auf den Seiten 131 und 134).

Benzolexposition in Deutschland

Die aus den vorliegenden internationalen Studien ermittelten Expositionsdaten sind in etwa vergleichbar mit den Werten, die für Benzolexpositionen in Deutschland zusammengestellt wurden (s. Tabelle 21 auf Seite 145). Bei dem Vergleich der Werte aus Deutschland mit den internationalen Werten sind jedoch einige Besonderheiten zu berücksichtigen, da die meisten deutschen Daten als %-Werte vorliegen. Eine weitere mögliche Fehlerquelle liegt in den unterschiedlichen Messstrategien.

Privatbereich

Die Benzolwerte liegen sowohl in der Außenluft als auch in den Wohnungen immer unter dem in Deutschland gültigen Grenzwert von 3,2 mg/m³. Die Ergebnisse aus der vorliegenden Übersicht zeigen, dass die Benzolbelastungen durch Zigarettenrauch, relativ zur Stadtluft gesehen, geringer als vermutet sind. Dies wird auch von Boehncke (1997) beschrieben.

Dem gegenüber stehen die Aussagen aus den Veröffentlichungen von Wallace, basierend auf der TEAM-Studie (Total Exposure Assessment Methodology). Seine Studien haben in den letzten Jahren zu dem Ergebnis geführt, dass die primären Benzolexpositionen im persönlichen Bereich zu finden sind, vor allem durch Zigarettenrauch. Laut Wallace setzt sich die

Benzolexposition für einen Nichtraucher wie folgt zusammen: 40 % der Belastung entstammen der Außenluft, 31 % entstammen dem Innenraum im Privatbereich, 19 % entstehen durch das Autofahren, 10 % entstammen anderen Quellen. Die Annahme, die beruflichen Expositionen von Benzol seien in den genannten 10 % anderer Quellen enthalten, ist hieraus nicht ersichtlich. Laut Wallace sind die durch Abgase in der Stadtluft bedingten Benzolexpositionen höher als die durch Zigarettenrauch verursachten. Es wird berichtet, dass nichtrauchende Städter somit Benzol stärker ausgesetzt sind als Raucher, die auf dem Lande leben. Dies zeigen auch die vorliegenden Ergebnisse: Die arithmetisch gemittelten Benzolbelastungen aus vier Studien zeigen, dass der Unterschied zwischen Raucher- bzw. Nichtraucherwohnungen ($0,011$ bzw. $0,008 \text{ mg/m}^3$) nur ca. $0,003 \text{ mg/m}^3$ beträgt (s. Abbildung 26 auf Seite 198).

Eine hohe Benzolexposition im Privatbereich verursacht der Straßenverkehr. Die Benzolbelastungen in der Stadt bewegen sich zwischen etwa $0,01$ und $0,06 \text{ mg/m}^3$ (s. Abbildung 24 auf Seite 196). Der Fahrzeuginnenraum, in den letzten Jahren als hoch benzolbelastet vermutet, enthält im Durchschnitt nur $0,06 \text{ mg/m}^3$. Dies entspricht in etwa der Benzolbelastung in einer normal befahrenen Straße. Andere Autoren beschreiben eine durchschnittliche Benzolkonzentration im Fahrzeuginnenraum von $0,05 \text{ mg/m}^3$ (Bereich $10\text{-}120 \mu\text{g/m}^3$) während der Fahrt (Eikmann 2000).

Die Benzolkonzentrationen im städtischen Bereich unterliegen jedoch Schwankungen, abhängig von den Windverhältnissen, der Tageszeit und den lokalen Gegebenheiten. Dabei können die Konzentrationen im Innenraum im Vergleich zur Außenluft z. T. relativ hoch sein, was durch das Einströmen von Außenluft und die Ausdünstungen anderer Benzolquellen im Innenraum erklärbar ist (Cocheo, 2000).

8.1.2 Zusammenfassung der Benzolexpositionen

Obwohl bei vielen der untersuchten Branchen Mischexpositionen vorliegen und Abweichungen bei den Messstrategien die Vergleichbarkeit der Daten einschränken, können folgende allgemeine Hinweise gegeben werden:

Die meisten branchenbezogenen Messwerte zur Benzolexposition liegen aus der Erdöl- und der Tankstellenbranche vor. Messungen im Privatbereich wurden vor allem in Stadtgebieten durchgeführt. Auch für Kfz-Werkstätten und den Fahrzeuginnenraum liegen einige Studien mit Messwerten vor. In den übrigen genannten Bereichen existieren jedoch zu wenige Messdaten, um klare Aussagen über die dort üblichen Benzolwerte machen zu können.

In der Gummiindustrie treten im Vergleich zu anderen Branchen hohe Benzolexpositionen auf. Betrachtet man diese Daten genauer (Abbildung 21 auf Seite 193), so reduzierten sich die extrem hohen Expositionswerte von ca. 800 mg/m³ Benzol in den 30er-Jahren auf ca. 70 mg/m³ in den 70er-Jahren. Auch in Schuhfabriken gingen die hohen Benzolkonzentrationen in den 60er-Jahren stark zurück. Die Expositionen in den Branchen Erdölraffinerien, Tankstellen, Kfz-Werkstätten und auf Bohrseln konnten zwar ebenfalls in den letzten Jahrzehnten reduziert werden, weisen aber bei bestimmten Tätigkeiten z. T. noch hohe Expositionen auf.

In den meisten Branchen gingen die Benzolkonzentrationen in den letzten drei Jahrzehnten zurück. Heute muss, falls technisch möglich, Benzol substituiert werden. Wo eine Substitution nicht möglich ist, sorgt heute eine aufwändige Anlagentechnik, beispielsweise eine Kapselung, für eine geringere Exposition.

Die Benzolbelastungen im Privatbereich sind im Vergleich zur beruflichen Belastung eher gering. Zigarettenrauch und Verkehrsabgase produzieren zwar schädigende Mischexpositionen, der Benzolanteil ist dabei aber relativ klein. Die Benzolbelastung in der Stadtluft, primär durch Autoabgase bedingt, fällt dabei viel stärker ins Gewicht als die Belastung durch Zigarettenrauch. Diese Erkenntnisse stehen den Aussagen aus der o.g. Teamstudie gegenüber. Daher besteht weiterer Klärungsbedarf zu diesem Punkt.

8.2 Epidemiologische Studien zum Thema Benzol und Leukämie

Vor 1970 waren Arbeiter noch relativ hohen Expositionen ausgesetzt. In Studien wurde ein erhöhtes Auftreten von Störungen des hämatopoetischen (blutbildenden) Systems gefunden. Es wird von Einzelfällen wie auch von Häufungen von Leukämien sowie verwandten Krankheiten bei benzolexponierten Personen berichtet. Bis heute wurden ca. 110 epidemiologische Studien zum Thema Benzol und Leukämie veröffentlicht.

Zur Darstellung des heutigen Wissenstandes der Epidemiologie zu dieser komplexen Fragestellung wurden zuerst umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt. Die gefundenen Zitate wurden ergänzt durch einen Abgleich mit entsprechenden Reviews und Metaanalysen. Die Studien wurden nach Kohortenstudien und Fall-Kontroll-Studien jeweils nach dem Veröffentlichungsjahr geordnet und systematisch ausgewertet.

Gesondert betrachtet wurden die Veröffentlichungen zur so genannten „Pliofilm-Studie“, die eine Kohorte in drei Gummihydrochloridwerken in Ohio, USA beschreibt. Die Mortalitätsrate dieser Kohorte wurde von 1950 bis 1975 untersucht und dann in mehreren Follow-up-Studien bis 1987 verfolgt. Der besondere Vorteil dieser Studie lag in der wahrscheinlich reinen Benzolexposition der Arbeiter. Dies ist insofern bemerkenswert, dass Benzolexponierte meist Mischexpositionen erfahren. Eine weitere Besonderheit der Pliofilm-Studie ist, dass die Arbeiter über einen langen Zeitraum untersucht wurden, Daten zur Arbeitshistorie der Arbeiter vorlagen und dass die Qualität der Benzolmesswerte gut war. Bei dieser Studie wurde eine signifikante Erhöhung von Leukämiefällen beobachtet. Aufgrund des guten Datenmaterials basieren viele Veröffentlichungen und Dosis-Wirkungs-Abschätzungen auf der Pliofilm-Studie. Diese Studien werden hier gesondert aufgeführt.

Die systematisierte Darstellung aller epidemiologischen Studien findet sich im Anhang in den Tabellen 23 bis 24 auf den Seiten 155 bis 178. Dabei wurden neben den sonst üblichen Kriterien auch die Leukämieart, die Dosis und die Störgrößen (Confounder) berücksichtigt, sofern sie in der Veröffentlichung genannt sind.

Die Ergebnisse der Studien in Form von RR (relative Risikorate), OR (Odds Ratio), SMR (standardisierte Mortalitätsratio), SIR (standardisierte Inzidenzratio) bzw. PMR (proportionale Mortalitätsratio) sind in den Abbildungen 13 bis 26 grafisch, getrennt nach Studientypen (Fall-Kontroll-Studien, Kohortenstudien) dargestellt. Die Punktschätzer sind mit den von den Autoren angegebenen 95%-Konfidenzintervallen aufgeführt. Auf Zusammenhänge mit anderen Studienpopulationen und verwandten Publikationen wird in den Übersichtstabellen 23 und 24 in der Rubrik „Bemerkungen“ hingewiesen.

8.2.1 Übersichtsarbeiten

In der Fachliteratur wurden 35 Reviews bzw. Metaanalysen gefunden, die epidemiologische Studien beschreiben. Die Ergebnisse wurden mit den bisher gesammelten Daten abgeglichen und in die Auswertung aufgenommen. Sofern die Studienergebnisse differenzierte Angaben zur Leukämieart lieferten, wurden diese in den entsprechenden Übersichtstabellen und Grafiken dargestellt. Bisher erfolgte Abschätzungen für eine Dosis-Wirkungs-Beziehung wurden zusammengestellt (s. Tabelle 7 auf Seite 64). Die Übersichtsarbeiten sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Metaanalysen bzw. Reviews zu Benzol und Leukämie

Autor/Jahr	ausgewertete Studien	Ergebnisse	Bemerkungen
Vigliani 1976a+b	epidemiologische Studien	verschiedene Mechanismen bei der Entstehung von Leukämie werden diskutiert	Review
Checkoway 1984	epidemiologische Studien in der Gummiindustrie	Einfluss anderer Lösungsmittel stärker als Benzol	Review und eine Fall-Kontroll-Studie
Sandler 1987		Risikofaktoren sind bei verschiedenen Zelltypen unterschiedlich	Review, der sich auf familiäre und zellgenetische Faktoren und die Exposition aus der Umwelt konzentriert
Harrington 1987	120 Studien aus Erdölproduktion und -umschlag	Ergebnisse heterogen, aber deutlich niedrige Gesamt mortalität und -kanzerogenität	Review
Austin 1988	15 Studien	heterogene Daten; Vermutung: 50 Tote mehr unter 1000 Benzol-exponierten Arbeitern mit 10 ppm bei einer Lebensarbeitszeit von 30 Jahren	Review
McMichael 1988	toxikologische und epidemiologische Studien	IARC: ausreichender Hinweis auf Kanzerogenität von Benzol für den Menschen	
Wong + Raabe 1989	22 Kohorten (Metaanalyse) 100 Studien (Review)	SMR 1,10 (0,97-1,23) (p=0,10) Risiko etwas erhöht für Arbeiter, die vor 1940 beschäftigt waren	Review und Metaanalyse
Brett, et al. 1989	Pliofilm-Studien	wahrscheinlich Unterschätzung der Benzolexposition	Review und Evaluation der vorhandenen Risikoanalysen der Pliofilm-Kohorte
IARC 1989	umfangreiche Expositionsdaten und epidemiologische Studien aus Erdölindustrie	Rohöl: 0,1-0,3 % Benzol 0,01-1 % Benzol (Bestougeff 1967)	Review
Greim 1992	toxikologische und epidemiologische Studien	kanzerogene und erbgutverändernde Wirkung	MAK-Begründung für deutsche Einstufung

Mehlman 1992	toxikologische und epidemiologische Studien	Risiko für Kanzerogenität von Benzin erhöht, auch für Leukämie	Review, primär über Benzin
Enterline 1993	4 epidemiologische Studien	Nachweis für AML in 3 Studien; aber kein deutlicher Trend, wenn bei verschiedenen Benzolindizes analysiert wird	Review
Neumeier 1993	toxikologische und epidemiologische Studien, Messmethodik	keine definitive Schlussfolgerung für Risikoabschätzung	Kriteriendokument für Benzol, Review, enthält verschiedene Risikoanalysen
Raabe 1993	toxikologische und epidemiologische Studien	Ergebnisse aus der Epidemiologie nicht ausreichend, um das Leukämierisiko für den Niedrigdosisbereich von Benzol bei Benzin abzuleiten	Review
Paustenbach 1993	bezieht sich auf mehrere Studien	verschiedene Risikoanalysen, keine schlüssige Analyse; viele Modelle, aber kein Beweis	Review
IPCS 1993	toxikologische und epidemiologische Studien, Messmethodik		umfassender Review
Aksoy 1994	mehrere Studien zwischen 1967 und 1990, 59 Leukämiepatienten	Diskussion verschiedener Ergebnisse und Erklärungsmodelle	Review
Hilgenfeld 1995		Verdacht auf Zusammenhang zwischen Benzol und Leukämie	Review
Wong + Raabe 1995	Metaanalyse		s. Raabe + Wong 1996
Raabe + Wong 1996	19 Kohorten in der Erdölindustrie in den USA und Großbritannien	SMR 0,89 (0,68-1,15) für CML SMR 0,96 (0,81-1,13) für AML SMR 1,16 (0,81-1,61) für ALL SMR 0,84 (0,67-1,04) für CLL	keine Signifikanz, zellspezifische Metaanalyse gleiche Daten wie Wong + Raabe 1995
Chen 1996	55 Mortalitätsstudien von Lösungsmittlexponierten Arbeitern 33 Studien mit Leukämieuntersuchungen	Lösungsmittlexposition und Leukämie: SMR 1,22 (1,02-1,47)	nur Kohortenstudien, mögliche Exposition von anderen Lösungsmitteln
Savitz 1997	34 Studien	keine Bestätigung für ein erhöhtes Risiko von AML	Review
Gist 1997		Nur deskriptiv	Review zu gesundheitlichen Wirkungen von Benzol, primär abgeleitet aus Benzol-Subregister
BUA 1997	chemische, toxikologische und epidemiologische Studien über Benzin	epidemiologische Ergebnisse größtenteils übernommen aus Harrington 1987	Review
Hotz 1997	epidemiologische Studien zu Automechanikern	nichtsignifikante Erhöhung des Leukämierisikos durch Benzol, epidemiologische Evidenz zu schwach	Review wenige valide Studien, die bei Automechanikern ein erhöhtes Risiko für Leukämie aufzeigen

Wong + Raabe 1997	22 Kohorten aus der Erdölbranche	nur Untersuchung von Multiplem Myelom: kein erhöhtes Risiko	Metaanalyse
Cooper 1997	epidemiologische Studien in der Erdölbranche und Chemiefabriken in Texas	keine Risikoerhöhung, nur leichte nichtsignifikante Erhöhung von Hirntumoren und Leukämie	Review
Dement 1997	Expositionsdaten und epidemiologische Studien in Branchen mit Benzinexposition	Trend zur Risikoerhöhung von Nierenkrebs und Leukämie; begrenzte Power der Studien	Review
Lynge 1997a	Expositionsdaten und Krebsrisiko an Tankstellen in Skandinavien	keine Erhöhung für Leukämie, mittlere Benzolexposition 0,5-1 mg/m ³	Review von Expositionsdaten an europäischen Tankstellen
Kaneko 1997	toxikologische und epidemiologische Studien	Darstellung verschiedener Risikomodelle	Review
Weber 1997	epidemiologische Studien, Expositionsabschätzung gegenüber Kfz-Emissionen	Risiko unklar, da inkonsistente Ergebnisse	Review
Kogevinas 1998	epidemiologische Studien in der Gummiindustrie	starke Schwankungen des Krebsrisikos, aber geringfügiger Anstieg von Leukämie; Mischexpositionen vorhanden	Review
Caprino 1998	wenige toxikologische und epidemiologische Studien über Benzin	diskutiert vorwiegend die Studien- und Interpretationsprobleme beim Thema Benzin	Review
Zeeb + Blettner 1998	epidemiologische Studien aus neuerer Zeit	Hinweis auf hohes Leukämierisiko durch genetische Disposition und medizinische Therapie	Review über Risikofaktoren für Leukämie
Bergsagel 1999	epidemiologische Studien zu Multiplem Myelom	Hinweis auf keine Risikoerhöhung von Multiplem Myelom durch Benzolexposition	Review
UBA 1999	toxikologische und epidemiologische Studien	Risikovergleich zwischen Diesel- und Ottomotoremissionen	Review über Inhaltsstoffe in Benzin und Diesel
Clapp 1999	epidemiologische Studien zu Leukämie in der Erdölindustrie, neuere Studien ab 1991	geringfügige Risikoerhöhung für Leukämie bei Arbeitern in der Erdölindustrie, besonders bei Beschäftigung vor 1950	Review
Budinsky 1999	alle Publikationen über die große Kohorte in China	dosisabhängige Risiken, Problematik der Expositionsabschätzung	Review über China-Kohorte
Möhner 2000	epidemiologische Studien zu Benzol und Non-Hodgkin-Lymphomen (29 Kohorten- und 20 Fall-Kontroll-Studien)	kein erhöhtes Risiko für NHL bei Benzolexposition erkennbar, aber unzureichendes Datenmaterial	Metaanalyse

Häufig wird in diesen Übersichtsarbeiten nur eine Auswahl an epidemiologischen Studien diskutiert, bedingt durch eine bewusste Selektion, aber auch durch unvollständige Recherchen. Einige Arbeiten sind nur deskriptiv und beschreiben kurz die Erkenntnisse aus anderen Studien.

Vergleicht man diese Arbeiten, so lassen sich die folgenden Punkte zusammenfassen:

- Viele Studien unterscheiden nicht nach Leukämietyp.
- Manche Studien untersuchen eine zu kleine Population; daher gibt es häufig keine bzw. so wenig Fälle einer bestimmten Leukämieart, dass die ermittelten Risiken geringe Aussagekraft besitzen (breite Konfidenzintervalle).
- Nur in einigen Studien wurde nach der Leukämieart differenziert, primär in Studien aus der Erdölbranche.
- Die Beschreibung der Leukämien ist nicht einheitlich (unterschiedliche Kodierung der ICD durch neue Versionen; s. a. Kapitel 5).
- Die Latenzzeit von Leukämie wird mit fünf bis 45 Jahren angegeben.
- Die Messung von Benzol über Biomarker birgt Fehler durch den Einsatz verschiedener Biomarker (Popp, 1994).
- Manchmal tritt ein „healthy worker effect“ auf, d.h., die beobachtete, arbeitende Population ist gesünder als die Allgemeinbevölkerung.
- Häufig fehlen Expositionsdaten von Benzol.
- Die untersuchten Personen waren gemischten Expositionen ausgesetzt.
- Bei der Benzolmessung wurden verschiedene Probenahme- und Analysenmethoden eingesetzt (eingeschänkte Vergleichbarkeit).
- Die Benzolkonzentrationen im Benzin wurde in den letzten Jahren reduziert; dies erschwert die Abschätzung der Exposition in Studien.
- Das Rauchen als ein potentieller Confounder wurde i.d.R. nicht berücksichtigt.

Im Folgenden werden alle epidemiologischen Studien aufgeführt, die gefunden werden konnten. Es sind nur die aktuellsten Studien genannt, auf frühere Publikationen mit gleicher Studienpopulation wird in der Rubrik „Bemerkungen“ in den Übersichtstabellen 23 und 24 auf den Seiten 155 und 178 hingewiesen. Die Studien sind gruppiert in Kohortenstudien und Fall-Kontroll-Studien. Die Studien zu den Pliofilm-Kohorten werden gesondert beschrieben. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die vielfältigen Studienergebnisse aus Publikationen zusammenzutragen, um einen möglichst umfassenden Status-quo-Bericht zur Benzolbelastung am Arbeitsplatz und zu einem eventuellen Zusammenhang mit Leukämie zu liefern. Daher wurden bewusst keine Bewertungs- und Selektionskriterien angesetzt. Die Aussagekraft der einzelnen epidemiologischen Studien ist sehr unterschiedlich. Bei einer wissenschaftlichen Bewertung der Studien und einer differenzierten Abschätzung möglicher Effekte müssten zusätzliche Qualitätskriterien berücksichtigt werden. Obwohl von den Autoren versucht wurde, die bisher publizierten Daten möglichst umfassend darzustellen, erhebt die Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

8.2.2 Pliofilm-Studien

Als „Pliofilm-Studien“ werden die Veröffentlichungen bezeichnet, die sich auf Studien, Follow-up-Studien und Reanalysen der drei untersuchten Kohorten in Gummiwerken in Ohio beziehen. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich von 1936 bis 1987. NIOSH führte Follow-up-Studien in verschiedenen Etappen durch.

Der Vorteil dieser Kohorten sind die gut dokumentierten, hohen Expositionswerte von Benzol und das weitgehende Fehlen anderer toxischer Substanzen. Es liegen personenbezogene Beschäftigungsdaten und Daten zur Arbeitshistorie vor, die die Ableitung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung erlauben.

Ein Nachteil ist, dass in früheren Phasen der Beobachtungszeit nur wenige Luftmessdaten existieren, diese aber mit ausschließlich höheren Expositionswerten.

Die Veröffentlichungen zu der Pliofilm-Kohorte sind in Abbildung 2 auf Seite 35 zusammengefasst. Nähere Informationen zu den Veröffentlichungen finden sich in Tabelle 22 auf Seite 150.

Die aktuellsten Risikoabschätzungen (von Rinsky, Crump bzw. Paustenbach) liefern die Werte in Tabelle 5. Siehe dazu auch Kapitel 10.

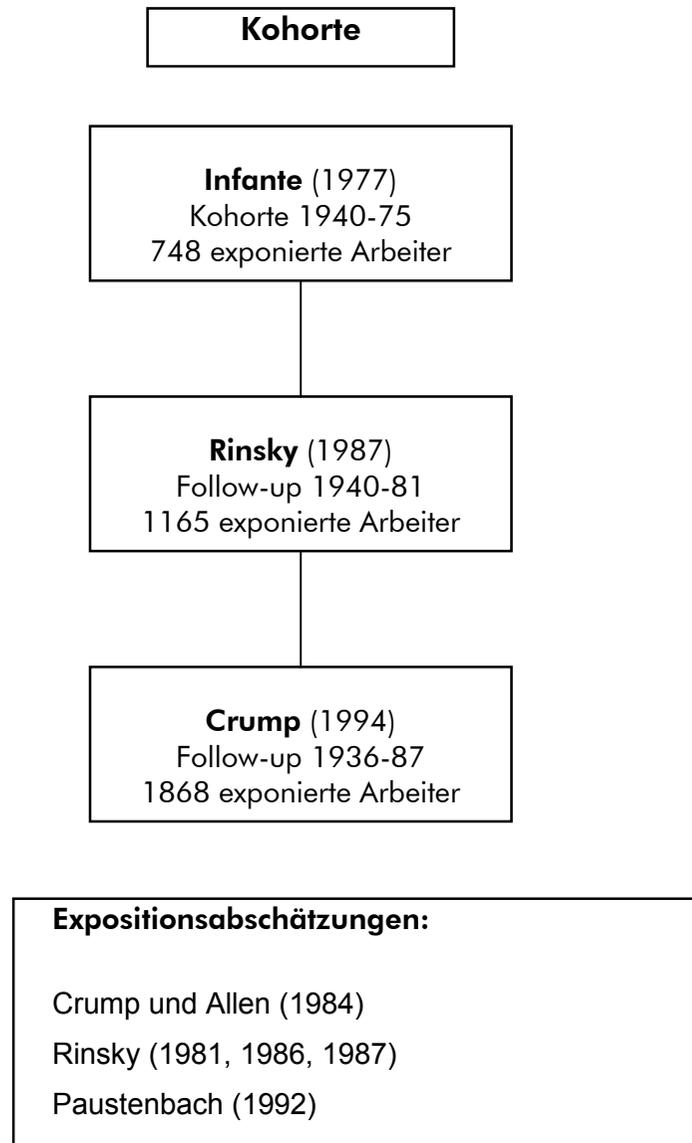
Tabelle 5: Risikoabschätzungen für Leukämie, basierend auf der Pliofilm-Studie (Paxton, 1996)

Autor	kumulative Expositionsabschätzung in ppm-Jahren	SMR ^b für Leukämie
Rinsky 1985 ^a	0-5	1,97 (0,41-5,76)
	> 5-50	2,29 (0,47-6,69)
	> 50-500	6,93 (2,78-14,28)**
	> 500	20,00 (0,51-111,4)
Crump 1984 ^a	0-5	0,88 (0,02-4,89)
	> 5-50	3,25 (0,88-8,33)
	> 50-500	4,87 (1,79-10,63)*
	> 500	10,34 (2,13-30,21)**
Paustenbach1992	0-5	1,33 (0,03-7,43)
	> 5-50	1,79 (0,22-6,45)
	> 50-500	2,80 (0,76-7,16)
	> 500	11,86 (4,76-24,44)**

^a nicht publiziert

^b Signifikanztest: * p < 0,05; ** p < 0,01

Abbildung 2: Die amerikanische Pliofilm-Kohorte



- Risikoabschätzungen bzw. Reanalysen:**
- Wilson (1977)
 - EPA (1979)
 - Albert (1979)
 - Hatlis (1980)
 - Lamm (1980)
 - Bartmann (1982)
 - Luken (1982)
 - White (1982)
 - Gilbert (1982)
 - IARC (1982a)
 - Crump (1984)
 - NIOSH (1985)
 - Rodricks (1986)
 - OSHA (1987)
 - Thorslund (1988)
 - Austin (1988)
 - Brett (1989)
 - Rinsky (1989a+b)
 - Paustenbach (1992)
 - Crump (1994)
 - Paxton (1994a+b)
 - Wong (1995)
 - Utterback (1995)
 - Crump (1996)
 - Schnatter (1996c)
 - Paxton (1996)

- Vergleichende Analysen:**
- Rodricks (1983)
 - Swanson (1985)
 - Byrd (1989)
 - Austin (1988)
 - Paxton (1996)

8.2.3 Kohortenstudien

Es wurden 76 Kohorten gefunden, die den Zusammenhang von Benzol und Leukämierisiko untersuchten. Diese Kohorten beziehen sich nur auf die aktuellsten Follow-up-Studien einer Kohorte, die oft über mehrere Zeitabschnitte verfolgt wurde und über die es meist mehrere Veröffentlichungen gibt. Die erste Kohortenstudie wurde 1967 veröffentlicht.

Die systematisierten Studienergebnisse sind im Anhang in Tabelle 23 auf Seite 155 und in den Abbildungen 3 bis 16 dargestellt. Es existieren einige eingebettete Fall-Kontroll-Studien, die im Kapitel 8.2.4 „Fall-Kontroll-Studien“ beschrieben sind. Die Zusammenhänge zwischen diesen Studien sowie Hinweise auf verwandte Publikationen werden in der Übersichtstabelle 23 auf Seite 155 in der Spalte „Bemerkungen“ aufgeführt.

Die Tabelle 6 gruppiert die Kohortenstudien nach dem Land, in dem sie durchgeführt wurden. Diese Tabelle soll eine mögliche Zuordnung weiterer Publikationen zu den hier beschriebenen Studien erleichtern.

Tabelle 6: Die beschriebenen Kohortenstudien, geordnet nach Land

Europa	Nordamerika	Asien	Australien
<p>Europa: Thorpe 1974</p> <p>Skandinavien: Lynge 1997a</p> <p>Deutschland: Manz 1986 Straif 1998 Mundt 1999</p> <p>Dänemark: Soll-Johanning 1998</p> <p>Finnland: Pukkala 1998</p> <p>Frankreich: Goguel 1967</p> <p>Großbritannien: Fox 1976 Sorahan 1989 Hurley 1991 Rushton 1993a-c Fu 1996 Wilkinson 1999</p> <p>Italien: Lagorio 1994 Fu 1996 Consonni 1999</p> <p>Niederlande: Swaen 1991</p> <p>Schweden: Linnet 1988 Grandjean 1991 Jakobsson 1993 Järholm 1997 Lundberg 1998</p>	<p>Kanada: Theriault 1987 Aronson 1994 Macaluso 1996 Lewis 2000a</p> <p>USA: McMichael 1974 Schottenfeld 1981 Delzell 1981 Meinhardt 1982 Austin 1983 Decoufle 1983 Dubrow 1984a+b Delzell 1984a+b Nelson 1985 Kaplan 1986 Matanoski 1986 Bond 1986a Bond 1986b Wong 1986 Zoloth 1986 Schwartz 1987 Wong 1987a+b Rinsky 1988 Marsh 1991 Arnetz 1991 Shallenberger 1992 Tsai 1993 Wong 1993a Wong 1993b Demers 1994 Crump 1994 Collingwood 1994 Milcarek 1994 Hunting 1995 Honda 1995 Satin 1996 Macaluso 1996 Tsai 1996 Tsai 1997 Ireland 1997 Huebner 1997 Tsai 1998 Raabe 1998 Dement 1998 Divine 1999a-c Huebner 2000 Divine 2000 Lewis 2000b Gamble 2000</p>	<p>Türkei: Aksoy 1982</p> <p>Japan: Nakamura 1987</p> <p>China: Hayes 1997</p>	<p>Australien: Christie 1991a+b Westley-Wise 1999</p>
Summe: 23	48	3	2

Auffallend ist die hohe Anzahl amerikanischer Studien: Aus den USA stammen insgesamt 44 Kohorten, aus Kanada vier, aus Asien drei (Türkei, Japan, China), aus Australien zwei und aus Europa 23 (Finnland, Großbritannien, Deutschland, Italien, Niederlande, Frankreich, Dänemark, Schweden und zwei multizentrische Studien in Europa und Skandinavien). Die Kohorten aus den USA stammen primär aus der Erdölindustrie. Die anderen Kohorten lassen sich meist der Chemieindustrie, der Gummiindustrie, der Kohlebranche und den Arbeitsbereichen Tankstellen bzw. Autowerkstätten zuordnen.

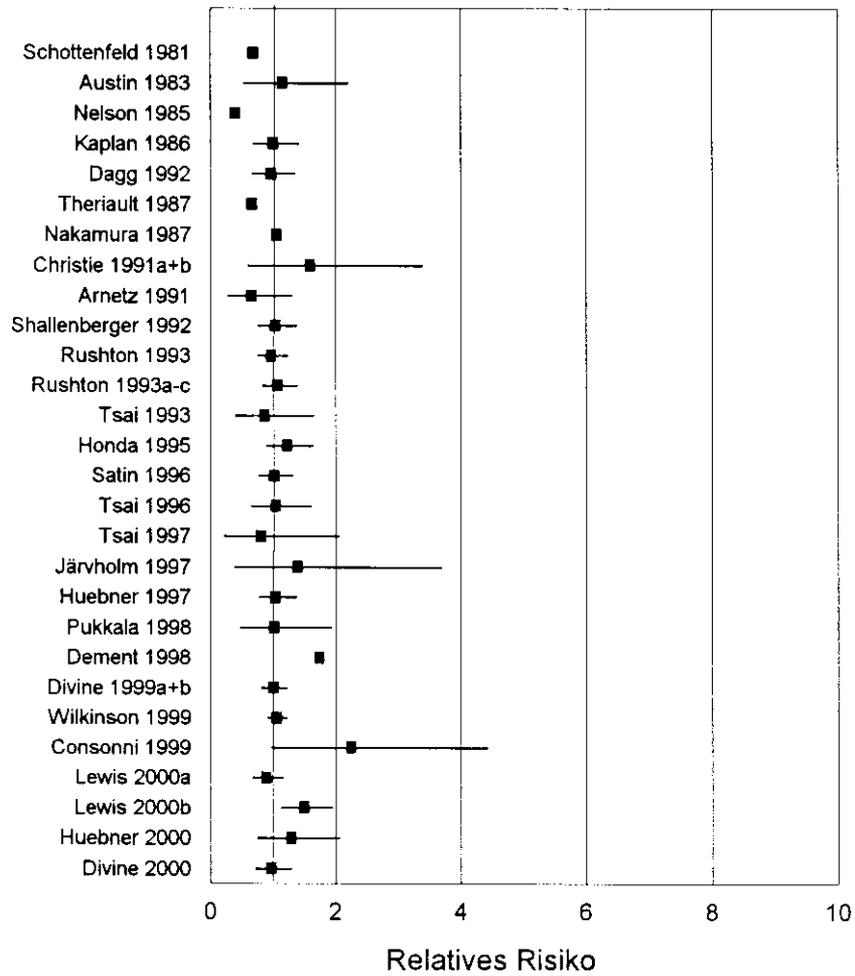
In den Abbildungen 3 bis 10 im Anhang sind die Ergebnisse der Kohorten zusammengestellt, jeweils geordnet nach Veröffentlichungsjahr. Die Studienergebnisse sind soweit wie möglich nach Leukämieart bzw. Branche differenziert dargestellt. Leider fehlen die Konfidenzintervalle bei älteren, vor 1983 publizierten Studien. Dadurch können nur eingeschränkt Aussagen zu den Ergebnissen dieser Studien gemacht werden.

Bei den Ergebnissen der Kohortenstudien aus der amerikanischen Erdölindustrie, die Raabe (1996) zusammenfasste, wurden SMRs berechnet, auch wenn keine Leukämiefälle in der untersuchten Kohorte auftraten. So lässt sich erklären, dass einige SMRs 0 betragen und z. B. ein Konfidenzintervall von 0-3 haben.

In der Erdölbranche bewegen sich die Risiken für Leukämie nahe 1⁶ (Abbildung 3). Statistisch signifikante Ergebnisse (erkennbar durch ein Konfidenzintervall außerhalb von 1) sind kaum vorhanden. Für die Mehrzahl der vorliegenden Studienergebnisse ist in der Erdölindustrie keine Risikoerhöhung für Leukämie zu erkennen.

⁶ Ein relatives Risiko von 1 bedeutet, dass Exponierte das gleiche Risiko für eine definierte Krankheit haben wie Nichtexponierte.

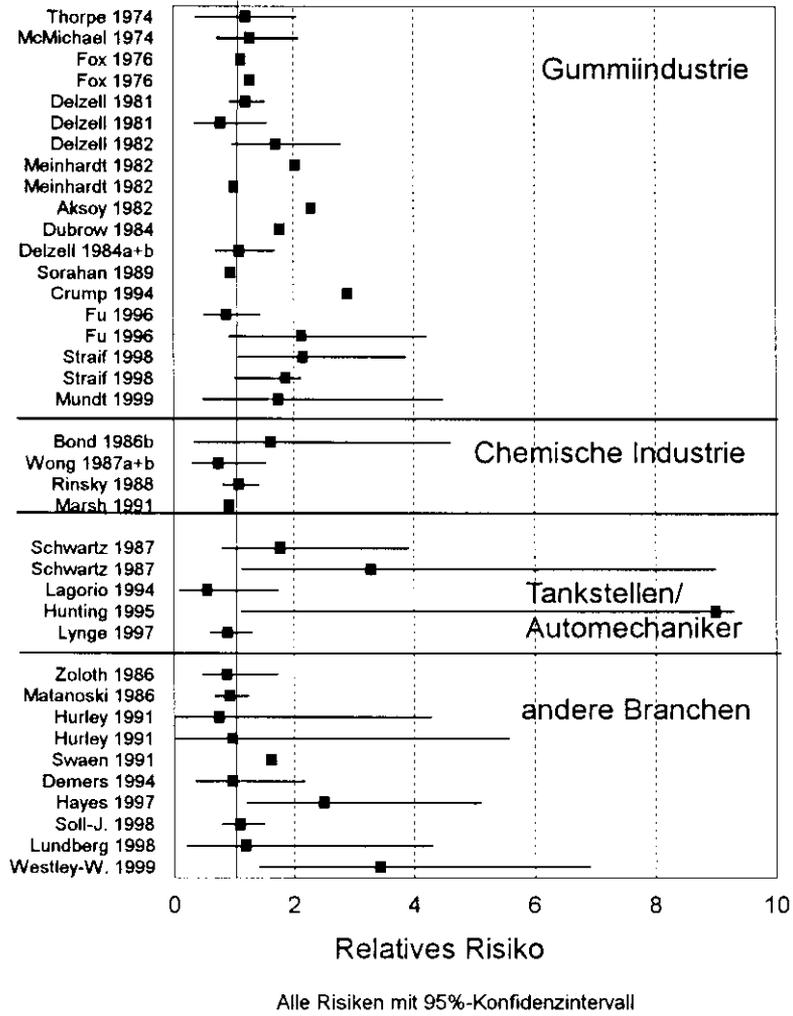
Abbildung 3:
 Risiko für Leukämie in der Erdölbranche,
 Kohortenstudien



Alle Risiken mit 95%-Konfidenzintervall

Die Risiken für das Auftreten von Leukämie in anderen Branchen werden in Abbildung 4 dargestellt. Es liegen hauptsächlich Ergebnisse aus der Gummiindustrie vor, einige aus der chemischen Industrie und von Tankstellen. Aus anderen Bereichen (Drucker, Maler, Kokereien, Feuerwehr, Farbindustrie, Fahrer u. a.) liegen weitere Einzelergebnisse vor.

Abbildung 4:
Risiko für Leukämie in bestimmten Branchen,
Kohortenstudien



Die Risiken für Leukämieerkrankungen scheinen in der Gummi- und Chemieindustrie sowie bei Automechanikern z.T. erhöht zu sein. Die hohe Streubreite der Risiken und die geringe Anzahl von branchenbezogenen Ergebnissen lassen aber für die Chemieindustrie und die Bereiche Tankstellen/Automechaniker keine gesicherten Aussagen zu. Aus der Gummibranche liegen mehrere Studien vor, hier reduzieren jedoch die großen Konfidenzintervalle bei älteren Studien die Aussagekraft. Die Vergleichbarkeit von Studien aus der Chemieindustrie ist bzgl. der Expositionssituation sehr fraglich, da die Einteilung zu grob ist und die Kenntnis der vorliegenden Mischexpositionen notwendig wäre.

Um eventuelle Zusammenhänge genauer erkennen zu können, wurden die Risiken nach den Leukämiearten (ALL, AML, CLL, CML) geordnet dargestellt (s. Abbildungen 5 bis 10). Diese Daten stammen primär aus der Erdölbranche.

