

Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen

Ausgeschrieben und finanziert vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Interner Arbeitstitel:

Kindliche Leukämien und Expositionen in der Umgebung von hochfrequenten Sendestationen (KiSS)

Bericht zur Pilotphase

(Berichtszeitraum 03/2005 – 11/2005)

Projektleitung: PD Dr. Joachim Schüz
(Institute of Cancer Epidemiology, Copenhagen)

Projektmitarbeiter: Dr. Hiltrud Merzenich, Dipl. Stat. Sven Schmiedel,
cand. Dipl. Geograph Carsten Hornbach (IMBEI)

Kooperationspartner: Dr. Hauke Brüggemeyer
(Staatliches Gewerbeaufsichtsamt, Hannover)

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

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

The logo for IMBEI (Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik) consists of the letters 'IMBEI' in a bold, sans-serif font. The 'I' and 'M' are purple, while the 'B', 'E', and 'I' are red.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Projektziele	4
2	Grundlagen elektromagnetischer Felder	6
2.1	Expositionsverlauf in der Umgebung von Funksendeanlagen	11
2.1.1	UKW - und Fernsehsender	11
2.1.2	AM-Sender	12
2.2	Sendeleistung und Messwerte in der Umgebung von Funksendeanlagen	13
2.3	Grenzwerte und Richtwerte	14
3	Zeitplan und Aufgabenbeschreibung	16
4	Ergebnisse der Pilotphase	18
4.1	Formulierung der Hauptfragestellungen	18
4.2	Festlegung des Studiendesigns und des Studienzeitraumes	19
4.3	Definition der Zielerkrankung und der Studienpopulation	21
4.4	Identifikation der Feldquellen	22
4.4.1	Stationäre Hörfunk- und Fernsehanlagen: Situation in Deutschland	22
4.4.2	Auswahl der Funksendeanlagen für die KiSS-Studie	22
4.4.3	Senderauswahl	25
4.5	Festlegung des Studiengebietes	26
4.5.1	UKW- und TV-Sender	26
4.5.2	AM-Sender	28
4.6	Geokodierung der Expositionspunktquellen und Gemeindeauswahl	30
4.6.1	Gemeindeauswahl	30
4.6.2	Gauß-Krüger Projektion	31
4.7	Ermittlung der Bevölkerungszahlen im Studiengebiet	34
4.8	Identifikation der Fälle im Studiengebiet	35
4.8.1	AM-Sender	35
4.8.2	UKW / TV - Sender	37
4.9	Festlegung der Kontrollgruppe: Matching- und Einschlusskriterien	39
4.10	Entwicklung von Instrumentarien zur Expositionsabschätzung	41
4.10.1	Ziele	41
4.10.2	Kontaktaufnahme mit den Betreibern zur Gewinnung von Informationen	42
4.10.3	Durchführung und Ergebnisse erster Validierungsmessungen	43
4.10.3.1	Validierungsmessungen AM-Sender	45
4.10.3.2	Validierungsmessungen UKW / TV-Sender	47
4.10.2.3	Indoor-Messungen	47
4.11	Identifikation von Störgrößen	49
4.12	Berechnung der erreichbaren statistischen Power	54
4.13	Formulierung des Studiendesigns	56
5	Bewertung	57
5.1	Bewertung der Machbarkeit	57
6	Literatur	58

Anlage 1a Senderauswahl basierend auf der Wittsmoorliste nach Maßgabe der BfS-Kriterien (vorläufige Auswahl TV-Sender)

Anlage 1b Senderauswahl basierend auf der Wittsmoorliste nach Maßgabe der BfS-Kriterien (vorläufige Auswahl Hörfunksender)

Anlage 2a Senderauswahl Stand 14.11.2005 (AM - Sender)

Anlage 2b Senderauswahl Stand 14.11.2005 (UKW / TV - Sender)

1 Hintergrund und Projektziele

Die KiSS-Studie untersucht einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Leukämierisiko bei Kindern und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern in der Umgebung leistungsstarker Sendestationen von Hörfunk und Fernsehen.

Die Daten des Deutschen Kinderkrebsregisters zeigen, dass in Deutschland jährlich etwa 1800 Kinder vor ihrem 15. Geburtstag an einer bösartigen Erkrankung (einschließlich nicht-maligner Hirntumoren) erkranken, bezogen auf die jährliche Bevölkerung von 13,0 Millionen Kindern dieser Altersgruppe. Die jährliche Inzidenz beträgt 14,2/100.000. Die kumulative Inzidenz liegt bei 212/100.000, das heißt, etwa jedes 470. neugeborene Kind erkrankt. Häufigste Erkrankungsgruppen sind die Leukämien mit 33,8% und einer Inzidenz von 4,7/100.000. 82,5% der Leukämien sind akute lymphatische (ALL) und 15,1% sind akute myeloische Leukämien (Kaatsch et al. 2004).

Gesundheitsschädigende Effekte durch nicht-ionisierende elektromagnetische Felder werden seit Jahrzehnten in Wissenschaft und Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Bislang wurden vier Studien im Umkreis von Rundfunksendeanlagen durchgeführt: auf Hawaii (Mascarinec et al. 1994), in Australien (Hocking et al. 1996), in Großbritannien (Dolk et al. 1997) und Italien (Michelozzi et al. 2002). Bei allen Studien ergaben sich Hinweise auf ein möglicherweise häufigeres Auftreten von Leukämieerkrankungen bei Kindern im Nahbereich der Sender.

Trotz der Leukämiehäufungen bei Kindern bieten die Studien keine schlüssige Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Exposition (Nähe zu Sendeanlagen) und den ermittelten Krebshäufungen. Gemeinsame methodische Mängel der Studien sind die zum Teil geringen Fallzahlen sowie die teilweise zweifelhafte Vollständigkeit der Registrierung von Krebserkrankungen.

Wesentliche Limitierung der o.g. Studien ist auch die grobe Expositionsabschätzung, die lediglich auf der Entfernung zur Expositionsquelle beruht. Insbesondere bei Rundfunksendeanlagen trifft 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 treten wegen der unvermeidbaren sog. Nebenzipfel des vertikalen Strahlungsdiagramms sogar mehrere solcher Maxima und Minima auf. Bei Lang- und Mittelwellensendern herrschen erst in einer Distanz von einigen Wellenlängen zur Antenne

einfache Fernfeldbedingungen mit monotonem Abfall der elektrischen und magnetischen Feldstärke. Im gelegentlich expositionsrelevanten Nahfeld können – abhängig von der Antennenkonfiguration – ebenfalls Maxima auftreten (vgl. BUWAL 2003).

Noch begrenzender für die Aussagekraft der zitierten Studien ist der ökologische Studienansatz, bei dem keine individuellen Daten zugrundegelegt werden. Vielmehr beruhen diese Studien auf der Distanz eines kleinräumigen Gebietes zur Feldquelle, wobei für alle Häuser dieses Gebietes die gleiche Expositionsstärke angenommen wird (Schüz et al. 2001).

Vor diesem Hintergrund soll nun im Rahmen der KiSS-Studie, deren Studiendesign über einen ökologischen Ansatz hinausgehen soll, das Leukämierisiko bei Kindern in der Umgebung von Sendestationen überprüft werden. In einer **Pilotphase** soll zunächst ein geeignetes epidemiologisches Studiendesign entwickelt werden. Insbesondere ist zu prüfen, ob die Untersuchung eines erhöhten Leukämierisikos in der Umgebung von Sendestationen im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie möglich ist. Die Pilotphase beinhaltet die Festlegung der Studienregion, die Entwicklung geeigneter Instrumente zur Expositionsabschätzung, die Beschreibung potentieller Störgrößen und Aussagen zur statistischen Power. Im Falle einer erfolgreichen Demonstration der Machbarkeit wird nachfolgend eine Hauptstudie durchgeführt.

Für die Hauptstudie sollen bezogen auf den **Expositionszeitraum** von 1982 bis 2003 relevante Feldquellen mit einer Strahlungsleistung von mindestens 500 kW (Fernsehen) bzw. 200 kW (Hörfunk)¹ ermittelt werden. Als „Fälle“ werden alle 0 bis unter 15 jährigen Kinder definiert, die im **Studienzeitraum** von 1984 bis 2003 an einer primären Leukämie erkrankt, dem Deutschen Kinderkrebsregister bekannt sind und im Umkreis um diese Sender leben bzw. gelebt haben.

Wesentlichstes Element der KiSS-Studie ist die **individuelle Expositionsabschätzung**, die zum einen durch die Geocodierung von Wohnadressen und Expositionspunktquellen und einer darauf beruhenden Abstandsberechnung ermöglicht wird. Weiterhin soll die tatsächlich abgestrahlte Sendeleistung über die Zeit berücksichtigt werden, wozu die Betriebsdaten der Betreiber herangezogen werden (Expositionsberechnung unter Berücksichtigung der betriebspezifischen Strahlungsleistung). Das Projekt sieht darüberhinaus die Durchführung von konkreten Feldmessungen vor zur Validierung der berechneten Exposition.

¹ Leistungsvorgabe des BfS

2 Grundlagen elektromagnetischer Felder

Seit mehr als 100 Jahren nutzt der Mensch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder für sehr viele Anwendungen des Alltags wie Netzstrom, Radio und Fernsehen.

Die elektrischen und magnetischen Felder lassen sich in statische (zeitlich konstante), niederfrequente und hochfrequente Bereiche unterteilen. Das Merkmal zur Unterscheidung dieser Bereiche ist die Frequenz d.h. die Rate der periodischen Feldänderungen. Die Frequenz wird angegeben in der Einheit Hertz (Hz). Bei Frequenzen unterhalb von ca. 30 kHz spricht man vom Niederfrequenz-Bereich. Für viele technische Anwendungen wird besonders die Netzfrequenz von 50 Hz intensiv genutzt. Im Niederfrequenzbereich müssen elektrische und magnetische Felder immer getrennt betrachtet werden. Im Gegensatz dazu sind im Hochfrequenzbereich (30 kHz bis 300 GHz) das elektrische und magnetische Feld im Fernfeld eng miteinander gekoppelt. Man spricht daher von elektromagnetischen Wellen oder elektromagnetischen Feldern. Sind niederfrequente Wechselfelder meist unerwünschte Nebenwirkungen bei der Übertragung und Nutzung elektrischer Energie, so werden hochfrequente elektromagnetische Felder in der Regel absichtlich erzeugt. Der größte technische Anwendungsbereich von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen ist die drahtlose Nachrichtenübertragung, also die Informationsübertragung durch Hörfunk und Fernsehen sowie Mobilfunk (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2002).

Abb. 1 Elektromagnetisches Spektrum

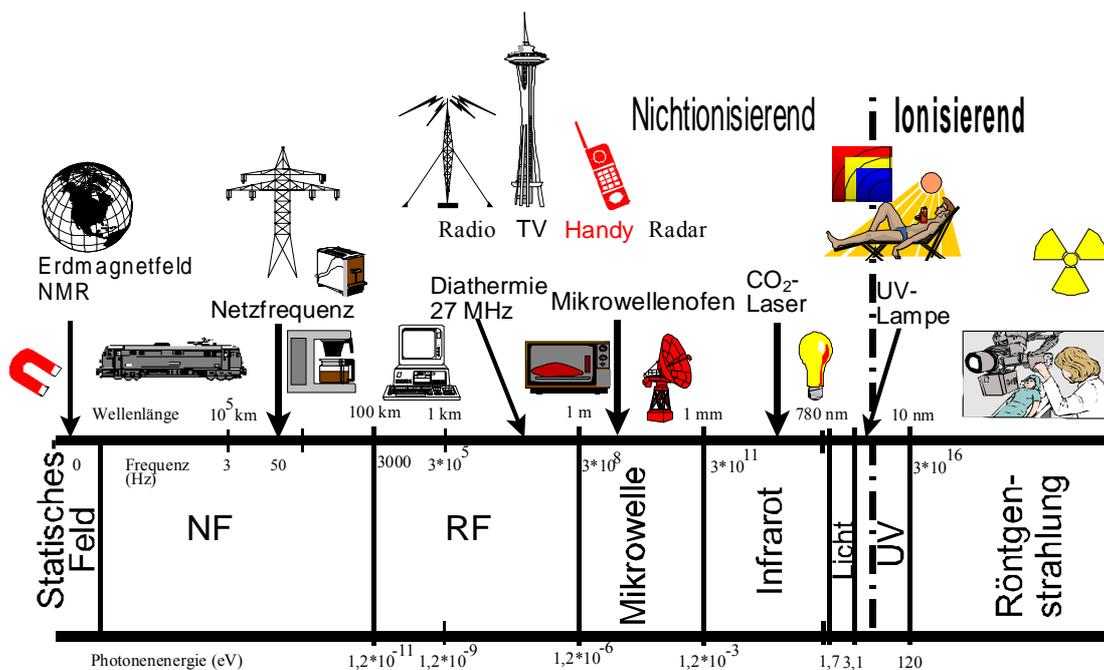


Abbildung 1 zeigt das gesamte elektromagnetische Spektrum und Beispiele von Anwendungsbereichen. Gegenstand der hier vorgestellten Studie zu „Kindlichen Leukämien“ sind die Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von hochfrequenten Sendestationen von Hörfunk und Fernsehen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Funksendeanlagen. Zum Vergleich werden auch die Basisdaten von Mobilfunkanlagen aufgeführt.

Tabelle 1 Funksendeanlagen mit Frequenzbereich und Leistung

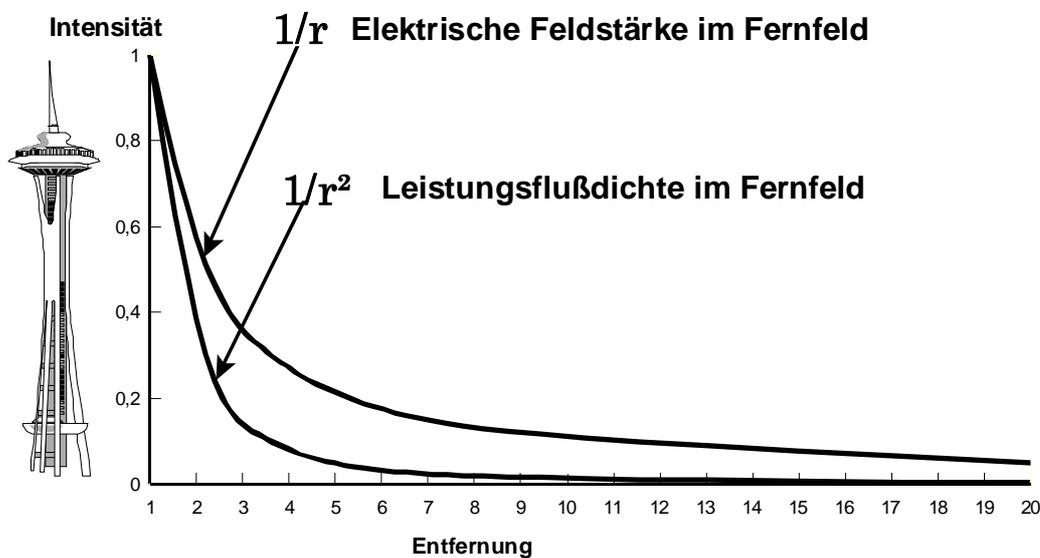
Anlage	Frequenz (MHz)	Trägerleistung (T) bzw. effektive Strahlungsleistung (E)
Rundfunksender (Langwelle)	0,15 – 0,29	bis 2000 kW (T)
Rundfunksender (Mittelwelle)	0,52 – 1,61	bis 1000 kW (T)
Rundfunksender (Kurzwellen) (z.B. Deutsche Welle)	2,3 – 26	bis 500 kW (T)
Fernsehsender (VHF I)	47 – 68	bis 100 kW (E)
Rundfunksender UKW (Ultrakurzwellen)	87 – 108	bis 100 kW (E) je Frequenz
Fernsehsender (VHF III)	174 – 230	bis 100 kW (E)
Fernsehsender (UHF)	470 – 790	bis 500 kW (E) je Kanal
Mobilfunk-Basisstation (D-Netz)	935 – 960	1,5 kW (E) je Kanal*
Mobilfunk-Basisstation (E-Netz)	1805 – 1880	1,5 kW (E) je Kanal*

UHF, Ultra High Frequency; VHF, Very High Frequency *Senderausgangsleistung 0,5 – 50 Watt pro Kanal
(Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2002, mündliche Auskunft H. Brüggemeyer)

Das Maß für die Stärke einer elektromagnetischen Welle ist die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Diese Größe beschreibt die Strahlungsleistung pro durchsetzter Flächeneinheit und ist gegeben durch das Produkt aus elektrischer Feldstärke und magnetischer Feldstärke. Im Fernfeld einer Antenne stehen die Leistungsflussdichte, die elektrische Feldstärke (V/m) und die magnetische Feldstärke (A/m) in einem festen

Verhältnis zueinander. Bei ungestörter Ausbreitung nimmt im Fernfeld die elektrische Feldstärke reziprok mit dem Abstand zum Sender ab: wenn sich der Abstand zum Sender verzehnfacht, beträgt die elektrische Feldstärke nur noch ein Zehntel des ursprünglichen Wertes. Die Leistungsflussdichte folgt einer reziprok-quadratischen Entfernungsabhängigkeit. Im zehnfachen Abstand zum Sender ist die Leistungsflussdichte bereits auf ein Hundertstel des Ausgangswertes abgefallen.

