WILA
Wissenschaftsladen Bonn

Gutachten

Untersuchungen zu niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldimmissionen durch benachbarte Hochspannungsleitungen im Bereich eines für den Bau von Wohnungen vorgesehenen Grundstücks an der Uckendorfer Straße in 53844 Troisdorf-Rotter See

Auftraggeber: Architekturbüro Richarz & Ahlefeld
Larstraße 103
53844 Troisdorf-Sieglar

Autor: Dr. Klaus Trost
Wissenschaftsladen Bonn e.V.
Mess- und Beratungsstelle Elektrosmog
Reuterstraße 157
53113 Bonn
Tel.: 0228/20161-0, -32
eMail: Klaus.Trost@Wilabonn.de

Ort und Datum: Bonn, den 19. August 2016

Inhaltsverzeichnis:

Seite

1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten ... 2
2. Durchführung der Messungen ... 4
3. Messergebnisse ... 8
4. Physikalische Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder im Körper ... 15
5. Biologische und gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder ... 17
6. Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für elektrische und magnetische Wechselfelder ... 19
7. Planerische Grundsätze des neuen LEP NRW bei der Ausweisung von Baugebieten an Hochspannungstrassen. 22
8. Zusammenfassung und Empfehlungen ... 23

STADT TROISDORF **Der Bürgermeister**	**Anlage 2** **zur Begründung**
Bebauungsplan S 91, Bl. 2a, 2. Änderung	

1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten

Östlich neben den Werkstätten der Lebenshilfe Rhein-Sieg e.V. in 53844 Troisdorf plant das Architekturbüro Richarz und Ahlefeld aus Troisdorf an der Uckendorfer Straße auf dem Gelände des ehemaligen Kaiserbaus den Bau von ca. 100 Wohneinheiten (Planungskonzept Abb. 1). Östlich des Grundstücks verlaufen die Trassen einer 110 kV-Bahnstromleitung (Stromfrequenz 16,7 Hz) und einer 110/220/380 kV-Kombileitung (Stromfrequenz 50 Hz) (Abb. 2). Die Abstände der Trassenmitten der Hochspannungsfreileitungen zu den nächstgelegenen geplanten Wohngebäuden betragen 36 m (Bahnstromleitung) bzw. 118 m (Kombileitung).

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.

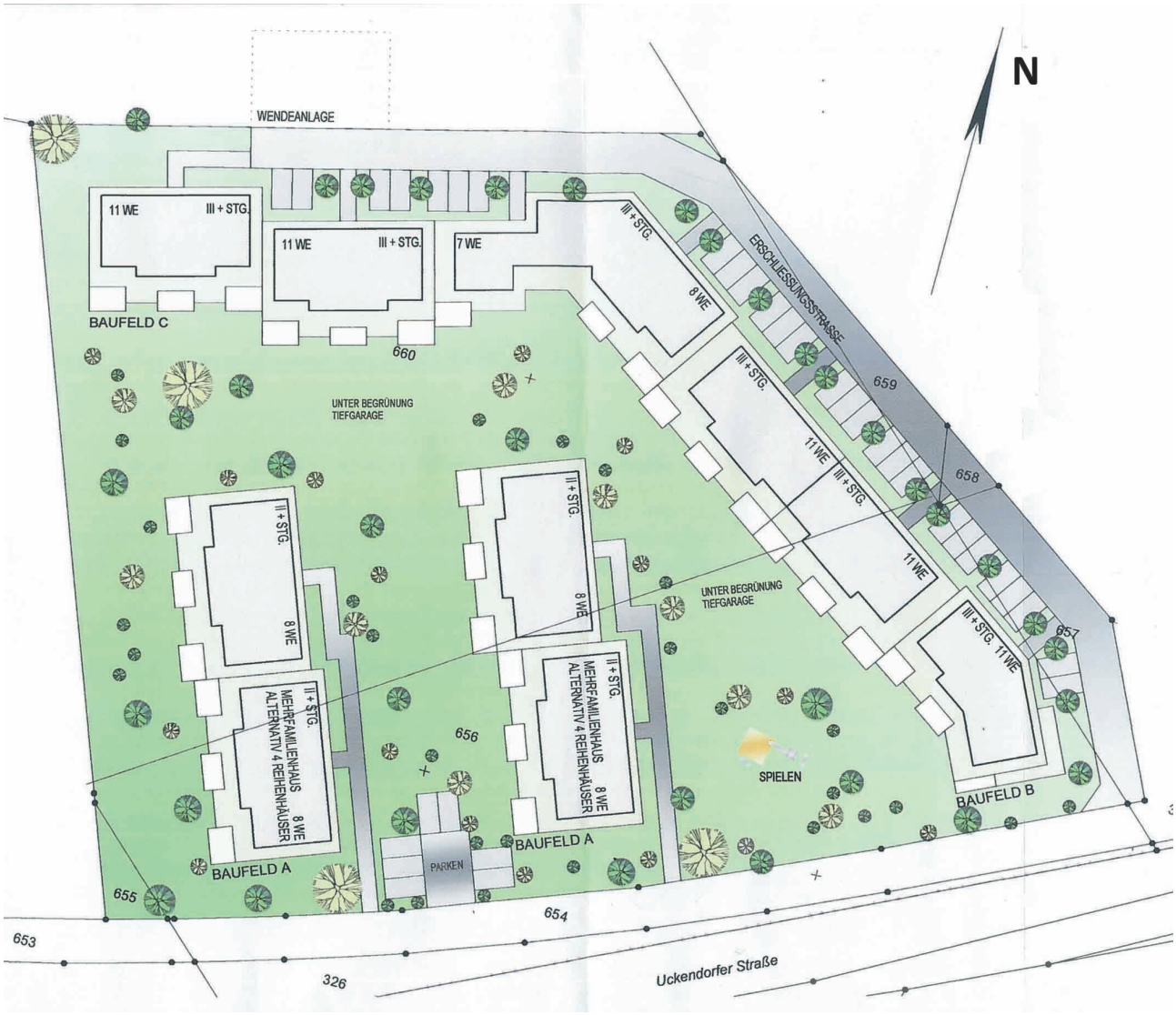


Abb. 1: *Planungskonzept der Wohnbebauung an der Uckendorfer Straße.* *M 1:850*



***Abb. 2:** Lage des Plangebietes an der Uckendorfer Straße mit den Trassenmitten (rot) der benachbarten Hochspannungsleitungen.* *M 1:1600*

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 neuesten 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 Gutachten werden die Immissionen durch niederfrequente elektromagnetische Felder im Planungsbereich der Wohnbebauung an der Uckendorfer Straße untersucht und nach gesetzlichen deutschen Grenzwerten sowie etablierten internationalen Grenzwerten für sensible Bereiche und Vorsorgeempfehlungen für Daueraufenthaltsbereiche von Personen beurteilt.

2. Durchführung der Messungen

Auf dem Plangebiet an der Uckendorfer Straße treten durch die von Hochspannungsleitungen ausgehenden Feldemissionen nur Immissionen durch Magnetfelder auf, da die gleichfalls erzeugten elektrischen Felder durch die zwischen den Hochspannungstrassen und dem Plangebiet wachsende Vegetation (höheres Buschwerk und Bäume) sehr wirksam abgeschirmt werden. Eine Messung der elektrischen Feldstärke wurde daher nur unmittelbar unter der 110 kV-Bahnstromleitung (MP1) und exemplarisch für das gesamte Plangebiet auch an MP2 durchgeführt. Das Datum der Messungen war für alle Messpunkte außer MP2a der 27. Juli 2016. Die erste Langzeitmessung an MP2a begann am 27. Juli um 17 Uhr 52 und endete am 29. Juli um 4 Uhr 4. Die zweite Langzeitmessung an MP2a begann am 4. August 2016 um 5 Uhr 1 und endete am 4. August um 15 Uhr 5.

Liste der Messpunkte (Lageplan Abb. 3):

MP1: Trassenmitte 110 kV-Bahnstromleitung, elektrische Feldstärke und magnetische Induktion
MP2: Östliche Gebäudefassade von Baufeld B, Nähe Uckendorfer Straße; elektr. Feldst. und magnet. Induktion
MP2a: Langzeitmessung neben MP2; nur magnetische Induktion
MP3: Zwischen den Baufeldern A und B, "Spielen"; nur magnetische Induktion
MP4: Westseite von Baufeld A; nur magnetische Induktion
MP5: Östliche Gebäudefassade im nördlichen Bereich von Baufeld B; nur magnetische Induktion
MP6: Nordostecke von Baufeld A; nur magnetische Induktion

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 erlaubt somit die Untersuchung von Feldimmissionen getrennt nach Bahnstrom- (16,7 Hz) und Netzstrom-