Abbildung 5:
 Risiko für akute lymphatische Leukämie (ALL)
 in der Erdölbranche, Kohortenstudien

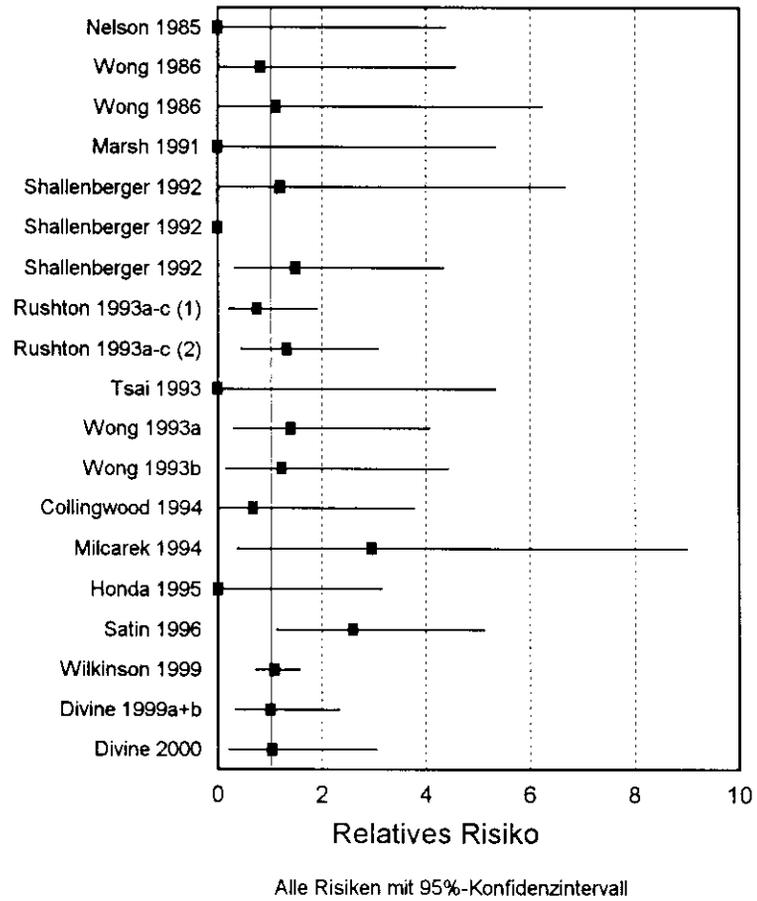


Abbildung 6:
 Risiko für akute myeloische Leukämie (AML)
 in der Erdölbranche, Kohortenstudien

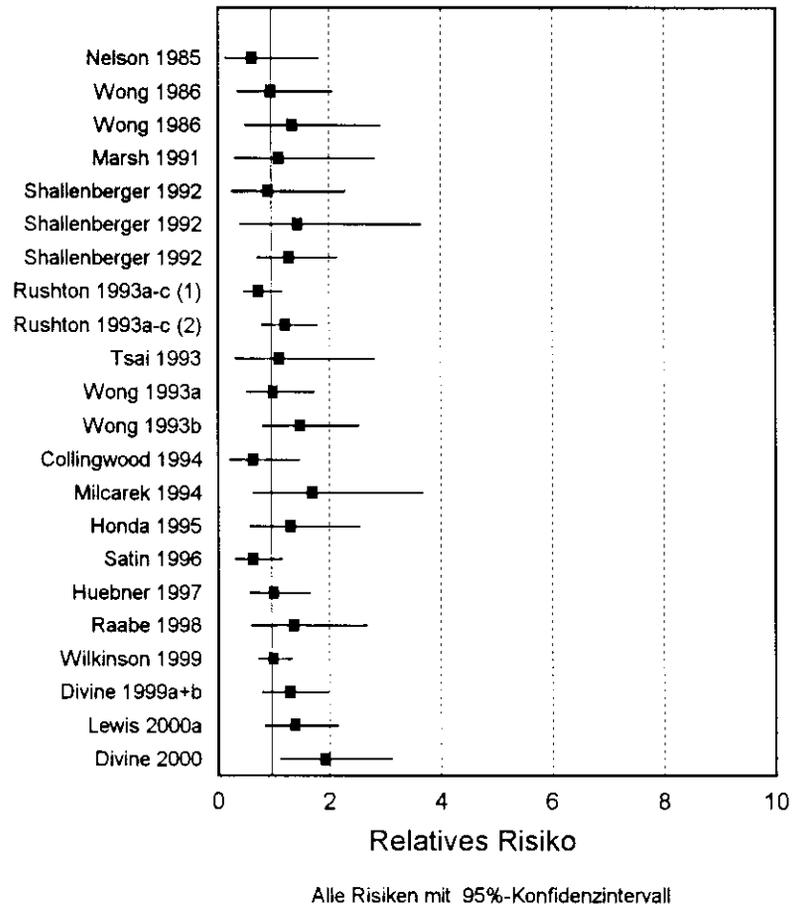


Abbildung 7:
 Risiko für chronische lymphatische Leukämie (CLL)
 in der Erdölbranche, Kohortenstudien

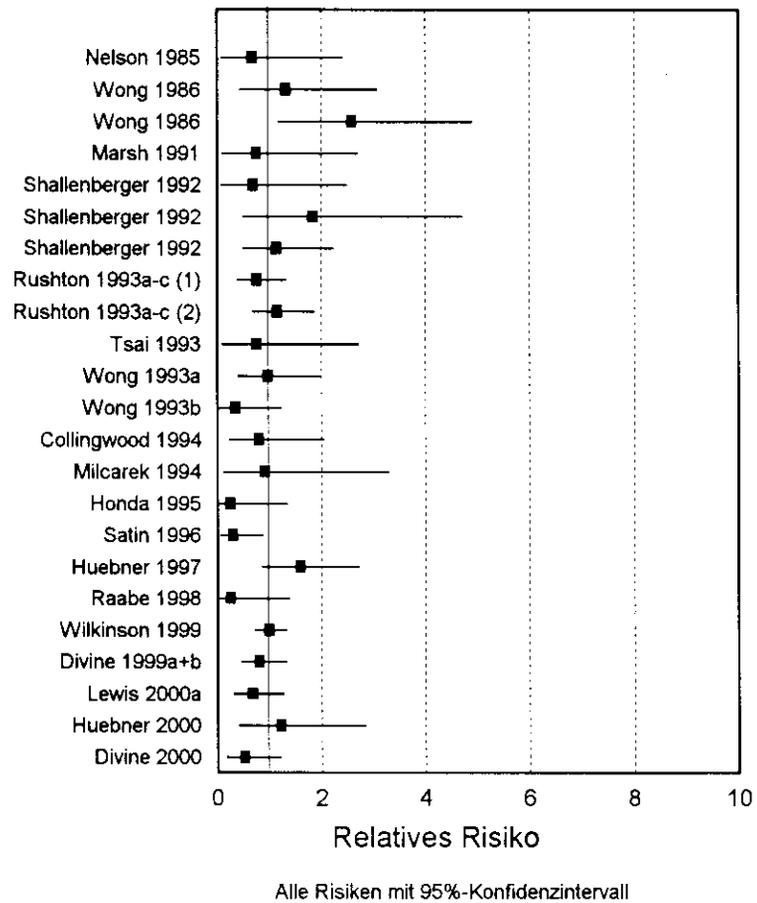
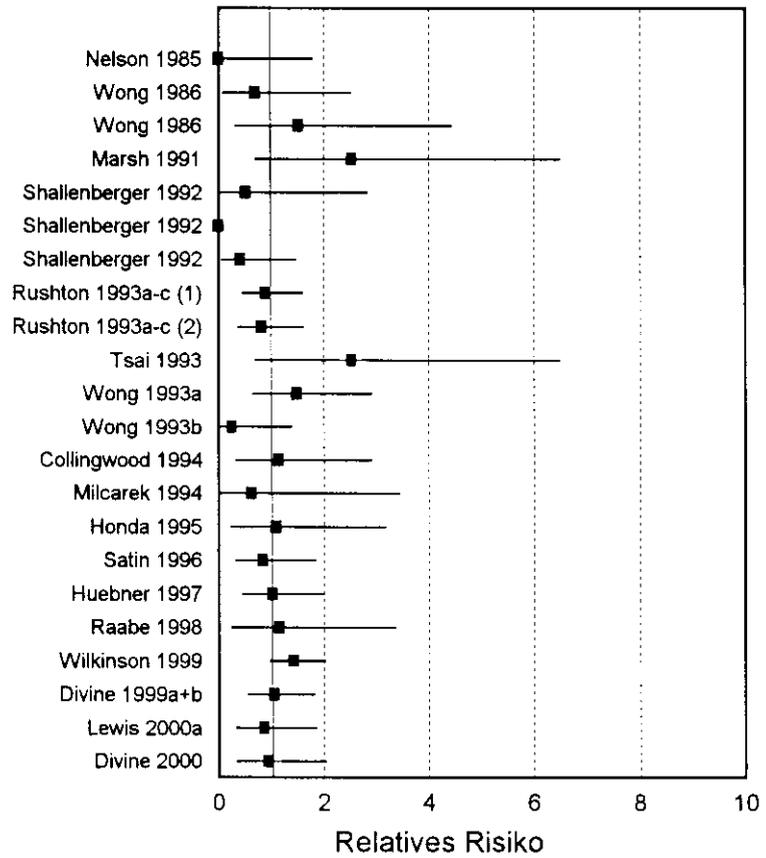


Abbildung 8:
 Risiko für chronische myeloische Leukämie (CML)
 in der Erdölbranche, Kohortenstudien



Alle Risiken mit 95%-Konfidenzintervall

Abbildung 9:
 Risiko für verschiedene Leukämiearten in
 bestimmten Branchen, Kohortenstudien

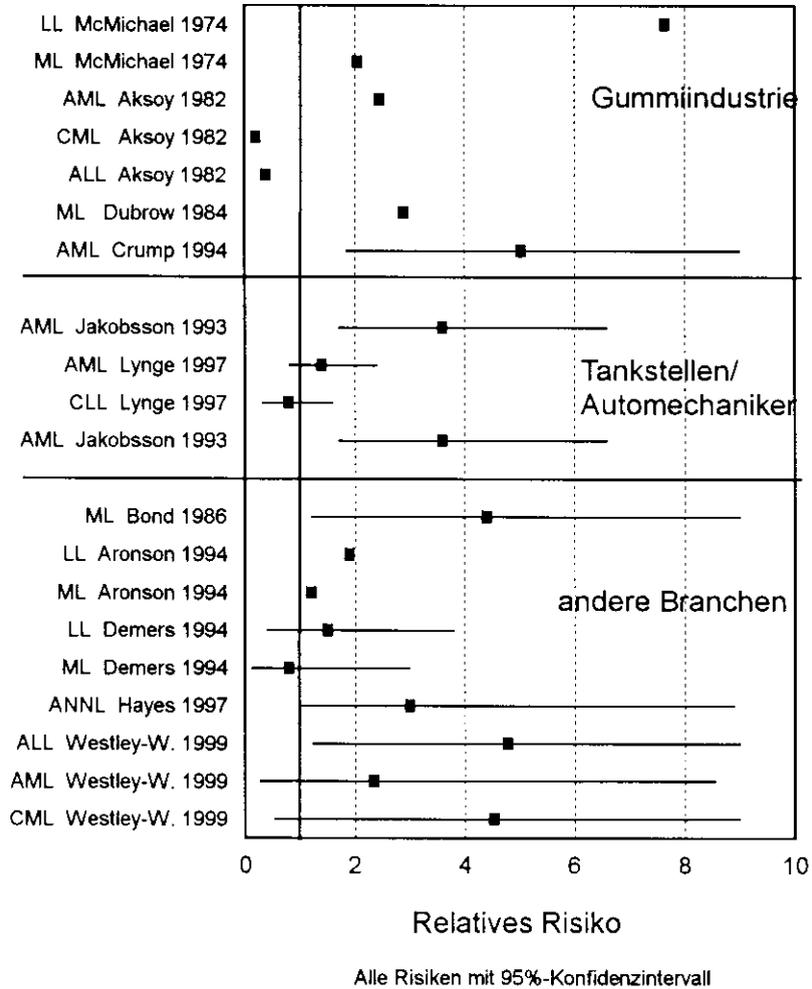
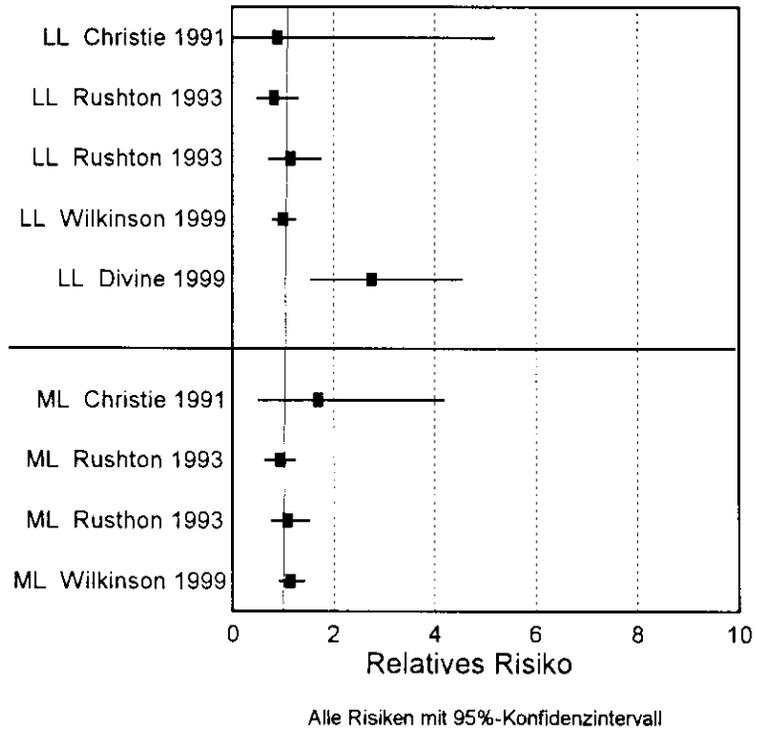


Abbildung 10:
Risiko für lymphatische bzw. myeloische Leukämie
in der Erdölbranche, Kohortenstudien



Stellt man die Ergebnisse der Kohortenstudien, differenziert nach Leukämieart, unbewertet zusammen, kann Folgendes festgestellt werden:

Bei der *akuten lymphatischen Leukämie* (ALL) wurden fast ausschließlich nichtsignifikante Risiken mit einer hohen Streubreite ermittelt (s. Abbildungen 5 und 9). Die meisten Risiken bewegen sich in der Nähe von 1. Die wenigen sehr hohen Werte um 5 erlauben keine Aussagen, da die Konfidenzintervalle fehlen. Die Daten stammen fast nur aus der Erdölbranche.

Bei der *akuten myeloischen Leukämie* (AML) (s. Abbildungen 6 und 9) liegen ebenfalls meist nichtsignifikante Ergebnisse für die Risiken vor, aus einigen Studien konnten jedoch signifikant erhöhte Risiken ermittelt werden, oft mit grossen Konfidenzintervallen. Diese fanden sich in der Gummi- und Nahrungsmittelindustrie (Aksoy, 1982; Linet, 1988), bei Tankstellen (Jakobsson, 1993) und bei der Benutzung von Kreissägen (Linet, 1988). Bei allen Studien aus der Erdölindustrie liegt das Risiko für AML unter 2.

Bei der *chronischen lymphatischen Leukämie* (CLL) (s. Abbildungen 7 und 9) fällt auf, dass nur bei einer Kohorte aus der Erdölindustrie ein signifikantes Risiko vorlag. Die meisten ermittelten Risiken liegen bei 1. Einige Ergebnisse aus einer schwedischen Krebsregisteranalyse weisen zwar erhöhte Risiken für CLL auf, aber es fehlen die Konfidenzintervalle (Linet, 1988). Bei den schwedischen Kohorten scheint die Inzidenz für CLL unter Schneidern, Elektrikern, in der Bekleidungs- und Druckindustrie und beim Möbelbau erhöht zu sein (Linet, 1988; s. Tabelle 23 auf Seite 155). Für CLL liegen nur wenige Studienergebnisse vor.

Bei der *chronischen myeloischen Leukämie* (CML) (s. Abbildungen 8 und 9) zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie bei der CLL. Die Risiken in der Erdölbranche sind nichtsignifikant und bewegen sich nahe 1. Nur zwei weitere Kohorten zeigen ungenaue Punktschätzer aus nicht näher definierten Branchen. Weitere Studien über CML fehlen.

Da in einigen Publikationen nur lymphatische bzw. myeloische Leukämien beschrieben werden, wurden diese gesondert in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt. Bei den Studien aus der Erdölbranche zeigten nur die Studien von Divine (1999a-c) eine starke Risikoerhöhung für lymphatische Leukämie, die anderen Studien wiesen nichtsignifikante Risiken um 1 auf. Bei den wenigen branchenspezifischen Ergebnissen, die für myeloische Leukämie (ML) und lymphatische Leukämie (LL) vorlagen, zeigten sich erhöhte Risiken in der Gummiindustrie (McMichael, 1974; Dubrow, 1984a+b), bei Benzolarbeitern (Bond, 1986b) und bei Feuerwehrmännern. Auffallend war, dass die Risiken von LL immer deutlich über denen von ML lagen, sofern Risiken von ML und LL in einer Studie genannt wurden.

Betrachtet man die bisher vorliegenden Ergebnisse der Kohorten, scheint sich die These von Raabe (1996) zu bestätigen: Ein erhöhtes Auftreten von Leukämie bzw. bestimmter Leukämierarten lässt sich in der Erdölbranche nicht erkennen.

Insgesamt betrachtet, lässt sich aus den vorliegenden Kohorten trotz der vielen Ergebnisse ein positiver Zusammenhang zwischen Leukämieart und Benzolexposition nicht belegen. In der Erdölbranche liegen zwar viele detaillierte Werte bzgl. Leukämieart vor, die Risiken bewegen sich aber i. d. R. um 1. Es zeigt sich ein Trend für ein erhöhtes Leukämierisiko in der Gummiindustrie und bei Automechanikern. Weiterhin zeigt sich eine Erhöhung des AML-Risikos in einigen Branchen, die unzureichende Anzahl von Studien aus den anderen Branchen erlaubt jedoch keine eindeutigen Aussagen.

Die hier vorliegenden Ergebnisse geben nur eine grobe Orientierung, da alle gefundenen Studien unabhängig von ihrer Qualität mitberücksichtigt wurden. An anderer Stelle müssen die Ergebnisse im Studienkontext analysiert und daraus konkrete Erkenntnisse abgeleitet werden.

8.2.4 Fall-Kontroll-Studien

Es wurden 35 Fall-Kontroll-Studien ermittelt, die den Zusammenhang von Benzol und Leukämie untersuchten. Diese Studien, ab 1970 veröffentlicht, liefern Ergebnisse für die unterschiedlichen Leukämierisiken. Die Angaben zu Branchen und mitberücksichtigten Confoundern (z. B. Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Rauchen, Region, Alkoholkonsum, Sozialstatus) waren oft nicht ausreichend bzw. in ihrer Benennung inkonsistent. Durch eine Systematisierung der aus den Originalveröffentlichungen entnommenen Fakten wurde versucht, alle Ergebnisse möglichst einheitlich darzustellen. Die systematisierten Daten dieser Studien sind im Anhang in Tabelle 24 auf Seite 178 chronologisch nach dem Veröffentlichungsjahr aufgelistet. Bei der grafischen Darstellung der Studienergebnisse wurden nur die aktuellsten Veröffentlichungen der entsprechenden Fall-Kontroll-Studien verwendet (Abbildungen 11 bis 16). Die ermittelten Risiken sind als „Odds Ratio“ (OR) bzw. „relative Risikorate“ (RR) (einige Veröffentlichungen geben RR bei Fall-Kontroll-Studien an) mit einem 95%-Konfidenzintervall dargestellt. Um die einzelnen Abbildungen besser vergleichen zu können, wurde ein einheitlicher Maßstab für die x-Achse gewählt (Risiko 0 bis 10). Lag der obere Wert des 95%-Konfidenzintervalls über 9, wurde dies durch einen Pfeil symbolisiert. Die Ergebnisse wurden nach den unterschiedlichen Kriterien Veröffentlichungsjahr, Branche bzw. Leukämieart dargestellt. Damit soll ein möglicher Zusammenhang der Leukämieart mit der Branche bzw. dem Beruf erkennbar werden. Da nur in einigen Fall-Kontroll-Studien die Leukämieart angegeben wurde, kann dieser Anspruch nur bedingt erfüllt werden.

In den Abbildungen 11 und 12 auf den Seiten 52 und 53 sind die Studien zusammengestellt, die als Zielkrankheit Leukämie nannten, ohne die Leukämieart näher zu differenzieren. In Abbildung 11 zeigen sich für die Erdölbranche keine signifikanten Risiken. Die meisten Risiken bewegen sich um 1 mit einer gewissen Ungenauigkeit. Drei Studien weisen erhöhte nichtsignifikante Risiken auf, jedoch mit großen Konfidenzintervallen. Die Risiken für das Auftreten von Leukämie in anderen Branchen werden in Abbildung 12 zusammenfassend präsentiert. Die Werte sind recht inhomogen, die Schwankungen sehr unterschiedlich. Die Studien kamen aus den Branchen Transportwesen, Gummiindustrie, chemische Industrie, Druckindustrie, Hochofen bzw. aus den Berufen Tankwarte, Landwirte, Mechaniker, Schuhmacher, Maler, Textilarbeiter bzw. aus anderen, nicht näher definierten Tätigkeiten mit Benzolexposition. Für die meisten Berufe lagen keine auffälligen Risiken vor, erhöhte Risikoschätzer lieferten nur einzelne ältere Studien über Mechaniker (Brownson, 1988) sowie das Transportwesen (Williams, 1977) und nicht näher definierte Branchen. Da gerade diese Studien eine hohe Ungenauigkeit besitzen, können sie nur begrenzt eine branchenbezogene Aussage liefern.

Abbildung 11:
Risiko für Leukämie in der Erdölbranche,
Fall-Kontroll-Studien

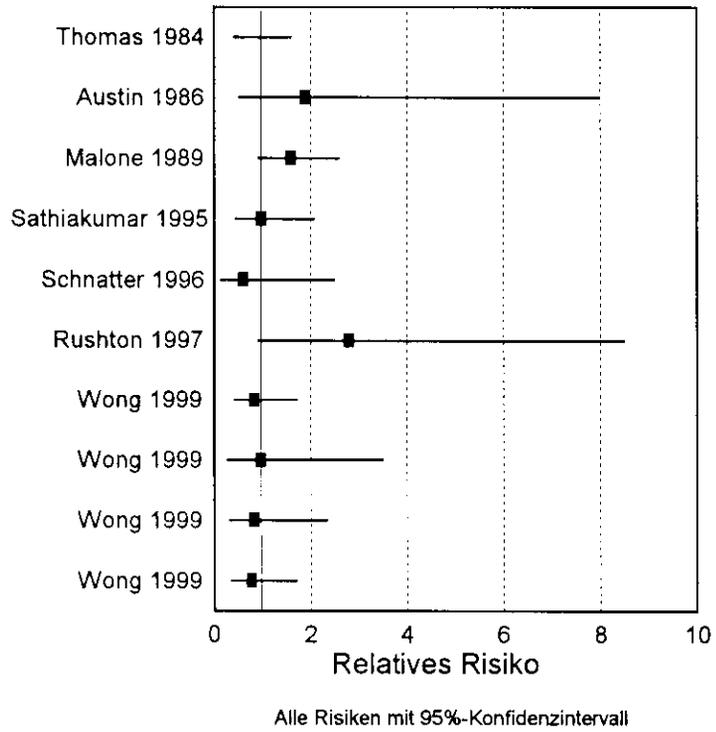
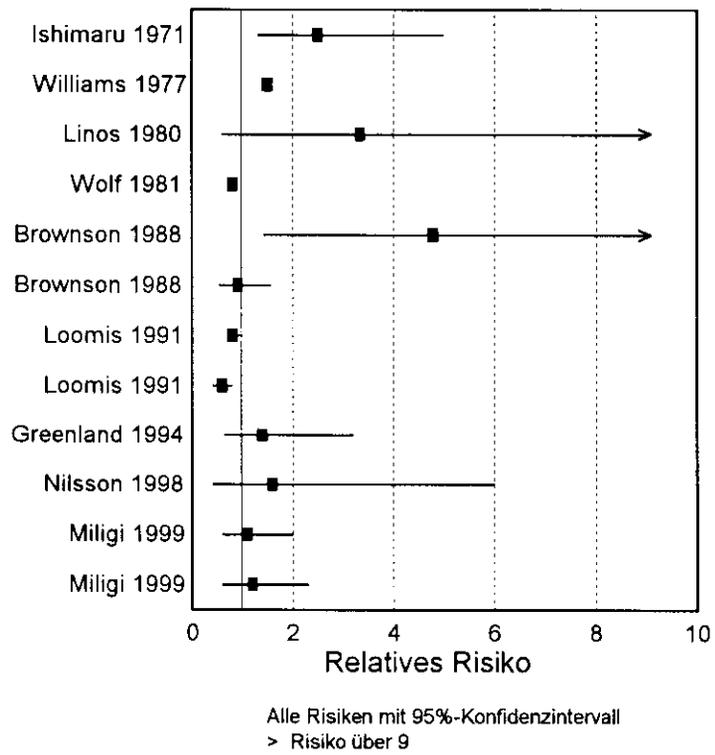


Abbildung 12:
 Risiko für Leukämie in bestimmten Branchen,
 Fall-Kontroll-Studien

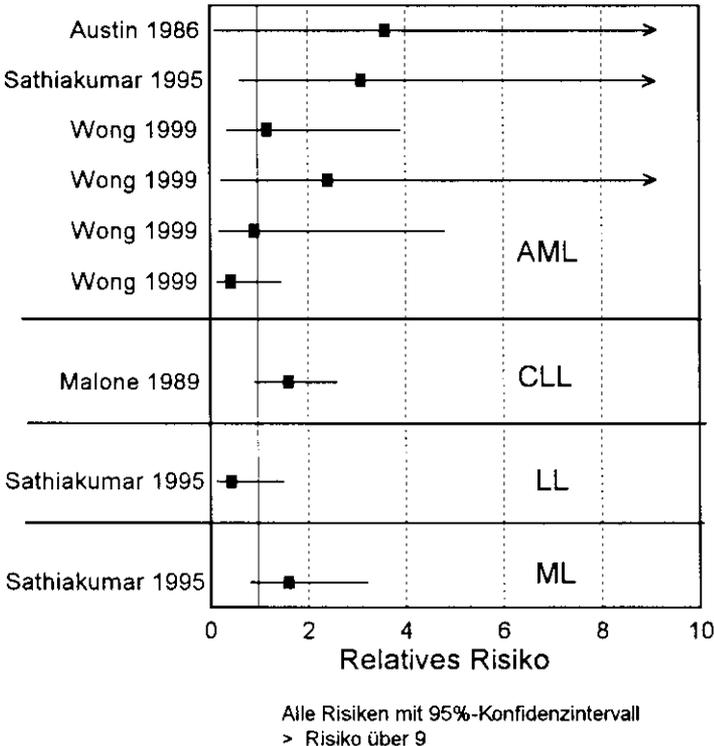


Differenziert man nach der Leukämieart, so zeigen sich bei den Fall-Kontroll-Studien folgende Trends:

Drei von vier Studien weisen auf eine ungenaue, aber signifikante Risikoerhöhung für eine akute Leukämie (s. Abbildung 16 auf Seite 61) hin. Dies betrifft Maler mit Lösungsmittlexposition, andere Branchen sind nicht näher beschrieben.

In der Erdölbranche liegen nur nichtsignifikante Risiken mit hohen Konfidenzintervallen vor (s. Abbildung 13). Da nur für AML mehrere Studienergebnisse vorliegen, für die anderen Leukämiearten jeweils nur ein Ergebnis, können keine differenzierten Aussagen abgeleitet werden.

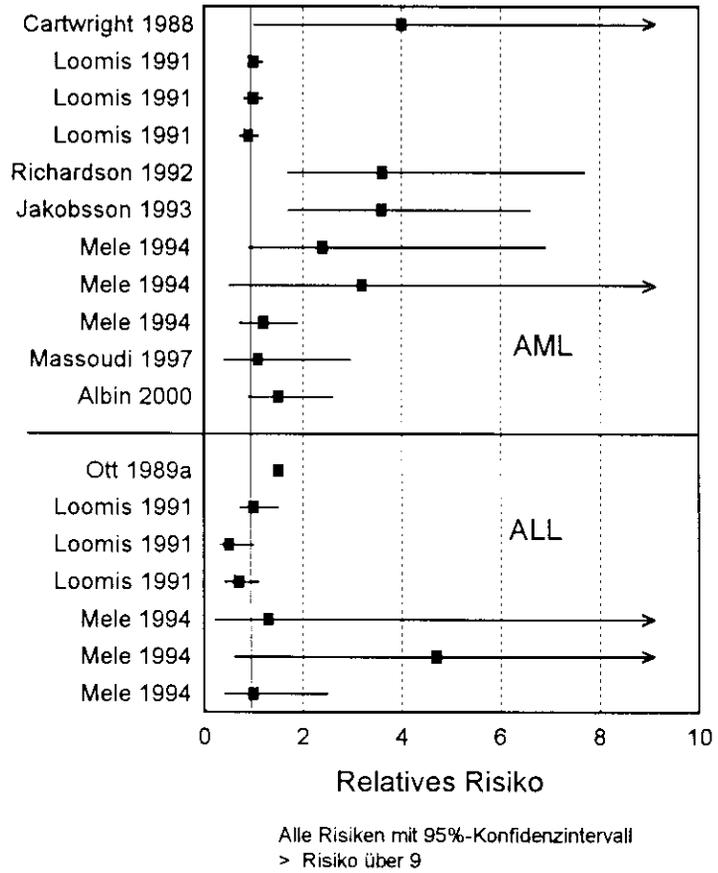
Abbildung 13:
 Risiko für verschiedene Leukämiearten in
 der Erdölbranche, Fall-Kontroll-Studien



Betrachtet man die Ergebnisse nach Leukämieart in anderen Branchen, so können aufgrund der sehr heterogenen Daten nur begrenzt Trends beschrieben werden.

Die bisher ermittelten Risiken für ALL bei Fall-Kontroll-Studien sind alle nichtsignifikant (s. Abbildung 14). Bei Schuhmachern und Malern scheint das Risiko erhöht, es liegen jedoch große Konfidenzintervalle vor.

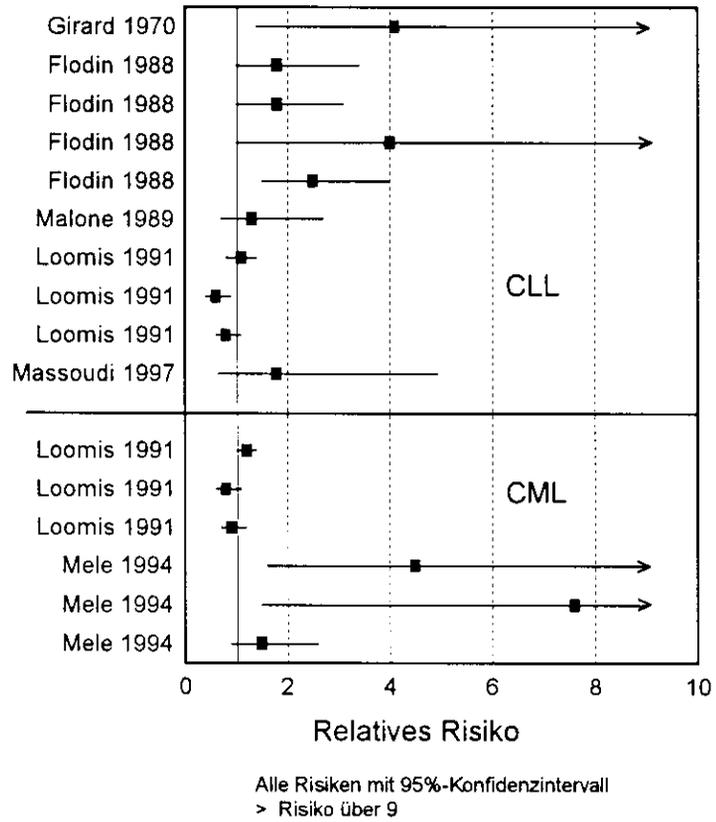
Abbildung 14:
 Risiko für akute Leukämie in bestimmten
 Branchen, Fall-Kontroll-Studien



Für AML beschreiben vier Autoren erhöhte, teilweise signifikante Risiken (für Hochofenarbeiter und Tankwarte), andere Autoren beschreiben Risiken um 1 (für Landwirte, Mechaniker sowie im Transportwesen) (s. Abbildung 14).

Für CLL liefern vor allem Flodin (1988), Loomis (1991) und Malone (1989) Ergebnisse (s. Abbildung 15). Expositionen von Lösungsmitteln, Motorabgasen und bei der Holzverarbeitung zeigten bei Flodin deutlich signifikante Risikoerhöhungen für CLL. Loomis (1991) als auch Malone (1989) fanden hingegen keine auffällige Häufung von CLL in verschiedenen Branchen.

Abbildung 15:
 Risiko für chronische Leukämie in
 bestimmten Branchen, Fall-Kontroll-Studien



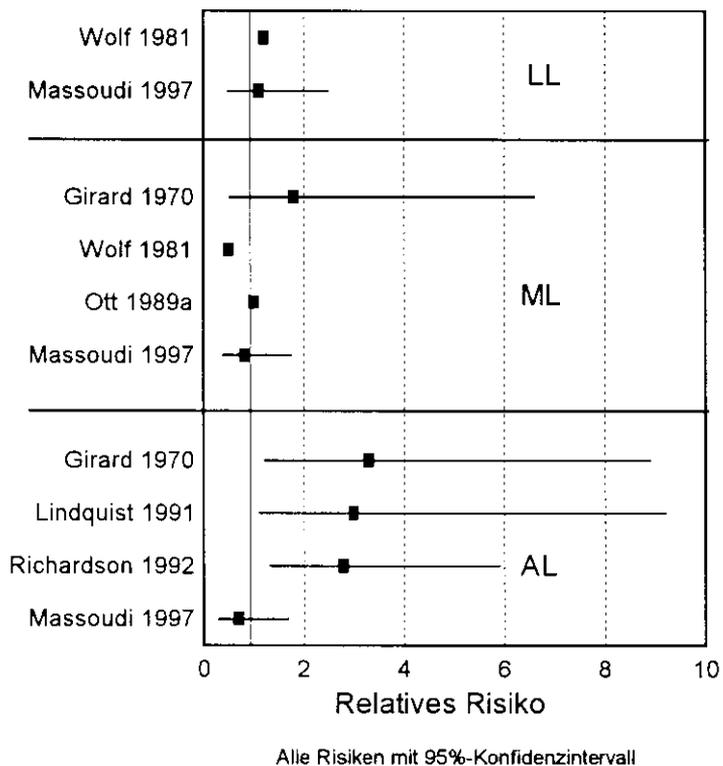
Für CML liegen sehr heterogene Daten aus zwei Studien vor (s. Abbildung 15). Bei Loomis (1991) zeigen sich keine erhöhten Risiken (für Landwirte, Mechaniker und Fahrer), bei Mele (1994) hingegen liegen erhöhte Risiken mit großen Konfidenzintervallen für bestimmte Berufe vor (Schuhmacher, Maler, Landwirte). Da die Ergebnisse dieser italienischen und US-amerikanischen Studie stark voneinander abweichen, ist hier eher ein systematischer Unterschied zwischen den Studien anzunehmen. Der Rückschluss auf eine benzolassoziierte Risikoerhöhung speziell für CML ist daher nicht möglich.

Versucht man die Risiken für die myeloische (ML) und lymphatische Leukämie (LL) den entsprechenden Branchen zuzuordnen (Abbildungen 13 und 16), ergibt sich Folgendes: Für ML liegen nur fünf Studienergebnisse vor, die zu heterogen sind und keine abgesicherten Aussagen erlauben.

Für LL (drei Studienergebnisse) ist keine Risikoerhöhung erkennbar (s. Abbildungen 13 und 16).

Die restlichen Risiken für LL und ML liefern keine signifikanten Ergebnisse. Nur für AL liegen aus drei Studien signifikant erhöhte Risiken für Benzol-exponierte vor, wobei die Branchen nicht näher beschrieben sind.

Abbildung 16:
 Risiko für verschiedene Leukämiearten in
 bestimmten Branchen, Fall-Kontroll-Studien



9 Rauchen

Als ein bekannter Confounder gilt in vielen epidemiologischen Fragestellungen das Rauchen. Bei Studien über Benzol sind fehlende Angaben über die Rauchgewohnheiten der untersuchten Personen besonders kritisch, da Benzol auch über den Zigarettenrauch aufgenommen wird. Dieser Anteil ist zwar gering (s. Kapitel 8.1.2), inwieweit er eine Rolle bei der Leukämogenese spielt, bleibt offen. Zudem kann die schädigende Wirkung anderer giftiger Inhaltsstoffe im Zigarettenrauch einen Einfluss haben.

Über den Beitrag von Benzol in der Umwelt gibt es unterschiedliche Aussagen. Nach Hattemer-Frey (1990) ist der Hauptanteil von Benzol in der Umwelt durch das Rauchen bedingt. Die Mengenangaben für die Benzolaufnahme beim Rauchen variieren in der Literatur zwar, sie bewegen sich aber in etwa in den folgenden Bereichen:

1 Zigarette bewirkt eine Aufnahme von etwa 10 bis 60 μg Benzol.

20 Zigaretten pro Tag bewirken eine Aufnahme von ca. 400 μg Benzol (Eikmann, 1992b).

Die mittlere Benzolkonzentration in einer Raucherwohnung beträgt ca. 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in einer Nichtraucherwohnung ca. 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (s. Kapitel 8.1.1).

Um festzustellen, ob und wie stark das Risiko einer benzolverursachten Leukämie durch die berufliche Exposition bzw. durch das Rauchen bedingt ist, müssen in den Studien detaillierte Angaben zu den Rauchgewohnheiten vorliegen. Durch statistische Auswertungen beim Vergleich von rauchenden bzw. nichtrauchenden Benzol-exponierten und -nichtexponierten kann dieser Risikoanteil berechnet werden. Bei älteren Studien wurde die Erfassung der Rauchgewohnheiten häufig vernachlässigt, bei neueren Studien hingegen sollte dieser Confounder berücksichtigt und in die Auswertungen einbezogen werden.

Wenn Studien diesen Confounder nicht mitberücksichtigt haben, kann über die Wahrscheinlichkeit des Einflusses von Rauchen auf die Ergebnisse nur spekuliert werden. In einigen Branchen herrscht zwar Rauchverbot wie z. B. in der Erdölbranche oder an Tankstellen. Ob die untersuchten Personen jedoch im Privatbereich rauchten, ist bei diesen Studien unbekannt.

Korte, et al. (2000) hat versucht, den Anteil von Benzol am raucherassoziierten Leukämierisiko zu berechnen. Basierend auf verschiedenen Modellen berechnete er, dass Benzol im Zigarettenrauch zu 8 bis 48 % bei raucherbedingten Leukämiefällen bzw. zu 12 bis 58 % bei raucherbedingten AML-Fällen beitrug.

10 Dosis-Wirkungs-Beziehung

Da für das Thema „Benzol und Leukämie“ eine vergleichsweise hohe Anzahl von epidemiologischen Publikationen vorliegt, besonders auch bzgl. der Daten aus der Pliofilm-Studie, existieren in der Fachliteratur auch einige Abschätzungen für eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Unter der Annahme, dass ein einfaches, lineares Modell gilt, wurden von verschiedenen Autoren „unit risks“ ermittelt. Dies heißt: Eine Erhöhung der Belastungsdosis führt zu einem entsprechenden Anstieg des Leukämierisikos. Diese Annahme könnte im vorliegenden Fall das Risiko etwas überschätzen, da im Niedrigdosisbereich eher eine nichtlineare Kinetik im menschlichen Körper auftritt. Solange jedoch die benzolinduzierten Vorgänge im Menschen nicht ausreichend erforscht sind, können entsprechende „unit risks“ nur unter Vorbehalt ermittelt werden.

Ein weiteres Problem ist die Berechnung des attributablen Risikos. Bei der Nennung einer Dosis von z. B. 40 ppm-Jahren kann es eine Rolle spielen, ob diese Dosis aus einer hohen Konzentration über einen kurzen Zeitraum oder aus einer geringen Konzentration über einen längeren Zeitraum gebildet wurde. Bei den genannten Dosen ist dies nicht erkennbar. Weiterhin bestehen Verzerrungen bei der Berechnung des attributablen Risikos. Es ist nicht erkennbar, ob die Vergleichsgruppe nicht exponiert war. Daher ist ein Vergleich der bisher ermittelten attributablen Risiken nur unter Vorbehalt statthaft.

Die bisher in der Literatur veröffentlichten Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Benzol und Leukämie sind in der Tabelle 7 zusammengefasst:

Tabelle 7: Bisher ermittelte Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Benzol und Leukämie

Quellen	Dosis [ppm-Jahre]	Geschätztes relatives Risiko OR, SMR, RR	Bemerkungen
Bond 1986b	0-42 42-83 >83	SMR 1,67 (0,14-4,9) SMR 0 (0-3,3) SMR 2,50 (0-10)	Dow
Rinsky 1987	40	OR 1,7 (1,2-2,5)	Gummiindustrie
Wong 1987b	<15 15-60 >60	SMR 0,97 (0,12-3,49) SMR 0,78 (0,02-4,34) SMR 2,76 (0,57-8,06)	Chemiefabrik (CMA)
Rinsky 1981	400	OR 2,21 (0,048-98)	Gummiindustrie (Pliofilm)
Paxton 1994b	0-5 5-50 50-500 >500	SMR 1,33 (0,03-7,43) SMR 1,79 (0,22-6,45) SMR 2,80 (0,8-7,16) SMR 11,9 (4,8-24,44)	Gummiindustrie (Pliofilm)
Ireland 1997	0 >1 1-6 >6	SMR 1,1 (0,4-2,6) SMR 2,5 (0,3-8,9) SMR 0 SMR 4,6 (0,9-13,4)	Chemiewerk (Monsanto)
Schnatter 1996a+b	1	OR 1,002	Erdölindustrie
Rushton 1997	<0,45 0,45-4,4 4,5-45 >45	OR 1,0 OR 1,42 OR 1,48 OR 1,35	Erdölindustrie
Hayes 1997	<40 40-99 >100	RR 1,9 (0,8-4,7) RR 3,1 (1,2-8,0) RR 2,7 (1,2-6,0)	verschiedene Branchen
Finkelstein 2000b	bei 30 Jahren Exposition: 0,1 ppm 0,5 ppm 1 ppm 5 ppm	OR 1,01 OR 1,04 OR 1,08 OR 1,50	kumulative Exposition, Risiko sinkt, je weiter die Benzolexposition zurückliegt
Quellen	Dosis [ppm-Jahre]	attributables Risiko: zusätzliche Leukämiefälle auf 1000 Arbeiter	Bemerkungen
Rinsky 1987	4	geringfügiger Anstieg	Gummiindustrie
OSHA 1987	40	9,5 (3,5-21)	Industriearbeiter
Rinsky 1981	45	5-15	Industriearbeiter
OSHA 1987	200	46 (17-95)	Industriearbeiter
Austin 1987	300	50-80	Gummiindustrie
Landrigan 1984	450	14	Gummiindustrie
Rinsky 1987	450	44-152	Gummiindustrie (Pliofilm)
	450	48-136	Industriearbeiter
Swaen 1989	400 300	6,8 für AML 8 für AML	

Die Heterogenität der bisher geschätzten Dosis-Wirkungs-Beziehungen erschwert die Interpretation. Da bei den meisten Untersuchungen zu wenig Fälle einer bestimmten

Leukämieart auftraten, wurden die Risikoabschätzungen fast immer nur auf nicht näher differenzierte Leukämie bezogen. Auf die Leukämieart bezogene Dosis-Wirkungs-Beziehungen liegen daher kaum vor. Aufgrund des noch unzureichenden Datenmaterials können dazu zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine gesicherten Aussagen gemacht werden.

Die Abschätzungen für „unit risks“ bewegen sich zwischen etwa $6-9 \times 10^{-6}$ pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$:

Institution/Autor	Unit-Risk-Abschätzung für Leukämien
WHO (1996)	6×10^{-6} pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$
EPA (1997)	$8,3 \times 10^{-6}$ pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$
DKFZ/Wahrendorf (1990)	$9,2 \times 10^{-6}$ pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Viele dieser Risikoabschätzungen basieren auf der schon erwähnten Pliofilm-Studie. Da die Berechnungen auf unterschiedlichen Modellen und Annahmen basieren, muss bei jeder ermittelten Dosis-Wirkungs-Beziehung die entsprechende Veröffentlichung kritisch betrachtet werden. Endgültige Aussagen können derzeit noch nicht gemacht werden.

11 Zusammenfassung

In der vorliegenden Übersichtsarbeit wurden Studienergebnisse aus der internationalen Fachliteratur zusammengeführt: Dies sind zum einen Studien, die Informationen über die Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen und im privaten Bereich liefern, zum anderen sind es epidemiologische Studien, aus denen relative Leukämierisiken für benzol-exponierte Personen abgeleitet wurden. Die Expositionsergebnisse sind heterogen und im internationalen Kontext nur begrenzt miteinander vergleichbar aufgrund folgender Tatsachen:

- Die Expositionsdaten beziehen sich auf verschiedene Branchen bzw. Arbeitsplätze.
- In verschiedenen Ländern werden teilweise unterschiedliche Messverfahren und -strategien angewandt.
- Die Daten stammen aus ganz unterschiedlichen Zeiträumen (von 1935 bis 2001).

Bei den epidemiologischen Studien gibt es die folgenden Einschränkungen:

- teilweise zu geringe Fallzahlen
- häufig keine differenzierte Angabe der Leukämieart
- die lange Latenzzeit von Leukämie
- z. T. zu wenige Studien aus bestimmten Branchen
- meist sind Mischexpositionen vorhanden
- weitere Fehlerquellen wie healthy-worker-effect, Selektionsbias, Informationbias, u. a.

Aus dem Versuch, die Studienergebnisse zusammenzufassen, lassen sich dennoch die folgenden Trends ableiten:

Exposition

Expositionsdaten liegen hauptsächlich aus den Branchen Erdölraffinerien und Tankstellen sowie aus Stadtluftmessungen vor. Die Branchen mit den höchsten Benzolexpositionen waren früher die chemische Industrie (bis zu 55 mg/m³ in den 70er-Jahren), die Gummiindustrie (bis zu 2080 mg/m³ in Schuhfabriken in den 70er-Jahren) und die Druckindustrie (bis zu 3445 mg/m³ in den 30er-Jahren). In den letzten Jahrzehnten konnten die Benzolkonzentrationen durch technische Schutzmaßnahmen und Ersatz- bzw. Verbotsregelungen jedoch stark gesenkt werden. Trotzdem lassen sich in bestimmten Arbeitsbereichen Benzolexpositionen bisher nicht völlig vermeiden.

Aus Kokereien liegen nur wenige Expositionsdaten vor. In der heutigen Zeit kann es, international betrachtet, bei bestimmten Tätigkeiten kurzfristig noch zu erhöhten Expositionen kommen: In Kfz-Werkstätten (bis zu 12 mg/m³), beim Umfüllen von Benzol (in der chemischen

Industrie und der Erdölbranche), besonders beim Reinigen von Erdöltanks, bei Reparatur und Tanken von Flugzeugen (bis 30 mg/m^3), außerdem in der Schuhproduktion, in Gießereien, bei der Feuerwehr und bei Malertätigkeiten.

In Deutschland liegen die Benzolexpositionen in den letzten 20 Jahren i.d.R. unter den Grenzwerten von 16 mg/m^3 in den 80er- und 8 mg/m^3 in den 90er-Jahren sowie $3,2 \text{ mg/m}^3$ derzeit. Vor allem kurzzeitig erhöhte Benzolexpositionen sind möglich (bei der Benzolherstellung, in Raffinerieanlagen, in Abfüllanlagen von Kraftstoff, auf Tankschiffen, in Tanklagern, beim Betanken von Neufahrzeugen). Der Großteil entsprechender Messdaten liegt jedoch unterhalb der Grenzwerte. Aus den letzten Jahren liegen nur wenige Messdaten vor, die meisten deutschen Expositionsdaten stammen aus den Jahren 1981 bis 1992. Die im BGAA-Report 1/99 vorgestellten Messergebnisse beziehen sich z. B. auf den Zeitraum 1991 bis 1995 und liegen, mit Ausnahme der bei der Tankreinigung gemessenen Resultate, weit unter den Grenzwerten.

In der internationalen Literatur werden die Benzolbelastungen insbesondere den Verkehrsabgasen zugeschrieben. Im Vergleich zur beruflichen Exposition sind die Benzolkonzentrationen im Stadtgebiet aber eher gering (ca. $30 \mu\text{g/m}^3$) und liegen unter den in Deutschland bestehenden Grenzwerten. Zigarettenrauch enthält neben vielen anderen Schadstoffen auch Benzol, dennoch sind die Benzolkonzentrationen in Raucherwohnungen (ca. $11 \mu\text{g/m}^3$) geringer als in der Stadtluft. Die Benzolbelastung im Privatbereich, primär durch Zigarettenrauch und Verkehrsabgase bedingt, scheint im Vergleich mit der beruflichen Exposition wesentlich geringer zu sein.

Risiken

Bei den epidemiologischen Studien ist vor allem die US-amerikanische Pliofilm-Studie erwähnenswert, bei der fast ausschließlich Benzolexpositionen vorlagen und die Arbeitshistorie der Arbeiter gut dokumentiert ist. Die aus dieser Studie ermittelten Risikoabschätzungen liefern eine signifikante SMR zwischen 2,8 und 6,9 bei mehr als 50 ppm-Jahren Benzolbelastung (Paxton, 1996).

Bei den 76 gefundenen internationalen **Kohortenstudien** zeigt sich folgender Trend: Das Leukämierisiko kann in Branchen erhöht sein, in denen hohe Benzolkonzentrationen vorkommen können (Gummi- und Chemieindustrie, Tankstellen und Kfz-Werkstätten). In der Erdölbranche sind die Benzolbelastungen im Durchschnitt relativ gering, nur bei bestimmten Tätigkeiten können kurzzeitig erhöhte Benzolbelastungen auftreten. Die relativen Risiken für Leukämie bzw. für die vier häufig genannten Leukämiearten AML, ALL, CML und CLL sind in

der Erdölbranche nicht erhöht (AML = akute myeloische Leukämie, ALL = akute lymphatische Leukämie, CML = chronische myeloische Leukämie, CLL = chronische lymphatische Leukämie).

Eine Differenzierung nach Leukämieart in anderen Branchen außerhalb der Erdölbranche ist derzeit kaum möglich, da zu wenige Studienergebnisse vorliegen und diese zudem heterogen sind.

Bei den 35 ermittelten **Fall-Kontroll-Studien** liegen widersprüchliche Ergebnisse vor. Aufgrund großer Konfidenzintervalle sind die ermittelten ORs wenig aussagekräftig. Bei Schuhmachern und Malern scheinen die Risiken für akute Leukämie erhöht zu sein, die Ergebnisse sind aber nicht eindeutig. Die Differenzierung nach Leukämieart liefert auch hier keine weiteren Erkenntnisse.

