



Messbericht und Gutachterliche Stellungnahme

Untersuchungen zu niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldimmissionen durch benachbarte Hochspannungsleitungen im Bereich eines für den Bau einer Gesamtschule, einer Kindertagesstätte und einer Sporthalle vorgesehenen Grundstücks an der Straße Im Klostergarten in 53347 Alfter-Oedekoven

Auftraggeber: Freie Christliche Schule Bonn / Rhein-Sieg Kreis
Andreas Wiegel
Buntspechtweg 1
53123 Bonn

Autor: Dr. Klaus Trost
Wissenschaftsladen Bonn e.V.
Mess- und Beratungsstelle Elektromog
Reuterstraße 157
53113 Bonn
Tel.: 0228/20161-0
eMail: Klaus.Trost@Wilabonn.de

Ort und Datum: Bonn, den 29. Mai 2019

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten.....	2
2. Durchführung der Messungen.....	4
3. Messergebnisse.....	6
4. Physikalische Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder im Körper.....	8
5. Biologische und gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder.....	10
6. Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für elektrische und magnetische Wechselfelder.....	12
7. Planerische Grundsätze des neuen LEP NRW bei der Ausweisung von Baugebieten an Hochspannungstrassen.	15
8. Umrüstung der 110/380 kV Freileitung Weißenthurm-Sechtem im Rahmen des Projektes <i>Ultranet</i>	16
9. Zusammenfassung und Empfehlungen.....	19
10. Anhang: Fotos der Messpunkte und sowie gemessene Diagramme und Ergebnistabellen.....	22



1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten

Auf einem großen von zwei Straßen durchzogenen Grundstück nordwestlich entlang der Straße *Im Klostergarten* in 53347 Alfter beabsichtigt der Freie Schulen Bonn / Rhein-Sieg-Kreis e.V. den Bau einer Gesamtschule, einer Kindertagesstätte und einer Sporthalle. Südöstlich des Plangebietes verlaufen die Trassen einer 2x110/2x380 kV-Höchstspannungskombifreileitung sowie einer 2x380 kV-Höchstspannungsfreileitung (Abb. 2). Die Abstände der Trassenmitten der Leitungen zum Plangebiet betragen ca. 40 - 45 m (110/380 kV Kombileitung) bzw. 80 - 85 m (380 kV Höchstspannungsleitung). Die 2x110/2x380 kV Kombileitung wird in den nächsten Jahren im Rahmen des Projekts *Ultrahnet* umgerüstet. Dabei wird eins der beiden 380 kV-Wechselstromsysteme entsprechend der Beschreibung in Kap. 8 durch ein 380 kV-Gleichstromsystem ersetzt.

Die Grenzen des Plangebiets sind aus dem Lageplan Abb. 1 erkennbar. In diesem Plan sind noch drei Freileitungstrassen eingezeichnet (alte 220 kV, alte 110 kV, 380 kV). Die zwei alten Leitungen wurden 2013 abgebaut und durch die jetzige Kombileitung 110/380 kV ersetzt, welche zwischen den Trassen der beiden alten Leitungen errichtet wurde. Nach Angaben des Leitungsbetreibers Amprion wird ein 380 kV-System der neuen Kombileitung 2x110/2x380 kV derzeit noch mit der Spannung 220 kV betrieben, was zu höheren Stromstärken und damit auch zu stärkeren Magnetfeldimmissionen führen kann. Voraussichtlich wird dieses System auf Gleichstrombetrieb umgerüstet. Nach erfolgter Umrüstung ist mit einem leichten Rückgang der Immissionen durch magnetische Wechselfelder auf dem Plangebiet zu rechnen (Kap. 8).

Hochspannungsfreileitungen erzeugen durch ihren Betrieb elektrische und magnetische Wechselfelder, die bei sehr hohen Intensitäten akut gesundheitsgefährdend sind. Die Betreiber von Hochspannungsleitungen sind zur Vermeidung akuter Gesundheitsgefährdung verpflichtet, in öffentlich zugänglichen Bereichen ihrer Anlagen die gesetzlichen Grenzwerte der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) einzuhalten. Die Überwachung der Feldimmissionen durch die Bundesnetzagentur gewährleistet, dass die Grenzwerte der 26. BImSchV im Bereich von Hochspannungstrassen immer eingehalten werden. Allerdings sind die Grenzwerte der 26. BImSchV so hoch, dass auch unter 380 kV-Höchstspannungsleitungen der Bau von Wohnungen zulässig wäre.

Die konzeptionellen Grundlagen der in der 26. BImSchV festgelegten Grenzwerte orientieren sich nur an der Vermeidung akuter gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die elektromagnetische Feldexposition. Die Existenz von Gesundheitsrisiken durch Langzeitexposition, die möglicherweise auch unterhalb der Grenzwerte auftreten können, wird nicht berücksichtigt. Dies ist ein offensichtlicher konzeptioneller Mangel in der Grenzwertgesetzgebung der 26. BImSchV, denn in anderen Bereichen der Toxikologie wird stets zwischen akuten und chronischen Wirkungen einer Noxe unterschieden. Zahlreiche europäische Länder haben für Immissionen durch elektromagnetische Felder in Wohnungen vorsorgende Empfehlungen und zum Teil auch strengere Grenzwerte eingeführt.

Das Land Nordrhein-Westfalen hat eigene Regelungen zum vorsorgenden Gesundheitsschutz bei elektromagnetische Immissionen durch Hochspannungsleitungen erlassen, die über die Anforderungen der 26. BImSchV hinausgehen. Seit 1998 gilt in Nordrhein-Westfalen für die Planung von neuem Wohnraum ein Abstandserlass, der für Wohnungen einen seitlichen Abstand zur Trassenmitte bei 110 kV-Hochspannungsleitungen von mindestens 10 m und bei 380 kV-Leitungen von mindestens 40 m vorschreibt.

Der Entwurf des Landesentwicklungsplanes NRW (LEP) in der Fassung vom 22.09.2015 sieht bei Hochspannungstrassen noch erheblich strengere Schutzmaßnahmen vor als der Abstandserlass von 1998. Danach soll bei der Planung neuer Wohnsiedlungen zu Hochspannungsleitungen mit 220 kV oder mehr nach Möglichkeit ein Sicherheitsabstand von mindestens 400 m bzw. im Außenbereich von mindestens 200 m eingehalten werden. Diese Abstände gehen nicht nur extrem weit über die Anforderungen der 26. BImSchV hinaus, sie übertreffen auch die Abstände, die notwendig sind, um im Bereich von Hochspannungsleitungen internationale Vorsorgerichtwerte (z.B. Schwedische TCO-Norm) einzuhalten.

In diesem Messbericht werden die Immissionen durch niederfrequente elektromagnetische Felder im Planungsbereich nach Abb. 1 untersucht und nach gesetzlichen deutschen Grenzwerten sowie etablierten inter-

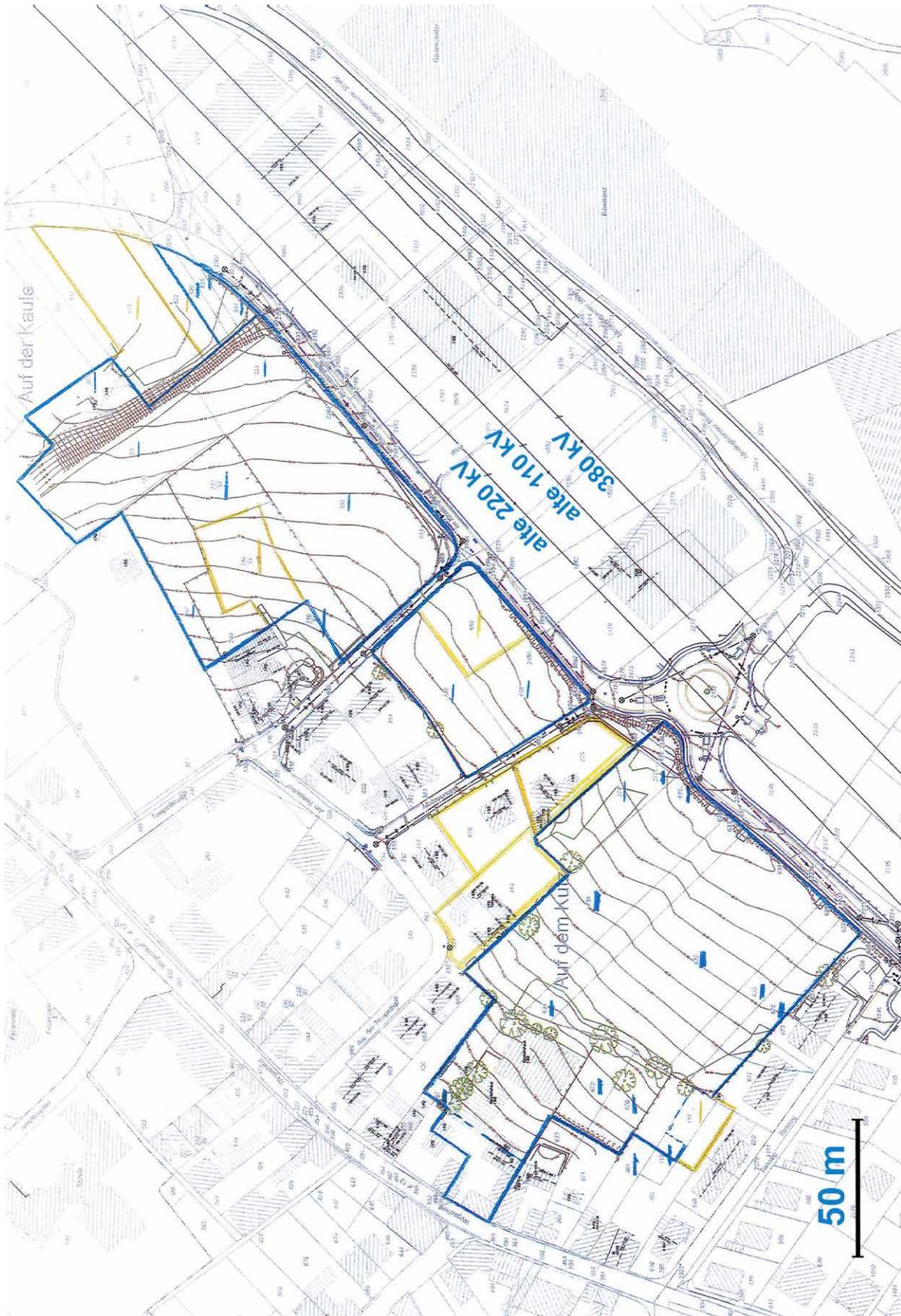


Abb. 1: Lage des Plangebietes an der Straße Im Klostersgarten mit den alten Trassenmitteln der benachbarten Hochspannungsleitungen.



nationalen Grenzwerten für sensible Bereiche und Vorsorgeempfehlungen für Daueraufenthaltsbereiche von Personen beurteilt. Außerdem werden die im Rahmen des projekts *Ultranet* zu erwartenden Änderungen der Immissionen beschrieben und bewertet.

2. Durchführung der Messungen

Auf dem Plangebiet *Im Kloostergarten* treten aufgrund der von den benachbarten Hochspannungsleitungen erzeugten Felder Immissionen durch Magnetfelder und wegen der freien Sicht auf die Leitungen auch durch elektrische Felder auf. Magnetfelder durchdringen fast jede Materie ungeschwächt und sind daher im Inneren von Gebäuden annähernd genau so stark wie außerhalb. Elektrische Felder dagegen werden von jeder Materie in ihrem Ausbreitungsverhalten beeinflusst und können bereits durch die Vegetation fast völlig abgeschirmt werden. In Gebäude dringen sie von außen nicht ein. Die von Hochspannungsleitungen ausgehenden elektrischen Felder sind daher nur im Freien und bei freier Sicht auf die Leitungen von Bedeutung. Die Immissionen durch beide Feldarten wurden am 29.12.2016 auf dem Plangebiet an 12 Messpunkten (Lageplan Abb. 2) in der Zeit von 11 Uhr bis 13 Uhr 30 bestimmt. Die Messpunkte hatten mit Ausnahme der MP6 und 7 zueinander einen Abstand von 30 m. Weil die Messpunkte 9, 10 und 11 durch eine benachbarte Hecke teilweise gegen die Hochspannungstrasse abgeschirmt waren, wurde die elektrische Feldstärke zusätzlich auch an den Messpunkten 9A, 10A und 11A bestimmt, die außerhalb des Schirmbereichs der Hecke lagen.