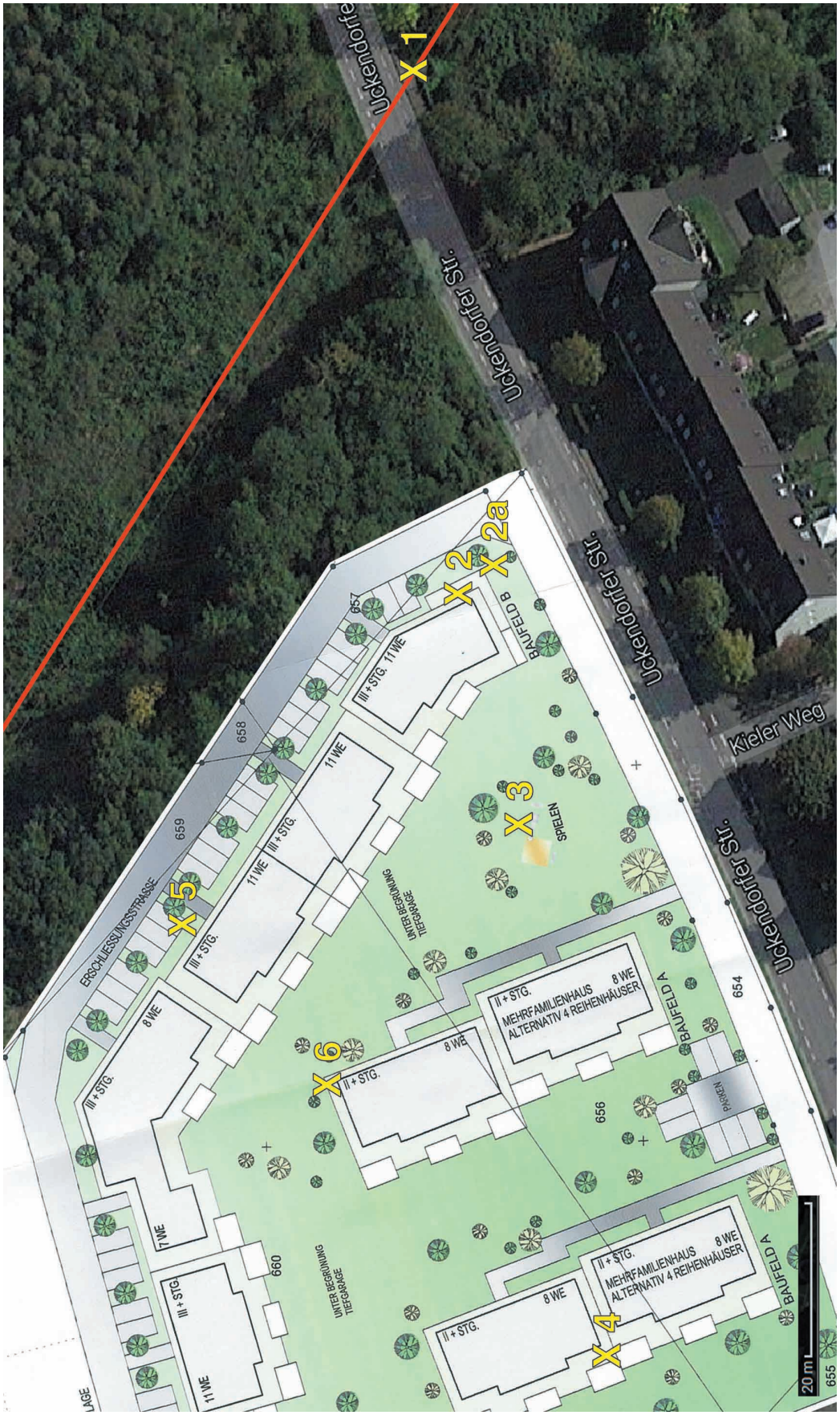


***Abb. 3:** Lageplan der Messpunkte M 1:800*


MP1


MP2


MP2a


MP2a


MP3


MP4





leitungen (50 Hz). 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 an den Messpunkten 1 und 2 wurde das NFA1000 über ein 50 cm langes PVC-Rohr auf einem Holzstativ befestigt. Für die Langzeitmessung der magnetischen Induktion an MP2a wurde das Magnetometer in einem PKW untergebracht und zur Stromversorgung an eine Autobatterie angeschlossen. An den übrigen Messpunkten wurde das Gerät direkt auf das Stativ geschraubt, da zur Messung der magnetischen Induktion eine "schwebende" Lage des Feldanalysators nicht erforderlich ist.

An MP1 und MP2 betrug die Messhöhe über Grund 1,75 m, an MP2a ca. 80 cm und an den übrigen Messpunkten 1,25 m. Auf Seite 6 und oben sind die Positionen des Feldanalysators an den verschiedenen Messpunkten abgebildet.

Die Stärke elektrischer Felder (elektrische Feldstärke) im Bereich von Hochspannungsleitungen ist abhängig von der Höhe der Betriebsspannungen der Leitungen. Da die Betriebsspannungen von Hochspannungsleitungen sehr konstant sind, sind auch die elektrischen Feldimmissionen im Bereich dieser Leitungen recht konstant. Geringe Schwankungen können entstehen durch Schwingen der Leiterseile im Wind. 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. Der zeitliche Verlauf der elektrischen Feldstärke wurde an beiden Messpunkten über einen Zeitraum von 30 Sekunden mit 10 Messwerten pro Sekunde aufgezeichnet. Wegen der zeitlichen Konstanz elektrischer Feldemissionen von Hochspannungsleitungen ist eine längere Messzeit nicht erforderlich.

Die Stärke von Magnetfeldern (magnetische Induktion) ist abhängig vom schwankenden Stromfluss, so dass sie zeitlichen Schwankungen unterliegt, die an Bahnstromleitungen sehr beträchtlich sein können. Um verlässliche Messwerte zu erhalten, muss daher der zeitliche Verlauf der magnetischen Induktion durch ein Magnetometer über einen gewissen Zeitraum gemessen und aufgezeichnet werden. Das Aufzeichnungsintervall für die magnetische Induktion betrug bis auf MP2a an allen Punkten 15 Minuten. Pro Sekunde wurden getrennt nach Frequenzbereichen (16,7 Hz und 50 Hz) 10 Messwertsätze erfasst, so dass zur Darstellung des Intensitätsverlaufs und zur Berechnung der für die Beurteilung wichtigen mittleren Induktion je Messpunkt pro Frequenzbereich 9000 Messwerte zur Verfügung standen. An MP2a sollte die magnetische Induktion über eine ganze Woche aufgezeichnet werden. Durch einen Wackelkontakt in der Stromversorgung wurden aber nur zwei Messzeiträume von ca. 34 Stunden und gut 10 Stunden Länge aufgezeichnet.

Anders als elektrische Felder durchdringen Magnetfelder ungeschwächt fast jede Materie. Die zwischen den Hochspannungsleitungen und dem Plangebiet wachsende Vegetation hat daher keinen Einfluss auf die im Plangebiet gemessene magnetische Induktion.

Die magnetische Induktion wurde gemessen in der Einheit Nanotesla (nT). Gebräuchlich ist auch die Einheit Mikrotesla (μT). Umrechnung: 1000 nT = 1 μT

3. Messergebnisse

In den Diagrammen auf den folgenden Seiten sind die an allen Messpunkten bestimmten zeitlichen Verläufe der magnetischen Induktion in den Frequenzbereichen 50 Hz (grün, Netzstromfrequenz) und 16,7 Hz (blau, Bahnstromfrequenz) sowie die (vektorielle) Summe der Induktion beider Frequenzen (rot) graphisch dargestellt. Die Felder mit der Frequenz 16,7 Hz gehen von der kleinen Bahnstromleitung aus und die Felder mit der Frequenz 50 Hz von der großen Kombileitung. Bei den grünen Kurven erkennt man die für Hochspannungsleitungen meist typischen eher geringen Intensitätsschwankungen der Induktion, während die blauen Kurven die für die Magnetfelder von Bahnstromleitungen typischen größeren Schwankungen zeigen. 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 der Induktion und weitere statistische Parameter, die für dieses Gutachten nicht von Bedeutung sind. Maßgeblich zur Bewertung der Immissionen sind die Mittelwerte. Beim Lesen der Diagramme ist zu beachten, dass die senkrechten Achsen der Diagramme für eine möglichst optimale Darstellung verschieden skaliert sind.

An MP1 in der Trassenmitte der 110 kV-Bahnstromfreileitung wurde die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion gemessen. Die Ergebnisse an MP1 sind für die Beurteilung der Immissionen im Bereich des Plangebietes nicht maßgeblich. Die maximalen Feldstärken werden bei Bahnstromleitungen dieses Typs (Einebenengeometrie) ca. 10 m links und rechts von der Trassenmitte erzeugt und können fünf- bis zehnmal stärker sein als in der Trassenmitte. Die an MP1 gemessene mittlere elektrische Feldstärke betrug 94 V/m bei 16,7 Hz und 10 V/m bei 50 Hz. Die magnetische Induktion wurde bei 16,7 Hz mit 291 nT und bei 50 Hz mit 75 nT bestimmt.

Die an den Punkten 2 und 5 (und MP2a) bestimmten magnetischen Feldimmissionen entsprechen den stärksten auf dem Plangebiet zu erwartenden Magnetfeldern. Die gemessenen mittleren Induktionen lagen mit 52 nT / 86 nT (Bahnstrom) und 76 nT / 43 nT (Netzstrom) unter dem für Daueraufenthaltsbereiche von Kindern empfohlenen Vorsorgerichtwert 100 nT (Siehe Kap. 6).

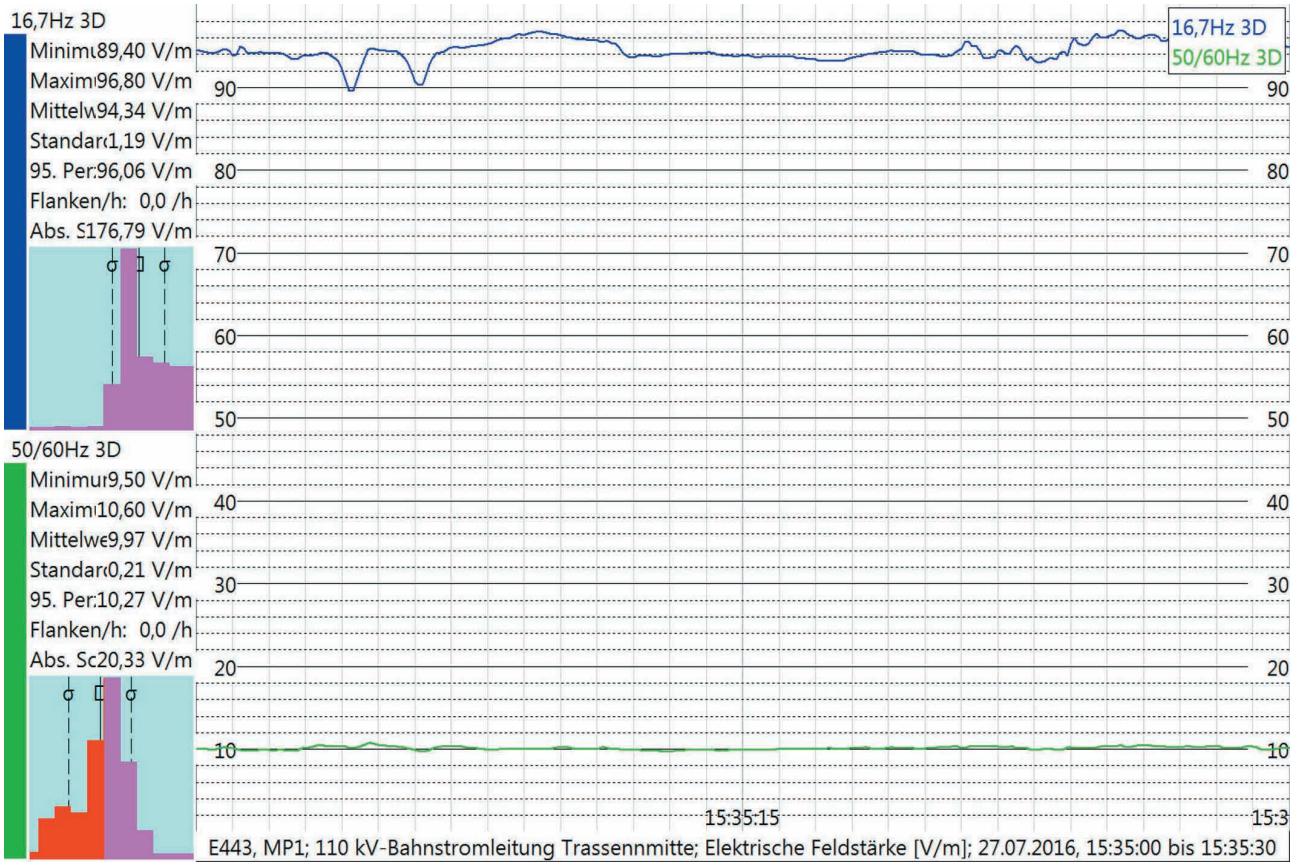
Wegen der Abschirmung durch die entlang der 110 kV-Bahnstromtrasse wachsende Vegetation entstehen auf dem Plangebiet nur sehr schwache elektrische Feldimmissionen, die aus Sicht des Immissionsschutzes vernachlässigt werden können. Daher wurde die elektrische Feldstärke beispielhaft für das gesamte Plangebiet nur an MP2 bestimmt. Im Frequenzbereich der Bahnströme wurde an MP2 eine mittlere elektrische Feldstärke von 4,2 V/m und im Netzstrombereich von 8,0 V/m gemessen.

