

# **Epidemiologische Untersuchungen zur Assoziation von Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern**

Dissertation zur Erlangung des Grades  
einer Doktorin Public Health (Dr. P. H.)

vorgelegt von Dipl.-Psych. Cornelia Baumgardt-Elms

Universität Bremen, Fachbereich 11  
(Human- und Gesundheitswissenschaften)

Juni 2002

1. Gutachter: PD. Dr. Wolfgang Ahrens  
Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin,  
Zentrum für Public Health der Universität Bremen

2. Gutachter: Prof. Dr. Karl-Heinz Jöckel  
Universität-Gesamthochschule Essen

Tag des Promotionskolloquiums: 26. November 2002

## **Danksagung**

Mein Dank gilt zahlreichen Kolleginnen und Kollegen, die mich bei dieser umfassenden Arbeit so hervorragend unterstützt haben und bei denen ich mich hier in alphabetischer Reihenfolge bedanken möchte. Herrn PD Dr. Wolfgang Ahrens (Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin (BIPS)) danke ich für die intensive Betreuung meiner Arbeit und Unterstützung der Untersuchungen durch das BIPS, Frau Dr. Ute Boikat (Referat für gesundheitlichen Umweltschutz, Behörde für Umwelt und Gesundheit) für die Hilfe bei der Entwicklung eines Quantifizierungskonzepts für EMF-Belastungen, Frau Dr. Katja Bromen (MPH) (Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen) für die Durchführung der umfangreichen statistischen Auswertungen zu EMF-Belastungen am Arbeitsplatz, Herrn Norbert Burkhardt (Hamburgisches Krebsregister) für die kollegiale Unterstützung bei der Aufbereitung der Daten zur Wohngeschichte in der Hamburger Zusatzuntersuchung zu Hochspannungsleitungen, Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Jöckel (Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen) für seinen persönlichen Beistand und die Unterstützung seines Instituts bei der Durchführung der Arbeit, Frau Dr. Ingeborg Ruppe (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) für Ihre Hilfe bei der Entwicklung eines Quantifizierungskonzepts zur expertengestützten Einstufung von Radarbelastungen am Arbeitsplatz, Herrn Dr. Michael Schümann (Arbeitsgruppe Epidemiologie, Universität Hamburg) für die kollegiale Unterstützung bei der Durchführung der Auswertungen im Rahmen der Hamburger Zusatzuntersuchung zu EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Zentralen Einwohnermeldeamts Hamburg-Harburg für die Recherchen zur Wohngeschichte der Hamburger Fälle und Kontrollen und allen anderen, die mich unterstützt haben und die hier nicht namentlich genannt sind.

<b>INHALT</b>	<b>Seite</b>	
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Vorbemerkung	1
1.2	Gegenstand der Arbeit	2
1.2.1	Deskriptive Epidemiologie maligner Hodentumoren	3
1.2.2	Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder	7
1.2.3	Stand der epidemiologischen Forschung zu EMF und Hodenkrebs	10
1.2.3.1	Hodenkrebs und EMF-Expositionen am Arbeitsplatz	10
1.2.3.2	Hodenkrebs und EMF-Expositionen im Wohnumfeld	13
1.2.3.3	Synopse vorhandener Studien zu Hodenkrebs und EMF	15
<b>2</b>	<b>Hodenkrebs und EMF-Expositionen am Arbeitsplatz</b>	21
2.1	Material und Methoden der multizentrischen Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs	21
2.1.1	Studiendesign	21
2.1.2	Einschlusskriterien und Rekrutierung von Probanden	21
2.1.2.1	Fälle	21
2.1.2.2	Kontrollen	22
2.1.3	Studienkollektiv und Response	23
2.1.4	Erhebungsinstrumente	24
2.1.5	Auswertungsmethoden	25
2.1.5.1	Quantifizierung der Sozialen Schicht	25
2.1.5.2	Quantifizierung der EMF-Exposition	26
2.1.5.3	Expertengestützte Einzelbewertung der Fragebögen in den Frequenzbereichen "Mikrowellen/Radar"	28
2.1.5.4	Ermittlung Relativer Risiken für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition	32
2.1.5.5	Statistische Analyse	33
2.2	Ergebnisse	35
2.2.1	Demographische Angaben	35
2.2.2	EMF-Expositionen am Arbeitsplatz	37
2.2.3	Relative Risiken für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition	43
2.3	Diskussion	44
<b>3</b>	<b>Hamburger Zusatzuntersuchung zu Hodenkrebs und EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld</b>	50
3.1	Material und Methoden	52
3.1.1	Studienkollektiv	52
3.1.2	Dokumentation und kartographische Darstellung der Wohnbiographie	53
3.1.3	Auswertungsmethoden	54
3.1.3.1	Quantifizierung der EMF-Exposition	54
3.1.3.2	Quantifizierung der Sozialen Wohnlage	54
3.1.3.3	Statistische Analyse	55
3.2	Ergebnisse	56
3.2.1	Wohnadressen der Fälle und Kontrollen	56
3.2.2	Soziale Wohnlage	59
3.2.3	Hodenkrebsrisiko durch Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld	59
3.3	Diskussion	61

<b>4</b>	<b>Gemeinsame Analyse der EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Wohnen in der Nähe von Hochspannungsleitungen</b>	65
4.1	Material und Methoden	65
4.1.1	Studienkollektiv	65
4.1.2	Auswertungsmethoden	65
4.1.2.1	Quantifizierung	65
4.1.2.2	Statistische Analyse	67
4.2	Ergebnisse	67
4.3	Diskussion	71
<b>5</b>	<b>Abschließende Bewertung</b>	74
5.1	Kausalität einer Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF	74
5.2	Empfehlung für weiterführende Studien zur Assoziation von EMF und Krebs	80
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	83
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	90
<b>8</b>	<b>Tabellen</b>	97
<b>9</b>	<b>Abbildungen</b>	100
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	101
<b>11</b>	<b>Abkürzungen und Glossar</b>	127

## Abstract

### Objectives

The main objective of this thesis which was realized within the frame of a population-based case-control-study is the analysis of the association of testicular cancer and electromagnetic fields (EMF) in the workplace. The study was carried out in five German regions (Hamburg, Bremen, Essen, Saarland and Saarbrücken). In Hamburg, the largest study region, a supplementary analysis was performed on residential exposures to high voltage power-lines.

### Methods

#### *EMF exposures in the workplace*

The multicenter-study included 269 incident cases, newly diagnosed between 1995 and 1997, and 797 controls, randomly selected from mandatory registries of residents. The subjects, 15 to 69 years old, were matched on age (5-year strata) and region and interviewed on EMF exposures in the workplace in face-to-face interviews. For each EMF source Odds Ratios (OR) and 95% Confidence Intervals (CI) were calculated, stratified by age and region, and in a more complex model weighted by intensity, duration and distance using conditional logistic regression. Subgroup analyses were conducted for seminoma and non-seminoma and blue- and white-collar-workers. Furthermore, potential radar exposures were assessed by experts.

#### *Residential EMF exposures to high voltage power-lines in Hamburg*

We recorded the residential biography of all cases (n=145), newly diagnosed in Hamburg within the study period, and of a randomly selected subgroup of controls (n=313), matched on age in 5-year strata. Geocodes were assigned to all primary addresses. For each address the shortest perpendicular distance to a high voltage power-line was calculated. The simplest exposure index (A) took into account whether cases and controls had ever lived within the distance of 250 meters near a high voltage power-line. Exposure index B additionally took into account residence time within the defined corridor, and exposure index C regarded residence time and the inverse distance from the nearest high voltage power-line. ORs and corresponding 95%CI were calculated for all exposure models using unconditional logistic regression. For men under 40 and men 40 years of age and over separate analyses were carried out.

### Results

#### *EMF exposures in the workplace*

In contrast to our a-priori-hypothesis we did not find an excess risk for cases who reported to have worked near radar units (OR=1.0; 95%CI=0.60;1.75). According to self-reports the OR for job tasks near electrical machines was 1.0 (95%CI=0.72;1.33), near radiofrequency radiation devices 0.9 (95%CI=0.60;1.24), high voltage power-lines 0.7 (95%CI=0.38;1.18), and visual display units or complex electrical environments 0.9 (95%CI=0.67;1.21). The results for the weighted exposure and subgroup analyses did not substantially differ. According to the expert assessment the OR for radar exposure was 0.4 (95%CI=0.13;1.16).

#### *Residential EMF exposures to high voltage power-lines in Hamburg*

The prevalence for exposure to high voltage power-lines in Hamburg was 21.4% in cases and 15.7% in controls (OR=1.5;95%CI=0.89;2.43), the OR observed for younger men under the age of 40 was 1.7 (95%CI=0.99;3.01). The risks did not increase with higher exposure for exposure index B, but for exposure index C. Men under 40 showed higher risks in all models.

### Conclusions

EMF exposure in the workplace does not seem to be a risk factor for testicular cancer in this multicenter-study, yet some methodological limitations have to be considered. For residential exposure to high voltage power-lines the risk estimates were slightly increased, especially for younger men under 40 years of age. In conclusion, further investigations are needed to meet the various methodological challenges involved in this intricate field of research.

# **1 Einleitung**

## 1.1 Vorbemerkung

Die Arbeit zu Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern entstand im Zusammenhang mit der Europäischen Verbundstudie zu arbeitsplatzbedingten Risiken und seltenen Erkrankungen. Im Rahmen der internationalen Studie, die als Concerted Action im Rahmen von BIOMED durch die EU gefördert wurde (Förder-Nr. BMH1-CT93-1930), wurden die selten auftretenden bösartigen Neubildungen des Dünndarms, der Gallenblase und -wege, des Thymus, des Skelettsystems, der männlichen Brust, des Auges und der Haut (Mykosis fungoides) untersucht (Stang et al., 1999).

Über den internationalen Teil der Studie hinaus wurden maligne Keimzelltumoren des Hodens inklusive extragonadale Keimzelltumoren in den deutschen Teil der Untersuchung eingeschlossen. Diese Erweiterung war mit einem verhältnismäßig geringen Mehraufwand an Zeit und Kosten möglich, da die für die internationale Studie entwickelten Instrumente zur Datenerhebung und die bereits vorhandenen organisatorischen und personellen Ressourcen mit nur geringfügigen Ergänzungen für dieses nationale Vorhaben genutzt werden konnten.

Anlass für den nationalen Teil der Studie waren Hinweise des Staatlichen Gewerbeärztes in Hamburg, der 1991 die Vermutung äußerte, dass maligne Hodentumoren gehäuft im Bereich der Flug- und Raumfahrtindustrie auftreten. Im Verdacht stand hierbei insbesondere das Lösungsmittel Dimethylformamid. Zu den untersuchten Hypothesen des nationalen Teils der Studie gehörten neben außerberuflichen Risiken (z.B. Lebensstilfaktoren) u.a. auch mögliche Risiken durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und elektromagnetische Felder. Die Relevanz dieser Untersuchungen wird dadurch unterstrichen, dass die Neuerkrankungsrate maligner Hodentumoren in den letzten Jahrzehnten in fast allen europäischen Ländern kontinuierlich angestiegen ist (Coleman, et al. 1993; Bergstrom et al., 1996; vgl. hierzu auch Kapitel 1.2.1).

National wurde die Studie vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) im Rahmen des Forschungsprogramms "Arbeit und Technik" (Förderkennzeichen 01 HP 684/8) gefördert. Die wissenschaftliche Gesamtverantwortung in Deutschland lag bei Prof. Dr. Karl-Heinz Jöckel (Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen) und PD Dr. Wolfgang Ahrens (Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin, BIPS). Neben den beiden o.g. Einrichtungen in Essen und Bremen waren das Hamburgische Krebsregister (Behörde für Umwelt und Gesundheit) und das Krebsregister des Saarlandes (Statistisches Amt des Saarlandes)

beteiligt. Zur nationalen Fall-Kontrollstudie liegen inzwischen einige Veröffentlichungen vor (Merzenich et al. 2000; Stang et al. 2000, 2001), weitere sind in Vorbereitung.

## 1.2 Gegenstand der Arbeit

Der Forschungsstand zu Ursachen von Hodentumoren wurde in einer Reihe von Übersichtsartikeln und Reviews zusammengefasst (Forman et al., 1990; Bokemeyer et al., 1992; Buetow, 1995; Schottenfeld, 1996). Vor allem hereditäre und pränatale Einflussfaktoren, aber auch berufliche Risiken werden im Entstehungszusammenhang maligner Hodentumoren diskutiert. Mit Ausnahme des Kryptorchismus sind bislang allerdings kaum gesicherte Risikofaktoren für Hodenkrebs bekannt. Die Ergebnisse von Studien zu Belastungen am Arbeitsplatz und in der Umwelt sind uneinheitlich und reichen von bestimmten Berufsgruppen über spezifische Chemikalien bis hin zu elektromagnetischen Feldern (EMF), denen wir heute zunehmend ausgesetzt sind.

Die gesundheitlichen Wirkungen von EMF werden bereits seit einigen Jahrzehnten kontrovers diskutiert. Erst kürzlich zu Anfang des Jahres 2001 rückte das Thema wieder in den Blickpunkt, als in den öffentlichen Medien über hohe berufliche Radarexpositionen bei Soldaten der Bundeswehr, vor allem bei Radartechnikern, berichtet wurde. An Krebs erkrankt waren insbesondere Soldaten, die in der Nähe von Radaranlagen in mobilen Flugabwehrstellungen, an Raketensystemen, am Starfighter und Schiffen der Marine arbeiteten.

In dieser Dissertation soll die Assoziation von EMF (nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder inkl. Radar) und Hodenkrebs am Arbeitsplatz analysiert werden sowie mögliche Gefährdungen durch das Wohnen in der Nähe von Hochspannungsleitungen. Die im Rahmen der Arbeit untersuchten Fälle und Kontrollen sowie Daten zu EMF im Arbeitsumfeld wurden mit dem Instrumentarium der multizentrischen Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs und extragonadalen Keimzelltumoren erhoben. In Kapitel 2 der Dissertation werden Material und Methoden dieser Studie beschrieben. Darüber hinaus enthält Kapitel 2 eine detaillierte Darstellung der Quantifizierung, Auswertungskonzeption, Ergebnisse und Diskussion der EMF-Expositionen am Arbeitsplatz. Bei den Analysen zu Hodenkrebs und EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld handelt es sich um eine Zusatzuntersuchung für die Region Hamburg, die separat in Kapitel 3 dargestellt wird. In Kapitel 4 werden die EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt für Hamburg gemeinsam analysiert. Eine abschließende Bewertung der Ergebnisse dieser Arbeit sowie der Ergebnisse aus vorangegangenen Studien zu Hodenkrebs und EMF folgt in Kapitel 5.

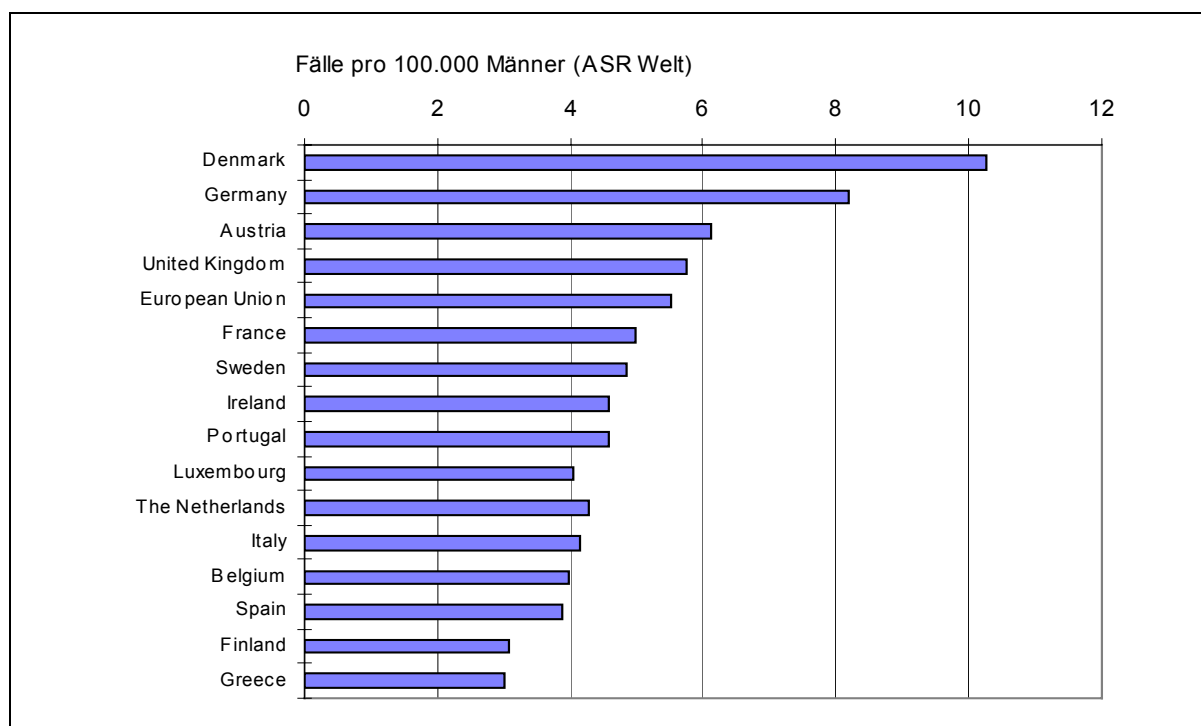


### 1.2.1 Deskriptive Epidemiologie maligner Hodentumoren

Im Rahmen deskriptiver Analysen zur Epidemiologie maligner Hodentumoren (Baumgardt-Elms et al., 1997, 1998) wurden Inzidenzdaten des EUCAN- und EUROCIIM-Programms der Internationalen Assoziation der Krebsregister in Lyon (IACR) ausgewertet (s. Abbildungen 1.1 bis 1.3). Darüber hinaus werden die Ergebnisse einer Sonderauswertung des Krebsregisters Saarland dargestellt (s. Abbildungen 1.4 und 1.5).

Die höchste altersstandardisierte Rate (ASR) für bösartige Hodentumoren in Europa finden wir in Dänemark (10,3 Fälle pro 100.000 Männer (ASR, Welt)), Deutschland (8,2) und Österreich (6,1), während diese Tumorform in Spanien (3,9) und Finnland (3,1) und Griechenland (3,0) vergleichsweise selten vorkommt (Abbildung 1.1).

**Abbildung 1.1:** Altersstandardisierte Inzidenz (Weltstandard) maligner Hodentumoren in Europa 1995

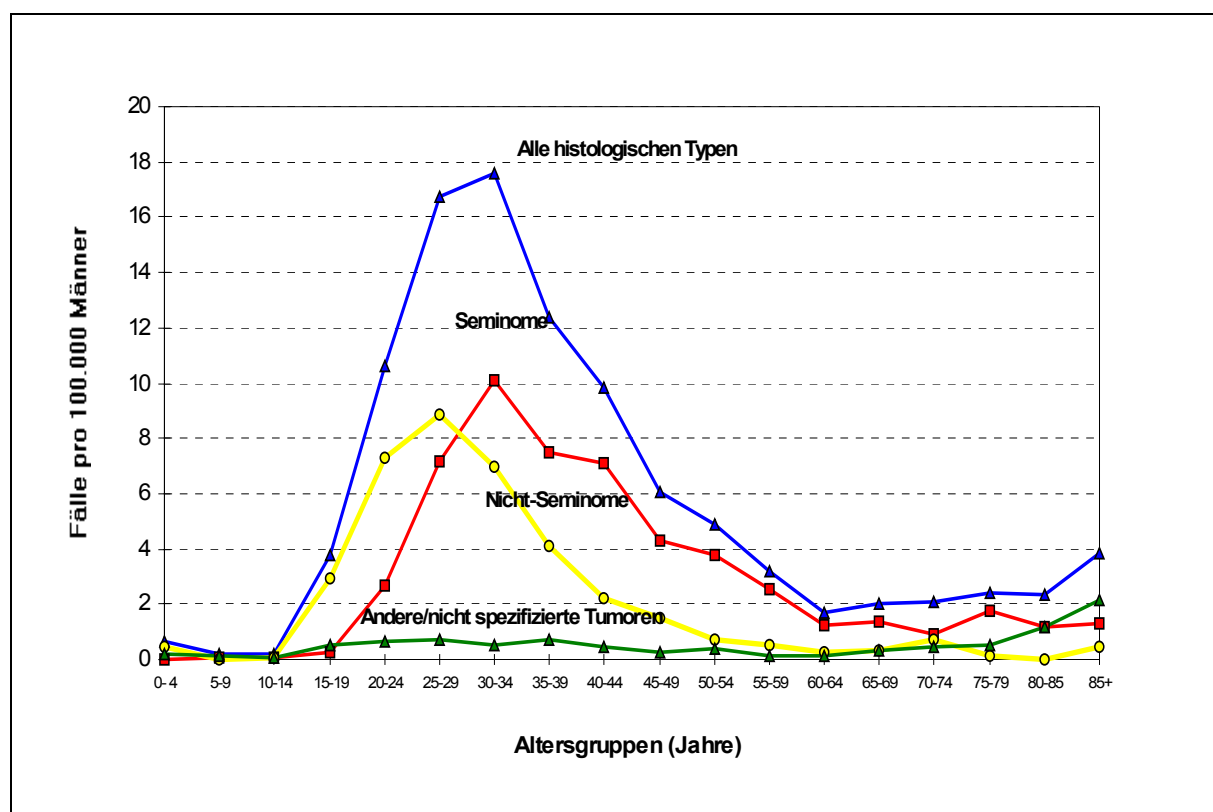


(Quelle: Ferlay et al., 1999)

Die höchsten Inzidenzraten sind zwischen dem 25. und 40. Lebensjahr zu beobachten. Damit weicht die Altersverteilung dieser Tumoren erheblich von der anderer Malignome ab. Zwischen 20 und 30 Prozent aller Männer unter 40 Jahren, die heute in Deutschland an Krebs (nicht-melanotischer Hautkrebs ausgenommen) erkranken, sind von einem malignen Hodentumor betroffen. Bezogen auf alle Altersgruppen sind dies etwa 1.5-2.5% aller Männer. Die Zahl der jährlich neu Erkrankten in Deutschland beträgt nach Schätzungen des Robert-Koch-Instituts ca. 3600. Etwa 240 Männer sterben in Deutschland jährlich an Hodenkrebs (Batzler et al, 1999).

Abbildung 1.2 zeigt die altersspezifischen Inzidenzraten europäischer Krebsregister der Jahre 1988-1990 für die histologische Subgruppe der Keimzelltumoren (Seminome und Nicht-Seminome) sowie für die zahlenmäßig sehr kleine Gruppe der anderen (z.B. Sertolizellcarcinome) und nicht näher spezifizierten primär-malignen Hodentumoren. Zu den Nicht-Seminomen gehören nach der hier verwendeten Klassifikation der International Agency for Research on Cancer (IARC) die Embryonalen Carcinome, Malignen Teratome und Chorioncarcinome (Parkin et al., 1998).

**Abbildung 1.2:** Altersspezifische Inzidenzraten maligner Hodentumoren in Europa 1988-1990



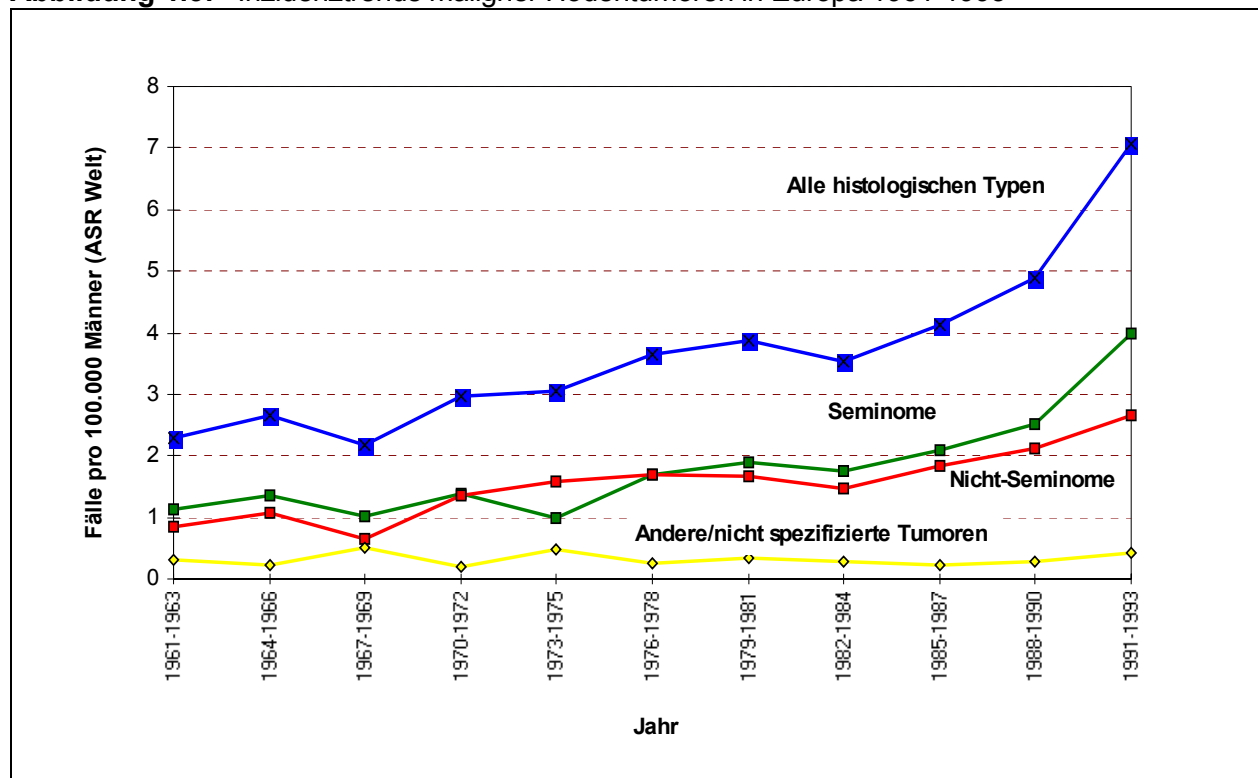
(Quelle: EUROCIM)

Bei Betrachtung der histologischen Hauptgruppen zeigt sich, dass die Nicht-Seminome am häufigsten im Alter zwischen 20 und 35 Jahren auftreten, während Seminome am häufigsten im Alter zwischen 25 und 45 registriert werden.

In nahezu allen Ländern Europas stieg die Neuerkrankungsrate in den letzten Jahrzehnten an. Den höchsten Inzidenzanstieg finden wir im Norden Schottlands und auf Island.

Abbildung 1.3 zeigt, dass die durchschnittliche Inzidenz aller bösartigen Hodentumoren in Europa im Zeitraum von 1961-1993 kontinuierlich von 2.3 Fällen pro 100.000 Männer (ASR Welt) auf 7.1 Fälle anstieg. Dieser Trend ist auf einen Anstieg der Seminome und Nicht-Seminome zurückzuführen.

**Abbildung 1.3:** Inzidenztrends maligner Hodentumoren in Europa 1961-1993

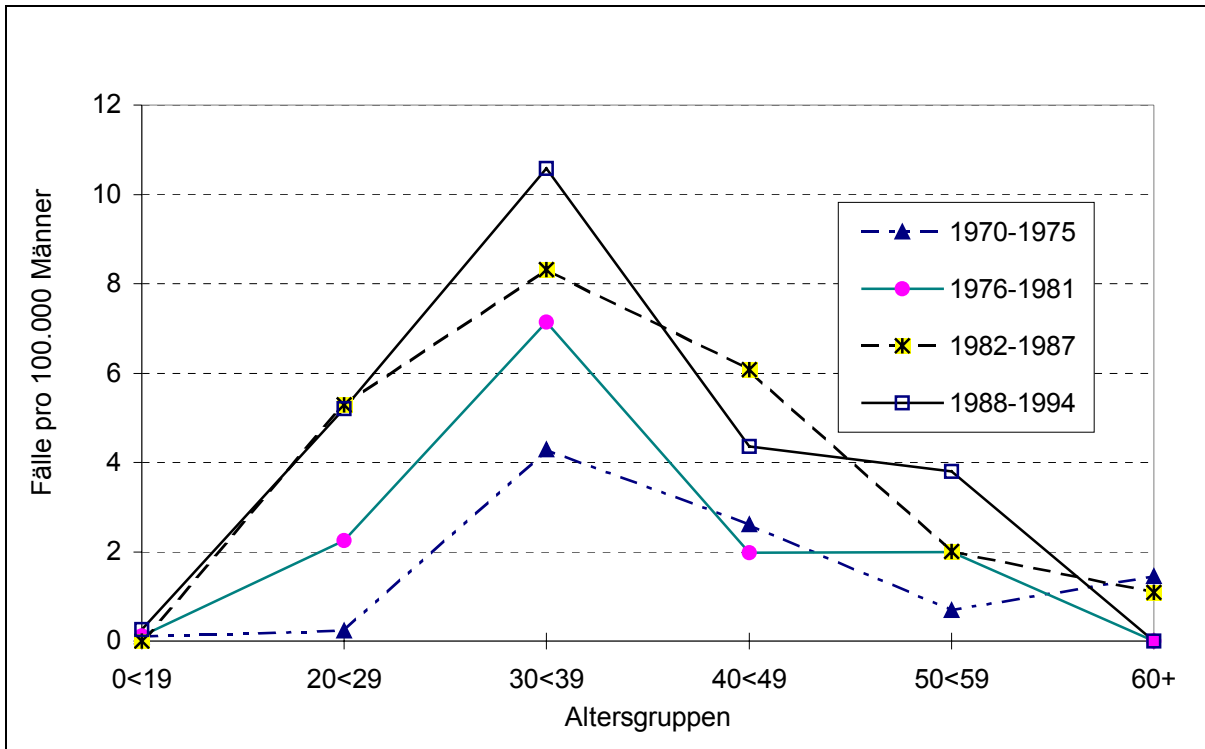


(Quelle: EUROCIM)

Liu et. al. (2000) untersuchten die zeitliche Entwicklung von Hodenkrebs in drei kanadischen Provinzen und fanden innerhalb des Zeitraums von 1970 bis 1995 bei Seminomen eine Zunahme von 53 Prozent und bei Nicht-Seminomen von 91 Prozent. Ein stärkerer Anstieg der Nicht-Seminome bildet sich in den Daten der europäischen Krebsregister nicht ab; die Daten sprechen eher für einen stärkeren Anstieg der Seminome innerhalb der letzten fünf hier betrachteten Jahre. Dennoch gibt es mit den Autoren dieser Studie Übereinstimmung dahingehend, dass die beiden morphologischen Subtypen aufgrund potenzieller ätiologischer Unterschiede in epidemiologischen Studien möglichst auch getrennt analysiert werden sollten.

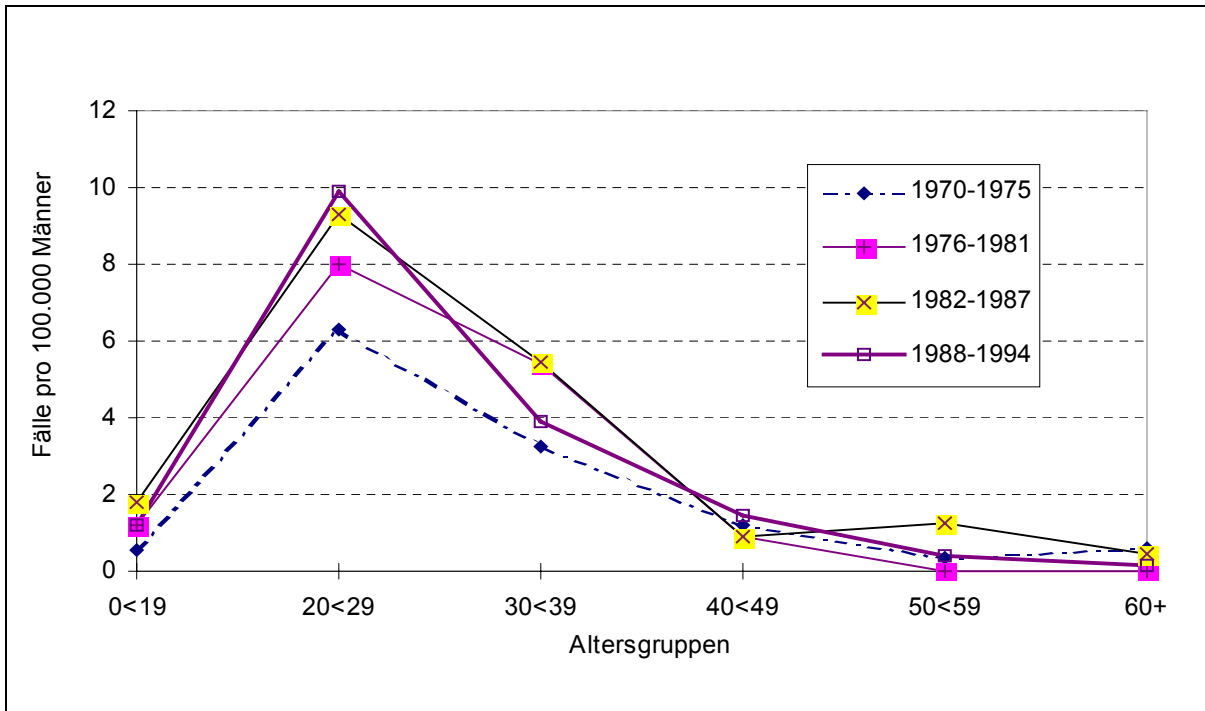
Eine Analyse der altersspezifischen Trends der europäischen Daten zeigt, hier am Beispiel der Daten des saarländischen Krebsregisters, dass der beobachtete Anstieg auf die Inzidenzentwicklung in den jüngeren Altersgruppen zurückzuführen ist, insbesondere bei Männern im Alter zwischen 20 and 39 Jahren (Abbildungen 1.4 und 1.5).

**Abbildung 1.4:** Zeitliche Entwicklung der altersspezifischen Inzidenzraten für Seminome im Saarland (1970-1994)



(Quelle: Sonderauswertung des Krebsregisters Saarland)

**Abbildung 1.5:** Zeitliche Entwicklung der altersspezifischen Inzidenzraten für Nicht-Seminome im Saarland (1970-1994)



(Quelle: Sonderauswertung des Krebsregisters Saarland)

Interessanterweise bleibt die Form der altersspezifischen Inzidenzkurven trotz des Anstiegs über die Zeit hinweg nahezu unverändert (Abbildungen 1.4 und 1.5). Dieses Phänomen kann auch für andere Länder gezeigt werden, für die langjährige Daten vorliegen, z.B. für Dänemark, die South Thames Region oder die Slowakische Republik.

Der frühe Altersgipfel der Inzidenz von Hodentumoren legt nahe, dass wesentliche Einflüsse für diese Erkrankung in die frühe Jugend und Kindheit bzw. in die pränatale Zeit zurückreichen (vgl. hierzu Møller, 1993).

### 1.2.2 Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (EMF)

Als Quellen von EMF in der Umwelt, in Wohnbereichen und im beruflichen Umfeld kommen eine ganze Reihe von Verursachern in Frage (s. Tabelle 1.1).

**Tabelle 1.1:** Beispiele für Quellen von elektromagnetischen Feldern

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Hochspannungsleitungen</b></li> <li>- <b>Transformatoren</b></li> <li>- <b>Elektrik im Haushalt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- allgem. Elektroinstallationen</li> <li>- Mikrowellenherde</li> <li>- Nachtspeicheröfen</li> <li>- Warmwasserspeicher</li> <li>- Heizdecken</li> <li>- Heimwerkermaschinen</li> <li>- Küchenmaschinen</li> <li>- Fernseher</li> <li>- Schnurlose Telefone</li> </ul> </li> <li>- <b>Computer</b></li> <li>- <b>Waren- und Diebstahlsicherungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- in Kaufhäusern</li> <li>- in Flughäfen</li> </ul> </li> <li>- <b>Rundfunkdienste</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lang- und Mittelwelle</li> <li>- Kurzwelle</li> <li>- UKW</li> <li>- VHF-TV</li> <li>- UHF-TV</li> </ul> </li> <li>- <b>Leistungsstarke Sender</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- in der Nachbarschaft</li> <li>- auf Funktürmen</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Amateurfunk</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CB-Funk</li> <li>- Walkie-Talkies</li> </ul> </li> <li>- <b>Mobilfunkkommunikation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Autotelefon, Handies, Porties (C-, D- und E-Netz)</li> <li>- Betriebsfunk</li> </ul> </li> <li>- <b>Radaranlagen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- in Flugzeugen</li> <li>- an Flughäfen</li> <li>- in Schiffen</li> <li>- zur Flugsicherung</li> <li>- Verkehrsradar</li> </ul> </li> <li>- <b>Medizinische Anwendungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kernspintomographen</li> <li>- Hochfrequenzwärmetherapie usw.</li> </ul> </li> <li>- <b>Industrielle Anwendungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Induktives Erwärmen, Schweißen und Härten</li> <li>- Dialektrisches Schweißen, Trocknen, Vulkanisieren</li> <li>- Aluminiumherstellung und Chlorelektrolyse</li> </ul> </li> <li>- <b>Forschungsanwendungen</b></li> </ul>
---	--

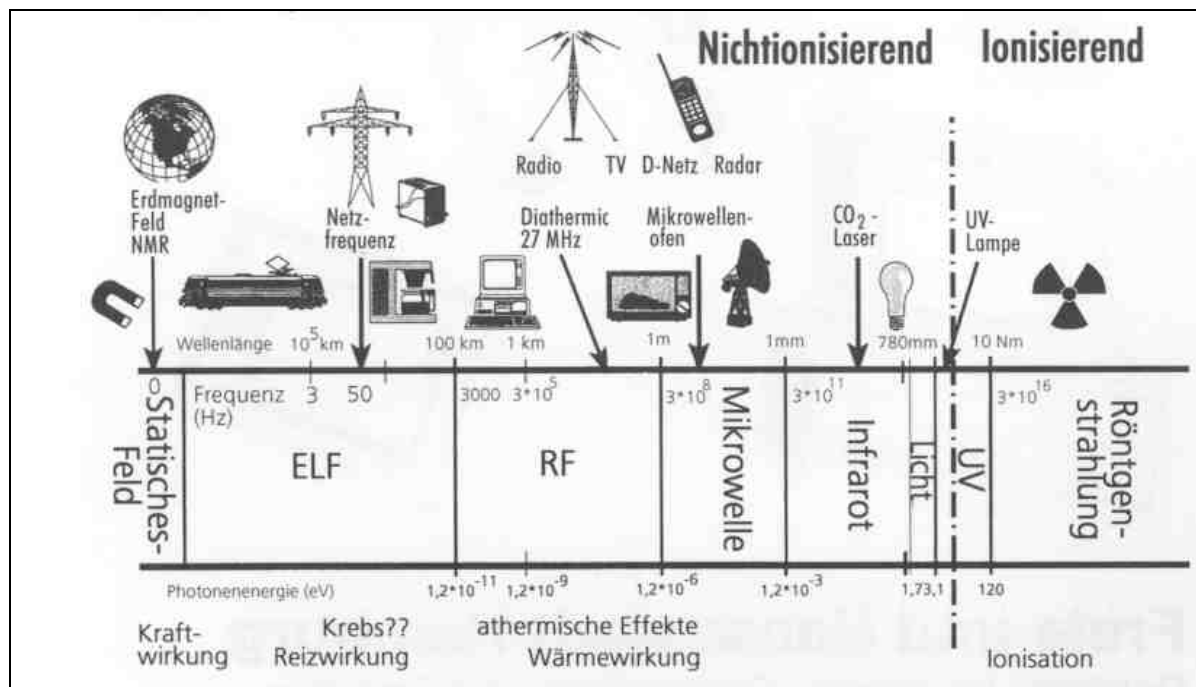
Die umweltmedizinische Beratungsstelle der damaligen Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales hat 1996, als das Thema "Elektrosmog" zunehmend in der Öffentlichkeit diskutiert wurde, eine Verbraucherinformation hierzu herausgegeben (Behörde für Arbeit, Soziales und Gesundheit, 1996), auf die u.a. im folgenden rekurriert wird.

Jede Stromquelle erzeugt elektrische und magnetische Felder. Die elektrische Feldstärke (gemessen in Volt pro Meter) wird von der anliegenden Spannung (z.B. 110 oder 380 KV bei Hochspannungsfreileitungen) determiniert und nimmt mit zunehmender Entfernung von der Quelle stark ab; die magnetische Feldstärke (gemessen in Tesla) ist abhängig vom Stromfluss. Elektrische Felder werden über den Körper zur Erde abgeleitet, magnetische Felder dagegen können in den Organismus eindringen.

Das elektromagnetische Spektrum lässt sich anhand der Größen "Frequenz" und "Wellenlänge" beschreiben. Frequenz und Wellenlänge stehen in Beziehung zueinander: Mit steigender Frequenz sinkt die Wellenlänge. Die Frequenz wird allgemein in Hertz (Hz) angegeben, wobei ein Hz eine Schwingung pro Sekunde darstellt. Je höher die Frequenz ist, desto stärker ist die Energie der Strahlung und damit ihr potenzielles Schädigungspotential. Ist die Strahlungsenergie so hoch, dass sie durch Ionisationsvorgänge Veränderungen an Molekülen bewirkt, so spricht man von ionisierender Strahlung (z.B. Röntgenstrahlung).

Die folgende Abbildung stellt das elektromagnetische Spektrum dar, welches Röntgenstrahlen, ultraviolettes Licht (UV), Licht, Infrarotlicht (IR), Mikrowellen (MW), Radiowellen (RF) und magnetische Felder elektrischer Stromquellen umfasst. EMF wird als Oberbegriff für das elektromagnetische Spektrum verwendet.