Die Standorte des Messgerätes an den einzelnen Messpunkten sind im Anhang ab Seite 23 abgebildet.

Die Intensität der **magnetischen Feldimmissionen** (magnetische Induktion, auch magnetische Flussdichte genannt) hängt ab vom Stromfluss in den Leitungen und somit vom ständig schwankenden Stromverbrauch. Es ist daher erforderlich, den Intensitätsverlauf des Magnetfelds an jedem Messpunkt über einen gewissen Zeitraum aufzuzeichnen, um für die Beurteilung der Immissionen zu sicheren Mittelwerten zu gelangen. Nach den Vorgaben der 26. BImSchV sollen die Mittelwerte über eine Messzeit von mindestens sechs Minuten gebildet werden. Für die Messungen der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet wurde pro Messpunkt eine Messzeit von ca. sieben Minuten gewählt.

Die Intensität der Immissionen durch **elektrische Felder** (elektrische Feldstärke) an einer Hochspannungsleitung ist abhängig von der Höhe der Betriebsspannung der Leitung. Da die Betriebsspannung einer Hochspannungsleitung unabhängig von der Stromlast annähernd konstant ist, sind auch die Immissionen durch elektrische Felder weitestgehend konstant. Geringe Schwankungen können entstehen durch Schwingen der Leiterseile im Wind sowie durch Bewegungen des Messgerätes. Erhebliche Intensitätsschwankungen der elektrischen Feldstärke entstehen durch die modulierende Wirkung sich bei Wind bewegender Büsche und Bäume und deren Laubwerk, sofern diese sich zwischen dem Messpunkt und der Leitung befinden. Zur Bestimmung der elektrischen Feldimmissionen genügt daher eine Messzeit von etwa zehn Sekunden. Bis auf MP7, der innerhalb eines Gebäudes gegen elektrische Felder abgeschirmt war, wurde an allen Messpunkten zusätzlich zur magnetischen Induktion auch die elektrische Feldstärke gemessen.

Die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion wurden mit dem Feldanalysator NFA1000 der Firma Gigahertz-Solutions GmbH bestimmt. Das Gerät kann Felder verschiedener Frequenzen selektiv erfassen und ihren zeitlichen Verlauf aufzeichnen, erlaubt somit die Untersuchung von Feldimmissionen getrennt nach Frequenzen und kann daher auch den Gehalt von Oberwellen ermitteln. Das NFA1000 verfügt zur Bestimmung beider Feldarten über eingebaute dreidimensional wirksame Feldsonden, so dass das Gerät in jeder beliebigen Lage korrekte Messergebnisse liefert. Zur potentialfreien Messung der elektrischen Feldstärke wurde das NFA1000 über ein 50 cm langes Kunststoffrohr schwebend auf einem Holzstativ befestigt. Zur Messung der magnetischen Induktion wurde das Gerät auf dem Kunststoffrohr belassen, obwohl zur Messung von Magnetfeldern eine potentialfreie Lage des Gerätes nicht erforderlich ist. Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte für beide Feldarten mit 10 Messwertsätzen pro Sekunde.

Die magnetische Induktion wurde gemessen in der Einheit Nanotesla (nT). Gebräuchlich ist auch die Einheit Mikrottesla (μT). Umrechnung: $1000 \text{ nT} = 1 \mu\text{T}$

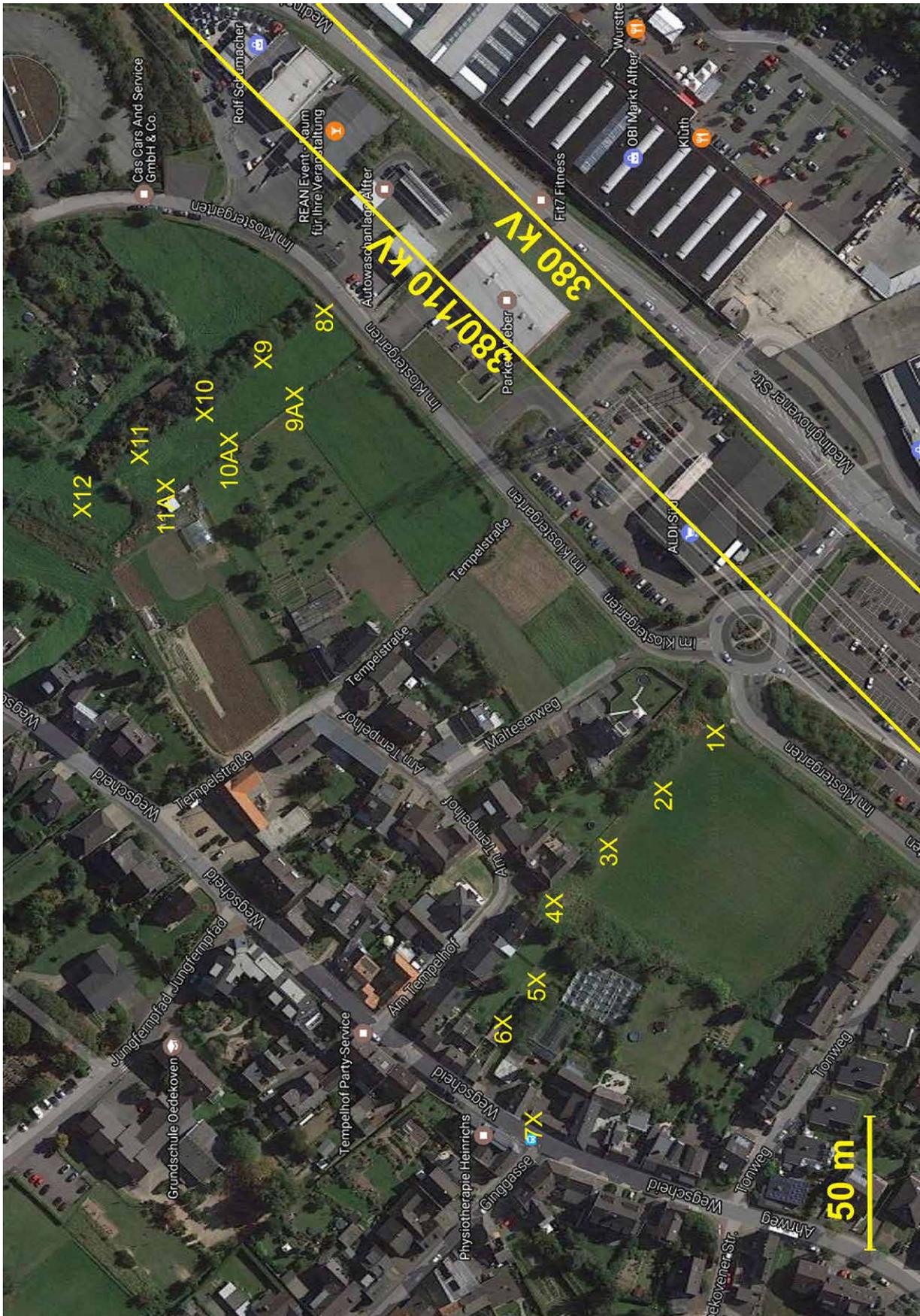


Abb. 2: Lage der Messpunkte auf dem Plangebiet und Trassenmittlen der beiden Hochspannungsleitungen



3. Messergebnisse

In der Tabelle 1 sind die an allen Messpunkten bestimmten mittleren magnetischen Induktionen B_{mittel} in den Frequenzbereichen 50 Hz (Grundfrequenz) und 150 Hz (1. Oberwelle ungerader Ordnung) sowie die im Frequenzbereich 50 Hz gemessene maximale elektrische Feldstärke E_{max} zusammengefasst.

Im Anhang ab Seite 26 sind in Diagrammen die an allen Messpunkten bestimmten zeitlichen Verläufe der Intensität der magnetischen Induktion und der elektrischen Feldstärke dargestellt. Zur leichteren Unterscheidbarkeit haben die Diagramme mit der Darstellung der magnetischen Induktion einen farbigen und die Diagramme mit der elektrischen Feldstärke einen weißen Hintergrund. In jedem Diagramm sind außerdem tabellarisch angegeben die am jeweiligen Messpunkt im Messzeitraum bestimmten Minimal- und Maximalwerte sowie die aus allen aufgezeichneten Messwerten berechneten Mittelwerte sowie weitere statistische Parameter, die hier nicht von Bedeutung sind. In den Diagrammen, welche die Ergebnisse der Magnetfeldmessungen darstellen, ist neben der Induktion im Frequenzbereich 50 Hz (grüne Kurve) auch die Induktion im Frequenzbereich der ersten Oberwelle ungerader Ordnung (150 Hz, blaue Kurve) aufgezeichnet. Maßgeblich zur Bewertung der Immissionen sind bei den Magnetfeldern die Mittelwerte und bei den elektrischen Feldern die Maximalwerte. Beim Lesen der Diagramme ist zu beachten, dass die senkrechten Achsen für eine möglichst optimale Darstellung verschieden skaliert sind.

Magnetfelder

Es wurde die magnetische Induktion im Frequenzbereich der Grundfrequenz des Netzstromes von 50 Hz gemessen sowie die Intensität der ersten ungeraden Oberwelle (150 Hz), um den für die Beurteilung ebenfalls wichtigen Oberwellengehalt der Magnetfelder zu ermitteln. Die Intensitätsschwankungen sowie der Oberwellengehalt der von Hochspannungsleitungen ausgehenden Magnetfelder sind meist sehr gering. Die Messergebnisse bestätigen dies weitestgehend. Nur an Messpunkt 8 und ganz besonders an Messpunkt 7 war der Oberwellengehalt erhöht, wobei an MP7 auch die Intensitätsschwankungen der magnetischen Induktion erheblich waren. An MP8 wurden neben den von der Hochspannungstrasse erzeugten Magnetfeldern auch die von den im Bürgersteig verlegten Erdkabeln des Niederspannungsnetzes ausgehenden Felder mit erfasst, wodurch sich der höhere Oberwellengehalt an MP8 erklärt. Mit fast 50 % der Grundwelle war der Oberwellengehalt an MP7 ganz besonders hoch. Dies weist darauf hin, dass die an MP7 gemessenen magnetischen Feldimmissionen nicht von den Hochspannungsleitungen sondern hauptsächlich von einer anderen Feldquelle ausgingen. Obwohl dieser Messpunkt den größten Abstand aller Messpunkte von der Hochspannungstrasse hatte, wurden hier stärkere Magnetfelder gemessen als an den näher zur Trasse gelegenen Messpunkten 4, 5, 6, 11 und 12. Während die zeitlichen Schwankungen der magnetischen Induktionen an den übrigen Messpunkten nur gering waren, konnten an MP7 erhebliche Intensitätsschwankungen beobachtet werden (Anhang Seite 32). Die an MP7 gemessenen magnetischen Feldimmissionen gingen vermutlich hauptsächlich von einer Dachständerleitung des Niederspannungsnetzes aus, die auf dem Dach des Hauses über dem Messpunkt 7 verlief.

