

Chancen und Risiken der
Energiewende aus Gesundheitssicht
CME – Fortbildung zum Expertenworkshop 2014

Impressum

Das Fortbildungsmodul beruht auf Vorträgen im Rahmen des Expertenworkshops „Chancen und Risiken der Energiewende aus Gesundheitssicht“, der am 08. Oktober 2014 in Kooperation zwischen der Bundesärztekammer, der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) sowie der Health and Environment Alliance (HEAL) stattfand.

Autorin: Natascha Hermann

Redaktion: Dipl.-Ing. Karin Brösicke, Bundesärztekammer
Prof. Caroline Herr, GHUP
Anne Stauffer und Julia Huscher, HEAL

Natascha Hermann ist Gesundheits- und Bildungswissenschaftlerin. Sie publiziert als freie Autorin zu Themen der Umweltmedizin und Hygiene und lehrt Public Health Wissenschaften.



Die Bundesärztekammer (BÄK) ist die Spitzenorganisation der ärztlichen Selbstverwaltung und vertritt die berufspolitischen Interessen der Ärzte in der Bundesrepublik Deutschland. Als Arbeitsgemeinschaft der 17 deutschen Ärztekammern wirkt die BÄK aktiv am gesundheitspolitischen Meinungsbildungsprozess der Gesellschaft mit und entwickelt Perspektiven für die Gesundheits- und Sozialpolitik.

Die Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) stellt als interdisziplinäre wissenschaftliche Fachgesellschaft den Zusammenschluss aller in der Hygiene, Umweltmedizin, Präventivmedizin sowie Environmental und Public Health Sciences tätigen Wissenschaftlern her. Der Verein wirkt in Forschung, Lehre, Aus-, Fort- und Weiterbildung, Entwicklung sowie Anwendung und nimmt auch Aufgaben im Bereich der mittelbaren Krankenversorgung und Prophylaxe wahr. Er bietet Trägern wissenschaftlicher Einrichtungen, forschungsfördernden Organisationen und Gremien von Politik und Gesellschaft beratende Dienste an.

Die Health and Environment Alliance (HEAL), eine internationale Nichtregierungsorganisation mit über 70 Mitgliedsorganisationen aus dem Bereich der Bürger- und Patientengruppen, der Gesundheitsberufe, sowie der Frauen- und Umweltverbände, setzt sich für eine Stärkung der europäischen Umweltpolitik zum Schutz und der Verbesserung der öffentlichen Gesundheit ein. Der Workshop im Oktober 2014 sowie die Erstellung der Fortbildung wurden von HEAL finanziert. HEAL bedankt sich für die finanzielle Förderung durch die Europäische Union im Rahmen der Verbändeförderung (LIFE+), sowie bei der European Climate Foundation (ECF). Die in der vorliegenden Publikation vertretenen Meinungen spiegeln nicht unbedingt die Meinung der EU-Institutionen wieder.



INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	2
Einführung.....	4
Programm Expertenworkshop.....	5
Fracking – Umweltauswirkungen bei der Gewinnung von Schiefergas und umweltmedizinische Bewertung.....	6
Zusammenfassung.....	15
Kohleverstromung – Krankheitslast und gesundheitsökonomische Bewertung....	17
Zusammenfassung.....	25
Windenergieanlagen – Auswirkungen der Geräuschemissionen auf die menschliche Gesundheit.....	26
Zusammenfassung.....	34
Hochspannungsleitungen – ausgewählte gesundheitliche Aspekte und Risikokommunikation.....	35
Zusammenfassung.....	42
Diskussion.....	43
Abkürzungsverzeichnis.....	45
Literaturverzeichnis.....	46

Einführung

Die umweltpolitischen Ziele der Energiewende bergen Chancen und Risiken für die menschliche Gesundheit. Maßnahmen der Energiewende können helfen, Krankheitslasten zu verringern. Ein Beispiel hierfür sind geringere Luftschadstoffemissionen aufgrund eines verminderten Energieverbrauchs. Andere Maßnahmen können sich unter ungünstigen Umständen auch negativ auf die Gesundheit auswirken. So kann die energetische Gebäudesanierung ohne Sicherstellung einer ausreichenden Lüftung die Schimmelbildung begünstigen.

Die Beurteilung der Energiewende aus gesundheitlicher Sicht ist entscheidend, um die tatsächliche Gesundheitsrisiken, die mit deren Maßnahmen in Verbindung stehen, reduzieren und die gesundheitlichen Vorteile möglichst umfassend nutzen zu können. Sie bildet die Basis, um in den Dialog mit den Bürgerinnen und Bürgern zu treten und ihren Fragen und Bedenken zur Energiewende zu begegnen.

Im Folgenden wird eine Auswahl an Technologien der Energieerzeugung (Fracking, Kohlekraftwerke, Windenergieanlagen und Hochspannungsleitungen) im Zusammenhang mit Gesundheitsfolgen vorgestellt, die das Ergebnis eines im Herbst 2014 in Berlin von der Bundesärztekammer (BÄK), der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) und der Health and Environmental Alliance (HEAL) veranstalteten Workshop darstellen. Dabei werden auch offene Fragen und unterschiedliche Positionen beleuchtet.

Ziel dieser Fortbildung ist es, interessierten Ärztinnen und Ärzten die Ergebnisse des Expertenworkshops darzulegen und so einen Einstieg in den Stand der Forschung und Diskussion zu Energiewende und Gesundheit zu geben. Dabei sei anzumerken, dass dieser eintägige Workshop nicht alle Aspekte im Zusammenhang mit den ausgewählten Energieformen behandeln konnte, sondern einen Auftakt darstellt für einen weitergehenden Dialog und die Befassung mit offenen Fragen.

Programm Expertenworkshop

„Chancen und Risiken der Energiewende aus Gesundheitssicht“

08. Oktober 2014, Berlin

Moderation: [Carel Mohn](#), klimafakten.de

10:00 Beginn und Begrüßung

- [Dr. Martina Wenker](#), Vizepräsidentin der Bundesärztekammer
- [Anne Stauffer](#), Stellvertretende Geschäftsführerin, HEAL
- [Prof. Dr. Caroline Herr](#), Präsidentin der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP)

10:25 Energiepolitische Agenda in Deutschland und der EU aus Gesundheitssicht

[Dr. Peter Liese](#), Mitglied des Europäischen Parlaments (Videobotschaft)

10:35 Bericht vom Workshop „Gesundheitsgewinne der Energiewende konsequent nutzen“ 2013

[André Conrad](#), [Michael Hoopmann](#), [Dorothee Twardella](#), Sprecher und Sprecherin des Arbeitskreis „Umweltmedizin, Expositions- und Risikoabschätzungen“ der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi), der Deutsche Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V. (GMDS) und der Deutschen Gesellschaft für Sozialmedizin und Prävention (DGSMP)

10:45 Fracking

- *Umweltmedizinische Bewertung des Fracking*, [Dr. Roland Suchenwirth](#), Hannover
- *Umweltauswirkungen von Fracking - Ergebnisse der UBA-Gutachten*, [Bernd Kirschbaum](#), Umweltbundesamt

12:00 Kohlekraftwerke

- *Umweltmedizinische Bewertung der Emissionen aus Kohlekraftwerken*, [Prof. Dr. Thomas Eikmann](#), Direktor des Instituts für Hygiene und Umweltmedizin, Universitätsklinikum Marburg-Gießen
- *Krankheitslast durch Kohleverstromung und gesundheitsökonomische Bewertung*, [Julia Huscher](#), Health and Environment Alliance (HEAL)

14:00 Windräder

- *Geräuschemissionen durch Windenergieanlagen*, [Thomas Myck](#), Umweltbundesamt
- *Können die Schallimmissionen von Windenergieanlagen die menschliche Gesundheit schädigen?*, [Dr. Dorothee Twardella](#), Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

15:00 Hochspannungsleitungen

- *Strahlenschutzaspekte beim Netzausbau: Rechtliche Regelungen und der Umgang mit Kenntnislücken*, [Dr. Gunde Ziegelberger](#), Bundesamt für Strahlenschutz *
- *Freileitungen: Aspekte zur Gesundheit und zur Risikokommunikation*, [Prof. Dr. Caroline Herr](#), Präsidentin der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP)

16:15 Abschlussdiskussion

16.45 Zusammenfassung und Ausblick

17:00 Ende

* Da Frau Ziegelberger erkrankt war, hat Frau Prof. Herr Teile des Vortrages übernommen.

Fracking – Umweltauswirkungen bei der Gewinnung von Schiefergas und umweltmedizinische Bewertung

Basierend auf Vorträgen von Dr. Roland Suchenwirth und Bernd Kirschbaum

Erdgas aus konventionellen und unkonventionellen Lagerstätten. Erdgas besteht im Wesentlichen aus Methan und enthält als Nebenbestandteile weitere Kohlewasserstoffen sowie molekularen Stickstoff, Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid. Für die Energiegewinnung ist das unter thermogenen Bedingungen entstandene Methan von Bedeutung, das in konventionellen sowie unkonventionellen Lagerstätten eingebunden ist.

Das Erdgaspotenzial Deutschlands beläuft sich auf 123 Milliarden m³ aus konventionellen Lagerstätten. Hierbei handelt es sich um Gas, das der Bohrung ohne zusätzlichen Hilfsmaßnahmen zuströmt. Die deutschen konventionell förderbaren Erdgasvorkommen liegen vor allem im Norddeutschen Becken in 3.000 bis 5.000 m Tiefe¹.

Darüber hinaus hält Deutschland Ressourcen von theoretisch bis zu 1.870 Milliarden m³ aus unkonventionellen Quellen. Erdgas aus unkonventioneller Förderung ist der Oberbegriff für thermogenes Gas, das zum Teil noch im Muttergestein oder in dichtem Speichergestein gebunden ist. Es wird zwischen Tight Gas (Speichergestein), Schiefergas und Kohleflözgas (Muttergestein) unterschieden. Tight Gas ist aus einem Muttergestein in dichte Gesteinsschichten wie Sandstein- und Kalksteinformationen mit sehr geringen Durchlässigkeiten eingewandert. Im Hinblick auf die Durchlässigkeit (Permeabilität) der Gesteine ist der Übergang zwischen konventionellen und unkonventionellen Speichergesteinvorkommen fließend. In Deutschland finden sich Tightgaslagerstätten in der Regel unterhalb einer Tiefe von 3.500 Metern. Schiefergas liegt in kohlewasserstoffreichen Sedimenten wie Ton- oder Ölschiefer, zumeist in Tiefen von 1.000 bis 5.000 m. Kohleflözgas kommt in Verbindung mit Steinkohle in einer Tiefe zwischen 700 und 2.000 m vor.³ Die erlaubten Aufsuchungsflächen befinden sich überwiegend in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. In Niedersachsen wird bereits seit etwa 150 Jahren Erdöl und Erdgas gefördert. Seit den 1960er Jahren erfolgten in Deutschland Frac-Operationen in Öl- und Gaslagerstätten, zunächst zur Reaktivierung konventioneller Öl- und Gaslagerstätten, die dann auf Tight Gas Lagerstätten ausgeweitet wurden. In

Niedersachsen wurden in Tight Gas- und konventionellen Lagerstätten bislang etwa 325 Fracks in 148 Bohrungen durchgeführt.

Schiefergas bietet von den unkonventionell förderbaren Erdgasvorkommen die größten Ressourcen. Nach Schätzungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) lagern in dichten Tongesteinen rund 1,3 Billionen Kubikmeter technisch gewinnbares Schiefergas. Dies würde rein rechnerisch bei einem derzeitigen jährlichen Erdgasverbrauch von 90 Milliarden m³ etwa 15 – 17 Jahre reichen, um den Gesamtbedarf Deutschlands zu decken. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die Ressourcen technisch nur langsam und zeitlich versetzt erschlossen werden können. Unter diesen Voraussetzungen wäre eine Stabilisierung der Inlandserdgasgewinnung mehrere Jahrzehnte auf dem Niveau der letzten zehn Jahre durch die Erschließung dieser Ressourcen denkbar.²

Wie funktioniert die Schiefergasgewinnung? Bei der Schiefergasgewinnung kommt eine Horizontalbohrtechnik in Verbindung mit der Fracking-Methode zur Anwendung (siehe Abb.1). Dabei wird eine Tiefenbohrung in die gasführenden Sedimentschichten abgeteuft und durch Horizontalbohrungen in den Speichergesteinen fortgesetzt. In den Horizontalbohrungen werden durch Perforationskanonen Risse in das Stahlrohr gesprengt. Anschließend wird unter hohem Druck ein Frack-Fluid in den Untergrund gepumpt, um weitere Risse zu erzeugen und offenzuhalten. Die Rissweiten liegen im Bereich von wenigen Zentimetern, die durchschnittlichen Risslängen bei 100 – 150 Meter (maximal bis zu 500 Metern).

Für eine Bohrung im Schiefergas werden in der Regel zehn Fracks mit jeweils 1.600 Kubikmeter Wasser eingesetzt, mit 32 Kubikmeter Stützmitteln und fünf Tonnen Chemikalien. Das Fluid wird mit bis zu 1000 bar mit der zugehörigen Hochdrucktechnik verpresst.

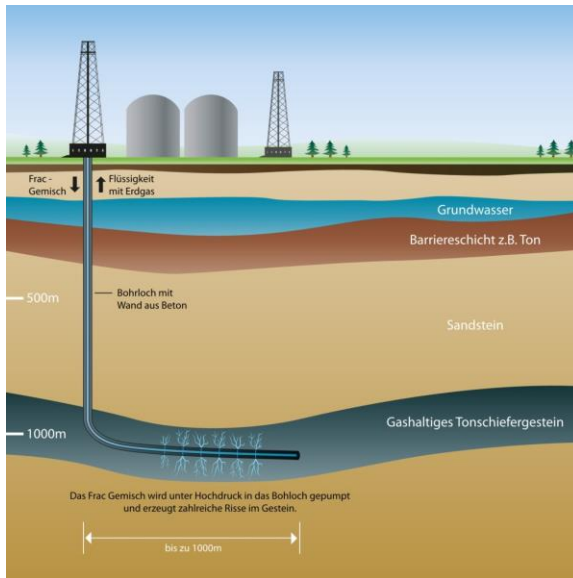


Abb. 1: Darstellung der Schiefergasgewinnung
(Quelle Fotolia.com, 2014)

Die Frack-Fluide bestehen zu 90 – 95% aus Wasser, dem neben Sand und Keramikpartikeln als Stützmittel (Proppant) verschiedene Chemikalien zugesetzt werden. Die genaue Zusammensetzung ist von den jeweiligen geologischen Bedingungen abhängig. Die Stützmittel dienen zum Offenhalten der Risse. Die Chemikalien werden z.B. zur Verbesserung des Stützmitteltransports und zur Rückgewinnung der Fracking-Fluide eingesetzt.