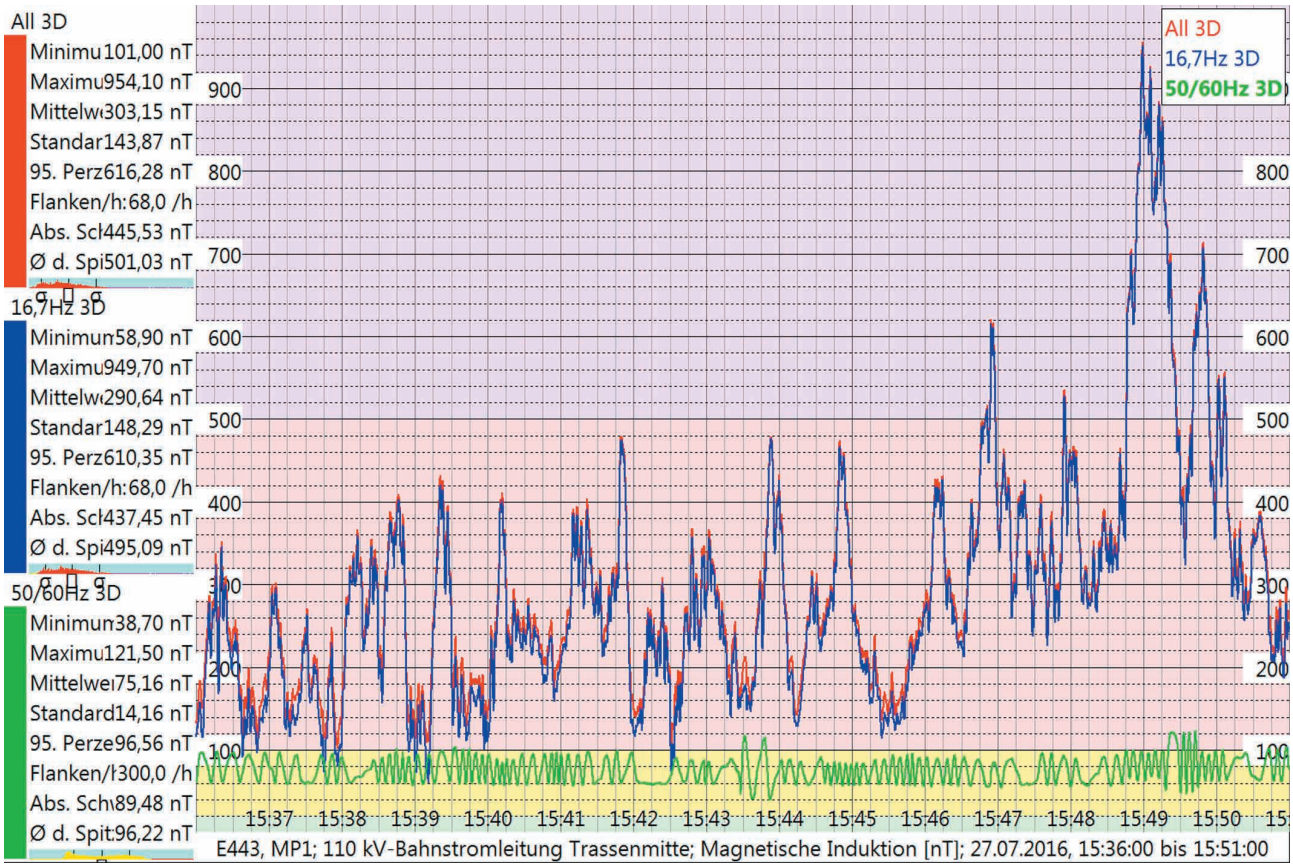
An den übrigen Messpunkten auf dem Plangebiet (MP3, 4 und 6) lag die magnetische Induktion noch weiter unter dem Vorsorgerichtwert 100 nT. Sie betrug zwischen 20,2 nT und 5,2 nT (16,7 Hz) bzw. 60,8 nT und 36,2 nT (50 Hz). Der niedrigste Wert wurde erwartungsgemäß an MP4 gemessen, da dieser den größten Abstand zu den Hochspannungsleitungen hat. Es zeigt sich, dass die von der Bahnstromleitung erzeugten magnetischen Feldimmissionen bei zunehmenden Abstand zur Leitung wesentlich schneller abnehmen als die von der Kombileitung verursachten Immissionen.

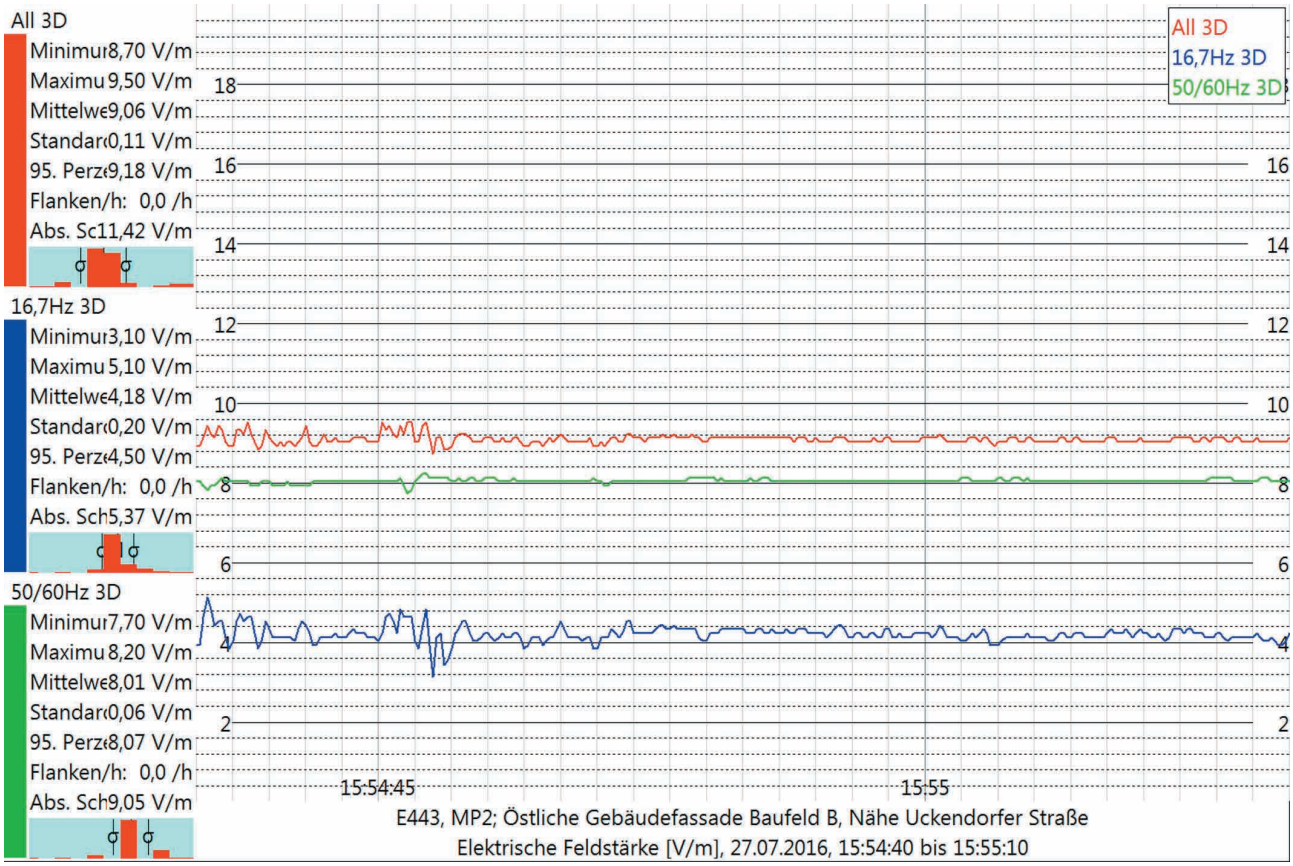
Zur Absicherung der Messergebnisse wurden ca. 3 m neben MP2 auch zwei Langzeitmessungen durchgeführt (MP2a). Dieser Messpunkt hat von allen Messpunkten des Plangebietes den geringsten Abstand zu den Hochspannungstrassen. Die erste Langzeitmessung dauerte gut 34 Stunden und lieferte folgende Ergebnisse:

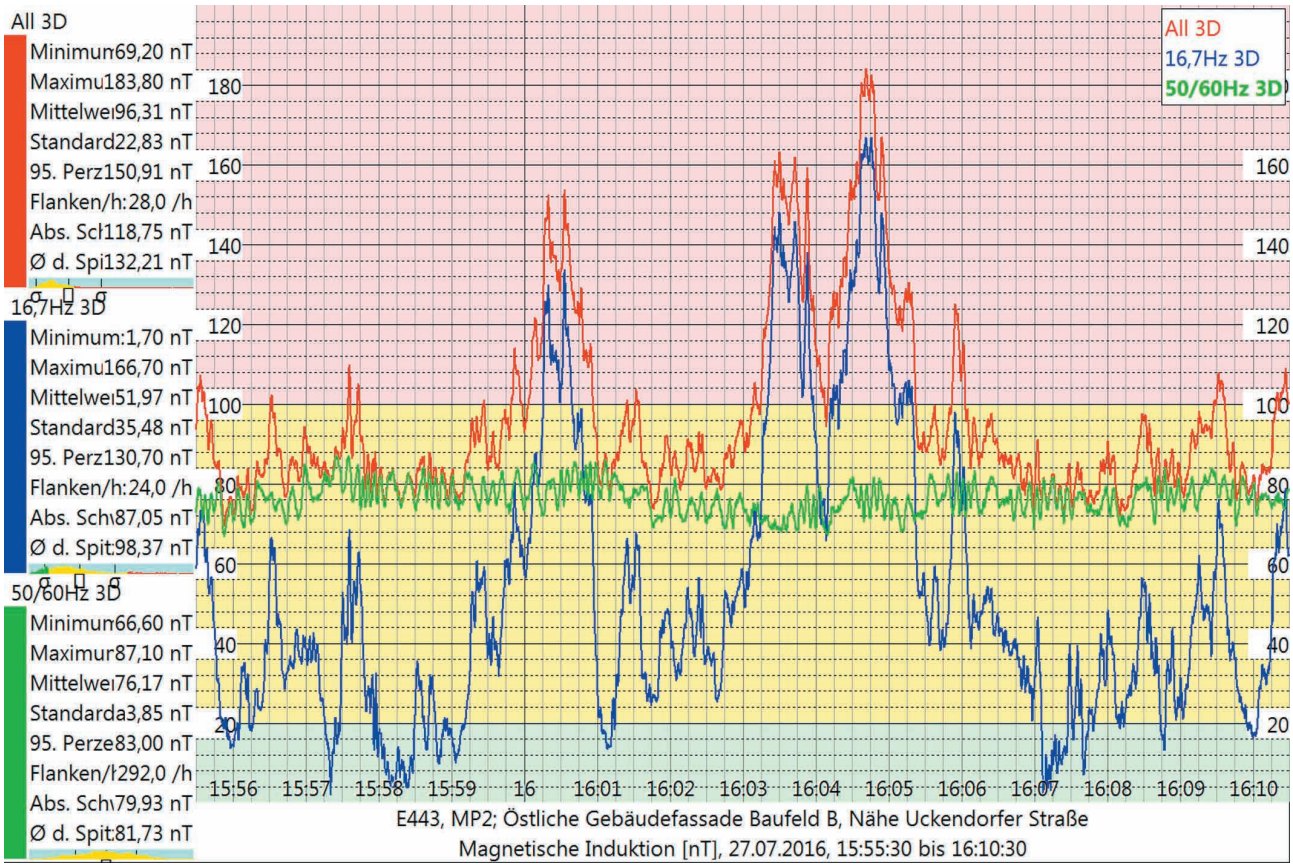
Mittlere magnetische Induktion: 33,7 nT (16,7 Hz) und 72,2 nT (50)
Spitzenwert der magnetischen Induktion: 178,7 nT (16,7 Hz) und 119,2 nT (50 Hz)
Die zweite Messung dauerte gut 10 Stunden und hatte die Ergebnisse:
Mittlere magnetische Induktion: 45,6 nT (16,7 Hz) und 49,1 nT (50 Hz)
Spitzenwert der magnetischen Induktion: 175,8 nT (16,7 Hz) und 88,7 nT (50 Hz)

