

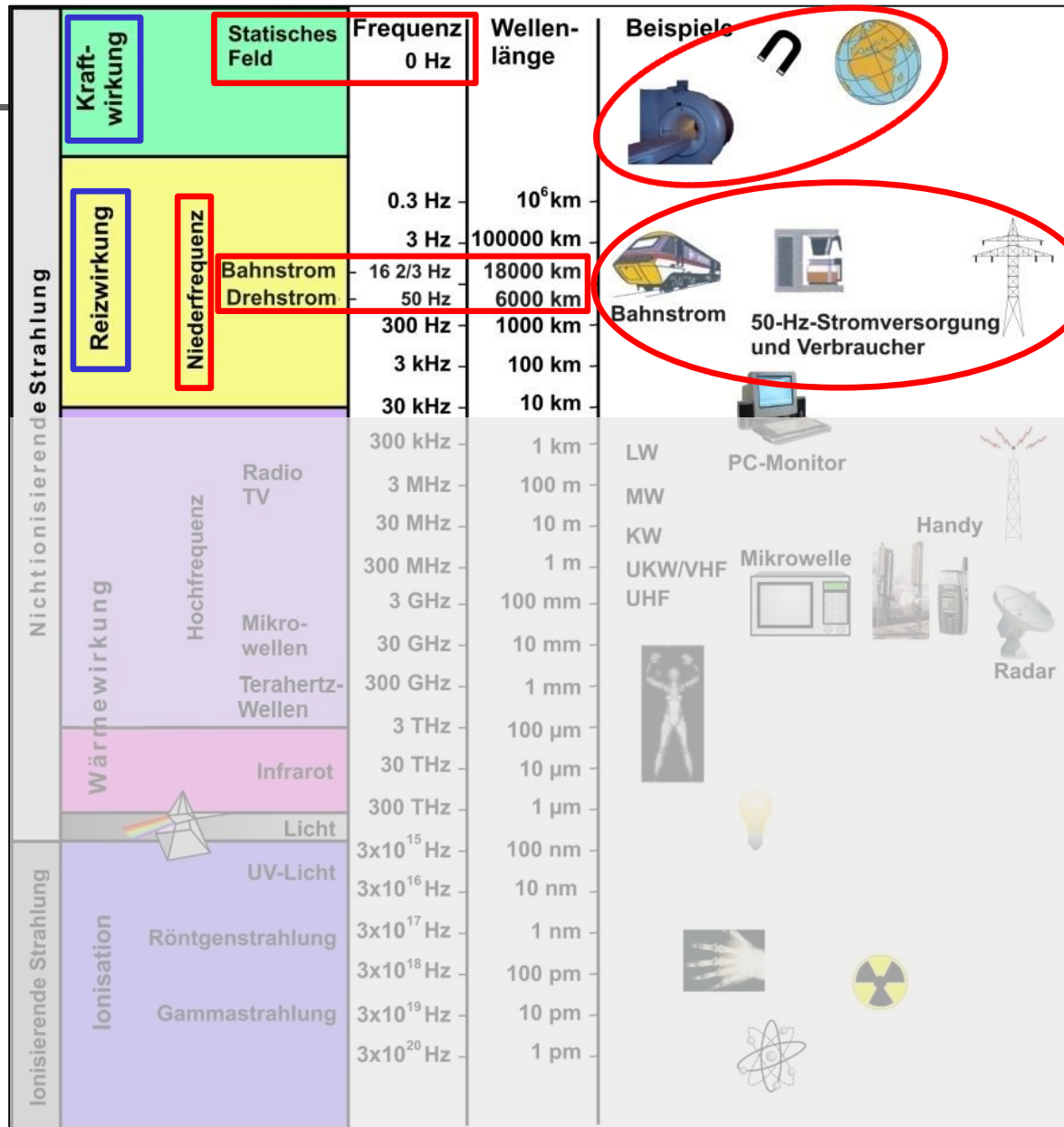
# Elektromagnetische Felder – Gesundheitsaspekte bei Hochspannungs- Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ)