Der eigentliche Fracking-Prozess, also das Erzeugender Risse im Gestein dauert wenige Stunden. Danach beginnt mit der Reduzierung des Drucks die Förderung, bei der zunächst der Flowback, bestehend aus Frack-Fluid und Lagerstättenwasser, an die Oberfläche gelangt. Anteile der Frack-Fluide verbleiben dauerhaft im tiefen Untergrund. Während der Produktionsphase strömt das freigesetzte Gas zusammen mit Lagerstättenwasser und Kondenswasser durch die Bohrung an die Oberfläche und wird dort aufgefangen. Mit der Zeit stellt sich eine konstante Menge an sogenanntem Produktionswasser ein, in dem der Anteil des Frack-Fluids gegenüber dem Lagerstättenwasser abnimmt.

Studien zu Fracking. Das Umweltbundesamt (UBA) hat zwei Studien zu den Umweltrisiken von Fracking veröffentlicht. Das erste UBA-Gutachten befasst sich mit den wasserbezogenen Umweltauswirkungen und Risiken für Mensch und Umwelt, die

mit dem Einsatz der Fracking-Technologie im Rahmen der Erkundung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten verbunden sein können.³

In einem zweiten UBA – Gutachten wurden weitere umweltrelevante Themen der Schiefergasgewinnung betrachtet, die sich mit der Entwicklung eines Grundwassermonitoringkonzepts zur Risikominimierung, der Bewertung der Möglichkeiten eines bundesweiten Frackingchemikalienkatasters, der Bewertung einer umweltverträglichen Entsorgung von Flowback, der Aufbereitung des Forschungsstandes zur Emissions- und Klimabilanz, einer Untersuchung hinsichtlich potenzieller Gefährdung durch induzierte Seismizität und dem Aufzeigen und der Bewertung der raum- und flächenrelevanten Aspekte sowie der Auswirkungen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt beschäftigt.⁴

Beide Gutachten nennen umfassende Empfehlungen zum Schutz der Umwelt. Aufgrund der bestehenden Kenntnislücken wird derzeit von einer kommerziellen Schiefergasgewinnung in Deutschland abgeraten, sondern ein schrittweises Vorgehen empfohlen um Wissenslücken zu schließen, ein Verbot von Fracking wird nicht gefordert.

Risiken für das Grundwasser und Grundwasserüberwachung. Alle Studien⁵ beschreiben die Risiken für das Grundwasser und der damit verbundenen Trinkwassergewinnung. Man unterscheidet verschiedene potentielle Wegsamkeiten, die aus der Erkundung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten mittels Fracking resultieren, auf denen es zur Verunreinigung von oberflächennahen Grundwasser, das für Trinkwassergewinnung geeignet ist, kommen kann (siehe Abb. 2).

Als wesentliche Pfade haben sich bisher Einträge an der Geländeoberfläche erwiesen (z.B. auslaufende Chemikalien, platzende Rohrleitungen). Vielfach ist es die Konsequenz eines technischen Versagens. Die Pfadgruppe 0 beschreibt Schadstoffeinträge unmittelbar an der Erdoberfläche insbesondere beim Umgang mit den Frack-Fluiden (Transport, Lagerung etc.) und bei der Entsorgung des Flowback. Im Hinblick auf die Risikoanalyse für das oberflächennahe Grundwasser ist hier die flüssigkeitsdichte Ausführung des Bohrplatzes sowie ein sicherer Umgang mit wassergefährdenden Stoffen von Bedeutung.

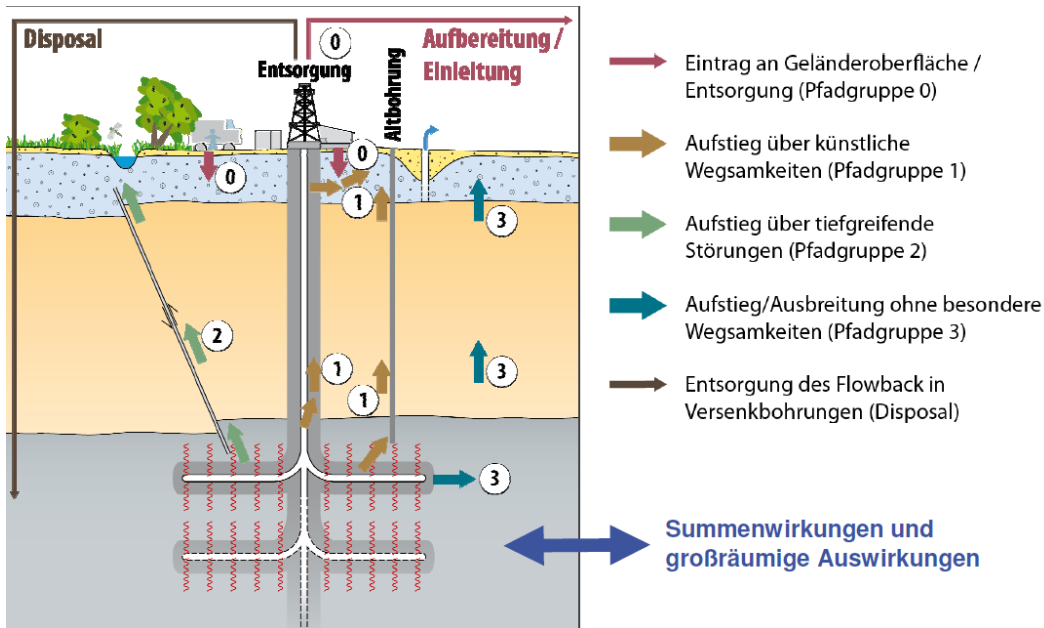


Abb. 2: Potentielle Wegsamkeiten
(Quelle: Umweltbundesamt, 2014)

Den zweiten potentiellen Pfad stellt der Aufstieg über künstliche Wegsamkeiten im Untergrund, d.h. Bohrungen oder Altbohrungen, (Pfadgruppe 1) dar. Aufgrund von hohen Temperaturen, Salz- und Kohlensäuregehalten im Untergrund sind die Bohrlochverrohrungen und -zementierungen der Korrosion ausgesetzt, was langfristig zu einem teilweisem oder vollständigem Versagen der Zementierung oder Abdichtung gegenüber dem durchteuften Gestein führen kann. Bei Untersuchungen von Grundwasserleitern in den USA konnte ein Zusammenhang von Methankonzentrationen im Grundwasser im Umkreis von 1.000 Meter um Fracking-Bohrungen nachgewiesen werden. Es handelte sich hierbei um thermogenes und nicht um biogenes Gas, das auch im oberflächennahen Grundwasser selbst gebildet werden kann.

Mit deutlich geringerer Eintrittswahrscheinlichkeit werden die Risiken für eine mögliche Verunreinigungen oberflächennahen Grundwassers über geologische Systeme (Pfadgruppe 2 und 3) quantifiziert, sofern ausreichend mächtige Barrieregesteinshorizonte vorhanden sind und Frac-Operationen in bestehenden Störungszonen vermieden werden. Im zweiten UBA Gutachten wurde ein Vorschlag zur Überwachung des Grundwassers erarbeitet. Dieser umfasst Empfehlungen hinsichtlich der Auswahl der Grundwasserhorizonte und der Lage der Messstellen. Bei Erkundungs- und Gewinnungsbohrungen bedarf es einer Reihe von qualifizierten

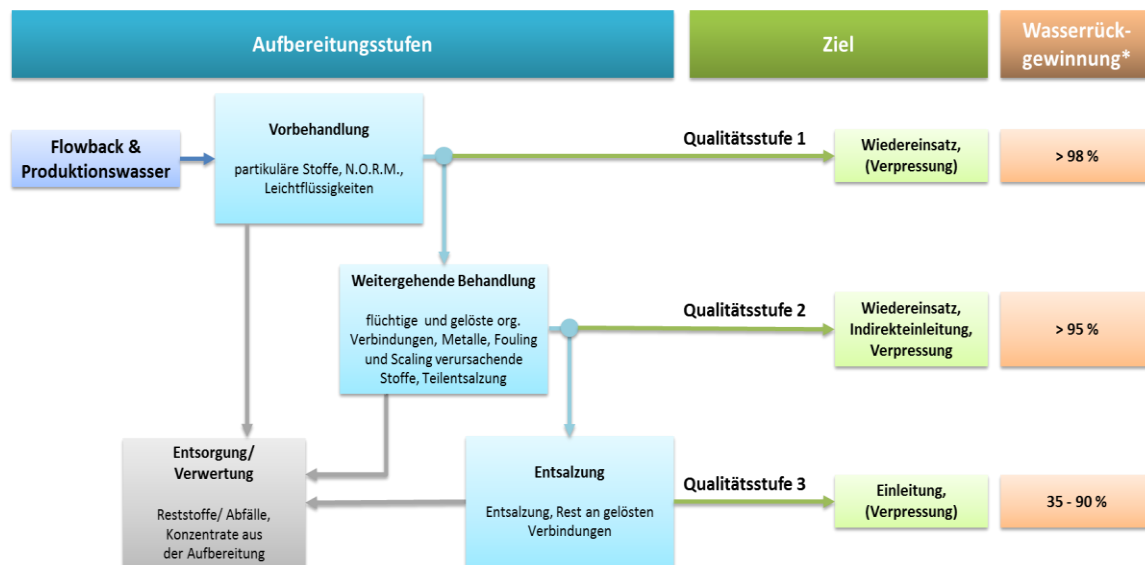
Grundwassermessstellen, die vom obersten Grundwasserhorizont bis hin zu Horizonten von 300 m über dem gefrackten Vorkommen reichen.

Behandlung und Entsorgung des Flowback. Viel kritischer als Frack-Fluide betrachtet auch das UBA den Flowback. Die Debatte um das Thema Flowback betrifft die Schiefergas-, Kohlenwasserstoff-, Erdgas-, und Erdölförderung gleichermaßen. Die Rückförderung des Flowbacks beginnt mit einem sehr hohen Flowbackvolumenstrom, da der Großteil der eingesetzten Frack-Fluide rückfließt. Die erste Phase dauert ca. 7 – 10 Tage. So erreicht bereits wenige Tage nach dem erfolgten Frack der Flowbackvolumenstrom ein Maximum und nimmt im Verlauf von Wochen kontinuierlich bis zu einer Restmenge ab. Danach tritt vermehrt Lagerstättenwasser, das von der Industrie auch als Produktionswasser bezeichnet wird, auf. Es ist hochmineralisiert, kann Schwermetalle sowie Kohlenwasserstoffe, N.O.R.M. (natürlich vorkommendes radioaktives Material) und gegebenenfalls Reaktionsprodukte enthalten.

Die Kenntnis über die Beschaffenheit des Lagerstättenwassers ist momentan noch lückenhaft. Hinsichtlich des Umgangs mit dem Flowback gibt es derzeit noch Defizite. Erstens fehlen aussagekräftige Analysen sowie belastbare Massenbilanzierungen, so dass keine genauen Kenntnisse über die jeweiligen Mengenanteile von Frac-Fluid, Lagerstättenwasser und möglichen Reaktionsprodukten im Flowback sowie das Verhalten und den Verbleib der eingesetzten Additive im Untergrund bestehen. Zweitens gibt es weder auf deutscher noch auf europäischer Ebene einen Stand der Technik hinsichtlich der Entsorgung von Lagerstättenwasser. Die Gutachter beschreiben Verfahrenstechniken, die theoretisch für die spezifischen Inhaltsstoffe geeignet sind. Es wurden jedoch keine Versuche mit Pilotanlagen durchgeführt. Empfohlen wird ein begleitendes Monitoring zur Aufbereitung und Entsorgung von Flowback und Produktionswasser sowie eine toxikologische Bewertung des Flowbacks.

Da die Art und Menge der Inhaltsstoffe von Flowback und Produktionswasser je nach Gebiet stark variieren, kann keine allgemein gültige Zuordnung der Qualitätsstufe zum entsprechenden Ziel der Aufbereitung (Wiederverwendung, Einleitung, Verpressung) erfolgen. Die Inhaltsstoffe sind ausschlaggebend für den Grad der Behandlung des Abwassers. Es wird eine Aufbereitung in drei aufeinander

aufbauenden Stufen mit zunehmender Reinigungsleistung vorgeschlagen (siehe Abb. 3):



* aus Acharya & Wilson (2012)

Abb. 3: Aufbereitung des Flowback
(Quelle: Acharya und Wilson, 2012)

- Vorbehandlung/ Qualitätsstufe 1 (→ Wiedereinsatz oder Verpressung):*
Entfernung von partikulären Stoffen, N.O.R.M und Leichtflüssigkeiten sowie Teilentfernung gelöster Stoffe. Qualitätsstufe 1 ermöglicht eine Wasserrückgewinnung von mehr als 98%.
- Weitergehende Behandlung/ Qualitätsstufe 2 (→ Wiedereinsatz, Indirekteinleitung oder Verpressung):*
Entfernung flüchtiger und gelöster organischer Verbindungen, Metalle, sowie Abtrennung von Salzen (Konzentrationen < 10g/l). Es findet eine mehr als 95%ige Wasserrückgewinnung statt. Die Verpressung birgt für den Boden eine chemische und radiologische Relevanz. Sie zieht mögliche geophysikalische Auswirkungen nach sich. Die Verpressung stellt bei der Schiefergasförderung keine Option dar.
- Entsalzung/ Qualitätsstufe 3 (→ Einleitung oder Verpressung):*
Abtrennung insbesondere von Salzen (Konzentrationen > 10g/l) und verbliebenen gelösten Verbindungen.

Flächenbedarf, Naturschutz und konkurrierende Nutzungen. Die zur Förderung von Erdgas erforderliche Errichtung von zahlreichen Bohrplätzen muss im Kontext der Flächeninanspruchnahme und möglichen Reichweite direkter oder indirekter Auswirkungen auf den Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt betrachtet werden. Kritisch werden die kumulativen Effekte mit erheblichen Auswirkungen auf die Umwelt bei Erschließung einer Lagerstättenformation beurteilt.