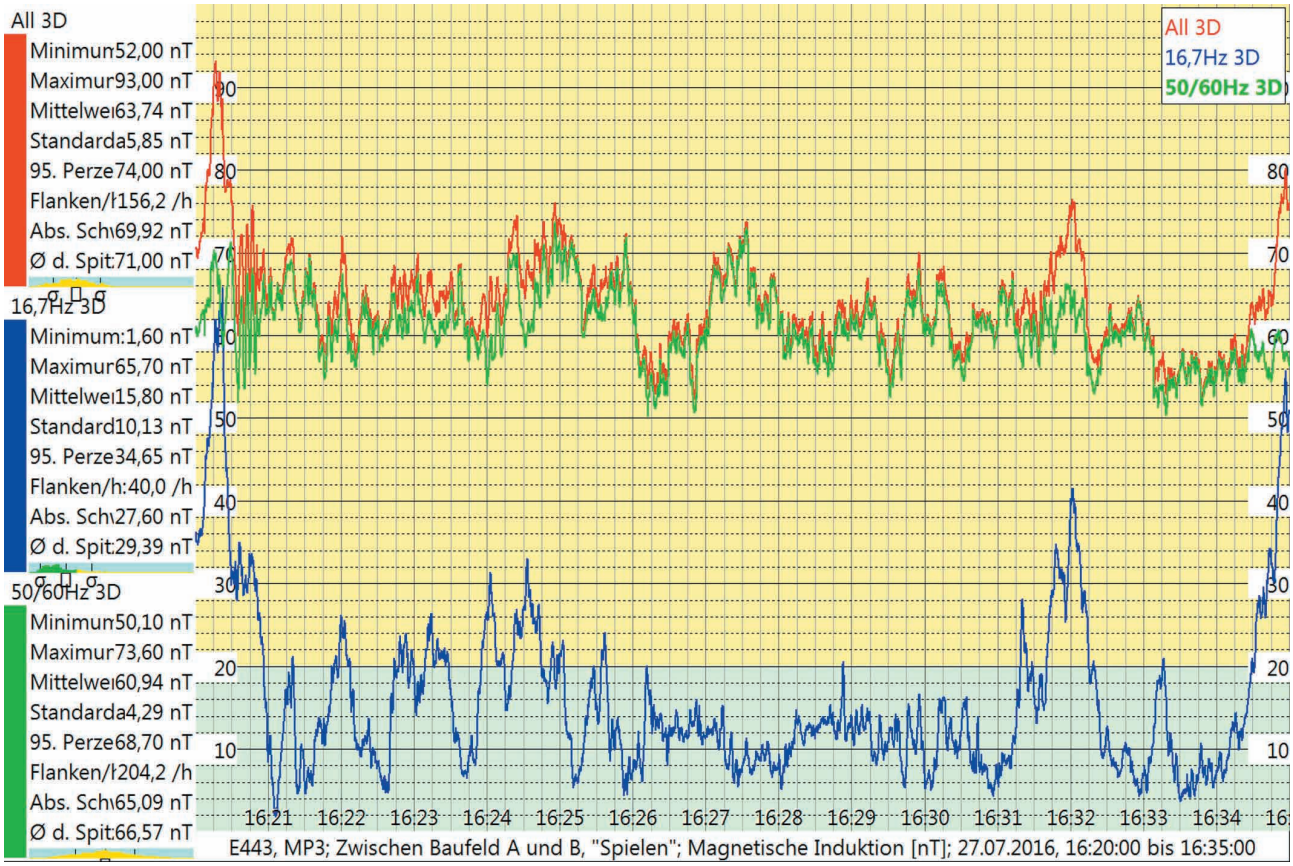
Alle auf dem Plangebiet bestimmten Immissionswerte lagen unter dem Richtwert der TCO-Norm (200 nT), die für die Beurteilung wesentlichen Mittelwerte lagen auch unter dem Vorsorgerichtwert für Daueraufenthaltsbereiche von Kindern (100 nT).

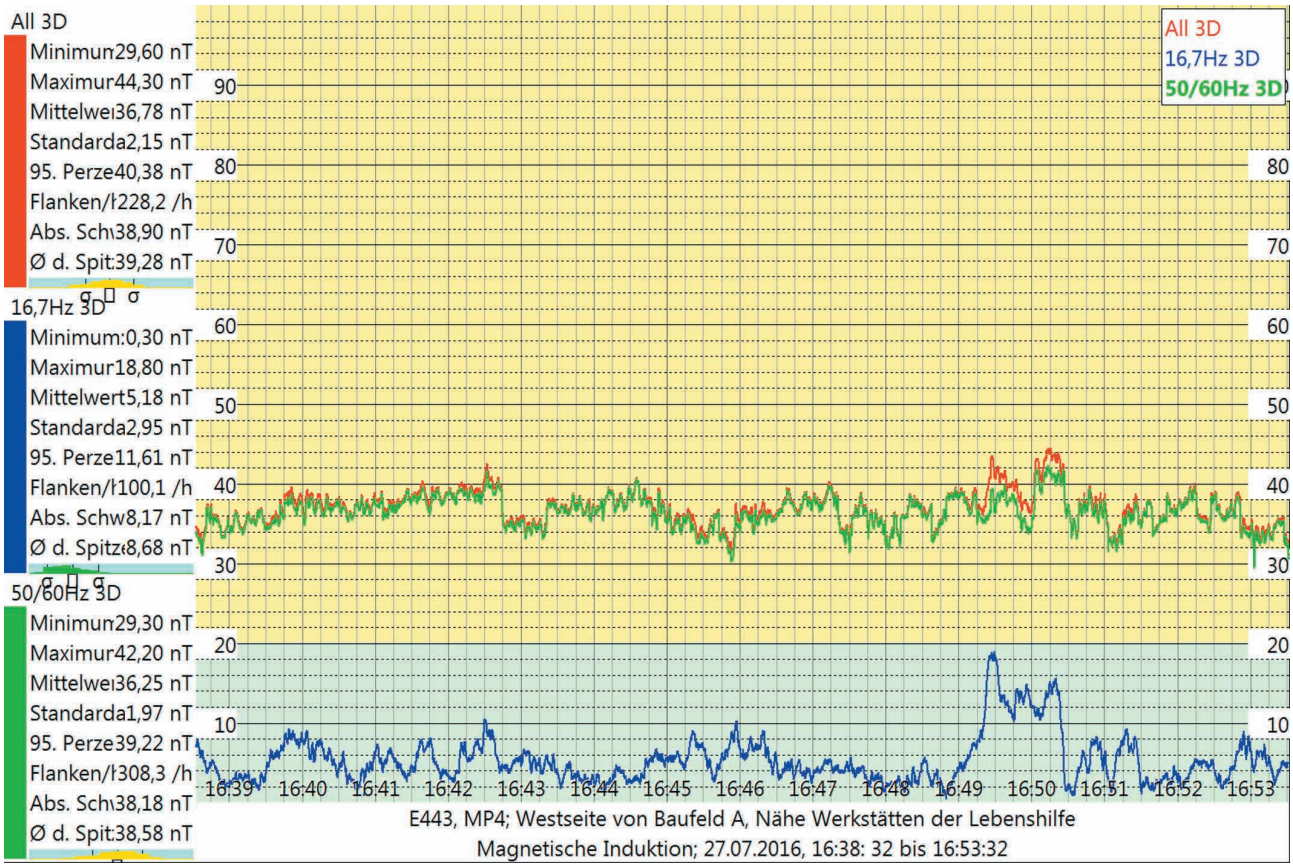

16,7Hz 3D
Minimu 89,40 V/m
Maxim 96,80 V/m
Mittelw 94,34 V/m
Standar 1,19 V/m
95. Per 96,06 V/m
Flanken/h: 0,0 /h
Abs. S 176,79 V/m
50/60Hz 3D
Minimu 9,50 V/m
Maxim 10,60 V/m
Mittelwe 9,97 V/m
Standar 0,21 V/m
95. Per 10,27 V/m
Flanken/h: 0,0 /h
Abs. Sc 20,33 V/m
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
90
80
70
60
50
40
30
20
10
15:35:15
E443, MP1; 110 kV-Bahnstromleitung Trassenmitte; Elektrische Feldstärke [V/m]; 27.07.2016, 15:35:00 bis 15:35:30