Abbildung 1.5: Das elektromagnetische Spektrum



(Darstellung: Niedersächsisches Umweltministerium)

In dieser Arbeit betrachten wir im wesentlichen den Bereich der nicht-ionisierenden Strahlung (s. Abbildung 1.5). Allerdings gilt dies mit der Einschränkung, dass bei der Erzeugung von

Radiowellen, die zum nicht-ionisierenden elektromagnetischen Spektrum gehören, auch ionisierende Röntgenstrahlung entstehen kann, was mit erheblichen gesundheitlichen Folgen verbunden sein kann.

**Tabelle 1.2:** Frequenzbereiche des elektromagnetischen Spektrums nicht-ionisierender Strahlung

Frequenzbereich von bis		Wellenlängenbereich		Internationale Bezeichnung
0 Hz	30 Hz	über 100 km		<b>Sub ELF</b>
30 Hz	300 Hz			<b>ELF</b> (Extremely low frequency)
300 Hz	3 kHz			<b>VF</b> (Voice Frequency)
3 kHz	30 kHz	100 km	10 km	<b>VLF</b> (Very Low Frequency)
30 kHz	300 kHz	10 km	1000 m	<b>LF</b> (Low Frequency)
300 kHz	3 MHz	1000 m	100 m	<b>MF</b> (Medium Frequency)
3 MHz	30 MHz	100 m	10 m	<b>HF</b> (High Frequency)
30 MHz	300 MHz	10 m	1 m	<b>VHF</b> (Very High Frequency)
300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm	<b>UHF</b> (Ultra High Frequency)
3 GHz	30 GHz	10 cm	10 mm	<b>SHF</b> (Super High Frequency)
30 GHz	300 GHz	10 mm	1 mm	<b>EHF</b> (Extremely High frequency)

Die Abgrenzung der Frequenzbereiche (s. Tabelle 1.2) wird nicht einheitlich gehandhabt. **ELF** umfasst nach der obigen Darstellung den Frequenzbereich zwischen 30 und 300 Hz. Vielfach aber werden auch die unterhalb von 30 Hz liegenden Frequenzen in den Bereich von ELF mit einbezogen. Der Bereich von 300 Hz bis 300 GHz wird nach dem Internationalen EMF-Projekt der WHO (WHO, 1998) als "Radiofrequency" (**RF**) bezeichnet, häufig aber auch der Bereich von 3 kHz bis 300 GHz (vgl. z.B. Jauchem, 1998). Frequenzen von 300 MHz bis 300 GHz innerhalb des RF-Spektrums bzw. Spektrums der Radiowellen werden üblicherweise als Mikrowellen (**MW**) bezeichnet. Radarsysteme (gepulste Strahlung) arbeiten gewöhnlich mit Radiofrequenzen zwischen 300 MHz und 15 GHz (WHO, 1999).

Als vorrangige Wirkung hochfrequenter Felder sind thermische Wirkungen im Körper bekannt. Bei starken Feldern kann es zu Hitzeschäden kommen. Hochfrequente Felder entstehen beispielsweise bei der Benutzung von Mobiltelefonen. Aber auch im Zusammenhang mit niederfrequenten Feldern werden negative gesundheitliche Auswirkungen diskutiert, z.B. Müdigkeit, Depressionen, Schlafstörungen sowie negative Auswirkungen auf das Immunsystem. In Tier- und Zellversuchen hat man beobachtet, dass schwache elektromagnetische Felder scheinbar keinen Krebs auslösen, möglicherweise aber den Ausbruch und die Ausbreitung einer Krebserkrankung fördern können. Magnetfelder, beispielsweise erzeugt durch Elektrogeräte im Haus oder nahegelegene Hochspannungs-

leitungen, können auf die Regulation des Hormons Melatonin wirken. Als gesundheitliche Folge eines veränderten Melatoninstoffwechsels wird u.a. auch eine herabgesetzte Krebsabwehr diskutiert (Behörde für Arbeit, Soziales und Gesundheit, 1996; NIEHS, 1998; vgl. 5.1).

Im Jahre 1996 wurde von der WHO ein fünf Jahre umfassendes Forschungsprogramm zur Wirkung von EMF initiiert, um die biologischen Wirkmechanismen von EMF auf Organismen zu erforschen, genauere Risikoabschätzungen vornehmen zu können und künftig Informationen zum Risikomanagement zur Verfügung zu stellen (Repacholi, 1997).

In epidemiologischen Studien zu EMF und gesundheitlichen Auswirkungen wurden bisher vor allem folgende Fragestellungen untersucht (Depner, 1997):

- Neurovegetative und psychische Krankheitsbilder: Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen, Müdigkeit und Angstgefühle
- Beeinträchtigungen der Fortpflanzung: Fruchtbarkeitsstörungen bei Männern und Frauen, Aborte und Missbildungen
- Krebs: Leukämien, Lymphome, Gehirntumoren, Brustkrebs und in einigen wenigen Studien auch Hodenkrebs.

### 1.2.3 Stand der epidemiologischen Forschung zu EMF und Hodenkrebs

Potenzielle Gefährdungen durch EMF-Expositionen am Arbeitsplatz oder im Wohnumfeld werden seit etwa zwei Jahrzehnten kontrovers diskutiert (Hardell et al., 1995; National Research Council, 1996; Foster et al., 1997; Valberg, 1997; Jauchem, 1998; NIEHS, 1998, Wartenberg, 1998; Moulder, 1999; Preece et al., 2000). Insbesondere kindliche Leukämien und Hirntumoren sind immer wieder Gegenstand epidemiologischer Studien, vereinzelt aber auch Brustkrebs, Melanome der Haut und Hodenkrebs. Die Ergebnisse dieser Studien sind nicht selten aufgrund methodischer Schwächen (Probleme bei der Expositionsabschätzung, ungenügende Berücksichtigung von Confoundern, Selektionsbias, geringe Power) schwierig zu beurteilen und wurden zum Teil in Wiederholungsstudien mit verbesserter Methodik oder in gepoolten Studien neu bewertet. Die skandinavischen Studien gelten in diesem Bereich allgemein als vorbildlich.

#### 1.2.3.1 Hodenkrebs und EMF-Expositionen am Arbeitsplatz

Erste Hinweise darauf, ob eine Assoziation zwischen Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern besteht, geben, wenn auch nur mit Einschränkung, die im Zusammenhang mit Berufen/Branchen ermittelten Risiken, insbesondere in Elektroberufen oder im Kontext des Militärdiensts, wo potenziell Expositionen gegenüber Radar oder anderen elektromagne-



tischen Feldern vorkommen. Die dahinter stehenden vermuteten Expositionen wurden bisher nur sehr in wenigen Studien detailliert untersucht.

Die Ergebnisse aus vorangegangenen Studien und Fallberichten sind - auch bezogen auf diese Fragestellung - uneinheitlich, so dass keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen Hodenkrebs und Berufen/Branchen und/oder beruflichen EMF-Expositionen gesichert werden konnten.

#### *Elektronik-/Elektroindustrie/Energieversorgung*

In einer Reihe von Studien wurden erhöhte Risiken für Hodenkrebs und eine Beschäftigung in der Elektronik-/Elektroindustrie und verwandten Berufen beobachtet (Swerdlow and Skeet, 1988; Van Den Eeden, 1991; Knoke et al., 1998; Hardell et al., 1998) mit Effektschätzern, die von 1.2 bis 2.8 reichen. Törnquist et al. (1986), die Krebserkrankungen in der Energieversorgung in Schweden untersuchten, berichteten über eine erhöhte SMR (standardisierte Morbiditätsrate) für Hodenkrebs bei Kraftwerksbeschäftigten; sie fanden jedoch kein erhöhtes Risiko bei Beschäftigten, die an Hochspannungs-/Überlandleitungen arbeiteten. Krebsregisterstudien von Neuseeland und Norwegen zufolge (Pearce et al, 1989; Tynes et al., 1992) sind die Erkrankungsrisiken für Hodenkrebs in Elektroberufen nicht erhöht, ebenso wenig wie in der Untersuchung von Swerdlow et al. (1991) oder der mortalitätsbasierten Fall-Kontroll-Studie von McDowell und Balarajan (1986). Dabei ist zu berücksichtigen, dass mortalitätsbasierte Studien aufgrund der hohen Überlebensraten für Hodenkrebs nur sehr begrenzt aussagefähig sind.

#### *Verkehrspolizei*

Davis und Mostofi (1993) berichteten über ein Cluster von Hodenkrebs in einer Kohorte von Polizisten, die Radarpistolen zur Geschwindigkeitskontrolle (hochfrequente elektromagnetische Felder) im Straßenverkehr benutzten. Finkelstein (1998), der diesen Zusammenhang in einer retrospektiven Kohortenstudie untersuchte, fand bei Polizeibeamten im Kontext von Verkehrsradar für Hodenkrebs ein SIR von 1.3 (90%CI= 0.89;1.84).

#### *Militärpersonal*

Eine zusammenfassende Bewertung von 5 Querschnittstudien zu Krebserkrankungen bei Militärpersonal (Dubrow und Wegman, 1983), das neben anderen Gefahrstoffen auch potenziell gegenüber Radar exponiert ist, zeigte ein um 30% erhöhtes Risiko für Hodenkrebs. Vier später publizierte Untersuchungen, zwei Fall-Kontroll-Studien (McDowall und Balarajan, 1986; Pearce et al., 1987) und zwei Kohortenstudien (Garland et al., 1988; Knoke et al., 1998), zeigten ebenfalls erhöhte Risiken bei Armeeangehörigen. Die Relativen Risiken in den Kohortenstudien waren bei Männern erhöht, die mutmaßlich gegenüber Schmier- und Lösemitteln sowie Abgasen exponiert waren (Garland et al., 1988) sowie bei Personal im Bereich der

Elektronikreparatur (RR=1.6;95%CI= 1.23;2.00) und im Elektrik-/Mechanikbereich (RR=1.3; 95%CI=1.01; 1.58; vgl. Knoke et al. 1998).

Swerdlow et al. (1991) fanden keine erhöhten Risiken bei Armeeingehörigen, jedoch für militärische Expositionen, und zwar im Bereich nuklearer Waffentests und militärischer Forschung (nicht näher bezeichnet).

Ryder et al. (1997) berichteten in ihrer Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs beim Personal der Royal Navy über Risikoerhöhungen bei der Luftflotte der Navy (OR=1.9;95%CI=1.04;3.48), bei Flugzeugingenieuren (OR=2.3;95%CI=1.20;4.48) und beim Servicepersonal am Boden (aircraft handling) (OR=7.3;95%CI=1.81;29.53). Die Autoren formulierten die Hypothese, dass Expositionen gegenüber Glykoläther im Flugbenzin für die gefundenen Risiken verantwortlich sind. Auch bei Schiffsoffizieren wurde ein erhöhtes Hodenkrebsrisiko gefunden (OR=2.3; 95%CI=0.85;6.06); bei Radartechnikern der Navy gab es in der Studie von Ryder et al. (1997) hingegen keine Hinweise auf eine Risikoerhöhung (OR= 0.8;95%CI=0.26;2.22).

Richter et al. (2000) publizierten kürzlich einen Fallbericht über Krebserkrankungen bei jungen Radartechnikern, darunter ein Mann mit Hodenkrebs, der aufgrund ungenügender Arbeitsschutzmassnahmen über längere Zeit gegenüber hohen Dosen von Hochfrequenz- oder Mikrowellenstrahlung (RF/MW) exponiert war.

#### *Weitere Berufe*

Pearce et al. (1987) beobachteten bei Ärzten, die bei der Bedienung medizinischer Geräte potenziell gegenüber EMF exponiert sind, ein OR von 6.5 (95%CI=1.29;32.6). Auch Van den Eeden et al. (1991) fanden bei Ärzten und medizinischem Personal im Gesundheitswesen erhöhte Risiken. Die zugrundeliegende Zahl von Fällen und Kontrollen war jedoch sehr gering.

Bei Seeleuten, Fischern und Piloten (zu einer Gruppe zusammengefasst), die im Kontext ihrer Arbeit gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern exponiert sein können, wurden ebenfalls erhöhte Risiken (OR= 3.1;95%CI=1.2;7.9) beobachtet (Van Den Eeden, 1991).

#### *Berufliche Expositionen gegenüber EMF (ELF, RF/MW)*

Hayes et al. (1990) fanden in ihrer Fall-Kontroll-Studie ORs von 2.8 (95%CI=0.9;8.6) für Seminome und 3.2 (95%CI=1.4;7.4) für andere Keimzelltumoren des Hodens nach beruflicher Exposition gegenüber Mikro-/Radiowellen.

Eine Fall-Kontroll-Studie zu EMF im beruflichen Kontext aus jüngerer Zeit (Hardell et al., 1998) zeigte erhöhte Risiken für häufige Bildschirmarbeit (OR=1.8;95%CI=1.1;3.2), Amateurfunker (OR=2.2;95%CI=0.7;6.6) und Radarexponierte (OR=2.0;95%CI=0.3;14.2). Die Zahl der Radar-exponierten war in dieser Studie allerdings sehr gering.

In Erweiterung ihrer elaborierten Fall-Kontroll-Studie zu Leukämien und Hirntumoren (Floderus et al., 1993) führten Stenlund und Floderus (1997) eine Fall-Kontroll-Studie zu männlichem Brustkrebs und Hodenkrebs durch. Über das Schwedische Krebsregister identifizierten sie im Zeitraum 1985-87 für Mittel-Schweden insgesamt 144 Fälle (94 Seminome und 50 Nicht-Seminome). Die Kontrollen stammten aus der 1993 publizierte Fall-Kontroll-Studie zu Leukämien und Hirntumoren. Die Teilnahmerate bei Fällen betrug 77.8% und bei Kontrollen 71.8%. Die Expositionsermittlung erfolgte mithilfe eines detaillierten Fragebogens, der neben der beruflichen Anamnese auch Fragen zu potenziellen Confoundern wie z.B. Ausbildung, Lösemittel, Pestiziden etc. enthielt. Die Berufe wurden mit einer Job-Expositions-Matrix (JEM) verknüpft, die auf Messungen von ELF an typischen Arbeitsplätzen in Schweden basierte (Floderus et al., 1996). Bei einer mittleren täglichen ELF-Exposition von 0.16-0.19 Mikrottesla wurde ein für Alter, Ausbildung und Lösemittel adjustiertes OR von 1.3 (95%CI=0.7;2.4) beobachtet. Bei einer Exposition von 0.20-0.29 Mikrottesla fand man ein OR von 1.4 (95%CI=0.8;2.7) und einer Exposition von  $\geq 0.29$  Mikrottesla ein OR von 1.3 (95%CI=0.7;2.5). In der höchsten Expositionsgruppe (90. Perzentil:  $\geq 0.41$  Mikrottesla) zeigte sich ein signifikant erhöhtes OR von 2.1 (95%CI= 1.0;4.3), was im wesentlichen auf die Risiken bei Männern unter 40 Jahren zurückzuführen war (OR=3.9;95%CI=1.4;11.2). Das Risiko für Nicht-Seminome war in dieser Altersgruppe besonders erhöht (OR=16.1;95%CI=2.7;94.5). Unter den 14 exponierten Fällen in der am höchsten exponierten Gruppe befanden sich drei Förster/Waldarbeiter, zwei Postboten/Postverteiler, vier Hauswarte/Gebäudeverwalter, ein Geschäftsmanager, ein Hochofenheizer, ein Feinmechaniker, ein Hufschmied und ein Metallarbeiter. Es handelt sich hierbei um Berufsgruppen, die nach Untersuchungen zu elektromagnetischen Feldern an 100 typischen Arbeitsplätzen in Schweden höheren ELF-Expositionen am Arbeitsplatz ausgesetzt sind als die meisten anderen Berufsgruppen (Floderus et al., 1996).

In einer kürzlich veröffentlichten schwedischen Kohortenstudie unter Beteiligung der gleichen Autorinnen (Floderus et. al, 1999) wurde die Assoziation zwischen Krebserkrankungen und beruflichen EMF-Expositionen (ELF) untersucht. Hierfür wurden Berufsangaben aus der Volkszählung mit einer auf Messungen (ELF) basierenden JEM verknüpft. Wichtigstes Studienergebnis bei Männern war ein erhöhtes Risiko für Hodenkrebs bei ELF-exponierten Arbeitern unter 40 Jahren.

#### 1.2.3.2 Hodenkrebs und EMF-Expositionen im Wohnumfeld

Die meisten der vorangegangenen Studien zu niederfrequenten elektromagnetischen Feldern im Wohnumfeld beschäftigten sich mit dem Zusammenhang zwischen kindlichen Krebserkrankungen (Leukämien, Hirntumoren, Lymphome) und Expositionen durch Hochspannungsleitungen (Hardell et al.,1995; National Research Council, 1996; NIEHS, 1998, S. 184 ff.). Die

ermittelten Relativen Risiken zum Zusammenhang von Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld und kindlichen Leukämien oder Hirntumoren lagen in der Größenordnung von 1.5 bis 2.0 (Boikat und Manikowsky, 1996). Nur wenige dieser Studien zeigten signifikante Risikoerhöhungen, zuverlässige Aussagen über Dosis-Wirkungs-Beziehungen und die Expositionsdauer waren bisher nicht möglich. Wertheimer et al. (1995) zeigten, dass kindliche Krebserkrankungen nicht nur mit dem Wohnen in der Nähe von Hochspannungsleitungen assoziiert sein können, sondern auch mit vagabundierenden Strömen durch ungeerdete Installationen, z.B. durch Wasserrohrsysteme. Eine systematische Bestandsaufnahme zur Höhe der Exposition durch niederfrequente häusliche Magnetfelder im Zusammenhang von Leukämieerkrankungen bei Kindern in Deutschland findet man bei Schüz und Michaelis (2000).

Epidemiologische Studien zu Krebserkrankungen von Erwachsenen im Zusammenhang von EMF-Expositionen im Wohnumfeld sind rar und geben insgesamt keinen Hinweis auf bedeutsam erhöhte Krebsrisiken (NIEHS, 1998, S. 133-145). Einen guten Überblick zu Arbeiten im Zusammenhang von Expositionen im Wohnumfeld durch Hochspannungsleitungen findet man in einem Review von Li et al. (1996), die sieben Studien zu Leukämien, Tumoren des Zentralen Nervensystems und Brustkrebs bei Frauen analysierten. Leukämien waren in drei Fall-Kontroll-Studien positiv mit magnetischen Feldern assoziiert, die anderen beiden Fall-Kontroll-Studien und zwei Kohortenstudien jedoch zeigten keine Assoziation. Dolk et al. (1997(1)) berichteten über eine erhöhte Inzidenz von Leukämien bei Erwachsenen in der Nähe eines Radio- und Fernsehsenders in Großbritannien. Eine weitere Studie zur Krebsinzidenz im Umfeld von Radio- und Fernsehsendern in Großbritannien kann diesen Zusammenhang allerdings nur bedingt bestätigen (Dolk et al., 1997(2)). Verkasalo et al. (1996) untersuchten in einer auf Krebsregisterdaten basierenden Kohortenstudie das Krebsrisiko von finnischen Erwachsenen, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen wohnten, und beobachteten ein mit der magnetischen Flussdichte ansteigendes, jedoch nicht signifikantes Risiko für Melanome bei Männern und Frauen. Der Risikoschätzer für Hodenkrebs war nicht erhöht (SIR=1.1; 95%CI=0.55;2.05). In einer Untersuchung zur Benutzung von Heizkissen und dem Auftreten von Hodenkrebs (Verrault et al., 1990) wurde ein leicht erhöhtes Risiko für Nicht-Seminome gefunden (OR=1.4;95%CI=0.9;2.3), das Risiko für Seminome war erniedrigt (OR=0.7; 95%CI=0.5;1.2).

Im folgenden sind die oben beschriebenen Studienergebnisse noch einmal in Form einer Synopse dargestellt. Sie wurden nach Beruf/Branche/EMF-Exposition und innerhalb dieser Kategorien nach Publikationsjahr geordnet. Kohortenstudien wurden leichtgrau schattiert dargestellt.

1.2.3.3 Synopse vorhandener Studien zu Hodenkrebs und EMF

geordnet nach Beruf/Branchen/EMF-Exposition und innerhalb dieser Kategorien nach Publikationsjahr (Kohortenstudien sind leichtgrau schattiert dargestellt)

Publikation	Land/Zeitraum	Design	Basis der Expositions- abschätzung	Beruf/Branchen/ EMF-Eposition	Effektschätzer	95% CI oder p-Wert*
<i>Elektronik-/Elektroindustrie/Energieversorgung</i>						
Törnquist et al., 1986	Schweden (1961-79)	Kohorten-Studie	Record-Linkage zwischen Zensusdaten und Krebsregister	Arbeit an Hochspannungs- /Überlandleitungen (power linesmen) Kraftwerks- beschäftigte	SMR = 0.6	(90% CI = 0.0;2.9)
McDowell und Balajaran, 1986	Großbritannien (1971-80)	Mortalitätsbasierte Fall-Kontroll-Studie	Letzter Beruf (Quelle: Todesbescheinigung)	Elektriker/ Elektronikerberufe	RR = 0.9	(0.62;1.30)
Swerdlow und Skeet, 1988	Großbritannien (1958-77)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Beruf (Quelle: Krebsregister)	Elektriker/ Elektronikerberufe	OR=0.9 (15-44) OR =1.2 (45-74 Jahre)	95% CI nicht angegeben
Pearce et al., 1989	Neuseeland (1980-84)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Letzter Beruf (Quelle: Krebsregister)	Elektriker/ Elektronikerberufe	OR = 0.8	(0.41;1.47)
Swerdlow et al., 1991	Großbritannien (1977-80)	Fall-Kontroll-Studie (Basis: Onkologische Zentren)	Fragebogen zum beruflichen Werdegang und spezifischen beruflichen Expositionen	Elektriker/ Elektronikerberufe	OR = 0.7	(0.40;1.37)
Van Den Eeden et al., 1991	USA (1977-84)	Fall-Kontroll-Studie (Basis: Cancer Surveillance System)	Telefoninterviews zu Berufen/ Branchen	Elektriker/ Elektronikerberufe	OR = 2.8	(1.2;6.4)
Tynes et al., 1992	Norwegen (1960-85)	Kohortenstudie (Elektriker/ Elektronikhandwerk)	Auswahl potenziell EMF-exponierter Personen auf Basis von Zensusdaten (fünf Gruppen), Record-Linkage mit Krebsregister	Elektriker/ Elektronikerberufe	SIR = 0.8	(0.59;1.12)
Hardell et al., 1998	Schweden (1989-1992)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Selbstauszufüllender Fragebogen zur beruflichen Geschichte	Elektriker	OR = 1.0	(0.4;2.6)

Epidemiologische Untersuchungen zur Assoziation von Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern - Einleitung -

Publikation	Land/Zeitraum	Design	Basis der Expositions- abschätzung	Beruf/Branche/ EMF-Eposition	Effektschätzer	95% CI oder p-Wert
Fortsetzung Harrell et al., 1998	Schweden (1989-1992)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Selbstauszufüllender Fragebogen zur beruflichen Geschichte	Ingenieure im Elektro- nikbereich und der Telekommunikation	OR = 2.3	(0.8;6.7)
<i>Verkehrspolizei</i>						
Davis und Mostofi, 1993	USA (1979-91)	Fallbeobachtung in Polizeikohorte	Untersuchung eines beobachteten Clusters	Verkehrspolizei	SIR = 6.9	p< 0.001
Finkelstein, 1998	Kanada (1964-95)	Retrospektive Kohortenstudie (Polizeikohorte)	Record-Linkage mit Krebsregister	Verkehrspolizei	SIR = 1.3	(90% CI=0.89;1.84)
<i>Militärpersonal</i>						
Dubrow und Wegman, 1983	USA, Großbritannien (1950-73)	Zusammenfassende Bewertung von 5 Querschnittstudien	Krebsregister- /Zensusdaten	Militärpersonal	SIR = 1.3 (4 Studien mit SIR > 1.2)	(1 von 5 Studien p< 0.05)
McDowell und Balajaran, 1986	Großbritannien (1971-80)	Mortalitätsbasierte Fall-Kontroll-Studie	Letzter Beruf (Quelle: Todesbescheinigung)	Militärpersonal	RR = 1.2	(0.77;1.90)
Pearce et al., 1987	Neuseeland (1979-83)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Letzter Beruf (Quelle: Krebsregister)	Militärpersonal	OR = 2.2	(0.80;5.79)
Garland et al., 1988	USA (1974-1979)	Querschnittunter- suchung einer Navy-Kohorte	Vergleich der Krebs- inzidenz mit SEER <sup>1</sup> und der Navy insgesamt (Auswertung von Computerdateien)	Flugzeugtechniker (Aviation support equipment technician)	Vergleich mit SEER SIR = 6.2 Vergleich mit Navy insgesamt SIR=6.2	(1.9;13.0); p<0.001 (2.1;14.4); p<0.001
				Maschinist (engineer)	Vergleich mit SEER SIR = 2.6 Vergleich mit Navy insgesamt SIR=2.9	(1.2;4.8); p<0.01 (1.2;5.3); p<0.01
				Mechaniker (Construction mechanic)	Vergleich mit SEER SIR = 3.6 Vergleich mit Navy insgesamt SIR=4.0	(0.4;13.0) (0.5;14.4)

<sup>1</sup> SEER: Surveillance, Epidemiology, and End Results (Datenerhebung zu Krebserkrankungen in den USA)

Epidemiologische Untersuchungen zur Assoziation von Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern - Einleitung -

Publikation	Land/Zeitraum	Design	Basis der Expositions- abschätzung	Beruf/Branche/ EMF-Eposition	Effektschätzer	95% CI oder p- Wert
Swerdlow et al., 1991	Großbritannien (1977-80)	Fall-Kontroll-Studie (Basis: Onkologische Zentren)	Fragebogen zum beruflichen Werdegang und spezifischen beruflichen Expositionen	Militärpersonal	OR = 0.84	(0.53;1.33)
				Militärische Expositionen (Nukleare Waffentests, Militärforschung)	OR = 2.9	(0.78 ;10.94)
Ryder et al., 1997	Großbritannien (1976-94)	Fall-Kontroll-Studie (Royal Navy)	Detaillierte Analyse des militärischen Werdgangs (inkl. Tätigkeitsprofil und Aufzeichnungen zu Radarexpositionen)	<b>Luftflotte der Navy</b> (Branche)	OR = 1.9	(1.04;3.48)
				Flugzeugingenieur (Spezialbranche)	OR = 2.3	(1.20; 4.48)
				Flugzeugservice- personal am Boden (Aircraft handling) (Unterbranche)	OR= 7.3	(1.81; 29.53)
				<b>Royal Navy</b> (Branche)	OR = 0.8	(0.38; 1.64)
				Seemann (Spezialbranche)	OR = 0.6	(0.38; 1.03)
				Schiffsoffizier (Unterbranche)	OR = 2.3	(0.85; 6.06)
				Radartechniker	OR = 0.8	(0.26;2.22)
Knocke et al., 1998	USA (1991-96)	Kohortenstudie (Armeeingehörige)	Berufs- /Branchenangaben	Reparaturen im Elektronikbereich	RR = 1.6	(1.23;2.00)
				Reparaturen im Elektrik-/Mechanik- Bereich	RR= 1.3	(1.01;1.58)

Epidemiologische Untersuchungen zur Assoziation von Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern - Einleitung -

Publikation	Land/Zeitraum	Design	Basis der Expositions- abschätzung	Beruf/Branche/ EMF-Eposition	Effektschätzer	95% CI oder p-Wert
<i>Weitere Berufe</i>						
Pearce et al., 1987	Neuseeland (1979-83)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Letzter Beruf (Quelle: Krebsregister)	Ärzte	OR = 6.5	(1.29;32.6)
Van Den Eeden et al., 1991	USA (1977-84)	Fall-Kontroll-Studie (Basis: Cancer Surveillance System)	Telefoninterviews zu Berufen/Branchen	Ärzte und andere in Gesundheitsberufen diagnostizierende Personen	OR= 5.5	(1.1;26.3)
				Ärzte und andere in Gesundheitsberufen behandelnde Personen	OR=15.7	(1.7;145.2)
				Seeleute, Fischer und Piloten	OR = 3.1	(1.2;7.9)
<i>Berufliche Expositionen gegenüber EMF (ELF, RF/MW)</i>						
Hayes et al., 1990	USA (1976-81)	Fall-Kontroll-Studie (Basis: Tumorregister/ Krankenhäuser)	Detaillierter Fragebogen zu Berufen/Branchen, Tätigkeiten und EMF- Exposition	Radio-/Mikrowellen- Exposition (RF/MW)	Selbstberichtete Exp.: OR <sub>(Seminoe)</sub> = 2.8 OR <sub>(and. maligne Hodentumoren)</sub> = 3.2	(0.9;8.6) (1.4;7.4)
				Diverse berufliche Expositionen gegenüber EMF (ELF, RF/MW)	Analyse von Jobtiteln: OR <sub>(niedrige Exposition)</sub> = 2.3 OR <sub>(mittlere Exposition)</sub> = 1.0 OR <sub>(hohe Exposition)</sub> = 0.8	(0.6;9.4) (0.3;3.8) (0.3;2.0)
Hardell et al., 1998	Schweden (1989-1992)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Selbstauszufüllender Fragebogen zur berufl. Geschichte		Radarexposition OR = 2.0	(0.3;14.2)
					Amateurfunkler OR = 2.2	(0.7;6.6)
					Bildschirmarbeit OR = 1.5 und bei Exposition >= 480 Arbeitstage OR = 1.8	(0.98;2.3) (1.1;3.2)



Epidemiologische Untersuchungen zur Assoziation von Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern - Einleitung -

Publikation	Land/Zeitraum	Design	Basis der Expositions- abschätzung	Beruf/Branche/ EMF-Eposition	Effektschätzer	95% CI oder p- Wert
Stenlund und Floderus, 1997	Schweden (1985-87)	Krebsregisterbasierte Fall-Kontroll-Studie	Berufsanamnese auf Basis eines detaillierten Fragebogens (u.a. auch Erfassung potenzieller Confounder, z.B. Lösemittel, Pestizide)  Linkage von Berufangaben mit Job-Exposure -Matrix (JEM), die auf Messungen zu EMF basiert	EMF(ELF)	<b>ORs adjustiert für Alter, Ausbildung und Lösungsmittel:</b>  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition = 0.16-0.19 Mikrotlesia)</sub> = 1.3  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition = 0.20-0.28 Mikrotlesia)</sub> = 1.4  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.29 Mikrotlesia)</sub> = 1.3  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.41 Mikrotlesia)</sub> = 2.1  <b>Männer &lt;= 40 J.:</b>  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.29 Mikrotlesia)</sub> = 1.9  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.41 Mikrotlesia)</sub> = 3.9  <b>Seminome &lt;= 40 J.:</b>  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.29 Mikrotlesia)</sub> = 0.9  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.41 Mikrotlesia)</sub> = 1.8  <b>Nicht-Seminome &lt;=40 J.:</b>  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.29 Mikrotlesia)</sub> = 8.1  OR <sub>(mittl. tägl. Exposition &gt;=0.41 Mikrotlesia)</sub> = 16.1	(0.7;2.4) (0.8;2.7) (0.7;2.5) (1.0;4.3) (0.8 ;4.4) (1.4;11.2) (0.3;2.4) (0.5;6.4) (1.7;39.4) (2.7;94.5)
Floderus et al., 1999	Schweden (1971-84)	Kohortenstudie (Basis: Cancer Environment Registry)	Linkage von Zensusdaten mit JEM, die auf Messungen zu EMF basiert	EMF(ELF)	<b>EMF-Exposition &gt;=0.138 Mikrotlesia: 20 u. 29 J.:</b>  RR = 2.3 (1971-77) RR = 2.1 (1971-84)	(1.0;5.3) (1.0;4.8)

Epidemiologische Untersuchungen zur Assoziation von Hodenkrebs und elektromagnetischen Feldern - Einleitung -

Publikation	Land/Zeitraum	Design	Basis der Expositions- abschätzung	Beruf/Branche/ EMF-Eposition	Effektschätzer	95% CI oder p-Wert
Fortsetzung Floderus et al., 1999	Schweden (1971-84)	Kohortenstudie (Basis: Cancer Environment Registry)	Linkage von Zensusdaten mit JEM, die auf Messungen zu EMF basiert	EMF(ELF)	30 u. 39 J. : RR = 2.6 (1971-77) RR = 1.3 (1971-84)	(1.3;5.0) (0.8;1.9)
<i>EMF-Expositionen im Wohnumfeld</i>						
Verrault et al., 1990	USA (1981-84)	Fall-Kontroll-Studie (Basis: Cancer Surveillance System)	Telefoninterviews (Kontrolle von Kryptorchismus als Confounder)	Benutzung von Heizkissen	OR <sub>(Seminoe)</sub> = 0.7 OR <sub>(Nicht-Seminoe)</sub> = 1.4	(0.5;1.2) (0.9;2.3)
Verkasalo et al., 1996	Finnland (1970-89)	Kohortenstudie	Record-Linkage zwischen Zensusdaten und Krebsregister; Expositionsab- schätzung durch Elektrizitätsgesellschaft auf Basis des Abstands u. weiterer physikalischer Größen	Exposition durch Hochspannungs- leitungen im Wohnumfeld	SIR = 1.1	(0.55;2.05)

\* In einigen Studien wurde beim 95%CI nur eine Stelle hinter dem Komma angegeben.

## **2 Hodenkrebs und EMF-Expositionen am Arbeitsplatz**

Die im folgenden vorgestellten Auswertungen zu Hodenkrebs und EMF am Arbeitsplatz basieren auf den Fragebogendaten der in fünf Regionen Deutschlands (Hamburg, Bremen, Essen, Saarbrücken und Saarland) durchgeführten multizentrischen Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs und beziehen sich auf insgesamt 269 Fall- und 797 Kontrollinterviews.

Zu den untersuchten Fragestellungen gehört die Ermittlung von Risiken nach EMF-Exposition am Arbeitsplatz, insbesondere die Überprüfung eines vermuteten Erkrankungsrisikos an Hodentumoren nach Exposition gegenüber Radar. Darüber hinaus wurden die Erkrankungsrisiken für Berufe/Berufsgruppen untersucht, in denen nach Ergebnissen internationaler Studien bei normaler Berufsausübung EMF-Expositionen zu erwarten sind.

### 2.1 Material und Methoden der multizentrischen Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs

#### 2.1.1 Studiendesign

Um eine ausreichende Anzahl neu erkrankter Krebspatienten in vertretbarem Zeitrahmen für die Studie gewinnen zu können, wurde ein multizentrisches Studiendesign mit Erhebungszentren im Saarland, in Essen, in Bremen und in Hamburg gewählt. Damit wurde eine Gesamtbevölkerung von ca. 4 Millionen Einwohnern abgedeckt.

Zunächst wurde eine Bestandsaufnahme aller Fälle durchgeführt (sog. Inzidenzstudie), die im Zeitraum vom 1.7.1995 bis Ende 1997<sup>1</sup> neu an Hodenkrebs und extragonadalen Keimzelltumoren erkrankten, dies mit dem Ziel, Aussagen über die Grundgesamtheit der in die Studie einzubeziehenden Neuerkrankungen treffen zu können. Die Einbeziehung der bevölkerungsbezogenen Krebsregister des Saarlandes und Hamburgs leistete einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung, da hierdurch sowohl die Abschätzung der erwarteten Erkrankungsfälle als auch die Überprüfung der Vollständigkeit der Studieninzidenz zur Minimierung eventueller Selektionseffekte sichergestellt werden konnten.

Das Matching erfolgte nach Wohnregion (5 Strata) und Alter (5-Jahres-Altersgruppen) und sah für die Altersgruppe 15-34 Jahre ein Fall-Kontroll-Verhältnis von 1:2 vor. Für die Altersgruppe 35-69 Jahre wurde ein Matching-Verhältnis von 1:4 gewählt.

#### 2.1.2 Einschlusskriterien und Rekrutierung von Probanden

##### 2.1.2.1 Fälle

---

<sup>1</sup> In Hamburg wurde der Erhebungszeitraum wegen des hohen Fallaufkommens auf zwei Jahre (1.7.1995-30.6.1997) eingeschränkt.

Eingeschlossen wurden alle Männer im Alter zwischen 15 und 69 Jahren, die in Hamburg, Bremen, Essen oder im Saarland wohnten und für die im Zeitraum vom 1.7.1995 bis Ende 1997<sup>2</sup> ein vom Pathologen gesicherter Erstbefund vorlag (s. Tabelle 2.1). Die Befunde wurden von einem Referenzpathologen nach dem Kriterium Morphologie und Dignität zweitbegutachtet. Für alle Befundungen, bei denen auch Schnitte und/oder Gewebeblöcke zur Verfügung standen und bei der der Referenzpathologe nicht zugleich primärer Pathologe war, erfolgte eine Evaluation der Übereinstimmung der Befunde.

Fälle wurden über Krankenhäuser, Spezialkliniken, Pathologen, Radiologen und in Hamburg zusätzlich über das epidemiologische Krebsregister identifiziert.

**Tabelle 2.1:** Einschlusskriterien der Hodentumorstudie: Lokalisation und Morphologie

		ICD-O -2 (1990) <sup>*)</sup>
Lokalisation	Hoden Nebenhoden, Samenstrang extragonadal (nur Keimzelltumoren)	C62.0-C62.9 C63.0, C63.1 C38.3, C48.0, C71.0- C71.9
Morphologie	Keimzelltumoren des Mannes spezielle gonadale Nichtkeimzelltumoren	M9060-M9102 M8600-M8650
Dignität <sup>**)</sup>	maligne Primärtumoren	Endziffer 3

\* Percy et al. 1990

\*\* entspricht der fünften Stelle des Morphologiecodes

#### 2.1.2.2 Kontrollen

Kontrollpersonen wurden über eine Zufallsstichprobe der jeweiligen Wohnbevölkerung aus den Melderegistern ausgewählt. Den regionalen Erhebungsbüros wurden Adresslisten der ausgewählten Personen übermittelt. In einem zweiten Schritt erfolgte in den regionalen Erhebungszentren eine Ergänzung dieser Informationen anhand aller weiteren zur Verfügung stehenden Quellen (Telefonauskunft, örtliches Adressbuch, etc.). Die Kontaktaufnahme mit den ausgewählten Kontrollpersonen erfolgte nach folgendem Schema:

- Anschreiben (unterschiedlich für Personen mit und ohne Telefon)
- Telefonische Kontaktaufnahme, mehrere Versuche an unterschiedlichen Wochentagen und zu unterschiedlichen Zeiten (oder bei Personen ohne Telefon: Erwarten der Rückantwortkarte)
- Erinnerung (schriftlich) Telefonische Kontaktaufnahme, mehrere Versuche an unterschiedlichen Wochentagen und zu unterschiedlichen Zeiten (oder bei Personen ohne Telefon: Erwarten der Rückantwortkarte)
- Erinnerung (schriftlich), mit Ankündigung einer Hausbegehung
- Hausbegehung

---

<sup>2</sup> s. Fußnote 1

Modifikationen der Kontrollrekrutierung ergaben sich aus regionalen Besonderheiten in der Felderschließung.

Die Interviewtermine wurden durch die regionalen Erhebungsbüros oder durch die vor Ort tätigen InterviewerInnen vereinbart. Alle Kontaktversuche wurden in einem Kontaktprotokoll schriftlich dokumentiert. Als Anerkennung für die Bereitschaft zum Interview wurde den Kontrollpersonen im Erstanschreiben eine Telefonkarte im Wert von 12,- DM in Aussicht gestellt (Aufwandsentschädigung).

Befragt wurden alle Fälle und Kontrollpersonen, für die ein schriftliches Einverständnis für die Teilnahme an der Studie vorlag und die gut genug Deutsch sprachen, um an einem durchschnittlich ca. 1 Stunde und 15 Minuten dauernden Face-to-Face Interview teilnehmen zu können.

### 2.1.3 Studienkollektiv und Response

Insgesamt wurden 372 Fälle gemeldet, die die Einschlusskriterien bezüglich Wohnort, Alter bei Erstdiagnose, Inzidenzzeitraum und Diagnose erfüllten. 353 der gültigen Fallmeldungen konnten (95%) referenzbefundet werden. Referenzbefundungen, welche nur anhand des schriftlichen Pathologieberichtes des regionalen Pathologen erfolgten, wurden als "wahrscheinlich" oder "unwahrscheinlich" eingestuft. Als "unwahrscheinlich" eingestufte Fälle wurden als ungeeignet von den Analysen ausgeschlossen.

Nahezu alle referenzbefundeten Hodentumoren sind Keimzelltumoren (s. Tabelle 2.2). Innerhalb der Gruppe der Keimzelltumoren stellen mit 63% die Seminome die größte Gruppe dar. Patienten mit seminomatösen Keimzelltumoren waren im Durchschnitt älter als Patienten mit nichtseminomatösen Keimzelltumoren. Dieser Befund deckt sich mit Analysen internationaler Krebsregister (Wanderas et al., 1995; vgl. 1.2.1).

Von insgesamt 229 Befundungspaaren, bei denen Schnitte und/oder Gewebeblöcke zur Verfügung standen und bei der der Referenzpathologe nicht zugleich primärer Pathologe war, bestand in 97% (223/229) Konkordanz. Diskordanzen bestanden in einem Fall, in dem der regionale Pathologe ein Seminom und der Referenzpathologe einen gutartigen Leydigzelltumor diagnostizierte. In fünf Fällen bestanden Diskordanzen bezüglich der Tumorgewebeanteile. Während der Referenzpathologe bei diesen fünf Fällen ein malignes Teratom diagnostizierte, diagnostizierten die regionalen Pathologen Embryonalzelltumoren.