Abb. 2 Abnahme der Feldgrößen eines elektromagnetischen Wellenfeldes mit der Entfernung zur Quelle²



Durch das Auftreffen elektromagnetischer Felder auf Materie können sie zu einem gewissen Teil reflektiert und gestreut werden. Beim Durchgang durch Materie wird das Feld abgeschwächt (Dämpfung). Unter realen Ausbreitungsverhältnissen nehmen die Felder daher in der Regel noch deutlich stärker mit der Entfernung ab.

Die Stärke der Felder im Umfeld einer Antenne, die hochfrequente elektromagnetische Felder abstrahlt, ist nicht nur von der Stärke der Funkseanlage (Senderausgangsleistung) und von der Entfernung abhängig, sondern auch von der Abstrahlcharakteristik der Antenne. Diese wird in der Regel durch die Antennendiagramme (horizontal und vertikal) beschrieben. Antennen können die Abstrahlung in einem Raumbereich bündeln. Man spricht von Richtwirkung. Die Stärke der Bündelfähigkeit einer Antenne wird als Antennengewinn bezeichnet. Die von einer Antenne mit großer Richtwirkung in Richtung der stärksten Bündelung (Hauptstrahlrichtung) erzeugte Leistungsflussdichte ist bei gleicher Speiseleistung

² Entfernung r von der Quelle in relativen Einheiten

größer als die einer schwach bündelnden Antenne. Die alleinige Angabe der Senderausgangsleistung einer Anlage ist somit zur Beurteilung der von ihr erzeugten Leistungsflussdichte nicht hinreichend. So kann aufgrund schwächerer Bündelung ein 100kW-Sender im Umfeld des Senders in Bodennähe eine um den Faktor 10 höhere Exposition bewirken als eine gleichweit entfernte, stärker bündelnde 500kW-Sendeanlage.

Die Strahlungseigenschaften einer Sendeanlage können eindeutig beschrieben werden durch die Angabe ihrer „äquivalenten isotropen Strahlungsleistung“ [engl. „effective isotropic radiated power“ (EIRP)]. Die EIRP einer Sendeanlage ist diejenige Leistung, mit der man eine in alle Raumrichtungen gleichmäßig strahlende Antenne (einen Kugelstrahler) speisen müsste, damit sie die gleiche Leistungsflussdichte erzeugt wie die Sendeanlage in ihrer Hauptstrahlrichtung. Eine bündelnde Antenne benötigt zur Erzeugung einer bestimmten EIRP weniger Speiseleistung als der Kugelstrahler. Den Faktor, um den die Speiseleistung der bündelnden Antenne zu verringern ist, nennt man ihren Gewinnfaktor. (Beispiel: Eine bündelnde Antenne mit einem Gewinnfaktor von 20, die von einem 5 kW-Sender gespeist wird, erzeugt eine EIRP von 100 kW. Die gesamte abgestrahlte Leistung ist jedoch höchstens gleich der eingespeisten Leistung und beträgt daher wieder nur 5 kW.) Unter der ERP (effective radiated power) oder genauer der ERP(D) einer Sendeanlage versteht man die Leistung, mit der ein $\lambda/2$ -Dipol gespeist werden müsste, damit er senkrecht zu seiner Achse die gleiche Leistungsflussdichte erzeugt wie die Sendeanlage in ihrer Hauptstrahlrichtung. Für Mittelwellensender gilt als Maß die EMRP (Effective Monopole Radiated Power). Die Größe EIRP ist hier nicht sinnvoll, da die Strahlung nur in einem Halbraum erfolgt.

Begriffe:

Senderausgangsleistung:	Hochfrequenzleistung am Antennenausgang der Senderendstufe
Sende-/Senderleistung:	Verwendung manchmal synonym zu „Senderausgangsleistung“, manchmal synonym zu „Strahlungsleistung“
Strahlungsleistung:	äquivalente (d.h. gleiche Leistungsflussdichte erzeugende) Speiseleistung einer Vergleichsantenne (Kugelstrahler, Dipol, kurzer Monopol); die Strahlungsleistung ist im Fernfeld eine expositionsrelevante Größe
Trägerleistung:	Leistung der Trägerwelle am Senderausgang (Anwendung nur bei AM-Hörfunksendern); die Leistung des modulierten Gesamtsignals, das sich aus der Trägerwelle und den Modulationsseitenbändern zusammensetzt, hängt vom jeweiligen Modulationsinhalt ab und kann bis zum 1,5-fachen der Trägerleistung betragen

Zur Übertragung von Bild und Ton wird Information auf die elektromagnetische Welle aufgesetzt, ein Verfahren, das als Modulation bezeichnet wird. Beim analogen Rundfunk werden verwendet: die Amplitudenmodulation (AM) beim Hörfunk (Langwelle, Mittelwelle, Kurzwelle) und bei der Bildübertragung beim Fernsehen; die Frequenzmodulation beim UKW-Rundfunk und zur Tonübertragung beim Fernsehen sowie die Impulsmodulation zur Bildsynchronisation (ATV).

2.1 Expositionsverlauf in der Umgebung von Funksendeanlagen

2.1.1 UKW - und Fernsehsender

Die UKW- und Fernsehsender strahlen die elektromagnetischen Felder vertikal eng gebündelt als horizontaler Fächer ab. Da die Sendeantennen in der Regel auf hohen Masten oder Türmen montiert sind, muss die Abstrahlebene leicht nach unten geneigt sein, um den Versorgungsbereich optimal abzudecken. In der Folge ergibt sich dort, wo der Hauptstrahl den Boden trifft, ein Bereich maximaler Immission. Dieser Bereich befindet sich typischerweise in einem Abstand von einigen Kilometern vom Sendeturm. Die Immission am Boden ist also in der Nähe des Sendeturms zunächst gering, nimmt dann zu, erreicht nach einigen Kilometern ein Maximum und fällt dann mit weiter zunehmender Entfernung vom Sender erneut ab (NLGA 2002). Die Antennen von UKW- und Fernsehsendern befinden sich häufig auf einem gemeinsamen Mast, der zudem in der Nähe städtischer Gebiete stehen kann.

Bei UHF-Fernsehsendern durchläuft die Leistungsflussdichte mit zunehmender Distanz vom Sender mehrere Maxima und Minima, so dass nur eine geringe Korrelation zwischen Exposition und Distanz vorhanden ist. Dolk et al. (1997) stellten fest, dass die gemessenen Feldstärkewerte um den TV- und Radiosender Sutton Coldfield erst ab 6 km kontinuierlich mit der Distanz abnahmen. Näher zum Sender waren die Messwerte sehr variabel und unabhängig von der Distanz. Im Abstand von 10 km vom Sender betrug die Leistungsflussdichte rund ein Fünftel bis einem Zehntel des Maximalwertes, die Feldstärke demzufolge ungefähr die Hälfte bis ein Drittel (BUWAL 2003).

In Deutschland besteht seit einigen Jahren eine digitale terrestrische Hörfunkversorgung mit dem System DAB (Digital Audio Broadcast), im Band III weitgehend flächendeckend, im L-Band nur punktuell. Die Strahlungsleistung der einzelnen Sender, die in einem Abstand von etwa 60 km zueinander stehen, ist mit 1 kW deutlich geringer als beim herkömmlichen UKW-Rundfunk. Damit bleibt DAB in allen in der Studie zu betrachtenden Expositionsgebieten eine untergeordnete Expositionsquelle. Neben dem digitalen Hörfunk ist in einigen Regionen bereits die terrestrische Versorgung mit Fernsehprogrammen durch digitale Sender (DVB-T) eingerichtet. Die effektive Strahlungsleistung beträgt bis zu 100 kW pro Sendekanal. Der Beginn der DVB-T-Ausstrahlungen fällt jedoch nicht mehr in den Studienzeitraum.

2.1.2 AM³-Sender

Mittelwellensender sind häufig Solitäre und befinden sich in der Regel in ländlich strukturierten Gebieten.

Bei gleicher Strahlungsleistung können Sender im Mittelwellenbereich ein größeres Versorgungsgebiet abdecken als UKW- und Fernsehsender. Mittelwellensender strahlen dabei – im Gegensatz zu UKW- und Fernsehsendern – die elektromagnetischen Felder annähernd als Kugelwelle ab. Dabei liegt ausserhalb des oft eingezäunten Nahfeldbereiches eine im Wesentlichen monotone Abnahme der elektrischen und magnetischen Feldstärke mit der Entfernung vor. Ein Bereich mit niedrigen Immissionen in unmittelbarer Nähe der Sendeanlage ist nicht vorhanden (NLGA 2002).

³ AM = Amplituden-Modulation der Hörfunksender: betrachtet werden nachfolgend Mittelwellensender. Langwellensender des Militärs und Kurzwellensender werden nicht im Vorhaben berücksichtigt (vgl. Kap. 4.4)

2.2 Sendeleistung und Messwerte in der Umgebung von Funkanlagen

Die UKW-Sender arbeiten mit bis zu 100 kW, die Fernsehsender mit bis zu 500 kW ERP (Dipol). Ergänzend zum Grundnetz versorgen sog. Füllsender diejenigen kleinräumigen Gebiete, die durch die Grundnetzsender nicht erreicht werden können, wie es beispielsweise in einigen Tallagen der Fall ist. Die Strahlungsleistung der Füllsender beträgt nur einige Watt bis etwa 100 Watt. Mittelwellensender können Trägerleistungen bis zu 1000 kW aufweisen.

Brüggemeyer (1993) gibt für die typische Leistungsflussdichte eines UKW-Senders mit einer Strahlungsleistung von 100 kW in einem Abstand von etwa 1500 m einen Wert von unter 50 mW/m² an. Für einen Fernsehsender (Frequenzband von 470-890 MHz) mit einer Sendeleistung von 500 kW ergibt sich eine Leistungsflussdichte im Abstand von 1500 m von weniger als 5 mW/m². Die Leistungsflussdichte in Bodennähe eines Mittelwellensenders, der mit einer Trägerleistung von 200 kW sendet, beträgt in einem Abstand von 3000 m zum Sender etwa 2 mW/m² (NLGA 2002).

Tabelle 2 Beispiele typischer Expositionen

Quelle	Frequenz	Leistung	Abstand	Typische Werte
Mittelwelle	830 kHz	100 kW	100 m	10 V/m
		150 kW	3,2 km	0,8 V/m
UKW Rundfunk	87,5–108 MHz	30 kW	3 km	0,6 V/m
		100 kW	80 m	8 V/m
VHF-TV	47–68 MHz	25 kW	100 m	1 V/m
UHF-TV	470–890 MHz	100 kW	1 km	0,1 V/m
		300 kW	1 km	2 V/m

(Quelle: H. Brüggemeyer)

2.3 Grenzwerte und Richtwerte

In der Bundesrepublik ist zum Schutz der Allgemeinbevölkerung die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) erlassen worden, die jedoch für Hochfrequenzanlagen lediglich Grenzwerte für den Frequenzbereich oberhalb von 10 MHz spezifiziert. Die Festlegungen für diesen Bereich entsprechen nach Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK) den Richtlinien der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

Zusätzlich gilt in Deutschland die „Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV)“. Danach dürfen ortsfeste Sendeanlagen mit einer EIRP von 10 Watt und mehr nur betrieben werden, wenn durch die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) in einer sogenannten „Standortbescheinigung“ bestätigt ist, dass die Grenzwerte gem. 26. BImSchV sowie für den dort nicht geregelten Frequenzbereich die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates der Europäischen Union eingehalten werden. Die Referenzwerte der Ratsempfehlung beruhen ihrerseits wieder auf den ICNIRP-Richtlinien. Damit sind in Deutschland wesentliche Bestandteile des ICNIRP-Sicherheitskonzepts für alle Frequenzbereiche übernommen; gleichzeitig haben die Richtwerte der Ratsempfehlung zumindest für ortsfeste Sendeanlagen den Status von Grenzwerten erhalten.

Grundlage der Grenzwertempfehlungen von ICNIRP sind die wissenschaftlich gesicherten biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder. Bei Exposition unterhalb dieser Grenzwerte, in denen bereits ein deutlicher Sicherheitszuschlag enthalten ist, gibt es keine gesicherten Hinweise auf akute oder Langzeitwirkungen (SSK 2001). Daher wird davon ausgegangen, dass durch die BEMFV und die 26. BImSchV ein ausreichender Schutz der Allgemeinbevölkerung an allen relevanten Orten gewährleistet ist. Dazu trägt bei, dass bei der Umsetzung der Verordnungen konservative Ansätze zur Anwendung kommen (höchste betriebliche Anlagenauslastung, worst-case-Berechnungsverfahren, ausschließliche Verwendung sog. „abgeleiteter Werte“ als Grenzwerte).

Tabelle 3 Übersicht zu gesetzlichen Grenzwerten für hochfrequente elektromagnetische Felder bei Rundfunk- und Fernsehsendern

Quelle	Frequenz	Messabstand	Typ. Messwert zur Exposition	Grenzwert EU-Ratsempfehlung	Grenzwert (26. BImSchV)
Rundfunksender					
Mittelwelle	1,4 MHz	Bei Leistung 1,8 MW		73,5 V/m	/
		50 m	450 V/m		
		300 m	90 V/m	Richtwert ab 350 m eingehalten	
Kurzwellen	6-10 MHz	Bei Leistung 750 kW		27,5-36 V/m	/
		50 m	12,5 V/m		
		220 m	27,5 V/m	Richtwert ab 220 m eingehalten	
UKW	88-108 MHz	Bei Leistung ≤ 100 kW			
		Ca. 1,5 km	< 0,05 W/m ²	2 W/m ²	27,5 V/m
Fernsehsender					
VHF	174-216 MHz	Bei Leistung ≤ 300 kW		2 W/m ²	27,5 V/m
		Ca. 1,5 km	< 0,02 W/m ²		Grenzwert ab 150 m eingehalten
UHF	470-890 MHz	Bei Leistung ≤ 5 MW		2-4 W/m ²	30-41 V/m
		Ca. 1,5 km	< 0,005 W/m ²		Grenzwert ab 75 m eingehalten

(Quelle: BfS Informationsbroschüre „Strahlenthemen“ 2002)

3 Zeitplan und Aufgabenbeschreibung

Das Vorhaben „Kindliche Leukämien und Expositionen in der Umgebung von hochfrequenten Sendestationen (KiSS)“ umfaßt eine Gesamtlaufrzeit von 24 Monaten. Projektbeginn war der 1. März 2005. Tabelle 4 gibt einen Überblick zum Zeitplan. Für die Hauptphase der KiSS-Studie kann auf Erfahrungen einer ebenfalls am IMBEI durchgeführten Studie zu Kinderkrebs und Kernkraftwerken (KiKK) mit analogem Design zurückgegriffen werden. Im Rahmen dieser Studie waren knapp 10.000 Kontrollen (1:6 Matching) aus rund 1100 Gemeinden zu beschaffen. Die Kontrollbeschaffung in der KiKK-Studie erforderte ca. 1 Zeitjahr (bei im Vergleich zu KiSS höherem Personalbestand). Aus diesem Grunde wurde der im ursprünglichen Projektplan vorgesehene Zeitraum für die Feldphase von 8 Monaten auf 12 Monate erweitert.

Tabelle 4 Zeitplan der Studie

Monat	Aufgaben		Experten-Sitzungen	Berichte	
1 (März'05)	Entwicklung des Studiendesigns				
2					
3					
4					
5					
6		Pilotphase: Test der Instrumentarien			
7					
8		Präsentation Design			
(Nov.'05) 9				Bericht Pilotphase	
10	Vorbereitung Feldphase				
11					
12	Feldphase				
13					
14					
15				Zwischen-bericht	
16					
17					
18					
19					
20			Auswertung		
21					
22					
23					
24 (Febr'07)			Präsentation Ergebnisse	Abschluss-bericht	

Nachfolgend sind die Aufgaben der 8monatigen Pilotphase aufgeführt.

- 1 Formulierung der Hauptfragestellungen
- 2 Festlegung des Studienzeitraumes und des Studiendesigns
- 3 Definition der Zielerkrankung und der Studienpopulation
- 4 Identifikation der Feldquellen
- 5 Festlegung des Studiengebietes
- 6 Geocodierung der Expositionspunktquellen und Gemeindeauswahl
- 7 Ermittlung der Bevölkerungsdaten im Studiengebiet
- 8 Identifikation der Fälle im Studiengebiet
- 9 Festlegung der Kontrollgruppe: Matching- und Einschlusskriterien
- 10 Entwicklung von Instrumentarien zur Expositionsabschätzung
- 11 Identifikation der Störgrößen
- 12 Berechnung der erreichbaren statistischen Power
- 13 Formulierung des Studiendesigns

Nicht zu den Aufgaben der Pilotphase gehören:

- 14 Kontaktaufnahme mit den Meldeämtern
- 15 Vervollständigung der Falladressen
- 16 Validierungsstudie zur Expositionsschätzung
- 17 Festlegung der Analyse bzw. Auswertestrategie

4 Ergebnisse der Pilotphase

4.1 Formulierung der Hauptfragestellungen

- 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 binäre Variable ist, d.h. dass das Risiko von exponierten Kindern mit dem Risiko von schwach-exponierten Kindern verglichen wird)
- Läßt sich eine Abhängigkeit zwischen dem Erkrankungsrisiko und den geschätzten Feldstärken zeigen? (Statistische Nullhypothese $\beta = 0$, im Regressionsmodell, wobei ein linearer Zusammenhang zwischen der Feldstärke und dem Erkrankungsrisiko modelliert wird)
- Gibt es unterschiedliche Risiken der verschiedenen Sendertypen in Abhängigkeit von spezifischen Expositionscharakteristiken? (Statistische Nullhypothese $OR (AM\text{-Sender}) = OR (UKW/TV\text{-Sender})$ bzw. $OR (AM\text{-Sender}) = OR (UKW\text{-Sender}) = OR (TV\text{-Sender})$)
- Läßt sich eine säkulare Entwicklung in der Expositionssituation und der Erkrankungshäufigkeit feststellen?
(Statistische Nullhypothese $OR (<=1992) = OR (>1992)$)

4.2 Festlegung des Studiendesigns und des Studienzeitraumes

Die jährliche Inzidenz für maligne Erkrankungen bei Kindern in Deutschland beträgt 14/100.000. Häufigste Erkrankungsgruppen sind die Leukämien mit 33,8% und einer Inzidenz von 4,7/100.000. 82,5% der Leukämien sind akute lymphatische (ALL) und 15,1% sind akute myeloische Leukämien (Kaatsch et al. 2004).