Der in Deutschland gültige gesetzliche und damit auch rechtlich verbindliche Grenzwert für die Immissionen durch Magnetfelder von Hochspannungsleitungen des öffentlichen Stromnetzes beträgt gemäß 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) 100.000 nT (Nanotesla). Dieser Grenzwert gilt offiziell auch für Daueraufenthaltsbereiche von Personen. Er wurde bei den Messungen auf dem Plangebiet zu knapp 1,6 % (MP8) ausgeschöpft. Vorsorgeorientierte Regelungen empfehlen jedoch erheblich niedrigere Richtwerte. Der erstmals im Jahr 1991 von der schwedischen TCO-Gewerkschaft für Büroarbeitsplätze vorgeschlagene Richtwert für Immissionen durch Magnetfelder beträgt 200 nT. Dieser Wert wird auch für andere Daueraufenthaltsbereiche von Personen und insbesondere für Wohnungen empfohlen.

Elektrische Felder

Obwohl Immissionen durch elektrische Felder wegen ihrer leichten Abschirmbarkeit aus gesundheitlicher Sicht nur von untergeordneter Bedeutung sind, können sie bei größerer Stärke durch ihre indirekte Wirkung



	B_{mittel} (50 Hz)	B_{mittel} (150 Hz)	E_{max}	E_{max} (A)
MP1	1256,7 nT	5,0 nT	312,7 V/m	-
MP2	537,3 nT	2,6 nT	88,4 V/m	-
MP3	302,1 nT	3,0 nT	61,2 V/m	-
MP4	207,1 nT	4,2 nT	25,4 V/m	-
MP5	156,9 nT	5,6 nT	9,6 V/m	-
MP6	145,0 nT	6,9 nT	4,0 V/m	-
MP7	212,4 nT	100,0 nT	-	-
MP8	1566,8 nT	14,4 nT	289,6 V/m	-
MP9	613,9 nT	3,0 nT	39,1 V/m	146,4 V/m
MP10	322,3 nT	2,3 nT	21,5 V/m	61,5 V/m
MP11	209,3 nT	1,9 nT	26,1 V/m	39,7 V/m
MP12	147,0 nT	2,3 nT	23,3 V/m	-

Tabelle 1: Gemessene mittlere magnetische Induktion B_{mittel} [nT] in den Frequenzbereichen 50 Hz (Grundfrequenz) und 150 Hz (Oberwelle) und maximale elektrische Feldstärke E_{max} [V/m] im Frequenzbereich 50 Hz. In der rechten Spalte die Messwerte an den Messpunkten 9A, 10A und 11A.

(Kap. 4, Abb. 5) akute Sicherheitsprobleme verursachen. Auch weisen einige Studienergebnisse darauf hin, dass die Kombination aus elektrischen und magnetischen Feldern biologisch wirksamer ist als eine Feldart allein. Daher wurden die Immissionen durch elektrische Felder ebenfalls untersucht.

Gemäß 26. BImSchV beträgt der Grenzwert für Immissionen durch elektrische Felder von Hochspannungsleitungen 5.000 V/m (Volt pro Meter). Dieser Grenzwert wurde bei den Messungen vom 29.12.2016 zu knapp 6,3 % ausgeschöpft. Sicherheitsprobleme durch elektrische Felder sind aufgrund der gemessenen elektrischen Feldstärken auf dem Plangebiet nicht zu erwarten.

Auch für die Immissionen durch elektrische Felder gibt es vorsorgeorientierte Empfehlungen. Die TCO-Gewerkschaft schlägt für Büroarbeitsplätze einen Richtwert von nur 10 V/m vor. Dieser Wert wurde an den meisten Messpunkten überschritten. Nach erfolgter Bebauung und Begrünung des Plangebietes werden die Immissionen durch elektrische Felder auch im Freien erheblich zurück gehen, so dass sie dann auch aus Sicht des vorsorgenden Immissionsschutzes wahrscheinlich keine Rolle mehr spielen werden.

4. Physikalische Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder im Körper

Hochspannungsleitungen erzeugen durch ihren Betrieb elektrische und magnetische Wechselfelder. Elektrische Felder werden durch jede Materie in ihrer Ausbreitung beeinflusst und werden von Gebäudehüllen weitestgehend zurückgehalten. Magnetfelder dagegen durchdringen ungehindert fast jede Materie und können nur mit sehr teuren Speziallegierungen (Mu-Metall) teilweise abgeschirmt werden. Trafostationen und andere eher kleinräumige magnetische Feldquellen können mit Mu-Metallfolien abgeschirmt werden. Bei Hochspannungsleitungen ist dies nicht nur wegen der exorbitanten Kosten, sondern auch aus praktischen Gründen völlig unmöglich.

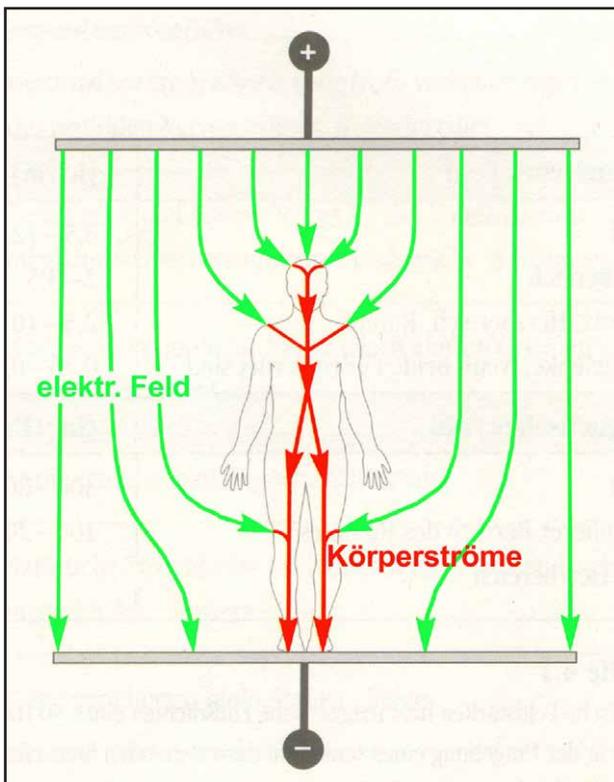


Abb. 3: Der **Influenzeffekt** eines elektrischen Wechselfeldes erzeugt im Körper elektrische **Verschiebestrome**.

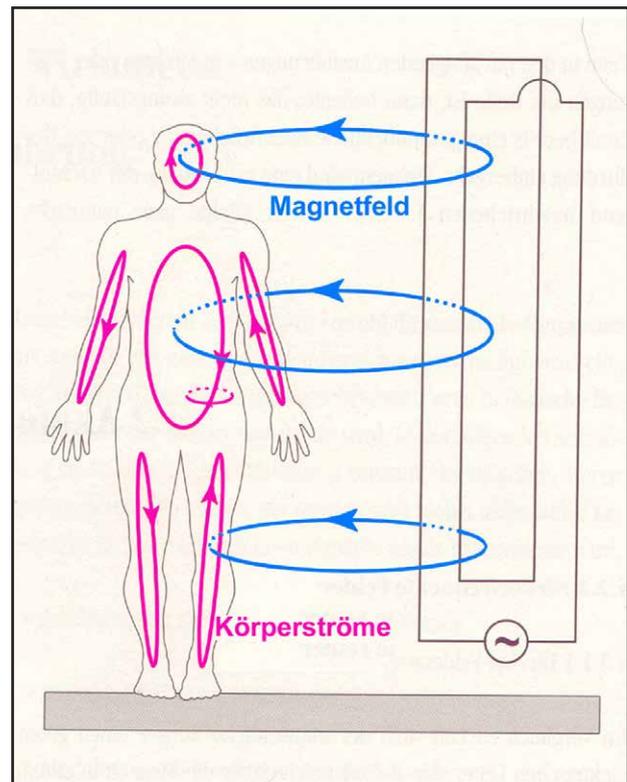


Abb. 4: Der **Induktionseffekt** eines magnetischen Wechselfeldes erzeugt im Körper elektrische **Wirbelströme**.

Elektrische Wechselfelder dringen in den menschlichen Körper nicht ein, erzeugen aber an seiner Oberfläche durch den Influenzeffekt elektrische Potentialdifferenzen, die sich im Inneren des Körpers über Körperströme ausgleichen (Abb. 3). Das Maß für die Belastung durch Körperströme ist die Körperstromdichte, meist angegeben in mA/m² (Milliampère pro Quadratmeter). Außer den Körperströmen sind weitere physikalische Effekte im Körper durch elektrische Felder nicht bekannt.

Da magnetische Felder in den Körper eindringen, ist die Zahl der möglichen physikalischen Effekte größer als bei den elektrischen Feldern. Vier physikalische Effekte von Magnetfeldern im Körper sind denkbar:

1. Körperströme durch den Induktionseffekt (in ruhenden Körpern nur bei Wechselfeldern, Abb. 4)
2. Ablenkung bewegter Ladungsträger (z.B. Ablenkung von Ionen im strömenden Blut)
3. magnetische Polarisation
4. Kraftwirkungen auf magnetisierbare Materie

Die Effekte 1 und 2 sind miteinander verwandt, beide beruhen auf der Lorentz-Kraft. Effekt 2 führt im Bereich strömender Flüssigkeiten im Körper ebenfalls zu Körperströmen. Die Effekte 2 - 4 sind auch bei statischen Magnetfeldern (z.B. Erdmagnetfeld) zu beobachten.

Im Körper treten vor allem die ersten beiden Effekte auf. Der Induktionseffekt führt ähnlich wie der Influenzeffekt bei elektrischen Wechselfeldern zu Körperströmen (Abb. 4), die induzierten Ströme fließen aber im Gegensatz zu den Strömen der elektrischen Felder im Inneren des Körpers im Kreis (Wirbelströme), daher sind bei Exposition durch magnetische Wechselfelder außerhalb des Körpers keine elektrischen Potentiale messbar. Das Maß für die Belastung durch die induzierten Körperströme ist wie bei den elektrischen Feldern die Körperstromdichte. Die magnetische Polarisation (Ausrichtung von Atomkernen und Molekülen) dürfte bei Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen keine Rolle spielen, da dieser Effekt nur bei wesentlich stärkeren Feldern zu beobachten ist und erst bei millionenfach stärkeren Feldern technisch nutzbar wird (z.B. bei der Kernspintomografie). Extrem schwache Kraftwirkungen von Magnetfeldern auf paramagnetische Substanzen im Körper sind möglich, erscheinen aber wegen ihrer außerordentlich geringen Größe vernachlässigbar. Ob der menschliche Körper auch ferromagnetische Substanzen enthält, bei denen mit stärkeren Kraftwirkungen zu rechnen wäre (Effekt 4), ist nicht bekannt. Tauben und andere Tiere nutzen ferromagnetische Magnetitkristalle in ihrem Gehirn zur Orientierung im Erdmagnetfeld.

Fazit: Von den vier bekannten physikalischen Effekten magnetischer Felder kann wahrscheinlich nur der Induktionseffekt (Effekt 1) bei Feldintensitäten unterhalb der Grenzwerte zu biologisch relevanten Wirkungen führen. Damit wird die Wirkung magnetischer Felder auf den menschlichen Organismus im Intensitätsbereich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte vergleichbar mit der Wirkung elektrischer Felder. Im Sinne einer worst-case Betrachtung sollte davon ausgegangen werden, dass sich die von beiden Feldarten erzeugten Körperströme addieren, womit sie sich in ihrer Wirkung also gegenseitig verstärken. Bei den statischen Feldern von Hochspannungsgleichstromleitungen sind durch die im Bereich dieser Leitungen auftretenden Feldintensitäten keine gesundheitlich relevanten Wirkungen auf Menschen zu erwarten.

