

Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen

- Leukämien im Kindesalter und elektromagnetische Felder in der Umgebung von Rundfunkstationen -

Abschlussbericht 29.2.2008

Vorgelegt von:

Dr. Hiltrud Merzenich, Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI), Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Dipl. Stat. Sven Schmiedel, Institute of Cancer Epidemiology, Danish Cancer Society, Kopenhagen

Dipl. Dok. Sabrina Bennack, Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI), Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Dr. Hauke Brüggemeyer, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Hildesheim

PD Dr. Joachim Schüz, Institute of Cancer Epidemiology, Danish Cancer Society, Kopenhagen

Studienleitung

Institute of Cancer Epidemiology, Danish Cancer Society, Kopenhagen, Dänemark (PD Dr. Joachim Schüz)

Durchführung

Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (Direktorin: Prof. Dr. Maria Blettner)

Deutsches Kinderkrebsregister der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (Ltg. Dr. Peter Kaatsch)

Betriebsdaten der Rundfunk-Sendeanlagen und Expositionsschätzung

Südwestrundfunk, Dipl.-Phys. Johannes Philipp (Ltg. Frequenz- und Versorgungsplanung), Stuttgart
T-Systems-International GmbH, Wolfgang Schröter und Harry Korr, Media&Broadcast, Berlin

Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen

- Leukämien im Kindesalter und elektromagnetische Felder in der Umgebung von Rundfunkstationen -

Projektbeginn: 1.3.2005
Projektende: 29.2.2008

Korrespondenzadressen:

(für den Auftragnehmer) Dr. Joachim Schüz, Institute of Cancer Epidemiology, Danish Cancer Society, Strandboulevarden 49, DK-2100 Copenhagen, e-mail: Joachim@cancer.de

Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55101 Mainz

(für den Auftraggeber) Dr. Michaela Kreuzer, Bundesamt für Strahlenschutz, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Oberschleissheim, e-mail: MKreuzer@bfs.de

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz erstellt worden. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren. Der Eigentümer behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des Auftraggebers zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Dieser Bericht gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Bundesamtes für Strahlenschutz übereinstimmen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Summary	IV
1 Einführung	1
2 Fragestellungen	4
3 Studiendesign	6
3.1 Studienregion	7
3.2 Rekrutierung der Studienpopulation	10
4 Expositionsbestimmung	18
4.1 Bestimmung des Abstandes zwischen Sendeanlage und Wohnort	18
4.1.1 Geokodierung von Wohnadressen	18
4.1.2 Abstandsbestimmung	18
4.2 Schätzung der Feldstärken am Wohnort	19
4.2.1 Rechenmodelle	19
4.2.2 Betriebliche Daten der Sendeanlagen	21
4.2.3 Überprüfung der Schätzung der Feldstärken	22
4.2.4 Expositionsdaten	26
5 Validierung der Expositionsschätzung	27
6 Statistische Auswertung	36
6.1 Hypothesen und Auswertungsstrategien	36
6.2 Diagnose- und Altersgruppen	38
6.3 Confounder	38
7 Ergebnisse	40
7.1 Beschreibung der Studienpopulation	40
7.2 Analysen der Fragestellungen	43
8 Diskussion	52
9 Danksagung	56

Anhang 1	Pilotbericht
Anhang 2	Operationshandbuch
Anhang 3	Literaturverzeichnis
Anhang 4	Sendeanlagen der Studienregion (Hauptsender)
Anhang 5	Bisherige Publikationen zum Projekt

Zusammenfassung

In einer Fall-Kontroll-Studie wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen dem Erkrankungsrisiko für Leukämien im Kindesalter und der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) in der Umgebung von Rundfunkstationen untersucht. Zur Studienpopulation gehörten 1959 Kinder im Alter von 0 bis 14 Jahren, die zwischen 1984 und 2003 an einer primären Leukämie erkrankten und im Umkreis von 16 amplitudenmodulierten Lang- und Mittelwellensendern (AM) und 8 FM/TV¹-Sendern Westdeutschlands leben bzw. gelebt haben und im Deutschen Kinderkrebsregister (DKKR) bis zum 15.09.2005 (Stichtag der Ziehung) gemeldet waren. Für jeden Fall wurden nicht an Krebs erkrankte Kontrollkinder zufallsbedingt aus der Bevölkerung gezogen (1:3 Matching, n=5848 Kontrollen). Matchkriterien für die Kontrollkinder waren Geschlecht und Alter, Senderregion und Meldezeitpunkt. Wesentliches Element dieser Studie war die individuelle Expositionsabschätzung bezogen auf den Zeitpunkt ein Jahr vor der Diagnose des Falls (Expositionszeitraum 1983-2002). Die Schätzung der Exposition erfolgte mit Rechenverfahren zur Feldstärkeprognose, die zur Modellierung der Rundfunkversorgung entwickelt wurden. Im Rahmen einer Validierungsstudie wurde die mit Wellenausbreitungsmodellen berechnete Feldstärke mit unabhängigen Messdaten überprüft. Es zeigte sich, dass die HF-EMF Schätzung ein geeignetes Maß für die Exposition und besser als der räumliche Abstand (einer Wohnadresse) zum nächstgelegenen Sender ist.

Die statistische Auswertung der Hauptstudie erfolgte mit bedingter logistischer Regression. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Risiko für Leukämien im Kindesalter und Expositionen gegenüber HF-EMF. In der höchsten Expositions-kategorie wurde im Vergleich zur Referenzkategorie ein Odds Ratio von 0,86 (95% KI: 0,67 – 1,11) beobachtet.

Expositionskategorie	Feldstärkenbereich	Odds Ratio
95-≤100% Quantil	> 0,701 V/m	0,86 (95% KI 0,67 – 1,11)
vs.	vs.	vs.
0-<90% Quantil	< 0,504 V/m	1,0

Eine separate Betrachtung von AM-Sendern und FM/TV-Sendern zeigte keinen Zusammenhang zwischen Sendertyp bzw. dem zugrunde liegenden Frequenzbereich bzw. der Modulationsart und dem Erkrankungsrisiko, weder für Einzeldiagnosen noch für Leukämien insgesamt. Die entsprechenden Odds Ratios für die höchste im Vergleich zur niedrigsten

¹ Frequenz- bzw. Impulsmodulation

Expositionskategorie waren 0,89 (KI: 0,69-1,15) für AM-Sender und 0,92 (KI: 0,71-1,19) für FM/TV-Sender.

Expositionskategorie	Feldstärkenbereich	Odds Ratio
95-≤100% vs. 0-<90%	> 0,683 V/m vs. < 0,488 V/m (AM)	0,89 (95% KI 0,69 – 1,15)
95-≤100% vs. 0-<90%	> 0,198 V/m vs. < 0,164 V/m (FM/TV)	0,92 (95% KI 0,71 – 1,19)

Die Analyse der Jahre 1983-1991 und 1992-2002 (entsprechend vor bzw. nach der großflächigen Einführung des Mobilfunks) zeigte für beide Expositionszeiträume keinen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und dem Risiko für kindliche Leukämien. Auch die Analyse der Distanz zum nächstgelegenen Hauptsender zeigte keinen Zusammenhang zwischen Exposition (Nähe zum Sender) und dem Risiko für Leukämien im Kindesalter. Insgesamt ergibt die Studie keine Hinweise auf ein erhöhtes Leukämierisiko bei Kindern im Zusammenhang mit einer Exposition gegenüber HF-EMF.

Summary

A case-control study was conducted in West Germany on radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) and childhood leukemia. The study region were municipalities near high power radio and television broadcast towers, including 16 amplitude-modulated (AM) and 8 frequency-modulated (FM) transmitters. Cases were aged 0-14 years, diagnosed with leukemia between 1984-2003 and registered at the German childhood cancer registry. Three age-, gender- and transmitter area-matched controls per case were drawn randomly from population registries. The analysis includes 1959 cases and 5848 controls. The individual exposure to RF-EMF one year before diagnosis was calculated with a field strength prediction program (exposure time period. 1983-2002). In a validation study the exposure misclassification was analysed by using field measures as gold-standard that were collected independent from the model used for field strength calculation. It was shown that calculated RF-EMF are an appropriate exposure metric in a large-scale epidemiological study on broadcast transmitters. Furthermore, it was found that the agreement with between the exposure proxy distance and measured fields was worse than the agreement between calculated field strengths and measured fields.

The odds ratios were estimated using conditional logistic regression. Considering total RF-EMF, the odds ratio for all types of leukemia was 0.86 (95% confidence interval (CI): 0.67 – 1.11), comparing the upper ($\geq 95\%$) and the lower ($< 90\%$) quantile of the RF-EMF distribution.

Categories of exposure	Related Field strength	Odds Ratio
95-≤100% quantile	> 0.701 V/m	0.86 (95% KI 0.67–1.11)
vs.	vs.	vs.
0-<90% quantile	< 0.504 V/m	1.0

An analysis for AM and FM transmitters separately did not show increased risks for leukemia. The respective odds ratios for high versus low exposure were 0.89 (CI: 0.69-1.15) for AM transmitters and 0.92 (CI: 0.71-1.19) for FM transmitters.

Categories of exposure	Related Field strength	Odds Ratio
95-≤100% vs. 0-<90%	> 0.683 V/m vs. < 0.488 V/m (AM)	0.89 (95% KI 0.69–1.15)
95-≤100% vs. 0-<90%	> 0.198 V/m vs. < 0.164 V/m (FM/TV)	0.92 (95% KI 0.71–1.19)

No association between RF-EMF exposure and childhood leukemia was observed after dividing the time period into 1983-1991 and 1992-2002, representing time periods before and after the widespread use of mobile telecommunication in Germany. There was no statistically significantly increased odds ratio for leukemia among children living within 2 km to the nearest main transmitter compared to those living in a distance of 10-15 km. In conclusion, the study provides no evidence for an association between exposure to RF-EMF and the risk of childhood leukemia.

1 Einführung

Leukämie ist die häufigste Krebserkrankung im Kindesalter mit einem Anteil von rund 33% an allen malignen Erkrankungen. In Deutschland erkranken derzeit von 13,2 Millionen Kindern unter 15 Jahren etwa 620 jährlich neu an Leukämie (Inzidenz 4,8/100.000). Während chronische Leukämieformen praktisch nur im Erwachsenenalter auftreten, wird im Kindesalter am häufigsten die akute lymphatische Leukämie diagnostiziert: 82,5% der Leukämien bei Kindern sind akute lymphatische Leukämien und 15,1% entfallen auf die akuten myeloischen Leukämien (Kaatsch und Spix 2005, GEKID 2006).

Die Ursachen von Leukämien im Kindesalter sind noch weitgehend unklar. Ionisierende Strahlen gehören zu den am besten dokumentierten ätiologischen Faktoren. Diese Tatsache wurde in Japan bestätigt, als nach der Explosion von Atombomben ein steiler Anstieg der Häufigkeit akuter Leukämien und chronisch myeloischer Leukämien festgestellt wurde. Im Niedrigdosisbereich haben Kinder, die in utero oder während der frühen Kindheit ionisierenden Strahlen ausgesetzt werden, ebenfalls ein erhöhtes Leukämierisiko (Pui 1995, Schüz 2002). Ab welcher Dosis ein Risiko besteht, ist jedoch umstritten.

Zu häufig diskutierten Risikofaktoren gehört auch die nicht-ionisierende Strahlung. Neuere Studien verweisen vor allem auf die Bedeutung von niederfrequenten magnetischen Feldern für das Leukämierisiko. In einer Studie von Schüz et al. (2001) wurde ein etwa dreifach höheres Leukämierisiko für Kinder beobachtet, die während der Nacht gegenüber Magnetfeldern von $\geq 0,2\mu\text{T}$ exponiert waren. Auf der Basis konsistenter Ergebnisse epidemiologischer Studien, aber fehlender Unterstützung aus experimentellen Studien und mangelnder Kenntnis über einen möglichen Wirkmechanismus, klassifizierte ein internationales Expertengremium der International Agency for Research on Cancer (IARC) niederfrequente magnetische Felder als „possibly carcinogenic to humans“ (IARC 2002). Sollte der empirisch beobachtete Zusammenhang kausaler Natur sein, wären in Deutschland etwa 1% der Leukämien im Kindesalter auf die Exposition mit niederfrequenten magnetischen Feldern zurückzuführen.

Die vermehrte Nutzung der Funktechnik für Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk ist eng mit einer Zunahme der Exposition des Menschen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (30 kHz bis 300 GHz) verbunden. Aufgrund der in den letzten Jahren rasch zunehmenden Verbreitung insbesondere der Mobilfunktechnik werden elektromagnetische Felder und deren Bedeutung für die menschliche Gesundheit zunehmend intensiv und auch kontrovers diskutiert. Die Strahlung von Radio- und Fernsehsendern unterscheidet sich von der Mobilfunkstrahlung in erster Linie durch Frequenz und Modulation. Die Strahlungsleistung von Radio- und TV-Sendern liegt im Bereich von wenigen Watt bis zu

mehreren hundert Kilowatt pro Sender. Alle Sender auf einem Sendeturm zusammen können unter Umständen eine Strahlungsleistung von mehr als einem Megawatt aufweisen. Sie ist somit deutlich höher als diejenige von Mobilfunkbasisstationen (BUWAL 2003). Das bedeutet, dass um solche Radio/TV-Sendetürme ein viel größeres Gebiet exponiert ist als um Mobilfunkbasisstationen. Weiterhin können in der näheren Umgebung starker Rundfunksender deutlich höhere Expositionen auftreten als im näheren Umkreis einer Mobilfunkbasisstation.

Die Bedeutung hochfrequenter elektromagnetischer Felder für das Erkrankungsrisiko exponierter Populationen in der Umgebung von Sendestationen von Hörfunk und Fernsehen ist unklar. Bisher wurden fünf ökologische Studien im Umkreis von solchen Sendeanlagen durchgeführt, bei denen Krebserkrankungen im Kindesalter betrachtet wurden. Diese Studien fanden in der Umgebung von Sendetürmen auf Oahu, Hawaii (Maskarinec et al., 1994), in Australien (North Sydney) (Hocking et al., 1996), in Groß-Britannien (Dolk et al., 1997a), Italien (Michelozzi et al., 2002) und Südkorea statt (Park et al. 2004). Bei allen Studien ergaben sich auf den ersten Blick Hinweise auf ein häufigeres Auftreten von Leukämieerkrankungen im Nahbereich der Sender. Die australische Studie wurde später von einem anderen Autorenteam einer Re-Analyse unterzogen (McKenzie et al., 1998). Die britische Studie, die den Einfluss eines Senders untersuchte, wurde von den gleichen Autoren nach identischer Methodik auf eine größere Studienregion mit mehreren Sendern ausgedehnt (Dolk et al., 1997b). Bei der zweiten Überprüfung der Daten ergaben sich Befunde, welche die ursprünglich publizierten Ergebnisse in Frage stellten.

Die Aussagekraft der zitierten Studien wird maßgeblich begrenzt durch den ökologischen Studienansatz, bei dem keine individuellen Expositionsdaten zugrunde gelegt werden. Vielmehr beruhen diese Studien auf der Distanz eines kleinräumigen Gebietes (zum Beispiel einer Gemeinde) zur Feldquelle, wobei für alle Häuser dieses Gebietes (der Gemeinde) die gleiche Expositionsstärke angenommen wird. Auch sind die Ergebnisse durch die verhältnismäßig geringen Umfänge der Untersuchungspopulationen mit hoher statistischer Unsicherheit behaftet.

Vor diesem Hintergrund führte die Universität Mainz von März 2005 bis Februar 2008 eine Fall-Kontroll-Studie zu „Leukämien im Kindesalter und elektromagnetische Felder in der Umgebung von Rundfunkstationen“ durch, die einen Beitrag zur Risikobewertung hochfrequenter elektromagnetischer Felder leisten sollte. Im Rahmen einer Pilotstudie (März 2005 bis November 2005) erfolgte zunächst die Spezifizierung des Studiendesigns mit der Auswahl der relevanten Sendestationen und der Festlegung der Untersuchungsregionen. Im Rahmen der Pilotstudie erfolgten auch erste Kontakte mit den Betreibern mit dem Ziel einer Übermittlung von historischen Betriebsdaten, die für die Expositionsschätzung erforderlich

waren. Die Ergebnisse der Pilotstudie wurden in einem Bericht dokumentiert. Auf der Basis der Ergebnisse der Pilotstudie wurde ein Operationshandbuch erstellt. In der anschließenden Hauptstudie erfolgte die Rekrutierung der Studienpopulation, die Expositionsschätzung und Validierung der Expositionsschätzung und schließlich die statistische Auswertung.

2 Fragestellungen

Im Mittelpunkt der Fall-Kontroll-Studie stand die Beantwortung der Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Leukämierisiko bei Kindern und der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) in der Umgebung leistungsstarker Sendestationen von Radio und Fernsehen gibt. In diesem Zusammenhang sollte auch untersucht werden, ob eine Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen geschätzter Feldstärke und dem Erkrankungsrisiko besteht.

Ein weiterer Aspekt der Studie war die Frage, ob ein potentiellies Erkrankungsrisiko vom Sendertyp bzw. von den unterschiedlichen Frequenzbereichen und Modulationsarten abhängt. In die Studie wurden leistungsstarke Lang- und Mittelwellensender sowie UKW- und Fernsehsender einbezogen. Zu unterscheiden sind hier die Amplitudenmodulation (AM) des Hörfunks bei Lang- und Mittelwellensendern (nachfolgend AM-Sender genannt) und die Frequenzmodulation (FM) beim UKW-Rundfunk. Bei analogem Fernsehen dient die Amplitudenmodulation zur Bild- und die Frequenzmodulation zur Tonübertragung. Dabei enthält das amplitudenmodulierte Signal zusätzliche Impulsanteile zur Bild- und Zeilensynchronisation. UKW und Fernsehsender werden häufig gemeinsam auf einem Mast installiert und konnten daher bei der Expositionsschätzung nur gemeinsam berücksichtigt werden (nachfolgend FM/TV-Sender genannt).

Bis Anfang der 90er Jahre spielten Expositionen durch das Handy, Mobilfunk-Basisstationen und Schnurlostelefone keine maßgebliche Rolle. Erst mit der Einführung der D-Netze mit digitalisierter Übertragung von Funktelefonaten im Juli 1992 und des E-Netzes 1994 begann der Ausbau der Basisstationen. Von Interesse für die Studie war daher die Frage, ob unterschiedliche Erkrankungsrisiken in den Expositionszeiträumen vor und nach Einführung des Mobilfunks beobachtet werden können.

