

# Strahlenschutz beim Stromnetzausbau – Das Forschungsprogramm des Bundesamtes für Strahlenschutz

## *Radiation protection in the process of power grid expansion – the research program of the federal office for radiation protection*

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen, werden Stromnetze in Deutschland ausgebaut. Dabei sollen Fragen des Gesundheits- und Strahlenschutzes möglichst früh berücksichtigt werden. Um die bestehenden wissenschaftlichen Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und die offenen Fragen zu beantworten, führt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein begleitendes Forschungsprogramm zum Stromnetzausbau durch. Das BfS hat acht Themenfelder identifiziert, in denen Forschungsbedarf besteht. Aktuell sind 36 Forschungsvorhaben unterschiedlicher Priorität geplant. Das Forschungsprogramm wurde vorab von der Strahlenschutzkommission positiv bewertet. Zu Beginn des Forschungsprogramms fanden eine Auftaktveranstaltung und eine Online-Konsultation statt.

BLANKA POPHOF,  
CHRISTOPH  
BÖHMERT, CORNELIA  
EGBLOMASSÉ-  
ROIDL, DIRK  
GESCHWENTNER,  
JENS KUHNE,  
CHRISTIANE PÖLZL-  
VIOL, JANINE-ALISON  
SCHMIDT, MARIA  
SCHNELZER, GUNDE  
ZIEGELBERGER

### **ABSTRACT**

*In order to increase the proportion of renewable energies in the electricity supply, power grids in Germany are being expanded. During this process, health and radiation protection issues should be taken into consideration right from the beginning. In order to reduce the existing scientific uncertainties in risk assessment and to be able to answer open questions, the German Federal Office for Radiation Protection (BfS) initiated an accompanying research program "Radiation Protection in the Process of Power Grid Expansion". The BfS has identified eight main topic areas with a need for research. Currently, 36 research projects are planned. The research program was positively evaluated in advance by the German Radiation Protection Commission. At the beginning of the research program, a kick-off meeting and an online consultation took place.*

### **DIE ENTSTEHUNG DES FORSCHUNGSPROGRAMMS**

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen, werden die bestehenden Stromnetze in Deutschland ausgebaut und verstärkt. Hierfür werden nicht nur bestehende Hochspannungs-Wechselstromübertragungsleitungen (HWÜ-Leitungen) ertüchtigt, sondern auch neue HWÜ-Leitungen sowie erstmals Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen (HGÜ-Leitungen) errichtet, letztere vorzugsweise als Erdkabel. Die vom Ausbau

betreffene Bevölkerung steht den notwendigen Maßnahmen zum Teil kritisch bis ablehnend gegenüber. Dabei werden unter anderem Befürchtungen zu gesundheitlichen Risiken geäußert.

Beim Ausbau der Stromnetze müssen Fragen des Gesundheits- und Strahlenschutzes von Anfang an berücksichtigt werden. Die Grenzwerte der 26. Bundesimmissionschutzverordnung (26. BImSchV) schützen vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken durch statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder, die von Stromleitungen ausgehen. Es gibt jedoch



FOTO  
Hochspannungsleitung.  
Quelle: BfS.

wissenschaftliche Unsicherheiten in Bezug auf mögliche gesundheitliche Wirkungen unterhalb dieser Grenzwerte und weitere offene, nicht oder wenig untersuchte Fragen, wie zum Beispiel Wahrnehmungsschwellen elektrischer Felder.

Um bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und offene Fragen zu beantworten, führt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein begleitendes Forschungsprogramm zum "Strahlenschutz beim Stromnetzausbau" durch. In insgesamt acht Themenfeldern, die im Weiteren beschrieben werden, sollen 36 Forschungsvorhaben durchgeführt werden (TABELLE I). Entsprechend der jeweiligen Relevanz, Machbarkeit und Dringlichkeit hat das BfS diesen Projekten unterschiedliche Prioritäten zugewiesen.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) nahm eine Bewertung aller Projektvorschläge des BfS bezüglich Dringlichkeit, Relevanz und

der geplanten Kosten vor (SSK 2016). Diese war mit der Priorisierung durch das BfS weitestgehend deckungsgleich.