Für eine prospektive Erfassung z.B. von nur 28 neuerkrankten Patienten im Kohortendesign wäre dafür bei einer Studiendauer von zwei Jahren die Beobachtung von 100.000 Personen erforderlich. Schon aus diesem Grunde kann eine Kohortenstudie nicht durchgeführt werden. Ein Fall-Kontroll-Design (mit adäquaten Fallzahlen) wird als das für die Beantwortung der Fragestellungen effizienteste Verfahren gewählt. Die mit dem Fall-Kontroll-Design verbundene retrospektive Expositionserfassung ergibt sich auch aus der Notwendigkeit, dass der Anteil der Mobilfunkexpositionen an der Gesamtexposition gering sein sollte und zurückliegende Zeiträume erfasst werden müssen. Auch gibt die Umstellung von analoger auf digitale Rundfunktechnik ein retrospektives Design vor.

Das Vorhaben „Kindliche Leukämien in der Umgebung hochfrequenter Sendestationen (KiSS)“ wird als Fall-Kontroll Studie ohne Befragungsteil durchgeführt. Für alle Adressen (Fälle und Kontrollen) ist eine Expositionsabschätzung durchzuführen, in die der Abstand zur Sendeanlage über die Geocodierung der Adressen einfließen wird sowie die retrospektiv geschätzte Exposition unter Zugrundelegung der tatsächlichen Strahlungsleistung. Das Projekt sieht darüberhinaus die Durchführung von konkreten Feldmessungen vor zur Validierung der berechneten Exposition.

Der **Diagnosezeitraum**, innerhalb dessen alle Neuerkrankungen berücksichtigt werden, wird festgelegt auf den Zeitraum von 1984 bis einschließlich 2003. Der frühest mögliche Termin zur Festlegung des Studienzeitraumes ist der Beginn der Registrierung von Krebsfällen im Deutschen Kinderkrebsregister im Jahr 1980 für die alten Bundesländer. Ab 1984 waren die interessierenden Leukämieerkrankungen vollzählig erfasst (Kaatsch et al. 1995). Für die neuen Bundesländer wäre der in diesem Sinne frühest mögliche Studienbeginn das Jahr 1992.

Unter Berücksichtigung einer Latenzzeit zwischen Exposition und Erkrankung von ca. zwei Jahren wird der zu berücksichtigende **Expositionszeitraum** festgelegt auf den Zeitraum von 1982 bis einschließlich 2003. Als Standard wird die Exposition bezüglich eines 2jährigen Zeitraumes vor dem Diagnosedatum festgelegt unter der Annahme, dass das Kind in den letzten 2 Jahren dort gewohnt hat. In Abhängigkeit von der Machbarkeit ist zu prüfen, ob über die Einwohnermeldeämter die Wohnhistorie recherchiert und berücksichtigt werden kann.

Von 1982 bis Anfang der 90iger Jahre haben Expositionen durch das Handy, Mobilfunk-Basisstationen und Schnurlostelefone keine maßgebliche Rolle gespielt. Mit der Einführung des digitalen D-Netzes im Jahre 1992 und des E-Netzes 1994 begann der Ausbau der Basisstationen. Bei Überlegungen zu relevanten Expositionszeitfenstern ist zudem zu berücksichtigen, dass mit der deutschen Wiedervereinigung 1989 die Leistung von Funksendeanlagen in den Folgejahren an zahlreichen Standorten reduziert wurden (*Recherche in Unterlagen des Deutschen Rundfunkarchivs, Wittsmoorliste und mündliche Mitteilungen⁴ der Betreiber*). Von daher ist davon auszugehen, dass sich die Expositionszeiträume „vor 1992“ und „nach 1992“ unterscheiden.

Überblick:

Studienzeitraum, gesamt:	1982 – 2003
Diagnosezeitraum:	1984 – 2003
Expositionszeitraum:	1982 – 2003
⇒ expositionsrelevante Zeitfenster:	1982 – 1992 1993 – 2003

⁴ Für nachfolgend als „mündliche Mitteilungen“ gekennzeichnete Quellen können die Namen der Ansprechpartner im IMBEI eingeholt werden

4.3 Definition der Zielerkrankung und der Studienpopulation

Zur Studienpopulation gehören alle im Diagnosezeitraum aufgetretenen Fälle bzw. gesunde Kontrollkinder, die im Umkreis um die auszuwählenden Sender leben bzw. gelebt haben. Als „Fälle“ werden alle Kinder zwischen 0-14 Jahren definiert, die im Diagnosezeitraum von 1984 bis 2003 an einer primären Leukämie (ICD C91-C95) erkrankt und dem Deutschen Kinderkrebsregister bekannt sind. Kontrollkinder müssen zum Zeitpunkt der Diagnosestellung des Fallkinds im analogen Lebensalter gewesen sein. Der Wohnort des Kontrollkinds muss in einer Gemeinde liegen, die zur Senderregion des Fallkinds gehört.

Gemäß der Internationalen Klassifikation der Krebserkrankungen bei Kindern (ICCC-3) werden folgende Klassifikationen betrachtet:

ICCC 11	Lymphoid leukaemias
ICCC 12	Acute myeloid leukaemias
ICCC 13	Chronic myeloproliferative diseases
ICCC 14	Myelodysplastic syndrome and other myeloproliferative diseases
ICCC 15	unspecified and other specified leukaemias

In der Auswertung wird die akute lymphatische Leukämie separat betrachtet, da diese Erkrankung mit 82,5% die häufigste Leukämieform bei Kindern darstellt (Kaatsch et al. 2004) und sich hinsichtlich der Ätiologie von den anderen Leukämieformen unterscheidet (Lightfoot 2005). Zudem werden Kinder im Alter von 0 bis 5 Jahren in der Analyse als eigene Gruppe untersucht, da sich Kinder dieses Alters mit höherer Wahrscheinlichkeit kontinuierlich in der Nähe der Wohnung aufhalten. Details werden in einem Auswertepan festgelegt, der parallel zur Datenerhebung erstellt wird.

4.4 Identifikation der Feldquellen

4.4.1 Stationäre Hörfunk- und Fernsehanlagen: Situation in Deutschland

Der verbreitete Einsatz von Funkwellen zur Nachrichtenübertragung begann bereits Anfang des 20. Jahrhunderts durch den Hörfunk und anschließend durch das Fernsehen. Die flächendeckende Versorgung der Bevölkerung erfolgt durch wenige starke Sendeanlagen. Diese Sender versorgen große Gebiete im Umkreis bis zu einigen 100 Kilometern (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2002). Insgesamt gibt es in Deutschland ca. 2700 Sendeanlagen von Rundfunk und Fernsehen. Da in der Regel an einem Standort mehrere Sendeanlagen installiert sind, ist die Anzahl der regionalen Standorte mit Hörfunk- und Fernsehsendern wesentlich geringer.

Tabelle 5 Anzahl der Hörfunk- und Fernsehsendeanlagen in Deutschland (Stand 2004)

Sendeanlage	Anzahl ⁵
Fernsehsender (Grundnetzsender)	263
UKW-Sender	2365
Mittelwellensender	54
Langwellensender	4
Kurzwellensender	51

(mündliche Auskunft, Rundfunkarchiv, 11.10.2005)

4.4.2 Auswahl der Funksendeanlagen für die KiSS-Studie

Schritt 1: Vorläufige Auswahl

Die vorläufige Leistungsvorgabe des BfS lautete, „bundesweit alle Sendemasten mit einer Strahlungsleistung von mindestens 200 kW (ERP) für Rundfunksender bzw. 500 kW (ERP) für Fernsehsender zu ermitteln“. Mit Hilfe der im Deutschen Rundfunkarchiv (Wiesbaden) einseharen Wittsmoorliste⁶, in der retrospektiv Informationen über Sendeeinrichtungen und Sendeleistungen dokumentiert sind, erfolgte eine erste Senderauswahl. Für den Expositionszeitraum von 1982-2003 wurden bundesweit alle Sendeanlagen ausgewählt, die das Kriterium 200 kW (ERP) bzw. 500 kW (ERP) erfüllten. Da es sich nur um eine vorläufige Übersicht handelte, wurden die das Expositionskriterium erfüllenden Standorte in 3-

⁵ Anzahl genutzter Frequenzen

⁶ Hörfunk- und Fernsehsender in Deutschland, Hrsg: Norddeutscher Rundfunk / Abt. Sendertechnik/Wittsmoor/Hamburg

Jahresschritten zusammengestellt (Anlage 1). UKW-Sender waren nicht Gegenstand der ersten Recherche. Insgesamt wurden bundesweit 42 Fernsehsender und 30 AM-Hörfunksender identifiziert. Von diesen sind ca. 30% den ostdeutschen Bundesländern zuzuordnen.

Schritt 2: Ausschluss ostdeutscher Gebiete

Die Nichtberücksichtigung von Sendeanlagen in ostdeutschen Gebieten ist damit zu begründen, dass sich seit 1989 in Ostdeutschland bedingt durch die Gemeindereform die Gemeindegrenzen und Gemeindekennziffern mehrfach geändert. Dies erschwert die Ermittlung der Bevölkerungsdaten in diesen Bundesländern. Aufwändige historische Recherchen bei den zuständigen statistischen Landesämtern wären erforderlich, was den avisierten Zeitrahmen der KiSS-Studie sprengen würde. Zudem kann die Repräsentativität historisch gezogener Kontrolladressen aus Ostdeutschland angezweifelt werden. Maßgeblich für den Ausschluss von Ostdeutschland als Studiengebiet sind zudem die als gering angesehenen Erfolgsaussichten einer retrospektiven Expositionserfassung bzw. einer rückwirkenden Recherche von Betriebszuständen in ostdeutschen Sendeanlagen (mündliche Auskunft T-Systems-International). Für den Standort Berlin gilt, dass die Expositionserfassung die Sendeeinrichtungen beider Stadtteile berücksichtigen muss. Da dies für Ostberlin retrospektiv nicht zuverlässig genug machbar ist, wird auch Westberlin aus dem Studiengebiet ausgeschlossen.

Schritt 3: Ausschluss bevölkerungsarmer Gebiete

Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Kosten sowie des zeitlichen Aufwandes zur Rekrutierung der Kontrollkinder und der Erhebung relevanter Expositionsdaten wurden weitere Funksendeanlagen ausgeschlossen. Bevölkerungarme Standorte mit weniger als 10 erwarteten Leukämie-Fällen wurden ausgeschlossen: Sender Büttelberg (Bayern), Sender Eiderstedt (Schleswig-Holstein), Sender Haardtkopf (Rheinland Pfalz), Sender Hoehbeck (Niedersachsen), Sender Hof (Bayern).

Schritt 4: Ausschluss Kurzwellensender

Nach Rücksprache mit Vertretern von ARD und T-Systems wurden aus der vorläufigen Liste der Hörfunk-Sender die Standorte Jülich und Wertachtal ausgeschlossen, da es sich hier um Kurzwellensender mit halbjährlich wechselnder Frequenz- und Sendepläne handelt, was eine verlässliche Expositionsabschätzung nahezu unmöglich macht (mündliche Auskunft der Betreiber).

Schritt 5: Berücksichtigung von UKW-Standorten

Aufgrund der schwächeren Bündelung der Antennen kann ein 100 kW UKW-Sender im Nahbereich am Boden eine höhere Exposition bewirken als ein 500 kW (UHF)-Sender. Ausbreitungsbedingt sind die UKW-Antennen auch unterhalb der VHF und diese wiederum unterhalb der UHF-Antennen angeordnet. Aus diesem Grunde wurde die Liste möglicher relevanter Sender um UKW-Sender mit Standort in Westdeutschland ergänzt. Zudem befinden sich auf einem Sendemast in der Regel mehrere UKW- und TV-Antennen, die in der Expositionsschätzung für den betrachteten Standort gemeinsam berücksichtigt werden müssen.

Schritt 6: Einschlusskriterien für UKW / TV-Sender

Für das Studiengebiet sollen ausschließlich solche Standorte in Betracht kommen, die über eine Strahlungsleistung von mind. 200 kW (ERP Summe) verfügen. Da UKW- und TV-Sender häufig die gleiche Standortinfrastruktur nutzen, werden im Zuge der Auswahl der UKW-Sender bereits etliche TV-Sender mitausgewählt. Inwiefern darüber hinaus weitere TV-Sender – speziell unter dem Gesichtspunkt der separaten Untersuchung der Wirkung der „gepulsten“ TV-Modulation – zu berücksichtigen sind, muss noch untersucht werden.

- Insgesamt 34 UKW-Sender mit Standort in Westdeutschland wurden identifiziert;
- Zum 14. November lagen für 19 Standorte Informationen zu expositionsrelevanten, nach ITU Rec 1546 berechneten Radien vor (vgl. Kap. 4.5.1);
- Der Bezugsradius zur Gemeindeauswahl sollte eine 20km-Distanz zum Sender nicht überschreiten.
- Die Abweichung zwischen berechnetem Radius und der 20 km - Grenze sollte nicht größer als 10 km sein.
- Mit diesen Vorgaben wurden 8 UKW / TV – Sender ausgewählt. Bei diesen handelt es sich in der Mehrzahl um Sender des SWR aus dem Raum Baden-Württemberg. Der Vorteil dieser Auswahl ist darin zu sehen, dass (a) eine retrospektive Expositionsschätzung als realistisch eingestuft werden kann und (b) die Ziehung von Kontrollen über das zentrale Rechenzentrum Baden-Württembergs erfolgen kann.
- Bei Vorliegen aller Radien soll die Liste erneut geprüft werden. Wichtigstes Kriterium ist die Machbarkeit der Expositionsschätzung.

Für den betrachteten Expositionszeitraum ist für jede Sendeeinrichtung zu prüfen, ob sie für den gesamten Studienzeitraum oder nur partiell relevant ist.

Schritt 7: Einschlusskriterium für AM-Sender

Für die amplitudenmodulierten Sendeanlagen des Rundfunks (hier: Mittelwellensender) empfiehlt sich eine gesonderte, von TV- und UKW-Sendern unabhängige Betrachtung, weil

(a) ihre Leistung nicht in EIRP oder ERPD angegeben wird, was die Vergleichbarkeit mit VHF- und UHF-Sendern erschwert, (b) die Trägerleistung mit bis zu 2 Megawatt hoch ist und (c) der räumliche Expositionsverlauf um die Sendeantenne eigene Spezifika aufweist. Im näheren Umkreis von Mittelwellensendern besteht eine vergleichsweise hohe Feldstärke mit im wesentlichen monotonen Expositionsabfall bei zunehmender Distanz zur Feldquelle. Demgegenüber sind Radio- und Fernsehsender durch einen komplexen Feldstärkeverlauf gekennzeichnet. Das Expositionsmaximum muss hier unter Zugrundelegung der Abstrahlcharakteristiken der Antenne berechnet werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass Mittelwellensender solitäre Anlagen sind, während UKW und Fernsehsender häufig gemeinsam auf einem Mast installiert werden und in der Expositionsrechnung additiv zu berücksichtigen sind.

Für das Studiengebiet sollen ausschließlich solche AM-Sender in Betracht kommen, die über eine (jemalige) Trägerleistung von mind. 200 kW verfügen. Hierbei ist die Kontinuität der Sendeleistung über den interessierenden Expositionszeitraum 1982-2003 zu prüfen;

Ausgeschlossen wurden weiterhin Sender ausländischer Betreiber (München-Ismaning).

4.4.3 Senderauswahl

Unter Berücksichtigung der vorstehend genannten Kriterien und expositionsspezifischen Überlegungen ergibt sich für die Senderauswahl folgendes Bild:

AM-Sender des Studiengebietes:

- ▶ 16 AM-Sender

UKW-Sender des Studiengebietes:

- ▶ 8 UKW- Sender (Stand 14. November 2005)

Eine Übersicht zu allen Standorten mit ihren Kenndaten findet sich in Anlage 2.

4.5 Festlegung des Studiengebietes

Erste Überlegungen sahen vor, um jede ausgewählte Sendeeinrichtung zur Festlegung der Studienregion einen 10 km Radius zu legen, mit dem Ziel alle Gemeinden in die Studienregion einzubeziehen, deren Gemeindegrenzen diesen Radius mit mindestens einem Drittel ihrer Fläche tangieren. Allerdings wurde dieser theoretische Ansatz im Rahmen der Pilotphase modifiziert.