Bei den in der Vergangenheit durchgeführten ökologischen Studien zur Bedeutung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Rundfunkstationen wurde überwiegend die Distanz als Näherung der tatsächlichen Expositionsverhältnisse zugrunde gelegt. Insbesondere bei FM/TV-Sendern trifft jedoch die Annahme einer mit wachsender Entfernung monoton abnehmenden Exposition häufig nicht zu. Die Antennen von VHF- und UHF-Sendern hoher Leistung besitzen meist eine ausgeprägte vertikale Bündelung in horizontaler Richtung und sind gewöhnlich in großer Höhe montiert. Das führt dazu, dass die expositionsrelevante Feldstärke in Bodennähe von mittleren Werten am Fuß des Sendeturms zunächst etwas ansteigt, nach wenigen Kilometern ein Maximum erreicht und dann erst abfällt. Bei UHF-Anlagen können wegen der unvermeidbaren sog. Nebenzipfel des vertikalen Strahlungsdiagramms sogar mehrere solcher lokalen Maxima und Minima

auftreten. Bei AM-Sendern herrschen demgegenüber erst in einer Distanz von einigen Wellenlängen zur Antenne einfache Fernfeldbedingungen mit monotonem Abfall der elektrischen und magnetischen Feldstärke. Im expositionsrelevanten Nahfeld können – abhängig von der Antennenkonfiguration – ebenfalls Maxima auftreten (BUWAL 2003).

Zur Vergleichbarkeit mit früheren Studien wurde in der hier vorgestellten Fall-Kontroll-Studie für jede Person der Studienpopulation auch der Abstand von der Wohnadresse zur Hauptsendeanlage bestimmt. Im Mittelpunkt der Studie steht jedoch die berechnete elektrische Feldstärke.

3 Studiendesign

Die Untersuchung wurde als Fall-Kontroll-Studie ohne Befragung der Studienteilnehmer bzw. der Eltern durchgeführt. Die Rekrutierung der Fälle für die Studie erfolgte über das Deutsche Kinderkrebsregister (DKKR) in Mainz (Stichtag der Ziehung 15.9.2005). Zur Fallpopulation gehörten Kinder im Alter von 0 bis 14 Jahren, die zwischen 1984 und 2003 an einer Leukämie erkrankten und im Umkreis leistungsstarker Sender Westdeutschlands leben bzw. gelebt haben. Die Kontrollen wurden über die Einwohnermeldeämter aus der historischen Wohnbevölkerung gezogen. Dabei wurden jedem Fall drei nicht an Krebs erkrankte Kontrollkinder zugeordnet, die zufällig aus der Bevölkerung der Senderumkreise gezogen wurden. Für Fälle und Kontrollen wurde zudem ermittelt, seit wann die Kinder am Wohnort bzw. der interessierenden Adresse lebten.

Wesentliches Element der Studie war die retrospektive individuelle Expositionsabschätzung. Diese Expositionsabschätzung erfolgte für alle Wohnadressen (Fälle und Kontrollen) unter Zugrundelegung der Strahlungsleistung der in der Studie berücksichtigten Funksendeanlagen. Dabei wurde die Exposition zum Zeitpunkt ein Jahr vor der Diagnose des Fallkinds berücksichtigt und folglich ein Expositionszeitraum von 1983 bis 2002 betrachtet. Die Schätzung der Exposition erfolgte mit Rechenverfahren zur Feldstärkeprognose, die zur Modellierung der Rundfunkversorgung entwickelt wurden.

3.1 Studienregion

Im Rahmen der Pilotphase wurden zunächst die in Frage kommenden Feldquellen nach Maßgabe der effektiven Strahlungsleistung² identifiziert. Insgesamt wurden 16 AM-Sender und 8 UKW/TV-Sender mit Standort in Westdeutschland ausgewählt. Sendeanlagen in den neuen Bundesländern wurden nicht berücksichtigt, da eine Kontrollziehung aus der historischen Wohnbevölkerung der ehemaligen DDR mit zu hohem Zeitaufwand verbunden gewesen wäre. Zudem erlaubte die vorliegende Fallzahl eine Beschränkung auf Westdeutschland als Studiengebiet (vgl. Pilotbericht <http://www.emf-forschungsprogramm.de/>) **Anhang 4** listet die Hauptsendeanlagen der Studienregion auf.

Zur Festlegung des Studiengebietes musste die Frage beantwortet werden, innerhalb von welchem Radius ein Expositionsspektrum abgedeckt wird, das sowohl stärker als auch schwächer exponierte Personen in der Umgebung des Senders einschließt. Die minimal in Siedlungsgebieten anzutreffende Feldstärke ist jeweils durch die Auslegung des Sendernetzes bedingt, da an jedem Wohnort eines Versorgungsgebietes die Betreiber der Funknetze eine Mindestanzahl von Programmen mit jeweils einer bestimmten Mindestfeldstärke zur Verfügung stellen. Die maximal zu erwartenden Feldstärken hängen dagegen von der Konfiguration der einzelnen Sendeanlagen ab. Methodisch angemessen ist es somit, einen Radius unter Berücksichtigung senderspezifischer Charakteristika festzulegen. Daher wurde zur Festlegung des Studiengebietes unter Zugrundelegung betriebsspezifischer Expositionsdaten für jeden AM-Sender der ungefähre „1 V/m (120 dB(μ V/m))“ - Radius³ bestimmt. Innerhalb dieses Radius kann eine Feldstärke von mehr als 1 V/m erwartet werden. Eine Feldstärke von 1 V/m liegt über den Werten, wie sie üblicherweise bei UKW/TV- und Mobilfunk gemessen werden und unterscheidet sich damit deutlich von der Hintergrundexposition. Für AM-Sender wurde der theoretische „1 V/m-Radius“ verdoppelt, um schwach-exponierte Gebiete in ausreichendem Maße einzubeziehen. **Abbildung 3.1** zeigt die Verteilung der Expositionsklassen nach Einwohnerzahl im Umfeld des AM-Senders Mühlacker (ländliche Region). Für die FM/TV-Sender wurde der theoretische „0,03 V/m (90 dB(μ V/m))“-Radius ermittelt. **Abbildung 3.2** beschreibt die Verteilung der Expositionsklassen nach Einwohnerzahl im Umfeld der dominierenden UKW-Sender in Stuttgart. Innerhalb des ermittelten „90 dB(μ V/m)-Radius“, der in etwa einem 20 km - Radius entspricht, ist die höher exponierte Bevölkerung sicher eingeschlossen.

² mindestens 200 kW EMRP (AM) bzw. 200 kW (FM) oder 500 kW ERP (TV);

E(M)RP = effective (monopole) radiated power

³ Bestimmung mit gebräuchlichen Wellenausbreitungsmodellen des Rundfunks (vgl. Expositionsschätzung)

Abbildung 3.1 **Histogramm der Bevölkerungsexposition durch den AM-Sender Mühlacker im Umkreis von 30 km**

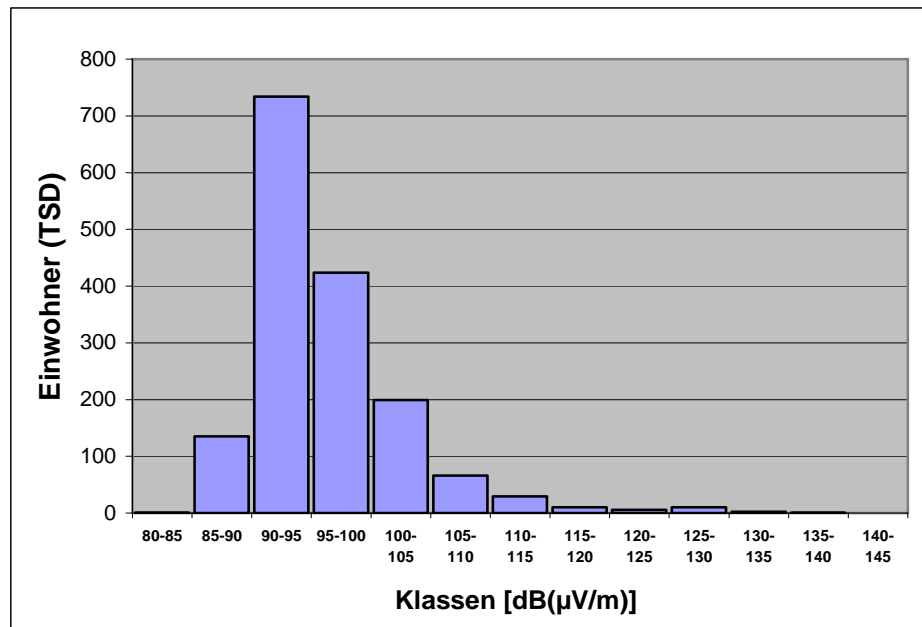
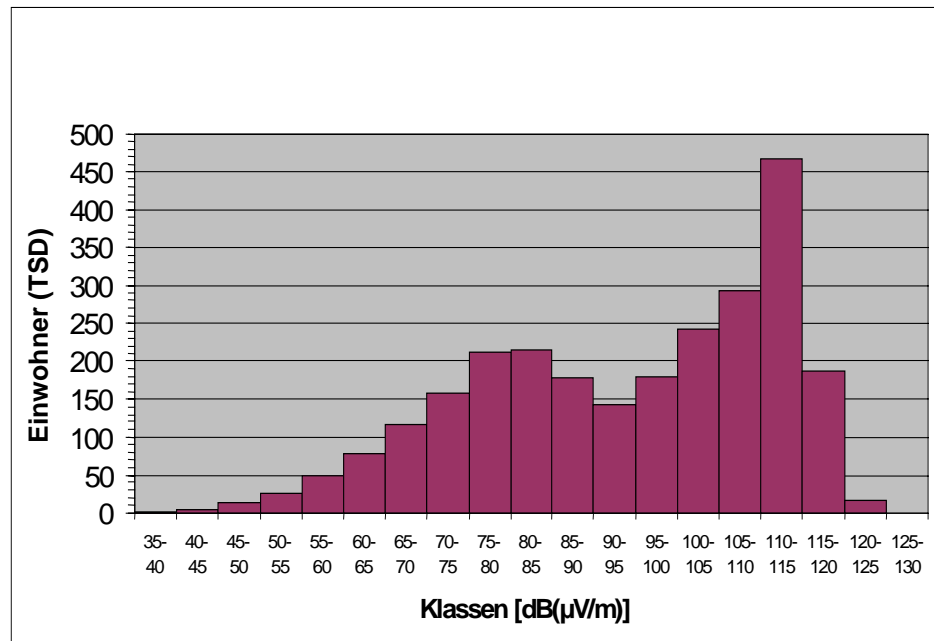


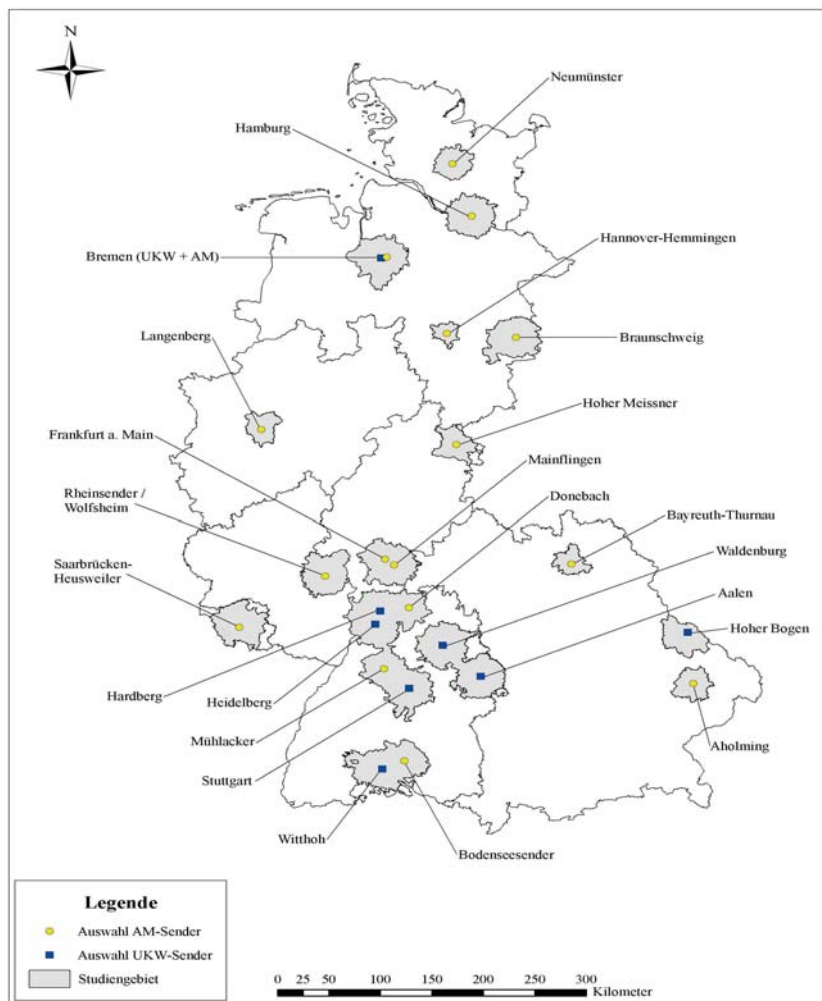
Abbildung 3.2 **Histogramm der Bevölkerungsexposition durch die UKW-Sender Stuttgart-Frauenkopf und Stuttgart-Degerloch im Umkreis von 30 km**



Zur Festlegung des Studiengebietes wurden grundsätzlich alle Gemeinden einbezogen, die innerhalb des Radius lagen oder in diesen hineinragten. Die damit verbundene Ausdehnung des „randständigen“ Studiengebietes stellte sicher, dass in genügender Anzahl schwach-exponierte Personen berücksichtigt wurden. Größere Gebiete sind aufgrund des Abstandes der leistungsstarken Grundnetzsender in Deutschland nicht sinnvoll.

Abbildung 3.3 zeigt im Überblick das Studiengebiet mit den 16 AM-Sendern und den 8 FM/TV-Sendern. Die Senderregionen weisen insbesondere in den südlichen Bundesländern Überschneidungsgebiete auf, die durch die räumliche Dichte der 8 FM/TV-Sender bedingt sind. Bei diesen handelt es sich in der Mehrzahl um Sender des SWR aus dem Raum Baden-Württemberg und um hessische Stationen. Ein Vorteil dieser Auswahl war darin zu sehen, dass durch die Einbindung des SWR in die Studie eine retrospektive Expositionsschätzung bereits in der Pilotphase als realistisch eingestuft werden konnte.

Abbildung 3.3 Sendeanlagen und Senderregionen



3.2 Rekrutierung der Studienpopulation

Gemäß der Internationalen Klassifikation der Krebserkrankungen bei Kindern (ICCC-3⁴) wurden folgende Diagnosen berücksichtigt:

ICCC Ia	Lymphoide Leukämie
ICCC Ib	Myeloische Leukämie
ICCC Ic	Chronisch myeloproliferative Erkrankungen
ICCC Id	Myelodysplastisches Syndrom und andere myeloproliferative Erkrankungen
ICCC Ie	unspezifische und andere spezifische Leukämien

Abbildung 3.4 zeigt die Selektion der Fallpopulation. Über das Deutsche Kinderkrebsregister wurden bezogen auf die Diagnosejahre 1984-2003 für die AM-Sendergebiete insgesamt 1481 Kinder mit einer primären Leukämie ermittelt, für die FM/TV-Sendergebiete insgesamt 749 erkrankte Fälle (Ziehung über die Gemeindekennziffer zum Stichtag 15.9.2005). Kinder, die bereits vorher an einem anderen Krebs erkrankt waren, wurden ausgeschlossen, da deren Leukämie vermutlich auf die Therapie des Primärtumors zurückzuführen war. Von den insgesamt 2230 Fällen wurden die doppelt gezogenen Fälle ausgeschlossen, deren Wohnadresse in Überschneidungsgebieten zweier Senderregionen lag. Weiterhin wurden Fallkinder nicht berücksichtigt, die im DKKR nur vollständig anonymisiert vorliegen (ohne Namen und Anschrift). Für die verbleibenden Fälle musste bei 919 Wohnadressen eine sog. nachgehende Adressrecherche durchgeführt werden, da die im DKKR dokumentierten Adressen nur unvollständig waren. Im Zuge der nachgehenden Adressrecherche wurden weitere Fälle ausgeschlossen, deren Wohnadressen zum Zeitpunkt der Diagnose nicht recherchierbar waren oder wenn für die ermittelten Diagnoseadressen festgestellt wurde, dass sie nicht im Studiengebiet lagen oder wenn im Zuge der Geokodierung der Wohnadressen nur ungenaue (d.h. Postleitzahl-bezogene Koordinaten) übermittelt werden konnten. Für alle Fälle wurde über die Einwohnermeldeämter zudem die Wohndauer ermittelt. Im Zuge dieser Recherchen wurden weitere Fälle ausgeschlossen, für die sich zeigte, dass die im DKKR dokumentierte Diagnoseadresse durch die Einwohnermeldeämter nicht bestätigt werden konnte. Insgesamt verblieben 1959 Fallkinder. Von einem Fallkind waren bekannt: Diagnose, Diagnosejahr, Geburtsdatum, Geschlecht, Senderregion und Wohnadresse zum Zeitpunkt der Diagnose.

Für jeden Fall wurden sechs nicht an Krebs erkrankte Kontrollkinder zufallsbedingt aus der Bevölkerung gezogen. **Abbildung 3.5** veranschaulicht die Rekrutierung der Kontrollen. Insgesamt wurden 10975 Kontrollen über die Einwohnermeldeämter ermittelt. Nur ein kleiner Teil der angesprochenen Gemeinden war nicht in der Lage, die geforderten Kontrollen

⁴ Steliarova-Foucher E, Stiller C, Lacour B, Kaatsch P. Third Classification of Childhood cancer, Third Edition. Cancer 2005 (103): 1457-1467.