Die durch ein Magnetfeld von 100.000 nT (Grenzwert 26. BlmSchV) bei einer Frequenz von 50 - 60 Hz induzierte maximale Körperstromdichte beträgt etwa 1 - 2 mA/m². Die gleiche maximale Stromdichte wird bei 50 - 60 Hz durch eine elektrische Feldstärke von 5.000 V/m erwartet. Es besteht also bezüglich der erzeugten Körperstromdichten zwischen elektrischen und magnetischen Wechselfeldern die folgende Äquivalenz:

1000 nT entsprechen 50 V/m oder: 1 V/m entspricht 20 nT

Bei elektrischen Feldern (statische Felder **und** Wechselfelder) treten neben der oben beschriebenen direkten Feldwirkung durch Körperströme aufgrund des Influenzeffektes auch indirekte Wirkungen auf, die ebenfalls zu Körperströmen führen können: Elektrisch isolierte Gebilde werden durch den Influenzeffekt im elektrischen

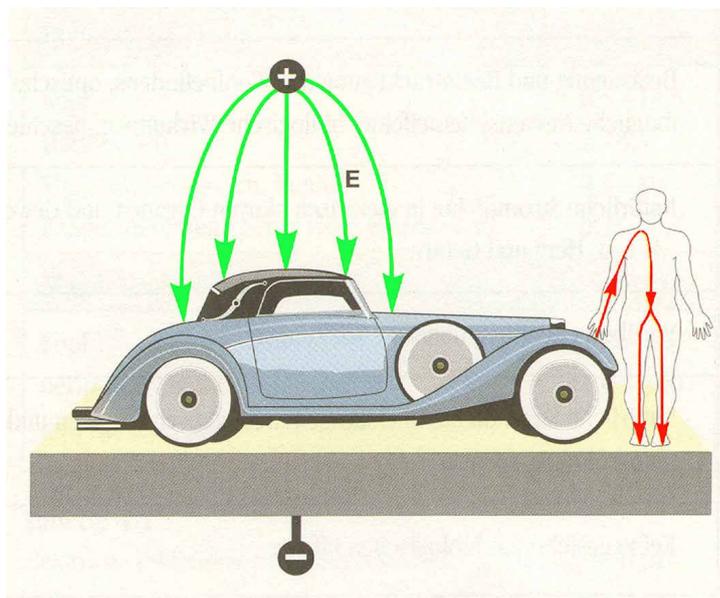


Abb. 5: Indirekte Wirkung eines elektrischen Feldes

Feld aufgeladen. Wenn das Gebilde aus Metall, genügend groß und gegen die Erde elektrisch isoliert ist (z.B. ein großes Fahrzeug auf Gummireifen) sowie das Feld genügend stark ist, fließen bei Berührung des blanken Metalls spürbare Ströme (besonders unter 380 kV-Höchstspannungsleitungen), die im Extremfall sogar lebensgefährlich sein können (Abb. 5). Um Probleme mit dieser indirekten Wirkung elektrischer Felder zu vermeiden, sollten größere Metallgebilde (z.B. Metallzäune) unter Hochspannungsleitungen geerdet werden. Am besten vermeidet man Metallzäune unter Hochspannungsleitungen und verwendet statt dessen Mauern oder Holzzäune zur Abgrenzung. Als Material für Dachrinnen und Regenwasserfallrohre an Gebäuden unter Hochspannungsleitungen sind aus demselben Grund Kunststoffe vorzuziehen.

5. Biologische und gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder

Als wissenschaftlich bewiesen gelten lediglich die akuten Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder auf Grund der induzierten Körperstromdichten. Sie treten erst auf, wenn die gesetzlichen Grenzwerte (siehe Kap. 6.) erheblich überschritten werden. Diese Wirkungen bestehen vor allem in Nervenreizungen, die sich z.B. als Magnetophosphene (optische Sinneseindrücke, ab ca. 1.000 μT) und Muskelzuckungen (ab ca. 10.000 μT / 10.000.000 nT bzw. 500.000 V/m) äußern können. Bei sehr großen Feldstärken besteht durch die Wirkung auf den Herzmuskel akute Lebensgefahr (ab ca. 100.000 μT / 100.000.000 nT bzw. 5.000.000 V/m).

Unterhalb der Grenzwerte sind beim gesunden Menschen akute Feldwirkungen ausgeschlossen. Träger medizinischer Implantate können dagegen auch unterhalb der Grenzwerte beeinträchtigt werden. Experimentell bestätigt wurden Störungen von älteren Herzschrittmachern ab 1.000 V/m (elektrisches Feld) bzw. 20 μT / 20.000 nT (Magnetfeld). Bis heute wurde aber nur ein einziger Fall dokumentiert, bei dem ein Patient durch eine Störung seines Schrittmachers ums Leben gekommen ist, wobei allerdings die Dunkelziffer hoch sein kann. Magnetische Feldintensitäten über den Grenzwerten können bei Diebstahlsicherungssystemen in Kaufhäusern auftreten, hier wurden maximale Induktionen von 100 bis 1.000 μT festgestellt. Solche Sicherungssysteme sollten von Implantatträgern möglichst schnell durchschritten werden. Für Herzschrittmacher gefährliche Felder können auch von elektrischen Rasierapparaten (bis 1.500 μT / 1.500.000 nT auf der Haut), Bohrmaschinen (30 - 2.000 μT) und elektrischen Heizdecken (bis 7.000 V/m unmittelbar am Körper) ausgehen.

Als Belege für ein erhöhtes Leukämierisiko von Kindern bei magnetischen Dauerbelastungen über 0,2 μT - 0,4 μT /200 nT - 400 nT existieren zahlreiche epidemiologische Hinweise. Der Verdacht besteht schon seit mehr als 30 Jahren und wird durch zahlreiche internationale epidemiologische Studien gestützt, konnte aber nicht mit Gewissheit bestätigt werden, weil bisher ein möglicher Wirkungsmechanismus unbekannt ist. Die gefundenen Risikofaktoren für Kinderleukämie liegen je nach Studie (Abb. 6) zwischen 1,1 und mehr als 4. Das

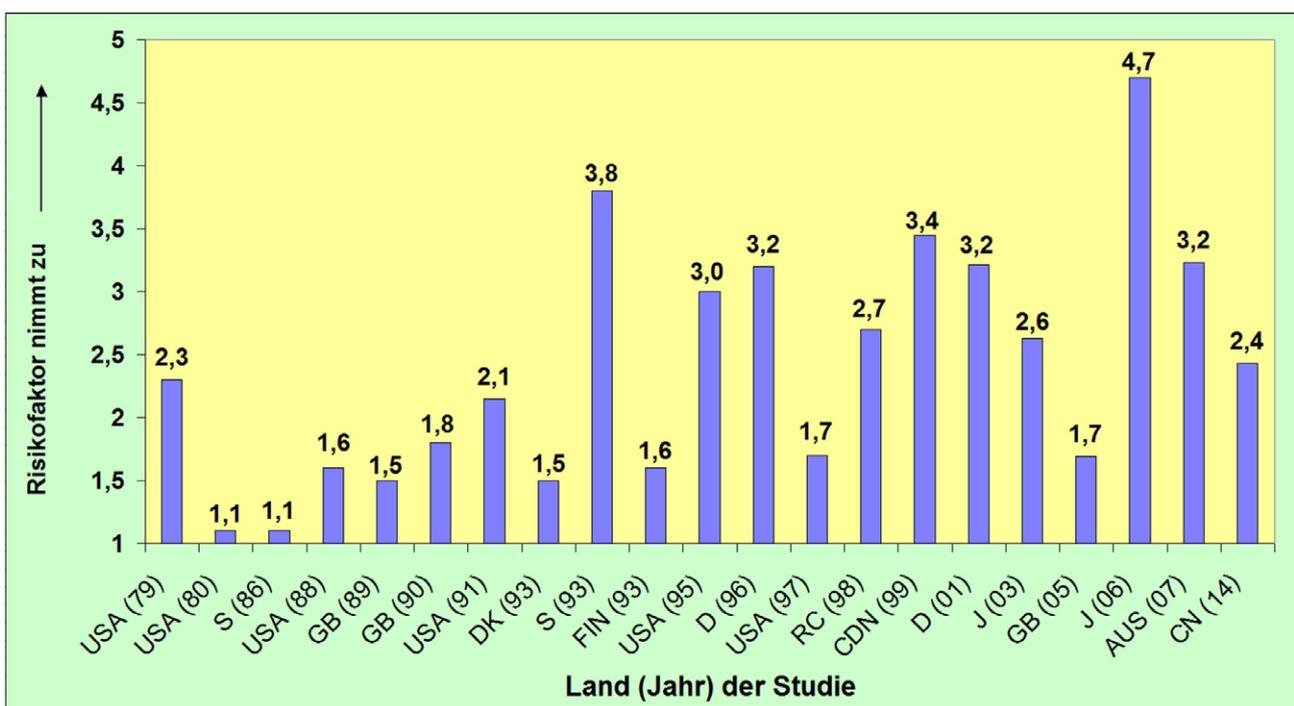


Abb. 6: Leukämierisiken für Kinder durch 50 Hz/60 Hz-Magnetfelder oberhalb 200 - 400 nT im Wohnbereich.



Erkrankungsrisiko war für magnetisch exponiert lebende Kinder also annähernd nicht erhöht (Risikofaktor = 1,1) oder bis mehr als vierfach (höchster Risikofaktor 4,7) erhöht. Bei den neueren Studien mit besserer Expositionsbestimmung wurden zunehmend höhere Risiken gefunden als in den älteren Studien vor 1990.

Einige weitere aktuelle epidemiologische Studien zum Leukämierisiko von Kindern aus den letzten Jahren mit zum Teil höheren gefundenen Risikofaktoren finden sich auf dem EMF-Portal der TH-Aachen unter den folgenden Links. Meist findet man eine Zusammenfassung der Studienergebnisse auf Deutsch.

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=13427&l=g> (Japan 2006. Um den Faktor 4,7 erhöhtes Risiko für akute lymphatische Leukämie bei Expositionen von Kindern über 0,4 μT / 400 nT im Wohnbereich)

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=14787&l=g> (Australien 2007. Längeres Wohnen in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen führt bei Kindern zu einem erhöhten Erkrankungsrisiko für einige Arten von Leukämien und Lymphomen)

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=19148&l=g> (Iran 2010. Um den Faktor 10,78 erhöhtes Leukämierisiko für Kinder bei Wohnen mit geringem Abstand zu 230 kV-Hochspannungsleitungen)

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=18655&l=g> (Großbritannien 2010. Bei Kindern, die nahe an Hochspannungsleitungen leben, Anstieg der Leukämierisikos)

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=22049&l=g> (Frankreich 2013. Erhöhtes Leukämierisiko für Kinder, die näher als 50 m zu einer 250 – 400 kV-Hochspannungsleitung wohnen)

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=24082&l=g> (VR China 2014. Erhöhtes Leukämierisiko, wenn Kinder im Wohnbereich Magnetfeldern über 0,3 μT / 300 nT ausgesetzt waren)

Für das Leukämierisiko durch Magnetfeldexposition von Erwachsenen liegen widersprüchliche Ergebnisse vor, die auf eine geringere Empfindlichkeit im Vergleich zu Kindern hindeuten. Die Inkonsistenz der Forschungsergebnisse bei Erwachsenen kann aber auch damit zusammenhängen, dass sich die Expositionsbedingungen von Erwachsenen wegen deren vergleichsweise größerer Mobilität weniger genau bestimmen lassen als bei kleineren Kindern.

Für langzeitige Magnetfeldbelastungen ab 1 μT / 1.000 nT gibt es Hinweise auf einen Zusammenhang mit Alzheimer Erkrankungen, der Parkinson Krankheit, amyotrophischer Lateralsklerose (ALS) und der Häufigkeit von Herzinfarkten. Oberhalb von 10 μT / 10.000 nT wurden Wirkungen auf das Hormonsystem (Melatonin) festgestellt. Für langzeitige Magnetfeldexpositionen über 1 μT / 1.000 nT liegen Hinweise auf ein erhöhtes Hirntumorrisiko vor.