**Tabelle 2.2:** Referenzbefundung bei Hodentumoren (353 Fälle)

<b>Ergebnisse der Referenzbefundung</b>		<b>N</b>	<b>%</b>
Referenzbefundungsgrundlage	Nur schriftlicher Befund	41	12
	Schnitte/Blöcke/Befund	312	88
Ungeeignet nach SP	Insgesamt	19	5
	Dignität	17	
	Histologie (mal. Lymphom)	2	
Geeignet nach SP <sup>1)</sup>	Insgesamt (N=334: 100%)	334	
Keimzelltumoren	9060-9102 (N=333)		
-Seminom	-9060-9064	209	63
-Embryonales Carcinom <sup>2)</sup>	-9070-9073	31	9
-Malignes Teratom <sup>3)</sup>	-9080-9085, 9102	92	28
-Chorioncarzinom	-9100-9101	1	0
Andere spezifizierte Tumoren <sup>4)</sup>	---	1	0
Unspezifizierte Tumoren	8000-8004	0	0

SP=Studienprotokoll

- 1) Gruppierung histologischer Typen anhand der Klassifikation der IARC (Parkin et al. 1998); alle o.g. ICD-O Angaben beziehen sich auf Tumoren mit Dignität 3
- 2) Dottersacktumoren eingeschlossen
- 3) Mischkeimzelltumoren eingeschlossen
- 4) z.B. Sertolizellcarcinom, bösartiges Androblastom

269 der 353 Patienten (2 Ersatzpersonen) konnten interviewt werden. Die Teilnehmerate bei den Fällen betrug 76%. Gründe für die Nicht-Teilnahme bei den Fällen waren Verweigerung (23 Fälle), fehlende Kooperation der behandelnden Ärztinnen oder Ärzte bei der Kontaktaufnahme mit dem Patienten (37 Fälle) oder andere Gründe (24 Fälle). 170 der interviewten Fälle gehörten zur Gruppe der Seminome, 99 wurden als Nicht-Seminome klassifiziert.

918 der nach den Auswahlkriterien in Frage kommenden 1982 Kontrollen, mit denen über ein Anschreiben Kontakt aufgenommen worden war, wurden interviewt (8 Ersatzpersonen). Gründe für die Nicht-Teilnahme bei den Kontrollen waren Verweigerung (515 Kontrollen), fehlende Möglichkeit der Kontaktaufnahme wegen Tod oder Wegzug nach Ziehung der Bevölkerungsstichprobe (363 Kontrollen), Unfähigkeit der Kontaktaufnahme mit dem Probanden (149 Kontrollen) oder andere Gründe (37 Kontrollen). Die Teilnehmerate bei den Kontrollen betrug nach Ausschluss der Personen mit falscher Anschrift sowie der verstorbenen und weggezogenen Personen 57%. Bei den Kontrollen wurde die beste Response für Männer mit 64% im Saarland (ohne Saarbrücken) erreicht, die niedrigste in Hamburg mit 52%.

#### 2.1.4 Erhebungsinstrumente

In allen beteiligten Studienzentren wurde ein standardisierter Fragebogen eingesetzt, der neben organisatorischen und demographischen Angaben die Berufsbiographie und medizinische Vorgeschichte, Lebensstilfaktoren, konstitutionelle Faktoren, Ernährung und

sportliche Aktivität sowie spezifische Arbeitsplatzexpositionen einschließt. Zu den erfassten Expositionen zählen: Umgang mit Hormonen, Ölen und Pestiziden, starke Hitze und Licht sowie Arbeiten in der Nähe von verschiedenen elektrischen Anlagen, welche potenziell elektromagnetische Felder emittieren (Hochspannungsanlagen, elektrische Maschinen und Anlagen, Bildschirmgeräte, Funkgeräte, Radargeräte). Darüber hinaus wurden die Mütter der Probanden mit einem selbstauszufüllendem Fragebogen befragt.

Bei der Erfassung der Berufsbiographie wurden alle Arbeitsplätze, an denen der Proband mindestens für die Dauer von sechs Monaten beschäftigt war, in Form einer chronologisch möglichst lückenlosen, lebenslangen Berufsbiographie dokumentiert. Die zeitlichen Dimensionen der beruflichen Tätigkeiten wurden in Kalenderjahren sowie durchschnittlichen Arbeitszeiten pro Woche erfasst. Neben Fragen zur Branche und Tätigkeit wurde der Umgang mit Stoffen, Chemikalien und Maschinen erfragt. Die Expositionen, die sich aus der Tätigkeit von Kollegen ergaben, wurden anhand der Branche und Tätigkeit sowie der räumlichen Nähe erfasst. Zum Schluss der Berufsbiographie wurden die Probanden mit Hilfe einer Checkliste befragt, ob sie in einem von insgesamt 30 Berufs- bzw. Wirtschaftszweigen jemals gearbeitet hatten. War dies der Fall, so wurden korrespondierende Zusatzfragebögen eingesetzt, um die entsprechenden Tätigkeiten und Branchen in detaillierterer Form zu erfassen, als dies in dem biographischen Berufsteil des Hauptfragebogens erfolgte.

Die Berufsbezeichnungen wurden nach der International Standard Classification of Occupations (ISCO) (1968) kodiert, Branchen nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige der Europäischen Union (NACE) (1993).

## 2.1.5 Auswertungsmethoden

### 2.1.5.1 Quantifizierung der Sozialen Schicht

Die Quantifizierung der Sozialen Schicht erfolgte mittels des höchsten Schulabschlusses und höchsten Ausbildungsabschlusses. Anhand der Empfehlungen der Arbeitsgruppe "Epidemiologische Methoden" in der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Epidemiologie der GMDS und DGSMF" wurde die soziale Schicht als zweidimensionaler Index gemessen (Jöckel et al., 1998). Alle Kombinationen aus den Kategorien "Schulbildung" und "Ausbildung" wurden auf einer ordinalen Skala (1-8) abgebildet. Hierbei erhielten die allgemeine Hochschulreife und ein Universitätsabschluss den höchsten Wert. In Tabelle 2.3 sind die möglichen Kombinationen aus Schul- und Ausbildungsabschluss dargestellt.

**Tabelle 2.3:** Soziale Schicht: Schulabschluss in Kombination mit Ausbildungsabschluss

Schulabschluss	Ohne Abschluss	8/9. Klasse	10. Klasse	12/13. Klasse	Anderer
Ausbildung*					
kein Abschluss	1	2	3	6	1
beruflich-betrieblich/schulisch	3	3	4	6	3
Fachschule	-	4	5	6	4
Fachhochschule	-	-	7	7	7
Universität	-	-	8	8	8
Anderer	-	3	4	7	3

\*Matrixfelder, die mit "-" besetzt sind, dürfen normalerweise nicht vorkommen

Die 8-stufige Variable Soziale Schicht wurde in eine 3-stufige Variable rekodiert (niedrig=1-3; mittel=4-6; hoch=7-8).

### 2.1.5.2 Quantifizierung der EMF-Exposition

Der Fragebogen der multizentrischen Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs enthält, wie bereits oben dargestellt, einen spezifischen Teil zur Erfassung unterschiedlicher Quellen elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz, in dem auch die Expositionsdauer und Entfernung zu elektrischen Anlagen, Maschinen etc. erhoben wurde (s. Fragebogenteil XIV EMF im Anhang).

Zur Abschätzung der EMF-Exposition entwickelten wir in Kooperation mit dem Referat für gesundheitlichen Umweltschutz der Behörde für Umwelt und Gesundheit in Hamburg ein detailliertes Quantifizierungskonzept, das die Dauer der Exposition in Jahren, die Distanz zur jeweiligen Quelle sowie Annahmen zur Expositionsintensität beinhaltet. Die Expositionsintensität wurde auf Basis der elektrischen und magnetischen Feldstärke der erfragten EMF-Quellen definiert, die zugrundegelegten Annahmen beruhen auf der Literatur (vgl. Robinette et al., 1980; Dan Bracken 1991,1993; Guénel et al. 1993; Thériault et al., 1994; Tynes et al., 1994; Johansen und Olsen, 1998; Rodvall et al., 1998; Stepansky et al. 2000).

In Tabelle 2.4 sind die fünf unterschiedenen Expositionsquellen nach der angenommenen Expositionsintensität in aufsteigender Reihenfolge dargestellt. Die Frequenzen innerhalb der Expositionsquellen (s. Tabelle 2.4) sind nicht in jedem Falle homogen, jedoch stellen Frequenz und Feldstärke stellen zwei voneinander unabhängige physikalische Größen dar. Die Expositionsquellen "Arbeit in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen" und "Arbeit am Bildschirm" wurden - im Unterschied zur Einteilung im Fragebogen - aufgrund der Ähnlichkeit der angenommenen Expositionsintensität zusammengefasst. Die Arbeit an oder in der Nähe medizinischer Anlagen wurde aus dem gleichen Grund in eine andere Expositionsquelle eingestuft, und zwar in Expositionsquelle d) (Elektrische Maschinen).

Während bei EMF-Expositionen in Expositionsquelle a) von niederfrequenter Strahlung auszugehen ist, befindet man sich bei Expositionsquelle e) (Radar) in der höchsten Stufe der



Hochfrequenz. Innerhalb der Expositionsquelle e) wurden weitere Untergruppen unterschieden; die höchste Belastung wurde für Arbeit in der Nähe militärischer Anlagen angenommen.

**Tabelle 2.4:** Quellen für Expositionen durch elektromagnetische Felder

Expositionsquellen		Frequenzen	Expositionsintensität (EI)
a)	<b>Komplexe elektrische Anlagen, Bildschirm</b> - Kontroll- und Computerräume - Telefonvermittlung etc.	ELF, VLF	1
b)	<b>Hochspannungsleitungen, Transformatoren und Transformatorstationen</b>	ELF	2
c)	<b>Funkgeräte, Funktelefone oder ähnliche Apparate</b>	VHF, UHF UHF	3
d)	<b>Elektrische Maschinen, z.B.</b> - Werkzeugmaschinen - Hebefahrzeuge - Eisenbahn, U-Bahn - Öfen (z.B. Schmelzöfen) - medizinische Anlagen	ELF ELF ELF, D.C. VLF, MF, HF ISM	4
e)	<b>Radargeräte:</b> - Geschwindigkeitsradar, stationär (10-33 GHz)	SHF, EHF	5
	- Radarpistole (10-33 GHz)	SHF, EHF	10
	- Radar auf Flughäfen (5.0-5.5 GHz)	SHF	15
	- Radar in Flugzeugen (mehrere Frequenzen)	SHF	20
	- Radar auf Schiffen (31.8-33.4 GHz)	EHF	25
	- militärische Radaranlagen (mehrere Frequenzen)	UHF, SHF, EHF	30

**ELF** (Extremely low frequency); **VLF** (Very low frequency); **D.C.** (Direct current); **MF** (Medium frequency); **HF** (High frequency); **ISM** (Industrial, Scientific, Medical): Vornehmlich für den Bereich medizinisch-wissenschaftlicher Anwendungen reservierte Frequenzen; **VHF** (Very high frequency); **UHF** (Ultra high frequency); **SHF** (Super high frequency); **EHF** (Extremely high frequency)  
(Erläuterungen zum elektromagnetischen Spektrum s. Kapitel 1.2.2)

Die Quantifizierung der Expositionsintensität erfolgte durch Zuordnung von Gewichten (1 bis 30). Diese Gewichte stellen keine äquidistanten Kategorien dar, - hierfür ist unser Wissen über die Wirkung elektromagnetischer Felder noch zu begrenzt- sondern sie sind im Sinne einer ordinalen Zuordnung zu verstehen.

Ein Studienteilnehmer galt gegenüber einer Expositionsquelle als exponiert (jemals vs. niemals exponiert), wenn er einen oder mehrere Arbeitsplätze innerhalb einer Expositionsquelle angab. Darüber hinaus wurden kumulative Gesamtscores für die einzelnen EMF-Quellen ( $CE_{cum}$ ) berechnet. Dies geschah unter Heranziehung der Expositionsintensität (EI), Dauer in Jahren (DY) und Entfernung (DI):  $(CE_{cum} = \sum_{i=1}^n (EI * DY * DI))$ . DI wurde nach folgenden Einheiten

klassifiziert: [1]≥30 m; [2]=10-29 m; [3]=0-9 m.

Durch die Aufsummierung der kumulativen Gesamtscores über alle Expositionsquellen erhielten wir schließlich einen kombinierten EMF-Gesamtscore pro Studienteilnehmer.

#### 2.1.5.3 Expertengestützte Einzelbewertung der Fragebögen in den Frequenzbereichen "Mikrowellen/Radar"

Die retrospektive Abschätzung von Expositionen führt leicht zu nicht-differentieller Fehlklassifikation, ein Bias, bei dem die Effektschätzer gegen Null tendieren (Ahrens, 1999). Um die Spezifität der Expositionsabschätzung zu erhöhen und so die Tendenz zu nicht-differentieller Fehlklassifikation zu reduzieren, wurden die höchsten Frequenzbereiche (Mikrowellen/Radar), in denen sich Fehlklassifikationen aufgrund der hohen Scores (s. Tabelle 2.4) besonders stark auswirken können, anhand eines hierfür entwickelten Quantifizierungskonzepts manuell reklassifiziert, allerdings zulasten der Power.

#### *Quantifizierungskonzept für die expertengestützte Einzelbewertung in den Frequenzbereichen "Mikrowellen/Radar"*

Während sich das oben dargestellte Quantifizierungskonzept an der physikalischen Intensität der verschiedenen Expositionsquellen (Hochspannungsleitungen, elektrische Maschinen etc.) orientiert, basiert die expertengestützte Einzelbewertung der Fragebögen in den Frequenzbereichen "Mikrowellen/Radar" auf Messergebnissen an Arbeitsplätzen ausgewählter Branchen/Berufe in Deutschland.

Ausgangspunkt waren Branchen und Berufe, die nach vorliegenden arbeitsmedizinischen Erfahrungen mit einer erhöhten Mikrowellen-/Radarexposition verbunden sein können (Tabelle 2.5). Die erforderlichen Angaben zur Einstufung der Expositionsintensität in den ausgewählten Berufen/Branchen wurden von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zur Verfügung gestellt, die einschlägige Literatur sowie vorhandene Gutachten in Deutschland speziell für unsere Fragestellung bewertete. Darüber hinaus wurden in aufwendiger Einzelrecherche bei Berufsverbänden, Innungen und Betrieben Informationen zum Tätigkeitsprofil und zu tätigkeitstypischen Arbeitsverfahren in den interessierenden Berufen und Branchen eingeholt. Auch das Referat für gesundheitlichen Umweltschutz sowie das Amt für Arbeitsschutz der Behörde für Umwelt und Gesundheit stellten hierzu wichtige Informationen zur Verfügung, insbesondere zu Tätigkeitsprofilen in den nautischen Berufe (s. Erläuterungen zu Tabelle 2.5). Hiermit war die Basis für eine expertengestützte Einzelbewertung geschaffen.

**Tabelle 2.5:** Berufe/Branchen mit potenzieller Radar-/ Mikrowellenexposition

Berufe/Branchen	NACE <sup>1</sup>	ISCO <sup>2</sup>	Expositionsintensität <sup>3</sup>
<b>RADAR</b>			
<b>Flugzeugbesetzung</b>			
1. Piloten		041.20-.60	0
2. Funker in Flugzeugen		380.60	0
<b>Schiffsbesetzung</b>			
3. Offiziere		042.15-.90 ohne 042.50	+
4. Schiffingenieure		043.15-.20, nicht 043.30	-
5. Funker auf Schiffen		380.50	- (+)
6. Decksmannschaft		981	+
<b>Andere Berufe/Branchen</b>			
7. Takler		9-72.30	+
8. Stauer im Hafen		9-71.20	-
9. Ölpumper, Betanker, Pumpenmänner		9-71.40	-
10. Kranfahrer im Hafen	(63.22.1 oder 63.22.2) und	9-73.xx	++
11. Fluglotsen		359.60	0
12. Wasserschutzpolizei	75.24.0 oder	582.20	++
13. Radaranlagenbedienung/-wartung		8-52.20 oder 034.90 oder 023.90	+++
<b>MIKROWELLEN</b>			
14. Herstellung von Holz-,Spanplatten	(20.20.2 oder 20.20.1)		+++
15. Sperrholzpressenbediener	oder	7-32.60	++
16. Zahnprothesenherstellung		8-42.50	+
18. Physiotherapeuten		0-76.20	++
19. Masseur		0.76.40	0
<sup>1</sup> NACE= Klassifikation der Wirtschaftszweige der Europäischen Union <sup>2</sup> ISCO= International Standard Classification of Occupations <sup>3</sup> Expositionsintensität: 0 = Keine Exposition zu ermitteln - = Exposition unwahrscheinlich + = Exposition wahrscheinlich ++ = Exposition häufig +++ = Exposition überwiegend bei der normalen Berufsausübung			

**Erläuterungen zu Tabelle 2.5**

**Radar**

**Zu 3/4:** Die Berufsbezeichnungen "Schiffingenieur und -offizier/Kapitän" sind nicht trennscharf. Weitere Recherchen ergaben, dass Nautische Offiziere von Schiffingenieuren und Schiffsbetriebsoffizieren zu unterscheiden sind. Bei Nautischen Offizieren ist in der Regel von einer Radarexposition auszugehen. Schiffingenieure sind in der Regel im Maschinenraum tätig; eine Exposition gilt als unwahrscheinlich. Schiffsbetriebsoffiziere machen die Arbeit von Nautischen Offizieren und Schiffingenieuren und sind potenziell exponiert.

**Zu 5:** Das Berufsbild "Schiffsfunker" gibt es laut Auskunft des Amtes für Arbeitsschutz der Behörde für Umwelt und Gesundheit in Hamburg seit etwa 10 Jahren nicht mehr. Diese Arbeit wird heute von Schiffsoffizieren über Satellitenkommunikation gemacht.

**Zu 10:** Kranfahrer im Hafen sind häufig exponiert. Auch in Hamburg wurden zu diesen Tätigkeiten Messungen durchgeführt.

### **Mikrowellen**

Köche wurden von weiteren Recherchen ausgeschlossen, weil hier die Belastung äusserst schwer erfassbar ist. Sie resultiert allein durch Leckstrahlung, insbesondere bei alten Öfen.

**Zu 14/15:** Hohe Expositionswahrscheinlichkeit bei der Herstellung von Holzspanplatten besteht nur, wenn bei diesem Verfahren wirklich mit Mikrowellenerwärmung gearbeitet wird. Dies ist laut Auskunft des Deutschen Verbands der Holz- und Werkstoff-Industrie in Deutschland nicht der Fall. Recherchen bei grösseren Firmen bestätigen dies. Es wird hier bei der Trocknung mit heisser Luft gearbeitet und nicht mit dem Mikrowellenverfahren. Laut Angaben der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin gibt es einen Betrieb in Thüringen, der mit Mikrowellen arbeitet. Bei den vermutlich wenigen Betroffenen wird daher der Klartext daraufhin analysiert, ob Mikrowellen eingesetzt werden.

**Zu 16:** Zahnprothesenherstellung: Die Auskünfte der Zahntechnikerinnung beziehen sich auf Sicherheitsbestimmungen, bei deren Einhaltung keine Exposition zu erwarten ist. Dies steht jedoch im Gegensatz zu den Auskünften der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, die auf Basis von Messungen/Literatur zu einer anderen Einschätzung kommt (s. Tabelle 2.4).

**Zu 18/19:** Bei der Diathermiebehandlung handelt es sich oft nur Hochfrequenzexposition und nicht um Mikrowellengeräte. Der Therapeut ist nur bei unsachgemäßem Umgang mit dem Gerät exponiert. Im Unterschied zu Physiotherapeuten arbeiten Masseure nicht bei eingeschaltetem Gerät. Daher resultiert die unterschiedliche Expositionseinschätzung (s. Tabelle 2.5).

### *Rating zu Radar-/Mikrowellenexpositionen*

Das Untersuchungskollektiv, für das wir das expertengestützte Rating durchführten, umfasste Studienteilnehmer,

- die die Frage zu Radarbelastungen im Fragebogenteil XIV zu EMF (s. Anhang) mit "ja" beantworteten,
- deren Beruf nach vorliegenden arbeitsmedizinischen Erfahrungen mit einer erhöhten Mikrowellen-/Radarexposition verbunden sein kann (Tabelle 2.5) und
- die im Rahmen ihrer Berufsbiographie über Radarbelastungen berichteten.

Die Grundlage für das Rating zu Radar-/Mikrowellenexpositionen bildeten Teilkopien der Fragebögen. Die Identifikation dieser Fragebögen erfolgte über eine Abfrage zu den in Tabelle 2.5 definierten Berufs- und Branchencodes sowie über eine Analyse des Klartexts in der Berufsbiographie (z.B. Suche nach allen Begriffen, in denen "Radar" vorkam).

Dies bedeutet, dass es Studienteilnehmer gab,

- die ausschließlich im Fragebogenteil XIV zu EMF Angaben zu Radarexpositionen machten (meist Männer, die im Rahmen ihres Militärdienstes in der Nähe von Radargeräten gearbeitet haben, später beruflich jedoch nicht exponiert waren),
- für die Fragebogenangaben XIV zu EMF und Angaben aus der Berufsbiographie vorlagen,
- die im Fragebogenteil XIV zu EMF keine Angaben zu EMF-Belastungen machten, aber aufgrund der Angaben zu "Radar" in ihrer Berufsbiographie dennoch in die Analyse einbezogen wurden.

Tabelle 2.6 zeigt das im Rahmen der detaillierten Recherchen entwickelte Schema, das als Grundlage für das Rating zu Radar-/ Mikrowellenexpositionen diente.

**Tabelle 2.6:** Schema zur manuellen Einstufung von Radar-/ Mikrowellenexpositionen

Fragebogennummer	Berufsphasennummer	Arbeitsstunden pro Woche	Entfernung (Kat. 1-4) in Metern	Expositionsintensität (s. Tabelle 2.5)	Expositionshäufigkeit (Dauer in Prozent)	Zeitraum der Exposition von.. bis....		Bemerkungen
7352021	1			0				Fehlbogen?
7352022	6			0				
7350903	3	60	4	1	50	54	57	
7350904	4	60	3	1	50	57	67	
7350905	2	50	2	3	100	60	66	
7350906	3			0				

Insgesamt wurden 114 Berufsphasen bewertet, 77 (67.5%) davon wurden über Fragebogenteil XIV (EMF) identifiziert, 37 weitere Berufsphasen über die Analyse von Klartext (32.5%).

In 77 Berufsphasen wurde von den Probanden im Fragebogenteil XIV (EMF) eine Arbeit in der Nähe von Radargeräten angegeben. Davon betrafen 38 Berufsphasen militärisches Radar und 39 sonstige berufliche Bereiche (Schiffe: 23; Flugzeuge/Flughäfen: 15; sonstige Bereiche: 1). 50% der selbstberichteten Expositionen gegenüber militärischem Radar wurden durch das Expertenrating bestätigt, in den anderen Bereichen betrug die Übereinstimmung 46%.

Darüber hinaus wurden über Klartextangaben 37 weitere Berufsphasen ermittelt, die für das Rating in Frage kamen (Stauer/Boat loaders: 14; Wasserschutzpolizei: 11; Radaranlagenbedienung-/wartung: 8; Schiffsbesatzung: 4); 4 der 37 Berufsphasen wurden als Tätigkeiten mit Radarexposition eingestuft.

Die Expositionseinstufung wurde von zwei Ratern (C. Baumgardt-Elms, PD. Dr. W. Ahrens) durchgeführt, die blind gegenüber dem Fall-Kontroll-Status der Studienteilnehmer waren und Einstufungen der Expositionsintensität, Häufigkeit und des Zeitraums der Exposition unabhängig voneinander nach dem obigem Schema vornahmen. Die Übereinstimmung zwischen den Ratern betrug 87.7%. Bei Abweichungen, d.h. in 14 von 114 Berufsphasen wurden, soweit über die Diskussion der Ratingkriterien nicht doch eine Einigung zur Expositionseinstufung erzielt werden konnte, weitere Informationen von Expertinnen und Experten eingeholt, um eine ausreichende Basis für eine eindeutige Einstufung zu schaffen.

*Ermittlung von Expositionsscores zu Radar/Mikrowellen*

Da sich bei der expertengestützten Einstufung von Radar-/Mikrowellenexpositionen herausstellte, dass es keine gegenüber Mikrowellengeräten exponierten Studienteilnehmer gab, wird im folgenden allein über Radarexpositionen berichtet.

Zunächst wurden Scores für die gewichtete Dauer der Radarexposition (Gewichtete Dauer= Häufigkeit \* Arbeitsstunden \* Jahre der Beschäftigung) errechnet. Auf Basis der Scores zur Expositionsintensität ( $EI_{\text{Radar}}$ ), der gewichteten Dauer ( $WD_{\text{Radar}}$ ) und Entfernung von der Quelle ( $D_{\text{Radar}}$ ) wurde in einem zweiten Schritt die kumulative Dosis der Radarexposition ( $CE_{\text{Radar}}$ )

berechnet ( $CE_{\text{Radar}} = \sum_{i=1}^n (EI_{\text{Radar}} * WD_{\text{Radar}} * (1/D_{\text{Radar}})^2)$ ), wobei  $D_{\text{Radar}}$  nach folgenden Kategorien

klassifiziert wurde: [1]=0 m; [2]=1-4 m; [3]=5-9 m [4]=≥10 m.

2.1.5.4 Ermittlung Relativer Risiken für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition

Über die zuvor durchgeführten Analysen hinaus wurden die Erkrankungsrisiken in Berufen/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition untersucht, dies auf der Grundlage von Ergebnissen internationaler Studien zur Assoziation von Hodenkrebs und Berufen/Branchen (vgl. 1.2.3.1 und 1.2.3.3) und des in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin entwickelten Quantifizierungskonzepts für Radar-äexpositionen (vgl. Tabelle 2.5). Es handelt sich dabei um folgende Berufe/Berufsgruppen (s. Tabelle 2.7).

**Tabelle 2.7:** Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition

ISCO-Codes	Berufe/Berufsgruppen	Kurzbezeichnung (in dieser Auswertung)
0-34 8-5	Elektrotechniker, Elektroniktechniker Elektromechaniker und verwandte Elektronikwerker	Elektriker
9-61	Kraftstationsbediener	Stromanlagenbediener
0-3490 0-2390 8-5220	Radaranlagentechniker Radaringenieure Elektromechaniker für Rundfunk, Fernsehen und Radaranlagen	Radaranlagenbediener
6-41 9-81 9-82	Fischer Deckspersonal auf Schiff, Bootsmannschaften, Bootsführer Maschinenpersonal auf Schiff	Seeleute/Fischer
0-6/0-7	Ärztliche, zahnärztliche, tierärztliche und verwandte Berufe (darunter Krankenschwestern, Röntgenassistenten)	Gesundheitsberufe/Zahnärzte/Zahnarthelferinnen/Zahntechniker
2 3	Leitende Tätigkeit im Öffentlichen Dienst und in der Wirtschaft Bürokräfte und verwandte Berufe	Verwaltungspersonal und Management

Bei der Quantifizierung der EMF-Exposition wurde auf den spezifischen Teil des Fragebogens zur Erfassung elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz Bezug genommen (s. Fragebogenteil XIV EMF im Anhang). Darüber hinaus wurde der Zusatzbogen Elektrotechnik (s. Anhang) ausgewertet und in den kombinierten EMF-Gesamtscore einbezogen. Als exponiert galten alle Personen, deren nach Intensität, Dauer und Entfernung gewichteter kombinierter Gesamtscore über alle EMF-Quellen (vgl. 2.1.5.2) größer als Null war. Als nicht exponiert galten alle jeweils in einer Berufs-/Branchengruppe niemals exponierten.

Die Auswertung nach Berufen erfolgte auf der Grundlage der Angaben in der Berufsbiographie, wobei alle Angaben zu Haupttätigkeiten gezählt wurden, soweit die entsprechende Berufsphase kumulativ mindestens 6 Monate dauerte. Die Berufsbezeichnungen wurden nach der International Standardclassification of Occupations (ISCO) (1968) kodiert. Für jede Berufsgruppe wurde eine 0-/1-Variable gebildet, die den Wert 1 bekam, wenn eine Person jemals in der Gruppe beschäftigt war und den Wert 0 erhielt, wenn die Person nie in einem Beruf der entsprechenden Gruppe tätig war. Dadurch konnte eine Person in mehreren Gruppen gezählt werden, in jeder Gruppe jedoch nur einmal.

#### 2.1.5.5 Statistische Analyse

Von den insgesamt 918 gültigen Kontrollinterviews wurden für die statistischen Analysen 121 (13%) Interviews ausgeschlossen, wenn in den jeweiligen Strata (5-Jahres-Altersgruppe, Wohnregion) keine Fallinterviews vorlagen, so dass sich die Auswertungen der Fragebogendaten sich auf 269 Fallinterviews und 797 Kontrollinterviews von Männern im Alter zwischen 15 und unter 65 Jahre beziehen.

Als Maß zur Abschätzung des Krebsrisikos dient das Relative Risiko (RR); es beschreibt die Änderung der Erkrankungswahrscheinlichkeit bei vorliegender Exposition. Zur Schätzung dieses Relativen Risikos wird in Fall-Kontroll-Studien das sogenannte Odds Ratio (OR) verwendet. Ein Odds Ratio  $>1$  ( $<1$ ) weist auf einen Faktor hin, der das Erkrankungsrisiko erhöht (vermindert).

Die statistischen Analysen erfolgten - gematcht nach Alter (5-Jahres-Altersgruppen) und Wohnregion (5 Strata) - mittels multipler bedingter logistischer Regression. Die bedingte logistische Regression wurde mittels der Prozedur PROC PHREG aus dem Programmpaket SAS 6.11 (1996) durchgeführt. In jeder Analyse dienten die jeweils Nicht-Exponierten als Referenzgruppe. Die aus diesen Schätzern ermittelten ORs werden gemeinsam mit ihrem 95%-Konfidenzintervall (95%CI) angegeben.

Entsprechend wurden für jede EMF-Quelle ORs (jemals versus niemals exponiert) und korrespondierende 95% Konfidenzintervalle berechnet. Um Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu analysieren, wurden die kumulativen Gesamtscores der einzelnen EMF-Quellen ( $CE_{CUM}$ )

anhand der empirischen Verteilung der Scores der Kontrollen mit vorliegender Exposition in Tertile eingeteilt. Schließlich wurde ein kombinierter Gesamtscore über alle EMF-Quellen errechnet. In jeder Analyse dienten, wie bereits dargestellt, die jeweils gegenüber einer EMF-Quelle Nicht-Exponierten als Referenzgruppe. Dies bedeutet demnach, dass die Referenzgruppe durchaus anderen EMF-Quellen gegenüber exponiert gewesen sein kann und nicht nur Personen umfasst, die niemals am Arbeitsplatz gegenüber EMF exponiert waren.

Für Seminome und Nicht-Seminome erfolgten Subgruppenanalysen. Um eine potenzielle Maskierung von Effekten durch gegenläufige Risiken gegenüber EMF und sozialer Schicht zu identifizieren, wurden auch für Blue-Collar-Workers<sup>3</sup> und White-Collar-Workers<sup>4</sup> separate Analysen durchgeführt, die als Surrogat für soziale Schicht dienten. Die Variable Soziale Schicht wurde für diese Auswertung nicht genutzt, da auf Basis der vorhandenen Daten nicht beurteilt werden konnte, ob sich Responder und Non-Responder in der Kontrollgruppe von der Sozialen Schicht her unterschieden und ein Selektionsbias bezüglich Sozialer Schicht vorlag.

Die Untersuchung unterschied zwischen Probanden, die nur in White-Collar-Jobs gearbeitet hatten und Probanden, die entweder vorwiegend oder zu irgendeinem Zeitpunkt einmal Blue-Collar-Jobs ausgeübt hatten. Die Auswertung nach Blue- und White-Collar-Workers erfolgte auf der Grundlage der Angaben in der Berufsbiographie, wobei alle Angaben zu Haupt- und eventuellen Nebentätigkeiten gezählt wurden, soweit die entsprechende Berufsphase kumulativ mindestens 6 Monate dauerte. Als Referenzgruppe für die Berechnung der Odds Ratios dienten jeweils diejenigen Probanden, die nie in der betreffenden Berufs- oder Branchengruppe tätig waren.

Darüber hinaus wurden auf Basis der expertengestützten Einzelbewertung zu Radar ORs (jemals versus niemals exponiert) und korrespondierende 95% Konfidenzintervalle (95% CI) berechnet. In einem zweiten Schritt wurden die Expositionsscores für die gewichtete Dauer ( $WD_{\text{Radar}}$ ) sowie die kumulative Dosis der Radarexposition ( $CE_{\text{Radar}}$ ) ermittelt. Hierbei wurde anhand der empirischen Verteilung der Scores der Kontrollen mit vorliegender Exposition zwischen niedrig und hochexponierten Personen unterschieden (Trennung am Median).

Ausgehend von der Annahme, dass EMF-Expositionen, die unmittelbar vor Diagnosestellung stattfanden, das Erkrankungsrisiko kaum beeinflusst haben, wurde für den Bereich der Radarexpositionen zusätzlich explorativ untersucht, ob sich bei Berücksichtigung einer Latenzzeit von 5 Jahren relevante Veränderungen im Risiko ergaben. Eine Literaturrecherche zur Latenzzeit von Hodenkrebs und EMF-Expositionen brachte keine Erkenntnisse hierzu. Es gibt jedoch Hinweise in der Literatur, die zeigen, dass die Effektschätzer für Hirntumoren im

---

<sup>3</sup> Blue-Collar-Workers sind Arbeitnehmer, die vorwiegend in der Produktion tätig sind und häufig schwere körperliche Arbeit verrichten.

<sup>4</sup> White-Collar-Workers sind Arbeitnehmer, die im Dienstleistungsgewerbe, technisch-wissenschaftlichen Bereich oder anderen Arbeitsbereichen tätig sind, wo sie keine schwere körperliche Arbeit verrichten.



Kontext beruflicher EMF-Expositionen nach einer Latenzzeit von 5 Jahren vor Diagnose leicht anstiegen (Guénel et al., 1996). Darauf bezugnehmend wurden bei dieser explorativen Auswertung nur diejenigen Berufsphasen berücksichtigt, die 5 Jahre vor Diagnose bzw. 5 Jahre vor dem Interviewdatum einer Kontrollperson lagen.

Für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition wurden mittels der unbedingten logistischen Regression (SPSS, 1999) ORs und korrespondierende 95% Konfidenzintervalle (95%CI) berechnet. Anhand der empirischen Verteilung der Scores (kombinierter Gesamtscore über alle EMF-Quellen am Arbeitsplatz) der Kontrollen mit vorliegender Exposition wurde zwischen niedrig- und hochexponierten Personen unterschieden (Trennung am Median). Als Referenzgruppe dienten die Probanden, die in der betreffenden Berufsgruppe tätig und nie exponiert waren. In der Gruppe der Elektriker, die in nahezu 100% EMF-Expositionen angaben, wurden die nicht exponierten und niedrig exponierten Elektriker zusammengefasst und als Referenzgruppe den hoch exponierten Elektrikern gegenübergestellt (von 135 Elektrikern berichteten nur 3 drei Männer keine EMF-Expositionen).

## 2.2 Ergebnisse

### 2.2.1 Demographische Angaben

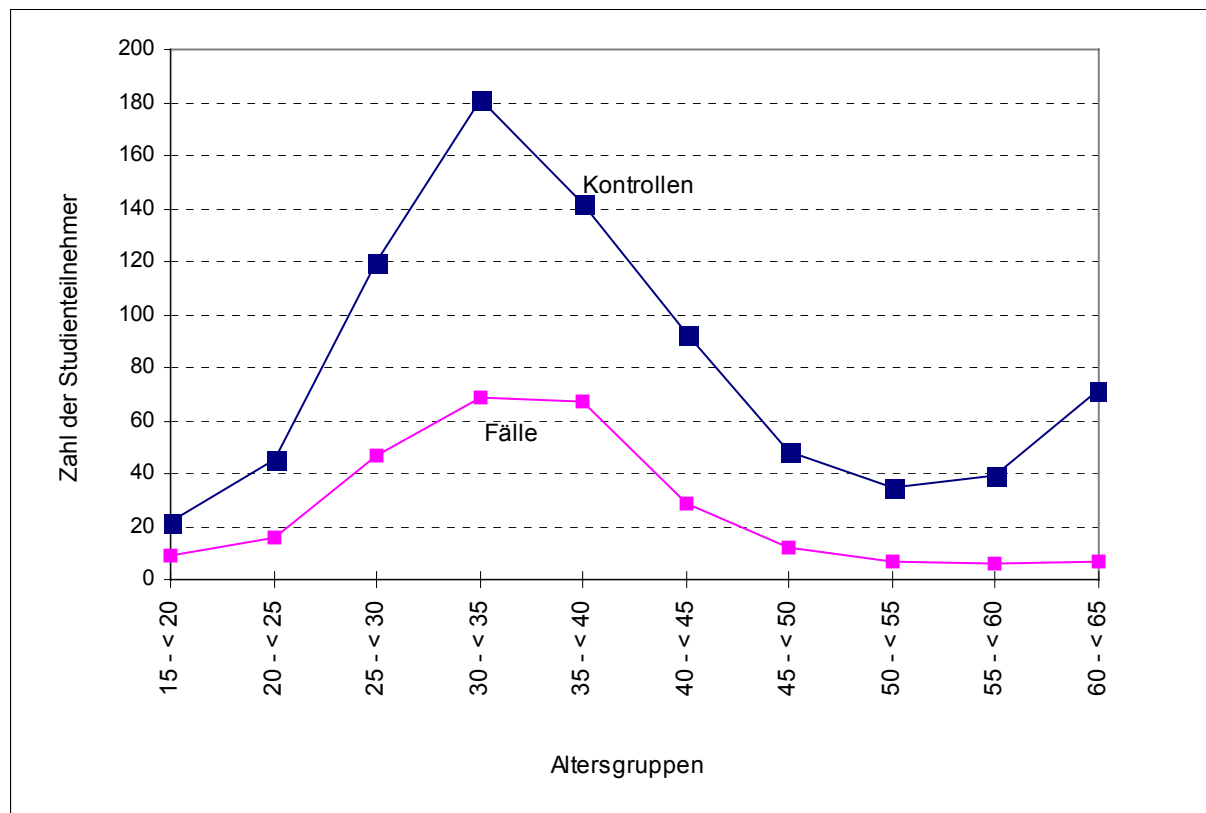
**Tabelle 2.8:** Alter der Studienteilnehmer nach 5-Jahres-Altersgruppen

Alter (Jahre)	Kontrollen (N=797)		Fälle (N=269)	
	N	%	N	%
15 bis unter 20	22	2.8	9	3.3
20 bis unter 25	45	5.6	16	5.9
25 bis unter 30	120	15.1	47	17.5
30 bis unter 35	181	22.7	69	25.7
35 bis unter 40	142	17.8	67	24.9
40 bis unter 45	93	11.7	29	10.8
45 bis unter 50	48	6.0	12	4.5
50 bis unter 55	35	4.4	7	2.6
55 bis unter 60	39	4.9	6	2.2
60 bis unter 65	72	9.0	7	2.6

Tabelle 2.8 und Abbildung 2.1 zeigen das Alter der Studienteilnehmer nach 5-Jahres-Altersgruppen. Bei insgesamt gut übereinstimmender Altersverteilung zwischen Fällen und Kontrollen ist die Altersgruppe der 35 bis unter 40jährigen Fälle etwas stärker besetzt als die entsprechende Altersgruppe der Kontrollen (24,9% gegenüber 17,8%). In den älteren Altersgruppen ist der Anteil von Kontrollen gegenüber den Fällen erwartungsgemäß höher, da

hier ein höheres Matching-Verhältnis gewählt wurde, um auch in diesen zahlenmäßig geringer besetzten Altersgruppen eine ausreichende Power zu erreichen.

**Abbildung 2.1:** Alter der Studienteilnehmer nach 5-Jahres-Altersgruppen



Was den Schul- und Ausbildungsabschluss anbetrifft, so finden wir bei den Fällen einen geringfügig höheren Anteil mit qualifizierten Abschlüssen als bei den Kontrollen (s. Tabelle 2.9). Der Anteil von Fällen mit Abitur liegt bei 34.6% gegenüber 27.2% bei den Kontrollen. Bei den Ausbildungsabschlüssen finden wir mehr Fälle mit Fachhochschulabschluss als Kontrollen (9.3% bei Fällen gegenüber 5.8% bei Kontrollen).

Die Unterschiede zwischen Fällen und Kontrollen sind, was die Ausbildungsabschlüsse betrifft, auch in den nach Alter und Region stratifizierten ORs erkennbar (s. Tabelle 2.9). Erhöhte ORs finden wir für Ausbildungsabschlüsse mit Lehre (OR=1.6;95%CI=0.92;2.58), Fachschule (1.3;95%CI=0.75;2.22), Fachhochschule (OR=2.2;95%CI=1.13;4.37) und Universität (OR=1.3; 95%CI= 0.70;2.29).

Die aus den Dimensionen höchster Schul- und höchster Ausbildungsabschluss gebildete Variable Soziale Schicht in den Ausprägungen niedrig, mittel und hoch zeigt ein leicht erhöhtes, jedoch auf dem 5%-Niveau nicht signifikantes OR für hohe Soziale Schicht (OR=1.3; 95%CI=0.87;1.86).