(n=510, 4,5% aller Kontrollen des Studiengebietes) für die Studie zur Verfügung zu stellen. Hauptsächlich Gründe hierfür waren überwiegend technische Probleme und personelle, in deren Folge keine fristgerechte Lieferung der Kontrollen möglich war.

Abbildung 3.4 **Selektion der Fallpopulation aus dem Deutschen Kinderkrebsregister**

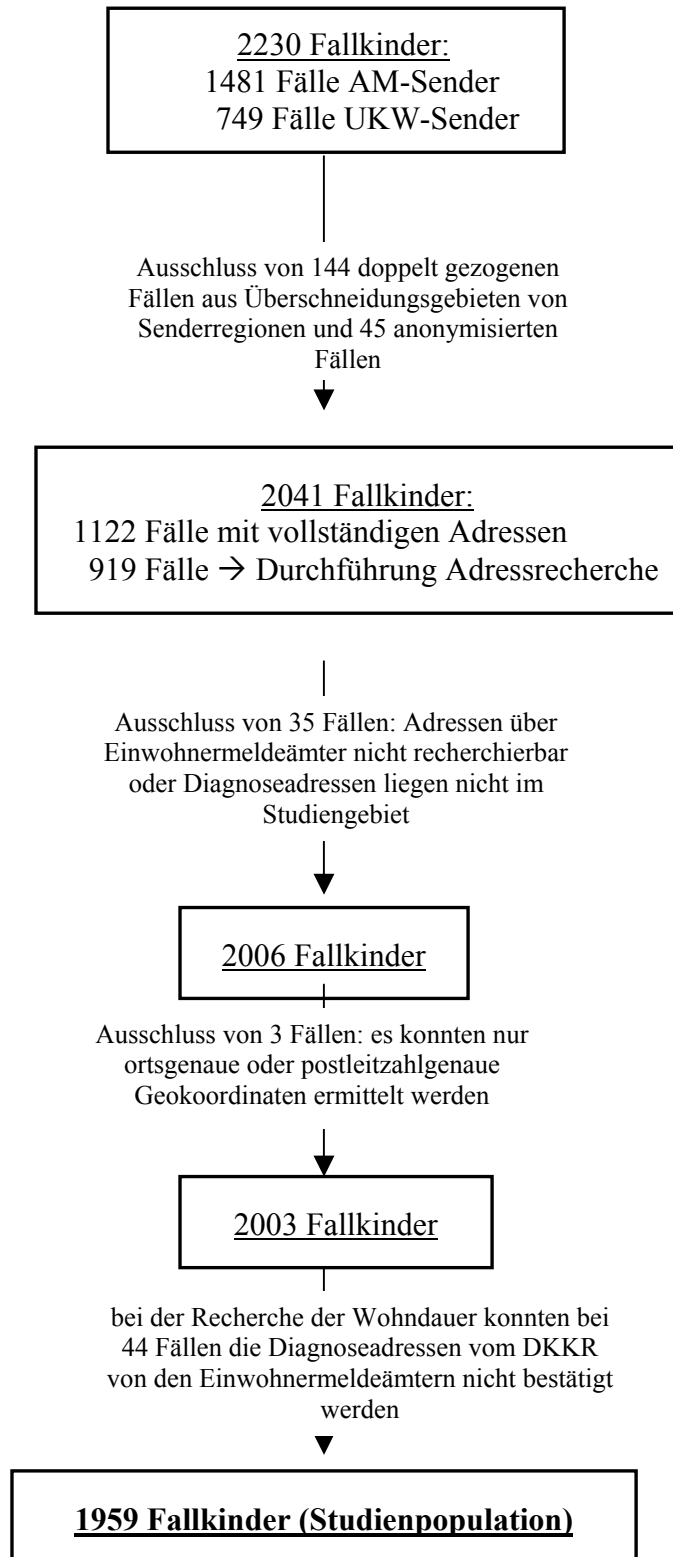
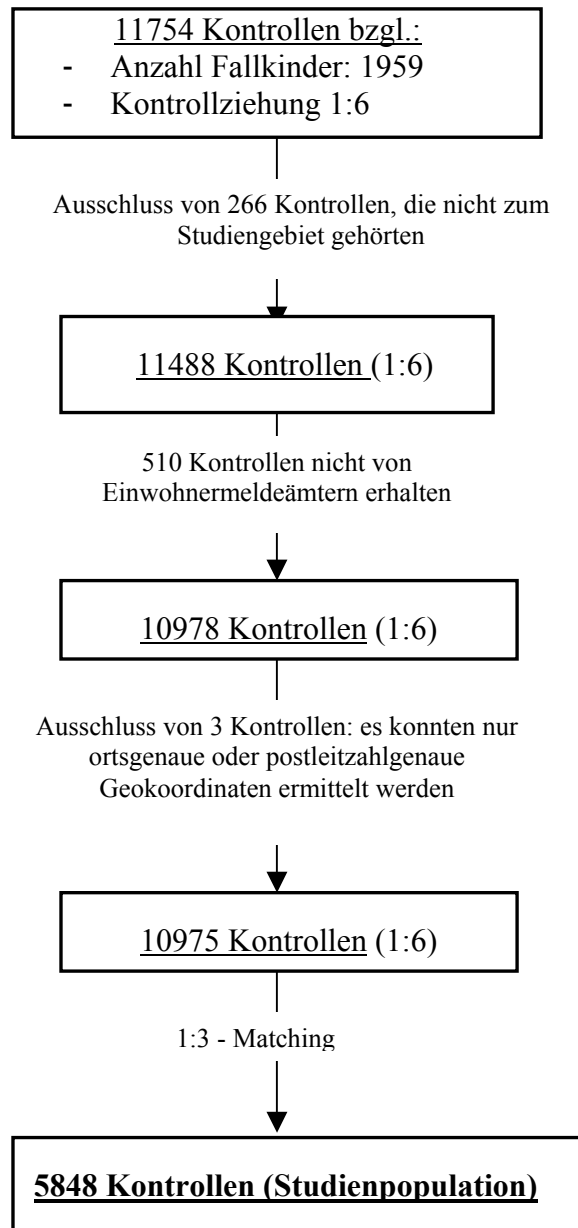


Abbildung 3.5 Ziehung der Kontrollpopulation und Matching



In der Auswertung wurde ein 1:3 Matching realisiert. Matchkriterien für die Kontrollkinder waren Geschlecht und Alter, Senderregion und Meldezeitpunkt: so mussten die Kontrollkinder zum Zeitpunkt der Diagnosestellung des Fallkinds im analogen Lebensalter gewesen sein. Der Wohnort des Kontrollkinds zum Diagnosezeitpunkt des Falles musste in einer Gemeinde liegen, die zur Senderregion des Fallkinds gehörte. Dabei musste der Meldezeitpunkt am Wohnort dem Diagnosemonat und -jahr des Falls entsprechen.

Das Ergebnis der Kontrollziehung zeigt **Tabelle 3.1**. Durch die eingebaute Redundanz bei der Ziehung der Kontrollen (1:6) wurde sichergestellt, dass für die Auswertung jedem Fallkind mindestens eine Kontrolle zugeordnet werden konnte. Angestrebt war ein Match-Verhältnis von 1:3. Nur 25 Fällen (1,3%) konnten weniger als 3 Kontrollkinder zugeordnet werden. Bei der Ziehung wurden die Kontrollen aus den einzelnen Gemeinden gemäß der im Alter des Falls vorliegenden Bevölkerungsverteilung in der Senderregion zum Zeitpunkt der Diagnose des Falls gezogen. Bei dieser zufälligen und bevölkerungsgewichteten Ziehung wurden von den insgesamt 982 Gemeinden des Studiengebietes Kontrollen aus 805 Gemeinden ausgewählt. Die geringere Anzahl ist bedingt durch viele einwohnerstarke Gemeinden, aus denen durch die entsprechend stärkere Gewichtung relativ häufig Kontrollen gezogen wurden. Kleinere Gemeinden wurden infolgedessen weniger berücksichtigt. Für Gemeinden, die zu zwei Senderregionen gehören, erfolgte die Kontrollziehung aus beiden Senderregionen.

Tabelle 3.1 Ergebnis der Kontrollziehung (1:6)

Fälle mit:	Fälle		Kontrollen nach 1:6 Matching	Kontrollen nach 1:3 Matching
	n	%	n	n
6 Kontrollen	1474	75,2	8844	4422
5 Kontrollen	284	14,5	1420	852
4 Kontrollen	137	7,0	548	411
3 Kontrollen	39	2,0	117	117
2 Kontrollen	21	1,1	42	42
1 Kontrolle	4	0,2	4	4
0 Kontrollen	0	0	0	0
Σ	1959	100	10975	5848

Etwa 50,4% der Kontrollen wurden über Einzelgemeinden rekrutiert, zu 49,6% erfolgte die Kontrollziehung über Rechenzentren, die Einwohnerdaten zentral vorhalten. Die Rechenzentren benötigten zur Bearbeitung einer Melderegisterauskunft eine Zustimmungserklärung der Gemeinden, die von der Studienleitung einzuholen war. Zur Kontrollrekrutierung aus Einzelgemeinden wurden Melderegisteranfragen mit ausführlicher Erläuterung der Selektionskriterien verschickt. Die Gemeinden wurden aufgefordert Name,

Adresse, Geburtsdatum und das Einzugsdatum zu übermitteln. Neben der Vorlage einer datenschutzrechtlichen Stellungnahme des Beauftragten für den Datenschutz in Rheinland-Pfalz wurde von allen 10 beteiligten Bundesländern des Studiengebietes eine Unbedenklichkeitserklärung des jeweils zuständigen Innenministeriums eingeholt und den Gemeinden zur Verfügung gestellt.

Nicht alle Gemeinden waren in der Lage die Kontrollanfrage aus der historischen Wohnbevölkerung zu ziehen. Häufige Gründe waren die unzureichende Archivierung von Meldedaten oder eine für unsere Anfrage nicht geeignete Software, so dass Unterlagen per Hand recherchiert werden mussten, wofür oftmals keine personellen Ressourcen zur Verfügung standen. Die **Tabellen 3.2 bis 3.4** dokumentieren die mit den Gemeinden getroffenen Vereinbarungen.

Insgesamt 8964 (81,7%) der Kontrollen wurden aus der historischen Wohnbevölkerung entsprechend dem Diagnosedatum des Falles gezogen (**Tabelle 3.2**). Bei insgesamt 1913 Kontrollen (17,4%) erfolgte die Ziehung aus der aktuellen Wohnbevölkerung. Hier wurden – weil technisch im Melderegister nicht anders möglich - nur Kinder ausgewählt, die zum geforderten Meldezeitpunkt bis zum Zeitpunkt der Ziehung in der betreffenden Gemeinde wohnten. Personen, die zum betreffenden Meldezeitpunkt in der Gemeinde wohnten, jedoch weggezogen sind, konnten bei der Kontrollziehung demzufolge nicht berücksichtigt werden. In geringem Umfang (0,9%) lag der Kontrollziehung eine Berücksichtigung der historischen Wohnbevölkerung ab einem bestimmten Meldejahr (z.B. 1988) zugrunde. Beispielhaft konnten also für die Kontrollziehung alle Personen (inkl. Wegzüge, Verstorbene) von 1988 bis zum Zeitpunkt der Ziehung berücksichtigt werden. Für frühere Zeiträume wurde aus der Wohnbevölkerung des Jahres 1988 gezogen.

Tabelle 3.2 Kontrollziehung (1:6): mit Gemeinden getroffene Vereinbarungen zum Matchkriterium Meldezeitpunkt

Vereinbarung	Kontrollen	
	Anzahl	Prozent
Ziehung aus der historischen Wohnbevölkerung (bzgl. Diagnosedatum des Falls)	8964	81,7
Ziehung aus aktueller Wohnbevölkerung	1913	17,4
Berücksichtigung der Wohnbevölkerung bis zu einem bestimmten Meldejahr	98	0,9
	10975	100

In geringem Umfang war die Rekonstruktion aus der historischen Wohnbevölkerung nicht vollständig möglich. Bei 111 Kontrollen konnte nicht das Einzugsdatum in die interessierende Adresse ermittelt werden, so dass das Zuzugsdatum in die Gemeinde gewählt wurde (**Tabelle 3.3**). In Gemeinden, die zum Zuständigkeitsbereich der Rechenzentren *Anstalt für Kommunale Datenverarbeitung in Bayern (AKDB)* und *DataPort* (Schleswig-Holstein) gehören, konnten Personen mit mehrfachen Wohnperioden innerhalb der Gemeinde nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 3.3 Art der Rekonstruktion bei Ziehung aus der historischen Wohnbevölkerung

	Kontrollen	
	Anzahl	Prozent
Rekonstruktion der historischen Wohnbevölkerung inkl. Wohndauer vollständig möglich	7891	88,0
Rekonstruktion der historischen Wohnbevölkerung nicht vollständig möglich: Einzugsdatum an die interessierende Wohnadresse entspricht Zuzugsdatum in die Gemeinde	111	1,2
Berücksichtigung von Personen mit mehrfachen Wohnperioden innerhalb der Gemeinde nicht möglich. Ziehung erfolgte aus dem Personenkreis mit nur einer Wohnperiode	962	10,8
Σ	8964	100,0

Nachfolgende Tabelle zeigt die Vorgehensweise der Kontrollziehung, wenn aus der aktuellen Wohnbevölkerung rekrutiert wurde.

Tabelle 3.4 Art der Rekonstruktion bei Ziehung aus der aktuellen Wohnbevölkerung

	Anzahl Kontrollen	Prozent
Meldezeitpunkt der Kontrollen entspricht Diagnosemonat des Fallkindes	424	22,2
Es liegt nur das Einzugsdatum in die Gemeinde vor	1489	77,8
	1913	100

Zu den Matchkriterien für Fälle und Kontrollen gehörte neben Geschlecht, Meldezeitpunkt und Senderregion auch das Alter. Kontrollkinder durften mit ihrem Geburtsdatum bis maximal sechs Monate vom Geburtstag des Fallkinds abweichen. Aus den gelieferten Einwohnerdaten wurde das Kind als Kontrolle gewählt, dessen Geburtsdatum am nächsten zum entsprechenden Fall lag. Falls mehrere Kinder mit gleichem Geburtsdatum geliefert wurden, wurde eines zufällig gezogen. Wie breit das Intervall um den Geburtstag des Fallkinds gewählt wurde, hing von der Gemeindegröße ab: es wurde so gewählt, dass mindestens 30-50 Adressen erhältlich waren. In kleineren Gemeinden (weniger als 20-30 Kinder pro Alter, Kalenderjahr und Geschlecht) wurden alle Namen und Adressen von Kindern dieses Alters und Geschlechts aus dem betreffenden Kalenderjahr erbeten. **Tabelle 3.5** gibt eine Übersicht über die angeforderten Geburtszeiträume. Bei 54% aller gezogenen Kontrollen entsprach das Geburtsdatum bzw. der Geburtsmonat demjenigen des korrespondierenden Fallkinds. Insgesamt lag der Abstand zwischen Geburtsdatum von Fällen und Kontrollen bei durchschnittlich 6 Tagen.

Tabelle 3.5 Kontrollziehung (1:6): Angeforderte Geburtszeiträume

Intervall um das (fallbezogene) Geburtsdatum	Gemeindegröße (Einwohner gesamt)	Anzahl Kontrollen (%)
gesamtes Kalenderjahr	≤ 10000	1656 (15,1)
+/- 2,5 Monate	>10000 – 20000	1540 (14,0)
+/- 1 Monat	>20000 – 50000	1819 (16,6)
gleicher Monat	>50000	5960 (54,3)
		10996 (100%)

Nach dem 1:3 Matching verteilen sich die rekrutierten Kontrollen wie in **Tabelle 3.6** dargestellt auf die Bundesländer. Insgesamt 62% aller Kontrollen, die in der Auswertung berücksichtigt werden, stammen aus südlichen Bundesländern. Diese Verteilung reflektiert die Auswahl der Sendergebiete.

Tabelle 3.6 Kontrollziehung (1:3): Verteilung der Studienkontrollen nach Bundesländern

Bundesland	Anzahl Kontrollen	Prozent
Baden-Württemberg	1849	31,62
Bayern	243	4,16
Bremen	171	2,92
Hamburg	540	9,23
Hessen	935	15,99
Niedersachsen	676	11,56
Nordrhein-Westfalen	651	11,13
Rheinland-Pfalz	246	4,21
Saarland	366	6,26
Schleswig-Holstein	171	2,92
Gesamt	5848	100%

Insgesamt entspricht die Rekrutierung der Studienpopulation hohen Qualitätsansprüchen. Die Rekrutierung der Fälle für die Studie erfolgt über das Deutsche Kinderkrebsregister in Mainz. Hier werden seit 1980 alle bei unter 15-Jährigen aufgetretenen malignen Erkrankungen systematisch registriert. Etwa seit 1984 werden die hier interessierenden Leukämieerkrankungen nahezu vollzählig erfasst (Kaatsch et al. 2005). Die Rekrutierung der Kontrollen über die Einwohnermeldeämter erfüllte das im Rahmen der Pilotphase formulierte Ziel eines 1:3 Matchings.

4 Expositionsbestimmung

4.1 Bestimmung des Abstandes zwischen Sendeanlage und Wohnort

4.1.1 Geokodierung von Wohnadressen

Die recherchierten Wohnadressen der Fall- und Kontrollkinder (Hauptwohnsitz zum Zeitpunkt der Diagnose bzw. bei Kontrollen Hauptwohnsitz zum Diagnosemonat des zugehörigen Falls) wurden in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem übertragen. Waren (historische) Adressen im Katasterbestand nicht mehr vorhanden (z.B. durch Umbenennung von Straßen), so wurde das nächstliegende Koordinatenpaar z. B. der Straßenabschnittsmittelpunkt, genommen. **Tabelle 4.1** gibt Auskunft über die Qualität bzw. Katastergenauigkeit der Wohnkoordinaten. Lediglich 0,1% der Wohnkoordinaten wurden interpoliert und bezogen sich auf den Straßenmittelpunkt. Unterschiede zwischen Fällen und Kontrollen bezüglich der Qualität der Wohnkoordinaten liegen nicht vor.