4.5.1 UKW- und TV-Sender

Modellrechnungen für UKW-Sender im Raum Stuttgart ergaben folgendes Bild: in einem 30 km - Radius wurden die minimal und maximal auftretenden Feldstärken geschätzt. Unter Berücksichtigung topografischer Gegebenheiten kann von einer Schwankungsbreite zwischen 45 und 125 dB($\mu\text{V/m}$)⁷ ausgegangen werden. Eine vergleichbare Schwankungsbreite der Feldstärken kann auch für TV-Sender vorausgesetzt werden. Außerhalb eines 30 km-Radius werden andere Sendegebiete tangiert. Auch im 20 km-Radius wird ein realistisches Expositionsspektrum abgebildet (Abbildungen 3 und 4).

Zur Festlegung des Studiengebietes wird unter Zugrundelegung betriebsspezifischer Expositionsdaten für jeden UKW-Sender der theoretische 90 dB($\mu\text{V/m}$)-Radius ermittelt (geschätzt). Darin ist die höher exponierte Bevölkerung sicher eingeschlossen. Niedriger exponierte Bevölkerung (realistisch sind Werte bis hinab zu ca. 50 dB($\mu\text{V/m}$) mit relevanter Häufigkeit zu erwarten) ist darin z.T. ebenfalls enthalten, da bei der Berechnung des Radius stets vorhandene Abschattungseffekte nicht berücksichtigt sind, und da letztlich auch die Gemeindeflächen berücksichtigt werden, die in diesen Radius nur hineinragen. Als maximale Obergrenze der ermittelten Radien wird die 20 km-Grenze festgelegt.

Für die so definierte Senderregionen sind die zugehörigen Gemeinden und Bevölkerungszahlen zu ermitteln. Es sollen alle Gemeinden einbezogen werden, die den festgelegten Radius tangieren und zwar unabhängig vom Flächenanteil. Die damit verbundene Ausdehnung des „randständigen“ Studiengebietes stellt sicher, dass in genügender Anzahl schwach-exponierte Personen berücksichtigt werden.

⁷ dB($\mu\text{V/m}$) = 20 *log (E/1 $\mu\text{V/m}$); 1 V/m entsprechen 120 dB($\mu\text{V/m}$)

Abb. 3 Verteilung von Expositionsclassen und Gesamtbevölkerung im 30km-Radius um den UKW-Sender Stuttgart-Degerloch

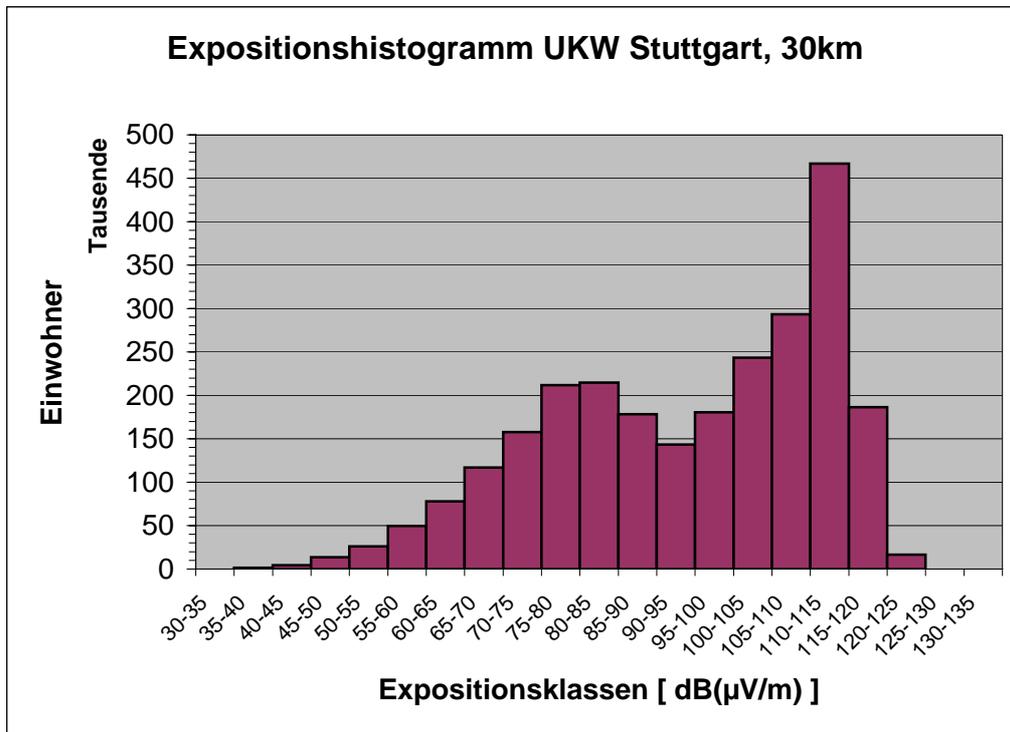
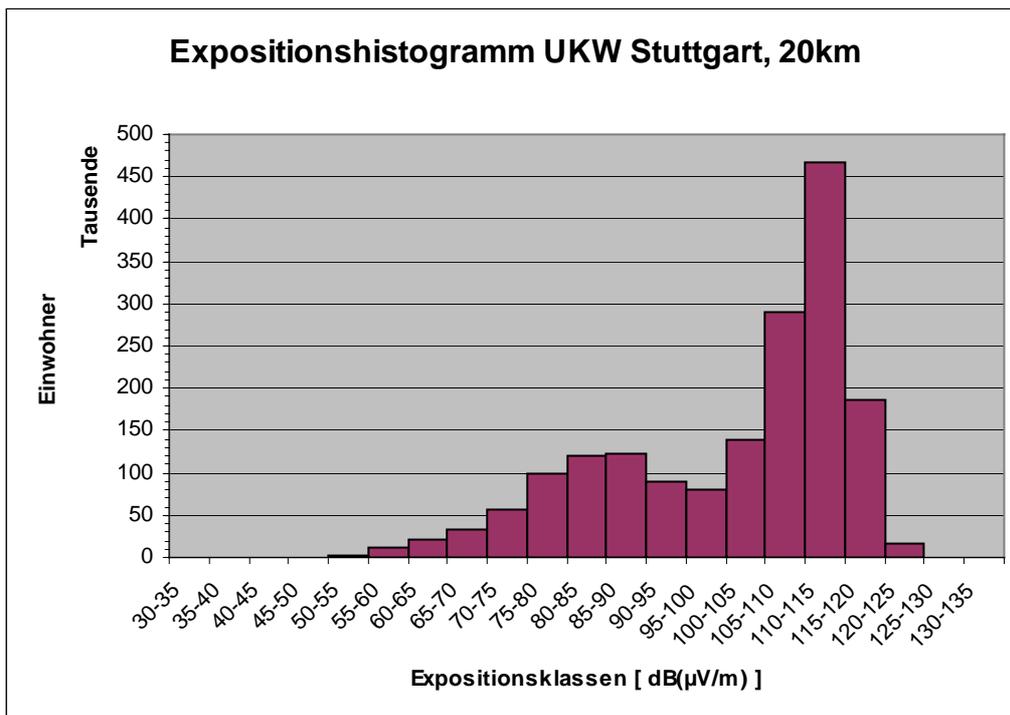


Abb. 4 Verteilung von Expositionsclassen und Gesamtbevölkerung im 20km-Radius um den UKW-Sender Stuttgart-Degerloch



4.5.2 AM-Sender

Die Validierungsmessungen im näheren Umkreis des AM Senders Mühlackers des Südwestfunks (vgl. Kap. 4.10.2) ergaben eine Spannbreite der Feldstärke von 70 bis 130 dB(μ V/m). Bis zu einem Radius von 5 km kann eine Feldstärke von mehr als 1V/m vorausgesetzt werden, was a priori als „hohe Exposition“ eingestuft wird. Eine Feldstärke von 1 V/m liegt über den Werten, wie sie üblicherweise beim Mobilfunk gemessen werden und dürfte sich somit von der Hintergrundexposition unterscheiden. Fraglich ist zur Zeit, ab welchem Radius von einer minimalen Exposition von ca. $<0,1$ V/m ausgegangen werden kann: wird der Radius zu großräumig angesetzt, kommt es zur Überlappung mit anderen Sendegebieten, was wiederum die angestrebte separate Betrachtung von AM-Sendern erschweren dürfte. Eine Klärung wird der Abschluss der im Rahmen des Projektes durchgeführten Messreihen ergeben.

Zur Festlegung des Studiengebietes wird unter Zugrundelegung betriebsspezifischer Expositionsdaten für jeden AM-Sender der 1 V/m (120 dB(μ V/m)) - Radius bestimmt. Schätzungen zur Bestimmung des theoretischen 1V/m-Radius ergaben Schwankungen von 3,6 km bis 10,5 km. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass AM-Sender in der Regel in ländlichen Gebieten stehen, soll zur Festlegung der Senderregion der theoretische 1V/m-Radius verdoppelt werden. Die maximale Obergrenze des Radius sei 20km. Mit diesem Vorgehen wird sichergestellt in genügender Anzahl Kontrollkinder rekrutieren zu können. Für die festgelegten Senderregionen sind die zugehörigen Gemeinden und Bevölkerungszahlen zu ermitteln. Es sollen alle Gemeinden einbezogen werden, die den festgelegten Radius tangieren und zwar unabhängig vom Flächenanteil.

Tabelle 6 Umrechnung von Einheiten

mV/m	V/m	dB(μ V/m)
1000	1	120
500	0,5	114
100	0,1	100
50	0,05	94
31	0,031	90
10	0,01	80
5	0,005	74
1	0,001	60
0,5	0.0005	54
0,1	0,0001	40

Ergänzend zu diesem Kapitel sei auf Messungen von Mobilfunksignalen verwiesen: bei an 9 Messpunkten in Mainz ermittelten Mobilfunksignalen wurde eine Schwankungsbreite zwischen 0,108 V/m und 0,479 V/m detektiert (Schüz 2004). Der Anteil des Mobilfunks an der Gesamtexposition wird im Rahmen der in Kap. 4.2 spezifizierten Zeitfenster berücksichtigt.

4.6 Geokodierung der Expositionspunktquellen und Gemeindeauswahl

Die Geokodierung der Sendestandorte basiert auf den geographischen Koordinaten, die für die jeweiligen Standorte in Grad und Minuten vorlagen. Sie wurden mit Hilfe des Programms „TRANSDAT“, entwickelt von der Firma „C. Killet Softwareentwicklung GbR“, in Gauß-Krüger Koordinaten transformiert (<http://www.killetsoft.de>). Es wurde für die Transformation der dritte Meridianstreifen ausgewählt, da er flächenmäßig den größten Anteil Westdeutschlands abdeckt. Durch die Verwendung metrischer Einheiten zur Koordinatenbildung kann der Abstand zweier Punkte zueinander ohne weiteren Aufwand direkt mit Hilfe des Satzes von Pythagoras aus den Gauß-Krüger Koordinaten berechnet werden, sofern sie sich im gleichen Meridianstreifen befinden. Ist dies nicht der Fall, müssen sie in den gleichen Meridianstreifen transformiert werden. Hierfür wurde ebenfalls auf „TRANSDAT“ zurückgegriffen. Die transformierten Gauß-Krüger Koordinaten wurden mit denen des Onlineservice des Geodatenzentrums des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) (<http://www.geodatenzentrum.de>) stichprobenartig verifiziert.

4.6.1 Gemeindeauswahl

Abb. 5: Sender Aalen

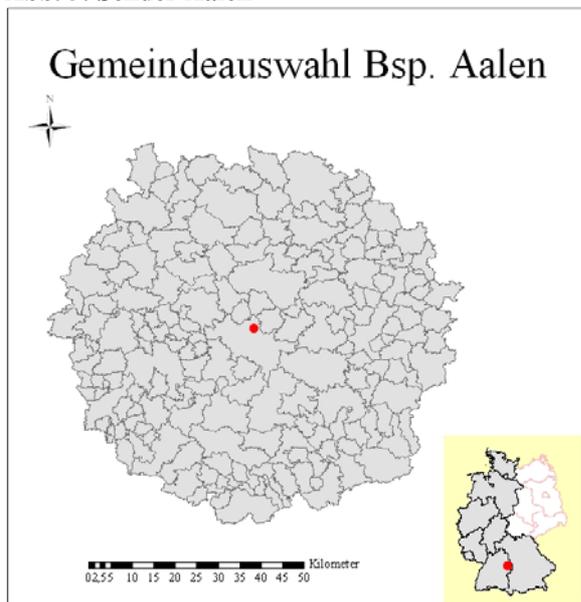
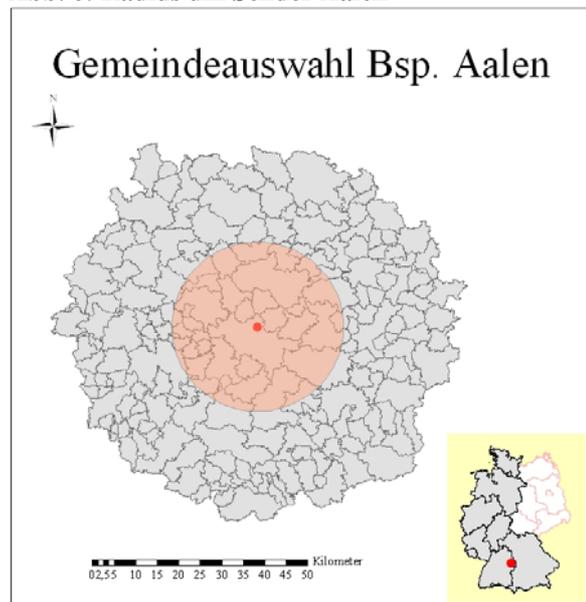


Abb. 6: Radius um Sender Aalen



Die Gemeindeauswahl für die in der KiSS-Studie untersuchten Sendestandorte basiert auf den Bezugsradien (vgl. Kap. 4.5) um jede Sendestation, die in ArcGIS eingelesen wurden. Das Vorgehen bei der Gemeindeauswahl wird nachfolgend am Beispiel des Sendestandorts Aalen verdeutlicht (Abb. 5). Über den Sender wird der festgelegte Radius gelegt (Abb. 6). Sämtliche Gemeinden, deren Gemarkung mit einem beliebigen Flächenanteil innerhalb des für jede Funksendeanlage speziell definierten Bezugsradius liegt, werden selektiert (Abb. 7). Die so

bestimmten Gemeinden werden abschließend jedem Sender zugeordnet (Abb. 8). Anschließend kann für die so erhaltenen Gemeinden die Bevölkerung bestimmt werden.

Abb. 7: Gemeindeselektion

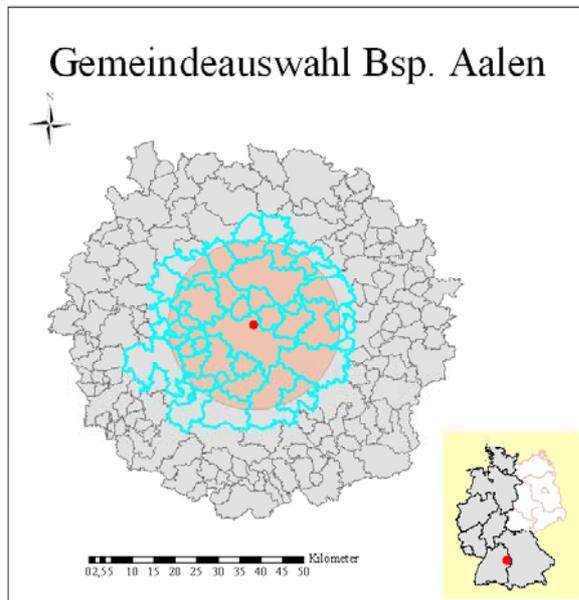
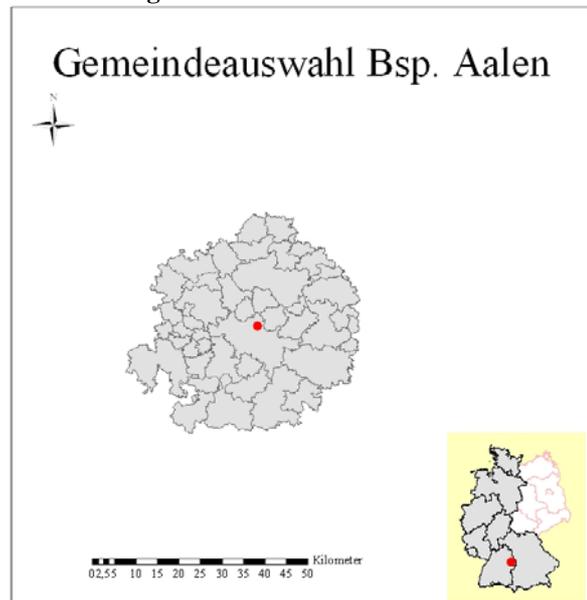


Abb. 8: Ausgewählte Gemeinden

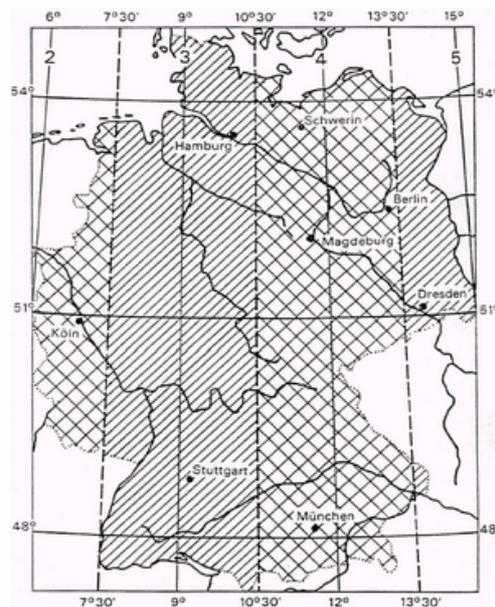


4.6.2 Gauß-Krüger Projektion

Die winkeltreue (konforme) Gauß-Krüger Projektion unterteilt die Erde in 3 Grad breite „Meridianstreifen“, die wiederum von einem „Mittelmeridian“ geteilt werden, der senkrecht auf dem Äquator steht. Die nicht zu vermeidende kartographische Verzerrung nimmt vom Mittelmeridian (hier gibt es keine Verzerrung) zu den Rändern eines Meridianstreifens hin zu. Dennoch beträgt sie in einer Entfernung von 100 km zum Mittelmeridian auf einer Strecke von 1 km lediglich 12 cm (Kahmen 1986).

