

Umweltauswirkungen der Kabelanbindung von Offshore- Windenergieparks an das Verbundstromnetz

Effekte betriebsbedingter elektrischer und magnetischer
Felder sowie thermischer Energieeinträge in den
Meeresgrund

Blanka Pophof

Dirk Geschwentner



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SG-18/13

Dieser neue Bericht ergänzt das Grundsatzpapier aus 2005 (urn:nbn:de:0221-201102045013)

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2013022510313

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, Februar 2013

Umweltauswirkungen der Kabelanbindung von Offshore- Windenergieparks an das Verbundstromnetz

**Effekte betriebsbedingter elektrischer und magnetischer
Felder sowie thermischer Energieeinträge in den
Meeresgrund**

Blanka Pophof

Dirk Geschwentner

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| EINLEITUNG | 4 |
| TECHNISCHE ASPEKTE | 4 |
| Hochspannungs-Drehstromübertragungssysteme..... | 5 |
| Hochspannungs-Gleichstromübertragungssysteme | 5 |
| Kabellsysteme | 6 |
| Monopolare Kabellsysteme | 6 |
| Multipolare Kabellsysteme | 6 |
| Koaxiale Kabellsysteme | 6 |
| BIOLOGISCHE ASPEKTE | 6 |
| Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf Organismen | 6 |
| Thermische Auswirkungen im Sediment..... | 10 |
| Zusammenfassung | 12 |
| HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN | 12 |
| LITERATUR | 14 |

Einleitung

Ende November 2012 wurden 63 Anträge für die Errichtung von Offshore-Windenergieparks in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Bundesrepublik Deutschland bearbeitet (Deutsche Energie-Agentur (dena), Stand 21. 11.12). Die Anträge betrafen 54 Projekte in der Nordsee und 9 Projekte in der Ostsee. Für die Genehmigung von Anlagen in der AWZ ist das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) zuständig. Die Genehmigung von küstennahen Anlagen innerhalb der 12 Seemeilen-Zone obliegt den jeweiligen Bundesländern. Nach Angaben der dena sind bereits 29 Windenergieparks auf hoher See (23 in der Nordsee, 4 in der Ostsee) genehmigt. Drei Anlagen sind in Betrieb: In der Nordsee ging als erster deutscher Windenergiepark Alpha Ventus (ehemals Borkum West) im April 2010 ans Netz, gefolgt von BARD Offshore 1 im Dezember 2010. Beide Windenergieparks sind über die Insel Norderey an das Festnetz angeschlossen, wobei für Alpha Ventus Drehstrom und für BARD Offshore 1 Gleichstrom verwendet wird. Der erste Windenergiepark in der Ostsee ist der im Mai 2011 in Betrieb genommene Baltic 1. Die Netzanbindung erfolgt in der Nähe von Rostock über Drehstromkabel.

Das (Leit-)Szenario B des Netzentwicklungsplans Strom 2012 geht für das Jahr 2022 von einer installierten Windkraftleistung von 13 Gigawatt (GW) aus, die bis 2032 auf 28 GW anwachsen kann. Offshore-Windenergieparks wie zum Beispiel der im Bau befindliche Global Tech I mit 80 einzelnen 5 Megawatt (MW) Anlagen können dazu 400 MW und mehr beitragen. Neben den Verbindungen der einzelnen Windkraftanlagen untereinander sind mehrere Kabeltrassen für die Anbindung der Parks an das Festland bereits realisiert und weitere geplant. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, neben den Umweltauswirkungen, die von Errichtung, Betrieb und ggf. Rückbau der stromerzeugenden Anlagen selbst ausgehen, auch die Kabelanbindung an das Verbundnetz auf dem Festland zu betrachten. Hierfür kommen spezielle Seekabel zum Einsatz, die die Energie von der Offshore-Anlage zum Einspeisepunkt auf dem Festland transportieren.

Entsprechend dem Offshore-Netzentwicklungsplan vom August 2012 ist das BSH für eine strategische Umweltprüfung der Offshore-Windkraftanlagen zuständig. Die vorliegende Stellungnahme befasst sich ausschließlich mit den von Seekabeln während des Betriebs emittierten elektrischen und magnetischen Feldern sowie den nach dem derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik damit verbundenen möglichen Auswirkungen auf Meereslebewesen und auf die allgemeine Bevölkerung. Aufgrund der Bedeutung thermischer Effekte wurden diese ebenfalls betrachtet.

Technische Aspekte

Für die Anbindung der Offshore-Windenergieparks an das elektrische Verbundnetz auf dem Festland kommen verschiedene Übertragungstechniken und Kabelsysteme in Frage. Grundlegende physikalisch-technische Aspekte sind bei der Auswahl einer bestimmten Ausführungsvariante zu beachten:

- Je höher die Betriebsspannung eines elektrischen Übertragungssystems bei gleicher übertragener Leistung ist, desto kleiner sind die fließenden Ströme und desto geringer sind die Wärmeverluste.

- Die Spannung eines elektrischen Übertragungssystems kann aber nicht beliebig erhöht werden, da zum Beispiel die Spannungsfestigkeit des Isolationsmaterials der zur Verfügung stehenden Kabeltypen begrenzt ist.
- Die Kabelverluste nehmen mit der Länge des Kabels zu und mit dem Durchmesser der Leiter ab. Sie hängen außerdem von der Leitfähigkeit des verwendeten Kabelmaterials ab.
- Bei Wechselstromübertragungssystemen sind zusätzliche Verluste zu berücksichtigen, unter anderem durch induzierte Wirbelströme zum Beispiel in der Armierung (mechanische Verstärkung der Kabel), durch den Skin-Effekt (Verringerung des tatsächlich genutzten Leiterquerschnitts aufgrund der Strom-Verdrängung zu den äußeren Leiterschichten in Abhängigkeit unter anderem von der Frequenz des Wechselstroms) und durch Blindleistung.

Vor allem in Abhängigkeit von der Entfernung eines Offshore-Windenergieparks zur Küste können die grundlegenden physikalisch-technischen Aspekte zu unterschiedlichen optimalen Lösungen für die Netzanbindung führen. An die interne Verkabelung eines Offshore-Windenergieparks werden andere Anforderungen gestellt als an die Netzanbindung, weil sowohl die zu überbrückenden Entfernungen als auch die zu übertragenden Leistungen unterschiedlich sind.

Hochspannungs-Drehstromübertragungssysteme (HDÜ)

Hochspannungs-Drehstromübertragungssysteme (HDÜ, engl. HVAC - High-voltage alternating current) sind dreiphasige Wechselstromsysteme, bei denen in jeweils drei Leitern im Idealfall um 120° gegeneinander phasenverschobene Ströme fließen.

Drehstromübertragungssysteme sind mit magnetischen Wechselfeldern verbunden, die ihrerseits elektrische Felder induzieren. Diese können im Isolationsmaterial der Kabel zu Polarisationsverlusten (Verluste, die durch die im Takt der Netzfrequenz erfolgende Umorientierung von polaren Molekülen in dem vom elektrischen Feld durchsetzten Isolationsmaterial entstehen) und in der Armierung zu Wirbelstromverlusten führen, was zu einer zusätzlichen Erwärmung der Kabel beiträgt. Zudem sind Blindleistungsverluste zu berücksichtigen. Drehstromübertragungssysteme werden wegen der beschriebenen Verluste bei großen Entfernungen und bei hohen Übertragungsleistungen daher unwirtschaftlich.

Hochspannungs-Gleichstromübertragungssysteme (HGÜ)

Bei Hochspannungs-Gleichstromübertragungssystemen (HGÜ, engl. HVDC: High-voltage direct current) wird die im Windenergiepark erzeugte Wechselspannung zunächst auf ein geeignetes Spannungsniveau transformiert und gleichgerichtet. Mittels Gleichstrom wird die Energie zur Küste geleitet und mit Wechselrichtern wieder in eine Wechselspannung umgewandelt. Die zusätzlichen Investitionskosten für Gleich- und Wechselrichtung sind in der Regel nur bei hohen Übertragungsleistungen bzw. bei großen Entfernungen wirtschaftlich. Demzufolge wird diese Technik vor allem für die Netzanbindung großer, küstenferner Offshore-Parks hoher Leistung eingesetzt.