**Tabelle 2.9:** Angaben zur Ausbildung und Sozialen Schicht von Fällen und Kontrollen

Merkmal	Kontrollen (N=797)		Fälle (N=269)		Odds Ratios stratifiziert*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Höchster Schulabschluss</b>						
Ohne/ Volks-/Hauptschule	298	37.4	88	32.7	1.0	( ; )
Mittlere Reife/ Realschule	186	23.3	61	22.7	0.8	(0.57;1.24)
Fachschule/Fachhochschule	75	9.4	25	9.3	1.0	(0.57;1.63)
Abitur	217	27.2	93	34.6	1.0	(0.70;1.47)
Anderer	20	2.5	2	0.7	0.3	(0.07;1.31)
Keine Angaben	1	0.1	0	0	-	-
<b>Höchster Ausbildungsabschluss</b>						
ohne	95	11.9	24	8.9	1.0	( ; )
Lehre	391	49.1	137	50.9	1.6	(0.92;2.58)
Fachschule	94	11.8	27	10.0	1.3	(0.75;2.22)
Fachhochschule	46	5.8	25	9.3	2.2	(1.13;4.37)
Universität	108	13.6	37	13.8	1.3	(0.70;2.29)
Anderer	63	7.9	19	7.1	0.7	(0.34;1.44)
Keine Angaben	0	0	0	0	-	-
<b>Soziale Schicht **</b>						
1-3 (niedrig)	302	37.9	86	32.0	1.0	( ; )
4-6 (mittel)	326	40.9	112	41.6	1.0	(0.68;1.33)
7-8 (hoch)	161	20.2	69	25.7	1.3	(0.87;1.86)
Nicht bestimmbar	8	1.0	2	0.7	-	-

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

\*\* Zweidimensionaler Index mit den Dimensionen höchster Schul- und höchster Ausbildungsabschluss nach Jöckel et al. (1998)

### 2.2.2 EMF-Expositionen am Arbeitsplatz

Tabelle 2.10 zeigt die Prävalenzen für die fünf untersuchten EMF-Expositionsquellen für jemals vs. niemals exponierte Studienteilnehmer. Erwartungsgemäß ist Expositionsquelle 1 (Arbeit in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen und am Bildschirm) am häufigsten besetzt. Die Prävalenz beträgt unter den Fällen 44.6% und unter den Kontrollen 45.4% (OR=0.9;95%CI=0.67;1.21). An zweiter Stelle stehen die elektrischen Maschinen, es folgt die Arbeit mit Funkgeräten, Funktelefonen oder ähnlichen Apparaten, die Arbeit in der Nähe von Hochspannungsleitungen und Radaranlagen. Die Prävalenz für die Arbeit in der Nähe von Radargeräten beträgt unter den Fällen 8.2% und unter den Kontrollen 7.3% (OR=1.0;95%CI=0.60;1.75). Im Gegensatz zu unserer A-priori-Hypothese finden wir für Arbeit in der Nähe von Radargeräten kein erhöhtes Risiko. Sämtliche ORs liegen unter bzw. bei 1.

**Tabelle 2.10:** Prävalenzen, ORs und 95%CI für die fünf untersuchten EMF-Expositionsquellen am Arbeitsplatz (jemals vs. niemals exponiert)

Hodenkrebs Jemals vs. niemals exponiert	Kontrollen (N=797)		Fälle (N=269)		Odds Ratios stratifiziert*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Expositionsquellen						
Arbeit in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen und am Bildschirm	362	45.4	120	44.6	0.9	(0.67;1.21)
Arbeit in der Nähe von Hochspannungsanlagen, Transformatoren und Transformatorenstationen	77	9.7	17	6.3	0.7	(0.38;1.18)
Arbeit mit Funkgeräten, Funktelefonen oder ähnlichen Apparaten	166	20.8	50	18.6	0.9	(0.60;1.24)
Arbeit in der Nähe elektrischer Maschinen (inkl. medizinischer Anlagen)	283	35.5	88	32.7	1.0	(0.72;1.33)
Arbeit in der Nähe von Radargeräten	58	7.3	22	8.2	1.0	(0.60;1.75)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

Tabelle 2.11 zeigt, dass die Gewichtung der Angaben zu den einzelnen Expositionsquellen nach Intensität, Dauer und Nähe zur Quelle (vgl. 2.1.5.1) die Ergebnisse nur marginal ändert. Die ORs für die Gesamtexposition in den fünf gewichteten Expositionsquellen liegen ebenfalls bei 1. Es gibt keinen Hinweis auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung.

**Tabelle 2.11:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz, gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung zur Quelle

Hodenkrebs	Kontrollen (N=797)		Fälle (N=269)		Odds Ratios stratifiziert*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Arbeit in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen und am Bildschirm</b>						
Nicht exponiert	435	54.6	149	55.4	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=4)	115	14.4	38	14.1	0.9	(0.59;1.41)
2. Tertil (>4 bis <=11.5)	123	15.4	47	17.5	1.0	(0.66;1.49)
3. Tertil (>11.5 bis <=118)	124	15.6	35	13.0	0.8	(0.51;1.23)
<b>Arbeit in der Nähe von Hochspannungsanlagen, Transformatoren und Transformatorenstationen</b>						
Nicht exponiert	735	92.2	256	95.2	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=18)	22	2.8	3	1.1	0.4	(0.11;1.31)
2. Tertil (>18 bis <=102)	19	2.4	7	2.6	1.1	(0.42;2.61)
3. Tertil (>102 bis <=552)	21	2.6	3	1.1	0.5	(0.14;1.75)

Fortsetzung Tabelle 2.11

Hodenkrebs	Kontrollen (N=797)		Fälle (N=269)		Odds Ratios stratifiziert*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Expositionsquellen</b>						
<b>Arbeit mit Funkgeräten, Funktelefonen oder ähnlichen Apparaten</b>						
Nicht exponiert	635	79.7	220	81.8	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=6)	52	6.5	19	7.1	1.0	(0.56;1.74)
2. Tertil (>6 bis <=15)	54	6.8	14	5.2	0.7	(0.38;1.35)
3. Tertil (>15 bis <=102)	56	7.0	16	5.9	0.9	(0.46; 1.56)
<b>Arbeit in der Nähe elektrischer Maschinen inkl. medizinischer Anlagen</b>						
Nicht exponiert	525	65.9	187	69.5	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=68)	89	11.2	37	13.8	1.2	(0.75;1.79)
2. Tertil (>68 bis <=224)	94	11.8	27	10.0	0.8	(0.52; 1.35)
3. Tertil (>224 bis <=1984)	89	11.2	18	6.7	0.8	(0.44;1.34)
<b>Arbeit in der Nähe von Radargeräten (Summe d. Expos. zu einzelnen Radargeräten)</b>						
Nicht exponiert	741	93.0	251	93.3	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=45)	17	2.1	7	2.6	1.3	(0.50;3.31)
2. Tertil (>45 bis <=135)	23	2.9	7	2.6	0.8	(0.33;1.91)
3. Tertil (>135 bis <=2225)	16	2.0	4	1.5	0.6	(0.20;1.97)
<b>Gesamtexposition (kombinierter Gesamtscore)</b>						
Nicht exponiert	226	28.4	82	30.5	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=16.5)	192	24.1	80	29.7	1.1	(0.75;1.64)
2. Tertil (>16.5 bis <=107)	189	23.7	62	23.0	0.9	(0.60;1.36)
3. Tertil (>107 bis <=2249)	190	23.8	45	16.7	0.7	(0.47;1.14)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24,...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

Separate Analysen für Seminome und Nicht-Seminome sowie für White- und Blue-Collar-Workers verändern die Ergebnisse ebenfalls nicht nennenswert (s. Tabellen 2.12 und 2.13).

**Tabelle 2.12:** ORs und 95% CI für Seminome und Nicht-Seminome  
EMF-Exposition am Arbeitsplatz, gewichtet nach Intensität, Dauer  
und Entfernung von der Quelle (Gesamtscore aller EMF-Expositionen)

Hodenkrebs	Kontrollen		Fälle		Odds Ratios stratifiziert*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Seminome</b>						
Gesamtscore aller EMF-Expositionen	N=725		N=170		stratifiziert*	
Nicht exponiert	199	27.4	51	30.0	1.0	( . ; . )
1. Tertil (>0 bis <=16.5)	182	25.1	47	27.6	1.0	( 0.60; 1.55)
2. Tertil (>16.5 bis <=107)	176	24.3	37	21.8	0.8	( 0.47; 1.27)
3. Tertil (>107 bis <=2249)	168	23.2	35	20.6	0.8	( 0.47; 1.27)
<b>Nicht-Seminome</b>						
Gesamtscore aller EMF-Expositionen	N=682		N=99		Odds Ratios stratifiziert*	
Nicht exponiert	186	27.3	31	31.3	1.0	( . ; . )
1. Tertil (>0 bis <=16.5)	173	25.4	33	33.3	1.4	( 0.81; 2.59)
2. Tertil (>16.5 bis <=107)	169	24.8	25	25.3	1.2	( 0.67; 2.23)
3. Tertil (>107 bis <=2249)	154	22.6	10	10.1	0.6	( 0.28; 1.35)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

**Tabelle 2.13:** ORs and 95%CI für Blue- und White-Collar-Workers  
EMF-Exposition am Arbeitsplatz, gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung von der Quelle (Gesamtscore aller EMF-Expositionen)

<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen</b>		<b>Fälle</b>		<b>Odds Ratios</b>	
<b>Blue-Collar-Workers</b>	N=534		N=179		stratifiziert*	
Gesamtscore aller EMF-Expositionen	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	136	25.5	54	30.2	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=16.5)	86	16.1	40	22.3	1.2	( 0.71; 2.03)
2. Tertil (>16.5 bis <=107)	133	24.9	43	24.0	0.8	( 0.49; 1.34)
3. Tertil (>107 bis <=2249)	179	33.5	42	23.5	0.6	( 0.40; 1.05)
<b>White-Collar-Workers</b>	N=263		N=90		Odds Ratios stratifiziert*	
Gesamtscore aller EMF-Expositionen	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	90	34.2	28	31.1	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=16.5)	106	40.3	40	44.4	1.1	( 0.60; 2.18)
2. Tertil (>16.5 bis <=107)	56	21.3	19	21.1	1.1	( 0.52; 2.33)
3. Tertil (>107 bis <=2249)	11	4.2	3	3.3	1.1	( 0.26; 4.87)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

Wie aus dem Vergleich der Tabellen 2.14 und 2.15 hervorgeht, finden wir bei Blue-Collar-Workers in allen Arbeitsbereichen höhere Prävalenzen, ausgenommen für Tätigkeiten in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen und am Bildschirm, wo White-Collar-Workers im Vergleich deutlich häufiger Expositionen berichten als Blue-Collar-Workers (59.8% vs. 38.0%).

**Tabelle 2.14:** Prävalenzen, ORs and 95%CI für Blue-Collar-Workers nach Expositionsquelle (jemals exponiert vs. niemals exponiert)

<b>Blue-Collar-Workers</b>	<b>Kontrollen</b>		<b>Fälle</b>		<b>Gesamt</b>		<b>Odds Ratios</b>	
	N=534		N=179		N=713		stratifiziert*	
<b>Expositionsquellen</b>	N	%	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Arbeit in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen und am Bildschirm</b>								
Nicht exponiert	327	61.2	115	64.2	442	62.0	1.0	( ; )
Exponiert	207	38.8	64	35.8	271	38.0	0.8	(0.57; 1.21)
<b>Arbeit in der Nähe von Hochspannungsanlagen, Transformatoren und Transformatorenstationen</b>								
Nicht exponiert	465	87.1	164	91.6	629	88.2	1.0	( ; )
Exponiert	69	12.9	15	8.4	84	11.8	0.7	(0.36; 1.20)
<b>Arbeit mit Funkgeräten, Funktelefonen oder ähnlichen Apparaten</b>								
Nicht exponiert	409	76.6	147	82.1	556	78.0	1.0	( ; )
Exponiert	125	23.4	32	17.9	157	22.0	0.7	(0.46; 1.13)
<b>Arbeit in der Nähe elektrischer Maschinen inkl. medizinischer Anlagen</b>								
Nicht exponiert	273	51.1	100	55.9	373	52.3	1.0	( ; )
Exponiert	261	48.9	79	44.1	340	47.7	0.8	(0.59; 1.22)
<b>Arbeit in der Nähe von Radargeräten (Summe der Exp. zu einzelnen Radargeräten)</b>								
Nicht exponiert	492	92.1	161	89.9	653	91.6	1.0	( ; )
Exponiert	42	7.9	18	10.1	60	8.4	1.1	(0.57; 1.94)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

Höhere Prävalenzen finden wir bei Blue-Collar-Workers insbesondere für Tätigkeiten in der Nähe elektrischer Maschinen inkl. medizinischer Geräte (47.7% vs. 8.8%).

**Tabelle 2.15:** Prävalenzen, ORs and 95%CI für White-Collar-Workers nach Expositionsquelle (jemals exponiert vs. niemals exponiert)

White-Collar-Workers	Kontrollen (N=263)		Fälle (N=90)		Gesamt (N=353)		Odds Ratios Stratifiziert*	
	N	%	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Arbeit in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen und am Bildschirm</b>								
Nicht exponiert	108	41.1	34	37.8	142	40.2	1.0	(;)
Exponiert	155	58.9	56	62.2	211	59.8	1.1	(0.64; 1.99)
<b>Arbeit in der Nähe von Hochspannungsanlagen, Transformatoren und Transformatorenstationen</b>								
Nicht exponiert	255	97.0	88	97.8	343	97.2	1.0	(;)
Exponiert	8	3.0	2	2.2	10	2.8	0.7	(0.11; 3.79)
<b>Arbeit mit Funkgeräten, Funktelefonen oder ähnlichen Apparaten</b>								
Nicht exponiert	222	84.4	72	80.0	294	83.3	1.0	(;)
Exponiert	41	15.6	18	20.0	59	16.7	1.2	(0.61; 2.28)
<b>Arbeit in der Nähe elektrischer Maschinen inkl. medizinischer Anlagen</b>								
Nicht exponiert	241	91.6	81	90.0	322	91.2	1.0	(;)
Exponiert	22	8.4	9	10.0	31	8.8	1.6	(0.66; 3.84)
<b>Arbeit in der Nähe von Radargeräten</b> (Summe der Expositionen zu einzelnen Radargeräten)								
Nicht exponiert	247	93.9	86	95.6	333	94.3	1.0	(;)
Exponiert	16	6.1	4	4.4	20	5.7	0.8	(0.23; 2.44)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

Die im Kontext von EMF-Expositionen beobachteten ORs variieren um 1.0, bei Blue-Collar-Workers zwischen 0.7 und 1.1, bei White-Collar-Workers liegen sie zwischen 0.7 und 1.2 mit Ausnahme von Tätigkeiten in der Nähe elektrischer Maschinen (inkl. medizinischer Geräte), wo wir bei White-Collar-Workers ein OR von 1.6 (95%CI=0.66;3.84) finden. Die Zahl der exponierten Studienteilnehmer ist in dieser Kategorie allerdings sehr gering (9 Fälle, 22 Kontrollen).

Die Tabellen 2.16 und 2.17 zeigen die Ergebnisse der expertengestützten Einzelbewertung zu Radar. 4 Fälle und 27 Kontrollen wurden von den Experten als exponiert eingestuft (s. Tabelle 2.16). Die Prävalenz beträgt unter den Fällen 1.5% und unter den Kontrollen 3.4%. Das nach Alter stratifizierte OR (jemals vs. niemals exponiert) liegt bei 0.4 (95%CI= 0.13;1.16). Auch alle weiteren ORs liegen unter 1. Weder die gewichtete Dauer, noch die zusätzliche Berücksichtigung der Expositionsintensität und Entfernung erhöhen die Effektschätzer. Die Ergebnisse beruhen allerdings auf sehr wenigen exponierten Fällen und Kontrollen. Expositionen gegenüber Mikrowellengeräten wurden, wie bereits oben berichtet, weder bei Fällen noch Kontrollen vorgefunden. Analysen unter Berücksichtigung einer Latenzzeit von 5 Jahren verändern die Ergebnisse ebenfalls nicht nennenswert (s. Tabelle 2.17).

**Tabelle 2.16:** Prävalenzen, ORs and 95% bei expertengestützter Quantifizierung der Radarexposition am Arbeitsplatz

Hodenkrebs	Kontrollen (N=797)		Fälle (N=269)		Odds Ratios stratifiziert*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Jemals vs. niemals radarexponiert</b>						
Nicht exponiert	770	96.6	265	98.5	1.0	(. ; .)
Exponiert	27	3.4	4	1.5	0.4	( 0.13; 1.16)
<b>Gewichtete Dauer <math>WD_{\text{Radar}}</math> **</b>	N	pct	N	pct	OR	95%CI
Niedrige Exposition ( $WD_{\text{Radar}} >0$ bis $\leq 45$ )	14	1.8	3	1.1	0.5	( 0.14; 1.82)
Hohe Exposition ( $WD_{\text{Radar}} >45$ )	13	1.6	1	0.4	0.2	( 0.03; 1.89)
<b>Kumulative Dosis der Radarexposition <math>CE_{\text{Radar}}</math> ***</b>	N	pct	N	pct	OR	95%CI
Niedrige Exposition ( $CE_{\text{Radar}} >0$ bis $\leq 20$ )	14	1.8	3	1.1	0.5	( 0.15; 1.99)
Hohe Exposition ( $CE_{\text{Radar}} >20$ )	13	1.6	1	0.4	0.2	( 0.03; 1.68)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

\*\* Gewichtete Dauer ( $WD_{\text{Radar}}$ ) = Häufigkeit · Arbeitsstunden · Jahre

\*\*\* Kumulative Dosis der Radarexposition ( $CE_{\text{Radar}}$ ) = Intensität ·  $WD_{\text{Radar}}$  · (1/Entfernung)<sup>2</sup>

**Tabelle 2.17:** Prävalenzen, ORs and 95% CI bei expertengestützter Quantifizierung der Radarexposition am Arbeitsplatz und Berücksichtigung einer Latenzzeit von 5 Jahren

Hodenkrebs	Kontrollen (N=797)		Fälle (N=269)		Odds Ratios Stratifiziert*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Jemals vs. niemals radarexponiert</b>						
Nicht exponiert	772	96.9	265	98.5	1.0	(. ; .)
Exponiert	25	3.1	4	1.5	0.4	( 0.14; 1.26)
<b>Gewichtete Dauer <math>WD_{\text{Radar}}</math> **</b>	N	pct	N	pct	OR	95%CI
Niedrige Exposition ( $WD_{\text{Radar}} >0$ bis $\leq 50$ )	13	1.6	3	1.1	0.6	( 0.15; 2.05)
Hohe Exposition ( $WD_{\text{Radar}} >50$ )	12	1.5	1	0.4	0.3	( 0.03; 1.99)
<b>Kumulative Dosis der Radarexposition <math>CE_{\text{Radar}}</math> ***</b>	N	pct	N	pct	OR	95%CI
Niedrige Exposition ( $CE_{\text{Radar}} >0$ bis $\leq 20$ )	13	1.6	3	1.1	0.6	( 0.15; 2.05)
Hohe Exposition ( $CE_{\text{Radar}} >20$ )	12	1.5	1	0.4	0.3	( 0.03; 2.00)

\* ORs und 95%CI basieren auf einer nach 5-Jahres-Altersgruppen (15-19, 20-24, ...65-69) und Wohnregion (5 Strata) gematchten Analyse

\*\* Gewichtete Dauer ( $WD_{\text{Radar}}$ ) = Häufigkeit · Arbeitsstunden · Jahre

\*\*\* Kumulative Dosis der Radarexposition ( $CE_{\text{Radar}}$ ) = Intensität ·  $WD_{\text{Radar}}$  · (1/Entfernung)<sup>2</sup>



2.2.3 Relative Risiken für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition

Die in Tabelle 2.18 dargestellten Prävalenzen und Risiken zu Berufen/Berufsgruppen beruhen auf den kombinierten Gesamtscores zu EMF am Arbeitsplatz (Fragebogenteil XIV zu EMF) unter Einbeziehung der Antworten im Zusatzfragebogen Elektrotechnik (s. Anhang). In einigen Berufen/Berufsgruppen sind die Zahlen bei Fällen und Kontrollen so niedrig, dass eine Interpretation der Risiken durch EMF-Exposition nicht möglich ist. Dies gilt für den Bereich der Stromanlagenbediener (0 Kontrollen, 0 Fälle), Radaranlagenbediener (4 Kontrollen, 3 Fälle) sowie für Seeleute/Fischer (13 Kontrollen, 2 Fälle).

**Tabelle 2.18:** ORs und 95% CI für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition  
EMF-Exposition gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung zur Quelle

Hodenkrebs Exposition in Berufen/ Berufsgruppen (Hauptberuf)	Kontrollen		Fälle		Odds Ratios*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Elektriker</b>	106	100.0	29	100.0		
nicht/niedrig exponiert (0 bis <=44)	42	39.6	13	44.8	1.0	( ; )
Hoch exponiert (>44 bis <=2249)	64	60.4	16	55.2	0.8	(0.35;1.90)
<b>Stromanlagen- bediener</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>OR</b>	<b>95%CI</b>
Nicht exponiert	0	100.0	0	100.0		
Niedrig exponiert (>0bis <=44)	0	0.0	0	0.0	ORs nicht berechnet	
Hoch exponiert (>44 bis <=2249)	0	0.0	0	0.0		
<b>Radaranlagen- bediener</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>N</b>	<b>0.0</b>	<b>OR</b>	<b>95%CI</b>
Nicht exponiert	4	100.0	3	100.0		
Niedrig exponiert (>0bis <=44)	0	0.0	0	0.0	ORs nicht berechnet	
Hoch exponiert (>44 bis <=2249)	1	25.0	0	0.0		
<b>Seeleute/ Fischer</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>OR</b>	<b>95%CI</b>
Nicht exponiert	13	100.0	2	100.0		
Niedrig exponiert (>0bis <=44)	2	15.4	0	0.0	ORs nicht berechnet	
Hoch exponiert (>44 bis <=2249)	2	15.4	0	0.0		
<b>Gesundheitsberufe, Zahn- ärzte/Zahnarthelferinnen/ Zahntechniker</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>OR</b>	<b>95%CI</b>
Nicht exponiert	39	100.0	19	100.0		
Niedrig exponiert (>0bis <=44)	17	43.6	7	36.8	1.0	( ; )
Hoch exponiert (>44 bis <=2249)	11	28.2	6	31.6	1.3	(0.34;5.15)
<b>Verwaltungspersonal/ Management</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	<b>OR</b>	<b>95%CI</b>
Nicht exponiert	11	28.2	6	31.6	1.8	(0.42;7.66)
Niedrig exponiert (>0bis <=44)	268	100.0	81	100.0		
Hoch exponiert (>44 bis <=2249)	50	18.7	11	13.6	1.0	( ; )
Niedrig exponiert (>0bis <=44)	151	56.3	58	71.6	1.5	(0.71;3.12)
Hoch exponiert (>44 bis <=2249)	67	25.0	12	14.8	0.8	(0.33;2.04)

\* Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen) und Wohnregion (5 Strata)

In der Gruppe der hauptberuflich tätigen Elektriker, in der nur 2 von 106 Kontrollen und 1 von 29 Fällen keine EMF-Expositionen im Fragebogenteil EMF und/oder im Zusatzfragebogen Elektrotechnik berichteten, zeigt sich bei hoher EMF-Exposition (Referenzgruppe: Keine oder niedrige EMF-Exposition) ein erniedrigtes Erkrankungsrisiko (OR=0.8;95%CI=0.35;1.90).

Im Bereich der Gesundheitsberufe/Zahnärzte/Zahnarzthelferinnen/Zahntechniker (39 Kontrollen, 19 Fälle) finden wir bei Kontrollen eine Prävalenz von 56.4%, bei Fällen von 63.2%. Das OR für niedrige EMF-Expositionen liegt bei 1.3 (95%CI=0.34;5.15), für hohe Expositionen bei 1.8 (95%CI=0.42;7.66).

Im Bereich der Verwaltung und des Managements, dem am häufigsten besetzten Arbeitsbereich (268 Kontrollen, 81 Fälle), finden wir erwartungsgemäß eine hohe Prävalenz, 86.4% bei Fällen, 81.3% bei Kontrollen. Bei niedriger EMF-Exposition wurde ein OR von 1.5 (95%CI=0.71;3.12) beobachtet, bei hoher EMF-Exposition ein OR von 0.8 (95%CI=0.33;2.04).

## 2.3 Diskussion

### *Bias und Confounding*

Die Response-Proportion der gemeldeten Fälle betrug mehr als 75 % und ist daher als gut bis sehr gut zu beurteilen. Die angestrebten Fallzahlen wurden nicht zuletzt deshalb ohne Probleme erreicht, weil das Fallaufkommen höher war als es die zugrundegelegte Hochrechnung der saarländischen Krebsregisterdaten erwarten ließ.

Die Response der Kontrollen liegt mit 57% nur im mittleren Bereich der bisher in vergleichbaren Studien in Deutschland erreichten Proportionen, obwohl alle bekannten Mittel zur Steigerung der Response (Incentives, mehrfacher Telefonkontakt und Erinnerungsschreiben sowie Hausbegehungen) eingesetzt wurden. Möglicherweise spielt hier ein zeitlicher Trend hin zu geringerer Teilnahmereitschaft eine Rolle. Zusätzlich sind weitere Erklärungsmöglichkeiten in Betracht zu ziehen wie z.B. die Tatsache, dass im Rahmen der vorliegenden Studien ganz überwiegend Großstadtbevölkerungen eingeschlossen wurden, die vermutlich eine unterdurchschnittliche Teilnahmereitschaft bei überdurchschnittlicher Mobilität aufweisen. In diesem Zusammenhang muss hervorgehoben werden, dass ein besonderes Problem der hohe Anteil nicht erreichter Kontrollpersonen war, bei denen nicht bekannt ist, ob es sich hierbei z.B. um veraltete oder fehlerhafte Adressen handelt.

In Anbetracht der vergleichsweise niedrigen Response der Kontrollen kommt der Frage, ob in dieser Studie ein Selektionsbias bzw. Confounding vorliegt, eine besondere Rolle zu. Soziale Schicht muss zweifellos als potenzieller Confounder betrachtet werden. Eine Reihe von Studien zeigt, dass höhere Soziale Schicht positiv mit Hodenkrebs assoziiert ist (Pearce et al. 1987; Swerdlow und Skeet, 1988; Swerdlow et al., 1991), während andere Studien nur eine

leichte oder keine Assoziation zeigen (Møller und Skakkebaek, 1996; Prener et al., 1992; UK Testicular Cancer Study Group, 1994). In unserer Studie finden wir, was den Schul- als auch Ausbildungsabschluss anbetrifft, einen geringfügig höheren Anteil qualifizierter Abschlüsse bei Fällen als bei Kontrollen. Die aus den Dimensionen höchster Schul- und höchster Ausbildungsabschluss gebildete Variable Soziale Schicht zeigt für die Ausprägung hohe Soziale Schicht ein OR von 1.3 (95%CI=0.87;1.86).

Da auf Basis der vorhandenen Daten nicht beurteilt werden kann, ob sich Responder und Non-Responder in der Kontrollgruppe von der Sozialen Schicht her unterscheiden, wurde für Soziale Schicht kontrolliert, indem für Blue- und White-Collar-Workers, die u.a. als Surrogat für Soziale Schicht dienen können, separate Analysen durchgeführt wurden. Es ist davon auszugehen, dass es sich bei den Tätigkeiten von Blue- und White-Collar-Workers in einigen Arbeitsbereichen um qualitativ unterschiedliche Belastungen handelt, d.h. der gleiche Arbeitsbereich beinhaltet für Blue-Collar-Workers zum Teil andere Tätigkeiten als für White-Collar-Workers. Während die Arbeit in der Nähe elektrischer Maschinen inkl. medizinischer Anlagen bei Blue-Collar-Workers beispielsweise Tätigkeiten mit Werkzeugmaschinen oder an Hochöfen umfasst, sind White-Collar-Workers in dieser Kategorie eher in der Nähe medizinischer Geräte tätig. Insgesamt zeigen sich in den Auswertungen für die beiden Untergruppen jedoch keine substantiellen Unterschiede in den Effektschätzern. Die beobachteten ORs variieren um 1.0 mit Ausnahme von Tätigkeiten in der Nähe elektrischer Maschinen (inkl. medizinischer Geräte), wo wir bei White-Collar-Workers ein OR von 1.6 (95%CI=0.66;3.84) finden. Die Zahl der exponierten Studienteilnehmer ist in dieser Kategorie allerdings sehr gering und der Effektschätzer unpräzise. Vor diesem Hintergrund ist es unwahrscheinlich, dass eine potenzielle Maskierung von Effekten durch gegenläufige Risiken gegenüber EMF und sozialer Schicht vorliegt und Confounding durch Soziale Schicht im Kontext dieser Untersuchungen zu EMF am Arbeitsplatz eine wichtige Rolle spielt.

#### *Interpretation der Ergebnisse vor dem Hintergrund bisheriger Studien*

Wiederholt wurde in den letzten Jahrzehnten der Frage nachgegangen, ob die Tätigkeit in Berufen, in denen typischerweise Expositionen gegenüber Radar oder anderen elektromagnetischen Feldern vorkommen, mit einem erhöhten Risiko für Hodentumoren verbunden ist (Davis et al. 1993; Finkelstein, 1998; Floderus et al., 1996; Hardell et al., 1998; Hayes et al., 1990; Knoke et al., 1998; McDowell an Balarajan, 1986; Pearce et al., 1987, 1989; Ryder et al., 1997; Stenlund und Floderus, 1997; Swerdlow und Skeet, 1988; Swerdlow et al., 1991; Törnquist et al., 1986; Tynes et al., 1992; Van Den Eeden et al., 1991). Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Studien und Fallberichten sind uneinheitlich, so dass bisher keine eindeutigen Zusammenhänge gesichert werden konnten; nur in wenigen Studien wurde der Zusammenhang im Detail untersucht (Floderus et al., 1996; Hardell et al., 1998; Hayes et al.,

1990; Ryder et al., 1997; Stenlund und Floderus, 1997).

*Elektronik-/Elektroindustrie/Energieversorgung*

In mehreren Studien wurden erhöhte Risiken für Hodenkrebs und eine Beschäftigung in der Elektronik-/Elektroindustrie und verwandten Berufen beobachtet (Swerdlow and Skeet, 1988; Van Den Eeden et al., 1991; Hardell et al., 1998; Knoke et al., 1998), wiederum andere Studien zeigten kein erhöhtes Risiko für diese Berufe/Branchen (McDowell und Balarajan, 1986; Pearce et al., 1989; Swerdlow et al., 1991; Tynes et al., 1992). Törnquist et al. (1986), die Krebserkrankungen in der Energieversorgung in Schweden untersuchten, berichteten über eine erhöhte SMR für Hodenkrebs bei Kraftwerksbeschäftigten; sie fanden kein erhöhtes Risiko bei Beschäftigten, die an Hochspannungs-/Überlandleitungen arbeiteten. In unserer multizentrischen Fall-Kontroll-Studie zeigte sich bei Auswertung der Zusatzbögen im Bereich der Elektrotechnik ein OR von 1.4 (95% CI=0.96;2.07). Bei Zugrundelegung des kombinierten Gesamtscores zu EMF wurde bei hoch exponierten Elektrikern im Vergleich zu nicht oder niedrig exponierten Elektrikern ein erniedrigtes Risiko gefunden (OR=0.8;95%CI=0.35;1.90).

*Berufen/Branchen, die potenziell gegenüber Mikrowellen/Radar exponiert sind*

Davis und Mostofi (1993) berichteten über eine Häufung von Hodenkrebskrankungen in einer Kohorte von Polizisten, die Radarpistolen zur Geschwindigkeitskontrolle (hochfrequente elektromagnetische Felder) im Straßenverkehr benutzten. Finkelstein (1998), der diesen Zusammenhang später in einer retrospektiven Kohortenstudie untersuchte, fand ein SIR von 1.3 (90%CI=0.89;1.84).

Immer wieder berichtet wird auch über erhöhte Hodentumorrisiken bei Militärpersonal, das einer Reihe von potenziellen Karzinogenen bzw. Copromotoren gegenüber exponiert ist. Hierzu gehören vor allem Lösemittel, aber auch elektromagnetische Felder, insbesondere Radar, sowie ionisierende Strahlung. In einer zusammenfassenden Bewertung von Studien zu Krebs bei Militärpersonal (Dubrow und Wegman, 1983) wurde für Hodenkrebs ein um 30% erhöhtes Risiko gefunden. Vier später durchgeführte Studien zeigten ebenfalls erhöhte Risiken bei Armeeingehörigen (McDowall und Balarajan, 1986; Pearce et al., 1987; Garland et al., 1988; Knoke et al., 1998), die vermutlich weniger im Zusammenhang mit Radarexpositionen standen als mit Tätigkeiten im Elektro-/Elektronikbereich und mit Expositionen gegenüber Schmier- und Lösemitteln sowie Abgasen. Swerdlow et al. (1991) fanden keine erhöhten Risiken bei Armeeingehörigen, jedoch für Tätigkeiten im Kontext nuklearer Waffentests und militärischer Forschung. Ryder et al. (1997), die in ihrer Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs beim Personal der Royal Navy über Risikoerhöhungen bei der Luftflotte der Navy, bei Flugzeugingenieuren und beim Servicepersonal am Boden berichteten, vermuten, dass Expositionen gegenüber Glykoläther im Flugbenzin für die gefundenen Risiken verantwortlich sind. Bei Schiffsoffizieren, die unserer Expositionsabschätzung nach in ihrer Berufsausübung sehr wahrscheinlich

gegenüber Radar exponiert sind, wurde ein erhöhtes Hodenkrebsrisiko gefunden (OR=2.3; 95%CI= 0.85; 6.06); bei Radartechnikern der Navy gab es in der Studie von Ryder et al. (1997) hingegen keine Hinweise auf eine Risikoerhöhung.

Insgesamt ist die Evidenz für Assoziationen zwischen EMF-Expositionen und Tätigkeiten im Bereich des Militärs eher schwach, da die überwiegende Zahl der Studien nicht über Daten zu Expositionen verfügen und die meisten Tätigkeiten, für die erhöhte Risiken berichtet werden, eher Hinweise auf andere Expositionen geben. In unserer Studie lag das ermittelte Risiko für Radarexpositionen bei 1.0 (95%CI=0.60;1.75); der Risikoschätzer nahm nach der expertengestützten Expositionseinstufung noch weiter ab (OR=0.4;95%CI=0.13;1.16). Nach allen zur Verfügung stehenden Informationen wurden im Rahmen der expertengestützten Expositionsabschätzung in unserer Studie weitaus weniger Personen als radarexponiert eingestuft als nach Selbstberichten. Dies lag zum einen daran, dass ein beträchtlicher Teil der selbstberichteten Radarexpositionen während der Militärzeit im Rahmen der automatisierten Quantifizierung fehlklassifiziert wurde. Zum anderen war eine Radarexposition an bestimmten Arbeitsplätzen, für die Expositionen berichtet wurden, vor dem Hintergrund von Messergebnissen zu diesen Arbeitsplätzen sehr unwahrscheinlich. So berichteten Männer, die am Flughafen oder in Flugzeugen tätig waren, häufig von einer Radarexposition, die aller Wahrscheinlichkeit nach aber auf das Personal beschränkt ist, welches mit der Bedienung oder Wartung von Radaranlagen beschäftigt ist. Die Prävalenz bei Fällen und Kontrollen war nach expertengestützter Expositionseinstufung beträchtlich niedriger als nach selbstberichteter Radarexposition. Sie betrug nach dem Expertenrating 1.5 Prozent bei Fällen gegenüber 8.2 Prozent selbstberichteter Expositionen, bei den Kontrollen waren es 3.4 Prozent gegenüber 7.3 Prozent.

EMF-Expositionen treten auch bei der Bedienung medizinischer Geräte und im Bereich der Zahntechnik (Einsatz von Mikrowellen bei der Zahnprothesenherstellung) auf. Bei der Diathermiebehandlung (Hochfrequenz-/Mikrowellenexposition) kann es bei unsachgemäßem Umgang mit dem Gerät zu beträchtlichen EMF-Expositionen kommen. Van Den Eeden et al. (1991) beobachteten in ihrer Fall-Kontroll-Studie ein erhöhtes Risiko für Ärzte und medizinisches Personal. Auch Pearce et al. hatten bereits 1987 über eine Risikoerhöhung für Ärzte berichtet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Risiken für den Bereich der Gesundheitsberufe/Zahnärzte/Zahnarzt-helferinnen/Zahntechniker geprüft. Wir fanden für EMF-exponierte Beschäftigte in diesen Arbeitsbereichen leicht erhöhte Effektschätzer, die für niedrige EMF-Expositionen bei 1.3 (95%CI=0.34;5.15) und hohe Expositionen 1.8 (95%CI=0.42;7.66) lagen.

### *Berufliche Expositionen gegenüber ELF*

In einer elaborierten schwedischen Fall-Kontroll-Studie zu beruflichen Expositionen gegenüber ELF und Hodenkrebs (Stenlund und Floderus, 1997), in der Berufe mit einer JEM verknüpft wurden, die auf Messungen von ELF an typischen Arbeitsplätzen in Schweden basierte (Floderus et al., 1996), zeigte sich ein mit der Höhe der Dosis ansteigendes Hodenkrebsrisiko bei Männern unter 40 Jahren. In der Gruppe mit der höchsten Exposition, die einer mittleren täglichen Exposition über 0.41 Mikrottesla ausgesetzt war, wurde ein für Alter, Ausbildung und Lösemittel adjustiertes OR von 3.9 (95%CI=1.4;11.2) beobachtet, das im wesentlichen auf die Subgruppe der Nicht-Seminome zurückzuführen war. Bemerkenswert ist die gefundene Dosis-Wirkungs-Beziehung, die in keiner zuvor durchgeführten Studie beobachtet wurde. In einer kürzlich veröffentlichten schwedischen Kohortenstudie unter Beteiligung der gleichen Autorinnen (Floderus et. al, 1999) wurde ein Linkage zwischen Berufsangaben aus der Volkszählung und einer auf EMF-Messungen basierenden JEM durchgeführt. Als herausragendstes Studienergebnis fand man ein erhöhtes Risiko für Hodenkrebs bei ELF-exponierten Arbeitern unter 40 Jahren. In unserer Untersuchung wurde kein erhöhtes Hodenkrebsrisiko bei selbstberichteter Exposition gegenüber niederfrequenter Strahlung beobachtet.

### *Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen*

Einer der Hauptgründe für die Inkongruenz der oben berichteten Studienergebnisse zu Hodenkrebs und EMF ist auf die Schwierigkeit einer validen Expositionsabschätzung zurückzuführen. Diese Schwierigkeit wird durch die Tatsache verschärft, dass unser Wissen über die biologischen Wirkmechanismen elektromagnetischer Felder noch sehr begrenzt ist. Während zahlreiche aufgeführte Arbeiten allein auf Berufs- oder Branchenbezeichnungen basieren, gibt es nur wenige Studien, die sich auf Messungen am Arbeitsplatz stützen und die Exposition gegenüber EMF (ELF,RF/MW) sorgfältig quantifizieren. Unsere Studie beinhaltet selbstberichtete Expositionen gegenüber EMF-Quellen unterschiedlicher Frequenzbereiche (ELF, RF/MW).

Unter Einbeziehung der Expositionsintensität, Häufigkeit und Dauer wurde für unsere Studie eine detaillierte Quantifizierungsmethodik entwickelt. Zusammenfassend zeigte sich in den oben dargestellten umfassenden Auswertungen kein erhöhtes Hodenkrebsrisiko bei selbstberichteter Exposition (jemals vs. niemals) gegenüber einzelnen EMF-Quellen (ELF, RF/MW), noch wurde eine Dosis-Wirkungs-Beziehung bei Exposition gegenüber einzelnen Expositionsquellen oder für die kumulative Gesamtexposition gegenüber den verschiedenen EMF-Quellen gefunden. Wir beobachteten darüber hinaus keine relevanten Risikounterschiede zwischen Seminomen und Nicht-Seminomen wie z.B. Stenlund und Floderus (1997) oder Hayes et al. (1990), die für Nicht-Seminome (OR=3.2;95%CI=1.4;7.4)

höhere Risiken als für Seminome (OR=2.8;95%CI=0.9;8.6) beobachteten. Auswertungen zu Risikoberufen/-berufsgruppen, die potenzielle ELF-Expositionen aufweisen, zeigten leicht erhöhte Risiken für den Bereich der Gesundheitsberufe/Zahnärzte/ Zahnarzthelferinnen/ Zahntechniker.

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse sind jedoch einige wichtige Einschränkungen in Betracht zu ziehen:

Das in unserer Studie angewandte detaillierte Quantifizierungskonzept, das auf Ergebnissen aus der hierfür einschlägigen Literatur basiert, muss aufgrund der Komplexität dieses Forschungsfeldes und der zahlreichen noch offenen Fragestellungen als exploratives Vorgehen verstanden werden. Wir konnten weder die genauen Feldstärken, noch die Wirkungsweise gepulster und nicht gepulster Frequenzen berücksichtigen. Daher ist es möglich, dass biologisch relevante Aspekte der EMF-Exposition im gewählten Quantifizierungskonzept nicht korrekt abgebildet sind. Nicht-differentielle Fehlklassifikation hat möglicherweise zu einer Verdünnung der Risiken geführt. Der Effektschätzer für Radarexpositionen ist aufgrund der vergleichsweise geringen Power unpräzise, auch wenn mithilfe eines expertengestützten Ratings eine genauere Quantifizierung und damit eine Erhöhung der Spezifität erreicht werden konnte. Der Einfluss von Lösemitteln, die als Risikofaktor für Hodenkrebs diskutiert werden, und eine potenzielle Interaktion zwischen Lösemitteln und EMF wurden in dieser Arbeit nicht untersucht.

