

Umweltfaktoren mit einbezogen wie beispielsweise Aufnahme von Aluminium, Blei und Pestiziden am Arbeitsplatz, aber auch elektromagnetische Felder und elektrische Schläge werden für das Verkümmern der motorischen Nervenzellen verantwortlich gemacht. In diese Meta-Analyse wurden Untersuchungen der letzten 20 Jahre nach bestimmten Kriterien einbezogen.

Die Berechnungen aufgrund der 17 epidemiologischen Studien ergaben ein leicht erhöhtes, aber signifikantes Risiko für ALS bei beruflich exponierten Personen in den zusammengefassten Auswertungen, in den Analysen der Tätigkeitsbereiche und der klinischen Diagnosen, jedoch nicht in den Studien, die die gesamten schädlichen Faktoren im beruflichen Umfeld betrachten (job-exposure matrix), und solchen, die auf den Todesursachen laut Totenschein beruhten. Ein signifikanter Zusammenhang wurde bei klinischen ALS-Diagnosen, nicht aber auf der Basis der Totenscheine gefunden. Von den 6 klinischen Studien hatten 4 die Berufstätigkeit im Fokus, 2 haben das gesamte berufliche Umfeld einbezogen (JEM-Analysen). Die Totenschein-Auswertungen enthielten 8 Berufstätigkeits-Analysen und 8 JEM-Auswertungen. So könnte der signifikante Zusammenhang in den klinisch diagnostizierten ALS-Fällen auf den Tätigkeitsbereichs-Studien beruhen. Die 9 Fall-Kontroll-Studien (5 bezogen auf die Bevölkerung, 4 auf Basis der Totenscheine) hatten unterschiedliche Auswahl der Kontrollen, so dass Unwägbarkeiten enthalten sind.

Epidemiologische Studien haben Schwächen, ALS hat eine lange Entwicklungszeit und lange Überlebenszeiten, deshalb können die Zeitpunkte der Feldeinwirkungen und der Sichtbarkeit der Erkrankung weit auseinander liegen, was zu unvermeidbaren Verzerrungen führt. Abweichungen in Methoden (Einschluss- bzw. Ausschluss-Kriterien für die Kontrollen), Klassifizierung der EMF-Exposition, Einbeziehung anderer Einflussfaktoren (Confounder) können die Heterogenität zwischen den Fall-Kontroll-Studien erklären. 12 Studien hatten die Berufe als Grundlage zur Bestimmung der EMF-Exposition (Kategorien „elektrische“ und „nicht-elektrische“ Berufe), aber die Definition dafür variierte unter den Studien. Die 10 JEM-Studien hatten verschiedene Endzeitpunkte.

In elektrischen Berufen kommen elektrische Schläge häufiger vor als in der normalen Bevölkerung, so dass ALS durch den Beruf möglicherweise eher dadurch entsteht als durch hohe Feldbelastung. Wenn elektrische Schläge für das erhöhte Risiko verantwortlich sind, wäre das höchste Risiko unter Elektrikern zu finden. Das ist nach den Berechnungen von Feychting, Ahlbom u. a. (2003) nicht der Fall. Elektriker sind auch den schädlichen polychlorierten Biphenylen ausgesetzt, die früher als Isolierflüssigkeit eingesetzt wurden. Zwar wurden andere Einflussfaktoren wie Alter und Geschlecht in den meisten Studien berücksichtigt, es können aber andere unbekannte oder vernachlässigte Variablen das Ergebnis beeinflussen, z. B. EMF-Exposition außerhalb des beruflichen Bereichs, die in Höhe der beruflichen Exposition liegen kann.

Die biologischen Mechanismen könnten durch elektromagnetische Felder hervorgerufene erhöhte Konzentrationen reaktiver Sauerstoff-Moleküle (ROS) in den Zellen sein. Dieser oxidative Stress verschlechtert die antioxidativen Reaktionen im Organismus. Oxidativer Stress spielt eine wichtige Rolle bei der Entstehung von ALS. Einige Studien haben ergeben, dass EMFs DNA-Strangbrüche erzeugen, worauf Nekrose und Apoptose eingeleitet werden – eine mögliche Ursache für ein erhöhtes ALS-Risiko.