Vermutlich ist die Kombination von elektrischen und magnetischen Feldern biologisch wirksamer als reine Magnetfelder. Diese Annahme wird durch eine große kanadische Studie gestützt, bei der die kombinierte elektrische und magnetische Belastung von mehr als 31.000 Beschäftigten eines Stromversorgungsunternehmens (Ontario Hydro) bei der Auswertung von Erkrankungsdaten berücksichtigt wurde. Dabei ergab sich für die nur magnetisch exponierte Gruppe (Exposition $>7 \mu\text{T}$) ein 1,6-fach erhöhtes Leukämierisiko, für die nur elektrisch exponierte Gruppe (Exposition $>345 \text{ V/m}$) ein 4,4-faches und für die kombiniert belastete Gruppe (magnetisch über 7 μT und elektrisch über 345 V/m) ein 11-faches Leukämierisiko. Das Risiko bei reinen Magnetfeldern erreichte keine statistische Signifikanz. Diese Untersuchung ist auch ein Hinweis darauf, dass elektrische Felder bei gleicher erzeugter Körperstromdichte biologisch wirksamer sind als Magnetfelder, denn 345 V/m entsprechen dabei ungefähr 7 μT .

Leider werden die biologischen Wirkungen elektrischer Felder kaum untersucht. Die Ursache ist vielleicht das Bestreben der Wissenschaftler, die Parameter eines untersuchten Systems möglichst exakt beherrschen und reproduzieren zu können. Die Stärke elektrischer Felder ist im Gegensatz zu Magnetfeldern nur sehr ungenau bestimmbar, da elektrische Felder bereits durch den Messvorgang selbst oder durch exponierte Körper und sogar durch deren variierende Form erheblich verändert werden. Die Expositionsbedingungen durch elekt-



rische Felder sind also nur sehr unvollkommen zu beherrschen und zu reproduzieren, andererseits können elektrische Felder bei Experimenten durch Erdung und Abschirmung leicht ausgeschlossen werden. Untersuchungen mit reinen Magnetfeldern unter Ausschluss von elektrischen Feldern werden von der Wissenschaft daher bevorzugt. Elektrische Felder werden bei epidemiologischen Studien nur selten gemessen, obwohl sie praktisch immer vorhanden sind und häufig auch die größeren Körperstromdichten hervorrufen. Dieser Anteil an der elektromagnetischen Belastung von Personen bleibt in Studien meist unbekannt.

Nach einer Studie der Universität Mainz aus dem Jahr 2001 (www.emf-portal.de/viewer.php?aid=6207&l=g) liegen in nur 1,4 % der deutschen Wohnungen die Immissionen durch magnetische Wechselfelder über 200 nT, mit Immissionen über 400 nT sind weniger als 0,2 % der Wohnungen exponiert. Der höchste in der Mainzer Studie gemessene Immissionswert betrug bei mehr als 1.800 untersuchten Wohnungen 700 nT. Dies bedeutet, dass die Erkrankungsrisiken durch Langzeitexposition mit stärkeren Feldern oberhalb 400 nT durch epidemiologische Studien kaum ermittelt werden können, weil die für ein statistisch sicheres Studienergebnis erforderliche ausreichend große Teilnehmerzahl nur mit sehr hohem Aufwand zu erreichen ist.

6. Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für elektrische und magnetische Wechselfelder

In den meisten Ländern der EU gelten zum Schutz der Bevölkerung vor elektrischen und magnetischen Feldern von Stromversorgungsanlagen die von der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) ausgearbeiteten Grenzwerte. Die ICNIRP hat keine demokratische Legitimation und ist ein privater in München eingetragener Verein, dessen Mitglieder sich gegenseitig ernennen. In Deutschland wurden die Empfehlungen der ICNIRP ohne Änderung in die Regelungen der am 1. Januar 1997 in Kraft getretenen 26. Bundesimmissionschutzverordnung (26. BImSchV) übernommen. Vor dem 1. Januar 1997 fehlten in Deutschland gesetzliche Regelungen auf diesem Gebiet, es gab lediglich die Normen der DIN/VDE 0848. Im August 2013 trat eine novellierte Fassung der 26. BImSchV in Kraft, die aber der Bevölkerung keinen besseren Schutz vor elektromagnetischen Feldexpositionen bietet und die Grenzwerte der alten Verordnung bestätigt. Als Vorsorgeregulation enthält die Neufassung der 26. BImSchV die Vorschrift, dass in sensiblen Bereichen (z.B. Wohnungen, Schulen, Kindergärten) die Grenzwerte immer eingehalten werden müssen. Ansonsten sind kurzfristige Überschreitungen bis zum Doppelten des Grenzwertes erlaubt. Außerdem dürfen Wohngebäude nicht mehr mit Höchstspannungsleitungen der Spannungsebenen 220 kV und höher überspannt werden.

Das Konzept der deutschen Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder von Stromversorgungsanlagen beruht auf dem Körperstromdichte-Modell. Danach soll die mittlere Körperstromdichte infolge Feldexposition bei Dauerbelastung den Wert 2 mA/m² nicht überschreiten. Körperstromdichten von 1 - 2 mA/m² werden bei einer Frequenz von 50 Hz durch ein 100 µT / 100.000 nT starkes Magnetfeld oder durch ein 5.000 V/m starkes elektrisches Feld erzeugt. Bei 16,7 Hz (Bahnstrom) sind die Werte dreimal so hoch. Das Körperstromdichte-Modell ist zur biologischen Bewertung der elektromagnetischen Exposition durch Felder von Stromversorgungsanlagen sicherlich unzureichend, da es wichtige Parameter wie die Kurvenform (z.B. Sinus- oder Pulsform), die unterschiedliche Wirkung verschiedener Frequenzen oder den Gehalt von kurzen Feldspitzen (Transienten) und Oberwellen nicht berücksichtigt. Obwohl das einfache Körperstromdichte-Modell wissenschaftlich eigentlich nicht mehr haltbar ist, dient es in Ermangelung einer besseren Alternative weiterhin als Grundlage der internationalen Grenzwertgesetzgebung.

Etwa ein Dutzend der EU-Staaten haben der unsicheren wissenschaftlichen Basis der ICNIRP-Grenzwerte Rechnung getragen und vorsorgeorientierte Regelungen eingeführt. Einige Länder haben die gesetzlichen Grenzwerte allgemein verschärft, andere haben die Grenzwerte nur für sensible Bereiche (z.B. Wohnungen)



	Elektrische Feldstärke [V/m]	Magnetische Induktion [nT]	Bemerkungen
Deutschland 2013 (26. BImSchV)	5.000	100.000	Gesetzliche Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung
Nordrhein-Westfalen 1998	1.300	10.000	Abstandserlass NRW, Handlungsanleitungen für die Bauleitplanung
Schweiz 2000 (NISV)	-	1.000	Gesetzlicher Anlagegrenzwert für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN)*
Niederlande	-	400	Bei neuen Leitungen für sensible Bereiche, Berechnung für 30 % Auslastung der Leitung
Litauen	500	10.000	Gesetzliche Grenzwerte für Wohnungen
Slowenien	500	10.000	Gesetzliche Grenzwerte für Wohnungen, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Spielplätze, Parks, öffentliche Gebäude, Ausflugsziele
Schwedische Angestelltengewerkschaft TCO 1991	10	200	Computerbildschirme, Immissionen am Büroarbeitsplatz
NCRP (USA) 1995	10 - 50	200 - 1.000	Vorschlag des National Council on Radiation Protection für den US-Kongress
BioInitiative 2012	-	100** - 200	Für Wohnungen, Schulen und andere bewohnbare Bereiche
Ecolog-Institut 1995	20	100 - 200	Empfehlung für Wohnungen
Baubiologie	1	20	Möglichst natürliche Immissionswerte werden angestrebt (Niederrfrequente Wechselfelder ~ 0)

Tabelle 2: Gesetzliche Grenzwerte, Referenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für elektrische und magnetische Wechselfelder von Hochspannungsleitungen. Grenzwert 26. BImSchV für statische Magnetfelder (Gleichstrom): 500.000 nT
* OMEN im Sinne der schweizer NISV sind z.B. Wohnräume, Schulen, Kindergärten, ständige Arbeitsplätze, Kinderspielplätze, Krankenhäuser und Pflegeheime.

gesenkt. Im Detail unterscheiden sich die Vorsorgeregulungen von Land zu Land. In Tabelle 2 sind die Regelungen einiger Länder sowie Vorsorgeempfehlungen verschiedener Organisationen zusammengestellt.

Die Schweiz führte als erstes europäisches Land Vorsorgegrenzwerte ein: Seit dem 1. Februar 2000 begrenzt in der Schweiz die Verordnung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN: Wohnräume, Schulen, Krankenhäuser, Büroräume, Altersheime) die durchschnittliche magnetische Dauerbelastung durch Felder von Stromversorgungsanlagen auf 1 μ T (= 1.000 nT). Dieser als Anlagegrenzwert bezeichnete Immissionsrichtwert muss z.B. von allen Hochspannungsleitungen, die nach dem 1. Februar 2000 neu gebaut oder umgerüstet wurden an Orten mit empfindlicher Nutzung einge-



halten werden. Ein besonderer Grenzwert für elektrische Felder an Orten mit empfindlicher Nutzung wurde nicht erlassen, da elektrische Felder kaum in Gebäude eindringen. Im Freien unter Hochspannungsleitungen spielen elektrische Felder aber aus Sicht des Immissionssschutzes eine wichtige Rolle.

Im Jahre 1991 empfahl die schwedische TCO-Gewerkschaft, die elektromagnetischen Immissionen an Bildschirmarbeitsplätzen auf das mit vertretbarem Aufwand erreichbare Maß zu beschränken. Die empfohlenen Richtwerte - 0,2 μ T / 200 nT für das Magnetfeld und 10 V/m für das elektrische Feld - basieren weniger auf gesundheitlich begründeten Zahlen, sondern orientieren sich vielmehr am mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln technisch Machbaren. Vorausgegangen waren häufige Klagen von Arbeiterinnen an Computerbildschirmen, die an erheblichen Hautproblemen im Gesicht und hoher Infektanfälligkeit gegenüber Erkältungskrankheiten litten. Außerdem lagen einige Studien vor, die bei Bildschirmarbeiterinnen ein höheres Risiko für Fehlgeburten gefunden hatten. Die Hautprobleme verschwanden nach der Einführung von Monitoren, die der TCO-Norm entsprachen.

Der nationale Strahlenschutzrat in den USA (NCRP), ein beratendes Gremium des Amerikanischen Kongresses, empfahl 1995 nach Abschluss einer großen Studie, die Immissionen durch Netzstromfelder im Bereich von Schulen, Krankenhäusern und Büros auf 200 - 1.000 nT (Magnetfeld) bzw. 10 - 50 V/m (elektrisches Feld) zu begrenzen. Bis heute gibt es in den USA keine bundeseinheitlichen gesetzlichen Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinheit vor niederfrequenten Feldexpositionen. Die Regelungen auf diesem Gebiet sind Angelegenheit der einzelnen Bundesstaaten, wobei die meisten Bundesstaaten noch keine Regelungen für elektromagnetische Feldimmissionen eingeführt haben.

Die BioInitiative Working Group (www.bioinitiative.org) ist ein Zusammenschluss von 29 (Stand 2012) international renommierten Wissenschaftlern, die sich mit der Erforschung von Gesundheitsrisiken durch Exposition mit elektromagnetischen Feldern beschäftigen. Bei einigen konkreten oben zum Teil noch nicht erwähnten Erkrankungsrisiken kommen sie zu folgenden Ergebnissen:

- Bei Frauen mit Langzeitexposition am Arbeitsplatz von 1.000 nT und mehr sind niederfrequente magnetische Felder ein Risikofaktor für Brustkrebs.
- Es gibt starke wissenschaftliche Hinweise, dass Langzeitexpositionen durch niederfrequente Magnetfelder ein Risikofaktor für die Alzheimer-Krankheit und Amyotrophische Lateralsklerose sind.
- Es gibt wissenschaftliche Hinweise dafür, dass dauerhafte Expositionen durch niederfrequente Magnetfelder das Erkrankungsrisiko für Hirntumore und maligne Melanome erhöhen.