Tabelle 4.1 Qualität von Hauskoordinaten von Fällen und Kontrollen (1:3)

Index	Qualität der Koordinate	Anzahl Fälle/Kontrollen	Prozent Fälle/Kontrollen
1	Katasterkoordinaten innerhalb des Hausumrings	7674	98,3
2	Katasterkoordinaten innerhalb des Flurstücks	90	1,2
10	Interpolierte Koordinaten, hausgenau	31	0,4
20	Interpolierte Koordinaten (Straßenabschnittsschwerpunkt)	3	0,1
25	Interpolierte Koordinaten (Straßenabschnittsmittelpunkt)	7	
30	Interpolierte Koordinaten (wohnquartiersgenau)	2	
Alle		7807*	100

*1959 Fälle, 5848 Kontrollen

4.1.2 Abstandsbestimmung

Die Geokodierung der Wohnadressen und Sendeanlagen basiert auf den Gauß-Krüger Koordinaten der jeweiligen Orte. Es wurde die Projektion in den dritten Meridianstreifen ausgewählt, da dieser flächenmäßig den größten Anteil Westdeutschlands abdeckt. Durch die

Verwendung eines kartesischen Koordinatensystems mit metrischen Einheiten kann der Abstand zweier Punkte zueinander direkt mit Hilfe des Satzes von Pythagoras aus ihren rechts- und Hochwerten berechnet werden, sofern sie im gleichen Meridianstreifen angegeben sind. War dies nicht der Fall, wurden sie in den gleichen Meridianstreifen transformiert.

4.2 Schätzung der Feldstärken am Wohnort

In der Abteilung Frequenz- und Versorgungsplanung des Südwestrundfunks werden zur Sicherstellung einer flächendeckenden Versorgung der Bevölkerung mit den Programmen der ARD seit vielen Jahren Feldstärkeberechnungen durchgeführt. Diese sind prinzipiell auch für die Expositionsschätzungen nutzbar. Darüber hinaus sind retrospektive Schätzungen der Expositionssituation realisierbar, sofern historische Betriebsdaten aller ausgewählten Sendeanlagen verfügbar sind. Die Betreiber der ausgewählten Sendeanlagen haben diese Informationen vollständig zur Verfügung gestellt (Strahlungsleistung, horizontales und vertikales Strahlungsdiagramm der Sendeantenne, Montagehöhe der Antenne, Betriebszeiten, Modulationsparameter). Neben dem Hauptsender wurden weitere Feldquellen berücksichtigt, deren Strahlung zur Exposition lokal oder im ganzen Sendergebiet wesentlich beitragen könnte. Insgesamt wurden die Betriebsdaten von 312 Sendestandorten (mit 32 AM-Frequenzen, 498 FM-Frequenzen und 327 TV-Frequenzen) berücksichtigt. Hierzu zählten in grenznahen Gebieten auch Sendeanlagen ausländischer Betreiber, deren Daten durch die entsprechenden Fernmeldeverwaltungen zur Verfügung gestellt wurden (Fernmeldeverwaltung der Republik Tschechien, Institut Luxembourgeois de Régulation, Conseil supérieur de l'audiovisuel, Frankreich).

4.2.1 Rechenmodelle

Für die Feldstärkeberechnung bei Lang- und Mittelwelle (AM-Sender) wurde das GRWAVE-Programm (ITU 2005a) verwendet, das auf den Lösungen der van der Pol/Bremmer-Differentialgleichung für elektromagnetische Wellen über der gekrümmten Erde mit homogener Bodenleitfähigkeit beruht. Als Fehlerquelle und Ursache möglicher Fehlklassifikationen wirkt in erster Linie der Umstand, dass genaue Daten zur Bodenleitfähigkeit nicht vorliegen und dass die reale Topographie nicht berücksichtigt werden kann. Einige AM-Sender ändern ihre Abstrahleigenschaften mit der Tageszeit, es gibt dann einen Tagwert und ein Nachtwert. Dieses wird durch einen AM (Tag)- und einen AM (Nacht)-Wert bei den Berechnungen berücksichtigt. FM-TV-Sender ändern ihre Sendeleistung in der Regel nicht. Die Rechnung für AM-Sender lieferte Werte für die elektrische Feldstärke am Boden bzw. in Bodennähe.

Für den VHF- und UHF-Bereich wurde ein Ansatz nach Meeks (1983) benutzt, der mehrfache Kantenbeugung an topographischen Hindernissen berücksichtigt. Berechnet wurde der Durchschnittswert der (logarithmierten) elektrischen Feldstärke in einer Höhe von 10 m über Grund für Geländepixel in einer von der flächenhaften Auflösung der zugrunde gelegten Topographiedaten abhängigen Größe. Diese betrug $100 \times 100 \text{ m}^2$. Die Streuung des Feldstärkepegels im Pixel hängt stark von den Eigenschaften der Umgebung ab. Die in (ITU 2005b) für die interessierenden Frequenzbereiche angegebenen Werte der Orts-Streuung liegen zwischen 5.3 und 9.5 dB. Diese und die nicht modellierte Wirkung etwaiger Mehrwegeausbreitung (durch Gebäude-, Hang- und Bodenreflexionen) sowie von Abschattungen durch Bewuchs und Gebäude limitieren die Genauigkeit der Feldstärkeberechnung im VHF- und UHF-Bereich.

Um die VHF- und UHF-Feldstärkewerte mit den AM-Werten vergleichbar zu machen, müssen sie auf Werte in Bodennähe konvertiert werden. Dies erfolgte durch Berücksichtigung eines pauschalen Höhenabschlags von 10 dB (ITU 2004). Andere untersuchte Skalierungen zeigten keine Verbesserung der Dosisberechnung gegenüber dem 10 dB-Abschlag (Bornkessel et al. 2007). Eine direkte Berechnung der Feldstärke in Bodennähe bei Frequenzen $> 50 \text{ MHz}$ ist aufgrund der erforderlichen räumlichen Auflösung der digitalen Topo- und Morphographiemodellierung mit den gegebenen Rechenmodellen des Rundfunks nicht umsetzbar. Im Rahmen der Validierungsstudie (**vgl. Kap. 5**) wurde der übliche Höhenabschlag von 10 dB bei FM/TV-Sendern ebenfalls berücksichtigt.

Die für die flächenhafte Berechnung der Feldstärke benutzten Programme sind als Werkzeuge für eine Modellierung der Rundfunkversorgung entwickelt worden. Da in Sendernähe gewöhnlich ausreichende Feldstärken herrschen und hier Versorgungsprobleme nur ausnahmsweise auftreten, sind die eingesetzten Rechenverfahren nicht für eine genauere Modellierung des Nahbereichs um Sendeanlagen optimiert. Insbesondere ist es üblich, bei UKW- und TV-Versorgungsprognosen das Vertikaldiagramm der Sendeantennen nicht zu berücksichtigen. Damit würde jedoch die im Nahbereich auftretende Exposition um eine Größenordnung überschätzt. Deshalb wurde das beim SWR implementierte Meeks-Verfahren so erweitert, dass Vertikaldiagramme eingerechnet werden können. Bei Hochleistungssendeanlagen liegen häufig die Ergebnisse von Flugvermessungen der Antennen vor. Neben dem vollständigen horizontalen Strahlungsdiagramm lassen sich daraus zumindest für einen gewissen Bereich des Vertikalwinkels die Strahlungseigenschaften berechnen. Bei der Modellierung der Exposition durch AM-Sender stellte sich das Problem, dass Unterlagen über horizontale Strahlungsdiagramme, welche den Betriebszustand der jeweiligen Anlage befriedigend widerspiegeln, nicht in allen Fällen mehr existieren. Bei solchen Anlagen wurde die Antennenkonfiguration mit MININEC (Numerical Electromagnetics Code) modelliert (Rockway et al. 1995) und daraus das Strahlungsdiagramm abgeleitet.

Die Berechnung des Expositionsmaßes erforderte sowohl eine detaillierte Kenntnis der historischen Betriebszustände aller relevanten Sendeanlagen während des Expositionszeitraums als auch die Verfügbarkeit von digitalen Geländehöhenmodellen (DHM) für die Studiengebiete. Die verwendeten DHM (Flächenauflösung 100*100 m²) wurden aus photogrammetrischen Daten der Landesvermessungsämter abgeleitet, die den Rundfunkanstalten der ARD zur Verfügung stehen (vgl. Philipp 1995). Hinsichtlich der Betriebsdaten der Sendeanlagen bot sich zunächst die Möglichkeit an, zwei bestehende umfangreiche Datenbanken der Bundesnetzagentur zu nutzen. Eine dient der Beschreibung und Realisierung der elektromagnetischen Sicherheit in der Umgebung einer jeden ortsfesten Sendeanlage gemäß der Verordnung über die Beschränkung elektromagnetischer Felder, die andere der Beschreibung und Begrenzung der Versorgungs- wie der gegenseitigen Störwirkungen der Sendeanlagen unter Berücksichtigung der relevanten internationalen Frequenzpläne. Beide Dateien enthalten allerdings keine detaillierten Informationen über die wahren Betriebszustände der Sendeanlagen, sondern lediglich Toleranzschemata, die durch die jeweiligen Emissionen nicht überschritten werden dürfen. Diese Datenbestände geben zudem nur die Daten der Sendeanlage zum Zeitpunkt der Datenbankabfrage wieder. Somit sind damit keine historischen Expositionen zu ermitteln. Diese Daten der Bundesnetzagentur können also nur herangezogen werden, wenn keine weitergehende Information vorliegt. Neben den Daten der Bundesnetzagentur gibt es noch die Jahrbücher der Empfangsstelle Wittsmoor mit einigen relevanten Daten zu den deutschen Hörfunk- und TV-Sendern⁵. Auch hier handelt es sich um Angaben zu jeweils genehmigten Strahlungsleistungen, die oft von den tatsächlich verwendeten abweichen. In den meisten Fällen gaben das Betriebshandbuch der Anlagenbetreiber sowie bei diesen vorhandene Dokumente über die Strahlungsdiagramme der Antennen detailliertere Auskunft über die tatsächlich vorliegenden Betriebszustände.

Details zur Expositionsschätzung wurden an anderer Stelle veröffentlicht (Philipp et al. 2007).

4.2.2 Betriebliche Daten der Sendeanlagen

Bei den Betriebsdaten (Strahlungsleistung, horizontales und vertikales Strahlungsdiagramm der Sendeanlage, Montagehöhe der Antenne, Betriebszeiten, Modulationsparameter) handelt es sich größtenteils um Interna der Betreiber der Sendeanlagen. Um diese für die Studie unabdingbaren Betreiberdaten verfügbar zu machen, ohne einerseits das Interesse der Betreiber an einer Vertraulichkeit der Daten zu verletzen und ohne andererseits den Betreibern die Möglichkeit der Manipulation zu geben, wurde die in **Abbildung 4.1**

⁵ Hörfunk- und Fernsehsender in Deutschland, Hrsg: Norddeutscher Rundfunk / Abt. Sendertechnik/Wittsmoor/Hamburg

schematisierte Vorgehensweise des Datenflusses entwickelt. Sie beruht darauf, dass die Betreiber dem Südwestrundfunk (SWR) die Daten zur Auswertung im Rahmen der Studie zur Verfügung stellten. Der SWR wiederum war verpflichtet, diese Daten einzig und allein für Zwecke der Studie zu nutzen und Dritten nicht zugänglich zu machen. Auf der Grundlage dieser Daten erstellte der SWR zeitliche Expositionsprofile für jedes Geländepixel des Untersuchungsgebietes. Die Universität Mainz (IMBEI) rief beim SWR für die Wohnortkoordinaten der ausgewählten Fall- und Kontrollpersonen diese zeitlichen Expositionsprofile ab. Dabei wurde dem SWR weder der Fall-Kontroll-Status der jeweiligen Person noch das assoziierte Diagnosedatum mitgeteilt. Der SWR lieferte die berechneten monatlichen Expositionswerte für den in der Studie interessierenden Expositionszeitraum zurück, ohne die als Grundlage ihrer Ermittlung verwendeten Betriebsdaten preiszugeben.

4.2.3 Überprüfung der Schätzung der Feldstärken

Da es sich bei dieser Studie um eine retrospektive Studie handelt und sich der Studienzeitraum nicht mit dem Zeitraum der Durchführung der Studie überschneidet, war es notwendig, zur Überprüfung der Berechnung der historischen Exposition auch historische Messdatensätze zu verwenden. Dazu waren gut dokumentierte spektrale Messungen mit einer verifizierbaren Qualität für das Studiengebiet erforderlich, die im Studienzeitraum durchgeführt wurden. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass sich die Konfigurationen der Sender, ihre Anzahl, ihre Sendeleistung, die verwendeten Antennen etc. mit der Zeit relevant ändern.

Der größte verfügbare Datensatz, der diese Randbedingungen erfüllte, bestand aus Messungen, die im Auftrag des Landes Baden-Württemberg in den Jahren 2001-2003 im Rahmen des Projektes „Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden Württemberg“ durchgeführt wurden (Bochtler et al. 2003). Zwei Regionen dieser Untersuchung decken sich weitgehend mit Teilgebieten der Studienregion, so dass viele Messpunkte verwendet werden konnten. Da dieser Datensatz sehr groß und homogen ist, wurde die Verifikation der Berechnung weitgehend auf diesen Daten aufgebaut. Des Weiteren lagen entsprechende Messdatensätze aus den Bundesländern Bremen, Schleswig-Holstein und Bayern sowie von Prof. Wuschek (Fachhochschule Deggendorf) vor. Diese Datensätze waren heterogener und auch in der Regel nicht für alle Frequenzbereiche vollständig.

Die Koordinaten der jeweiligen Messorte wurden ebenso wie die Koordinaten der Fälle und Kontrollen in das Programm zur Expositionsrechnung eingespeist (Testsequenzen). Vom erzeugten Output wurden die für Januar 2003 ausgeworfenen Expositionswerte mit den Messergebnissen verglichen. Dabei wurde geprüft, ob alle an dem betreffenden Standort gemessenen relevanten Frequenzen auch bei der Berechnung in der richtigen Größenordnung auftreten. In einigen Fällen wurden Abweichungen gefunden, die sich auf das Fehlen einzelner Sender oder die Nichtberücksichtigung des vertikalen Strahlungsdiagramms der Sendeantennen zurückführen ließen. Daraufhin wurde die Beschaffung der entsprechenden Daten für eine verbesserte Berechnung veranlasst.

Beim Vergleich von Prognose und Messung ist neben dem Mess- und dem Prognosefehler zu beachten, dass die Prognose keinen punktuellen Wert der Feldstärke liefert, sondern einen Durchschnittswert über ein Flächenelement. Die Streuung der Feldstärke über dieses Flächenelement hängt ab vom Frequenzbereich, von der Geometrie der Funkstrecke sowie von der lokalen Topo- und Morphographie und liegt typischerweise bei 2 bis 8 dB. Von etwa gleicher Größenordnung ist der Fehler der Prognose der durchschnittlichen Feldstärke. Der Fehler der Feldstärkemessungen beträgt bei den vorliegenden Validierungsdatensätzen in der Regel $\pm 30\%$ (3 dB) und entspricht damit dem Stand der Technik. Beim Vergleich von Durchschnittswert-Prognose und Punktmessung ist daher eine RMS-Abweichung um 6 dB zu erwarten. In diesem Rahmen stimmte der Output des Expositionsprogramms mit den Messwerten überein.

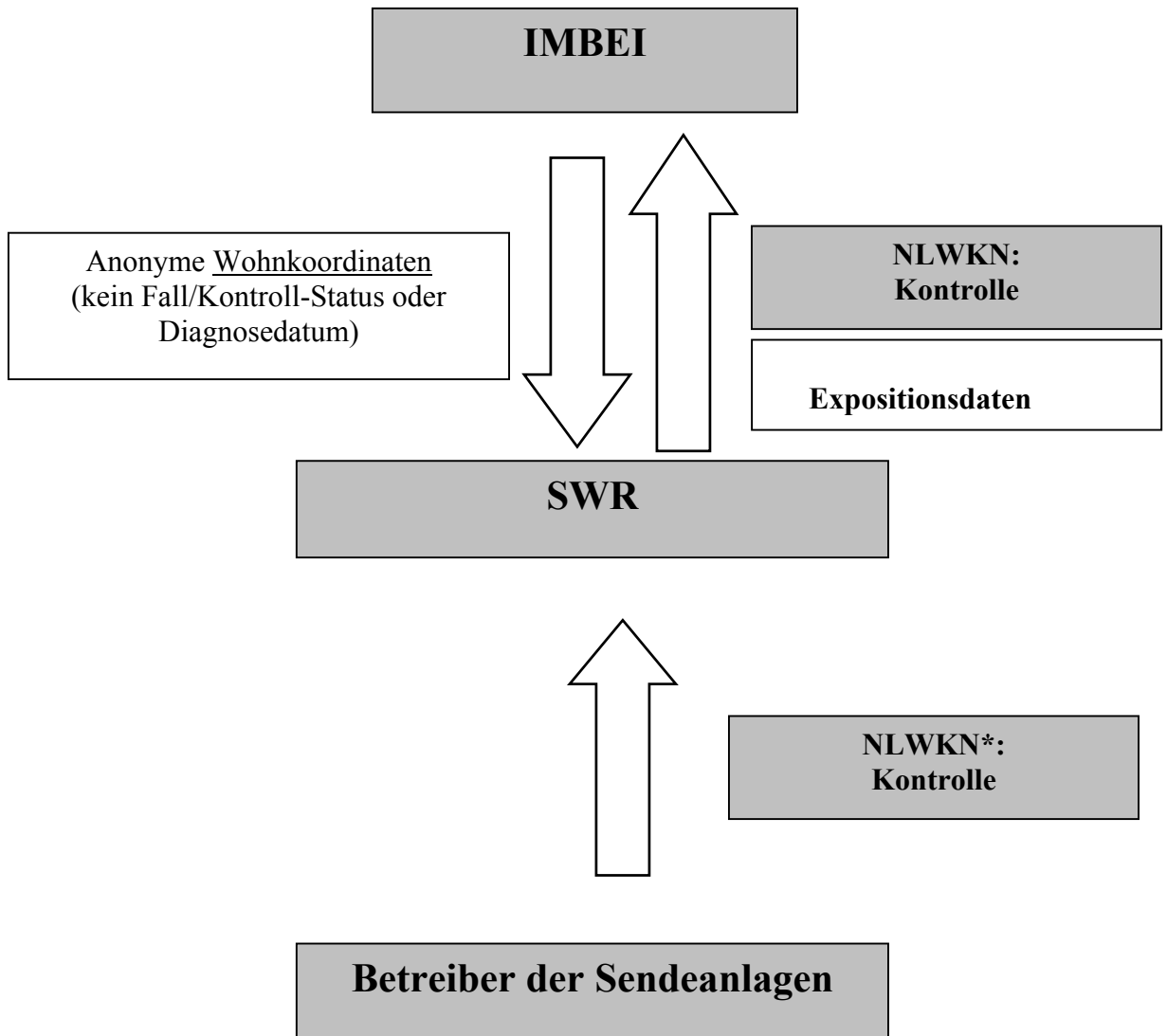
Neben der Vollständigkeit und Korrektheit der Eingabedaten konnten auf diese Weise auch die verwendeten semiempirischen Faktoren zur Anpassung der Berechnungen überprüft werden. Solche Faktoren waren erforderlich für die Umrechnung der für 10 m Höhe über Grund prognostizierten VHF- und UHF-Feldstärken auf 1,5 m Höhe (10 dB Abschlag) sowie für die Abschätzung der Kurzzeit-Mittelwerte von AM und ATV (AM: Mittelwert = Trägerfeldstärke + 1 dB; AM mit Trägersteuerung: Mittelwert = Trägerfeldstärke - 1,5 dB, ATV: Mittelwert = Synchronimpuls-Spitzenwert - 4dB).