In US-amerikanischen Studien aus der **chemischen Industrie** zeigt sich nur bei hohen Expositionen ein erhöhtes, nichtsignifikantes Leukämierisiko in den 60er- und 70er-Jahren (Abbildung 4 auf Seite 41) (Wong, 1987a+b). Dabei tritt die myeloische Leukämie (ML) häufiger als die lymphatische Leukämie (LL) auf. Die Expositionen unterscheiden sich stark. Es können auch hohe Mischexpositionen auftreten (Tabelle 9 und Abbildung 17 auf den Seiten 130 und 189).

In der **Erdölbranche** ist kein erhöhtes Risiko für Leukämien erkennbar (Abbildungen 3, 5 bis 8, 10 bis 11, 13). Aufgrund der umfangreichen Arbeiten von Raabe und Wong liegen für die Erdölbranche die meisten Studienergebnisse über das Risiko für das Auftreten einer bestimmten Leukämieart vor. Mit bestimmten Tätigkeiten sind immer noch hohe Expositionen verbunden (Reinigen von Tanks, Umfüllen von Tankinhalten, Arbeiten auf Tankschiffen). Insgesamt sind die Expositionen in dieser Branche jedoch stark zurückgegangen. Sie variieren stark und liegen zwischen 0 und 25 mg/m³, meist aber unter 5 mg/m³ (Tabelle 11 und Abbildung 18 auf Seite 131 bzw. 190). Auf Bohrinseln können kurzzeitig hohe Expositionen auftreten, im zeitlichen Mittel betragen sie 1,8 mg/m³ Benzol (Tabelle 10 auf Seite 130).

Die **Gummiindustrie** zählte zwischen 1935 und 1978 (NIOSH, 1974; EPA, 1980) zu den am stärksten benzolexponierten Branchen (Tabelle 14 und Abbildungen 21 und 22 auf Seite 137 bzw. 193 und 194). Dies galt vor allem in den USA und insbesondere für Schuhmacher, Arbeiter bei der Gummioberflächenbehandlung, Farbmischer und Arbeiter in der Kunstlederproduktion noch bis in die 60er-Jahre. Es gibt Hinweise für ein erhöhtes Leukämierisiko, tendenziell für AML (Abbildungen 4 und 9). Es treten mehr myeloische als lymphatische Leukämien auf. Die Expositionen sanken in den letzten vier Jahrzehnten stark.

Auch in der **Druckindustrie** gab es früher sehr hohe Benzolbelastungen (Tabelle 15 auf Seite 138). Es gibt keine Hinweise für ein erhöhtes Risiko für das Auftreten einer bestimmten Leukämieart.

An **Tankstellen** konnten ab den 70er-Jahren die zuvor höheren Benzolkonzentrationen durch technische Schutzmaßnahmen und Senkung des Benzolgehaltes im Kraftstoff stark reduziert werden. Tankwarte waren früher im Mittel Benzolexpositionen von ca. 0,5 bis 2 mg/m³ ausgesetzt (Tabelle 12 und Abbildung 19 auf Seite 134 bzw. 191). Heute sind, insbesondere in Deutschland, Tankwarte nur sehr gering exponiert, da in den 70er-Jahren die Selbstbedienung an Tankstellen eingeführt wurde und man heute automatische Saugrüssel beim Tanken benutzt. Das Risiko für AML scheint erhöht (Abbildung 9 auf Seite 47).

Die Benzolexpositionen in **Kfz-Werkstätten** schwanken stark (Tabelle 13 und Abbildung 20 auf Seite 136 bzw. 192). Sie waren früher etwas erhöht (bis zu 12 mg/m³ möglich), sind aber heute gesunken und liegen meist unter 2 mg/m³ Benzol. Für Automechaniker gibt es Hinweise für ein erhöhtes Leukämierisiko (Abbildungen 4 und 9).

Bei **Feuerwehren** in den USA können hohe Benzolkonzentrationen auftreten, Feuerwehrmänner sind jedoch einer Vielzahl anderer Schadstoffe ausgesetzt. Ein erhöhtes Leukämierisiko ist nicht eindeutig erkennbar (Aronson, 1994; Demers, 1994).

Resümee

Das Leukämierisiko bei Benzolexposition scheint weltweit in der Gummi- und Chemieindustrie sowie bei Tankstellen und Automechanikern etwas erhöht zu sein. Bei den früher hochexponierten Berufen wie Maler und Schuhmacher scheinen die akuten Leukämien (ALL, AML) häufiger aufzutreten. Aufgrund der geringen Anzahl von Studien und der hohen Streubreite der ermittelten Risiken lassen sich jedoch keine gesicherten Aussagen bzgl. der Leukämieart ableiten. Die geringen Fallzahlen in den meisten Studien sowie die lange Latenzzeit von Leukämie erschweren die Interpretation der Studienergebnisse erheblich.

Auf der Grundlage des heutigen Wissenstandes kann noch keine klare Aussage bzgl. des benzolassoziierten Risikos für eine bestimmte Leukämieart gemacht werden.

Für genauere Aussagen über eine Dosis-Wirkungs-Beziehung von Benzol und Leukämie ist eine weitere detaillierte Analyse der Studienergebnisse erforderlich. Die vorliegende Zusammenfassung kann eine gute Basis für diese Aufgabe bieten.

12 Literatur

- AGBKD: Arbeitsgemeinschaft Bevölkerungsbezogener Krebsregister in Deutschland (Hrsg.): Krebs in Deutschland. Häufigkeiten und Trends. AGBKD, Saarbrücken 1999
- AgipPetroli (1993): Daten nicht publiziert, aber erhältlich bei: AgipPetroli, Sede Centrale, Via Laurentina 449, 00142 Rom
- Aksoy, M.; Erdem, S.; Dincol, G.: Leukemia in shoeworkers exposed chronically to benzene. *Blood* 44 (1974a), S. 837-841
- Aksoy, M.; Erdem, S.; Erdogan, G., et al.: Acute leukemia in two generations following chronic exposure to benzene. *Hum. Hered.* 24 (1974b), S. 70-74
- Aksoy, M.; Erdem, S.; Dincol, G. : Types of leukaemia in chronic benzene poisoning: a study in thirty-four patients. *Acta Haematologica* 55 (1974c), S. 65-72
- Aksoy, M.; Erdem, S.; Dincol, G. : Types of leukemia in chronic benzene poisoning. A study in thirty-four patients. *Acta Haematologica* 55 (1976a), S. 65-73
- Aksoy, M.; Erdem, S.; Erdogan, G., et al.: Combination of genetic factors and chronic exposure to benzene in the aetiology of leukaemia. *Hum. Hered.* 26 (1976b), S. 149-153
- Aksoy, M.: Different types of malignancies due to occupational exposure to benzene. A review of recent observations in Turkey. *Environ. Res.* 23 (1980), S. 181-190
- Aksoy, M.: Problems with benzene in Turkey. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 1 (1981), S. 147-155
- Aksoy, M.: Benzene: Leukaemia and malignant lymphoma. In: Roath, S. (Ed.): *Topical reviews in haematology*. Vol. 2. Wright-PSG, Bristol 1982, S. 105-139
- Aksoy, M.: Malignancies due to occupational exposure to benzene. *Am. J. Ind. Med.* 7 (1985), S. 395-402
- Aksoy, M.: Chronic lymphoid leukaemia and hairy cell leukemia due to chronic exposure to benzene: report of three cases. *Br. J. Haematol.* 66 (1987a), S. 209-211
- Aksoy, M.; Özeris, S.; Sabuncu, H.: Exposure to benzene in Turkey between 1983 and 1985: a haematological study on 231 workers. *Br. J. Ind. Med.* 44 (1987b), S. 785-787
- Aksoy, M.: Hematotoxicity and carcinogenicity of benzene. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989), S. 193-197

- Aksoy, M.; Dincol, K.; Erdem, S., et al.: Acute leukemia due to exposure to benzene. *Am. J. Med.* 52 (1992), S. 160-166
- Aksoy, M.: Benzene and malignancies. In: Mehlman, M.A.; Upton, A. (Eds.): *The identification and control of environmental and occupational diseases: hazards and risks of chemicals in the oil refining industry, advances in modern environmental toxicology*. Vol. XXIII. Princeton Scientific Publishing, Princeton 1994, S. 277-285
- Albert, R.E.: Carcinogen assessment group's final report on population risk to ambient benzene exposure. EPA 450/5-80-004. Environmental Protection Agency, Triangle Park NC 1979
- Albin, M.; Björk, J.; Welinder, H.; Tinnerberg, H.; Mauritzson, N.; Johansson, B., et al.: Acute myeloid leukemia and clonal chromosome aberrations in relation to past exposure to organic solvents. *Scand. J. Work Environ. Health* 26 (2000), S. 482-491
- Alderson, M.; Rushton, L.: Mortality patterns in eight U.K. oil refineries. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 381 (1982), S. 139-145
- American Petroleum Institute: A nested case-control study of kidney cancer, leukaemia and multiple myeloma in a cohort of land-based terminal workers exposed to gasoline in the petroleum industry. Health Environmental Services, Washington 1994
- Andersen, A.; Barlow, L.: Work related cancer in the Nordic countries. *Scand. J. Work Environ. Health* 25 (Suppl. 2) (1999)
- Angerer, J.; Scherer, G.; Schaller, K.H., et al.: The determination of benzene in human blood as an indicator of environmental exposure to volatile aromatic compounds. *Fresenius J. Anal. Chem.* 339 (1991), S. 740-742
- Anon: Low levels of suspect carcinogens found in coal liquefaction facilities. *Occup. Saf. Health Rep.* 9 (1980), S. 1163-1164
- Arbetarskyddsstyrelsen: Rationale for the exposure limit, benzene. Solna 1981
- Areskoug, H.: Exposure to benzene and alkylbenzenes at a petroleum refinery. *Inst. teknisk kemi, Chalmers tekniska högskola, Göteborg* 1979
- Armstrong, T.W.; Pearlman, E.D.; Schnatter, A.R.: Retrospective benzene and total hydrocarbon exposure assessment for a petroleum marketing and distribution worker epidemiology study. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 57 (1996), S. 333-343
- Arnetz, B.B.; Raymond, L.W.; Nicolich, M.J.; Vargo, L.: Mortality among petrochemical science and engineering employees. *Arch. Environ. Health* 46 (1991), S. 237-248

- Aronson, K.J.; Tomlinson, G.A.; Smith, L.: Mortality among fire fighters in metropolitan Toronto. *Am. J. Ind. Med.* 26 (1994), S. 89-101
- Arp, E.W.; Wolf, P.H.; Checkoway, H.: Lymphotic leukemia and exposures to benzene and other solvents in the rubber industry. *J. Occup. Med.* 25 (1983), S. 598-602
- Auffahrt, I.; Hebisch, R.; Rentel, K.H.: Stoffbelastungen im Kraftfahrzeuggewerbe. Gefährliche Arbeitsstoffe 50. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1997
- Aul, C.; Bowen, D.T.; Yoshida, Y.: Pathogenesis, etiology and epidemiology of myelodysplastic syndromes. *Haematologica* 83 (1998), S. 71-86
- Austin, H.; Cole, P.; McCraw, D.S.: A case-control study of leukemia at an oil refinery. *J. Occup. Med.* 28 (1986), S. 1169-1173
- Austin, H.; Delzell, E.; Cole, P.: Benzene and leukemia. A review of the literature and a risk assessment. *Am. J. Epidemiol.* 127 (3) (1988), S. 419-439
- Austin, H.; Delzell, E.; Cole, P.: Benzene and leukemia. Letter to the editor. *N. Engl. J. Med.* 317 (1987), S. 1027-1028
- Austin, S.G.; Schnatter, A.R.: A cohort mortality study of petrochemical workers. *J. Occup. Med.* 25 (4) (1983), S. 304-312
- Bailey, J.C.; Schmidl, B.: A survey of hydrocarbons emitted in vehicle exhaust gases, over a range of driving speeds and conditions from a representative sample of the 1986-87 UK vehicle fleet. Report LR 673. Stevenage, Herts, Warren Spring Laboratory 1989
- Barrot, R.: Benzolexposition vor sechszwanzig Jahren: Vier Beispiele für retrospektive Ermittlungen. *ErgoMed* 22 (1998), S. 100-104
- Barrot, R.: Benzolbelastung bei Tankwarten – Vorschlag für die retrospektive Ermittlung. *ErgoMed* 6 (1997), S. 200-205
- Bartman, T.: Benzene: A case study. In: Lave, L.B. (Ed.): *Quantitative risk assessment in regulation*. The Brookings Institution, Washington DC 1982, S. 99-134
- Baxter, P.J.; McDowall, M.E.: Occupation and cancer in London: an investigation into nasal and bladder cancer using the cancer atlas. *Br. J. Ind. Med.* 43 (1986), S. 44-49
- Becker, N.; Wahrendorf, J.: *Krebsatlas der Bundesrepublik Deutschland 1981-1990*. 3. Aufl. Springer, Berlin 1998
- BeKV: Mehrtens, G.; Perlebach, E.: *Die Berufskrankheitenverordnung. Ergänzbare Sammlung der Vorschriften, Merkblätter und Materialien*. 25. Lieferung III/1995. Erich Schmidt, Berlin 1995

- BeKV: 2. Verordnung zur Änderung der Berufskrankheitenverordnung vom 18.12.1992
- BeKV: Berufskrankheitenverordnung vom 12.5.1925
- Bergsagel, D.E.; Wong, O.; Bergsagel, P.L.; Alexanian, R.; Anderson, K.; Kyle, R.A.; Raabe, G.K.: Benzene and multiple myeloma: appraisal of the scientific evidence. *Blood* 94 (1999), S. 1174-1182
- Berlin, M.: Low level benzene exposure in Sweden: effect on blood elements and body burden of benzene. *Am. J. Ind. Med.* 7 (1985), S. 365-373
- Berlin, M.; Tunek, A.: Criteria document for Swedish occupational standards. Benzene. 1981:3. *Arbete och Hälsa*, Solna 1981
- Berlin, M.; Holm, S.; Korsell, M.: Benzene exposure in Swedish work places. Report no. 780717. Institutionen för hygien vid Lunds Universitet. Lund 1978 (in Schwedisch)
- Berlin, M.; Fredga, K.; Gage, J.C., et al.: Benzene exposure at sale of vehicle gasoline. Institutionerna för hygien och genetik vid Lunds Universitet. Report no. 750616. Lund 1975 (in Schwedisch)
- Bernardinelli, L.; De Marco, R.; Tinelli, C.: Cancer mortality in an Italian rubber factory. *Br. J. Ind. Med.* 44 (1987), S. 187-191
- Bertazzi, P.A.; Pesatori, A.C.; Zocchetti, C.; Latocca, R.: Mortality study of cancer risk among oil refinery workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 61 (1989), S. 261-270
- Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen: G8 Benzol. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1998, S. 197-205
- Bestougeff, M.A.: Petroleum hydrocarbons. In: Nagy, B.; Colombo, U. (Eds.): *Fundamental aspects of petroleum geochemistry*. Elsevier, Amsterdam 1967, S. 77-108
- Bezabeh, S.; Engel, A.; Morris, C.B.; Lamm, S.H.: Does benzene cause multiple myeloma? An analysis of the published case-control literature. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1393-1398
- BGAA: Bock, W.; Brock, T.H.; Stamm, R.; Wittneben V., Berufsgenossenschaftlicher Arbeitskreis Altstoffe (BGAA): Altstoffe – Expositionen am Arbeitsplatz. Beiträge zur Risikobewertung chemischer Stoffe am Arbeitsplatz im Rahmen des EU-Altstoffprogramms. BGAA-Report 1/99. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1999, S. 40-44

- BIA: Pflaumbaum, W.; Blome, H.; Kleine, H., et al.: Gefahrstoffliste 1998. Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. BIA-Report 1/98. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1998
- BIA: Pflaumbaum, W.; Blome, H.; Kleine, H., et al.: Gefahrstoffliste 1997. Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. BIA-Report 1/97. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1997
- BIA: Stamm, R.; Bock, W.; Breuer, D., et al.: Zur Expositionssituation krebserzeugender Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. BIA-Report 2/96. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1996
- BIA: Pflaumbaum, W.; Bock, W.; Willert, G., et al.: Arbeitsumweltdossier Benzol. BIA-Report 3/93. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1993
- BIA: Benzol an Arbeitsplätzen. Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 120 260. In: BIA-Handbuch, Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. 22. Lfg. V/94. Hrsg: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld 1985 - Losebl.-Ausg., S. 1-7
- Bisby, J.A.: Health watch, the Australian Institute of Petroleum Health Surveillance Program, 9th report. Department of Public Health and Community Medicine, University of Melbourne 1993
- Boehncke, A.; Mangelsdorf, I.; Rosner, G.: Stoffströme von Benzol unter besonderer Berücksichtigung der Bundesrepublik Deutschland. Z. Umweltchem. Ökotox. 9 (1997), S. 369-384
- Bogadi-Sare, A.; Brumen, V.; Turk, R.: Genotoxic effects in workers exposed to benzene: with special reference to exposure biomarkers and confounding factors. Ind. Health 35 (1997), S. 367-373
- Bond, A.E.; Thompson, V.L., et al.: Self-service station vehicle refueling exposure study. U. S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, North Carolina 1986a
- Bond, G.G.; McLaren, E.A.; Baldwin, C.L., et al.: An update of mortality among chemical workers exposed to benzene. Br. J. Ind. Med. 43 (1986b), S. 685-691
- Boogaard, P.J.; van Sittert, N.J.: Biological monitoring of exposure to benzene: a comparison between S-phenylmercapturic acid, trans,trans-muconic acid, and phenol. Occup. Environ. Med. 52 (1995), S. 611-620
- Brandt, L.; Nilsson, P.G.; Mitelman, F.: Occupational exposure to petroleum products in men with acute non-lymphocytic leukaemia. Br. Med. J. 553 (1978)

- Brecher, R.: Benzene. *Haz. Mat. Manag.* 11 (1999), S. 33
- Brett, S.M.; Rodricks, J.V.; Chinchilli, V.M.: Review and update of leukemia risk potentially associated with occupational exposure to benzene. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989), S. 267-281
- Brief, R.S.; Lynch, J.; Bernath, T., et al.: Benzene in the workplace. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 41 (1980), S. 616-623
- Brownson, R.C.; Reif, J.S.: A cancer registry-based study of occupational risk for lymphoma, multiple myeloma and leukaemia. *Int. J. Epidemiol.* 17 (1) (1988), S. 27-32
- Bruckmann, P., et al.: Measurements of emissions of hydrocarbons in areas of high exposure in the Rhine-Ruhr district. *Staub - Reinhalt. Luft* 43 (1983), S. 404
- Bruckmann, P., et al.: The occurrence of chlorinated and other organic trace compounds in urban air. *Chemosphere* 17 (21) (1988), S. 2363-2380
- Brugnone, F.; Perbellini, L.; Maranelli, G.: Reference values for blood benzene in the occupationally unexposed general population. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64 (1992), S. 179-184
- Brunnemann, K.D., et al.: Determination of benzene, toluene and 1,3-butadiene in cigarette smoke by GC-MSD. *Exp. Pathol.* 37 (1989), S. 108-113
- Brunnemann, K.D., et al.: Analysis of 1,3-butadiene and other selected gas-phase components in cigarette mainstream and sidestream smoke by gas chromatography - mass selective detection. *Carcinogenesis* 11 (10) (1990), S. 1863-1868
- BUA: Benzin (Ottokraftstoffe). BUA-Stoffbericht 2000. Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA) der GdCH (Hrsg.). S. Hirzel, Stuttgart 1997
- BUA: Benzol. BUA-Stoffbericht Nr. 24. Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA) der GdCH (Hrsg.). VCH, Weinheim 1988
- Budinsky, R.A.; DeMott, R.P.; Wernke, M.J.; Schell, J.D.: An evaluation of modeled benzene exposure and dose estimates published in the Chinese-National Cancer Institute Collaborative Epidemiology Studies. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 30 (1999), S. 244-258
- Byrd, D.M.; Barfield, E.T.: Uncertainty in the estimation of benzene risks: application of an uncertainty taxonomy to risk assessments based on an epidemiology study of rubber hydrochloride workers. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989), S. 282-287

- Byrd, D.M., Barfield, E.T.: Empirical degree-of-belief methods for risk assessments based on epidemiological data: application of a procedure for combinational analysis of risk-related components to a series of occupational studies of leukemia incidence associated with benzene exposure at several rubber hydrochloride plants in Ohio. In: Cothorn, R.; Mehlman, M. (Eds.): Risk assessment and risk management of industrial and environmental chemicals. Princeton Scientific Publishing, Princeton 1988
- Caprino, L.; Togna, G.I.: Potential health effects of gasoline and its constituents: A review of current literature (1990-1997) on toxicological data. *Environ. Health Perspect.* 106 (1998), S. 115-125
- Carlo, G.; Jablinske, M.; Lee, N., et al.: Reduced mortality among workers at a rubber plant. *J. Occup. Med.* 35 (1993), S. 611-616
- Carlton, G.N.; Smith, L.B.: Exposures to jet fuel and benzene during aircraft fuel repair in the U. S. air force. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 15 (2000), S. 485-491
- Cartwright, R.A.; Darwin, C.; McKinney, P.A., et al.: Acute myeloid leukemia in adults: A case-control study in Yorkshire. *Leukemia* 2 (10) (1988), S. 687-690
- Castel, B.; Lefevre, C.; Chuillier, F.; Delcourt, J.; Sandino, J.P.: Determination du benzene par echantillonnage passif. *Cah. Not. Doc. - Hyg. Sec. Trav.* 171 (1998), S. 139-146
- Checkoway, H.; Wilcosky, T.; Wolf, P., et al.: An evaluation of the associations of leukemia and rubber industry solvent exposures. *Am. J. Ind. Med.* 5 (1984), S. 239-249
- Chen, R.; Seaton, A.: A meta-analysis of painting exposure and cancer mortality. *Cancer Det. Prev.* 22 (1998), S. 533-539
- Chen, R.; Seaton, A.: A meta-analysis of mortality among workers exposed to organic solvents. *Occup. Med.* 46 (5) (1996), S. 337-344
- Chriske, H.W.; Brockhaus, A.; Ewers, U.: Benzolbelastung von im Außen- und Innendienst tätigen Personen einer verkehrsreichen Großstadt. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 26 (1991), S. 483-485
- Christie, D.; Robinson, K.; Gordon, I.; Bisby, J.: A prospective study in the Australian petroleum industry. I Mortality. *Br. J. Ind. Med.* 48 (1991a), S. 507-510
- Christie, D.; Robinson, K.; Gordon, I.; Bisby, J.: A prospective study in the Australian petroleum industry. II Incidence of cancer. *Br. J. Ind. Med.* 48 (1991b), S. 511-514

- Christie, D.: Health Watch, the Australian Petroleum Industry Health Surveillance Programme, Sixth Annual Report 1986a
- Christie, D.; Gordon, I.; Robinson, K.: Smoking in an industrial population. *Med. J. Aust.* 145 (1986b), S. 11-14
- Christie, D.; Robinson, K.; Gordon, I.; Rockett I.: Health Watch: the Australian petroleum industry health study surveillance programme. *Med. J. Aust.* 141 (1984), S. 331-334
- Cirasino, L.; Invernizzi, R.: Hematological changes in occupational exposure to benzene. In: Imbriani, M.; Ghittori, S.; Pezzagno, G.; Capodaglio, E. (Eds.): Update on benzene. Fondazione Salvatore Maugeri Edizioni, PI-ME Press, Pavia 1995
- Clapp, R.W.; Coogan, P.F.: Leukemia in petroleum refinery workers: a review of recent studies. *New Sol.* 9 (1999), S. 375-387
- Clavel, J.; Conso, F.; Limasset, J.C.: Hairy cell leukaemia and occupational exposure to benzene. *Occup. Environ. Med.* 53 (1996), S. 533-539
- Clavel, J.; Mandereau, L.; Conso, F., et al.: Occupational exposure to solvents and hairy cell leukaemia. *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), S. 59-64
- Clayton Environmental Consultants: Gasoline exposure study for the American Petroleum Institute. CEC Job No. 18629. Washington DC 1986
- Cocheo, V.; Sacco, P.; Boaretto, C.; De Saeger, E.; Ballesta, P.P.; Skov, H., et al.: Urban benzene and population exposure. *Nature* 404 (2000), S. 141-142
- Collingwood, K.W.; Milcarek, B.I.; Raabe, G.K., et al.: An updated cohort mortality study of workers at the Paulsboro, New Jersey Refinery, 1946-1987. Mobil Oil Corporation, Paulsboro 1994
- Commission of the European Communities: Occupational exposure limits: Criteria document for benzene. Health and Safety Report EUR 14491. Luxemburg 1993
- CONCAWE report no. 2/99: Environmental exposure to benzene. Brüssel 1999
- CONCAWE report no. 96/51: The influence of gasoline benzene and aromatics content on benzene exhaust emissions from noncatalyst and catalyst equipped cars. A study of European data. Brüssel 1996
- CONCAWE report no. 96/63: Scientific basis for an air quality standard on benzene. Exxon Biomedical Sciences Inc., Brüssel 1996

- CONCAWE report no. 95/63: A year long study of ambient air concentrations of benzene around a service station. Brüssel 1996
- CONCAWE report no. 7/94: Bates, K., et al.: Review of European oil industry benzene exposure data (1986-1992). Brüssel 1994
- CONCAWE report no. 94/53: Bates, K., et al.: A preliminary study of ambient air concentrations of benzene around service stations and distribution terminals in Europe. Brüssel 1994
- CONCAWE report no. 1/94: Gennart, J.P.; Sanderson, J.T.; Simpson, B.J.: Exposure and health risk associated with non-occupational sources of benzene. Brüssel 1994
- CONCAWE report no. 4/87: A survey of exposures to gasoline vapour. The Hague 1987
- CONCAWE report no. 3/86. The Oil Companies International Study Group for Conservation of Clean Air and Water. A survey of exposure to gasoline vapor. The Hague 1986
- Consonni, D.; Pesatori, A.C.; Tironi, A.; Bernucci, I.; Zocchetti, C.; Bertazzi, P.A.: Mortality study in an Italian oil refinery: extension of the follow-up. *Am. J. Ind. Med.* 35 (1999), S. 287-294
- Cooper, S.P.; Labarthe, D.; Downs, T.; Burau, K.; Whitehead, L.; Vernon, S., et al.: Cancer mortality among petroleum refinery and chemical manufacturing workers in Texas. *J. Environ. Path. Toxicol. Oncol.* 16 (1997), S. 1-14
- Costa, G.; Faggiano, F.; Lagorio, S.: Occupational mortality in Italy in the 80s. Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro, Rome 1995
- Cowles, S.R.; Bennett, J.M.; Ross, C.E.: Medical surveillance for leukemia at a petrochemical manufacturing complex: four-year summary. *J. Occup. Med.* 33 (1991), S. 808-812
- Cox, L.A.: Biological basis of chemical carcinogenesis: Insights from benzene. *Risk Analysis* 11 (1991), S. 453-464
- Crebelli, R.; Tomei, F.; Zijno, A.; Ghittori, S.; Imbriani, M., et al.: Exposure to benzene in urban workers: environmental and biological monitoring of traffic police in Rome. *Occup. Environ. Med.* 58 (2001), S. 165-171
- Crump, K.S.: Risk of benzene-induced leukemia: a sensitivity analysis of the Pliofilm cohort with additional follow-up and new exposure estimates. *J. Toxicol. Environ. Health* 42 (1994), S. 219-242
- Crump, K.S.: Risk of benzene-induced leukemia predicted from the Pliofilm cohort. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1437-1441

- Crump, K.S.; Allen B.: Quantative estimates of risk of leukemia from occupational exposure to benzene. OSHA Docket H-059B, Exhibit 152. Occupational Safety and Health Administration, Washington DC 1984
- Dagg, T.G.; Satin, K.P.; Bailey, W.J., et al.: An updated cause specific mortality study of petroleum refinery workers. *Br. J. Ind. Med.* 49 (1992), S. 203-212
- Dann, T.: Ambient benzene levels in urban areas of Canada. Report of the Technology Development and Technical Services Branch, Conservation and Protection. Environment Canada, Ottawa 1987
- Dannecker, W., et al.: Organic and inorganic substances in highway tunnel exhaust air. *Sci. Total Environ.* 93 (1990), S. 293-300
- Das, M.; Bhargava, S.K.; Kumar A., et al.: An investigation of environmental impact on health of workers at retail petrol pumps. *Ann. Occup. Hyg.* 35 (1991), S. 347-352
- Da-Silva Augusto, L.G.; Fontbonne, A.; Freese-De-Carvalho, E.M.; Pires-Novaes, T.C.: Socio-medical intervention in occupational health: Benzenism in Brazil. *Int. J. Occup. Environ. Health* 5 (1999), S. 20-25
- Day, R.; Talbott, E.O.; Marsh, G.M.; Case, B.W.: A comparative ecological study of selected cancers in Kanawha County, West Virginia. *Am. J. Ind. Med.* 21 (1992), S. 235-251
- Decoufle, P.; Blattner, W.A.; Blair, A.: Mortality among chemical workers exposed to benzene and other agents. *Environ. Res.* 30 (1983), S. 16-25
- Delore, P.; Borgomano, C.: Acute leukemia in benzene poisoning. The toxic origin of certain acute leukemias and their relationship to severe anemias. *J. Med. Lyon* 9 (1928), S. 227-233
- Delzell, E.; Monson, R.R.: Mortality among rubber workers: III. Cause-specific mortality, 1940-1978. *J. Occup. Med.* 23 (1981), S. 677-684
- Delzell, E.; Monson, R.R.: Mortality among rubber workers: V. Processing workers. *J. Occup. Med.* 24 (1982), S. 539-545
- Delzell, E.; Monson, R.: Mortality among rubber workers: VII. Aerospace workers. *Am. J. Ind. Med.* 6 (1984a), S. 265-271
- Delzell, E.; Monson, R.: Mortality among rubber workers: VIII. Industrial products workers. *Am. J. Ind. Med.* 6 (1984b), S. 273-279
- Delzell, E.; Monson, R.: Mortality among rubber workers: IX. Curing workers. *Am. J. Ind. Med.* 8 (1985a), S. 537-544

- Delzell, E.; Monson, R.: Mortality among rubber workers: X. Reclaim workers. *Am. J. Ind. Med.* 7 (1985b), S. 307-13
- Dement, J.M.; Hensley, L.; Kieding, S.; Lipscomb, H.: Proportionate mortality among union members employed at three Texas refineries. *Am. J. Ind. Med.* 33 (1998), S. 327-340
- Dement, J.M.; Hensley, L.; Gitelman A.: Carcinogenicity of gasoline: A review of epidemiological evidence. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 837 (1997), S. 53-76
- Demers, P.A.; Checkoway, H.; Vaughan, T.L.: Cancer incidence among firefighters in Seattle and Tacoma, Washington (United States). *Cancer Causes Control* 5 (1994), S. 129-135
- DGMK: Messung der Benzolexposition bei Umschlag und Produktion von Ottokraftstoffen. DGMK-Projekt 250. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Mineralölwissenschaft und Kohlechemie e. V., Hamburg 1983
- Divine, B.J.; Hartmann, C.M.: Update of a study of crude oil production workers 1946-94. *Occup. Environ. Med.* 57 (2000), S. 411-417
- Divine, B.J.; Hartmann, C.M.; Wendt, J.K: Update of the Texaco mortality study 1947-93: part I: Analysis of overall patterns of mortality among refining, research, and petrochemical workers. *Occup. Environ. Med.* 56 (1999a), S. 167-173
- Divine, B.J.; Hartmann, C.M.; Wendt, J.K: Update of the Texaco mortality study 1947-93: part II: Analyses of specific causes of death for white men employed in refining, research, and petrochemicals. *Occup. Environ. Med.* 56 (1999b), S. 174-180
- Divine, B.J.; Satin, K. P.; Dement, J.M.: Proportionate mortality among union members employed at three Texas refineries. *Am. J. Ind. Med.* 35 (1999c), S. 92-98
- Divine, B.J.; Barron, V.; Kaplan, S.D.: Texaco mortality study. III. A cohort study of producing and pipeline workers. *Am. J. Ind. Med.* 11 (1987), S. 189-202
- Divine, B.J.; Barron, V.: Texaco mortality study. II. Patterns of mortality among white males by specific job groups. *Am. J. Ind. Med.* 10 (1986), S. 371-381
- Divine, B.J.; Barron, V.; Kaplan, S.D.: Texaco mortality study. I. Mortality among refinery, petrochemical and research workers. *J. Occup. Med.* 27 (6) (1985), S. 445-447
- Dosemeci, M.; Yin, S.N.; Linet, M.; Wacholder, S.; Rothman, N.; Li, G.L., et al.: Indirect validation of benzene exposure assessment by association with benzene poisoning. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1343-1347

- Dosemeci, M.; Li, G.L.; Hayes, R.B.; Yin, S.N.; Linet, M.; Chow, W.H., et al.: Cohort study among workers exposed to benzene in China: II. Exposure assessment. *Am. J. Ind. Med.* 26 (1994), S. 401-411
- Duarte-Davidson, R.; Courage, C.; Rushton, L.; Levy, L.: Benzene in the environment: an assessment of the potential risks to the health of the population. *Occup. Environ. Med.* 58 (2001), S. 2-13
- Dubrow, R.; Wegman, D.H.: Occupational characteristics of cancer victims in Massachusetts 1971-3, Cincinnati, US. Department of Health and Social Services (DHSS), NIOSH Publ. No. 84-109. Cincinnati 1984a
- Dubrow, R.; Wegman, D.H.: Cancer and occupation in Massachusetts: a death certificate study. *Am. J. Ind. Med.* 6 (1984b), S. 207-230
- Ducos, P.; Gaudin, R.; Bel, J., et al.: trans, trans-muconic acid, a reliable biological indicator for the detection of individual benzene exposure down to the ppm level. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64 (1992), S. 309-313
- Ducos, P.; Gaudin, R.; Robert, A., et al.: Improvement in HPLC analysis of urinary trans,trans-muconic acid, a promising substitute for phenol in the assessment of benzene exposure. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 62 (1990), S. 529-534
- Eikmann, T.; Eikmann, S.; Göen, T.: Benzol – Exposition und Risikoabschätzung. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 5 (2000), S. 309-318
- Eikmann, T., et al.: Die Belastung der Bevölkerung durch Schadstoffe im Kraftfahrzeug-Innenraum. Beispiel Benzol. *Zbl. Hyg. Umweltmed.* 193 (1992a), S. 41-52
- Eikmann, T.: Organische Verbindungen/Benzol. In: Wichmann, H.E.; Schlipkötter, H.W.; Güllgraff, G. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltmedizin, VI-4 Umweltschadstoffe.* ecomed, Landsberg 1992b, S. 1-16
- Eikmann, T.: Belastung der Bevölkerung durch Benzol. *Epidemiologische Untersuchungen und Risikoabschätzung.* VDI-Berichte 888 (1991), S. 613-630
- Ellis, K.; Obendorfer, R.: Survey of benzene concentrations in ambient air. Air Management Services, Philadelphia Department of Public Health, Philadelphia 1984
- Enquete Kommission: Öffentliche Anhörung „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 22./23. Oktober 1992 zum Thema: Benzol (1992)

- Enterline, P.E.; Henderson, V.: A report on the mortality experience of workers from a petroleum refinery at Torrance, California. Report submitted to the Mobil Oil Corporation 1985
- Enterline, P.E.: Review of new evidence regarding the relationship of gasoline exposure to kidney cancer and leukemia. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 101-103
- EPA: IRIS (Integrated Risk Information System), CD-ROM Datenbank. Silver Platter, Berlin 1997
- EPA: Ambient water quality criteria for benzene (EPA-440/5-80-018). Environmental Protection Agency, Washington DC 1980
- EPA: The carcinogenic assessment group's final report on population risk to ambient benzene exposures (EPA-450/5-80-004). Office of Air Quality Planning and Standards. Environmental Protection Agency, Washington DC 1979
- Evans, W.A.; Wilcox, T.: Health hazard evaluation determination report HE 77-73-610. Velsicol Chemical Corporation, St Louis MI, Cincinnati, OH. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati 1979
- Fentiman, A.F.; Neher, M.B.; Kinzer, G.W., et al.: Environmental monitoring benzene (PB-295 641). Prepared for US Environmental Protection Agency by Battelle Columbus Laboratories, Springfield, VA. National Technical Information Service, Springfield 1979
- Finch, S.C.; Finch, C.A.: Summary of the studies at ABCCRERF concerning the late hematologic effects of atomic bomb exposure in Hiroshima and Nagasaki. Technical report RERF TR 23-88. Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima 1990
- Finkelstein, M.M.: Correspondence: Update of the Texaco mortality study 1947-93: part II. *Occup. Environ. Med.* 57 (2000a), S. 143-144
- Finkelstein, M.M.: Leukemia after exposure to benzene: temporal trends and implications for standards. *Am. J. Ind. Med.* 38 (2000b), S. 1-7
- Fishbein, L.: An overview of environmental and toxicological aspects of aromatic hydrocarbons. 1, Benzene. *Sci. Total Environ.* 40 (1984), S. 189-218
- Fishbein, L.: Benzene: uses, occurrences and exposure. In: Environmental carcinogens methods of analysis and exposure measurement. Vol. 10. Benzene and alkylated benzenes. International Agency for Research on Cancer (Ed.), Lyon 1988, S. 67-96
- Fjeldstad, P.E.; Holtermann, E.: Gasoline exposure in the petroleum industry 1980-1981. The Institute of Occupational Hygiene and the Norwegian Petroleum Institute, Oslo 1982 (in Norwegisch)

- Flodin, U.; Fredriksson, M.; Persson, B., et al.: Chronic lymphatic leukemia and engine exhausts, fresh wood, and DDT: a case-referent study. *Br. J. Ind. Med.* 45 (1988), S. 33-38
- Foo, S.C.: Benzene pollution from gasoline usage. *Sci. Total Environ.* 103 (1991), S. 19-26
- Fox, A.J.; Collier, P.F.: A survey of occupational cancer in the rubber and cabling industries: analysis of deaths occurring in 1972-74. *Br. J. Ind. Med.* 33 (1976), S. 249-264
- Fox, A.J.; Owen, R.: A survey of occupational cancer in the rubber and cabling industries: results of five year analysis 1967-71. *Br. J. Ind. Med.* 31 (1974), S. 140-151
- Fromme, H.; Oddoy, A.; Lahrz, T., et al.: Exposition der Bevölkerung gegenüber flüchtigen Luftschadstoffen im Autoinnenraum und in der U-Bahn. *Zbl. Hyg. Umweltmed.* 200 (1998), S. 505-520
- Fu, H.; Demers, P.A.; Costantini, A.S., et al.: Cancer mortality among shoe manufacturing workers: an analysis of two cohorts. *Occup. Environ. Med.* 53 (1996), S. 394-398
- Gallagher, R.P.; Threlfall, W.J.; Band, P.R., et al.: Occupational mortality in British Columbia 1950-84. Vancouver Cancer Control Agency of British Columbia and the Workers' Compensation Board of BC, Vancouver 1989
- Gallo, R.C.: Leukaemia, environmental factors and viruses. In: Kurstack, E.; Maramorosch, K. (Eds.). *Viruses and environment*. Academic Press Inc., New York 1978, S. 43-78
- Gamble, J.F.; Lewis, R.J.; Jorgensen, G.: Mortality among three refinery/petrochemical plant cohorts, [part] 2: Retirees. *J. Occup. Environ. Med.* 42 (2000), S. 730-736
- Gefahrstoffverordnung. Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen vom 15. November 1999. *BGBl. I* (1999), S. 2233
- Gerin, M.; Siemiatycki, J.; Desy, M.; Krewski, D.: Associations between several sites of cancer and occupational exposure to benzene, toluene, xylene, and styrene: results of a case-control study in Montreal. *Am. J. Ind. Med.* 34 (1998), S. 144-156
- Gilbert, D.: An exposure and risk assessment for benzene. Environmental Protection Agency (Contract 68-01-5949). A. D. Little, Boston 1982
- Giles, G.G.; Lickiss, J.N.; Baikie, M.J., et al.: Myeloproliferative and lymphoproliferative disorders in Tasmania, 1972-80: Occupational and familial aspects. *J. Nat. Cancer Inst.* 72 (6) (1984), S. 1233-1240
- Girard, P.R.; Revol, L.: La fréquence d'une exposition benzenique au cours des hemopathies graves. *Nouv. Rev. Fr. Hematol.* 10 (1970), S. 477-484

- Gist, G.L.; Burg, J.R.: Benzene - a review of the literature from a health effects perspective. *Toxicol. Ind. Health* 13 (1997), S. 661-714
- Glass, D.C.; Adams, G.G.; Manuell, R.W.; Bisby, J.A.: Retrospective exposure assessment for benzene in the Australian petroleum industry. *Ann. Occup. Hyg.* 44 (2000), S. 301-320
- Göen, T.; Müller, G.; Angerer, J.: Benzol-Belastung von Kfz-Mechanikern. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 32 (11) (1997), S. 423-430
- Goergens, H.W.; Kurosinski, I.; Hajimiragha, H., et al.: Belastung von Kraftfahrzeug-prüfern und -mechanikern durch Benzol und andere leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 26 (1991), S. 50-54
- Goguel, A.; Cavigneaux, A.; Bernard, J.: Les leucemies benzeniques de la region parisienne entre 1950 et 1965 (etude de 50 observation). *Nouv. Rev. Franc. Hematol.* 7 (1967), S. 465-480
- Golding, B.T.; Watson, W.P.: Possible mechanisms of carcinogenesis after exposure to benzene. In: IARC Scientific Publications: Exocyclic DNA adducts in mutagenesis and carcinogenesis. No. 150. International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon 1999, S. 75-88
- Goldstein, B.D.: Benzene toxicity. *Occup. Med.: State Art. Rev.* 3 (1988), S. 541-554
- Gorman, R.W.; Slovin, D.: Health hazard evaluation determination report HE 79-28-674. Getty Refining and Marketing Company, Waste Water Treatment Plant, Delaware Dity DE, Cincinnati, OH. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati 1980
- Grandjean, P.; Andersen, O.: Lung cancer in filling station attendants. *Am J. Ind Med.* 20 (1991), S. 763-768
- Greenland, S.; Salvan, A.; Wegman, D.H., et al.: A case-control study of cancer mortality at a transformer-assembly facility. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 66 (1994), S. 49-54
- Greim, H. (Hrsg.): Benzol. In: *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten (Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen). Nachtrag 1992.* Weinheim 1987 (Loseblattsammlung)
- Gunz, F.V.: Genetics of human leukaemia. *Ser. Haematol.* 7 (1974), S. 164-191
- Gustavsson, P.; Hogstedt, C.; Holmberg, B.: Mortality and incidence of cancer among Swedish rubber workers, 1952-81. *Scand. J. Work Environ. Health* 12 (1986), S. 538-544
- Hajimiragha, H.; Ewers, U.; Brockhaus, A.: Levels of benzene and other volatile aromatic compounds in the blood of non-smokers and smokers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 61 (1989), S. 513-518

- Halder, C.A.; Van Gorp, G.S.; Hatoum, N.S., et al.: Gasoline vapor exposures. Part I. Characterization of workplace exposures. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 47 (1986), S. 164-172
- Hanis, H.M.; Shallenberger, L.G.; Donaleski, D.L., et al.: A retrospective mortality study of workers in three major US refineries and chemical plants. Part 1. Comparison with US population. *J. Occup. Med.* 27 (1985a), S. 283-292
- Hanis, H.M.; Shallenberger, L.G.; Donaleski, D.L., et al.: A retrospective mortality study of workers in three major US refineries and chemical plants. Part 2. Internal comparison by geographic site, occupation, and smoking history. *J. Occup. Med.* 27 (1985b), S. 361-369
- Hanis, N.M.; Holmes, T.M.; Shallenberger, L.G., et al.: Epidemiologic study of refinery and chemical plant workers. *J. Occup. Med.* 24 (1982), S. 203-212
- Hanis, N.M.; Stavrazy, K.M.; Fowler, J.L.: Cancer mortality in oil refinery workers. *J. Occup. Med.* 21 (1979), S. 167-174
- Hanß, A.; Herzig, S.; Lutz-Holzhauer, C.: Abschätzung des Krebsrisikos durch Luftverunreinigungen nach der LAI-Studie auf der Basis von flächendeckenden Messungen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 57 (1997), S. 71-74
- Harrington, J.M.: Health experience of workers in the petroleum manufacturing and distribution industry: A review of the literature. *Am. J. Ind. Med.* 12 (1987), S. 475-497
- Hartle, R.: Exposure to methyl tert-butyl ether and benzene among service station attendants and operators. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 23-26
- Hatlis, D.; Mendez, W.: Discussion and critique of the carcinogen assessment group's report on population risk due to atmospheric exposure to benzene. Center for Policy Alternatives, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge 1980
- Hattemer-Frey, H.A., et al.: Benzene: environmental partitioning and human exposure. *Environ. Res.* 53 (1990), S. 221-232
- Hayes, R.B.; Yin, S.N.; Dosemeci, M., et al.: Benzene and the dose-related incidence of hematologic neoplasms in China. *J. Nat. Cancer Inst.* 89 (14) (1997), S. 1065-1071
- Hayes, R.B.; Yin, S.N.; Dosemeci, M., et al.: Mortality among benzene-exposed workers in China. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1349-1352
- Heath, C.W.: The leukemias. In: Schottenfeld, D.; Fraumeni, J.F. (Eds.): *Cancer epidemiology and prevention*. Saunders, New York 1982