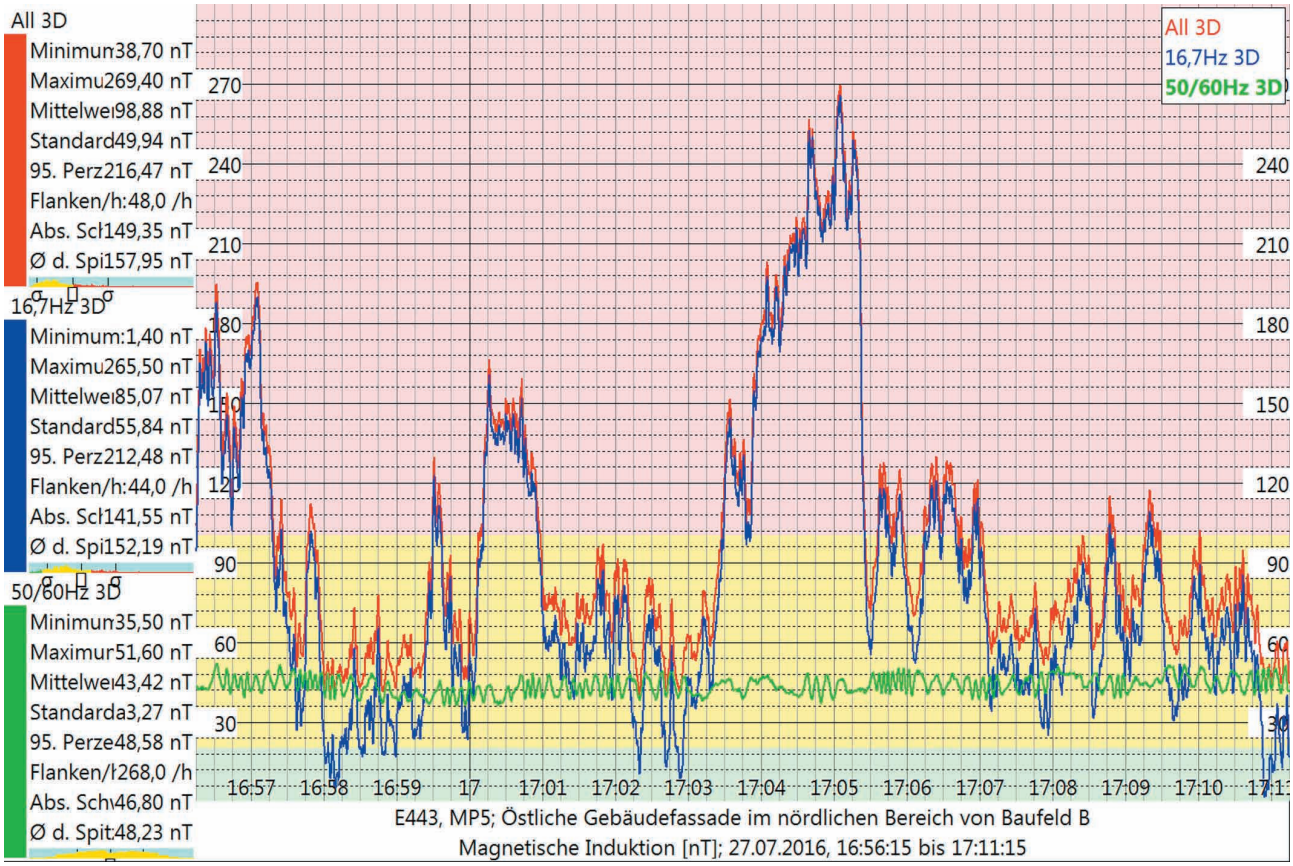

All 3D
Minimu 101,00 nT
Maximu 954,10 nT
Mittelw 303,15 nT
Standar 143,87 nT
95. Perz 616,28 nT
Flanken/h: 68,0 /h
Abs. Scl 445,53 nT
Ø d. Spi 501,03 nT
16,7Hz 3D
Minimun 58,90 nT
Maximu 949,70 nT
Mittelw 290,64 nT
Standar 148,29 nT
95. Perz 610,35 nT
Flanken/h: 68,0 /h
Abs. Scl 437,45 nT
Ø d. Spi 495,09 nT
50/60Hz 3D
Minimun 38,70 nT
Maximu 121,50 nT
Mittelwei 75,16 nT
Standard 14,16 nT
95. Perze 96,56 nT
Flanken/h 300,0 /h
Abs. Schi 89,48 nT
Ø d. Spit 96,22 nT
All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
900
800
700
600
500
400
300
200
100
15:37
15:38
15:39
15:40
15:41
15:42
15:43
15:44
15:45
15:46
15:47
15:48
15:49
15:50
E443, MP1; 110 kV-Bahnstromleitung Trassenmitte; Magnetische Induktion [nT]; 27.07.2016, 15:36:00 bis 15:51:00

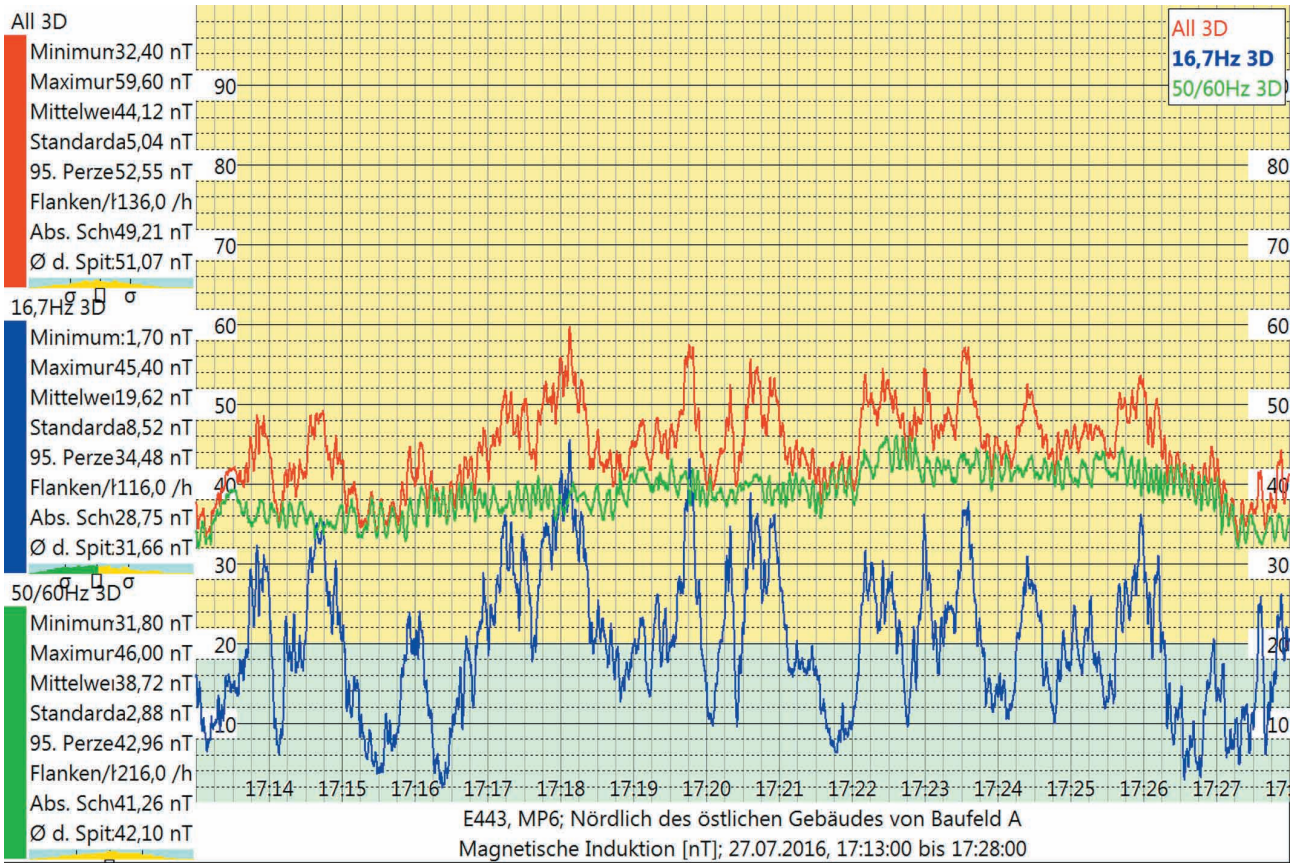

All 3D
Minimur8,70 V/m
Maximu 9,50 V/m
Mittelwe9,06 V/m
Standar(0,11 V/m
95. Perz(9,18 V/m
Flanken/h: 0,0 /h
Abs. Sc11,42 V/m
16,7Hz 3D
Minimur3,10 V/m
Maximu 5,10 V/m
Mittelwe4,18 V/m
Standar(0,20 V/m
95. Perz(4,50 V/m
Flanken/h: 0,0 /h
Abs. Sch5,37 V/m
50/60Hz 3D
Minimur7,70 V/m
Maximu 8,20 V/m
Mittelwe8,01 V/m
Standar(0,06 V/m
95. Perz(8,07 V/m
Flanken/h: 0,0 /h
Abs. Sch9,05 V/m
All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
18
16
14
12
10
8
6
4
2
15:54:45
15:55
E443, MP2; Östliche Gebäudefassade Baufeld B, Nähe Uckendorfer Straße
Elektrische Feldstärke [V/m], 27.07.2016, 15:54:40 bis 15:55:10

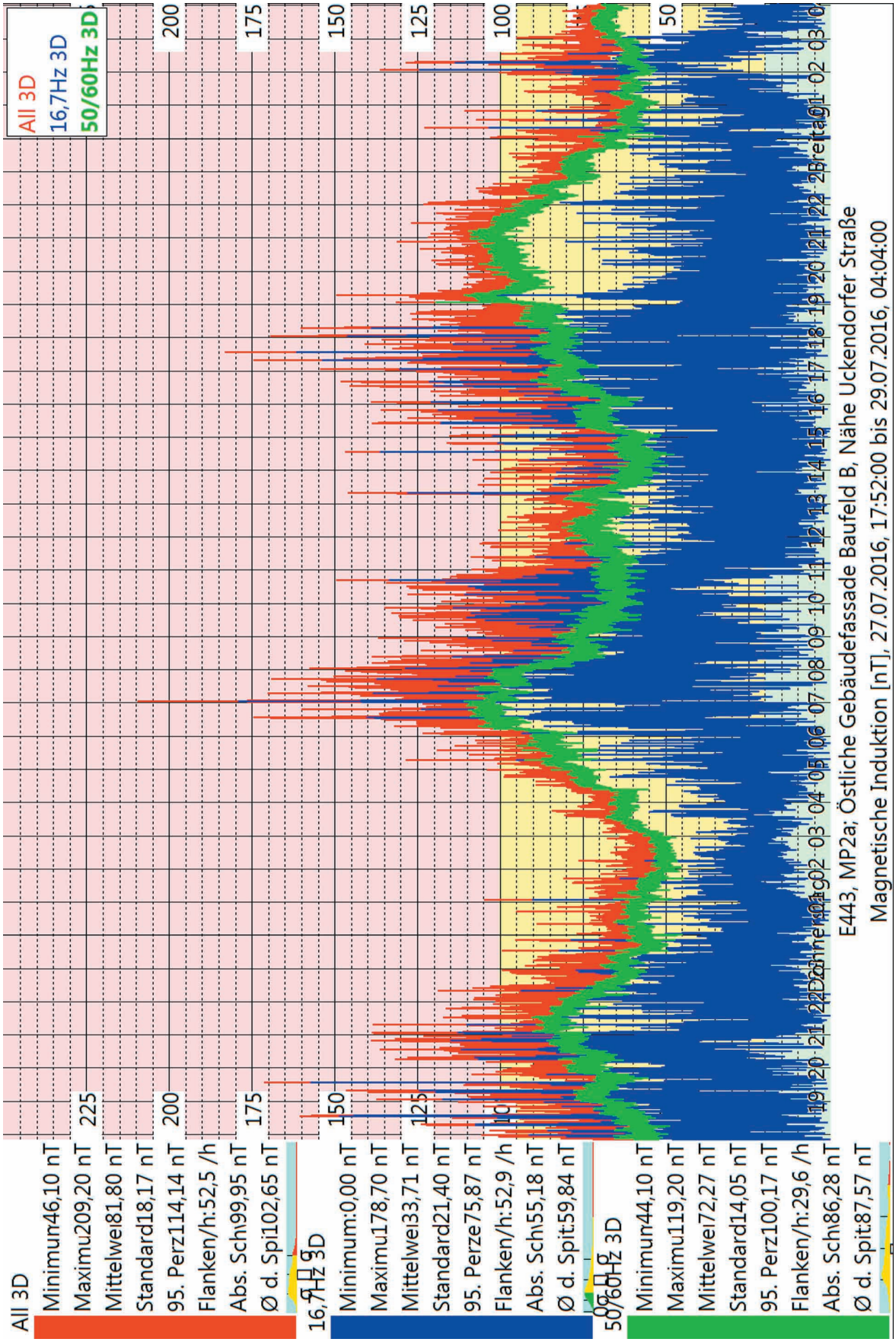

All 3D
Minimun69,20 nT
Maximu183,80 nT
Mittelwe196,31 nT
Standard22,83 nT
95. Perz150,91 nT
Flanken/h:28,0 /h
Abs. Scl118,75 nT
Ø d. Spi132,21 nT
16,7Hz 3D
Minimum:1,70 nT
Maximu166,70 nT
Mittelwe151,97 nT
Standard35,48 nT
95. Perz130,70 nT
Flanken/h:24,0 /h
Abs. Sch87,05 nT
Ø d. Spit98,37 nT
50/60Hz 3D
Minimun66,60 nT
Maximur87,10 nT
Mittelwe176,17 nT
Standarda3,85 nT
95. Perze83,00 nT
Flanken/h292,0 /h
Abs. Sch79,93 nT
Ø d. Spit81,73 nT
All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
180
160
140
120
100
80
60
40
20
15:56
15:57
15:58
15:59
16
16:01
16:02
16:03
16:04
16:05
16:06
16:07
16:08
16:09
16:10
E443, MP2; Östliche Gebäudefassade Baufeld B, Nähe Uckendorfer Straße
Magnetische Induktion [nT], 27.07.2016, 15:55:30 bis 16:10:30