Auch wenn die oben beschriebenen Einschränkungen zu einer Unterschätzung des Erkrankungsrisikos geführt haben können, ist vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus vorangegangenen Studien nicht anzunehmen, dass EMF-Expositionen am Arbeitsplatz von der Größenordnung her ein substantielles Risiko für Hodenkrebs darstellen; potenzielle bisher nicht erkannte Gesundheitsrisiken wären mit großer Wahrscheinlichkeit auf sehr wenige Personen mit spezifischen Expositionsmustern begrenzt.

### 3 Hamburger Zusatzuntersuchung zu Hodenkrebs und EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld

In diesem Teil der Arbeit wird die Hamburger Zusatzuntersuchung zu Hodenkrebs und Expositionen durch überirdische Hochspannungsleitungen (110- und 380 KV-Leitungen) im Wohnumfeld dargestellt.

Wie aus Tabelle 3.1 hervorgeht, gibt es im Wohnumfeld sehr unterschiedliche Quellen elektromagnetischer Belastung (Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales, 1996). In der Umgebung von Hochspannungsleitungen, Steckdosen und elektrischen Haushaltsgeräten entstehen in der Regel schwache niederfrequente Felder mit einer Frequenz von 50 Hertz. Der Betrieb von Mikrowellenherden ist mit hochfrequenter Strahlung verbunden ebenso wie der Betrieb von Radios, Fernsehern und Mobiltelefonen.

**Tabelle 3.1:** Typische Quellen elektromagnetischer Belastung im Wohnumfeld

---

**Wohnumfeld:**

---

**Unmittelbarer Wohnbereich:**

- Geräte mit hoher Feldstärke, z.B. E-Herd, Heizdecken/Kissen, Fußbodenheizung, E-Nachtspeicherheizung
- Steigleitungen und ungeeerdete Installationen
- Steckdosen, Verlängerungskabel
- ungeeerdete Kabel und Geräte
- Amateurfunk und Mobiltelefone

**Äußeres Wohnumfeld:**

- Felder aus Nachbarwohnungen
  - Steigleitungen (Mietshäuser)
  - Öffentliche Stromversorgung (Hochspannungsleitungen, Trafostationen, Erdkabel)
  - U- und S-Bahn
  - Rundfunk- und Fernsehsender
  - Mobiltelefonfunknetze
- 

Tabelle 3.2 zeigt, dass die magnetische Flußdichte der meisten Haushaltsgeräte im Abstand von ca. 30 cm relativ gering ist. Bei einzelnen höheren Flußdichten (z.B. Bohrmaschine) handelt es sich in der Regel nicht um Dauerbelastungen. Als mittlere Belastung in einem durchschnittlichen Haushalt wurde eine magnetische Flußdichte um 0.1 Mikrottesla ermittelt (Bundesamt für Strahlenschutz, 1999).



**Tabelle 3.2:** Repräsentative Werte magnetischer Flußdichten von Haushaltsgeräten in unterschiedlichen Abständen, gemessen in Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ )

Gebrauchsabstände hervorgehoben			
Gerät	3 cm	30 cm	1 m
Haarfön	6-2000	00.1-7	0.01-0.3
Rasierapparat	15-1500	0.08-9	0.01-0.3
Bohrmaschine	400-800	2-3.5	0.08-0.2
Staubsauger	200-800	2-20	0.13-2
Leuchtstofflampe	40-400	0.5-2	0.02-0.25
Mikrowellengerät	73-200	4-8	0.25-0.6
Radio (tragbar)	16-56	1	<0.01
Küchenherd	1-50	0.15-0.5	0.01-0.04
Waschmaschine	0.8-50	0.15-3	0.01-0.15
Bügeleisen	8-30	0.12-0.3	0.01-0.03
Geschirrspüler	3.5-20	0.6-3	0.07-0.3
Computer	0.5-30	<0.01	
Kühlschrank	0.5-1.7	0.01-0.25	<0.01
Fernsehgerät	2.5-50	0.04-2	0.01-0.15

Bereits in 30 cm Abstand von den meisten Geräten wird der Grenzwert von 100  $\mu\text{T}$  deutlich unterschritten.

Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, 1999

Die magnetische Flussdichte in der unmittelbaren Nähe von Hochspannungsleitungen kann theoretisch bis zu 25 Mikrottesla betragen und in 150 Metern Entfernung von der Trassenmitte noch 0.2 Mikrottesla überschreiten. In der Regel sind Hochspannungsleitungen in Deutschland jedoch nicht voll ausgelastet.

Nach einer kürzlich veröffentlichten großen deutschen Studie wurden in Wohnungen, die in einem Korridor von 50 Metern um eine Hochspannungsleitung lagen, im Durchschnitt magnetische Flussdichten von weniger als 0.1 Mikrottesla gemessen. Die Prävalenz der Wohnungen, in denen höhere magnetische Flussdichten über 0.2 Mikrottesla gemessen wurden, betrug nach dieser Studie 1.4%. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Prävalenz im großstädtischen Bereich allgemein höher ist als im bundesdeutschen Durchschnitt. In West-Berlin z.B. beträgt die Prävalenz von Wohnungen mit höheren Expositionen nach dieser Studie 3.5%, in Ost-Berlin 10.3% (Schüz et al., 2000).

Höhere magnetische Flussdichten über 0.2 Mikrottesla waren nach Schüz et al. (2000) zu 75% auf elektromagnetische Felder im äußeren Wohnumfeld zurückzuführen. 29% der höheren magnetischen Flussdichten konnten dabei auf überirdische Hochspannungsleitungen als Expositionsquelle zurückgeführt werden, weitere 32% wurden durch Niederspannungs-Trafostationen verursacht und 14% durch unterirdische Kabel. Die Verkabelung innerhalb der Wohnung sowie Expositionen durch Haushaltsgeräte spielten eine vergleichsweise geringe

Rolle.

In den Wohnungen von Familien mit niedrigem Einkommen unter 2000 DM monatlich wurden häufiger höhere magnetische Flussdichten (über 0,2 Mikrottesla) gemessen als in Familien mit einem Durchschnittseinkommen zwischen 2000 bis 4000 DM (OR=5.7; 95%CI=1.4;23.5).

### 3.1 Material und Methoden

#### 3.1.1 Studienkollektiv

Das Studienkollektiv dieser Zusatzuntersuchung überlappt sich mit dem Studienkollektiv der Fall-Kontrollstudie zu arbeitsplatzbedingten Risiken für die Region Hamburg.

Eingeschlossen wurden alle im Diagnosezeitraum vom 30.6.1995 bis 30.6.1997 über das Hamburgische Krebsregister identifizierten neu erkrankten Hamburger Fälle (n=145) im Alter von 15 bis 69 Jahren sowie nach Alter gematchte Kontrollen (n=313), die 1995 ihren Hauptwohnsitz in Hamburg hatten (Zufallsstichprobe aus dem Einwohnermelderegister). Die Auswahl der Kontrollen mit Hauptwohnsitz Hamburg im Jahre 1995 erfolgte durch das Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin, das hierfür aus der Gesamtstichprobe der Kontrollen der multizentrischen Studie Hamburger Männer nach Fünf-Jahres-Altersgruppen im Verhältnis von 1:2 auswählte, so dass auf jeden Fall etwa 2 Hamburger Kontrollen kamen (s. Tabelle 3.3).

**Tabelle 3.3:** Hamburger Fälle und Kontrollen nach 5-Jahres-Altersgruppen

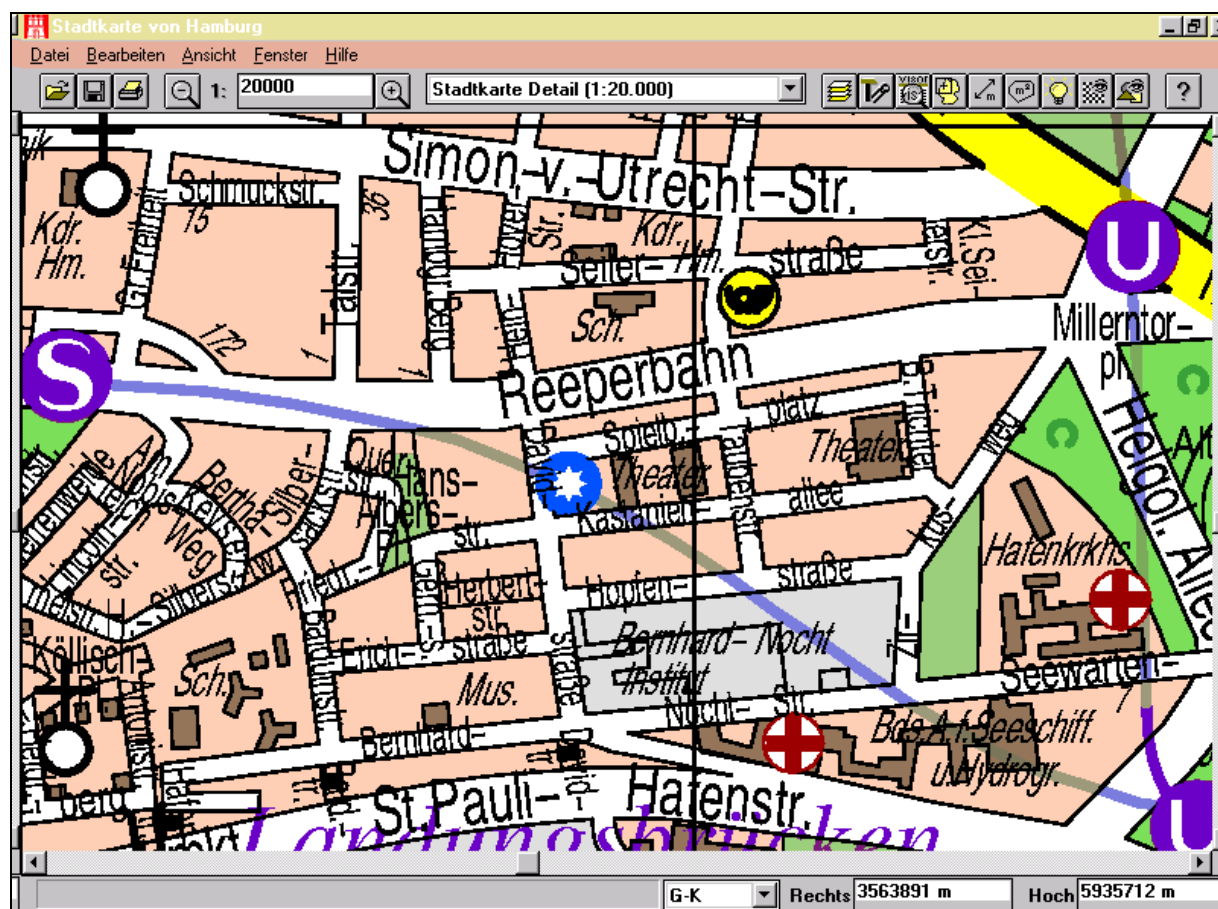
Altersgruppen	Kontrollen		Fälle		Gesamt	
	N	%	N	%	N	%
15-19	9	2.9%	6	4.1%	15	3.3%
20-24	22	7.0%	9	6.2%	31	6.8%
25-29	53	16.9%	27	18.6%	80	17.5%
30-34	78	24.9%	36	24.8%	114	24.9%
35-39	78	24.9%	36	24.8%	114	24.9%
40-44	35	11.2%	14	9.7%	49	10.7%
45-49	18	5.8%	9	6.2%	27	5.9%
50-54	12	3.8%	5	3.4%	17	3.7%
55-59	5	1.6%	3	2.1%	8	1.7%
60-64	3	1.0%	0	0.0%	3	0.7%
Gesamt	313	100.0%	145	100.0%	458	100.0%

Im Unterschied zu den Analysen, die im Kontext der Abschätzung der EMF-Exposition am Arbeitsplatz durchgeführt wurden, wurden hier auch diejenigen Fälle und Kontrollen in die Auswertungen einbezogen, für die kein Interview vorliegt. Somit ist die Möglichkeit eines Selektionsbias weitgehend ausgeschlossen.

### 3.1.2 Dokumentation und kartographische Darstellung der Wohnbiographie

Kolleginnen und Kollegen des Zentralen Einwohnermeldeamts in Hamburg-Harburg dokumentierten per Computerabfrage und zeitaufwendiger Einzelrecherche im Archiv die Wohngeschichte jedes Hamburger Patienten und der Stichprobe von Kontrollen lückenlos mit Beginn der ersten Hamburger Adresse bis zum Ende des Untersuchungszeitraums (Erhebungsformular und Datensatzbeschreibung zur Dokumentation der Wohngeschichte, s. Anhang). Für jeden Fall und jede Kontrolle lag nach Abschluss der Recherchen eine Dokumentation in Papierform vor. Die Daten wurden anschließend in einer hierfür konzipierten Datenbank dokumentiert. Alle Adressangaben wurden zweifach geprüft und qualitätsgesichert. Auf der Grundlage der oben beschriebenen Datenbasis wurde die Wohnbiographie des Studienkollektivs innerhalb Hamburgs rekonstruiert. Allen Hamburger Hauptwohnungen wurden mithilfe des Adressbands des Statistischen Landesamts Hamburg Gauss-Krüger-Koordinaten zugeordnet. Die Genauigkeit der über das Adressband übermittelten Gauss-Krüger-Koordinaten liegt bei +/- 50m Abweichung. Diese Abweichungen sind jedoch nicht selektiv für Fälle oder Kontrollen.

Abbildung 3.1: Ausschnitt der Digitalen Stadtkarte Hamburg



(Quelle: Baubehörde Hamburg, 1997)

Für einzelne neue Adressen und die Kleingärten lagen keine Gauss-Krüger-Koordinaten vor; sie wurden manuell mithilfe der Digitalen Stadtkarte Hamburg (Baubehörde, Amt für Geoinformation und Vermessung, 1997) ergänzt (s. Abbildung 3.1). Dies erfolgte über ein Programm, das bei Lokalisierung einer Adresse die korrespondierenden Hoch-/Rechtskoordinaten selektierte (s. untere Kante der Abbildung 3.1).

Die Adressen der Fälle und Kontrollen wurden in einem weiteren Schritt vor dem Hintergrund der Hamburger Ortsteile und überirdischen Hochspannungsleitungen dargestellt (Schümann et al., 2001).

### 3.1.3 Auswertungsmethoden

#### 3.1.3.1 Quantifizierung der EMF-Exposition

Rechnerische Grundlage der nachfolgend beschriebenen Quantifizierungsmodelle (Expositionsindex A, B und C) war die Berechnung des kürzesten lotrechten Abstands jeder Adresse zu den 110- und 380-KV-Hochspannungstrassen (Schümann et al., 2001; vgl. hierzu auch Verkasalo et al., 1993).

Der einfachste Expositionsindex A (jemals vs. niemals exponiert) berücksichtigt für Fälle und Kontrollen, ob sie jemals innerhalb eines Bandes von 250 Metern um eine Hochspannungsleitung wohnten. Die Wahl eines engeren Bandes wäre aufgrund der starken Abnahme von Feldstärken mit der Entfernung zur Hochspannungsleitung wünschenswert, erscheint aber nicht sinnvoll, da die punktgenaue Lokalisation einer Adresse mithilfe von Gauss-Krüger-Koordinaten generell nicht möglich ist, so dass man von unsystematischen Abweichungen ausgehen muss. Expositionsindex B leitet sich aus der Summe der Wohndauer im 250m-Band ab ( $\sum$  Wohndauer im 250m-Band). Expositionsindex C berücksichtigt den Abstand von der Trassenmitte, indem die inverse Distanz zur nächsten Hochspannungsleitung mit der jeweiligen Wohndauer multipliziert und über die Wohnadressen summiert wurde ( $\sum$  (Wohndauer im 250m-Band)\*(1/Distanz innerhalb des Bandes)).

#### 3.1.3.2 Quantifizierung der Sozialen Wohnlage

Da die *Soziale Schicht* im Kontext dieser Untersuchungen als ein potenzieller Confounder betrachtet werden muss, war ursprünglich vorgesehen, diese Variable in die Auswertungen einzubeziehen. Unsere Datenbasis erlaubte jedoch keine weiteren Auswertungen hierzu, da das Merkmal *Soziale Schicht* nur für 69% der Studienteilnehmer der Hamburger Zusatzuntersuchung vorlag, nämlich für 63% der Fälle und 83% der Fälle. Der Grund hierfür ist, dass sich gerade unter den Kontrollen ein größerer Anteil von Männern befindet, die in der multizentrischen Fall-Kontroll-Studie nicht mit einem Interview einverstanden waren.

Anstelle der *Sozialen Schicht* wurde die *Soziale Wohnlage* des jeweiligen Ortsteils, in dem die Adresse eines Falles oder einer Kontrolle lag, in die Auswertung einbezogen. Dies geschah auf der Grundlage eines von Rzehak et al. (1997) entwickelten Indexes sozialer Deprivation, der auf Volkszählungsdaten und weiteren Quellen (Podszuweit, Schütte und Swierkta, 1992; Bach 1977) basiert. Bei diesem Index handelt sich um einen aus faktorenanalytischen Berechnungen zusammengesetzten Indikator, der sich aus dem durchschnittlichen Einkommen, dem Anteil von Empfängern staatlicher Hilfeleistungen, des Arbeitslosenanteils etc. zusammensetzt. Er soll einen Aspekt der sozialen Lage von Hamburger Gebietseinheiten mit dem Schwerpunkt auf sozio-ökonomischen Merkmalen charakterisieren. Die höchste Faktorladung hat der relative Anteil der Personen pro Gebietseinheit, die ihren Lebensunterhalt überwiegend durch staatliche Hilfeleistungen finanzieren müssen. Die Verteilung des Faktors folgt annähernd einer Normalverteilung. Der Faktor *Soziale Deprivation* liegt in auswertbarer und vollständiger Form für alle 104 Hamburger Stadtteile vor.

Für jeden Studienteilnehmer wurde ein Index zur *Sozialen Wohnlage* gebildet. Die Zuordnung zwischen der Adresse und dem Index *Soziale Wohnlage* erfolgte über den Ortsteilschlüssel. Wenn mehrere Adressen vorhanden waren, wurde über die Adressen ein Mittelwert zur *Sozialen Wohnlage* errechnet.

### 3.1.3.3 Statistische Analyse

Für Expositionsindex A, B und C wurden mittels der unbedingten logistischen Regression (SPSS, 1999) Odds Ratios (ORs) und 95% Konfidenzintervalle (95%CI) errechnet. Bei Expositionsindex A wurde zwischen jemals und niemals exponierten Fällen und Kontrollen unterschieden, bei Expositionsindex B und C wurde zwischen niemals exponierten sowie niedrig und hoch exponierten Fällen und Kontrollen unterschieden. Die Trennung zwischen niedrig und hoch Exponierten erfolgte am Median der empirischen Verteilung der Scores der Kontrollen mit vorliegender Exposition.

Zusätzlich wurden in Anlehnung an die Befunde von Stenlund und Floderus (1997), die bei jüngeren am Arbeitsplatz gegenüber EMF exponierten Männern unter 40 Jahren ein erhöhtes Hodenkrebsrisiko fanden, separate Auswertungen für unter 40jährige und 40 bis unter 65jährige durchgeführt. Die Auswertungen erfolgten altersadjustiert (in 5-Jahres-Altersgruppen).

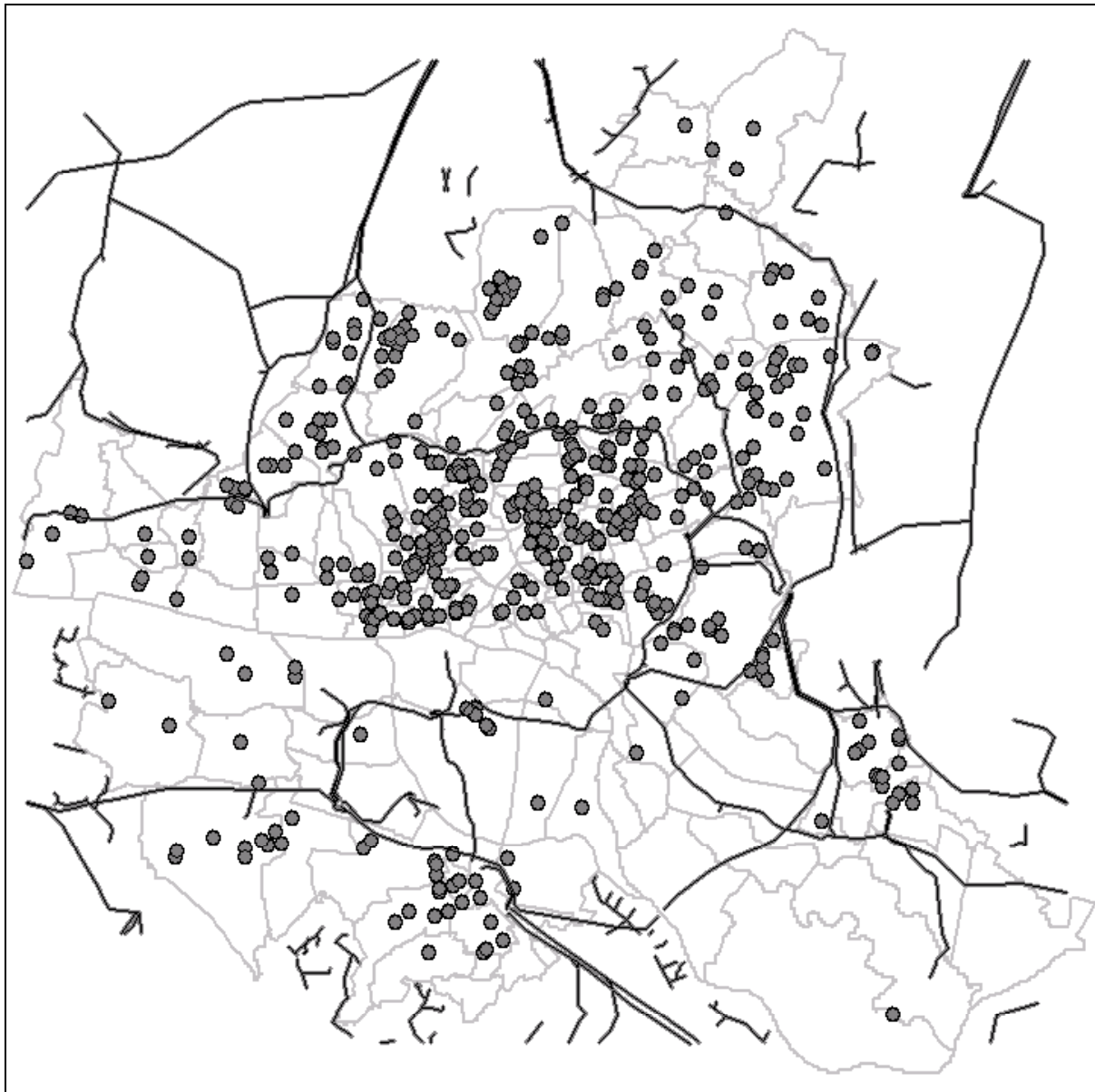
Im Rahmen weiterer Auswertungen wurde geprüft, welchen Einfluss die *soziale Wohnlage* auf die Effektschätzer hat. Hierfür wurde die Variable *Soziale Lage* in eine dichotome Variable (benachteiligte vs. bessere soziale Wohnlage) rekodiert (Trennung am Median).

### 3.2 Ergebnisse

#### 3.2.1 Wohnadressen der Fälle und Kontrollen

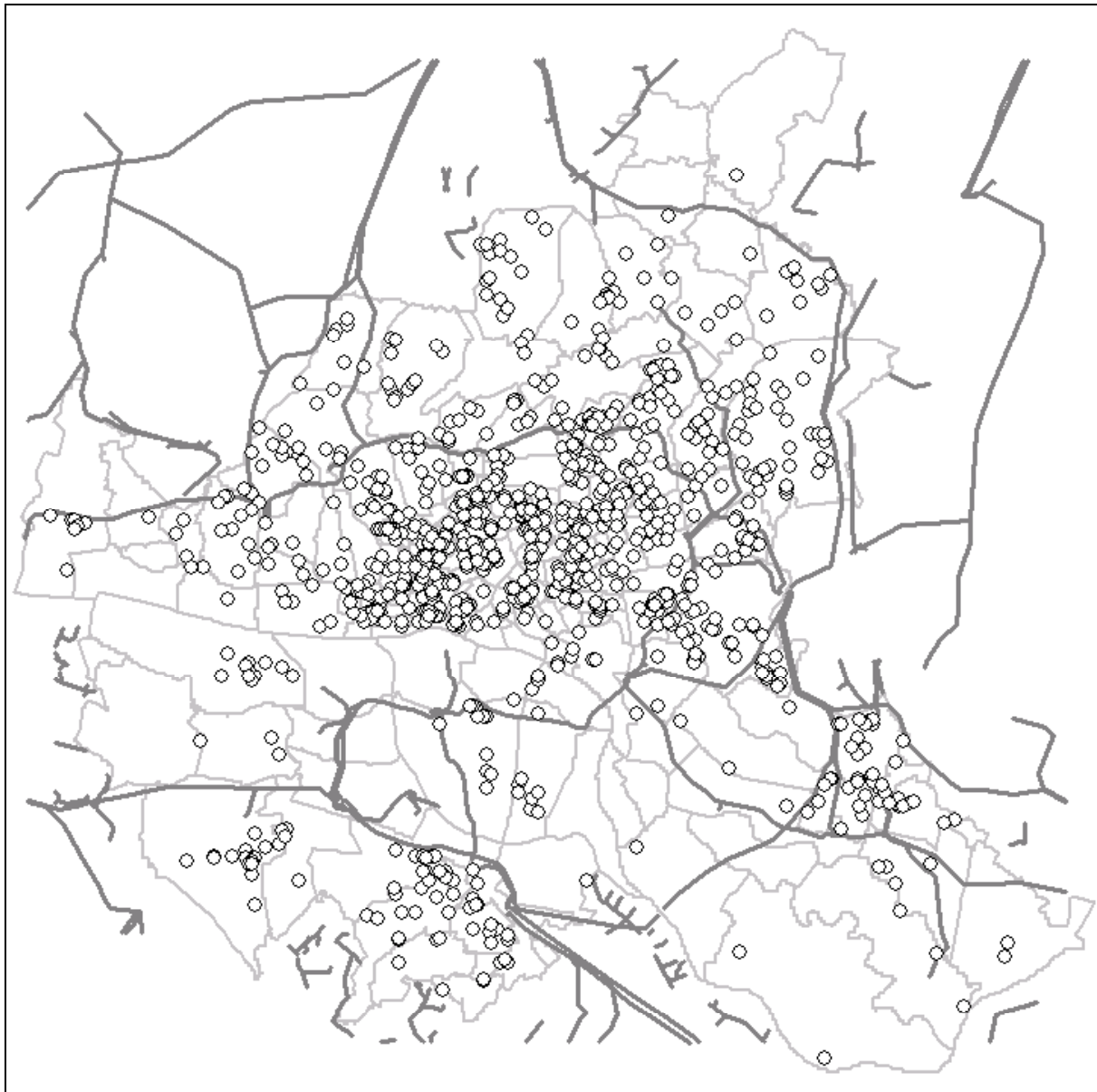
Abbildung 3.2 zeigt die Hamburger Falladressen in den einzelnen Ortsteilen vor dem Hintergrund der Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen), Abbildung 3.3 zeigt die Adressen der Kontrollen.

**Abbildung 3.2:** Regionale Zuordnung der Fall-(schwarz)-Adressen und Darstellung der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)



Darstellung: Dr. M. Schümann (2001), AG Epidemiologie (Universität Hamburg)  
Helle geschlossene Linien stellen die Ortsteilgrenzen dar, die dunklen Linien zeigen den Verlauf der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)

**Abbildung 3.3:** Regionale Zuordnung der Kontroll-(weiß)-Adressen und Darstellung der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)



Darstellung: Dr. M. Schümann (2001), AG Epidemiologie (Universität Hamburg)  
Helle geschlossene Linien stellen die Ortsteilgrenzen dar, die dunklen Linien zeigen den Verlauf der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)

In Abbildung 3.4 sind die Hamburger Fall- und Kontroll-Adressen gemeinsam vor dem Hintergrund der Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen) dargestellt. Erwartungsgemäß befinden sich in den bevölkerungsreichen Ortsteilen mehr Fall- und mehr Kontroll-Adressen (Bevölkerungsdichte in dieser Abbildung nicht dargestellt).



**Abbildung 3.4:** Regionale Zuordnung der Fall-(schwarz) und Kontroll- (weiß)-Adressen und Darstellung der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)



Darstellung: Dr. M. Schümann (2001), AG Epidemiologie (Universität Hamburg)  
Helle geschlossene Linien stellen die Ortsteilgrenzen dar, die dunklen Linien zeigen den Verlauf der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)

Insgesamt konnten 458 Personen in die Untersuchung einbezogen werden konnten, 145 Hamburger Fälle und 313 Kontrollen. Für diese wurden 1647 Adressen (Hamburger Hauptwohnungen) ermittelt, 558 Fall- und 1089 Kontroll-Adressen, im Mittel 3.8 Adressen pro Fall und 3.5 Adressen pro Kontrolle. Bei einem gemeinsamen Durchschnittsalter von 35 Jahren betrug die Wohnzeit der untersuchten Fälle im Mittel 23.6 Jahre (Median=26.5 Jahre), die der Kontrollen 22.1 Jahre (Median=22.3 Jahre).



### 3.2.2 Soziale Wohnlage

In Tabelle 3.4 ist die Soziale Wohnlage der Fälle und Kontrollen in Hamburg dargestellt. Hiernach wohnen Fälle signifikant häufiger (57.9%) als Kontrollen (47.0%) in besseren Wohnlagen ( $\text{Chi}^2_{(1;95\%)} = 4.77; p = 0.029$ ).

**Tabelle 3.4:** Soziale Wohnlage der Hamburger Fälle und Kontrollen

Soziale Wohnlage	Kontrollen (N=313)		Fälle (N=145)		Gesamt (N=458)	
	N	%	N	%	N	%
Benachteiligte Wohnlage	166	53.0	61	42.1	227	49.6
Bessere Wohnlage	147	47.0	84	57.9	231	50.4

### 3.2.3 Hodenkrebsrisiko durch Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld

Tabelle 3.5 zeigt die Expositionsprävalenzen für Fälle und Kontrollen sowie altersadjustierten ORs und 95%CI für Expositionsindex A, B und C.

**Tabelle 3.5:** Prävalenz einer Exposition gegenüber Hochspannungsleitungen in Hamburg ORs und 95% CI für Expositionsindex A, B, und C

Expositionsindex	Kontrollen (N=313)		Fälle (N=145)		Odds Ratios			
	N	%	N	%	OR*	95%CI	OR**	95%CI
<b>Expositionsindex A</b> Jemals vs. niemals exponiert								
Nicht exponiert	264	84.3	114	78.6	1.0	(; )	1.0	(; )
Exponiert	49	15.7	31	21.4	1.5	(0.89;2.43)	1.5	(0.92;2.53)
<b>Expositionsindex B***</b>								
Nicht exponiert	264	84.3	114	78.6	1.0	(; )	1.0	(; )
Niedrig exponiert (>0 bis <=2 737)	25	8.0	17	11.7	1.6	(0.83;3.06)	1.6	(0.85;3.19)
Hoch Exponiert (>2 737 bis <=14 609)	24	7.7	14	9.7	1.4	(0.68;2.71)	1.4	(0.70;2.83)
<b>Expositionsindex C***</b>								
Nicht exponiert	264	84.3	114	78.6	1.0	(; )	1.0	(; )
Niedrig exponiert (>0 bis <=25.97)	25	8.0	13	9.0	1.2	(0.60;2.47)	1.2	(0.61;2.51)
Hoch Exponiert (>25.97 bis <=4 791)	24	7.7	18	12.4	1.7	(0.91;3.32)	1.8	(0.96;3.55)

OR\* Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

OR\*\* Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen) und Soziale Wohnlage

Expositionsindex B und C\*\*\*: Trennung am Median der empirischen Scoreverteilung exponierter Kontrollen

Hiernach beträgt die Prävalenz einer Exposition gegenüber Hochspannungsleitungen in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert) 21.4 Prozent unter den Fällen und 15.7 Prozent unter den Kontrollen (OR=1.5;95%CI=0.89;2.43). Für Expositionsindex B, bei dem zusätzlich die

Wohndauer im 250m-Band berücksichtigt wurde, finden wir für niedrige Expositionen ein OR von 1.6 (95%CI=0.83;3.06) und für hohe Expositionen ein OR von 1.4 (95%CI=0.68;2.71). Nach dem dritten komplexesten Modell (Expositionsindex C), welches die Wohndauer und Distanz von der Trassenmitte beinhaltet, liegt das OR für niedrige Expositionen ebenfalls bei 1.2 (95%CI=0.60;2.47) und für hohe Expositionen bei 1.7 (95%CI=0.91;3.32). Bei zusätzlicher Berücksichtigung der sozialen Lage der Wohnregionen gibt es nur marginale Veränderungen bei den Effektschätzern.

In der Gruppe der jemals exponierten Männer unter 40 Jahren (Tabelle 3.6) finden wir ein OR von 1.7 (95%CI=0.99;3.01). Der Effektschätzer für Expositionsindex B liegt für niedrige Expositionen durch Hochspannungsleitungen bei 1.9 (95%CI=0.91;3.87) und für hohe Expositionen bei 1.6 (95%CI=0.72;3.39). Expositionsindex C, in dem neben der Wohndauer auch die Entfernung zur Hochspannungsleitung berücksichtigt wurde, beobachten wir für niedrige Expositionen ein OR von 1.5 (95%CI=0.70;3.26) und für hohe ein OR von 1.9 (95%CI=0.94;4.03).

Bei 40 bis unter 65jährigen Männern liegen die Effektschätzer in allen Modellen bei bzw. unter 1.0 (Tabelle 3.7).

**Tabelle 3.6:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei unter 40jährigen Männern in Hamburg

Expositionsindex	Kontrollen (N=240)		Fälle (N=114)		Odds Ratios*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Expositionsindex A</b> Jemals vs. niemals exponiert						
Nicht exponiert	203	84.6	87	76.3	1.0	( ; )
Exponiert	37	15.4	27	23.7	1.7	(0.99;3.01)
<b>Expositionsindex B**</b>						
Nicht exponiert	203	84.6	87	76.3	1.0	( ; )
Niedrig exponiert (>0 bis <=2 737)	19	7.9	15	13.2	1.9	(0.91;3.87)
Hoch Exponiert (>2 737 bis <=14 609)	18	7.5	12	10.5	1.6	(0.72;3.39)
<b>Expositionsindex C**</b>						
Nicht exponiert	203	84.6	87	76.3	1.0	( ; )
Niedrig exponiert (>0 bis <=25.97)	19	7.9	12	10.5	1.5	(0.70;3.26)
Hoch Exponiert (>25.97 bis <=4 791)	18	7.5	15	13.2	1.9	(0.94;4.03)

OR\*: Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

Expositionsindex B und C\*\*: Trennung am Median der empirischen Scoreverteilung exponierter Kontrollen

**Tabelle 3.7:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei 40 bis unter 65jährigen Männern in Hamburg

Expositionsindex	Kontrollen (N=73)		Fälle (N=31)		Odds Ratios*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
<b>Expositionsindex A</b> Jemals vs. niemals exponiert						
Nicht exponiert	61	83.6	27	87.1	1.0	( ; )
Exponiert	12	16.4	4	12.9	0.8	(0.22;2.59)
<b>Expositionsindex B**</b>						
Nicht exponiert	61	83.6	27	87.1	1.0	( ; )
Niedrig exponiert (>0 bis <=2 737)	6	8.2	2	6.5	0.8	(0.14;4.11)
Hoch Exponiert (>2 737 bis <=14 609)	6	8.2	2	6.5	0.8	(0.14;4.00)
<b>Expositionsindex C**</b>						
Nicht exponiert	61	83.6	27	87.1	1.0	( ; )
Niedrig exponiert (>0 bis <=25.97)	6	8.2	1	3.2	0.4	(0.04;3.35)
Hoch Exponiert (>25.97 bis <=4 791)	6	8.2	3	9.7	1.1	(0.26;4.89)

OR\*: Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

Expositionsindex B und C\*\*: Trennung am Median der empirischen Scoreverteilung exponierter Kontrollen

### 3.3 Diskussion

In der Hamburger Zusatzuntersuchung zu Hodenkrebs wurde die Exposition gegenüber überirdischen 110- und 380 KV-Leitungen im 250-m Abstand von der Trassenmitte (Expositionsindex A), die Wohndauer innerhalb des 250-m Bandes in Jahren (Expositionsindex B) sowie die nach Distanz gewichtete Wohndauer innerhalb des gewählten Bandes (Expositionsindex C) untersucht. Eine Stärke dieser Untersuchung liegt in der Einbeziehung aller inzidenten Fälle und aller nach einem Stichprobenverfahren ausgewählten Kontrollen für die Hamburger Region. Daher kann ein Selektionsbias weitgehend ausgeschlossen werden.

Jemals exponierte Männer hatten ein höheres Risiko an Hodenkrebs zu erkranken als niemals exponierte (OR=1.5;95%CI=0.89;2.43). Die Berücksichtigung der Wohndauer (Expositionsindex B) veränderte den Effektschätzer nur geringfügig. Bei zusätzlicher Einbeziehung der Distanzen innerhalb des Bandes um Hochspannungsleitungen (Expositionsindex C) beobachten wir ein höheres Risiko für höhere Expositionen (OR=1.7;95%CI=0.91;3.32). Bei niedrig Exponierten liegt das OR bei 1.2 (0.60;2.47).

Fälle wohnten häufiger als Kontrollen in besseren Wohnlagen ( $\text{Chi}^2_{(1;95\%)}=4.77;p=0.029$ ). Der Faktor *Soziale Wohnlage* hat jedoch keinen Einfluss auf die Effektschätzer.

In der Gruppe der jüngeren Männer unter 40 Jahren finden wir einen Effektschätzer von 1.7 (95%CI=0.99;3.01). Auch hier zeigt sich für Expositionsindex C ein erhöhtes Risiko bei höherer Exposition (OR=1.9;95%CI=0.94;4.03) gegenüber 1.5 bei niedriger Exposition (95%CI=0.70; 3.26). Dies ist gut mit den Befunden von Stendlund und Floderus (1997) vereinbar, die für beruflich EMF-exponierte Männer unter 40 Jahren ein erhöhtes Hodenkrebsrisiko fanden.

Insgesamt liegen die Effektschätzer in ähnlicher Größenordnung wie die Ergebnisse der zahlreichen Studien zu kindlichen Krebserkrankungen und Magnetfeldexpositionen im äußeren Wohnumfeld (NIEHS, 1998).

Kritisch zu diskutieren ist die Breite des gewählten Bandes um die Trassenmitte der Hochspannungsleitungen. In einem Review beschreibt Wartenberg (1998) vier Studien zu häuslichen Magnetfeldern und kindlichen Leukämien, in denen der cutpoint bei 50, 100 oder 200 Metern Entfernung von der Trassenmitte festgelegt wurde. In der hier bereits zitierten Kohortenstudie von Verkasalo et al. (1996) zu Krebserkrankungen von Erwachsenen und Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld wurde der cutpoint bei 500 Metern gewählt. Feychting und Ahlbom (1994) gehen in ihrer Untersuchung zu Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld und Leukämien sowie Tumoren des zentralen Nervensystems bei Erwachsenen von 300 Metern Entfernung aus. Legt man bei der Bestimmung des cutpoints Erkenntnisse zur Abnahme von Feldstärken mit der Entfernung zur Quelle zugrunde, so sieht man, dass die magnetische Flußdichte wie auch elektrische Feldstärke bei 80 bzw. 100 Metern von der Trassenmitte kaum noch messbar sind (Boikat und Manikowsky, 1996). Eine punktgenaue Ermittlung von Gauss-Krüger-Koordinaten und Ermittlung des Zeitbudgets wären allerdings Voraussetzung für die Wahl eines den physikalischen Größen entsprechend engen Bandes. Da dies hier nicht möglich war, muss ein Verdünnungseffekt bezüglich des ermittelten Risikos als Folge einer nicht-differentiellen Fehlklassifikation in Betracht gezogen werden.

Das magnetische Feld von Hochspannungsleitungen wird durch eine Reihe weiterer Faktoren beeinflusst, die durch die Annahme einer Abstandsabhängigkeit nicht erfasst werden, z.B. zeitliche Variationen. Erste Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Expositionen durch Hochspannungsleitungen und dem Auftreten kindlicher Krebserkrankungen definierten die Exposition mittels eines sog. wire codes (Bewertungsschema für den Abstand von Wohnungen zu unterschiedlichen Typen elektrischer Versorgungseinrichtungen). Spätere Studien setzten Messverfahren zur Expositionsbestimmung ein oder entwickelten komplexere Modelle zur Expositionsabschätzung, die auch weitere Risikofaktoren (Confounder) berücksichtigten und eine Abschätzung der Feldstärken erlaubten (Boikat und Manikowsky, 1996; Ahlbom, 1997; NIEHS, 1998; Schüz und Michaelis, 2000). Diese Informationen stehen hier nicht zur Verfügung.