- Heath, C.W.; Caldwell, G.G.; Feorino, P.C.: Viruses and other microbes. In: Fraumeni J.F. (Ed.): Persons at high risk of cancer: Proceedings of a conference. Academic Press Inc., New York 1975, S. 241-267
- Hilgenfeld, E.; Knauf, W.U.; Thiel, E.: Gibt es einen Zusammenhang zwischen einer Benzolexposition und der Entstehung der chronischen lymphatischen Leukämie? *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 30 (7) (1995), S. 321-324
- Hoeffkes, H.G.; Uppenkamp, M.; Brittinger, G., et al.: Benzol-assoziiertes myeloproliferatives Syndrom. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 31 (4) (1996), S. 152-155
- Holmberg, B.; Lundberg, P.: Benzene: occurrence and exposure. *Am. J. Ind. Med.* 7 (1985), S. 375-383
- Honda, Y.; Delzell, E.; Cole, P.: An updated study of mortality among workers at a petroleum manufacturing plant. *J. Occup. Med.* 37 (1995), S. 194-200
- Hornstra, M.: Reanalysis of the phase I cohort mortality study of oil refinery workers (1970-80): Follow-up extended through 1986. Amoco Oil Corporation 1990
- Hotz, P.; Lauwerys, R.R.: Hematopoetic and lymphatic malignancies in vehicle mechanics. *Crit. Rev. Toxicol.* 27 (5) (1997), S. 443-494
- Hricko, A.: Rings of controversy around benzene. *Environ. Health Perspect.* 102 (1994), S. 276-281
- Hrubec, Z.; Blair, A.E.; Vaught, J.: Mortality risk by industry among US veterans of known smoking status 1954-1980. US Department of Health and Human Services (DHHS), NIH Publ. No. 95-2747. Bethesda MD 1995
- Huebner, W.W.; Chen, V.W.; Friedlander, B.R.; Wu, X.C.; Jorgensen, G.; Bhojani, F.A., et al.: Incidence of lymphohaematopoietic malignancies in an petrochemical industry cohort: 1983-94 follow up. *Occup. Environ. Med.* 57 (2000), S. 605-614
- Huebner, W.W.; Schnatter, A.R.; Nicolich, M.J.; Jorgensen, G.: Mortality experience of a young petrochemical industry cohort. 1979-1992 follow-up study of US-based employees. *J. Occup. Environ. Med.* 39 (1997), S. 970-982
- Hughes, K.; Meek, M.E.; Bartlett, S.: Benzene: evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada. *Environ. Carcinog. Ecotox. Rev.* 12 (1994), S. 161-169
- Hunting, K.L.; Longbottom, H.; Kalavar, S.S., et al.: Haematopoietic cancer mortality among vehicle mechanics. *Occup. Environ. Med.* 52 (1995), S. 673-678

- Hurley, J.F.; Cherrie, J.W.; MacLaren, W.: Exposure to benzene and mortality from leukaemia: results from coke oven and other coal product workers. *Br. J. Ind. Med.* 48 (1991), S. 502-504
- Hurley, J.F.; Archibald, R.M.; Colling, P.L. et al: The mortality of coke workers in Britain. *Am. J. Ind. Med.* 4 (1983), S. 691-704
- IARC Monograph on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Occupational exposures in petroleum refining; crude oil and major petroleum fuels. Vol. 45. International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon 1989
- IARC Scientific Publications: Environmental carcinogens - methods of analysis and exposure measurement. No. 85. Vol. 10 - Benzene and alkylated benzenes. International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon 1988
- IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Benzene. Some industrial chemicals and dyestuffs. Vol. 29. International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon 1982a
- IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: The rubber industry. Vol. 28. International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon 1982b
- IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Chemicals, industrial processes and industries associated with cancer in humans. (Suppl. 4). International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon 1982c
- Ietri, E.; Belli, S.: Cohort mortality study of rubber and plastics product makers in Italy. *Occup. Med.* 47 (1997), S. 417-422
- Infante, P.F.: Benzene and leukemia: the 0.1 ppm ACGIH proposed threshold limit value for benzene. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 7 (1992), S. 253-262
- Infante, P.F.: State of the science on the carcinogenicity of gasoline with particular reference to cohort mortality study results. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 105-109
- Infante, P.F.; Rinsky, R.A.; Wagoner, J.K.; Young, R.J.: Leukemia in benzene workers. *The Lancet* 2 (1977), S. 76-78
- Infante, P.F.; Rinsky, R.A.; Wagoner, J.K.; Young, R.J.: Leukemia in benzene workers. *J. Environ. Pathol. Toxicol.* 2 (1979), S. 251-257
- Inoue, O.; Seiji, K.; Nakatsuka, H., et al.: Urinary t,t-muconic acid as an indicator of exposure to benzen. *Br. J. Ind. Med.* 46 (1989), S. 122-127

- IPCS: Environmental health criteria 150, Benzene. International Programme on Chemical Safety (IPCS), World Health Organization, Geneva 1993
- Ireland, B.; Collins, J.J.; Buckley, C.F., et al.: Cancer mortality among workers with benzene exposure. *Epidemiol.* 8 (3) (1997), S. 318-320
- Irons, R.D.; Stillman, W.S.: The process of leukemogenesis. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996a), S. 1239-1246
- Irons, R.D.: The effects of benzene and other leukemogenic agents on haematopoietic stem and progenitor cell differentiation. *Eur. J. Haematol.* 60 (Suppl.) (1996b), S. 119-124
- Irving, W.S.; Grumbles, T.A.: Benzene exposure during gasoline loading at bulk marketing terminals. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 40 (1979), S. 468-473
- Ishimaru, T.; Okada, H.; Tomiyasu, T., et al.: Occupational factors in the epidemiology of leukemia in Hiroshima and Nagasaki. *Am. J. Epidemiol.* 93 (1971), S. 157-165
- Jacobsen, A.; Plato, A.P.; Frigerio, N.A.: The role of natural radiations in human leukemogenesis. *Am. J. Publ. Health* 66 (1976), S. 31-37
- Jakobs, A.: Benzene and leukemia. *Br. J. Haematol.* 72 (1989), S. 119-121
- Jakobsson, R.; Ahlbom, A.; Bellander, T., et al.: Acute myeloid leukemia among petrol station attendants. *Arch. Environ. Health* 48 (1993), S. 255-259
- Järholm, B.; Mellblom, B.; Norrman, R., et al.: Cancer incidence of workers in the Swedish petroleum industry. *Occup. Environ. Med.* 54 (1997), S. 686-691
- Järvisalo, J.; Tola, S.; Korkala, M.L., et al.: A cancer register-based case study of occupations of patients with acute myeloid leukemia. *Cancer* 54 (1984), S. 785-790
- Javelaud, B.; Vian, L.; Molle, R., et al.: Benzene exposure in car mechanics and road tanker drivers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 71 (1998), S. 277-283
- Johnson, E.S.; Lucier, G.: Perspectives on risk assessment impact of recent reports on benzene. *Am. J. Ind. Med.* 21 (1992), S. 749-757
- Johnsson, A., et al.: Measurements of some low molecular-weight oxygenated, aromatic and chlorinated hydrocarbons in ambient air and in vehicle emissions. *Environ. Int.* 11 (1985), S. 383-392
- Joyner, R.E.: Letter to Dr. J. Donald Millar, Director of National Institute for Occupational Safety and Health, July 28, 1983

- Kaneko, T.; Wang, P.-Y.; Sato, A.: Benzene-associated leukemia and its risk assessment. *J. Occup. Health* 39 (1997), S. 159-178
- Kaplan, S.D.: Update of a mortality study of workers in petroleum refineries. *J. Occup. Med.* 28 (1986), S. 514-516
- Kimmel, R.; Dartsch, P.C.; Hildenbrand, S.; Schmahl, F.W.: Haarzell-Leukämie aufgrund einer beruflichen Benzolexposition? *Zbl. Arbeitsmed.* 49 (1999), S. 438-443
- Kleine, H.: Benzolexposition von Tankwagenfahrern. *BIA-Information* 3/86. *Die BG* (1986a) Nr. 4, S. 220-221
- Kleine, H.: Untersuchungen zur Benzolexposition von Tankwagenfahrern. *Staub – Reinhalt. Luft* 46 (1986b), S. 192-196
- Kogevinas, M.; Sala, M.; Boffetta, P., et al.: Cancer risk in the rubber industry: a review of the recent epidemiological evidence. *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), S. 1-12
- Korhonen, K.; Saarinen, L.; Rothberg, M.; Hornytzkyj, S.: Exposure to carcinogenic solvents during investigation of gemstones and minerals. Abstract, 32. Nordic Occupational Hygiene Meeting, Stockholm, 19-21 Sept. 1983. Stockholm 1983, S. 111-112 (auf Schwedisch)
- Korte, J.E.; Hertz-Picciotto, I.; Schulz, M.R.: The contribution of benzene to smoking induced leukemia. *Environ. Health Perspect.* 108 (2000), S. 333-339
- Krause, C.; Mailahn, W.; Nagel, R., et al.: Occurrence of volatile organic compounds in the air of 500 homes in the Federal Republic of Germany. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Indoor Air, Quality and Climate. *Indoor Air* (1987), S. 102-106
- Kriebel, D.; Wegman, D.H.; Moure-Eraso, R., et al.: Letter to the editor: Limitations of meta-analysis: cancer in the petroleum industry. *Am. J. Ind. Med.* 17 (1990), S. 269-271
- Lagorio, S.; Iavarone, I.; Iacovella, N.; Proietto, A.R.; Fuselli, S.; Baldassarri, L.T., Carere, A.: Variability of benzene exposure among filling station attendants. *Occup. Hyg.* 4 (1997), S. 15-30
- Lagorio, S.; Forastiere, F.; Iavarone, I., et al.: Exposure assessment in a historical cohort of filling station attendants. *Int. J. Epidemiol.* 22 (Suppl. 2) (1993), S. 51-56
- Lagorio, S.; Forastiere, F.; Iavarone, I., et al.: Mortality of filling station attendants. *Scan. J. Work Environ. Health* 20 (1994), S. 331-338
- Laitinen, J.; Kangas, J.; Pekari, K., et al.: Short time exposure to benzene and gasoline at garages. *Chemosphere* 28 (1994), S. 197-205

- Lamm, S.H.; Walters, A.S.; Wilson, R., et al.: Consistencies and inconsistencies underlying the quantitative assessment of leukemia risk from benzene exposure. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989), S. 289-297
- Lamm, S.H.: Review of the carcinogen assessment group's final report on population risk from ambient benzene exposure. Supplemental posthearing evidence of the American Petroleum Institute, Section 3, EPA Docket No. OAQPS 79-3, Part II. Environmental Protection Agency, Washington DC 1980, S. 1-15
- Landrigan, P.J.: Benzene and blood: one hundred years of evidence. *Am. J. Ind. Med.* 29 (3) (1996), S. 225-226
- Landrigan, P.J.; Rinsky, R.A.: The application of epidemiology to the prevention of occupational cancer. *Clin. Toxicol.* 22 (1984), S. 209-238
- Laskin, S.; Goldstein, B.D.: Benzene toxicity, a clinical evaluation. *J. Toxicol. Environ. Health* 2 (Suppl. 2) (1977), S. 23-36
- Lauwerys, R.: Industrial health and safety. Human biological monitoring of industrial chemicals. 1. Benzene. Commission of the European Communities, Luxembourg 1979; cited in Holmberg (1985)
- Lauwerys, R.R.; Buchet, J.P.; Andrien, F.: Muconic acid in urine: a reliable indicator of occupational exposure to benzene. *Am. J. Ind. Med.* 25 (1994), S. 297-300
- La Vecchia, C.; Negri, E.; D'Avanzo, B.; Franceschi, S.: Occupation and lymphoid neoplasms. *Br. J. Cancer* 60 (1989), S. 385-388
- Lehmann, H. : Messungen der Kurzzeitexposition durch Benzol an Tankstellen - Probleme der Überprüfung möglicher Kurzzeitgrenzwerte. *Staub – Reinhalt. Luft* 44 (1984), S. 415-418
- Lehmann, H.: Untersuchungen von Tankstellenpersonal auf Benzolexposition. *Erdöl & Kohle - Erdgas - Petrochemie* 32 (1979), S. 331
- Lewis, R.J.; Schnatter, A.R.; Katz, A.M.; Thompson, F.S.; Murray, N.; Jorgensen, G.; Theriault, G.: Updated mortality among diverse operating segments of a petroleum company. *Occup. Environ. Med.* 57 (2000a), S. 595-604
- Lewis, R.J.; Gamble, J.F.: Mortality among three refinery/petrochemical plant cohorts. 1. 1970 to 1982 active/terminated workers. *J. Occup. Environ. Med.* 42 (2000b), S. 721-729

- Lewis, S.J.; Bell, G.M.; Cordingley, N.: Retrospective estimation of exposure to benzene in a leukemia case-control study of petroleum marketing and distribution workers in the United Kingdom. *Occup. Environ. Med.* 54 (1997), S. 167-175
- Li, G.L.; Linet, M.; Hayes, R.B., et al.: Gender differences in hematopoietic and lymphoproliferative disorders and other cancer risks by major occupational group among workers exposed to benzene in China. *J. Occup. Med.* 36 (8) (1994), S. 875-881
- Liljedlind, I.E.; Strömbäck, A.E.; Järholm, B.G.; Levin, J.O.; Strangert, B.L.; Sunesson, A.-L.K.: Self-assessment of exposure – a pilot study of assessment of exposure to benzene in tank truck drivers. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 15 (2000), S. 195-202
- Lindahl, R.; Nilsson, C.A.; Nordström, A.: Sampling and analysis of chain saw exhaust. II. Exposition levels during logging. *Arbete och Hälsa* 7 (1983), S. 49-74 (in Schwedisch); zitiert in Holmberg (1985)
- Lindquist, R.; Nilsson, B.; Eklund, G.; Odont, D.; Gahrton, G.: Increased risk of developing acute leukemia after employment as a painter. *Cancer* 60 (1987), S. 1378-1384
- Lindquist, R.; Nilsson, B.; Eklund, G.; Gahrton, G.: Acute leukemia in professional drivers exposed to gasoline and diesel. *Eur. J. Haematol.* 47 (1991), S. 98-103
- Linet, M.S.; Yin, S.N.; Travis, L.B.; Li, C.Y.; Zhang, Z.N.; Li, D.G., et al. and the Benzene Study Group: Clinical features of hematopoietic malignancies and related disorders among benzene-exposed workers in China. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1353-1364
- Linet, M.S.; Harlow, S.D.; McLaughlin, J.K.: A case-control study of multiple myeloma in whites: chronic antigenic stimulation, occupation and drug use. *Cancer Res.* 47 (1987), S. 2978-2981
- Linet, M.S.; Malaker, H.S.R.; McLaughlin, J.K., et al.: Leukemias and occupation in Sweden: A registry-based analysis. *Am. J. Ind. Med.* 14 (1988), S. 319-330
- Linet, M.S.: *The leukemias, epidemiologic aspects.* Oxford University Press, New York 1985
- Linos, A.; Kyle, R.A.; O'Fallon, W.M., et al.: A case-control study of occupational exposures and leukemia. *Int. J. Epidemiol.* 9 (2) (1980a), S. 131-135
- Linos, A.; Gray, J.E.; Orvis, A.L.; Kyle, R.A.; O'Fallon, W.M.; Kurland, L.T.: Low dose radiation and leukaemia. *New Engl. J. Med.* 302 (1980b), S. 1101-1105
- Lloyd, J.W.; Decoufle, P.; Salvin, L.G.: Unusual mortality experience of printing pressmen. *J. Occup. Med.* 19 (1977), S. 543-550

- Loomis, D.P.; Savitz, D.A.: Occupation and leukemia mortality among men in 16 states: 1985-1987. *Am. J. Ind. Med.* 19 (1991), S. 509-521
- Luken, R.H.; Miller, S.G.: The benefits and costs of regulating benzene. *J. Air Pollut. Control Ass.* 31 (1982), S. 1255-1259
- Lundberg, I.; Milatou-Smith, R.: Mortality and cancer incidence among Swedish paint industry workers with long-term exposure to organic solvents. *Scand. J. Work Environ. Health* 24 (1998), S. 270-275
- Lynge, E.; Andersen, A.; Nilsson, R., et al.: Risk of cancer and exposure to gasoline vapors. *Am. J. Epidemiol.* 145 (5) (1997a), S. 449-458
- Lynge, E.; Anttila, A.; Hemminki, K.: Organic solvents and cancer. *Cancer Causes Control* 8 (1997b), S. 406-419
- Macaluso, M.; Larson, R.; Delzell, E., et al.: Leukemia and cumulative exposure to butadiene, styrene and benzene among workers in the synthetic rubber industry. *Toxicol.* 113 (1996), S. 190-202
- Machefer, J.; Bidron, P.; Guigner, P.M. : Exposition aux hydrocarbures benzeniques des carburants automobiles chez les mechaniciens et les pompistes. *Arch. Mal. Prof.* 51 (1990), S. 89-94
- Malone, K.E.; Koepsell, T.D.; Daling, J.R., et al.: Chronic lymphocytic leukemia in relation to chemical exposures. *Am. J. Epidemiol.* 130 (6) (1989), S. 1152-1158
- Mannino, D.M.; Schreiber, J.; Aldous, K.: Human exposure to volatile organic compounds: a comparison of organic vapor monitoring badge levels with blood levels. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 67 (1995), S. 59-64
- Manz, A.; Berger, J., et al.: *Arbeitsmedizinische Aspekte zur Epidemiologie von Haemoblastosen.* Fb 452, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Wirtschaftsverlag NW, Dortmund 1986
- Markel, H.L.; Elesh, W.E.: Health hazard evaluation determination report no. 78-57-579. Amoco Texas Refining Company Texas City TX. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati 1979
- Marsh, G.; Enterline, P.E.; McCraw, D.: Mortality patterns among petroleum refinery and chemical plant workers. *Am. J. Ind. Med.* 19 (1991), S. 29-42

- Massoudi, B.L.; Talbott, E.O.; Day, R.D.; Swerdlow, S.H.; Marsh, G.M.; Kuller, L.H.: A case-control study of hematopoietic and lymphoid neoplasms: the role of work in the chemical industry. *Am. J. Ind. Med.* 31 (1997), S. 21-27
- Matanoski, G.M.; Francis, M.; Correa-Villasenor, A.; Elliott, E.; Santos-Burgos, C.; Schwartz, L.: Cancer epidemiology among styrene-butadiene rubber workers. In: IARC Scientific Publication No. 127: Butadiene and styrene: Assessment of health hazards. International Agency for Research on Cancer, Lyon 1993, S. 363-374
- Matanoski, G.M.; Santos-Burgos, C.; Schwartz, L.: Mortality of a cohort of workers in the styrene-butadiene polymer manufacturing industry (1943-1982). *Environ. Health Perspect.* 86 (1990), S. 107-117
- Matanoski, G.M.; Schwartz, L.: Mortality of workers in styrene-butadiene polymer production. *J. Occup. Med.* 29 (1987), S. 675-680
- Matanoski, G.M.; Stockwell, H. G.; Diamond, E.L.; Haring-Sweeney, M.H.; Joffe, R.D., et al.: A cohort mortality study of painters and allied tradesmen. *Scan. J. Work Environ. Health* 12 (1986), S. 16-21
- McCraw, D.S.; Joyner, R.E.; Cole, P.: Excess leukemia in a refinery population. *J. Occup. Med.* 27 (3) (1985), S. 220-222
- McDermott, H.J.; Vos, G.A.: Service station attendants exposure to benzene and gasoline vapors. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 40 (4) (1979), S. 315-321
- McMichael, A.J.; Andjelkovich, D.A.; Tyroler, H.A.: Cancer mortality among rubber workers: An epidemiologic study. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 271 (1976a), S. 125-137
- McMichael, A.J.; Spirtas, R.; Gamble, F.J., et al.: Mortality among rubber workers: Relationships to specific jobs. *J. Occup. Med.* 18 (1976b), S. 178-185
- McMichael, A.J.: Carcinogenicity of benzene, toluene and xylene: epidemiological and experimental evidence. In: IARC Scientific Publication No. 85: Environmental carcinogens: Methods of analysis and exposure measurement. Vol. 10: Benzene and alkylated benzenes. International Agency for Research on Cancer, Lyon 1988, S. 3-18
- McMichael, A.J.; Spirtas, R.; Kupper, L.L., et al.: Solvent exposure and leukemia among rubber workers: an epidemiologic study. *J. Occup. Med.* 17 (4) (1975), S. 234-239
- McMichael, A.J.; Spirtas, R.; Kupper, L.L.: An epidemiologic study of mortality within a cohort of rubber workers, 1964-72. *J. Occup. Med.* 16 (1974), S. 458-464

- McQuilkin, S.D.: Health hazard evaluation determination report no. HE78-102-677. Continental Columbus Corporation, Columbus, WI. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati 1980
- Mehlman, M.A.: Benzene health effects: unanswered questions still not addressed. *Am. J. Ind. Med.* 20 (1991), S. 707-711
- Mehlman, M.A.: Dangerous and cancer-causing properties of products and chemicals in the oil refining and petrochemical industry. VIII. Health effects of motor fuels: Carcinogenicity of gasoline - scientific update. *Environ. Res.* 59 (1992), S. 238-249
- Meinhardt, T.J.; Lemen, R.A.; Crandall, M.S., et al.: Environmental epidemiologic investigation of the styrene-butadiene rubber industry. Mortality patterns with discussion of the hematopoietic and lymphatic malignancies. *Scand. J. Work Environ. Health* 8 (1982), S. 250-259
- Meinhardt, T.J.; Lemen, R.A.; Crandall, M.S., et al.: Mortality and industrial hygiene study of styrene-butadiene rubber workers. *Proceedings of the Third NCI/EPA/NIOSH Collaborative Workshop: Progress on joint environmental and occupational cancer studies* (1984), S. 57-86
- Mele, A.; Szklo, M.; Visani, G., et al.: Hair dye use and other risk factors for leukemia and pre-leukemia: A case-control study. *Am. J. Epidemiol.* 139 (1994), S. 609-619
- Mele, A.; Stazi, M.A.; Pulsoni, A., et al.: Epidemiology of acute promyelocytic leukemia. *Haematologica* 80 (5) (1995), S. 405-408
- Meneses, F.; Romieu, I.; Ramirez, M.: A survey of personal exposures to benzene in Mexico City. *Arch. Environ. Health* 54 (1999), S. 359-363
- Metayer, C.; Johnson, E. S.; Rice, J. C.: Nested case-control study of tumors of the hemopoietic and lymphatic systems among workers in the meat industry. *Am J. Epidemiol.* 147 (1998), S. 727-738
- Milcarek, B.I.; Collingwood, K.W.; Raabe, G.K.: An updated cohort mortality study of white male workers at the Torrance, California Refinery, 1959-1987. Mobil Oil Corporation 1994
- Miligi, L.; Costantini, A.S.; Crosignani, P.; Fontana, A.; Masala, G.; Nanni, O., et al.: Occupational, environmental, and life-style factor associated with the risk of hematolymphopoietic malignancies in women. *Am. J. Ind. Med.* 36 (1999), S. 60-69
- Miscetti, G.; Bodo, P.; Mencarelli, A.; Ceppitelli, R.; Ballerani, A.; Fratini, P., et al.: Exposure to benzene and homologues in a group of service station attendants. *Arch. Sci. Lav.* 9 (1993), S. 17-23

- Moen, B.E.; Hollund, B.E.; Bersten, M., et al.: Exposure of the deck crew to carcinogenic agents on oil product tankers. *Ann. Occup. Hyg.* 39 (1995a), S. 347-361
- Moen, B.E.; Bleie, K.; Hollund, B.E.: Exposure to benzene in Norwegian service stations. Institutt for Samfunns-medicinske Fag, Universitetet i Bergen, Bergen 1995b (in Norwegisch)
- Möhner, M.; Heuchert, G.: Benzolexposition und Non-Hodgkin-Lymphome. Meta-Analyse epidemiologischer Studien. Sonderschrift S 61. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund/Berlin 2000
- Monson, R.R.; Fine, L.J.: Cancer mortality and morbidity among rubber workers. *J. Natl. Cancer Inst.* 61 (1978), S. 1047-1053
- Monson, R.R.; Nakano, K.K.: Mortality among rubber workers. I. White male union employees in Akron, Ohio. *Am J. Epidemiol.* 103 (1976a), S. 166-167
- Monson, R.R.; Nakano, K.K.: Mortality among rubber workers. II. Other employees. *Am J. Epidemiol.* 103 (1976b), S. 297-303
- Montanaro, F.; Ceppi, M.; Demers, P.A.; Puntoni, R.; Bonassi, S.: Mortality in a cohort of tannery workers. *Occup. Environ. Med.* 54 (1997), S. 588-591
- Morgan, R.W.; Wong, O.: An epidemiologic analysis of the mortality experience of Mobil Oil Corporation employees at the Beaumont, Texas, refinery. Report submitted to Mobil Oil Corporation, Beaumont 1984
- Morgan, R.W.; Wong, O.: Final report. An epidemiological mortality study of Mobil Oil Corporation employees at the Paulsboro, New Jersey, refinery. Report submitted to Mobil Oil Corporation, Paulsboro 1985
- Müller, G.; Kölbl, M.; Heger, M., et al.: Urinary s-phenylmercapturic acid and phenylguanine as indicators of benzene exposure. In: Ho, M.H.; Dillon, H.K. (Eds.): *Biological monitoring of exposure to chemicals. Organic compounds.* John Wiley and Sons, New York 1987, S. 91-98
- Mundt, K.A.; Weiland, S.K.: An occupational cohort mortality study of women in the German rubber industry: 1976 to 1991. *J. Occup. Environ. Med.* 41 (1999), S. 807-812
- Nakamura, K.: An epidemiological study of refinery workers. Department of Industrial Epidemiology, National Institute of Industrial Health, Kawasaki 1987
- Negri, E.; Piolatto, G.; Pira, E., et al.: Cancer mortality in a northern Italian cohort of rubber workers. *Br. J. Ind. Med.* 46 (1989), S. 624-628

- Nelson, N.A.; Van Peenen, P.F.D.; Blanchard, A.G.: Mortality in a recent oil refinery cohort. *J. Occup. Med.* 29 (1987), S. 610-612
- Nelson, N.A.: Mortality of Amoco Oil refinery employees. Phase I. TSCA Section 8. Report 8EHQ-0585-0557. Amoco Oil Corporation 1985
- Neumeier, G.: Occupational exposure limits, Criteria document for benzene. EU-Report 14491. Amt für amtliche Veröffentlichungen, Luxemburg 1993
- Nicholson, W.J.; Landrigan, P.J.: Quantitative assessment of lives due to delay in the regulation of occupational exposure to benzene. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989), S. 185-188
- Nilsson, R.I.; Nordlinder, R.; Hörte, L.G., et al.: Leukaemia, lymphoma, and multiple myeloma in seamen on tankers. *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), S. 517-521
- NIOSH: Criteria for a recommended standard. Occupational exposure to benzene. HEW Publication No. 74-137. National Institute of Occupational Safety and Health, Washington DC 1974
- NIOSH: Summary of NIOSH recommendations for occupational health standard. National Institute for Occupational Safety and Health, Rockville MD 1980
- NIOSH: Testimony on benzene and leukemia: An epidemiologic risk assessment by J. D. Millar; August 9, 1985. National Institute of Occupational Safety and Health, Washington DC 1985
- N. N.: Retrospektive Expositionsabschätzung beim Umgang mit benzolhaltigen Arbeitsstoffen. *Gesund – Sicher* 11 (1999), S. 332-334
- Nordlinder, R.; Ljungkvist, G.: Benzene exposure at service stations, an occupational and environmental problem. In: Brown, R.H.; Curtis, M.; Saunders, K.J.; Vandendriessche, S. (Eds): *Clean Air at Work, New Trends in Assessment and Measurement for the 1990s, Proceedings of an International Symposium, Luxembourg, September 9-13, 1991.* Royal Society of Chemistry, Cambridge 1992, S. 93-95
- Nordlinder, R.; Ramnas, O.: High levels of benzene in many workplaces. *Arbete Människa Miljö* 1 (1983), S. 13-24 (in Schwedisch), zitiert in Holmberg (1985)
- Nordlinder, R.; Ramnas, O.: Exposure to benzene at different work places in Sweden. *Ann. Occup. Hygiene* 31 (1987), S. 345-355
- Norell, S.; Ahlbom, A.; Lipping, H.: Oesophageal cancer and vulcanisation work. *Lancet* (1983), S. 462-463

- Norseth, T.; Andersen, A.; Giltvedt, J.: Cancer incidence in the rubber industry in Norway. *Scand. J. Work Environ. Health* 9 (1983), S. 69-71
- NRC: Drinking water and health. Vol. 3. National Research Council. National Academy Press, Washington DC 1980
- O'Connor, S.R.; Farmer, P.B.; Lauder, I.: Benzene and non-Hodgkin's lymphoma. *J. Path.* 189 (1999), S. 448-453
- Oldham, R.G.; Spraggins, R.L.; Parr, J.L., et al.: Analysis of organics in ambient air. In: Frederick, E.R. (Ed.): Proceedings of a special conference on control specific (toxic) pollution. Air Pollution Control Association, Pittsburgh 1979, S. 130-149
- Olsen, J.H.; Jensen, O.M.: Occupation and risk of cancer in Denmark. An analysis of 93810 cancer cases, 1970-9. *Scand. J. Work Environ. Health* 13 (Suppl. 1) (1987), S. 1-91
- Ong, C.N.; Kok, P.W.; Lee, B.L., et al.: Evaluation of biomarkers for occupational exposure to benzene. *Occup. Environ. Med.* 52 (1995), S. 528-533
- OSHA: Occupational exposure to benzene: final rule. *Federal Register* 52. Occupational Safety and Health Administration, Washington DC 1987, S. 34, 460-34, 578
- Ott, M.G.; Teta, M.J.; Greenberg, H.L.: Lymphatic and hematopoietic tissue cancer in a chemical manufacturing environment. *Am. J. Ind. Med.* 16 (1989a), S. 631-643
- Ott, M.G.; Teta, M.J.; Greenberg, H.L.: Assessment of exposure to chemicals in a complex work environment. *Am. J. Ind. Med.* 16 (1989b), S. 617-630
- Ott, M.G.; Townsend, J.C.; Fishbeck, W.A., et al.: Mortality among individuals occupationally exposed to benzene. *Arch. Environ. Health* 33 (1978), S. 3-10
- Paci, E.; Buiatti, E.; Costantini, A.S., et al.: Aplastic anemia, leukemia and other cancer mortality in a cohort of shoe workers exposed to benzene. *Scand. J. Work Environ. Health* 15 (1989), S. 313-318
- Paci, E., et al.: Leukaemia and aplastic anaemia in a shoeworker cohort exposed to benzene. In: Hogstedt, C.; Reuterwall, C. (Eds.): Progress in occupational epidemiology. Elsevier, Amsterdam 1988, S. 133-136
- Pagnotto, L.D.; Tharr, D.: Benzene exposure and leukemia. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 12 (1997), S. 156-157
- Pagnotto, L.D.; Elkins, H.B.: Benzene exposure in the rubber coating industry - a follow-up. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 40 (2) (1979), S. 137-146

- Parkes, H.G.; Veys, C.A.; Waterhouse, J.A.H.; Peters, A.: Cancer mortality in the British rubber industry. *Br. J. Ind. Med.* 39 (1982), S. 209-220
- Parkinson, G.S.: Benzene in motor gasoline. An investigation into possible health hazards in and around filling stations and in normal transport operations. *Ann. Occup. Hyg.* 14 (1971), S. 145-153
- Pasqualetti, P.; Casale, R.; Colantonio, D., et al.: Occupational risk for hematological malignancies. *Am. J. Hematol.* 38 (1991), S. 147-149
- Paustenbach, D.J.; Bass, R.D.; Price, P.: Benzene toxicity and risk assessment, 1972-1992: Implications for future regulation. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 177-200
- Paustenbach, D.J.; Price, P.S.; Ollison, W.; Blank, C., et al.: Reevaluation of benzene exposure for the Pliofilm (rubberworker) cohort (1936-1976). *J. Toxicol. Environ. Health* 36 (1992), S. 177-213
- Paxton, M.B.: Leukemia risk associated with benzene exposure in the Pliofilm cohort. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1431-1436
- Paxton, M.B.; Chinchilli, V.M.; Brett, S.M., et al.: Leukemia risk associated with benzene exposure in the Pliofilm cohort: I. Mortality update and exposure distribution. *Risk analysis* 14 (1994a), S. 147-154
- Paxton, M.B.; Chinchilli, V.M.; Brett, S.M., et al.: Leukemia risk associated with benzene exposure in the Pliofilm cohort: II. Risk estimates. *Risk analysis* 14 (1994b), S. 155-161
- Pellizzari, E.D.: Analysis for organic vapor emissions near industrial and chemical waste disposal sites. *Environ. Sci. Technol.* 16 (11) (1982), S. 781-785
- Persson, B.; Fredrikson, M.: Some risk factors for non-Hodgkin's lymphoma. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 12 (1999), S. 135-142
- Peter, C.; Peter, S.; Schiele, R.: Retrospektive Ermittlung der Benzolbelastung bei Tankwarten. *ErgoMed* 22 (1998), S. 250-251
- Pfäffli, P.; Anttila, A.: Benzene. Exposures at work 23. Institute of Occupational Health, Helsinki 1991 (in Finnisch)
- Pippard, E.C.; Acheson, E.D.: The mortality of boot and shoemakers, with special reference to cancer. *Scand. J. Work Environ. Health* 11 (1985), S. 249-255
- Piringer, R.; Leisser, H.; Weidhofer, J., et al.: Schadstoffbelastung durch den Verkehr. *Sichere Arbeit* 3 (1996), S. 26-29

- Popp, W.; Raucher, D.; Müller, G., et al.: Concentrations of benzene in blood and S-phenylmercapturic and t,t-muconic acid in urine in car mechanics. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 66 (1994), S. 1-6
- Pukkala, E.: Cancer incidence among Finnish oil refinery workers, 1971-1994. *J. Occup. Environ. Med.* 40 (8) (1998), S. 675-679
- Pukkala, E.: Cancer risk by social class and occupation. A survey of 109 000 cancer cases among Finns of working age. Karger, Basel 1995
- Raabe, G.K.; Collingwood, K.W.; Wong, O.: An updated mortality study of workers at a petroleum refinery in Beaumont, Texas. *Am. J. Ind. Med.* 33 (1998), S. 61-81
- Raabe, G.K.; Collingwood, K.W.; Milcarek, B.I., et al.: An updated cohort mortality study of workers at the Beaumont, Texas refinery, 1945-1987. Mobil Oil Corporation, Beaumont 1994
- Raabe, G.K.: Review of the carcinogenic potential of gasoline. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 35-38
- Raabe, G.K.; Wong, O.: Leukemia mortality by cell type in petroleum workers with potential exposure to benzene. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1381-1392
- Rangan, U.; Snyder, R.: Scientific update on benzene. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 837 (1997), S. 105-113
- Rappaport, S.M.; Servin, S.: Exposures to hydrocarbon components of gasoline in the petroleum industry. *Appl. Ind. Hyg.* 2 (1987), S. 148-154
- Reese, E.; Kimbrough, R.D.: Acute toxicity of gasoline and some additive. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 115-131
- Richardson, S.; Zittoun, R.; Bastuji-Garin, S., et al.: Occupational risk factors for acute leukaemia: a case-control study. *Int. J. Epidemiol.* 21 (6) (1992), S. 1063-1073
- Rinsky, R.A.: Benzene and leukemia: An epidemiologic risk assessment. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989a), S. 189-191
- Rinsky, R.A.: Letters to the editor: Re: Benzene and leukemia: a review of the literature and a risk assessment. *Am. J. Epidemiol.* 129 (5) (1989b), S. 1084-1086
- Rinsky, R.A.; Ott, G.; Ward, E., et al.: Study of mortality among chemical workers in the Kanawha Valley of West Virginia. *Am. J. Ind. Med.* 13 (1988), S. 429-438
- Rinsky, R.A.; Smith, A.B.; Hornung, R., et al.: Benzene and leukemia: an epidemiologic risk assessment. *N. Engl. J. Med.* 316 (1987), S. 1044-1050

- Rinsky, R.A.; Smith, A.B.; Hornung, R., et al.: Benzene and leukemia: an epidemiologic risk assessment. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati 1986
- Rinsky, R.A.; Smith, A.B.; Hornung, T.G.; Filloon, R.J., et al.: Benzene and leukemia: An epidemiological risk assessment (prepublication copy) 1985
- Rinsky, R.A.; Young, R.J.; Smith, A.B.: Leukemia in benzene workers. *Am. J. Ind. Med.* 2 (1981), S. 217-245
- Rithidech, K.; Dunn, J.J.; Bond, V.P.; Gordon, C.R.; Cronkite, E.P.: Characterization of genetic instability in radiation- and benzene-induced murine acute leukemia. *Mut. Res.* 428 (1999), S. 33-39
- RIVM: Basisdocument benzeen Rapport No. 758 476001. Netherlands National Institute for Public Health and Environmental Protection, Bilthoven 1988
- Rodricks, J.V.; Brett, S.M.: Review and evaluation of leukemia risks potentially associated with occupational exposure to benzene. Report prepared for the American Petroleum Institute, Environ Corp., Washington DC 1986
- Rodricks, J.V.: Review of benzene assessments. Environ Corp., Washington DC 1983
- Rothman, N.; Smith, M.T.; Hayes, R.B., et al.: Benzene poisoning, a risk factor for hematological malignancy, is associated with the NQO1 609C-T mutation and rapid fractional excretion of chlorzoxazone. *Cancer Res.* 57 (1997), S. 2839-2842
- Rothman, N.; Li, G.L.; Dosemeci, M., et al.: Hematotoxicity among Chinese workers heavily exposed to benzene. *Am. J. Ind. Med.* 29 (1996a), S. 236-426
- Rothman, N.; Smith, M.T.; Hayes, R.B.; Li, G.L.; Irons, R.D.; Dosemeci, M., et al.: An epidemiological study of early biological effects of benzene in Chinese workers. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996b), S. 1365-1370
- Runion, H.E.; Scott, L.M.: Benzene exposure in the United States, 1978-1983: an overview. *Am. J. Ind. Med.* 7 (1985), S. 385-393
- Rushton, L.; Romaniuk, H.: Comparison of the diagnosis of leukaemia from death certificates, cancer registration and histological reports – implications for occupational case-control studies. *Br. J. Cancer* 75 (1997a), S. 1694-1698
- Rushton, L.; Romaniuk, H.: A case-control study to investigate the risk of leukaemia associated with exposure to benzene in petroleum marketing and distribution workers in the United Kingdom. *Occup. Environ. Med.* 54 (1997b), S. 152-166

- Rushton, L.; Thar, W.E.: Retrospective exposure assessment for benzene; issues, methods and recommendations from an international workshop on petroleum marketing and distribution worker studies. *Occup. Hyg.* 3 (5) (1996), S. 295-305
- Rushton, L.: A 39 year follow up of the United Kingdom oil refinery and distribution centre studies: results for kidney cancer and leukaemia. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993a), S. 77-84
- Rushton, L.: Further follow up of mortality in a United Kingdom oil refinery cohort. *Br. J. Ind. Med.* 50 (1993b), S. 549-560
- Rushton, L.: Further follow up of mortality in a United Kingdom oil distribution centre cohort. *Br. J. Ind. Med.* 50 (1993c), S. 561-569
- Rushton, L.; Alderson, M.R.; Nagarajah, C.R.: Epidemiological survey of maintenance workers in London Transport Executive bus garages and Chiswick Works. *Br. J. Ind. Med.* 40 (1983a), S. 340-345
- Rushton, L.; Alderson, M.R.: Epidemiological survey of oil distribution centres in Great Britain. *Br. J. Ind. Med.* 40 (1983b), S. 330-339
- Rushton, L.; Alderson, M.R.: An epidemiologic survey of eight oil refineries in Britain. *Br. J. Ind. Med.* 38 (1981a), S. 225-234
- Rushton, L.; Alderson, M.R.: A case-control study to investigate the association between exposure to benzene and death from leukemia in oil refinery workers. *Br. J. Cancer* 43 (1981b), S. 77-84
- Rushton, L.; Alderson, M.R.: An epidemiological survey of eight oil refineries in the UK - Final Report. Institute of Petroleum, London 1980
- Sabourin, P.J.; Chen, B.T.; Lucier, G.; Birnbaum, L.S.; Fisher, E.; Henderson, R.F.: Effect of dose on the absorption and excretion of (14C)benzene administered orally or by inhalation in rats and mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 87 (1987), S. 325-336
- Sandler, D.P.; Collman, G.W.: Cytogenetic and environmental factors in the etiology of the acute leukemias in adults. *Am. J. Epidemiol.* 126 (6) (1987), S. 1017-1032
- Sathiakumar, N.; Delzell, E.; Cole, P., et al.: A case-control study of leukemia among petroleum workers. *J. Occup. Environ. Med.* 37 (11) (1995), S. 1269-1277
- Satin, K.P.; Wong, O.; Yuan, L.A.; Bailey, W.H.; Newton, K.L.; Wen, C.P., et al.: A 50-year mortality follow-up of a large cohort of oil refinery workers in Texas. *J. Occup. Environ. Med.* 38 (1996), S. 492-506

- Satin, K.P.; Yuan, L.A.; Wong, O., et al.: An updated mortality study of Chevron's Port Arthur Refinery, 1937-1987. Chevron Corporation 1994
- Savitz, D.A.; Andrews, K.W.: Review of epidemiological evidence on benzene and lymphatic and hematopoietic cancers. *Am. J. Ind. Med.* 31 (1997), S. 287-295
- Sawyer, R.F.: Trends in auto emissions and gasoline composition. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 5-12
- Scherer, G.; Ruppert, T.; Daube, H.: Contribution of tobacco smoke to environmental benzene exposure in Germany. *Environ. Int.* 21 (6) (1995), S. 779-789
- Schiele, R.: Lymphatische Leukämien oder Non-Hodgkin-Lymphome durch Benzol? *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 22 (1987), S. 243-246
- Schnatter, A.R.; Armstrong, T.W.; Nicolich, M.J., et al.: Lymphohaematopoietic malignancies and quantitative estimates of exposure to benzene in Canadian petroleum distribution workers. *Occup. Environ. Med.* 53 (1996a), S. 773-781
- Schnatter, A.R.; Armstrong, T.W.; Thompson, L.S., et al.: The relationship between low-level benzene exposure and leukemia in Canadian petroleum distribution workers. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996b), S. 1375-1379
- Schnatter, A.R.; Nicolich, M.J.; Bird, M.G.: Determination of leukemogenic benzene exposure concentrations: refined analyses of the Pliofilm cohort. *Risk analysis* 16 (6) (1996c), S. 833-840
- Schnatter, A.R.; Katz, A.M.; Nicolich, M.J., et al.: A retrospective mortality study among Canadian petroleum marketing and distribution workers. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993), S. 85-99
- Schnatter, A.R.; Theriault, G.; Katz, A.M.; Thompson, F.S.; Donaleski, D.; Murray, N.: A retrospective mortality study within operating segments of a petroleum company. *Am. J. Ind. Med.* 22 (1992), S. 209-229
- Schottenfeld, D.; Worshauer, M.E.; Zauber, A.G., et al.: A prospective study of morbidity and mortality in petroleum industry employees in the United States - a preliminary report. In: Peto, R.; Schneiderman, M. (Eds.): *Branbury Report 9: Quantification of occupational cancer*. Cold Spring Harbor Laboratory 1981, S. 247-265
- Schulz, G.: Benzolmessungen in einem Mineralölunternehmen - ein Modell für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen. *Staub – Reinhalt. Luft* 38 (1978), S. 186-191