Gauß-Krüger Koordinaten bestehen aus einem siebenstelligen Rechtswert und einem siebenstelligen Hochwert. Der Rechtswert ist der senkrechte Abstand zum Mittelmeridian eines Meridianstreifens in Metern. Um negative Angaben zu vermeiden, geht man von der Basiszahl 500.000 aus. Liegt ein Punkt westlich des Mittelmeridians wird der Abstand von der Basiszahl subtrahiert, befindet sich der Punkt östlich, wird die Entfernung addiert. Um die siebenstellige Darstellung zu erreichen, wird diesem Wert die Kennziffer der Meridianstreifens vorangestellt. So befindet sich der Punkt mit dem Rechtswert 3525789 im dritten Meridianstreifen 25.789 m östlich des Mittelmeridians. Der Hochwert gibt den senkrechten Abstand zum Äquator in Metern an. Danach liegt ein Punkt, der den Hochwert 5678912 aufweist, 5.678.912 m, bzw. 5.678,912 km nördlich des Äquators.

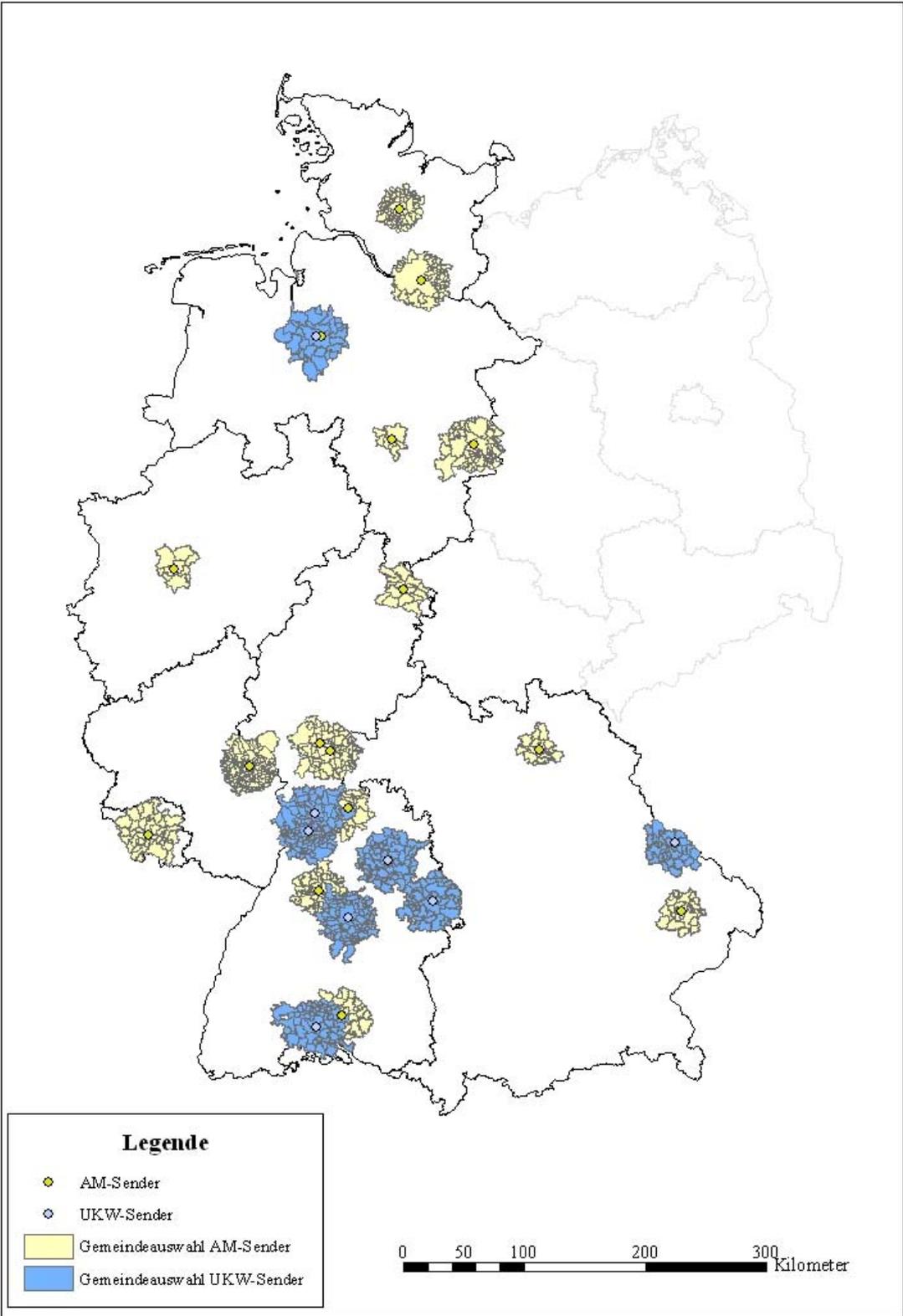
Abb. 9: Meridianstreifenübersicht BRD



Quelle: <http://www.xenia-rendtel.de/Studium/Examen/Bilder/brd.png> (Stand: 23.08.2005, 16 h)

Nachfolgend findet sich eine kartographische Abbildungen aller ausgewählten Standorte (Abbildung 10). Das Studiengebiet für die AM-Sender umfasst eine Fläche von ca. 217.576 qkm, das Studiengebiet für die UKW / TV – Sender von ca. 19.387 qkm.

Abb. 10 Übersicht zu Standorten der AM-Sender und UKW / TV - Sender



4.7 Ermittlung der Bevölkerungszahlen im Studiengebiet

Aus Kapitel 4.6 ergibt sich, dass die zum Sendestandort zugehörigen Gemeinden bekannt sind und über eine Gemeindekennziffer identifiziert werden können. Zur Bestimmung der relevanten Bevölkerungsdaten (Bezugsbevölkerung) kann auf eine Datenbank des Deutschen Kinderkrebsregisters zugegriffen werden: hier sind die Bevölkerungsdaten für Westdeutschland auf Gemeindeebene komplett verfügbar (pro Diagnosejahr). Die kindliche Bevölkerung für die jeweiligen Senderregionen ist in Anlage 2 aufgeführt.

4.8 Identifikation der Fälle im Studiengebiet

4.8.1 AM-Sender

Über das Deutsche Kinderkrebsregister wurden für das Studiengebiet der AM-Sender insgesamt 1481 Ersttumoren der Diagnosejahre 1984-2003 ermittelt. Nachfolgende Tabellen beschreiben die Fälle.

Tabelle 7 Verteilung der Fälle nach Diagnosejahr (AM-Sender)

Diagnosejahr	Anzahl Fälle	%
1984	72	4,86
1985	56	3,78
1986	59	3,98
1987	70	4,73
1988	55	3,71
1989	59	3,98
1990	81	5,47
1991	66	4,46
1992	90	6,08
1993	78	5,27
1994	79	5,33
1995	72	4,86
1996	67	4,52
1997	92	6,21
1998	72	4,86
1999	79	5,33
2000	88	5,94
2001	91	6,14
2002	77	5,20
2003	78	5,27
Σ	1481	100,00

Tabelle 8 Verteilung der Fälle nach Diagnose (AM-Sender)

ICCC	Anzahl Fälle	%
11	1180	79,7
12	242	16,3
13	16	1,1
14	33	2,2
15	10	0,7
Σ	1481	100,0

Tabelle 9 Verteilung der Fälle nach Alter (AM-Sender)

Alter bei Diagnose	Anzahl Fälle	%
0 -<5 Jahre	773	53,1
5 - < 10 Jahre	392	26,9
> =10	292	20,0
Σ	1457	100,0

*24 ohne Altersangabe

Für ca. 47% der ermittelten Fälle ist eine nachgehende Adressrecherche bei den zuständigen Einwohnermeldeämtern erforderlich. Hierbei handelt es sich überwiegend um Adressen aus den 80er Jahren. Die Vervollständigung von Falladressen wird derzeit im DKKR als Routinearbeit eingerichtet und könnte zumindest teilweise für die KiSS-Studie zur Verfügung stehen.

4.8.2 UKW / TV - Sender

Über das Deutsche Kinderkrebsregister wurden für das Studiengebiet der UKW / TV-Sender insgesamt 749 Ersttumoren der Diagnosejahre 1984-2003 ermittelt. Nachfolgende Tabellen beschreiben die Fälle.

Tabelle 10 Verteilung der Fälle nach Diagnosejahr (UKW / TV-Sender)

Diagnosejahr	Anzahl Fälle	%
1984	34	4,54
1985	19	2,54
1986	40	5,34
1987	31	4,14
1988	35	4,67
1989	37	4,94
1990	33	4,41
1991	42	5,61
1992	43	5,74
1993	32	4,27
1994	39	5,21
1995	37	4,94
1996	41	5,47
1997	52	6,94
1998	47	6,28
1999	28	3,74
2000	31	4,14
2001	54	7,21
2002	34	4,54
2003	40	5,34
Σ	749	100,00

Tabelle 11 Verteilung der Fälle nach Diagnose (UKW / TV-Sender)

ICCC	Anzahl Fälle	%
11	614	82,0
12	94	12,6
13	11	1,5
14	21	2,8
15	9	1,1
Σ	749	100,0

Tabelle 12 Verteilung der Fälle nach Alter (UKW / TV-Sender)

Alter bei Diagnose	Anzahl Fälle	%
0 -<5 Jahre	380	51,9
5 - < 10 Jahre	208	28,4
> =10	144	19,7
Σ	732	100,0

*17 ohne Altersangabe

Für ca. 43% der ermittelten Fälle ist eine nachgehende Adressrecherche bei den zuständigen Einwohnermeldeämtern erforderlich. Hierbei handelt es sich überwiegend um Adressen aus den 80er Jahren.

4.9 Festlegung der Kontrollgruppe: Matching- und Einschlusskriterien

Alter, Geschlecht und Region sind bei der Untersuchung elektromagnetischer Felder als potentielle Störgrößen zu betrachten. In einer Studie, bei der kein Matching für diese Faktoren durchgeführt würde, könnte die Adjustierung für konfundierende Effekte zu deutlichen Verlusten der statistischen Power führen. Das Matching in Fall-Kontroll-Studien verbessert die Effizienz der Confounderkontrolle im Sinne der statistischen Power.

Matchingkriterien für die KiSS-Studie seien Alter (bei Diagnose bzw. zum analogen Alter der Kontrolle), Geschlecht und Sendestandort. Jedem Fall werden drei Kontrollkinder zugeordnet. Die Kontrollkinder werden entsprechend Geburtsmonat, Geschlecht und Senderregion des Fallkinds ausgewählt. Dazu werden die Daten der Einwohner zum Zeitpunkt der Diagnose des Falles rekonstruiert.

Je nach Aufwand für die Berechnung der Exposition kann es sinnvoll sein pro Fall mehr als 3 Kontrollen zu ziehen. Aufgrund der am IMBEI durchgeführten und analog aufgebauten Erfahrungen der Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK) empfiehlt sich für die Ziehung ein 1:6 Matching. Die eingebaute Redundanz (1:6 statt 1:3) ermöglichte für die KiKK-Studie, dass für gut 98% aller Fälle mindestens 3 Kontrollen vorlagen. Bei der Ziehung erhalten die Kontrollen eine Priorität, nach der sie bearbeitet werden. Eine Ersatzkontrolle kommt nur zum Einsatz, wenn eine Kontrolle mit hoher Priorität herausfällt.

Die Adressen der Kontrollen werden bei der Ziehung aus den Einwohnermeldeamtsdaten ermittelt. Die Kontrollen aus den einzelnen Gemeinden sind proportional zur Bevölkerungszahl zu ziehen. Ansonsten käme es zu Verzerrungen der Risikoschätzer. Für die meisten Senderstandorte müssen Kontrollen aus verschiedenen Meldeamtsdateien gezogen werden. Für die Zeitplanung der Hauptphase muss berücksichtigt werden, dass bei der Ziehung der Kontrollen auf historische Unterlagen zurückgegriffen werden muss. Nach der Ziehung muss überprüft werden, dass Fälle nicht auch als Kontrollen gezogen werden. Zusätzlich kann über die Einwohnermeldeämter für Fälle und Kontrollen ermittelt werden, seit wann sie in der Umgebung der Sendeeinrichtung wohnen.

Die Einbindung von Tumorkontrollen ist nicht vorgesehen. Dies wäre relevant gewesen, falls sich die Ziehung historischer Kontrollen aufgrund einer am IMBEI mit analogem Studiendesign durchgeführten Fall-Kontroll-Studie als zu schwierig erwiesen hätte. Generell kämen als Auswahl für die Tumorkontrollen solche Diagnosen in Frage, die insgesamt eine ähnliche Geschlechts- und Altersverteilung haben wie die Fälle. Dennoch ist die Auswahl geeigneter Tumorkontrollen nicht unproblematisch: neben den Leukämien sind die Tumoren

des Zentralen Nervensystems die häufigste Diagnosegruppe im Kindesalter. Allerdings ist diese Tumorart im Deutschen Kinderkrebsregister deutlich unterrepräsentiert (Kaatsch et al. 2004). Die Non-Hodgkin-Lymphome zählen ebenfalls zu den häufigen bösartigen Erkrankungen bei Kindern, kommen jedoch aufgrund möglicher gemeinsamer ätiologischer Faktoren nicht als Kontrollgruppe in Frage. Bei der Gruppe der am Neuroblastom erkrankten Kinder sind Selektionseffekte durch das bundesweite Screening zu bedenken.

4.10 Entwicklung von Instrumentarien zur Expositionsabschätzung

4.10.1 Ziele

Frühere Studien zu Krebserkrankungen in der Umgebung von hochfrequenten Sendeanlagen hatten den großen Nachteil, eine rein distanz-basierte Expositionsabschätzung auf ökologischem Niveau zugrunde zu legen. Diese Studien beruhen auf der Distanz einer Gemeinde zur Feldquelle, und nicht auf individuellen Wohnadressen. Insofern eröffnet die KiSS-Studie mit einer individuellen Geokodierung der Wohnadressen von Fällen und Kontrollen die Möglichkeit einer individuellen Expositionsabschätzung, in die grundsätzlich der Abstand zur Quelle und die Strahlungsleistung des Senders und die Antennenrichtdiagramme einfließen können.

Ermittlung des Wohnortabstandes zum Sender

Als Approximation für die mögliche EMF-Exposition durch den Sender wird der Abstand von der Funksendeanlage zur Wohnadresse der Probandenfamilie zum Zeitpunkt der Diagnosestellung ermittelt. Die Wohnadressen werden von den Landesvermessungsämtern geokodiert. Damit sollen die Wohnortabstände auf Häuserebene bestimmt werden. Ist bei einer Adresse die Zuordnung der Hausnummer nicht möglich, wird der Straßenmittelpunkt, je nach Ortsgröße der Ortsmittelpunkt oder der Mittelpunkt des Postleitzahlbereichs geokodiert. Zusätzlich kann über die Einwohnermeldeämter für Fälle und Kontrollen ermittelt werden, seit wann sie in der Umgebung der Sendeeinrichtung wohnen. Dies erlaubt eine Abschätzung der Expositionsdauer.

Neben dem Abstand entscheidet auch die räumliche Position eines Hauses zur Antenne über die Exposition. Die Informationen der Antennenrichtdiagramme über die Abstrahlcharakteristiken (Höhenwinkel/Horizontalwinkel) werden zusammen mit den Geokoordinaten der Hausadressen in die Expositionsabschätzung einfließen.

Expositionsschätzung in der Umgebung der Sender

Darüberhinaus ist es das Ziel des Projektes mit Hilfe von Betreiberdaten zu den ausgewählten Sendeanlagen die tatsächliche Exposition über die Zeit hinweg in der Auswertung zu berücksichtigen. Relevante Betriebsdaten sind die tatsächlich abgestrahlte Senderleistung über die Zeit, Tag- und Nacht-Unterschiede, Abstrahlcharakteristiken und exponierte Sektoren.