Fews et al. (1999) kritisieren, dass man sich bei der Suche nach einem kausalen Mechanismus, der den Zusammenhang zwischen Expositionen durch Hochspannungsleitungen und Krebserkrankungen erklärt, vorwiegend auf die Auswirkungen des magnetischen Feldes konzentriert hat. Die Autoren entwickelten jüngst ein Modell, in dem eine Interaktion des elektrischen Feldes unter Hochspannungsleitungen mit Luftschadstoffen angenommen wird. Unter Gültigkeit dieser Annahme ist davon auszugehen, dass bisher angenommene Sicherheitsabstände von Hochspannungsleitungen an Gültigkeit verlieren, da Luftpartikel durch ungünstige Winde viel weiter verbreitet werden können als bisher angenommen wird. Einige Studien geben Hinweise auf erhöhte Risiken von Lungenkrebs in der Nähe von Hochspannungsleitungen (Erren und Piekarski, 1996; Henshaw, 1997). Fews et al. (1999) mutmaßen, dass inhalierte elektrisch geladene Luftpartikel über die Blutbahn in das Knochenmark gelangen können und auf diese Weise den Befund erklären, dass das Risiko von Kinderleukämien in der Nähe von Hochspannungsleitungen leicht erhöht ist. Bei Richtigkeit der Annahmen von Fews et al. (1999) wäre das in dieser Arbeit gewählte 250-m Band durchaus angemessen. Ob jedoch der Eintragspfad über Luftschadstoffe eine Rolle für Hodenkrebs spielt, ist bislang nicht belegt.

Einige Autoren (NIEHS, 1998, Li et al., 1996) empfehlen eine gemeinsame Analyse von EMF-Expositionen im Wohnumfeld und am Arbeitsplatz, da die ermittelten Risiken möglicherweise auch mit beruflichen EMF-Expositionen assoziiert sind, ein Hinweis, der in dieser Arbeit umgesetzt werden konnte. Eine gemeinsame Analyse dieser beiden Expositionsbereiche wird in Kapitel 5 dargestellt.

Bislang ergeben die wenigen epidemiologischen Studien zu Krebserkrankungen von Erwachsenen im Zusammenhang von EMF-Expositionen im Wohnumfeld keinen überzeugenden Hinweis auf ein Krebsrisiko durch Hochspannungsleitungen (NIEHS, 1998, vgl. hierzu auch 4.1). Verkasalo et al. (1996) finden in ihrer Kohortenstudie zu Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld und Krebs bei Erwachsenen ein mit der magnetischen Flussdichte ansteigendes, jedoch nicht signifikantes Risiko ( $p < 0.05$ ) für Melanome bei Männern und Frauen. Die Melatoninhypothese legt eine Assoziation zwischen hormonabhängigen Krebserkrankungen und elektromagnetischen Feldern nahe. Brustkrebs, Gebärmutter- und Ovarialkrebs, Prostata- und Hodenkrebs wurden aber in der Studie von Verkasalo et al. (1996) nicht gehäuft in der Nähe von Hochspannungsleitungen beobachtet.

In dieser Arbeit konnte hingegen ein leicht erhöhtes Hodenkrebsrisiko für gegenüber Hochspannungsleitungen exponierte Männer gezeigt werden, insbesondere für jüngere Männern unter 40 Jahren, ein Risiko, das mit zunehmender Wohndauer in größerer Nähe zur Expositionsquelle ansteigt.

Ein Problem der Kohortenstudie von Verkasalo et al. (1996), in der immerhin 383 700 Personen untersucht wurden, liegt in der geringen Power, die kaum abgesicherte Aussagen für einzelne seltenere Krebslokalisationen ermöglicht. So konnten insgesamt nur 38 maligne Hodentumoren in die Analysen einbezogen werden. Dies ist neben der Schwierigkeit einer exakten Expositionsermittlung ein generelles Problem bisheriger Studien zu Krebserkrankungen im Kontext von Hochspannungsleitungen, da sie seltene Erkrankungen zum Gegenstand haben und nur kleine Kollektive von Fällen und Kontrollen untersuchen. Durch unser Studiendesign zu Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld und Hodenkrebs (Matching 2:1; Expositionsprävalenz von 15.7% unter den Kontrollen) hätten wir ein OR von 2 mit einer statistischen Power von 81% (5% Irrtumswahrscheinlichkeit) nachweisen können. Ein Lösungsansatz zur Erhöhung der Power besteht allgemein im Poolen von Daten mehrerer Studien. Da es sich bei dieser Arbeit jedoch um eine der ersten Untersuchungen zu malignen Hodentumoren im Kontext von Hochspannungsleitungen handelt, bietet sich dieser Ansatz hier nicht an.

Vor dem Hintergrund der hier gefundenen Ergebnisse erscheint es lohnenswert, bei Folgeuntersuchungen zu Hodenkrebs und EMF neben überirdischen Hochspannungsleitungen weitere Quellen elektromagnetischer Felder im Wohnumfeld zu untersuchen, insbesondere unterirdische Kabel.

## **4 Gemeinsame Analyse der EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und Expositionen durch Wohnen in der Nähe von Hochspannungsleitungen**

EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Wohnen in der Nähe von Hochspannungsleitungen wurden abschließend einer gemeinsamen Analyse unterzogen. Ziel war die Untersuchung der Frage, ob die kumulative Belastung durch EMF-Expositionen in beiden Bereichen die Risikoschätzer für Hodenkrebs erhöht, während es für ein erhöhtes Risiko in den Einzelbereichen keine überzeugende Evidenz gibt.

Die im folgenden dargestellten Untersuchungen beziehen sich jeweils allein auf die Region Hamburg.

### 4.1 Material und Methoden

Zunächst wurden Auswertungen zum Bereich des Arbeitsplatzes und Wohnumfelds für die Region Hamburg durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurde ein gemeinsamer Score für Expositionen in beiden Bereichen gebildet.

#### 4.1.1 Studienkollektiv

Ausgangspunkt der folgenden Auswertungen waren zum einen die im Rahmen der Arbeitsplatzanalysen einbezogenen Hamburger Fälle und Kontrollen (126 Fälle; 302 Kontrollen), zum anderen das Studienkollektiv, das im Rahmen der Hamburger Zusatzuntersuchung zu Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld untersucht wurde (145 Fälle; 313 Kontrollen). Für eine gemeinsame Analyse standen insgesamt 271 15 bis unter 65 Jahre alte Studienteilnehmer zur Verfügung (119 Fälle; 152 Kontrollen), die Angaben zu Expositionen am Arbeitsplatz und Belastungen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld gemacht hatten.

#### 4.1.2 Auswertungsmethoden

##### 4.1.2.1 Quantifizierung

###### *Einfaches Modell (jemals vs. niemals exponiert)*

Zunächst wurden Scores für jemals vs. niemals exponierte Personen gebildet. Im Wohnumfeld galten alle als exponiert, die jemals innerhalb des gewählten 250-m Bandes um die Hochspannungstrassen in Hamburg gewohnt hatten. Im Kontext des Arbeitsplatzes galt jeder jemals gegenüber irgendeiner EMF-Quelle am Arbeitsplatz exponierte als exponiert, unabhängig von der Intensität, Dauer und Entfernung von der Expositionsquelle. Jeder niemals in irgendeiner Kategorie exponierte galt entsprechend als niemals exponiert. In der

gemeinsamen Analyse (jemals vs. niemals exponiert) wurden Scores gebildet für Personen, die in einem der beiden Expositionsbereiche exponiert waren und Scores für Personen, die in beiden Bereichen exponiert waren. Als niemals exponiert galten Personen, die in keinem der beiden Bereiche jemals exponiert waren.

*Komplexeres Modell (Berücksichtigung von Intensität, Dauer und Entfernung)*

In einem komplexeren Modell, das aus dem Quantifizierungsmodell der Arbeitsplatzanalysen abgeleitet wurde (vgl. 2.1.5.1), wurde bei der Scorebildung die Intensität, Dauer und Entfernung von der Expositionsquelle berücksichtigt.

Die *Intensität* für Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld wurde dem Quantifizierungsmodell der Arbeitsplatzanalysen entsprechend, in dem die Arbeit in der Nähe von Hochspannungsleitungen, Transformatoren und Transformatorenstationen mit 2 gewichtet wurde, mit 2 gewichtet (vgl. Tabelle 2.4, Kapitel 2).

Für die Gewichtung der *Entfernung* von Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld wurden die im Arbeitsplatzkonzept vorgesehenen Distanzkategorien (1= $\geq 30$  m; 2=10-29 m; 3=0-9 m) verwendet. 99,5% der Adressen gehörten in die Entfernungskategorie  $\geq 30$ m und erhielten das Gewicht 1. Nur 9 der 1647 einbezogenen Adressen (0,5%) waren weniger als 30 m von Hochspannungsleitungen entfernt und wurden mit 2 bzw. 3 gewichtet.

Für die *Dauer* im Wohnumfeld (Wohnzeit in Jahren) wurde ein höheres Gewicht angesetzt als für die Variable *Dauer* am Arbeitsplatz, und zwar +50%. Diese Gewichtung lässt sich sehr gut mit Daten einer Sonderauswertung aus dem Deutschen Umwelt- und Gesundheitssurvey (1990/91) begründen, nach der Männer im Sommer durchschnittlich 11.97 Stunden pro Tag (95%CI=11.84;12.11) in der Wohnung verbringen und im Winter 13.70 Stunden pro Tag (95%CI=13.55;13.86). Männer halten sich also im Durchschnitt etwa 4 Stunden länger zu Hause auf als am Arbeitsplatz, wenn man von einer Vollzeitbeschäftigung von 8 Stunden im Durchschnitt ausgeht. Tabelle 4.1 zeigt das Verfahren der Scorebildung im Überblick.

**Tabelle 4.1:** Scorebildung bei der Analyse von EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Wohnen in der Nähe von Hochspannungsleitungen (HSP) in Hamburg

---

Scorebildung

**Score** EMF am Arbeitsplatz=

$$\Sigma (\text{Intensität}_{(\text{Kat.1-30})} * \text{Wohndauer in Jahren} * \text{Entfernung}_{(\text{Kat.1-3})})$$

**Score** EMF durch HSP in der Wohnumwelt=

$$\Sigma (\text{Intensität}_{(\text{Kat. 2})} * (\text{Wohndauer in Jahren} * 1.5^*) * \text{Entfernung}_{(\text{Kat.1-3})})$$

**Score** (EMF am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt): Addition der beiden Scores

---



#### 4.1.2.2 Statistische Analyse

Die statistischen Analysen wurden mittels der Methode der unbedingten logistischen Regression durchgeführt (SPSS, 1999). Für Alter wurde nach 5-Jahres-Altersgruppen adjustiert. Die aus diesen Schätzern ermittelten ORs werden gemeinsam mit ihrem 95%-Konfidenzintervall (95%CI) angegeben.

Die Auswertungen erfolgten zunächst getrennt für die Expositionsbereiche Arbeitsplatz und Wohnumfeld und dann für beide Bereiche gemeinsam, im ersten Schritt nach dem einfachen Modell (jemals vs. niemals exponiert) und in einem zweiten Schritt nach dem komplexeren Modell (Berechnung von Tertilen unter Berücksichtigung von Intensität, Dauer und Entfernung). Die Tertile wurden auf der Grundlage der empirischen Verteilung der gewichteten EMF-Gesamtscores der Kontrollen mit vorliegender Exposition am Arbeitsplatz gebildet. Die Scores der Tertile der Hamburger Kontrollen aus der Arbeitsplatzuntersuchung wurden auf die Wohnbereichsanalyse und gemeinsame Analyse beider Expositionsbereiche übertragen. Hieraus resultieren in der Auswertung unterschiedliche Tertilgrenzen für die Bereiche "Arbeitsplatz", "Wohnumfeld" und den Gesamtbereich "Arbeitsplatz und Wohnumfeld" (s. Tabelle 4.6).

Darüber hinaus wurden separate Analysen (jemals vs. niemals exponiert) für unter 40jährige Männer und 40 bis unter 65jährige Männer sowie Seminome und Nicht-Seminome durchgeführt.

## 4.2 Ergebnisse

### *Einfaches Modell (jemals vs. niemals exponiert)*

Tabelle 4.2 zeigt die für Alter adjustierten ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz, Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt und die Gesamtexposition in beiden Bereichen bei jemals vs. niemals exponierten Männern.

Hiernach unterscheiden sich gegenüber EMF am Arbeitsplatz exponierte und nicht exponierte Männer in ihrem Erkrankungsrisiko nicht (OR=0.9;95%CI=0.57;1.47). Für Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld finden wir ein um 50% erhöhtes Risiko (OR=1.5;95%CI=0.89;2.43). In der gemeinsamen Analyse beider Expositionsbereiche wurden für Männer, die entweder am Arbeitsplatz oder im Wohnumfeld oder in beiden Bereichen exponiert sind, Risiken von 1.2 bzw. 1.3 beobachtet.

**Tabelle 4.2:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)

<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz (jemals vs. niemals exponiert)</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=302)</b>		<b>Fälle (N=126)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	75	24.8	34	27.0	1.0	( ; )
Exponiert	227	75.2	92	<b>73.0</b>	0.9	(0.57;1.47)
<b>Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=313)</b>		<b>Fälle (N=145)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	264	84.3	114	78.6	1.0	( ; )
Exponiert	49	15.7	31	21.4	1.5	(0.89;2.43)
<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=152)</b>		<b>Fälle (N=119)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	33	21.7	22	18.5	1.0	( ; )
Arbeitsplatz oder Wohnumwelt	100	65.8	81	68.1	1.2	(0.67;2.30)
Arbeitsplatz und Wohnumwelt	19	12.5	16	13.4	1.3	(0.55;3.04)

Odds Ratios\*: Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

Die separaten Auswertungen für die Subgruppe der Seminome und Nicht-Seminome (Tabelle 4.3) zeigen nur geringfügige Veränderungen gegenüber der Gesamtauswertung.

**Tabelle 4.3:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt für Seminome und Nicht-Seminome in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)

<b>Seminome (jemals vs. niemals exponiert)</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=152)</b>		<b>Fälle (N=79)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	33	21.7	13	16.5	1.0	( ; )
Arbeitsplatz oder Wohnumwelt	100	65.8	55	69.6	1.4	(0.66;2.80)
Arbeitsplatz und Wohnumwelt	19	12.5	11	13.9	1.4	(0.53;3.82)

Fortsetzung Tabelle 4.3

**Nicht-Seminome** (jemals vs. niemals exponiert)

Hodenkrebs	Kontrollen (N=152)		Fälle (N=40)		Odds Ratios*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	33	21.7	9	22.5	1.0	( ; )
Arbeitsplatz oder Wohnumwelt	100	65.8	26	65.0	1.1	(0.47;2.73)
Arbeitsplatz und Wohnumwelt	19	12.5	5	12.5	1.3	(0.37;4.81)

Odds Ratios\*: Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

In der Gruppe der Männer unter 40 (Tabelle 4.4) finden wir in der Expositions-kategorie "Arbeitsplatz oder Wohnumwelt" ein OR von 1.2 (95%CI=0.62;2.48) und für Expositionen am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt ein OR von 1.8 (95%CI=0.70;4.74). Die erhöhten Risiken der kombinierten Auswertung sind im wesentlichen auf den Bereich der Wohnumwelt zurückzuführen, wo wir ein OR von 1.7 (95%CI=0.99;3.01) finden. Der Effektschätzer für den Arbeitsbereich liegt bei 1.0 (95%CI=0.57;1.75).

**Tabelle 4.4:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei unter 40jährigen Männern in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)

<b>Unter 40jährige Männer</b> (jemals vs. niemals exponiert)						
<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz</b>						
Hodenkrebs	Kontrollen (N=201)		Fälle (N=99)		Odds Ratios*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	53	26.4	25	25.3	1.0	( ; )
Exponiert	148	73.6	74	74.7	1.0	(0.57;1.75)
<b>Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt</b>						
Hodenkrebs	Kontrollen (N=240)		Fälle (N=114)		Odds Ratios*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	203	84.6	87	76.3	1.0	( ; )
Exponiert	37	15.4	27	23.7	1.7	(0.99;3.01)
<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt</b>						
Hodenkrebs	Kontrollen (N=112)		Fälle (N= 94)		Odds Ratios*	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	27	24.1	18	19.1	1.0	( ; )
Arbeitsplatz oder Wohnumwelt	72	64.3	60	63.8	1.2	(0.62;2.48)
Arbeitsplatz und Wohnumwelt	13	11.6	16	17.0	1.8	0.70;4.74)

Odds Ratios\*: Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

Wie aus Tabelle 4.5 hervorgeht, liegen die ORs bei Männern über 40 Jahren in der Expositions-kategorie "Arbeitsplatz oder Wohnumwelt" bei 1.1 (95%CI=0.28;4.60). In der gering besetzten Kategorie "Arbeitsplatz und Wohnumwelt" befindet sich kein Fall. Für Expositionen am Arbeitsplatz finden wir ebenso wie für Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld für 40 bis unter 65jährige Männer erniedrigte Risiken, die unter 1.0 liegen.

**Tabelle 4.5:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei 40 bis unter 65jährigen Männern in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)

<b>40 bis unter 65jährige Männer (jemals vs. niemals exponiert)</b>						
<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=101)</b>		<b>Fälle (N=27)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR <sup>1</sup>	95%CI
Nicht exponiert	22	21.8	9	33.3	1.0	( ; )
Exponiert	79	78.2	18	66.7	0.5	(0.19;1.27)
<b>Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=73)</b>		<b>Fälle (N=31)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR <sup>1</sup>	95%CI
Nicht exponiert	61	83.6	27	87.1	1.0	( ; )
Exponiert	12	16.4	4	12.9	0.8	(0.22;2.59)
<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=40)</b>		<b>Fälle (N=25)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR <sup>1</sup>	95%CI
Nicht exponiert	6	15.0	4	16.0	1.0	( ; )
Arbeitsplatz oder Wohnumwelt	28	70.0	21	84.0	1.1	(0.28;4.60)
Arbeitsplatz und Wohnumwelt	6	15.0	0	0.0	OR nicht berechnet	

Odds Ratios\*: Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

*Komplexeres Modell (Berücksichtigung von Intensität, Dauer und Entfernung)*

Die Auswertungen zur EMF-Gesamtexposition am Arbeitsplatz (Tabelle 4.6) weisen für das Zentrum Hamburg nahezu identische Ergebnisse auf wie die Gesamtanalyse aller Zentren (vgl. 2.2.2), d.h. das Erkrankungsrisiko liegt um 1.0.

In der Untersuchung zu Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld beobachten wir für das erste Tertil eine Erhöhung des Erkrankungsrisikos um 50% (OR=1.5;95%CI=0.85;2.64) und für das zweite Tertil ein OR von 2.0 (95%CI=0.76;5.41). Das dritte Tertil ist kaum besetzt und weist nur 4 Kontrollen und keinen Fall auf.

Die ORs für die Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt liegen im 1. Tertil bei 1.4 (95%CI=0.74;2.69), im 2.Tertil bei 1.0 (95%CI=0.39;2.39) und im 3. Tertil bei 1.1 (95%CI=0.52;2.30).

**Tabelle 4.6:** ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt in Hamburg, gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung zur Quelle

<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=302)</b>		<b>Fälle (N=126)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	75	24.8	34	27.0	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=12)	76	25.2	33	<b>26.2</b>	0.9	(0.52;1.67)
2. Tertil (>12 bis <=69)	76	25.2	32	25.4	0.9	(0.53;1.69)
3. Tertil (>69 bis <=2 249)	75	24.8	27	21.4	0.9	(0.47;1.56)
<b>Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=313)</b>		<b>Fälle (N=145)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	264	84.3	114	78.6	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=42.9)	36	11.5	23	15.9	1.5	(0.85;2.64)
2. Tertil (>42.9 bis <=88.0)	9	2.9	8	5.5	2.0	(0.76;5.41)
3. Tertil (>88.0 bis <=131.8)	4	1.3	0	0.0	ORs nicht berechnet	
<b>Gesamtexposition durch EMF am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt</b>						
<b>Hodenkrebs</b>	<b>Kontrollen (N=152)</b>		<b>Fälle (N=119)</b>		<b>Odds Ratios*</b>	
	N	%	N	%	OR	95%CI
Nicht exponiert	33	21.7	22	18.5	1.0	( ; )
1. Tertil (>0 bis <=34.5)	62	40.8	58	48.7	1.4	(0.74;2.69)
2. Tertil (>34.5 bis <=68.5)	19	12.5	12	10.1	1.0	(0.39;2.39)
3. Tertil (>68.5 bis <=1 809)	38	25.0	27	22.7	1.1	(0.52;2.30)

Odds Ratios\*: Adjustiert für Alter (5-Jahres-Altersgruppen)

#### 4.3 Diskussion

In dieser Arbeit wurde der Versuch unternommen, die Risiken von Arbeitsplatz- und Wohnumfeldexpositionen durch Hochspannungsleitungen gegenüberzustellen und in ihrem gemeinsamen Effekt zu bewerten, zunächst in einem einfachen Modell für jemals vs. niemals exponierte sowie in einem komplexeren Modell, das die Expositionsintensität, -dauer und Entfernung von der Quelle berücksichtigt. Im folgenden werden die Ergebnisse kurz zusammengefasst und diskutiert.

Das Erkrankungsrisiko für Hodenkrebs wird durch EMF-Expositionen am Arbeitsplatz (jemals vs. niemals exponiert) offensichtlich nicht beeinflusst. Eine Auswertung nach Tertilen, die die Intensität, Dauer und Entfernung von der Expositionsquelle berücksichtigt, verändert dieses Ergebnis nicht; es gibt keinerlei Hinweise auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Dies gilt für die Region Hamburg ebenso wie für die Auswertung der Arbeitsplatzexpositionen durch EMF (EMF-Gesamtscore) über alle Studienregionen (vgl. 2.2.2).

Bei Expositionen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld finden wir für jemals vs. niemals exponierte Männer eine Risikoerhöhung von 50% (OR=1.5;95%CI=0.89;2.43). In der Auswertung nach Tertilen unter Berücksichtigung der nach Intensität, Dauer und Entfernung gewichteten Scores zeigt sich bei niedrigen Expositionen (1.Tertil) ein OR von 1.5 (95%CI=0.85;2.64), bei höheren Expositionen (2. Tertil) ein erhöhtes OR von 2.0 (95%CI=0.76;5.41). Das 3. Tertil ist mit nur 4 Kontrollen besetzt ist und lässt daher keine Auswertung zu.

Auffällig ist, dass die Zahl der am Arbeitsplatz und gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld exponierten Fälle und Kontrollen im Unterschied zu den in einem der Bereiche exponierten Männer sehr gering ist. Nur 12.9 Prozent der Studienteilnehmer (19 von 152 Kontrollen, 16 von 119 Fällen) sind in beiden Bereichen exponiert. Arbeitsplatzexpositionen und Expositionen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld korrelieren in unserer Studie nicht. Die ORs für die Gesamtexposition in beiden Expositionsbereichen liegen für jemals vs. niemals exponierte bei 1.3 (95%CI=0.55;3.04). In der Tertilauswertung der kombinierten Analyse zeigt sich keine Dosis-Wirkungs-Beziehung.

In den Arbeiten von Stenlund und Floderus (1997) sowie Floderus et al. (1999) wurde der Zusammenhang von niedrigfrequenten EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und Hodenkrebs untersucht. Die Autorinnen fanden in beiden Studien ein erhöhtes Risiko bei unter 40jährigen Männern. In der 1997 veröffentlichten Fall-Kontroll-Studie zeigte sich, dass das erhöhte Risiko im wesentlichen auf die Gruppe der Nicht-Seminome bezogen war, den mehr malignen Typ unter den bösartigen Hodentumoren. Um zu prüfen, ob sich dieser Befund in unserer Studie bestätigt, wurden abschließend zwei separate Analysen zu Seminomen und Nicht-Seminomen sowie für Männer unter und über 40 Jahre durchgeführt.

Im Unterschied zu Stenlund und Floderus (1997) zeigt sich in unserer Auswertung bei Nicht-Seminomen kein höheres Risiko durch EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und/oder in der Wohnumwelt als bei Seminomen.

In der kombinierten Analyse der Gesamtexposition am Arbeitsplatz und in der Wohnumwelt, sind die ORs bei Männern unter 40 Jahren gegenüber der entsprechenden Gesamtauswertung für alle Altersgruppen der Studie erhöht (OR=1.8;95%CI=0.70;4.74 vs.

OR=1.3; 95%CI=0.55;3.04). Dieses Ergebnis ist vorwiegend mit EMF-Expositionen im Wohnumfeld assoziiert. Unsere Auswertungen zeigen, dass gegenüber Hochspannungsleitungen exponierte Männer unter 40 Jahren ein um 70% erhöhtes Erkrankungsrisiko haben (OR=1.7; 95%; CI=0.99;3.01).

Zusammenfassend geben unsere detaillierten Analysen keinen überzeugenden Hinweis auf ein relevant erhöhtes Erkrankungsrisiko für Hodenkrebs durch kumulative Expositionen am Arbeitsplatz und im Wohnumfeld.

## **5 Abschließende Bewertung**

### 5.1 Kausalität einer Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF

Ziel der folgenden Darstellung ist es, die Ergebnisse dieser Arbeit sowie Ergebnisse aus vorangegangenen Studien zu Hodenkrebs und EMF zusammenfassend zu bewerten. Der Frage der Kausalität einer Assoziation kommt in diesem Kontext eine zentrale Rolle zu.

Zur Beurteilung der Frage, ob das in einer epidemiologischen Studie untersuchte Gesundheitsrisiko in kausaler Beziehung zu einer bestimmten Substanz oder einem Agens steht, werden allgemein die sog. Hill-Kriterien herangezogen. Meist wird dabei auf fünf von insgesamt neun von Hill aufgeführten Kriterien Bezug genommen (Hill, 1965), und zwar:

- die Stärke der Assoziation zwischen Exposition und Risiko
- die Konsistenz bisheriger epidemiologischer Studien
- Hinweise auf eine Dosis-Wirkungsbeziehung
- Experimentelle Nachweise und
- die Plausibilität eines biologischen Wirkungsmechanismus.

Die Hill-Kriterien sind jeweils in ihrer Gesamtheit zu berücksichtigen, da die Kausalität einer Assoziation im Grundsatz nicht mithilfe eines Kriteriums bewertet werden kann. So ist es beispielsweise nicht ausreichend, allein mit der Stärke und statistischen Signifikanz einer Assoziation zu argumentieren. Voraussetzung für diese umfassende Betrachtung ist zunächst einmal die sorgfältige und vollständige Analyse der Literatur. Hierin mag eine der vielfachen Schwierigkeiten des Nachweises liegen, da Arbeiten mit negativem Ergebnis häufig nicht veröffentlicht werden. Auf das Problem des sog. Publikationsbias machte kürzlich Shileds (2000) im Journal "Cancer Epidemiology & Prevention" aufmerksam und forderte hierin ausdrücklich zur Veröffentlichung negativer Studienergebnisse auf.

Im folgenden soll die Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF anhand der Hill-Kriterien bewertet werden.

#### *Stärke der Assoziation zwischen Exposition und Risiko*

Die Mortalität von Kaminfeuern durch Krebs des Scrotums war zu Beginn des 20. Jahrhunderts 200 mal höher als die von Arbeitern, die nicht gegenüber Teer oder Mineralölen exponiert waren. Ein anderes Beispiel für eine starke Assoziation ist die Beziehung zwischen Lungenkrebs und Rauchen: So ist die Sterblichkeit an Lungenkrebs bei Kettenrauchern 20 bis 30 mal höher als bei Nichtrauchern. Assoziationen solcher Stärke wurden in der Vergangenheit nur sehr selten beobachtet.



Generell sollten schwache Assoziationen jedoch nicht automatisch als Hinweis auf eine fehlende kausale Beziehung interpretiert werden. So gibt es in der Medizin eine Reihe von Beispielen für schwache, aber kausale Assoziationen zwischen einem Agens und Gesundheitsrisiko. Beispielsweise erkranken nur sehr wenige Personen, die beruflich gegenüber Tierurin exponiert sind wie z.B. Tierärzte oder Schlachthofpersonal, an der Weil-Krankheit, deren Erreger *Leptospira Icterohaemorrhagiae* durch Tierurin übertragen wird. Dennoch liegt hier eine ursächliche Beziehung zwischen Erkrankung und Exposition vor.

Vorangegangene Kohortenstudien zu Berufs-/Branchengruppen, bei denen aufgrund der beruflichen Tätigkeiten EMF-Belastungen angenommen werden, zeigen Risiken, die sich zwischen 0.6 und 6.2 bewegen. Die Kohortenstudie von Floderus et al. (1999), in der Berufsangaben mit einer auf Messungen basierenden JEM verknüpft wurden, liefert bezüglich der Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF-Expositionen die zuverlässigsten Effektschätzer, die bei unter 40jährigen Männern zwischen 1.3 und 2.6 liegen. In den vorliegenden Fall-Kontroll-Studien finden wir entweder fehlende Assoziationen oder Risiken bis zur Höhe von 3.9 (für Männer unter 40), wenn man sehr kleine Subgruppen aus der Betrachtung ausnimmt (vgl. Synopse vorhandener Studien zu Hodenkrebs und EMF in Kapitel 1.2.3.3). Die Befunde dieser Arbeit lassen sich gut in den Kontext bisheriger Ergebnisse einordnen.

#### *Konsistenz bisheriger epidemiologischer Studien*

Wird eine Assoziation zwischen einem Gesundheitsrisiko und einem Agens bzw. einer Substanz in unterschiedlichen Studien mit unterschiedlicher Methodik, möglichst an verschiedenen Orten und zu unterschiedlichen Zeiten, wiederholt beobachtet? Die Assoziation von Hodenkrebs und EMF, über die es gelegentliche Fallberichte, z.B. im Kontext von Clusterbeobachtungen gibt, wurde bisher vor allem in Krebsregister- und mortalitätsbasierten Fall-Kontroll-Studien und in Kohortenstudien mit unterschiedlichster Methodik untersucht. Die Expositionsabschätzung reicht von Record-Linkage Verfahren, in denen Zensusdaten zu Berufen/Branchen mit Krebsregisterdaten verknüpft wurden über ein Record-Linkage von Berufsangaben und einer auf Messungen basierenden Job-Exposure-Matrix, selbstauszufüllenden Fragebögen zur beruflichen Geschichte, Face-to-Face Interviews zu Berufen/Branchen, Tätigkeiten und EMF-Expositionen bis hin zur detaillierten Analyse des beruflichen Werdegangs einschließlich eines Tätigkeitsprofils und Aufzeichnungen zu Expositionen. Die Studienergebnisse sind nicht konsistent. Der Mangel an validen Expositionsdaten und die Unterschiede in der verwendeten Nomenklatur bezüglich der Berufe und Branchen erschweren einen Vergleich zwischen den Studienergebnissen, so dass die Konsistenz der Studienergebnisse nur mit Einschränkung bewertet werden kann.

*Hinweise auf eine Dosis-Wirkungsbeziehung*

Steigt das Erkrankungsrisiko mit steigender Exposition? Hinweise auf eine Dosis-Wirkungsbeziehung fehlen bisher mit Ausnahme einer skandinavischen Studie, die zeigt, dass höhere ELF-Expositionen am Arbeitsplatz bei Männern unter 40 Jahren zu höheren Risiken führen. Dies gilt sowohl für Seminome als auch für Nicht-Seminome (Stenlund und Floderus, 1997). In unserer Untersuchung zu EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld für die Region Hamburg zeigt sich, dass bei Berücksichtigung der Wohndauer und Distanz innerhalb eines 250m-Bandes um eine Hochspannungsleitung (Expositionsindex C) hohe Expositionen mit höheren Risiken verbunden sind, insbesondere bei Männern unter 40 Jahren.

*Experimentelle Nachweise*

Es gibt bisher keine überzeugenden Nachweise dafür, dass elektrische oder magnetische Felder in den Feldstärken, die in unserer Umgebung typischerweise vorgefunden werden, Genveränderungen verursachen, und es ist daher unwahrscheinlich, dass sie im Zusammenhang der Karzinogenese eine Rolle bei der Initiation oder Konversion spielen. Es wird allgemein angenommen, dass elektromagnetische Felder, wenn sie im Rahmen der Karzinogenese einen Einfluss haben, im Sinne der Tumorpromotion wirken (Cridland, 1997). Hierfür gibt es eine Reihe von Hinweisen im Rahmen von In-Vivo- und In-Vitro-Studien. Die Ergebnisse dieser Studien sind jedoch aufgrund der Unterschiedlichkeit der Expositionsbedingungen in den verschiedenen Laboren oftmals nicht vergleichbar, widersprüchlich und nicht replizierbar (Boorman et al., 2000).

*Plausibilität eines biologischen Wirkungsmechanismus*

Sind biologische Wirkungsmechanismen bekannt, die einen krebsinitiierenden oder promovierenden Effekt haben? Ein biologischer Wirkungsmechanismus von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern oder nicht-thermischen Effekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder ist bisher nicht belegt. Die nach dem Stand der Forschung am häufigsten diskutierte Hypothese zur Krebspromotion durch EMF ist die sog. Melatonin-Hypothese.

Der Ausgangspunkt der Melatonin-Hypothese, die vielfach zur Erklärung des biologischen Wirkmechanismus herangezogen wird, beruht darauf, dass künstlich erzeugte elektromagnetische Felder die Produktion von Melatonin in der Zirbeldrüse vermindern und dies die Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung erhöht. Der Melatoninspiegel im Blut ist hoch bei Nacht und niedrig am Tag, und man nimmt an, dass er durch künstliches Licht bei Nacht und durch EMF erniedrigt werden kann. Die Frage, ob EMF-Expositionen den nächtlichen Melatoninspiegel beim Menschen tatsächlich erniedrigen bzw. in einem Ausmaß erniedrigen, dass sie die Krebsentstehung fördern, ist noch nicht ausreichend belegt. Allgemein akzeptiert

hingegen ist die onkostatistische Wirkung des Melatonins auf Basis der experimentellen Evidenz der Assoziation zwischen Melatonin und Krebs. Hiernach gibt es wenigstens zwei auf Melatonin bezogene Wirkungsmechanismen, durch die die Krebsentstehung gefördert oder gehemmt werden kann. Erstens kann Melatonin als Fänger freier Radikale und Antioxidantie die DNA vor Mutationen schützen. Zweitens ist bekannt, dass Melatonin das Wachstum bereits bestehender Tumoren hemmt. Dies hängt u.a. mit der Hemmung der Aufnahme von Fettsäuren durch Krebszellen zusammen, die sich von diesen Fettsäuren ernähren (Reiter, 2000). Die Melatonin-Hypothese wird u.a. durch den Befund gestützt, dass nach chirurgischer Entfernung der Zirbeldrüse im Tierexperiment die Geschwindigkeit der Zellteilung und die Entstehung von Primärtumoren sowie das Wachstum von Metastasen gefördert wird (Bartsch et al., 2000).

In einer schwedischen Studie konnte gezeigt werden (Feychting, 2000), dass Blinde eine niedrigere Gesamtkrebsinzidenz aufweisen als andere Bevölkerungsgruppen (SIR=0.69; 95%CI=0.59; 0.82). Durch zahlreiche Inzidenzvergleiche (Parkin et al., 1992; Coleman et al., 1993) und Fall-Kontroll- oder Kohortenstudien ist bekannt, dass kaukasische Abstammung (im Gegensatz zu afrikanischer oder asiatischer Abstammung) ein gesicherter Risikofaktor für Hodenkrebs ist (Buetow, 1995; Bokemeyer et al., 1992; Schottenfeld, 1996); auch dies steht möglicherweise im Zusammenhang zur Melatonin-Hypothese.

Dennoch ist - gerade auch unter Berücksichtigung der hier nicht dargestellten konkurrierenden Hypothesen - ein biologischer Wirkungsmechanismus von EMF bisher nicht ausreichend belegt. Da bisher noch völlig ungeklärt ist, auf welche Weise EMF den Melatoninspiegel beeinflusst, erscheint auch Melatonin als valider Indikator zur Beschreibung des Einflusses von EMF auf den Organismus wenig geeignet (Wunstorff et al., 2000).

#### *Gründe für fehlerhafte Assoziationen zwischen Exposition und Risiko*

Bei der Bewertung der Kausalität einer Assoziation sollte darüber hinaus kritisch geprüft werden, ob das gefundene Risiko tatsächlich auf die untersuchte Exposition zurückzuführen ist. Ein besonderes Problem von Fall-Kontroll-Studien ist das Vorliegen eines Selektionsbias. Einige der in der Literatur berichteten positiven Assoziationen zwischen Hodenkrebs und EMF sind möglicherweise auch auf Confounder oder eine Interaktion mit Confoundern zurückzuführen.

Die Frage, ob die Ergebnisse der Auswertungen zu EMF am Arbeitsplatz in dieser Studie angesichts der vergleichsweise niedrigen Response der Kontrollen durch das Vorliegen eines 'Non-Responder-Bias' oder den potenziellen Confounder "Soziale Schicht" beeinträchtigt wurden, lässt sich nicht mit Sicherheit beurteilen. Bei den Untersuchungen zu EMF-Expositionen im Wohnumfeld hat Selektion aufgrund des Untersuchungsdesigns kaum einen Einfluss.

Neben außerberuflichen Faktoren wie z.B. Soziale Schicht (Swerdlow and Skeet, 1988; Hayes et al., 1990; Swerdlow et al., 1991; Van den Eeden et al., 1991) kommt im Zusammenhang der hier untersuchten Erkrankungsrisiken auch Confounding durch Lösemittel in Betracht (Stenlund und Floderus, 1997). Diskutiert wird z.B. ein erhöhtes Erkrankungsrisiko von Beschäftigten in der Flugzeugindustrie, die potenziell gegenüber EMF und Lösemitteln, vor allem Bestandteilen von Flugbenzin, insbesondere Dimethylformamid und Glykoläther, exponiert sind (Ducatman et al., 1986; Garland et al., 1988; Ryder et al., 1997). Confounding durch Lösemittelexpositionen konnte in dieser Studie nicht untersucht werden.

Fehlerhafte Assoziationen können ebenso darauf zurückzuführen sein, dass die Expositionsabschätzung nicht adäquat war. Nicht-differentielle Fehlklassifikation stellt daher eines der grundlegendsten Probleme dar. So basieren zahlreiche der hier genannten Studien allein auf Berufs- oder Branchenbezeichnungen oder selbst berichteten Expositionen; es gibt nur wenige Untersuchungen, die auf Messungen beruhen und die Expositionsintensität, Häufigkeit und Dauer von EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und/oder der Wohnumwelt sorgfältig quantifizieren. Da die Adäquatheit eines Quantifizierungsmodells aber davon abhängt, welcher biologische Wirkungsmechanismus, den wir nicht kennen, zugrunde liegt, ist die Quantifizierung der Exposition auch bei vorliegenden Messungen sehr schwierig.

Ein anderer Grund für fehlerhafte Assoziationen zwischen Exposition und Risiko sind zuweilen auch willkürlich festgelegte cut points.

Auch der Recall Bias, d.h. die unterschiedliche Erinnerung an Sachverhalte insbesondere bezüglich vergangener Expositionen bei Fällen und Kontrollen, ist generell als potenzielle Fehlerquelle in Fall-Kontroll-Studien in Betracht zu ziehen.

Vor allem aber leiden viele Untersuchungen am Problem einer zu geringen Power, was in eingeschränktem Maße auch für diese Studie gilt, in der einige kleinere Subgruppen, z.B. radarexponierte Personen, untersucht wurden.

### *Zusammenfassung*

Tabelle 5.1 zeigt die Zusammenfassung der Argumente zur Bewertung der Kausalität einer Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF noch einmal in der Übersicht.

**Tabelle 5.1:** Anwendung der Hill-Kriterien zur Bewertung der Kausalität einer Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF

Hill-Kriterium		Stärke der Evidenz für EMF und Hodenkrebs
1	<b>Stärke der Assoziation</b>	Vorangegangene Kohortenstudien zeigen Risiken, die sich zwischen 0.6 und 6.2 bewegen. Die Kohortenstudie von Floderus et al. (1999) liefert bezüglich der Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF-Expositionen die zuverlässigsten Effektschätzer, die bei unter 40jährigen Männern je nach Expositionsbedingungen zwischen 1.3 und 2.6 liegen. Die Ergebnisse der Fall-Kontroll-Studien zeigen entweder fehlende Assoziationen oder Risiken bis zur Höhe von 3.9 für jüngere Männer unter 40, wenn man kleinere Subgruppen aus der Betrachtung ausnimmt. Die Befunde dieser Arbeit lassen sich gut in den Kontext bisheriger Ergebnisse einordnen.
2	<b>Konsistenz bisheriger epidemiologischer Studien</b> Zeigen unterschiedliche Studien vergleichbare Risiken bei vergleichbarer Exposition?	Die bisherigen Studienergebnisse sind inkonsistent. Der Mangel an validen Expositionsdaten und die Unterschiede in der verwendeten Nomenklatur bezüglich der Berufe und Branchen erschweren jedoch einen Vergleich zwischen den Studienergebnissen, so dass die Konsistenz der Studienergebnisse nur mit Einschränkung bewertet werden kann.
3	<b>Hinweise auf eine Dosis-Wirkungsbeziehung</b> Steigt das Risiko mit steigender Exposition?	Hinweise auf eine Dosis-Wirkungsbeziehung fehlen bisher mit Ausnahme einer skandinavischen Studie (Stenlund und Floderus, 1997). In unserer Untersuchung zu EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld für die Region Hamburg zeigt sich, dass bei Berücksichtigung der Wohndauer und Distanz innerhalb eines 250m-Bandes um eine Hochspannungsleitung (Expositionsindex C) hohe Expositionen mit höheren Risiken verbunden sind, insbesondere bei Männern unter 40 Jahren.
4	<b>Experimentelle Nachweise</b> Gibt es Nachweise zur Karzinogenese oder Tumorpromotion durch In-Vivo- oder In-Vitro-Studien?	Es gibt bisher keine überzeugenden Nachweise dafür, dass elektrische oder magnetische Felder Genveränderungen verursachen. Es wird allgemein angenommen, dass elektromagnetische Felder, wenn sie im Rahmen der Karzinogenese einen Einfluss haben, im Sinne der Tumorpromotion wirken.
5	<b>Plausibilität eines biologischen Wirkungsmechanismus</b> Sind biologische Wirkungsmechanismen bekannt, die einen krebsinitiierenden oder promovierenden Effekt haben?	Ein biologischer Wirkungsmechanismus von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern oder nicht-thermischen Effekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder ist bisher nicht belegt. Die nach dem Stand der Forschung am meisten diskutierten Hypothese zur Krebspromotion durch EMF ist die sog. Melatonin-Hypothese.