Dem neueren Kenntnisstand nach wird ein Abstand von 3 km von einem Bohrplatz zum anderen vorgeschlagen. Es handelt sich hier um sogenannte „multistage Bohrplätze“, von denen bis zu 20 Bohrungen von einem Bohrplatz abgeteuft werden. Für ein Gebiet von beispielsweise 200 km² werden zwischen 20 und 25 Bohrplätze benötigt.⁶ Von modernen Bohrplätzen werden in den USA heute zwischen 10 und 14 Bohrungen niedergebracht, sodass es von rund 300 erforderlichen Bohrungen auf einer 200 km² großen Fläche ausgegangen werden kann. Über den Gewinnungszeitraum sind je Bohrung mehrere Fracs erforderlich. Problematisch ist die Flächeninanspruchnahme aufgrund der Vielzahl an Bohrplätzen, die bei ungeordneter Entwicklung zu einer industriellen Zersiedelung der Landschaft führen könnten⁵. Hinzu werden Flächen für Lagerung, Eingrünung und Zuwegungen benötigt.

Die Dauer der Exploration beträgt etwa zwei Monate, die der Feldentwicklung ca. 14 Monate. In diesem Zeitraum herrscht rege Betriebstätigkeit, da die Bohrungen aus finanziellen und technischen Gründen 24 Stunden am Tag, 7 Tage die Woche laufen. Das Erscheinungsbild ist geprägt durch die Bohranlage, die eine Höhe von 40 Metern erreicht, und weiteren Infrastrukturanlagen. Während der 14 Monate ist in der näheren und weiteren Umgebung am Tag und insbesondere auch nachts mit Licht- sowie mit Lärmemission der ca. 40 m hohen Bohranlage zu rechnen. Hinzu kommt der Verkehrslärm in Form von LKW-Transporten. Je Bohrplatz ergeben sich in der über ein Jahr dauernden Betriebszeit rund 1.500 LKW Transporte sowie zusätzlich 2.000 LKW Fahren jährlich für den Transport von Flowback und Lagerstättenwasser. Der Verkehr beeinträchtigt aufgrund der Abgasemissionen Mensch, Luft und Klima⁵.

Es ergeben sich erhebliche kumulative Effekte, die viele klassische umweltmedizinische Fragen zu den Themen Boden, Wasser, Luft, Landschaft, Licht, Lärm und Verkehr aufwerfen. In den Handlungsempfehlungen des UBA-Gutachten wird auf die Notwendigkeit der Verzahnung der Zulassungspraxis einer möglichen

Schiefergasgewinnung in dem dicht besiedelten Deutschland stringent mit Zielen und Grundsätzen der Raumordnung hingewiesen. Die Strategische Umweltprüfung (SUP) als wichtigstes Instrument zur großräumigen Bewertung kumulativer Umweltauswirkungen sollte entsprechend den Mindestempfehlungen der EU-Kommission (2014) für Erdgasaufsuchung und –gewinnung verbindlich sein, wobei die Raumordnung das am ehesten geeignete Trägerverfahren stellt.

Verschärfung gesetzlicher Regelungen. Das Bundeskabinett hat am 01.04.2015 strenge Regelungen zum Fracking auf den Weg gebracht. Das Gesetzespaket sieht Verbote zum Schutz von Trinkwasser, Gesundheit und Natur in bestimmten Regionen sowie generell weitgehende Einschränkungen für Fracking-Maßnahmen in Schiefer-, Ton-, Mergel- oder Kohleflözgestein vor. Das Paket enthält zudem ergänzende strengere Regelungen zur konventionellen Erdgas- und Erdölförderung. Der Schutz von Gesundheit und Trinkwasser hat oberste Priorität. Bei Fracking in Schiefer- und Kohleflözgestein lassen sich derzeit mangels eigener nationaler Erfahrungswerte die Auswirkungen noch nicht abschätzen. Das Fracking von Schiefer-/ Kohlegas in einer Tiefe von 0-3.000 Metern soll zunächst durch das Wasserhaushaltsgesetz verboten werden. Jedoch soll die wissenschaftliche Erprobung und Erforschung möglich bleiben und im Jahr 2021 ein Prüfbericht hierzu vorgelegt werden. Das konventionelle Fracking für Tight Gas bleibt grundsätzlich möglich. Umwelttoxische Substanzen werden bei der Anwendung der Fracking-Technologie verboten. Eine Gefahr für die öffentliche Wasserversorgung soll ausgeschlossen werden, indem Fracking und Verpressung von Flowback in Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebieten sowie in Einzugsgebieten von Seen und Talsperren, die unmittelbar der Trinkwassergewinnung dienen, untersagt wird. Dieses Verbot kann durch die Länder auf Trinkwassergewinnungsgebiete ausgeweitet werden. Eine Stärkung des Gewässerschutzes soll durch Ausdehnung des wasserrechtlichen Besorgnisgrundsatzes auf Frackingmaßnahmen erfolgen. Zum Umgang mit dem Flowback und dem Lagerstättenwasser wird der Stand der Technik entsprechend konkretisiert.

Es bestehen weiterhin offene Fragen und Wissenslücken zu den Umweltauswirkungen. Aufgrund der unvollständigen Erkenntnislage wird ein schrittweises Vorgehen anstelle einer flächendeckenden kommerziellen Erschließung von Schiefergas befürwortet und auf die Bedeutung von Demo- und Pilotprojekten

hingewiesen. Ohne Forschungsbegleitende Pilotvorhaben sind weitere Erkenntnisse zu den Chancen und Risiken der Frackingtechnologie nicht zu generieren.

ZUSAMMENFASSUNG:

- Schiefergaslagerstätten stellen in Deutschland die größte Ressource der unkonventionell förderbaren Erdgasvorkommen dar. Der Gesamtbedarf an Erdgas in Deutschland ließe sich rein rechnerisch bei vollständiger wirtschaftlicher Erschließbarkeit bundesweit aller Ressourcen etwa 15 Jahre decken
- Die Schiefergasgewinnung erfolgt mittels Horizontalbohrungen in Verbindung mit der Fracking Technik. Je Erschließungsfläche werden dazu im Mittel 4000 Frack-Vorgänge notwendig. Dabei werden durch das Einpressen einer Flüssigkeit in tiefe Gesteinsschichten Risse erzeugt oder vorhandene Risse und Öffnungen erweitert. Die Frackingflüssigkeit besteht im Wesentlichen aus Wasser, das je nach Anwendung mit Stützmitteln (z.B. Sand) und Chemikalien versetzt wird. Die Stützmittel dienen zum Offenhalten der Risse. Die Chemikalien werden z.B. zur Verbesserung des Stützmitteltransports und zur Rückgewinnung der Fracking-Fluide eingesetzt
- Nach Reduzierung des Drucks beginnt die Gewinnungsphase, durch Umkehr der Fließrichtung gelangt das Erdgas sowie zunächst Rückflusswasser (Flowback) und Lagerstättenwasser an die Oberfläche
- Die Frack-Fluide bestehen u.a. aus Chemikalien, die anteilig dauerhaft im tiefen Untergrund bleiben. Das Lagerstättenwasser kann Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, N.O.R.M. und Reaktionsprodukte enthalten, wobei zum gegenwärtigen Zeitpunkt erhebliche Kenntnislücken über die Beschaffenheit bestehen. Dies erschwert zusätzlich eine umweltverträgliche Entsorgung der großen Mengen des Flow-back und Lagerstättenwassers. Die Mengen ließen sich durch eine Aufbereitung verringern, wofür jedoch die erforderliche Aufbereitungstechnik erst noch entwickelt werden muss.
- Durch die Bohr- und Nebenarbeiten während der Förderung ergeben sich erhebliche kumulative Effekte in den betroffenen Regionen, die umweltmedizinische Fragen zu den Themen Boden, Wasser, Luft, Landschaft, Licht, Lärm und Verkehr in den betroffenen Regionen

aufwerfen. Die Frage der Umweltgerechtigkeit sowie der ungleichen Verteilung von Nutzen, Belastungen und Risiken wurde bisher nicht thematisiert. Während der Schutz von Wasserschutzgebieten nachträglich in den aktuellen Gesetzgebungsprozess eingebracht werden konnte, soll die Verantwortung für den Schutz der darüber hinausgehenden Wassereinzugsgebiete als offene Frage in die Hände des Föderalismus der Länder weitergereicht werden.

- Aufgrund bestehender Wissenslücken zu den Umweltauswirkungen wird derzeit von einer umfassenden, großtechnischen Gewinnung abgeraten und ein schrittweises Vorgehen anstelle einer flächendeckenden Erschließung von Schiefergas befürwortet. Dies soll sicherstellen, dass die Umweltauswirkungen zunächst an einigen wenigen Demonstrationsprojekten überwacht und erneut bewertet werden.

Krankheitslast durch Kohleverstromung und gesundheitsökonomische Bewertung

Basierend auf dem Vortrag von Julia Huscher:

Krankheitslast durch Luftschadstoffe von Kohlekraftwerken. Kohle ist eine bedeutende Energiequelle für Europa und liefert etwa ein Viertel der gesamten Strommenge. Deutschland gilt als der weltgrößte Braunkohleverbraucher. Einer Studie der Europäischen Umweltagentur (2011)⁷ zufolge verursachen in Deutschland zehn Kohlekraftwerke 28% der industriellen Luftschadstoffbelastung. Kohlekraftwerken stoßen primär in großen Mengen Schwefeldioxyde (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Feinstaub (PM) sowie in kleineren Mengen Schwermetalle (Quecksilber), Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs), flüchtige organische Verbindungen (VOCs), Fluorwasserstoff (HF) und Chlorwasserstoff (HCl) aus. In Deutschland liegt der Beitrag der Energiewirtschaft zu den Luftschadstoffemissionen bei den Schwefeldioxyden bei 56% und bei Stickoxiden bei 26%. Etwa 9% der gesamten primären PM_{2,5} Emission und 5% der PM₁₀ Emission in Deutschland geht auf die Energiewirtschaft zurück.

Für die Emission von Kohlekraftwerken ist aber ebenso die sekundäre Feinstaubbildung relevant. Aus den primär ausgestoßenen Schwefeldioxyden und Stickoxiden entstehen durch photochemische Prozesse in der Atmosphäre sekundäre anorganische Aerosole (SIA), die einen wesentlichen Bestandteil von Feinstaub ausmachen. SIA setzen sich aus Ammonium-Sulfat und -Nitrat zusammen. Ihre durchschnittliche Verweildauer in der Atmosphäre liegt bei drei bis neun Tagen. SIAs stellen in Europa sowohl im urbanen wie im ländlichen Raum die vorherrschende Komponente des Feinstaubes dar. Zu dieser Erkenntnis gelangte eine Meta-Analyse von etwa 40 europäischen Studien, die die Bestandteile des Feinstaubes gemessen hatten und letztlich eine Quellenzuordnung vornehmen konnten.⁸

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) behandelt in ihren aktuellen Berichten (REVIHAAP⁹ und HRAPIE¹⁰) die primären und sekundären Feinstäube in Hinblick auf ihre gesundheitliche Wirkung gleich. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle können sich an den Oberflächen der Partikel vermehrt anlagern. Der polare Charakter der SIA erzeugt eine höhere Wasserbindung, was eine

Änderung des Charakters der Partikel bewirkt. Man geht davon aus, dass die Bioverfügbarkeit von Schwermetallen steigt.

Die Belastung mit PM_{2.5} – ob als sekundärer Feinstaub aus Kohlekraftwerken oder aus anderen Quellen – kann eine Reihe von Gesundheitsschäden verursachen (siehe Abb.4). Ausreichend epidemiologische Befunde sprechen für eine Korrelation von Feinstäuben und insbesondere Herz-Kreislauf- als auch Atemwegserkrankungen.^{9,10} Bei einigen Krankheitsbildern, etwa Arteriosklerose oder Herzrhythmusstörungen, lässt sich noch keine begründete Quantifizierung vornehmen.

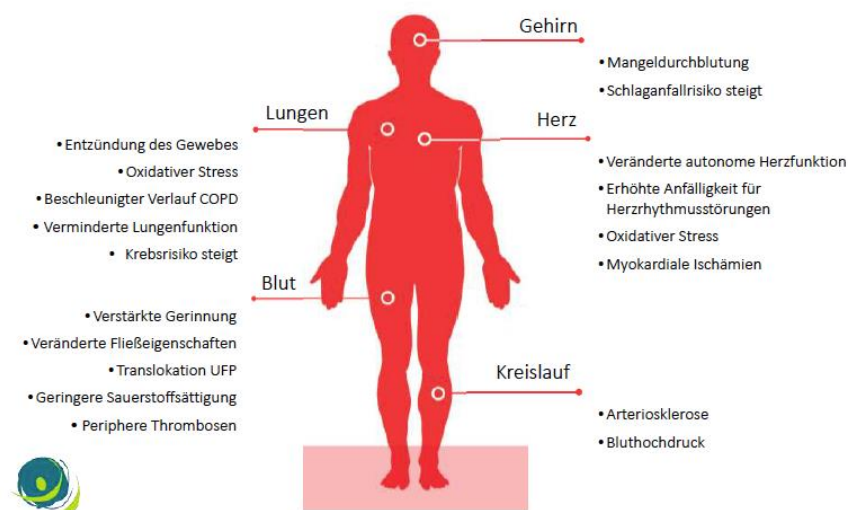


Abb. 4: Krankheitsbilder von Feinstaub PM_{2.5}
(Quelle: übernommen aus APHEKOM 2012)

Weitere Gesundheitsfolgen. Die Gesundheitsfolgen der Kohleverstromung reichen über die Belastung durch Feinstaub hinaus. Kohlekraftwerke stellen in Europa die größte Quelle der vom Menschen verursachten Quecksilberfreisetzung dar. In Deutschland liegt die Quecksilberemission bei etwa fünf Tonnen pro Jahr. Auf globaler und europäischer Ebene gibt es Bemühungen, den Einsatz von Quecksilber (Hg) bei verschiedenen Anwendungen schrittweise einzustellen. Dieses allgemeine Ziel spiegelt sich aber nicht im Energiebereich wieder, da es keinen EU-weiten Grenzwert für die Freisetzung von Quecksilber durch Kohlekraftwerke gibt. Die 13. Bundes-Immissionsschutzverordnung legt eine Konzentration von 30 µg/m³ als Grenzwert für Kohlekraftwerke in Deutschland fest. Das gasförmige Quecksilber

gelangt in den Wasserkreislauf und in Böden, und reichert sich schließlich in der Nahrungskette an.

Organische Quecksilberverbindungen, die mit der Nahrung aufgenommen werden, sind für ihre toxischen Wirkungen auf das Nervensystem bekannt, vor allem bei Ungeborenen und Kleinkindern. Bei einigen beliebten Salzwasser-Speisefischen werden die Quecksilbergrenzwerte in Proben immer wieder überschritten. Umweltprobenwerte zur Belastung von Fischen im Rhein ergaben bei Brasseln im Jahr 2013 eine Hg-Belastung von 0.13 – 0.21 mg/kg frisches Fischgewicht. Dies liegt unterhalb der EU-Norm für Seefisch (0,5 bzw. 1mg/kg; Verordnung 2006/1881/EG) aber deutlich über einem Umweltgrenzwert für Süßwasserfische (0,02mg/kg; EU-Verordnung zu Umweltqualitätsnormen 2008/105/EG). Aufgrund des weltweit steigenden Kohleverbrauchs ist mit einem Anstieg der Hg-Emissionen und dadurch Kontamination des Fischbestandes zu rechnen.