Das Ecolog-Institut in Hannover (www.ecologinstitut.de) ist eine unabhängige Institution, die bis Ende 2013 regelmäßige Veröffentlichungen zur gesundheitlichen Problematik von elektromagnetischen Immissionen und zum Stand der einschlägigen Forschung herausgegeben hat (EMF-Monitor). Das von Wissenschaftlern geführte Institut empfiehlt auf wissenschaftlicher Basis begründete Vorsorgerichtwerte für Immissionen durch elektrische und magnetische Felder von Stromversorgungsanlagen, die in der Größenordnung der TCO-Norm liegen (100 - 200 nT magnetische Induktion bzw. 10 - 20 V/m elektrische Feldstärke). Das Ecolog-Institut argumentiert mit Vorsorgeüberlegungen, da sehr zahlreiche Studien existieren, die schon wenig oberhalb der empfohlenen Richtwerte biologische Effekte und erhöhte Erkrankungsrisiken gefunden haben.

Baubiologen fordern für elektromagnetische Felder extrem niedrige Immissionswerte, die auch für elektrosensible Personen akzeptabel sein sollen. Ob es Elektrosensibilität wirklich gibt, konnte wissenschaftlich noch nicht geklärt werden. Auf jeden Fall liegen die baubiologischen Richtwerte sehr weit unterhalb von wissenschaftlich begründbaren biologischen Wirkschwellen und dürften somit einen absolut sicheren Schutz bieten.

Der in der obigen Tabelle aufgeführte und von mehreren Organisationen empfohlene wissenschaftlich begründete Vorsorgerichtwert 200 nT ist in erster Linie für Wohnungen und andere Daueraufenthaltsbereiche von Jugendlichen und Erwachsenen gedacht. Es liegen einige Studienergebnisse vor, die auf eine größere Empfindlichkeit bei nächtlicher magnetischer Feldexposition im Schlaf hinweisen, so dass die Anwendung dieses Vorsorgerichtwertes für Wohnungen strikter gehandhabt werden sollte als für andere Daueraufenthaltsbereiche, z.B. Kindergärten oder Schulen.



7. Planerische Grundsätze des neuen LEP NRW bei der Ausweisung von Baugebieten an Hochspannungstrassen

Mit dem Abstandserlass von 1998 gab es in NRW für raumordnerische Planungen erstmals Abstandsempfehlungen bei der Ausweisung von neuen Wohngebieten in der Nähe von Hochspannungstrassen. Danach sollen neue Wohngebäude abhängig von der Spannungsebene folgende Abstände zur Trassenmitte von Hochspannungsleitungen einhalten:

110 kV	10 m
220 kV	20 m
380 kV	40 m

Die Regelungen des Abstandserlasses von 1998 sind als unzureichend einzustufen, wenn man die damals schon bekannten Vorsorgerichtwerte der TCO-Norm und andere Vorsorgeempfehlungen für die in Wohnbereichen maximal zulässigen magnetischen Feldimmissionen (200 nT) zu Grunde legt. Der Entwurf des neuen LEP (Landesentwicklungsplan) NRW in der Fassung vom 22. September 2015 sieht dagegen besonders große Sicherheitsabstände vor. Danach soll bei der bauplanungsrechtlichen Ausweisung von Baugebieten, die dem Wohnen dienen, oder in denen Anlagen vergleichbarer Sensibilität (Schulen, Kindertagesstätten) zulässig sind, nach Möglichkeit einen Abstand von mindestens 400 m zu den Trassen von Höchstspannungsleitungen der Spannungsebene 220 kV und höher eingehalten werden. Bei der Ausweisung von Außenbereichssatzungen soll nach Möglichkeit ein Abstand von mindestens 200 m eingehalten werden.

Wenn es bei den Abstandsforderungen des neuen LEP nur um den Immissionsschutz vor erhöhten elektromagnetischen Feldimmissionen ginge, sollte es wie im Abstandserlass von 1998 für 220 kV-Leitungen und Leitungen höherer Spannungsebenen (z.B. 380 kV) unterschiedliche Richtwerte geben, denn die Feldimmissionen steigen mit höherer Spannungsebene meist an. Es geht bei den raumordnerischen Regelungen im Entwurf des neuen LEP auch darum, durch größere Abstände zwischen Wohnbebauungen und Höchstspannungsfreileitungen Konflikte beim möglichen Ausbau einer bestehenden Trasse zu reduzieren.

Die Grenzwerte der 26. BImSchV sind so hoch, dass sie auch den Bau von Wohnungen unter einer 380 kV-Höchstspannungsleitung erlauben. Insofern lassen sich aus dem Bundesrecht bei Hochspannungsleitungen keine Mindestabstände für Wohnbebauungen, Schulen und Kindergärten ableiten. Allerdings untersagt die 26. BImSchV in der novellierten Fassung seit dem Jahr 2013 ab der Spannungsebene 220 kV das direkte Überspannen von Wohnungen, Schulen und Kindergärten mit Hochspannungsleitungen.

Wenn man den in Kapitel 6 vorgeschlagenen Vorsorgerichtwert 200 nT für die mittleren Immissionen durch Magnetfelder von Hochspannungsleitungen zu Grunde legt, kommt man auf dem Plangebiet an der Straße *Im Klostergarten* auf einen Mindestabstand von etwa 100 m. Wenn man den Vorsorgerichtwert auf 400 nT verdoppelt, weil die Kinder sich nur tagsüber auf dem Plangebiet aufhalten, kommt man auf einen Abstand zur Straße Im Klostergarten von ca. 45 m.

Die elektrischen Feldemissionen der Leitungen können bei der Frage nach dem Sicherheitsabstand vernachlässigt werden, weil sie nicht in Gebäude eindringen und im Freien auf dem Plangebiet durch die Bebauung und Vegetation (Büsche, Bäume) weitestgehend abgeschirmt werden.

Aus Sicht des vorsorgenden Immissionsschutzes sind die oben beschriebenen Abstandsregelungen des Entwurfs des LEP vom 22.09.2015 nicht zu begründen, und sie gehen sehr weit über die Forderungen des BImSchG und die Grenzwerte der 26. BImSchV hinaus. Die großen geforderten Abstände dienen in erster Linie der Konfliktvermeidung beim Ausbau von bestehenden Stromtrassen.

8. Umrüstung der 110/380 kV Freileitung Weißenthurm - Sechtem im Rahmen des Projektes Ultramet

Die dem Campus der FCSB benachbarte Hochspannungsleitung 110/380 kV Weißenthurm - Sechtem (Abb. 7) wird im Rahmen des Projektes *Ultramet* in naher Zukunft umgerüstet, wodurch sich die Immissionen durch elektromagnetische Felder auf dem Campus ändern werden. Eines der vorhandenen 380 kV-Drehstromsysteme wird durch ein Gleichstromsystem ersetzt, so dass eine Hybridleitung entsteht, bei der auf einem Mast nebeneinander drei Wechselstromsysteme- und ein Gleichstromsystem vorhanden sind.

Der erste deutsche Versuch zur Übertragung von elektrischer Energie über eine größere Entfernung wurde 1882 mit einer Hochspannungs Gleichstrom Übertragung (HGÜ) gemacht. Über eine Strecke von 57 km wurde mit einer Betriebsspannung von 2 kV die bescheidene Leistung von etwa 1 kW von Miesbach (am Nordrand der Alpen) nach München zur *Münchener Elektrizitäts-Ausstellung* übertragen. Obwohl Gleichstrom zum Transport von elektrischer Energie über größere Entfernungen besser geeignet ist als Wechselstrom, wurden in der Folgezeit fast nur Wechselstromleitungen gebaut, weil sich die zur verlustarmen Fernübertragung erforderliche Hochspannung mit der damaligen Technik bei Gleichstrom nur sehr aufwendig erzeugen ließ, während dies bei Wechselstrom mit Transformatoren auf einfache Weise und fast verlustlos möglich ist. Erst durch die Entwicklung

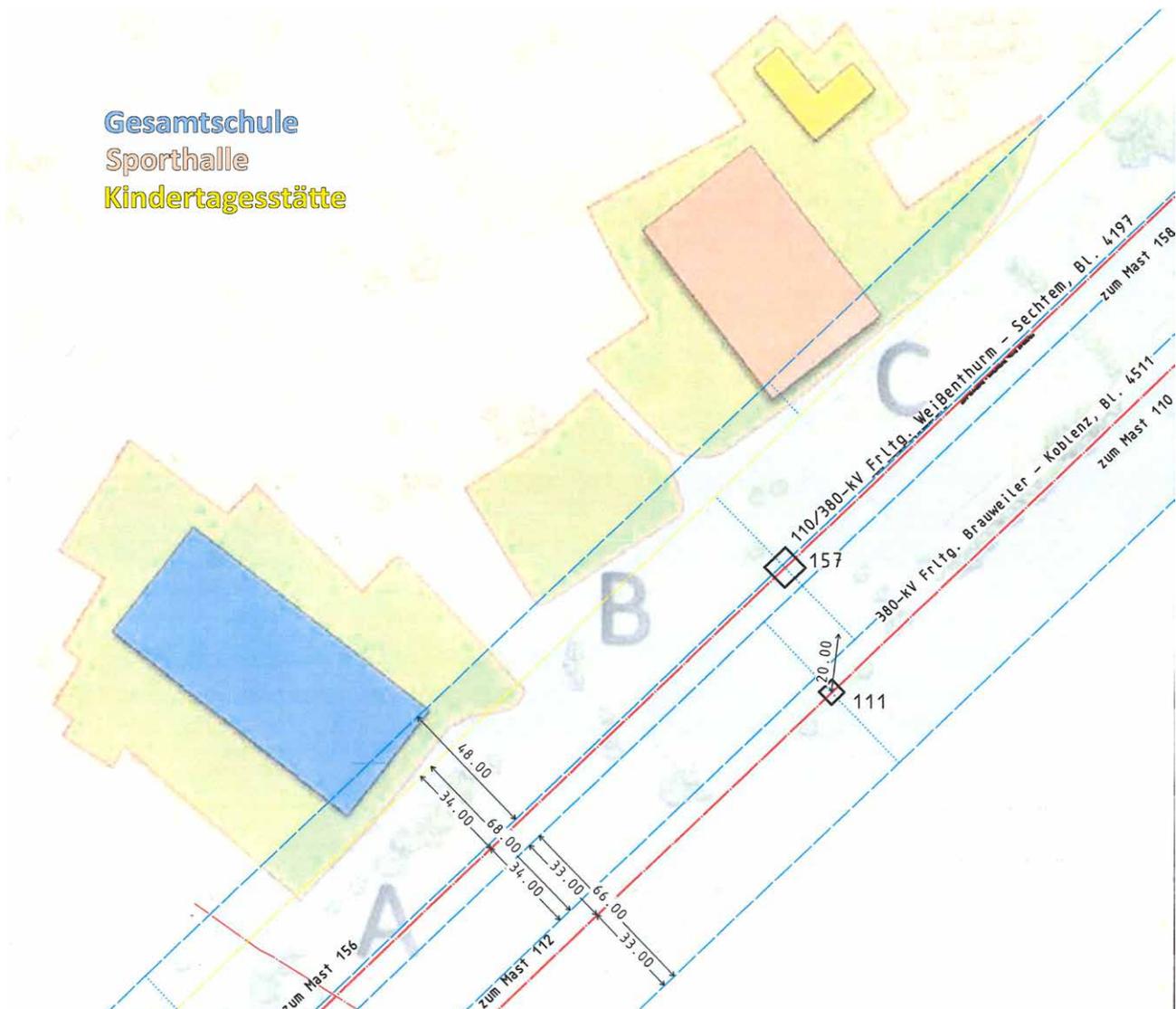


Abb. 7: Geplanter Campus der FCSB mit den beiden benachbarten Hochspannungsleitungen Weißenthurm - Sechtem (Mast Nr. 157) und Brauweiler - Koblenz (Mast Nr. 111)

leistungsstarker Halbleiter ist die HGÜ bei der Fernübertragung von elektrischer Energie gegenüber der etablierten Wechselstromtechnik konkurrenzfähig geworden und kann vor allem bei größeren Entfernungen ihre (auch wirtschaftlichen) Vorteile ausspielen. Einer der Vorteile ist die bei gleicher Spannung größere übertragbare Leistung einer Gleichstromleitung. Durch die Umrüstung auf Gleichstrombetrieb wird also die Leistungsfähigkeit einer bestehenden Leitung erhöht.