Dr. Frank Gollnick

Schwäbisch Hall, 21.05.2015

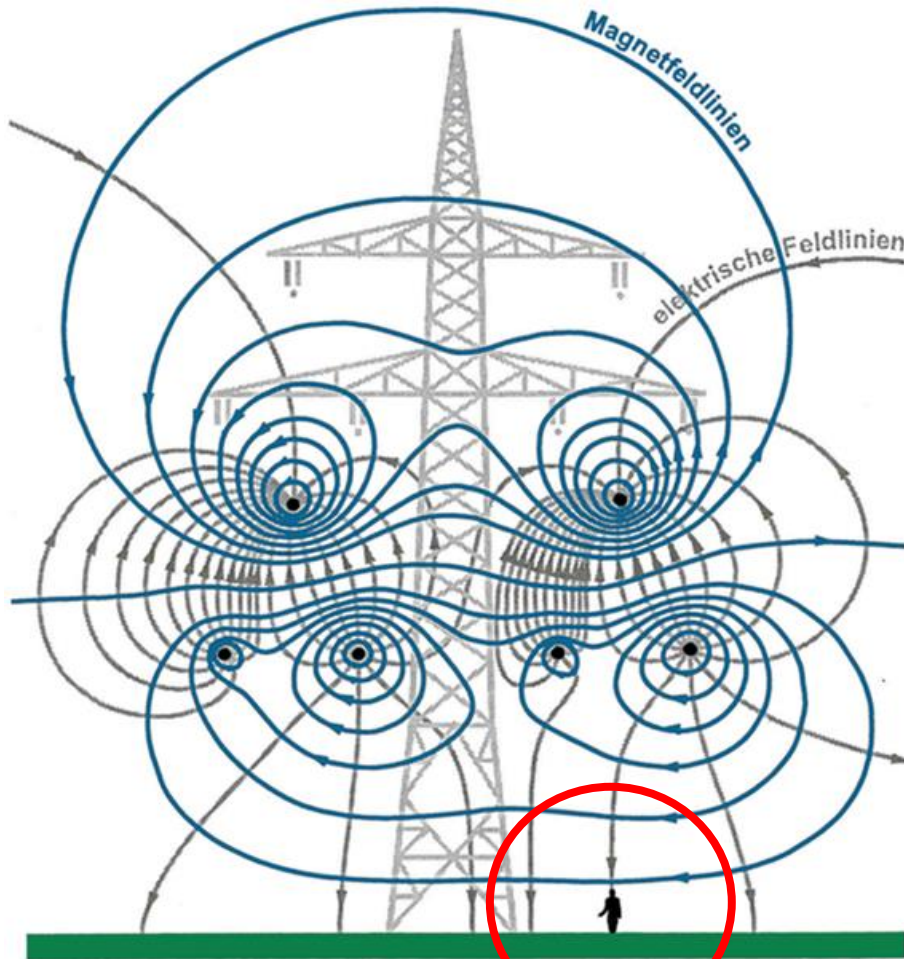
- **Einführung**
- **Wirkungen von elektrischen Feldern und Magnetfeldern**
- **Grenzwerte für elektrische Felder und Magnetfelder der Stromversorgung**
- **Mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit**

# Frequenzspektrum



Quelle: emf-portal.de

# Wirkungen elektr. und magnet. Felder: Felder im Bereich einer Freileitung



Quelle: Leitgeb N: Machen elektromagnetische Felder krank? Strahlen, Wellen, Felder und ihre Auswirkungen auf unsere Gesundheit, 3. Auflage, Springer-Verlag Wien, New York, 2000 (S. 106)

- **Magnetfeld**

Entsteht durch bewegte Ladungen (= Strom) im Stromleiter

Magnetische Flussdichte: Tesla (T) oder Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ );  $1 \text{ T} = 1 \text{ Mio. } \mu\text{T}$

→ Schlecht abzuschirmen, durchdringt Körper und Materie

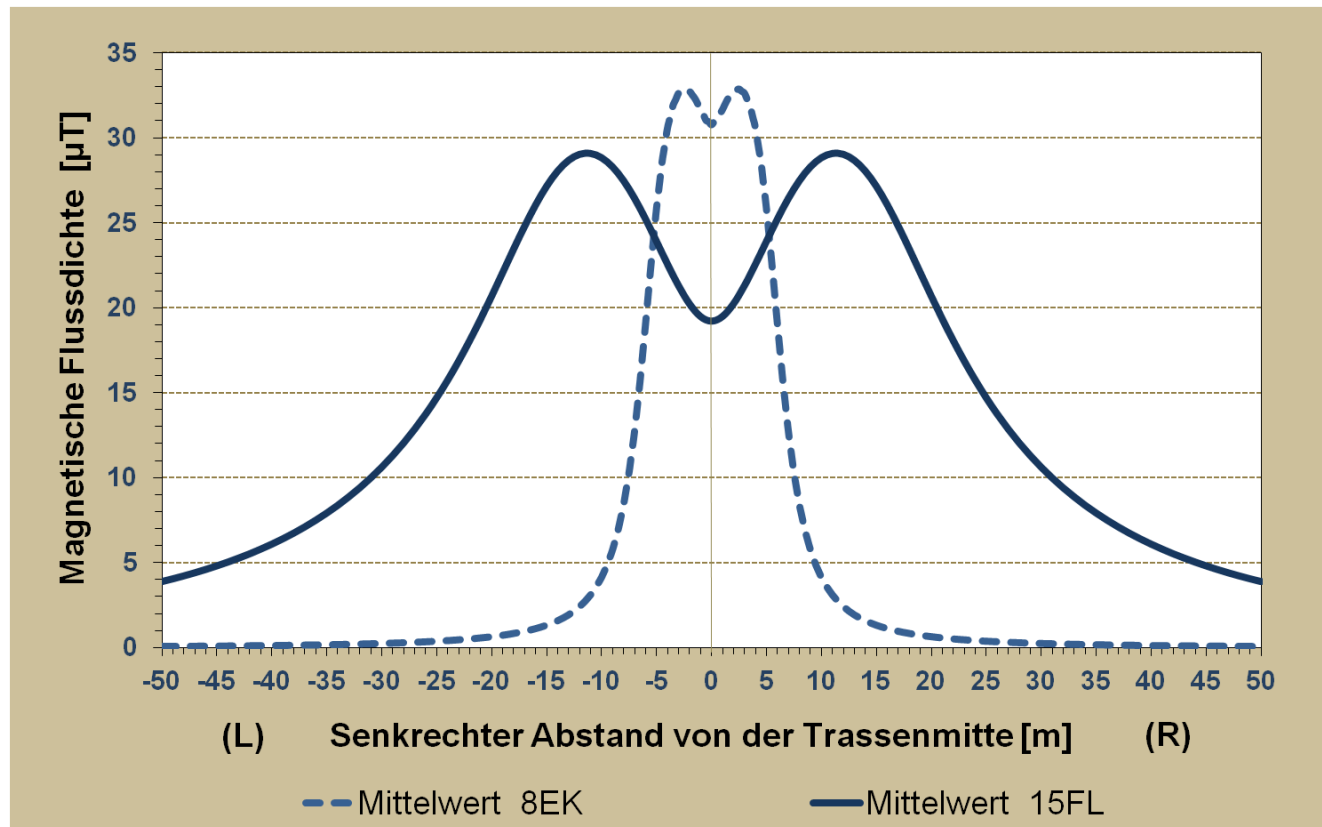
- **Elektrisches Feld**

Entsteht durch unterschiedliche elektrische Aufladung von Körpern (Potentialunterschied)