Aus Sicht der mit der WHO kooperierenden National Institutes of Environmental Health Sciences (NIEHS, 1998), die ein Forschungsprogramm zur Evaluation gesundheitlicher Risiken durch EMF entwickelten, gibt es allein für die chronisch lymphatische Leukämie eine begrenzte Evidenz dahingehend, dass berufliche Expositionen Erwachsener gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern karzinogene Wirkungen haben. 14 Mitglieder der von der NIEHS ins Leben gerufenen 'Working Group' votierten für diese Einschätzung, 11 votierten für eine inadäquate Evidenz, 2 enthielten sich, und 2 Mitglieder waren nicht anwesend.

Für alle anderen Krebsformen (auch Hodenkrebs) wurde die Evidenz von der 'Working Group' als inadäquat eingeschätzt. Diese Einschätzung wurde von 22 Mitgliedern unterstützt, 2 votierten für eine begrenzte Evidenz, 1 Mitglied votierte für fehlende Evidenz, 2 enthielten sich, und 2 Mitglieder waren nicht anwesend. Was EMF-Expositionen von Erwachsenen im Wohnumfeld angeht, so ist die Evidenz für Karzinogenität nach der Bewertung von 24 Mitgliedern der 'Working Group' inadäquat, 1 Mitglied votierte für fehlende Evidenz, 1 Mitglied enthielt sich, und 3 Mitglieder waren nicht anwesend.

## 5.2 Empfehlungen für weiterführende Studien zur Assoziation von EMF und Krebs

Die Einstufung potenzieller Umweltrisiken erfordert bei hoher Betroffenheit der Öffentlichkeit im Sinne hoher ökonomischer und gesundheitlicher Kosten eine sorgfältige wissenschaftliche Prüfung und politische Abwägung. Daher stellt die Bewertung der vorhandenen Literatur zu den biologischen Effekten und assoziierten gesundheitlichen Wirkungen durch ein Agens einen entscheidenden wegweisenden Schritt dar; die Bewertung muss möglichst objektiv sein und die Diskussion hierzu offen geführt werden. Nach Initiierung des internationalen EMF-Projekts durch die WHO im Jahre 1996 (Repacholi, 1997) wurden zahlreiche Reviews zur Wirkung elektromagnetischer Felder und ihren gesundheitlichen Wirkungen publiziert, deren Fazit hier kurz dargestellt wird.

Preece et al. (2000), die sich in einem Review mit der Wirkung von ELF befassen, halten weitergehende Forschung vorwiegend im Bereich der biologischen Wirkungsmechanismen für erforderlich. Die Expositionen sollten genauer beschrieben und die Eigenschaften der im Zusammenhang der Expositionen entstehenden Felder definiert werden. Bis dies nicht geleistet sei, bleibe weitere epidemiologische Forschung zu diesem Thema verhältnismäßig unergiebig. Gleichzeitig sollten, auch wenn derzeit keine stärkere Evidenz vorhanden sei, in Orientierung an der Position der NIEHS (1998) alle verfügbaren kostengünstigen Vorsichtsmaßnahmen zur Reduktion von ELF-Expositionen getroffen werden.

Elwood (1999) kommt in seinem Review epidemiologischer Studien zu Krebserkrankungen und Expositionen gegenüber Radiowellen zu der Auffassung, dass es in der gegenwärtigen epidemiologischen Forschung keinen Nachweis für substantielle Effekte von Radiowellen im

Kontext der Kanzerogenese beim Menschen gebe. Trotz der unzureichenden Evidenz vertritt Elwood die Auffassung, dass sich Forscher den bislang offenen Fragen in weitergehenden Untersuchungen zuwenden sollten.

Die Messung elektromagnetischer Felder und Expositionsbestimmung beim Menschen stellt nach Stepansky et al. (1999) eines der schwierigsten Probleme dar, vor allem aufgrund der verschiedenen auf den Menschen gleichzeitig einwirkenden Quellen (z.B. gleichzeitiges Einwirken nieder- und hochfrequenter Felder) und deren unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften (gepulste vs. nicht gepulste Frequenzen etc.). Daher ist aus Sicht der Autoren die Festlegung standardisierter Messbedingungen, möglichst durch eine internationale Arbeitsgruppe erforderlich.

In Ergänzung der oben dargestellten Empfehlungen seien noch folgende Punkte aus epidemiologischer Perspektive genannt, die bei künftigen Untersuchungen zur Assoziation von EMF-Expositionen und Krebsrisiken stärkere Berücksichtigung finden sollten:

- Bei der Abschätzung von EMF-Expositionen sollte stärker auf vorhandene Messungen rekurriert werden bzw. sollten eigene Messungen durchgeführt werden. Im Zusammenhang der Ermittlung von EMF-Expositionen im Wohnumfeld sollten neben Hochspannungsleitungen auch weitere Quellen untersucht werden, insbesondere unterirdische Kabel.
- Hormonabhängige Krebsformen sollten im Kontext von EMF-Expositionen gemeinsam analysiert werden, um Erkenntnisse zu den Wirkungsmechanismen zu fördern. Aus dem gleichen Grunde sollte der histologisch-pathologische Subtyp von Krebserkrankungen bei der Planung künftiger Untersuchungen stärkere Berücksichtigung finden.
- Krebserkrankungen sollten im Kontext der Assoziation mit EMF-Expositionen möglichst in größeren Verbundstudien untersucht werden, um eine genügend hohe Power zu erreichen.
- Zur Erhöhung der Spezifität sollten auch Untersuchungen zu hoch exponierten Personengruppen durchgeführt werden, vorzugsweise auch in größeren Verbundstudien, um Probleme einer zu geringen Power zu vermeiden.
- Die Rolle von Lösemittelexpositionen als Confounder ist bisher unklar und sollte daher weitergehend abgeklärt werden.

Darüber hinaus wäre es von Nutzen, wenn

- ein international standardisiertes Vorgehen im Hinblick auf die Nomenklatur zu Berufen und Branchen entwickelt würde,

- die Konstruktion von Fragebögen im Hinblick auf die Auswertung theoriegeleiteter erfolgen würde und
- Studienergebnisse auch dann veröffentlicht würden, wenn sie negativ sind bzw. wenn sie die Hypothesen nicht bestätigen, weil nur hierdurch einem Publikationsbias entgegengewirkt werden kann.



## **6 Zusammenfassung**

### ***Einführung***

Die Neuerkrankungsrate maligner Hodentumoren ist in den letzten Jahrzehnten in fast allen europäischen Ländern kontinuierlich angestiegen. Das frühe Auftreten dieser Tumoren, die am häufigsten zwischen dem 25. und 40. Lebensjahr vorkommen, deutet auf hereditäre und pränatale Faktoren als Ursachen hin, aber auch berufliche Ursachen und Umweltrisiken werden als mögliche Einflussfaktoren in Betracht gezogen. Neben Kryptorchismus gibt es dennoch bisher kaum gesicherte Risikofaktoren.

### ***Ziele der Arbeit***

Die vorliegende Studie wurde mit folgender Zielsetzung durchgeführt:

- (a) Entwicklung eines Quantifizierungsmodells zur Ermittlung beruflicher EMF-Expositionen unter Berücksichtigung der Expositionsintensität, Dauer und Entfernung von verschiedenen Expositionsquellen,
- (b) Zusatzuntersuchung von Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld in der Region Hamburg,
- (c) Abschließende gemeinsame Analyse von beruflichen EMF-Expositionen und Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld.

### ***Material und Methoden***

Die bevölkerungsbezogene Fall-Kontroll-Studie wurde in fünf Regionen Deutschlands durchgeführt (Hamburg, Bremen, Essen, Saarbrücken und im Saarland), die insgesamt eine Bevölkerung von ca. 1.5 Millionen männlichen Einwohnern im Alter von 15 bis 69 Jahren umfassen. Kooperierende Institutionen/Zentren der multizentrischen Studie waren das Hamburgische Krebsregister (Behörde für Umwelt und Gesundheit), das Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin, Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (Universitätskrankenhaus Essen) und das Saarländische Krebsregister.

Eingeschlossen in die Studie wurden neuerkrankte Männer mit Hodenkrebs und extragonadalen Keimzelltumoren, die zwischen dem 1. Juli 1995 und 31. Dezember 1997<sup>1</sup> zwischen 15 und 69 Jahre alt waren. Die Kontrollen wurden über eine Zufallsstichprobe der Einwohnermeldeämter gewonnen und nach Alter (5-Jahres-Altersgruppen) und Region (5 Strata) gematcht. Die Auswertungen beziehen sich auf 269 Fall- und 797 Kontrollinterviews.

---

<sup>1</sup> In Hamburg wurde der Erhebungszeitraum wegen des hohen Fallaufkommens auf zwei Jahre (1.7.1995-30.6.1997) eingeschränkt.

### *EMF-Expositionen am Arbeitsplatz*

Der in Face-to-Face-Interviews verwendete Fragebogen beinhaltete einen spezifischen Teil zur Erfassung beruflicher EMF-Expositionen, d.h. der EMF-Quelle, Expositionsdauer und Entfernung zur Quelle. Insgesamt wurden fünf Expositionsquellen unterschieden:

Arbeit in der Nähe von

- (1) elektrischen Anlagen und am Bildschirm
- (2) Hochspannungsleitungen, Transformatoren und Transformatorenstationen,
- (3) Funkgeräten, Funktelefonen oder ähnlichen Apparaten,
- (4) elektrischen Maschinen sowie in der Nähe von
- (5) Radargeräten.

Das Quantifizierungsmodell für EMF-Expositionen wurde in Kooperation mit dem Referat für gesundheitlichen Umweltschutz der Behörde für Umwelt und Gesundheit in Hamburg entwickelt. Die Annahmen, die der Einstufung der Expositionsintensität zugrundeliegen, basieren auf der Literatur.

Das einfachste Modell unterschied jemals und niemals gegenüber eine EMF-Quelle exponierte Personen. In einem zweiten Modell wurden die Angaben von Fällen und Kontrollen nach Expositionsintensität, Dauer in Jahren und Entfernung von der Quelle gewichtet und ein kombinierter Gesamtscore gebildet. Für Seminome und Nicht-Seminome sowie für Blue- und White-Collar-Workers wurden separate Analysen durchgeführt.

Um die Spezifität der Expositionseinstufung für den Bereich der Hochfrequenzen zu erhöhen, wurden die Fragebögen von Personen, die Radarexpositionen berichteten oder in Berufen/Branchen tätig waren, welche für potenzielle Radarexpositionen bekannt sind, mittels eines in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin entwickelten Quantifizierungsmodells von zwei Ratern (C. Baumgardt-Elms, PD. Dr. W. Ahrens) unabhängig voneinander neu eingestuft. Die Rater waren gegenüber dem Fall-Kontroll-Status der Studienteilnehmer blind.

Über die zuvor beschriebenen Auswertungen hinaus wurden die Erkrankungsrisiken in Berufsgruppen untersucht, für die nach der Literatur mit potenziellen EMF-Expositionen zu rechnen ist. Als exponiert galten alle Personen, deren nach Intensität, Dauer und Entfernung gewichteter kombinierter Gesamtscore über alle EMF-Quellen größer als Null war. Als Referenzgruppe dienten die Probanden, die in der betreffenden Berufsgruppe tätig und nie exponiert waren. In der Gruppe der Elektriker, die in nahezu 100% EMF-Expositionen angaben, wurden die nicht exponierten und niedrig exponierten zusammengefasst und als Referenzgruppe den hoch exponierten Elektrikern gegenübergestellt (von 135 Elektrikern berichteten nur 3 drei Männer keine EMF-Expositionen).

Im Rahmen der statistischen Analysen wurden mittels der bedingten logistischen Regression Odds Ratios (OR) und korrespondierende 95% Konfidenzintervalle (95% CI) berechnet. Bei den Auswertungen zu Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition wurde die unbedingte logistische Regression verwendet. Bei jeder Auswertung wurde nach Alter und Region stratifiziert.

### *EMF-Expositionen im Wohnumfeld*

Zur EMF-Belastung durch Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld erfolgte eine Zusatzuntersuchung in der Region Hamburg. Zu diesem Zweck wurde eine Auswertung der Wohnbiographie aller über das Hamburgische Krebsregister zwischen dem 1.7.1995 und 30.6.1997 identifizierten neu erkrankten Fälle durchgeführt sowie einer zufällig ausgewählten Untergruppe von Kontrollen. Die Auswertung umfasste 145 Fälle und 313 Kontrollen, die nach 5-Jahres-Altergruppen gematcht wurden.

Anhand von Daten des Zentralen Einwohnermeldeamts wurde die Wohnbiographie der Studienteilnehmer innerhalb Hamburgs rekonstruiert. Allen Hauptwohnungen (558 Patienten- und 1089 Kontrolladressen) wurden anhand des Adressbands des Statistischen Landesamts Gauss-Krüger-Koordinaten zugeordnet. Für jede Adresse wurde der kürzeste lotrechte Abstand zu 110- und 380-KV-Hochspannungstrassen berechnet.

Der einfachste Expositionsindex (A) berücksichtigt für Fälle und Kontrollen, ob sie jemals innerhalb eines Bandes von 250 Metern um eine Hochspannungsleitung wohnten. Expositionsindex B leitet sich aus der Summe der Wohndauer im 250m-Band ab. Expositionsindex C berücksichtigt den Abstand von der Trassenmitte, indem die inverse Distanz ( $1/d$ ) zur nächsten Hochspannungsleitung mit der jeweiligen Wohndauer multipliziert und über die Wohnadressen summiert wurde.

Für alle Modelle wurden mittels der unbedingten logistischen Regression altersadjustierte ORs und korrespondierende 95% CI berechnet. Für Männer unter 40 und 40 bis unter 65jährige erfolgten separate Auswertungen.

### *Gemeinsame Analyse von beruflichen EMF-Expositionen und Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld*

Abschließend wurde eine gemeinsame Analyse von beruflichen EMF-Expositionen und Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld durchgeführt (271 Kontrollen, 119 Fälle). Ziel war die Untersuchung der Frage, ob die kumulative Belastung durch EMF-Expositionen beider Bereiche die Risikoschätzer für EMF erhöht. Zum einen erfolgten Auswertungen für jemals exponierte Fälle und Kontrollen. Für Männer unter 40 Jahren und 40 bis unter 65jährige sowie Seminome und Nicht-Seminome wurden separate Auswertungen durchgeführt. In einem komplexeren Modell wurden darüber hinaus die

Expositionsintensität, Dauer in Jahren und Entfernung von der Expositionsquelle berücksichtigt.

Für jemals vs. niemals exponierte wurden mittels der logistischen Regression altersadjustierte ORs und korrespondierende 95% CI berechnet. Für das komplexere Modell erfolgte eine entsprechende Auswertung nach Tertilen.

### **Ergebnisse**

#### *Studienteilnehmer und Response*

Insgesamt wurden 372 Fälle gemeldet, die die Einschlusskriterien bezüglich Wohnort, Alter bei Erstdiagnose, Inzidenzzeitraum und Diagnose erfüllten. 353 der gültigen Fallmeldungen konnten (95%) referenzbefundet werden.

Die Response der gemeldeten Fälle betrug mehr als 75 %, die Response der Kontrollen liegt mit 57% nur im mittleren Bereich der bisher in vergleichbaren Studien in Deutschland erreichten Proportionen.

#### *EMF-Expositionen am Arbeitsplatz*

Erwartungsgemäß werden Tätigkeiten in der Nähe komplexer elektrischer Anlagen und am Bildschirm am häufigsten berichtet. Die Prävalenz beträgt unter den Fällen 44.6% und unter den Kontrollen 45.4% (OR=0.9;95%CI=0.67;1.21). An zweiter Stelle stehen Tätigkeiten in der Nähe elektrischer Maschinen, es folgt Arbeit mit Funkgeräten, Arbeit in der Nähe von Hochspannungsleitungen und Radargeräten. Die Prävalenz selbst berichteter Tätigkeiten in der Nähe von Radargeräten beträgt unter den Fällen 8.2%, unter den Kontrollen 7.3%. Im Gegensatz zu unserer A-priori-Hypothese finden wir für Radarexpositionen kein erhöhtes Risiko (OR=1.0;95%CI=0.60;1.75). Sämtliche ORs liegen unter bzw. bei 1.

Die Gewichtung der Scores mit der Expositionsintensität, Dauer und Entfernung von der Expositionsquelle ändert die Ergebnisse nur marginal. Es gibt keinen Hinweis auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Separate Analysen für "Blue-Collar"- und "White-Collar"-Tätigkeiten sowie Seminome und Nicht-Seminome verändern die Ergebnisse ebenfalls nicht nennenswert.

Nach der expertengestützten Expositionseinschätzung liegt die Prävalenz von Radarexpositionen für Fälle bei 1.5% und für Kontrollen bei 3.4% und damit deutlich niedriger als nach Selbstberichten (OR=0.4;95%CI=0.13;1.16).

Im Zusammenhang der Auswertungen für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition zeigt sich, dass die Zahlen bei Fällen und Kontrollen in einigen Berufen/Berufsgruppen so niedrig sind, dass eine Interpretation der Risiken durch EMF-Exposition nicht möglich ist. Dies gilt für den Bereich der Stromanlagenbediener, Radaranlagenbediener sowie für Seeleute/Fischer.

In der Gruppe der hauptberuflich tätigen Elektriker, in der nur 2 von 106 Kontrollen und 1 von 29 Fällen keine EMF-Exposition berichteten, zeigt sich bei hoher EMF-Exposition (Referenzgruppe: Keine oder niedrige EMF-Exposition) ein erniedrigtes Erkrankungsrisiko (OR=0.8; 95%CI=0.35;1.90).

Im Bereich der Gesundheitsberufe/Zahnärzte/Zahnarzthelferinnen/Zahntechniker (39 Kontrollen, 19 Fälle) finden wir bei Kontrollen eine Prävalenz von 56.4%, bei Fällen von 63.2%. Das OR für niedrige EMF-Expositionen liegt bei 1.3 (95%CI=0.34;5.15), für hohe Expositionen bei 1.8 (95%CI=0.42;7.66).

Im Bereich der Verwaltung und des Managements (268 Kontrollen, 81 Fälle), finden wir erwartungsgemäß eine hohe Prävalenz, 86.4% bei Fällen, 81.3% bei Kontrollen. Bei niedriger EMF-Exposition wurde ein OR von 1.5 (95%CI=0.71;3.12) beobachtet, bei hoher EMF-Exposition ein OR von 0.8 (95%CI= 0.33;2.04).

### *EMF-Expositionen im Wohnumfeld*

Die Prävalenz für das Wohnen in der Nähe einer Hochspannungsleitung (Zentrum Hamburg) beträgt unter den Fällen 21.4% und 15.7% unter den Kontrollen, das OR für jemals exponierte Männer (Expositionsmodell A) liegt bei 1.5 (95%CI=0.89;2.43). Beim zweiten Expositionsmodell (B), das zusätzlich die Wohndauer im 250m-Band berücksichtigt, finden wir für niedrige Expositionen ein OR von 1.6 (95%CI=0.83;3.06) und für hohe Expositionen ein OR von 1.4 (95%CI=0.68;2.71). Nach dem dritten komplexesten Modell (Expositionsindex C), welches die Wohndauer und Distanz von der Trassenmitte beinhaltet, liegt das OR für niedrige Expositionen bei 1.2 (95%CI=0.60;2.47) und für hohe Expositionen bei 1.7 (95%CI= 0.91;3.32).

In der Gruppe der jemals exponierten Männer unter 40 Jahren finden wir ein OR von 1.7 (95%CI=0.99;3.01). Der Effektschätzer für Expositionsindex B liegt für niedrige Expositionen durch Hochspannungsleitungen bei 1.9 (95%CI=0.91;3.87) und für hohe Expositionen bei 1.6 (95%CI=0.72;3.39). Expositionsindex C, in dem neben der Wohndauer auch die Entfernung innerhalb eines 250-m-Bandes um eine Hochspannungsleitung berücksichtigt wurde, beobachten wir für niedrige Expositionen ein OR von 1.5 (95%CI=0.70;3.26) und für hohe ein OR von 1.9 (95%CI=0.94;4.03).

Bei 40 bis unter 65jährigen Männern liegen die ORs in allen Modellen bei bzw. unter 1.0.

### *Gemeinsame Analyse von beruflichen EMF-Expositionen und Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld*

Nur 12.9 Prozent der Studienteilnehmer (19 von 152 Kontrollen, 16 von 119 Fällen) sind in beiden Bereichen exponiert, d.h. am Arbeitsplatz und gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld.

Die kombinierte Analyse nach dem einfachen Modell (jemals vs. niemals exponiert) zeigt ein OR von 1.3 (95%CI=0.55;3.04). Die Ergebnisse für das komplexere Modell (Gewichtung mit Expositionsintensität, Dauer und Entfernung) und die Subgruppenanalysen zu Seminomen und Nicht-Seminomen weisen keine substantiellen Veränderungen auf. Wir können keine Dosis-Wirkungs-Beziehung beobachten.

Das OR für Männer unter 40 Jahren ist nach dem einfachen Modell (jemals vs. niemals exponiert) gegenüber der Auswertung für das Gesamtkollektiv der Studie erhöht (OR=1.8; 95%CI=0.70;4.74 vs. OR=1.3;95%CI=0.55;3.04). Dies ist im wesentlichen auf EMF-Belastungen im Wohnumfeld zurückzuführen.

### **Diskussion**

#### *Bias und Confounding*

Die Response der gemeldeten Fälle ist als gut bis sehr gut zu beurteilen. In Anbetracht der vergleichsweise mäßigen Response der Kontrollen kommt jedoch der Frage, ob in dieser Studie ein Selektionsbias bzw. Confounding vorliegt, eine besondere Rolle zu. Soziale Schicht muss zweifellos als potenzieller Confounder betrachtet werden.

Da auf Basis der vorhandenen Daten nicht beurteilt werden kann, ob sich Responder und Non-Responder in der Kontrollgruppe von der Sozialen Schicht her unterscheiden, wurde für Soziale Schicht kontrolliert, indem für Blue- und White-Collar-Workers, die hier als Surrogat für Soziale Schicht dienen, separate Analysen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse zu den Risiken bei Blue- und White-Collar-Workers können dahingehend interpretiert werden, dass Confounding durch Soziale Schicht im Kontext dieser Untersuchungen zu EMF am Arbeitsplatz keine wichtige Rolle spielt.

#### *Expositionsabschätzung*

Eine sorgfältige Quantifizierung der EMF-Exposition (ELF/RF/MW) am Arbeitsplatz finden wir nur in wenigen Studien. Unsere Studie, in der fünf nach Intensität unterschiedene Expositionsquellen detailliert untersucht wurden, gibt keinen Hinweis auf das Vorliegen einer positiven Assoziation von Hodenkrebs und EMF am Arbeitsplatz. Wir konnten auch keine Dosis-Wirkungs-Beziehung für ELF, höhere Frequenzbereiche (RF/MW) oder für die kumulative Gesamtexposition gegenüber EMF finden. Dies gilt gleichermaßen für Seminome und Nicht-Seminome sowie Blue- und White-Collar-Workers. Falls sich in weiteren Studien eine positive Assoziation zwischen EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und Hodenkrebs zeigen sollte, so wären die gesundheitlichen Risiken mit großer Wahrscheinlichkeit auf sehr wenige Personen mit spezifischen Expositionsmustern begrenzt.

Im Wohnumfeld zeigen sich demgegenüber Hinweise auf einen potenziellen Einfluss von Hochspannungsleitungen auf das Erkrankungsrisiko, insbesondere für Männer unter 40

Jahren. Das Erkrankungsrisiko ist bei höherer Exposition gegenüber Hochspannungsleitungen (geringe Distanz und längere Wohndauer) höher als bei niedriger Exposition. Die ORs für Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld sind von der Höhe her vergleichbar mit den Risikoschätzern, die im Kontext von Untersuchungen zu Leukämien im Kindesalter berichtet werden.

Die kombinierte Analyse beruflicher EMF-Expositionen und Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld bringt kaum zusätzliche Erkenntnisse.

### *Einschränkungen*

Im Rahmen der abschließenden Bewertung sind folgende Einschränkungen zu machen:

- Die in unserer Studie angewandte Quantifizierung selbstberichteter EMF-Expositionen am Arbeitsplatz muss als explorativ betrachtet werden. So wurden bei der Expositionsabschätzung zwar unterschiedliche Frequenzbereiche und Annahmen zur Feldstärke berücksichtigt, aber nicht der Effekt gepulster vs. nicht gepulster Frequenzen, noch die genaue Feldstärke. Daher ist es möglich, dass biologisch relevante Aspekte der EMF-Exposition im gewählten Quantifizierungskonzept nicht korrekt abgebildet sind. Nicht-differentielle Fehlklassifikation hat möglicherweise zu einer Verdünnung der Risiken geführt.
- Der Effektschätzer für Radarexpositionen, für die mithilfe eines expertengestützten Ratings eine genauere Quantifizierung erreicht werden konnte, ist aufgrund der vergleichsweise geringen Power unpräzise.
- Der Effekt von Lösungsmitteln, die als Risikofaktor für Hodenkrebs diskutiert werden, und die potenzielle Interaktion zwischen Lösungsmitteln und EMF wurden nicht untersucht.
- Bezüglich der Expositionen gegenüber Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld wissen wir nicht, wie gut der gewählte Abstand zu Hochspannungsleitungen die EMF-Belastung im Wohnumfeld tatsächlich abbildet und welche zusätzlichen Belastungen infolge weiterer EMF-Quellen in der Wohnumgebung vorhanden waren.

## 7 Literatur

1. Ahlbom A. Residential epidemiologic studies. In: Matthes R, Bernhardt JH, Repacholo MH (eds.). Biological effects of static and ELF electric and magnetic fields. International commission on non-ionizing radiation protection and World Health Organization, ICNIRP 4/1997.
2. Ahrens W. Retrospective Assessment of occupational exposure in case-control studies. Fortschritte in der Epidemiologie. Edited by Wichmann HE, Jöckel KH, Robra BP. Landsberg: ecomed, 1999.
3. Bach HJ. Zur Messung der Wohnqualität von Stadtteilen. Hamburg in Zahlen. 1977; 1:5-10.
4. Bartsch C, Bartsch H, Mecke D. Melatonin and cancer: Experimental and clinical aspects. In: Low frequency EMF, visible light, melatonin and cancer. Zbl Arbeitsmed 2000; 50:298-314.
5. Baumgardt-Elms C, Glaser-Möller N, Hentschel S, v. Manikowsky S, Schümman M. Das ist doch alles bloß Statistik. In: Praxishandbuch Gesundheitsberichterstattung, Hrsg.: Hamburger Projektgruppe Gesundheitsberichterstattung. Akademie für Öffentliches Gesundheitswesen in Düsseldorf, Schriftenreihe Band 18, 1996, 177-212.
6. Baumgardt-Elms C, Ahrens W, Gotthardt S, Jahn, I Jöckel, KH Stang A, Stegmaier C, Ziegler H. Testicular Cancer in Europe, a rare disease? Age-incidence pattern, time trends and geographical variation. Posterpräsentation auf dem "European Regional Meeting" der International Epidemiological Association in Münster, 3.-6. September 1997 (Abstract G30 (guided postersession) im Tagungsband).
7. Baumgardt-Elms C, Ahrens W, Jahn I, Jöckel KH, Stegmaier C, Ziegler H. Identifizierung eines Risikoprofils für Hodenkrebs in Europa. Hinweise aus der deskriptiven Krebs epidemiologie. Posterpräsentation auf der 6. Jahrestagung Epidemiologie, 44. Biometrisches Kolloquium, Mainz 16.-19. März 1998 (Abstract P15 im Tagungsband).
8. Baubehörde, Amt für Geoinformation und Vermessung. Digitale Stadtkarte Hamburg, 1997.
9. Batzler WU, Baumgardt-Elms C, Eisinger B, Lehnert M, Schön D, Schüz J, Stegmaier, C (Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft bevölkerungsbezogener Krebsregister in Deutschland). Krebs in Deutschland, Häufigkeiten und Trends, Saarbrücken 1999.
10. Beaglehole R, Bonita R, Kjellström T. Basic epidemiology. WHO, Geneva, 1993.
11. Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales. Elektromagnetische Felder "Elektrosmog". Eine Information der Umweltmedizinischen Beratungsstelle, 1996.
12. Bergstrom R, Adami HO, Möhner M, Zatonski W, Storm H, Ekblom A, Steinar T, Teppo L, Akre O, Hakulinen T. Increase in testicular cancer incidence in six European countries: a birth cohort phenomenon. J Natl Cancer Inst 1996; 88:727-733.
13. Boikat U, Manikowsky S. Vorbeugung beim Wohnungsbau gegen elektromagnetische Felder von Hochspannungsleitungen-Grundlagen der Risikobewertung. Gesundheitswesen 1996; 58:147-153.
14. Bokemeyer C, Harstrick A, Schoffski P, Schmoll HJ, Poliwoda H. Keimzelltumoren des Hodens. Epidemiologische und etiologische Aspekte. Dtsch Med Wochenschr 1992; 117:1532.



15. Boorman GA, Owen RD, Lotz WG, Galvin MJ. Evaluation of in vitro effects of 50 and 60 Hz magnetic fields in regional EMF exposure facilities. *Radiation Research* 2000; 153: 648-57.
16. Buetow SA. Epidemiology of testicular cancer. *Epidemiol Rev* 1995; 17:433-449.
17. Bundesamt für Strahlenschutz. *Strahlung und Strahlenschutz*, 1999.
18. Coleman MP, Estève J, Damiecki P, Arslan A, Renard H. IARC, editor. *Trends in cancer incidence and mortality*. 1993; 1st ed., 121, 521-542. Lyon: International Agency for Research on Cancer (IARC).
19. Cridland NA. In vitro studies related to the possible effects of ELF electromagnetic fields on carcinogenesis. In: Matthes R, Bernhardt JH, Repacholo MH (eds.). *Biological effects of Static and ELF electric and magnetic fields*. International commission on non-ionizing radiation protection and World Health Organization, ICNIRP 4/1997.
20. Dan Bracken T. Occupational exposure assessment for electric and magnetic fields in the 10-1000 Hz frequency range. In: Bierbaum PJ, Peters JM, editors. *Proceedings of the scientific workshop on the health effects of electric and magnetic fields on workers*. 1991, 125-165, Cincinnati Ohio, US Department of Health and Human Services.
21. Dan Bracken T. Exposure assessment for power frequency electric and magnetic fields. *Am Ind Hyg Assoc J* 1993; 54: 165-177.
22. Davis RL, Mostofi FK. Cluster of testicular cancer in police officers exposed to hand-held radar. *Am J Ind Med* 1993; 24:231-233.
23. Depner K. Besteht ein Zusammenhang zwischen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Gesundheitsrisiken? *EMF Monitor* 1997; 2:2-6.
24. *Deutscher Umwelt- und Gesundheitssurvey 1990/1991*.
25. Dolk H, Shaddick G, Walls P, Grundy C, Thakrar B, Kleinschmidt I, Elliot P. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter. *Am J Epidemiol* 1997; 145 (1):1-9.
26. Dolk H, Elliot P, Shaddick G, Walls P, Thakrar B. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am J Epidemiol* 1997; 145 (1):10-17.
27. Dubrow R, Wegman DH. Setting priorities for occupational cancer research and control: synthesis of the results of occupational disease surveillance studies. *J Natl Cancer Inst* 1983 Dec; 71(6):1123-42.
28. Ducatman AM, Conwill DE, Crawl J. Germ cell tumors of the testicle among aircraft repairmen. *J Urol* 1984; 136: 834.
29. Elwood JM. A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancer. *Environmental Health Perspectives* 1999; 107:155:168.
30. Erren TC, Piekarski C. Low frequency EMF, visible light, melatonin and cancer. *Zbl Arbeitsmed* 2000; 50:298-314.
31. EUROCIIM, European cancer incidence and mortality database, European Network of Cancer Registries, *Cancer in the European Union in 1990*.
32. Ferlay J, Bray F, Sankila R, Parkin DM. *EUCAN: Cancer Incidence, Mortality and Prevalence in the European Union 1995, version 2.0*. IARC CancerBase No. 4. Lyon, IARC Press, 1999.
33. Fewes AP, Henshaw DL, Keitch PA, Close JJ, Wilding RJ. Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines. *Int.J.Radiat.Biol* 1999; 75(12):1505-1521.

34. Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology* 1994; 5:501-509.
35. Feychting M. Reduced cancer incidence among the blind in Sweden. In: *Low frequency EMF, visible light, melatonin and cancer*. *Zbl Arbeitsmed* 2000; 50:298-314.
36. Finkelstein MM. Cancer incidence among Ontario police officers. *Am J Ind Med* 1998 Aug; 34(2):157-62.
37. Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Öst Å, Knave B. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: A case-control study in Sweden. *Cancer Causes Control* 1993; 4: 465-76.
38. Floderus B, Persson T, Stenlund C. Magnetic field exposures in the workplace: Reference distribution and exposures in occupational groups. *Int J Occup Environ Health* 1996; 2:226-238.
39. Floderus B, Stenlund C, Persson T. Occupational magnetic field exposure and site-specific cancer incidence: a Swedish cohort study. *Cancer Causes Control* 1999; 10:323-332.
40. Forman D, Gallagher R, Møller H, Swerdlow TJ. Aetiology and epidemiology of testicular cancer: report of consensus group. In: *Anonymous Prostate Cancer and Testicular Cancer*. Wiley-Liss, 1990:245-253.
41. Foster KR, Erdreich LS, Moulder JE. Weak electromagnetic fields and cancer in the context of risk assessment. *Proc IEEE* 1997; 85(5):733-746.
42. Gail MH, Benichou J., Hrsg. *Encyclopedia of epidemiologic methods*. Chichester (u.a.): Wiley, 2000.
43. Garland FC, Gorham ED, Garland CF, Ducatman AM. Testicular cancer in US Navy personnel. *Am J Epidemiol* 1988; 127: 411-4.
44. Guénel P, Raskmark P, Bach Andersen J, Lynge E. Incidence of cancer in persons with occupational exposure to electromagnetic fields in Denmark. *British Journal of Industrial Medicine* 1993; 50:758-764.
45. Guénel P, Nicolau J, Imbernon E, Chevalier A, Goldberg M. Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers. *Am J Epidemiol* 1996; 144:1107-21.
46. Hardell L, Holmberg B, Malmer H, Paulsson LE. Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields and the risk of malignant diseases – an evaluation of epidemiological and experimental findings. *European Journal of Cancer Prevention* 1995; 4 (Supplement 1): 3-107.
47. Hardell L, Nasman A, Ohlson CG, Fredrikson M. Case-control study on risk factors for testicular cancer. *Int J Oncol* 1998; 13:1299-1303.
48. Hayes RB, Brown LM, Pottern LM, Gomez M, Kardaun JW, Hoover RN, O'Connell KJ, Sutzman RE, Javadpour N. Occupation and risk for testicular cancer: a case-control study. *Int J Epidemiol* 1990; 19:825-831.
49. Henshaw DL. Electromagnetic field exposure and lung cancer. *American Journal of Epidemiology* 1997; 146:366.
50. Hill AB: The environment and disease: Association or causation? *Proc. Royal Soc. Med.* 1965; 58:295-300
51. *International Standard Classification of Occupations (ISCO)*. 2nd revision ed. Geneva: ILO Publications, 1968.

52. Jauchem JR. Health effects of microwave exposures: a review of the recent (1995-1998) literature. *International Microwave Power Institute* 1998; 33(4):263-274.
53. Jöckel KH, Babitsch B, Bellach BM, Bloomfield K, Hoffmeyer-Zlotnik J, Winkler J. Empfehlungen der Arbeitsgruppe "Epidemiologische Methoden" in der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Epidemiologie der Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (GMDS) und der Deutschen Gesellschaft für Sozialmedizin und Prävention (DGSMP) zur Messung und Quantifizierung soziodemographischer Merkmale in epidemiologischen Studien. In: Ahrens W, Bellach BM, Jöckel KH (Hrsg.): *Messung soziodemographischer Merkmale in der Epidemiologie*. RKI Schriften 1/09. MMV-Verlag, München 1998.
54. Johansen C, Olsen JH. Mortality from amyotrophic lateral sclerosis, other chronic disorders, and electrical shocks among utility workers. *American Journal of Epidemiology* 1998; 148(4):362-368.
55. *Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen*. Stuttgart: Metzler-Poeschel, 1993.
56. Knoke JD, Gray GC, Garland FC. Testicular cancer and Persian Gulf War service. *Epidemiology* 1998; 9:648-653.
57. Li CY, Thériault G, Lin RS. Epidemiological appraisal of studies of residential exposure to power frequency magnetic fields and adult cancers. *Occup Environ Med* 1996; 53:505-510.
58. Liu S, Semenciw R, Waters C, Wen SW, Mery LS, Mao Y. Clues to the aetiological heterogeneity of testicular seminomas and non-seminomas: time trends and age-period-cohort effects. *Int J Epidemiol* 2000 Oct; 29(5):826-831.
59. McDowall ME, Balarajan R. Testicular cancer mortality in England and Wales 1971-80: variations by occupation. *J Epidemiol Community Health* 1986; 40:26-29.
60. Merzenich, H., Ahrens, W., Stang, A., Baumgardt-Elms, C., Jahn, I., Stegmaier, C., Jöckel, K.-H.: Sorting the hype from the facts in testicular cancer: is testicular cancer related to trauma? *J Urol* 2000;164:2143-2144.
61. Møller H. Clues to the aetiology of testicular germ cell tumours from descriptive epidemiology. *Eur Urol* 1993; 23: 8-15.
62. Møller H, Skakkebaek NE. Risks of testicular cancer and cryptorchidism in relation to socio- economic status and related factors: case-control studies in Denmark. *Int J Cancer* 1996; 66: 287.
63. Moulder JE. Is there a link between exposure to power-frequency electric fields and cancer? *IEEE Eng Med Biol* 1999; 18(2):109-116.
64. National Research Council. *Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields*. National Academy Press, Washington, 1996.
65. NIEHS (National Institutes of Environmental Health Sciences), U.S. National Institutes of Health. *Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields: Working Group Report*, NIH Publication 1998; No. 98-3981.
66. Parkin DM, Muir CS, Whelan SL, Gao YT, Ferlay J, Powell J. *Cancer incidence in five continents, volume VI*. Lyon, France: IARC Scientific Publications No. 120, 1992.
67. Parkin D, Shanmugaratnam K, Sobin L, Ferlay J, Whelan S. *Histological groups for comparative studies*. 1998; 31, 1-67. Lyon: International Agency for Research on Cancer (IARC).
68. Pearce N, Sheppard RA, Howard JK, Fraser J, Lilley BM. Time trends and occupational differences in cancer of the testis in New Zealand. *Cancer* 1987; 59(9):1677-82.

69. Pearce N, Reif J, Fraser J. Case-control studies of cancer in New Zealand electrical workers. *Int J Epidemiol* 1989; 18:55-59.
70. Percy C, Van Holten V, Muir C (eds). *International classification of diseases for oncology*, 2nd edition (ICD-O). Geneva: World Health Organization 1990.
71. Podszuweit U, Schütte W, Swierkta N. *Datenhandbuch Hamburg. Analysen, Karten und Tabellen zur sozialräumlichen Entwicklung*. Hamburger Verein für Sozialpädagogik, Fachhochschule Hamburg, Hamburg 1992.
72. Preece AW, Hand JW, Clarke RN, Stewart A. Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence? *Phys Med Biol* 2000; 45(9):R139-54.
73. Prener A, Hsieh C, Engholm G, Trichopoulos D, Jensen OM. Birth order and risk of testicular cancer. *Cancer Causes and Control* 1992; 3:265-272.
74. *Pschyrembel Medizinisches Wörterbuch. Sonderausgabe - 257. Auflage*, bearbeitet von der Wörterbuch-Redaktion des Verlages unter Leitung von Helmut Hildebrandt, Berlin 1993.
75. Repacholi MH. The international EMF Project. In: Matthes R, Bernhardt JH, Repacholi MH (eds.). *Biological effects of Static and ELF electric and magnetic fields*. International commission on non-ionizing radiation protection and World Health Organization, ICNIRP 4/1997.
76. Reiter RJ. Historical account of the research related to EMF, melatonin and cancer. In: *Low frequency EMF, visible light, melatonin and cancer*. *Zbl Arbeitsmed* 2000; 50:298-314.
77. Richter E, Berman T, Ben-Michael E, Laster R, Westin JB. Cancer in radar technicians exposed to radiofrequency/microwave radiation: sentinel episodes. *Int J Occup Environ Health* 2000 Jul-Sep;6(3):187-93.
78. Robinette CD, Silverman C, Jablon S. Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (RADAR). *American Journal of Epidemiology* 1980; 112 (1):39-53.
79. Rodvall Y, Ahlbom A, Stenlund C, Preston-Martin S, Lindth T, Spännare B. Occupational exposure to magnetic fields and brain tumors in Central Sweden. *European journal of epidemiology* 1998;14:563-569.
80. Ryder SJ, Crawford PI, Pethybridge RJ. Is testicular cancer an occupational disease? A case-control study of Royal Naval personnel. *J R Nav Med Serv* 1997; 83:130-146.
81. Rzehak P, Baumgardt-Elms C, Burkhardt N. *Soziale Deprivation in Hamburg*. Internes Papier/BAGS Hamburg 1997.
82. SAS - changes and enhancements through release 6.11. [Statistical software package]. SAS Institute Inc. 1996.
83. Schottenfeld D. Testicular Cancer. In: Schottenfeld D, Fraumeni JF (editors). *Cancer Epidemiology and Prevention*. 2nd ed. New York; Oxford: Oxford University Press, 1996:1207-1219.
84. Schümann M, Baumgardt-Elms C, Berger J, Hartmann R, Haartje U, Burkhardt N. *Leukämien bei Kindern und Jugendlichen in Hamburg (1980-1995). Auswertungen zur Entwicklung der Inzidenz und regionalen Verteilung*. P.Lang Verlag, Frankfurt a.M..
85. Schüz J, Grigat J-P, Störmer B, Rippin G, Brinkmann K, Michaelis J. Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. *Radiat Environ Biophys* 2000; 39:233-240.