Zusätzlich zur Verifikation der Rechnungen anhand der Messdaten wurden die so genannten „Wittsmoor“- Listen des NDR herangezogen. Es handelt sich um Jahrbücher, in denen die relevanten Rundfunk und TV-Sender in Deutschland mit einigen ihrer charakteristischen Senderdaten aufgeführt sind. Bei den aufgeführten Leistungen handelt es sich in der Regel um Genehmigungsdaten; die tatsächlich realisierte Leistung kann darunter liegen. Anhand dieser Listen wurden die Eingabedaten für drei Jahrgänge für den Bereich Hannover überprüft. Dabei wurden keine unplausiblen Abweichungen gefunden.

Im Rahmen der Studie wurden für jeden der mehr als 8500 Aufpunkte (Fälle + Kontrollen + Verifikationspunkte) jeweils für jeden der 240 Monate des Studienzeitraums (da die

Expositionsbestimmung auch hinsichtlich des Diagnosemonats verblindet ablief) und für jede der in der Region relevanten Frequenzen (aus den gesamt 857 ermittelten Frequenzen an mehr als 310 Senderstandorten) der Beitrag der Exposition einzeln berechnet. In der Regel waren in einer Region mehr als 50 Frequenzen zu berücksichtigen. Damit ergibt sich eine Rohdatenmenge von mehr als 100 Millionen Expositionsbeiträgen. Aus dieser Datenmenge wurden dann die Expositionswerte des jeweils relevanten Monats ausgefiltert. Nach den durchgeführten Plausibilitätskontrollen und Verifikationen ist zu erwarten, dass die Beiträge aller relevanten leistungsstarken Sender korrekt abgebildet sind. Natürlich kann bei dem beschriebenen Datenumfang nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne geringere Expositionsbeiträge nicht völlig korrekt modelliert sind. Da im Rahmen der Expositionsermittlung aber Verblindung bezüglich des Status als Fall bzw. Kontrolle herrschte, ist zu erwarten, dass die verbleibenden Restfehler bei beiden gleich häufig auftreten und somit keinen relevanten Einfluss auf die Studie haben.

Abbildung 4.1 Datenaustausch zwischen epidemiologischer Forschungsgruppe und Sendeanlagenbetreibern



* NLWKN Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Hildesheim

4.2.4 Expositionsdaten

Nach den vorstehend beschriebenen Verfahren (**Kap. 4.2.1**) wurde für jede Wohnkoordinate die Exposition (elektrische Feldstärke in dB(μ V/m)) für den gesamten interessierenden Zeitraum von 1983 bis 2002 geschätzt (mittlere Exposition pro Monat). Die Daten beschrieben

- FM/TV-Expositionen
- AM-Expositionen
- Gesamtexposition.
- Grenzwertausschöpfung (in Prozent)

Zur Schätzung der FM/TV-Exposition wurden die Einflüsse durch den namengebenden Hauptsender und aller relevanten FM/TV-Zusatzsender berücksichtigt. Dabei wurde die Gesamtexposition als Wurzel aus der Summe der Quadrate der Einzelfeldstärken berechnet. Gleichmaßen wurden für die Bestimmung der AM-Exposition der jeweilige Hauptsender und alle AM-Zusatzsender berücksichtigt. In die Gesamtexposition fließen Haupt- und Zusatzsender beider Sendertypen ein. Die Bestimmung der Grenzwertausschöpfung bezieht sich auf die Gesamtexposition.

5 Validierung der Expositionsschätzung

Da die im Rahmen dieser Studie verwendeten Feldberechnungsprogramme für andere Zwecke entwickelt (Berechnung der Rundfunkversorgung) und speziell für diese Anforderungen angepasst worden sind (Berücksichtigung von Vertikaldiagrammen), wurde die Eignung des Programms an Hand unabhängiger Feldmessungen (Bochtler et al. 2003) validiert. Die Messdaten wurden an insgesamt 850 Koordinaten aus folgenden Regionen erhoben:

Stuttgart (FM/TV: 360 Datenpaare, AM: 477 Datenpaare, AM und FM/TV: 477 Datenpaare),
Bodensee (AM: 79 Datenpaare),
Heidelberg (FM: 159 Datenpaare),
Freiburg (AM: 76 Datenpaare).

Datenpaare bezeichnen hierbei die Messwerte an einem Messpunkt mit der zugehörigen Feldberechnung (Datenpaar aus Messwert und berechnetem Wert für den gleichen Messpunkt).

Insgesamt resultierten also 519 Feldstärken aus dem FM/TV-Bereich und 632 Feldstärken aus dem AM-Bereich. Zusätzlich lagen summierte Messwerte beider Bereiche für die Region Stuttgart vor (477 Datenpaare). Die Regionen Stuttgart, Bodensee und Heidelberg waren Studienregionen der Hauptstudie. Die Messungen wurden in den Jahren 2001 – 2003 unabhängig von der Fall-Kontroll-Studie im Rahmen einer im Auftrag des Landes Baden-Württemberg von der Firma BOTRONIC durchgeführten Messkampagne erhoben (Bochtler et al. 2003). Für diese Validierung wurden die entsprechenden spektralaufgelösten Messdaten der elektrischen Feldstärke in 1,5 Meter über Boden in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Diese Messungen sind entsprechend dem Stand der Technik durchgeführt worden. Da für jede Messung die Koordinate bekannt war, war es möglich dieser Koordinate einen 100 x 100m² Rasterpunkt des Rechenprogramms zuzuordnen und somit einen Vergleich von Berechnung und Messung durchzuführen.

Der Vergleich zwischen Entfernung der Sendeanlage und gemessenen bzw. berechneten Feldstärken wurde anhand von Streudiagrammen überprüft. Die **Abbildung 5.1 bis 5.6** zeigen für jeweils eine Frequenz die gemessene und berechnete Feldstärke (dB(μ V/m)) in Abhängigkeit vom Abstand zwischen der Koordinate von Messung bzw. Schätzung und den Koordinaten der Sendeanlagen. Kennzeichnend für AM-Sender ist der reziproke Expositionsabfall mit zunehmender Distanz zur Emissionsquelle. Dieser Zusammenhang zwischen Abstand und Feldstärke zeigt sich deutlich in den **Abbildungen 5.1 und 5.2**. Hier können die verschiedenen AM-Sender sowohl für die gemessenen als auch für die berechneten Feldstärken klar als Emissionsquelle voneinander unterschieden werden. Dies wiederum verdeutlicht, dass die individuelle Konfiguration des Senders eine wichtige Rolle

für die (gemessene bzw. geschätzte) Exposition hat. Eine eindeutige Beziehung zwischen Abstand und Feldstärke zeigt sich nicht für die FM-Sender (**Abb. 5.3, 5.4**). Hier ist aufgrund der kürzeren Wellenlänge die Topographie eines Gebiets von größerem Einfluss als bei AM-Sendern.

In Analogie zur Expositions kategorisierung in der Auswertung der Hauptstudie wurde das 90%-Quantil als Grenze gewählt, um zwischen hoher und niedriger Exposition zu unterscheiden (vgl. Kap. 6). Für die dichotomisierte Variable wurde die Fehlklassifikation durch Sensitivität und Spezifität⁶ bewertet mit dem gemessenen Wert als Goldstandard. Zusätzlich wurden Kappakoeffizient und Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman⁷ berechnet. Für die HF-EMF Exposition (Messung vs. Schätzung) bei FM/TV-Sendern liegen Spezifität und Sensitivität unter denen von AM-Sendern. Die Fehlklassifikation für die HF-EMF Summenexposition wird mit einer Spezifität von 97,4% und einer Sensitivität von 76,6% beschrieben (**Tabelle 5.1**). **Abbildungen 5.7-5.9** zeigen die Verteilung der gemessenen und berechneten Feldstärken in einem Streudiagramm. Die darin enthaltenen Linien sind die jeweiligen 90 % Quantile. In **Tabelle 5.2** ist eine analoge Auswertung zu **Tabelle 5.1** unter Verwendung des Abstands zur Expositions kategorisierung anstelle der berechneten Feldstärke dargestellt. Es zeigt sich bei den drei verschiedenen Expositionen eine Verschlechterung der Maße.

Insgesamt zeigte die Validierungsstudie, dass das in der Hauptstudie verwendete Maß (geschätzte HF-EMF Exposition) die tatsächliche Exposition (Messung) besser schätzt als die alleinige Verwendung des Abstands. Zwar ist der Abstand für einzelne AM-Sender ein gutes Expositionsmaß (bei Berücksichtigung einzelner AM-Sendern ergibt sich eine Sensitivität von 65 % und eine Spezifität von 97 %), allerdings gilt dies nicht, wenn die Emissionen durch mehrere Sender verursacht werden, was in Deutschland der Regelfall ist. Bei weiterer Entfernung vom Hauptsender spielen andere Sender eine zunehmend große Rolle für die Gesamtexposition.

⁶ **Sensitivität:** Wahrscheinlichkeit für das tatsächliche Vorliegen einer hohen Exposition bei Kategorisierung durch das jeweilige Expositionsmaß (berechnete Feldstärke bzw. Abstand).
Spezifität: Wahrscheinlichkeit für das tatsächliche Vorliegen einer niedrigen Exposition bei Kategorisierung durch das jeweilige Expositionsmaß (berechnete Feldstärke bzw. Abstand).

⁷ **Kappakoeffizient** nach Cohen: Der Koeffizient misst die Überzufälligkeit der Übereinstimmung von Beurteilungen. Der **Rangkorrelationskoeffizient** nach Spearman misst die monotone Übereinstimmung zwischen stetigen Variablen

Weiterhin wurde die Auswirkung der Fehlklassifikation auf die Risikoschätzung und auf die Power der Studie geprüft unter Zugrundelegung der Sensitivität und Spezifität der summierten Werte (AM und FM) (**Tabelle 5.3**). Diese Untersuchung zeigte, dass unter diesen Annahmen es zu einer relativ geringen Unterschätzung des tatsächlichen Risikos kommt, wobei immer noch ein wahres Odds Ratio von mindestens 1,4 mit einer Power von deutlich über 80% nachgewiesen werden kann.

Abbildung 5.1: Berechnete Feldstärken für drei AM-Sender in Abhängigkeit von der Distanz des Wohnortes zum Sender

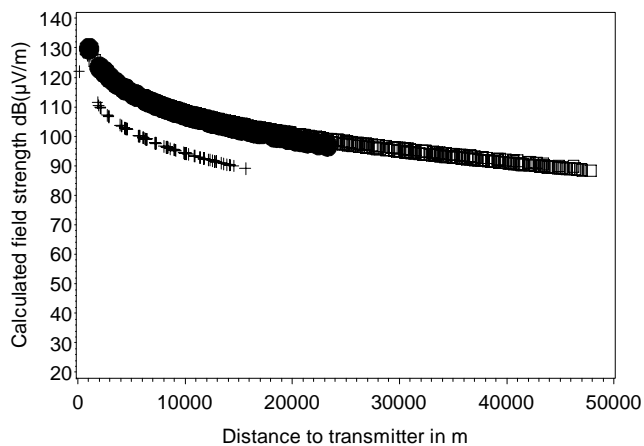


Abbildung. 5.2: Gemessene Feldstärken, für drei AM-Sender in Abhängigkeit von der Distanz des Wohnortes zum Sender

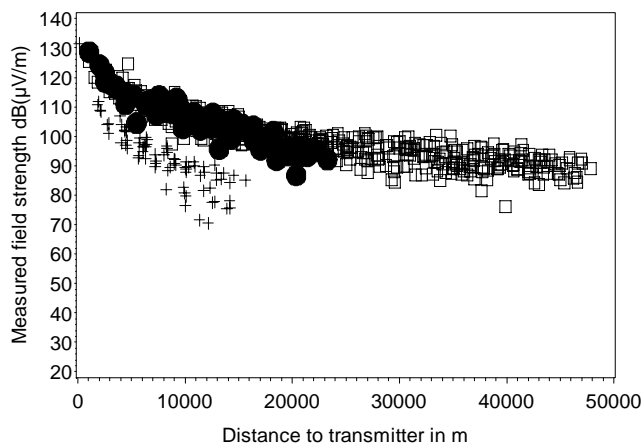


Abbildung 5.3: Berechnete Feldstärken für zwei FM-Sender in Abhängigkeit von der Distanz des Wohnortes zum Sender

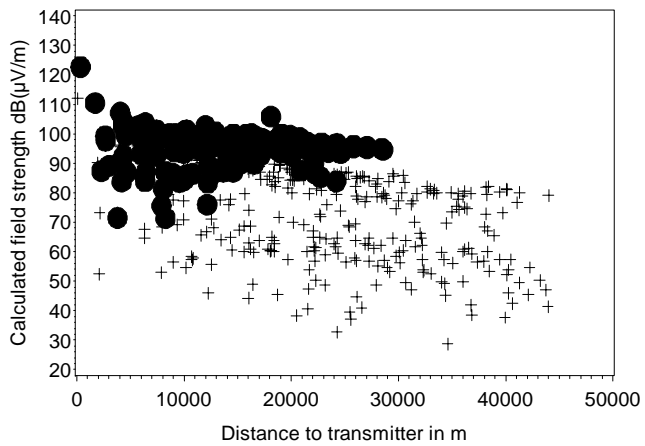


Abbildung 5.4: Gemessene Feldstärken für zwei FM-Sender in Abhängigkeit von der Distanz des Wohnortes zum Sender

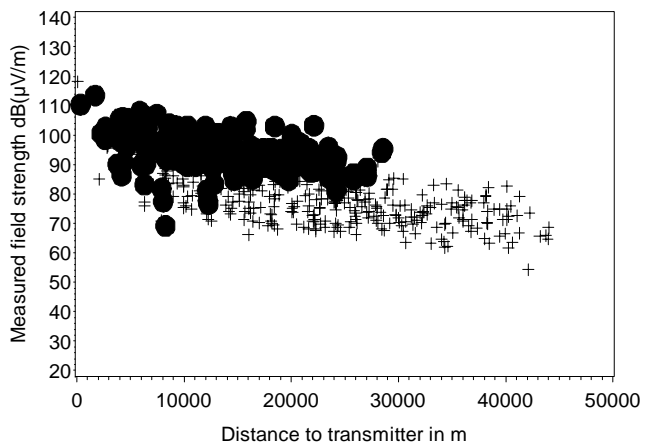


Abbildung 5.5: Berechnete Feldstärke (AM und FM gesamt) in Abhängigkeit von der Distanz des Wohnortes zum Sender

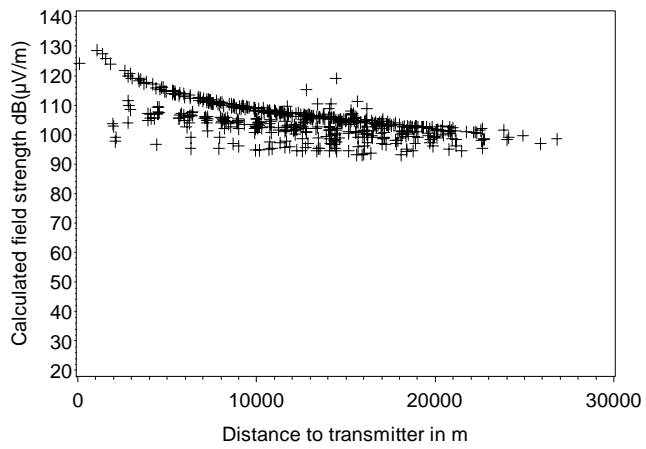


Abbildung 5.6: Gemessene Feldstärke (AM und FM gesamt) in Abhängigkeit von der Distanz des Wohnortes zum Sender

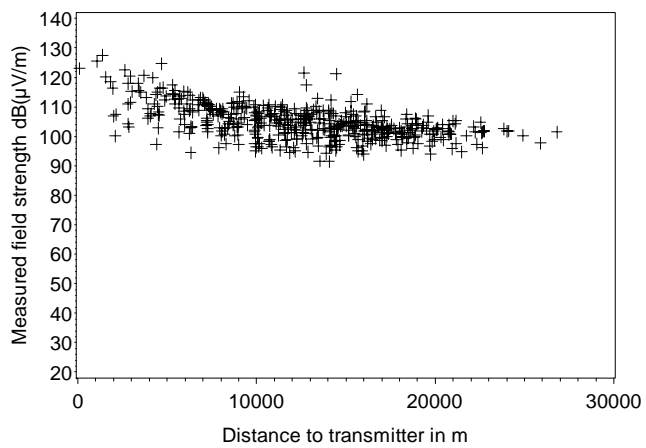


Abbildung 5.7: Streudiagramm von gemessenen und berechneten Feldstärken AM (632 Datenpaare) in dB(V/m) mit Referenzlinien am 90 %-Quantil