Quelle: Zhou H, Chen G, Chen C, Yu Y, Xu Z (2012): Association between Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields Occupations and Amyotrophic Lateral Sclerosis: A Meta-Analysis. PLoS ONE 7 (11), e48354. doi:10.1371/journal.pone.0048354

Niederfrequenz und Gentoxische Stoffe

50-Hz-Felder verändern die Cisplatinwirkung auf Zellen

Karzinomzellen von Mäusen reagieren verschieden auf Einwirkung von 50-Hz-Feldern, von Cisplatin und eine Kombination der beiden. Die schweren DNA-Schäden, die durch Cisplatin erzeugt werden, sind geringer, wenn zusätzlich 50-Hz-Felder einwirken. Auch der oxidative Stress, untersucht an ROS, MnSOD, Cu/ZnSOD, MDA und GSH-Px, wurde durch 50 Hz verändert.

Plattenepithel-Karzinomzellen von Mäusen wurden mit Cisplatin, einem kleinen Molekül mit Platin als Zentralatom, das schon lange ein bekanntes Zytostatikum ist und das zur Krebsbekämpfung eingesetzt wird, und 50 Hz (16 Minuten, 1 mT) behandelt. Zur Untersuchung auf oxidative Zellschädigung wurden Tests zur Bestimmung von ROS, SODs, GSH-Px und MDA durchgeführt. SODs (Superoxid-Dismutasen) sind die ersten Enzyme, die bei oxidativem Stress als antioxidative Reaktion in den Zellen aktiv werden; sie bilden O_2 und H_2O_2 aus Sauerstoffradikalen, GSH-Px (Glutathion-Peroxidase) reduziert aggressives H_2O_2 zu harmlosem H_2O = Wasser) und MDA (Malondialdehyd) wird als Endprodukt einer Reaktion von freien Radikalen mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren gebildet und ist ein Maß für die Lipidperoxidation. Nebenprodukte sind Lipidhydroperoxide, die Membranen durchdringen und mit Proteinen und DNA reagieren können. Die oxidierten Fettsäuren werden mit Stoffwechselstörungen, degenerativen Erkrankungen, DNA-Strangbrüchen und Tumorerkrankungen in Verbindung gebracht. Unter normalen Stoffwechselbedingungen werden reaktive oxidative Stoffe (ROS) durch Antioxidantien abgefangen und unschädlich gemacht. Wenn das Gleichgewicht gestört ist, entsteht oxidativer Stress. Oxidativer Stress bedeutet, dass Fette, Proteine und DNA oxidiert werden und damit ihre Funktion beeinträchtigt wird oder verloren geht.

Ergebnisse: Die ROS-Konzentrationen nach Cisplatinbehandlung betragen nach 6 Stunden 393 % der Kontrolle, das blieb bis 72 Stunden so. Bei gleichzeitiger Einwirkung von 50 Hz war die Erhöhung um 20 bzw. 39 % geringer. Die Wirkung von Cisplatin und EMFs auf die antioxidative Aktivität der Enzyme MnSOD, Cu/ZnSOD und GSH-Px wurde nach 24 und 72 Stunden untersucht. Die **MnSOD**-Aktivität war gegenüber den Kontrollen am höchsten nach 24 Stunden bei Einwirkung von Cisplatin und EMFs gleichzeitig, auch signifikant erhöht mit EMFs allein. Nach 72 Stunden war die Aktivität mehr als 6-fach erhöht mit Cisplatin allein. Bei der **Cu/Zn-SOD** war zu beiden Zeitpunkten die Aktivität mit Cisplatin allein am stärksten erhöht (3,5- bzw. 3-fach). Die Kombination Cisplatin/EMF zeigte geringfügig niedrigere Aktivität nach 24 Stunden und nach 72 Stunden war die Aktivität noch etwas geringer. Bei der **GSH-Px** waren alle Aktivitätswerte signifikant erhöht gegenüber der unbehandelten Kontrolle, am stärksten bei Cisplatin allein, bei 72 Stunden 5-fach höher als die Kontrolle. Die **MDA-Konzentrationen** waren alle signifikant verringert gegenüber der Kontrolle, am stärksten bei der Kombination Cisplatin/EMF, sowohl nach 24 als auch nach 72 Stunden. Die **DNA-Brüche**, gemessen nach 0, 60 und 120 Minuten, waren alle signifikant erhöht gegenüber der negativen Kontrolle, die geringste Erhöhung entstand durch die 50-Hz-Felder allein, die stärkste DNA-Schädigung zeigte die Kombination Cisplatin/ H_2O_2 (H_2O_2 als genotoxisches Agens dient als positive Kontrolle). Mit der Zeit nahm das Ausmaß der DNA-Schädigung bei allen Behandlungen ab, war aber

nach 120 Minuten immer noch signifikant erhöht, außer bei 50 Hz.