Elektrische Feldstärke: Volt pro Meter (V/m)

→ Gut abzuschirmen, dringt kaum in Körper und Materie ein

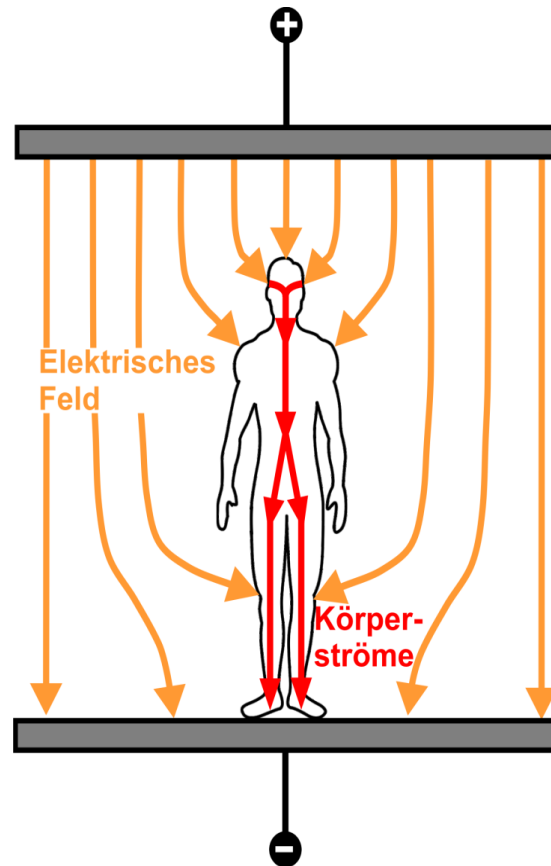
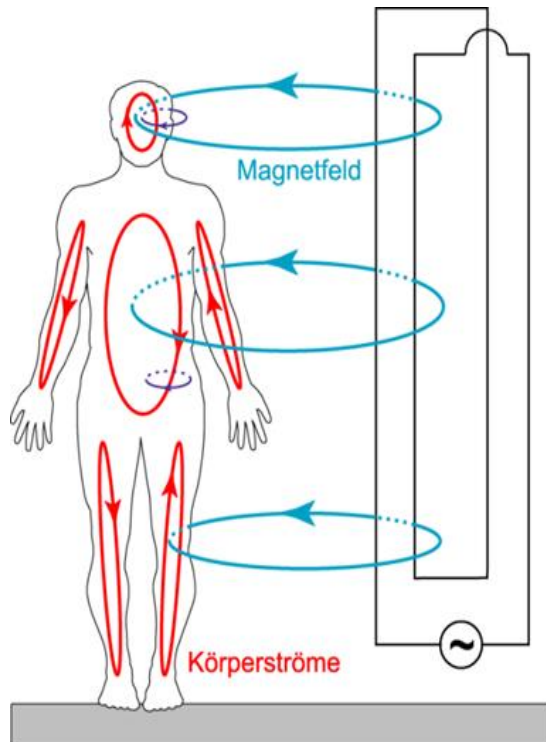
# Vergleich Freileitungen und Erdkabel: Querprofil der Magnetfelder



Charakteristisches Querprofil der Magnetfelder am Boden unter **Freileitungen** (—) bzw. über **Erdkabeln** (---) bei maximalem Betriebszustand. *Mittelwerte* von 15 untersuchten Freileitungstrassen und 8 untersuchten Erdkabeltrassen (Wechselstrom).

Quelle: ECOLOG-Studie im Auftrag des BMU, wiedergegeben im WIK EMF-Spectrum 3/2011