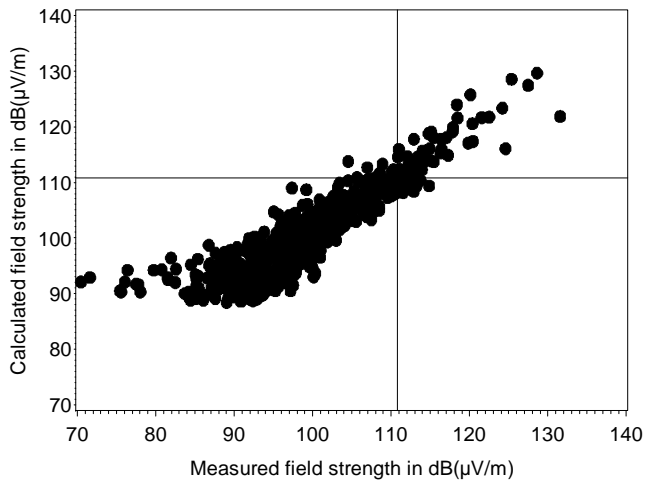


Abbildung 5.8: Streudiagramm von gemessenen und berechneten Feldstärken FM/TV (519 Datenpaare) in dB(V/m) mit Referenzlinien am 90 %-Quantil

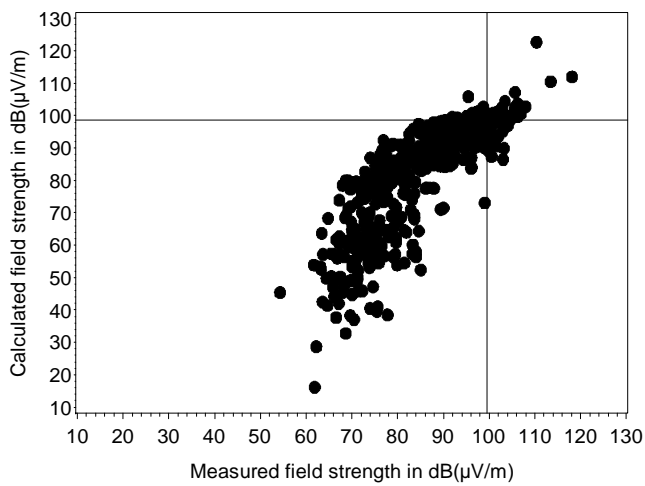


Abbildung 5.9: Streudiagramm von gemessenen und berechneten Feldstärken AM und FM gesamt (477 Datenpaare) in dB(V/m) mit Referenzlinien am 90 %-Quantil

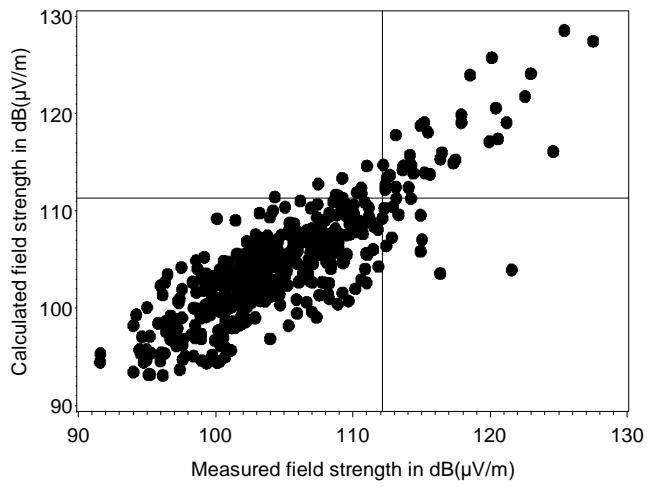


Tabelle 5.1: Expositionsfehlklassifikation: Vergleich von gemessenen und geschätzten Feldstärken mit gemessenen Feldstärken als Goldstandard

	++	-+	+ -	--	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Kappa	Korrelation*
AM 632 data pairs, cut point 110.8 dB(μ V/m)	49	14	14	555	77.8 [65.5; 87.3]	97.5 [95.9; 98.7]	0.75 [0.67; 0.84]	0.91 [0.89; 0.92]
FM 519 data pairs, cut point 99.5 dB(μ V/m)	30	22	21	446	57.7 [43.2; 71.3]	95.5 [93.2; 97.2]	0.54 [0.41; 0.66]	0.86 [0.84; 0.88]
477 data pairs (total RF-EMF), cut point 112.2 dB(μ V/m)	36	11	11	419	76.6 [62.0; 87.7]	97.4 [95.5; 98.7]	0.74 [0.64; 0.84]	0.80 [0.76; 0.83]

++ kategorisiert als exponiert durch gemessene und berechnete Feldstärken (Kategoriegrenze am 90% Quantil)

-+ kategorisiert als nicht exponiert durch gemessene und exponiert durch berechnete Feldstärken (Kategoriegrenze am 90% Quantil)

+ - kategorisiert als exponiert durch gemessene und nicht exponiert durch berechnete Feldstärken (Kategoriegrenze am 90% Quantil)

-- kategorisiert als nicht exponiert durch gemessene und berechnete Feldstärken (Kategoriegrenze am 90% Quantil)

* Spearman Rangkorrelationskoeffizient

Table 5.2: Expositionsfehlklassifikation: Vergleich von gemessenen Feldstärken und Abstand mit gemessenen Feldstärken als Goldstandard

	++	-+	+ -	--	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Kappa	Korrelation*
AM 632 data pairs, cut point 110.8 dB(μ V/m)	41	22	22	547	65.1 [52.0; 76.7]	96.1 [94.2; 97.6]	0.61 [0.51; 0.72]	0.69 [0.65; 0.73]
FM 519 data pairs, cut point 99.5 dB(μ V/m)	19	33	33	434	36.5 [23.6; 51.0]	92.9 [90.2; 95.1]	0.29 [0.17; 0.42]	0.70 [0.65; 0.74]
477 data pairs (total RF-EMF), cut point 112.2 dB(μ V/m)	28	19	19	411	59.6 [44.3; 73.6]	95.6 [93.2; 97.3]	0.55 [0.42; 0.68]	0.54 [0.47; 0.60]

++ kategorisiert als exponiert durch gemessene Feldstärke und durch Abstand (Kategoriegrenze am 90 % Quantil)

-+ kategorisiert als nicht exponiert durch gemessene Feldstärke und exponiert durch Abstand (Kategoriegrenze am 90 % Quantil)

+ - kategorisiert als exponiert durch gemessene Feldstärke und nicht exponiert durch Abstand (Kategoriegrenze am 90 % Quantil)

-- kategorisiert als nicht exponiert durch gemessene Feldstärke und durch Abstand (Kategoriegrenze am 90 % Quantil)

* Spearman Rangkorrelationskoeffizient

Tabelle 5.3: Effekt der Expositionsfehlklassifikation auf das nachweisbare Odds Ratio und die Power der Studie

		Sensitivität 58,1% Spezifität 95,3% (2.000 Fälle, 6.000 Kontrollen)	
Wahres OR	Power	OR gemessen mit Fehlklassifikation	Power mit Fehlklassifikation
1,60	99,9	1,44	99,9
1,50	99,9	1,37	97,4
1,40	99,7	1,29	88,0
1,35	98,6	1,26	80,9
1,30	89,8	1,22	68,1

6 Statistische Auswertung

6.1 Hypothesen und Auswertungsstrategien

Haupthypothese 1: „Es gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Leukämierisiko bei Kindern und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern in der Umgebung leistungsstarker Sendestationen von Radio und Fernsehen.“

Statistische Nullhypothese $OR = 1,0$, wobei die Expositionsvariable eine kategoriale Variable ist, d.h. das Risiko von höherexponierten Kindern wird mit dem Risiko von schwächer exponierten Kindern verglichen.

Auswertung 1a: Die Exposition wird modelliert über die Feldstärke (absolute Werte). Hierzu wird die Gesamtmission an einzelnen Wohnorten berücksichtigt.

Auswertung 1b: Hochfrequente Felder werden in Abhängigkeit von der Frequenz vom Körper absorbiert und bewirken thermische Effekte und Körperstromeffekte. Zum Schutz der Bevölkerung vor nicht-ionisierender Strahlung wurden entsprechende Grenzwerte abgeleitet und in nationales Recht umgesetzt. In der Fall-Kontroll-Studie wird die prozentuale Grenzwertausschöpfung betrachtet.⁸

Mit bedingter logistischer Regression wurden die Odds Ratios und die 95% Konfidenzintervalle berechnet. Der Fall-Kontroll-Status war die abhängige Variable im Regressionsmodell. Als unabhängige Variable wurde die „durchschnittliche Exposition im Monat des Jahres vor der Diagnose des Fallkindes“ berücksichtigt. Unter Zugrundelegung der Verteilung bei den Bevölkerungskontrollen wurden aufgrund der linksschiefen Verteilung der Feldstärke Werte über dem 90%-Quantil als „hohe Exposition“ definiert. Zur weiteren Eingrenzung wurden Klassen von höher Exponierten zwischen den 100-95% bzw. 95-90% Quantilen gebildet und in der Analyse berücksichtigt. Zusätzlich wurde im Sinne einer Sensitivitätsanalyse die Klasse zwischen den 99%-100% Quantilen berücksichtigt.

⁸gem. den Referenzwerten der *Ratsempfehlung der EU vom 12. Juli 1999 (Anhang III und IV)* zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz-300 GHz). Bei Frequenzen mit sowohl Körperstrom- als auch thermischer Wirkung wurde die jeweils größere der beiden Grenzwertausschöpfungen berücksichtigt.

Haupthypothese 2: „Es gibt unterschiedliche Risiken für Leukämien im Kindesalter in Abhängigkeit von den verschiedenen Sendertypen (AM vs. FM/TV) bzw. den zugrundeliegenden Modulationsarten.“

Statistische Nullhypothese OR (AM) = 1,0 und OR (FM) = 1,0.

Auswertung: Eine Analyse getrennt für AM-Sender und FM/TV-Sender wird durchgeführt.

Nebenhypothese 1: „Es gibt eine Abhängigkeit zwischen dem Erkrankungsrisiko und der Höhe der geschätzten Feldstärken in dB(μ V/m) (Expositions-Wirkungsbeziehung).“

Statistische Nullhypothese $\beta = 0$ im Regressionsmodell.

Auswertung: Es wird ein monotoner Zusammenhang zwischen der Feldstärke als stetiger Variable und dem Erkrankungsrisiko modelliert und der Verlauf der Beziehung mittels fraktioneller Polynome näher analysiert.

Nebenhypothese 2: „Das Erkrankungsrisiko für kindliche Leukämien ist in den Expositionszeiträumen 1983-1991 und 1992-2002 unterschiedlich.“ Die Grundlage für diese Betrachtung ist, dass ab 1992 in Deutschland der digitale Mobilfunk eingeführt wurde und sich so die Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder relevant verändert hat.

Statistische Nullhypothese: OR (≤ 1991) = 1,0 und OR (> 1991) = 1,0

Auswertung: Eine Analyse getrennt für beide Zeiträume wird durchgeführt.

Nebenhypothese 3: „Das Erkrankungsrisiko für kindliche Leukämien ist abhängig vom Abstand zur Sendeanlage.“

Statistische Nullhypothese: OR (< 2 km) = 1,0

Auswertung: Die Wohnsitze der Fälle und Kontrollen wurden in folgende Abstände zum jeweiligen Hauptsender unterteilt: < 2 km, 2- < 6 km, 6- < 10 km, 10- < 15 km und ≥ 15 km. Zur Berücksichtigung von je nach Sendertyp unterschiedlich großer Senderumkreise, wurde der 10- < 15 km Bereich als Referenzkategorie festgelegt. Die Kategorisierung der Distanz orientiert sich an vergleichbaren internationalen Studien (Maskarinec et al. 1994, Hocking et al. 1996 (Dolk et al., 1997a), Michelozzi et al. 2002, Ha et al. 2007).

6.2 Diagnose- und Altersgruppen

Für einzelne Leukämieformen können möglicherweise unterschiedliche ätiologisch relevante Risikofaktoren vermutet werden (Greaves 2002). Zudem muss berücksichtigt werden, dass sich unbehandelt aus dem myelodysplastischen Syndrom eine akute myeloische Leukämie entwickelt (Niemeyer et al. 2008). Als Diagnoseuntergruppen wurden daher festgelegt:

1. Leukämien, gesamt (ICCC I)
2. Lymphoide Leukämien (ICCC Ia)
3. Myeloische Leukämien, AML (ICCC Ib) und Myeloplastisches Syndrom (ICCC Id)
4. Chronisch myeloproliferative Erkrankungen (ICCC Ic) und andere, unspezifische Leukämieformen (ICCC Ie).

Die lymphoiden Leukämien machen über 80% aller Leukämieerkrankungen im Kindesalter aus und werden vor allem zwischen dem 2. und 5. Lebensjahr diagnostiziert. Die Neuerkrankungsrate an akuten myeloischen Leukämien ist für die unter 2-jährigen Kinder etwa doppelt so hoch wie für alle späteren Alter (Kaatsch et al. 2005). Da sich Leukämien im Säuglingsalter von Leukämien im Kindesalter hinsichtlich ihrer Pathogenese unterscheiden, sind die unter 1-Jährigen separat zu betrachten. Zudem sollte unter dem Aspekt einer Latenzzeit zwischen Exposition und Erkrankung die "durchschnittliche Exposition im Monat des Jahres vor der Diagnose des Fallkindes" untersucht werden, was auf die unter 1 Jährigen, auch mit Berücksichtigung der Pränatalzeit, nur eingeschränkt zutrifft. Folgende Subgruppen wurden somit in der Analyse betrachtet:

1. 0 bis 14-Jährige
2. 0 bis unter 1-Jährige
3. 1 bis 4-Jährige
4. 5 bis 9-Jährige
5. 10 bis 14-Jährige

6.3 Confounder

Die Bevölkerungsdichte wurde als potentieller Confounder in Betracht gezogen. Auf Basis der gegebenen Verteilung der Bevölkerungsdichte im Studiengebiet wurde eine Einteilung in Tertile vorgenommen:

Geringe Bevölkerungsdichte: 0⁹-1293/km²,
Mittlere Bevölkerungsdichte: 1294-3600/km²
Hohe Bevölkerungsdichte: 3601-9911/km²

Die Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte als kategoriale Variable im Modell bewirkte keine maßgebliche Änderung der Odds Ratios (lediglich 1-2%). Somit wurde gemäß den Vorgaben des Studienprotokolls auf eine Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte in den Regressionsanalysen verzichtet.

⁹ Bevölkerungsdichte = 0: bei Unterschreitung einer minimalen Bevölkerungsdichte

7 Ergebnisse

7.1 Beschreibung der Studienpopulation

Tabelle 7.1 beschreibt Kenngrößen der Studienpopulation. Erwartungsgemäß stellten die unter 5-Jährigen über 50% aller Leukämiefälle bei einem Geschlechterverhältnis von etwa 1 zu 1,2 (weiblich : männlich). Häufigste Einzeldiagnose war die lymphoide Leukämie (ICCC Ia). Für die 11 Jahre zwischen 1993 bis 2003 wurden mehr Fälle ermittelt (n=1151), verglichen mit den 9 Jahren von 1984 bis 1992 (n=808). Seit der Gründung des Deutschen Kinderkrebsregisters wurden die Leukämien nahezu vollzählig erfasst. Die höheren Fallzahlen ab 1993 sind auf die zunehmenden Bevölkerungszahlen (Westdeutschland) zurückzuführen. Weiterhin steigt die Leukämie-Inzidenz seit den 80er Jahren durchschnittlich um 0,7%/Jahr an (Kaatsch et al. 2005). Entsprechend der Anzahl der ausgewählten Sender entfallen etwa zwei Drittel der Fälle und Kontrollen auf die AM-Sendergebiete. Die Studienpopulation verteilte sich gleichmäßig auf gering bis dichtbesiedelte Gebiete.

Tabelle 7.2. zeigt die Verteilung der Exposition durch AM- und FM/TV-Sender im Studiengebiet sowie die Gesamtexposition bei Fällen und Kontrollen mit relevanten deskriptiven Maßzahlen. Eine Einteilung der Studienpopulation in höher und niedriger Exponierte erfolgte unter Zugrundelegung der Expositionsverteilung bei den Kontrollpersonen durch Dichotomisierung am 90%-Quantil. Der Bereich der höheren Exposition beträgt für AM-Sender 0,683-7,741 (V/m), für FM/TV-Sender 0,198-0,815 (V/m) und für die Summenexposition (AM und FM/TV) 0,701-7,742 (V/m).

Im Nahbereich der AM-Sendeanlagen (2 km-Umkreis) wohnen bzw. wohnten 1,1% der Fälle und 0,9% der Kontrollen (**Tabelle 7.3**). Im 2 km-Umfeld von FM/TV-Sendern haben je 1,7% aller Fälle und Kontrollen ihren Wohnsitz zum Zeitpunkt der Diagnose des Falls. In größerer Distanz zum nächstgelegenen AM-Sender (>15 km) wohn(t)en 40,3% der Kontrollkinder (40,3% Fallkinder). In größerer Distanz zum nächsten FM/TV - Sender (>15 km) wohn(t)en 47,3% der Kontrollkinder und 54,3% der Fallkinder.

Tabelle 7.1 Beschreibung der Studienpopulation nach Alter, Geschlecht, Diagnosezeitraum, Senderregion und Bevölkerungsdichte

	Kontrollen* (n=5848)		Leukämiefälle†							
			Alle Fälle (n=1959)		Lymphoide Leukämien (n=1586)		Myeloische Leukämien (n=336)		Andere (n=37)	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
<u>Alter (Jahre)</u>										
0	322	5,5	108	5,5	47	3,0	56	16,7	5	13,5
1-4	2745	47,0	920	47,0	795	50,1	117	34,8	8	21,6
5-9	1593	27,2	535	27,3	459	28,9	69	20,5	7	18,9
10-14	1188	20,3	396	20,2	285	18,0	94	28,0	17	46,0
<u>Geschlecht</u>										
männlich	3308	56,6	1109	56,6	898	56,6	192	57,1	19	51,4
weiblich	2540	43,4	850	43,4	688	43,4	144	42,9	18	48,6
<u>Diagnosezeitraum</u>										
1984-1992	2407	41,2	808	41,2	659	41,6	129	38,4	20	54,1
1993-2003	3441	58,8	1151	58,8	927	58,4	207	61,6	17	45,9
<u>Transmitter Region</u>										
AM	3878	66,3	1326	67,7	1057	66,6	249	74,1	20	54,1
FM/TV	1970	33,7	633	32,3	529	33,4	87	25,9	17	45,9
<u>Bevölkerungsdichte‡</u>										
gering	1946	33,3	658	33,6	520	32,8	123	36,6	15	40,6
mittel	1939	33,1	695	35,5	568	35,8	119	35,4	8	21,6
hoch	1963	33,6	606	30,9	498	31,4	94	28,0	14	37,8

* Matching zu Fällen nach Alter, Geschlecht, Senderregion, Diagnose-Zeitpunkt.