Der Umbau der Hochspannungsleitung 110/380 kV Weißenthurm - Sechtem erfolgt nach den aktuellen Planungen von Amprion wie in Abb. 8 dargestellt. Das dem Campus der FCSB nächstgelegene 380 kV-Wechselstromsystem wird durch ein Gleichstromsystem mit ebenfalls drei Leiterseilen ersetzt. Die Spannungen der Leiterseile sind +380 kV und -380 kV, die Spannungsdifferenz zwischen beiden Leiterseilen beträgt also 760 kV. Das dritte Leiterseil liegt auf Erdpotential und hat daher die Spannung 0 V. Zum Transport von Gleichstrom werden nur zwei Leiterseile benötigt. Über das dritte Leiterseil fließen im Normalbetrieb nur schwache Ausgleichströme, die man unter Einsparung des dritten Leiterseils auch durch die Erde leiten könnte. Das dritte Leiterseil bietet aber den Vorteil, dass bei Ausfall eines der jeweils zwei Konverter an den Enden der Leitung (in Osterath und Philippsburg) noch die halbe elektrische Leistung übertragen werden kann.

Bei gleicher effektiver Spannung werden zum Aufhängen von HGÜ-Leiterseilen am Mast längere Isolatoren benötigt als bei Wechselstromleitungen. Daher werden die vorhandenen Isolatoren für die Aufhängung der Gleichstromseile durch eine Konstruktion nach Abb. 10 ersetzt. Durch diese Konstruktion sind längere

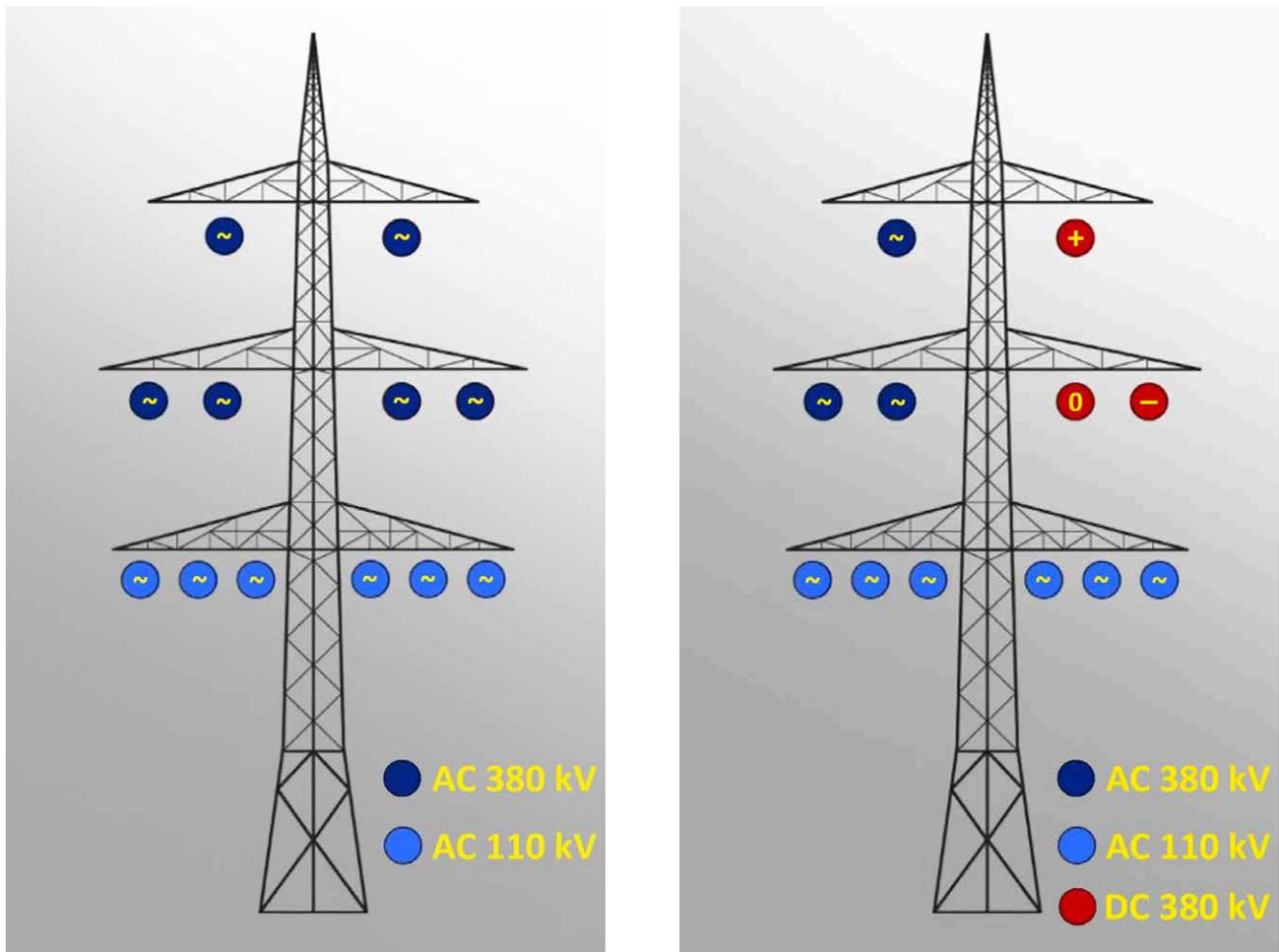


Abb. 8: Links derzeitige Konfiguration der Leitung Sechtem - Weißenthurm mit je zwei Dreiphasenwechselstromsystemen 110 kV und 380 kV und rechts Hybridmast nach der Umrüstung (z.B. Mast 157, Blickrichtung Weißenthurm). Blau: Wechselstrom (AC); Rot: Gleichstrom (DC)

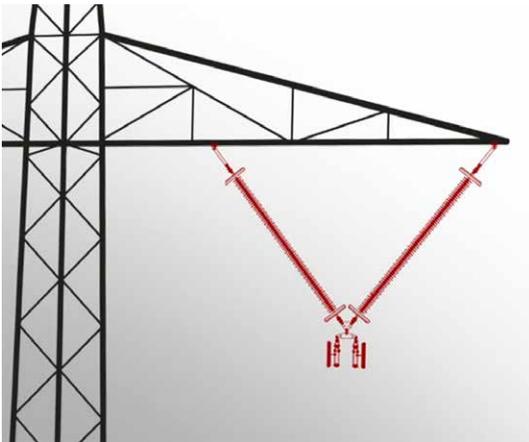


Abb. 9: Isolatorpaar für das Gleichstromleiterseil an einem umgerüsteten Wechselstrommast

Isolatoren möglich, und die Leiterseile werden in der Mastgeometrie fixiert, so dass sie auch bei starkem Wind kaum aus ihrer Ruheposition ausgelenkt werden und der Abstand der Leiterseile zum geerdeten Mast nicht unzulässig klein werden kann.

Nach Berechnungen mit dem Simulationsprogramm Winfield V4.0 gehen die Immissionen durch magnetische Wechselfelder nach der Umrüstung der Leitung gemäß Abb. 8 (rechts) im Bereich des Campus der FCSB um mehr als 20 % zurück. Andererseits entstehen Immissionen durch magnetische Gleichfelder. Nach Simulationsberechnungen sind selbst bei Vollast des Gleichstromsystems im Bereich des Campus Immissionen durch statische Magnetfelder von nicht mehr als 4 μT zu erwarten. Zum Vergleich: Das Magnetfeld der Erde (statisches Magnetfeld) hat in Deutschland eine mittlere Induktion von 40 - 45 μT .

Gleichfelder (statische Felder) sind biologisch wesentlich weniger aktiv als Wechselfelder, da sie in ruhenden Körpern keine elektrischen Ströme induzieren. Die auf Seite 8 in den Abbildungen 3 und 4 dargestellten Effekte, welche im Körper zur Erzeugung von elektrischen Strömen führen, treten bei magnetischen bzw. elektrischen Gleichfeldern nicht auf. Der Grenzwert der 26. BImSchV für statische Magnetfelder beträgt 500 μT und ist damit fünfmal größer als für die magnetischen Wechselfelder der üblichen Wechselstromleitungen. Der Grenzwert 500 μT wurde nicht aus Gesundheitsgründen gewählt, denn dann hätte er noch viel größer sein können, sondern zur Vermeidung unbeabsichtigter Schaltvorgänge an medizinischen Implantaten (z.B. Herzschrittmacher).

Die von einer HGÜ-Leitung erzeugten Felder sind keine völlig reinen Gleichfelder, denn aufgrund der Schaltvorgänge in den Konvertern hat die Gleichspannung eine gewisse Restwelligkeit. Durch technische Maßnahmen in den Konvertern wird die Restwelligkeit so begrenzt, dass sie bei Berechnungen nach der 26. BImSchV vernachlässigt werden kann.

Im Bereich von Höchstspannungsleitungen werden durch die hohen auftretenden statischen elektrischen Feldstärken Luftmoleküle ionisiert. Dieser Effekt ist bei Gleichstromleitungen stärker als bei Wechselstromleitungen mit gleicher Effektivspannung. Die im Vergleich zu Wechselstromleitungen verstärkte Ionisation der Luft durch HGÜ-Leitungen wird von Laien manchmal als ernsthaftes Problem angesehen.

Ionen sind natürliche Bestandteile der Luft. Sie entstehen durch UV-Strahlung, starke natürliche elektrische Felder (z.B. bei Gewittern) und natürliche radioaktive Bestandteile der Luft (Radon, Kohlenstoff 14, Tritium) sowie durch natürliche Gammastrahlung, die aus der Erdoberfläche austritt. Luftionen entstehen in erheblichem Maße auch an großen Wasserfällen (z.B. am Rheinfall) oder an der Küste durch die Meeresbrandung. Saubere Luft (z.B. im Hochgebirge) enthält in der Regel eine höhere Ionenkonzentration als die schmutzige Luft in Ballungszentren. Eine hohe Ionenkonzentration der Luft sorgt durch die Bildung von größeren Staubagglomeraten für eine beschleunigte Sedimentation von Staubteilchen und somit zu einer Reinigung der Luft. Die besonders gute Fernsicht bei Föhnwetter im Alpenvorland ist auf diesen Reinigungseffekt durch hohe Ionenkonzentrationen in der Luft zurückzuführen. Aufgrund der verstärkten Ionisation der Luft in der Nähe von HGÜ-Leitungen sind gesundheitliche Risiken nicht zu erwarten.

In etwas größerem Maße als bei einer Wechselspannungsleitung werden an den Isolatoren einer HGÜ-Leitung geringe Mengen an Ozon und Stickoxiden gebildet. Ob es dadurch zu gesundheitlich negativen Auswirkungen auf den Menschen kommen kann, ist derzeit Gegenstand der Diskussion und der Forschung. Die entstehenden Mengen an Ozon und Stickoxiden sind allerdings so klein, dass sie in wenigen Metern Abstand kaum noch nachweisbar sind. Eine gesundheitliche Relevanz dieser Emissionen ist eher nicht zu erwarten.

8. Zusammenfassung und Empfehlungen

Auf dem Plangebiet nordwestlich der Straße *Im Klostergarten* in 53347 Alfter-Oedekoven sollen eine Gesamtschule, eine Kindertagesstätte sowie eine Sporthalle errichtet werden. Im Abstand von 40 - 45 m zum Plangebiet verläuft eine 110/380 kV Höchstspannungskombileitung mit zwei dreiphasigen Systemen je Spannungsebene sowie parallel zu dieser Leitung im Abstand von weiteren 40 m eine 380 kV Höchstspannungsleitung mit zwei dreiphasigen Systemen. Wegen der Nähe zu den Höchstspannungsleitungen treten auf dem Plangebiet erhöhte Immissionen durch elektrische und magnetische Wechselfelder auf.