Validierungsmessungen

Ein drittes zentrales Element der KiSS-Studie sind Messreihen in ausgewählten Studienregionen zur

- Validierung der berechneten Exposition;
- Überprüfung der Reliabilität der Messung. Durch die Messung an früheren Messstellen an ausgewählten Senderstandorten ohne Veränderung der Senderleistung soll überprüft werden, in wie weit die früheren Messwerte repliziert werden können;
- Wie verhält sich die Feldintensität bei zunehmender Distanz zum Sender, wie sehr spielt die Geländerauhigkeit und Bebauung eine Rolle?
- Wie dominant ist der Sender in seinem näheren Umkreis? Hier soll der Einfluss anderer Quellen bewertet werden. Die Studie ist deshalb auf Großsendeanlagen mit hoher Leistung beschränkt, weil man theoretisch von einer Dominanz dieser Sender in ihrem näheren Umkreis ausgeht.

4.10.2 Kontaktaufnahme mit den Betreibern zur Gewinnung von Informationen zu Expositionsdaten

Über die Bundesnetzagentur sind lediglich aktuelle Messdaten erhältlich und keine retrospektiven Angaben zur Strahlungsleistung (mündliche Auskunft, 9.5.2005). Die Wittsmoorliste des Norddeutschen Rundfunks enthält demgegenüber historische Informationen über Sendeeinrichtungen und Leistungsstärken. Entscheidender Nachteil ist hier allerdings, dass es sich bei den Angaben zur Sendeleistung um die vom Betreiber behördlich angemeldete, technisch maximal mögliche Strahlungsleistung handelt, was nicht unbedingt den tatsächlichen Betriebszustand widerspiegelt. Die tatsächlich ausgestrahlte Senderausgangsleistung wird damit nicht abgebildet (mündliche Auskunft, 6.5.2005).

Nahezu 90% aller ausgewählten Sendeanlagen werden von ARD und T-Systems-International betrieben. Eine Kontaktaufnahme zu zentralen Personen dieser Einrichtungen erfolgte im Mai 2005⁸. Darüberhinaus wurden weitere Betreiber angeschrieben (Sender Europa 1, andere staatsunabhängige Landesrundfunkanstalten). Grundsätzlich besteht die Bereitschaft zur Kooperation und zur aktiven Mitarbeit.

Insbesondere besteht über die Abt. Frequenz- und Versorgungsplanung des Südwestrundfunks in Stuttgart die Möglichkeit, die dort für Feldstärkeprognosen entwickelte und eingesetzte Software auch zur Expositionsschätzung heranzuziehen.

⁸ Johannes Philipp, Ltg. Frequenz- und Versorgungsplanung (SWR) und Wolfgang Schröter und Harry Korr (T-Systems-Business Services GmbH, Media&Broadcast, Berlin)

Die verfügbare Software reicht von der generalisierten Prognose nach ITU-Empfehlung 1546 (Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz", Recommendation ITU-R P.1456-1, ITU, Genf 2003) bis zu beugungsoptischen Verfahren, die neben einer Berücksichtigung des horizontalen und vertikalen Strahlungsdiagramms der Sendeantenne auch eine Einbeziehung der Topographie des Ausbreitungspfades erlauben. Zu beachten ist, dass diese Wellenausbreitungsmodelle zur Bearbeitungen von Fragestellungen der Rundfunkversorgung entwickelt worden sind und sich daher z.T. auf bestimmte messtechnische Referenzsituationen beziehen (z.B. Empfangspunkt in 10 m Höhe über Grund). Daraus ergeben sich u.U. Einschränkungen bei der Anwendung auf Fragestellungen, die sich auf Exposition beziehen. In diesem Zusammenhang erfüllen die bereits durchgeführten und weiter geplanten Validierungsmessungen eine wichtige Rolle.

Mit Hilfe des Expositionsmodells könnten **Expositionsdaten auch retrospektiv** geschätzt werden. Diese Tatsache ist in der hier vorgestellten Untersuchung von besonderer Bedeutung, da die Expositionssituation ab 1982 in der Auswertung berücksichtigt werden muß.

Darüberhinaus müssen zur korrekten Bestimmung der Exposition die Abstrahleigenschaften mehrerer überlappender Standorte berücksichtigt werden. Für das im Rahmen der Pilotphase ausgewählte Validierungsgebiet im Stadtgebiet Stuttgart ist auch T-Systems International bereit entsprechende Informationen (Antennendiagramme) benachbarter Sendeanlagen zur Verfügung zu stellen. Generell gilt, dass die Expositionsschätzung auf alle Sendestandorte übertragen werden kann. Allerdings muss jeder Standort mit seinen standortspezifischen Daten (Antennendiagramme, Sendeleistung, Antennenhöhe, Topologie etc.) berechnet werden. Dies setzt voraus, dass die Betreiber historische anlagenspezifische Betriebsdaten zur Verfügung stellen.

4.10.3 Durchführung und Ergebnisse erster Validierungsmessungen

Für die Pilotphase wurden Messungen in Stuttgart durchgeführt in der Umgebung des Mittelwellensenders in Mühlacker sowie im Umfeld des UKW- und TV-Senders in Stuttgart Degerloch und des Senders Frauenkopf (T-Systems International). Ziele der ersten Validierungsmessungen sind

- die Bestimmung der höchsten bzw. niedrigsten Feldstärke in der Umgebung der Sender;
- die Bestimmung, in welchem räumlichen Bereich die Hintergrundexposition beginnt bzw. wo diese endet;

- für welchen Bereich eine höhere, vom Grundrauschen verschiedene Exposition ermittelt werden kann;

Zur Überprüfung des Einflusses der Gebäudedämmung wurden in einem Schulgebäude sowie mehreren Wohngebäuden Indoor-Messungen durchgeführt zur Überprüfung der Wirkung von Gebäudedämmungen auf die Exposition.

4.10.3.1 Validierungsmessungen AM-Sender

Erste Validierungsmessungen um den Mittelwellensender des Südwestfunks in Mühlacker wurden in einem 2,5 km Radius mit insgesamt 15 Messungen durchgeführt (pro Messpunkt je 3 E-Feld und 3 H-Feld-Messungen). Ab ca. 5 km Entfernung ist mit einem Absinken der Feldstärke auf weniger als 1 V/m zu rechnen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass der Bereich der erhöhten Exposition innerhalb eines 5 km Radius um den Sendemast liegt: hier übersteigt die Feldstärke außerhalb von Gebäuden den Wert von 1 V/m bei Sendeeinrichtungen mit einer Trägerleistung von ca. 100 kW. Die Validierung der Messwerte mit (berechneten) Schätzwerten ergaben, dass von einer (über die Distanz konstanten) Abweichung von $\pm 3\text{dB}$ ausgegangen werden kann.

Die Untersuchungen im Sendegebiet Mühlacker haben wesentlich zu den Überlegungen zur Definition des Studiengebietes beigetragen. Eine Feldstärke von 1 V/m liegt über den Werten, wie sie üblicherweise beim Mobilfunk gemessen werden und dürfte sich somit von der Hintergrundexposition unterscheiden. Die Festlegung des Studiengebietes erfolgt unter Zugrundelegung betriebsspezifischer Expositionsdaten individuell für jeden einzuschließenden AM-Sender, wobei jeweils der (theoretische per Schätzung ermittelte) 1 V/m Radius bestimmt wird (vgl. Kap. 4.5.2).

Abb. 11 Messpunkte der Außenfeldstärke

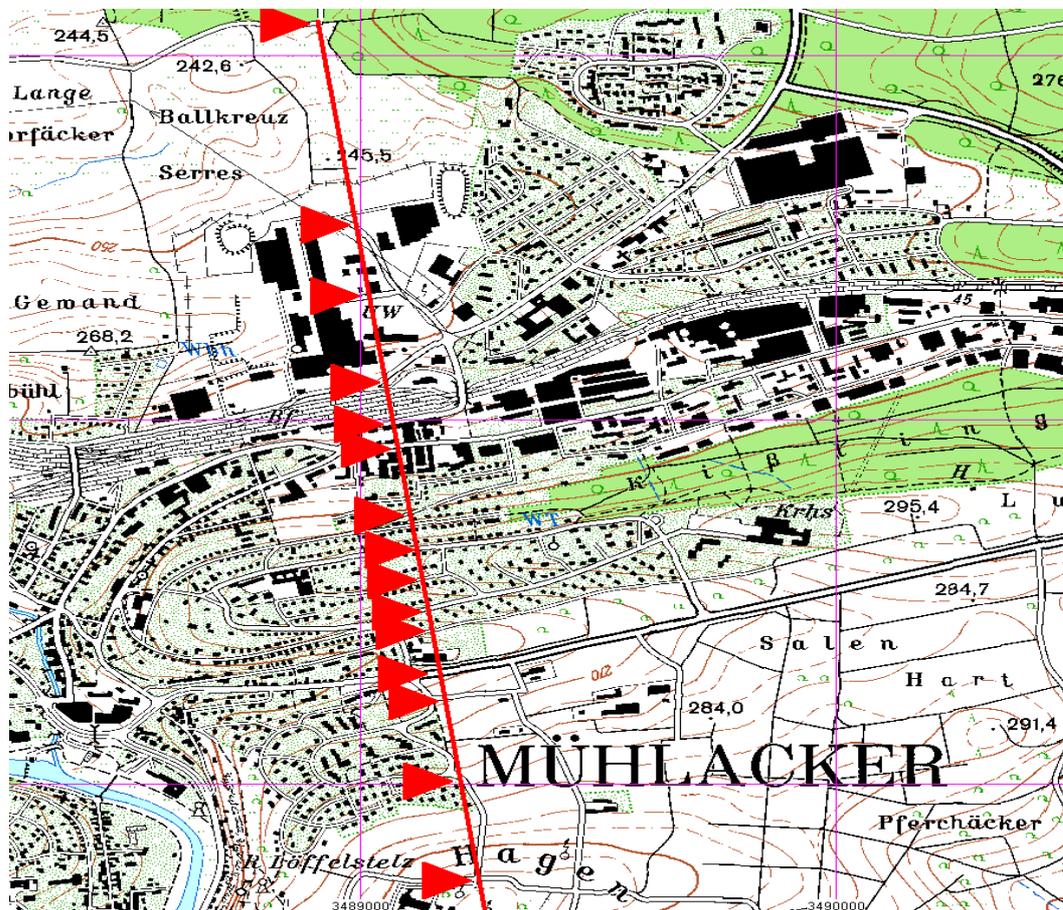


Abb. 12 Messergebnisse⁹

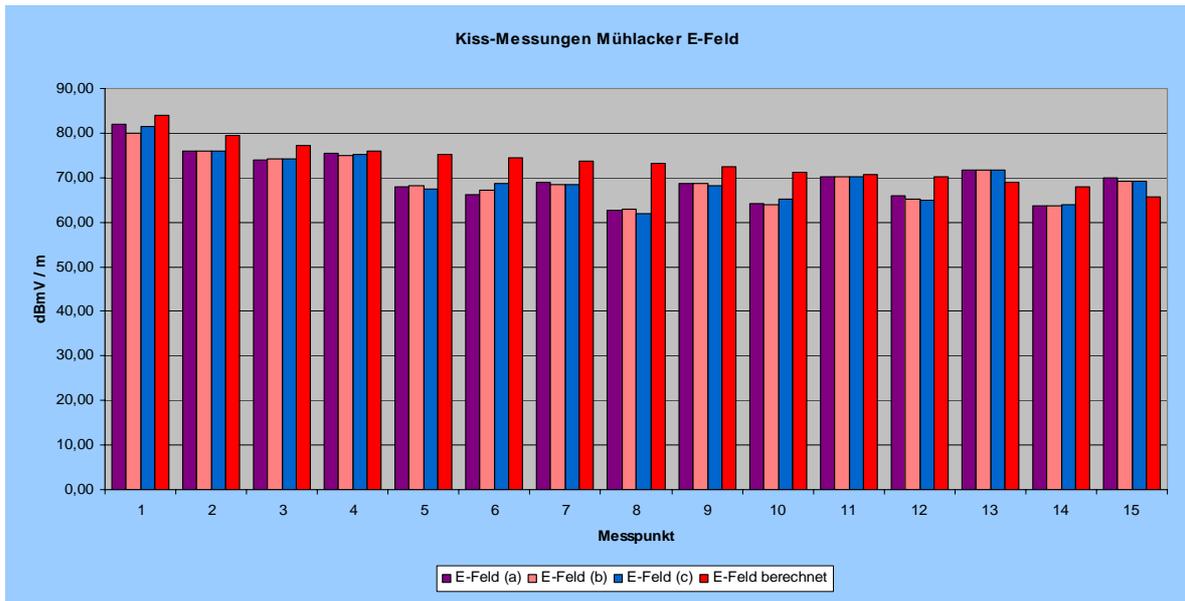
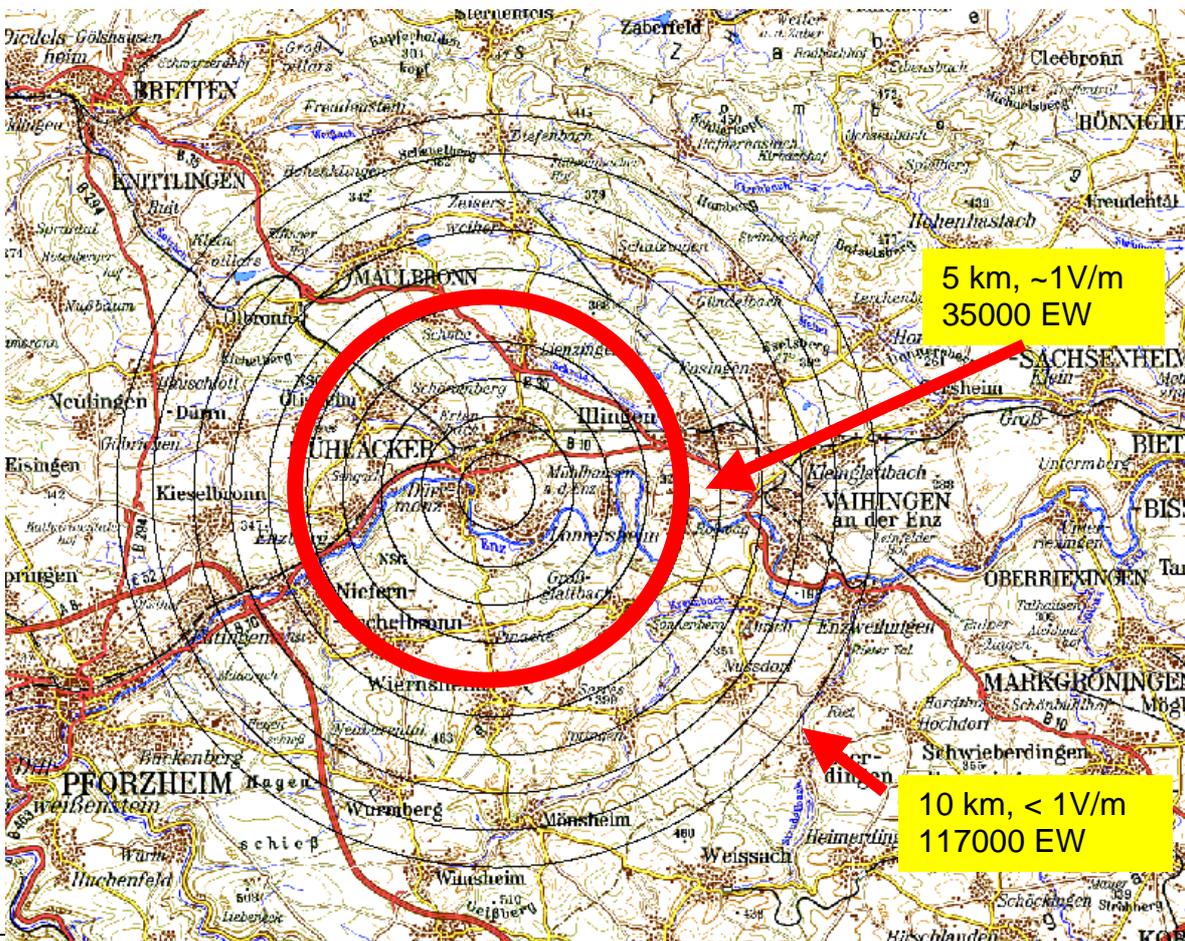


Abb. 13 Sendegebiet Mühlacker



⁹ (Wuschek-Methode: es werden je drei Messungen durchgeführt, die durch ein gleichschenkliges Dreieck von 1,50 m Schenkellänge vorgegeben werden)

4.10.3.2 Validierungsmessungen UKW / TV-Sender

Der in Kapitel 4.5.1 festgelegte 90 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)-Radius zur Definition der Senderregion bei UKW/TV-Sendern wird für jede Funksendeanlage „individuell“ geschätzt, wobei die betreiberspezifischen Daten zugrundegelegt werden. Eine Validierung der Schätzwerte durch konkrete Feldmessungen wird derzeit durchgeführt. Ein erster Vergleich (mit wenigen Messdaten) zeigte Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten, wobei der geschätzte Wert oberhalb des Messwertes liegt (systematischer Fehler). Mögliche Ursachen könnten Bodenreflektionen, Dämpfungen und Beugungen durch Gebäude sein. Die Erfassung der Bebauungsart könnte somit ein wesentlicher Parameter sein, der im Rahmen der Feldphase erhoben werden muss.