Für die Anwohner von Kohlekraftwerken könnten sich noch weitere konkrete Gesundheitsgefahren ergeben, wie ein Auftreten von *Legionella pneumophila* im August 2014 zeigte, welches sich in Jülich in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk Weisweiler ereignete. Im Sommer 2014 traten in einem Jülicher Stadtteil ca. 30 Erkrankungsfälle und zwei Todesfälle bedingt durch Legionellose auf. Bei der Aufklärung des Falles wurden im Kühlwasserkreislauf eines Kraftwerkblocks 61.500 Kolonien pro 100ml gefunden. Der Richtwert liegt bei 1.000 Kolonien pro 100ml. Das Bakterium tritt als Infektionsquelle für den Menschen in Warmwasserleitungen mit nicht ausreichend erhitztem Wasser, Klimaanlage und Kühltürmen auf. Die Typisierung der *Legionella pneumophila* Bakterien aus dem Rückkühlwerk ergab zwar keine Übereinstimmung des Serotyps zu dem bei Erkrankten gefundenen, dennoch wurde die deutliche Überschreitung des Richtwertes von der Bezirksregierung Köln zum Anlass genommen, zunächst eine mechanische Reinigung und später eine Desinfizierung des Rückkühlwerkes anzuordnen, welche nun regelmäßig durchgeführt werden soll.^{11,12}

Berechnung der Gesundheitskosten durch Kohleverstromung. Die wissenschaftlichen Methoden zur Berechnung der Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung sind mittlerweile weit entwickelt und ermöglichen zusammen mit immer feineren Messmethoden eine detaillierte Analyse. Für die Studie „*Was Kohlestrom wirklich kostet*“¹³ hat HEAL mit einem Gesundheitsökonom

zusammengearbeitet, der auch Analysen für die Europäische Union erstellt. Die HEAL Studie ermittelte die Krankheitslast durch Feinstäube aus Kohlekraftwerken und nahm im Anschluss eine gesundheitsökonomische Bewertung vor. Für Deutschland ergibt sich eine jährliche Krankheitslast, die u.a. 2.722 vorzeitige Todesfälle ausmacht und sich anhand weiterer in der Tabelle aufgeführten Faktoren ausdrücken lässt (siehe Tab. 1). Die gesundheitlichen Folgen der Kohleverstromung in Deutschland lassen sich entsprechend der Maßstäbe des Methodenkatalogs von EU und Europäischer Umweltagentur monetär bewerten, sodass sich die Gesamtkosten der Kohleverstromung in Deutschland auf € 2,3 – 6,4 Milliarden (0,93 – 2,6 ct/kWh) belaufen.¹³

Tabelle 1: Folgen und monetäre Bewertung der Kohleverstromung in Deutschland

Folge	Monetäre Bewertung
2.722 vorzeitige Todesfälle	€ 2,08 Millionen
29.271 verlorene Lebensjahre	€ 54.000
1.280 Fälle chronischer Bronchitis	€ 208.000
617.822 Krankheitstage	€ 97
818 Krankenhauseinweisungen	€ 2.364
304.407 Tage Medikamentengabe	€ 1 (Arzneimittel für Atemwege)

Die umweltökonomische Bewertung der Stromerzeugung durch das Umweltbundesamt¹⁴ geht von 1.55 ct/ kWh für Steinkohle und 2.07 ct/ kWh für Braunkohle aus, was in einem ähnlichen Bereich der Ergebnisse der HEAL Studie liegt. Jenseits der wirtschaftlichen Kosten geht es um das persönliche Wohlergehen einzelner Menschen, von Familien und Gemeinden, das vor nachteiligen Umweltfaktoren geschützt werden soll.¹³

Kohlekraftwerke und Klimawandel. Bei Kohlekraftwerken ist es unerlässlich, den Klimawandel in die gesundheitsrelevante Betrachtung miteinzubeziehen. Seit 2010 haben sich die Luftschadstoffemissionen der Energiewirtschaft erhöht. Auch die Treibhausgas (CO₂-) Emissionen sind im Zeitraum von 2011 bis 2013 um 20 Millionen Tonnen gestiegen. Zeitgleich lag der Anstieg des Kohleverbrauchs bei 8 Prozent. Insgesamt werden 85 Millionen Tonnen CO₂ zu viel emittiert, was der Emissionen der 26 ältesten Braunkohlblöcke (älter als 20 Jahre) entspricht. Deutschland läuft daher mit den Entwicklungen der letzten Jahre vorläufig Gefahr, die Klimaziele nicht zu erreichen.

Empfehlungen. Es herrscht wissenschaftlich und politisch Einigkeit, dass eine Reduktion von Schadstoffemissionen und die Verbesserung der Luftqualität erforderlich sind. HEAL empfiehlt zur Umsetzung dieses Ziels in Bezug auf Kohlekraftwerke eine Reihe von Maßnahmen: Die von der EU vorgeschlagene Einführung strengerer Grenzwerte durch „Best-verfügbare Techniken“ sowie die Anwendung internationaler Standards als Benchmark, die mit den chinesischen und US-amerikanischen vergleichbar sind, würden einen Beitrag zur Verringerung des Schadstoffausstoßes leisten. China und die USA nehmen in Hinblick auf stringente Emissionsgrenzwerte eine Vorreiterrolle ein. Weiterhin müssen Ausnahmeregelungen abgeschafft werden, wie sie aktuell noch bei Anfahr- und Abschaltprozessen herrschen, bei welchen Kraftwerke ihre Schadstoffemissionen nicht melden müssen. Eine zusätzliche Quecksilberabscheidung, etwa durch Kalziumbromid, könnte die Gesundheitslast der Kohleverstromung weiter reduzieren. Letztlich empfiehlt HEAL jedoch einen geordneten Ausstieg aus der Kohleverstromung, der bereits bis 2040 möglich erscheint.

Basierend auf dem Vortrag von Prof. Dr. Thomas Eikmann:

Gesundheitliche Wirkungen der Feinstaubpartikel. Die Problematik der Belastung der Bevölkerung durch PM und die damit verbundenen gesundheitlichen Risiken sind seit Jahren bekannt und inzwischen wissenschaftlich sehr gut untersucht und bewertet worden.¹⁵ Die gesundheitliche Wirkung der Feinstäube ist abhängig von der Größe und Form der Partikel, der chemischen Komponenten und der biologischen Eigenschaften. Die aerodynamischen Eigenschaften entscheiden über den Dispositionsort im Atemtrakt. Die chemisch-physikalische und biologische Charakteristik der Feinstäube bestimmt die Wirkungen in Zellen und Geweben.

Relevante Kurzzeit- und Langzeitwirkungen von PM. Die Mehrheit der Studien bezieht sich in der Expositionsabschätzung auf Angaben zur Feinstaubbelastung, in der Vergangenheit überwiegend bezogen auf PM₁₀ und heute in immer stärkerem Umfang auf die PM_{2.5} Konzentrationen. Im Vordergrund bei der Bewertung der Gesundheitsrisiken durch PM stehen die mit der Exposition verbundenen Langzeiteffekte. Darüber hinaus liegen auch Risikoabschätzungen in Hinsicht auf eine Kurzzeit-Belastung mit PM vor. Epidemiologische Studien zeigen einen klaren statistischen Zusammenhang zwischen der Belastung zu PM und der

Gesamtmortalität, kardiopulmonalen und Lungenkrebsmortalität sowie der Kindersterblichkeit. Die sich daraus ergebende Verkürzung der Lebenserwartung in der Bevölkerung kann die Größenordnung eines Jahres erreichen. Auswirkungen von PM auf die Morbidität wurden für Atemwegssymptome und Lungenwachstum (respiratorische Morbidität) sowie das kardiopulmonale und Immunsystem gefunden.

Weitere dokumentierte Zusammenhänge sind neben den höheren Morbiditäts- und Mortalitätsrisiken vermehrte Krankenhausaufnahmen und Arztbesuche sowie Veränderungen von Entzündungs- und Funktionsparametern an Tagen mit hohen Partikelkonzentrationen.

Tabelle 2: Kurz- und Langzeiteffekte von PM

Luftschadstoff	Kurzzeit-Effekt	Langzeit-Effekte
Feinstaub (PM)	Inflammatorische Lungeneffekte	Anstieg der Symptome im unteren Atemtrakt
	Respiratorische Symptome	Reduktion der Lungenfunktion bei Kindern
	Adverse Effekte des kardiovaskulären Systemes	Anstieg von COPD (chronic obstructive pulmonary disease)
	Anstieg des Medikamentenverbrauchs	Reduktion der Lungenfunktion bei Erwachsenen
	Anstieg der Krankenhauseinweisungen	Verringerung der Lebenserwartung,
	Anstieg der allgemeinen Mortalität	überwiegend durch kardiopulmonale Mortalität und (wahrscheinlich) durch Lungenkrebs

Quelle: Eikmann, Hessisches Ärzteblatt, 2012

Die WHO hat wiederholt die relevanten Kurzzeit- und Langzeit-Effekte von PM in mehreren Reviews dargestellt^{9,10} (siehe Tab.2). Sie sprach sich 2013 für eine differenzierte Betrachtung der gesundheitlichen Wirkungen von PM₁₀ und PM_{2.5} aus. Die Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen PM_{2.5}-Konzentrationen und Wirkungen auf die menschliche Gesundheit haben sich noch verstärkt. Sowohl Kurz- als auch Langzeiteffekte wurden unterhalb von 10 µg/m³ bei PM_{2.5} dokumentiert. Es

ist noch kein Schwellenwert ableitbar. Untersuchungen zeigten auch unterschiedliche Wirkmechanismen für akute und langfristige Exposition, mit teilweise verschiedenen Wirkungen für PM₁₀ und PM_{2.5}. Mehrtägige Episoden mit hoher PM-Exposition belasten die Gesundheit stärker als eintägige Spitzenwerte. Fraglich ist, wie die Überschreitungshäufigkeit einzustufen ist.

Empfindliche und vulnerable Populationen. PM₁₀ und PM_{2.5} wird weltweit als ein Hauptproblem der Luftschadstoff-Belastung anerkannt, dessen Wirkungen besonders für empfindliche und vulnerable Gruppe bedeutsam ist. Als empfindliche Subpopulationen werden Individuen definiert, die möglicherweise nachteilige Gesundheitseffekte bei der Exposition gegenüber Luftschadstoffen schon bei niedrigeren Konzentrationen zeigen, die bei der Normalbevölkerung üblicherweise noch zu keinem höheren Auftreten von Effekten führen. Die Empfindlichkeit kann sich aber auch im Auftreten von ausgeprägteren oder häufigeren Effekten bei gleicher Exposition zu Luftschadstoffen zeigen. Vulnerable Subpopulationen sind jene, die in höheren Konzentrationen von Luftschadstoffen exponiert sind im Vergleich zur Normalbevölkerung.

Im Rahmen der *European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)*, die Daten aus 17 europäischen Kohortenstudien mit insgesamt 312.944 Probanden analysierte, gelang mit Hilfe von Krebsregistern der Nachweis entsprechender Erkrankungen in den Kohorten. Während des Follow-up über einen Zeitraum von etwa 13 Jahren entwickelten 2095 Personen Lungenkrebs. PM₁₀ und PM_{2.5} waren mit einem 1.51 bzw. 1.55fachen Risiko für Adenokarzinom assoziiert. Bereits eine um zehn Mikrogramm erhöhte Konzentration von PM₁₀-Teilchen führte zu einem um 22 Prozent gesteigerten Lungenkrebsrisiko.¹⁶

Vorzeitige Todesfälle durch PM. Nach Berechnungen des Umweltbundesamtes sind jährlich im Schnitt 47.000 vorzeitige Todesfälle auf zu hohe Feinstaubbelastung zurückzuführen. Insbesondere die Langzeitexposition über Jahre bis Jahrzehnte hinweg scheint mit einer deutlichen Verkürzung der Lebenserwartung von etwa neun bis zehn Monaten einherzugehen. Bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind in Deutschland 12.6% der vorzeitigen Todesfälle durch Feinstaubbelastung bedingt, bei den Lungenkrebserkrankungen 20%.¹⁷

Studien deuten jedoch auf komplexere Zusammenhänge hin. In einer Studie an 4.900 Erwachsenen im Ruhrgebiet wurde die Assoziation der Langzeit-Exposition

durch die Verkehrsbelastung allgemein und von PM_{2.5} speziell hinsichtlich des Arteriosklerose-Risikos bei Anwohnern stark befahrener Straßen untersucht. Das Arteriosklerose-Risiko war dabei stärker mit dem Abstand der Wohnung zur Straße als mit der PM-Konzentration assoziiert.¹⁸

Schreibt man die vorzeitigen Todesfälle dem Feinstaub alleine zu, so ergibt sich daraus eine verkürzte Betrachtung, die das Zusammenwirken von Lärm, Stickoxid sowie der psychischen Kondition der Betroffenen außer Acht lässt. Nahe am Menschen gelegene Quellen wie Verkehr oder Hausbrand leisten einen erheblichen Beitrag zur Exposition. Die Vorbelastungsmessungen ergeben teilweise höhere Emissionswerte als die Exposition durch die Kohlekraftwerke. Die Umweltzonendiskussion hat gezeigt, dass eine differenzierte Betrachtung und Bewertung der Partikel, auch in Hinblick auf ihre Wirkung, erforderlich ist. Beispielsweise sind Partikel von Diesel-Fahrzeugen im Innenstadtbereich anders zu bewerten als Partikel aus Kohlekraftwerken. Die klassische Messung, die Partikelgröße, Partikelanzahl und die Masse erhebt, erfasst die angelagerten Substanzen nicht mit.

Entwicklung der Emissionswerte. Der Trend der PM₁₀ Jahresmittelwerte zeigt sowohl für verkehrsnahe, ländliche und städtische Gebiete in Deutschland eine Abnahme. Untersuchungen auf europäischer Ebene prognostizieren hinsichtlich der Entwicklung der Emissions-Konzentrationen für PM_{2.5} und NO_x eine schrittweise weitere Abnahme der Emissionen. Für Deutschland wurden im Zeitraum von 2010 bis 2020 Reduktionen um 15% bei PM_{2.5} und um 39% bei NO_x berechnet. Bei beiden Stoffen besteht technisch noch ein erheblich größeres Reduktionspotenzial.¹⁹ Die OECD – Studie „*The Cost of Air Pollution. Health Impacts of Road Transport (2014)*“²⁰ bestätigt einen Rückgang der Gesamtzahl der Todesfälle durch Luftverschmutzung aufgrund der Feinstaub- und Ozonbelastung in den OECD-Ländern. Bei differenzierterer Betrachtung ist in Deutschland der Rückgang an Toten zwar relativ am ausgeprägtesten, verglichen mit z.B. Frankreich oder Großbritannien, jedoch ist das Niveau in Deutschland mit 42.600 Toten im Jahr 2010 auch deutlich höher als in Frankreich mit 17.400 bzw. Großbritannien mit 24.000 Todesfällen. In Verlorenen Lebensjahren (DALYs) ausgedrückt verzeichnet Deutschland mit einem Rückgang von etwa 723.900 DALYs im Jahr 2005 auf 586.800 DALYs im Jahr 2010 eine positive Bilanz.

Die Problematik, die sich aus der Kohleverstromung ergibt, ist hochkomplex und bedarf einer differenzierten Betrachtung. Dabei ist zu beachten, dass Kohlekraftwerke eine lange Laufdauer haben, sodass Luftschadstoffe und CO₂ über Jahrzehnte ausgestoßen werden. Hinsichtlich des Feinstaubgemisches ist die Gefährlichkeit einzelner Komponenten nicht bekannt. Die Europäische Union arbeitet daher an Maßnahmen zur Minderung des Feinstaubes an allen Feinstaubquellen, das von Autoverkehr, Industrie über Landwirtschaft und private Feuerungsanlagen bis zur Energieerzeugung reicht.

ZUSAMMENFASSUNG:

- Kohlekraftwerke stoßen in großen Mengen Schwefeldioxyde (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Feinstaub (PM) aus. Sie tragen zur primären und sekundären Feinstaubbildung bei
- Die Problematik der Belastung der Bevölkerung durch PM (aus verschiedenen Quellen) ist wissenschaftlich sehr gut untersucht und bewertet worden. Epidemiologische Studien zeigen einen statistischen Zusammenhang zwischen der Belastung zu PM und der Gesamtmortalität, kardiopulmonalen und Lungenkrebsmortalität sowie der Kindersterblichkeit
- Ebenso können mittlerweile die Gesundheitskosten durch allgemeine Luftverschmutzung beziffert werden
- Langzeitexpositionen über Jahre hinweg gehen mit einer deutlichen Verkürzung der Lebenserwartung von etwa zehn Monaten einher
- Schreibt man die vorzeitigen Todesfälle dem Feinstaub alleine zu, so lässt man das Zusammenwirken von Lärm, Stickoxid und den psychischen Konditionen der Betroffenen außer Acht. Verkehr und private Feuerungsanlagen leisten einen erheblichen Beitrag
- Es ist zu beachten, dass Kohlekraftwerke eine lange Laufzeit haben und so über Jahrzehnte Luftschadstoffe und CO₂ ausstoßen

Auswirkungen der Geräuschmissionen durch Windenergieanlagen auf die menschliche Gesundheit

Basierend auf Vorträgen von Thomas Myck und Dr. Dorothee Twardella

Bedeutung der Windenergie. Windenergie stellt ein Hauptelement der Energiewende dar. Zur Zeit sind die Windenergieanlagen (WEA) insbesondere auf Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt konzentriert. Bei der Windenergie handelt es sich um eine regenerative Energiequelle, die dauerhaft zur Verfügung steht. Die energetische Amortisation ist schnell erreicht, da die Energie, die zur Herstellung, Transport und Aufbau einer Anlage investiert werden muss, innerhalb weniger Monate von dieser Anlage wieder gewonnen wird. Die Stromgestehungskosten sind relativ niedrig und bedingt durch die geringe Flächeninanspruchnahme besteht großes Ausbaupotenzial.²¹

Geräuschestehung bei Windenergieanlagen. Einhergehend mit dem Ausbau der WEA berichteten Anwohnerinnen und Anwohner im Umkreis von Anlagen über Lärmbelästigung durch Geräuschmissionen. Windenergieanlagen erzeugen auf zwei Wegen Geräusche. Zum einen sind dafür mechanische Ursachen, zum anderen aerodynamische verantwortlich. Der Rotor, das ist die Nabe mit den daran befestigten Rotorblättern, wird durch das Auftriebsprinzip in Bewegung versetzt. Ähnlich wie bei einem Flugzeug erzeugt der Wind beim Vorbeiströmen an den Rotorblättern einen Auftrieb. Dabei setzt er den Rotor in Gang. Diese Bewegungsenergie des Rotors wird, mit oder ohne Getriebe, an den Generator übertragen, der die mechanische Energie in elektrische umwandelt. Die Maschinengondel, in der Getriebe, Generator und Netzanschlusstechnik untergebracht sind, ist drehbar auf dem Turm aufgelagert, sodass der Rotor in den Wind gedreht werden kann und die Windenergie optimal ausgenutzt wird.

Die mechanischen Geräusche (ausgelöst durch Getriebe, Generator und Lüfter) sind dämpfbar und spielen eine geringere Rolle, als die aerodynamischen Geräusche, die durch die Luftströmung an den Rotorblättern entstehen.²¹

Rechtliche Grundlage. WEA können überall dort errichtet werden, wo sie laut Flächennutzungsplan oder Regionalplan möglich und rechtlich genehmigungsfähig

sind. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) stellt die rechtliche Grundlage bei der Errichtung von WEA dar. Für Kleinwindkraftanlagen mit einer Höhe bis zu 10 Metern bestehen je nach Bundesland unterschiedliche baurechtliche Genehmigungspflichten. Für WEA mit mehr als 50 Metern Höhe ist eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung durch die Kreisverwaltungsbehörde erforderlich.

Das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren richtet sich auch nach der Anzahl der Anlagen (siehe Tab. 3): Bei der Errichtung von weniger als zwei WEA handelt es sich um ein vereinfachtes Verfahren nach § 19 BImSchG, das keine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und keine Öffentlichkeitbeteiligung vorsieht. Sind dagegen 20 oder mehr WEA geplant, so bedarf es eines förmlichen Verfahrens nach § 10 BImSchG. Die UVP ist ein wesentlicher Bestandteil dieses Verfahrens und § 10 BImSchG regelt die öffentliche Bekanntmachung des beabsichtigten Vorhabens, die Informationen, die für die Entscheidung über die Zulässigkeit des Vorhabens von Bedeutung sein könnten und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen sind, sowie die Einwendungsfristen.²²

Tabelle 3: Genehmigung der Windenergieanlagen in Abhängigkeit der Anlagenanzahl

< 3 WEA	3 bis 5 WEA		6 bis 19 WEA		> 19 WEA
keine UVP-Pflicht	standortbezogene UVP-Vorprüfung		allgemeine UVP-Vorprüfung		UVP-Pflicht
	keine UVP erforderlich	UVP erforderlich	keine UVP erforderlich	UVP erforderlich	
Vereinfachtes Verfahren nach § 19 BImSchG	Vereinfachtes Verfahren nach § 19 BImSchG	Verfahren nach § 10 BImSchG	Vereinfachtes Verfahren nach § 19 BImSchG	Verfahren nach § 10 BImSchG	Verfahren nach § 10 BImSchG

Beurteilungsverfahren der Geräuschimmissionen von WEA. WEA unterliegen als genehmigungsbedürftige Anlagen dem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG. Der Betrieb von WEA muss die Anforderungen des Lärmschutzes erfüllen. Die Beurteilung der Geräuschimmissionen erfolgt für alle Industrieanlagen nach der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm). Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift TA Lärm betrachtet als

schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche jene Immissionen, die „nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft“ herbeizuführen.²³

Soll eine WEA gebaut werden, so erfolgt in der Planungsphase eine Lärmberechnung für die Prognosesituation. Das Verfahren ist so ausgelegt, dass in der Praxis der Immissionswert unterschritten wird.

Immissionsrichtwerte der TA Lärm. Die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel bei Immissionsorten außerhalb von Gebäuden richten sich nach der in der Baunutzungsverordnung definierten Gebietsart und unterscheiden Tages- (zwischen 06.00 und 22.00 Uhr) und Nachtwerte (zwischen 22.00 und 06.00 Uhr). Während die Immissionsrichtwerte in Industriegebieten ganztägig 70 dB(A) betragen, sind in Kern-, Dorf-, und Mischgebieten tags 60 dB(A) und nachts 45 dB(A) zulässig (siehe Tab. 4).

Tabelle 4: Immissionsrichtwerte der TA Lärm

Gebietsart	Tag	Nacht
Industriegebiete	70 dB(A)	70 dB(A)
Gewerbegebiete	65 dB(A)	50 dB(A)
Kern-, Dorf-, Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
Allgemeine Wohngebiete	55 dB(A)	40 dB(A)
Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Im Allgemeinen liegen keine „schädlichen Umwelteinwirkungen“ für die schutzwürdige Nachbarschaft vor, wenn die Beurteilungspegel der Lärmimmissionen die Immissionsrichtwerte der TA Lärm nicht überschreiten. Die Immissionsrichtwerte sind als Grenzwerte zu verstehen und gelten für die Summe der Geräusche aller Anlagen, die an einem Immissionsort (z.B. nahegelegenen Wohngebiet) einwirken. Lediglich einzelne kurzfristige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tag um nicht mehr als 30 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.

Bei Überschreitung der gebietsbezogenen Immissionsrichtwerte sind Lärminderungsmaßnahmen erforderlich. Zu den Minderungsmaßnahmen an WEA

zählen die Veränderung des Rotorblatteinstellwinkels, regelmäßige Wartung, Kapselung der Gondel, Rotorblattoptimierung, aeroakustische Strömungshilfen (z.B. Vortex-Generatoren), Optimierung des Lüfterkonzeptes, Einsatz von aktiven Schwingungstilgern und ein schalloptimierter Betrieb in der Nachtzeit.

Lärmbelästigung durch Geräuschmissionen von WEA. Unter Lärmbelästigung wird die subjektive Bewertung der Lärmexposition verstanden, die durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst ist. Aus der Lärmwirkungsforschung ist eine große Variabilität der Belästigungsreaktion bekannt. Die Höhe des Schallpegels erklärt nur ein Drittel der Variabilität der Lärmbelästigung. Eine ebenso bedeutende Rolle spielt die Art der Lärmquelle. Bei gleichen Schallpegeln wirkt Fluglärm häufiger belästigend als Straßenverkehrslärm, der wiederum häufiger als Schienenverkehr zur Belastung wird. Die persönliche Einstellung gegenüber der Lärmquelle, Erwartungen über künftige Lärmbelastung und die individuelle Lärmempfindlichkeit beeinflussen als weitere Faktoren die individuelle Belästigung durch Lärm.²¹

Die Lärmbelästigung durch WEA wird ebenso wie bei anderen Schallquellen individuell sehr unterschiedlich empfunden, wie die epidemiologische Studie von Pederson et al. (2009)²⁴ an 708 Anrainern von WEA in den Niederlanden zeigte. Hierbei wurden die Anwohnerinnen und Anwohner mittels einer 5-stufigen Skala nach der Geräuschwahrnehmung und nach der Belästigung durch die WEA gefragt. Parallel dazu wurden die durch die WEA verursachten Schallpegel an der Außenfassade der Wohnhäuser geschätzt. Bei Schallpegeln, die von vielen Anwohnern nicht einmal wahrgenommen werden, fühlen sich andere bereits belästigt (siehe Abb. 5).

Als mögliche Erklärung für den vergleichsweise hohen Anteil Lärmbelästigter bei WEA gilt das durch die Bewegung der Rotorblätter entstehende, periodisch auf- und abschwellende Geräusch, welches leichter als ein gleichbleibendes Geräusch wahrgenommen wird. Weiters stehen WEA häufig in ländlichen Gegenden mit wenigen geringen Hintergrundgeräuschen. Daher sind die vergleichsweise leisen Geräusche der WEA leichter wahrnehmbar.

Die Sichtbarkeit der WEA sowie ökonomische Aspekte stellen moderierende Faktoren dar. Bei WEA fühlen sich Anrainer, die von ihrem Haus aus die Anlage sehen, stärker durch den Lärm gestört. Die visuelle Belästigung vermischt sich scheinbar mit der

akustischen. Umgekehrt mindern finanzielle Vorteile, die Anwohnern durch die WEA entstehen, auch in hohen Schallpegelkategorien die Belästigungsreaktion.

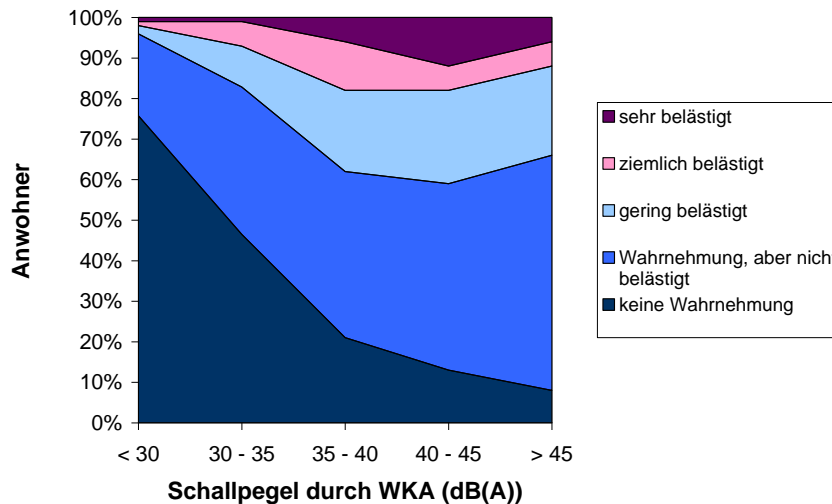


Abb. 5: Lärmbelastigungen durch Geräuschimmissionen von Windenergieanlagen (Quelle: Pedersen et al. 2009)

Zudem werden Studien zur Lärmbelastigung durch Verkehr in der Regel in städtischer Umgebung durchgeführt. Über das Ausmaß der Belästigung durch Verkehrslärm in ländlichen Gegenden liegen daher wenige Daten vor. Darüber hinaus bestehen Unterschiede in der Erfassung der Lärmbelastigung durch Verkehrslärm und durch Geräusche von WEA.

Schlafstörungen. Lärm kann zu Schlafstörungen führen. Daher hat die WHO in den „Night noise guidelines for Europe“ (2009)²⁵ einen Richtwert von 40 dB (A) abgeleitet. Ziel ist der Schutz der Allgemeinbevölkerung einschließlich der empfindlichsten Gruppen wie Kinder, chronisch Kranke und Ältere vor den schädlichen Wirkungen des Nachtlärms. In nächster Nähe zu WEA ist nicht sichergestellt, dass dieser unverbindliche Richtwert eingehalten wird. Verbindlich sind die Vorgaben der TA Lärm, die die Schutzwürdigkeit des Gebietstyps berücksichtigen und dementsprechende Immissionswerte für die Nacht zwischen 35 und 40 dB (A) in Wohngebieten und 50 dB (A) in Gewerbegebieten vorsieht (siehe Tab.4).

Über die spezielle Wirkung der Geräusche von WEA auf den Schlaf liegen derzeit keine aussagekräftigen Studien vor.²¹ Gesundheitliche Nachteile wären jedoch nur bei sehr nah gelegenen Wohnhäusern plausibel.

Infraschall. Es wird häufig befürchtet, dass WEA Infraschall erzeugen, der Menschen beeinträchtigen oder ihre Gesundheit gefährden könnte. Infraschall breitet sich über viele Meter aus, mit einer durchschnittlichen Wellenlänge von 17 m Durchmesser und mit geringer Abnahme über den Abstand. Die Infraschallmessung ist sehr aufwendig und erfordert sehr sensible Messanlagen. Infraschall entsteht bei allen geräuscherzeugenden Tätigkeiten und Vorgängen, wobei die Pegel oft so niedrig sind, dass der Infraschall nicht wahrnehmbar ist. Neben den natürlichen Infraschallquellen (z.B. Meeresbrandung, Donner, Erderuption, Wasserfällen) kann auch jede technische Quellen (WEA, Fahrzeug, Pumpen) Infraschall auslösen. Bedingt durch die Vielzahl an möglichen Quellen von Infrasschallemissionen gestaltet sich daher die eindeutige Zuordnung zum Verursacher als schwierig.

Infraschall ist Schall im Frequenzbereich unterhalb von 20 Hz. Fälschlicherweise wird Infraschall häufig als nicht hörbarer Schall beschrieben. Prinzipiell ist Infraschall aber hörbar, auch wenn die Art des auditiven Wahrnehmens anders ist als im Hörschallbereich. Die Tonhöhenwahrnehmung entfällt, aber die Lautstärkenwahrnehmung ist vorhanden. Die Töne werden diskontinuierlich, als einzelne Pulse statt einem durchgehenden Ton, gehört. Das Gehör ist das empfindlichste Wahrnehmungsorgan des Menschen für Infraschall.²⁶ Bei ausreichendem Schalldruckpegel kann Infraschall gehört werden.²⁷ Bei deutlich höher liegenden Pegeln (20 – 40 dB (A) höher) kann Infraschall auch mit anderen Organen wahrgenommen werden. Er kann gefühlt werden, was häufig als Ohrendruck, Vibration oder Unsicherheitsgefühl beschrieben wird. Der Übergang zwischen Hören und Fühlen ist im Infraschallbereich fließend.²⁸

Infraschall kann grundsätzlich Wirkung auf den Menschen ausüben, die jenen des Hörschalls ähneln. Wie im Bereich des Hörschalls muss aber auch im Bereich des Infrasschalls die Wirkung immer in Abhängigkeit von der Höhe des Schalldruckpegels betrachtet werden. Entscheidend ist, ob die Immission die Hör- bzw. Wahrnehmungsschwelle erreicht. Die Hörschwelle ist dabei so festgelegt, dass 50 Prozent der Bevölkerung die jeweilige Frequenz unterhalb des angegebenen Pegels nicht mehr hörbar wahrnimmt (nach ISO: 226,2003). Die Wahrnehmungsschwelle wird so definiert, dass 90 Prozent der Bevölkerung unterhalb dieses Pegels die Infrasschallwellen nicht wahrnehmen (nach E DIN 45680 2013-09). Die individuelle Hörschwelle kann aber noch niedriger liegen.

Die individuelle Hörschwelle wird als zentrales Kriterium zur Bewertung des Infraschalls herangezogen. Alle bisherigen Hinweise auf gesundheitliche Wirkungen des Infraschalls stammen aus Studien, in denen die Hörschwelle überschritten war.²⁹ Bei Schallpegeln oberhalb der Hörschwelle treten im Infraschallbereich Gesundheitsfolgen auf, die jenen von Lärm ähneln: Sehr hohe Schallpegel können Gehörschäden verursachen. Darüber hinaus werden von Belästigungswirkungen wie Ermüdung, Benommenheit oder Beeinträchtigung des Schlafes berichtet. Die Evidenz in diesem Bereich ist geringer als im Bereich Lärm.

Die drei bisher durchgeführten Studien zur Wirkung des Infraschalls unterhalb der Hörschwelle ergaben bisher keinen Hinweis auf gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen.^{30,31,32} Laut einer Übersichtsstudie aus Großbritannien²⁵ konnten bisherige Untersuchungen keine Beweise dafür erbringen, dass durch Infraschall bei den für WEA üblichen Schallintensitäten (d.h. unterhalb der Wahrnehmungsschwelle) physiologische Veränderungen verursacht werden. Ein generelles Problem vieler Studien besteht zudem darin, dass die Wirkung von Infraschall in der Regel nicht unabhängig von Geräuschemissionen untersucht wurde.

Infraschallimmissionen von WEA und ihre Gesundheitswirkungen. Eine Studie mit aktuellen Messungen an Standorten mit und ohne WEA in Australien³³ zeigte, dass Infraschall in der Nähe von WEA nicht höher ist als bei großer Entfernung. Während in städtischen Gegenden die menschliche Aktivität und der Verkehr die wichtigste Quelle des Infraschalls darstellt, ist Infraschall in den ländlichen Gebieten primär von den Windverhältnissen abhängig. Beim Abschalten der WEA ändern sich die Pegel nicht. Somit sind also auch keine gesundheitlichen Wirkungen durch Infraschallemissionen von WEA zu erwarten, die noch dazu Schallintensitäten aufweisen, für welche bisher keine Wirkungen nachgewiesen werden konnten (s. vorheriger Abschnitt).

Alternative Erklärungen für berichtete Wirkungen. Bezogen auf die Infraschallwirkungen wird ein Nocebo Effekt diskutiert, der eine gesundheitliche Einschränkung als Reaktion auf Umwelteinflüsse ohne nachweisbare negative Wirkung aufgrund einer spezifischen Erwartungshaltung beschreibt. Crichton et al. (2014)³⁴ haben in einer doppelt-blinden Studie die 54 Studienteilnehmer zufällig einer Gruppe zugeordnet. Beide Gruppen erhielten umfassende Information zur gesundheitlichen Wirkung von Infraschall: bei der einen Gruppe sollte aufgrund des beunruhigenden Charakters der Information die große Erwartung geweckt werden,

dass die Infrascallexposition bestimmte gesundheitliche Symptome verursacht, während in der anderen Gruppe die neutrale Information das Ziel verfolgte, keine Erwartungshaltung in Hinblick auf spezifisch auftretende Symptome als Folge vom Infraschall aufzubauen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden zunächst zehn Minuten Infraschall ausgesetzt, anschließend wurde eine zehn minütige Infrascallexposition vorgetäuscht. Es traten große Unterschiede zwischen den zwei Gruppen auf, die nicht durch den Infraschall selbst zu erklären sind. Die Vielzahl und Intensität der Symptome, die die Gruppe mit der hohen Erwartung einer schädlichen Wirkung bei tatsächlicher sowie vorgetäuschter Infrascallexposition berichtete, deutet auf eine psychologische Erwartung hin, die für den Zusammenhang zwischen der WEA Exposition und den Gesundheitsbeschwerden verantwortlich ist.

Die komplexen Wirkungszusammenhänge zwischen psychischen und physiologischen Faktoren erschweren die Untersuchung möglicher lärmbedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen. In Bezug auf die Lärmbelästigung hat sich gezeigt, dass eine breite Öffentlichkeitsbeteiligung durch frühzeitige, umfassende Information und Einbeziehung bereits in der Planungsphase einen positiven Effekt auf die Lärmbelästigungsreaktion hat. Die oben beschriebene Sichtbarkeit der WEA ist nicht zu vernachlässigen. Auch wirtschaftliche Beteiligungsmodelle erhöhen die Akzeptanz in der Bevölkerung. Darüber hinaus ist eine kontinuierliche Weiterentwicklung der WEA im Sinn von Lärminderung erforderlich.

ZUSAMMENFASSUNG:

- Windenergie stellt ein Hauptelement der Energiewende dar, das dauerhaft zur Verfügung steht und großes Ausbaupotenzial birgt
- Anwohnerinnen und Anwohner von WEA berichten über Lärmbelästigung durch Geräuschemissionen
- Als Lärmbelästigung wird die subjektive Bewertung der Lärmexposition verstanden: die Höhe des Schallpegels, Art der Lärmquelle und Einstellung gegenüber dieser, Erwartungen über künftige Lärmbelastung und individuelle Lärmempfindlichkeit fließen in die Belästigungsreaktion ein
- Nach heutigem Wissensstand treten keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Infraschall von WEA auf. Bezogen auf die Infraschallwirkung wird ein Nocebo-Effekt diskutiert
- Die Beurteilung der Geräuschemission erfolgt nach der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)
- Frühzeitige Information und Einbeziehung der Öffentlichkeit sowie wirtschaftliche Beteiligungsmodelle steigern die Akzeptanz der Anwohnerinnen und Anwohner

Ausgewählte gesundheitliche Aspekte von Hochspannungsleitungen und Risikokommunikation

Basierend auf Vorträgen von Prof. Dr. Caroline Herr

Hochspannungsleitungen mit Wechselstromübertragung. In den vergangenen Jahren wurden überwiegend Hochspannungsleitungen mit Wechselstromübertragung (HWÜ) betrieben. Sie sind an Großkraftwerke oder überregionale Transportnetze angeschlossen bzw. zum Stromhandel da. Die Freileitungen erzeugen ein niederfrequentes (NF) elektrisches bzw. magnetisches Feld.

Gesundheitliche Auswirkungen von NF Feldintensitäten. Forschungen zu den gesundheitlichen Aspekten von NF Feldintensitäten zeigen unterhalb des internationalen Basiswertes von 50mV/m keine nachgewiesenen Wirkungen. Nachgewiesene Wirkungen in Form von optischen Sinneseindrücken sowie Einfluss auf die Knochenheilung finden sich im Frequenzbereich von 50mV/m bis 2V/m. Der Frequenzbereich von 2 – 12V/m stellt eine Gesundheitsgefahr dar, die die erhöhte Erregbarkeit von Nerven- und Muskelzellen betrifft. Eine Feldintensität von mehr als 12V/m führt zu einer akuten Schädigung im Körper. Zusätzliche Herzkontraktionen und Herzkammerflimmern sind möglich (siehe Abb. 6).

Es laufen Untersuchungen, die die potentiellen Wirkungen NF Felder unterhalb des Grenzwertes auf die Zellmembran, den Hormonhaushalt, die Enzymaktivitäten, die DNA-Synthese sowie bestimmte biologische Botenstoffe untersuchen und das Auftreten neurodegenerativer Erkrankungen und Krebswachstum fördernder Effekte beobachten. Aufgrund des momentanen Forschungsstandes wird das Auftreten dieser Wirkungen als unwahrscheinlich eingeschätzt.

Mögliche gesundheitsbeeinträchtigende Störungen treten im Haushalt im Zusammenhang mit Herzschrittmachern im Abstand von etwa 30 cm zu elektrischen Haushaltsgeräten auf. Diese Beobachtung wurde in der Vergangenheit vor allem bei älteren Modellen gemacht, lassen sich jedoch bei moderneren Herzschrittmachern nicht mehr beobachten.



Abb. 6: Gesundheitliche Aspekte von niederfrequenten Feldintensitäten

Leukämien im Kindesalter. Der Deutsche Kinderkrebsregister untersuchte den Zusammenhang von Leukämieerkrankungen im Kindesalter mit häuslichen Magnetfeldern im Niederfrequenzbereich. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass nur in 1.4% aller Wohnungen Magnetfelder mit einer Feldstärke von mehr als $0,2\mu\text{T}$ (Mikrotesla) auftreten. Ursachen von Magnetfeldern $\geq 0,2\mu\text{T}$ sind in weniger als ein Drittel aller Fälle in Hausnähe vorbeiführende Hochspannungsleitungen. Andere Feldquellen sind außerhäusliche Quellen im Niederspannungsbereich (Erdkabel, Hausdachanschlüsse von Versorgungsleitungen, Straßenbeleuchtungen) oder hausinterne Quellen wie Steigleitungen. Die Studie beobachtete ein höheres Leukämierisiko bei Magnetfeldstärken $\geq 0,4\mu\text{T}$. Kinder, die während der Nacht einem höheren Magnetfeld $\geq 0,2\mu\text{T}$ ausgesetzt waren, hatten ein etwa 3-fach erhöhtes Leukämierisiko, das als statistisch auffällig bezeichnet werden kann.

Aufgrund der Beobachtungen der nächtlichen Magnetfeldexposition gilt die Studie als Hinweis für eine statistische Assoziation zwischen magnetischen Feldern und Leukämie im Kindesalter, was sich mit Ergebnissen anderer Studien deckt. Eine biologische Erklärung ist hierfür nicht bekannt und aus experimentellen Studien gibt es dafür bisher keine überzeugende Daten.³⁵

Weitere Studien stellten Überlegungen zu einem möglichen Zusammenhang kindlicher Leukämie mit HWÜ nicht nur im häuslichen Umfeld sondern auch den Außenbereich betreffend an. So beschäftigten sich Fall-Kontroll-Studien in England und Wales³⁶ sowie in Dänemark³⁷ mit der Frage, ob der Abstand von der Wohnung zum Zeitpunkt der Geburt zur nächstliegenden Hochspannungsfreileitung mit einem höheren Risiko für Kinderleukämie bzw. anderen Tumorarten verbunden ist. Die englische Studie ergab, dass in den ersten Dekaden (1962-1969 und 1970-1979) ein erhöhtes Leukämierisiko bei einem Abstand von weniger als 600 Metern zur Hochspannungsleitung bestand, das in den weiteren Dekaden nicht zu erkennen war. Bezüglich sonstiger kindlicher Tumore bestand keine Assoziation.³⁶ Die dänische Studie kam zu dem Schluss, dass nicht angemessen berücksichtigte Confounder (Rauchen, Verkehr, Herbizide etc.) zur Beobachtung eines Scheinzusammenhanges führten.³⁷

Die Studienlage ist jedoch nicht ganz eindeutig. Es sind keine großen Effekte zu erwarten, aber dennoch bleibt bei HWÜ die Frage offen, inwiefern eine kleine Krankheitsgruppe durch diese Anlagen beeinflusst wird.

Beschwerdebild der Elektrosensibilität. Elektrosensibilität stellt ein weiteres Gesundheitsproblem hinsichtlich elektromagnetischer Felder (EMF) dar. Sie bezieht sich auf die subjektiv empfundenen besonderen Empfindlichkeiten gegenüber NF und HF elektromagnetischen Feldern.³⁸ Als Auslöser der Beeinträchtigung nennen die Betroffenen Mobilfunksendeanlagen, Mobiltelefon, Schnurlostelefon oder WLAN (HF Felder) sowie die häusliche Stromversorgung oder Hochspannungstrassen (NF Felder). Die Quellen können mit sehr geringer oder langer Latenz zu den empfundenen Beschwerden führen. Die betroffenen Personen schreiben ihre zum Teil schweren gesundheitlichen Beeinträchtigungen dem Einfluss von EMF zu.³⁹ Die WHO schlägt hierfür im internationalen Sprachgebrauch die Verwendung des Begriffs elektromagnetische Hypersensitivität (Self Reported Electromagnetic Hypersensitivity, EHS) vor.⁴⁰

Elektrosensible Personen äußern unspezifische Beschwerden, die alle Organsysteme betreffen. Am häufigsten genannt werden Beschwerden in Hinblick auf das ZNS: Konzentrationsstörungen, Müdigkeit, schnelle Erschöpfbarkeit oder Kopfschmerzen. Des Weiteren wird u.a. von Übelkeit, Hautsymptomen, Missempfindungen oder depressiven Zuständen berichtet.⁴¹

Laboruntersuchungen bestätigten die Effekte EMF unterhalb der Grenzwerte nicht.

Auch hier unterstreicht der Nocebo-Effekt (siehe oben S.21) die Bedeutung von Kognitionen bei der Entstehung von unangenehmen körperlichen Beschwerden, wie sie von subjektiv elektrosensiblen Personen berichtet werden.⁴² Für den Umweltmediziner stellt dieses Phänomen eine bedeutende Erkenntnis dar: Eine Unterschreitung der Grenzwerte auf Expositionsseite reicht nicht aus, wenn aufgrund des Nocebo-Effekts Gesundheitsbeschwerden ausgelöst werden können.

Die WHO stuft Elektrosensibilität nicht als ein medizinisches Krankheitsbild oder eigenständiges medizinisches Problem ein, bei dem ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Sensibilität und EMF feststellbar ist.⁴² Dennoch empfiehlt sie, die Beschwerden subjektiv elektrosensibler Patienten ernst zu nehmen. Der Mediziner soll im Rahmen der Behandlung elektrosensibler Patienten eine umfassende medizinische und psychologische Untersuchung durchführen sowie mögliche andere Ursachen für die Symptomatik in Betracht ziehen.⁴²

Hochspannungsleitungen mit Gleichstromübertragung. Während HWÜ eine lange Tradition haben, stellen Hochspannungsleitungen mit Gleichstromübertragung (HGÜ) eine neuere Technik dar. Gleichstromanlagen zeigen auf weitere Entfernungen geringere Übertragungsverluste als HWÜ. Bisher wurden HGÜ hauptsächlich als Seekabel eingesetzt. Es gibt noch wenig Erfahrung mit deren Einsatz an Land in der Nähe von besiedelten Gebieten. Derzeit wird jedoch an einem europaweiten Netzausbau zur Stromverteilung gearbeitet, in den Deutschland eingebunden werden soll. Ein modernes und verzweigtes Netz von HGÜ wird benötigt, um die Abhängigkeit von nicht regelmäßig produzierenden Energiequellen zu reduzieren und Energie bei Bedarf transportieren und bereithalten zu können.

Bei HGÜ gibt es ein elektrisches und magnetisches Gleichfeld, die man als unmittelbare Exposition bezeichnen könnte. Im Außenbereich könnten durch diese Felder bestimmte Ionen, Ozon und Stickoxide entstehen. Der Ausschuss Nichtionisierende Strahlen der Strahlenschutzkommission, hat sich in den letzten Jahren mit deren Auftreten und Bewertung auseinandergesetzt.

Die elektrischen Felder werden durch elektrische Spannungen verursacht, auch wenn kein Strom fließt, und lassen sich gut abschirmen. So verursacht das elektrische Feld

bei Verlegung mit Erdkabel kein Problem mehr. Magnetische Felder treten dagegen auf, wenn elektrischer Strom fließt. Sie lassen sich nur mit großem technischen Aufwand abschirmen. Bei Verlegung unter die Erde bleibt dennoch ein magnetisches Feld bestehen. Sowohl die elektrische Feldstärke als auch die magnetische Flussdichte nehmen mit dem Abstand von der Quelle erheblich ab.

Wirkung der elektrischen Gleichfelder von HGÜ. Elektrische Felder gelangen praktisch nicht ins Körperinnere, weshalb Wirkschwellen auf aktueller Basis nicht zu bestimmen sind. Von den Erdkabeln gehen keine relevanten Emissionen aus. Direkt an der Körperoberfläche können aufgrund der Wirkung der elektrischen Gleichfelder der HGÜ Phänomene auftreten, wie das Aufrichten von Haaren oder die Funkentladung auf oder von Objekten. Diese Beobachtungen sind im Trassenbereich von HGÜ-Leitungen nicht auszuschließen. Sie werden jedoch mehr als Belästigung und weniger als gesundheitliche Beeinträchtigung wahrgenommen. Gegebenenfalls können geeignete, primär konstruktive Abhilfemaßnahmen geschaffen werden.

Wirkung der magnetischen Gleichfelder von HGÜ. Die 26. Bundes-Immissionschutzverordnung sieht einen Grenzwert von 500 Mikrottesla vor, um vor wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken zu schützen. Die zu erwartenden Flussdichten der HGÜ liegen selbst in Trassenmitte mit 45 Mikrottesla weit unterhalb der (internationalen) Grenzwertempfehlung. Sie ähneln der Höhe des Erdmagnetfeldes, das in Mitteleuropa etwa 48 Mikrottesla beträgt. Unter 4 Tesla sind keine direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen zu erwarten.

Dennoch wurden bestimmte epidemiologische Hinweise hinsichtlich der Krebsentstehung durch magnetische Gleichfelder von HGÜ aus dem Bereich der Arbeitsmedizin untersucht. Bei bestimmten Risikogruppen (Schweißer, Arbeiter in Aluminiumschmelzen) wurde ein erhöhter Risikoschätzer für die Tumorentstehung vermutet. Es ergibt sich jedoch kein konstantes Bild. Ebenso beschäftigte man sich mit Hinweisen, dass möglicherweise das natürliche Erdmagnetfeld mit kindlicher Leukämie assoziiert sei. Eine Metaanalyse anhand von 15 Studien führte jedoch zu keinem signifikanten Ergebnis. In diesem Zusammenhang stellt die Expositionsmisssklassifikation ein großes Problem dar. Somit ist die Datenlage insgesamt als unzureichend einzustufen. Auf diesem Gebiet herrscht noch weiterer

Forschungsbedarf, inwiefern von magnetischen Gleichfelder der HGÜ (k) ein zusätzliches Risiko für die Krebsentstehung ausgeht.

Ebenso wird die Wirkung der Koronaeffekte diskutiert. Man rechnet damit, dass die im Bereich der Freileitungen entstehende Konzentration von Ozon und Stickoxiden die natürlicherweise in der Außenluft vorhandene Konzentrationen nur unerheblich verändern wird. Die Beurteilung der ionisierten Luftmoleküle ist derzeit noch unklar.

Risikokommunikation. Obwohl die zu erwartenden gesundheitlichen Effekte im Vergleich zu anderen relevanten Umweltbelastungen beim Netzausbau nicht sehr groß sind, betrachten die Bürger den Trassenbau oft als unmittelbaren Eingriff in ihre gesamte Lebensumwelt. Der Grund liegt im Zusammentreffen unterschiedlicher Interessen. Die sichtbare Umwelt wird verändert, landwirtschaftliche Flächen sowie das Landschaftsbild als gesamtes werden aufgrund geplanter Erdkabel oder Freileitungen beeinträchtigt und die Anwohner drücken ihr Unbehagen über die Gesundheit aus.

Aus diesem Grund hat die Bundesnetzagentur ein Risikokommunikationsverfahren initiiert. Es handelt sich hierbei um ein Beteiligungsverfahren, das die erforderlichen Entscheidungen zum Netzausbau in einem fünf – Schritte – Vorgehen gemeinsam mit der Öffentlichkeit treffen will. So wird im Rahmen der Planung der Stromnetze von der Ermittlung der Szenarien über die Bestätigung des Netzentwicklungsplans bis zum konkreten Verlauf der Leitungen jeder Schritt transparent durchgeführt und öffentlich konsultiert. Zudem werden die Ausbauvorhaben mit vielfältigen informellen Dialogangeboten in allen Planungsstadien begleitet. Die Vorschläge werden einer strategischen Umweltprüfung unterzogen. Am Ende steht die Planfeststellung mit den Trassenverläufen, die die geringsten Belastungen für Mensch und Umwelt versprechen.

Dennoch stellte sich in der Praxis das Kommunikationsverfahren häufig als problematisch dar. Die Bevölkerung wie die Regierung vor Ort ist zwar eingeladen, Einsicht zu nehmen und ihre Meinung zum geplanten Vorhaben zu äußern, weiß jedoch oft nicht rechtzeitig über ihre direkte Betroffenheit Bescheid. Die aktive Informationsweitergabe an die betroffenen Bürger erfolgt häufig zu spät. Aufgrund zentral getroffener Entscheidungen dringen diese meist erst bei Umsetzung des

Planfeststellungsverfahrens an die Bevölkerung und lokale Regierung durch. Nicht selten entlädt sich der Unmut der Bevölkerung in Form von Protesten.

Ein weiteres Problem der Risikokommunikation betrifft die Glaubwürdigkeit von Grenzwerten, wie sie von der Strahlenschutzkommission oder dem Bundesamt für Strahlenschutz festgelegt werden. Die auf wissenschaftlichen Studien basierenden Grenzwertableitungen sind für die Bürger häufig schwer plausibel darstellbar. Numerische Angaben und verwendete Maßeinheiten stoßen auf Verständnisschwierigkeiten. In dieser Situation erfährt eine Alarmierung häufig mehr Aufmerksamkeit von den betroffenen Bürgern als eine Entwarnung. Zwei weitere Probleme stehen der Argumentation mit Grenzwerten entgegen. Zum einen ist die intuitive Wahrnehmung von Grenzwerten durch eine Besonderheit geprägt: Während Grenzwertüberschreitungen als Zeichen für Risiko bewertet werden, werden dagegen Unterschreitungen nicht als Zeichen von Sicherheit interpretiert. Zum anderen belegen Untersuchungen zur Wirkung von Informationen über Vorsorgemaßnahmen, dass diese eher Sorgen und Bedenken hervorrufen. Eine Senkung von Grenzwerten im Sinn von Vorsorgegrenzwerten, was von Fachleuten als Sicherheitszuwachs verstanden wird, bringt keinen statistischen Effekt hinsichtlich der Akzeptanz von Hochspannungsleitungen im Wohnumfeld der Bevölkerung, da Grenzwerte selten das Vertrauen in das Risikomanagement verstärken.⁴³ Die vorhandene Evidenz spricht dafür, dass striktere Grenzwerte als Gefahrenhinweise interpretiert werden.⁴⁴

Im Zusammenhang mit der Akzeptanz von Hochspannungsleitungen werden auch psychologische Schutzzonen diskutiert. In einer Studie nannten die Teilnehmer eine Akzeptanzschwelle von 850 m Abstand von der Stromtrasse, was deutlich über den vom BUND geforderten 600 m liegt. Es wäre lohnenswert, das Konzept der psychologischen Schutzzonen um Wohnsiedelungen zu untersuchen. Sensorische Parameter scheinen bei der Festlegung der Schutzzone eine Rolle zu spielen, die durch Lärm, Geruch und Sichtbarkeit beeinflusst werden.^{43,44}

Der Einsatz von Erdkabel würde sich aufgrund der Beachtung der psychologischen Schutzzone positiv auf die seelische Gesundheit auswirken. Dennoch stellt diese Änderung im Netzausbau keine gänzliche Lösung des Problems dar. Die unklare Datenlage hinsichtlich des Magnetfeldes bei HGÜ und der Krebsentstehung könnte noch immer die physische Gesundheit betreffen.

Eine langfristige Steigerung der Akzeptanz lässt sich nur durch eine stetige Risikokommunikation und das Einbinden der Bürger erreichen, die Hintergründe, Vor- und Nachteile erläutert sowie über zu erwartende bzw. beobachtete Gesundheitseffekte aufklärt. Nicht immer ist dieser ressourcenintensive Prozess von den Gesundheitsämtern vor Ort leistbar.

ZUSAMMENFASSUNG:

- HWÜ erzeugen ein niederfrequentes (NF) elektrisches bzw. magnetisches Feld
- Hinsichtlich der statistischen Assoziation zwischen magnetischen Feldern von HWÜ und kindlicher Leukämie ist die Studienlage nicht ganz eindeutig
- Elektromagnetische Hypersensitivität stellt eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber NF und HF elektromagnetische Felder (z.B. durch häusliche Stromversorgung) dar
- Die elektrischen Gleichfelder von HGÜ werden weniger als gesundheitliche Beeinträchtigung sondern eher als Belästigung empfunden. Sie lassen sich gut abschirmen
- Die zu erwartenden Flussdichten der magnetischen Gleichfelder der HGÜ liegen weit unter der Grenzwertempfehlung von 500 Mikrottesla
- Es herrscht noch Forschungsbedarf, inwiefern von magnetischen Gleichfeldern der HGÜ (k)ein zusätzliches Risiko für die Tumorentstehung ausgeht
- Die Bürger betrachten den Trassenbau oft als unmittelbaren Eingriff in ihre Lebensumwelt, obwohl die gesundheitlichen Auswirkungen beim Netzausbau gering sind
- Grenzwertüberschreitungen werden oft als Zeichen für Risiko bewertet, während Unterschreitungen nicht als Zeichen von Sicherheit interpretiert werden
- Im Zusammenhang mit der Akzeptanz von Hochspannungsleitungen werden psychologische Schutzzonen diskutiert. Ebenso sind stetige Risikokommunikation und das Einbinden der Bürger für die Akzeptanzsteigerung essentiell

Diskussion

Im Kontext der gesundheitlichen Betrachtung der Energiewende sind neben den hier diskutierten noch weitere Technologien der Energieerzeugung und -einsparung relevant. Auch die Aspekte der energetischen Gebäudesanierung, Schimmel im Innenraum, energieeffizienten Bauens, Holzheizungen, Photovoltaik, Atomüllentsorgung oder Bedingungen der Rohstoffgewinnung müssen in die Betrachtung einbezogen werden, wie die Energiewende aus gesundheitlicher und sozialmedizinischer Sicht für alle verträglich umgesetzt werden kann.

Gesundheitsfolgenabschätzung. Im Rahmen der Energiewende ist der Blick auf potenzielle Gesundheitsgewinne und –risiken oft zu unsystematisch bzw. verzögert erfolgt. Eine frühzeitige systematische Analyse ist Voraussetzung, um mögliche Risiken zu minimieren, Gesundheitsgewinne zu maximieren und vulnerable Gruppen besser schützen zu können. Dies könnte im Rahmen einer systematischen Gesundheitsfolgenabschätzung (GFA) umgesetzt werden. GFA-Methoden sind insbesondere geeignet, um die Gesundheitsfolgen bestimmter Technologien der Energieerzeugung oder –einsparung oder aber einzelner politischer Ziele der Energiewende zu prognostizieren. Sie kann wichtige Erfahrungswerte für eine systematische Gegenüberstellung energiepolitischer Alternativen aus gesundheitlicher Sicht liefern und unter günstigen Voraussetzungen quantitative Aussagen der gesundheitlichen Auswirkungen und deren Verteilung in der Bevölkerung generieren. Die für eine regelmäßige Durchführung von GFA erforderlichen regulatorischen Rahmenbedingungen sind bisher noch unzureichend konkretisiert. Ebenso ist eine verstärkte Ausbildung von Fachkräften im Bereich GFA erforderlich. Eine sorgsam geplante und durchgeführte GFA bietet Anknüpfungspunkte für eine Beteiligung der betroffenen Bürger, die wesentlich für die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende ist.

Gesellschaftliche Wirkung der Energiewende. Die gesellschaftlichen Wirkungen der Energiewende sind ein zentrales Element für deren Erfolg oder Misserfolg. Der Umbau der Energieversorgung benötigt eine breite und nachhaltige Unterstützung der Bevölkerung. Aktuelle Umfragen zeigen grundsätzlich eine hohe Zustimmung zur Energiewende mit Zustimmungswerten zwischen 56 und 92 Prozent.⁴⁵ Auch wenn eine deutliche Mehrheit Ziele der Energiewende befürwortet, stoßen einzelne Infrastrukturmaßnahmen (z.B. Ausbau der Übertragungs- und Verteilernetze)

mancherorts auf Kritik. Man unterscheidet die Personengruppen, die aus individueller, negativ empfundener Betroffenheit heraus ablehnend reagieren, weil sie persönliche Nachteile erwarten, von jenen Personen, die generelle Vorbehalte gegenüber der Energiewende haben, ohne direkt und unmittelbar Nachteilen ausgesetzt zu sein. Akzeptanzförderung basiert auf den Aspekten Partizipation, Transparenz, Vertrauen in die Akteure sowie Gerechtigkeit.⁴⁶

Partizipation. Der Wunsch vieler Bürger nach mehr Beteiligung erklärt sich einerseits durch ein geringes Vertrauen in die Akteure der Energiewende, andererseits durch ein öffentlich empfundenes Transparenzdefizit eines zunehmend komplexen und schwer durchschaubaren Prozesses. Eventuell steht das Partizipationsbedürfnis auch in Verbindung mit einer gefühlten Gerechtigkeitslücke. Die stärkere Einbeziehung der Öffentlichkeit mithilfe gut durchdachter Partizipationskonzepte kann über formelle Verfahren und informelle Dialoge zu einem besseren Informationsfluss zwischen den Akteuren der Energiewende und den betroffenen Bürgern beitragen. Durch Beteiligung an den Diskussions- und Entscheidungsprozessen werden Ängste reduziert und kann sich ein zusätzlicher Nutzen für die Bevölkerung ergeben (z.B. selbstverwaltete Windparks). Die verschiedenen Formen der Bürgerbeteiligung sollten bei der weiteren Gestaltung der Energiewende stärker berücksichtigt werden.

Risikokommunikation. Das vorrangige Ziel von Risikokommunikation ist die Herstellung eines Vertrauensverhältnisses zwischen staatlichen Stellen und dem Bürger. Risikokommunikation bedeutet nicht nur Informationsaustausch, sondern vielmehr Dialog oder im besten Falle Diskurs zwischen Behördenvertretern und Bürgern.⁴⁷

Chancen und Risiken der Energiewende müssen ebenso wie Unsicherheiten und Wissenslücken bei der gesundheitlichen Bewertung energiepolitischer Maßnahmen objektiv und verantwortungsvoll in der Öffentlichkeit dargestellt werden. Langfristig wird so die Risikokompetenz der betroffenen Bürger gestärkt. An dieser Stelle erfährt der Mediziner als Ansprechpartner für befürchtete Gesundheitsrisiken oder gesundheitliche Beschwerden, die einer bestimmten Technologie der Energieerzeugung zugeschrieben werden, wesentliche Bedeutung. Voraussetzung für einen angemessenen und erfolgreichen Dialog mit Betroffenen ist es, das eigene Selbstverständnis als Experte kritisch zu reflektieren.

Abkürzungsverzeichnis

BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
DALY	Verlorene Lebensjahre
EHS	elektromagnetische Hypersensitivität
EMF	elektromagnetischer Felder
GFA	Gesundheitsfolgenabschätzung
HCl	Chlorwasserstoff
HF	Fluorwasserstoff ODER hochfrequent
Hg	Quecksilber
HGÜ	Hochspannungsleitungen mit Gleichstromübertragung
HWÜ	Hochspannungsleitungen mit Wechselstromübertragung
NF	niederfrequent
NO _x	Stickoxide
PAHs	Kohlenwasserstoffe
PM	Feinstaub
SIA	Sekundäre anorganische Aerosole
SO ₂	Schwefeldioxide
SUP	Strategische Umweltprüfung
TA Lärm	Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm
UBA	Umweltbundesamt
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VOCs	flüchtige organische Verbindungen
WEA	Windenergieanlagen
WHO	Weltgesundheitsorganisation

Literaturverzeichnis

- ¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2012): DERA Rohstoffinformationen. Energiestudie 2012. http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-15.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen 12.11.2014)
- ² Sachverständigenrat für Umweltfragen (2013): Fracking zur Schiefergasgewinnung. Ein Beitrag zur energie- und umweltpolitischen Bewertung. http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2012_2016/2013_05_AS_18_Fracking.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 8.11.2014)
- ³ Meiners et al. (2012): Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten – Risikobewertung, Handlungsempfehlungen und Evaluierung bestehender rechtlicher Regelungen und Verwaltungsstrukturen <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4346-0.pdf> (abgerufen am 10.11.2014)
- ⁴ Dannwolf et al. (2014): Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas insbesondere aus Schiefergaslagerstätten. Teil 2: Grundwassermonitoringkonzept, Frackingchemikalienkataster, Entsorgung von Flowback, Forschungsstand zur Emissions- und Klimabilanz, induzierte Seismizität, Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_53_2014_umweltauswirkungen_von_fracking_28.07.2014_0.pdf (abgerufen am 10.11.2014)
- ⁵ Neben den beiden UBA – Gutachten gibt es u.a. noch eine Potenzialstudie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), eine Risikostudie des Landes Nordrhein – Westfalen und eine Stellungnahme des Sachverständigenrates für Umweltfragen.
- ⁶ Das typische Gebiet zu Erschließung nimmt 10 x 20 km (200 km²) ein.
- ⁷ Europäische Umweltagentur (2011): Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe. <http://www.eea.europa.eu/publications/cost-of-air-pollution> (abgerufen am 16.11. 2014)
- ⁸ Belis et al. (2013): Critical review and metaanalysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. In: Atmospheric Environment 69:94–108.
- ⁹ World Health Organisation (2013): Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project. Technical Report.
- ¹⁰ World Health Organisation (2013): Health risk of air pollution in Europe – HRAPIE project. New emerging risks to health from air pollution – results from the survey of experts.

-
- ¹¹ Bezirksregierung Köln (2014): Neueste Messungen bestätigen Legionellenbefunde: Bezirksregierung Köln fordert RWE auf das Kühlwasser zu desinfizieren.
http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/presse/2014/096/index.html
- ¹² Bezirksregierung Köln (2014): Bezirksregierung stimmt RWE-Konzept zur Legionellenbekämpfung zu. Regelmäßige vorbeugende Desinfektionsmaßnahmen sollen erneuten Anstieg verhindern http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/presse/2014/103/index.html
- ¹³ HEAL (2013): Was Kohlestrom wirklich kostet. Gesundheitsfolgen und externe Kosten durch Schadstoffemissionen.
- ¹⁴ Umweltbundesamt (2013): Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten. Anhang B: Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung.
- ¹⁵ Eikmann (2012): Die Wirkung von Feinstäuben auf die menschliche Gesundheit – Einflüsse des Straßenverkehrs – Emissionsmindernde Maßnahmen. In: Hessisches Ärzteblatt 7/ 2012: S.453–468.
http://www.laekh.de/upload/Hess_Aerzteblatt/2012/2012_07/2012_07_08.pdf
(abgerufen am 18.11.2014)
- ¹⁶ Raaschou-Nielsen et al. (2013): Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). In: Lancet Oncol. 2013; 14(9):813-22.
- ¹⁷ Umweltbundesamt (2014): Feinstaub und Stickstoffdioxid belasten auch 2013 weiter die Gesundheit.
<http://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/feinstaub-stickstoffdioxid-belasten-auch-2013> (abgerufen am 19.11.2014)
- ¹⁸ Hoffmann B., S. Moebus, S. Möhlenkamp, A. Stang, N. Lehmann, N. Dragano, A. Schmermund, M. Memmesheimer, K. Mann, R. Erbel, K.H. Jöckel, H. Nixdorf: 2007. Recall Study Investigative Group: Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis. Circulation, 31:489-496.
- ¹⁹ Bruckmann P (2013): Das Europäische Jahr der Luft 2013 – eine Standortbestimmung in NRW.
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/sonderreihen/bruckmann/Fachkolloquium.pdf> (abgerufen am 20.11.2014)
- ²⁰ OECD (2014): The Costs of Air Pollution. Health Impacts of Road Transport.
- ²¹ LfU (2013): Bayerisches Landesamt für Umwelt. Windenergie in Bayern. Reihe UmweltWissen. Augsburg
http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_118_windenergie_in_bayern.pdf
(abgerufen am 23.10.2014)
- ²² Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2013): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschg/gesamt.pdf>
(abgerufen am 30.10.2014)

-
- ²³ Bundeskabinett (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/industrie/pdfs/talaerm.pdf> (abgerufen am 30.10.2014)
- ²⁴ Pederson, E; Berg, F; Bakker, R; Bouma, J (2009): Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. In: *J Acoust Soc Am* 126(2):634–43.
- ²⁵ World Health Organisation (2009): Night noise guidelines for Europe.
- ²⁶ Moller H, Pedersen CS (2004): Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise & Health* 2004; 6:37–57.
- ²⁷ Leventhall (2007): What is infrasound? In: *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 93:130–137.
- ²⁸ Twardella (2013): Bedeutung des Ausbaus der Windenergie für die menschliche Gesundheit. UMID 3.
- ²⁹ Health Protection Agency (2010): Health effects of exposure to ultrasound and infrasound. Report of the Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. RCE-14. Documents of the Health Protection Agency. Radiation, Chemical and Environmental Hazards. February 2010.
- ³⁰ Ising H, Schwarze C (1982): Infraschallwirkungen auf den Menschen. In: *Z Lärmbekämpfung* 29:79–82.
- ³¹ Landström U, Bytström M (1984): Infrasonic threshold levels of physiological effects. In: *J Low Freq Noise Vibr* 3(4):167-73.
- ³² Moller H (1984): Physiologic and psychological effects of infrasound on humans. In: *J Low Freq Noise Vibr* 3(1):1-17.
- ³³ Evans, Cooper, Lenchine (2013): Infrasound levels near windfarms and in other environments. Environment Protection Agency South Australia.
- ³⁴ Crichton, F; Chapman, S; Cundy, T; Petrie, JK (2014): The Link between Health Complaints and Wind Turbines: Support for the Nocebo Expectations Hypothesis. In: *Front. Public Health* 2014;2:220.
- ³⁵ Schütz, J; Michaelis, J. (2000): Abschlussbericht der EMF II-Studie. Epidemiologische Studie zur Assoziation von Leukämieerkrankungen bei Kindern und häuslicher Magnetfeldexposition. (abgerufen am 28.11.2014)
- ³⁶ Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J (2005): Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. In: *BMJ*; 330 (7503):1290.
- ³⁷ Pederson C, Raaschou-Nielsen O, Rod NH, Frei P, Poulsen AH, Johansen C, Schüz J (2014): Distance from residence to power line and risk of childhood leukemia: a population-based case-control study in Denmark. In: *Cancer Causes Control*; 25 (2): 171 -77.

³⁸ EMF-Portal. <http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=12154&l=g>. Abgerufen am 17.09.2012.

³⁹ Leitgeb N, Schröttner J. Electrosensitivity and electromagnetic hypersensitivity. *Bioelectromagnetics* 2003; 24: 387-94.

⁴⁰ Weltgesundheitsorganisation (WHO). Elektromagnetische Hypersensitivität (Elektrosensibilität). Fact sheet 296. 2005.

⁴¹ Frick U, Hauser S, Landgrebe M, Eichhammer P. Endbericht zum Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms. Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter. Regensburg 2006.

⁴² Frick U, Rosner R, Hagl M, Landgrebe M. „Elektrosensibilität“ aus psychologischer Sicht. *Verhaltenstherapie und Verhaltensmedizin* 2011, 32(3), 219 – 243.

⁴³ Wiedemann, P; Claus, F (2013): Mehr Akzeptanz durch striktere Grenzwerte? In: *EW Magazin für Energiewirtschaft* 2013; 12:50 – 53.

⁴⁴ Wiedemann, P; Claus, F (2013): Die Rolle von Grenz- und Vorsorgewerten in der Diskussion um die Akzeptanz von Stromtrassen. Dortmund/ Berlin 2013.

⁴⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): Die Energie der Zukunft. Erster Bericht zur Energiewende. Berlin 2014.

⁴⁶ Löschel, A et al. (2014): Stellungnahme zum ersten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2013. Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Berlin, Münster, Stuttgart 2013.

⁴⁷ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2012): Behördliche Risikokommunikation. In: *Bevölkerungsschutz* 2012; 2: 2 – 6.