Diese Ergebnisse zeigen, dass AT478-Zellen verschieden auf unterschiedliche Zellstressoren reagieren. Diese Studie fand nach 24 und 72 Stunden eine gesteigerte intrazelluläre Ansammlung von ROS nach Cisplatin-Behandlung im Vergleich zu allen anderen Gruppen einschließlich der Kontrollen. 50-Hz-Felder erzeugten eine geringe, aber statistisch signifikante Steigerung gegenüber der Kontrolle, aber wenn Cisplatin und EMFs vorhanden waren, war die ROS-Produktion reduziert im Vergleich zu Cisplatin allein. Die Experimente mit den antioxidativen Enzyme SOD und GSH-Px zeigten einen signifikant Anstieg der Aktivität nach 50-Hz-Einwirkung, und der Anstieg war signifikant höher als der der ROS-Produktion. Trotz der erhöhten Antioxidantien-Aktivität hatte die DNA-Schädigung ein größeres Ausmaß als bei den Kontrollzellen. Die EMFs verminderten die Cisplatin-induzierte ROS-Konzentration zu allen untersuchten Zeitpunkten. Auffällig ist, dass die Mn-SOD-Aktivität in den Proben, die mit Cisplatin/EMF behandelt worden waren, stärker vermindert wurde als mit Cisplatin allein. Das spricht dafür, dass die EMFs die Cisplatin-induzierte Aktivität von SOD-Isoenzymen verändern. Cisplatin erzeugt schnell oxidativen Stress, der zu einer sekundären Antioxidans-Reaktion führt mit der Folge einer erheblichen DNA-Schädigung. Die Lipidperoxidation war demgegenüber geringer als in der Kontrollgruppe.

Die ROS-Erzeugung war niedriger in der Cisplatin/EMF-Gruppe als in der Cisplatingruppe. Ähnlich war es bei der DNA-Schädigung, allerdings war die zu erwartende schädliche additive Wirkung auf die Lipidperoxidation nicht zu sehen. Vielleicht wird die Lipidperoxidation überlagert von hoher Antioxidans-Aktivität, so dass die Wirkung einer hohen ROS-Konzentration auf die Lipidperoxidation vermindert wird. Lipidperoxidation ist eine Hauptquelle für endogene DNA-Schädigung beim Menschen, die entscheidend zur Entstehung von Krebs beitragen kann. In dieser Studie hat die kombinierte Behandlung mit EMFs und Cisplatin die Lipidperoxidation und die DNA-Schädigung vermindert. Allgemein wird angenommen, dass niederfrequente Felder nicht genügend Energie übertragen, um direkt eine DNA-Schädigung hervorzurufen. Es werden durch die Felder demnach bestimmte Prozesse in der Zelle verändert, die eine indirekte DNA-Schädigung, etwa durch ROS-Produktion, hervorrufen. Jedenfalls wurde eine erhöhte DNA-Schädigung beobachtet, wenn 50 Hz und gentoxische Stoffe gleichzeitig auf Zellen einwirkten. Das ist insofern bedeutend, als die Bevölkerung ständig giftigen Stoffen und EMFs ausgesetzt ist. Die kurzzeitige Einwirkung von EMFs und Cisplatin und die darauf folgende Bildung von ROS induzierte einen Aktivitätsanstieg der Antioxidans-Enzyme. Langzeiteinwirkung beider Agenzien bewirkt eine kontinuierliche ROS-Produktion und eine Redox-Anpassung. Es gibt eine positive Korrelation zwischen der Intensität der Lipidperoxidation und der DNA-Schädigung.

Schlussfolgerung: Wenn AT478-Zellen Cisplatin 24 und 72 Stunden ausgesetzt sind, zeigen einen signifikanten Anstieg an ROS und antioxidativer Enzymaktivität, die durch Niederfrequenzfelder abgemildert wird. Die Zellen scheinen sich an den oxidativen Stress durch Cisplatin/EMF zu gewöhnen und erfahren weniger DNA-Schädigung. Es gibt verschiedene antioxidative Reaktionen in den Zellkompartimenten; in Mitochondrien und im Zellplasma sind die Basiskonzentrationen unterschiedlich. Es sieht danach aus, dass die Wirkung niederfrequenter Felder von den äußeren Bedingungen der Zellen abhängt. Das könnte bedeutsam sein zur Ermittlung der pathophysiologischen Vorgänge, die durch Niederfrequenz entstehen. Dass die AT478-Zellen mit gesteigerter Enzymakti-