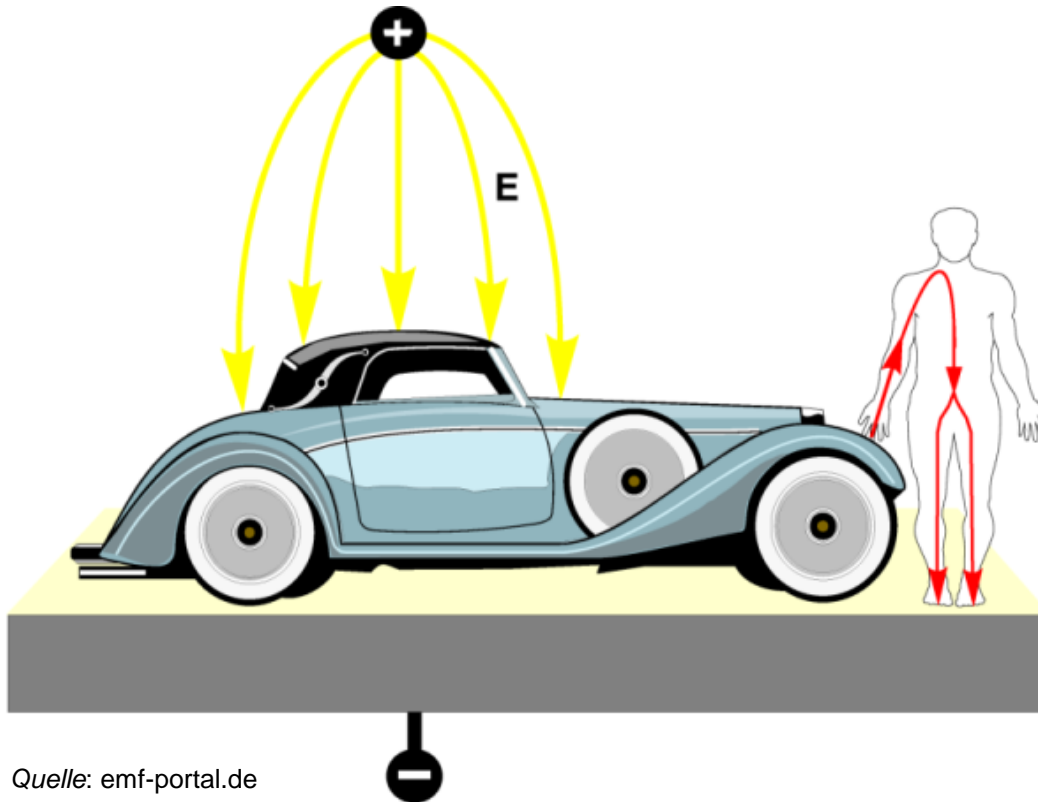
# Wirkungen elektr. und magnet. Felder: Direkte Wirkung



- Äußeres *Magnetisches Wechselstrom-Feld* (50 Hz) löst wirbelförmige Körperströme im Menschen aus (dringt gut ein)
- Äußeres *Elektrisches Feld* (Gleich- und Wechselstrom) löst elektrische Aufladung der Körperoberfläche und geringe innere Körperströme aus (dringt schlecht ein)
- Spürbare Wirkungen nur bei sehr starken Feldern

Quelle: emf-portal.de

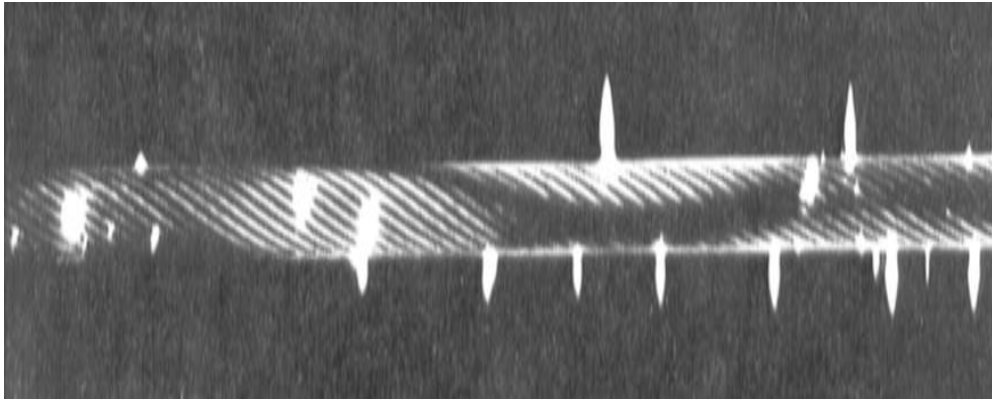
# Wirkungen elektr. und magnet. Felder: Indirekte Wirkung



Quelle: emf-portal.de

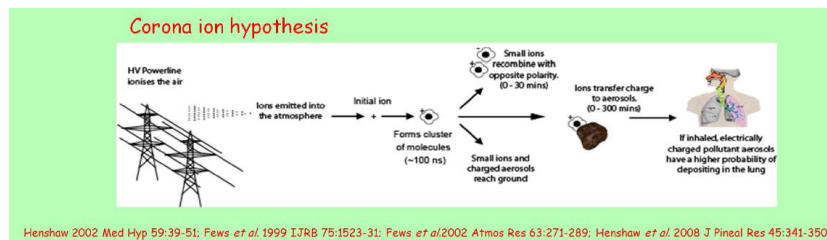
- Funkenentladung und Ableitströme durch elektrische Aufladung der Oberfläche von Objekten in einem *äußeren elektrischen Feld* (Gleichstrom- und Wechselstrom-Feld)
- Stärkster Effekt bei schlecht geerdeten Objekten
- Kann bei starken Feldern und großen Objekten zu Belästigungen führen; bei Trägern aktiver elektronischer Implantate können Gefährdungen auftreten

# Wirkungen elektr. und magnet. Felder: Indirekte Wirkung



## Koronaentladungen an einem Hochspannungs-Leiterseil

Quelle: P. Sarma Maruvada: Corona performance of high-voltage transmission lines, Research Studies Press, 2000