† Alle Fälle: ICCC I; Lymphoide Leukämien: ICCC Ia; Myeloische Leukämien: ICCC Ib Id; Andere: ICCC Ic, Ie.

‡ Gering: 0-1293/km², Mittel: 1294-3600/km², Hoch: 3601-9911/km².

Table 7.2 Verteilung der Exposition (dB(μ V/m) bei Fällen und Kontrollen

Exposition		Minimum	Median	90% Quantil	95% Quantil	Maximum
FM/TV	Fälle	42,42	96,71	104,18	105,71	112,41
	Kontrollen	29,51	96,99	104,29	105,79	118,23
AM	Fälle	0,00	103,18	113,67	116,51	138,60
	Kontrollen	0,00	103,33	113,76	116,69	137,78
Gesamt-HF-EMF	Fälle	66,36	105,01	113,87	116,55	138,60
	Kontrollen	71,84	105,30	114,06	116,92	137,78

Table 7.3 Verteilung von Fällen und Kontrollen nach Abstand zum nächsten Hauptsender

Abstand (km)	AM Sender				FM/TV Sender			
	Kontrollen (n)	(%)	Fälle* (n)	(%)	Kontrollen (n)	(%)	Fälle*	(%)
0 - < 2	33	0,9	14	1,1	34	1,7	11	1,7
2 - < 6	322	8,5	102	7,9	265	13,4	70	11,1
6 - < 10	766	20,2	237	18,3	330	16,8	77	12,2
10 - < 15	1140	30,1	420	32,4	409	20,8	131	20,7
> 15	1525	40,3	522	40,3	932	47,3	344	54,3
Σ	3786	100	1295	100	1970	100	633	100

* alle Fälle: ICCC I

7.2 Analysen der Fragestellungen

Für die Exposition gegenüber HF-EMF (Gesamtexposition AM und FM/TV) zeigte sich kein signifikant erhöhtes Risiko für Leukämien im Kindesalter. In der höchsten Expositions-kategorie (95-≤100% Quantil) wurde im Vergleich zur Referenzkategorie (0-<90% Quantil) ein Odds Ratio von 0,86 (95%-Konfidenzintervall, KI: 0,67 - 1,11) beobachtet. Eine stratifizierte Analyse getrennt nach AM- und FM/TV-Sendern ergab keine Hinweise für einen Zusammenhang zwischen HF-EMF und Erkrankungsrisiko in Zusammenhang mit dem nach Sendertyp zugrunde liegenden Frequenzbereich bzw. der Modulationsart. Diese Beobachtung traf sowohl für das Leukämierisiko insgesamt als auch für die betrachteten Einzeldiagnosen zu (**Tabelle 7.4**).

Zur Untersuchung einer möglichen Expositions-Wirkungsbeziehung wurde die HF-EMF Exposition bezogen auf die Emissionen aller Sender (AM und FM/TV) als stetige Variable berücksichtigt. Es resultierte ein Odds Ratio für Leukämien (ICCC I) von 0,99 (95%-KI: 0,98 - 1,00) bezogen auf die Einheit 1 dB(μV/m). Es kann also aufgrund dieser Ergebnisse nicht auf eine statistisch signifikante Expositions-Wirkungs-Beziehung geschlossen werden und somit nicht auf ein mit zunehmender Feldstärke ansteigendes Erkrankungsrisiko. Innerhalb der Untersuchung mit fraktionellen Polynomen ergab sich keine Verbesserung der Anpassung des bedingten logistischen Regressionsmodells mit Polynomen ersten Grades bei der Verwendung der üblichen Transformationen der Feldstärke in dB(μV/m) (potenziert mit: 3, 2, 1, 0,5, -0,5, -1, -2 und logarithmiert). Es wurde daher auf eine weitere Untersuchung mit Polynomen 2. Grades verzichtet (Royston et al. 1999).

In der Fall-Kontrollstudie wurde zusätzlich zur Analyse der am Wohnort wirksamen Feldstärken die prozentuale Ausschöpfung des gesetzlichen Grenzwertes untersucht. Für alle Sender wurde eine maximale Grenzwertausschöpfung bis 1,01% beobachtet. In der höchsten Kategorie (90-≤100% Quantil) wurde im Vergleich zur Referenzkategorie (0-<90% Quantil) ein Odds Ratio von 0,81 (95%-KI: 0,63 - 1,05) beobachtet. Die Ergebnisse zur Grenzwertausschöpfung (**Tabelle 7.5**) bestätigen die Analysen zur Feldstärken-Exposition.

Bei der Analyse der Jahre 1983-1991 und 1992-2002 konnte für beide Expositionszeiträume kein Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und dem Risiko für kindliche Leukämien gezeigt werden (**Tabelle 7.6**). Die Odds Ratios (95-≤100% vs. 0-<90%) für Leukämieerkrankungen (ICCC I) in Abhängigkeit von Expositionen durch AM-Sender in den beiden Zeiträumen waren 0,77 (95%-KI: 0,51 - 1,16) für die Jahre 1983-1991 und 1,01 (95%-KI: 0,73 - 1,39) für die Jahre 1992-2002. Die entsprechenden Risikoschätzer für Expositionen durch FM/TV-Sender waren 1,08 (95%-KI: 0,74 - 1,58) für 1983-1991 und 0,90 (95%-KI: 0,64 - 1,26) für 1992-2002.

Zur Abschätzung der lebenslang kumulierten Exposition wäre die Information über die gesamte Wohnbiografie und die jeweils relevanten Senderanlagen erforderlich. Da diese Information nicht vorlag, wurden im Sinne einer Sensitivitätsanalyse nur die Kinder betrachtet, die seit ihrer Geburt am selben Wohnort leben bzw. lebten. Es ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Erkrankungsrisiko und HF-EMF Exposition (**Tabelle 7.7**). Unter der Annahme, dass sich insbesondere Kinder in den ersten Lebensjahren überwiegend im häuslichen Bereich aufhalten und sich mithin in einer konstanten Expositionssituation befinden, wurden die 1 bis 4-Jährigen als separate Gruppe betrachtet. Auch für diese Altersgruppe zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und dem Erkrankungsrisiko. (**Tabelle 7.8**).

Die Untersuchung der Bedeutung der räumlichen Distanz zum nächstgelegenen Hauptsender für das Erkrankungsrisiko (**Tabelle 7.9**) zeigte für Kinder, die im 2 km Nahbereich eines AM-Senders wohnen bzw. wohnten, ein nicht signifikant erhöhtes Odds Ratio von 1,15 (95%-KI: 0,60 – 2,22) im Vergleich zu Kindern, deren Wohnsitz zum Zeitpunkt der Diagnose (des Falls) in einer Entfernung von 10 bis 15 km zum Sender lag. Das entsprechende Odds Ratio im Nahbereich von FM/TV-Sendern war 1,03 (95%-KI: 0,50 – 2,13). Im Abstand von mehr als 15 km zeigte sich für FM/TV-Sender ein nicht signifikant erhöhtes Odds Ratio von 1,13 (95%-KI: 0,89 - 1,45).

Es wurde eine weitere Eingrenzung der durch AM-Sender höher Exponierten vorgenommen und für die feldstärkebezogene AM-Exposition die Klasse zwischen den 99%-100% Quantilen betrachtet, um so den Fokus auf die sehr hoch Exponierten zu richten. Dies wurde vor allem gemacht, weil die Anzahl Kinder im 2 km Umkreis zum AM-Sender deutlich geringer war als im 95-≤100% Quantil, d.h. es bestand die Befürchtung, dass diese Definition der hohen Exposition immer noch zu niedrig angesetzt war. In der höchsten Expositionskategorie (99-≤100% Quantil) wurde im Vergleich zur Referenzkategorie (0-<90% Quantil) ein Odds Ratio von 0,80 (95%-KI: 0,46 - 1,40) beobachtet. Dieses Odds Ratio basierte auf 16 Fällen und 59 Kontrollen, also einer vergleichbaren Anzahl wie im 2 km Umkreis zum Sender.

Die Sendergebiete weisen insbesondere im Süddeutschland Überschneidungsregionen auf (vgl. Abb. 3.3). Wenn ein Fall in einer solchen Überschneidungsregion zweier Sendergebiete zum Diagnosezeitpunkt wohnte, so wurden die Kontrollen aus beiden Senderregionen gezogen, da davon auszugehen war, dass in den Überschneidungsregionen die Einflüsse beider Hauptsender wirksam sind. Um nun zu überprüfen, ob diese Vorgehensweise mit einem Bias verbunden ist, was der Fall wäre, wenn die Verteilung der Exposition in beiden Sendergebieten unterschiedlich wäre, wurden die Fälle der Überschneidungsregionen (und die gematchten Kontrollen) aus der Analyse ausgeschlossen. Auch bei dieser Herangehensweise

änderte sich die Schlussfolgerung der Studie nicht, der zufolge kein Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und dem Risiko für Leukämien im Kindesalter besteht.

Table 7.4 Geschätzte Odds Ratios mit 95% Konfidenzintervallen für Leukämien im Kindesalter in Abhängigkeit von der HF-EMF Exposition (V/m)

	Alle Fälle (ICCC I)				Lymphoide Leukämien (ICCC Ia)				Myeloische Leukämien (ICCC Ib, Id)			
	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR*	95% KI*	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI
AM und FM/TV†												
0-< 90%	5263	1772	1,00	Referenz	4269	1437	1,00	Referenz	891	301	1,00	Referenz
90-≤ 95%	292	101	1,02	0,80 – 1,31	224	79	1,05	0,79 - 1,38	64	21	0,95	0,55 - 1,65
95-≤ 100%	293	86	0,86	0,67 – 1,11	238	70	0,86	0,65 - 1,15	51	14	0,80	0,42 - 1,50
AM‡												
0-< 90%	5263	1770	1,00	Referenz	4268	1435	1,00	Referenz	892	301	1,00	Referenz
90-≤ 95%	292	100	1,01	0,79 – 1,30	224	79	1,05	0,79 - 1,38	64	20	0,91	0,52 - 1,59
95-≤ 100%	293	89	0,89	0,69 – 1,15	239	72	0,89	0,67 - 1,18	50	15	0,87	0,47 - 1,63
FM/TV§												
0-< 90%	5263	1770	1,00	Referenz	4270	1429	1,00	Referenz	896	308	1,00	Referenz
90-≤ 95%	292	98	0,99	0,78 – 1,27	230	80	1,05	0,79 - 1,38	53	14	0,74	0,39 - 1,37
95-≤ 100%	293	91	0,92	0,71 – 1,19	231	77	1,01	0,76 - 1,33	57	14	0,67	0,35 - 1,27

* OR, Odds Ratio; KI, Konfidenzintervall.

† Quantile HF-EMF (AM, FM/TV), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,004-0,504; 0,504-0,701; 0,701-7,742 (V/m).

‡ Quantile HF-EMF (AM), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0-0,488; 0,488-0,683; 0,683-7,741 (V/m).

§ Quantile HF-EMF (FM/TV), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: <0,001-0,164; 0,164-0,198; 0,198-0,815 (V/m).

Table 7.5 Geschätzte Odds Ratios mit 95% Konfidenzintervallen für Leukämien im Kindesalter in Abhängigkeit von der Grenzwertausschöpfung (%)

	Alle Fälle (ICCC I)				Lymphoide Leukämien (ICCC Ia)				Myeloische Leukämien (ICCC Ib, Id)			
	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR*	95% KI*	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI
AM und FM/TV†												
0-< 90%	5258	1776	1,00	Referenz	4273	1437	1,00	Referenz	885	306	1,00	Referenz
90-≤ 95%	294	101	1,01	0,80 – 1,29	218	82	1,12	0,86 - 1,46	68	17	0,71	0,41 - 1,24
95-≤ 100%	296	82	0,81	0,63 – 1,05	240	67	0,82	0,62 - 1,09	53	13	0,69	0,36 - 1,30

* OR, Odds Ratio; KI, Konfidenzintervall.

† Quantile Prozentuale Grenzwertausschöpfung (AM, FM/TV), ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,0-0,0063; 0,0063-0,01; 0,01-1,01 (V/m).

Table 7.6 Geschätzte Odds Ratios mit 95% Konfidenzintervallen für Leukämien im Kindesalter in Abhängigkeit von der HF-EMF Exposition (V/m) nach Expositionsperioden

	Alle Fälle (ICCC I)				Lymphoide Leukämien (ICCC Ia)				Myeloische Leukämien (ICCC Ib, Id)			
	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR*	95% KI*	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI
Expositionsperiode 1983-1991 †												
0-< 90%	2166	729	1,00	Referenz	1765	598	1,00	Referenz	347	114	1,00	Referenz
90-≤ 95%	120	49	1,23	0,85 - 1,76	92	35	1,13	0,74 - 1,72	26	13	1,56	0,74 - 3,29
95-≤ 100%	121	30	0,72	0,47 - 1,10	105	26	0,71	0,45 - 1,11	12	2	0,55	0,12 - 2,53
Expositionsperiode 1992-2002 ‡												
0-< 90%	3096	1031	1,00	Referenz	2507	830	1,00	Referenz	539	184	1,00	Referenz
90-≤ 95%	172	64	1,13	0,82 - 1,54	131	52	1,22	0,86 - 1,74	40	12	0,85	0,42 - 1,73
95-≤ 100%	173	56	0,98	0,71 - 1,36	131	45	1,07	0,74 - 1,53	42	11	0,74	0,36 - 1,52

* OR, Odds Ratio, KI, Konfidenzintervall.

† Quantile HF-EMF (1983-1992), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,004-0,546; 0,546-0,779; 0,779-7,022 (V/m).

‡ Quantile HF-EMF (1993-2002), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,005-0,468; 0,468-0,653; 0,653-7,742 (V/m).

Tabelle 7.7 Geschätzte Odds Ratios mit 95% Konfidenzintervallen für Leukämien im Kindesalter in Abhängigkeit von der HF-EMF Exposition (V/m) nach Wohnsitz

	Alle Fälle (ICCC I)				Lymphoide Leukämien (ICCC Ia)				Myeloische Leukämien (ICCC Ib, Id)			
	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR*	95% KI*	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI
Gleicher Wohnort von Geburt bis Diagnose†												
0-< 90%	2531	1034	1,00	Referenz	2001	838	1,00	Referenz	483	181	1,00	Referenz
90-< 95%	141	45	0,94	0,62 - 1,43	109	30	0,83	0,51 - 1,35	31	12	1,42	0,57 - 3,50
95-≤ 100%	141	38	0,82	0,53 - 1,24	116	35	0,93	0,59 - 1,45	24	1	0,15	0,02 - 1,18

* OR, Odds Ratio, KI, Konfidenzintervall.

† Quantile HF-EMF (unveränderter Wohnort), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,004-0,553; 0,553-0,788; 0,788-7,742 (V/m).

Tabelle 7.8 Geschätzte Odds Ratios mit 95% Konfidenzintervallen für Leukämien im Kindesalter in Abhängigkeit von der HF-EMF Exposition (V/m) nach Altersgruppen

	Alle Fälle (ICCC I)				Lymphoide Leukämien (ICCC Ia)				Myeloische Leukämien (ICCC Ib, Id)			
	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR*	95% KI*	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% KI
Alter <1 Jahre												
0-< 90%	289	100	1,00	Referenz	121	42	1,00	Referenz	153	53	1,00	Referenz
90-< 95%	16	5	0,89	0,30 - 2,65	8	3	1,09	0,24 - 4,84	8	2	0,71	0,14 - 3,64
95-≤ 100%	17	3	0,49	0,13 - 1,76	11	2	0,50	0,10 - 2,48	6	1	0,46	0,05 - 4,13
Alter 1-4 Jahre												
0-< 90%	2470	833	1,00	Referenz	2137	721	1,00	Referenz	311	104	1,00	Referenz
90-< 95%	137	53	1,13	0,79 - 1,59	116	44	1,10	0,75 - 1,60	21	9	1,31	0,53 - 3,23
95-≤ 100%	138	34	0,72	0,48 - 1,07	117	30	0,75	0,49 - 1,14	19	4	0,63	0,21 - 1,94
Alter 5-9 Jahre												
0-< 90%	1433	475	1,00	Referenz	1230	407	1,00	Referenz	184	61	1,00	Referenz
90-< 95%	80	27	1,00	0,62 - 1,63	64	23	1,07	0,63 - 1,81	15	4	0,82	0,24 - 2,79
95-≤ 100%	80	33	1,29	0,83 - 2,00	73	29	1,25	0,78 - 1,99	7	4	1,66	0,48 - 5,76
Alter 10-14 Jahre												
0-< 90%	1069	364	1,00	Referenz	781	266	1,00	Referenz	241	84	1,00	Referenz
90-< 95%	59	15	0,71	0,39 - 1,30	36	8	0,64	0,30 - 1,40	20	6	0,77	0,27 - 2,25
95-≤ 100%	60	17	0,79	0,44 - 1,40	37	11	0,83	0,41 - 1,68	21	4	0,50	0,16 - 1,59

* OR, Odds Ratio, KI, Konfidenzintervall.

Quantile HF-EMF (Alter <1 Jahre), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,01-0,55; 0,55-0,78; 0,78-2,89 (V/m).

Quantile HF-EMF (Alter 1-4 Jahre), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,004-0,520; 0,520-0,751; 0,751-7,742 (V/m).

Quantile HF-EMF (Alter 5-9 Jahre), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,005-0,482; 0,482-0,631; 0,631-5,85 (V/m).

Quantile HF-EMF (Alter 10-14 Jahre), durchschnittliche Exposition ein Jahr vor Diagnose des Falls: 0,007-0,502; 0,502-0,688; 0,688-7,022 (V/m).