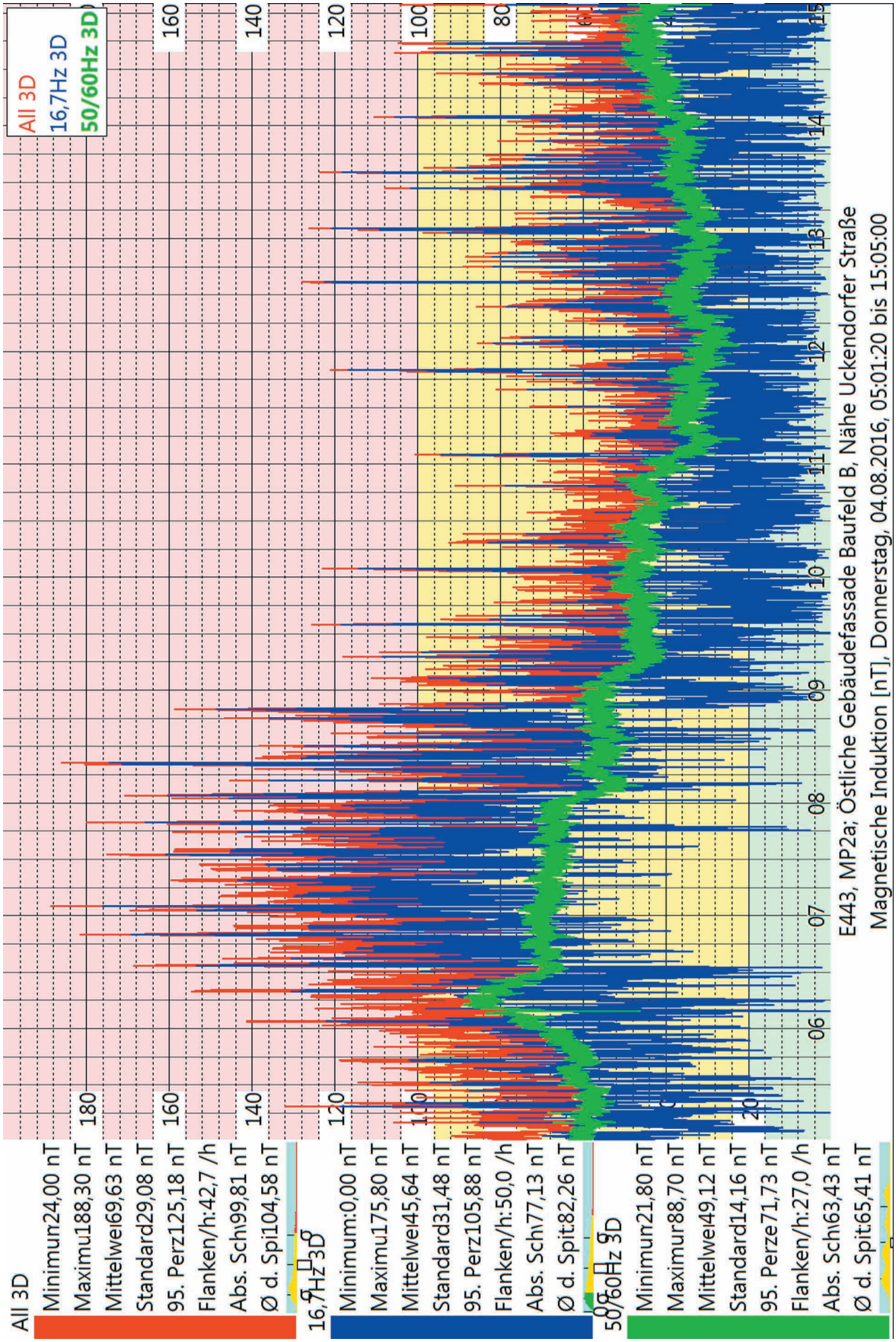

All 3D
Minimun52,00 nT
Maximur93,00 nT
Mittelwei63,74 nT
Standarda5,85 nT
95. Perze74,00 nT
Flanken/h156,2 /h
Abs. Schv69,92 nT
Ø d. Spit:71,00 nT
16,7Hz 3D
Minimum:1,60 nT
Maximur65,70 nT
Mittelwei15,80 nT
Standard10,13 nT
95. Perze34,65 nT
Flanken/h:40,0 /h
Abs. Schv27,60 nT
Ø d. Spit:29,39 nT
50/60Hz 3D
Minimun50,10 nT
Maximur73,60 nT
Mittelwei60,94 nT
Standarda4,29 nT
95. Perze68,70 nT
Flanken/h204,2 /h
Abs. Schv65,09 nT
Ø d. Spit:66,57 nT
All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
90
80
70
60
50
40
30
20
10
16:21
16:22
16:23
16:24
16:25
16:26
16:27
16:28
16:29
16:30
16:31
16:32
16:33
16:34
E443, MP3; Zwischen Baufeld A und B, "Spielen"; Magnetische Induktion [nT]; 27.07.2016, 16:20:00 bis 16:35:00


All 3D
Minimun29,60 nT
Maximur44,30 nT
Mittelwei36,78 nT
Standarda2,15 nT
95. Perze40,38 nT
Flanken/h228,2 /h
Abs. Schv38,90 nT
Ø d. Spit:39,28 nT
16,7Hz 3D
Minimum:0,30 nT
Maximur18,80 nT
Mittelwert5,18 nT
Standarda2,95 nT
95. Perze11,61 nT
Flanken/h100,1 /h
Abs. Schw8,17 nT
Ø d. Spitzε8,68 nT
50/60Hz 3D
Minimun29,30 nT
Maximur42,20 nT
Mittelwei36,25 nT
Standarda1,97 nT
95. Perze39,22 nT
Flanken/h308,3 /h
Abs. Schv38,18 nT
Ø d. Spit:38,58 nT
All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
90
80
70
60
50
40
30
20
10
16:39
16:40
16:41
16:42
16:43
16:44
16:45
16:46
16:47
16:48
16:49
16:50
16:51
16:52
16:53
E443, MP4; Westseite von Baufeld A, Nähe Werkstätten der Lebenshilfe
Magnetische Induktion; 27.07.2016, 16:38: 32 bis 16:53:32


All 3D
Minimun38,70 nT
Maximu269,40 nT
Mittelwei98,88 nT
Standard49,94 nT
95. Perz216,47 nT
Flanken/h:48,0 /h
Abs. Sch149,35 nT
Ø d. Spi157,95 nT
16,7Hz 3D
Minimum:1,40 nT
Maximu265,50 nT
Mittelwei85,07 nT
Standard55,84 nT
95. Perz212,48 nT
Flanken/h:44,0 /h
Abs. Sch141,55 nT
Ø d. Spi152,19 nT
50/60Hz 3D
Minimun35,50 nT
Maximur51,60 nT
Mittelwei43,42 nT
Standarda3,27 nT
95. Perze48,58 nT
Flanken/h268,0 /h
Abs. Sch46,80 nT
Ø d. Spit48,23 nT
All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
270
240
210
180
150
120
90
60
30
16:57
16:58
16:59
17
17:01
17:02
17:03
17:04
17:05
17:06
17:07
17:08
17:09
17:10
E443, MP5; Östliche Gebäudefassade im nördlichen Bereich von Baufeld B
Magnetische Induktion [nT]; 27.07.2016, 16:56:15 bis 17:11:15


All 3D
Minimun32,40 nT
Maximur59,60 nT
Mittelwei44,12 nT
Standarda5,04 nT
95. Perze52,55 nT
Flanken/h136,0 /h
Abs. Sch49,21 nT
Ø d. Spit51,07 nT
16,7Hz 3D
Minimum:1,70 nT
Maximur45,40 nT
Mittelwei19,62 nT
Standarda8,52 nT
95. Perze34,48 nT
Flanken/h116,0 /h
Abs. Sch28,75 nT
Ø d. Spit31,66 nT
50/60Hz 3D
Minimun31,80 nT
Maximur46,00 nT
Mittelwei38,72 nT
Standarda2,88 nT
95. Perze42,96 nT
Flanken/h216,0 /h
Abs. Sch41,26 nT
Ø d. Spit42,10 nT
All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
90
80
70
60
50
40
30
20
10
17:14
17:15
17:16
17:17
17:18
17:19
17:20
17:21
17:22
17:23
17:24
17:25
17:26
17:27
E443, MP6; Nördlich des östlichen Gebäudes von Baufeld A
Magnetische Induktion [nT]; 27.07.2016, 17:13:00 bis 17:28:00


All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
All 3D
Minimum46,10 nT
Maximu209,20 nT
Mittelwei81,80 nT
Standard18,17 nT
95. Perz114,14 nT
Flanken/h:52,5 /h
Abs. Schv99,95 nT
Ø d. Spi102,65 nT
16,7Hz 3D
Minimum:0,00 nT
Maximu178,70 nT
Mittelwei33,71 nT
Standard21,40 nT
95. Perze75,87 nT
Flanken/h:52,9 /h
Abs. Schv55,18 nT
Ø d. Spit:59,84 nT
50/60Hz 3D
Minimum44,10 nT
Maximu119,20 nT
Mittelwei72,27 nT
Standard14,05 nT
95. Perz100,17 nT
Flanken/h:29,6 /h
Abs. Schv86,28 nT
Ø d. Spit:87,57 nT
E443, MP2a; Östliche Gebäudefassade Baufeld B, Nähe Uckendorfer Straße
Magnetische Induktion [nT], 27.07.2016, 17:52:00 bis 29.07.2016, 04:04:00


All 3D
16,7Hz 3D
50/60Hz 3D
All 3D
Minimum24,00 nT
Maximu188,30 nT
Mittelwei69,63 nT
Standard29,08 nT
95. Perz125,18 nT
Flanken/h:42,7 /h
Abs. Schv99,81 nT
Ø d. Spi104,58 nT
16,7Hz 3D
Minimum:0,00 nT
Maximu175,80 nT
Mittelwei45,64 nT
Standard31,48 nT
95. Perz105,88 nT
Flanken/h:50,0 /h
Abs. Schv77,13 nT
Ø d. Spit:82,26 nT
50/60Hz 3D
Minimum21,80 nT
Maximur88,70 nT
Mittelwei49,12 nT
Standard14,16 nT
95. Perze71,73 nT
Flanken/h:27,0 /h
Abs. Schv63,43 nT
Ø d. Spit:65,41 nT
E443, MP2a; Östliche Gebäudefassade Baufeld B, Nähe Uckendorfer Straße
Magnetische Induktion [nT], Donnerstag, 04.08.2016, 05:01:20 bis 15:05:00

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 weitgehend 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 leider völlig unmöglich.