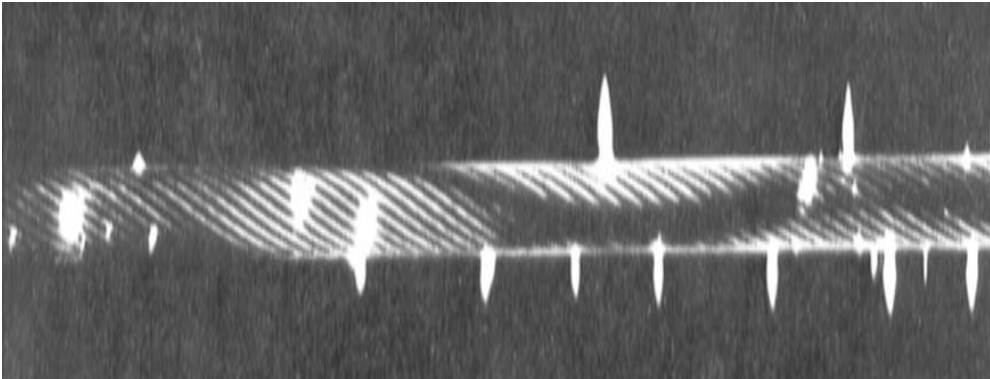


## Koronaentladungen an Leiterseilen

- Ionisierung von Luftmolekülen (→ Ozon, Stickoxide)
- Elektrische Aufladung von Partikeln in der Luft
- Geräusentwicklung
- Korona-Effekt bei **Wechselstrom** und feuchter Witterung stärker
- Verdriftung ionisierter Moleküle und Partikel bei **Gleichstrom** stärker
- Gesundheitliche Wirkung wird diskutiert, ist aber nicht nachgewiesen



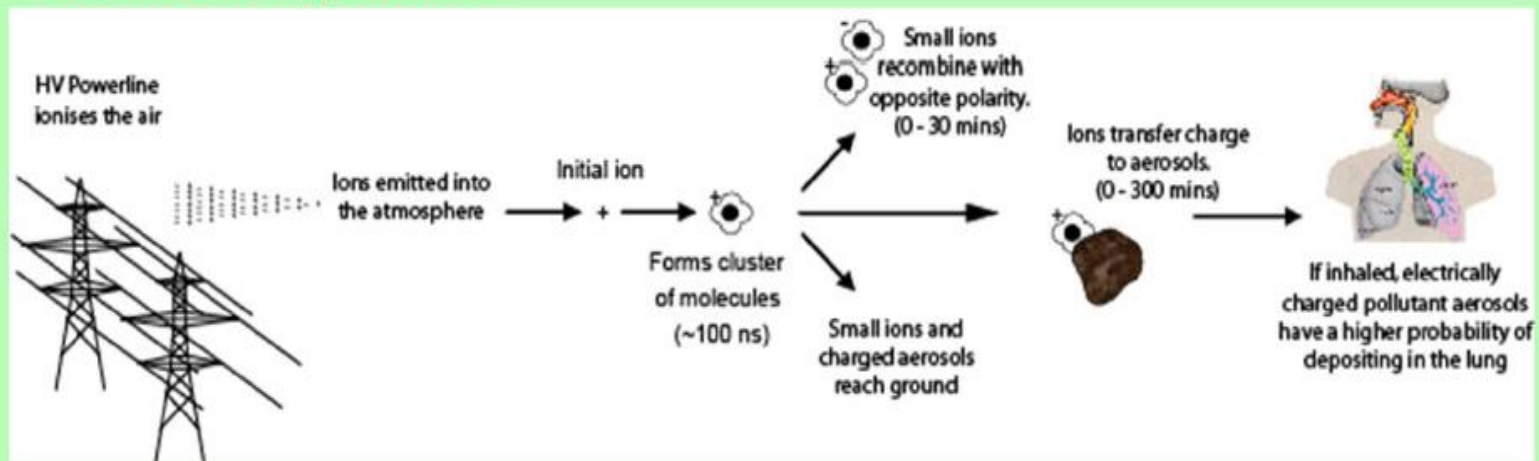
# Wirkungen elektr. und magnet. Felder: Indirekte Wirkung



## Koronaentladungen an Leiterseilen

- Ionisierung von Luftmolekülen  
(→ Ozon, Stickoxide)
- Elektrische Aufladung von  
Partikeln in der Luft

## Corona ion hypothesis



Henshaw 2002 *Med Hyp* 59:39-51; Fews *et al.* 1999 *IJRB* 75:1523-31; Fews *et al.* 2002 *Atmos Res* 63:271-289; Henshaw *et al.* 2008 *J Pineal Res* 45:341-350.

# Wirkungen elektr. und magnet. Felder:

## Unterschiede Gleich- und Wechselstrom-Felder

**Wechselwirkungen** zwischen Feldern und dem Körper setzen „**Bewegung**“ voraus:

- bei Gleichstrom-Feldern die Bewegung des Körpers im Feld
- bei Wechselstrom-Feldern die ständige Ladungsumkehr des Feldes selbst