Im Rahmen der Pilotphase wurden zudem Rasterdaten zu Immissionsmessungen hochfrequenter Felder aus 4 Regionen Baden-Württembergs mit insgesamt 895 Messpunkten in den Jahren 2001 bis 2003 für die KiSS-Studie zur Verfügung gestellt (Bochtler et al. 2003). Diese betreiberunabhängigen Messdaten sind eine wichtige Quelle zur Evaluation der Schätzwerte zur Exposition. Die genaue Vorgehensweise zur Evaluation befindet sich in der Entwicklungsphase.

4.10.2.3 Indoor-Messungen

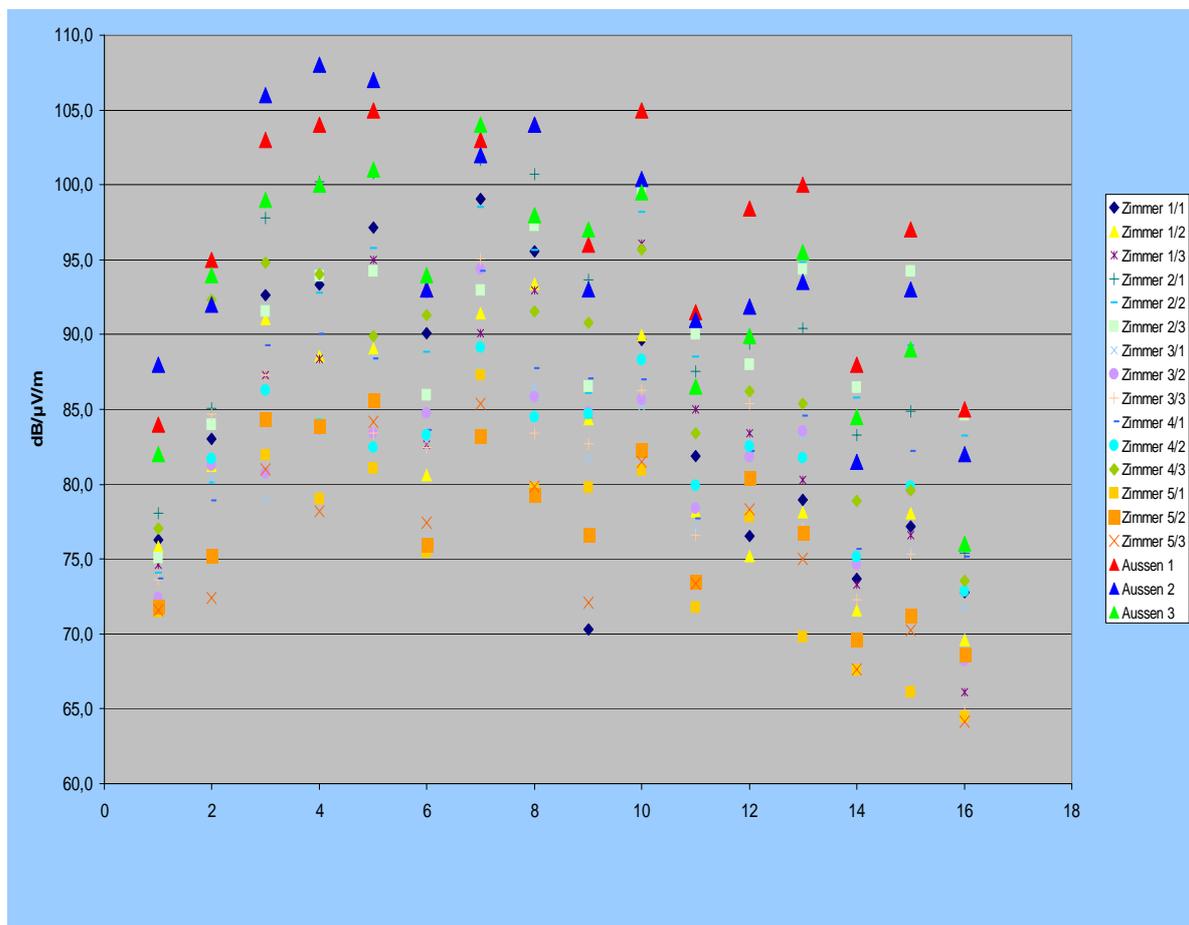
Feldmessungen wurden in der Stuttgarter Vogelsang-Schule mit Innenraummessungen in 5 Räumen und jeweils 3 Messungen pro Raum durchgeführt. Es wurde sowohl im Erdgeschoss als auch im 1. Stockwerk gemessen.

Da sich Menschen während des größten Teils ihrer Lebenszeit in geschlossenen Räumen aufhalten, ist die eigentlich expositionsrelevante Größe nicht die im Freien vorgefundene Feldstärke, sondern die in den jeweiligen Aufenthaltsräumen vorherrschende. Eine deterministische Modellierung dieser Indoor-Feldstärke ist mit noch überschaubarem Aufwand nicht möglich. Es lässt sich lediglich ein statistischer Zusammenhang zwischen Außen- und Innenfeldstärke angeben, der im Wesentlichen aus Messungen zu ermitteln ist. Verschiedentlich sind solche Messungen zwar publiziert, jedoch sind die angewandten Messbedingungen derart uneinheitlich, dass daraus nur schwer ein schlüssiges Gesamtbild zu gewinnen ist. Andererseits ist es unabdingbar, verlässliche Informationen z.B. über die zu erwartende Schwankungsbreite der Indoor-Feldstärke zu besitzen, schon um nicht übertriebenen Aufwand in die Präzision der Prognose der Außen-Feldstärke zu investieren. Daher hat sich der SWR entschlossen, durch eigene Indoor-Messungen unter kontrollierten und reproduzierbaren Bedingungen entsprechende Erfahrungswerte zu sammeln.

Abb. 14 zeigt beispielhaft das Ergebnis der in der Stuttgarter Vogelsang-Schule durchgeführten Messungen der Feldstärke bei verschiedenen Frequenzen (x-Achse: Frequenz 1-9: UKW, 10-12: VHF, 13-16: UHF). Die gefundene Schwankungsbreite der (auf die jeweilige Außenfeldstärke normierten) Pegel beträgt annähernd 20 dB, während die mittlere Differenz zwischen Außen- und Innenpegel etwa mit 15 dB anzusetzen ist.

Weitere Messungen in Wohnhäusern sind geplant bzw. bereits durchgeführt.

Abb. 14 Außen- und Innenmesswerte in der Stuttgarter Vogelsang-Schule



4.11 Identifikation von Störgrößen

Als mögliche Störgrößen kommen Confounder, Effektmodifikatoren und Korrekturfaktoren in Betracht. 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 et al. 1998). Effektmodifikatoren haben einen Einfluss auf die Stärke des Zusammenhangs zwischen der Exposition und der Erkrankung. Ihre Nichtberücksichtigung kann zu einem verzerrten Schätzer für die gesuchte Dosis-Wirkungs-Beziehung führen. Korrigiert werden muss ferner für Faktoren, die mit der Exposition assoziiert sind und studienbedingt auch mit der Erkrankung, ohne jedoch selbst ein Risikofaktor zu sein. Ein Beispiel hierfür ist der Sozialstatus, dessen Verteilung zwischen Fällen und Kontrollen oft durch unterschiedliches Teilnahmeverhalten beeinflusst wird.

Bei den Störgrößen gibt es potenziell Faktoren, die ohne zusätzliche Befragung der Eltern und solche die nur über eine Befragung der Eltern zu erheben sind. Zu erster Gruppe gehören das Alter, das Geschlecht und eine Charakterisierung der Region (Stadt-Land), damit verbunden eventuell eine Grobabschätzung zum Sozialstatus. Angaben zur Migrationshäufigkeit in der Region, was bei der Kinderleukämie eine Rolle spielen könnte (Greaves 1999), wären über Einwohnermeldeämter zu ermitteln. Nur über Befragungen zu erheben sind Angaben zu individuellen Expositionen.

Eine Befragungsstudie ist dann notwendig, wenn Störgrößen identifiziert werden, die im letztendlichen Berechnungsmodell der Risikoschätzung berücksichtigt werden müssen und nur per Befragung der Eltern erhoben werden können. Bei der Frage nach der Durchführung einer Befragungsstudie sollen zwei Gesichtspunkte gegeneinander abgewogen werden: der wissenschaftliche Nutzen durch die Möglichkeit, gegenüber der Störgröße zu adjustieren, im Vergleich zum Aufwand, diese Störgröße zu erheben, sowie der Machbarkeit, sie überhaupt retrospektiv valide erheben zu können. Zunächst soll deshalb dargestellt werden, welche Faktoren zu den oben genannten zusätzlich als Confounder überhaupt in Frage kommen.

In Tabelle 13 werden Variablen dargestellt, bei denen eine Wirkung auf das Erkrankungsrisiko vermutet wird. In Übereinstimmung mit internationaler Literatur besteht für die Exposition gegenüber Pestiziden, häuslichen Magnetfeldern und beruflichen Expositionen der Mutter während der Schwangerschaft ein moderater Risikozusammenhang.

Tabelle 13 Ausgewählte Ergebnisse einer bundesweiten Fall-Kontrollstudie zu den Ursachen von Leukämien im Kindesalter (Schüz et al. 2005)

Untersuchter Faktor	Art der Assoziation	Stärke der Assoziation*	Evidenz gemäß internationaler Literatur zur Fragestellung	Konsistenz der eigenen Ergebnisse mit internationaler Literatur
<i>Zusammenhang mit Leukämie bei Kindern beobachtet</i>				
Morbus Down	Risiko	Sehr stark	Gilt als gesicherter sehr starker Risikofaktor	Bestätigt
Hohes Geburtsgewicht (> 4 kg)	Risiko	Schwach	Starke Evidenz für schwaches Risiko, es gibt biologisch plausible Hypothesen	Konsistent
Atopie des Kindes / der Eltern	Protektion	Moderat	Nur sehr wenige große Studien, es ist eher eine neue Fragestellung	Protektiver Effekt stärker ausgeprägt als in anderen Studien
Stillen	Protektion	Schwach	Starke Evidenz für schwach bis sehr schwachen protektiven Effekt, es gibt biologische Hypothesen	Konsistent
<i>Zusammenhang mit Leukämie bei Kindern beobachtet, wobei methodische Artefakte zu einer Überschätzung geführt haben könnten</i>				
Magnetfeldexposition (50 Hz)	Risiko	Moderat	Konsistent für moderat bis schwaches Risiko, biologische Kohärenz fehlt	Konsistent
Pestizide	Risiko	Schwach	Mehrzahl der Studien weist auf schwaches Risiko hin	Konsistent
Berufliche Exposition der Mutter mit Farben, Lacken, Färbemitteln	Risiko	Schwach	Nur sehr wenige große Studien, Exposition meist nur über Berufsbezeichnung der Mutter geschätzt	Größtenteils konsistent mit großer amerikanischer Studie (schwaches Risiko)
Sterilitätsbehandlung vor der Index-Schwangerschaft	Risiko	Schwach	Literatur inkonsistent, wurde oft nur rudimentär erhoben	Bewertungsmöglichkeiten sind eingeschränkt; in den Fragebögen oft missverständlich abgefragt

<i>Zusammenhang mit Leukämie bei Kindern beobachtet, vermutlich auf methodische Artefakte zurückzuführen</i>				
Junges Alter der Mutter	Risiko	Stark	Mehrzahl der Studien zeigt eine ähnliche Assoziation	Gleicher systematischer Bias in all diesen Studien
Bronchitis Kind	Risiko	Moderat	Wenig Literatur zur Fragestellung	Eher frühe Begleiterscheinung der Erkrankung als Risikofaktor
Niedriges Geburtsgewicht (< 2,5 kg)	Risiko	Schwach	Konsistent kein Zusammenhang	Inkonsistent, Bias oder Zufall sind wahrscheinliche Erklärung
Tonsillektomie Kind	Risiko	Schwach	Wenig Literatur zur Fragestellung	Risiko nur in Untergruppen, kleine Fallzahlen, Tonsillektomie teils sehr kurz vor der Diagnosestellung
Schutzimpfungen	Protektion	Stark	Befragungsstudien inkonsistent, die sehr wenigen Studien basierend auf Impfunterlagen sehen eher keinen Zusammenhang	Überschätzung der Impfprävalenz unter Kontrollfamilien; Studien basierend auf Impfpässen sind zu empfehlen

* als „schwach“ werden relative Risiken bis 1,5 (bzw. 0,67 bei protektivem Effekt) bezeichnet, „moderat“ bis 2 (bzw. 0,5), „ausgeprägt“ bis 5 (bzw. 0,2), „stark“ bis 10 (bzw. 0,1) und „sehr stark“ >10 (bzw. <0,1)

Tabelle 14 Übersicht zu potentiellen Confounderbeziehungen

	Confounder: Korrelation mit der Exposition (EMF)		
Assoziation Leukämierisiko	hoch	niedrig	nein
ausgeprägt (OR ≥ 2)	<i>Wichtig für eine Befragung</i>	<i>Befragung ja, nur falls gut erfaßbar</i>	<i>Keine Befragung</i>
moderat (OR 1.5-<2)	<i>Eingeschränkt wichtig für eine Befragung</i>	<i>Keine Befragung</i>	<i>Keine Befragung</i>
nein (OR = 1)	<i>Keine Befragung</i>	<i>Keine Befragung</i>	<i>Keine Befragung</i>

Ein potentieller Confounder ist per Definition mit der Exposition korreliert. Dies ist für die in Tabelle 13 dargestellten Faktoren nicht zutreffend. Einige der Funksendeanlagen befinden sich in ländlichen, dünn besiedelten Gebieten. Dies dürfte in erster Linie die AM-Sender des Rundfunks betreffen. Denkbar wäre, dass landwirtschaftliche Pestizidanwendung, die als ein vermuteter, nicht aber gesicherter Risikofaktor für kindliche Leukämien diskutiert wird, 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 Rechnung getragen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Analyse auf einen bestimmten Personenkreis (Bewohner ländlicher Gebiete, Bewohner städtischer Gebiete) zu beschränken (stratifizierte Auswertung). Zudem kann über die Einwohnermeldeämter für Fälle und Kontrollen ermittelt werden, seit wann sie in der Umgebung der Sendeeinrichtung wohnen. Diese Information erlaubt die Approximation der Zeitdauer einer potentiellen Belastungssituation und deren Berücksichtigung in der Auswertung. Die Validität der Ergebnisse einer Befragung zur individuellen Belastungssituation während der Schwangerschaft für einen bis zu 40 Jahre zurückliegenden Zeitraum erscheint zweifelhaft.

Das Ausmaß einer möglichen Veränderung hängt stark von der Stärke der Assoziation zwischen Exposition und Erkrankung sowie Confounder und Erkrankung und auch der Prävalenz der Exposition ab. Langholz (2001) schätzte für den Zusammenhang zwischen ELF-EMF und Kinderleukämie ab, dass nur ein mit einem Odds Ratio von mindestens 5 verbundener Faktor als Confounder in Frage käme, der den beobachteten Zusammenhang zwischen ELF-EMF und Kinderleukämie erklären könnte. Ein solcher Faktor ist außer seltenen genetischen Prädispositionen für Kinderleukämie aber nicht bekannt (Little, 1999; Greaves, 1999; Schüz, 2002).

Keiner der Faktoren aus Tabelle 13 außer dem Morbus Down Syndrom gilt als gesicherter Risikofaktor für Leukämien im Kindesalter (Agha et al. 2005).

Zudem sprechen auch ethische Aspekte gegen eine Eltern- bzw. Mütterbefragung. Durch eine Befragung der Eltern zur zurückliegenden Erkrankung des Kindes könnten mittlerweile verdrängte Empfindungen erneut sensibilisiert werden. Aus dem jüngeren Zeitraum können viele Familien nicht befragt werden, weil sie bereits in Studien teilgenommen haben und ihnen zugesichert wurde, nicht nochmals befragt zu werden.

Schließlich sind auch ökonomische Aspekte bzw. ein erheblicher Kostenmehraufwand bei Durchführung einer Befragung zu berücksichtigen.

Zusammenfassend wird für einen Verzicht auf eine Befragungsstudie plädiert. Die wichtigsten potenziellen Confounder, d.h. Geschlecht, Alter und Region, können auch ohne Befragung erhoben werden. Es gibt keine wissenschaftlichen Gründe für eine Befragung zu weiteren Faktoren, die unbedingt als Confounder berücksichtigt werden müssen. Allenfalls spräche für eine Befragung eine Verbesserung der Expositionsschätzung, wenn es sich durch die Validierungsstudie zeigen würde, dass weitere Kenntnisse zu Haustyp benötigt würden. Dies kann aber zu einem späteren Zeitpunkt diskutiert werden und auch, ob solche Angaben dann notwendigerweise erfragt oder über andere Verfahren (z.B. Besichtigung) erhoben werden könnten.

4.12 Berechnung der erreichbaren statistischen Power

Zur Berechnung der Power wird bei den Kontrollen (also der Normalbevölkerung) von einer Expositionsprävalenz von 10% ausgegangen. Für alle 16 AM Sender (ca. 1500 Fälle und 4500 Kontrollen) kann ein OR von 1,5 mit einer Power von (99,7%) nachgewiesen werden (alpha = 0,05, einseitig). Selbst ein OR von 1,3 kann noch mit einer Power von 85,8% nachgewiesen werden (Fleiss et al., 2003).

Für die UKW/TV-Sender (ca. 750 Fälle, 2250 Kontrollen) beträgt die Power unter den gleichen Annahmen 91,9% für ein OR von 1,5 und 79,3% für ein OR von 1,4 (Fleiss et al. 2003).