- Schumacher, M.C.; Delzell, E.: A death-certificate case-control study of Non-Hodgkin's lymphoma and occupation in men in North Carolina. *Am. J. Ind. Med.* 13 (1988), S. 317-330
- Schwartz, E.: Proportionate mortality ratio analysis of automobile mechanics and gasoline service station workers in New Hampshire. *Am. J. Ind. Med.* 12 (1987), S. 91-99
- Shah, J.J.; Singh, H.B.: Distribution of volatile organic chemicals in outdoor and indoor air. A national VOCs data base. *Environ. Sci. Technol.* 22 (12) (1988), S. 1381-1388
- Shallenberger, L.G.; Acquavella, J.F.; Donaleski, D.: An updated mortality study of workers in three major United States refineries and chemical plants. *Br. J. Ind. Med.* 49 (1992), S. 345-354
- Sherwood, R.J.; Sinclair, G.C.: New PBPK model applied to old occupational exposure to benzene. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 60 (1999), S. 259-265
- Sherwood, R.J.: Evaluation of exposure to benzene vapour during the loading of petrol. *Br. J. Ind. Med.* 29 (1972), S. 65-69
- Singh, H.B., et al.: Distribution of selected gaseous organic mutagens and suspected carcinogens in ambient air. *Environ. Sci. Technol.* 16 (1982), S. 872
- Smith, M.T.: The mechanism of benzene-induced leukemia: a hypothesis and speculations on the causes of leukemia. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1219-1225
- Smith, M.T.; Fanning, E.W.: Meeting Report: Report on the workshop entitled: „Modeling chemically induced leukemia - implications for benzene risk assessment“. *Leukemia Res.* 51 (5) (1997), S. 361-374
- Snyder, R.; Hedli, C.C.: An overview of benzene metabolism. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1165-1171
- Snyder, R.; Kalf, G.F.: A perspective on benzene leukemogenesis. *Crit. Rev. Toxicol.* 24 (1994), S. 177-209
- Snyder, R.; Witz, G.; Goldstein, B.D.: The toxicology of benzene. *Environ. Health Perspect.* 100 (1993), S. 293-306
- Soll-Johanning, H.; Bach, E.; Olsen, J. H.; Tüchsen, F.: Cancer incidence in urban bus drivers and tramway employees: a retrospective cohort study. *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), S. 594-598
- Sorahan, T.; Parkes, H.; Veys, C., et al.: Cancer mortality in the British rubber industry: 1946-80. *Br. J. Ind. Med.* 43 (1986), S. 363-373
- Sorahan, T.; Parkes, H.; Veys, C., et al.: Mortality in the British rubber industry 1946-85. *Br. J. Ind. Med.* 46 (1989), S. 1-11

- Spear, R.C.; Selvin, S.; Schulman, J., et al.: Benzene exposure in the petroleum refining industry. *Appl. Ind. Hyg.* 2 (1987), S. 155-163
- Straif, K.; Weiland, S.K.; Werner, B., et al.: Workplace risk factors for cancer in the German rubber industry: part 2. Mortality from non-respiratory cancers. *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), S. 325-332
- Suta, B.E.: Definition of population-at-risk to environmental toxic pollutant exposures. Vol. II, App. C: Human population exposures to atmospheric benzene. Prepared for US Environmental Protection Agency, Washington DC 1980
- Swaen, G.M.H.; Meijers, J.M.M.: Risk assessment of leukaemia and occupational exposure to benzene. *Br. J. Ind. Med.* 46 (1989), S. 826-830
- Swaen, G.M.H.; Slangen, J.J.M.: Gasoline consumption and leukemia mortality and morbidity in 19 European countries: an ecological study. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 67 (1995), S. 85-93
- Swaen, G.M.H.; Slangen, J.J.M.; Volovics, A., et al.: Mortality of coke plant workers in the Netherlands. *Br. J. Ind. Med.* 48 (1991), S. 130-135
- Swanson, S.: An evaluation of quantitative risk assessment in health hazards. In: *Proceedings of the World Petroleum Congress*. Wiley and Sons, New York 1985, S. 1-10
- Tabershaw Occupational Medicine Associates: An historical prospective study of workers potentially exposed to benzene and the lubricating-solvent units of the Gulf Port Arthur Refinery. Report presented to the Gulf Oil Company, Rockville 1980
- Tabershaw Cooper Associates: A mortality study of petroleum refinery workers: Project OH-1. The American Petroleum Industry Institute, Washington DC 1974
- Talbott, E.O.; Day, R.D.; Marsh, G.M.; Haile-Cattledge, G.T.; McKenna, M.; Case, B.W.: Trends in cancer mortality in Kanawha County, West Virginia, 1950-1984. *Sci. Total. Environ.* 127 (1992), S. 139-154
- Teta, M.J.; Schnatter, A.R.; Ott, M.G.; Pell, S.: Mortality surveillance in a large chemical company: The Union Carbide Corporation experience, 1974-1983. *Am. J. Ind. Med.* 17 (1990), S. 435-447
- Tharr, D.: Exposure of service station attendants to oxygenated gasoline containing methyl tert-butyl ether. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 12 (9) (1997a), S. 571-576
- Tharr, D.: Benzene exposure and leukemia. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 12 (1997b), S. 156-157

- Theriault, G.; Goulet, L.: A mortality study of oil refinery workers. *J. Occup. Med.* 21 (1979), S. 367-370
- Theriault, G.; Provencher, S.: Mortality study of oil refinery workers: Five year follow-up. *J. Occup. Med.* 29 (4) (1987), S. 357-360
- Thomas, T. L.; Waxweiler, R. J.; Crandall, M. S.; White, D. W.; Moure-Eraso, R.; Fraumeni, J. Fr. Jr.: Cancer mortality patterns by work category in three Texas oil refineries. *Am. J. Ind. Med.* 6 (1984), S. 3-16
- Thomas, T.L.; Waxweiler, R.J.; Moure-Eraso, R., et al.: Mortality patterns among workers in three Texas oil refineries. *J. Occup. Med.* 24 (2) (1982), S. 135-141
- Thomas, T.L.; Decoufle, P.; Moure-Eraso, R.: Mortality among workers employed in petroleum refining and petrochemical plants. *J. Occup. Med.* 22 (1980), S. 97-103
- Thorpe, J.J.: Epidemiologic survey of leukemia in persons potentially exposed to benzene. *J. Occup. Med.* 16 (1974), S. 375-382
- Thorslund, T.W.; Hegner, R.E.; Anver, M.R., et al.: Quantitative re-evaluation of the human leukemia risk associated with inhalation exposure to benzene. Clement Associates Inc., Fairfax VA 1988
- Tironi, G.; Nebel, G.J.; Williams, R.L.: Measurement of vapor exposure during gasoline refueling. General Motors Research Laboratories, Environmental Science Department, Warren MI 1986
- Tolbert, P. E.: Oils and cancer. *Cancer Causes Control* 8 (1997), S. 386-405
- Tombers, G.: Benzolexposition durch Tabakrauch. *Methoden des Biological-Monitoring. Wissenschaft und Umwelt* 1 (1988), S. 16-20
- Toolis, F.; Potter, B.; Allan, N.C., et al.: Radiation induced leukemias in ankylosing spondylitis. *Cancer* 48 (1981), S. 1582-1585
- Travis, L.B.; Li, C.Y.; Zhang, Z.N., et al.: Hematopoietic malignancies and related disorders among benzene-exposed workers in China. *Leukemia and Lymphoma* 14 (1994), S. 91-102
- TRGS 102: Technische Regeln für Gefahrstoffe: Technische Richtkonzentrationen (TRK) für gefährliche Stoffe (TRGS 102). Ausgabe September 1993. *BArbBl.* (1993) Nr. 9, zuletzt geändert *BArbBl.* (1997) Nr. 4
- TRGS 905: Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (TRGS 905). Ausgabe Juni 1997 *BArbBl.* (1997) Nr. 6, zuletzt geändert *BArbBl.* (2001) Nr. 9

- Tsai, S.P.; Bennett, J.M.; Salesman, C.N.; Ryan, T.E.; Gilstrap, E.L.; Ross, C.E.: Medical surveillance for hematological disorders among active and retired oil refinery workers. *J. Occup. Environ. Med.* 40 (1998), S. 475-480
- Tsai, S.P.; Gilstrap, E.L.; Colangelo, T.A., et al.: A mortality study of oil refinery and petrochemical employees. *J. Occup. Environ. Med.* 39 (1997), S. 448-454
- Tsai, S.P.; Gilstrap, E.L.; Cowles, S.R.; Snyder, P.J.; Ross, C.E.: Long-term follow-up mortality study of petroleum refinery and chemical plant employees. *Am. J. Ind. Med.* 29 (1996), S. 75-87
- Tsai, S.P.; Gilstrap, E.L.; Cowles, S.R., et al.: A cohort mortality study of two California refinery and petrochemical plants. *J. Occup. Med.* 35 (1993), S. 415-421
- Tsai, S.P.; Wen, C.P.; Weiss, N.S., et al.: Retrospective mortality and medical surveillance studies of workers in benzene areas of refineries. *J. Occup. Med.* 25 (1983), S. 685-692
- UBA: Luftqualitätskriterien für Benzol. Berichte 6/82. Umweltbundesamt (UBA). Erich Schmidt, Berlin 1982
- UBA: Durchführung eines Risikovergleiches zwischen Dieselmotoremissionen und Ottomotoremissionen hinsichtlich ihrer kanzerogenen und nicht-kanzerogenen Wirkungen. Umweltbundesamt (UBA). Erich Schmidt, Berlin 1999
- UK Department of the Environment: Expert panel on air quality standards. Benzene. Her Majesty's Stationery Office (HMSO), Edinburgh 1994
- US DHHS: Toxicological profile for benzene. PB 93-182384. US Department of Health and Human Services, Bethesda MD 1993
- Utterback, D.F.; Risky, R.A.: Benzene exposure assessment in rubber hydrochloride workers: a critical evaluation of previous estimates. *Am. J. Ind. Med.* 27 (1995), S. 661-676
- Vainiotalo, S.; Ruonakangas, A.: Tank truck driver exposure to vapors from oxygenated or reformulated gasolines during loading and unloading. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 60 (1999), S. 518-525
- Valentin, H.; Lehnert, G., et al.: *Arbeitsmedizin*. Thieme, Stuttgart 1985
- Van Ert, M.D.; Arp, E.W.; Harris, R.L., et al.: Worker exposure to chemical agents in the manufacture of rubber tires: solvent vapor studies. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 41 (1980), S. 212-219
- Verma, D.K.; Johnson, D.M.; Shaw, M.L.; des Tombe, K.: Benzene and total hydrocarbons exposures in the downstream petroleum industries. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 62 (2001), S. 176-194

- Verma, D.K.; Johnson, D.M.; McLean, J.D.: Benzene and total hydrocarbon exposure in the upstream petroleum oil and gas industry. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 61 (2000), S. 255-263
- Verma, D.K.; des Tombe, K.: Measurement of benzene in the workplace and its evolution process, part I: Overview, history, and past methods. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 60 (1999a), S. 38-47
- Verma, D.K.; des Tombe, K.: Measurement of benzene in the workplace and its evolution process, part II: Present methods and future trends. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 60 (1999b), S. 48-56
- Vian, L.; Allain, P.; Javelaud, B.; Molle, R.; Allemand, B.; Andre, B., et al.: Benzene exposure in car mechanics and roadtanker drivers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 71 (1998), S. 277-283
- Vigliani, E.C.: Leukemia associated with benzene exposure. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 271 (1976a), S. 143-151
- Vigliani, E.C.; Forni A.: Benzene and leukemia. *Environ. Res.* 11 (1976b), S. 122-127
- Voytek, P.E.; Thorslund, T.W.: Benzene risk assessment: Status of quantifying the leukemogenic risk associated with the low-dose inhalation of benzene. *Risk Analysis* 11 (3) (1991), S. 355-357
- Wahrendorf, J.; Becker, H.: Quantitative Risikoabschätzung für ausgewählte Umweltkanzerogene. Forschungsbericht 10606067, UBA-Berichte 1/1990. Umweltbundesamt, Berlin 1990
- Wallace, L.A.: Major sources of benzene exposure. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989a), S. 165-169
- Wallace, L.A.: The exposure of the general population to benzene. *Cell Biol. Toxicol.* 5 (3) (1989b), S. 297-314
- Wallace, L.A.: Environmental exposure to benzene: an update. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996), S. 1129-1136
- Wallace, L.A.; Pellizzari, E.; Hartwell, T., et al.: Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: personal exposure, indoor-outdoor relationships, and breath levels of volatile organic compounds in New Jersey. *Environ. Int.* 12 (1986), S. 369-387
- Wallace, L.A.; Pellizzari, E.; Hartwell, T.D., et al.: Exposure to benzene and other volatile compounds from active and passive smoking. *Arch. Environ. Health* 42 (1987), S. 272-279
- Waxweiler, R.J.; Alexander, V.; Leffingwell, S.S.; Haring, M.; Lloyd, J.W.: Mortality from brain tumor and other causes in a cohort of petrochemical workers. *J. Nat. Cancer Inst.* 70 (1983), S. 75-81
- Weaver, N.K.; Gibson, R.L.; Smith, C.W.: Occupational exposure to benzene in the petroleum and petrochemical industries. *Adv. Mod. Environ. Toxicol.* 4 (1983), S. 63-75

- Weber, A.; Kraus, T.: Zur Frage eines benzolbedingten Leukämie- und Lymphomrisikos nach beruflicher Exposition gegenüber Kraftfahrzeugemissionen. *Med. Sachverständ.* 93 (1997), S. 140-145
- Weber, A.; Kraus, T.; Lehnert, G.: Benzolassoziierte aplastische Anaemien. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin* 31 (8) (1996), S. 309-316
- Weiland, S.; Mundt, K.; Keil, U., et al.: Cancer mortality among workers in the German rubber industry: 1981-91. *Occup. Environ. Med.* 53 (1996), S. 289-298
- Weiland, S.; Straif, K.; Chambless, L., et al.: Workplace risk factors for cancer in the German rubber industry: part 1. Mortality from respiratory cancers. *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), S. 317-324
- Weisel, C., et al.: Exposure to emissions from gasoline within automobile cabins. *J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.* 2 (1992), S. 1
- Wen, C.P.; Tsai, S.P.; Weiss, N.S.; Gibson, R.L.: Long-term mortality study of oil refinery workers: V. Comparison of workers hired before, during and after world war II (1940-45) with a discussion of the impact of study designs on cohort results. *Am. J. Ind. Med.* 9 (1986), S. 171-180
- Wen, C.P.; Tsai, S.P.; Weiss, N.S.; Gibson, R.L.; Wong, O.; McClellan, W.A.: Long-term mortality study of oil refinery workers. IV. Exposure to the lubricating-dewaxing process. *J. Nat. Cancer Inst.* 74 (1985), S. 11-18
- Wen, C.P.; Tsai, S.P.; Weiss, N.S., et al.: Result-oriented medical information system: an alternative to the conventional approach. *J. Occup. Med.* 26 (1984a), S. 386-391
- Wen, C.P.; Tsai, S.P.; Gibson, R. L.; McClellan, W. A.: Long-term mortality study of oil refinery workers. II. Comparison of the experience of active, terminated and retired workers. *J. Occup. Med.* 26 (1984b), S. 118-127
- Wen, C.P.; Tsai, S.P.; McClellan, W.A.: Long-term mortality study of oil refinery workers. I. Mortality of hourly and salaried workers. *Am. J. Epidemiol.* 118 (1983), S. 526-542
- Wen, C.P.; Tsai, S.P.; Gibson, R.L.: A report on brain tumors from a retrospective cohort study of refinery workers. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 381 (1981), S. 130-138
- Westley-Wise, V.J.; Stewart, B.W.; Kreis, I.; Ricci, P.F.; Hogan, A.; Darling, C., et al.: Investigation of a cluster of leukaemia in the Illawarra region of New South Wales, 1989-1996. *Med. J. Aust.* 171 (1999), S. 178-183

- White, M.C.; Infante, P.F.; Chu, K.C.: A quantitative estimate of leukaemia mortality associated with occupational exposure to benzene. *Risk Analysis* 2 (1982), S. 195-204
- Wilcosky, T.; Checkoway, H.; Marshall, E., et al.: Cancer mortality and solvent exposure in the rubber industry. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 45 (1984), S. 809-811
- Wilkinson, P.; Thakrar, B.; Walls, P.; Landon, M.; Falconer, S.; Grundy, C.; Elliott, P.: Lymphohaematopoietic malignancy around all industrial complexes that include major oil refineries in Great Britain. *Occup. Environ. Med.* 56 (1999), S. 577-580
- Williams, R.R.; Stegens, N.L.; Goldsmith, J.R.: Associations of cancer site and type with occupation and industry from the third national cancer survey interview. *J. Nat. Cancer Inst.* 59 (4) (1977), S. 1147-1185
- Wilson, R.: Testimony at Occupational Safety and Health Administration Hearing on proposed standard for exposure to benzene. OSHA Docket No. H-059. Occupational Safety and Health Administration, Washington DC 1977
- Wolf, P.H.; Andjelkovich, D.; Smith, A., et al.: A case-control study of leukemia in the U.S. rubber industry. *J. Occup. Med.* 23 (2) (1981), S. 103-108
- Wolff, S.P.: Correlation between car ownership and leukaemia: Is non-occupational exposure to benzene from petrol and motor vehicle exhaust a causative factor in leukaemia and lymphoma? *Experientia* 48 (1992), S. 301-304
- Wong, O.; Raabe, G.K.: Non-Hodgkin's lymphoma and exposure to benzene in a multinational cohort of more than 308,000 petroleum workers, 1937-1996. *J. Occup. Environ. Med.* 42 (2000), S. 554-568
- Wong, O.; Trent, L.; Harris, F.: Nested case-control study of leukaemia, multiple myeloma, and kidney cancer in a cohort of petroleum workers exposed to gasoline. *Occup. Environ. Med.* 56 (1999), S. 217-221
- Wong, O.; Raabe, G.K.: Correspondence: Acute myeloid and monocytic leukaemia and benzene exposure in petroleum distribution workers in the United Kingdom. *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), S. 360-362
- Wong, O.; Raabe, G.K.: Multiple myeloma and benzene exposure in a multinational cohort of more than 250,000 petroleum workers. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 26 (1997), S. 188-199
- Wong, O.: Risk of acute myeloid leukaemia and multiple myeloma in workers exposed to benzene. *Occup. Environ. Med.* 52 (1995a), S. 380-384

- Wong, O.; Raabe, G.K.: Cell-type-specific leukemia analysis in a combined cohort of more than 208,000 petroleum workers in the United States and the United Kingdom 1937-1989. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 21 (1995b), S. 307-321
- Wong, O.; Trent, L.; Harris, F.: Nested case-control study of leukemia, multiple myeloma, and kidney cancer in a cohort of petroleum workers exposed to gasoline. *Occup. Environ. Med.* 56 (1993a), S. 217-221
- Wong, O.; Harris, F.; Smith, T.J.: Health effects of gasoline exposure. II. Mortality patterns of distribution workers in the United States. *Environ. Health Perspect.* 101 (Suppl. 6) (1993b), S. 63-76
- Wong, O.; Raabe, G.: Critical review of cancer epidemiology in petroleum industry employees, with a quantitative meta-analysis by cancer site. *Am. J. Ind. Med.* 15 (1989), S. 283-310
- Wong, O.: An industry wide mortality study of chemical workers occupationally exposed to benzene. I. General results. *Br. J. Ind. Med.* 44 (1987a), S. 365-381
- Wong, O.: An industry wide mortality study of chemical workers occupationally exposed to benzene. II. Dose response analyses. *Br. J. Ind. Med.* 44 (1987b), S. 382-395
- Wong, O.; Morgan, R.W.; Bailey, W.J., et al.: An epidemiological study of petroleum refinery employees. *Br. J. Ind. Med.* 43 (1986), S. 6-17
- Wong, O.: An industry-wide mortality study of chemical workers occupationally exposed to benzene. Berkeley, CA: Environmental Health Associates Inc., December 8. Submitted to Chemical Manufacturers Association, Berkeley 1983 (unpublished)
- Wong, O.; Tabershaw, I.R.: Comments on mortality among workers employed in petroleum refining and petrochemical plants. *J. Occup. Med.* 22 (1980), S. 638-640
- Wongsrichanalai, C.; Delzell, E.; Cole, P., et al.: Mortality from leukemia and other diseases among workers at a petroleum refinery. *J. Occup. Med.* 31 (1989), S. 106-111
- Yardley-Jones, A.; Anderson, D.; Parke, D.V.: The toxicity of benzene and its metabolism and molecular pathology in human risk assessment. *Br. J. Ind. Med.* 48 (1991), S. 437-444
- Yin, S.N.; Hayes, R.B.; Linet, M.S., et al.: A cohort study of cancer among benzene-exposed workers in China: overall results. *Am. J. Ind. Med.* 29 (1996a), S. 227-235
- Yin, S.N.; Hayes, R.B.; Linet, M.S.; Li, G.L.; Dosemeci, M.; Travis, L.B., et al.: An expanded cohort study of cancer among benzene-exposed workers in China. *Environ. Health Perspect.* 104 (Suppl. 6) (1996b), S. 1339-1341

- Yin, S.N.; Linet, M.S.; Hayes, R.B.; Li, G.L.; Dosemeci, M.; Wang, Y.Z., et al.: Cohort study among workers exposed to benzene in China: 1. General methods and resources. *Am. J. Ind. Med.* (1994), S. 383-400
- Yin, S.N.; Li, G.L.; Tain, F.D., et al.: A retrospective cohort study of leukemia and other cancers in benzene workers. *Environ. Health Perspect.* 82 (1989), S. 207-213
- Yin, S.N.; Li, G.L.; Tain, F.D., et al.: Leukemia in benzene workers: a retrospective cohort study. *Br. J. Ind. Med.* 44 (1987a), S. 124-128
- Yin, S.N.; Li, Q.; Liu, Y., et al.: Occupational exposure to benzene in China. *Br. J. Ind. Med.* 44 (1987b), S. 192-195
- Young, N.: Benzene and lymphoma. *Am. J. Ind. Med.* 15 (1989), S. 495-498
- Zeeb, H.; Blettner, M.: Adult leukaemia: What is the role of currently known risk factors? *Radiat. Environm. Biophys.* 36 (1998), S. 217-228
- Zoloth, S. R.; Michaels, D. M.; Villalbi, J. R.; Lacher, M.: Patterns of mortality among commercial pressmen. *J. Nat. Cancer Inst.* 76 (1986), S. 1047-1051

Anhang A: Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1	Übersicht der verschiedenen Leukämiearte.n.....10
Tabelle 2	Wichtigste Produkte, die aus Benzol hergestellt werden.....17
Tabelle 3	Zusammenfassung der branchenbezogenen Benzolexpositionen.....21
Tabelle 4	Metaanalysen bzw. Reviews zu Benzol und Leukämie.....30
Tabelle 5	Risikoabschätzungen für Leukämie, basierend auf der Pliofilm-Studie (Paxton, 1996).....34
Tabelle 6	Die beschriebenen Kohortenstudien, geordnet nach Land.....37
Tabelle 7	Bisher ermittelte Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Benzol und Leukämie.....64
Tabelle 8	Benzolexpositionen, nach Publikationsjahr geordnet.....116
Tabelle 9	Benzolexpositionen in der chemischen Industrie.....130
Tabelle 10	Benzolexpositionen auf Bohrinseln.....130
Tabelle 11	Benzolexpositionen in der Erdölbranche.....131
Tabelle 12	Benzolexpositionen an Tankstellen.....134
Tabelle 13	Benzolexpositionen in Kfz-Werkstätten, Garagen.....136
Tabelle 14	Benzolexpositionen in der Gummiindustrie.....137
Tabelle 15	Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen.....138
Tabelle 16	Benzolexpositionen in der Außenluft, ländlicher Raum.....139
Tabelle 17	Benzolexpositionen in der Außenluft, Stadtgebiet.....140
Tabelle 18	Benzolexpositionen in der Innenraumluft.....142
Tabelle 19	Benzolexpositionen im Fahrzeuginnenraum.....143
Tabelle 20	Benzolexpositionen durch Rauchen.....144
Tabelle 21	Berufliche Benzolexpositionen in Deutschland in mg/m ³145
Tabelle 22	Benzol und Leukämie: Publikationen zur Pliofilm-Studie.....150
Tabelle 23	Benzol und Leukämie: Kohortenstudien.....155
Tabelle 24	Benzol und Leukämie: Fall-Kontroll-Studien.....178

Anhang B: Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 1	Benzolexposition: Arithmetische Mittelwerte und Streubreite nach Branche, Zeitraum 1935 bis 2001	23
Abbildung 2	Die amerikanische Pliofilm-Kohorte.....	35
Abbildung 3	Risiko für Leukämie in der Erdölbranche, Kohortenstudien.....	39
Abbildung 4	Risiko für Leukämie in bestimmten Branchen, Kohortenstudien.....	41
Abbildung 5	Risiko für akute lymphatische Leukämie (ALL) in der Erdölbranche, Kohortenstudien.....	43
Abbildung 6	Risiko für akute myeloische Leukämie (AML) in der Erdölbranche, Kohortenstudien.....	44
Abbildung 7	Risiko für chronische lymphatische Leukämie (CLL) in der Erdölbranche, Kohortenstudien.....	45
Abbildung 8	Risiko für chronische myeloische Leukämie (CML) in der Erdölbranche, Kohortenstudien.....	46
Abbildung 9	Risiko für verschiedene Leukämiearten in bestimmten Branchen, Kohortenstudien.....	47
Abbildung 10	Risiko für lymphatische bzw. myeloische Leukämie in der Erdölbranche, Kohortenstudien.....	48
Abbildung 11	Risiko für Leukämie in der Erdölbranche, Fall-Kontroll-Studien.....	52
Abbildung 12	Risiko für Leukämie in bestimmten Branchen, Fall-Kontroll-Studien.....	53
Abbildung 13	Risiko für verschiedene Leukämiearten in der Erdölbranche, Fall-Kontroll-Studien.....	55
Abbildung 14	Risiko für akute Leukämie in bestimmten Branchen, Fall-Kontroll-Studien.....	57
Abbildung 15	Risiko für chronische Leukämie in bestimmten Branchen, Fall-Kontroll-Studien.....	59
Abbildung 16	Risiko für verschiedene Leukämiearten in bestimmten Branchen, Fall-Kontroll-Studien.....	61
Abbildung 17	Benzolexposition in der chemischen Industrie.....	189

Abbildung 18 Benzolexposition in der Erdölbranche.....	190
Abbildung 19 Benzolexposition an Tankstellen.....	191
Abbildung 20 Benzolexposition in Kfz-Werkstätten, Garagen.....	192
Abbildung 21 Benzolexposition in der Gummiindustrie.....	193
Abbildung 22 Benzolexposition in der Gummiindustrie (ohne Schuhproduktion).....	194
Abbildung 23 Benzolexposition in der Außenluft, ländlicher Raum.....	195
Abbildung 24 Benzolexposition in der Außenluft, Stadtgebiet.....	196
Abbildung 25 Benzolexposition im Fahrzeuginnenraum.....	197
Abbildung 26 Benzolexposition im Privatbereich, Raucherwohnung und Nichtraucherwohnung.....	198

Anhang C: Tabellen 8 bis 24 und Abbildungen 17 bis 26

Tabelle 8: Benzolexpositionen, nach Publikationsjahr geordnet

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Parkinson	1971	Erdölraffinerien und Tankstellen Großbritannien	Raffinerien: M 1,0-7,5 mg/m ³ (1969) Tankstellen: M 8,1-9,8 mg/m ³ in London 0,96-7,7 mg/m ³ in Großbritannien	121 Proben 3-14 h TWA
Sherwood	1972	Zugtankwagen Großbritannien	Ladevorgang: 5,1 und 8,0 mg/m ³ Wiegevorgang: 64 mg/m ³	4-6 h
NIOSH	1974	Review: Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen	Gummibeschichtung: 208-832 mg/m ³ (1935-37) 65-81 mg/m ³ (1960-63) Druckindustrie: 32,5-3445 mg/m ³ (1939) Kunstleder-, Gummiwaren-, Schuhherstellung: 325-1625 mg/m ³ (1936-39) Kunstlederfabrik: 150-1000 mg/m ³ (1953-57) 80-150 mg/m ³ (1953-57) (nach Einsatz von Schutzmaßnahmen) Schuhfabrik: 1033-1528 mg/m ³ (1956) 100-500 mg/m ³ (1960-63) 130-140 mg/m ³ (1964) Farbenherstellung: Spuren bis 362 mg/m ³ (1963) Tankladungsumschlag: 0,3-24,6 mg/m ³ Umschlag bei Tankwagen: 4,5-30,1 mg/m ³ Auffüllen von Zugtanks: 5-8 mg/m ³	Daten z. T. wie in EPA 1980, IARC 1982, Berlin 1985 und Fishbein 1988
Schulz	1978	3 Raffinerien Deutschland	84 % < 3,24 mg/m ³ 80 % < 3,24 mg/m ³	8 h TWA
Markel	1979	Erdölraffinerie USA	Qualitätskontrolle: 2-103 mg/m ³ (1978)	
Pagnotto	1979	Gummibeschichtung , USA 1961-73	5-50 ppm Luft = 16,25-162,5 mg/m ³	Phenol im Urin und Blutanalyse
Lehmann	1979	Tankstellen Deutschland	Stadtrand: M 0,65-1,59 mg/m ³ Stadtzentrum: M 0,13-5,03 mg/m ³	8 h TWA
Lauwerys	1979	Rauchen	Raucherwohnung: 47-64 ppm = 153-208 mg/m ³	
McDermott	1979	Tankwarte an 7 Tankstellen USA 1977	M 0,08 ppm = 0,26 mg/m ³ M 0,06-0,75 mg/m ³ 6 Tankstellen: M 0,06 ppm = 0,20 mg/m ³ 1 Tankstelle: M 0,24 ppm = 0,78 mg/m ³ Bereich: < 0,01-2,08 = < 0,03-6,76 mg/m ³	84 Proben, 8 h TWA Schwankungen abhängig von Arbeitstechnik und Windverhältnissen

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Evans	1979	Chemiefabrik USA	0,3-1,3 mg/m ³ (1979)	
Oldham	1979	Benzinverteilung	0,003-0,032 mg/m ³	
Areskoug	1979	Erdölraffinerien Schweden	0,1-1,0 mg/m ³	8 h TWA
Fentiman	1979	Chemiefabriken und Tankstellen USA	Chemiefabriken: 2-55 mg/m ³ Tankstellen: 0,001-0,007 mg/m ³ Tankstellen während Tanknachfüllung: 0,032-0,069 mg/m ³	
Irving	1979	Benzinumschlag USA	Füllvorrichtung oben, mit Absaugschutz: 7,30 mg/m ³ Füllvorrichtung unten, ohne Absaugschutz: 3,3 mg/m ³ Füllvorrichtung unten, mit Absaugschutz: 1,82 mg/m ³	
Suta	1980	Chemiefabriken USA	1,9-109 mg/m ³	
Gorman	1980	Abwasserbehand- lung in Erdölfabrik USA	personenbezogene Probenahme: 0,06-1,5 mg/m ³ (1978) Luftproben: 0,06-21,7 mg/m ³ (1978)	
Anon	1980	Kohleverflüssigungs anlage	0,065 mg/m ³ (1980)	Daten wie in CONCAWE 94/53
Van Ert	1980	Reifenindustrie USA	< 0,3-18,9 mg/m ³ (1973-77)	personenbezogene Messung
McQuilkin	1980	Anstreichen von Metallprodukten USA	0,55-10,1 mg/m ³ (1978)	
NRC	1980	Tankstellen USA	M 0,4 mg/m ³	
NIOSH	1980	Tankstellen USA	0,6-10,2 mg/m ³	
EPA	1980	Gummiindustrie Review: Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen	Gummifabrik: 320 mg/m ³ (1942) Gummibeschichtung: 83-416 mg/m ³ (1961) Regenmantelfabrik: 438-698 (1977) Schuhfabrik: 480-2080 mg/m ³ (1966-78) australischer Luftwaffenworkshop: 33-116 mg/m ³ (1947)	Daten z. T. wie in NIOSH 1974, IARC 1982, Berlin 1985 und Fishbein 1988
Brief	1980	Tankstellen	0,08-10 mg/m ³ Umschlag: 4,5-31,7 mg/m ³	
Arbetarskyd dsstyrelsen	1981	Tankwagenfahrer Schweden	M 0,1 mg/m ³ (nn-0,3)	

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
UBA	1982	Emissionen und Immissionen von Benzol Deutschland	Emissionen in Deutschland pro Jahr: Kfz-Verkehr: 50 000-60 000 t Raffinerien: 200-250 t Verteilung von Kraftstoff: 1500-2000 t Kokereien: 1100-2400 t chemische Industrie: 500-1000 t Verbrennung fossiler Brennstoffe: 2000-2500 t Kleinverbrauch: 100-1000 t Benzolexposition in der Luft: ländliche Gebiete: 1-10 µg/m ³ Stadtgebiete außerhalb Hauptverkehrsstraßen: 5-20 µg/m ³ in Hauptverkehrsstraßen: 20-50 µg/m ³ Einflussbereich industrieller Anlagen: bis zu 30 µg/m ³	
IARC	1982 a+b	Review: Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen	Übersicht von Expositionen verschiedener Branchen Umgebungsluft in Städten, verschiedene Autoren: 0,3-573 mg/m ³	Daten z. T. wie in NIOSH 1974, EPA 1980, Berlin 1985 und Fishbein 1988
Singh	1982	USA	Stadtgebiet: 0,0188 mg/m ³ Außenluft: 0,0163 mg/m ³	
Pellizzari	1982	USA	industrielle Umgebung: 0,0004-0,016 mg/m ³	
DGMK und TRGS 102	1983	Exposition beim Umschlag und bei der Produktion von Motorenbenzin 1981-1982 Deutschland	Tankstellen: M 0,19-0,75 mg/m ³ Abfüllanlagen: gM 1,29 (0,039-2,54) mg/m ³ (für Tankwagen, Kesselwaren, Tankschiffe) Tankwagenfahrer: M 1,55 (1,17-1,85) mg/m ³ Tankschiff: M 7,24 (4,2-11,4) mg/m ³ Raffinerien: M 0,05-2,79 mg/m ³ Crackanlagen: M 0,19 (0,12-3,14) mg/m ³ Ethylenanlagen: M 0,03-1,60 mg/m ³	

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Nordlinder	1983	Erdölraffinerien Fahrzeuginnenraum Garagen	Erdölraffinerien: Rohöldestillation: 0,8 mg/m ³ Reformieranlage: 0,2 mg/m ³ Laborpersonal: 1,0 mg/m ³ Produktanalyse: 0,2 mg/m ³ Fahrzeuginnenraum während der Fahrt auf Autobahnen in mg/m ³ : Tankwagen: 0,008 Dieselfahrzeuge: 0,003 Fahrzeuginnenraum von Dieselfahrzeugen während der Fahrt im Stadtverkehr in mg/m ³ : ohne Anhalten: 0,04 mit Anhalten: 0,11 Expositionen in Garagen in mg/m ³ : kleine Garagen (Sommer): 1,6 kleine Garagen (Winter): 6,8 große Garagen, Mechaniker (Sommer): 0,4 große Garagen, Mechaniker (Winter): 0,8 große Garagen, Elektriker (Sommer): 1,0 große Garagen, Elektriker (Winter): 1,4 Tankwarte: 0,13 (0,08-0,21) mg/m ³ Tankwarte: 0,76 (0,59-0,98) mg/m ³	
Lindahl	1983	Waldarbeit Schweden	Holzfällen im Sommer: 0,7 mg/m ³ Holzfällen im Winter: 0,3-0,6 mg/m ³	
Bruckmann	1983	Schwarzwald Deutschland	ländliches Gebiet: 0,002 mg/m ³	
Clayton	1983	Tankstelle mit Selbstbedienung USA	3,1 (1,3-5,8) mg/m ³	
Weaver	1983	Review: Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen		
Fishbein	1984		Raucher: 10-30 µg/Zigarette	
Ellis	1984	Tankstellen mit Selbstbedienung USA	0,5 mg/m ³	
Holmberg	1985	Review: Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen	gute Übersicht, primär skandinavische Daten	Daten wie in IARC 1982, NIOSH 1974, Fishbein 1988 und Nordlinder 1983

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Berlin	1985	verschiedene Arbeitsbereiche Schweden	in mg/m ³ : Tankwagenfahrer: 1,3 (0,03-13,4) ...Beladen: 13 (0,10-148) ...Entladen: 1,07 (0,03-9,4) ...Fahren: 0,08 (< 0,02-0,36) Tankwart: 0,18 (0,07-1,01) Tankschiff: 21,32 (1,07-74,10) Kohlearbeiter: 8,84 (0,52-39) Kfz-Mechaniker: 0,02-0,17 Holzfäller: 0,94 (0,07-2,99) Chemielabor: 1,43 (0,13-6,5) Reinigung von Erdöltanks per Hand: 633 Erdölpumpenpersonal: 1,33 (0,75-2,08) mittlere Exposition über 8 h: Tankwagenfahrer: 0,54 mg/m ³ Tankschiffbesatzung: 4,18 mg/m ³ Tankwarte an Tankstellen: 0,22 mg/m ³	6-45 Minuten Messdauer
Johnsson	1985	Schweden	Stadtgebiet: 0,0077 mg/m ³ starker Verkehr: 0,148 mg/m ³	
Wallace	1986	USA	personenbezogene Messung: 0,0075-0,028 mg/m ³ gM = 0,0137 mg/m ³ Außenluftkonzentrationen: 0,0019-0,016 mg/m ³ gM = 0,0056 mg/m ³	Exposition von Benzolkonz. im Innenraumbereich meist größer als in der Nähe von Tankstellen
Kleine a+b	1986	Tankwagenfahrer Deutschland 1981-82	gM 0,86 (0,51-1,48) mg/m ³	
Halder	1986	Tankwagenfahrer, Tankschiffarbeiter und Tankwarte USA	Erdölumschlag: gM 0,8 mg/m ³ Tankschiffbeladung: gM 0,5 mg/m ³ Tankwart: gM 0,7 (0-4,2) mg/m ³	8 h TWA
Tironi	1986	Tankstelle mit Selbstbedienung USA	Winter: 0,2-55,2 mg/m ³ Sommer: 0,3-44,9 mg/m ³	
Bond a	1986	Tankstelle mit Selbstbedienung USA	0,73 mg/m ³	
Krause	1987	VOC in der Luft von 230 Wohnungen Deutschland	Nichtraucherwohnung: M 0,0069 mg/m ³ Raucherwohnung: M 0,0093 mg/m ³ Bereich < 0,001-0,039 mg/m ³ 90-Perzentile: 0,017 mg/m ³	

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Nordlinder	1987	Erdölraffinerien, Umschlag Schweden	Rohöldestillation: 0,5-1,3 mg/m ³ Reformieranlage: 1-0,3 mg/m ³ Befüllen von Tankwagen: 4,3 (1,0-13) mg/m ³ (oberer Bereich) 3,0 (0,5-4,0) mg/m ³ (unterer Bereich, seit 1980) Befüllen und Entladen von Tankwagen: 0,1-18 mg/m ³ starker Stadtverkehr und Stau: 0,02-0,04 mg/m ³ starker Stadtverkehr: 0,01-0,02 mg/m ³ ländliches Gebiet: 0,005-0,01 mg/m ³	
Rappaport	1987	Erdölindustrie, Tankwarte USA	Tankwart: M 0,65 (0,48-0,81) mg/m ³ Tankwagenfahrer: M 0,45 (0,25-0,65) mg/m ³	49 Proben 7-8 h TWA
CONCAWE 4/87	1987	Exposition von Benzol in Benzindämpfen Europa	kurzzeitige Exposition von Benzol in mg/m ³ : Straße: Bodennähe: M 6,0 Straße: Augenhöhe: M 1,4 Tankstelle mit Selbstbedienung: M 4,3 Langzeitwerte M in mg/m ³ : Straße: Augenhöhe: 1,7 Straße: Bodennähe: 1,2 Straßenlieferung: 5,1 Tankwart: 0,35 (0,08-1,28) geschlossenes Schiff: 4,6 offenes Schiff: 1,5 geschlossener Kahn: 4,7 Hafenarbeiter: 1,5 Zug, oberer Bereich: 1,5 (nn-9,5) Abfüllstation: 27,2 (nn-116) Produktion vor Ort: 0,88 Produktion nicht vor Ort: 0,97	13 Proben 8 h TWA
Dann	1987	Kanada	Stadtgebiet: 0,0186 mg/m ³	
Yin b	1987	Fabriken in China	gM 18,1 mg/m ³ 65 % < 40 mg/m ³ 95 %: 0,06-845, z. T. über 1000 mg/m ³	
Fishbein	1988	Review: Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen		Daten z. T. wie in NIOSH 1974, EPA 1980, IARC 1982, Berlin 1985
BUA	1988	Emissionen von Verkehrsabgasen Deutschland	industrielle Umgebung: M bei Kohleöfen: 0,057 mg/m ³ M bei Raffinerien: 0,0134 mg/m ³	Emissionen von Verkehrsabgasen sind die wichtigste Quelle für Benzol in der Umgebungsluft
Shah	1988	Außen- und Innenluft USA	ländlicher Raum: 0,0015 mg/m ³	

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Bruckmann	1988	Hamburg Deutschland	Vorstadt: 0,0093 mg/m ³	
RIVM	1988	Niederlande	Vorstadt: 0,0028 mg/m ³	
Wallace a+b	1989	Hauptquellen, Aufnahme/Tag: Rauchen (1800 µg), Autoabgase, Autofahren (40 µg), Passivrauchen (50 µg), Emission von Konsumprodukten Außenluft (120 µg), Tanken (10 µg) USA 1979-88	M personenbezogene Messung: 0,015 mg/m ³ M Außenluftkonzentration: 0,006 mg/m ³ max. personenbez. Exposition: 0,5 mg/m ³ max. Außenluftkonzentration: 0,09 mg/m ³ Atemkonzentration bei Rauchern: 0,014 mg/m ³ Atemkonzentration bei Nichtrauchern: 0,002 mg/m ³ hauptsächliche Quellen: Hauptstromrauch 20 % persönliche Aktivitäten (Autofahren, Garagen) 20 % Emissionen (Autoabgase, industrielle Emissionen) 5 % Passivrauchen Tanken: 3,2 mg/m ³ Fahrzeuginnenraum beim Fahren: 0,04 mg/m ³ andere Quellen sind unbedeutender als zuvor vermutet (Erdölraffinerien, petrochemische Herstellung, Öllagerung, Tankstellen, Nahrung) Expositionen: Zigaretten: 39 % Industrie: 3 % Wohnung: 16 % persönlicher Bereich: 18 % Passivrauchen: 5 % Autos: 18 % Rauchen: 57µg/Zigarette	Zusammenfassung der TEAM Studie, USA: primär Messungen in Wohnbereichen Die Hälfte der Benzolexposition wird durch Rauchen verursacht, die andere durch den persönlichen Bereich und Außenluftquellen. (in zwei Aufsätzen veröffentlicht)
Inoue	1989	Routinearbeit auf einer Bohrinnsel Nordsee	0,85 (< 0,1-6,5) mg/m ³	16 Proben 8 h TWA 12-Stunden-Schicht
Bailey	1989	Großbritannien 1986-87	Stadtgebiet: 0,01-0,02 mg/m ³ starker Verkehr: 0,028-0,031 mg/m ³	
Brunne- mann	1989	Rauchen	Rauchen: 6-73 µg/Zigarette	
IARC	1989	West-Europa und USA	Tankwarte: 0,35 (0-1,3) mg/m ³ Laden von Tankwagen, ohne Gasrückführung: West-Europa: 0-60,5 mg/m ³ USA: 0,1-2,3 mg/m ³ Laden von Tankwagen, mit Gasrückführung: West-Europa: 0-5,5 mg/m ³ USA: 0,2-5,9 mg/m ³	s. entsprechende Studien
Brunne- mann	1990	Rauchen	Passivrauchen: 0,007-0,208 mg/m ³ 0,345-0,653 µg/Zigarette	

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Ducos	1990	Chemieindustrie Niederlande	1,26 (< 0,01-211,1) mg/m ³	146 Proben 8 h TWA
Machefer	1990	Erdölraffinerien Frankreich	M 2,59 mg/m ³	62 Proben 8 h TWA 1,52-1,79 % Benzol im Kraftstoff
Hattemer-Frey	1990	Schätzung der Benzolakkumulation Daten basieren auf gemessenen und vorausgerechneten Daten Ergebnisse der drei verschiedenen Methoden stimmen gut überein USA	tägliche Aufnahme: Inhalation: 72,90 µg Wasser: 0,01 µg Nahrung: 0,02 µg Gesamt: 72,93 µg Rauchen: 40 µg/Zigarette	Inhalation ist der primäre Weg der Benzolexposition beim Menschen gegenüber Grundbenzolkonzentrationen in der Umwelt. Rauchen ist die größte anthropogene Quelle der Grundexposition für den Menschen.
Dannecker	1990	Deutschland Hamburg	starker Verkehr: 0,085-0,095 mg/m ³	
Goergens	1991	Benzol im venösen Blut von Automechanikern und Aufseher Deutschland	Mechaniker, Raucher: 1536 ng/l Mechaniker, Nichtraucher: 730 ng/l Kontrollen, Nichtraucher: 239 ng/l Aufseher, Raucher: 360 ng/l Aufseher, Nichtraucher: 240 ng/l Kontrollen, Nichtraucher: 163 ng/l	Werte unter Grenzwerten
Chriske	1991	Benzol in der Umwelt Deutschland	ländliche Gebiete: M 0,001-0,01 mg/m ³ städtisches Gebiet: M 0,010-0,020 mg/m ³	
Foo	1991	Erdölraffinerien und Tankstellen Singapur	M 0,64 mg/m ³ Stadtgebiet: 0,0074-0,086 mg/m ³	54 Proben 8 h TWA 1,8-3,7 % Benzol im Kraftstoff
Yardley-Jones	1991	Instandhaltung von Bohrinseln Nordsee	M 1,8 (< 0,1-19,2) mg/m ³	8 Proben 8 h TWA 12-Stunden-Schicht
Das	1991	Arbeiter an Verteilungspumpen von Erdöl Indien	M 3,73 mg/m ³	7 Proben 8 h TWA 0,5-3,5 % Benzol im Kraftstoff