**Magnetfelder** (dringen *gut* in den Körper ein)

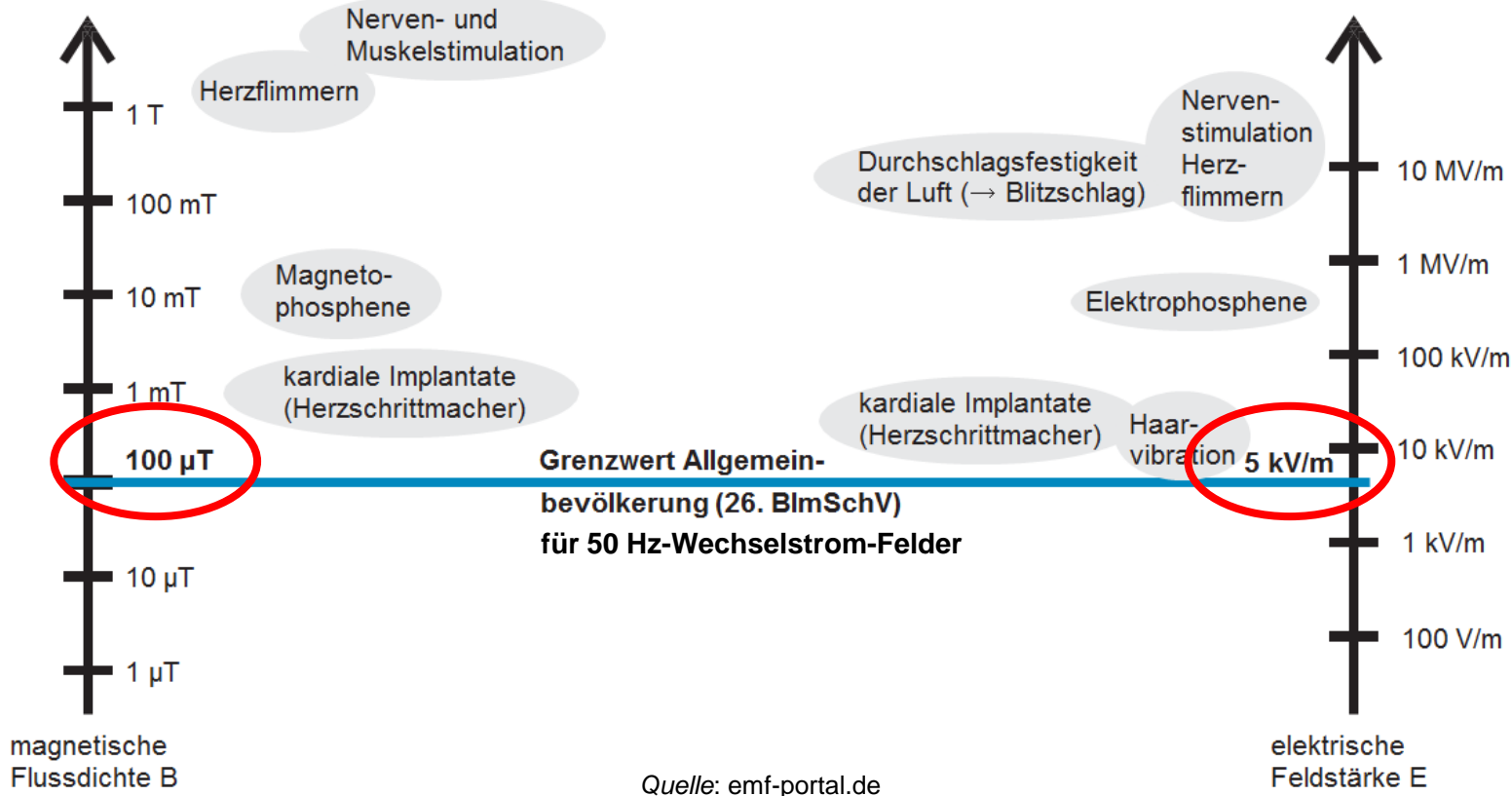
- Gleichstrom-Magnetfeld: Kraftwirkung auf geladene Teilchen im Körper durch Bewegung des Körpers (oder von Teilen innerhalb des Körpers) im Feld (spürbare Wirkung nur bei sehr starken Feldern, wie z.B. im MRT)
- Wechselstrom-Magnetfeld (z.B. 50 Hz): Erzeugung elektrische Felder und Ströme im Körper durch magnetische Induktion (dadurch oberhalb bestimmter Schwellenwerte Reizung von Sinneszellen und Stimulation von Nerven- oder Muskelzellen)

**Elektrische Felder** (dringen *kaum* in den Körper ein)

- Elektrisches Gleichstrom-Feld: Hauptsächlich elektrische Aufladung der Körperoberfläche. Bis zur einheitlichen Aufladung wirken Kräfte auf geladene Teilchen im Körper (Ionen), deren Bewegung zu geringen inneren Körperströmen führt („Verschiebungsströme“)
- Elektrisches Wechselstrom-Feld (z.B. 50 Hz): Ladungsumverteilung wiederholt sich mit der Frequenz. Dadurch geringe periodische Körperströme im gleichen Rhythmus

# Grenzwerte in Deutschland:

## Erwiesene Wirkungen niederfrequenter Felder



- Stimulation des Zentralnervensystems und der peripheren Nerven
- Induktion von Nerven-Impulsen und Muskel-Kontraktionen

- Erzeugung transienter Phosphene („Lichtflackern“) in der Netzhaut

# Grenzwerte in Deutschland:

## Allgemeinbevölkerung (nach 26. BImSchV)

	Elektrisches Feld	Magnetfeld
50 Hz	5 kV/m	100 $\mu$ T
Gleichstrom	–	500 $\mu$ T

Grenzwerte beruhen auf Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP). Diese wurden vom Bundesrat in der 26. BImSchV umgesetzt.