Bei der Hochspannungs-Gleichstromübertragung wird zwischen klassischer HGÜ und HGÜ mit „Voltage Source Converter“ (VSC) Technik unterschieden. Die Hersteller ABB und Siemens verwenden für HGÜ mit VSC-Technik die Bezeichnungen HGÜ Light und

HGÜ-Plus. Während bei der konventionellen HGÜ Thyristoren als Stromrichter (Gleich- bzw. Wechselrichter) eingesetzt werden, kommen bei der VSC-Technik Isolierschicht-Bipolartransistoren zur Anwendung.

Kabelsysteme

Monopolare Kabelsysteme

Unter monopolaren bzw. einpoligen Kabelsystemen werden Systeme verstanden, bei denen für die Stromrückleitung das Erdreich bzw. das Meerwasser genutzt wird. Kabelsysteme dieses Typs kommen bei der Gleichstromübertragung HGÜ zum Einsatz. Für die Einleitung des Stroms in das Erdreich bzw. in das Meerwasser werden großflächige Elektroden benötigt, um die Stromdichten gering zu halten. Bei monopolaren Systemen findet keine Kompensation elektrischer oder magnetischer Felder statt, so dass hier grundsätzlich die mit Abstand höchsten Emissionen zu erwarten sind.

Multipolare Kabelsysteme

Bei multipolaren bzw. mehrpoligen Systemen sind Hin- und Rückleiter voll ausgebildet. Die Leiter können in einem gemeinsamen Kabel oder getrennt in mehreren Einzelkabeln geführt werden. Werden die Leiter zusammen in einem oder in nah beieinander verlegten Einzelkabeln geführt, ergibt sich sowohl bei Gleichstrom- als auch bei Wechselstromsystemen eine partielle Auslöschung der magnetischen Felder. Mit zunehmendem Abstand zwischen den Leitern lässt die Kompensationswirkung aber schnell nach. Multipolare Kabelsysteme sind unter Strahlenschutzaspekten den monopolaren Systemen vorzuziehen. Drehstrom-Seekabel werden heute typischerweise als Dreileiterkabel mit VPE-Isolierung (Isolierung aus vernetztem Polyethylen) mit Betriebsspannungen bis zu 245 kV gefertigt (dena 2010).

Koaxiale Kabelsysteme und Gasisolierte Leitungen

Koaxiale Kabelsysteme zeichnen sich dadurch aus, dass Hin- und Rückleiter in einem Kabel geführt werden, wobei ein Leiter den anderen, getrennt durch die Isolation, umschließt. Bei diesen Systemen sind aufgrund der Anordnung der Leiter insgesamt die geringsten Feldemissionen zu erwarten. Gasisolierte Leitungen (GIL) stellen ebenfalls eine koaxiale Anordnung dar. Sie bestehen aus einem Aluminiumleiter, der in einem Aluminiumrohr geführt wird. Zur Isolierung wird das Rohr mit einem Gas befüllt. Für die Anbindung von Offshore-Windenergieparks wurden Kombinationen aus Bohrtunnel und Absenktunnel entwickelt, in denen mehrere GIL-Systeme verlegt werden können (dena 2010).

Biologische Aspekte

Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf Organismen

Gravierende schädliche Einflüsse, wie zum Beispiel genetische Schäden, Gewebeschäden und so weiter, auf Meereslebewesen durch die magnetischen und induzierten elektrischen Felder, die von den im Meer verlegten elektrischen Leitungen ausgehen, sind nicht zu erwarten. Bestimmte Arten können aber die elektrischen Felder wahrnehmen,

was in einigen Fällen zu Veränderungen des Verhaltens führen kann (Marhold & Kullnick, 2000; Kalmijn, 2000; Öhmann et al., 2007).

Am sensitivsten reagieren Knorpelfische (Elasmobranchia), zu denen Haie und Rochen gehören. Hier liegt die Wahrnehmungsschwelle für die elektrische Feldstärke häufig um 0,1 - 0,5 Mikrovolt pro Meter ($\mu\text{V}/\text{m}$), bei einigen sehr empfindlichen Arten liegt sie sogar bei nur etwa 0,02 $\mu\text{V}/\text{m}$ (Peters et al., 2007). Es werden statische und niederfrequente Felder bis ca. 10 Hz wahrgenommen (Kalmijn, 2000). Einige Arten, die aktiv elektrische Signale erzeugen können, wie zum Beispiel Zitterrochen (*Torpedo sp.*), können auch Pulse bei höheren Frequenzen wahrnehmen (CMACS 2003). Schwächere statische Felder (10 $\mu\text{V}/\text{m}$) verursachen eine Anlockung, da sie den Feldern ähneln, die die Beute im Wasser erzeugt; starke Felder (1000 $\mu\text{V}/\text{m}$) wirken abschreckend (Gill & Taylor, 2001). Bis zu welchen Feldstärken die Wahrnehmung möglich ist ohne die Sinneszellen zu schädigen, ist nicht untersucht.

Die einzige Studie zum Verhalten von Knorpelfischen in der Nähe von Seekabeln wurde an der Schottischen Küste durch ein britisches Forscherteam durchgeführt (Gill et al., 2009). In zwei künstlichen Habitaten (Durchmesser 40 m) wurden in 1,5 – 1 m Tiefe Kabel verlegt und Bewegungsmuster von Nagelrochen (*Raja clavata*), Dornhaien (*Squalus acanthias*) und kleingefleckten Katzenhaien (*Scyliorhinus canicula*) in Abhängigkeit vom Stromfluss durch die Kabel registriert. Während der Strom (50 Hz) floss, wurden eine maximale magnetische Flussdichte von 8 Mikrottesla (μT) und eine induzierte elektrische Feldstärke von 2,2 Volt pro Meter (V/m) gemessen. Die Wahrnehmungsschwelle von 0,5 μT war in einer Entfernung von ca. 2 m von den Kabeln unterschritten. Zum Vergleich wurden Magnetfelder in der Nähe von Seekabeln in zwei Windparks in der Nähe von Liverpool gemessen (Burbo Bank und North Hoyle, 36 kV, 50 Hz, verlegt in 2,5 – 4,5 m Tiefe). In der Nähe der Kabel wurden in Abhängigkeit von der Verlegetiefe und der Stromproduktion Magnetfelder im Bereich von 0,2 – 6 μT und induzierte elektrische Felder im Bereich von 30 – 110 $\mu\text{V}/\text{m}$ gemessen; noch in einer Entfernung von 150 m betragen sie ca. 15 $\mu\text{V}/\text{m}$. Daraus ergibt sich, dass Knorpelfische diese Felder bis zu einer Entfernung von circa 300 m vom Kabel wahrnehmen können. Bewegungsmuster aller drei Arten änderten sich unter dem Einfluss elektrischer und magnetischer Felder, wobei die Reaktionen zwischen den Arten und auch zwischen Individuen der gleichen Art unterschiedlich waren. Einige Rochen hielten sich öfter in der Nähe der Kabel auf, dies passierte aber auch unter Kontrollbedingungen, wenn die Kabel keinen Strom führten. Katzenhaie hielten sich öfter in der Nähe der aktiven Kabel auf. Beide Arten bewegten sich an aktiven Kabeln langsamer. Insgesamt deutet dieses Verhalten darauf, dass die Tiere dazu tendieren in der Nähe der Kabel nach Beute zu suchen. Diese Ergebnisse zeigen, dass elektrische und magnetische Felder von Seekabeln keinen direkten negativen Einfluss auf Knorpelfische haben, aber ihr Jagdverhalten beeinflussen. Die Autoren der Studie argumentieren, dass dies sogar einen positiven Effekt haben könnte, wenn sich Knorpelfische bevorzugt in Windkraftparks aufhalten würden, wo sie vor der Fischerei geschützt sind und wo ein erhöhtes Nahrungsangebot vermutet wird. Würden die Seekabel Haie und Rochen in Bereiche ohne geeignetes Nahrungsangebot locken, hätte es dagegen negative Folgen.