Für Subgruppenanalysen (z.B. für das Expositionszeitfenster vor 1993) gelten entsprechende Zahlen. Unter der Annahme, dass bei den AM-Sendern ca. eine Hälfte aller Fälle in der ersten Periode und die andere Hälfte der Fälle in der zweiten Periode aufgetreten sind, kann jeweils ein OR von 1,4 mit 79,3% Wahrscheinlichkeit entdeckt werden.

Tabelle 15 gibt die Power bei weiteren Expositionsprävalenzen für AM-Sender und UKW/TV-Sender an.

Tabelle 15 Powerkalkulation

Power	Sender	Fälle (n)	Kontrollen (n)	Match-verhältnis	Expositionsprävalenz der Kontrollen	Odds Ratio Fälle Kontrollen
93,78%	AM	1500	4500	1:3	5%	1,5
98,52%	AM	1500	4500	1:3	7,5%	1,5
99,63%	AM	1500	4500	1:3	10%	1,5
99,90%	AM	1500	4500	1:3	12,5%	1,5
99,97%	AM	1500	4500	1:3	15%	1,5
72,68%	UKW/TV	750	2250	1:3	5%	1,5
85,52%	UKW/TV	750	2250	1:3	7,5%	1,5
92,20%	UKW/TV	750	2250	1:3	10%	1,5
95,68%	UKW/TV	750	2250	1:3	12,5%	1,5
97,52%	UKW/TV	750	2250	1:3	15%	1,5

(alpha=0,05)

Fleiss, J. L., Levin, B., Paik, M.C. 2003. *Statistical Methods for Rates and Proportions*. Third Edition. John Wiley & Sons. New York.

Die Fallzahl der Studie ist eine gute Grundlage für das Auffinden einer Erhöhung des Risikos.

Wird die Exposition als stetige Variable im Modell betrachtet, ist die Power etwas größer als oben berechnet, hängt aber stark von der Verteilung der Exposition in der Bevölkerung ab. Daher sind genauere Aussagen zu diesem Zeitpunkt nicht möglich.

Die Power kann durch Implementierung der Exposition als stetige Variable in das Modell, weiter erhöht werden. Jedoch wird von einer stetigen Dosis-Wirkungs-Beziehung abgesehen, da v.a. bei UKW/ TV-Sendern die Formulierung einer eindeutigen Dosis-Wirkungs-Beziehung schwierig ist.

4.13 Formulierung des Studiendesigns

Detailausführungen zum Studiendesign sind im Operationshandbuch dokumentiert.

5 Bewertung

5.1 Bewertung der Machbarkeit

Das mit diesem Bericht vorgestellte Studiendesign überwindet wesentliche Limitierungen früher durchgeführter Studien. Das Vorhaben „Kindliche Leukämien in der Umgebung von hochfrequenten Sendestationen (KiSS)“ geht über einen rein ökologischen Ansatz hinaus und erlaubt eine individuelle Expositionsschätzung. Diese ist gegeben durch die Möglichkeit zur Abstandsberechnung individueller Wohnadressen zum Sender. Zudem werden die Geokoordinaten der Hausadressen mit den Informationen der Antennenrichtdiagramme über die Abstrahlcharakteristiken (Höhenwinkel/Horizontalwinkel) in die Expositionsabschätzung einfließen.

Entscheidend für die korrekte Expositionsabschätzung ist die Berücksichtigung der tatsächlichen Strahlungsleistung. Eine zur Prognose der Rundfunkversorgung entwickelte Software des SWR ermöglicht (bundesweite) Expositionsschätzungen unter Berücksichtigung aktueller betriebsspezifischer Daten. Darüberhinaus wird hierdurch eine retrospektive Schätzung der Exposition realisierbar. Dies setzt voraus, dass die Betreiber historische anlagenspezifische Betriebsdaten zur Verfügung stellen.

Die konkrete Durchführung von Feldmessungen und die Berücksichtigung von historischen (betreiberunabhängiger Messdaten) wird zur Validierung der geschätzten Exposition dienen.

Die für die Studie nach Maßgabe des Studiengebietes ermittelte Anzahl der Fälle und einem 1:3 Matching mit der Kontrollpopulation erlaubt die Darstellung einer moderaten Risikoerhöhung von $OR = 1,5$ mit einer Power von 80%. Eine getrennte Betrachtung für AM-Sender, UKW- und TV-Sender ist durchführbar.

Das Studienvorhaben greift eine wichtige Fragestellung auf, die bisher nur explorativ bearbeitet wurde. In epidemiologischen Studien zu niederfrequenten magnetischen Feldern und Leukämien im Kindesalter wurde ein Zusammenhang berichtet, den die International Agency for Research on Cancer zum Anlass nahm, die Exposition als „possibly carcinogenic to humans“ einzustufen (IARC, 2002). Die Limitierungen dieser Studien waren vor allem der mögliche Einfluss von Selection Bias sowie die kleinen Fallzahlen exponierter Kinder. Das hier vorgelegte Design sieht erstmals eine individuelle Expositionsschätzung für Kinder für hochfrequente Felder vor, die Repräsentativität ist nicht vom Teilnahmeverhalten abhängig und die Fallzahl ist ausreichend, um einen – wenn überhaupt vorliegenden – moderaten Effekt nachweisen zu können.

6 Literatur

FACHZEITSCHRIFTEN

Agha MM, Williams JI, Marrett L, To T, Zipursky A, Dodds L. Congenital abnormalities and childhood cancer. *Cancer* 2005; 103 (9): 199-48.

Dolk, H., Elliott, P., Shaddick, G., et al. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol* 1997; 145: 10-17.

Dolk, H., Shaddick, G., Walls, P., et al. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter. *Am. J. Epidemiol* 1997; 145: 1-9.

Greaves MF. Molecular genetics, natural history and the demise of childhood leukaemia. *Eur J Cancer* 1999; 35: 173-85.

Hocking, B., Gordon, J.R., Grain, H.L., et al. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Aust* 1996; 165: 601-5.

IARC, International Agency for Research on Cancer 2002. Non-Ionizing Radiation Part 1: Static and extremely low-frequency electric and magnetic fields. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 80; IARC Press, Lyon, Frankreich.

Kaatsch P, Haaf G, Michaelis J. Childhood malignancies in Germany – methods and results of a nationwide registry. *Eur J Cancer* 1995; 6: 993-9.

Langholz B. Factors that explain the power line configuration wiring code-childhood leukemia association: what would they look like? *Bioelectromagnetics* 2001; Suppl 5: S19-S31.

Little J. Epidemiology of Childhood Cancer. IARC Scientific Publications No 149. Lyon, France, 1999.

Lightfoot T. Aetiology of childhood leukaemia. *Bioelectromagnetics* 2005; 7: 5-11.

Maskarinec, G., Cooper, J. Swygert, L. Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 1994; 13: 33-7.

Michelozzi P, Capon A, Kirchmayer U, et al. Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol* 2002; 155:1096-103.

Schüz J, Michaelis J. Epidemiologie nicht-ionisierender elektromagnetischer Felder – eine Übersicht. *Umweltmed Forsch Prax* 2001; 6 (2) 67-76).

Schüz J. Leukämien im Kindesalter und die Rolle von Umwelteinflüssen bei deren Entstehung. *Umweltmed Forsch Prax* 2002; 7 (3):309-320.

Schüz J. Elektromagnetische Felder. Verbreitung, biologische Wirkungen und mögliche Assoziationen mit Erkrankungsrisiken. *Internist Prax* 2004; 44: 439 – 462.

Schüz J, Blettner M, Michaelis J, Kaatsch P. Ursachen von Leukämien im Kindesalter – Resümee einer Fallkontrollstudie des Deutschen Kinderkrebsregisters. *Deutsches Ärzteblatt* 2005; 102 (38): 2557 – 2564.

Rothman KJ, Greenland S. *Modern Epidemiology*, 2nd Edition. Philadelphia: Lippincott-Raven 1998.

BERICHTE, DRUCKSACHEN

Bochtler U, Eidher R, Wuschek U. Großräumige Ermittlung von FunkWellen in Baden-Württemberg – Ergebnisse des FunkWellenmessprojektes 2001-2003. Stuttgart 2003
<http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/funkWellen/pdf/gesamt.pdf>.

BUWAL. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, (Hrsg). *Umweltmaterialien Nr. 162, Nicht-ionisierende Strahlung, Hochfrequente Strahlung und Gesundheit*. Bern 2003.

Bundesamt für Strahlenschutz, BfS (Hrsg.). *Informationsbroschüre „ Strahlenthemen“* Salzgitter 2002.

Brüggemeyer H. *Elektrosmog – Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf den Menschen*. Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.). Hannover 1993.

Hake G. & Grünreich D. (1994). *Kartographie*. 7. Auflage. Berlin.

Kaatsch P, Spix C. Jahresbericht 2004 des Deutschen Kinderkrebsregisters. Universität Mainz, 2004.

Kamen H. (1986). Vermessungskunde II. Berlin.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg). Elektromagnetische Felder im Alltag, Informationsbroschüre. Karlsruhe 2002.

NLGA, Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (Hrsg). Gesundheitliche Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die Bevölkerung in Niedersachsen – Bestandsaufnahme und Machbarkeitsüberlegungen. Hannover 2002.

<http://www.nlga.niedersachsen.de/>

Schlesselmann J. Case-Control-Studies – Design, conduct, analysis“. Oxford University Press 1982.

Strahlenschutzkommission. Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Bonn 2001. <http://www.ssk.de>

Wilhelmy H (1996): „Kartographie in Stichworten“ (=Hirts Stichwortbücher) 6. Auflage. Zug.

**Anlage 1a Senderauswahl basierend auf der Wittsmoorliste
(vorläufige Auswahl TV-Sender)**

PLZ	Ort	Standort	Land	Betreiber
35713	Eschenburg	Angelburg	Hessen	T-Systems
10178	Berlin	Berlin		
14109	Berlin	Berlin (West)		
33649	Bielefeld	Bielefeld	NRW	WDR
28217	Bremen	Bremen		RB
38879	Schierke	Brocken	Sachsen-Anhalt	MDR/T-Systems
91613	Marktbergel	Büttelberg	Bayern	BR
09468	Geyer	Chemnitz	Sachsen	MDR/T-Systems
03205	Calau	Cottbus / Calau	Brandenburg	RBB/T-Systems
39606	Dequede	Dequede	Sachsen-Anhalt	MDR/T-Systems
44139	Dortmund	Dortmund	NRW	T-Systems
01326	Dresden	Dresden / Wachwitz	Sachsen	MDR/T-Systems
42799	Leichlingen-Witzhelden	Düsseldorf (Witzhelden)	NRW	T-Systems
25836	Garding	Eidersted	Schleswig-H.	T-Systems
15236	Treplin	Frankfurt (Oder)	Brandenburg	
79235	Vogtsburg	Freiburg	Baden-W.	SWR
61389	Schmittent/Ts	Gr.Feldberg/Taunus	Hessen	HR
87549	Rettenberg-Burgberg	Gruenten/Allgaeu	Bayern	BR
54472	Gornhausen	Haardtkopf	Rheinland-Pfalz	SWR
20357	Hamburg	Hamburg		T-Systems
30627	Hannover	Hannover	Niedersachsen	NDR
69117	Heidelberg	Heidelberg/Königsstuhl	Baden-W.	SWR
17348	Woldegk	Helpterberg	Mecklenburg-V	NDR/T-Systems
29478	Höhbeck	Hoehbeck	Niedersachsen	T-Systems
95030	Hof	Hof	Bayern	BR
95234	Sparneck	Hof/Gr. Waldstein	Bayern	BR
93453	Neukirchen/Hl. Blut	Hoher Bogen	Bayern	BR
99891	Tabarz	Inselsberg	Thüringen	MDR/T-Systems
04523	Wiederau	Leipzig	Sachsen	MDR/T-Systems
49811	Lingen	Lingen	Niedersachsen	T-Systems
02708	Löbau	Loebau	Sachsen	MDR/T-Systems
18337	Marlow	Marlow	Mecklenburg-V.	NDR/T-Systems
48155	Münster	Münster /Baumberge	NRW	WDR
24534	Neumünster	Neumünster	Schleswig-Holstein	
21224	Rosengarten	Rosengarten	Niedersachsen	SAT 1
66292	Riegelsberg	Saarbrücken	Saarland	SR
83530	Schnaitsee	Schnaitsee	Bayern	T-Systems
19063	Schwerin	Schwerin	Mecklenburg-V.	NDR/T-Systems
98749	Siegmundsburg	Sonneberg	Thüringen	MDR/T-Systems
27777	Ganderkesee	Steinkimmen	Niedersachsen	NDR
38667	Bad Harzburg	Torfhaus	Niedersachsen	T-Systems
29365	Sprakensehl	Uelzen (Bockel)	Niedersachsen	T-Systems

**Anlage 1b Senderauswahl basierend auf der Wittsmoorliste
(vorläufige Auswahl Hörfunk-Sender)**

PLZ	Ort	Standort	Land	Betreiber
94527	Aholming	Aholming	Bayern	DLF
95349	Thurnau	Bayreuth-Thurnau	Bayern	DLF
14109	Berlin	Berlin		RBB (?)
12347	Berlin	Berlin (West)		D-RADIO/DLF
88605	Messkirch	Bodenseesender	Baden-W.	SWR
38162	Cremlingen	Braunschweig	Niedersachsen	DLF
28357	Bremen	Bremen		RB
27570	Bremerhaven	Bremerhafen (AFN)		AFN
39288	Burg	Burg	Sachsen-Anhalt	
69427	Mudau	Donebach	Baden-W.	DLF
01326	Dresden	Dresden	Sachsen	
01724	Wilsdruff	Dresden/Wilsdruf		MDR
63110	Rodgau-Weißkirchen	Frankfurt / Main	Hessen	HR
22113	Hamburg	Hamburg		NDR
37235	Hessisch-Lichtenau	Hoher Meissner	Hessen	HR
85739	Ismaning	Ismaning	Bayern	BR
52428	Jülich	Jülich (KW)	NRW	DW/T-Systems
		Königs-Wusterhausen (KW)	Brandenburg	
42555	Langenberg	Langenberg	NRW	WDR
63533	Mainhausen	Mainflingen	Hessen	Evangeliums-RF
75417	Mühlacker	Mühlacker	Baden-W.	SWR
		München-Erching	Bayern	BR
14641	Nauen	Nauen (KW)	Brandenburg	DW
24647	Ehndorf	Neumünster	Schleswig-H.	DLF
16515	Zehlendorf	Oranienburg	Brandenburg	D-Radio/ Stimme Russlands
55578	Wolfsheim	Rheinsender / Wolfsheim	Rheinland-Pfalz	SWR
66265	Heusweiler	Saarbrücken-Heusweiler	Saarland	DLF
66802	Felsberg	Saarlouis	Saarland	ERF
98660	Wachenbrunn	Wachenbrunn (Themar)	Thüringen	MDR/Stimme Russlands
86854	Ambach	Wertachtal (KW)	Bayern	DW

Anlage 2a Senderauswahl Stand 14.11.2005 (AM - Sender)

PLZ	Standort	Ort	Straße	Land	Betreiber
94527	Aholming	Aholming	Königwaldstr. 33	Bayern	DLF
95349	Bayreuth-Thurnau	Thurnau	Hoher Kreuzberg	Bayern	DLF
88605	Bodenseesender	Messkirch	Rohrdorf	Baden-W.	SWR
38162	Braunschweig	Cremlingen	Im Wohld	Niedersachsen	DLF
28357	Bremen	Bremen	Oberneuland	Bremen	RB
69427	Donebach	Mudau	Senderstr. 10	Baden-W.	DLF
63110	Frankfurt / Main	Rodgau-Weißkirchen		Hessen	HR
22113	Hamburg	Hamburg	Unterer Landweg 93	Hamburg	NDR
Neue Landstr.	Hannover-Hemmingen	Hannover	30627	Niedersachsen	NDR
37235	Hoher Meissner	Hessisch-Lichtenau	Sendeanlage Hoher Meissner	Hessen	HR
42555	Langenberg	Langenberg	Oberbonstfeld; Richard-Tormin-str.	NRW	WDR
63533	Mainflingen	Mainhausen	Sendefunkstelle Seligenstadt	Hessen	Evangeliums-RF
75417	Mühlacker	Mühlacker	Senderstr.	Baden-W.	SWR
24647	Neumünster	Ehndorf	Ehndorfer Moor	Schleswig-H.	DLF
55578	Rheinsender / Wolfsheim	Wolfsheim		Rheinland-Pfalz	SWR
66265	Saarbrücken-Heusweiler	Heusweiler	Nähe Schwimmbad	Saarland	DLF

Anlage 2b Senderauswahl Stand 14.11.2005 (UKW/TV - Sender)

UKW-Standort	TV vorh.	Betreiber
Aalen (Baden-Württemberg)	ja	SWR, LR-BW
Bremen	nein	RB, DR
Hardberg (Hessen)	ja	HR
Heidelberg (Baden-Württemberg)	ja	SWR, LR-BW
Hoher Bogen (Bayern)	ja	BR, ANT-BY
Stuttgart (Baden-Württemberg)	ja	SWR, AFN, BIG FM, LR-BW
Waldenburg (Baden-Württemberg)	ja	SWR
Witthoh (Baden-Württemberg)	nein	SWR, DR, LR-BW