*26. BImSchV Bundesumweltministerium (2013): Neufassung der Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder; BGBl (50): 3266 - 3272*

# Grenzwerte in Deutschland:

## Allgemeinbevölkerung (nach 26. BImSchV)

	Elektrisches Feld	Magnetfeld
50 Hz	5 kV/m	100 $\mu$ T
Gleichstrom	—	500 $\mu$ T

- Derzeit kein Grenzwert für elektrische Gleichstrom-Felder
- Laut Neufassung der 26. BImSchV sind:  
*(...) Gleichstromanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung (...) **Wirkungen wie Funkenentladungen** (...), die zu erheblichen **Belästigungen oder Schäden** führen können, zu vermeiden sind.*

# Grenzwerte in Deutschland:

## Berufliche Exposition (nach BGV B11)

Expositionsbereich 2 (allg. zugänglich)	Elektrisches Feld		Magnetfeld	
50 Hz	6,7 kV/m	5 kV/m	424 µT	100 µT
Gleichstrom	20 kV/m	–	21,2 mT	0,5 mT

26. BImSchV

Expositionsbereich 1 (kontrollierte Bereiche)	Elektrisches Feld	Magnetfeld
50 Hz	21,3 kV/m	1,4 mT
Gleichstrom	30 kV/m	67,9 mT

- Grenzwerte für elektrische Gleichstrom-Felder existieren für berufliche Exposition
- Gilt nicht für die Exposition von Patienten bei gezieltem medizinischen Einsatz von elektromagnetischen Feldern
- Gilt nicht, soweit die 26. BImSchV zur Anwendung kommt

# Gesundheitliche Wirkungen:

## Diskutierte Wirkungen bei *50 Hz Magnetfeldern*

### Kinderleukämie

- Konsistente *Hinweise* auf ein höheres Risiko bei dauerhafter Magnetfeld-Exposition über 0,3-0,4  $\mu\text{T}$  (aus epidemiologischen Studien)
- Jedoch bislang kein Wirkungsmechanismus aus experimentellen Studien bekannt
- Forschung zu Wirkungsmechanismen läuft

### Neurodegenerative Erkrankungen

- Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) und Alzheimer: Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für beruflich stark exponierte Personen
- Jedoch schwer zu untersuchen (keine offiziellen Register; Diagnose und Expositionsabschätzung sind schwierig)

### Andere Wirkungen

- Untersuchungen auf andere Krebsarten sowie negative Einflüsse auf Nervensystem und Verhalten, neuroendokrines System, Herz-Kreislauf-System, Immunsystem, Reproduktionssystem, etc. ergaben sehr heterogene Daten und nur wenige Hinweise auf gesundheitlich relevante Wirkungen

# Gesundheitliche Wirkungen:

## Diskutierte Wirkungen bei *50 Hz Magnetfeldern*

### Elektrosensibilität (alle Frequenzbereiche)

- Verschiedene unspezifische Symptome (Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Schwindel, Müdigkeit, ...) im Zusammenhang mit hochfrequenten und niederfrequenten Feldquellen
- 1.5% bis 3.2% der Allgemeinbevölkerung betroffen
- Gemäß der WHO gibt es für Elektrosensibilität keine eindeutigen Diagnose-Kriterien
- Kein medizinisches anerkanntes Krankheitsbild
- Keine biologischen Marker und diagnostischen Tests bekannt
- Experimentelle Hinweise auf “Nocebo-Effekt” (Symptome werden durch negative Erwartung verursacht)



### **WHO 2007: Forschungsbedarf** im Hinblick auf

- Hirn-Tumore und Leukämie bei Kindern und Jugendlichen (Epidemiologie, Wirkungsmechanismen)
- Amyotrophe Lateralsklerose (ALS-Risiko) bei beruflicher Exposition



# Gesundheitliche Wirkungen:

## Diskutierte Wirkungen bei *Gleichstrom-Feldern*

### Gleichstrom-Magnetfelder

- Forschungsschwerpunkt auf MRT-Anwendungen (d.h. starke Felder von 1-3 Mio.  $\mu\text{T}$  !! im Routinebetrieb), aber relativ wenige Studien unterhalb von 500  $\mu\text{T}$  (n=164)
- Bisher keine direkten negativen gesundheitlichen Auswirkungen unter 4 T gefunden
- WHO sieht bei schwachen Feldern noch Forschungsbedarf zu Langzeitwirkungen in Hinblick auf Krebs und Wirkungen auf Verhalten und Entwicklung (Tierstudien)

### Elektrische Gleichstrom-Felder

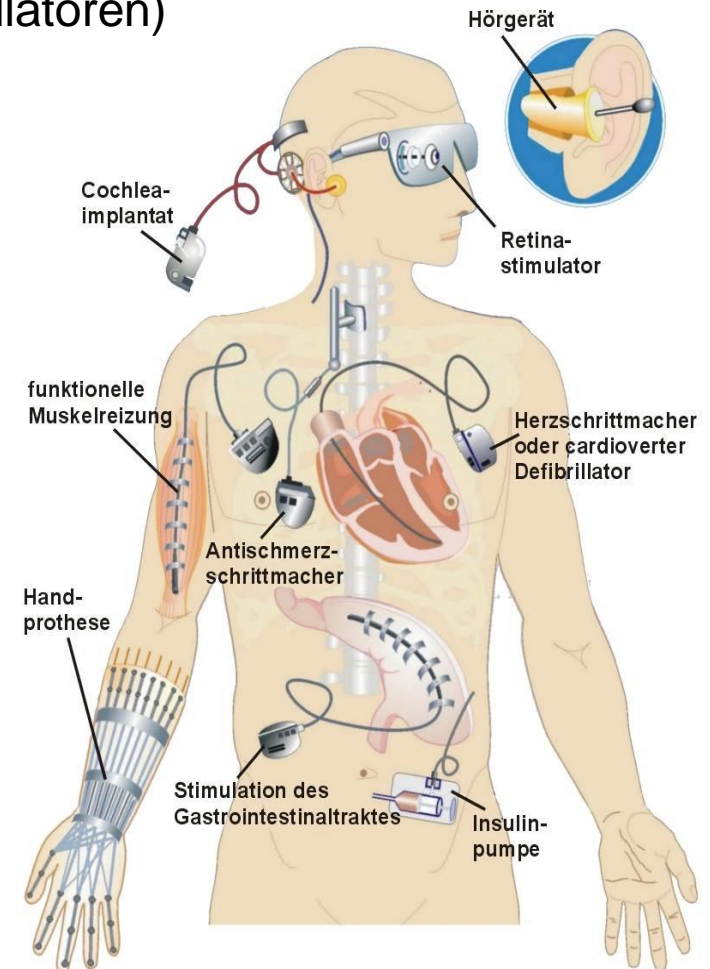
- Nur wenige Studien durchgeführt (gesamt 43, nur 4 am Menschen)
- Analyse der Datenlage durch WHO (2006) und SSK (2013):
  - Keine chronischen gesundheitlichen Wirkungen
  - Gefahr von Mikroschocks bei elektrostatischen Entladungen
  - Schwellenwerte für das Auftreten von als Belästigung empfundenen Wirkungen sind variable und von verschiedenen Faktoren abhängig
- Bewertung der Wirkung und Angabe von belastbaren Schwellenwerten aufgrund begrenzter Datenlage und fehlender systematischer Untersuchungen nicht möglich
- SSK empfiehlt die Durchführung von Studien zur Wahrnehmung, vor allem in Form von Humanstudien unter gut kontrollierten Bedingungen