Bei europäischen Flussaalen (*Anguilla anguilla*) liegt die Wahrnehmungsschwelle bei etwa 0,067 mV/m (Kullnick, 2000). Die von Starkstromkabeln (Gleichstrom) erzeugten Magnetfelder induzieren elektrische Felder, die von Aalen auf jeden Fall wahrgenom-

men werden können. Im Baltikum, südlich von Schweden, wurde beobachtet, wie die Tiere ein Starkstromkabel (BALTIC Cable, HGÜ) überquerten, wobei in 10 m Entfernung die magnetische Feldstärke dem Erdmagnetfeld entsprach. Mehr als die Hälfte der Tiere überquerte das Kabel in kürzester Zeit, bei einigen war dabei ihre Route um etwa 30 m nach Norden verlagert (Westerberg & Begout-Anras, 2000; Westerberg 2000). Auch Laboruntersuchungen zeigten, dass Aale Magnetfelder wahrnehmen und sich danach auch orientieren können, aber nur einige wenige Tiere zögerten, die Kabel im Experiment zu überqueren (Fock et al. 1999). Es wird daraus geschlossen, dass es keinen gravierenden Einfluss auf die Migration der Aale gibt, und dass die Kabel keine unüberwindbare "Barriere" darstellen (Marhold & Kullnick, 2000).

Neunaugen (Cyclostomata: *Petromyzon*, *Lampetra*) haben auf der Rezeptorebene eine Wahrnehmungsschwelle von 0,1 - 1 mV/m (Kullnick, 2000) und reagieren auf elektrische Felder durch erhöhte (im Kathodenbereich) oder verminderte (im Anodenbereich) Aktivität (Chung-Davidson et al., 2004). Mögliche Verhaltensstörungen durch die im Meer verlegten Kabel wurden nicht untersucht. Da Neunaugen zum Laichen in Flussmündungen ziehen, könnten vor allem in diesem Bereich Verhaltensstörungen auftreten (Fricke, 2000).

Nordseelachse (*Salmo salar*) bleiben bei der Migration wahrscheinlich unbeeinflusst, da sie sich überwiegend visuell und mittels Geruchssinn orientieren. Es wird vermutet, dass sie ähnlich dem nordamerikanischen Blaurückenlachs (*Oncorhynchus nerka*) Magnetfelder wahrnehmen und sich danach orientieren können. Zu dieser Frage gibt es aber widersprüchliche Aussagen und keinen wissenschaftlichen Beweis (Marhold & Kullnick, 2000; Kalmijn, 2000). Auch die amerikanische Art lässt sich durch künstliche Magnetfelder von ihrer Route nicht abbringen, solange noch andere (z.B. visuelle) Signale zur Verfügung stehen (Marhold & Kullnick, 2000).

Andere Knochenfische (Teleostei) reagieren stärker auf Wechselfelder als auf statische Felder. Für statische Felder bis 6 V/m wird keine Reaktion angegeben, Schwellenwerte liegen für verschiedene Arten bei 10 - 30 V/m (Koops, 2000). Unter den in deutschen Gewässern beheimateten Arten sollen der Hering (*Clupea harengus*) und vor allem dessen Larven besonders empfindlich und deswegen für weitere Untersuchungen geeignet sein (Fricke, 2000). Die genannten starken elektrischen Felder werden aber nur bei der Elektrofischerei in Süßwasser verwendet und treten in der Nähe von Stromkabeln im Meer nicht auf. Junge Flundern (*Plathichthys flesus*) zeigten nach mehreren Wochen unter dem Einfluss von statischen und niederfrequenten Magnetfeldern im mT Bereich keinerlei Unterschiede in der Überlebensrate gegenüber der Kontrollgruppe (Bochert & Zettler, 2004). Weder Flundern (*Plathichthys flesus*) noch Grundeln (*Pomatoschistus microps*, *P. minutus*) zeigten Verhaltensänderung beim kurzfristigen Aufenthalt in Magnetfeldern im mT Bereich (Bochert, 2009).

Während des Ausbaus und der Inbetriebnahme der Windenergieanlagen Nysted und Horns Rev wurde in Dänemark in den Jahren 1999 – 2006 ein begleitendes „Environmental Monitoring Programme“ durchgeführt. Unter anderem wurde der Einfluss von Seekabeln (132 kV, Drehstrom, 50 Hz, 1 m unter dem Meeresgrund, Wassertiefe 3 – 8 m) auf die Bewegungsmuster einiger Fischarten untersucht. Ein signifikanter Einfluss wurde für Aal, Lachs, Kabeljau und Flunder festgestellt – die Kabel sind bei der Migration dieser Arten möglicherweise ein Hindernis, bilden aber keine vollständige Barriere. Die Magnetfelder wurden nicht gemessen und es kann nicht ausgeschlossen werden,

dass andere Faktoren, z.B. baubedingte Veränderungen des Meeresgrundes, auch eine Rolle spielten. Ausschließlich bei der Flunder konnte eine signifikante Korrelation zwischen der Auslastung der Kabel und dem Verhalten gezeigt werden. Die Flundern hielten sich bei geringer Auslastung öfter in der Nähe der Kabel auf und querten sie, bei hoher Auslastung wurden die Kabeltrassen gemieden. (Danish Offshore Wind, 2006)

Es ist möglich, dass Meeressäuger wie z.B. Delfine, Wale und Robben das Erdmagnetfeld wahrnehmen, und dass die durch Seekabel emittierten Magnetfelder bzw. die im Meereswasser induzierten elektrischen Felder ihre Orientierung beeinflussen können, hierzu sind keine Forschungsergebnisse bekannt (Kullnick & Marhold 2000). Erst kürzlich wurden bei Delfinen Elektrorezeptoren entdeckt. Diese befinden sich in Gruben im Bereich der Schnauze und sind mit einem Schwellenwert von $4,6 \mu\text{V}/\text{cm}$ weniger empfindlich als bei Haien (Czech-Damal et al. 2012).

Elektrische Fische aus Südamerika (Gymnotidae) und Südafrika (Mormyridae) haben eine Wahrnehmungsschwelle, die spezies- und altersspezifisch ist und im Bereich von $0,1 - 1 \text{ mV}/\text{m}$ schwankt (Postner & Kramer, 1995). Da sie aktiv elektrische Signale produzieren, können sie auch höhere Frequenzen und kurze Pulse wahrnehmen (Kalmijn, 2000). Für Deutschland sind diese Arten ohne Bedeutung.

Über Weichtiere und Krebse ist wenig bekannt, einige Weichtiere (Mollusca) und Krebse (Crustacea) können Magnetfelder wahrnehmen und sich danach orientieren (Lohmann et al. 1995; Kullnick, 2000; Kullnick & Marhold, 2000; Wang et al. 2003, 2004). Ebenfalls gibt es Bakterien, die sich nach dem Magnetfeld ausrichten (Kalmijn, 2000). In allen drei Fällen werden wahrscheinlich mittels Magnetit direkt die Magnetfelder, nicht aber die induzierten elektrischen Felder, wahrgenommen. Der Einfluss von statischen und niederfrequenten Magnetfeldern im mT Bereich auf Überlebensrate, Fitness, Sauerstoffverbrauch und Vermehrung wurde an einigen Krebsarten (Crustacea: Isopoda, Decapoda, Brachyura) sowie Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) untersucht. Hinweise auf eine Beeinträchtigung gab es nicht (Bochert & Zettler, 2004). Bei kurzzeitiger Exposition zeigten die meisten Arten keine Verhaltensreaktion, mit Ausnahme von Miesmuscheln, die in einigen Fällen den Aufenthalt in den exponierten Bereichen bevorzugten (Bochert, 2009).

Für Schwimmer und Taucher empfehlen verschiedene Autoren aus Sicherheitsgründen unterschiedliche Maximalwerte der elektrischen Feldstärke, diese bewegen sich im Bereich von $1 - 3 \text{ V}/\text{m}$ (Quinn & Howard, 1966; Uhlmann, 1975). Derart starke Felder können nur in der Nähe von Meereselektroden auftreten, nicht aber in der Umgebung von Stromkabeln.