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Angerer	1991	Instandhaltung von Bohrseln Nordsee	M 3,8 (< 0,1-10,7) mg/m ³	6 Proben 8 h TWA 12-Stunden-Schicht
Brugnone	1992	Aktivitäten vor der Stilllegung von Bohrseln Nordsee	M 0,65 (< 0,1-17,9) mg/m ³	42 Proben 8 h TWA 12-Stunden-Schicht
Ducos	1992	Chemieindustrie Frankreich	M 17 (< 0,01-201,5) mg/m ³	41 Proben 8 h TWA
Johnson	1992	Chemieindustrie Frankreich	M 0,65 (< 0,1-5,20) mg/m ³	16 Proben 8 h TWA 12-Stunden-Schicht
Enquete Kommission	1992	Deutschland	in mg/m ³ : starker Verkehr: 0,02-0,03 Kohleofen: 0,007-0,015 Innenraumlufte: 0,009 Nichtraucherwohnung: 0,0065 Raucherwohnung: 0,011 Tankstelle, 10-20 m entfernt: 0,01-0,026 Tanken, Peak während des Tankens: 2,94-27,2 Fahrzeuginnenraum beim Fahren: 0,05-0,2	
Weisel	1992	USA	Fahrzeuginnenraum: Stadt: 0,009-0,011 mg/m ³ Tunnel: 0,026 mg/m ³	
Eikmann	1992 a	Deutschland	Fahrzeuginnenraum: vor dem Starten: 0,06-0,18 mg/m ³ während der Fahrt: 0,03-0,06 mg/m ³	
Neumeier	1993	Europa	Stadtgebiet: 0,01-0,03 mg/m ³	
Lagorio	1993	Tankwarte Italien 1992	aM 0,11 mg/m ³ gM 0,12 mg/m ³ M 0,55 mg/m ³ Bereich 0,001-28,02 mg/m ³	703 personen- bezogene Luftproben ca. 2 % Benzol in Kraftstoff
US DHHS	1993	USA	Vorstadt: 0,0058 mg/m ³ Stadt: 0,058 mg/m ³	
IPCS	1993	Außenluft Europa Norwegen Großbritannien	Oslo, Norwegen: M 0,04 mg/m ³ London, Großbritannien: 0,023 mg/m ³	
Miscetti	1993	Tankwarte Italien	M 0,80 mg/m ³	ca. 2 % Benzol im Kraftstoff
Hartle	1993	Tankwarte USA	M 0,16 (0,03-1,66) mg/m ³ M 0,19 (0,03-0,61) mg/m ³ Gasrückführung	

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
BIA	1993	verschiedene Arbeitsbereiche 1980-90 Deutschland	Kontrolle im Maschinenbau: 90 % < 11,1 mg/m ³ Reparatur und Wartung: 90 % < 18,5 mg/m ³ Gießereien: 90 % < 3,9 mg/m ³ sonstige Bereiche: < 0,49 mg/m ³ (Bestimmungsgrenze) Oberflächenbehandlung und Kleben: 90 % < 29,6 Rohbenzolfahrer: 0,51-1,48 mg/m ³ (1981-82) (s. Kleine, 1986a+b) Kokereien: 0,03-8,1 mg/m ³ (bis 1990)	Auszug aus Expositionsdatenbank MEGA
AgipPetroli	1993	Tankwart Italien	Tankwart, Italien, mit Absaugenschutz: M 0,93 mg/m ³ Tankwart, Italien, ohne Absaugenschutz: M 3,7 mg/m ³	aus Review von Duarte-Davidson 2000
Lauwerys	1994	Erdölraffinerie mit Produktion aromatischer Verbindungen Deutschland	M 0,77 (0,11-3,30) mg/m ³	14 Proben 8 h TWA
CONCAWE 94/53	1994	Luftkonzentration an Tankstellen Europa 1990-1992	M 0,016-0,12 mg/m ³ 0,5 -37,2 ppb mit dem Wind; höchste Werte: M 0,0206 mg/m ³ mit dem Wind auf der Straße: 0,014 mg/m ³ gegen den Wind: 0,008 mg/m ³ mit dem Wind an Tankstelle: 0,02 mg/m ³ Tageswerte höher als Nachtwerte, Winterwerte höher als Sommerwerte	
CONCAWE 7/94	1994	Erdölindustrie Europa 1986-1992	in mg/m ³ : Raffinerien: Arbeiter: aM 0,59 (< 0,16-25,68) Außenarbeiter: aM 1,85 (< 0,16-43,23) Wartung: aM 2,57 (< 0,16-62,73) Umschlag: Tankwagenfahrer: aM 0,81 (< 0,16-6,70) Kranführer: aM 1,92 (< 0,16-61,43) Verteilstation: aM 5,10 (< 0,16-135,2) Tankschiff, an Deck: aM 2,34 (< 0,16-11,57) Hafenarbeiter: aM 6,44 (< 0,16-270,08) Tankstelle: aM 0,62 (< 0,16-10,86)	8 h TWA
UK Dept.	1994	Großbritannien	ländlicher Raum: 0,0016 mg/m ³ 0,00128-0,0054 mg/m ³ 0,00288-0,0032 mg/m ³ Stadtgebiet: 0,039 mg/m ³	

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Laitinen	1994	kurzzeitige Expositionen bei Garagen Finnland 1992	M 3-16 nmol/l (2-9 Std. nach Exposition) M 1,6-11,1 nmol/l (16 Std. nach Exposition) Atemzone (verbleites Benzin): 0,2-3,7 cm ³ /m ³ = 0,65-12,0 mg/m ³ Atemzone (unverbleites Benzin): 0,2-1,3 cm ³ /m ³ = 0,65-4,2 mg/m ³ höchste Konzentrationen: 2,4-2,9 cm ³ /m ³ = 7,8-9,4 mg/m ³ (beim Filterwechsel des Zapfhahns)	Benzol im Blut Benzol wird hauptsächlich über die Haut aufgenommen (ca. 80 %)
CONCAWE 1/94	1994		Review zu nichtberufsbezogenen Expositionsquellen von Benzol	
Lagorio	1994	Tankwarte Italien	M 1,73 mg/m ³	2,8 % Benzol im Benzin
Scherer	1995	Passivrauchen in Wohnungen Deutschland 1993	abends in der Stadt, Nichtraucher: 0,0081 mg/m ³ abends in der Stadt, Raucher: 0,0104 mg/m ³ abends in der Vorstadt, Nichtraucher: 0,0035 mg/m ³ abends in der Vorstadt, Raucher: 0,0046 mg/m ³ 1 Woche in der Stadt, Nichtraucher: M 0,0106 mg/m ³ 1 Woche in der Stadt, Raucher: M 0,0131 mg/m ³ 1 Woche, Vorstadt, Raucher: M 0,0056 mg/m ³ 1 Woche, Vorstadt, Nichtraucher: M 0,0032 mg/m ³ personenbezogene Probenahme: Stadt, Nichtraucher in Nichtraucherwohnung: 0,0118 mg/m ³ in Raucherwohnung: 0,0133 mg/m ³ Vorstadt, Nichtraucher: Nichtraucherwohnung: 0,0059 mg/m ³ Raucherwohnung: 0,0069 mg/m ³	Benzolexposition für Nichtraucher ist in der Stadt höher als für Raucher in den Vorstädten. Der Anteil von Benzol beträgt beim Passivrauchen ca. 15 % im Vergleich zu anderen Quellen.
Mannino	1995	Automechaniker oder Arbeit an Benzinpumpen USA	0-0,176 µg/m ³	
Moen a	1995	Arbeiter auf Tankschiff Norwegen	< 0,01-1,18 mg/m ³	
CONCAWE 95/63	1996	Benzol in der Umgebungsluft von Tankstellen Europa 1990-1992	M jährliche Konzentration an Tankstellen: 0,0038 (0,0016-0,0069) mg/m ³ M jährlicher Hintergrundlevel: < 0,001 mg/m ³ im Grünen: 0,0014 (0,001-0,0018) mg/m ³ jährliche mittlere Benzolkonzentration in Umgebungsluft: < 0,001 mg/m ³	ca. 0,0024 mg/m ³ (65 %) Benzol bei Aktivitäten an einer Tankstelle tragen zu den Mittelwerten in den Luftkonzentrationen bei: 0,0005 mg/m ³ (15 %), 0,0009 mg/m ³ (20 %) Hintergrund

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
BIA	1996	Alle Branchen	90%-Werte: Kunststoffindustrie: 0,5 mg/m ³ Chemische Industrie: 0,5 mg/m ³ Metallerzeugung: 2,65 mg/m ³ Metallbearbeitung: 4,0 mg/m ³ Elektronikindustrie: 0,5 mg/m ³ Keramikinindustrie: 0,5 mg/m ³ Bauwesen: 0,5 mg/m ³	
Schnatter	1996 a+b	Erdölverteilung Kanada	0,01-6,2 ppm = 0,0325-20,15 mg/m ³ tägliche Konzentration	
Wallace	1996	Review: Benzol- Expositionen im Allgemeinen	Bestätigung der Theorie durch mehrere Studien, dass Benzolexposition primär durch Rauchen und Autofahren verursacht ist. Bei Nichtrauchern sind Autoabgase und Benzinemissionen relevant. Nur geringe Expositionen gibt es in der Erdölindustrie bzw. in Raffinieren.	
Tharr	1997 a	Tankwarte USA	Gesamtkohlenwasserstoffe (THC) in ppm: Station A: 2,4 (1,1-4,4) Station B: 2,7 (0,6-6,2) Zapfhähne an beiden Stationen: 0,93 (0,43-1,4)	
Hanß	1997	Luftkonzentrationen in Baden-Württem- berg und Sachsen- Anhalt 1992-96 Deutschland	Benzol: 0,0021-0,0036 mg/m ³	
Lynge	1997 a	Tankstellen Europa	in mg/m ³ : Großbritannien, 1971: 0,96-7,7 Finnland, frühe 80er-Jahre: TWA 0,64, aM 1,6 (0,096-3,2) Norwegen, 1980-81: TWA 2,2 (0-18,2) Europa, 1980-85: TWA 0,03-18,2 Europa, 1984-85: TWA 0,35 (0,08-1,28) Europa, 1986-89: TWA 0,61 (< 0,16-10,7) Frankreich, 1990: TWA 2,59 Italien, 1991-92: TWA 0,55 (0,001-28,02) Schweden, späte 70er-Jahre: aM 0,27 (0,06- 0,99) Schweden, 1989: aM 2,3 (0,01-27,3) Norwegen, 1995: aM 3,26 (0-19,94) Norwegen, 1995: aM 2,53 (0-17,2)	(s. Parkinson 1971, Pfäffli 1991, Fjeldstad 1982, CONCAWE 3/86, 4/87 und 7/94, Machefer 1990 Lagorio 1993 Berlin 1975 und 78 Nordlinder 1992, Moen 1995b)
Auffahrt	1997	Kfz-Werkstätten Deutschland	M 0,21 (0,05-0,67) mg/m ³ Median 0,24	Schichtmittelwert

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
Fromme	1997	Autoinnenraum und in U-Bahn an 3 Messstationen Berlin, Deutschland 1994-1996	Autoinnenraum: aM 0,021-0,022 mg/m ³ Max. aM 0,026-0,035 mg/m ³ U-Bahn: aM 0,0054-0,0084 mg/m ³ Max. aM 0,0074-0,0160 mg/m ³	
Lewis	1997	Erdölumschlag Großbritannien 1909-92	30 Arbeitsplätze: 0,003-8,20 ppm = 0,0098-26,7 mg/m ³ 1-200 ppm-Jahre	Messung und Abschätzung für Fall-Kontroll-Studie Rushton 1997
Lagorio	1997	Tankwarte Italien 1994-95	M 0,316 mg/m ³	
Javelaud	1998	Exposition bei Automechanikern und Tankwagen- fahrern Frankreich	Automechaniker: gM 0,06 mg/m ³ aM 0,48 mg/m ³ < 0,005-9,31 mg/m ³ Tankwagenfahrer: gM 0,65 mg/m ³ aM 1,88 mg/m ³ < 0,005-23,06 mg/m ³	
CONCAWE 2/99	1999	Mittlere Expositionen im privaten und beruflichen Bereich	Beruflich: Tankwagenfahrer: 0,8 mg/m ³ Fahrer: 0,2 mg/m ³ Politesse: 0,04 mg/m ³ Tankwart: 0,6 mg/m ³ Fahrradkurier: 0,04 mg/m ³ Außenluft: ländlich: 1,6 µg/m ³ urban: 6 µg/m ³ Stadt: 12 µg/m ³ an befahrener Straße: 40 µg/m ³ Innenraumluf (Nichtraucher): ländlich: 3,5 µg/m ³ urban: 7 µg/m ³ Stadt: 14 µg/m ³ Innenraumluf (Raucher): ländlich: 7 µg/m ³ urban: 10 µg/m ³ Stadt: 17,5 µg/m ³ Innenraumluf bei Tankstelle: ländlich: 10 µg/m ³ urban: 13 µg/m ³ Stadt: 20 µg/m ³ Fahrzeuginnenraum: ländlich: 40 µg/m ³ urban: 60 µg/m ³ Tanken: mit Absaugschutz: 0,55 mg/m ³ ohne Absaugschutz: 3,2 mg/m ³	Update älterer CONCAWE- Reports

Autor	Jahr	Branche	Benzolexpositionen	Bemerkungen
BGAA	1999	Expositionen in der chemischen Industrie, Metallverarbeitung, Reparaturwerkstätten und Gießereien 1991-95 Deutschland	unterschiedliche Werte mit verschiedener Messdauer s. Tabelle 21	
Meneses	1999	Mexico City	allgemein: aM 240,6 µg/m ³ gM 160,5 µg/m ³ Tankwarte: aM 359,5 (132,4-819,9) µg/m ³ gM 323,8 µg/m ³ Straßenverkäufer: aM 83,7 (49,1-180,7) µg/m ³ gM 75,9 µg/m ³ Büroangestellte: aM 45,2 (32,2-66,9) µg/m ³ gM 43,38 µg/m ³	während der Messungen wurde nicht geraucht
Vainiotalo	1999	Lkw-Fahrer 1994-96 Finnland	gM 0,15-0,28 mg/m ³	
Verma	2000	Erdöl-/Erdgasindustrie 1985-96 Kanada	Erdöl/Erdgas: gM 0,020-1,063 mg/m ³ Erdgas: gM 0,003-0,236 mg/m ³ Schweröl: gM 0,016-0,084 mg/m ³ Bohrung: gM < 0,005 mg/m ³ Leitung: gM 0,301-0,350 mg/m ³ insgesamt: gM < 0,003-1,063 mg/m ³	
Glass	2000	Erdölindustrie Australien	retrospektive Abschätzung: < 5 ppm	
Carlton	2000	Flugzeugtanks und -tankreparatur USA	0,19-30,8 mg/m ³	
Liljelind	2000	Tanklastwagenfahrer Schweden	gM 0,17 (0,11-0,26) mg/m ³ gM 0,12 (0,04-0,37) mg/m ³	
Duarte-Davidson	2000	Privatbereich Großbritannien	Außenluft, Großbritannien: 3,7-41 µg/m ³ London: 3,2-43,5 µg/m ³ Außenluft, allgemein: 1,6-7,04 µg/m ³ an Straße: 10-45 µg/m ³ in Städten: 1,3-8,0 µg/m ³	auch Review
Crebelli	2001	Verkehrspolizist, Polizist im Büro Rom, Italien 1998-1999	Verkehrspolizist: aM 9,3 (1,3-76,7) µg/m ³ ; gM 6,8 µg/m ³ Polizist im Büro: aM 3,8 (1,1-8,3) µg/m ³ ; gM 3,5 µg/m ³ Außenluft (7-14 Uhr): aM 13,1 (6,2-24,8) µg/m ³ ; gM 12,6 µg/m ³	7 h TWA

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)
aM arithmetischer Mittelwert
gM geometrischer Mittelwert

TWA time weighted average, Schichtmittelwert (auf 8-Stunden-Schicht bezogen)
nn nicht nachweisbar

Tabelle 9: Benzolexpositionen in der chemischen Industrie (zugehörige Abbildung 17)

Mittlere Benzolexposition in mg/m³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
Farbenherstellung: bis 362	1963		NIOSH 1974
0,3-1,3	1979	USA	Evans 1979
Chemiefabrik: 2-55		USA	Fentiman 1979
Chemiefabrik: 1,9-109		USA	Suta 1980
Crackanlagen: M 0,19 (0,12-3,14) Ethylenanlagen: 0,03-1,60	1981-82	Deutschland	DGMK 1983
Chemielabor: 1,43 (0,13-6,5)		Schweden	Berlin 1985
M 1,26 (< 0,01-211)		Niederlande	Ducos 1990
M 17 (< 0,01-202)		Frankreich	Ducos 1992
M 0,65 (< 0,1-5,2)		Frankreich	Johnson 1992
Umfüllen, Abfüllen: 95 % < 11,8	1991-95	Deutschland	BGAA 1999
Mittelwert 11,2 (0,19-55) (n=10)			

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)

Tabelle 10: Benzolexpositionen auf Bohrinseln

Mittlere Benzolexposition in mg/m³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
M 0,85 (< 0,1-6,5)		Nordsee	Inoue 1989
M 1,8 (< 0,1-19,2)		Nordsee	Yardley-Jones 1991
M 0,65 (< 0,1-17,9)		Nordsee	Brugnone 1992
Instandhaltung: M 3,8 (< 0,1-10,7)		Nordsee	Angerer 1991
Mittelwert 1,78 (0,65-3,80) (n=4)			

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)

Tabelle 11: Benzolexpositionen in der Erdölbranche (zugehörige Abbildung 18)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
Tankladungsumschlag: 0,3-24,6 Umschlag bei Tankwagen: 4,5-30,1 Auffüllen von Zugtanks: 5-8			NIOSH 1974
Umschlag: 4,5-31,7			Brief 1980
Benzinverteilung: 0,003-0,032			Oldham 1979
Raffinerien: 84 % < 3,24; 80 % < 3,24	1967-77	Deutschland	Schulz 1978
Raffinerie mit Produktion aromatischer Verbindungen: M 0,77 (0,11-3,30)		Deutschland	Lauwerys 1994
allgemein: 0,05-2,79 Abfüllanlagen: gM 1,29 (0,039-2,54) (Tankwagen, Kesselwaren, Tankschiffe) Tankwagenfahrer: M 1,55 (1,17-1,85) Tankschiff: M 7,24 (4,2-11,4)	1981-82	Deutschland	DGMK 1983 TRGS 102
gM 0,86 (0,51-1,48)	1981-82	Deutschland	Kleine 1986a+b
Tankreinigung: 95 % < 67,7	1991-95	Deutschland	BGAA 1999
M 2,59		Frankreich	Machefer 1990
Tankwagenfahrer: gM 0,65 aM 1,88 < 0,005-23,06		Frankreich	Javelaud 1998
0,0098-26,7	1909-92	Großbritannien	Lewis 1997
Raffinerie: 1,0-7,5	1969	Großbritannien	Parkinson 1971
Zugtankwagen, Laden: 5,1-8,0 Zugtankwagen, Wiegen: 64		Großbritannien	Sherwood 1972
0,1-1,0		Schweden	Areskoug 1979
Reinigung von Erdöltanks: 633 Erdölpumpen: 1,33 (0,75-2,08) Tankschiffbesatzung: M 4,18 Tankwagenfahrer: M 1,3 (0,03-13,4) ...Beladen: M 13 (0,10-148) ...Entladen: M 1,07 (0,03-9,4) ...Fahren: M 0,08 (< 0,02-0,36) Tankschiff: M 21,32 (1,07-74,1) Tankwagenfahrer: M 0,54		Schweden	Berlin 1985
Rohöldestillation: 0,5-1,3 Reformieranlage: 0,1-0,3 Befüllen von Tankwagen, oberer Bereich: 1,0-13 Befüllen von Tankwagen, unterer Bereich: 0,5-4,0 (seit 1980) Befüllen und Entladen von Tankwagen: 1,1-18		Schweden	Nordlinder 1987

0,2-1,0 Rohödestillation: 0,8 Reformieranlage: 0,2 Laborpersonal: 1,0 Produktanalyse: 0,2		Schweden	Nordlinder 1983
Tankwagenfahrer: gM 0,17 (0,11-0,26) gM 0,12 (0,04-0,37)		Schweden	Liljelind 2000
Tankwagenfahrer: M 0,1 (nn-0,3)		Schweden	Arbetarskyddsstyrelsen 1981
Tankschiff: < 0,01-1,18		Norwegen	Moen 1995a
Raffineriearbeiter: aM 0,59 (< 0,16-25,68) Außenarbeiter: aM 1,85 (< 0,16-43,23) Wartung: aM 2,57 (< 0,16-62,73) Umschlag: Tankwagenfahrer: aM 0,81 (< 0,16-6,70) Umschlag: aM Kranführer: 1,92 (< 0,16-61,43) Umschlag: aM Verteilstation: 5,10 (< 0,16-135,2) Tankschiff, an Deck: aM 2,34 (< 0,16-11,57) Hafenarbeiter: aM 6,44 (< 0,16-270,08)	1986-92	Europa	CONCAWE 7/94
geschlossenes Tankschiff: 4,6 offenes Tankschiff: 1,5 Hafenarbeiter: 1,5 Zug, oberer Bereich: 1,5 Abfüllstation: 27,2 Produktion vor Ort: 0,88 Produktion nicht vor Ort: 0,97		Europa	CONCAWE 4/87
Qualitätskontrolle: 2-103	1978	USA	Markel 1979
Benzinumschlag, ohne Absaugschutz: 3,3-7,3 Benzinumschlag, mit Absaugschutz: 1,82		USA	Irving 1979
Abwasserbehandlung in Erdölfabrik: personenbezogene Probenahme: 0,06-1,5 Luftproben: 0,06-21,7	1978	USA	Gorman 1980
Tankwagenfahrer: gM 0,8 Tankschiffarbeiter: gM 0,5		USA	Halder 1986
Tankwagenfahrer: M 0,45 (0,25-0,65)		USA	Rappaport 1987
Erdölverteilung: 0,0325-20,15		Kanada	Schnatter 1996a+b
Erdöl/-gas: gM < 0,020-1,063 Erdgas: gM 0,003-0,236 Schweröl: gM 0,016-0,084 Bohrung: gM < 0,005 Leitung: gM 0,301-0,350 insgesamt: gM < 0,003-1,063		Kanada	Verma 2000
Erdöl: < 16,25		Australien	Glass 2000
M 0,64		Singapur	Foo 1991
Verteilungspumpen: M 3,73		Indien	Das 1991
Tankwagenfahrer: 0,8			CONCAWE 2/99

Mittelwerte:**allgemein: 6,60 (0,02-35) (n=33)****Tankwagen: 1,38 (0,1-6,5) (n=9)****Tankschiff: 5,2 (0,6-21) (n=9)****sehr hohe Werte bei Tankreinigungen**

Legende:

M	Mittelwert (keine näheren Angaben)
aM	arithmetischer Mittelwert
gM	geometrischer Mittelwert
TWA	time weighted average, Schichtmittelwert (auf 8-Stunden-Schicht bezogen)
nn	nicht nachweisbar

Tabelle 12: Benzolexpositionen an Tankstellen (zugehörige Abbildung 19)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
0,08-10			Brief 1980
Stadtrand: M 0,65-1,59 Stadtzentrum: M 0,13-5,03		Deutschland	Lehmann 1979
0,19-0,75	1981-82	Deutschland	DGMK 1983
10-20 m entfernt: 0,01-0,026 Peak während des Tankens: 2,94-27,2		Deutschland	Enquete Kommission 1992
TWA 0,64 aM 1,6 (0,096-3,2) (3-5 Min. Messung)	frühe 80er- Jahre	Finnland	Pfäffli 1991 in Lynge 1997a
TWA 2,59	1990	Frankreich	Machefer 1990 in Lynge 1997a
8,1-9,8 London 0,96-7,7 Großbritannien	1969	Großbritan- nien	Parkinson 1971
TWA 0,55 (0,001-28,02)	1991-92	Italien	Lagorio 1993
M 0,80		Italien	Miscetti 1993
M 1,73		Italien	Lagorio 1994
M 0,316		Italien	Lagorio 1997
M 0,93 mit Absaugschutz M 3,7 ohne Absaugschutz		Italien	AgipPetroli 1993
TWA 2,2 (0-18,2)	1980-81	Norwegen	Fjeldstad 1982 in Lynge 1997a
aM 2,53 (0-17,2) (20-30 Min. Messung) aM 3,26 (0-19,94) (2-3 Min. Messung)	1995	Norwegen	Moen 1995b in Lynge 1997a
0,22 0,18 (0,07-1,01)		Schweden	Berlin 1985
aM 2,3 (0,01-27,3)	1989	Schweden	Nordlinder 1992
0,13 (0,08-0,21) 0,76 (0,59-0,98)		Schweden	Nordlinder 1983
aM 0,27 (0,06-0,99)	späte 70er- Jahre	Schweden	Berlin 1975+1978 in Lynge 1997a
TWA 0,03-18,2	1980-85	Europa	CONCAWE 3/86
Tankstelle mit Selbstbedienung: 4,3 Tankwart: 0,35 (0,08-1,28)	1984-85	Europa	CONCAWE 4/87
0,016-0,12	1990-92	Europa	CONCAWE 94/53
aM 0,62 (< 0,16-10,86)	1986-92	Europa	CONCAWE 7/94

M 0,0038 (0,0016-0,0069)		Europa	CONCAWE 95/63
Innenraumlufte an Tankstelle: Land: 0,01 urban: 0,013 Stadt: 0,02 Tankwart: 0,6 Tanken mit Absaugenschutz: 0,55 Tanken ohne Absaugenschutz: 3,2		Europa	CONCAWE 2/99
aM 0,36 gM 0,32		Mexico City	Meneses 1999
0,001-0,007 während Tanknachfüllung: 0,032-0,069		USA	Fentiman 1979
Tankwart: gM 0,7		USA	Halder 1986
3,2	1979-88	USA	Wallace 1989a+b
Tankstelle mit Selbstbedienung: 3,1 (1,3-5,8)		USA	Clayton 1983
Tankstelle mit Selbstbedienung: 0,5		USA	Ellis 1984
Tankstelle mit Selbstbedienung (Winter): 0,2-55,2 Tankstelle mit Selbstbedienung (Sommer): 0,3-44,9		USA	Tironi 1986
Tankstelle mit Selbstbedienung: 0,73		USA	Bond 1986a
M 0,65 (0,48-0,81)		USA	Rappaport 1987
M 0,16 (0,03-1,66) M 0,19 (0,03-0,61) mit Absaugenschutz		USA	Hartle 1993
M 0,4		USA	NRC 1980
0,6-10,2		USA	NIOSH 1980
M 0,26 (M 0,06-0,75) Bereich < 0,03-6,76		USA	McDermott 1979
Flugzeugtanks und -reparatur: 0,19-30,8		USA	Carlton 2000
Mittelwerte: 2,9 (0,04-25) (n=38) Werte meist < 1 mit Absaugenschutz 4-6fache Reduzierung der Benzolexposition			

Legende:

M	Mittelwert (keine näheren Angaben)
aM	arithmetischer Mittelwert
gM	geometrischer Mittelwert
TWA	time weighted average, Schichtmittelwert (auf 8-Stunden-Schicht bezogen)
nn	nicht nachweisbar

Tabelle 13: Benzolexpositionen in Kfz-Werkstätten, Garagen (zugehörige Abbildung 20)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
Garagen: kleine Garagen (Sommer): 1,6 kleine Garagen (Winter): 6,8 große Garagen, Mechaniker (Sommer): 0,4 große Garagen, Mechaniker (Winter): 0,8 große Garagen, Elektriker (Sommer): 1,0 große Garagen, Elektriker (Winter): 1,4			Nordlinder 1983
Kfz-Werkstätten: M 0,21 (0,05-0,67)		Deutschland	Auffahrt 1997
kurzzeitige Exposition bei Garagen: Atemzone, verbleites Benzin: 0,65-12,0 Atemzone, unverbleites Benzin: 0,65-4,2 Peaks bei Filterwechsel des Zapfhahns: 7,8-9,4		Finnland	Laitinen 1994
Kfz-Mechaniker: 0,02-0,17		Schweden	Berlin 1985
Automechaniker: gM 0,06 aM 0,48 < 0,005-9,31		Frankreich	Javelaud 1998
Automechaniker oder Arbeit an Benzinpumpen: 0-0,000176			Mannino 1995
Mittelwerte: 1,1 (0,06-4,2) (n=6)			

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)
aM arithmetischer Mittelwert
gM geometrischer Mittelwert

Tabelle 14: Benzolexpositionen in der Gumminindustrie (zugehörige Abbildungen 21 und 22)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
Gummibeschichtung: 208-832 65-81 Kunstleder-, Gummiwaren-, Schuhherstellung: 325-1625 Kunstlederfabrik: 150-1000 80-150 (nach Einsatz von Schutzmaßnahmen) Schuhfabrik: 1033-1528 100-500 133-143	1935-37 1960-63 1936-39 1953-57 1953-57 1956 1960-63 1964		NIOSH 1974
16,25-162,5		USA	Pagnotto 1979
Reifenindustrie: < 0,3-18,9	1973-77	USA	Van Ert 1980
Schuhfabrik: 480-2080 Gummibeschichtung: 83-416 Gummifabrik: 320 Regenmantelfabrik: 438-698	1966-78 1961 1942 1977		EPA 1980
<p>Mittelwerte: 389 (9-1280) (n=9) ohne Schuhproduktion: 195 (9-832) (n=5) Es liegen nur ältere Werte vor, daher sind die Werte sehr hoch.</p>			

Tabelle 15: Benzolexpositionen in verschiedenen Branchen

Branche	Mittlere Benzolexposition in mg/m³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
Maschinen- und Fahrzeugbau	Reparatur und Wartung: 95 % < 5,9	1991-95	Deutschland	BGAA 1999
Druckindustrie	33-3445	1939		NIOSH 1974
Oberflächenbehandlung und Kleben	90 % < 29,6	1980-90	Deutschland	BIA 1993
Oberflächenbehandlung und Kleben	95 % < 0,8	1991-95	Deutschland	BGAA 1999
Kohlebranche	Kohleverflüssigungsanlage: 0,065	1980		Anon 1980
	Kohlearbeiter: 8,84 (0,52-39)		Schweden	Berlin 1985
	Kokereien: 0,03-8,1	bis 1990	Deutschland	BIA 1993
Gießereien	95 % < 5,0	1991-95	Deutschland	BGAA 1999
	90 % < 3,9		Deutschland	BIA 1993
Anstreichen von Metallprodukten	0,55-10,1		USA	McQuilkin 1980
Waldarbeit	Holzfällen im Sommer: 0,7 Holzfällen im Winter: 0,3-0,6		Schweden	Lindahl 1983
	Holzfäller: 0,94 (0,07-2,99)		Schweden	Berlin 1985
Lkw-Fahrer	gM 0,15-0,28 mg/m ³	1994-96	Finnland	Vainiotalo 1999
Luftwaffenworkshop	33-116	1947	Australien	EPA 1980

Tabelle 16: Benzolexpositionen in der Außenluft, ländlicher Raum (zugehörige Abbildung 23)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
0,001-0,01		Deutschland	UBA 1982 + Chriske 1991
0,002		Schwarzwald Deutschland	Bruckmann 1983
0,0021-0,0036	1992-96	Baden- Württemberg und Sachsen- Anhalt Deutschland	Hanß 1997
0,0016 0,00128-0,0054 0,00288-0,0032		Großbritan- nien	UK Dept. 1994
0,005-0,01		Schweden	Nordlinder 1987
0,0015		USA	Shah 1988
M 0,0014 (0,001-0,0018)	1990-92	Europa	CONCAWE 95/63
0,0016			CONCAWE 2/99
Mittelwert: 0,003 (0,0014-0,0075) (n=8)			

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)

Tabelle 17: Benzolexpositionen in der Außenluft, Stadtgebiet (zugehörige Abbildung 24)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
mehrere Studien: 0,3-573			IARC 1982a+b
0,01-0,02		Deutschland	Chriske 1991
starker Verkehr: 0,085-0,095		Hamburg Deutschland	Dannecker 1990
Vorstadt: 0,0093		Hamburg Deutschland	Bruckmann 1988
starker Verkehr: 0,02-0,03		Deutschland	Enquete Kommission 1992
Hauptverkehrsstraßen: 0,02-0,05 Nichtauptverkehrsstraßen: 0,005-0,02		Deutschland	UBA 1982
0,039		Großbritannien	UK Dept. 1994
Stadt: M 0,023		London	IPCS 1993
Stadt: 0,0032-0,044 Außenluft allgemein: 0,0016-0,0070 an Straßen: 0,010-0,045 in Städten: 0,0013-0,008		London	Duarte- Davidson 2001
0,01-0,02 starker Verkehr: 0,028-0,031	1986-87	Großbritannien	Bailey 1989
Verkehrspolizist: aM 0,0093 (0,0013-0,077) gM 0,0068 Polizist im Büro: aM 0,0038 (0,001-0,008) gM 0,0035 Außenluft: aM 0,013 (0,006-0,025) gM 0,013	1998-99	Rom	Crebelli 2001
Vorstadt: 0,0028		Niederlande	RIVM 1988
Stadt: M 0,04		Oslo	IPCS 1993
0,0077 starker Verkehr: 0,148		Schweden	Johnsson 1985
starker Stadtverkehr und Stau: 0,02-0,04 starker Stadtverkehr: 0,01-0,02		Schweden	Nordlinder 1987
0,01-0,03		Europa	Neumeier 1993
Straße: Bodennähe: M 6,0 (kurzzeitige Exposition) Bodennähe: M 1,2 (Langzeitexposition) Augenhöhe: 1,4 (kurzzeitige Exposition) Augenhöhe: 1,7 (Langzeitexposition)		Europa	CONCAWE 4/87
0,0074-0,086		Singapur	Foo 1991

allgemein: aM 0,24 gM 0,16 Straßenverkäufer: aM 0,084 gM 0,076		Mexico City	Meneses 1999
0,0186		Kanada	Dann 1987
0,0188 0,0163		USA	Singh 1982
0,058 Vorstadt: 0,0058		USA	US DHHS 1993
M 0,006 max. 0,09	1979-88	USA	Wallace 1989a+b
gM 0,0056 (0,0019-0,016)			Wallace 1986
urban: 0,006 Stadt: 0,012 an befahrener Straße: 0,004 Politesse: 0,04 Fahrradkurier: 0,04			CONCAWE 2/99
Außenluft in industrieller Umgebung: 0,0004-0,016		USA	Pellizzari 1982
Außenluft in industrieller Umgebung: bis 0,03		Deutschland	UBA 1982
Außenluft in der Nähe von Raffinerien: M 0,0134		Deutschland	BUA 1988
Mittelwerte: 0,031 (0,003-0,16) (n=26) (ohne Spitzenwerte aus CONCAWE 4/87)			

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)
aM arithmetischer Mittelwert
gM geometrischer Mittelwert

Tabelle 18: Benzolexpositionen in der Innenraumluft

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
gM 0,0137 (0,0075-0,028)			Wallace 1986
0,009		Deutschland	Enquete Kommission 1992
Kohleofen: M 0,057		Deutschland	BUA 1988
Kohleofen: 0,007-0,015		Deutschland	Enquete Kommission 1992
M 0,015 (max. 0,5)	1979-88	USA	Wallace 1989a+b
Innenraumluft (Nichtraucher): Ländlich: 0,0035 urban: 0,007 Stadt: 0,014 Innenraumluft (Raucher): ländlich: 0,007 urban: 0,01 Stadt: 0,0175			CONCAWE 2/99
Mittelwerte: 0,012 (0,008-0,015) (n=4)			

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)
gM geometrischer Mittelwert

Tabelle 19: Benzolexpositionen im Fahrzeuginnenraum (zugehörige Abbildung 25)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
während der Fahrt auf Autobahnen: im Tankwagen: 0,008 in Dieselfahrzeugen: 0,003 während der Fahrt im Stadtverkehr in Dieselfahrzeugen: ohne Anhalten: 0,04 mit Anhalten: 0,11			Nordlinder 1983
0,05-0,2		Deutschland	Enquete Kommission 1992
vor dem Starten: 0,06-0,18 während der Fahrt: 0,03-0,06		Deutschland	Eikman 1992a
Autoinnenraum: aM 0,021-0,022 Max. aM 0,026-0,035 U-Bahn: aM 0,0054-0,0084 Max. aM 0,0074-0,0160	1994-96	Deutschland	Fromme 1998
Stadt: 0,009-0,011 Tunnel: 0,026		USA	Weisel 1992
beim Fahren: 0,04	1979-88	USA	Wallace 1989a+b
Land: 0,04 Land/Stadt: 0,06 Fahrer: 0,2			CONCAWE 2/99
Lkw-Fahrer: gM 0,15-0,28 ^x	1994-96	Finnland	Vainiotalo 1999
Mittelwerte: 0,064 (0,004-0,125) (n=7)			

Legende:

- M Mittelwert (keine näheren Angaben)
- aM arithmetischer Mittelwert
- gM geometrischer Mittelwert
- x im Mittelwert über alle Studien nicht mitberücksichtigt

Tabelle 20: Benzolexpositionen durch Rauchen (zugehörige Abbildung 26)

Mittlere Benzolexposition in mg/m ³ (Wertebereich)	Zeitraum	Land	Quelle
10-30 µg/Zigarette			Fishbein 1984
6-73 µg/Zigarette			Brunnemann 1989
40 µg/Zigarette		USA	Hattemer-Frey 1990
57µg/Zigarette	1979-88	USA	Wallace 1989a+b
Passivrauchen: 0,007-0,208 345-653 µg/Zigarette			Brunnemann 1990
Zigarettenrauch: 153-208			Lauwerys 1979
Atemkonzentration bei Rauchern: 0,014 Atemkonzentration bei Nichtrauchern: 0,002	1979-88	USA	Wallace 1989a+b
230 Wohnungen: Nichtraucherwohnung: M 0,0069 Raucherwohnung: M 0,0093 Wohnung: Bereich < 0,001-0,039		Deutschland	Krause 1987
Nichtraucherwohnung: 0,0065 Raucherwohnung: 0,011		Deutschland	Enquete Kommission 1992
Nichtraucherwohnung, Stadt: 0,0106 Nichtraucherwohnung, Vorstadt: 0,0056 Raucherwohnung, Stadt: 0,0131 Raucherwohnung, Vorstadt: 0,0032		Deutschland	Scherer 1995
Innenraumluf (Nichtraucher): Ländlich: 0,0035 urban: 0,007 Stadt: 0,014 Innenraumluf (Raucher): ländlich: 0,007 urban: 0,01 Stadt: 0,0175			CONCAWE 2/99
<p>Mittelwerte: 40 (6-73) µg Benzol/Zigarette (n=4) Raucherwohnung: 0,011 (0,007-0,018) (n=4) Nichtraucherwohnung: 0,008 (0,004-0,01) (n=4)</p>			

Tabelle 21: Berufliche Benzolexpositionen in Deutschland in mg/m³

Branche	Arbeitsbereich	Expositionsbereich	90%-Wert ¹	Höchstwert	Mittelwert	Zeitraum	Quelle
Raffinerieanlagen	Mineralölunternehmen	84 % < 3,24 80 % < 3,24				1976-77	Schulz 1978
	Reformeranlagen	97 % < 3 99 % < 16		40		1981-82	DGMK 1983
	Crackanlagen	91 % < 3 100 % < 16		14,3		1981-82	DGMK 1983
	Roh- und Reinbenzolherstellung	81 % < 3 96 % < 16		53,6		1981-82	DGMK 1983
	Raffinerieanlagen	98 % < 16	3	16,25	gM 0,05-2,79	1985-90	BIA-Handbuch 1994
	Raffinerielabor	100 % < 16	3	9,1		1985-90	BIA-Handbuch 1994
	Tankfeld	82 % < 3 100 % < 16		8,8		1992	TRGS 102
	Crackanlagen	96 % < 3 100 % < 16		8,5	gM 0,19 (0,12-3,14)	1984-90	DGMK 1983
	Erdölraffinerie mit Produktion aromatischer Verbindungen				M 0,77 (0,11-3,30)		Lauwerys 1994

Branche	Arbeitsbereich	Expositionsbereich	90%-Wert ¹	Höchstwert	Mittelwert	Zeitraum	Quelle
Kokereien	Koksofen		1,3			vor 1985	BIA-Handbuch 1994
	Nebengewinnungsanlagen		14,6			vor 1985	BIA-Handbuch 1994
	verschiedene Arbeitsplätze	0,03-8,1				neuere Daten bis 1990	BIA 1993
Petrochemie			3	8,8		1981-82	DGMK 1983
		87 % < 0,33		5,53		1985	TRGS 102
			26			1985	TRGS 102
			1,89-7,15			1985	TRGS 102
			3,0	4,2		1985	TRGS 102
		45 % < 0,81 45 % < 3,25		5,53		1992	TRGS 102
			1,3-28,6			1985	TRGS 102
			2,1-26,0			1985	TRGS 102
	Ethylenanlagen	0,03-1,60				1981-82	DGMK 1983
Chemische Industrie	verschiedene Bereiche	88 % < 3 97 % < 16,25	16,9			1985	TRGS 102
	Alle Arbeitsbereiche		0,5			1989-92	BIA 1996
	Fördern und Abfüllen		0,62			1985	TRGS 102
	Umfüllen, Abfüllen	95 % < 11,8	2,0			1991-95	BGAA 1999

Branche	Arbeitsbereich	Expositionsbereich	90%-Wert	Höchstwert	Mittelwert	Zeitraum	Quelle
Umschlag und Verwendung von Ottokraftstoffen	Abfüllanlagen	87 % < 3		40,3	gM 0,039-2,54	1981-82	TRGS 102
	Tankwagenfahrer	82 % < 3		22,1	gM 1,55 (1,17-1,85)	1981-82	TRGS 102
	Tankwagenfahrer	0,51-1,48			gM 0,86	1981-82	Kleine 1986a+b
	Tankschiffe	32 % < 3		63,7	gM 7,24 (4,2-11,4)	1981-82	TRGS 102
	Tankschiffe		2,54			1983-85	BIA-Handbuch 1994
	Tanklager	80 % < 3		21,1	gM 0,13-3,2	1981-82	TRGS 102
	Tanklager	74 % < 3		15,9	gM 0,72	1985-90	BIA-Handbuch 1994
	Verladung von Benzol	61 % < 3		16,9		1981-82	DGMK 1983
	Tankreinigung	95 % < 67,7	66,0			1991-95	BGAA 1999
	Tankstellen	99 % < 3		4,0	gM 0,19-0,75	1981-82	TRGS 102
	Tankstellen	Stadtrand: M 0,65-1,59 Stadtzentrum: M 0,13-5,03					Lehmann 1979
	Tankstellen	0,15-0,85				1981-82	DGMK 1983
	Tankstellen	10-20 m entfernt: 0,01-0,026 Peak während Tankens: 2,94-27,2					Enquete Kommission 1992
Kunststoffindustrie	Alle Arbeitsbereiche		0,5			1989-92	BIA 1996

Branche	Arbeitsbereich	Expositionsbereich	90%-Wert ¹	Höchstwert	Mittelwert	Zeitraum	Quelle
Maschinen- und Fahrzeugbau	Kontrolle und Revision		11,1			1980-90	BIA 1993
	Trockner, Öfen in der metallverarbeitenden Industrie	*	*			1991-95	BGAA 1999
	Reparatur und Wartung		18,5			1980-90	BIA 1993
	Reparatur und Wartung	95 % < 5,9	2,8			1991-95	BGAA 1999
Kfz-Industrie	Nachreparaturen	100 % < 3,25			Kurzzeitmittelwerte max. 3,25-6,5	1985-90	BIA-Handbuch 1994
	Auftanken von Fahrzeugen	100 % < 3,25			Kurzzeitmittelwerte max. 5,85	1985-90	BIA-Handbuch 1994
	Betanken von Neufahrzeugen			1,95	Kurzzeitmittelwerte max. 12,0	1985-90	BIA-Handbuch 1994
	personenbezogene Messungen	83 % < 3,25		Max. oberhalb 6,5			BIA-Handbuch 1994
	Kfz-Werkstatt	0,05-0,67			0,21 Median 0,24		Auffahrt 1997
Elektronikindustrie	Alle Arbeitsbereiche		0,5			1989-92	BIA 1996
Gießereien	Formerei, Gießbetrieb		3,9			1980-90	BIA 1993
	sonstige Bereiche	< 0,49 (Bestimmungsgrenze)				1980-90	BIA 1993
	Gießverfahren	95 % < 5,0	3,1			1991-95	BGAA 1999
	Metallerzeugung		2,65			1989-92	BIA 1996
	Metallbearbeitung		4,0			1989-92	BIA 1996
Bauwesen	Alle Arbeitsbereiche		0,5			1989-92	BIA 1996

Branche	Arbeitsbereich	Expositionsbereich	90%-Wert ¹	Höchstwert	Mittelwert	Zeitraum	Quelle
Keramikindustrie	Alle Arbeitsbereiche		0,5			1989-92	BIA 1996
Oberflächenbehandlung und Kleben			29,6			1980-90	BIA 1993
	Kleben	95 % < 0,8	*			1991-95	BGAA 1999
	Oberflächenbeschichtung	*	*			1991-95	BGAA 1999

Legende:

M Mittelwert (keine näheren Angaben)

gM geometrischer Mittelwert

* unter analytischer Bestimmungsgrenze: bis 1992 bei 1,0 mg/m³, danach bei 0,1 mg/m³

¹ 90 % der Messwerte liegen unter dem angegebenen Wert

Tabelle 22: Benzol und Leukämie: Publikationen zur Pliofilm-Studie

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 %)	Exposition	Leukämieart	Bemerkungen
Infante	1977	Kohorte 1940-75 Benzol-exponierte Beschäftigung > 1 Tag während 1940-59	1006 exponierte Arbeiter (Allgemein- bevölkerung; 1447 Glasfaserarbeiter; 398 Gummiarbeiter ohne Benzol- exposition), USA	SMR 2,60 SMR 5,60 (2,25-11,54) (Erstexposition, 40-49, Allgemeinbevölkerung) SMR 21,00 (7,06-50,73) (Exposition > 5 Jahre, Allgemeinbevölkerung) SMR 5,06	10-100 ppm	Gesamtzahl lymphatischer und hämato- poetischer Krebse Leukämie	5facher Anstieg aller Leukämiearten und 10facher Anstieg von monozytärer und myeloischer Leukämie
Wilson	1977						Risikoanalyse
EPA	1979						Risikoanalyse
Hatlis	1980						Risikoanalyse
Lamm	1980						Risikoanalyse
Rinsky	1981	1940-50	748 exponierte Arbeiter (Allgemein- bevölkerung)	SMR 21,00	> 5 Jahre Exposition	myeloische oder monozytäre Leukämie	Bestätigung, dass eine Benzolexposition knapp über dem Grenzwertbereich krebserregend ist
Bartmann	1982						Risikoanalyse
Luken	1982						Risikoanalyse
White	1982						Risikoanalyse
Gilbert	1982						Risikoanalyse
IARC	1982a						Risikoanalyse
Crump und Allen	1984	Kohorte Follow-up 1936-78					JEM berechnet lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 %)	Exposition	Leukämieart	Bemerkungen
NIOSH	1985	Kohorte Follow-up 1936-87		SMR: Ø 3,28 SMR 1,05 SMR 3,14 SMR 17,57 SMR 45,35	ppm-Jahre: < 40 40-199 200-399 > 400		
Rodericks	1986						Risikoanalyse
OSHA	1987						Risikoanalyse
Rinsky	1987	retrospektive Kohorte Follow-up 1950-81	1165 Gummiarbeiter, die mit Hydrochlorid arbeiten (Pliofilm) (Allgemein- bevölkerung), > 1 Tag exponiert zwischen 1940-65 USA	SMR 2,27 (1,27-3,76) SMR 3,37 (1,54-6,41) SMR 1,09 (0,12-3,94) SMR 3,22 (0,36-11,65) SMR 11,86 (1,33-42,89) SMR 66,37(13,34-194) SMR 3,98 (1,19-10,47) SMR 4,58 (0,92-13,39) SMR 53,47 (0,70-298)	ppm-Jahre: < 40 bis > 400 gesamte Kohorte < 40 0,001-39,99 40-200 200-400 > 400 < 40 > 40	lymphatische und hämato- poetische Krebsarten Leukämie gesamt multiples Myelom	drei Expositionsschätzungen
Thorslund	1988						Reanalyse
Brett	1989						Risikoanalyse, Review
Byrd	1989	Review					Review von 14 Risikoanalysen der Pliofilm-Studien. Hauptsächliche Unterschiede durch Methodik, nicht durch Modelle oder Unterschiede im Konzept bedingt.