# Gesundheitliche Wirkungen: Mögliche Wirkungen auf Implantate

**Passive Implantate** (z.B. Schienen, Herzklappen, Nägel)

**Aktive Implantate** (z.B. Herzschrittmacher, Defibrillatoren)

- Gefährdungen durch Gleichstrom-Felder und niederfrequente (50 Hz) Magnetfelder grundsätzlich möglich
- Gleichstrom-Magnetfelder üben Kraftwirkungen auf ferromagnetische Implantate aus und können Störfunktionen bei aktiven Implantaten auslösen
- Niederfrequente Wechselstrom-Felder erzeugen Körperströme, die sich an metallischen Implantaten verdichten/erhöhen können (auch bei Entladung an elektrostatisch aufgeladenen Objekten)  
Hierdurch Fehlfunktionen bei aktiven Implantaten möglich



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Frank Gollnick

*femu* – Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit

Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin

Uniklinik RWTH Aachen

Pauwelsstraße 30

52074 Aachen

E-Mail: [gollnick@femu.rwth-aachen.de](mailto:gollnick@femu.rwth-aachen.de)

EMF-Portal: [www.emf-portal.org](http://www.emf-portal.org)

*femu*: [www.arbeitsmedizin.ukaachen.de/femu](http://www.arbeitsmedizin.ukaachen.de/femu)

# Backup

## Magnetische Flussdichten ( $\mu\text{T}$ )

(verschiedene Abstände, übliche Gebrauchsabstände in Farbe)

Gerät	Abstand 3 cm	Abstand 30 cm	Abstand 1 m
Haarfön	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 - 0,3
Rasierapparat	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 - 0,3
Bohrmaschine	400 – 800	2 - 3,5	0,08 - 0,2
Staubsauger	200 – 800	2 – 20	0,13 - 2
Leuchtstofflampe	40 – 400	0,5 – 2	0,02 - 0,25
Mikrowellengerät	73 – 200	4 – 8	0,25 - 0,6
Radio (tragbar)	16 – 56	1	< 0,01
Küchenherd	1 – 50	0,15 - 0,5	0,01 - 0,04
Waschmaschine	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 - 0,15
Bügeleisen	8 – 30	0,12 - 0,3	0,01 - 0,03
Geschirrspüler	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 - 0,3
Computer	0,5 – 30	< 0,01	
Kühlschrank	0,5 - 1,7	0,01 - 0,25 < 0,01	
Fernsehgerät	2,5 – 50	0,04 – 2	0,01 - 0,15

Quelle: Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 7, Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern der Energieversorgung und –anwendung, 1997

Zum Vergleich: Grenzwert für *Daueraufenthalt* der Allgemeinbevölkerung:  $100 \mu\text{T}$ ; Mittelwert der gemessenen Dauerbelastung in Wohnungen in Deutschland:  $0,04 \mu\text{T}$ ; Bei 1,4% der Wohnungen:  $\geq 0,2 \mu\text{T}$  (diesen Wert nur in 8 von 25 Wohnungen gemessen, die näher als 50 m an einer Hochspannungsleitung lagen); Hochspannungsleitungen nur zu ca. 1/3 für Magnetfelder in Wohnungen verantwortlich, ca. 2/3 kommen von Haushaltsgeräten und Strom-Hausinstallation. (Quelle für gemessene Werte: Schüz und Michaelis, 2000)

# Grenzwerte im Vergleich: Allgemeinbevölkerung

26. BImSchV  
2013

	Elektrisches Feld	Magnetfeld
50 Hz	5 kV/m	100 $\mu$ T
Gleichstrom	–	500 $\mu$ T

ICNIRP

2010

2009

	Elektrisches Feld	Magnetfeld
50 Hz	5 kV/m	200 $\mu$ T
Gleichstrom	–	400 mT*

EU-Ratsempfehlung  
1999

	Elektrisches Feld	Magnetfeld
50 Hz	5 kV/m	100 $\mu$ T
Gleichstrom	–	40 mT

\* Räumlicher Spitzenwert. Mit empfohlener Einschränkung auf 500  $\mu$ T im Hinblick auf Implantatträger und in Bezug auf nicht-biologische Wirkungen.