Einige Vogelarten orientieren sich im Flug unter anderem an Magnetfeldern (Wiltschko & Wiltschko 1995, 1999; Mouritsen & Ritz, 2005). See- und Wasservögel gehören aber nicht dazu, diese nutzen überwiegend den Geruchssinn (Newitt & Bonadonna, 2005). Außerhalb des Wassers kommen Vögel mit den von Seekabeln ausgehenden Feldern nicht in Kontakt, beim Tauchen nach Beute spielen magnetische Felder keine Rolle (Kullnick & Marhold, 2000). Am ehesten könnten Einflüsse der induzierten elektrischen Felder im ähnlichen Bereich wie bei Tauchern erwartet werden, derart starke Felder werden von Seekabeln aber nicht emittiert. Die isolierenden Eigenschaften des Gefieders und die darin enthaltene Luft würden den Einfluss elektrischer Felder weiter mindern. Ein Einfluss der von Seekabeln ausgehenden elektrischen und magnetischen Fel-

der auf tauchende Vögel kann aus den oben genannten Gründen ausgeschlossen werden.

Auswirkungen von Offshore-Windkraftanlagen auf Natur und Umwelt werden an drei Forschungsplattformen (FINO1 und 3 in der Nordsee und FINO2 in der Ostsee) erforscht. Die ökologischen Projekte BeoFINO1 und 2 werden vom Leibniz Institut für Ostseeforschung in Warnemünde durchgeführt und vom BMU finanziert. Der erste deutsche Windenergiepark Alpha Ventus wird durch ein ökologisches Forschungsprogramm begleitet, es werden allerdings Gesamtauswirkungen auf das Ökosystem und die Artenvielfalt betrachtet, die Wirkungen von Magnetfeldern und Erwärmung werden nicht untersucht (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH 2011).

Thermische Auswirkungen im Sediment

Die im Sediment am Meeresgrund verlegten Kabel verursachen nach Modellrechnungen in ihrer Umgebung eine erhebliche Temperaturerhöhung, die Leitertemperatur kann maximal 90 °C, die Manteltemperatur maximal 70 °C betragen. Die Erwärmung des Sediments unmittelbar am Kabelmantel hängt vom Kabeltyp, dessen Auslastung, der aktuellen Sedimenttemperatur sowie der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit des Sediments ab. Unter ungünstigsten Umständen muss mit einem Temperaturanstieg um bis zu 30 Kelvin (K) unmittelbar am Kabel gerechnet werden, im Durchschnitt ist ein Temperaturanstieg im Bereich von 5 – 15 K zu erwarten. Ein entsprechender Wärmegradient erstreckt sich dann über mehrere Meter (Brakelmann, 2004; Offshore Wind Technologie 2004).

Nach Vorgaben der Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer sollte für den küstennahen Bereich des Wattenmeeres der Temperaturanstieg in 30 cm Tiefe im Sediment 2 K nicht überschreiten. Es wird angenommen, dass eine stärkere Erwärmung im Frühjahr Auswirkungen auf die Vermehrung der in der Bodenzone des Meeres lebenden Tiere haben könnte. Eine Erhöhung der Bodentemperaturen könnte zudem die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Substrates verändern, was potentiell zur Veränderung von Sauerstoff-, Redox- und Nährstoffprofilen führt. Bei Einhaltung des oben genannten Vorsorgewertes von 2 K werden keine erheblichen Beeinträchtigungen erwartet, jedoch stützt sich diese Annahme offensichtlich nicht auf gesicherte Daten. Begleitende Untersuchungen während der ersten Pilotvorhaben sollen weitere Erkenntnisse bringen.

Für die ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ), die sich weiter entfernt von der Küste außerhalb der 12-Seemeilen-Zone befindet, hat das Bundesamt für Naturschutz (BfN) einen maximalen Temperaturanstieg von 2 K in 20 cm Sedimenttiefe festgelegt und als Entscheidungskriterium für das Genehmigungsverfahren dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie empfohlen. Begründet wurde diese Empfehlung mit der möglichen Beeinflussung besonders derjenigen sehr empfindlichen, Arten, die kältere Gewässer bevorzugen und keine starken Temperaturschwankungen vertragen, sowie mit der Möglichkeit, dass sich neue, wärmeliebende Arten, die für dieses Ökosystem fremd sind, hier ansiedeln könnten. Ansonsten können die gleichen Bedenken gelten, die im vorherigen Absatz genannt wurden. Ein Monitoring der Bodenfauna nach der Verlegung der Kabel wird für notwendig gehalten.

Um die oben genannten Anforderungen zu erfüllen, werden die Kabel in einer Tiefe von 1 - 3 m verlegt. Dadurch wird das Sediment laut Modellrechnungen nicht an der Oberfläche, sondern vor allem in der Tiefe erwärmt. In 3 m Tiefe hat das Sediment das ganze Jahr über eine Normaltemperatur von 9 - 10 °C. In unmittelbarer Nähe des Kabels steigen die Temperaturen durchschnittlich auf etwa 15 - 25 °C. An der Oberfläche schwankt die Temperatur im Jahresverlauf von etwa 5 °C im Winter bis etwa 18 °C im Sommer, wobei die Erwärmung durch ein in 3 m Tiefe verlegtes Kabel an der Oberfläche des Sediments minimal ist (BioConsult, 2003; Offshore Wind Technologie 2004; Brakelmann, 2004). Daraus ergibt sich, dass unmittelbar am Kabelmantel das ganze Jahr Temperaturen herrschen, die normalerweise nur im Sommer an der Oberfläche des Sediments vorkommen.

Im Rahmen des durch das BMU geförderten Forschungsvorhabens "Einsatz von Biomarkern für die Erfassung möglicher Wirkungen von elektromagnetischen Feldern und Temperaturen auf marine Organismen unter Laborbedingungen" haben Wissenschaftler des Institut für Angewandte Ökologie die durch Kabel verursachte Erwärmung des Sediments im Dänischen Windkraftpark Nysted in der Ostsee bestimmt (Meißner et al. 2007). Es wurden Messungen an 33 kV und 132 kV Drehstromkabeln, die in einer Tiefe von 60 – 80 cm verlegt waren, durchgeführt. Die Erwärmung war am 132 kV Kabel stärker als am 33 kV Kabel. Die maximale Temperaturerhöhung gegenüber einem Referenzpunkt ohne Kabel erfolgte in Kabelnähe – ca. 25 cm vom Kabel entfernt, in einer Tiefe von circa 50 cm waren es maximal 2, 5 K. Die Temperaturerhöhung an der Oberfläche des Sediments war minimal. Weiterhin war die Temperatur am Referenzpunkt relativ stabil, in der Nähe der Kabel schwankte sie in Abhängigkeit von der Leistung des Parks. Diese Ergebnisse bestätigen, dass die Modellrechnungen konservativ sind und die Vorgaben eingehalten werden. In Windparks mit einer höheren Leistung werden höhere Temperaturen erwartet, dementsprechend müssen die Kabel tiefer verlegt werden.

Die meisten am Meeresgrund lebenden Organismen besiedeln nur die oberflächennahen Schichten des Sediments von einigen wenigen cm. Die größeren in der Bodenzone lebenden Tiere (über 1 mm) beschränken sich größtenteils auf die oberen 20 - 35 cm. In Schichten von bis zu 20 mm Tiefe sind im Wattenmeer auf sandigem Grund unter anderem Sulfat-reduzierende Bakterien aktiv, mit zunehmender Tiefe sinkt ihre Aktivität schnell (Bottcher et al. 2004).

Andere Bakterienarten besiedeln auch tiefere anaerobe Schichten, z.B. wurden Methanbakterien in ca. 40 cm Tiefe bei Alaska (Chong et al., 2004) bzw. in 1,7 m Tiefe bei Dänemark (Shlimon et al. 2004) gefunden. Der Metabolismus aller im Sediment befindlichen Organismen ist temperaturabhängig. Für Bakterien ist dies vor allem bei tieferen Temperaturen beschrieben (Price & Sowers, 2004). Das bereits erwähnte *Methanobacterium* aus Alaska zeigte unter Laborbedingungen maximale Wachstumsraten bei 25 °C (Chong et al., 2004). Am Sediment von Skagerrak wurde die Temperaturabhängigkeit der anaeroben Oxidation von Ammoniak untersucht, diese hatte ein Optimum bei 15 °C. Die Denitrifikation wies ein breites Optimum von 15 – 32 °C auf (Dalsgaard & Thamdrup, 2002). Die oben geschilderte Temperaturerhöhung in der Nähe eines Kabels würde die Aktivität dieser Arten steigern. Dies kann zu einem verstärkten Abbau organischen Materials führen.