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 %)	Exposition	Leukämieart	Bemerkungen
Rinsky	1989			SMR 1,09 SMR 3,22 SMR 11,86 SMR 66,37 gesamt SMR 3,37	ppm-Jahre: < 40 40-199 200-399 > 400		Daten basieren auf der Pliofilm-Kohorte und beziehen sich auf tatsächliche Luftproben. Erhöhte SMR im Vergleich zu früheren Studien mit Expositionsschätzungen
Paustenbach	1992	Kohorte Follow-up 1940-70		-	45-106 ppm (TWA) Korrektur von früheren Expositiondaten		Reanalyse mit zusätzlicher Information über historische Daten und Befragungen mit früheren Arbeitern: Expositionsgeschichte von Crump und Allen (1984) wurde über- und unterschätzt. Es konnte herausgefunden werden, dass an den 3 Pliofilm-Standorten verschiedene Benzolkonzentrationen existierten, besonders während 1940-50.
Crump	1994	Kohorte Follow-up 1936-87	1717 weiße männliche Arbeiter	0,020-0,036 zusätzliche Tote/1000 Arbeiter RR 1,6-3,1/1000 Arbeiter	45 ppm-Jahre Exposition 1 ppm	alle Leukämiearten	JEM, vollständige Modelle, Likelihood-Methoden Aktualisierung der Risikoanalyse von Crump 1984 und Paustenbach 1993. Verschiedene Dosis-Wirkungs-Beziehungen bis 1987, signifikanter Anstieg von myeloischer und monozytärer Leukämie
Paxton	1994a +b	Kohorte Follow-up 1940-87	3585 Arbeiter	0,3-0,5 zusätzliche Tote /1000 Arbeiter 1981: SMR 2,16 (1,21-3,57); 1987: SMR 2,21 (1,37-3,38) 1981: SMR 3,15 (1,44-5,98) 1987: SMR 3,60 (1,97-6,04)	45 ppm Jahre	Krebse des lymphatischen und hämato- poetischen Systems Leukämie	Standard-SMR-Analyse Arbeitsplatz-, Fabrik- und Jahr-spezifische Expositionsabschätzung. Bestätigung, dass hohe Benzolexpositionen leukämogenes Potenzial haben.

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 %)	Exposition	Leukämieart	Bemerkungen
Wong	1995a	Update zur Pliofilm-Kohorte (Crump 1984)		SMR 0,91 SMR drastischer Anstieg SMR 0,98	< 200 ppm-Jahre > 200 ppm-Jahre > 400 ppm-Jahre	AML	zellspezifische Betrachtung
Utterback	1995	Reevaluation früherer Schätzungen					eher angemessene Schätzung für die Aufnahme über die Haut
Crump	1996	Kohorte Follow-up 1936-87	1717 weiße Männer	quadratisches Modell: 0,020-0,036/1000 lineares Modell: 1,6-3,1/1000	1 ppm für 45 Jahre	signifikanter Anstieg von myeloischer oder monozytärer Leukämie	neue Risikoabschätzung; neue Expositionsabschätzungen, die von Paustenbach entwickelt worden waren
Schnatter	1996c				kritische Konzentration: 50-60 ppm für Median Expositionsschätzung; 20-25 ppm für niedrigste Expositionswerte	akute myelo-monozytäre Leukämie	Reanalyse durch Verbindung von durchschnittlichen Langzeitkonzentrationen und maximal exponierte Tätigkeiten
Paxton	1996	Follow-up mit 6 zusätzlichen Jahren und neuen Expositionsdaten Updatestatus 1987		SMR 2,21 (1,37-3,38) SMR 1,33 (0,03-7,43) SMR 1,79 (0,22-6,45) SMR 2,80 (0,76-7,16) SMR 11,86 (4,76-24,44)	0-5 ppm-Jahre > 5-50 ppm-Jahre > 50-500 ppm-Jahre > 500 ppm-Jahre	Leukämie	SMR-Analyse, Cox keine neuen Erkenntnisse, aber Bestätigung vorheriger Aussagen, dass nur hohe Dosen von Benzol leukämieverursachend sind; neue individuelle Expositionsabschätzungen, basierend auf Paustenbach; Vergleich der Risikoabschätzungen von Rinsky, Crump und Paustenbach

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 %)	Exposition	Leukämieart	Bemerkungen
Finkelstein	2000	eingebettete Fall- Kontroll-Studie	15 Leukämiefälle	30 Jahre Exposition: OR 1,50 OR 1,08 OR 1,04 OR 1,01	5 ppm 1 ppm 0,5 ppm 0,1 ppm	Leukämie	Reanalyse OR steigt mit kumulativer Dosis, sinkt aber, je weiter Expositionszeit zurückliegt

Legende:

¹⁾ relatives Risiko dargestellt als RR, SMR bzw. OR

RR relatives Risiko
OR Odds Ratio
SMR standardisierte Mortalitäts-/Morbiditätsratio
JEM job exposure matrix
TWA time weighted average

Tabelle 23: Benzol und Leukämie: Kohortenstudien

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Goguel	1967	1950-65	benzolexponierte Arbeiter in Paris Frankreich	CML vergleichbar mit Bevölkerung, CLL erhöht				
Thorpe	1974	1962-71	38 000 Arbeiter der Tochtergesellschaften einer Erdölfirma (Allgemeinbevölkerung) Europa	SMR 1,21 (0,37-2,05)	potenzielle Exposition > 1 % Benzol für > 5 Jahre	Leukämie		ns
McMichael	1974	1964-72	6678 männliche Gummiarbeiter, Ohio USA	SMR 1,28 (0,73-2,08) SMR 7,64 SMR 2,05		Leukämie LL ML		gleiches Datenmaterial wie Fall-Kontroll-Studie von McMichael 1975, s. a. McMichael 1976a+b
Fox	1976	1968-71 und 1972-74	40 867 Arbeiter in der gummi- und kabelproduzierenden Industrie (Bevölkerung) Großbritannien	1968-71: SMR 1,13 1972-74: SMR 1,28		Leukämie	Alter	s. a. Fox 1974
Schottenfeld	1981	1977-79	55 007 Beschäftigte in 19 Erdölfirmen (männl. US-Bevölkerung) USA	SMR 0,69 SIR 1,45		Leukämie		Zwischenbericht, daher wenig Aussagekraft wegen kurzer Beobachtungszeit

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Delzell	1981	1940-78	29 087 Beschäftigte in Gummiindustrie (US-Bevölkerung), Ohio USA	weiße Männer: SMR 1,21 (0,94-1,53) Frauen: SMR 0,79 (0,34-1,56)		Leukämie	Alter, Geschlecht, Hauffarbe	ns Follow-up von Monson 1976a+b Risiko in Produktion erhöht (s. Delzell 1982) z. T. Überlappung mit Delzell 1984a+b
Delzell	1982	1940-71	2666 männliche Beschäftigte in Gummiherstellung (andere Abteilung, US-Bevölkerung) USA	SMR 1,71 (0,98-2,78)		Leukämie	Alter, Geschlecht	ns Follow-up von Monson 1976a+b und 1978 Teilkohorte von Delzell 1981
Meinhardt	1982	> 6 Monate beschäftigt 1943/50-76	2756 weiße Männer, 2 Gummifabriken, Texas USA	Fabrik A: SMR 2,03 Fabrik B: SMR 1,01 Subkohorte: SMR 2,78	0,10 (0,08-0,14) ppm Benzol	Leukämie	Exposition von Styrol und Butadiene	ns, nur Subkohorte ss s. a. Meinhardt 1984
Aksoy	1982	1967-74	28 500 Schuhfabrikarbeiter, 34 Leukämiefälle, (Allgemeinbevölkerung) Türkei	RR 2,3 (13,59/6 pro 100 000) bzw. RR 5,4 (13,59/2,5 pro 100 000) RR 2,45 RR 0,20 RR 0,38 RR 0		Leukämie AML CML ALL CLL		s. a. Aksoy 1974 a-c, 1976 a-b, 1980a+b, 1981, 1985; s. a. Fall-Kontroll-Studie Aksoy 1985; Leukämieabnahme nach Einschränkung von Benzolexposition

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Austin	1983	1941-77	6588 weiße männliche Arbeiter in Petrochemiewerk (Allgemeinbevölkerung), Texas USA	SMR 1,16 (0,53-2,21) SMR 1,45 (> 10 Jahre Latenz) SMR 1,94 (> 20 Jahre Latenz)		Leukämie	Alter, Zeitspanne	ns s. a. Waxweiler 1983
Decoufle	1983	> 1 Jahr Beschäftigung während 1947-70 bis 1977 beobachtet	259 männliche Arbeiter in Chemiefabrik (Allgemeinbevölkerung 1947-75) USA	SMR 3,77 (1,09-10,24)	Umgang mit großen Mengen von Benzol	lymphatische und hämatopoetische Krebsarten	Alter	ss mögliche Verbindung zwischen Benzol und multiplem Myelom
Dubrow	1984a +b	1971-73	16 629 Todesfälle, alle männlichen Krebsverstorbenen in Massachusetts (Fälle, die nicht an Krebs starben) USA	sMOR 3,83 sMOR 3,95 sMOR 1,69 sMOR 1,78 sMOR 7,20 sMOR 3,17 sMOR 3,65 sMOR 2,39 sMOR 2,89	Ingenieure schleifende Produktion Zimmermann Schuhfabrik Hantieren mit Material Zimmermann Autoverkäufer Elektrik, Motoren, Turbinen Gummiarbeiter	LA LA LA LA CLL CLL ML ML ML		
Delzell	1984a +b	mind. 2 Jahre vor 1971 gearbeitet	6533 männliche Beschäftigte in Reifenproduktion (US-Bevölkerung), Ohio USA	SMR 1,1 (0,7-1,7)		Leukämie	Alter, Geschlecht	ns Follow-up von Monson 1976a+b und 1978 z. T. Überlappung mit Delzell 1981

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Nelson	1985	1970-86	10 763 Arbeiter in 10 Amoco-Erdölraffinerien USA	SMR 0,41 SMR 0,62 (0,13-1,81) SMR 0 (0-1,79) SMR 0 (0-4,39) SMR 0,67 (0,08-2,42)		Leukämie AML CML ALL CLL		ns s. a. Hornstra 1990 s. a. Nelson 1987
Kaplan	1986	1973-80	20 169 Arbeiter in 17 Erdölraffinerien, 32 Leukämietote, (Allgemeinbevölkerung) USA	SMR 1,01 (0,69-1,43)		Leukämie	Alter, Hautfarbe	ns s. a. Tabershaw 1974
Bond	1986b	1940-82	956 Benzolarbeiter, Dow Michigan Divison, (Allgemeinbevölkerung) USA	SMR 1,94 (0,52-4,88) (mit anderen Expositionen) SMR 1,62 (0,33-4,61) reine Benzolexposition ohne Latenzzeit: SMR 1,67 SMR - SMR 2,50 nach 15 Jahren Latenzzeit: SMR 2,22 SMR - SMR 3,33 RR 4,4 (1,2-11)	Ø 30 ppm Ø 7 Jahre 0-41,6 ppm- Jahre 41,7-83,3 > 83,3 0-41,6 ppm- Jahre 41,7-83,3 > 83,3	Leukämie and Aleukämie ML	konkurrierende Expositionen	Follow-up von Ott 1978 Signifikanz abhängig von der Leukämieart, beschränkte Aussagekraft der Studie, da geringe Fallzahlen

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Manz	1986		4817 Männer in der Gasindustrie (778 Ofenblockarbeiter, 3328 übrige Benzolexponierte, 711 Verwaltungspersonal) Deutschland	Mortalität: 1,6 %, RR 5,3 1,1 % 0,6 %	Ofenblockarbeiter Benzolexponierte Verwaltungspersonal	myeloische Leukämie und Non-Hodgkin-Tumoren		z. T. ss
Wong	1986	2 Kohorten > 1 Jahr beschäftigt zwischen 1950-86	14 179 Beschäftigte in 2 Erdölraffinerien von Chevron, El Segundo (4773) und Richmond (8523), Kalifornien, (US-Bevölkerung) USA	SMR 0,88 SMR 0,38 SMR 0,23 SMR 1,11 El Segundo: SMR 0,95 (0,35-2,07) SMR 0,70 (0,08-2,53) SMR 0,82 (0,02-4,57) SMR 1,32 (0,43-3,08) Richmond; SMR 1,34 (0,49-2,92) SMR 1,52 (0,31-4,44) SMR 1,12 (0,03-6,24) SMR 2,59 (1,18-4,91) Dagg 1992: SMR 0,98 (0,67-1,37) für Leukämie > 15 Jahre beschäftigt: SMR 1,31 (0,79-2,05)	insgesamt < 10 Jahre Latenz 10-19 Jahre Latenz > 20 Jahre Latenz	Leukämie AML CML ALL CLL AML CML ALL CLL	Alter, Hautfarbe, Geschlecht	ns bei allen Krebsarten healthy worker effect, nur Erhöhung bei lymphatischen Krebsen, aber nicht bei Leukämie s. a. Dagg 1992

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Zoloth	1986	PMR-Studie	1401 Drucker (US-Bevölkerung) USA	PMR 0,89 (0,47-1,73)		Leukämie	Alter, Geschlecht, Hautfarbe	ns
Matanoski	1986	1975-79	57175 Mitglieder aus Gewerkschaft, Maler und verwandte Berufe (US-Bevölkerung, gesamte Kohorte) USA	SMR 0,93 (0,68-1,25)		LA	Alter, Geschlecht, Hautfarbe	ns
Schwartz	1987	PMR-Studie 1975-85	453 weiße männliche Automechaniker und Tankwarte, New Hampshire USA	PMR 1,78 (0,81-3,92) PMR 3,28 (1,13-9,51) PMR 2,11 (1,16-4,00)	Automechaniker Tankwarte kombiniert	Leukämie	Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Todesjahr	z. T. ss
Wong	1987 a+b	> 6 Monate beschäftigt zwischen 1946-75	4602 männliche Chemiarbeiter in 7 Werken (3074 Nichtexponierte im gleichen Werk) USA	SMR 0,39 (0,07-1,01) SMR 0,91 (0,30-2,13) SMR 1,47 (0,48-3,43) SMR 1,79 (0,57-4,09) SMR - SMR 0,97 (0,12-3,49) SMR 0,78 (0,02-4,34) SMR 2,76 (0,57-8,06)	Nichtexponierte < 15 ppm-Jahre 15-60 ppm-Jahre 60 ppm-Jahre Nichtexponierte < 15 ppm-Jahre 15-60 ppm-Jahre 60 ppm-Jahre	lymphatische und hämatopoetische Leukämie Leukämie		ns s. a. Wong 1983, Ireland 1997
Theriault	1987	5 Jahr Follow-up 1928-81	1207 Arbeiter in einer Erdölraffinerie, Montreal (Quebec Register) Kanada	SMR 0,67 SMR 0,67 SMR 0,68	insgesamt < 20 Jahre exponiert > 20 Jahre exponiert	Leukämie, Lymphom	Alter, Geschlecht	ns Follow-up von Theriault 1979

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Nakamura	1987	1961-81	19 475 aus 51 Erdölraffinerien Japan	SMR 1,06		Leukämie		ns
Linet	1988	1961-79	5351 männliche Leukämiefälle aus Krebsregister Schweden	signifikante Ergebnisse: ALL: SIR 5,3 SIR 5,0 CLL: SIR 1,8 SIR 1,6 SIR 1,6 SIR 3,0 SIR 1,9 ANLL: SIR 2,5 SIR 2,1 CML: SIR 3,0 SIR 1,5	Gebäudebau Holzarbeiter Kleiderindustrie Möbelbau Buch- und Druckgewerbe Schneider Elektriker Nahrungsmittel- industrie Kreissägearbei- ter Brauereien Automechani- ker	alle: 3 % ALL, 45 % CLL, 33 % ANLL, 19 % CML	Alter, Region	ss da 19 Jahre Beobachtungszeit, SIR = SMR
Rinsky	1988	zwischen 1940-78 beschäftigt	Mortalität von 29 139 Arbeitern in 2 Chemiefabriken, Union Carbide Corp., (US- Bevölkerung), West Virginia USA	SMR 1,09 (0,82-1,43)		Leukämie und Aleukämie	Alter	ns s. a. Fallkontrollstudie Ott 1989a s. a. Teta 1990

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Sorahan	1989	1946-85 > 1 Jahr dort gearbeitet	Mortalität von 36 691 männlichen Arbeitern aus 13 Gummifabriken (Bevölkerung) Großbritannien	SMR 0,95		Leukämie		ns s. a. Parkes 1982 und Sorahan 1986
Hurley	1991	2 Kohorten	6520 Benzolarbeiter, Kokereinebenerzeug- nissen exponiert Großbritannien	Gruppen mit erhöhter Benzolexposition: 1 Subkohorte: SMR 0,76 (0,02-4,29) 2. Subkohorte: SMR 0,98 (0,02-5,57)	1. 1,32 ppm TWA 2. 0,31 ppm TWA	Leukämie	Alter, Region	ns 1. National Smokeless Fuels Limited 2. British Steel Corporation s. a. Hurley 1983
Marsh	1991	1948-83	6831 Arbeiter in Shell Erdölraffinerie und Chemiefabrik, Deer Park, Texas USA	SMR 0,97 SMR 0,93 SMR 1,10 (0,30-2,82) SMR 2,53 (0,69-6,48) SMR 0 (0-5,35) SMR 0,75 (0,09-2,71)	Raffinerie Chemiefabrik insgesamt	Leukämie Leukämie AML CML ALL		Follow-up von Joyner 1983 s. Tsai 1996 für aktuelle Daten für Leukämie
Swaen	1991	1945-84 < 6 Monate zwischen 1945-69 beschäftigt	5639 Arbeiter > 6 Monate beschäftigt in Kohlewerk (5740 nichtexponierte Männer aus anderem Werk, Bevölkerung) Niederlande	SMR 1,35 SMR 1,63 SMR 0,85	Nichtexponierte Kohleofen Nebenprodukte	Leukämie	Alter	ns

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Christie	1991a +b	1981-89	15 000 Beschäftigte aus Erdölindustrie: 241 männliche verstorbene Beschäftigte bzw. 152 Krebserkrankte (Nationalbevölkerung) Australien	SMR 1,6 (0,6-3,4) SMR 0,9 (0-5,2) SMR 1,7 (0,5-4,2) SMR 2,9 (0,1-16) SIR 3,4 (1,7-5,9) SIR 2,9 (0,8-7,5) SIR 4,0 (1,6-8,2) SIR 2,3 (0,1-13)		L LL ML andere L L LL ML andere L	Alter, Geschlecht	s. a. Christie 1986a+b und 1984
Grandjean	1991	1970-87	4055 männliche und 1195 weibliche Tankwarte (arbeitende Bevölkerung) Schweden	O/E 0,98 (0,49-1,76)		lymphatischer und hämatopoetischer Krebs		ns
Arnetz	1991	1964-86	13 250 Beschäftigte aus Forschung und Entwicklung in petrochemischem Exxon-Betrieb (Bevölkerung), New Jersey USA	SMR 0,66 (0,28-1,30)		Leukämie	Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Bildung	ns gewisse Überlappung mit Huebner 1997

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Shallenberger	1992	3 Kohorten 1970-82	25 476 Arbeiter in 3 Erdölraffinerien von Exxon: Baton Rouge, Louisiana (9894); Baytown, Texas (8722); Bayway/Bayonne, New Jersey (6860), (US-Bevölkerung) USA	gesamt: SMR 1,04 (0,76-1,39) Baton Rouge: SMR 0,90 (0,24-2,30) SMR 0,51 (0,01-2,84) SMR 1,20 (0,03-6,68) SMR 0,69 (0,08-2,49) Baytown: SMR 1,43 (0,39-3,66) SMR 0 SMR 0 SMR 1,84 (0,50-4,71) Bayway: SMR 1,28 (0,70-2,15) SMR 0,41 (0,05-1,48) SMR 1,49 (0,31-4,36) SMR 1,14 (0,49-2,24)		Leukämie AML CML ALL CLL AML CML ALL CLL AML CML ALL CLL	Alter, Hautfarbe, Geschlecht,	ns Follow-up von Hanis 1982 und 1985a+b, s. Gamble 2000 und Lewis 2000b für Follow-up von Teilkohorten, gewisse Überlappung mit Huebner 1997
Jakobsson	1993	Inzidenzstudie 1971-84 1970 Zensus Schweden	10 Fälle bei männlichen Tankwarten aus Krebsregister Schweden	SIR 3,6 (1,7-6,6)		AML	Alter, Region, Verstädterung, Geschlecht	ss Benzin in Schweden: 3-5 % Benzolanteil

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Rushton	1993 a+b+c	2 Kohorten > 1 Jahr beschäftigt zwischen 1951-89	34 569 Beschäftigte in Erdölraffinerien und 23 306 in Erdölumschlag Großbritannien	Erdölraffinerien: SMR 0,97 (0,76-1,24) SMR 0,75 (0,20-1,92) SMR 0,76 (0,39-1,33) SMR 0,83 (0,48-1,31) SMR 0,73 (0,46-1,16) SMR 0,89 (0,45-1,60) SMR 0,95 (0,63-1,25) Umschlagstationen: SMR 1,08 (0,83-1,40) SMR 1,33 (0,43-3,09) SMR 1,15 (0,66-1,87) SMR 1,15 (0,71-1,76) SMR 1,21 (0,78-1,79) SMR 0,82 (0,36-1,62) SMR 1,09 (0,75-1,52) Umschlagstationen: SMR 0,64 (0,13-1,88) SMR 1,03 (0,47-1,96) SMR 1,17 (0,64-1,97)	Beschäftigung: 1-9 Jahre 10-19 Jahre 20-29 Jahre	Leukämie ALL CLL LL AML CML ML Leukämie ALL CLL LL AML CML ML		ns Follow-up von Rushton 1980, 1981a und 1983b, Alderson 1982 s. a. Fall-Kontroll-Studie Rushton 1997a+b
Tsai	1993	1973-89 > 6 Monate beschäftigt	4585 Arbeiter in 2 Shell Erdölraffinerien in Kalifornien (regionale Bevölkerung) USA	SMR 0,87 (0,40-1,65) SMR 1,10 (0,30-2,82) SMR 2,53 (0,69-6,48) SMR 0 (0-5,35) SMR 0,75 (0,09-2,71)	Ø 29,3 Jahre	Leukämie AML CML ALL CLL	Alter, Geschlecht, Hautfarbe	ns andere Daten als Tsai 1997, 1996 bzw. 1983
Wong	1993a	1946-89	9026 Arbeiter im Erdölumschlag zu Land, American Petroleum Institute USA	SMR 0,99 (0,51-1,73) SMR 1,48 (0,64-2,92) SMR 1,40 (0,29-4,09) SMR 0,97 (0,39-2,00)		AML CML ALL CLL		ns s. a. Fall-Kontroll-Studie Wong 1999

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Wong	1993b	1946-89	9109 Arbeiter im Erdölumschlag zu Wasser, American Petroleum Institute USA	SMR 1,48 (0,79-2,53) SMR 0,25 (0,01-1,39) SMR 1,23 (0,15-4,44) SMR 0,34 (0,04-1,23)		AML CML ALL CLL		ns s. a. Fall-Kontroll-Studie Wong 1999
Lagorio	1994	1981-92	2665 Tankwarte (regionale Bevölkerung) Italien	SMR 0,56 (0,10-1,75)	Ø 0,17 ppm (8h-TWA)	Leukämie		ns
Crump	1994	1936-87	1717 weiße von insgesamt 1868 männlichen Arbeitern in Pliofilm, Ohio USA	SMR 5,03 (1,84-10,97) RR 5,0-6,2 RR 2,9 RR 1,7 0,020-0,036 zusätzliche Tote /1000 Arbeiter RR 1,6-3,1/1000 Arbeiter	45 ppm-Jahre Exposition 1 ppm	AML AML + MoL Leukämie HE Leukämie	Alter, Geschlecht	Update der bekannten Pliofilm-Studie, für AML: bis 200 ppm-Jahre: SMR 0,91 (0,02-5,11), mehr als 200 ppm-Jahre: drastischer signifikanter Anstieg
Collingwood	1994	1946-87	4855 Arbeiter in Mobil Erdölraffinerie in Paulboro, New Jersey USA	SMR 0,63 (0,20-1,47) SMR 1,14 (0,31-2,92) SMR 0,68 (0,02-3,79) SMR 0,80 (0,22-2,05)		AML CML ALL CLL		ns s. a. Morgan 1985
Milcarek	1994	1959-87	1991 Arbeiter in Mobil Erdölraffinerie in Torrance, Kalifornien USA	SMR 1,69 (0,62-3,68) SMR 0,62 (0,02-3,45) SMR 2,96 (0,36-10,69) SMR 0,91 (0,11-3,29)		AML CML ALL CLL		ns Follow-up von Enterline 1985
Aronson	1994	1950-89	5414 Feuerwehrmänner, Toronto Kanada	SMR 1,90 SMR 1,20		LL ML		

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Demers	1994	Inzidenzstudie 1974-89 > 1 Jahr beschäftigt zwischen 1944-79	2447 Feuerwehrmänner (lokale Bevölkerung, 1878 Polizisten), Seattle und Tacoma, Washington USA	SIR 1,0 (0,4-2,1) SIR 1,5 (0,4-3,8) SIR 0,8 (0,1-3,0)		Leukämie LL ML	Alter, Geschlecht	ns primär Benzol und PAKs im Feuerrauch vermutet
Hunting	1995	1977-91 > 1 Jahr beschäftigt zwischen 1977-91	335 männliche Kfz- Mechaniker in Washington DC USA	SMR 9,26 (1,12-33,43) SMR 4,22 (0,87-12,34)	geringe, mittlere und hohe Exposition	Leukämie und Aleukämie lymphatische und hämato- poetische Krebse		z. T. ss
Honda	1995	1940-89	9796 weiße Arbeiter in Erdölraffinerie von Shell, Wood River, Illinois (US-Bevölkerung) USA	1940-79: SMR 1,68 (1,19-2,30) 1980-89: SMR 0,55 (0,24-1,08) 1940-89: SMR 1,23 (0,90-1,64) 1980-89: SMR 3/4,5 = 0,67 SMR 4/4,1 = 0,97 SMR 1/3,9 = 0,26 SMR 1,30 (0,56-2,56) SMR 1,09 (0,22-3,18) SMR 0 (0-3,15) SMR 0,24 (0,01-1,34)		Leukämie Leukämie Leukämie LL ML L AML CML ALL CLL		z. T. ss Follow-up von McCraw 1985 und Wongsrichanalai 1989, s. a. Fall-Kontroll-Studie Austin 1986 und Cowles 1991 unterschiedliche Subtypen der Leukämie vor 1970 nicht differenziert

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Macaluso	1996	> 1 Jahr beschäftigt zwischen 1943-91	16 610 Beschäftigte von 8 nordamerikanischen Gummiwerken USA, Kanada	kein erhöhtes Risiko	Median: 2,9 ppm-Jahre bei allen Untersuchten 5,5 ppm-Jahre für alle an Leukämie Verstorbenen	Leukämie	Hautfarbe, Alter, Exposition von Styrol und Butadien	Follow-ups von Kohorten von Matanoski 1987, 1990, 1993; Meinhardt 1982. Nur erhöhtes Leukämierisiko durch Butadien erkennbar.
Tsai	1996	1948-89 > 3 Monate beschäftigt ab 1948	9007 Arbeiter in Shell Erdölraffinerie und Chemiefabrik, Deer Park (lokale Bevölkerung), Texas USA	SMR 1,09 (0,60-1,84) SMR 0,98 (0,39-2,02) SMR 1,05 (0,65-1,61)	Raffinerie Chemiefabrik insgesamt	LA	Alter	ns Follow-up von Joyner 1983 s. Marsh 1991 für differenzierte Leukämiearten
Fu	1996	2 Kohorten Großbritannien: 1939-91 Italien: 1950-90, nach 1939 und zwischen 1950-84 beschäftigt	Schuhfabrikarbeiter: 4215 in Großbritannien und 2008 in Florenz, Italien (Bevölkerung) Großbritannien und Italien	britische Kohorte: SMR 0,89 (0,51-1,45) italienische Kohorte: SMR 2,14 (0,92-4,21)		Leukämie		ns Follow-up von Pippard 1985 (Großbritannien) bzw. Paci 1989 + 1988 (Italien)
Satin	1996	1937-87	17 844 Arbeiter in Gulf/Chevron Erdölraffinerie in Port Arthur (Texas- Bevölkerung), Texas USA	SMR 1,02 (0,77-1,32) SMR 0,63 (0,30-1,15) SMR 0,84 (0,31-1,84) SMR 2,60 (1,12-5,12) SMR 0,30 (0,06-0,87) SMR 2,23 bei 20-29 Jahre Beschäftigung	aus Wen 1983: bei Proben: 84 % < 1 ppm 12 % 1-5 ppm 1 % > 25 ppm (1973-82)	Leukämie AML CML ALL CLL Leukämie	Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Einstellung	z. T. ss s. a. Satin 1994, Tsai 1983, Wen 1981+1983+1984a+b +1985+1986 und Tabershaw 1980 z. T. Überlappung mit Dement 1998

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Tsai	1997	1973-93	3803 Arbeiter in Erdölraffinerien und der Petrochemie, Arbeiter bei Shell Oil (US-Bevölkerung), Louisiana USA	SMR 0,81 (0,22-2,07) SMR 0,43 (0,05-1,56) SMR 0,48 (0,06-1,73)	Gesamtkohorte > 10 Jahre Beschäftigung > 20 Jahre Beschäftigung	Leukämie und Aleukämie	Region	ns Fehlen von Expositionsdaten, andere Daten als Tsai 1993 oder 1983
Järholm	1997	> 1 Jahr beschäftigt zwischen 1958-91	4128 männliche Beschäftigte, 146 Krebsfälle im Transportwesen und in Erdölraffinerien, > 1 Jahr Beschäftigung (Schwedisches Krebsregister) Schweden	Ø 11,6 Jahre Beschäftigung, alle männlichen Arbeiter: SMR 1,4 (0,59-2,7) SMR 1,4 (0,39-3,7) SMR 1,5 (0,41-3,9) Raffineriebetreiber: SMR 3,6 (1,5-7,0) SMR 3,5 (0,91-8,6) SMR 4,0 (1,2-11,1)	Expositionabschätzung: 0-1 Jahr 1-20 Jahre 10-20 Jahre 0-1 Jahr 1-20 Jahre 10-20 Jahre	Leukämie	Geschlecht	z. T. ss

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Hayes	1997	1972-87 gleiche Studie wie Yin 1996a+b, nur mit Exposition	74 828 exponierte Arbeiter (35 805 Nichtexponierte) in verschiedenen Branchen in 12 Städten (Maschinenbau- und Kleidungsfabriken China	RR 2,6 (1,4-4,7) RR 3,0 (0,9-10,5) RR 2,5 (1,2-5,1) RR 3,0 (1,0-8,9) RR 4,1 (1,4-11,6) RR 3,2 (1,0-10,1) RR 7,1 (2,1-23,7) RR 1,9 (0,8-4,7) RR 3,1 (1,2-8,0) RR 2,7 (1,2-6,0)	mittlere Exposition: 9,3 Jahre und 22,5 ppm " " " " M < 10 ppm M 25 ppm < 40 ppm- Jahre 40-99 ppm- Jahre > 100 ppm- Jahre	alle hematopl. Krebse NHL Leukämie ANLL ANLL/MDS ANLL Leukämie Leukämie Leukämie	Geschlecht, Alter	z. T. ss s. a. Yin 1987a+b, 1989+1994+1996a+b, Dosemeci 1994+1996, Hayes 1996+1997, Li 1994, Linet 1996, Travis 1994, Rothman 1996a+b+1997 klarer signifikanter Anstieg hämatologischer Krebsarten und verwandter Krankheiten bei \emptyset < 10 ppm und kumulativer Exposition < 40 ppm-Jahre
Lynge	1997a	Inzidenzstudie 1970-85/90	19 000 Tankwarte in Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden (nationale Inzidenz- Register) Skandinavien	Männer: SIR 0,9 (0,6-1,3) SIR 1,4 (0,8-2,4) SIR 0,8 (0,3-1,6) SIR 0,5 (0,2-1,2)	Bereich 0,5-1 mg/m ³ (basierend auf anderen Studien)	Leukämie AML CLL alle anderen Leukämien		ns

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Ireland	1997	ab 1940-77 tätig	4172 Arbeiter eines Chemiewerkes (Monsanto Company), Illinois USA	SMR 2,3 (0,7-5,3) SMR 2,3 (0,7-9,4)	M 36 ppm-Monate 0,12-7584 ppm-Monate = 0,01-632 ppm-Jahre (Niedrigdosisbereich)	Leukämie MM		ns Teilkohorte von Wong 1987a+b Risiko erhöht nach > 20 Jahren Exposition. Leukämie nicht auf akute myeloische Subtypen beschränkt.
Huebner	1997	ab 1979-92	81 746 Arbeiter in Erdölindustrie (US-Bevölkerung) USA	Männer: SMR 1,04 (0,78-1,38) SMR 1,00 (0,56-1,65) SMR 1,02 (0,44-2,00) SMR 1,60 (0,85-2,73)		Leukämie AML CML CLL	Alter, Geschlecht	ns gewisse Überlappung mit anderen Kohorten

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Raabe	1998	> 1 Jahr beschäftigt zwischen 1945-87	7119 weiße Arbeiter in Mobil Erdölraffinerie in Beaumont, Texas, (US- Bevölkerung) USA	insgesamt: SMR 1,42 (0,91-2,11) < 20 Jahre beschäftigt: SMR 0,38 (0,01-2,14) 20-39 Jahre beschäftigt: SMR 1,77 (0,94-3,02) > 30 Jahre beschäftigt: SMR 1,86 (1,01-3,11) > 40 Jahre beschäftigt: SMR 1,45 (0,69-2,66) SMR 1,34 (1,01-1,75) SMR 0,25 (0,01-1,39) SMR 1,36 (0,59-2,68) SMR 1,15 (0,24-3,36) SMR 1,40 (0,88-2,11) SMR 1,21 (0,55-2,30)		Leukämie HE CLL AML CML NHL MM	Geschlecht, Alter, Hauffarbe, Asbest	z. T. ss Follow-up von Wong 1989, Morgan 1984, Thomas 1980, 1982 und 1984, s. a. Raabe 1994 z. T. Überlappung mit Dement 1998, eingebettete Fall- Kontroll-Studie s. Thomas 1984
Pukkala	1998	1971-94	Krebsinzidenz von 7512 Männern und 1942 Frauen in Erdölindustrie (Nationalregister) Finnland	SIR 1,02 (0,47-1,93)		Leukämie	Alter, Geschlecht	ns
Straif	1998	> 1 Jahr beschäftigt 1981-91	11 633 männliche aktive bzw. berentete Arbeiter in Gummiindustrie Deutschland	SMR 2,16 (1,08-3,87) SMR 3,04 (1,46-5,59) nach > 10 Jahre Beschäftigung SMR 1,87 (1,02-2,13)	Vorbereitung des Materials Vorbereitung des Materials Produktion technischer Gummi- produkte	Leukämie	Alter, Jahr	ss s. a. Weiland 1996+1998

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Soll-Johanning	1998	Inzidenzstudie 1900-94	18 174 Busfahrer und Straßenbahnfahrer Kopenhagen und Dänemark	SIR 1,1 (0,8-1,5) Dänemark SIR 1,1 (0,8-1,5) Kopenhagen		Leukämie	Rauchen, Diesel, weitere Abgase	ns
Tsai	1998	Inzidenzstudie 1985-95	2475 Beschäftigte bzw. ehemals Beschäftigte einer Erdölraffinerie, Illinois USA	SIR 1,26 (0,54-2,47)		MDS		ns
Lundberg	1998	Mortalitäts- und Inzidenzstudie 1961-92 bzw. 94 > 5 Jahre Exposition zwischen 1955-75	411 männliche Beschäftigte in Farbindustrie Schweden	SMR 1,2 (0,2-4,3) SIR 1,5 (0,3-4,3)		Leukämie	Alter	ns ab 1956 wurde Benzol in Schweden in der Farbindustrie nicht mehr verwendet; die vor 1956 Beschäftigten haben eine höhere Inzidenz lymphatischer Krebse
Dement	1998	PMR-Studie 1940-93	2985 männliche Beschäftigte in drei Erdölraffinerien (US- Bevölkerung), Texas USA	PMR 1,75		Leukämie	Alter, Geschlecht, Hautfarbe	ss Follow-up von Thomas 1982 und 1984 z. T. Überlappung mit Satin 1996 und Raabe 1998
Mundt	1999	1976-91	2871 weibliche Beschäftigte in der Gummiindustrie (weibliche Bevölkerung) Deutschland	SMR 1,75 (0,48-4,48)		lymphatisches und hämatopoeti- sches System	Alter, Geschlecht	ns

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Wilkinson	1999	Inzidenzstudie 1974-91	417 Fälle (439,9) innerhalb eines Radius von 2 km, 3827 Fälle innerhalb eines Radius von 7 km (3902) von 7 Großindustriestand- orten, primär Erdölindustrie Großbritannien	0-2 km Umgebung: 1,06 (0,91-1,23) 1,00 (0,78-1,26) 1,09 (0,72-1,59) 0,99 (0,71-1,33) 1,14 (0,91-1,42) 0,99 (0,72-1,33) 1,42 (0,97-2,02) 0,92 (0,77-1,08) 0,74 (0,56-0,96) 0-7,5 km Umgebung: 1,01 (0,96-1,07) 0,94 (0,86-1,02) 0,95 (0,82-1,09) 0,91 (0,82-1,01) 1,05 (0,98-1,14) 1,05 (0,95-1,16) 1,06 (0,92-1,22) 1,00 (0,94-1,05) 0,89 (0,82-0,96)		L LL ALL CLL ML AML CML NHL MM L LL ALL CLL ML AML CML NHL MM	Alter, Rauchen, Geschlecht	ns
Divine	1999 a+b	> 5 Jahre beschäftigt 1947-93	28 480 Texaco- Beschäftigte in 15 Raffinerien, Forschungs- und petrochemischen Einrichtungen (US- Bevölkerung) USA	Weißer Männer: SMR 1,01 (0,81-1,23) SMR 1,01 (0,32-2,35) SMR 0,80 (0,45-1,33) SMR 1,29 (0,78-1,99) SMR 1,05 (0,54-1,83) SMR 2,76 (1,54-4,55) Nichtweiße Männer: SMR 0 (0-1,22) Frauen: SMR 1,29 (0,35-3,31)		L ALL CLL AML CML LL L L	Hautfarbe, Geschlecht	ns Follow-up von Divine 1985+1986 s. a. Wong 1999 Divine 1987+2000: andere Daten

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungszeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Consonni	1999	1949-91	1583 Arbeiter in Erdölraffinerie (regionale und nationale Bevölkerung) Italien	SMR 2,25 (0,97-4,43)		Leukämie		ns Follow-up von Bertazzi 1989
Westley-Wise	1999	Inzidenzstudie zwischen 1989-96 diagnostiziert	12 Leukämiefälle in Illawarra, Region mit viel Industrie (lokale Bevölkerung), NSW Australien	SIR 3,43 (1,42-6,92) SIR 4,78 (1,22-12,48) SIR 2,34 (0,26-8,55) SIR 4,53 (0,51-16,57)	geschätzte Benzolexposition in Luft: 0-0,003 ppm	Leukämie ALL AML CML	Alter	ss
Lewis	2000a	1964-94	34 560 männliche Beschäftigte in Erdölindustrie (Allgemeinbevölkerung) Kanada	SMR 0,89 (0,67-1,16) SMR 1,53 (0,97-2,30) SMR 0,67 (0,30-1,27) SMR 1,38 (0,83-2,16) SMR 0,86 (0,32-1,87)		Leukämie ANLL CLL AML CML		ns Follow-up von Hanis 1979 und Schnatter 1992+1993
Lewis	2000b	1970-92 zwischen 1970-82 beschäftigt	19075 Arbeiter von 3 Erdölraffinerien von Exxon: Baton Rouge, Louisiana; Baytown, Texas; Bayway/Bayonne, New Jersey, (State/US-Bevölkerung) USA	SMR 1,50 (1,13-1,95)		Leukämie	Alter, Geschlecht	ss Teilkohorte von Shallenberger 1992, s. a. Gamble 2000
Huebner	2000	Inzidenzstudie 1983-94 zwischen 1970-82 beschäftigt	8942 männliche Beschäftigte in Erdölindustrie (lokale Bevölkerung), Louisiana USA	SIR 1,29 (0,75-2,07) SIR 1,22 (0,40-2,85) vor 1950 beschäftigt: SIR 1,49 (0,81-2,49)		Leukämie CLL Leukämie	Alter, Geschlecht, Jobtyp, Beschäftigungsbeginn und -dauer, Latenz	ns s. a. SMR-Studien Hanis 1985 a+b und Shallenberger 1992 und Huebner 1997