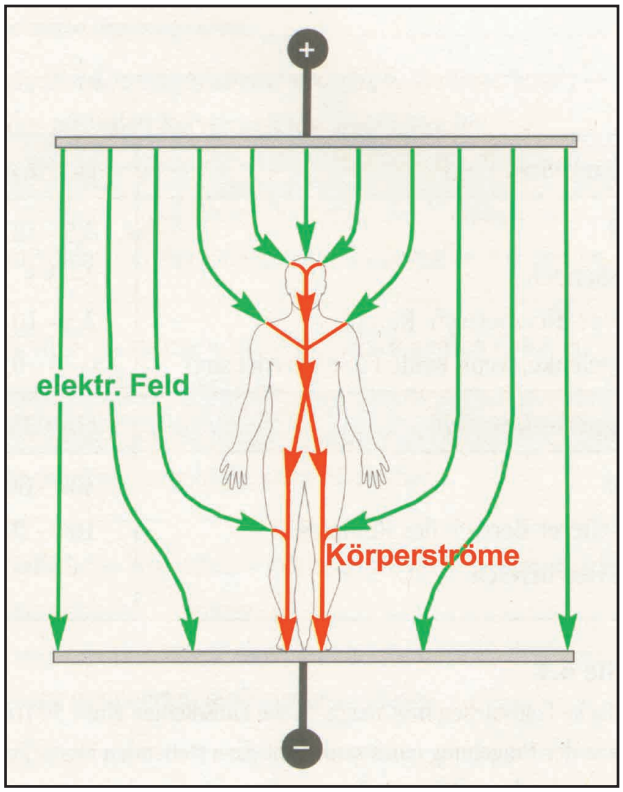


***Abb. 4:** Der **Influenzeffekt** eines elektrischen Wechselfeldes erzeugt im Körper elektrische **Verschiebeströme**.*

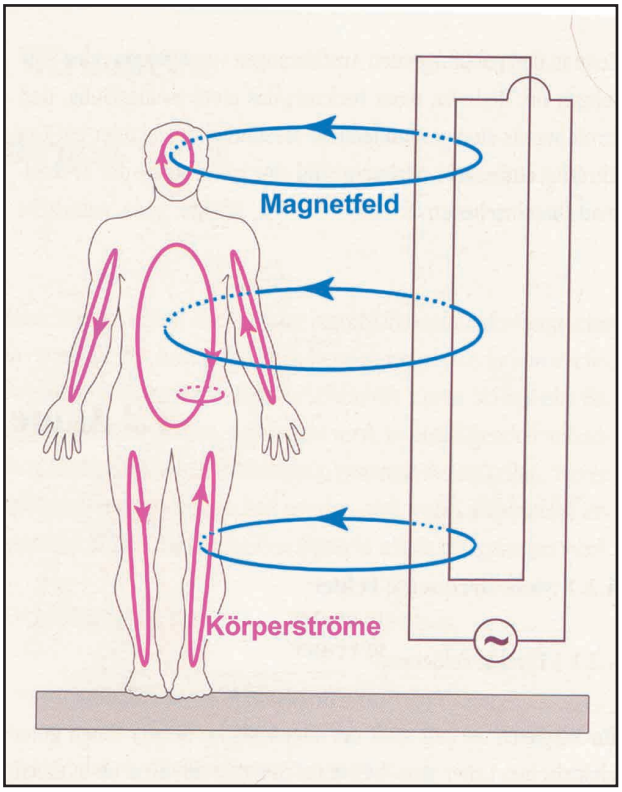


***Abb. 5:** Der **Induktionseffekt** eines magnetischen Wechselfeldes erzeugt im Körper elektrische **Wirbelströme**.*

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. 4). Das Maß für die Belastung durch Körperströme ist die Körperstromdichte, meist angegeben in mA/m^2 (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. 5)
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. 5), 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.

Die durch ein Magnetfeld von 100.000 nT (Grenzwert 26. BImSchV) bei einer Frequenz von 50 - 60 Hz induzierte maximale Körperstromdichte beträgt etwa 1 - 2 mA/m^2. 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 den elektrischen Feldern 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 Feld aufgeladen. Wenn das Gebilde aus Metall und 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. 6). Um Probleme mit dieser indirekten Wirkung elektrischer Felder zu vermeiden, sollten größere Metallgebilde (z.B. Maschendrahtzäune) 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.

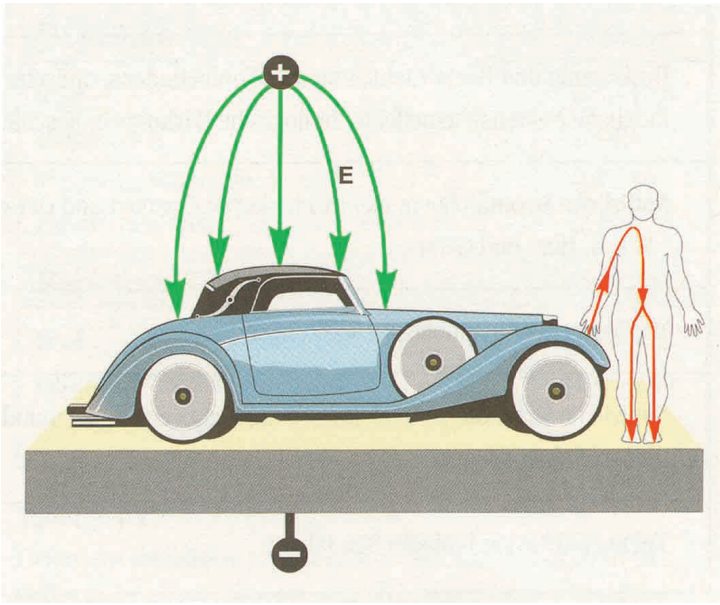


Abb. 6: *Indirekte Wirkung eines elektrischen Feldes*

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. Experimenell 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.

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. 7) zwischen 1,1 und mehr als 4. Das

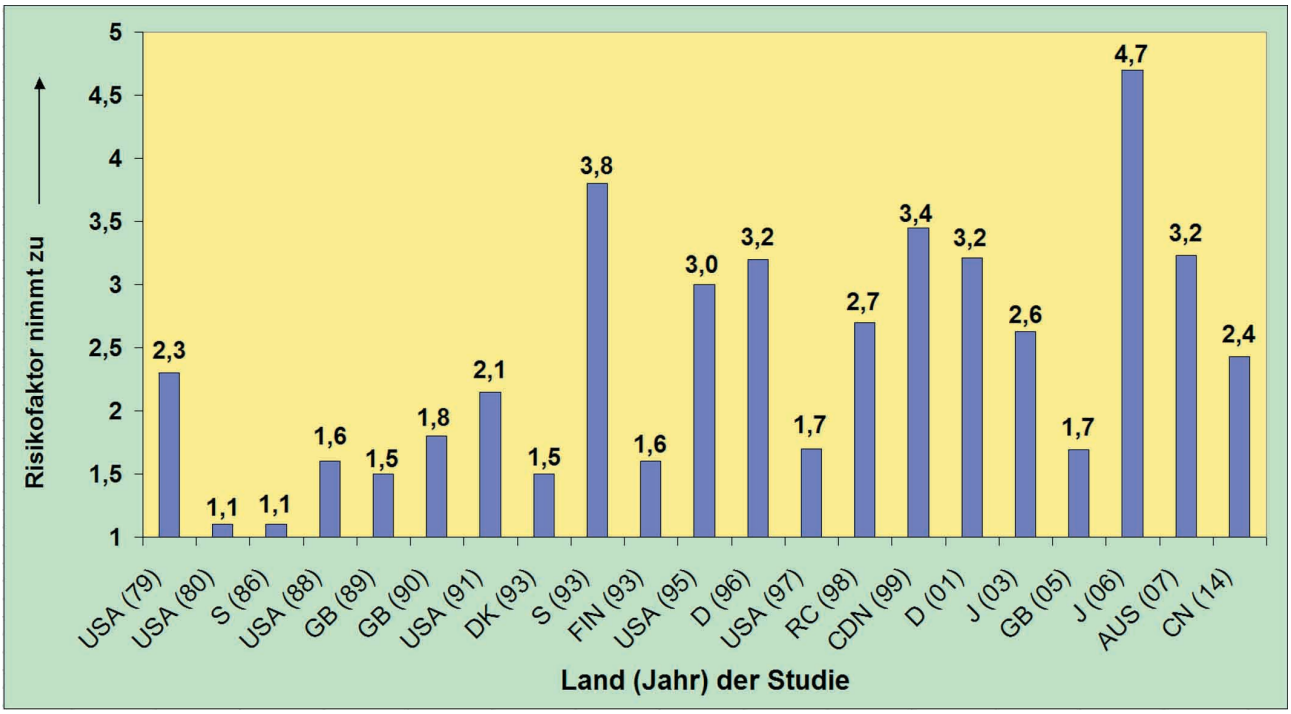


Abb. 7: *Leukämierisiken für Kinder durch 50 Hz/60 Hz-Magnetfelder oberhalb 200 - 400 nT im Wohnbereich.*

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 für Kinder 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 µT) ein 1,6-fach erhöhtes Leukämierisiko, für die nur elektrisch exponierte Gruppe (Exposition >345 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 von Wissenschaftlern, 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 elektrische 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 nur schwer 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. Bundesimmissionsschutzverordnung (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 Vorsorgeregelung 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 Grenzwertüberschreitungen bis zum Doppelten 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/m^2 nicht überschreiten. Körperstromdichten von 1 - 2 mA/m^2 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 sind die Werte dreimal so hoch. Das Körperstromdichtemodell 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) 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) gesenkt.

	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 (Niederfrequente Wechselfelder ~ 0)

Abb. 8: *Gesetzliche Grenzwerte, Referenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für Felder von Hochspannungsleitungen.*
** OMEN im Sinne der schweizer NISV sind z.B. Wohnräume, Schulen, Kindergärten, ständige Arbeitsplätze, Kinderspielplätze, Krankenhäuser und Pflegeheime.*
*** Bei Neuplanungen von Stromversorgungsleitungen und für Altanlagen, wenn Kinder oder Schwangere betroffen sind.*

Im Detail unterscheiden sich die Vorsorgeregelungen von Land zu Land. In Abb. 8 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 µT (= 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 Immissionsschutzes 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 µT / 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. Das erhöhte Fehlgeburtsrisiko konnte in neueren Studien nicht bestätigt werden.

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. Büroräume. Wegen der erhöhten Empfindlichkeit von Kindern gegenüber schädigenden Einflüssen sollte der Vorsorgerichtwert für die Wohnbereiche von Kindern auf 100 nT halbiert werden.

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 (100 nT - 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 erheblich 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 ableiten.

Wenn man für Wohnungen von Kindern den in Kapitel 6 vorgeschlagenen und begründeten Vorsorgerichtwert 100 nT für die mittleren Immissionen durch Magnetfelder von Hochspannungsleitungen zu Grunde legt, kommt man für die dem Plangebiet an der Uckendorfer Straße benachbarten Hochspannungstrassen zu Sicherheitsabständen von ca. 30 m (110 kV-Bahnstromleitung) bzw. 100 m (110/220/380 kV-Kombileitung). Die elektrischen Feldemissionen der Leitungen können bei der Frage nach dem Sicherheitsabstand vernachlässigt werden, weil sie durch die zwischen den Trassen und dem Baugebiet wachsende Vegetation völlig abgeschirmt werden und ohnehin nicht in Gebäude eindringen.