vität und reduzierter DNA-Schädigung reagieren, deutet auf eine kompensatorische Reaktion auf oxidativen Stress hin, die durch Cisplatin ausgelöst wird. EMFs könnten somit die giftige Wirkung von Cisplatin abschwächen und damit die klinische Therapie erschweren. Anders herum kann 50-Hz-Behandlung den oxidativen Stress erhöhen und möglicherweise zu mehr DNA-Schädigung führen. Diese Ergebnisse untermauern die IARC-Einstufung der EMFs als möglicherweise Krebs erregend beim Menschen.

Quelle: Buldak RJ, Polaniak R, Buldak L, Zwirski-Korczała K, Skonieczna M, Monsiol A, Kukla M, Duława-Buldak A, Birkner E (2012): Short-Term Exposure to 50 Hz ELF-EMF Alters the Cisplatin-Induced Oxidative Response in AT478 Murine Squamous Cell Carcinoma Cells. *Bioelectromagnetics* 33, 641–651

EMF und Lebensstil

Mehr Kreativität ohne elektromagnetische Felder?

Wenn der Mensch sich in der Natur aufhält, kann er seine Hirnleistungen zum Lösen komplexer Aufgaben erheblich verbessern – um bis zu 50 %. Das hat eine Studie mit Wanderern in der Wildnis ergeben.

In der modernen Gesellschaft gibt es mehr Anwendung von Technologien, weniger Aufenthalt in der Natur – das wirkt sich auf das Wohlbefinden aus. Welche Auswirkungen hat das auf unsere geistige Leistungsfähigkeit? Höhere komplexe Fähigkeiten des Gehirns wie selektive Aufmerksamkeit, Problemlösungen und Multi-Tasking sind heutzutage stark gefragte Anforderungen in der Technologie-Gesellschaft. Zudem umgeben uns plötzliche Ereignisse: das Telefon klingelt, der Fernseher läuft, draußen sind Hupen und das Martinshorn zu hören, während in der Natur sanfte Eindrücke vorherrschen. Eine Theorie (Attention Restoration Theory, ART) besagt, dass bei Aufenthalt in der Natur die geistigen Fähigkeiten gesteigert bzw. wiederhergestellt werden können. Diese Vorgänge werden im Präfrontalen Cortex abgewickelt. Das Experiment hier zeigt, dass bei Personen, die 4 Tage in der Natur ohne technische Geräte (Mobilfunk usw.) unterwegs sind, die Kreativität und die Fähigkeit zur Lösung von Problemen um 50 % gesteigert wird. Wenn wir in die Natur eintauchen, entsteht eine Entlastung des Gehirns, weil die Anforderungen an ständige Aufmerksamkeit gering sind und man nicht dauernd plötzlich wechselnde Aufgaben erfüllen muss. Frühere Untersuchungen hatten bereits ergeben, dass sogar nur das Anschauen von Natur-Bildern das Gehirn entspannt. Es gibt bis jetzt aber keine Untersuchung zu der Fähigkeit, komplexe Probleme kreativ lösen zu können, wenn man sich in der Natur aufhält.

Hier wurden insgesamt 56 Personen mittleren Alters, etwa zur Hälfte Männer und Frauen, in 8 Gruppen eingeteilt und mit dem Rucksack in Alaska, Colorado, Maine und Washington in die Wildnis geschickt. Davon wurden 4 Gruppen (24 Personen) vor der Wanderung und 4 (32 Personen) gegen Ende des Aufenthalts in der Wildnis getestet. Die Gruppen hatten untereinander keinen Kontakt und blieben 4–6 Tage. Mit Hilfe des so genannten Remote Associates Testes (RAT), einem Test zum Messen kreativer Prozesse, absolvierten die „Vor-Wanderungs-Gruppen“ den Test vor dem Aufbruch in die Wildnis, die „Während-Wanderungs-Gruppen“ am Morgen des 4. Tages. Es gab 10 Aufgaben zu lösen.

Ergebnis: Die Gruppen, die am 4. Tag in der Wildnis getestet wurden, konnten 50 % mehr Aufgaben lösen. Die Natur scheint einen beruhigenden Einfluss auszuüben. Wahrschein-