Zum tatsächlichen Einfluss einer Sedimenterwärmung auf Lebewesen liegen nur erste vorläufige Laborergebnisse vor, die im Rahmen von zwei Diplomarbeiten an der Univer-

sität Rostock erzielt wurden (Sodryl & Messner, 2006). Eine Erwärmung um 2 – 3 K führte bei Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) zur Produktion von Stressproteinen und zu oxidativem Stress. Im Verhalten reagierte der Schlickkreb (*Corophium volutator*) auf die Erwärmung nicht, der Meereswurm *Marenzelleria neglecta* mied die erwärmten Bereiche. Eine Sedimenterwärmung um 0,5 K führte bereits zu einer erhöhten bakteriellen Aktivität. Der Ammoniakgehalt stieg an, die Sulfidkonzentration sank, der Sauerstoffgehalt blieb unverändert.

Wie sich eine Temperaturerhöhung auf den Metabolismus der unterschiedlichen im Sediment befindlichen Bakterien und die Produktion diverser metabolischer Produkte auswirkt, muss quantitativ, in Bezug zu den erreichten Temperaturen und den erwärmten Volumina, bestimmt werden. Dies ist aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes nicht möglich. Mit der Meeresmikrobiologie im Zusammenhang mit Methan- und CO₂-Kreislauf, Klimaerwärmung und der damit zusammenhängenden Meeresgrunderwärmung befasst sich das Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie (<http://www.mpi-bremen.de>). Die biogeochemischen Prozesse im flachen Sediment im Gezeitenbereich werden an der Universität Oldenburg untersucht. (Forschergruppe Watt). Das Institut für Ökologie der Universität Greifswald beschäftigt sich auf der Insel Hiddensee mit Untersuchungen zum Stoffhaushalt und zu Mikroorganismen im Sediment im Küstenbereich der Ostsee.

In einigen Gutachten (z.B. BioConsult 2003) wurde die Möglichkeit einer Vermehrung von *Clostridium botulinum* in den erwärmten anaeroben Schichten in Kabelnähe betrachtet. Dieses anaerobe Bakterium produziert ein starkes Neurotoxin (Botulotoxin) das bei Wirbeltieren in geringsten Mengen zu Lähmungserscheinungen und zum Tod führt und über die Nahrungskette zur Vergiftung von Vögeln führen kann. Die erwärmten Sedimentvolumina sind zwar im Vergleich zur gesamten Sedimentmasse gering, diese Problematik muss aber auch in Zukunft weiter verfolgt werden.

Aus Regionen mit vulkanischer Aktivität und heißen Quellen ist bekannt, dass viele Mikroorganismen sehr hohe Temperaturen ertragen können (z.B. Sievert et al., 2002). Ob sich diese unter Umständen in den erwärmten Sedimenten in der Nähe der Kabel ansiedeln könnten und welche ökologischen Konsequenzen dies hätte, ist unklar.

Zusammenfassung

Der geschilderte, vielfach allerdings noch lückenhafte wissenschaftliche Kenntnisstand lässt den Schluss zu, dass direkte gesundheitliche bzw. physiologisch schädliche Effekte der im Meer verlegten elektrischen Leitungen auf Meereslebewesen aufgrund der magnetischen und induzierten elektrischen Felder nicht zu erwarten sind. Einige Arten können aber elektrische Felder wahrnehmen oder sich nach magnetischen Feldern orientieren. Bei diesen sind Verhaltensänderungen möglich. Ebenfalls können thermische Einflüsse zu Veränderungen im Sediment führen, deren Bedeutung zur Zeit nur teilweise eingeschätzt werden kann.

Handlungsempfehlungen

Die hier genannten Empfehlungen ergeben sich aus dem aktuellen, in vielerlei Hinsicht allerdings unzureichenden, wissenschaftlichen Kenntnisstand. Aus Vorsorgegründen

sollten deswegen die von den Kabeln emittierten magnetischen und induzierten elektrischen Felder so niedrig wie technisch möglich gehalten werden. Monopolare Gleichstromsysteme, bei denen das Meer den Rückleiter ersetzt, sind nicht empfehlenswert, da vermeidbar hohe Felder emittiert werden. Bei bipolarer Übertragungstechnik sollten auch bipolare Kabeltypen eingesetzt werden. Die räumlich getrennte Verlegung von zwei einzelnen monopolaren Kabeln ist weniger geeignet, da die Kompensationswirkung mit zunehmendem Abstand zwischen den Leitern schnell abnimmt. Aus strahlenschutztechnischer Sicht sind koaxiale Kabeltypen – soweit verfügbar – am besten geeignet. Entsprechend ist auch die Verwendung von Dreileiterkabeln für die Drehstromübertragung dem Einsatz dreier getrennter Einleiterkabel vorzuziehen. Die Verlegung der Kabel in einer genügenden Tiefe ist in jedem Fall zu empfehlen. Das Sediment hat aber keine abschirmende Wirkung - lediglich der größere Abstand zum Meeresgrund führt zu einer Reduzierung der elektrischen und magnetischen Felder. Eine ausreichende Verlegetiefe von 1 – 3 m führt zudem wirkungsvoll zu einer Begrenzung der möglichen Temperaturerhöhung der Sedimentoberfläche und des Meerwassers. Sofern aufgrund der thermischen Belastung single-core Kabel eingesetzt werden müssen, sollte die fehlende Kompensationswirkung durch eine tiefere Einbringung in den Untergrund ausgeglichen werden.

Empfohlen wird, für Gleichstromkabel den Betrag der magnetischen Flussdichte an der Sedimentoberfläche unter dem des Erdmagnetfeldes ($45 \mu\text{T}$) zu halten. Dies würde dazu führen, dass der resultierende Magnetfeldvektor in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Kabels zum Erdmagnetfeld in Betrag und Richtung vergleichsweise geringfügig beeinflusst wird. Eine vollständige Richtungsumkehr bezogen auf das ungestörte Erdmagnetfeld wäre dann ausgeschlossen. Dies ist für Arten, die sich nach der Richtung des Erdmagnetfeldes orientieren, vorteilhaft. Wird der oben genannte Wert eingehalten, kann das Erdmagnetfeld lokal im Höchstfall aufgehoben oder verdoppelt werden, daraus ergibt sich auch für die induzierten elektrischen Felder ein Anstieg maximal um den Faktor zwei. Es ist anzunehmen, dass auch die empfindlichen Sinneszellen der Knorpelfische bei dieser Variabilität unbeschädigt bleiben.

Über den Einfluss von Wechselfeldern kann aufgrund der unzureichenden Datenlage kein Schätzwert angegeben werden, dessen Einhaltung empfohlen werden kann. Die meisten Tierarten reagieren eher auf statische Felder als auf Wechselfelder. Deswegen wird angenommen, dass die elektrischen und magnetischen Felder der Drehstromkabel, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen, keinen Einfluss auf Lebewesen haben.

Die Temperaturerhöhung soll im Wattenmeer laut Vorgabe der Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 2 K in 30 cm Tiefe im Sediment nicht überschreiten, in der AWZ sollen entsprechend der Empfehlung des Bundesamtes für Naturschutz 2 K in 20 cm Tiefe nicht überschritten werden. Festlegungen, ab welcher Temperaturerhöhung im Sediment Folgen für die marine Umwelt zu erwarten sind, sind auf Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes nicht möglich.

Eine Bündelung der Kabel in Trassen, wie sie zum Beispiel auf Norderney bereits erfolgt ist, ist empfehlenswert. Es sollten auf jeden Fall noch genügend Flächen frei bleiben, in denen auch Tiere, deren Verhalten durch elektrische oder magnetische Felder beeinflusst wird, ungestört bleiben. Eine weitere begleitende Forschung ist notwendig.