Table 7.9 Geschätzte Odds Ratios für Leukämien im Kindesalter in Abhängigkeit von der Distanz (km) des Wohnsitzes zum nächstgelegenen Hauptsender

Distanz†	Alle Fälle (ICCC I)				Lymphoide Leukämien (ICCC Ia)				Myeloische Leukämien (ICCC Ib, Id)			
	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR*	95% CI*	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% CI	Kontrollen (n)	Fälle (n)	OR	95% CI
AM oder FM/TV Sender												
0 to < 2	67	25	1,04	0,65 - 1,67	51	24	1,31	0,80 - 2,15	14	1	0,19	0,02 - 1,47
2 to < 6	587	172	0,81	0,66 - 0,99	473	141	0,82	0,66 - 1,03	101	27	0,75	0,45 - 1,24
6 to < 10	1096	314	0,79	0,67 - 0,93	881	241	0,76	0,63 - 0,91	188	66	1,00	0,68 - 1,47
10 to < 15	1549	551	1,00	Referenz	1254	446	1,00	Referenz	268	93	1,00	Referenz
≥ 15	2457	866	1,00	0,88 - 1,14	1995	708	1,01	0,87 - 1,16	420	144	0,99	0,72 - 1,37
AM Sender‡												
0 to < 2	33	14	1,15	0,60 - 2,22	23	13	1,56	0,77 - 3,16	10	1	0,24	0,03 - 1,96
2 to < 6	322	102	0,80	0,62 - 1,05	253	81	0,82	0,61 - 1,11	63	20	0,77	0,42 - 1,43
6 to < 10	766	237	0,84	0,69 - 1,02	604	178	0,81	0,65 - 1,01	149	53	0,94	0,62 - 1,44
10 to < 15	1140	420	1,00	Referenz	911	332	1,00	Referenz	213	82	1,00	Referenz
≥ 15	1525	522	0,94	0,80 - 1,10	1226	427	0,96	0,80 - 1,14	277	88	0,87	0,60 - 1,27
FM/TV Sender												
0 to < 2	34	11	1,03	0,50 - 2,13	28	11	1,19	0,56 - 2,50	4	0	0,00	0,00 - 9,57¶
2 to < 6	265	70	0,80	0,57 - 1,12	220	60	0,80	0,55 - 1,14	38	7	0,82	0,27 - 2,47
6 to < 10	330	77	0,69	0,50 - 0,96	277	63	0,67	0,47 - 0,95	39	13	1,48	0,55 - 4,01
10 to < 15	409	131	1,00	Referenz	343	114	1,00	Referenz	55	11	1,00	Referenz
≥ 15	932	344	1,13	0,89 - 1,45	769	281	1,08	0,83 - 1,41	143	56	1,88	0,86 - 4,11

* OR, Odds Ratio, KI, Konfidenzintervall.

† Distanz (km) zwischen Wohnsitz und nächstgelegenen Hauptsender zum Zeitpunkt der Diagnose des Falls.

‡ AM-Sender: Ausschluss von 31 Fällen und 92 Kontrollen für die Zeiten, in denen der betreffende Hauptsender abgeschaltet war.

¶ exaktes Konfidenzintervall

8 Diskussion

Die vorgestellte Fall-Kontroll-Studie untersuchte einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Erkrankungsrisiko für Leukämien im Kindesalter und der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) in der Umgebung von Rundfunkstationen. Es zeigte sich kein signifikant erhöhtes Risiko für Leukämie im Kindesalter bezüglich der Exposition durch HF-EMF, sowohl für die Gesamtexposition durch AM- und FM/TV-Sender als auch für die Expositionen durch AM-Sender und FM/TV-Sender getrennt. Im Rahmen einer Validierungsstudie konnte gezeigt werden, dass die geschätzte HF-EMF Exposition ein besseres Maß für die Exposition ist als der räumliche Abstand (einer Wohnadresse) zum nächstgelegenen Sender. Die Analyse der Distanz zum nächstgelegenen Hauptsender zeigte keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Exposition (Nähe zum Sender) und dem Risiko für Leukämien im Kindesalter. Das Studiendesign ging über einen rein ökologischen Ansatz hinaus, erlaubte eine individuelle Expositionsschätzung und überwand damit wesentliche Limitierungen früher zu diesem Thema durchgeführter Studien. Ein wesentlicher Vorteil war die detaillierte Expositionsrechnung, die nicht nur die Hauptsender, sondern auch sämtliche expositionsrelevante Nebensender mit einbezog.

In einer in Südkorea fast zeitgleich durchgeführten Fall-Kontrollstudie (Ha et al. 2007, Reply to Schüz et al. 2008) mit insgesamt 1928 an Leukämie erkrankten Kindern und 3082 Krankenhauskontrollen wurde auch eine individuelle Expositionsabschätzung gegenüber HF-EMF durch AM-Sendeanlagen durchgeführt. Berechnet wurde dabei die Gesamtexposition durch alle 31 in der Studie berücksichtigten AM-Sender („total RF-EMF“) vor Diagnose des Fallkindes unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors für die Distanz zum nächsten Sender. Weiterhin wurde die sog. Peak-Exposition ermittelt, definiert als der höchste Expositionsschätzwert unter den individuellen Werten für jeden einzelnen Sender vor dem jeweiligen Diagnosejahr¹⁰. In den betrachteten Quartilen der Exposition zeigten sich bei Berücksichtigung der „total RF-EMF“ in der höchsten Expositionsklasse ein erniedrigtes Odds Ratio im Vergleich zur Referenzgruppe, wobei das Odds Ratio bei den myeloischen Leukämien signifikant erniedrigt ist (0,55 (95%-KI: 0,33 - 0,93)). Wird hingegen die Peak-Exposition berücksichtigt, so zeigt sich in der höchsten Expositionsklasse ein signifikant erhöhtes Odds Ratio für lymphoide Leukämien und erneut ein signifikant protektiver Risikoschätzer bei den myeloischen Leukämien (Ha et al. 2008). Die Analyse über den Abstand ergab in der koreanischen Studie ein signifikant erhöhtes Risiko für Leukämien (all types) bei Kindern, die im 2 km-Umkreis eines AM-Senders leben im Vergleich zu Kindern, mit Wohnsitz im Abstand von 20 km zum Sender (Ha et al. 2007).

¹⁰ “We defined peak RFR exposure as the highest exposure estimate among all of the individual exposure estimates obtained from each transmitter established before the subjects’ year of diagnosis (Ha et al. 2007).”

Die koreanischen Autoren geben an, dass die Expositionsmaße „total HF-EMF“ und „Peak-Exposition“ miteinander hochkorreliert sind (Ha et al. 2007). Da sich dennoch hinsichtlich des ermittelten Risikos für kindliche Leukämien in Abhängigkeit vom Expositionsmaß unterschiedliche Ergebnisse zeigten, kann letztlich keine eindeutige Schlussfolgerung für das Leukämierisiko bei Kindern durch HF-EMF gezogen werden. **Tabelle 8.1** zeigt einen Vergleich der koreanischen Daten mit den Daten der deutschen Studie, wobei aus Gründen der Vergleichbarkeit die Kategorisierung der koreanischen Studie auf die deutschen Daten angewendet wurde. Insgesamt wird eine gute Übereinstimmung beobachtet.

Tabelle 8.1 Gegenüberstellung der Hauptresultate der Fallkontrollstudien in Deutschland und in Südkorea

	Deutschland	Korea
Total HF-EMF Exposition (AM) Referenzkategorie (Quartil 1)	< 0,518 V/m	< 0,518 V/m
“High exposure” - Kategorie (Quartil 4)	≥ 0,917 V/m	≥ 0,917 V/m
Odds Ratio (all leukemias)	0,88 (95% KI 0,63-1,22)	0,83 (95% KI 0,63-1,08)
Odds Ratio (lymphoide Leukämien)	0,99 (95% KI 0,70-1,39)	0,93 (95% KI 0,67-1,29)
Distanz zum AM Sender Referenzkategorie	10-15 km	> 20 km
“High exposure” - Kategorie	< 2 km	≤ 2 km
Odds Ratio (all leukemias)	1,15 (95% KI 0,60-2,22)	2,15 (95% KI 1,00-4,67)
Odds Ratio (lymphoide Leukämien)	1,56 (95% KI 0,77-3,16)	1,60 (95% KI 0,69-3,72)

AM-Sender strahlen – im Gegensatz zu UKW- und Fernsehsendern – die elektromagnetischen Felder annähernd als (Halbraum-) Kugelwelle ab. Dabei liegt außerhalb des oft eingezäunten Nahfeldbereiches eine im Wesentlichen monotone Abnahme der elektrischen und magnetischen Feldstärke mit der Entfernung vor. In der vorliegenden Fall-Kontroll-Studie wurde ein statistisch nicht signifikant erhöhtes Odds Ratio für den Nahbereich der AM-Sender für die lymphoiden Leukämien beobachtet, was jedoch durch die Analyse der eigentlichen „Noxe“, also der tatsächlich wirksamen Feldstärke, nicht bestätigt werden konnte. Ein erhöhtes Erkrankungsrisiko im Nahbereich technischer Einrichtungen (Hochspannungsleitungen, Kernkraftwerke) wurde in anderen epidemiologischen Studien beobachtet (Draper et al. 2005, Kaatsch et al. 2008), wenngleich auch hier ohne plausible strahlenbiologische Erklärung. Im Rahmen der Validierungsstudie (**Kap. 5**) der hier vorgestellten Fall-Kontroll-Studie konnte gezeigt werden, dass der Abstand zur Funksendeanlage nur ein unzureichendes Maß für die tatsächliche Exposition ist, so dass entsprechende Feldstärkeberechnungen vorzuziehen sind.

Die Ätiologie der Leukämie im Kindesalter ist unklar. Für die meisten bislang untersuchten Umweltfaktoren hat sich gezeigt, dass, selbst wenn ein Einfluss auf die Entstehung der Erkrankung bestehen würde, der Anteil dadurch verursachter Fälle wahrscheinlich sehr gering ist. Außerdem ist bei Überlegungen zu potentiellen Risikofaktoren zu berücksichtigen, dass möglicherweise mehrere Faktoren am Krankheitsgeschehen beteiligt sein könnten, mit jeweils unterschiedlicher Gewichtung bei Leukämie-Subgruppen (Greaves 1999, 2002). Eine Reihe von Indizien hat zu der Hypothese geführt, dass Kinder mit einem im Säuglingsalter nur unzureichend modulierten Immunsystem möglicherweise ein erhöhtes Leukämierisiko haben. Eine Besonderheit bei Leukämie-Erkrankungen ist die vermutete Neigung zu räumlichen Clustern. Zeitliche Leukämiehäufungen wurden in Regionen mit mäßiger Bevölkerungsdichte beobachtet (Alexander et al. 1999). Die Hypothese des *population mixing* beschreibt in diesem Zusammenhang die Vorstellung, dass es durch Migration von städtischen in ländliche Gebiete zu einer Mischung empfänglicher und infizierter Kinder kommt (Schüz 2002). In der deutschen Fall-Kontroll-Studie wurde die Bevölkerungsdichte als Confounder überprüft, wobei sich jedoch kein relevanter Einfluss auf die Risikoschätzer zeigte. In der koreanischen Studie wurden die Bevölkerungsdichte und eine Indexvariable für mögliche sozioökonomische Faktoren in das Analysemodell aufgenommen, wobei die vorliegenden Veröffentlichungen keine Aussage darüber erlauben, welchen Effekt dies tatsächlich auf die vorgestellten Studienergebnisse hat.

Die mit diesem Bericht vorgestellte Studie zu „Leukämien im Kindesalter und elektromagnetische Felder in der Umgebung von Rundfunkstationen“ basiert auf einer individuellen Expositionsschätzung für hochfrequente Felder. Die Expositionsschätzung für die im Zeitraum zwischen 1984 und 2003 erkrankten Kinder und gesunde Vergleichskontrollen konnte zudem, bezogen auf den Zeitpunkt der Diagnose, retrospektiv durchgeführt werden. Ermöglicht wurde die Expositionsschätzung durch die von den Betreibern bereitgestellten Informationen zu den Abstrahlcharakteristiken der in der Studie berücksichtigten Sendeanlagen. Die Stichhaltigkeit der Expositionsschätzung wurde in einer Validierungsstudie nachgewiesen, der betreiber-unabhängige Messwerte zugrundegelegt wurden. Mit insgesamt 1959 Fällen und 5848 Kontrollen war die Fallzahl ausreichend, um einen möglicherweise vorliegenden Effekt nachweisen zu können. Darüber hinaus erlaubte dieser Studenumfang auch eine getrennte Betrachtung für AM-Sender und FM/TV-Sender.

Die Rekrutierung der Fälle für die Studie erfolgte über das Deutsche Kinderkrebsregister in Mainz. Hier werden seit 1984 die Leukämieerkrankungen nahezu vollzählig erfasst (Kaatsch et al. 2005). Die Rekrutierung der historischen Kontrollen über die Einwohnermeldeämter erfüllte das im Rahmen der Pilotphase formulierte Ziel eines 1:3 Matchings. Es gibt keinen Anhaltspunkt für einen systematischen Selektionsbias. Nur 4,5 % (n=510) der angeforderten Kontrollen konnten von den betreffenden Gemeinden für die Studie nicht zur Verfügung

gestellt werden. Ausschlaggebend waren in diesen Fällen überwiegend technische Probleme und/oder personelle Engpässe in den Ämtern.

Die Fall-Kontroll-Studie wurde ohne Befragungsteil durchgeführt. Eine Befragungsstudie wäre dann notwendig gewesen, wenn es bekannte Störgrößen/Confounder¹¹ gäbe, die in der Risikoschätzung berücksichtigt werden müssen und nur per Befragung der Eltern erhoben werden können. Die wichtigsten potenziellen Confounder, d.h. Geschlecht, Alter und Region, konnten auch ohne Befragung erhoben werden. Es gab keine wissenschaftlichen Gründe für eine Befragung zu weiteren Faktoren, die unbedingt als Confounder berücksichtigt werden müssen. Einige der Funksendeanlagen befinden sich in ländlichen, dünn besiedelten Gebieten. Dies dürfte in erster Linie die Mittelwellensender des Rundfunks betreffen. Denkbar wäre, dass landwirtschaftliche Pestizidanwendung im Umfeld solcher Sendeanlagen stärker verbreitet ist als in städtischen Gebieten der Studienregion. Diesem möglichen Zusammenhang wurde im Studiendesign jedoch durch das Matching von Fällen und Kontrollen nach Senderregion weitgehend Rechnung getragen. Für die durch die Einführung des digitalen Mobilfunks (1992) veränderte Exposition der Bevölkerung zeigte sich im Rahmen dieser Studie kein nachweisbarer Einfluss auf die Leukämieerkrankung bei Kindern.

Insgesamt konnte in dieser Fall-Kontroll-Studie kein Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF in der Umgebung von Rundfunkstationen und dem Risiko von Leukämien im Kindesalter gezeigt werden. Unter Berücksichtigung der aufgeführten Vorteile des vorgestellten Studiendesigns werden somit auffällige Befunde von früheren Cluster-Studien stark abgeschwächt.

¹¹ Als Confounder bezeichnet man einen Faktor, der sowohl einen Risikofaktor für die zu untersuchende Erkrankung darstellt und auch mit der interessierenden Exposition assoziiert ist. Dabei wird er selbst weder durch die Krankheit noch durch die Exposition beeinflusst und stellt keine Zwischenstufe zwischen Expositionseinwirkung und Krankheitsentstehung dar (Rothman KJ, Greenland S. Modern Epidemiology, 2nd Edition. Philadelphia: Lippincott-Raven 1998).

9 Danksagung

Das Autorenteam dankt allen Betreibern der Sendeanlagen für die Übermittlung von Betriebsdaten für die Expositionsschätzung. Unser besonderer Dank gilt Herrn Johannes Philipp (SWR) für seine engagierte Unterstützung der Studie im Bereich der Expositionsschätzung. Wir danken weiterhin Herrn Dr. Jost Wendler (SWR) für seine fachliche Beratung und Herrn Lukas Altenkamp (SWR) für die datentechnische Organisation der Feldstärkematrizen und das Programmieren der Software für die Erstellung der zeitlichen Expositionsprofile. Die Autoren danken herzlich Herrn Wolfgang Schröter und Herrn Harry Korr für die Übermittlung von Betriebsdaten der Sendeanlagen von T-Systems – International und die fachliche Unterstützung unserer Studie.

Für die Validierung wurden historische Feldstärkemessungen benötigt. Unser Dank gilt Herrn Eidler für die sehr hilfreichen Daten des Funkwellenmessprojekts Baden Württemberg. Des Weiteren haben Daten zur Verfügung gestellt:

Herr Menges, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden Württemberg,

Frau Dr. Boikat, Freie Hansestadt Bremen,

Herr Möller, Hessisches Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz,

Herr Dr. Urbach, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg,

Herr Kindel, Landesumweltamt NRW,

Herr Prof. Wuschek, EM-Institut, Regensburg,

Herr Dr. Müller, Bayerisches Landesamt für Umwelt, sowie

Herr Prof. Langguth, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes.

Wir danken den Einwohnermeldeämtern und Rechenzentren, die uns die Adressen zur Verfügung gestellt haben.

Unser Dank gilt Herrn Dr. Peter Kaatsch (Ltg. Deutsches Kinderkrebsregister, DKKR). Ohne die Daten des DKKR wäre die Studie nicht durchführbar gewesen. Insbesondere danken wir Frau Dr. Claudia Spix (DKKR) für ihre fachlichen Ratschläge zum Studiendesign und zur Kontrollziehung. Wir danken Frau Irene Jung (DKKR) für ihre in die Studie eingebrachten Erfahrungen. Unser Dank gilt auch den wissenschaftlichen Hilfskräften Jutta Albrecht, Carsten Hornbach und Gaby Peters, die in der Feldphase der Studie motiviert mitgearbeitet haben.

Wir danken Frau Univ. Prof. Maria Blettner (IMBEI) für die Unterstützung der Studie durch die Bereitstellung personeller und sachlicher Ressourcen sowie durch kritische Anmerkungen zu Publikationen und Berichten.

Schließlich gilt unser Dank auch Frau Dr. Michaela Kreuzer (Bundesamt für Strahlenschutz) für die kompetente fachliche Begleitung des Projektes.