Nach einer Untersuchung der Universität Mainz aus dem Jahr 2001 liegen die durchschnittlichen Immissionen durch magnetische Wechselfelder in deutschen Wohnungen bei 40 nT (Feldquellen sind hauptsächlich die im Erdboden verlegten Niederspannungserdkabel des Stromnetzes). Dieser Immissionswert wird nur in den Häusern von Baufeld B überschritten. Der mittlere Immissionswert 40 nT wird bei einem Abstand von ca. 65 m zur Bahnstromleitung und von ca. 183 m zur Kombileitung unterschritten (jeweils Summenimmission aus beiden Trassen). Das bedeutet, in den Gebäuden der Baufelder A und C liegen die magnetischen Feldimmissionen durch die benachbarten Stromtrassen bereits unter dem in deutschen Wohnungen üblichen Durchschnittswert.

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.

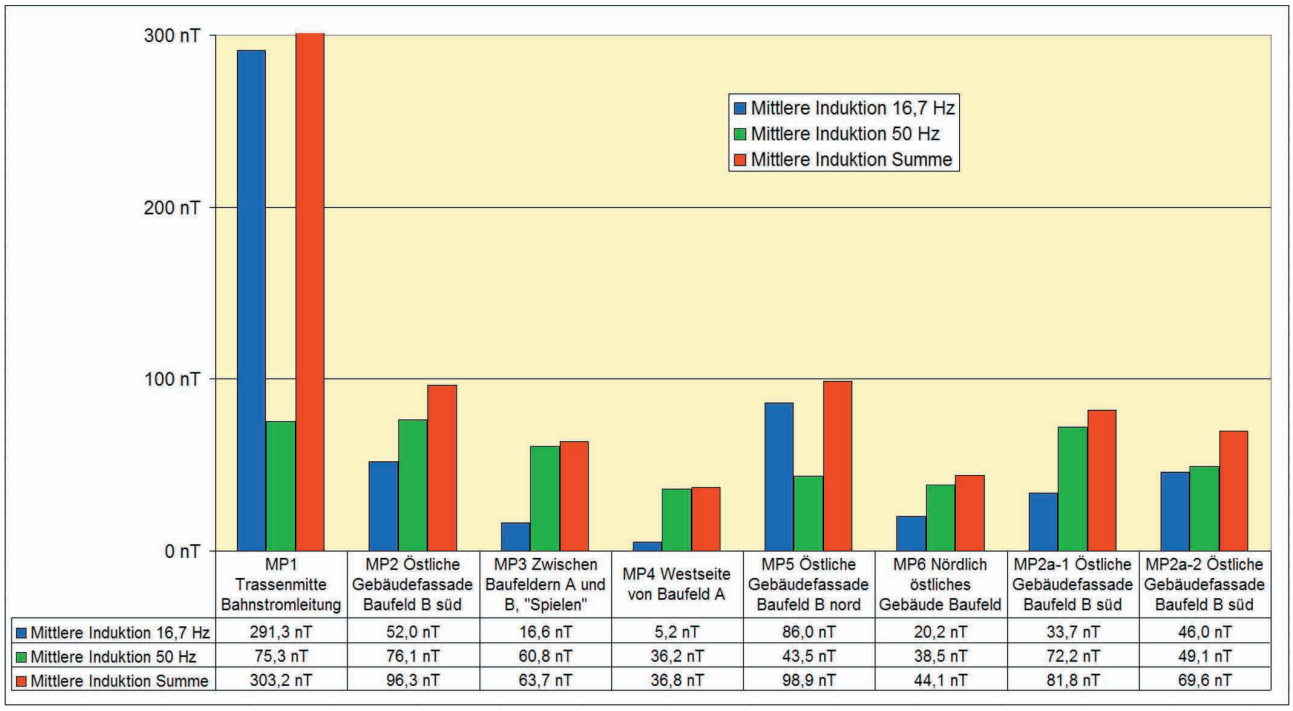
8. Zusammenfassung und Empfehlungen

Auf dem Gelände des ehemaligen Kaiserbaus nördlich der Uckendorfer Straße und östlich neben den Werkstätten der Lebenshilfe Rhein-Sieg e.V. ist der Bau von zahlreichen Wohneinheiten geplant. In der Nähe des Plangebietes verlaufen zwei Hochspannungstrassen, eine 110 kV-Bahnstromleitung (Stromfrequenz 16,7 Hz) und eine 110/220/380 kV-Kombileitung (Stromfrequenz 50 Hz). Der minimale Abstand der geplanten Wohnbebauung beträgt zur Bahnstromleitung 36 m und zur Kombileitung 118 m. Bei Abständen in dieser Größenordnung ist mit erhöhten Immissionen durch magnetische Wechselfelder und bei freier Sicht auf die Leitungen auch mit erhöhten Immissionen durch elektrische Wechselfelder zu rechnen. Aus diesem Grund wurden durch Messungen die elektromagnetischen Feldimmissionen auf dem Plangebiet bestimmt.

Die Messungen wurden durchgeführt an sechs Messpunkten auf dem Plangebiet sowie an einem Messpunkt (MP1) in der Trassenmitte der 110 kV-Bahnstromleitung. Die Messungen erfolgten frequenzselektiv in den Frequenzbereichen 16,7 Hz und 50 Hz. An fünf Messpunkten auf dem Plangebiet (MP2 - MP6) sowie an MP1 wurde der zeitliche Verlauf der magnetischen Induktion über einen Zeitraum von 15 Minuten aufgezeichnet. Zur besseren Absicherung der Ergebnisse der Messungen über 15 Minuten standen an MP2a die Ergebnisse zweier Langzeitmessungen über 34 Stunden bzw. 10 Stunden zur Verfügung. Der Abstand der Messpunkte 2, 2a und 5 zu den Leitungen entspricht dem Abstand der geplanten Gebäude mit der geringsten Entfernung zu den Leitungen.

Die Ergebnisse der Messungen sind als mittlere magnetische Induktion für alle Messpunkte im Diagramm Abb. 9 in den Frequenzbereichen 50 Hz (Netzstrom, grün) und 16,7 Hz (Bahnstrom, blau) sowie als deren Summenintensität (rot) zusammengefasst. (Anmerkung: Wegen der vektoriellen Natur von Magnetfeldern werden deren Intensitäten bei der Summenbildung nicht linear addiert.) Bis auf die Messung in der Trassenmitte der 110 kV-Bahnstromleitung liegen selbst die Summen der magnetischen Induktion unter dem für Kinder empfohlenen Richtwert 100 nT (Kap. 6).

Viele europäische Staaten haben in den letzten Jahren für Planungen von Wohnsiedlungen an Hochspannungsleitungen bzw. den Bau von neuen Hochspannungsleitungen an sensiblen Bereichen strengere Grenzwerte eingeführt oder zumindest Vorsorgeempfehlungen, die möglichst eingehalten werden sollen.



	MP1 Trassenmitte Bahnstromleitung	MP2 Östliche Gebäudefassade Baufeld B süd	MP3 Zwischen Baufeldern A und B, "Spielen"	MP4 Westseite von Baufeld A	MP5 Östliche Gebäudefassade Baufeld B nord	MP6 Nördlich östliches Gebäude Baufeld	MP2a-1 Östliche Gebäudefassade Baufeld B süd	MP2a-2 Östliche Gebäudefassade Baufeld B süd
Mittlere Induktion 16,7 Hz	291,3 nT	52,0 nT	16,6 nT	5,2 nT	86,0 nT	20,2 nT	33,7 nT	46,0 nT
Mittlere Induktion 50 Hz	75,3 nT	76,1 nT	60,8 nT	36,2 nT	43,5 nT	38,5 nT	72,2 nT	49,1 nT
Mittlere Induktion Summe	303,2 nT	96,3 nT	63,7 nT	36,8 nT	98,9 nT	44,1 nT	81,8 nT	69,6 nT

Abb. 9: *Mittlere magnetische Induktion an allen Messpunkten in den Frequenzbereichen 16,7 Hz und 50 Hz sowie die vektorielle Summe der mittleren Induktion*

Aufgrund offensichtlicher konzeptioneller Schwächen bei der Festlegung der Grenzwerte in der 26. BImSchV (es werden nur akut auftretende Schäden in Betracht gezogen, Langzeitwirkungen werden 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. Der Grenzwert der 26. BImSchV für Bahnstromfelder (16,7 Hz) beträgt 300.000 nT und für Netzstromfelder (50 Hz) 100.000 nT.

Auf dem gesamten Plangebiet unterschreiten die Immissionen durch magnetische Wechselfelder den in der Schweiz gültigen gesetzlichen Grenzwert für Orte mit empfindlicher Nutzung (1.000 nT), wozu auch Wohnungen gehören. Die Immissionen unterschreiten auch den für Neubauten von Hochspannungsleitungen in der Nähe von Wohnsiedlungen gültigen niederländischen Richtwert (400 nT).

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. Wenn kleinere Kinder betroffen sind, sollten vorsorglich Immissionen unterhalb durchschnittlich 100 nT angestrebt werden. Die Einhaltung der Vorsorgeimmissionswerte ist nachts wichtiger als tagsüber. Bei der Langzeitmessung über 34 Stunden wurden an allen Messpunkten auf dem Plangebiet nachts magnetische Feldimmissionen gemessen, die weit unter dem Vorsorgerichtwert für kleine Kinder liegen.

Die im Entwurf des neuen LEP NRW vom 22.09.2015 für neue Wohnbebauungen vorgesehenen Abstände zu Höchstspannungstrassen ab 220 kV beträgt 400 m bzw. in Außenbereichen 200 m. Diese großen Abstände und sind im dicht besiedelten NRW kaum praktikabel und sie orientieren sich 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 Maßnahmen an der Feldquelle oder durch Vergrößerung des Abstandes zu dieser erreicht werden. In diesem Zusammenhang empfielt sich als Maßnahme des vorsorgenden Immissionsschutzes die Minimierung der magnetischen Feldimmissionen durch die Erdkabel, mit denen die Gebäude auf dem Plangebiet mit Strom versorgt werden. Die sonst üblichen Immissionen durch Erdkabel (Bundesdurchschnitt in Wohnungen 40 nT) können erheblich minimiert werden, wenn bei der Installation der Versorgungskabel im Bereich des Plangebietes sogenannte offene Ringleitungen vermieden werden. Entweder wird die Erdverkabelung als Strahlennetz ausgeführt oder mit geschlossenen Ringleitungen. Noch besser wären die in der Schweiz seit 2005 für Neuinstallationen von Niederspannungsverteilungsnetzen vorgeschriebenen fünfadrigen Erdkabel (in Deutschland vieradrig) mit vom Neutralleiter getrennt geführtem Schutzleiter, bei denen die Neutralleiter an den Hausanschlüssen nicht geerdet und nicht mit den Schutzleitern der Hausinstallation verbunden werden. Durch die Verwendung fünfadriger Erdkabel beim Bau von Niederspannungsverteilungsnetzen und entsprechend geänderte Hausinstallationen wird die Ursache der durch das Niederspannungsverteilungsnetz erzeugten magnetischen Feldimmissionen (Bildung nicht kompensierter Ströme, auch Stromsummen genannt) am effektivsten vermieden.



Bonn, den 19. August 2016

Dr. Klaus Trost
Wissenschaftsladen Bonn e.V.