86. Schüz J, Michaelis J. Abschlußbericht der EMF II-Studie. Epidemiologische Studie zur Assoziation von Leukämieerkrankungen bei Kindern und häuslicher Magnetfeldexpositionen. IMSD-Technischer Bericht, Dezember 2000.
87. Servantie B. Damage criteria for determining microwave exposure. *Health Physics* 1989; 56 (5):781-786.
88. Shileds PG. Publication bias is a scientific problem with adverse ethical outcomes: the case for a section for null results. *Cancer Epidemiol Prev* 2000; 9: 771-772.
89. SPSS für Windows, Release 10.0.5 (27. Nov. 1999) Standardversion, Copyright SPSS Inc. 1989-1999.
90. Stang A, Ahrens W, Baumgardt-Elms C, Stegmaier C, Jahn I, Ziegler H, Broman K, Timmer A, Jöckel KH. Abschlußbericht zu den nationalen Teilen der Fall-Kontroll-Studie "Arbeitsplatzbedingte Risikofaktoren seltener Krebsformen unbekannter Ursache". Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen, 1999.
91. Stang A, Broman K, Ahrens W, Baumgardt-Elms C, Jahn I, Stegmaier C, Ziegler, H, Jöckel KH. Effects of varying definitions of cryptorchidism on the risk of testicular cancer. *J Cancer Res Clin Oncol* 2000;126(suppl.):R18.
92. Stang A, Ahrens W, Broman K, Baumgardt-Elms C, Jahn I, Stegmaier C, Krege S, Jöckel KH. Undescended testis and the risk of testicular cancer: Importance of source and classification of exposure information. *Int J Epidemiol* 2001;30:1050-1056.
93. Stenlund C, Floderus B. Occupational exposure to magnetic fields in relation to male breast cancer and testicular cancer: a Swedish case-control study. *Cancer Causes Control* 1997; 8:184-191.
94. Stepansky R, Jahn O, Windischbauer G, Zeithofer J. Elektromagnetische Felder - Auswirkungen auf die Gesundheit. *Zbl Arbeitsmed* 1999; 49: 214-226.
95. Swerdlow AJ, Skeet RG. Occupational associations of testicular cancer in south east England. *Br J Ind Med* 1988; 45:225-230.
96. Swerdlow AJ, Douglas AJ, Huttly SR, Smith PG. Cancer of the testis, socioeconomic status, and occupation. *Br J Ind Med* 1991; 48 (10):670-674.
97. Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guénel P, Deadman J, Imbernon E, To T, Chevalier A, Cyr D, Wall C. Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989. *Am J Epidemiol* 1994; 139(6):550-572.
98. Törnquist S, Norell S, Ahlboom A, Knave B. Cancer in the electric power industry. *BMJ* 1986; 43:212-213.
99. Tynes T, Andersen A, Langmark F. Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am J Epidemiol* 1992; 136(1):81-88.
100. Tynes T, Jynge H, Vistnes AI. Leukemia and Brain Tumors in Norwegian railway workers, a nested case-control-study. *Am J Epidemiol* 1994; 139(7):645-653.
101. United Kingdom Testicular Cancer Study Group. Social, behavioural and medical factors in the aetiology of testicular cancer: results from the UK study. UK Testicular Cancer Study Group. *Br J Cancer* 1994; 70: 513.
102. Valberg PA. Radio frequency radiation (RFR): the nature of exposure and carcinogenic potential. *Cancer Causes and Control* 1997; 8: 323-332.
103. Van den Eeden SK, Weiss NS, Strader CH, Daling JR. Occupation and the occurrence of testicular cancer. *Am J Ind Med* 1991; 19:327-337.

104. Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus J, Järvinen P, Heikkilä K, et al. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *BMJ* 1993; 307:895-9.
105. Verkasalo PK, Pukkala E, Kaprio J, Heikkilä KV, Koskenvuo M. Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults: nationwide cohort study [see comments]. *BMJ* 1996; 313:1047-1051.
106. Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, Strader CH, Daling JR. Use of electric blankets and risk of testicular cancer [see comments]. *Am J Epidemiol* 1990; 131(5):759-762.
107. Wanderas EH, Tretli S, Fossa SD. Trends in incidence of testicular cancer in Norway 1955-1992. *Eur J Cancer* 1995; 31A: 2044-2048.
108. Wartenberg D. Residential magnetic fields and childhood leukemia: A metaanalysis. *American Journal of Public Health* 1998; 88(12):1787-1794.
109. Wertheimer N, Savitz DA, Leeper E. Childhood cancer in relation to indicators and magnetic fields from ground current sources. *Bioelectromagnetics* 1995; 16:86-96.
110. WHO-Press (Hrsg.): Electromagnetic fields and public health. Health effects of radiofrequency fields. Fact Sheet No. 183, reviewed 1998.
111. WHO-Press (Hrsg.): Electromagnetic fields and public health radars and human health. Fact Sheet No. 226, 1999.
112. Wunstorf B, Boikat U, Lichtenberg W. Melatonin - Schlüssel für die Bewertung der Wirkung elektrischer und magnetischer Felder? *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 2000; 9: 715-721.

<b>8 Tabellen</b>	<b>Seite</b>
Tabelle 1.1: Beispiele für Quellen von elektromagnetischen Feldern	7
Tabelle 1.2: Frequenzbereiche des elektromagnetischen Spektrums Nicht-ionisierender Strahlung	9
Tabelle 2.1: Einschlusskriterien der Hodentumorstudie: Lokalisation und Morphologie	22
Tabelle 2.2: Referenzbefundung bei Hodentumoren (353 Fälle)	24
Tabelle 2.3: Soziale Schicht: Schulabschluss in Kombination mit Ausbildungsabschluss	26
Tabelle 2.4: Quellen für Expositionen durch elektromagnetische Felder	27
Tabelle 2.5: Berufe/Branchen mit potenzieller Radar-/ Mikrowellenexposition	29
Tabelle 2.6: Schema zur manuellen Einstufung von Radar-/ Mikrowellenexpositionen	31
Tabelle 2.7: Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition	32
Tabelle 2.8: Alter der Studienteilnehmer nach 5-Jahres-Altersgruppen	35
Tabelle 2.9: Angaben zur Ausbildung und Sozialen Schicht von Fällen und Kontrollen	37
Tabelle 2.10: Prävalenzen, ORs und 95%CI für die fünf untersuchten EMF-Expositionsquellen am Arbeitsplatz (jemals exponiert vs. nie exponiert)	38
Tabelle 2.11: ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz, gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung zur Quelle	38
Tabelle 2.12: ORs und 95% CI für Seminome und Nicht-Seminome EMF-Exposition am Arbeitsplatz, gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung von der Quelle (Gesamtscore aller EMF-Expositionen)	39
Tabelle 2.13: ORs and 95%CI für Blue- und White-Collar-Workers EMF-Exposition am Arbeitsplatz, gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung von der Quelle (Gesamtscore aller EMF-Expositionen)	40
Tabelle 2.14: Prävalenzen, ORs and 95%CI für Blue- Collar-Workers nach Expositionsquelle (jemals exponiert vs. nie exponiert)	40
Tabelle 2.15: Prävalenzen, ORs and 95%CI für White-Collar-Workers nach Expositionsquelle (jemals exponiert vs. niemals exponiert)	41

Tabelle 2.16:	Prävalenzen, ORs and 95% bei expertengestützter Quantifizierung der Radarexposition am Arbeitsplatz	42
Tabelle 2.17:	Prävalenzen, ORs and 95% CI bei expertengestützter Quantifizierung der Radarexposition am Arbeitsplatz und Berücksichtigung einer Latenzzeit von 5 Jahren	42
Tabelle 2.18:	ORs und 95% CI für Berufe/Berufsgruppen mit potenzieller EMF-Exposition, EMF-Exposition gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung zur Quelle	43
Tabelle 3.1:	Typische Quellen elektromagnetischer Belastung im Wohnumfeld	50
Tabelle 3.2:	Repräsentative Werte magnetischer Flußdichten von Haushaltsgeräten in unterschiedlichen Abständen, gemessen in Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ )	51
Tabelle 3.3:	Hamburger Fälle und Kontrollen nach 5-Jahres-Altersgruppen	52
Tabelle 3.4:	Soziale Wohnlage der Hamburger Fälle und Kontrollen	59
Tabelle 3.5:	Prävalenz einer Exposition gegenüber Hochspannungsleitungen in Hamburg, ORs und 95% CI für Expositionsindex A, B, und C	59
Tabelle 3.6:	ORs und 95% CI für EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei unter 40jährigen Männern in Hamburg	60
Tabelle 3.7:	ORs und 95% CI für EMF-Expositionen durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei 40 bis unter 65jährigen Männern in Hamburg	61
Tabelle 4.1:	Scorebildung bei der Analyse von EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Wohnen in der Nähe von Hochspannungsleitungen (HSP) in Hamburg	66
Tabelle 4.2:	ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)	68
Tabelle 4.3:	ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt für Seminome und Nicht-Seminome in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)	68
Tabelle 4.4:	ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei unter 40jährigen Männern in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)	69
Tabelle 4.5:	ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt bei 40 bis unter 65jährigen Männern in Hamburg (jemals vs. niemals exponiert)	70



Tabelle 4.6:	ORs und 95% CI für EMF-Expositionen am Arbeitsplatz und durch Hochspannungsleitungen in der Wohnumwelt in Hamburg, gewichtet nach Intensität, Dauer und Entfernung zur Quelle	71
Tabelle 5.1:	Anwendung der Hill-Kriterien zur Bewertung der Kausalität einer Assoziation zwischen Hodenkrebs und EMF	79

<b>9</b>	<b>Abbildungen</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 1.1:	Altersstandardisierte Inzidenz (Weltstandard) maligner Hodentumoren in Europa 1995	3
Abbildung 1.2:	Altersspezifische Inzidenzraten maligner Hodentumoren in Europa 1988-1990	4
Abbildung 1.3:	Inzidenztrends maligner Hodentumoren in Europa 1961-1993	5
Abbildung 1.4:	Zeitliche Entwicklung der altersspezifischen Inzidenzraten für Seminome im Saarland (1970-1994)	6
Abbildung 1.5:	Zeitliche Entwicklung der altersspezifischen Inzidenzraten für Nicht-Seminome im Saarland (1970-1994)	6
Abbildung 1.5:	Das elektromagnetische Spektrum	8
Abbildung 2.1:	Alter der Studienteilnehmer nach 5-Jahres-Altersgruppen	36
Abbildung 3.1:	Ausschnitt der Digitalen Stadtkarte Hamburg	53
Abbildung 3.2:	Regionale Zuordnung der Fall-(schwarz)-Adressen und Darstellung der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)	56
Abbildung 3.3:	Regionale Zuordnung der Kontroll-(weiß)-Adressen und Darstellung der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)	57
Abbildung 3.4:	Regionale Zuordnung der Fall-(schwarz) und Kontroll-(weiß)-Adressen und Darstellung der Hamburger Hochspannungstrassen (110- und 380 KV-Leitungen)	58

## **10 Anhang**

1. Fragebogen zur Berufsbiographie (Berufsphasen)
2. Fragebogenteil XIV EMF
3. Liste der Zusatzbögen zur Berufsbiographie
4. Zusatzbogen Elektrotechnik
5. Erhebungsformular zur Dokumentation der Wohngeschichte
6. Datensatzbeschreibung zur Dokumentation der Wohngeschichte



<b>1. Fragebogen zur Berufsbiographie (Berufsphasen)</b>
--

**III. Berufsbiographie**

Einleitung:

**Ich möchte Ihnen zu jedem Ihrer Arbeitsplätze einige Fragen stellen. Uns interessiert, welche Tätigkeiten Sie ausgeübt haben und wo Sie gearbeitet haben. Dabei möchten wir uns ein möglichst genaues Bild von Ihren verschiedenen Arbeitsplätzen machen. Bitte, berücksichtigen Sie nur Arbeitsplätze, an denen Sie länger als sechs Monate gearbeitet haben.**

**Ich habe hier den Fragebogen zu Ihren Arbeitsplätzen, den Sie bereits ausgefüllt haben. Diese Arbeitsplätze möchte ich gern nacheinander mit Ihnen durchgehen.**

Berufsphase Nr.:  __ __	Beginn 19  __ __	Ende 19  __ __
	Beginn 19  __ __	Ende 19  __ __
	Beginn 19  __ __	Ende 19  __ __
	Beginn 19  __ __	Ende 19  __ __
	Beginn 19  __ __	Ende 19  __ __

**1. Von 19.... bis 19.... haben Sie bei .... (Firmenname) bzw. als .....(Beruf) gearbeitet. Was genau wurde dort hergestellt oder getan?**

**1.a** Hauptprodukte/-prozesse und Verfahren, an denen der Befragte beteiligt war:  
(Branche und Abteilung)

**Probing:**

- ◆ **Was wurde in der Firma/Institution hauptsächlich gemacht? Handelte es sich um einen Herstellungsprozeß, eine Dienstleistung, Handel oder eine andere Branche?**
- ◆ **Was wurde hergestellt / gelagert / transportiert /..? Welche Art Dienstleistung wurde erbracht?**
- ◆ **Können Sie bitte die Art der Produkte (Dienstleistungen) beschreiben, die hauptsächlich verwendet (hergestellt / erbracht) wurden?**
- ◆ **Waren Sie selbst an diesen Arbeitsabläufen (Dienstleistungen / Herstellungsprozessen) beteiligt (d.h., war der Befragte "vor Ort")?**

---

---

---

---

**1.b** Andere Produkte / Prozesse und Verfahren, an denen der Befragte beteiligt war:  
(Branche und Abteilung)

---

---

---

---

**2. Bitte beschreiben Sie, was Sie hauptsächlich getan haben und wie Sie es getan haben:  
Wenn Sie an diesem Arbeitsplatz unterschiedliche Tätigkeiten ausgeübt haben, beginnen Sie  
bitte mit der Tätigkeit, auf die Sie im Durchschnitt die meiste Zeit verwendet haben.  
Beschreiben Sie Ihre anderen Aufgaben oder Tätigkeiten anschließend.**

**2.a Haupttätigkeit:**

---

---

**2.b Andere Tätigkeiten:**

---

---

**3. Mit welchen Stoffen oder Chemikalien hatten Sie Umgang oder Kontakt?**

---

---

---

---

**4. Haben Sie Maschinen benutzt?**

1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Ja: **Beschreiben Sie bitte die Maschinen, die Sie benutzt haben:**

---

---

**5. Hatten Sie regelmäßig mit Wartung und Instandhaltung von Maschinen zu tun?**

1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Ja: **Beschreiben Sie bitte diese Tätigkeit:**

---

---

---

---

**6. Haben im selben Raum oder in Ihrer Nähe Kollegen andere Tätigkeiten als Sie selbst verrichtet?**

- 1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Ja: **Beschreiben Sie bitte die Produktionsprozesse (Branche) und die Arbeit (Berufe), mit denen andere Personen im selben Raum wie Sie beschäftigt waren.**

---

---

---

---

**7. Wie viele Stunden pro Woche haben Sie durchschnittlich gearbeitet?**

Durchschnittliche Stundenzahl pro Woche: |\_|\_|\_|

**8. Handelte es sich dabei um Saisonarbeit?**

- 1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Ja: **Wieviele Monate im Jahr haben Sie diese ausgeübt?** |\_|\_|\_| (Monate/Jahr)

**9. Hat sich Ihre Tätigkeit an diesem Arbeitsplatz irgendwann wesentlich verändert? Haben sich Ihr Beruf, Ihre Tätigkeit, die Produkte oder die technischen Prozesse verändert?**

- 1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Ja: **Was hat sich verändert?**

---

---

Branchen- und Berufscodierung: (nicht während des Interviews auszufüllen)

**10. Hauptbranche des Befragten:** |\_|\_|\_|\_|\_| (NACE)

**11. Haupttätigkeit des Befragten:** |\_|\_|\_|\_|\_| (ISCO)

**12. Weitere Branchen des Befragten:** |\_|\_|\_|\_|\_| und |\_|\_|\_|\_|\_| (NACE)

**13. Weitere Tätigkeiten des Befragten:** |\_|\_|\_|\_|\_| und |\_|\_|\_|\_|\_| (ISCO)

**14. Branche in der Nähe Arbeitender:** |\_|\_|\_|\_|\_| (NACE)

**15. Tätigkeit in der Nähe Arbeitender:** |\_|\_|\_|\_|\_| (ISCO)







**2.a Haben Sie mehrmals in der Woche an oder in der Nähe von elektrischen Maschinen wie Werkzeugmaschinen, Elektroöfen, Transportmaschinen usw. gearbeitet?**

1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Nein oder Weiß nicht, weiter mit Frage 3.a →

Wenn Ja:

**2.b**

**Welche der folgenden Maschinen waren das?**

Ja    Nein    Weiß  
          nicht

**von      bis**

**2.c**

**Wie weit entfernt von den Maschinen haben Sie meistens gearbeitet?**

Unterbrechungsdauer (in Jahren)

(Meter) <sup>1</sup>

◆ <b>Werkzeugmaschine</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Öfen</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Schmelzöfen</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Eisenbahn, U-Bahn</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Hebefahrzeuge</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Andere</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.

Wenn Ja:

**Welche?** \_\_\_\_\_

Relevante Entfernungseinheiten:

<sup>1</sup> [1] 0 m      [2] 1-4 m      [3] 5-9 m      [4] ≥10 m

**3.a Haben Sie mehrere Stunden jeden Tag in komplexen elektrischen Anlagen gearbeitet? Z.B. in Kontrollräumen, Computerräumen, Telefonvermittlungen, Räumen mit medizinischen Anlagen usw.?**

1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Nein oder Weiß nicht, weiter mit Frage 4.a. →

Wenn Ja:

**3.b Was für Anlagen waren das?**

Ja    Nein    Weiß

**von**

**bis**

nicht

Unterbrechungszeiten (in Jahren)

◆ <b>Kontrollraum</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Computerraum</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Telefonvermittlung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Medizinische Anlagen</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.
◆ <b>Andere</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19	_____	19	_____	_____	_____	J.

Wenn Ja:

**Welche?** \_\_\_\_\_

**4.a Haben Sie an einem Ihrer Arbeitsplätze mehrere Stunden täglich an einem Bildschirmgerät gearbeitet?**

- 1 Ja             2 Nein             9 Weiß nicht

Unterbrechungs-  
dauer (in Jahren)

**4.b** Wenn Ja: **von:** 19 |\_\_|\_\_|    **bis:** 19 |\_\_|\_\_|    |\_\_|\_\_| Jahre

**5.a Haben Sie an einem Ihrer Arbeitsplätze Funkgeräte, Funktelefone oder ähnliche Apparate täglich mehrere Stunden bei sich getragen, um erreichbar zu sein?**

- 1 Ja             2 Nein             9 Weiß nicht

Unterbrechungs-  
dauer (in Jahren)

Wenn Ja:  
**5.b**                    **von:** 19 |\_\_|\_\_|    **bis:** 19 |\_\_|\_\_|    |\_\_|\_\_| Jahre

**5.c In welchem Bereich des Körpers haben Sie das Gerät getragen?**

	Ja	Nein	Weiß nicht
◆ <b>im Kopfbereich</b> (Freisprechanlage)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ <b>in einer Brusttasche</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ <b>am Gürtel</b> (Hüftbereich)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ <b>am Oberschenkel</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ <b>in einem anderen Bereich</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9

Wenn Ja:  
**In welchem?** \_\_\_\_\_

**6.a Haben Sie in der Nähe von Radargeräten gearbeitet?**

- 1 Ja       2 Nein       9 Weiß nicht

Wenn Ja:      Unterbrechungs-  
**6.b**      von: 19 |\_\_|\_\_| bis: 19 |\_\_|\_\_| |\_\_|\_\_| Jahre  
 dauer (in Jahren)

<b>6.c</b> Welche der folgenden Geräte waren das?	Ja	Nein	Weiß nicht	von	bis	<b>2.c</b> Wie weit entfernt von den Maschinen haben Sie meistens gearbeitet?  (Meter) <sup>1</sup>	Unter- brechungs- dauer (in Jahren)
◆ Radarpistole	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19  __ __	19  __ __	__ __	__ __  J.
◆ Geschwindigkeits- radar, stationär	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19  __ __	19  __ __	__ __	__ __  J.
◆ Radar auf Schiffen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19  __ __	19  __ __	__ __	__ __  J.
◆ Radar in Flugzeugen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19  __ __	19  __ __	__ __	__ __  J.
◆ Radar auf Flughäfen(Tower)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19  __ __	19  __ __	__ __	__ __  J.
◆ militärische Radaranlagen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19  __ __	19  __ __	__ __	__ __  J.
◆ Andere Geräte	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9	19  __ __	19  __ __	__ __	__ __  J.

Wenn Ja:  
**Welche?** \_\_\_\_\_

Relevante Entfernungseinheiten:

- <sup>1</sup> [1] 0 m      [2] 1-4 m      [3] 5-9 m      [4] ≥10 m

**3. Liste der Zusatzbögen zur Berufsbiographie**



#### IV. Liste der Zusatzbögen zur Berufsbiographie

Ich werde Ihnen nun eine Liste mit Berufen und Wirtschaftszweigen vorlesen. Sagen Sie mir bitte, ob Sie eine der Tätigkeiten ausgeübt oder in einer der Branchen gearbeitet haben.

Berufs- kategorie	Ja	Nein	Weiß nicht
1. <b>Gesundheitswesen Krankenschwestern, Pfleger, Ärzte und anderes Klinikpersonal</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
2. <b>Zahnärzte, Zahnarzthelferinnen, Zahntechniker</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
3. <b>Kochen und Nahrungsmittelzubereitung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
4. <b>Chemische Reinigung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
5. <b>Landwirtschaft, Gärtnereien, Grünflächen, Floristik, Gewächshäuser</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
6. <b>Landwirtschaftliche Viehhaltung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
7. <b>Forstwirtschaft</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
8. <b>Metallerzeugung, Eisen- und Stahlveredlung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
9. <b>Gießereien</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
10. <b>Galvanotechnik</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
11. <b>Holzbe- und -verarbeitung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
12. <b>Zellstoff-, Papier- und Pappenherstellung und -verarbeitung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
13. <b>Textilbearbeitung (Bleichen, Färben, Ausrüsten von Textilien)</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
14. <b>Gerbereien</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
15. <b>Schlachten und Fleischverarbeitung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
16. <b>Schuhproduktion und Lederverarbeitung</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
17. <b>Elektrotechnik</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
18. <b>Schweißen und Löten</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
19. <b>Glasindustrie</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9





**4. Zusatzbogen Elektrotechnik**







## 17. ELEKTROTECHNIK

Jetzt würde ich gern genauer auf diese Arbeitsphase eingehen.

Nr. |\_\_|\_\_|      Nr. |\_\_|\_\_|      Nr. |\_\_|\_\_|      Nr. |\_\_|\_\_|  
 von 19 |\_\_|\_\_|    von 19 |\_\_|\_\_|    von 19 |\_\_|\_\_|    von 19 |\_\_|\_\_|  
 bis 19 |\_\_|\_\_|    bis 19 |\_\_|\_\_|    bis 19 |\_\_|\_\_|    bis 19 |\_\_|\_\_|

### 1. Haben Sie auf einer der folgenden Baustellen gearbeitet?

	Ja	Nein	Weiß nicht
♦ <b>Bau von großen Hotel- oder Industrieanlagen, Wohnblocks</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
♦ <b>Einfamilienhäuser oder Reihenhäuser</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
♦ <b>Autobahnen, Straßen, Flughäfen</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
♦ <b>Staudämme</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
♦ <b>Kraftwerke</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
♦ <b>Gebäudeabriß</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
♦ <b>Eisenbahnanlagen</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9

**2. Haben Sie einige der folgenden Elektriker-Tätigkeiten ausgeübt?**

	Ja	Nein	Weiß nicht
◆ Leitungsbau (Hochspannungsleitung)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Bau von Kraftwerken	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Anschließen und Neuverlegung von Leitungen in Gebäuden	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Industrieverkabelungen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Verkehrssignalanlagen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Wartung von Beleuchtungssystemen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Reparatur von Motoren	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Reparatur von Transformatoren	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Reparatur oder nachträgliches Verlegen von Leitungen in Wohnhäusern	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Bau oder Wartung von Überlandleitungen (Hochspannung)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Bau oder Wartung von Erdkabeln	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Installationen oder Wartung in Kraftwerken	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Reparaturen in Umspannanlagen (Hochspannung)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Reparatur von Transformatoren (Niederspannung)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Haushaltsgeräte	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Kommerziell genutzte Geräte	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
◆ Industrieanlagen / oder -geräte	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9

**2.1 Kam es bei einer dieser Tätigkeiten zu Verletzungen oder Unfällen durch elektrischen Strom, die so schwerwiegend waren, daß sie ärztlich behandelt werden mußten?**

1 Ja                       2 Nein                       9 Weiß nicht

Wenn Ja:

**2.2 Wie oft kam das vor?**    |\_\_|\_\_| Mal (Anzahl der Unfälle/Verletzungen)

**3a Haben Sie mit den folgenden Materialien gearbeitet?**

**3b Wenn Ja - Wie oft kam das vor?**

**3c**  
Wenn Kontakt nicht während der gesamten Berufsphase bestand Jahre angeben

	Ja	Nein	Weiß nicht		von:	bis:
<b>Kupferdraht</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9			
<b>Aluminiumdraht</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9			
<b>Lötmittel</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9			
<b>Flußmittel</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9			
<b>Lösemittel</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9			

Wenn Lösemittel Ja:

**Nennen Sie bitte die Bezeichnung der Lösemittel.**

**Isolieröle (für Transformatoren oder Kondensatoren)**

<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9			
----------------------------	----------------------------	----------------------------	--	--	--

Wenn Isolieröle Ja:

**Welche?** \_\_\_\_\_

**4. Haben Sie Kabel verwendet, die mit folgenden Materialien isoliert waren?**

	Ja	Nein	Weiß nicht
<b>Kunststoff</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Asbest</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Gummi</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Lack</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Epoxidharz</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Baumwolle</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Bitumen</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Öl</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
<b>Andere Materialien</b>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9

Wenn Ja:

**Welche?** \_\_\_\_\_

**5. Haben Sie Schweiß- oder Lötarbeiten ausgeführt?**

<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 9
----------------------------	----------------------------	----------------------------

\* Wenn Ja: ZB Nr. 18 "Schweißen, Löten" einsetzen





**5. Erhebungsformular zur Dokumentation der Wohnungsgeschichte**

**ANFRAGE AN DAS EINWOHNERMELDEAMT**

von G23/1 Tesdorpstr. 8, 20148 Hamburg (BAGS)

**Name:** <<Name>>  
**Vorname:** <<Vorname>>  
**Geburtsdatum:** <<Geburtsdatum >>  
**Geschlecht:** Männlich  
**Bekannte Adresse:** <<STR>> , <<PLZ>> , Hamburg

.....  
Die unten angegebenen Felder zeigen Ihnen, welche Informationen wir benötigen. Falls es für Sie einfacher ist, diese Information in anderer Form zu übermitteln, ist dies in Ordnung.

Erste (bei Geburt) in Hamburg bekannte Adresse:

Wohndauer

Von: \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_ bis \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_

Straße:.....Hausnr.:.....PLZ:.....HAMBURG

Zweite in Hamburg bekannte Adresse (wenn abweichend von o.g. Adresse):

Wohndauer

Von: \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_ bis \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_

Straße:.....Hausnr.:.....PLZ:.....HAMBURG

Dritte in Hamburg bekannte Adresse (wenn abweichend von o.g. Adresse):

Wohndauer

Von: \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_ bis \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_

Straße:.....Hausnr.:.....PLZ:.....HAMBURG

Vierte in Hamburg bekannte Adresse (wenn abweichend von o.g. Adresse):

Wohndauer

Von: \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_ bis \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_

Straße:.....Hausnr.:.....PLZ:.....HAMBURG

**weitere bekannte Adressen bitte auf der Rückseite eintragen**



<b>6. Datensatzbeschreibung zur Dokumentation der Wohngeschichte</b>
--

<b>Personendaten</b>	<b>Adressdaten</b>
Ident	Ident
Status (Fall/Kontrolle)	Adr_nr (Adressnummer)
Gebjahr (Geburtsjahr)	Zuzug
Gebdat (Geburtsdatum)	Wegzug
Diagdat (Diagnosedatum)	Strasse
Studienende	Haus_nr
Alter	Pf (Postfix)
Toddatt (Sterbedatum)	PLZ
Strasse	Ort
Haus_nr	OKZ (Ortskennzahl)
Pf	Wohnsitz
PLZ	GK_r (Gauss-Krüger-Koordinate rechts)
Ort	GK_h (Gauss-Krüger-Koordinate hoch)
Zuzug (nach Hamburg)	Bemerkungen
Zuzug_am	Str_code (Straßencode)



## 11 Abkürzungen und Glossar

### Altersstandardisierung

Will man Erkrankungen über einen Zeitraum hinweg untersuchen oder verschiedene Regionen in ihrer Erkrankungshäufigkeit miteinander vergleichen, so ist zu berücksichtigen, dass sich die betrachteten Populationen in ihrer Alterszusammensetzung unterscheiden können. Durch rechnerische Anpassung, die sog. Altersstandardisierung, werden jene Effekte "herausgerechnet", die durch einen unterschiedlichen Altersaufbau entstehen.

Bei der **direkten Altersstandardisierung** werden die Daten so behandelt, als ob die Altersstruktur der betrachteten Populationen gleich wäre. Hierfür ist ein gemeinsamer Maßstab, eine sog. Standardbevölkerung (Modellbevölkerung) erforderlich, wobei die Wahl dieser Bevölkerung beliebig ist (z.B. Europa-, Weltbevölkerung als Standardbevölkerung).

Die **indirekte Methode der Altersstandardisierung** verwendet man, wenn die Altersstruktur einer der zu vergleichenden Populationen nicht bekannt ist oder die Zahl der Fälle in einer Altersgruppe zu instabilen altersspezifischen Raten führen würde. Die resultierenden erwarteten Fälle werden den in der Untergruppe beobachteten Fällen gegenübergestellt (Beobachtete/Erwartete Fälle = **SIR/ SMR** bzw. Standardisierte Inzidenz-/mortalitätsrate). Wenn SIR bzw. SMR für eine Untergruppe größer als 1, so bedeutet dies, dass in dieser Gruppe/Region mehr Erkrankungen beobachtet wurden als auf Basis der Erkrankungsraten der Vergleichspopulation (Standardpopulation) zu erwarten gewesen wären.

### Bias

Systematischer Fehler, der die Ergebnisse einer epidemiologischen Studie verzerrt. Zu den häufigsten systematischen Fehlern gehören z.B. der Selektionsbias, Recallbias sowie die differentielle und nicht-differentielle Fehlklassifikation.

Ein **Selektionsbias** liegt vor, wenn sich Teilnehmer und Nichtteilnehmer einer Studie systematisch unterscheiden. Selektive Studienteilnahme entsteht z.B. durch den systematischen Wegzug erkrankter Personen, durch selektive Studienteilnahme von Probanden höherer Sozialer Schicht etc.

Ein **Recallbias** liegt vor, wenn Fälle und Kontrollen potenzielle Risikoereignisse unterschiedlich gut erinnern und dadurch Verzerrungen der Effektschätzer entstehen.

**Fehlklassifikation** liegt z.B. vor, wenn die Exposition der Studienteilnehmer falsch eingeschätzt wird. Die Fehlklassifikation kann Fälle und Kontrollen gleichermaßen bzw. gleich stark betreffen (**Nicht-differentielle Fehlklassifikation**). Als Folge verwischen tatsächlich vorhandene Unterschiede, die Effektschätzer gehen gegen 1.0. Bei der **differentiellen Fehlklassifikation** sind entweder Fälle oder Kontrollen besonders von der Fehlklassifikation betroffen.

### Blue-Collar-Worker

Heuristischer Begriff für Arbeitnehmer, die vorwiegend in der Produktion tätig sind und häufig schwere körperliche Arbeit verrichten. Im Unterschied dazu sind White-Collar-Workers sind Arbeitnehmer, die im Dienstleistungsgewerbe, technisch-wissenschaftlichen Bereich oder anderen Arbeitsbereichen tätig sind, wo sie keine schwere körperliche Arbeit verrichten.

### Confounder

Einflussgröße (z.B. Alter), die sowohl mit der Erkrankung (z.B. Lungenkrebs) als auch mit der interessierenden Exposition (Rauchen) assoziiert ist und damit die Beziehung zwischen Erkrankung und Exposition verfälscht. Confounding kann entweder durch das Studiendesign (Matching, Randomisierung) oder durch Methoden der statistischen Analyse (Stratifizierung, Modellbildung) kontrolliert werden.

### **Cutpoint**

Trennpunkt, an dem eine Verteilung in zwei Bereiche aufgeteilt wird, z.B. in den Bereich exponierter und nicht exponierter Personen.

### **Dignität**

Biologische Wertigkeit, z.B. Gut- oder Bösartigkeit eines Tumors

### **ELF** s. EMF

### **EMF (Elektromagnetische Felder)**

EMF wird als Oberbegriff für das elektromagnetische Spektrum verwendet, das magnetische Felder elektrischer Stromquellen (ELF), Radiowellen (RF), Mikrowellen (MW), Infrarotlicht (IR), ultraviolettes Licht (UV) und Röntgenstrahlen umfasst. Die Abgrenzung der Frequenzbereiche wird nicht einheitlich gehandhabt. **ELF** umfasst nach der obigen Darstellung den Frequenzbereich zwischen 30 und 300 Hz. Vielfach aber werden auch die unterhalb von 30 Hz liegenden Frequenzen in den Bereich von ELF mit einbezogen. Der Bereich von 300 Hz bis 300 GHz wird nach dem Internationalen EMF-Projekt der WHO als "Radiofrequency" (**RF**) bezeichnet, häufig aber auch der Bereich von 3 kHz bis 300 GHz. Radiowellen sind nicht-ionisierende elektromagnetische Strahlen, bei deren Erzeugung auch Röntgenstrahlung entstehen kann, was mit erheblichen gesundheitlichen Folgen verbunden sein kann. Frequenzen von 300 MHz bis 300 GHz innerhalb dieses Spektrums der Radiowellen werden üblicherweise als Mikrowellen (**MW**) bezeichnet. Radarsysteme (gepulste Strahlung) arbeiten gewöhnlich mit Radiofrequenzen zwischen 300 MHz und 15 GHz.

### **Exposition**

Äußere Bedingungen, denen ein Organismus ausgesetzt ist und die bei der Entstehung einer Krankheit mitwirken oder sie verursachen können

### **Histologie** (Histopathologie)

Lehre von den krankhaften Veränderungen der Körpergewebe

### **Inzidenz**

Die Inzidenz stellt eine Rate dar und beschreibt die Zahl der neu aufgetretenen Erkrankungen in einer definierten Population (z.B. 100.000 Einwohner) und einem definierten Zeitraum (meist pro Jahr).

### **Job-Expositions-Matrix** (JEM)

Eine Job-Expositions-Matrix besteht aus einer Kreuztabelle mit Berufs-/Branchenbezeichnungen auf der einen Achse und potenziellen Expositionen auf der anderen Achse. Die Zellen der Matrix enthalten Informationen darüber, welche Expositionen in welchen Berufen/Branchen vorkommen. Mithilfe einer solchen Matrix kann eine Berufsbiographie in eine Expositionsbiographie übersetzt werden.

### **Konfidenzintervall** (CI)

Da Effektschätzer von Stichprobe zu Stichprobe variieren, ist es wichtig einzuschätzen, wie weit ein bestimmter Schätzwert den gesuchten Parameter der zugrundeliegenden Gesamtpopulation repräsentiert. Das Konfidenzintervall, auch Vertrauensintervall genannt, gibt das Intervall bzw. den Bereich an, in dem sich dieser gesuchte Parameter mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit befindet.

### **Logistische Regression**

Ziel der logistischen Regression ist es, das passendste Modell zu finden, um die Beziehung zwischen einer abhängigen Variable und einer Reihe von unabhängigen Variablen abzubilden. Im logistischen Modell wird z.B. die Erkrankungswahrscheinlichkeit

für Hodenkrebs in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren (Exposition gegenüber EMF, Alter und Soziale Schicht) modelliert. Die logistische Regression stellt eine Erweiterung der Vierfelder-Auswertung auf metrische und kategoriale Variablen dar, basierend auf einem regressionsanalytischen Modell.

**Mortalität**

Die Mortalität stellt eine Rate dar und beschreibt die Zahl der Verstorbenen in einer definierten Population (z.B. 100.000 Einwohner) und einem definierten Zeitraum (meist pro Jahr).

**MW** (Mikrowellen) s. EMF

**Nicht-differentielle Fehlklassifikation** s. Bias

**Odds Ratio (OR)**

Zur Schätzung des Relativen Risikos (s. RR) wird in Fall-Kontroll-Studien das sogenannte Odds Ratio (OR) verwendet. Verglichen wird das Vorhandensein der Exposition bei den erkrankten Personen mit dem Vorhandensein der Exposition bei den nicht erkrankten Kontrollpersonen. Ein Odds Ratio  $>1$  ( $<1$ ) weist auf einen Faktor hin, der das Erkrankungsrisiko erhöht (vermindert).

**Power**

Die Power (1 - Beta-Fehler) eines statistischen Tests bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, einen tatsächlich bestehenden Zusammenhang statistisch absichern zu können. Beträgt die Power eines Tests z.B. 80%, so besteht eine Wahrscheinlichkeit von 20 Prozent dafür, einen tatsächlich bestehenden Zusammenhang statistisch nicht absichern zu können.

**Prävalenz**

Die Prävalenz bezieht sich auf die Zahl der von einer Erkrankung oder einer Exposition betroffenen Menschen zu einem Zeitpunkt oder in einem Zeitraum.

**Recall-Bias** s. Bias

**RF** (Radio Frequencies bzw. Radiowellen) s. EMF

**Relatives Risiko (RR)**

Das Relative Risiko gibt das Verhältnis des Auftretens der untersuchten Krankheit zwischen der exponierten und der nicht exponierten Gruppe an. Rechnerisch ist das Relative Risiko der Quotient aus dem Risiko der Exponierten zu erkranken und dem Risiko der nicht Exponierten zu erkranken bzw. der Quotient aus zwei Inzidenzen. Das Relative Risiko wird als Effektmaß verwendet bei epidemiologischen Studien, bei denen aufgrund des Studientyps die Erkrankungswahrscheinlichkeit für die Untersuchungspopulation direkt geschätzt werden kann, z.B. in Kohortenstudien.

**Selektionsbias** s. Bias

**SIR** (Standardisierte Inzidenzrate) s. Inzidenz und Altersstandardisierung

**SMR** (Standardisierte Mortalitätsrate, zuweilen auch Morbiditätsrate) s. Mortalität und Altersstandardisierung

**Weltstandard** s. Altersstandardisierung

**White-Collar-Worker** s. Blue-Collar-Worker

Quellen:

Ahrens W. Retrospective Assessment of occupational exposure in case-control-studies. Fortschritte in der Epidemiologie. Edited by Wichmann HE, Jöckel KH, Robra BP. Landsberg: ecomed, 1999.

Baumgardt-Elms, C., Glaser-Möller, N., Hentschel, S., v. Manikowsky, S., Schümann, M.: Das ist doch alles bloß Statistik. In: Praxishandbuch Gesundheitsberichterstattung, Hrsg.: Hamburger Projektgruppe Gesundheitsberichterstattung. Akademie für Öffentliches Gesundheitswesen in Düsseldorf, Schriftenreihe Band 18, 1996, 177-212.

Beaglehole R, Bonita R, Kjellström T. Basic epidemiology. WHO, Geneva, 1993.

Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales. Elektromagnetische Felder "Elektrosmog". Eine Information der Umweltmedizinischen Beratungsstelle, 1997.

Encyclopedia of epidemiologic methods. Gail MH, Benichou J., Hrsg. Chichester (u.a.): Wiley, 2000.

Jauchem JR. Health effects of microwave exposures: a review of the recent (1995-1998) literature. International Microwave Power Institute 1998; 33(4):263-274.

WHO-Press (Hrsg.): Electromagnetic fields and public health. Health effects of radiofrequency fields. Fact Sheet No. 183, reviewed 1998.

WHO-Press (Hrsg.): Electromagnetic fields and public health radars and human health. Fact Sheet No. 226, 1999.

Pschyrembel Medizinisches Wörterbuch. Sonderausgabe - 257. Auflage, bearbeitet von der Wörterbuch-Redaktion des Verlages unter Leitung von Helmut Hildebrandt, Berlin 1993.