Die 110/380 kV Höchstspannungskombileitung wird in den kommenden Jahren durch den Betreiber Amprion im Rahmen des Projektes *Ultrahnet* auf teilweisen Gleichstrombetrieb umgerüstet.

An 12 Messpunkten auf dem Plangebiet wurden die Immissionen durch elektrische Wechselfelder (elektrische Feldstärke, Einheit V/m, Volt pro Meter) und magnetische Wechselfelder (magnetische Induktion, Einheit nT, Nanotesla) im Frequenzbereich 50 Hz gemessen (Ergebnistabelle Seite 7). Die höchsten auf dem Plangebiet gemessenen Immissionen betragen 312,7 V/m bzw. 1566,8 nT. Bei den magnetischen Feldern wurde neben der Intensität der Grundwelle (Frequenz 50 Hz) auch die Stärke der ersten Oberwelle ungerader Ordnung (Frequenz 150 Hz) bestimmt, weil ein hoher Oberwellengehalt die biologische Wirkung eines Magnetfeldes verstärkt (Ergebnisse im Diagramm Abb. 10 dargestellt).

Die in der 26. BImSchV definierten gesetzlichen Grenzwerte für die Feldimmissionen im Bereich von Hochspannungsleitungen betragen 5.000 V/m für die elektrische Feldstärke und 100.000 nT für die magnetische Induktion. Diese Grenzwerte wurden zu 6,3 % (elektrisches Feld) bzw. zu 1,6 % (Magnetfeld) ausgeschöpft. Aus Sicht der Bundesgesetzgebung spricht nichts gegen die vorgesehenen Nutzungen auf dem Plangebiet.

Viele europäische Staaten haben in den letzten Jahren für Planungen von Wohnsiedlungen und anderen empfindlichen Nutzungen an Hochspannungsleitungen bzw. für den Bau von neuen Hochspannungsleitungen an sensiblen Bereichen strengere Grenzwerte eingeführt oder zumindest Vorsorgeempfehlungen, die möglichst eingehalten werden sollen (Kap. 6). Der in der Schweiz an Orten mit empfindlicher Nutzung gültige gesetzliche Grenz-

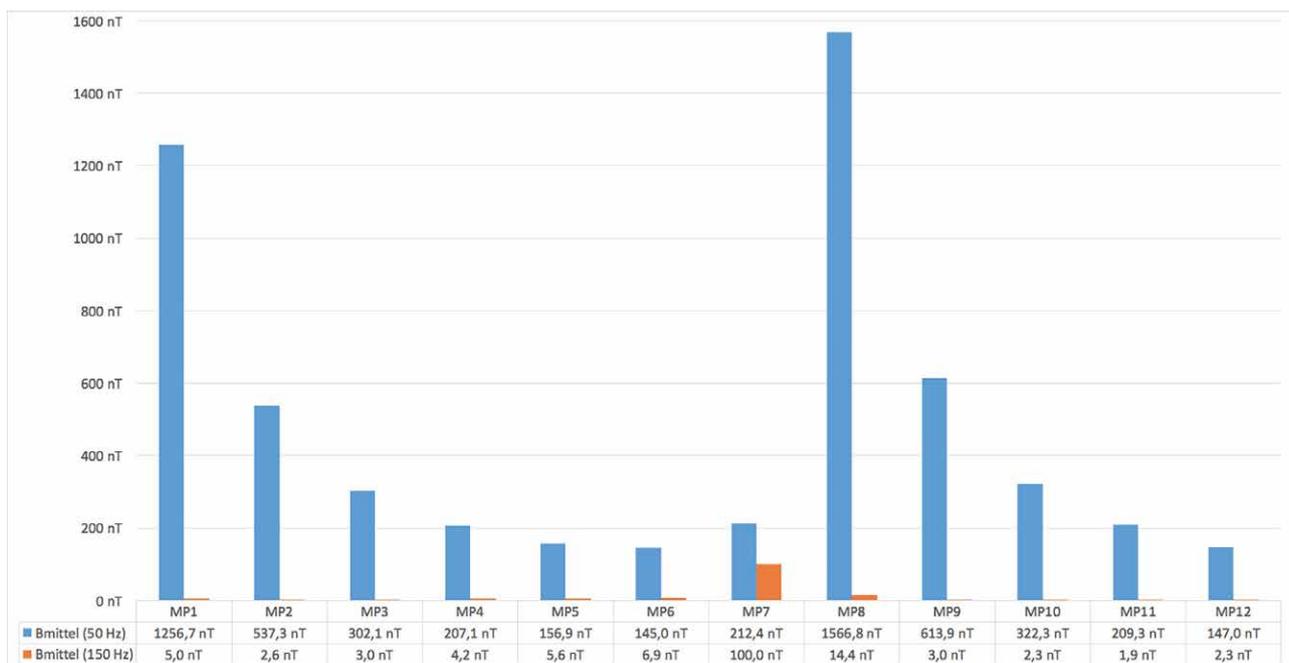


Abb. 10: An allen Messpunkten gemessene magnetische Induktion [nT] im Frequenzbereich 50 Hz (Grundfrequenz) und im Oberwellenbereich 150 Hz



wert für Magnetfeldimmissionen durch Hochspannungsleitungen (1.000 nT) wird am Südrand des Plangebietes überschritten (MP1 und MP8). Die Hochspannungstrasse wäre in der vorliegenden Bauweise in der Schweiz nicht genehmigungsfähig. Die Immissionen auf dem Plangebiet überschreiten teilweise den für Neubauten von Hochspannungsleitungen in der Nähe von Wohnsiedlungen gültigen niederländischen Richtwert (400 nT).

Aufgrund offensichtlicher konzeptioneller Schwächen bei der Festlegung der Grenzwerte in der 26. BImSchV (es werden nur akut auftretende Schäden in Betracht gezogen, die Existenz von Langzeitwirkungen wird ausgeschlossen, Kap. 6) sollten die Immissionen durch magnetische Wechselfelder in Daueraufenthaltsbereichen von Personen, wozu in erster Linie Wohnungen zählen, vorsorglich nicht nach den Grenzwerten der 26. BImSchV beurteilt werden.

Um alle Erkrankungsrisiken zu vermeiden, für die es bei Langzeitexposition mit magnetischen Wechselfeldern unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV derzeit wissenschaftliche Hinweise gibt, empfiehlt sich für Wohnungen ein Vorsorgeimmissionswert von durchschnittlich 200 nT und für Schulen und Kindergärten ein Orientierungswert von 400 nT. Die Einhaltung von Vorsorgeimmissionswerten ist nachts wichtiger als tagsüber.

Es steht zwar fest, dass ein hoher Oberwellengehalt die biologische Wirkung magnetischer Feldimmissionen verstärkt, mangels eines geeigneten Wirkmodells ist es aber bisher nicht möglich, aus dieser Tatsache eine genaue Richtwertempfehlung zu formulieren. Bei den von der Hochspannungstrasse ausgehenden Magnetfeldern wurde ein sehr geringer Oberwellengehalt gemessen, so dass die Immissionen auf dem Plangebiet bei gleicher Intensität als weniger beeinträchtigend einzustufen sind als die Immissionen durch z.B. die Niederspannungserdkabel oder Dachständerleitungen der Stromversorgung, welche in der Regel einen höheren Oberwellengehalt aufweisen. Die an MP7 gemessenen magnetischen Feldimmissionen mit ihrem hohen Oberwellengehalt von fast 50 % wurden von einer Dachständerleitung oder einem Erdkabel des Niederspannungsnetzes verursacht.

Die elektrischen Felder der Hochspannungsleitungen dringen nicht in Gebäude ein, verstärken aber im Freien die biologische Wirkung von Expositionen durch magnetische Wechselfelder. Aus Gründen der Vorsorge sollten daher die Immissionen durch elektrische Felder auf dem Plangebiet durch eine ausreichend hohe Bepflanzung der Südgrenze an der Straße *Im Klostergarten* reduziert werden. Schon durch eine nicht blickdichte lockere Bepflanzung mit einzelnen höheren Bäumen könnte eine fast vollständige Abschirmung gegen die elektrischen Feldemissionen der Hochspannungsleitungen (auch im Winter bei blattlosen Baumkronen) erreicht werden.

Die im Entwurf des neuen LEP NRW vom 22.09.2015 für neue Wohnbebauungen vorgesehenen Abstände zu Höchstspannungstrassen ab 220 kV betragen 400 m bzw. in Außenbereichen 200 m. Diese großen Abstände sind im dicht besiedelten NRW kaum praktikabel und orientieren sich auch nicht an wissenschaftlich begründbaren Vorsorgerichtwerten für elektromagnetische Feldimmissionen durch Hochspannungsleitungen. Sie dienen in erster Linie den Bedürfnissen der Leitungsbetreiber nach Konfliktminimierung beim Ausbau vorhandener Hochspannungstrassen. Im Entwurf des LEP wird ausdrücklich darauf hingewiesen (LEP 8.2-4), dass die in der 26. BImSchV definierten Grenzwerte dem Gesundheitsschutz hinreichend Rechnung tragen. Diese Grenzwerte werden selbst in der Trassenmitte einer unter Höchstlast laufenden 380 kV-Höchstspannungsleitung noch erheblich unterschritten.

Magnetfelder sind mit vertretbaren Mitteln nicht abschirmbar. Die Immissionen durch von außen eindringende Magnetfelder können innerhalb eines Gebäudes nicht durch bauliche Maßnahmen reduziert werden. Eine Abnahme der Immissionen kann in der Regel nur durch Änderungen an der Feldquelle oder durch Vergrößerung des Abstandes zur Feldquelle erreicht werden. Eine effektive Maßnahme zur Senkung der magnetischen Feldimmissionen auf dem Plangebiet wäre eine Phasenoptimierung der benachbarten Hochspannungstrasse. Eine Phasenoptimierung könnte nur vom Leitungsbetreiber Amprion durchgeführt werden. Da die Grenzwerte der 26. BImSchV eingehalten werden, ist der Leitungsbetreiber zur immissionsreduzierenden Maßnahmen nicht verpflichtet.



Nach Umrüstung der 110/380 kV-Kombileitung auf teilweisen Gleichstrombetrieb gehen die Immissionen durch magnetische Wechselfelder auf dem Plangebiet um mehr als 20 % zurück. Gleichzeitig entstehen Immissionen durch magnetische Gleichfelder, die auch bei Vollast der Gleichstromleitung auf dem Plangebiet $4 \mu\text{T}$ nicht übersteigen. Zum Vergleich: Das Magnetfeld der Erde (magnetisches Gleichfeld) hat in Deutschland eine mittlere Stärke (Induktion) von 40 - 45 μT . Magnetische Gleichfelder dieser Stärke haben keine bekannten gesundheitlichen Wirkungen.

Durch den teilweisen Gleichstrombetrieb erzeugt die Leitung mehr Luftionen. Aufgrund der verstärkten Ionisation der Luft sind gesundheitliche Risiken nicht zu erwarten.

Nach der Umrüstung werden etwas größere Mengen an Ozon und Stickoxiden gebildet als bei der jetzigen Leitung. Die entstehenden Mengen an Ozon und Stickoxiden sind allerdings immer noch so klein, dass eine gesundheitliche Relevanz dieser Emissionen unwahrscheinlich ist.

Bonn, den 29. Mai 2019

Dr. Klaus Trost
Wissenschaftsladen Bonn e.V.



9. Anhang

Fotos der einzelnen Messpunkte..... Seite 23 - 25

Diagramme des Verlaufs der magnetischen Induktion sowie der elektrischen Feldstärke an allen Messpunkten mit tabellarischer Angabe von Messwerten..... Seite 26 - 37





MP8



MP9



MP9A



MP10



MP10A



MP11