Literatur

- BioConsult (2003) Netzanbindung der Offshore-Windparks "Amrumbank-West" und "Nordsee-Ost". Unselbstständige Ergänzungsstudie zum botulismusrisiko für den Sommerlichen Lastfall.
- Bochert R, Zettler ML (2004) Long-term exposure of several marine benthic animals to static magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 25: 498 - 502 R
- Bochert R (2009) BEOFINO Arbeitspunkt 3: Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf marine Organismen, Endbericht, http://www.io-warnemuende.de/tl_files/bio/ag-benthische-organismen/pdf/BeoFINO1-AP3-Endbericht-IOW.pdf
- Bottcher M, Hespeneide B, Brumsack HJ, Bosselmann K. (2004) Stable isotope biogeochemistry of the sulfur cycle in modern marine sediments: I. Seasonal dynamics in a temperate intertidal sandy surface sediment. *Isotopes Environ Health Stud.* 40(4): 67-83.
- Brakelmann H (2004) Kabelverbindungen der Offshore-Windfarmen Butendiek und Dan Tysk zum Festland. Gutachten.
- BSH (2011) Ökologische Begleitforschung bei *alpha ventus* – erste Ergebnisse. Beiträge der Veranstaltung vom 10. Mai 2010, Katholische Akademie Hamburg. Hrsg. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
- CMACS (2003) A baseline assessment of electromagnetic fields generated by offshore windfarm cables. COWRIE Report EMF - 01-2002 66
- Czech-Damal NU, Liebschner A, Miersch L, Klauer G, Hanke FD, Marshall C, Dehnhardt G, Hanke W (2012) Electroreception in the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*). *Proc. Biol. Sci.* 279(1729): 663 - 668
- Chong SC, Liu Y, Cummins M, Valentine DL, Boone DR. (2002) *Methanogenium marinum* sp. nov., a H₂-using methanogen from Skan Bay, Alaska, and kinetics of H₂ utilization. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 81(1-4): 263 - 270.
- Chung-Davidson YW, Yun SS, Teeter J, Li W (2004) Brain pathways and behavioral responses to weak electric fields in parasitic sea lampreys (*Petromyzon marinus*). *Behav. Neurosci.* 118(3): 611-609
- Dalsgaard T, Thamdrup B. (2002) Factors controlling anaerobic ammonium oxidation with nitrite in marine sediments. *Appl Environ Microbiol.*, 68(8): 3802 - 3808.
- Danish Offshore Wind – Key Environmental Issues (2006) DONG Energy, Vattenfall, Danish Energy Authority, Danish Forest and Nature Agency, ISBN 87-7844-625-2
- Dena (2005) Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020, Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) erstellt durch das Konsortium Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln / DEWI / E.ON Netz / EWI / RWE Transportnetz Strom / VE Transmission

- Dena (2010) Dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025., Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse durch die Projektsteuerungsgruppe Amprion GmbH, BARD Engineering GmbH, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BM Wi), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), EnBW Transportnetze AG, E.ON Netz GmbH, EWE Netz GmbH, Siemens AG, Stiftung Offshore – Windenergie/Offshore Forum Windenergie GbR, TenneT TSO GmbH, Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN), Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer e.V. Fachverband Power Systems (VDMA Power Systems), VGB PowerTech e. V., Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), 50Hertz Transmission GmbH
- Fock H, Johansen P, Kullnick U, Marhold S, Greve W (1999) Schwimmverhalten von Jungaalen in einem experimentell geänderten geomagnetischen Feld. Forschungsinstitut Senckenberg, IMST, Univ. Duisburg, unpubl.
- Fricke R (2000) Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf Meeresfische in der Nord- und Ostsee. In: Merck T, von Nordheim H (eds) Technische Eingriffe in Marine Lebensräume, BfN-Skripten 29: 41 - 61
- Gill AB, Taylor H (2001) The potential effects of electromagnetic fields generated by cabling between offshore wind turbines upon elasmobranch fishes. CCW Science report No. 488, pp. 73
- Gill AB, Huang Y, Gloyne-Philips I, Metcalfe J, Quayle V, Spencer J, Wearmouth V (2009) COWRIE 2.0 Electromagnetic Fields (EMF) Phase 2: EMF-sensitive fish response to EM emissions from sub-sea electricity cables of the type used by the offshore renewable energy industry. COWRIE Ltd
- Kalmijn AJ (2000) Detection and biological significance of electric and magnetic fields in microorganisms and fish. In: ICNIRP: Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment, 97 - 112
- Koops FBJ (2000) Electric and magnetic fields in consequence of undersea power cables. In: ICNIRP: Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment, 189 - 210
- Kuchling H (1987) Physik, Fachbuchverlag Leipzig
- Kullnick UH (2000) Influences of electric and magnetic fields on aquatic ecosystems. In: ICNIRP: Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment, 113 - 132
- Kullnick U, Marhold S (2000) Direkte oder indirekte biologische Wirkungen durch magnetische und/oder elektrische Felder im marinen (aquatischen) Lebensraum: Überblick über den derzeitigen Erkenntnisstand. Teil I. In: Merck T, von Nordheim H (eds) Technische Eingriffe in Marine Lebensräume, BfN-Skripten 29: 4 - 18
- Lohmann KJ, Pentcheff ND, Nevitt GA, Stetten GD, Zimmer-Faust RK, Jarrard HE, Boles LC (1995) Magnetic orientation of spiny lobsters in the ocean: experiments with undersea coil systems. J. Exp. Biol. 198(Pt 10): 2041 - 2048.
- Marhold S, Kullnick U (2000) Direkte oder indirekte biologische Wirkungen durch magnetische und/oder elektrische Felder im marinen (aquatischen) Lebensraum: Über-

- blick über den derzeitigen Erkenntnisstand. Teil II: Orientierung, Navigation, Migration
In: Merck T, von Nordheim H (eds) Technische Eingriffe in Marine Lebensräume,
BfN-Skripten 29: 19 – 30
- Meißner, K., Bockhold, J. and Sordyl, H. (2007) Problem Kabelwärme? – Vorstellung der
Ergebnisse von Feldmessungen der Meeresbodentemperatur im Bereich der elektri-
schen Kabel im dänischen Offshore-Windpark Nysted Havmøllepark (Dänemark).
Meeresumwelt-Symposium 2006. Hrsg: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrogra-
phie, S. 153-161
- Mouritsen H, Ritz T (2005) Magnetoreception and its use in bird navigation. *Curr. Opin.
Neurobiol.* 15(4): 406 - 414
- Newitt GA, Bonadonna F (2005) Sensitivity to dimethyl sulfide suggests a mechanism
for olfactory navigation by seabirds. *Biol. Lett.* 1: 303 - 305
- Offshore Wind Technologie (2004) Wärmeausbreitung im Meeresboden infolge Verlust-
wärme der Netzanbindung des Windparks "Borkum West" (Windnet I)
- Öhmann M, Sigray P, Westerberg H (2007) Offshore Windmills and the Effects of Elec-
tromagnetic Fields on Fish. *Ambio* 36(8): 630 - 633
- OSPAR Commission (2004) Problems and Benefits Associated with the Development of
Offshore Wind-Farms, 13 -14
- Peters RC, Eeuwes LB, Bretschneider F (2007) On the electroreception threshold of
aquatic vertebrates with ampullary or mucous gland electroreceptor organs. *Biol Rev
Camb Philos Soc.* 82(3): 361 - 373
- Postner M, Kramer B (1995) Electrosensory thresholds in larvae of the weakly electric
fish *Pollimyrus isidori* (Mormyridae, Teleostei) during ontogeny. *J. Exp. Biol.* 198: 783
- 791
- Price PB, Sowers T (2004) Temperature dependence of metabolic rates for microbial
growth, maintenance, and survival. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 101(13): 4631 - 4636
- Quinn P, Howard PE (1996) Earth electrodes. IEE Conf. Publ. 22, HDVC Transmission,
Manchester, Paper No. 83: 419 - 421
- Schreiber Umweltplanung (2004), Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung ne-
gativer ökologischer Auswirkungen bei der Netzanbindung und -integration von Offs-
hore-Windenergieparks, Abschlussbericht des BMU Forschungsvorhabens
FKZ 327530, 44 - 50
- Shlimon AG, Friedrich MW, Niemann H, Ramsing NB, Finster K (2004) Methanobacteri-
um aarhusense sp. nov., a novel methanogen isolated from a marine sediment (Aar-
hus Bay, Denmark). *Int J Syst Evol Microbiol.*, 54(Pt 3): 759 - 763
- Sievert SM, Ziebis W, Kuever J, Sahm K. (2000) Relative abundance of Archaea and
Bacteria along a thermal gradient of a shallow-water hydrothermal vent quantified by
rRNA slot-blot hybridization. *Microbiology.* 146 (Pt 6): 1287-93.
- Sordyl H, Meißner K (2006) Problem Kabelwärme? – Fakten und Wissenslücken. Fach-
gespräch "Verlegung von Seekabeln zum Netzanschluss von Offshore Windparks in
Schutzgebieten im Meer" 20. - 21. 06. 2006, Bremen