Im Juli 2017 wurde das Forschungsprogramm bei einer Auftaktveranstaltung in Berlin vorgestellt. Eine darauffolgende Online-Konsultation ermöglichte es nationalen und internationalen Experten, Behördenvertretern und der interessierten Öffentlichkeit, sich an der Ausgestaltung des Forschungsprogramms zu beteiligen. Dabei konnten zwei Monate lang die Relevanz des gesamten Forschungsprogramms oder einzelner Themenfelder bewertet und Anregungen zur Schwerpunktsetzung oder zur Konzeption des Forschungsprogramms gegeben werden. In diesem Zeitraum sind insgesamt 240 Bewertungen und 163 Kommentare eingegangen, hiervon 14 Bewertungen und fünf Kommentare über die englischsprachige Website. Der Großteil der Bewertungen stammte von interessierten

Bürgerinnen und Bürgern (ABBILDUNG 1). Die Kommentare waren überwiegend positiv, und die große Mehrheit (95 Prozent) stufte das Forschungsprogramm als sehr wichtig ein. Das BfS erreichten auch zahlreiche Kooperationsangebote und ergänzende Projektvorschläge. Die Kommentare wurden zusammengefasst und auf den Internetseiten des BfS veröffentlicht. Einige Vorschläge werden bei der Planung weiterer Projekte berücksichtigt werden, so zum Beispiel der Einfluss niederfrequenter Felder auf Tiere und Pflanzen, auf oxidativen Stress sowie auf den Schlaf.

## FORSCHUNG IN ACHT THEMENFELDERN

### 1. NEURODEGENERATIVE ERKRANKUNGEN

Neurodegenerative Erkrankungen sind Erkrankungen des zentralen oder des peripheren Nervensystems, bei denen es zur Degeneration und zum Absterben von Nervenzellen kommt. Dies führt zu Funktionsstörungen des Gehirns (z.B. Gedächtnisstörungen, Demenzen) und des Bewegungsapparats (z.B. Multiple Sklerose, Parkinson-Krankheit, Amyotrophe Lateralsklerose [ALS]).

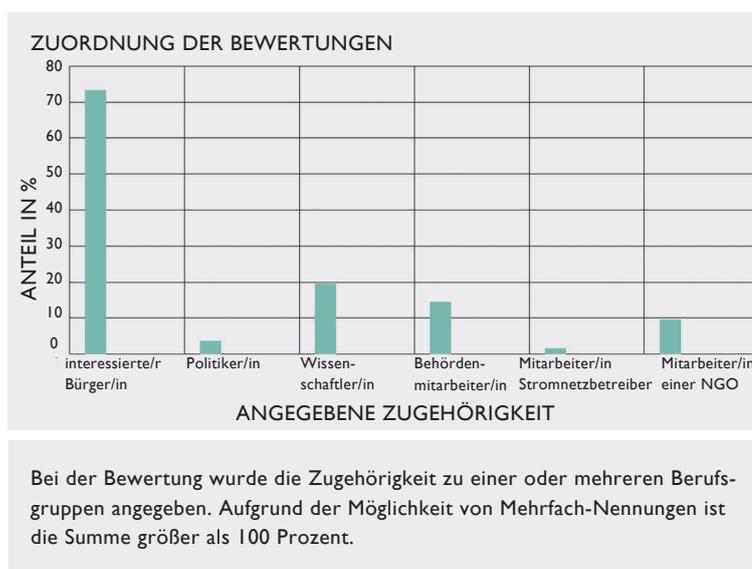
Beobachtungsstudien am Menschen (epidemiologische Studien) zeigen bei beruflich hoch exponierten Personengruppen einen schwachen Zusammenhang zwischen Magnetfeldexpositionen und ALS (Huss 2018) beziehungsweise Alzheimer-Demenz (AD) (Jalilian et al. 2017). Demgegenüber zeigen epidemiologische Studien keinen Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und der Parkinson-Krankheit beziehungsweise multipler Sklerose (Feychting et al. 2003). Tierexperimentelle Studien konnten die positiven epidemiologischen Befunde zur beruflichen Exposition mit Magnetfeldern und ALS beziehungsweise AD bisher nicht bestätigen, auch ist ein Wirkmechanismus nicht bekannt (Liebl et al. 2015).

	THEMENFELD	ANZAHL DER PROJEKTE
1	Niederfrequente Magnetfelder und neurodegenerative Erkrankungen	7
2	Bestimmung von Wahrnehmungs- und Wirkungsschwellen	4
3	Leukämie im Kindesalter und Magnetfeldexposition	8
4	Kokanzerosenität von Magnetfeldexposition	1
5	Magnetfeldexposition und Fehlgeburtenrate	1
6	Auftrete, Ausbreitung, Absorption von Korona-Ionen	4
7	Exposition und Dosimetrie	4
8	Risikowahrnehmung und Risikokommunikation	7

Für AD liegt aus einer Studie zusätzlich ein Hinweis auf eine Zunahme des Risikos mit der Wohndauer bei Personen, die innerhalb von 50 Metern Entfernung von einer Hochspannungsleitung wohnen, vor (Huss et al. 2009). Aus einer anderen Studie gibt es schwache Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Personen, die innerhalb von 50 Metern von einer Hochspannungsleitung wohnten und die bei Diagnose jünger als 75 Jahre waren (Frei et al. 2013). Insgesamt sprechen die Befunde jedoch eher nicht für erhöhtes AD-Risiko in der Nähe von Hochspannungsleitungen. Für ALS

TABELLE I  
Themenfelder des Forschungsprogramms jeweils mit Anzahl der durchzuführenden Projekte.

ABBILDUNG 1  
Gruppenzugehörigkeiten der 240 Bewertungen.  
Quelle: BfS.



wurde kein statistischer Zusammenhang mit Wohnorten in der Nähe von Stromleitungen gefunden (Röösli et al. 2018).

Expertinnen und Experten aus der Medizin, Epidemiologie, Neurobiologie und dem Strahlenschutz kamen im Dezember 2017 in München zu einem internationalen Workshop zusammen. Sie informierten und diskutierten über den aktuellen Forschungsstand bezüglich des Zusammenhangs zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldexposition und über die bestehenden Kenntnislücken. Die Ergebnisse aus dem Workshop, vor allem Hinweise auf neue, möglicherweise besser geeignete Tiermodelle, werden bei der Initiierung weiterer Forschungsvorhaben und der Präzisierung der Methoden genutzt.

In weiteren Schritten werden aktuell vorliegende epidemiologische Daten einer gepoolten Analyse und einer Metaanalyse unterzogen, um den Zusammenhang zwischen neurodegenerativen Erkrankungen und Magnetfeldern oder auch Stromschlägen nochmals zu prüfen. Sollten die bisherigen Erkenntnisse bestätigt werden, wird versucht, in Tierstudien und Studien an Zellkulturen zu prüfen, ob es sich um einen kausalen Zusammenhang handelt. Außerdem wird nach möglichen Wirkmechanismen gesucht. Voraussetzung dafür sind geeignete Tiermodelle und Zelllinien.

## **2. WAHRNEHMUNGS- UND WIRKUNGSSCHWELLEN**

Elektrische und magnetische Felder können unter besonderen Umständen wahrgenommen und als unangenehm empfunden werden oder auf Körperfunktionen einwirken. Niederfrequente Magnetfelder induzieren im Körper elektrische Ströme und Felder (**ABBILDUNG 2**), die deutlich oberhalb der Grenzwerte zur Reizung von Nerven und Muskeln führen. Statische und niederfrequente elektrische Felder von Freileitungen können bei ausreichend hohen Feldstärken direkt wahrgenommen werden. Zudem können sich leitfähige Objekte wie zum Beispiel

Autos, die sich unterhalb von Stromleitungen befinden, elektrisch aufladen. Bei Berührung der Metalloberfläche des Autos durch Personen kann es zu Funkenentladungen und Kontaktströmen kommen. Entsprechend der 26. BImSchV sind derartige störende und unangenehme Ereignisse unterhalb von Stromfreileitungen zu vermeiden. Allerdings sind die Wahrnehmungsschwellen von Menschen und vor allem ihre Abhängigkeit von Alter und Geschlecht nur unzureichend bekannt. Die Randbedingungen, unter denen es zu den genannten Ereignissen kommt, müssen ebenfalls genauer untersucht werden.

Um diese Fragen zu klären, wurde als erster Schritt im Oktober 2016 in München der Internationale „Workshop zu Wirkungs- und Wahrnehmungsschwellen statischer und niederfrequenter magnetischer und elektrischer Felder und Kontaktströmen beim Menschen“ (BfS 2018a) durchgeführt. Führende Expertinnen und Experten auf den Gebieten der Dosimetrie und Neurobiologie waren vertreten und gaben eine Übersicht zum aktuellen Forschungsstand. Die anschließende Diskussion diente der Identifizierung von Kenntnislücken und Forschungsschwerpunkten, die eine Präzisierung der weiteren geplanten Forschungsvorhaben ermöglicht. Forschungsbedarf wurde vor allem bei Wahrnehmungsschwellen von statischen elektrischen Feldern sowie der Wahrnehmung und dem Auftreten von Kontaktströmen und Funkenentladungen gesehen. Zu diesen Endpunkten sind weitere Forschungsvorhaben geplant.

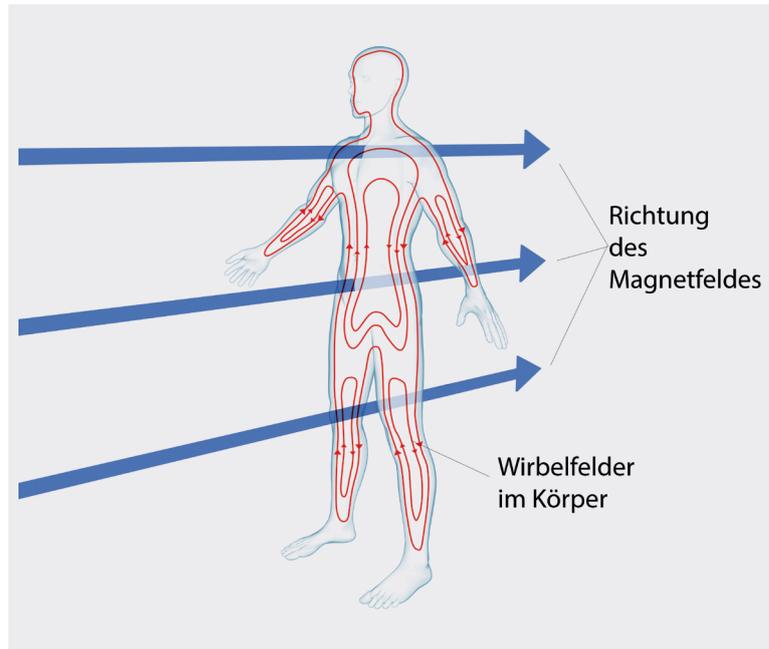
## **3. LEUKÄMIEN IM KINDESALTER UND MAGNETFELDEXPOSITION**

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC), eine Einrichtung der Weltgesundheitsorganisation (WHO), stufte niederfrequente Magnetfelder bereits 2001 als "möglicherweise kanzerogen" (Gruppe 2b) ein. Diese Klassifizierung basiert auf der in mehreren epidemiologischen Studien konsistent beobachteten statistischen Assoziation zwischen schwachen niederfrequenten Magnetfeldern und einem leicht erhöhten

Risiko für Leukämien im Kindesalter. Zu diesem Thema initiierte das BfS seit 2008 mehrere internationale Workshops, teilweise in Kooperation mit der WHO, der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) und anderen nationalen Strahlenschutzbehörden oder Gremien. Im Jahr 2010 wurde zusammen mit pädiatrischen Onkologen eine interdisziplinäre Forschungsagenda (Ziegelberger et al. 2011) erarbeitet, mit dem Ziel, die komplexen Ursachen von Leukämien im Kindesalter zu klären. Auf dieser Basis wurden einige der Themenschwerpunkte aufgegriffen und entsprechende Pilotprojekte initiiert. Die Ergebnisse von fünf Pilotstudien sind im Online-Repositorium DORIS des BfS veröffentlicht (Borkhardt et al. 2015, 2016; Stanulla et al. 2015; Lightfoot et al. 2016; Zeeb et al. 2016) und legen als nächste Schritte weitere Folgeforschungsvorhaben nahe: In Planung sind neben epidemiologischen Studien (Metaanalyse, bei Bedarf gepoolte Analyse, Beteiligung an einer Geburtenkohorte) auch molekularbiologische und genetische Untersuchungen zu den Ursachen von Leukämien bei Kindern, sowie experimentelle Studien an geeigneten Tiermodellen während einer Magnetfeldexposition.

Seit langem wird ein geschwächtes beziehungsweise nicht ausgereiftes Immunsystem als eine der Ursachen für Leukämien im Kindesalter vermutet. Ein neu entwickeltes Mausmodell soll klären, ob sich die in Pilotstudien beobachteten Magnetfeldeffekte auf zytotoxische T-Zellen (eine bestimmte Art von Immunzellen) bestätigen lassen. Ein entsprechendes Forschungsvorhaben wird derzeit am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und experimentelle Medizin (ITEM) in Hannover durchgeführt. Die ersten Ergebnisse dieser Studie werden Ende 2018 erwartet.

Im November 2016 fand der fünfte vom BfS organisierte internationale Workshop zum Stand der Ursachenforschung von Leukämien im Kindesalter statt (BfS 2018b), 2019 ist ein weiterer Workshop zum Austausch des Kenntnisstandes geplant.



#### 4. KO-KANZEROGENITÄT VON MAGNETFELDEXPOSITION

Die WHO (2007) empfiehlt mit hoher Priorität, Tierstudien und In vitro-Studien zu einer möglichen ko-karzinogenen Wirkung von Magnetfeldern durchzuführen. Eine aktuelle Studie (Soffritti et al. 2016) an Ratten, die lebenslang, das heißt pränatal bis zum natürlichen Tod, niederfrequenten Magnetfeldern und zusätzlich einer einmaligen Dosis ionisierender Strahlung ausgesetzt wurden, zeigte signifikant erhöhte Erkrankungsraten bei mehreren Tumorarten. Diese Ergebnisse sollen überprüft werden.

#### 5. FEHLGEBURTENRATE

Aufgrund einzelner Hinweise zu beruflicher und häuslicher Magnetfeldexposition (z.B. durch die Nutzung von Heizdecken) wurde die Fehlgeburtenrate als zu untersuchender Endpunkt in die WHO-Forschungsagenda (WHO 2007) aufgenommen. Allerdings gab die WHO der Untersuchung dieses Endpunkts keine hohe Priorität, da die bestehende Evidenz für einen Zusammenhang als sehr schwach eingestuft wird. Da aber ein solcher

ABBILDUNG 2

Niederfrequente Magnetfelder durchdringen den menschlichen Körper und induzieren im Körperinneren elektrische Wirbelfelder.

Quelle: BfS.

Zusammenhang aufgrund der großen Anzahl von Magnetfeld-exponierten Personen insgesamt von großer Tragweite wäre, wird eine Verbesserung der Datenlage angestrebt. In einem epidemiologischen Vorhaben soll das Fehlgeburtsrisiko an einer bereits bestehenden Kohorte mit vorhandenen Daten zu häuslichen und/oder beruflichen Magnetfeldexpositionen ausgewertet werden.

## **6. AUFTRETEN, AUSBREITUNG UND ABSORPTION VON KORONA-IONEN**

Durch den bei Hochspannungsleitungen auftretenden Korona-Effekt können an Freileitungsseilen Luftmoleküle und Aerosole elektrisch aufgeladen und durch Wind über vergleichsweise große Distanzen verbreitet werden. 1996 wurde in England die Hypothese entwickelt, dass so erzeugte geladene Partikel das Risiko der Anwohnerinnen und Anwohner für Atemwegserkrankungen erhöhen (Henshaw et al. 1996; Fews et al. 1999). Wissenschaftliche Beweise für diese Vermutung gibt es nicht. Die britische Strahlenschutzbehörde (früher National Radiological Protection Board/NRPB, jetzt Public Health England/PHE) schätzt ein zusätzlich erhöhtes Gesundheitsrisiko durch an herkömmlichen HWÜ-Leitungen aufgeladene Luftschadstoffe als unwahrscheinlich beziehungsweise sehr gering ein (NRPB 2004), sieht in Detailfragen jedoch noch Forschungsbedarf.

Da davon ausgegangen wird, dass die Ladungswolken bei HGÜ-Leitungen im Vergleich zu HWÜ-Leitungen zeitlich stabiler sind beziehungsweise sich weiter verbreiten, gewinnt die Hypothese eine neue Bedeutung. Die Frage, ob Luftschadstoffe aus dem Untergrund (z.B. Radon und seine Zerfallprodukte), aus industriellen Prozessen oder aus dem Verkehr, in Abhängigkeit von ihrem elektrischen Ladungszustand verstärkt vom Körper aufgenommen werden und somit ein höheres Gesundheitsrisiko darstellen, ist nicht abschließend geklärt.

Das BfS wird zunächst eine Literaturstudie vergeben, die den wissenschaftlichen Kenntnisstand zur Entstehung, Konzentration und

Ausbreitung von ionisierten Luftmolekülen und Staubpartikeln ermitteln wird. Die Forschungsnehmer werden die herkömmlichen HWÜ-Leitungen mit den geplanten HGÜ-Leitungen vergleichen und dabei auch die Abhängigkeit von Witterungsbedingungen berücksichtigen. Sie werden potenzielle Gesundheitsrisiken ermitteln, Wissenslücken identifizieren und Forschungsansätze sowie geeignete Untersuchungsmethoden vorschlagen. Die weitere Forschung wird von den Ergebnissen der Literaturstudie abhängen.

## **7. EXPOSITIONSANALYSE UND EXPOSITIONSBEWERTUNG**

Die bei der Exposition mit niederfrequenten Feldern im Körper hervorgerufenen Feldgrößen können zum Teil nur mit großen Unsicherheiten angegeben werden. So weist der unabhängige Wissenschaftliche Ausschuss der Europäischen Union (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks / SCENIHR) zum Beispiel auf einen Mangel an Daten und systematischen Studien zu den dielektrischen Eigenschaften von Geweben bei niedrigen Frequenzen hin. Die WHO empfiehlt in ihrer Forschungsagenda zu niederfrequenten Feldern, dosimetrische Modelle für Gewebe und Gewebestrukturen, die besonders sensitiv für induzierte elektrische Felder sind, zu verbessern (WHO 2007). Auch internationale Fachgesellschaften wie das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) und das International Committee on Electromagnetic Safety (ICES) haben in diesem Zusammenhang Forschungsbedarf identifiziert (Reilly et al. 2016). Hierzu soll vom BfS ein Beitrag geliefert werden.

Bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von Anlagen für die elektrische Energieversorgung sollte aus Vorsorgegründen darauf geachtet werden, dass die Exposition der Bevölkerung nicht wesentlich erhöht wird (ABBILDUNG 3). Untersuchungen zu niederfrequenten Magnetfeldern in Deutschland, die vor allem vor dem Jahr 2000 in der Bevölkerung durchgeführt wurden, haben zeitlich gemittelte Expositionen von etwa 0,1 Mikro-

tesla bei 50 Hertz ergeben. Diese Daten sollen aktualisiert und auf weitere Frequenzbereiche ausgedehnt werden.

Außerdem sind entsprechend der 26. BimSchV Anlagen für die elektrische Energieversorgung so zu betreiben, dass keine erheblichen Belästigungen durch Berührungsspannungen (Kontaktströme, Entladung beim Berühren aufgeladener, nicht geerdeter Gegenstände) und Funkenentladungen verursacht werden. Das Auftreten dieser Effekte soll näher untersucht werden.

## 8. RISIKOWAHRNEHMUNG UND RISIKOKOMMUNIKATION

Neben Aspekten des Natur- und Umweltschutzes sowie der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes prägen Fragen zu den gesundheitlichen Risiken durch statische und niederfrequente Felder die Diskussionen vor Ort und die Medienberichterstattung. Neben sachlichen Argumenten sind stets auch Emotionen und Ängste in der Bevölkerung ein wichtiger Bestandteil dieser Diskussionen.

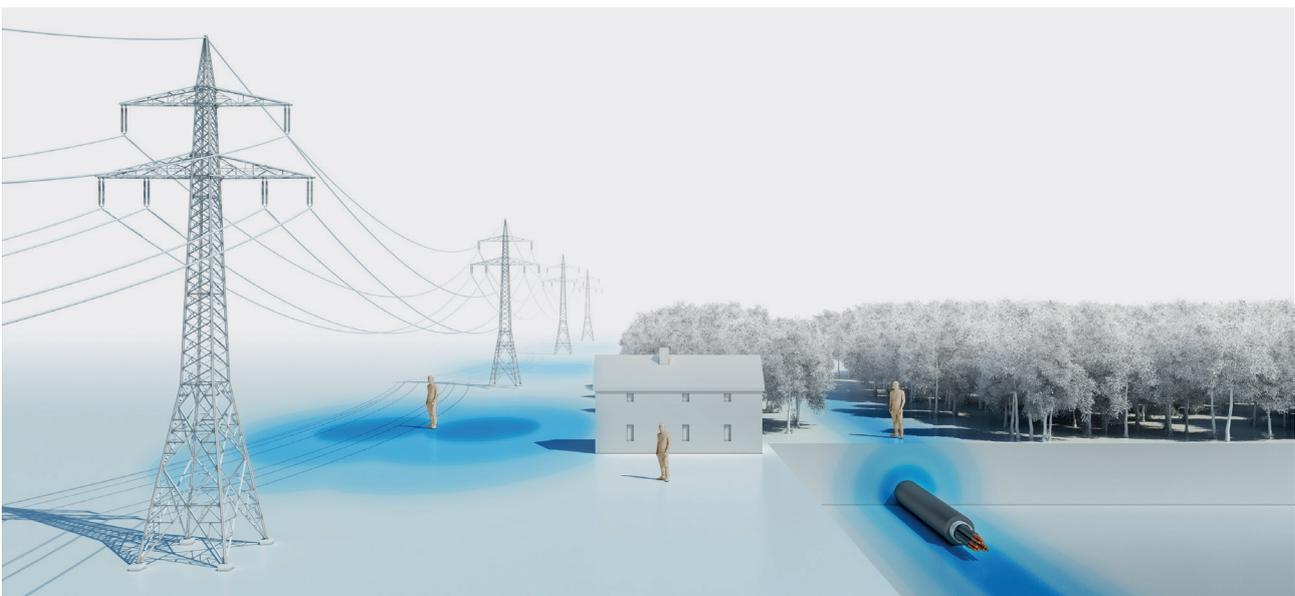
Die Thematik ist, was die technische Ausgestaltung der Anlagen zur Stromversorgung, aber auch die möglichen gesundheitlichen Risiken durch die elektrischen und magnetischen Felder betrifft, sehr komplex.

Für die Bürgerinnen und Bürger ist es daher schwierig, alle damit verbundenen Aspekte zu überblicken und zu bewerten. Auch Behördenmitarbeiter und -mitarbeiterinnen sowie politische Mandatsträger und -trägerinnen verfügen oftmals nicht über ein ausreichendes Fachwissen, um alle Fragen kompetent beantworten zu können.

Dieser Teil des Forschungsprogramms ermittelt die Kenntnisse und die Risikowahrnehmung der Bürgerinnen und Bürger sowie deren Informationsbedürfnisse. Ausgehend davon wird geklärt, wie die Informationen aufbereitet werden müssen und wie sie zu vermitteln sind, um eine möglichst breite Öffentlichkeit und vor allem die Betroffenen zu erreichen. Außerdem wird untersucht, welche Faktoren für die Meinungsbildung in der Öffentlichkeit ausschlaggebend sind und wie die Glaubwürdigkeit der beteiligten Behörden und das Vertrauen in die handelnden Personen erhöht werden können.

Die Projekte im Forschungsschwerpunkt Risikokommunikation sollen der Verunsicherung der Bürgerinnen und Bürger bezüglich der gesundheitlichen Wirkungen von Stromleitungen entgegenwirken. Ziel ist es, einen Beitrag dafür zu leisten, dass sich die Bürgerinnen und Bürger anhand der vorlie-

ABBILDUNG 3  
In der Nähe von Freileitungen und Erdkabeln breiten sich Magnetfelder (blau) aus und führen zur Exposition der Bevölkerung. Quelle: BfS.



genden Informationen ihre eigene fundierte Meinung bilden können.

Das BfS führte Ende November 2017 am BfS-Standort in München ein Fachgespräch durch, in dem die bisherigen Erkenntnisse aus der sozialwissenschaftlichen Forschung mit der interessierten sowie der Fachöffentlichkeit diskutiert wurden (BfS 2018c). Themenschwerpunkte waren Diskursgestaltung, Glaubwürdigkeit, Vertrauen, Transparenz und "Lessons Learned" aus bisherigen Praxisbeispielen des Stromnetzausbaus.

Repräsentative und regelmäßige Umfragen werden eine geeignete Ausgangsbasis bieten, um mit zielgruppenspezifischen Informations- und Kommunikationsmaßnahmen auf die Sorgen und Bedürfnisse der Bevölkerung einzugehen.

Aktuelle Informationen zum Verlauf des Forschungsprogramms können unter [http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html) abgerufen werden.

## LITERATUR

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018a): Action and perception thresholds of static and ELF magnetic and electric fields and contact currents in humans. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018011814498> (Zugriff am: 01.08.2018).

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018b): 5th International Workshop on the Causes of Childhood Leukemia - Vorhaben 3616102233. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018050314817> (Zugriff am: 01.08.2018).

BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018c): BfS-Fachgespräch: Risikokommunikation beim Stromnetzausbau. Kurzbericht. <http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/fg-risikokommunikation.html> (Zugriff am 30.05.2018).

Borkhardt A, Sanchez-Garcia I, Cobaleda C et al. (2015): Übersicht über vorhandene Tiermodelle, die für die Leukämieforschung angewandt werden könnten - Vorhaben 3612570029. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015012912274> (Zugriff am: 01.08.2018).

Borkhardt A, Slany R (2016): Nachweis von chromosomalen Translokationen durch genomische PCR zur Identifizierung prä-leukämischer Zellen bei Kindern - Pilotstudie zur Entwicklung und Validierung geeigneter Sonden - Vorhaben 3612570019. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016082614074> (Zugriff am: 01.08.2018).

Fews A, Henshaw DL, Keitch PA et al. (1999): Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines. *Int J Radiat Biol* 75 (12): 1505–1521.

Feychting M, Jonsson F, Pedersen NL et al. (2003): Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidemiology* 14 (4): 413–419; discussion 427–418.

Frei P, Poulsen AH, Mezei G et al. (2013): Residential distance to high-voltage power lines and risk of neurodegenerative diseases: a Danish population-based case-control study. *Am J Epidemiol* 177(9): 970–978.

Henshaw DL, Ross AN, Fews AP et al. (1996): Enhanced deposition of radon daughter nuclei in the vicinity of power frequency electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol* 69 (1): 25–38.

Huss A, Peters S, Vermeulen R (2018): Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of ALS: A systematic review and meta-analysis. *Bioelectromagnetics* 39 (2): 156–163.

Huss A, Spoerri A, Egger M et al. (2009): Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol* 169(2): 167–175.

Jalilian H, Teshnizi SH, Roosli M et al. (2017): Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and risk of Alzheimer disease: A systematic review and meta-analysis. *Neurotoxicology*. DOI: 10.1016/j.neuro.2017.12.005.

Liebl MP, Windschmitt J, Besemer AS et al. (2015): Low-frequency magnetic fields do not aggravate disease in mouse models of Alzheimer's disease and amyotrophic lateral sclerosis. *Sci Rep*. 5: 8585.

Lightfoot T, Starr L, Erdmann F et al. (2016): Untersuchungen zum Zusammenwirken umweltbedingter Risikofaktoren mit genetischen und weiteren endogenen Faktoren bei der Entstehung von Leukämie im Kindesalter - Teilvorhaben 4: Pilotstudie zum Vergleich der Inzidenz von Leukämie im Kindesalter in verschiedenen Ländern - Vorhaben 3611570028 <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016111114156> (Zugriff am: 01.08.2018).

NRPB – National Radiological Protection Board (2004): Particle deposition in the vicinity of power lines and possible effects on health. Documents of the NRPB, Volume 15 (1).

Reilly JP, Hirata A (2016): Low-frequency electrical dosimetry: research agenda of the IEEE International Committee on Electromagnetic Safety. *Phys. Med. Biol.* 61:R138-R149.

Rööslä M, Jalilä H (2018): A meta-analysis on residential exposure to magnetic fields and the risk of amyotrophic lateral sclerosis. *Rev Environ Health*. DOI: 10.1515/reveh-2018-0019.

Soffritti M, Tibaldi E, Padovani M et al. (2016): Life-span exposure to sinusoidal-50 Hz magnetic field and acute low-dose gamma radiation induce carcinogenic effects in Sprague-Dawley rats. *Int J Radiat Biol* 92 (4): 202–214.

SSK – Strahlenschutzkommission (2016): Forschungsprogramm zur Verbesserung der Risikobewertung und Risikokommunikation beim Stromnetzausbau. [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2016/2016-12-01\\_Stn\\_Stromnetzausbau\\_KT.html](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2016/2016-12-01_Stn_Stromnetzausbau_KT.html) (Zugriff am: 01.08.2018).

Stanulla M, Borkhardt A, Eckert C et al. (2015): Untersuchungen zum Zusammenwirken umweltbedingter Risikofaktoren mit genetischen und weiteren endogenen Faktoren bei der Entstehung von Leukämie im Kindesalter. Pilotstudie: Sequenzierung und bioinformatische Auswertung - Vorhaben 361 IS70014. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2015012912280> (Zugriff am: 01.08.2018).

WHO – Weltgesundheitsorganisation (2007): Research Agenda for Extremely Low Frequency Fields. [http://www.who.int/peh-emf/research/elf\\_research\\_agenda\\_2007.pdf?ua=1](http://www.who.int/peh-emf/research/elf_research_agenda_2007.pdf?ua=1) (Zugriff am: 03.08.2018).

Zeeb H, Günther K, Ernst S (2016): Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer Geburtskohorte und zur Überprüfung genetischer Prädisposition bei kindlichen Leukämien (prospektive Forschungsansätze) - Vorhaben 361 IS70020. <http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2016120814182> (Zugriff am: 01.08.2018).

Ziegelberger G, Baum C, Borkhardt A et al. (2011): Research recommendations toward a better understanding of the causes of childhood leukemia. *Blood Cancer Journal* 107 (3): 312–314.

## KONTAKT

Blanka Pophof  
Bundesamt für Strahlenschutz  
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit  
Ingolstädter Landstraße 1  
85764 Oberschleißheim/Neuherberg  
E-Mail: [bpophof\[at\]bfs.de](mailto:bpophof[at]bfs.de)

[BfS]