Autor	Jahr	Studientyp/ Beobachtungzeit	Studienpopulation (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Divine	2000	zwischen 1946-94 beschäftigt	24 124 Beschäftigte in Rohölproduktion, Texaco (US- Bevölkerung) USA	weiße Männer: SMR 0,97 (0,72-1,29) SMR 1,04 (0,20-3,05) SMR 0,52 (0,16-1,21) SMR 1,92 (1,10-3,13) SMR 0,94 (0,34-2,05) SMR 1,50 (0,40-3,84) Jahre beschäftigt: < 5: SMR 0,52 (0,10-1,53) 5-9: SMR 0,66 (0,13-1,94) 10-19: SMR 0,94 (0,40-1,85) SMR 1,11 (0,77-1,54) zuerst beschäftigt: vor 1940: SMR 1,26 (0,81-1,87) seit 1940: SMR 0,86 (0,46-1,48) seit 1950: SMR 0,74 (0,38-1,29) zuerst beschäftigt: vor 1940: SMR 3,74 (1,86-6,70) 1940-49: SMR 0,77 (0,08-2,80) ab 1950: SMR 1,05 (0,21-3,07)		Leukämie ALL CLL AML CML AL Leukämie L L L L L AML AML AML	Alter, Geschlecht, Hautfarbe	ns, nur für AML ss Follow-up von Divine 1987
Gamble	2000	1970-92	6238 verrentete Arbeiter von 3 Erdölraffinerien von Exxon: Baton Rouge, Louisiana; Baytown, Texas; Bayway/ Bayonne, New Jersey, (US- Bevölkerung) USA	SMR 0,90 (0,62-1,24)		Leukämie		ns s. a. Lewis 2000b Teilkohorte von Shallenberger 1992

Legende:

1)	relatives Risiko dargestellt als RR, SMR, SIR, PMR, sMOR, O/E
RR	relatives Risiko
sMOR	standardisierte Mortalitäts-Odds Ratio
SMR	standardisierte Mortalitäts-/Morbiditätsratio
SIR	standardisierte Inzidenzratio
PMR	proportionale Mortalitäts-/Morbiditätsratio
O/E	observed/expected (beobachtete/erwartete Fälle)

2)	ns nichtsignifikantes Risiko
	ss signifikantes Risiko

3)	
AL	akute Leukämie
ALL	akute lymphatische Leukämie
AML	akute myeloische Leukämie ALL
ANLL	akute nichtlymphatische Leukämie, meist AML
CLL	chronische lymphatische Leukämie
CML	chronische myeloische Leukämie
HE	hämatologische bösartige Erkrankungen
L	Leukämie
LA	Leukämie und Aleukämie
LL	lymphatische Leukämie
MDS	myelodysplastisches Syndrom
ML	myeloische Leukämie
MM	multiples Myelom
MoL	Monozytenleukämie
NHL	Non-Hodkgin-Lymphom
TWA	time weighted average, Schichtmittelwert (auf 8-Stunden-Schicht bezogen)

Tabelle 24: Benzol und Leukämie: Fall-Kontroll-Studien

Autor	Jahr	Beobachtungzeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Girard	1970	1966-69	257 Fälle (124 Krankenhauskontrollen) Frankreich	RR 3,3 (1,2-8,9) RR 4,1 (1,4-12) RR 1,8 (0,5-6,6)		akute Leukämie CLL myeloische Leukämie		z. T. ss Expositionen am Arbeitsplatz oder im Haushalt gegenüber Lösungsmitteln, die Benzol oder Toluol enthalten
Ishimaru	1971	1945-67	303 Fälle, (303 Kontrollen) Japan	RR 2,5 (1,3-5,0)		Leukämie		ss potenzielle Exposition von Benzol oder Röntgenstrahlen
Williams	1977		7518 Fälle aller Krebsarten in allen Branchen Third National Cancer Survey USA	OR 1,50 OR 1,83 OR 1,15 (bei Frauen signifikant)	Transportwesen Minenarbeiter Verkauf und Einzelhandel	Leukämie	Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Bildungslevel, Alkohol, Rauchen, Region	keine signifikanten Ergebnisse außer bei Frauen im Verkauf/Handel
Brandt	1978	1969-77	50 ANLL-Patienten (232 Kontrollen) in Lund Schweden	36 % der Fälle waren Erdölprodukten exponiert gegenüber 10 % der Kontrollen OR ca. 5	typische Berufe der Exponierten: Tankwart, Bus- oder Lkw-Fahrer, Sägemaschinist, Schlepperfahrer	ANLL		in gesunder Bevölkerung auch ca. 10 % Benzol-exponierte
Linosa	1980	1955-74	138 Leukämiefälle (276 Kontrollen) in Minnesota USA	RR 3,34 (0,60-27,60)	Medizinischer Bericht mit Hinweis auf Benzol-exposition	Leukämie	Alter, Geschlecht, Wohnort	ns

Autor	Jahr	Beobachtungzeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Wolf	1981	1964-73	72 Fälle in 4 Gummi- und Reifenfabriken (Fälle anderer Krankheiten aus diesen Fabriken) USA	OR 0,8 OR 1,1 OR 0,6 OR 1,6 OR 1,2 OR 0,8 OR 1,0 OR 0,5 OR 0,8 OR 0,7 OR 0,3	Lösemittel- exposition: mittel gering hoch mittel gering hoch mittel gering mittel gering	Leukämie L L LL LL LL ML ML ML MoL MoL	Geschlecht, Hautfarbe, Fabrik, Alter	Daten von Kohorte von McMichael 1974+1975+1976a+b s. a. Arp 1983, Checkoway 1984, Wilcosky 1984
Giles	1984	1972-80	alle 798 Fälle lympho- und myeloproliferativer Krankheiten in Tasmanien	insgesamt hauptsächlich ANLL und CLL MP erhöht bei Metallern und in Gießereien LP erhöht bei Friseuren und Landwirten/Arbeitern ANLL erhöht im Handel, im Dienstleistungsbereich und in der Nahrungsmittelindustrie CLL erhöht in der Landwirtschaft, in Minen und bei Landwirten/Arbeitern			Geschlecht, genetische Veranlagung, zusätzliche Krankheiten	

Autor	Jahr	Beobachtungszeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Järvisalo	1984	1971-77	636 Fälle von AML (andere Krebserkrankte aus Finnischem Krebsregister) Finnland	Männer: mehr AML bei Waldarbeitern Frauen: mehr AML in der Nahrungsindustrie und im Gesundheitswesen	keine Angaben	AML	Geschlecht, Region	
Thomas	1984	eingebettete Fall-Kontroll-Studie	34 verstorbene Leukämiefälle aus Erdölraffinerie (96 Kollegen mit anderer Todesursache), Beaumont, Texas USA	OR 0,4-1,6	verschiedene Jobkategorien	Leukämie	Alter, Geschlecht, Hautfarbe	ns Daten von Kohorte Thomas 1982 s. a. Raabe 1998
Aksoy	1985	eingebettete Fall-Kontroll-Studie 1967-83	51 benzolexponierte Leukämiepatienten (50 nichtexponierte Leukämiepatienten) Türkei	erhöhtes Risiko von AML und Präleukämie bei Exponierten	Benzolexposition M 9,93 Jahre	Leukämie: 20 AML 7 Präleukämie 10 akute Erythorleukämie 5 akute myelomonozytäre Leukämie 1 akute undifferenzierte Leukämie	Choleraimpfung, genetische Disposition, Rauchen	s. a. Aksoy 1974a-c, 1976a-b, 1980, 1981 Daten z. T. von Kohorte von Aksoy 1982 (48 Patienten aus Kohorte, 3 aus anderen Betrieben) Vergleich Exponierte/ Nichtexponierte in %: akute Leukämie: 96/46 Präleukämie: 13,8/4 CLL nur in nichtexponierter Gruppe
Austin	1986	1973-82	4 weiße Fälle (50 Kontrollen) in Shell Erdölraffinerie, Wood River, Illinois USA	RR 8,0 (0,7-88) RR 1,9 (0,5-8,0) RR 2,5 (0,5-11,4) RR 1,3 (0,3-5,1) RR 3,6 (0,1-130) RR 3,2 (0,4-23) RR 0,7 (0,1-5,6)	Labor Mischen Büro Arbeit im Freien Mischen Büro Arbeit im Freien	Leukämie AML		ns Daten von Kohorte McCraw 1985, s. a. Honda 1995, Wongsrichanalai 1989, Cowles 1991

Autor	Jahr	Beobachtungszeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Linnet	1987	1975-82	100 weiße Fälle (100 Patienten), Baltimore USA	OR 1,2 (0,4-3,6) Benzol OR 3,7 (1,3-10,3) Erdöl		MM	Geschlecht, Krankenhaus, Alter, Diagnosejahr, Rauchen, Alkohol	z. T. ss
Flodin	1988	1975-84	111 weiße Frauen und Männer mit CLL (431 Kontrollen aus Bevölkerung) Schweden	RR 1,8 (1,0-3,4) RR 4,0 (1,0-14,7) RR 2,5 (1,5-4,0) RR 6,1 (1,9-19,0) RR 1,8 (1,0-3,1) RR 3,2 (1,5-6,6)	Lösemittel Maler Motorabgase DDT Landwirt Holzverarbeitung	CLL	Autoabgase, Holz, DDT, Lösemittel, Alter, Rauchen, Strahlung, Kontakt mit Pferden	ss
Schumacher	1988	1968-70, 1975-77, 1980-82	501 männliche Tote (569 Kontrollen), in North Carolina USA	OR 1,52 (0,75-3,08) OR 0,20 (0,04-0,98) OR 0,77 (0,56-1,07) OR 0,94 (0,47-1,87)	Lkw-Fahrer, Weiße Lkw-Fahrer, Farbige Benzolexposition, Weiße	NHL	Alter, Todesjahr, Hautfarbe	ns
Brownson	1988	1984-85	475 männliche Fälle (1425 Kontrollen) in der Landwirtschaft und in anderen Branchen, Missouri USA	OR 0,91 (0,53-1,56) OR 1,38 (0,52-3,66) (20-64-Jährige) OR 0,76 (0,40-1,45) (über 65-Jährige) OR 4,79 (1,42-16,18)	Landwirte Landwirte Landwirte Mechaniker	Leukämie (am häufigsten ALL)	Alter, Rauchen	z. T. ss Leukämiearten wurden differenziert, aber wegen zu geringer Anzahl wenig aussagekräftig
Cartwright	1988	1979-86	161 Patienten (310 andere Patienten) in Yorkshire Großbritannien	RR 2,4 (0,95-6,0) RR 4,0 (1,0-18,4)	Elektriker Hochofen, Schmiedeofen	AML	Alter, Geschlecht	z. T. ss

Autor	Jahr	Beobachtungzeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart³	Confounder	Bemerkungen²
Malone	1989	1977-81	427 Fälle mit CLL (1683 Kontrollen US- Bevölkerung) in 4 Regionen USA	OR 1,1 (0,6-2,0) OR 1,6 (0,9-2,6) OR 1,3 (0,7-2,7)	insgesamt Erdölindustrie Gumminindustrie	CLL	Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Bildungs- niveau, Ort, Misch- expositionen	ns Befragung zur Expositionsgeschichte
Ott	1989 a	eingebettete Fall- Kontroll-Studie 1940-78	männliche Arbeiter von zwei Chemiefabriken, Union Carbide Corp., (5 x soviele Kontrollen aus den Fabriken) USA	OR 1,0 OR 1,5 OR 1,0 OR 1,4 OR 1,2 OR 1,6	 < 5 Jahre Exposition > 5 Jahre Exposition	NLL ALL NHL MM MM MM	Misch- expositionen	Daten von Kohorte von Rinsky 1988 Expositionsdaten s. Ott 1989b

Autor	Jahr	Beobachtungszeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Loomis	1991	1985-87	5147 männliche an Leukämie Verstorbene (51 470 an anderen Ursachen Verstorbene) in 16 US-Staaten USA	OR 0,8 (0,7-1,0) OR 0,6 (0,4-0,8) OR 1,0 (0,9-1,2) OR 1,0 (0,6-1,5) OR 1,1 (0,9-1,2) OR 0,9 (0,8-1,0) OR 0,8 (0,6-0,9) OR 1,0 (0,7-1,5) OR 1,0 (0,9-1,2) OR 1,1 (0,8-1,4) OR 1,2 (1,0-1,4) OR 0,5 (0,3-1,0) OR 1,0 (0,8-1,2) OR 0,6 (0,4-0,9) OR 0,8 (0,6-1,1) OR 0,7 (0,4-1,1) OR 0,9 (0,7-1,1) OR 0,8 (0,6-1,1) OR 0,9 (0,7-1,2)	Automechaniker Maler Metall- und Holzarbeiter Druckmaschinen Maschinenführer Fahrzeugfahrer Transportberufe Landwirte " " " Mechaniker " " " Transportwesen " " "	Leukämie L L L L L L L ALL ANLL CLL CNLL ALL ANLL CLL CNLL ALL ANLL CLL CNLL	Alter, Geschlecht, Hautfarbe	meist ns Zusammenhang zwischen Leukämie und Erdölindustrie bzw. Gummiverarbeitung angedeutet; Leukämieanstieg bei Büroarbeitern und erhöhte Ratio für ALL bei Fleischindustriearbeitern
Pasqualetti	1991		620 Fälle von Blutkrebs (1240 Kontrollpatienten) Italien	OR 5,28 (2,13-13,64) OR 1,11 (0,37-3,31) OR 2,73 (1,91-3,91) OR 2,15 (1,39-3,32) OR 2,59 (1,75-3,84) OR 1,55 (1,06-2,26) OR 2,74 (2,14-4,01)	aromatische Kohlenwasserstoffe (KW) Automechaniker Landwirt aromatische KW Mineralöl Farben Pestizide	ANLL hämatologische bösartige Erkrankungen " " " "	Alter, Region, Geschlecht, Sozialstatus, Alkohol, Rauchen, Exposition gegenüber verschiedenen Noxen	meist ss

Autor	Jahr	Beobachtungzeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Lindquist	1991	1980-83	125 Fälle mit AL (125 Kontrollen aus Bevölkerung) Schweden	OR 4,9 (2,2-12,1) OR 3,0 (1,1-9,2) OR 13 (2-554)	lösungsmittel- exponiert Fahrer Maler	akute Leukämie	Alter, Geschlecht, Wohnort	ss s. a. Lindquist 1987
Richardson	1992	1984-88	185 Fälle an verschiedenen Arbeitsplätzen mit Benzolexposition (513 Kontrollen) Frankreich	OR 1,3 (0,8-2,3) OR 2,8 (1,3-5,9) OR 3,61 (1,69-7,7)	Gesamtexposition hohe oder mittlere Exposition	akute Leukämie akute Leukämie AML	Pestizide, elektro- magnetische Felder (EMF)	z. T. ss Benzol in Kombination mit EMF verursacht nur AML
Jakobsson	1993	1971-84	275 Fälle mit AML aus Krebsregister (Bevölkerung) Schweden	RR 3,6 (1,7-6,6)	Tankwarte	AML		ss
Greenland	1994	1969-84 vor 1984 beschäftigt	1821 Transformatormonteure (1202 Kontrollen aus der gleichen Kohorte) USA	OR 1,4 (0,64-3,2) OR 0,90 (0,26-3,08)	ständige Regressoren binäre Regressions- abschätzung	Leukämie	Alter	ns Mischexpositionen: Pyranol, trichlorethengemischte Lösungsmittel, Asbest, synthetische Harze, Kühlschmierstoffe

Autor	Jahr	Beobachtungszeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Mele	1994 und 1995	1986-90	636 Fälle aus 3 Krankenhäusern (1161 Kontrollen), Rom, Bologna, Pavia Italien	OR 2,4 (0,9-6,9) OR 1,3 (0,2-10,2) OR 4,5 (1,6-13,0) OR 6,3 (1,3-31,1) OR 3,2 (0,5-20,8) OR 4,7 (0,6-34,2) OR 7,6 (1,5-39,8) OR 1,2 (0,7-1,9) OR 1,0 (0,4-2,5) OR 1,5 (0,9-2,6) OR 1,2 (0,5-2,6) OR 0,8 (0,2-3,4) OR 1,1 (0,4-2,8)	Schuhmacher Maler Landwirt Herbizideinsatz	AML ALL CML APL AML ALL CML AML ALL CML	Alter, Geschlecht, Bildungsniveau, Rauchen, Region	z. T. ss
Sathiakumar	1995	> 1 Jahr beschäftigt 1976-90	69 Todesfälle in Erdölfirma (284 Kontrollen) USA	OR 0,98 (0,44-2,1) OR 1,3 (0,63-2,9) OR 1,6 (0,81-3,2) OR 0,43 (0,12-1,5) OR 1,6 (0,51-5,1) OR 1,2 (0,32-4,4) OR 3,9 (1,3-12) OR 0,67 (0,08-5,5) OR 3,1 (0,60-15,7) OR 8,7 (2,0-37,2)	x Jahre beschäftigt: 20-29 > 30 insgesamt insgesamt 0-21 22-31 31-40 0-20 22-31 32-40	Leukämie Leukämie ML LL ML ML AML AML AML	Alter	meist ns nach Tätigkeiten untersucht. Hinweis, dass im Erdöl/-gas-Bereich ML steigt und AML geringfügig. Deutlicher Anstieg bei entsprechend längerer Expositionsdauer.

Autor	Jahr	Beobachtungzeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Clavel	1996	diagnostiziert 1980-90	226 männliche Patienten (425 Kontrollpatienten) Frankreich	Ø OR 0,8 (0,5-1,2) OR 0,9 (0,5-1,7) OR 0,7 (0,3-1,7) OR 0,6 (0,3-1,7)	< 1 ppm-Jahre 1-5 ppm-Jahre > 5 ppm-Jahre	Haarzellen- leukämie	Rauchen, Arbeitshistorie auf Bauern- hof, Alter, Wohngebiet, sozioökono- mischer Status, Bildungs- niveau	ns
Schnatter	1996 a+b	eingebettete Fall- Kontroll-Studie	29 Fälle mit Krebsen des blutbildenden Systems, Arbeiter im Erdölumschlag (115 Kontrollen) Kanada	OR 0,61 (0,12-2,51) OR 1,002 / ppm-Jahre	0,01-6,2 ppm täglich	Leukämie	Rauchen, Familien- krebsge- schichte	Daten von Kohorte von Schnatter 1993 in 2 Aufsätzen veröffentlicht, s. a. Lewis 2000a
Rushton	1997 a+b	eingebettete Fall- Kontroll-Studie Fälle vor 1993 gestorben	91 Leukämiefälle aus Erdölverkauf und - umschlag (4 x 91 Kontrollen) Großbritannien	OR 2,8 (0,8-9,4) bei 4,5-45 ppm-Jahre OR 2,8 (0,9-8,5) bei mittlerer Exposition von 0,2- 0,4 ppm keine Erhöhung der OR mit steigender kumulativer Exposition	Bereich: 1-200 ppm-Jahre 81 % < 5 ppm- Jahre 30 Arbeitsplatz- kategorien, Bereich 0,003- 8,20 ppm	alle Leukämiearten	Alter	ns Daten von Kohorte von Rushton 1981a+1983b s. a. Rushton 1980+1981b+1993a-c Expositionen im Niedrigdosisbereich, Expositionsabschätzung s. Lewis 1997, akute myeloische und monozytäre Leukämie, tendenziell erhöht nach 10 Jahren Exposition

Autor	Jahr	Beobachtungszeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Massoudi	1997	1965-90	618 weiße männliche Verstorbene aus Region mit chemischer Industrie (309 an Herz-Kreislaufversagen Verstorbene), Kanawha, West Virginia USA	Chemiearbeiter: OR 0,69 (0,28-1,69) OR 1,09 (0,40-2,96) OR 1,79 (0,65-4,93) OR 1,10 (0,48-2,51) OR 0,82 (0,38-1,76)		AL AML CLL LL ML	Alter, Geschlecht, Hautfarbe, Region	ns s. a. Talbott 1992 und Day 1992
Nilsson	1998	eingebettete Fall-Kontroll-Studie aus 2 Kohorten 1961-79 und 1971-87	13 449 Seeleute auf Tankern mit Chemieprodukten, (Schwedisches Krebsregister) Schweden	OR 1,6 (0,4-6,0) OR 2,6 (1,1-5,9)		Leukämie alle Krankheiten des lymphatischen und hämatopoetischen Systems		z. T. ss
Metayer	1998	eingebettete Fall-Kontroll-Studie 1949-80	53 Arbeiter in Fleischabpackung (53 fremde und 53 Kontrollen aus Kohorte) USA	erhöhtes Risiko von Tumoren des hämatopoetischen und lymphatischen Systems			Viren, PAH, Nitrosamine, Phtalate	
Wong	1999	eingebettete Fall-Kontroll-Studie aus 2 Kohorten 1946-89	18 000 Arbeiter im Erdölumschlag zu Wasser und zu Land (ca. 1-5 x Kontrollen aus Kohorten mit anderen Krankheiten) USA	RR 0,83 (0,40-1,72) RR 1,17 (0,35-3,91) RR 0,96 (0,26-3,51) RR 2,42 (0,21-27,4) RR 0,83 (0,30-2,34) RR 0,91 (0,17-4,80) RR 0,77 (0,35-1,71) RR 0,42 (0,13-1,44)	Fabrikarbeiter Arbeiter Mechaniker Fahrer	Leukämie AML Leukämie AML Leukämie AML Leukämie AML	Alter, Geschlecht	ns Daten von Kohorten von Wong 1993a+b
Miligi	1999		1183 weibliche Fälle mit Krebsen des blutbildenden Systems (828 Kontrollen aus Bevölkerung) Italien	OR 1,1 (0,6-2,0) OR 1,2 (0,6-2,3) OR 2,2 (0,7-7,1) OR 0,9 (0,6-1,2)	Landwirtinnen Textilarbeiterinnen Friseurinnen, Schönheitssalon Rauchen	Leukämie	Alter, Bildung, Rauchen, berufliche und private Historie	ns Trend zur Risikoerhöhung bei Lösemittelexposition

Autor	Jahr	Beobachtungzeit	n Fälle (Kontrollen)	Relatives Risiko ¹ (95 % CI)	Exposition	Leukämieart ³	Confounder	Bemerkungen ²
Albin	2000	zwischen 1976-93 diagnostiziert	333 Patienten mit AML (Bevölkerung) Schweden	OR 1,5 (0,89-2,6)	verschiedene Berufe mit Benzolexposition	AML	Alter, Geschlecht, Region	ns

Legende:

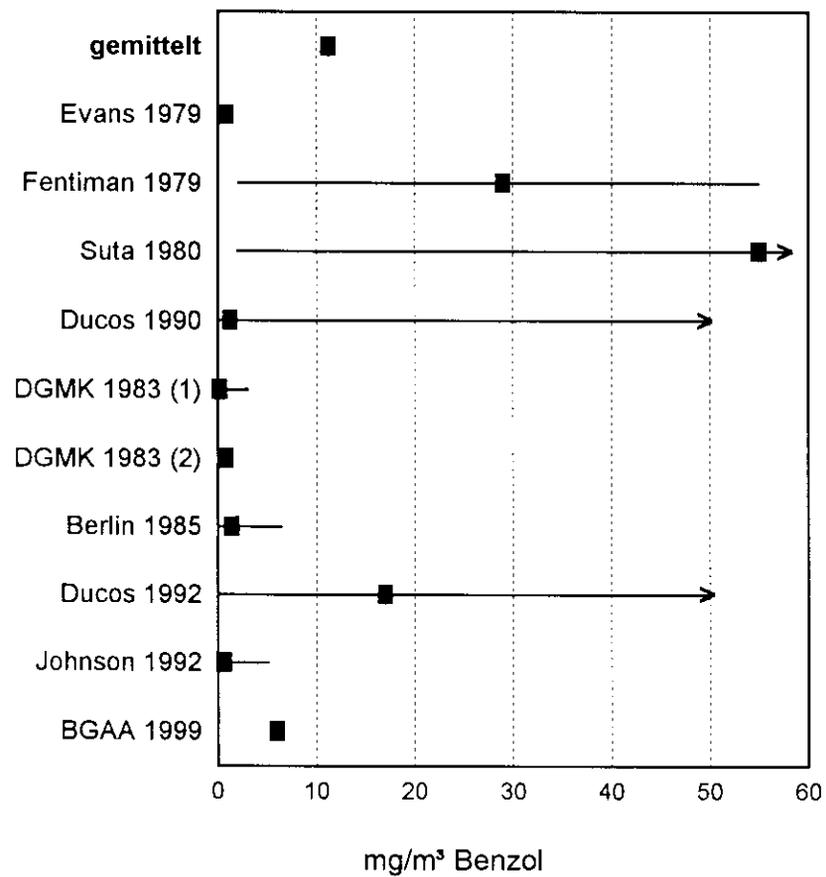
1) relatives Risiko dargestellt als RR, OR
RR relatives Risiko
OR Odds Ratio

2) ns nichtsignifikantes Risiko
ss signifikantes Risiko

3)

AL	akute Leukämie	MoL	Monozytenleukämie
ALL	akute lymphatische Leukämie	MP	myeloproliferative Störung
AML	akute myeloische Leukämie	NHL	Non-Hodkgin-Lymphom
ANLL	akute nichtlymphatische Leukämie, meist AML	NLL	nichtlymphatische Leukämie = ML
APL	akute promyelozytäre Leukämie		
CLL	chronische lymphatische Leukämie		
CML	chronische myeloische Leukämie		
CNLL	chronische nichtlymphatische Leukämie = CML		
L	Leukämie		
LL	lymphatische Leukämie		
LP	lymphoproliferative Störung		
ML	myeloische Leukämie		
MM	multiples Myelom		

Abbildung 17:
Benzolexposition in der chemischen Industrie



(1) Crackanlagen
(2) Ethylenanlagen

Abbildung 18:
Benzolexposition in der Erdölbranche

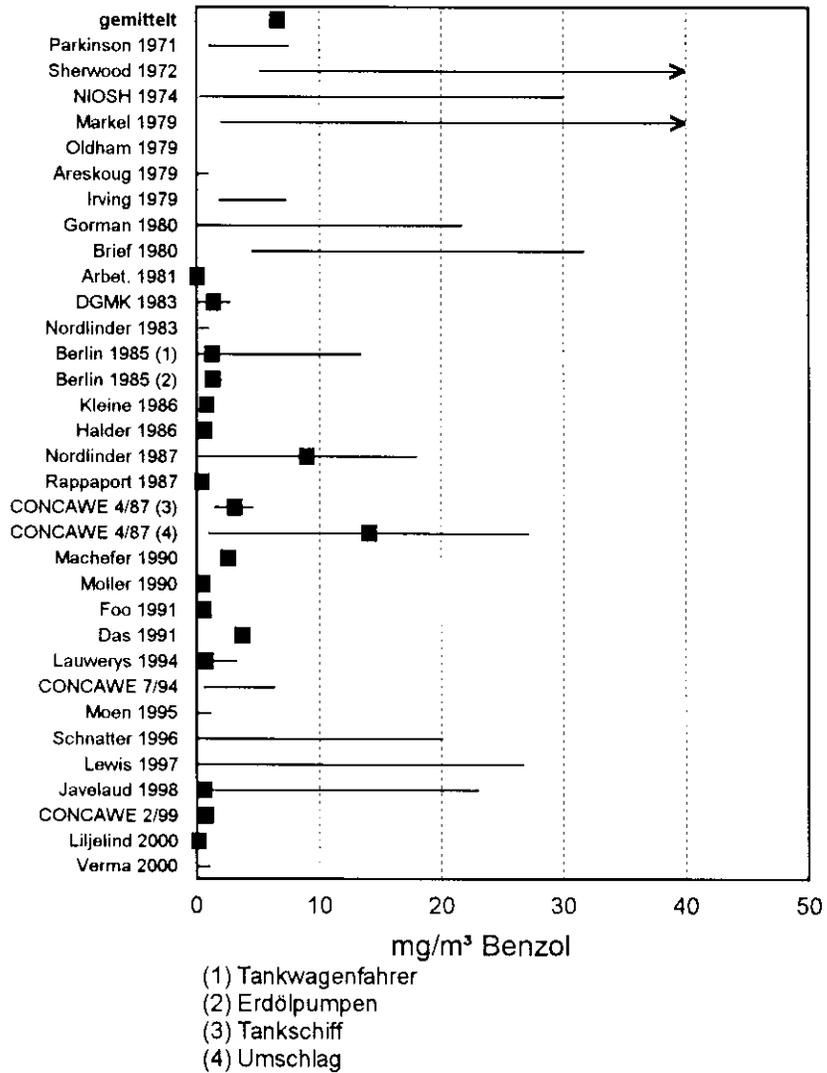
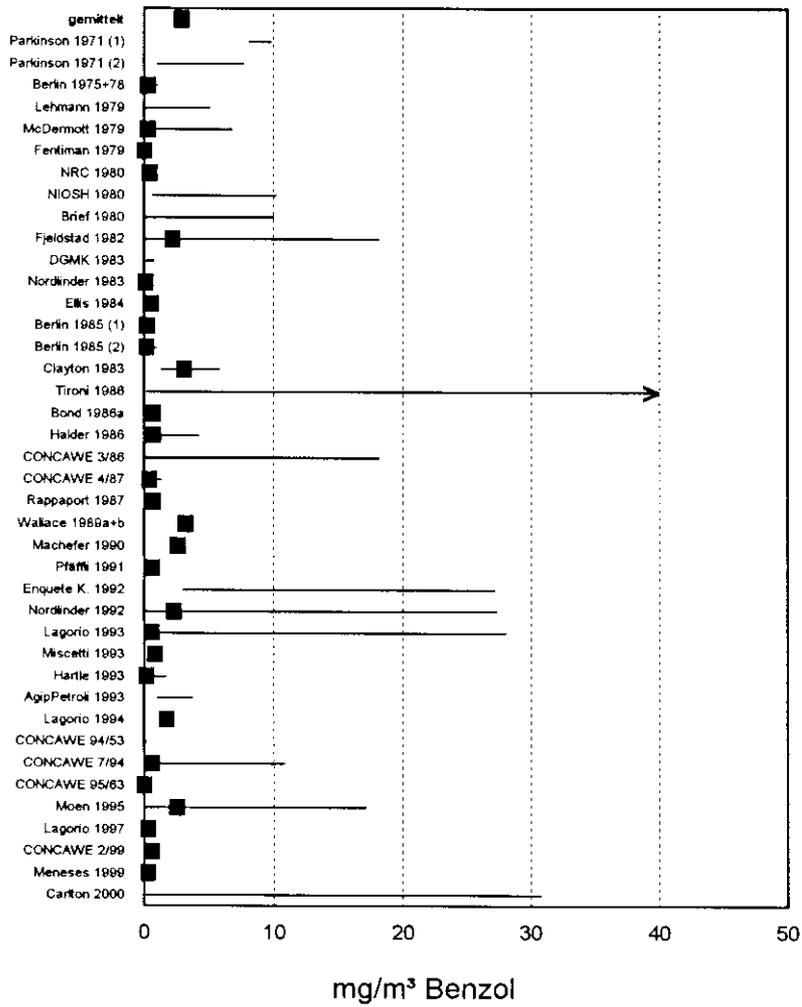


Abbildung 19:
Benzolexposition an Tankstellen



(1) London
(2) Großbritannien

Abbildung 20:
Benzolexposition in Kfz-Werkstätten, Garagen

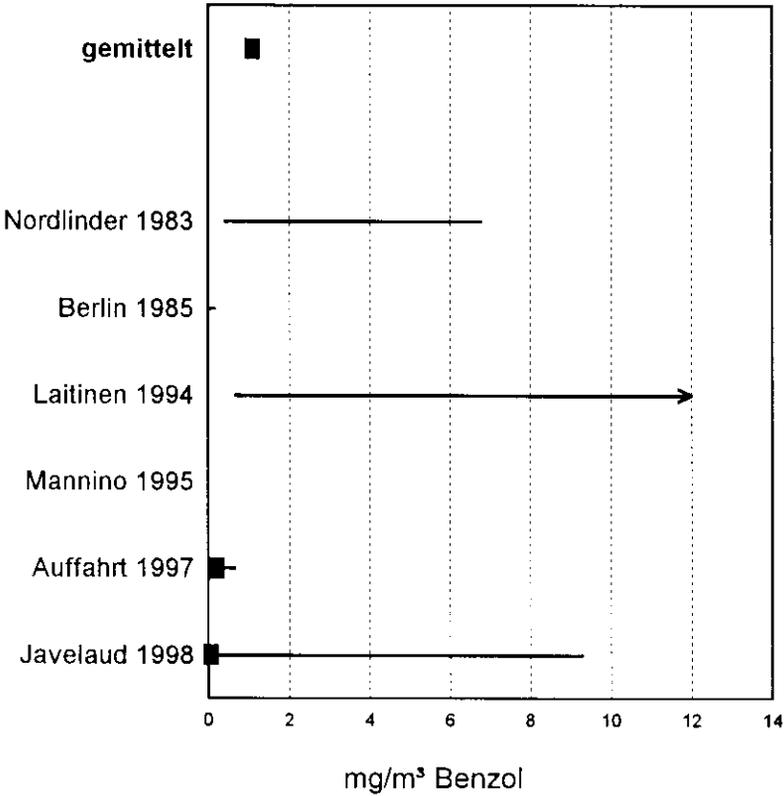
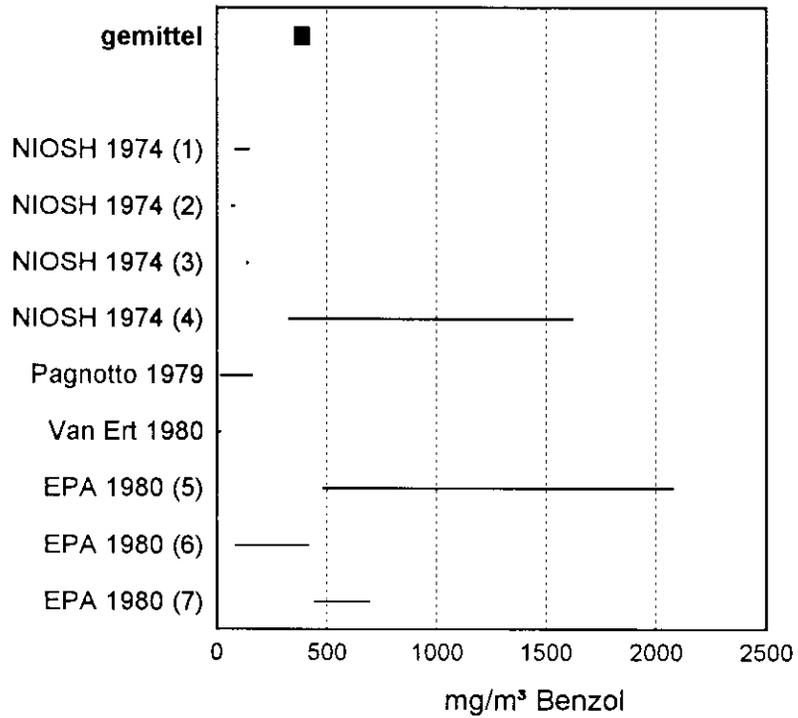
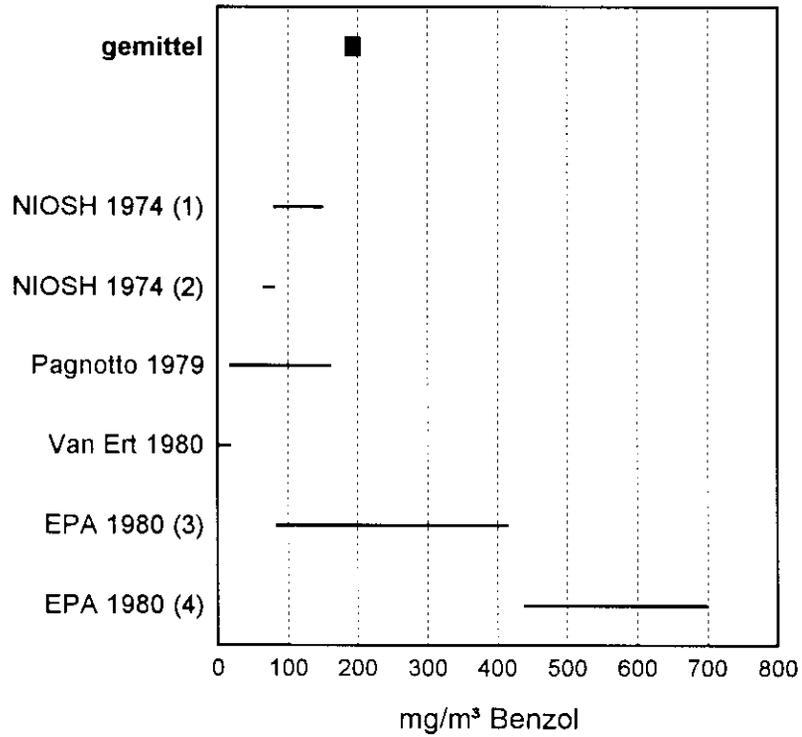


Abbildung 21:
Benzolexposition in der Gummiindustrie



- (1) Kunstlederfabrik
- (2) Gummibeschichtung
- (3) Schuhfabrik
- (4) Kunstleder, Gummiwaren, Schuhproduktion
- (5) Schuhfabrik
- (6) Gummibeschichtung
- (7) Regenmantelfabrik

Abbildung 22:
Benzolexposition in der Gummiindustrie
(ohne Schuhproduktion)



- (1) Kunstlederfabrik
- (2) Gummibeschichtung
- (3) Gummibeschichtung
- (4) Regenmantelfabrik

Abbildung 23:
Benzolexposition in der Außenluft,
ländlicher Raum

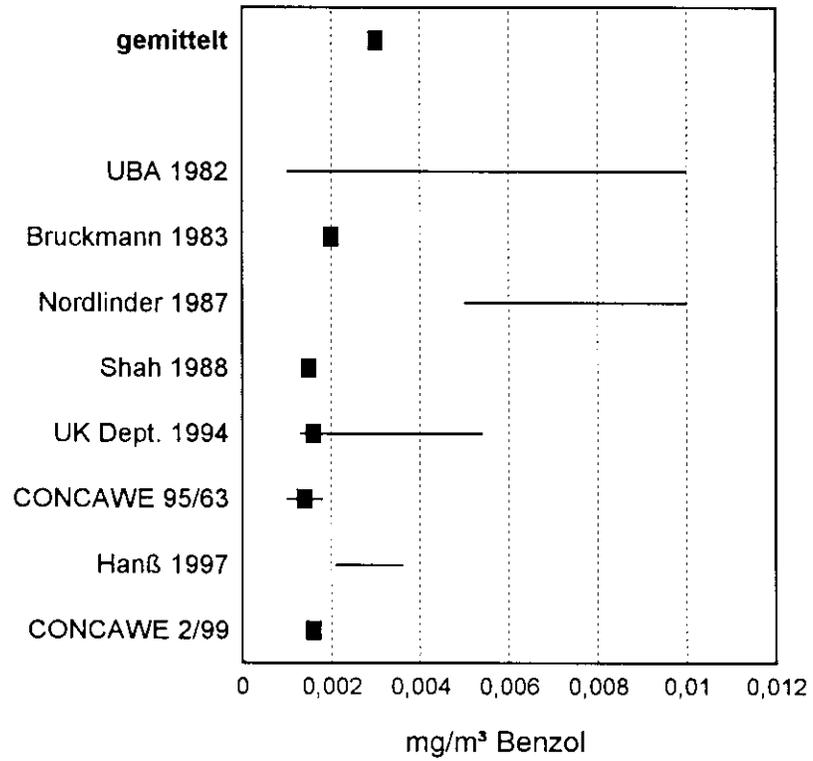
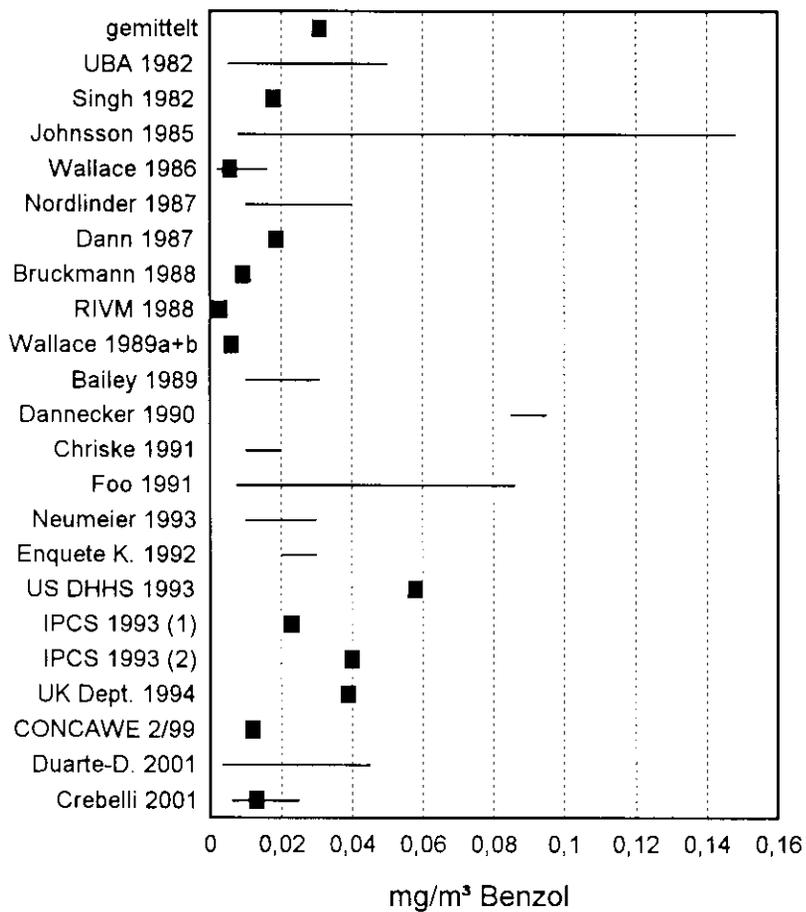


Abbildung 24:
Benzolexposition in der Außenluft,
Stadtgebiet



(1) London
(2) Oslo

Abbildung 25:
Benzolexposition im Fahrzeuginnenraum

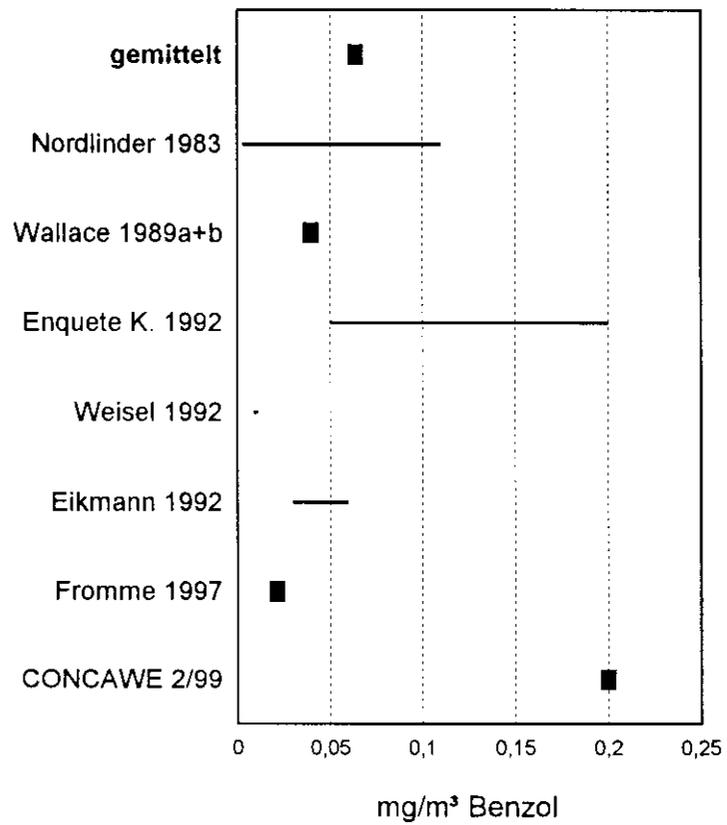


Abbildung 26:
Benzolexposition im Privatbereich,
Raucherwohnung und Nichtraucherwohnung