- Uhlmann E (1975) Power transmission by direct current. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Wang JH, Cain SD, Lohmann KJ (2003) Identification of magnetically responsive neurons in the marine mollusc *Tritonia diomedea*. J. Exp. Biol.;206(Pt 2): 381-388.
- Wang JH, Cain SD, Lohmann KJ (2004) Identifiable neurons inhibited by Earth-strength magnetic stimuli in the mollusc *Tritonia diomedea*. J. Exp. Biol. 207(Pt 6): 1043-1049.
- Westerberg H & Begout-Anras ML (2000) Orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field. Advances in Fish Telemetry. Proceedings of the Third Conference on Fish Telemetry in Europe, Norwich, England, June 1999. Moore A, Russel I (eds) CEFAS Lowestoft.
- Westerberg H (2000) Effect of HVDC cables on eel orientation. In: Merck T, von Nordheim H (eds) Technische Eingriffe in marine Lebensräume, BfN-Skripten 29: 70 - 76
- Wiltschko R & Wiltschko W (1995) Magnetic orientation in animals. (Zoophysiology Vol. 33). Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- Wiltschko R & Wiltschko W (1999) The orientation system of birds - II. Homing and navigation. J. Ornithol. 140: 129 - 164

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-140/89

Bayer, A.; Braun, H.; Dehos, R.; Frasch, G.; Haubelt, R.; Hoppe-Schönhammer, J.; Kaul, A.; Löbke, A.; Werner, M.

Erfassung, Dokumentation und strahlenhygienische Bewertung vorliegender Aktivitätsmeßdaten aus der Bundesrepublik Deutschland als Folge des Reaktorunfalles im Kernkraftwerk Tschernobyl.

BfS-ISH-141/90

Stamm-Meyer, A.; Stanek, H.; Bögl, K.W.

Biologische Indikatoren zum Nachweis von Strahlenexpositionen - Thymidinkonzentration im Humanserum als "biologisches Dosismeter"?

BfS-ISH-142/90

Burkhardt, J.; Lux, D.

Characterization of Critical Population Groups with Special Consumption Habits in Bavaria.

BfS-ISH-143/90

BfS-ISH-143/90

Roedler, H. D.; Pittelkow, E.

Strahlenexposition des Patienten bei der nuklearmedizinischen Anwendung markierter monoklonaler Antikörper.

BfS-ISH-144/90

Frasch, G. A.

Fehlbildungshäufigkeiten in Bayern 1968 - 1979 / Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

BfS-ISH-145/90

Martignoni, K.

Spontane und Strahleninduzierte kongenitale Anomalien einschließlich Fehl- und Totgeburten.

BfS-ISH-146/90

Schaller, G.; Leising, Chr.; Krestel, R.; Wirth, E.

Cäsium- und Kalium-Aufnahme durch Pflanzen aus Böden.

BfS-ISH-147/90

Brachner, A.

Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern (1972 - 1986).

BfS-ISH-148/90

Winkelmann, I.; Endrulat, H.-J.; Fouasnon, S.; Gesewsky, P.; Haubelt, R.; Klopfer, P.; Köhler, H.; Kohl, R.; Kucheida, D.; Leising, C.; Müller, M.-K.; Neumann, P.; Schmidt, H.; Vogl, K.; Weimer, S.; Wildermuth, H.; Winkler, S.; Wirth, E.; Wolff, S.

Radioactivity Measurements in the Federal Republic of Germany after the Chernobyl Accident. (Unveränderter Nachdruck von ISH-116)

BfS-ISH-149/90

Hofmann, R.; Hendriks, W.; Schreiber, G. A.; Bögl, K. W.

BLood Amylase - A Biochemical Radiation Indicator?

BfS-ISH-150/91

Frasch, G.; Martignoni, K.

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. III. Das strahlenbedingte Brustkrebsrisiko.

BfS-ISH-151/91

Martignoni, K. (unter Mitarbeit von Elsasser, U.)

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. IV. Das strahlenbedingte Schilddrüsen-Krebsrisiko.

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-152/91

Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P. (Infratest Gesundheitsforschung, München); Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.
Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.
Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West). Kurzfassung.

BfS-ISH-153/91

Brachner, A.; Grosche, B.
Risikofaktoren für bösartige Neubildungen.
Neuherberg, Juni 1991

BfS-ISH-154/91

Brachner, A.; Grosche, B.
Perinatale Risikofaktoren einschließlich Fehlbildungen.
Neuherberg, Oktober 1991

BfS-ISH-155/91

Römmelt, R.; Hiersche, L.; Wirth, E.
Untersuchungen über den Transfer von Caesium 137 und Strontium 90 in ausgewählten Belastungspfaden.
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1033.
Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-156/91

Poschner, J.; Schaller, G.; Wirth, E.
Verbesserung und Neuentwicklung von radioökologischen Modellen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Beseitigung von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen.
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1104.
Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-157/92

Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P.; Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.
Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.
Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West).
- Abschlußbericht -
Neuherberg, September 1992

BfS-ISH-158/92

Lörch, Th.; Wittler, C.; Frießen, M.; Stephan, G.
Automatische Chromosomendosimetrie.
Neuherberg, Oktober 1992

BfS-ISH-159/92

Schmier, H.; König, K.; Aßmann, G.; Berg, D.
Ganzkörpermessungen an bayerischen Schulkindern. Abschlußbericht . Juli 1992.
Neuherberg, Dezember 1992

BfS-ISH-160/93

Irl, C.; Schoetzau, A.; Steinhilber, B.; Grosche, B.; Jahraus, H.; van Santen, E.
Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern 1972 bis 1990.
Neuherberg, März 1993

BfS-ISH-161/93

Dalheimer, A.; Henrichs, K. (Hrsg.)
Thorium, Probleme der Inkorporationsüberwachung. Anwendung, Messung, Interpretation.
Seminar in Kloster Scheyern/Bayern am 12. und 13. Oktober 1992, durchgeführt vom Institut für Strahlenhygiene des BfS.
Neuherberg, September 1993

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-162/93

Daten zur Umgebungs- und Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1990 bis 1992.

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz und den Leitstellen des Bundes.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-163/93

Steinmetz, M. (Hrsg.)

Arbeitsgespräch Terrestrisches solares UV-Monitoring am 2. Juni 1992 im Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-164/93

Poschner, J.; Schaller, G.

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Dezember 1993

BfS-ISH-165/94

Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.

Forschungsprogramm Strahlenschutz 1992 bis 1993. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1994

BfS-ISH-166/94

Burkart, Werner (Hrsg.)

Erste deutsche Aktivitäten zur Validierung der radiologischen Lage im Südrural.

Neuherberg, August 1994

BfS-ISH-167/94

Ralph Gödde, Annemarie Schmitt-Hannig, Michael Thieme

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1994 -

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Oktober 1994

BfS-ISH-168/94

Schoetzau, A.; van Santen, F.; Irl, C.; Grosche, B.

Angeborene Fehlbildungen und Säuglingssterblichkeit nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.

Neuherberg, Dezember 1994

BfS-ISH-169/95

Poschner, J.; Schaller, G.

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Januar 1995

BfS-ISH-170/95

Angerstein, W.; Bauer, B.; Barth, I.

Daten über die Röntgendiagnostik in der ehemaligen DDR.

Neuherberg, März 1995

BfS-ISH-171/95

Schopka, H.-J.; Steinmetz, M.

Environmental UV radiation and health effects.

Proceedings of the International Symposium, Munich-Neuherberg, Germany, May 4-6, 1993.

Neuherberg, Mai 1995

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-172/95

Kragh, P.

C-Programm LINOP zur Auswertung von Filmdosimetern durch lineare Optimierung.

Anwendungshandbuch.

Neuherberg, November 1995

BfS-ISH-173/96

Thieme, M.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1995.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1996

BfS-ISH-174/96

Irl, C.; Schoetzau, A.; van Santen, F.; Grosche, B.

Inzidenz bösartiger Neubildungen bei Kindern in Bayern nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

Neuherberg, April 1996

BfS-ISH-175/96

Dalheimer, A.; König, K.; Mundigl, S.

Überwachung der Raumluftaktivität. Verfahren, Interpretation, Qualitätssicherung.

2. Fachgespräch am 12. und 13. Oktober 1995, Schloß Hohenkammer / Bayern.

Neuherberg, Oktober 1996

BfS-ISH-176/97

Brachner, A.; Martignoni, K.

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. V. Das strahlenbedingte Knochenkrebsrisiko.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-177/97

Schaller, G.; Arens, G.; Brennecke, P.; Görtz, R.; Poschner, J.; Thieme, J.

Beseitigung radioaktiver Abfälle und Verwertung von Reststoffen und Anlagenteilen. Grundlagen, Konzepte, Ergebnisse.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-178/97

Bäumli, A.; Bauer, B.; Bernhard, J.-H.; Stieve, F.-E.; Veit, R.; Zeitberger, I. (Hrsg.)

Joint WHO / ISH Workshop on Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology. Munich-

Neuherberg, Germany, October 9-13, 1995.

Neuherberg, Februar 1997

BfS-ISH-179/97

Zusammengestellt von: *Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.; Gödde, R.*

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1996. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Februar 1997

BfS-ISH-180/97

Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Schnuer, K. (Editors)

European study of occupational radiation exposure -ISOREX -.

Proceedings of the Introductory Workshop held in Luxembourg, May 20th - 21st, 1997.

Neuherberg, November 1997

BfS-ISH-181/98

Schulz, O.; Brix, J.; Vogel, E.; Bernhardt J.H.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder als Umweltfaktoren: Epidemiologische Untersuchungen.

Neuherberg, Februar 1998

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-182/98

Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1997.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-183/98

Dahlheimer, A.; Hartmann, M.; König, K. (Hrsg.)

Körperaktivität durch natürliche Quellen.

Berücksichtigung des Beitrages der aus natürlichen Quellen aufgenommenen Radionuklide bei der Ausscheidungsanalyse.

3. Fachgespräch am 25. und 26. November 1996, Fachbereich Strahlenschutz des BfS, Berlin.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-184/99

Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Petrova, K.

Occupational Radiation Exposure in Central and Eastern European Countries

- ESOREX EAST -

Proceedings of an Introductory Workshop held in Prague, September 24th - 25th, 1998

Co-organised by: State Office for Nuclear Safety (SUJB), The Czech Republic.

Freiburg, Februar 1999

BfS-ISH-185/99

Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Donhär, W.

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1998.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, April 1999

BfS-ISH-186/99

Schaller, G.; Bleher, M.; Poschner, J.

Herleitung von Dosiskonversionsfaktoren für die Freigabe von Abfällen mit geringfügiger Radioaktivität.

Neuherberg, Mai 1999

BfS-ISH-187/99

Wirth, E.; Pohl, H.

Kolloquium

Radioökologische Strahlenschutzforschung

Ressortforschungsprogramm des BMU

3. und 4. Mai 1999

Neuherberg, August 1999

BfS-ISH-188/00

Frasch, G.; Kragh, P.; Almer, E.; Anatschkowa, E.; Karofsky, R.; Nitzgen, R.; Schmidt, H.; Spiesl, J.

1. Bericht des Strahlenschutzregisters des BfS mit Daten des Überwachungsjahrs 1998

Neuherberg, Juni 2000

Ab 1. Dezember 2000 SH

BfS-SH-1/00

Jung, Th.; Jacquet, P.; Jaussi, R.; Pantelias, G.; Streffer, Chr.

Final Report

Evolution of genetic damage in relation to cell-cycle control: A molecular analysis of mechanisms relevant for low dose effects.

Contract N° FI4PCT960043

Reporting Period: January 1997 – June 1999

Neuherberg, Dezember 2000

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-SH-02/02

Donhärl, W.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Williams, M.

Strahlenschutzforschung

- Programmreport 2000 –

Bericht über das Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Neuherberg, April 2002

BfS-SH-03/02

Jahraus H.; Grosche B.

Inzidenz kindlicher bösartiger Neubildungen (1983-1998) und Mortalität aufgrund bösartiger Neubildungen in der Gesamtbevölkerung (1979-1997) in Bayern

2. Fortschreibung des Berichts „Inzidenz und Mortalität bösartiger Neubildungen in Bayern“ von 1993

Bericht im Rahmen des „Strahlenbiologischen Umweltmonitoring Bayern“

Salzgitter, August 2002

BfS-SH-04/02

Grosche B.; Weiss W.; Jahraus H.; Jung T.

Häufigkeit kindlicher Krebserkrankungen in der Umgebung von Atomkraftwerken in Bayern

Salzgitter, August 2002

Ab 1. Februar 2003 SG

BfS-SG-01/03

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 1999 bis 2001

Auswertung des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juli 2003

BfS-SG-02/03

Noßke, D.; Dalheimer, A.; Dettmann, K.; Frasch, G.; Hartmann, M.;

Karcher, K.; König, K.; Scheler, R.; Strauch, H.

Retentions- und Ausscheidungsdaten sowie Dosiskoeffizienten für die Inkorporationsüberwachung Übergangsregelung bis zur In-Kraft-Treten der entsprechenden Richtlinie zur inneren Exposition

Salzgitter, Dezember 2003

BfS-SG-03/04

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2002

Bericht der Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Februar 2004

BfS-SG-04/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2002

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und verwaltete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums

Salzgitter, März 2004

BfS-SG-05/05

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2003

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, April 2005

BfS-SG-06/05

Stegemann, R.; Frasch, G.; Kammerer, L.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, August 2005

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-SG-07/06

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2004
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2006

BfS-SG-08/06

Hartmann, M.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse des In-vitro-Ringversuchs: Thorium- und Uran-Isotope im Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2003/2004 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS
am 22. September 2004 im Bundesamt für Strahlenschutz, Belin
Salzgitter, August 2006

BfS-SG-09/07

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2005
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2007

BfS-SG-10/08

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms • German Mobile Telecommunication
Research Programme (DMF)
Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks • Health Risk Assessment of Mobile
Communications
(Stand 15.05.2008)
Salzgitter, Juni 2008

BfS-SG-11/08

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2006
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2008

BfS-SG-12/09

urn:nbn:de:0221-2009042308
Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2007
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Mai 2009

BfS-SG-13/10

urn:nbn:de:0221-201004201491
Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2008
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Mai 2010

BfS-SG-14/11

urn:nbn:de:0221-201105105835
Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A. Spiesl, J.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2009
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Mai 2011

BfS-SG-15/11

urn:nbn:de:0221-201108016029
Frasch, G.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland 2004 – 2009
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, August 2011

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-SG-16/12

urn:nbn:de:0221-201206018415

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A. Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2010

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juni 2012

BfS-SG-17/12

urn:nbn:de:0221-2012112610240

Motzkus, K.-H.; Häusler, U.; Dollan, R.

Wissenswertes über hochradioaktive Strahlenquellen

Salzgitter, November 2012

BfS-SG-18/13

urn:nbn:de:0221-2013022510313

Pophof, B.; Geschwentner, D.

Umweltauswirkungen der Kabelanbindung von Offshore-Windenergieparks an das Verbundstromnetz

Effekte betriebsbedingter elektrischer und magnetischer Felder sowie thermischer Energieeinträge in den Meeresgrund

Salzgitter, Februar 2013

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333-0

Telefax: + 49 (0)3018 333-1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz