

## Gutachten

### **Untersuchungen zu niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldimmissionen durch mehrere Hochspannungsleitungen, eine Umspannstation und eine Bahntrasse im Bereich des Plangebiets Alfter Nord, Teilbereich 2 in 53347 Alfter**

Auftraggeber:      Wirtschaftsförderung Alfter GmbH  
                         Herr Arnold Contemprée  
                         Am Rathaus 7  
                         53347 Alfter

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 30. August 2019

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten.....	2
2. Durchführung der Messungen.....	5
3. Messergebnisse.....	7
4. Umrüstung der 110/380 kV Freileitung Weißenthurm-Sechtem im Rahmen des Projektes <i>Ultranet</i> .....	10
5. Simulationsberechnungen der Immissionen durch magnetische Wechselfelder auf dem Plangebiet.....	12
6. Physikalische Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder im Körper.....	19
7. Biologische und gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder.....	21
8. Gesetzliche Regelungen des Bundes und des Landes NRW.....	24
9. Zusammenfassung und Empfehlungen.....	25
10. Anhang: Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen, Fotos Messpunkte, Diagramme, Ergebnistabellen, Simulationsmatrix.....	29

---

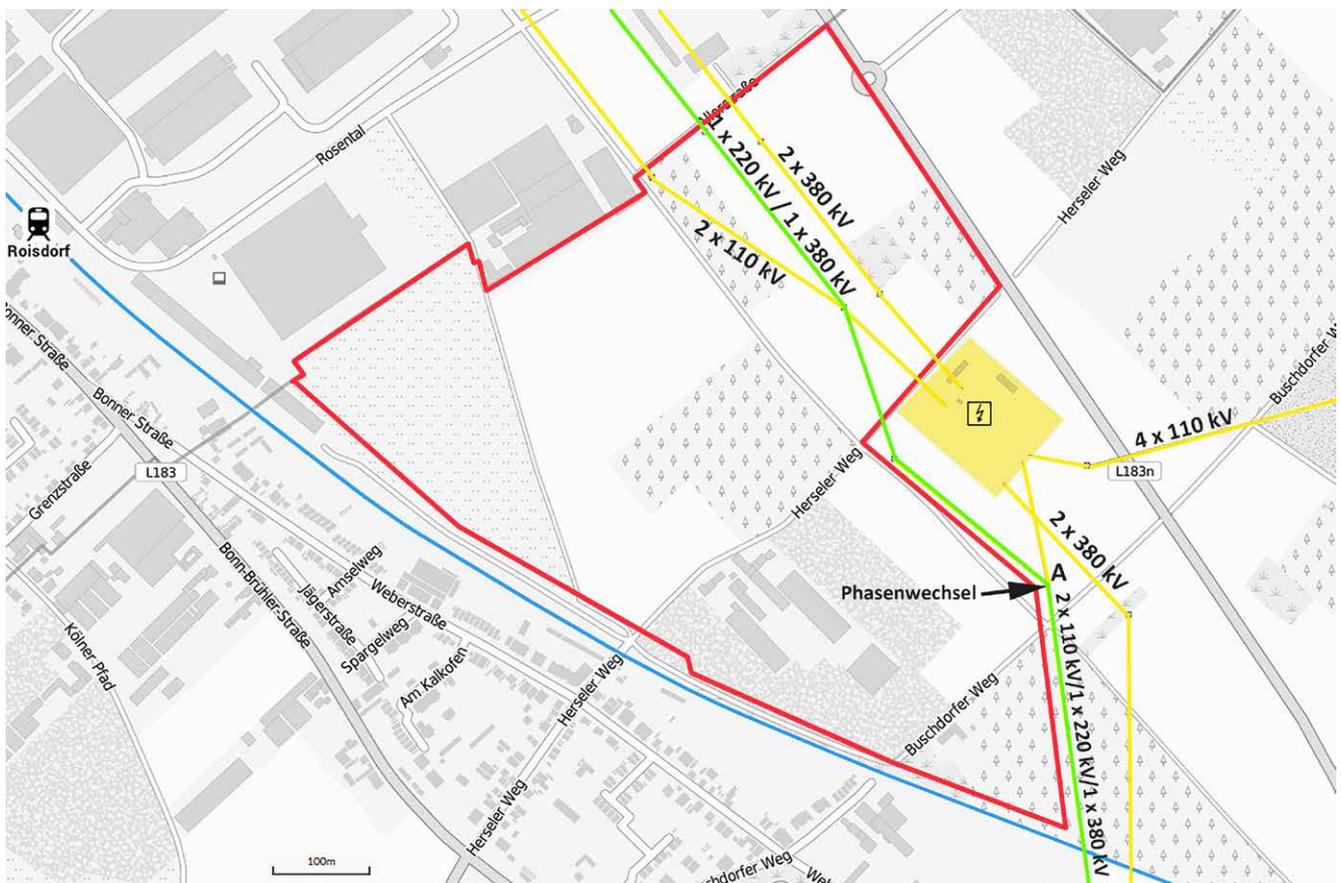
## 1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet umfasst den Teilbereich 2 des teilweise schon realisierten (Teilbereich 1) Gewerbestandortes Alfter Nord, Bebauungsplan Nr. 92 der Gemeinde Alfter. Die nordwestliche Grenze des Plangebiets verläuft an der Kommunalgrenze zu Bornheim. Die neue Landstraße L 183n begrenzt das Plangebiet in nordöstlicher und östlicher Richtung, und die südliche und südwestliche Grenze verläuft entlang der Eisenbahnstrecke Köln-Bonn.

Auf dem Plangebiet ist die Ansiedelung von Gewerbe vorgesehen. Im Plangebiet befinden sich zwei landwirtschaftlich genutzte Gebäudekomplexe mit Wohnnutzung - im Rahmenplan (Abb. 2) rot markiert - und ein ehemaliger landwirtschaftlicher Betrieb in dem ebenfalls eine Wohnnutzung stattfindet. Im zentralen Bereich des sog. „Dorfes“ (in Abb. 2 gelb markiert) soll Betriebswohnen nach § 8 (3) BauNVO zulässig sein.

Aufgrund mehrerer Feldquellen entstehen auf dem Plangebiet Immissionen durch elektrische und magnetische Wechselfelder im Niederfrequenzbereich. Diese Feldquellen sind mehrere das Plangebiet überspannende Hoch- und Höchstspannungsleitungen sowie eine auf dem Plangebiet liegende Umspannstation. Die das Gebiet begrenzende Eisenbahnstrecke ist eine weitere elektromagnetische Feldquelle (Abb. 1).

Die in Abb. 1 grün gekennzeichnete Höchstspannungsleitung ist eigentlich eine 2 x 380 kV-Leitung bzw. südlich des Umspannwerkes eine 2 x 110/2 x 380 kV-Leitung. Das östliche 380kV-System wird derzeit nur mit 220 kV betrieben. In den kommenden Jahren wird im Rahmen des Projekts *Ultranet* dieses System auf Gleichstrombetrieb umgerüstet, geplante Inbetriebnahme ist 2021. Die Umrüstung hat Einfluss auf die Immissionen durch magnetische Wechselfelder auf dem Plangebiet. An Mast A (Abb. 1 und 3) findet ein Phasenwechsel statt, der die Immissionen im weiteren Verlauf der Trasse südlich dieses Mastes (Plangebiet südöstlich des Buschdorfer Weges) günstig beeinflusst.



**Abb. 1:** Plangebiet (rot umrandet) mit Hochspannungsleitungen (gelb, grün), Umspannwerk (gelb) und Bahntrasse (blau). Die grün markierte Leitung wird im Rahmen des Projekts *Ultranet* auf teilweisen Gleichstrombetrieb umgerüstet.



**Abb. 2:** Luftbild mit Rahmenplanentwurf des Gewerbegebiets, Trassenmitteln der Hochspannungsleitungen (gelbe Linien) und Bahntrasse (blaue Linie); rot: vorhandene Wohnbebauung; gelb: geplanter Bereich für betriebliches Wohnen

Hochspannungsfreileitungen und Umspannwerke erzeugen durch ihren Betrieb elektrische und magnetische Wechselfelder mit der Frequenz 50 Hz, 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 Grenzwerte der 26. BImSchV sind so hoch, dass sie im Bereich von Hochspannungstrassen nie überschritten werden. Auch unter einer mit Grenzlast betriebenen vierfachen 380 kV-Höchstspannungsleitung werden die Grenzwerte der 26. BImSchV grundsätzlich eingehalten.

Die deutschen Bahnen werden mit Wechselstrom und einer Fahrdrathspannung von 15 kV betrieben, wobei die Stromfrequenz abweichend vom üblichen Netzstrom (50 Hz) nur 16,7 Hz beträgt. Die Stromversorgung der Züge erfolgt mittels Stromabnehmern über den Fahrdrath (Oberleitung), als Rückleiter dienen die Schienen. Durch den Stromfluss gehen vom Fahrdrath **und** von den Schienen **magnetische Wechselfelder** mit der Feldfrequenz 16,7 Hz aus, wobei die Intensität der Felder entsprechend dem Zugbetrieb **sehr stark schwankt**. Zusätzlich zu den Magnetfeldern erzeugt die Oberleitung (nicht aber die Schienen) auch elektrische Wechselfelder mit **konstanter** und vom Zugbetrieb unabhängiger Feldstärke. Zur Vermeidung akuter Gesundheitsgefährdung müssen in öffentlich zugänglichen Bereichen von Bahntrassen die Bahnstromfelder die in der 26. BImSchV formulierten Grenzwerte einhalten.

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 Grenzwertfestlegung 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 und anderen Daueraufenthaltsbereichen 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.

Gemäß der Novellierung der 26. BImSchV vom 14. August 2013 ist das Überspannen von Gebäuden, in denen sich Personen dauerhaft aufhalten, mit Hochspannungsleitungen der Spannungsebene 220 kV und höher nicht mehr zulässig.

Der Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP NRW), in Kraft getreten am 8 Februar 2017, sieht bei Hochspannungstrassen noch erheblich größere Abstände vor als der Abstandserlass von 1998. Danach soll bei

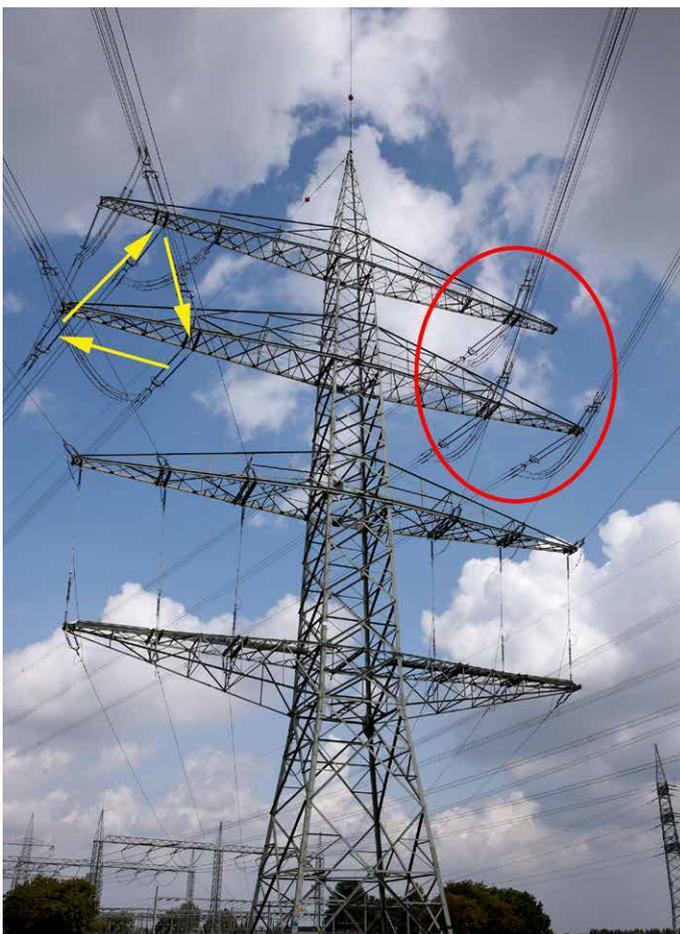
der Planung neuer Wohnsiedlungen zu Hochspannungsleitungen mit 220 kV oder mehr nach Möglichkeit ein Sicherheitsabstand von mindestens 400 m bzw. im Außenbereich von mindestens 200 m eingehalten werden. Diese Abstände gehen nicht nur extrem weit über die Anforderungen der 26. BImSchV hinaus, sie übertreffen auch die Abstände, die notwendig sind, um im Bereich von Hochspannungsleitungen internationale Vorsorgerichtwerte (z.B. Schwedische TCO-Norm) einzuhalten.

**Magnetfelder** durchdringen beinahe ungeschwächt fast jede Materie und alle üblicherweise für Gebäudehüllen verwendeten Materialien. Ihre Intensität nimmt mit zunehmendem Abstand zur Feldquelle ab.

**Elektrische Felder** werden in ihrem Ausbreitungsverhalten von jeglicher Materie beeinflusst und können sehr leicht abgeschirmt werden. Sie dringen von außen praktisch nicht in Gebäude ein.

Im Gegensatz zu Hochspannungsleitungen sind bei elektrifizierten Bahntrassen weder im Bundesrecht noch im Länderrecht Mindestabstände vorgesehen.

In diesem Gutachten werden die Immissionen durch niederfrequente elektromagnetische Felder (Bahnstrom und Netzstrom) im Planungsbereich untersucht und nach gesetzlichen Grenzwerten der 26. BImSchV sowie etablierten internationalen Richtwerten für sensible Bereiche und Vorsorgeempfehlungen für Daueraufenthaltsbereiche von Personen beurteilt.



**Abb. 3:** Phasenwechsel im 380 kV-System an Mast A (gelbe Pfeile) und zur Umrüstung auf Gleichstrombetrieb vorgesehene System (rot umkreist)

## 2. Durchführung der Messungen

Am 2. August 2019 wurden an 25 Messpunkten auf dem Plangebiet sowie an einem weiteren Punkt außerhalb des Gebietes (MP1) Messungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Induktion durchgeführt. Am 6. August wurde an weiteren Punkten (Messpunkte 4A, 5A, 5B, 5C und 22A) nachgemessen, weil sich bei der Auswertung der ersten Messreihe erwies, dass die Messpunkte 4, 5 und 22 durch dort verlaufende Erdkabel gestört waren und die an diesen Punkten bestimmten Messwerte daher zur Evaluation von Simulationsberechnungen unbrauchbar sind. Bei den Messungen kamen frequenzselektive Geräte zum Einsatz, um die von den Hochspannungsleitungen (Feldfrequenz 50 Hz) und der Bahntrasse (16,7 Hz) ausgehenden Felder unterscheiden und getrennt bewerten zu können. Die Standorte der Messgeräte an den einzelnen Messpunkten sind in Abb. 4 eingezeichnet und im Anhang ab Seite 33 als Fotos abgebildet.

Die Intensität der **magnetischen Feldimmissionen** (magnetische Induktion, auch magnetische Flussdichte, gemessen in der Einheit Nanotesla, nT) hängt ab von der fließenden Stromstärke und schwankt daher an Hochspannungsleitungen und Bahntrassen entsprechend den wechselnden Stromlasten. Besonders starke Intensitätsschwankungen weisen die magnetischen Feldemissionen von Bahntrassen auf, während die Schwankungen bei Hochspannungsleitungen meist nur gering sind. Es ist daher vor allem bei der Messung von magnetischen Bahnstromfeldern erforderlich, den Intensitätsverlauf des Magnetfelds an jedem Messpunkt über einen längeren 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. Um den wegen der vielen Messpunkte hohen Zeitaufwand bei den Messungen zu begrenzen und trotzdem zu genauen Ergebnissen zu gelangen, wurden die Messungen mit zwei Feldanalysatoren durchgeführt und die Messzeit an den Kurzzeit-Messpunkten auf vier Minuten begrenzt. Der zweite Feldanalysator wurde an einem festen Messpunkt (MP0) positioniert und zeichnete während des gesamten Messzeitraumes den Intensitätsverlauf der Magnetischen Induktion in den Frequenzbereichen 16,7 Hz und 50 Hz auf. Die Lage von MP0 wurde so gewählt, dass der Lastgang der Hochspannungsleitungen **und** der Bahntrasse gleichzeitig erfasst werden konnte. Die an den Kurzzeit-Messpunkten (MP1 - MP24) erhaltenen Messwerte wurden auf den an MP0 bestimmten Langzeitmittelwert normiert, wobei die durch Lastschwankungen bedingten Intensitätsschwankungen der magnetischen Induktion an den Kurzzeit-Messpunkten herausgerechnet werden konnten.

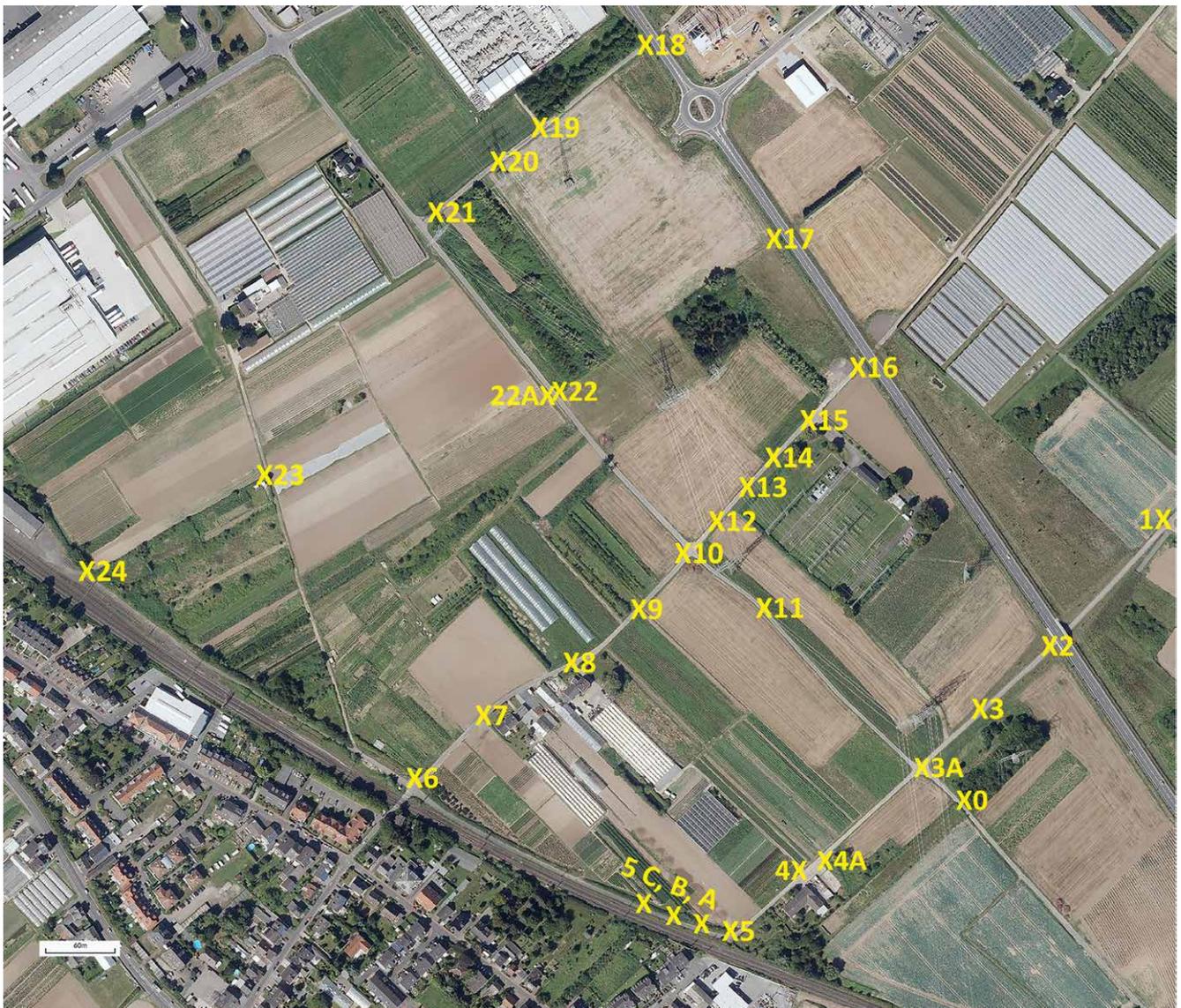
Die Intensität der Immissionen durch **elektrische Felder** (elektrische Feldstärke, Volt pro Meter, V/m) ist abhängig von der Höhe der Betriebsspannung der Hochspannungsleitungen bzw. der Oberleitung. Da die Betriebsspannungen unabhängig von der Stromlast annähernd konstant sind, sind auch die Immissionen durch elektrische Felder weitestgehend konstant. Zur Bestimmung der elektrischen Feldimmissionen genügt daher eine Messzeit von einigen Sekunden pro Messpunkt.

Die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion an den Kurzzeit-Messpunkten (alle Messpunkte außer MP 0) 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 auch den Oberwellengehalt der Felder ermitteln. Ein hoher Oberwellengehalt verstärkt die biologische Wirkung elektromagnetischer Felder. 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 montiert, die Höhe des Messgerätes über Grund betrug bei allen Messungen (auch an MP0) ca. 1,5 m.

Für die Langzeitmessung an Messpunkt 0 kam der Magnetfeldanalysator NFA 30 M der Firma Gigahertz-Solutions GmbH zum Einsatz, der während des gesamten Zeitraumes der Kurzzeit-Messungen frequenzselektiv den Verlauf der magnetischen Induktion aufzeichnete.

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte für beide Feldarten und bei beiden Messgeräten mit 10 Messwert-sätzen pro Sekunde.

---



**Abb. 4:** Lage der Messpunkte auf dem Plangebiet

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

### 3. Messergebnisse

In Tabelle 1 sind die an allen Messpunkten bestimmten mittleren magnetischen Induktionen  $B_{\text{mittel}}$  und die gemessenen elektrischen Feldstärken  $E$  in den Frequenzbereichen 16,7 Hz (Bahnstrom) und 50 Hz (Netzstrom) zusammengefasst.

Im Anhang ab Seite 38 sind in Diagrammen die an den variablen Messpunkten MP1 bis MP24 sowie dem festen Messpunkt MP0 der Langzeitmessung bestimmten zeitlichen Verläufe der Intensität der magnetischen Induktion in den Frequenzbereichen des Bahnstromes (blaue Kurve, 16,7 Hz) und des Netzstromes (grüne Kurve, 50 Hz) dargestellt. Außerdem sind tabellarisch angegeben die am jeweiligen Messpunkt im Messzeitraum bestimmten Minimal- und Maximalwerte der magnetischen Induktion in beiden Frequenzbereichen sowie die aus allen aufgezeichneten Messwerten berechneten Mittelwerte  $B_{\text{mittel}}$  und einige statistische Parameter, die hier nicht von Bedeutung sind. Beim Lesen der Diagramme ist zu beachten, dass die senkrechten Achsen für eine möglichst optimale Darstellung der Kurven unterschiedlich skaliert sein können.

Maßgeblich zur Bewertung der Immissionen sind bei den Magnetfeldern die Mittelwerte. Wegen der Konstanz der Messwerte und der untergeordneten Bedeutung wurden die Messergebnisse der elektrischen Feldstärke nicht grafisch dargestellt.

Auf Seite 38 ist der über einen Zeitraum von mehr als vier Stunden aufgezeichnete Intensitätsverlauf der Magnetischen Induktion an MP0 in den Frequenzbereichen 16,7 Hz (blau) und 50 Hz (grün) dargestellt. Man erkennt, dass die Intensität der von den Hochspannungsleitungen erzeugten Magnetfelder im Messzeitraum nur wenig schwankte, während die Schwankungen bei den Bahnstromfeldern prozentual sehr groß waren. Wegen der geringen Intensitätsschwankungen konnte bei den 50 Hz-Feldern auf eine Normierung der Messwerte an den Kurzzeit-Messpunkten verzichtet werden, so dass nur die Messwerte der Bahnstromfelder normiert werden mussten. Auf Seite 39 ist zur Verdeutlichung der großen Intensitätsschwankungen der Verlauf der magnetischen Induktion der Bahnstrommessung an MP0 mit einer günstiger skalierten senkrechten Achse dargestellt.

Anhand der beiden Diagramme auf Seite 40 sei das Normierungsverfahren am Beispiel von MP1 für die magnetischen Bahnstromfelder kurz erläutert. Das obere Diagramm (Hintergrund farbig) zeigt die an MP1 erhaltene Messkurve (Analysator NFA1000) und tabellarisch die Messwerte. Das untere Diagramm (Hintergrund weiß) zeigt die an MP0 mit dem NFA30M im selben Zeitabschnitt gemessene Kurve und die Werte im Bahnstrombereich. Obwohl beide Messpunkte ca. 300 m auseinander liegen, haben die Kurven den gleichen Habitus. Der Quotient aus dem in der gesamten Messzeit an MP0 bestimmten Mittelwert der magnetischen Induktion im Bahnstrombereich und dem an MP0 gewonnenen Mittelwert im Messzeitraum von MP1 liefert einen Korrekturfaktor, mit dem der Messwert an MP1 multipliziert und so normiert wird. Erst durch dieses Verfahren werden die einzelnen Messwerte trotz der starken Feldschwankungen miteinander vergleichbar und können zur Validierung von Simulationsberechnungen oder zum Aufstellen eines Abstands-Intensitäts-Gesetzes verwendet werden. Für die Beurteilung der Immissionen durch magnetische Bahnstromfelder entscheidend sind die normierten Werte in der fett gedruckten fünften Spalte von Tabelle 1 (Seite 8).

Die Intensitätsschwankungen der magnetischen 50 Hz-Felder waren im Messzeitraum so klein, dass auf eine Normierung dieser Messwerte verzichtet werden konnte.

#### Magnetfelder

Es wurde die magnetische Induktion im Frequenzbereich des Bahnstroms (16,7 Hz) und des Netzstromes (50 Hz) gemessen. Der in Deutschland gültige gesetzliche und damit auch rechtlich verbindliche Grenzwert für die Immissionen durch Magnetfelder von Bahnstromanlagen beträgt gemäß 26. BImSchV 300.000 nT (Nanotesla) und für Hochspannungsleitungen mit der Stromfrequenz 50 Hz 100.000 nT. Diese Grenzwerte gelten offiziell auch für Daueraufenthaltsbereiche von Personen. Die Grenzwerte wurden bei den Messungen auf dem Plangebiet zu ca. 4,6 % (MP13, 50 Hz) bzw. zu 0,4 % (MP5, 16,7 Hz) ausgeschöpft. Vorsorgeorientierte Regelungen empfehlen vor allem für 50 Hz-Felder erheblich niedrigere Richtwerte (Kap. A im Anhang). Für Schlaf- und



	<b>B<sub>mittel</sub> (50 Hz)</b>	<b>E (50 Hz)</b>	<b>B<sub>mittel</sub> (16,7 Hz)</b>	<b>B<sub>norm.</sub> (16,7 Hz)</b>	<b>E (16,7 Hz)<sup>1</sup></b>
MP0	<b>1536,1 nT</b>	-	37,8 nT	-	-
MP1	<b>1940,6 nT</b>	994 V/m	12,1 nT	<b>17,8 nT</b>	-
MP2	<b>218,3 nT</b>	-	20,5 nT	<b>29,8 nT</b>	-
MP3	<b>2338,5 nT</b>	704,5 V/m	46,7 nT	<b>34,6 nT</b>	-
MP3A	<b>1160,4 nT</b>	192,4 V/m	56,0 nT	<b>90,5 nT</b>	-
MP4*	<b>496,1 nT</b>	45,5 V/m	186,7 nT	<b>134,2 nT</b>	-
MP5*	<b>509,4 nT</b>	9,8 V/m	479,8 nT	<b>602,5 nT</b>	60,2 V/m
MP6	<b>73,1 nT</b>	2,3 V/m	389,9 nT	<b>331,2 nT</b>	25,7 V/m
MP7	<b>80,3 nT</b>	4,8 V/m	171,8 nT	<b>123,0 nT</b>	1,8 V/m
MP8	<b>98,4 nT</b>	12,7 V/m	173,1 nT	<b>103,9 nT</b>	-
MP9	<b>266,7 nT</b>	52,3 V/m	96,5 nT	<b>105,1 nT</b>	-
MP10	<b>1454,4 nT</b>	529,5 V/m	70,9 nT	<b>77,9 nT</b>	-
MP11	<b>3268,7 nT</b>	1378,8 V/m	48,2 nT	<b>45,1 nT</b>	-
MP12	<b>2094,6 nT</b>	1130,7 V/m	74,9 nT	<b>69,7 nT</b>	-
MP13	<b>4486,2 nT</b>	870,0 V/m	87,7 nT	<b>144,1 nT</b>	-
MP14	<b>2115,2 nT</b>	922,3 V/m	90,2 nT	<b>91,9 nT</b>	-
MP15	<b>495,5 nT</b>	102,4 V/m	44,5 nT	<b>35,3 nT</b>	-
MP16	<b>269,6 nT</b>	27,5 V/m	26,1 nT	<b>39,5 nT</b>	-
MP17	<b>211,8 nT</b>	42,0 V/m	10,2 nT	<b>8,1 nT</b>	-
MP18	<b>193,1 nT</b>	25,0 V/m	6,4 nT	<b>7,0 nT</b>	-
MP19	<b>3255,6 nT</b>	1258,3 V/m	16,6 nT	<b>13,9 nT</b>	-
MP20	<b>2231,6 nT</b>	623,3 V/m	22,6 nT	<b>22,1 nT</b>	-
MP21	<b>1395,8 nT</b>	402,9 V/m	25,1 nT	<b>15,5 nT</b>	-
MP22*	<b>2132,7 nT</b>	104,7 V/m	123,1 nT	<b>126,1 nT</b>	-
MP23	<b>35,4 nT</b>	4,6 V/m	49,6 nT	<b>47,0 nT</b>	1,4 V/m
MP24	<b>22,6 nT</b>	0,7 V/m	230,8 nT	<b>292,8 nT</b>	21,1 V/m

**Tabelle 1:** Gemessene mittlere magnetische Induktion **B<sub>mittel</sub>** [nT] und elektrische Feldstärke **E** [V/m] in den Frequenzbereichen 16,7 Hz (Bahnstrom) und 50 Hz (Netzstrom). In der fett gedruckten 5. Spalte die für die Beurteilung der magnetischen Bahnstromfelder wesentliche normierte Induktion im Frequenzbereich 16,7 Hz.

<sup>1</sup> Messwerte unter 1 V/m nicht angegeben \* Durch Felder von Erdkabeln stark gestörte Messpunkte

Ruhebereiche (Wohnungen) wird für die Immissionen durch magnetische Bahnstromfelder (16,7 Hz) ein Vorsorgerichtwert 600 nT vorgeschlagen, für Büroarbeitsplätze der Schweizer Anlagegrenzwert für Bahnstromanlagen (1.000 nT Mittelwert über 24 Stunden). Für Wohnungen wird für die Immissionen durch magnetische Netzstromfelder (50 Hz) ein Vorsorgerichtwert 200 nT vorgeschlagen, für Büroarbeitsplätze 400 nT und für Arbeitsplätze ohne Daueraufenthalt (Lager, Außendienst) 600 nT.

Zum Vergleich: Nach einer Studie der Universität Mainz beträgt die magnetische Induktion durch Netzstromfelder (50 Hz) in Deutschen Wohnungen durchschnittlich 40 nT.



### Elektrische Felder

Innerhalb von Gebäuden können trotz ihrer leichten Abschirmbarkeit erhöhte Immissionen durch elektrische Felder auftreten, wenn sich elektrische Feldquellen innerhalb der Gebäude befinden. Expositionen von Personen mit elektrischen Feldern können je nach Intensität bei einer Dauerbelastung von gesundheitlicher Relevanz sein. Obwohl Immissionen durch elektrische Felder wegen ihrer leichten Abschirmbarkeit aus gesundheitlicher Sicht oft nur von untergeordneter Bedeutung sind, können sie bei größerer Stärke durch ihre indirekte Wirkung (Seite 20, Abb. 15; diese Seite übernächster Absatz) akute Sicherheitsprobleme verursachen. Daher musste die elektrische Feldstärke ebenfalls untersucht werden, da auf dem Plangebiet in der Nähe der Hochspannungsleitungen erhöhte Immissionen durch elektrische Felder zu erwarten waren. Wegen der im Vergleich zu Hochspannungsleitungen relativ niedrigen Betriebsspannung der Bahnen (Spannung der Oberleitung 15 kV) sind die elektrischen Feldemissionen der Bahntrasse für die elektrische Sicherheit auf dem Plangebiet nicht von Bedeutung.

Gemäß 26. BImSchV beträgt der Grenzwert für Immissionen durch elektrische Felder von Stromversorgungsanlagen der Bahn 10.000 V/m (Volt pro Meter), für die elektrischen Felder von Hochspannungsleitungen mit der Stromfrequenz 50 Hz beträgt er 5.000 V/m. Der Grenzwert für elektrische Bahnstromfelder wurde an Messpunkt 5 zu 0,6 % ausgeschöpft, bei den elektrischen 50 Hz-Feldern betrug die maximale Grenzwertausschöpfung 27,6 % (MP 11).

Sicherheitsprobleme durch elektrische Felder sind aufgrund der gemessenen elektrischen Feldstärken im Bereich von Höchstspannungsleitungen der Spannungsebene 380 kV nicht ausgeschlossen. Das Maximum der elektrischen Feldstärke wird bei den üblichen Mastgeometrien von 380 kV-Leitungen (Donaugeometrie) nicht unter den Leiterseilen, sondern einige Meter neben der Trasse erreicht. Durch den Influenzeffekt des von den Hochspannungsleitungen ausgehenden elektrischen Feldes entstehen an einem ungeerdeten metallischen Gebilde (z.B. größere Geländer aus blankem Metall, metallische Dachrinnen mit Fallrohren) elektrische Potentiale gegen Erde, die bei ungenügender Erdung dieses Körpers einige 100 Volt erreichen können. Bei Berührung des metallischen Gebildes kommt es dann zu einem als elektrischer Schlag wahrnehmbaren Abfluss der elektrischen Ladung über den Körper der berührenden Person, wobei lebensgefährliche Stromstärken aber kaum zu erwarten sind. Um das Entstehen von Berührungsspannungen zu vermeiden, sollten in unmittelbarer Nähe einer 380 kV-Höchstspannungsleitung größere Metallkonstruktionen geerdet werden, oder man verwendet nicht leitfähige Materialien oder mit Kunststoff beschichtete Metalle.

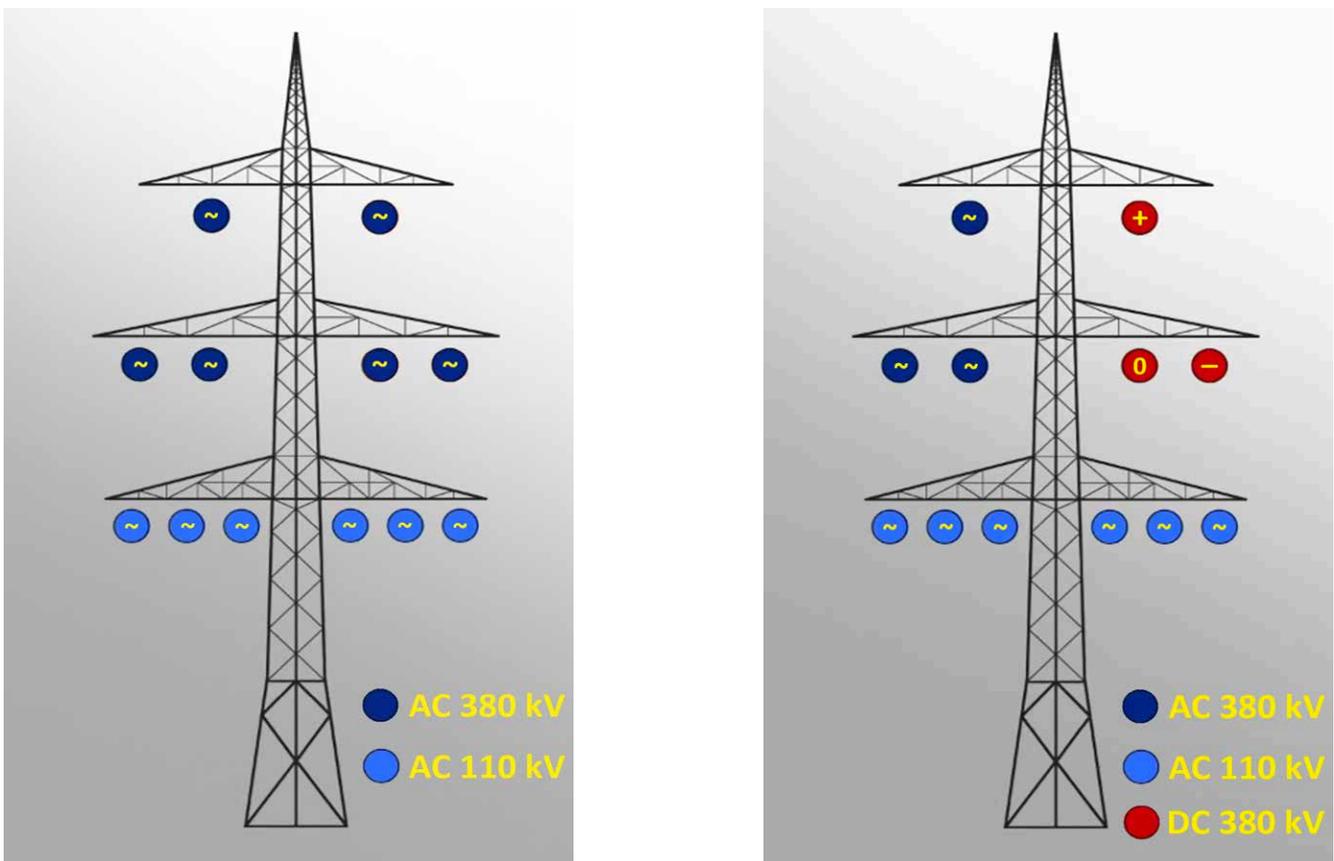
Auch für die Immissionen durch elektrische Felder gibt es vorsorgeorientierte Empfehlungen. Die schwedische TCO-Gewerkschaft schlägt für Büroarbeitsplätze einen Richtwert von 10 V/m vor (50 Hz Feldfrequenz). Da die Immissionen durch elektrische Felder **innerhalb** eines Gebäudes fast ausschließlich von dessen elektrischer Einrichtung (Elektroinstallation, Elektrogeräte, Kabel....) abhängen, haben Hochspannungsleitungen hier keinen Einfluss.

Im Außenbereich des Umspannwerkes wurden die stärksten Immissionen durch elektrische (1379 V/m, MP12) und magnetische (4486 nT, MP13) Wechselfelder gemessen. Die Quelle dieser Immissionen ist jedoch nicht das Umspannwerk selbst, sondern im Fall der elektrischen Felder der parallel neben dem Umspannwerk geführte 380 kV-Teil der 110/380 kV Höchstspannungsfreileitung Weißenthurm - Sechtem sowie im Fall der Magnetfelder die über das Umspannwerk geführte 380 kV-Leitung Brauweiler-Koblenz. Die elektromagnetischen Emissionen des Umspannwerkes können wegen der großen räumlichen Nähe vor allem zu den 380 kV-Systemen nicht getrennt von den Emissionen der Freileitungen bestimmt werden.

#### 4. Umrüstung der 110/380 kV Freileitung Weißenthurm - Sechtem im Rahmen des Projektes *Ultrahigh Voltage*

Die in Abb. 1 grün gekennzeichnete Hochspannungsleitung (offiziell 110/380 kV Weißenthurm - Sechtem) wird im Rahmen des Projektes *Ultrahigh Voltage* in naher Zukunft auf teilweisen Gleichstrombetrieb umgerüstet, wodurch sich die Immissionen durch elektromagnetische Felder auf dem Plangebiet ändern werden. Eines der beiden auf dieser Leitung vorhandenen 380 kV-Drehstromsysteme wird durch ein Gleichstromsystem ersetzt, so dass eine Hybridleitung entsteht, bei der auf einem Mast nebeneinander drei dreiphasige Wechselstromsysteme- und ein Gleichstromsystem (2 x ~110 kV, 1 x ~380 kV, 1 x ±380 kV) installiert sind.

Der Umbau der Hochspannungsleitung 110/380 kV Weißenthurm - Sechtem erfolgt nach den aktuellen Planungen von Amprion wie in Abb. 5 dargestellt. Das in Blickrichtung Norden rechte 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 auf Erdpotential fließen im Normalbetrieb nur schwache Ausgleichströme, die man unter Einsparung des dritten Leiterseils auch durch die Erde leiten könnte. Das dritte Leiterseil erhöht jedoch die Versorgungssicherheit, weil bei Ausfall eines der jeweils zwei Konverter an den Enden der Leitung (in Osterath und Philippsburg) noch die halbe elektrische Leistung übertragen werden kann. Eine HGÜ Leitung mit zwei Leiterseilen fällt schon bei Störungen an einem der vier Konverter komplett aus. Auch ist es wegen des dritten Leiterseils möglich, im Bedarfsfall alternativ zum Gleichstrom den üblichen dreiphasigen Wechselstrom zu übertragen.



**Abb. 5:** Links derzeitige Konfiguration der Leitung Weißenthurm - Sechtem mit je zwei Dreiphasenwechselstromsystemen 110 kV und 380 kV und rechts Hybridmast nach der Umrüstung (Blickrichtung Sechtem). Blau: Wechselstrom (AC); Rot: Gleichstrom (DC)

Nach Berechnungen mit dem Simulationsprogramm Winfield V4.0 (s. Kap. 5) gehen die Immissionen durch magnetische Wechselfelder nach der Umrüstung der Leitung auf teilweisen Gleichstrombetrieb fast auf dem gesamten Plangebiet zurück. Nur im südöstlich des Buschdorfer Weges gelegenen Teil des Plangebietes kommt es nach der Umrüstung in unmittelbarer Nähe der Trasse zu einem geringfügigen Anstieg der Immissionen durch magnetische Wechselfelder.

Elektromagnetische Gleichfelder (statische Felder) sind biologisch wesentlich weniger aktiv als Wechselfelder, da sie in ruhenden Körper keine elektrischen Ströme erzeugen. Die auf Seite 19 in den Abbildungen 13 und 14 dargestellten Effekte, welche bei Exposition mit elektromagnetischen Wechselfeldern im Körper zur Erzeugung von elektrischen Strömen führen, treten bei magnetischen bzw. elektrischen Gleichfeldern nicht auf. Voraussetzung für die wesentlich geringere biologische Aktivität von Gleichfeldern ist, dass sie praktisch frei sind von den bei der Konvertierung des Stromes entstehenden Wechselfeldanteilen bzw. Oberwellen. Durch entsprechende technische Maßnahmen an den Konvertern werden die Wechselfeldanteile / Oberwellen auf ein Minimum begrenzt, so dass sie bei Berechnungen nach 26. BImSchV vernachlässigt werden können.

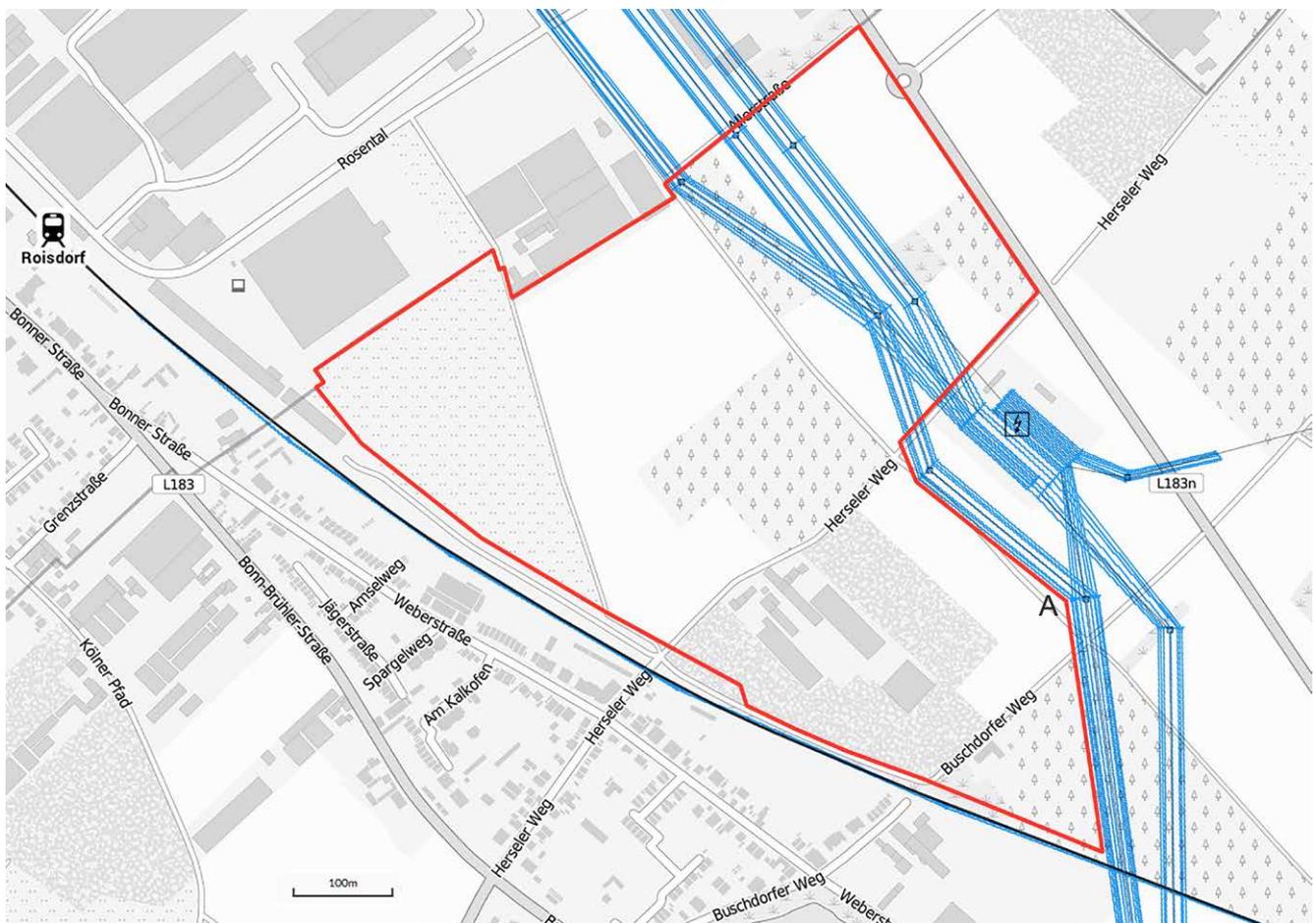
Der Grenzwert der 26. BImSchV für statische Magnetfelder beträgt  $500 \mu\text{T}$  ( $500.000 \text{ nT}$ ) und ist damit fünfmal größer als für die magnetischen Wechselfelder der üblichen Wechselstromleitungen. Der Grenzwert  $500 \mu\text{T}$  wurde nicht aus Gesundheitsgründen gewählt, denn dann hätte er noch viel größer sein können, sondern zur Vermeidung unbeabsichtigter Schaltvorgänge an medizinischen Implantaten (z.B. Herzschrittmacher).

## 5. Simulationsberechnungen der magnetischen Induktion

Die Immissionen durch Magnetfelder im Bereich einer Hochspannungsleitung sind abhängig von der in den Leiterseilen der Leitung fließenden Stromstärke. Die Stromstärke und somit auch die Immissionen durch Magnetfelder schwanken entsprechend dem tages- und jahreszeitlich wechselnden Strombedarf. Eine Messung der magnetischen Induktion an einer Hochspannungsleitung liefert daher nur eine Momentaufnahme, deren Ergebnisse unter Umständen deutlich von den für die Beurteilung der Immissionen maßgeblichen Mittelwerten abweichen können. Ein weiteres Problem ergibt sich, wenn die Immissionen in größerer Höhe über dem Erdboden von Bedeutung sind und die Messungen nur in Bodennähe durchgeführt werden können. Wenn an einer Hochspannungstrasse immissionsrelevante Änderungen geplant sind, ermöglichen Simulationsberechnungen die Voraussage der nach der Änderung zu erwartenden Immissionen.

Die Angabe der im Durchschnitt zu erwartenden magnetischen Immissionen im Bereich einer Hochspannungsleitung kann durch zusätzlich zu Messungen durchgeführten Simulationsberechnungen erheblich präzisiert werden. Für diese Berechnungen wurden Computerprogramme entwickelt, welche bei Kenntnis der Leiterseilgeometrie der Hochspannungsleitungen sowie der Phasenbelegung der Leiterseile in Abhängigkeit von der Stromstärke eine genaue Berechnung der Immissionen durch Magnetfelder ermöglichen.

Zur Berechnung der Immissionen durch magnetische Felder im Bereich des Plangebietes wurde das Programm WinField V4.03 der Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU) verwendet. Die Geometrie der Hochspannungstrasse wurde in einer Länge von ca. 2800 m nachgebildet und mit allen geometrischen und elektrischen Daten in das Programm WinField eingegeben. Die Bahntrasse wurde vom Bahnhof Roisdorf bis zur Brücke über die L183n nachgebildet. Abb. 6 zeigt die simulierte Trassenverläufe mit allen Leiterseilen.

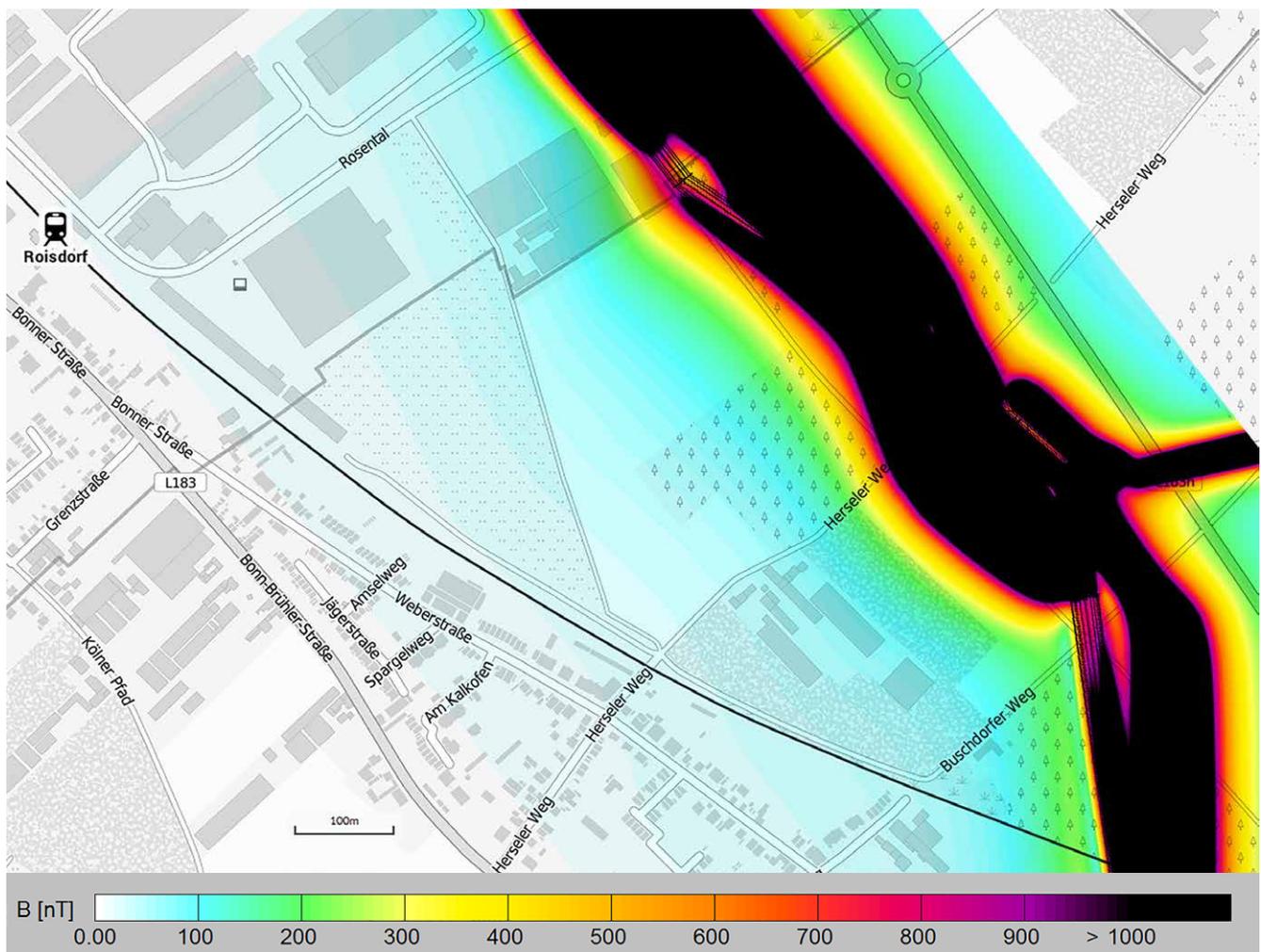


**Abb. 6:** Plangebiet mit Simulationsmodell der Hochspannungs- und Bahntrasse (blau)

Alle für die Berechnungen erforderlichen Parameter (Geometrische Koordinaten, Phasenwinkel, Spannung, Stromstärke, Frequenz u.a.) wurden für das Programm WinField in eine Tabelle eingetragen, die im Anhang ab Seite 54 abgebildet ist.

Die Höhe der von einer Hochspannungsleitung verursachten magnetischen Feldimmissionen hängt außer von der fließenden Stromstärke in erheblichem Maße von der Verteilung der drei Phasen mit den Phasenwinkeln  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  und  $240^\circ$  auf die Leiterseile und der geometrischen Anordnung (z.B. Tanne, Tonne, Donau) der Leiterseile ab. Durch eine entsprechende Konstruktion der Masten und eine optimale Phasenverteilung lassen sich so geringstmögliche Immissionen durch elektrische und vor allem magnetische Felder erreichen. Im allgemeinen entspricht die Verteilung der Phasen auf die einzelnen Leiterseile bei einer Hochspannungsleitung der Standardgeometrie. Dies ist die Geometrie, bei der im Ein- und Ausgang von Umspannstationen ein Kreuzen der Leiterseile vermieden wird. An Abspannmasten (Masten, an denen der Trassenverlauf einen Knick macht) besteht die Möglichkeit, die Phasengeometrie zu ändern. An Mast A (Abb. 3, Seite 4) ist ein solcher Phasenwechsel zu beobachten. Wie die Simulationsberechnungen ergaben, führt dieser Phasenwechsel im weiteren Verlauf der Hochspannungsleitung südlich von Mast A auf der Westseite der Trasse derzeit zu einer erheblichen Abnahme der Immissionen durch Magnetfelder, hat aber auf die Immissionen auf dem größten Teil des Plangebietes keinen nennenswerten Einfluss.

Die Ergebnisse der Simulationsberechnungen werden in Diagrammen dargestellt, in denen die Intensitätsverteilung der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet (in 1,5 m Höhe) durch farbige Iso-Linien gekennzeichnet



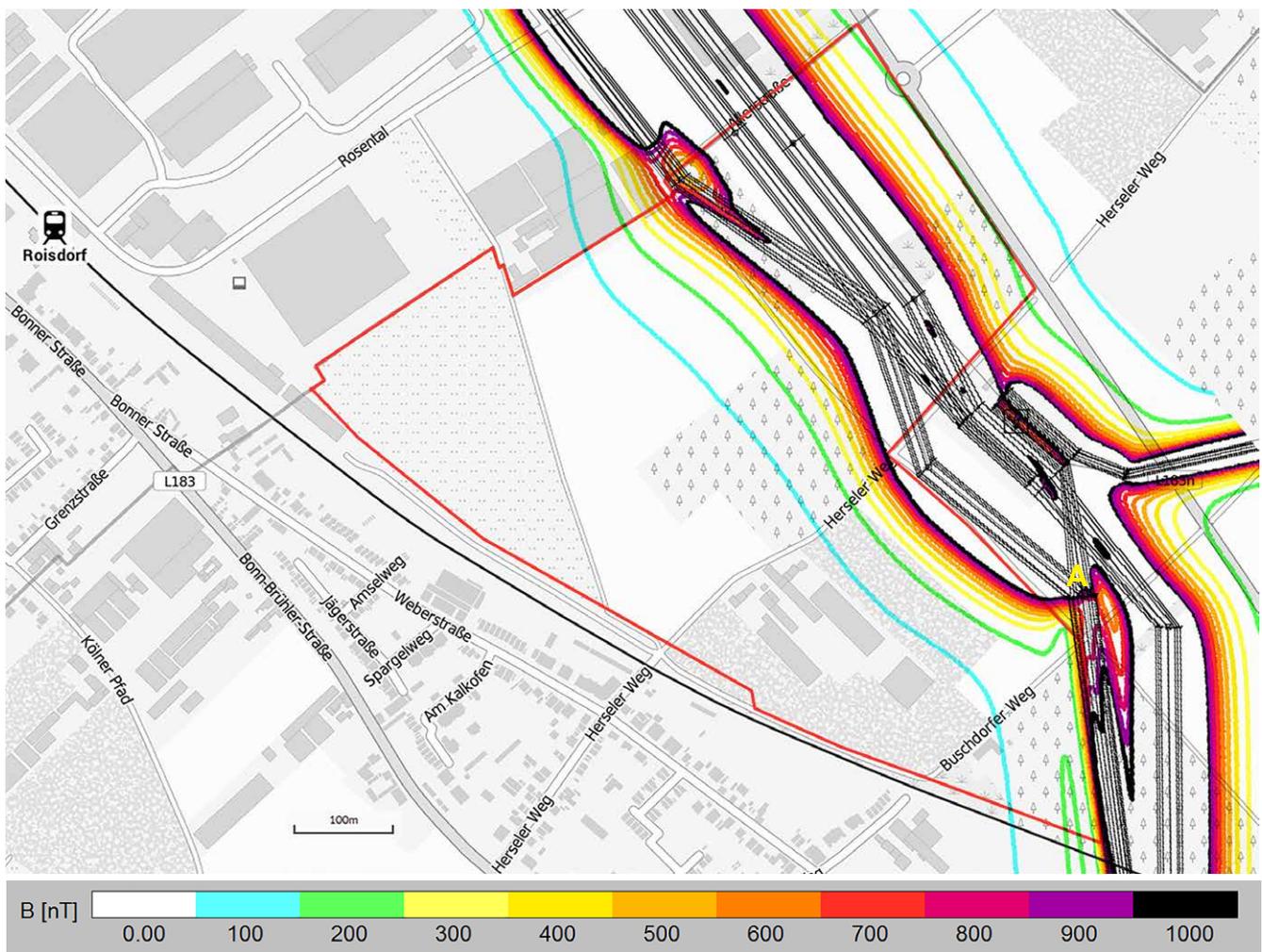
**Abb. 7:** 2D-Darstellung des magnetischen Feldverlaufs im 50 Hz-Bereich auf dem Plangebiet, Istzustand wie im Iso-Diagramm in Abb. 8.

net ist (Iso-Diagramme). Außerdem können die Ergebnisse in 2D-Diagrammen dargestellt werden, auf denen Farbverläufe die Intensitätsverteilung der magnetischen Induktion angeben. In der Iso-Darstellung sind Grenzen in der Fläche, an denen bestimmte Immissionswerte über- oder unterschritten werden, besonders gut erkennbar. Die 2D-Diagramme dienen eher der Veranschaulichung der Feldverteilung in der Fläche. Zum Ermitteln von Grenzen, an denen bestimmte Immissionswerte über- oder unterschritten werden, sind Iso-Diagramme besser geeignet.

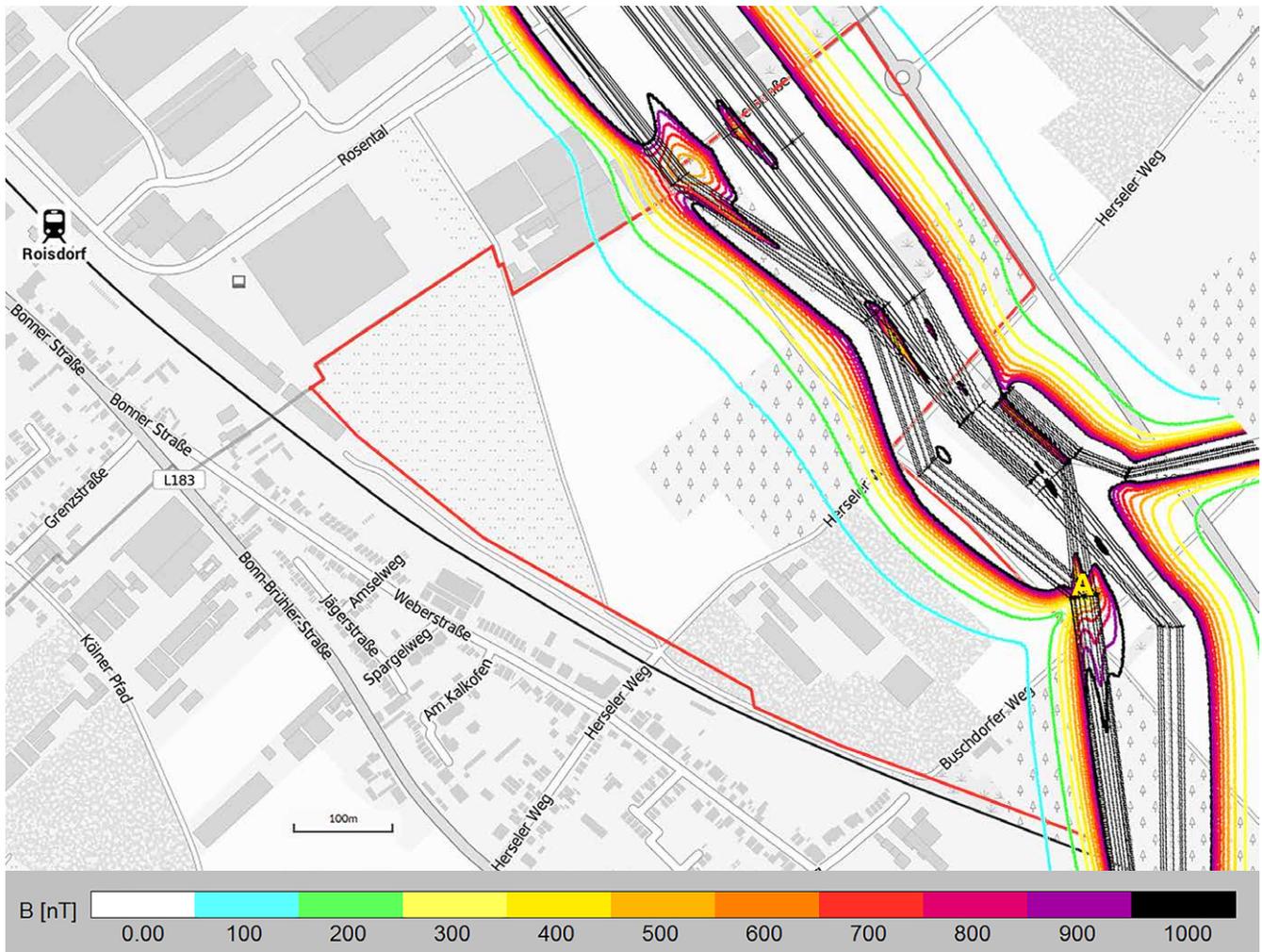
Die von den Hochspannungsleitungen und der Bahntrasse verursachten magnetischen Feldimmissionen wurden getrennt berechnet und dargestellt. Sie werden auch unabhängig voneinander bewertet.

Die Simulationsberechnungen ergaben, dass zur Zeit der Messungen am 2. August 2019 die Auslastung der Hochspannungstrasse ca. 30 % betrug. Dies entspricht der im Jahresdurchschnitt zu erwartenden mittleren Auslastung. Mit den entsprechenden Stromstärken wurden die Simulationsberechnungen durchgeführt. Die Berechnungen ergeben eine gute Übereinstimmung mit den zur Eichung der Simulationsberechnungen gemessenen Werten.

In den Abb. 7 und 8 ist die Verteilung der derzeitigen von der Hochspannungstrasse ausgehenden mittleren magnetischen Induktion auf dem Plangebiet als 2D- bzw. als Iso-Diagramm dargestellt. Auffallend ist der außerordentlich steile Abfall der Feldstärke neben der Trasse im Bereich südöstlich des Buschdorfer Weges,



**Abb. 8:** Iso Darstellung der Immissionen durch von den Hochspannungsleitungen ausgehende magnetische Wechselfelder (50 Hz) in 1,5 m Höhe, Istzustand mit Phasentausch an Mast A. Der Phasentausch führt durch optimierte Kompensationseffekte zu einem besonders steilen Abfall der magnetischen Induktion im Bereich südöstlich des Buschdorfer Weges.



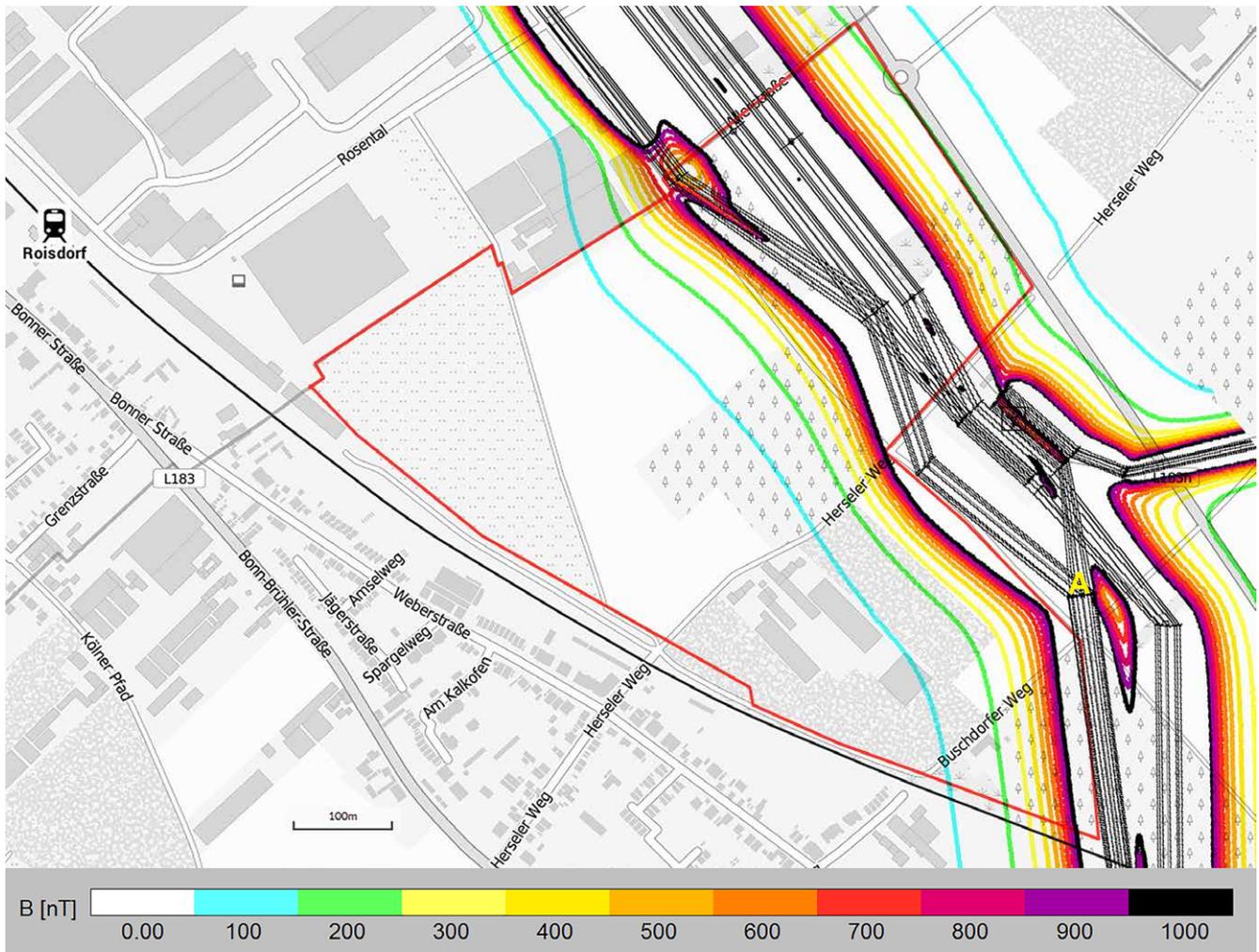
**Abb. 9:** Immissionen durch magnetische Wechselfelder **nach** Umrüstung der Trasse auf teilweisen Gleichstrombetrieb. Südöstlich des Buschdorfer Weges nehmen die Immissionen im Vergleich zu Abb. 10 in der Nähe der Ultranet-Leitung geringfügig zu, im übrigen Plangebiet nehmen sie etwas ab.

besonders gut erkennbar in der 2D-Darstellung Abb. 7. Insgesamt kann man sehen, dass der größte Teil des Plangebietes frei von erhöhten Immissionen (mehr als 200 bis 400 nT) durch von den Hochspannungsleitungen ausgehende magnetische Wechselfelder ist. Der gesetzliche Grenzwert wird, wie schon in Kap. 3 besprochen, auch unter den Leiterseilen der Hochspannungsleitungen ganz erheblich unterschritten. Relativ hoch sind die Immissionen nordöstlich der Trasse, wo direkt an der L183n laut Rahmenplan ebenfalls die Ansiedlung von Gewerbebetrieben vorgesehen ist. Der in den Abb. 7 und 8 dargestellte Ist-Zustand ist für die Planungen jedoch nicht maßgeblich, wenn in den kommenden zwei Jahren im Rahmen des Projekts *Ultranet* eine der Hochspannungsleitungen auf teilweisen Gleichstrombetrieb umgerüstet wird.

Eine Hochrechnung auf die Grenzstromlasten der Leiterseile (380 kV = 4080 A, 110 kV = 680 kV) ergab, dass die Immissionen durch magnetische Wechselfelder an den Stellen des größten Leiterseildurchanges unter 50 % des Grenzwertes der 26. BImSchV bleiben.

Die teilweise Umrüstung auf Gleichstrombetrieb führt auf dem gesamten Plangebiet außer im Bereich südöstlich des Buschdorfer Weges in unmittelbarer Nähe der Trasse zu einem Rückgang der Immissionen durch magnetische Wechselfelder (Abb. 9).

Der Vollständigkeit halber wurden auch die Immissionen durch die nach der Umrüstung auf teilweisen Gleichstrombetrieb (HGÜ) auftretenden magnetischen Gleichfelder in Abb. 11 berechnet. Magnetische



**Abb. 10:** Magnetische Induktion *ohne* Phasenwechsel an Mast A. Die grüne 200 nT-Isolinie ist südöstlich des Buschdorfer Weges im Vergleich zu Abb. 10 um bis zu 100 m von der Trasse weg verschoben.

Gleichfelder entsprechen dem natürlichen Magnetfeld der Erde (statisches Magnetfeld), das in Deutschland eine mittlere Induktion von 40 - 45  $\mu\text{T}$  (40.000 - 45.000 nT) aufweist. Selbst bei Höchstlast der Gleichstromleitung werden auf dem Plangebiet Induktionswerte von nur etwa 10 % des Erdmagnetfeldes erreicht. Bei Höchstlast der Gleichstromleitung (2720 A) erreichen die Immissionen durch statische Magnetfelder an den Stellen des größten Durchhangs der Leiterseile etwa die Hälfte der Stärke des Erdmagnetfeldes (Gesetzlicher Grenzwert 500  $\mu\text{T}$  / 500.000 nT). Eine gesundheitliche Relevanz haben diese Immissionen voraussichtlich nicht. Weitere Angaben zu HGÜ finden sich in Kapitel 4.

Abb. 10 zeigt die magnetischen Immissionen, wie sie ohne den Phasentausch an Mast A zu erwarten wären. Im Bereich des Buschdorfer Weges würden die Immissionen ohne den Phasentausch erheblich zunehmen und wären hier auch deutlich stärker als nach der Umrüstung der Trasse auf teilweisen Gleichstrombetrieb, bei dem ja ein Wechselstromsystem entfällt. Auf die Immissionen im übrigen Plangebiet hat der Phasentausch praktisch keinen Einfluss.

Die Immissionen durch magnetische Bahnstromfelder (Abb. 12) sind in der südöstlichen Ecke des Plangebiets am höchsten und nehmen entlang der Bahntrasse in Richtung Bahnstation Roisdorf ab, weil der Abstand des Plangebiets zur Bahn in dieser Richtung zunimmt. Die Immissionen liegen überall auf dem Plangebiet unter den für magnetische Bahnstromfelder empfohlenen Vorsorgerichtwerten.

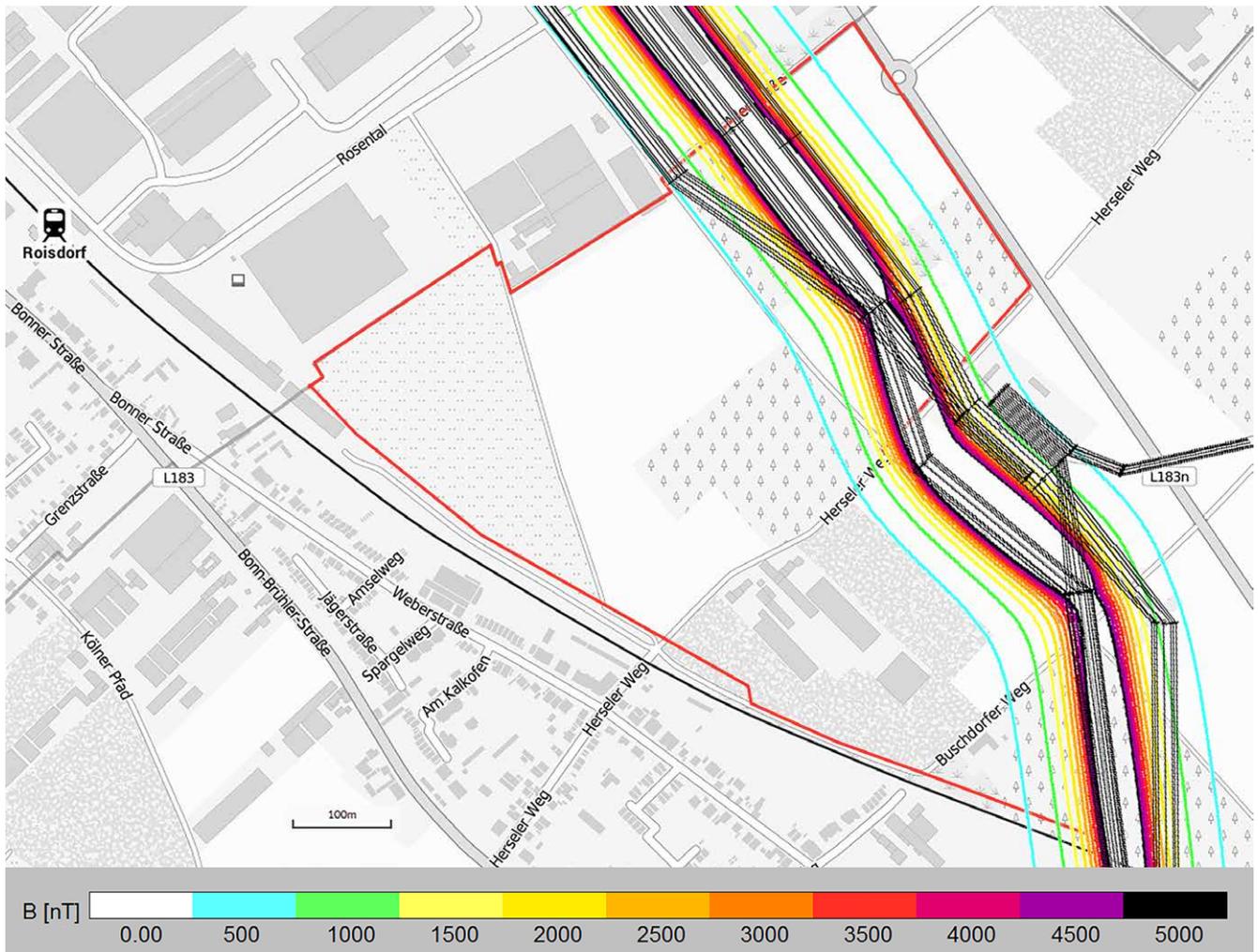
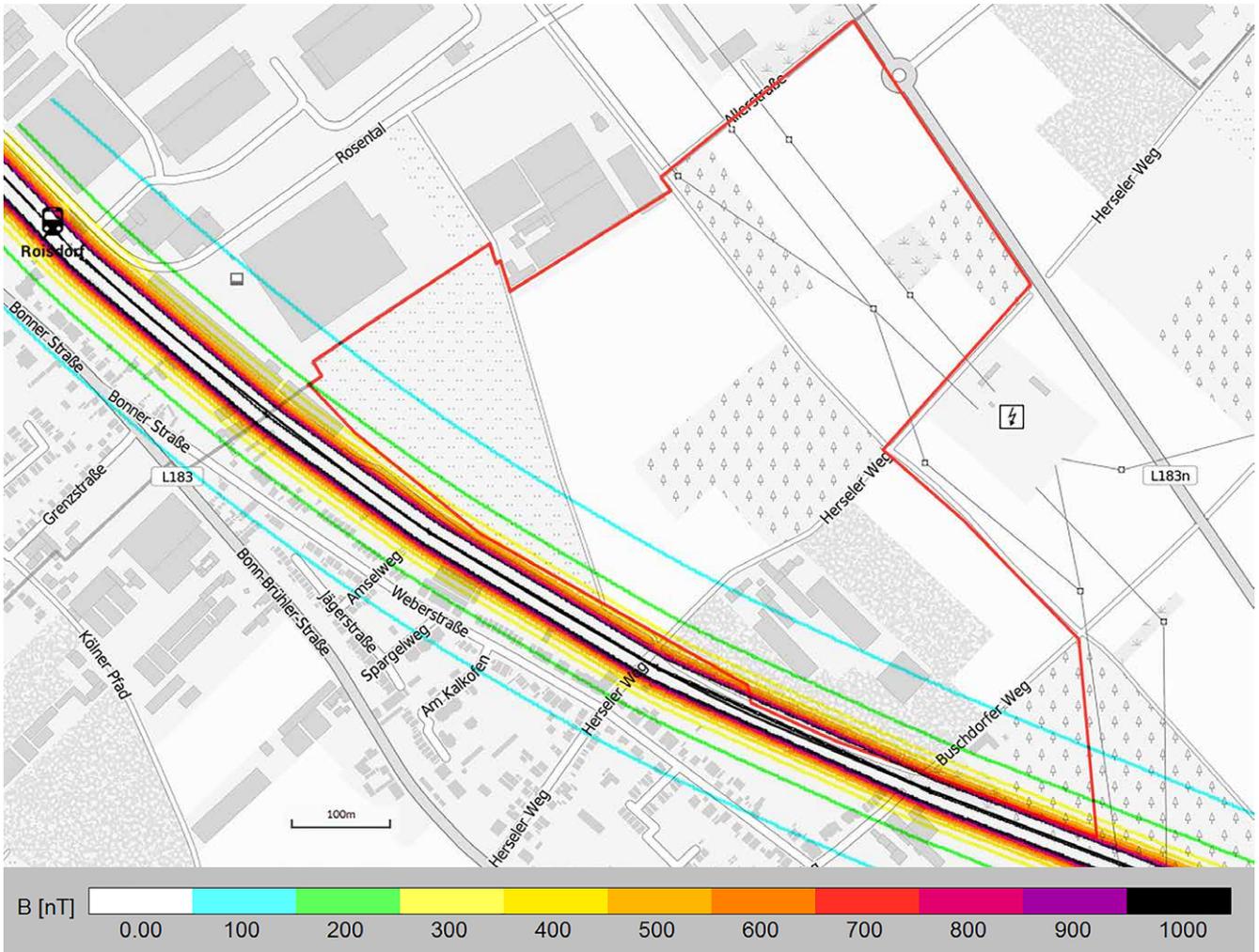


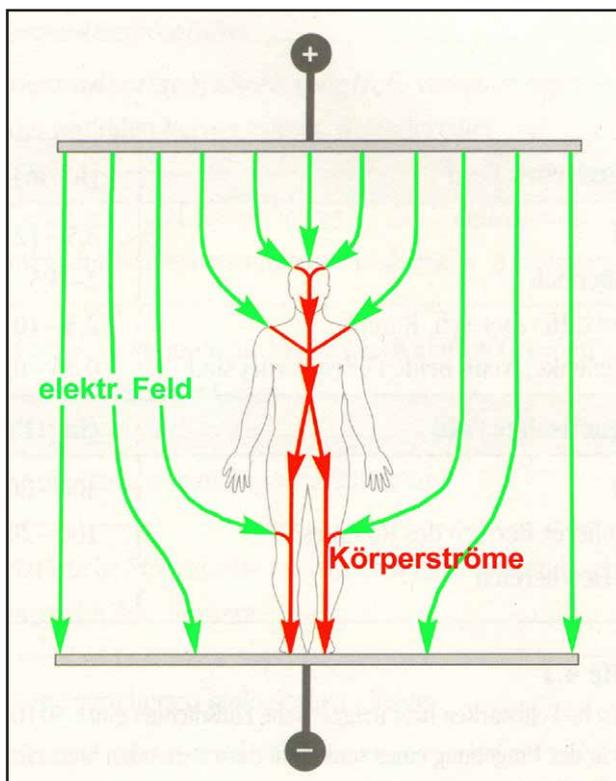
Abb. 11: Iso-Diagramm des von der Gleichstromleitung bei Grenzlast (2720 A) erzeugten **statischen** Magnetfeldes.



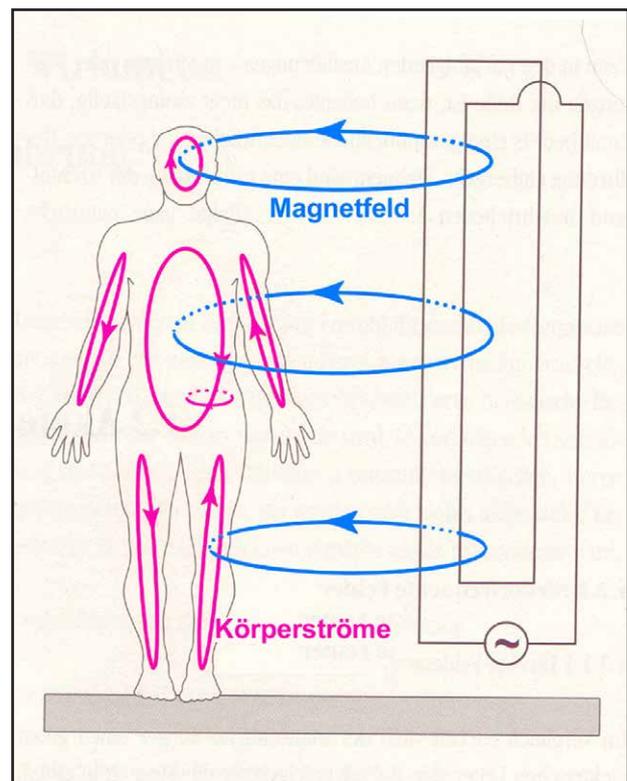
**Abb. 12:** Iso-Darstellung der Verteilung der magnetischen Bahnstromfelder (16,7 Hz) auf dem Plangebiet

## 6. Physikalische Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder im Körper

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



**Abb. 13:** Der **Influenzeffekt** eines elektrischen Wechselfeldes erzeugt im Körper elektrische **Verschiebestrome**.



**Abb. 14:** 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. 13). Diese Potentialdifferenzen sind z.B. auf der Haut mit einem Voltmeter leicht messbar. Das Maß für die Belastung durch Körperströme ist die Körperstromdichte, meist angegeben in mA/m<sup>2</sup> (Milliampère pro Quadratmeter). Außer den Körperströmen sind weitere physikalische Effekte im Körper durch elektrische Felder nicht bekannt. Bei gleicher Feldstärke ist die Stärke der Körperströme proportional zur Stromfrequenz.

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. 14)
2. Ablenkung bewegter Ladungsträger durch den Hall-Effekt (z.B. Ablenkung von Ionen im strömenden Blut)
3. Magnetische Polarisation von Atomkernen und Molekülen
4. Kraftwirkungen auf magnetisierbare Materie

Effekt 1 erzeugt im exponierten Körper Wirbelströme. Effekt 2 führt im Bereich strömender Flüssigkeiten im Körper ebenfalls zu Strömen. Die Effekte 2 - 4 treten auch bei statischen Magnetfeldern (z.B. Erdmagnetfeld) auf.

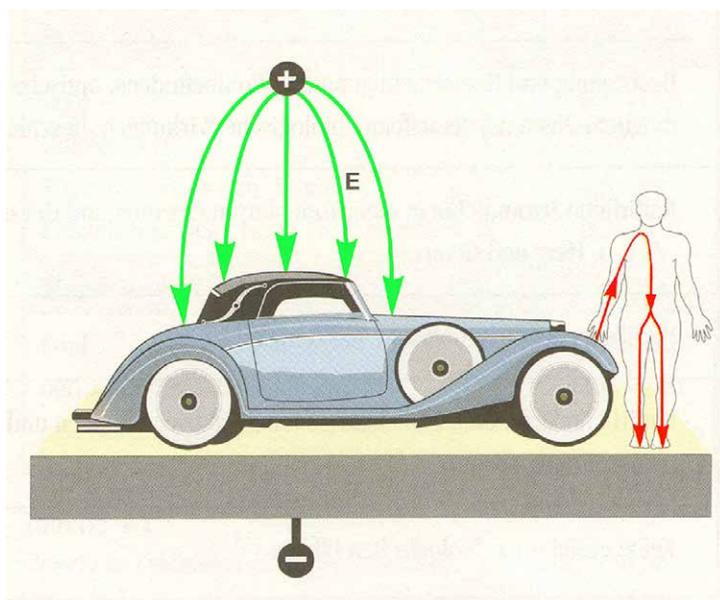
Im Körper treten vor allem die ersten beiden Effekte auf. Der Induktionseffekt führt ähnlich wie der Influenzeffekt bei elektrischen Wechselfeldern zu frequenzproportionalen Körperströmen (Abb. 14). Die induzierten Ströme fließen aber im Gegensatz zu den Strömen der elektrischen Felder im Inneren des 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) spielt bei Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen und elektrischen Bahntrassen keine Rolle, 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 können.

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<sup>2</sup>. 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 treten neben der oben beschriebenen direkten Feldwirkung 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, 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 an 380 kV-Höchstspannungsleitungen), die im Extremfall theoretisch lebensgefährlich sein können (Abb. 15). Um Probleme mit dieser indirekten Wirkung elektrischer Felder zu vermeiden, sollten größere Gebilde aus blankem Metall (z.B. Metallgeländer, Metallzäune) unter Hochspannungsleitungen und unmittelbar an Bahntrassen geerdet werden. Am besten vermeidet man in solchen Fällen größere Metallkonstruktionen oder verwendet statt dessen elektrisch nicht leitende Materialien. Als Material für Dachrinnen und Regenwasserfallrohre an Gebäuden unter oder neben starken elektrischen Feldquellen sind z.B. Kunststoffe vorzuziehen.

**Abb. 15:** Indirekte Wirkung eines elektrischen Feldes E

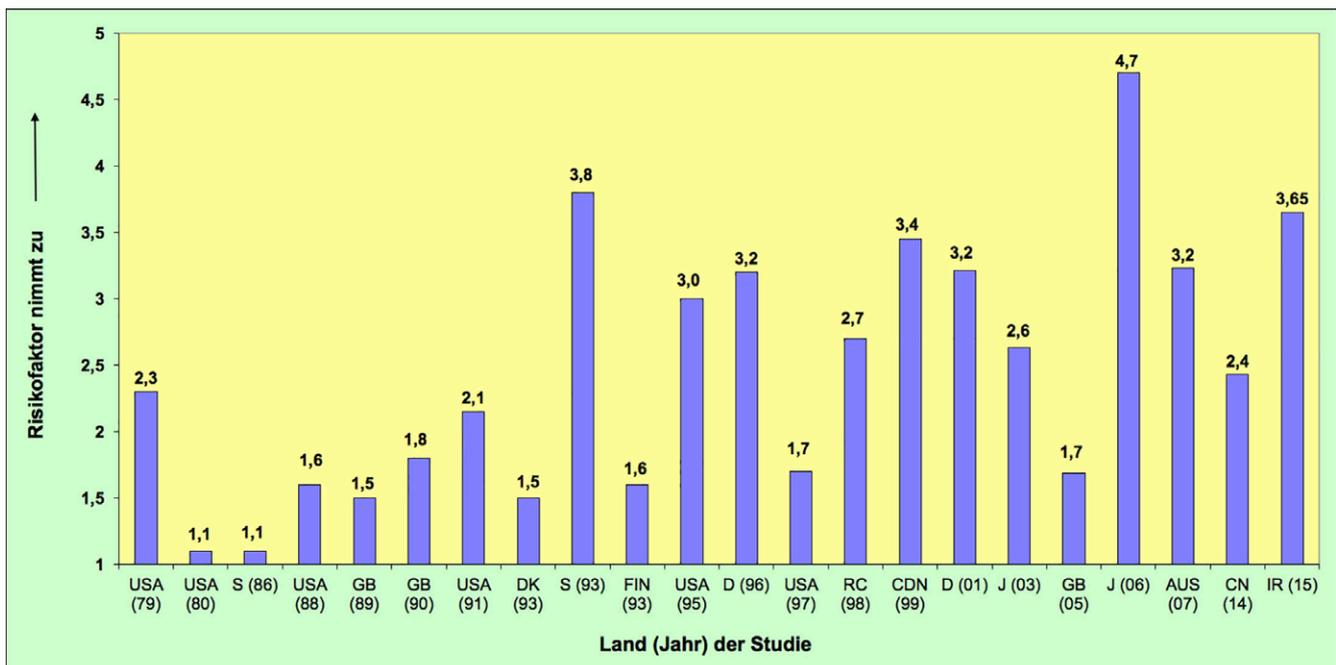
## 7. Biologische und gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Wechselfelder

Alle im folgenden erwähnten Studien beziehen sich auf die weltweit am meisten verbreiteten elektrischen Stromfrequenzen 60 Hz (Amerika) und 50 Hz (übrige Welt). Sie beziehen sich nicht auf Gleichfelder (statische Felder), wie sie von Gleichstrom-Hochspannungsleitungen (*Ultranet*) ausgehen.

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. A im Anhang.) erheblich überschritten werden. Diese Wirkungen bestehen vor allem in Nervenreizungen, die sich z.B. als Magnetophosphene (optische Sinneseindrücke, ab ca. 1.000  $\mu\text{T}$ ) und Muskelzuckungen (ab ca. 10.000  $\mu\text{T}$  / 10.000.000 nT bzw. 500.000 V/m) äußern können. Bei noch größeren Feldstärken besteht durch die Wirkung auf den Herzmuskel akute Lebensgefahr (ab ca. 100.000  $\mu\text{T}$  / 100.000.000 nT bzw. 5.000.000 V/m).

Unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV 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  $\mu\text{T}$  / 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 solcher Fälle hoch sein kann. Magnetische Feldintensitäten über den Grenzwerten können bei Diebstahlsicherungssystemen in Kaufhäusern auftreten, hier wurden maximale Induktionen von 100  $\mu\text{T}$  bis 1.000  $\mu\text{T}$  gemessen. Solche Sicherungssysteme sollten von Implantatträgern möglichst schnell durchschritten werden. Für Herzschrittmacher gefährliche Felder können auch von elektrischen Rasierapparaten (bis 1.500  $\mu\text{T}$  / 1.500.000 nT auf der Haut), Bohrmaschinen (30 - 2.000  $\mu\text{T}$ ) 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  $\mu\text{T}$  - 0,4  $\mu\text{T}$  / 200 nT - 400 nT existieren zahlreiche epidemiologische Hinweise. Der Verdacht besteht schon seit 40 Jahren und wird durch zahlreiche internationale epidemiologische Studien gestützt, konnte aber bisher nicht mit Gewissheit bewiesen werden, weil ein möglicher Wirkungsmechanismus unbekannt ist. Die gefundenen Risikofaktoren für Kinderleukämie liegen je nach Studie (Abb. 16) zwischen 1,1 und mehr als 4. Das Erkrankungsrisiko war für magnetisch exponiert lebende Kinder also annähernd nicht erhöht (Risikofaktor = 1,1)



**Abb. 16:** Leukämierisiken für Kinder durch 50 Hz/60 Hz-Magnetfelder oberhalb 200 - 400 nT im Wohnbereich

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  $\mu\text{T}$  / 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  $\mu\text{T}$  / 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  $\mu\text{T}$  / 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  $\mu\text{T}$  / 10.000 nT wurden Wirkungen auf das Hormonsystem (Melatonin) festgestellt. Für langzeitige Magnetfeldexpositionen über 1  $\mu\text{T}$  / 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  $\mu\text{T}$  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  $\mu\text{T}$  (Äquivalenzgleichung auf Seite 20).

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 elektrische Felder sind also nur sehr unvollkommen zu beherrschen und zu reproduzieren, andererseits können elektrische Felder bei Experimenten mit Magnetfeldern durch Erdung und Abschirmung leicht vollständig ausgeschlossen werden. Untersuchungen mit reinen Magnetfeldern unter Ausschluss von elek-



trischen Feldern werden von der Wissenschaft daher offenbar bevorzugt. Elektrische Felder werden bei epidemiologischen Studien nur selten gemessen, obwohl sie praktisch immer vorhanden sind und häufig die größeren Körperstromdichten hervorrufen. Dieser Anteil an der elektromagnetischen Belastung von Personen bleibt in epidemiologischen Studien meist unbekannt.

Nach einer Studie der Universität Mainz aus dem Jahr 2001 ([www.emf-portal.de/viewer.php?aid=6207&l=g](http://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 (50 Hz). 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 (Grenzwert 100.000 nT) durch epidemiologische Studien kaum ermittelt werden können, weil die für ein statistisch sicheres Studienergebnis erforderliche ausreichend große Teilnehmerzahl nur mit extrem hohem Aufwand zu erreichen wäre.

## 8. Gesetzliche Regelungen des Bundes und des Landes NRW

### Gesetzliche Regelungen des Bundes

Für die Immissionen durch elektrische und magnetische Felder von Stromversorgungsanlagen der öffentlichen Stromversorgung (Stromfrequenz 50 Hz) bzw. der Bahn (Stromfrequenz 16,7 Hz) in für die Allgemeinbevölkerung zugänglichen Bereichen gelten die Grenzwerte der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV). Die Verordnung trat erstmalig in Kraft am 01.01.1997 und wurde novelliert im August 2013. Die Grenzwerte der 26. BImSchV sind nur für Stromversorgungsanlagen mit einer Betriebsspannung von 1000 V und mehr gültig. Für das Niederspannungsnetz (Betriebsspannung 400 V) gelten die Grenzwerte daher nicht.

Grenzwerte 26. BImSchV	Netzstrom 50 Hz	Bahnstrom 16,7 Hz
<b>Elektrische Feldstärke</b>	5.000 V/m	10.000 V/m
<b>Magnetische Induktion</b>	100.000 nT	300.000 nT

Diese Immissionswerte werden auch unter den Leiterseilen von Hochspannungsleitungen nie erreicht, so dass von daher der Bau von Wohnungen auch unter Hochspannungsleitungen ursprünglich nicht ausgeschlossen war. Seit der Novellierung der 26. BImSchV im August 2013 dürfen Gebäude oder Gebäudeteile, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, von Hochspannungsleitungen der Spannungsebenen 220 kV und höher nicht mehr überspannt werden.

### Spezielle Regelungen des Landes NRW, die über das Bundesrecht hinaus gehen

Mit dem Abstandserlass vom 02.04.1998 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

Diese Abstände wurden durch den Runderlass des MUNLV vom 06.06.2007 bestätigt.

Die Abstandsregelungen der Erlasse von 1998/2007 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. Sie gehen allerdings über die Regelungen der 26. BImSchV deutlich hinaus.

Der Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP NRW) trat am 8. Februar 2017 in Kraft. Seine Regelungen sind maßgeblich z.B. für die Ausweisung künftiger Wohn-, Gewerbe- und Industriegebiete. Der LEP NRW sieht für Wohnbebauung besonders große Abstände zu Hochspannungsleitungen 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.

Aus Sicht des vorsorgenden Immissionsschutzes sind die Abstandsregelungen des Entwurfs des LEP NRW nicht zu begründen, und sie gehen sehr weit über die Forderungen des BImSchG und die Grenzwerte der 26. BImSchV sowie den ehemaligen Abstandserlass von 1998 hinaus. Die großen geforderten Abstände dienen in erster Linie der Konfliktvermeidung beim Aus- und Neubau von Stromtrassen.

## 9. Zusammenfassung und Empfehlungen

Im Norden der Gemeinde Alfter an der Grenze zur Stad Bornheim soll im Rahmen des Bebauungsplans Nr. 092 „Alfter Nord, Teilbereich 2“ nach § 8 BauNVO ein ca. 28 ha großes Gewerbegebiet entstehen (Abb. 1 und 2, Seite 2 und 3). Im zentralen Bereich des Plangebietes soll Betriebswohnen nach § 8 (3) BauNVO zulässig sein. Auf dem Plangebiet entstehen durch mehrere Feldquellen erhöhte Immissionen durch niederfrequente elektrische und magnetische Wechselfelder. Diese Feldquellen sind einige das Gebiet überspannende oder begrenzende Hochspannungsleitungen der Spannungsebenen 380 kV und 110 kV sowie das am Rande des Plangebietes stehende 110 kV-Umspannwerk Alfter. Die von diesen Quellen erzeugten Felder haben die Frequenz 50 Hz. Eine weitere Quelle niederfrequenter elektromagnetischer Felder ist die das Gebiet südlich und südwestlich begrenzende Eisenbahntrasse Köln-Bonn. Die von Eisenbahntrassen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder haben in Deutschland abweichend von den Feldern der Hochspannungsleitungen die Frequenz 16,7 Hz (Bahnstromfelder).

**Die für die Allgemeinbevölkerung zulässige maximalen Expositionen durch niederfrequente elektromagnetische Felder sind in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (26. BImSchV) geregelt. Die in der 26. BImSchV definierten Grenzwerte (Tabelle Seite 24) werden im Bereich von Hochspannungsleitungen und elektrischen Eisenbahntrassen grundsätzlich eingehalten. Im einzelnen wurden auf dem Plangebiet, aber außerhalb der für eine Bebauung vorgesehenen Bereiche, folgende maximalen Messwerte und prozentualen Grenzwertausschöpfungen festgestellt:**

	Gemessener Maximalwert	Prozentuale Grenzwertausschöpfung	Grenzwert 26. BImSchV
Elektrische Feldstärke 50 Hz	1379 V/m	27,6 %	5.000 V/m
Elektrische Feldstärke 16,7 Hz	60 V/m	0,6 %	10.000 V/m
Magnetische Induktion 50 Hz	4486 nT	4,6 %	100.000 nT
Magnetische Induktion 16,7 Hz	603 nT	0,4 %	300.000 nT

**Die für die Allgemeinbevölkerung (z.B. Wohnnutzung, gewerbliche Nutzung, Büronutzung) definierten Grenzwerte der 26. BImSchV werden auf dem gesamten Plangebiet eingehalten. Aus Sicht der Bundesgesetzgebung gibt es keine Einschränkungen für die auf dem Plangebiet vorgesehenen Nutzungen.**

Ob eine Bebauung für betriebsbedingtes Wohnen (Betriebswohnen) unter die in Kapitel 8.2 des LEP NRW definierten Anstandsregelungen fällt (Kap. 8), ist eine juristische Frage, die im Rahmen dieses Gutachtens nicht geklärt werden kann.

Aufgrund offensichtlicher konzeptioneller Schwächen bei der Festlegung der Grenzwerte in der 26. BImSchV (Körperstromdichtemodell, es werden nur akut auftretende Schäden in Betracht gezogen, die Existenz von Langzeitwirkungen wird ausgeschlossen, Kap. A Seite 30 im Anhang) sollten die Immissionen durch magnetische Wechselfelder in Daueraufenthaltsbereichen von Personen, wozu in erster Linie Wohnungen und Schlafräume, aber auch Büroarbeitsplätze zählen, nicht nach den Grenzwerten der 26. BImSchV beurteilt werden.

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 für deren elektromagnetischen Emissionen eingeführt oder zumindest Vorsorgeempfehlungen, die möglichst eingehalten werden sollten (Seite 30 ff).

Um alle Erkrankungsrisiken zu vermeiden, für die es bei Langzeitexposition mit magnetischen Wechselfeldern unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV derzeit wissenschaftliche Hinweise gibt, werden rechtlich nicht verbindliche Vorsorgerichtwerte empfohlen, die bei den Planungen nach Möglichkeit berücksichtigt werden sollten. Es empfiehlt sich für Wohnungen (Schlafräume) bei Netzstromfeldern (50 Hz) ein Vorsorgerichtwert von durchschnittlich 200 nT. Zur Beurteilung der Immissionen bei Büronutzung wird vorsorglich der Immissionswert 400 nT und für andere Arbeitsplätze (Lager, Außendienstmitarbeiter) 600 nT vorgeschlagen. Für Bahnstromfelder könn-

ten die Werte theoretisch verdreifacht werden, was aber angesichts der schwachen Immissionen durch Bahnstromfelder für das Plangebiet Alfter-Nord nicht relevant ist. Die Immissionen durch Bahnstromfelder werden daher nicht weiter betrachtet.

Die derzeit auf dem Plangebiet zu erwartenden mittleren Immissionen durch von den Hochspannungseleitungen und dem Umspannwerk ausgehende Magnetfelder sind im Iso-Diagramm Abb. 17 dargestellt. Dieser aktuelle Zustand ist für die Planungen nicht von Bedeutung, weil sich durch die projektierte Umrüstung der Trasse im Rahmen des Projekts *Ultranet* die Immissionen durch magnetische Wechselfelder ändern. Die Inbetriebnahme der Hybridleitung *Ultranet* ist für das Jahr 2021 vorgesehen.

Der Umbau der Trasse auf teilweisen Gleichstrombetrieb ist mit einem Absinken der Immissionen durch Magnetfelder auf dem größten Teil des Plangebietes (Abb. 18) verbunden. Nur in der Südostecke des Plangebietes steigen die Immissionen in unmittelbarer Nähe der Trasse etwas an. Bei den Planungen sollten nach Möglichkeit die Immissionsverhältnisse gemäß Abb. 18 unter Berücksichtigung der je nach Nutzung unterschiedlichen Richtwerte (grün = 200 nT (Wohnen), dunkel-gelb = 400 nT (Büroarbeitsplätze), dunkel-orange Iso-Linie = 600 nT (z.B. Arbeitsplätze Lager / Außendienst) beachtet werden.

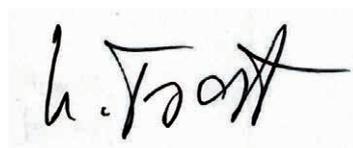
Betroffen wären bei Anwendung von Vorsorgerichtwerten vor allem die vier für betriebliches Wohnen vorgesehenen Häuser, die den geringsten Abstand zur Hochspannungstrasse haben (grüne Iso-Linie in Abb. 18).

Magnetfelder sind mit vertretbaren Mitteln nicht abschirmbar. Die Immissionen durch von außen eindringende Magnetfelder können innerhalb eines Gebäudes nicht wirksam durch bauliche Maßnahmen reduziert werden. Eine Abnahme der Immissionen kann in der Regel nur durch Änderungen an der Feldquelle (bei Hochspannungsleitungen z.B. durch Phasenoptimierung und/oder Kompaktmasten bzw. Änderungen der Leiterseilgeometrie) oder durch Vergrößerung des Abstandes zur Feldquelle erreicht werden.

Die von der HGÜ-Leitung nach der Umrüstung erzeugten statischen elektrischen und magnetischen Felder haben voraussichtlich (vorbehaltlich ihres Gehalts an Oberwellen bzw. Wechselfeldanteilen) keine gesunds- oder sicherheitsrelevante Bedeutung. Durch die Umrüstung sinken die Immissionen durch magnetische Wechselfelder fast auf dem gesamten Plangebiet.

Immissionen durch elektrische Felder können bei geringen Abständen (10 - 20 m) zu einer 380 kV-Höchstspannungsleitung und freiem Blick auf die Leitungen im Freien unter Umständen wegen der indirekten Wirkung starker elektrischer Felder (Abb. 15, S. 20; S. 9 drittletzter Absatz) eine sicherheitsrelevante Bedeutung haben. Um Probleme mit dieser indirekten Wirkung elektrischer Felder bei Abständen unter 20 m zu den 380 kV-Leitungen zu vermeiden, sollten größere Gebilde aus blankem Metall (z.B. Metallgeländer, Metallzäune, Dachrinnen mit Regenfallrohren, Metallfassaden) geerdet werden, oder man vermeidet die Verwendung von (blanken) Metallen und verwendet elektrisch nicht leitende Materialien (Kunststoff, Glas, Stein, Holz).

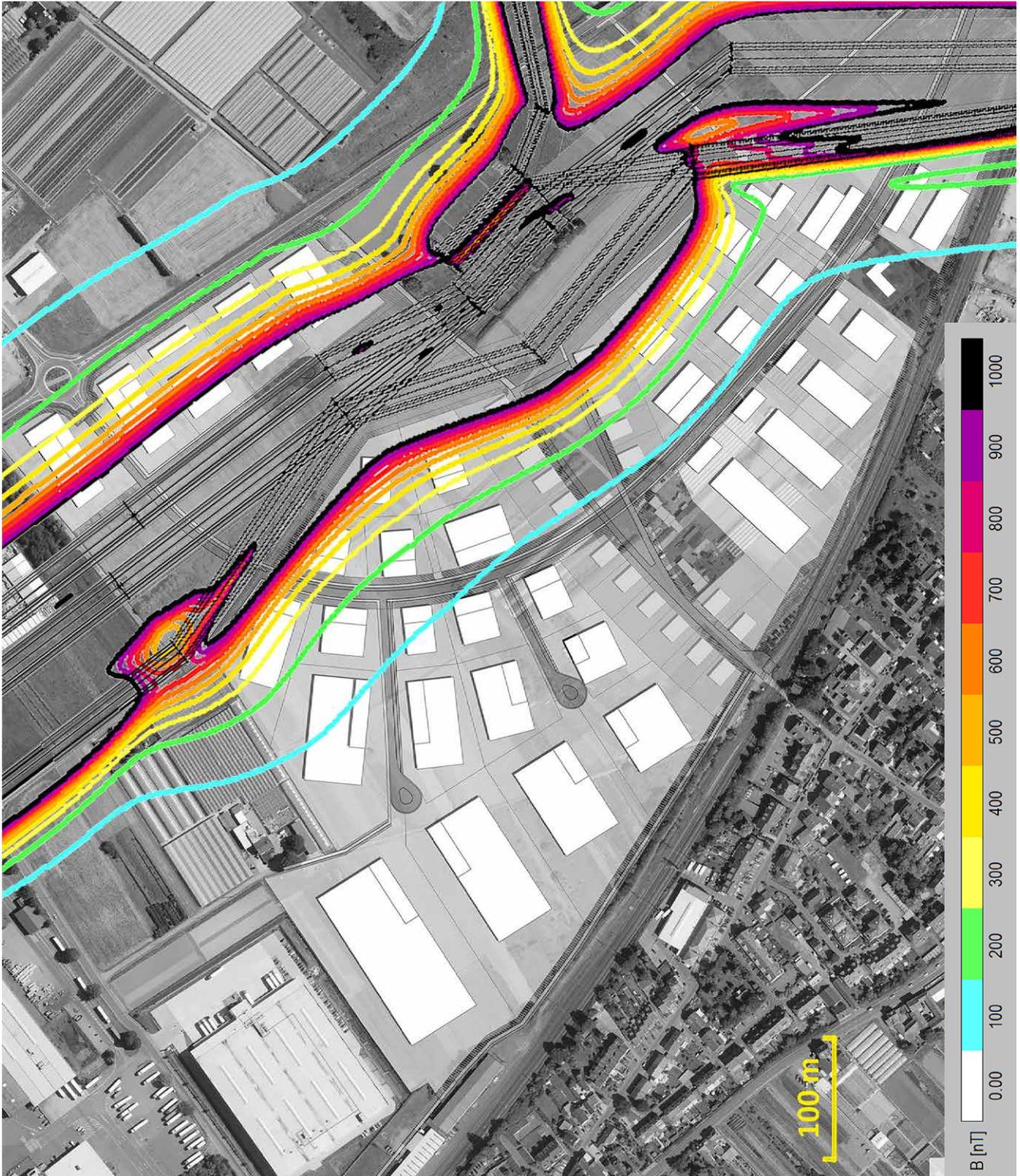
Computermonitore mit Kathodenstrahlbildröhre reagieren etwa ab einer Induktion von 500 nT sichtbar auf magnetische Wechselfelder. Je nach Feldstärke und Frequenz flackert oder wackelt das Bild. Die heute üblichen LED/LCD-Bildschirme sind unempfindlich gegen Immissionen durch Magnetfelder und werden bei den auf dem Plangebiet vorkommenden Feldintensitäten nicht gestört. Mit einer Störung der heute üblichen Bürotechnik ist aufgrund der Immissionen durch niederfrequente oder statische Magnetfelder in der gemessenen bzw. zu erwartenden Stärke nicht zu rechnen.



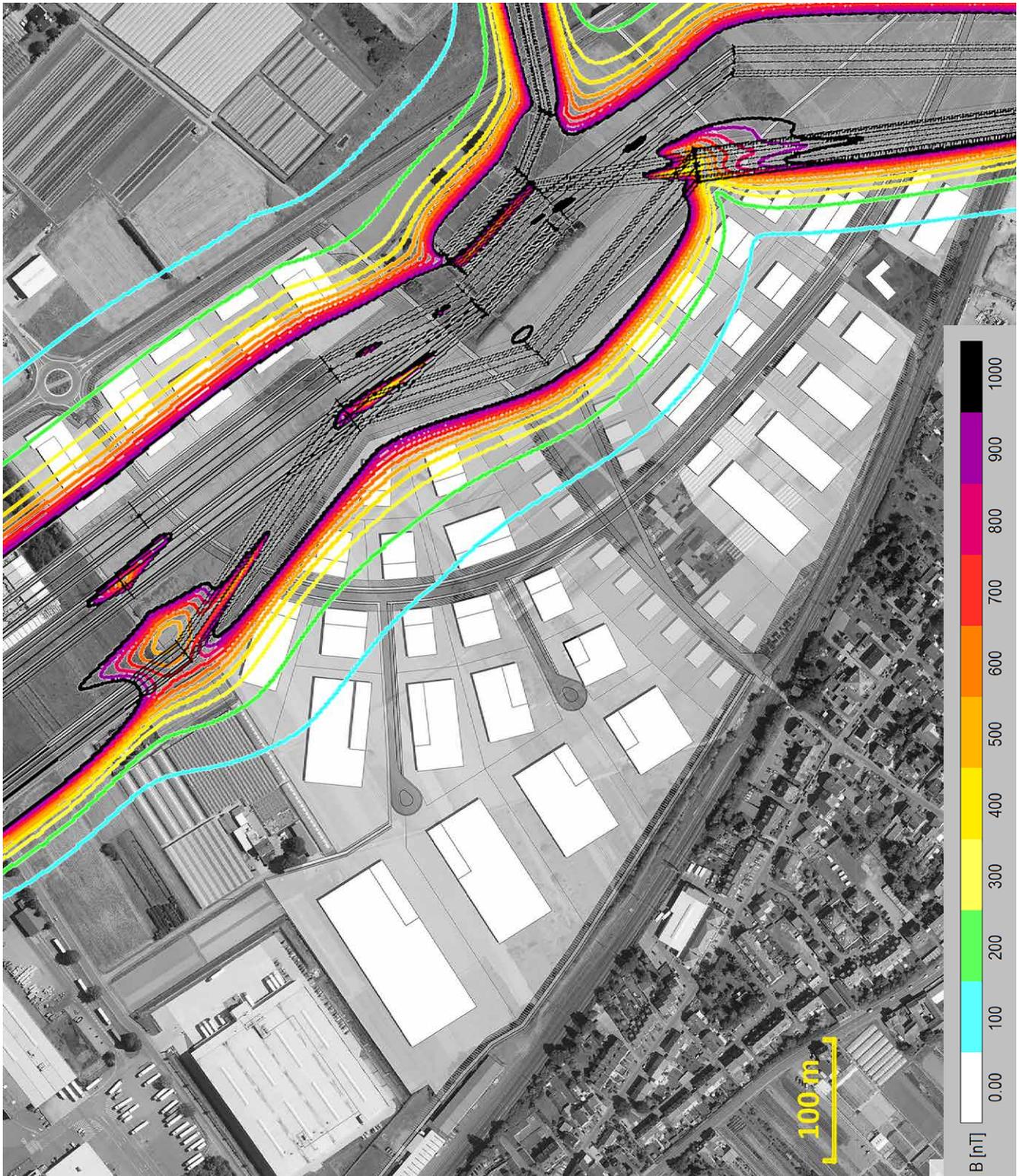
Bonn, den 30. August 2019

Dr. Klaus Trost  
Wissenschaftsladen Bonn e.V.

**Abb. 17:** Iso-Darstellung des Ist-Zustandes der Immissionen durch von den Hochspannungsleitungen und der Umspannstation ausgehenden magnetischen Wechselfeldern auf dem Plangebiet. Der Ist-Zustand ist für die Planungen nicht relevant, weil sich durch den in den nächsten Jahren erfolgenden Umbau der Trasse auf teilweisen Gleichstrombetrieb die Immissionen ändern.



**Abb. 18:**  
Iso-Darstellung  
der auf dem  
Plangebiet zu  
erwartenden  
Immissionen  
durch magneti-  
sche Wechsel-  
felder nach  
dem Umbau  
der Hochspan-  
nungstrasse  
auf teilweisen  
Gleichstrom-  
betrieb.





## 10. Anhang

Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für elektrische und magnetische Wechselfelder	Seite 30 - 32
Fotos der einzelnen Messpunkte.....	Seite 33 - 37
Diagramme des Verlaufs der magnetischen Induktion sowie der elektrischen Feldstärke an allen Messpunkten mit tabellarischer Angabe von Messwerten.....	Seite 38 - 53
Simulationsmatrix.....	Seite 54 - 59

## A. Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für elektrische und magnetische Wechselfelder

Außer in Deutschland werden nur noch in Österreich und der Schweiz sowie in Norwegen und Schweden Bahnen mit der Stromfrequenz 16,7 Hz betrieben, so dass es kaum Untersuchungen über die gesundheitlichen Wirkungen von Stromfeldern mit dieser Frequenz gibt. Wegen der niedrigeren Frequenz (ein Drittel der üblichen Netzfrequenz 50 Hz) sind bei gleicher Feldstärke/Induktion die von Bahnstromfeldern erzeugten Körperströme nur ein Drittel so groß wie bei Netzstromfeldern (50 Hz). Daher erscheint es zulässig, im folgenden die für Netzstromfelder empfohlenen bzw. erlassenen Richt- und Grenzwerte bei Bahnstromfeldern zu verdreifachen.

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 zur Orientierung lediglich die rechtlich nicht verbindlichen 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 Überschreitungen bis zum Doppelten des Grenzwertes erlaubt. Außerdem dürfen Gebäude (nicht nur Wohngebäude) nicht mehr mit Höchstspannungsleitungen der Spannungsebenen 220 kV und höher überspannt werden. Für elektrifizierte Bahntrassen wurden keine Mindestabstände festgelegt.

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  $2 \text{ mA/m}^2$  nicht überschreiten. Körperstromdichten von  $1 - 2 \text{ mA/m}^2$  werden bei einer Frequenz von 50 Hz durch ein  $100 \text{ } \mu\text{T} / 100.000 \text{ nT}$  starkes Magnetfeld oder durch ein  $5.000 \text{ V/m}$  starkes elektrisches Feld erzeugt. Bei 16,7 Hz (Bahnstrom) sind die Werte für die gleichen Körperstromdichten 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) und Oberwellen nicht angemessen 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. Im Detail unterscheiden sich die Vorsorgeregelungen von Land zu Land. In Tabelle 2 sind die Regelungen einiger Länder sowie Vorsorgeempfehlungen verschiedener Organisationen zusammengestellt.

Die Schweiz führte als erstes europäisches Land gesetzliche Vorsorgegrenzwerte ein: Seit dem 1. Februar 2000 (novelliert 2019) 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 (auch Bahnstrom, in der Schweiz ebenfalls 16,7 Hz) auf  $1 \text{ } \mu\text{T}$  (=  $1.000 \text{ nT}$ ). 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 eingehalten werden. Dies gelingt



	<b>Elektrische Feldstärke [V/m]</b>	<b>Magnetische Induktion [nT]</b>	<b>Bemerkungen</b>
Deutschland 2013 (26. BImSchV)	<b>5.000/10.000</b> (50 Hz/16,7 Hz)	<b>100.000/300.000</b> (50 Hz/16,7 Hz)	Gesetzliche Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung
Nordrhein-Westfalen 1998	<b>1.300</b>	<b>10.000</b>	Abstandserlass NRW, Handlungsanleitungen für die Bauleitplanung
Schweiz 2019 (NISV)	-	<b>1.000</b> (16,7 Hz und 50 Hz)	Gesetzlicher Anlagegrenzwert für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN)*
Niederlande	-	<b>400</b>	Bei neuen Leitungen für sensible Bereiche, Berechnung für 30 % Auslastung der Leitung
Schwedische Angestelltengewerkschaft TCO 1991***	<b>10</b>	<b>200</b>	Computerbildschirme, Immissionen am Büroarbeitsplatz
NCRP (USA) 1995	<b>10 - 50</b>	<b>200 - 1.000</b>	Vorschlag des National Council on Radiation Protection für den US-Kongress
Biolinitiative 2012	-	<b>100** - 200</b>	Für Wohnungen, Schulen und andere bewohnbare Bereiche

**Tabelle 2:** Gesetzliche Grenzwerte, Referenzwerte und Vorsorgeempfehlungen für elektrische und magnetische Wechselfelder von Hochspannungsleitungen (50 Hz). Für Bahnstromfelder (16,7 Hz) können die Werte verdreifacht werden.

\* 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.

\*\*\* Die in der TCO-Norm definierten Richtwerte setzten sich in den 1990er Jahren als weltweiter Standard für die maximalen elektromagnetischen Emissionen von Computermonitoren durch.

mit speziellen Mastkonstruktionen (Kompaktmasten). Ein besonderer Grenzwert für elektrische Felder an Orten mit empfindlicher Nutzung wurde nicht erlassen, da elektrische Felder kaum in Gebäude eindringen. Im Freien können elektrische Felder aber aus Sicht des Immissionsschutzes eine wichtige Rolle spielen.

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  $\mu$ 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 auffälligen 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 All-

gemeinheit 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.

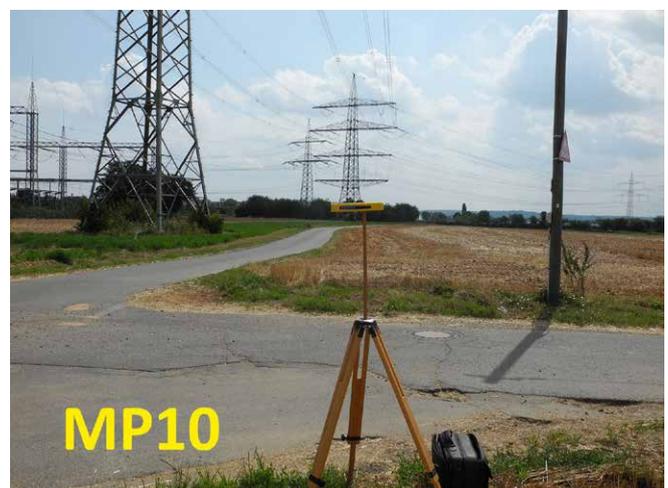
Die BioInitiative Working Group ([www.bioinitiative.org](http://www.bioinitiative.org)) ist ein Zusammenschluss von 29 international renommierten Wissenschaftlern, die sich mit der Erforschung von Gesundheitsrisiken durch Exposition mit elektromagnetischen Feldern beschäftigen. Bei einigen konkreten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

- Für Frauen mit Langzeitexposition am Arbeitsplatz von 1.000 nT (Feldfrequenz 50/60 Hz) 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.

Der in Tabelle 2 aufgeführte und von mehreren Organisationen empfohlene wissenschaftlich begründete Vorsorgerichtwert 200 nT für Magnetfelder mit der Frequenz 50 Hz 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 (z.B. eine Studie der Universität Mainz: [www.emf-portal.de/viewer.php?aid=6207&l=g](http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=6207&l=g)), so dass die Anwendung dieses Vorsorgerichtwertes für Wohnungen strikter gehandhabt werden sollte als für andere Daueraufenthaltsbereiche, z.B. Kindergärten, Büros oder Schulen.

Magnetische Bahnstromfelder mit der Frequenz 16,7 Hz erzeugen bei einer Induktion von 600 nT die gleichen Körperstromdichten wie Netzstromfelder bei 200 nT. Daher können die Immissionen durch magnetische Bahnstromfelder nach dem Vorsorgerichtwert 600 nT beurteilt werden. Zur Beurteilung der Immissionen an Büroarbeitsplätzen dürfte eine leichte Überschreitung des Vorsorgewertes tolerierbar sein, hierfür wird der Schweizer Anlagegrenzwert (1.000 nT, 24-Stunden Mittelwert) vorgeschlagen.









**MP18**



**MP19**



**MP20**



**MP21**

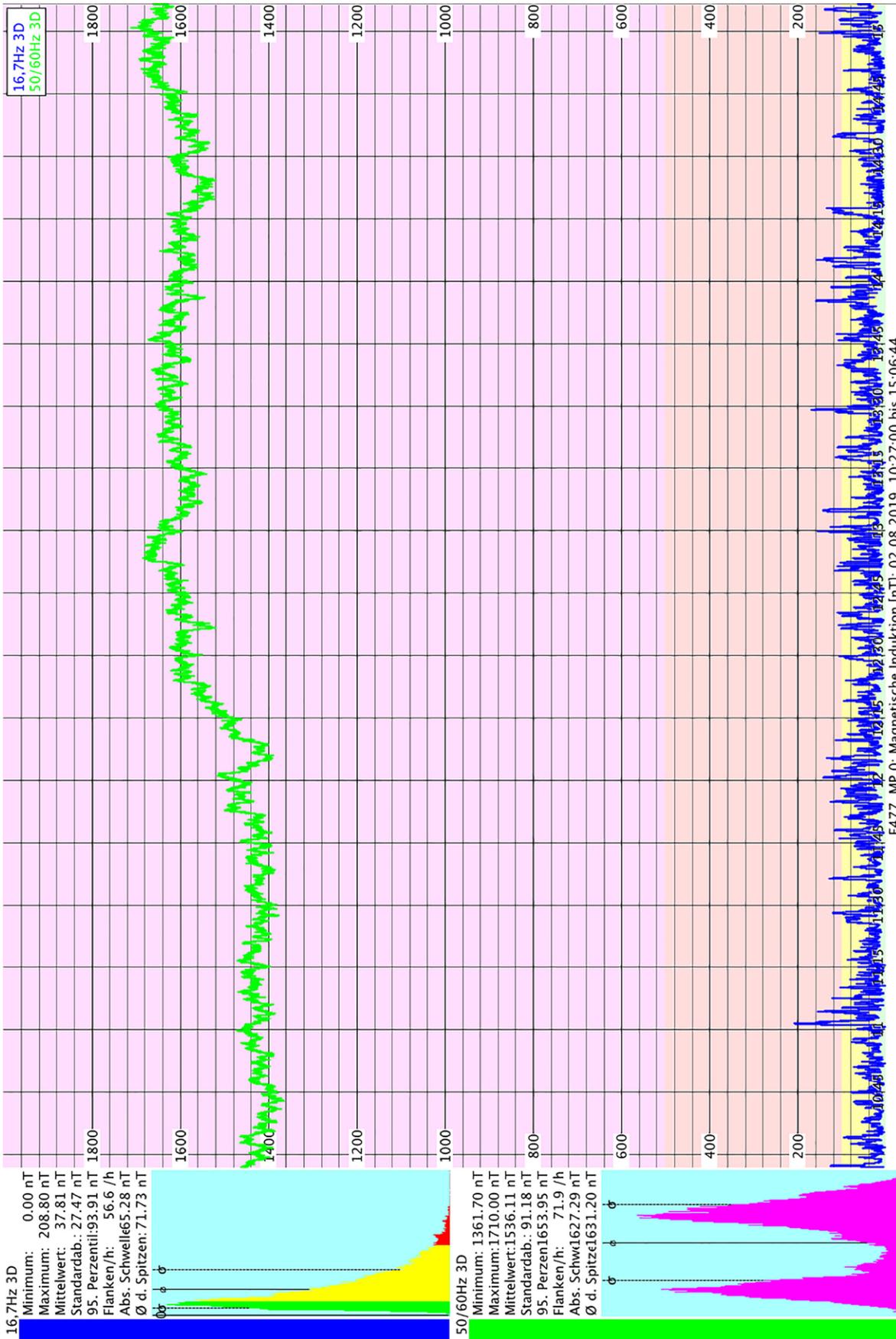


**MP22**

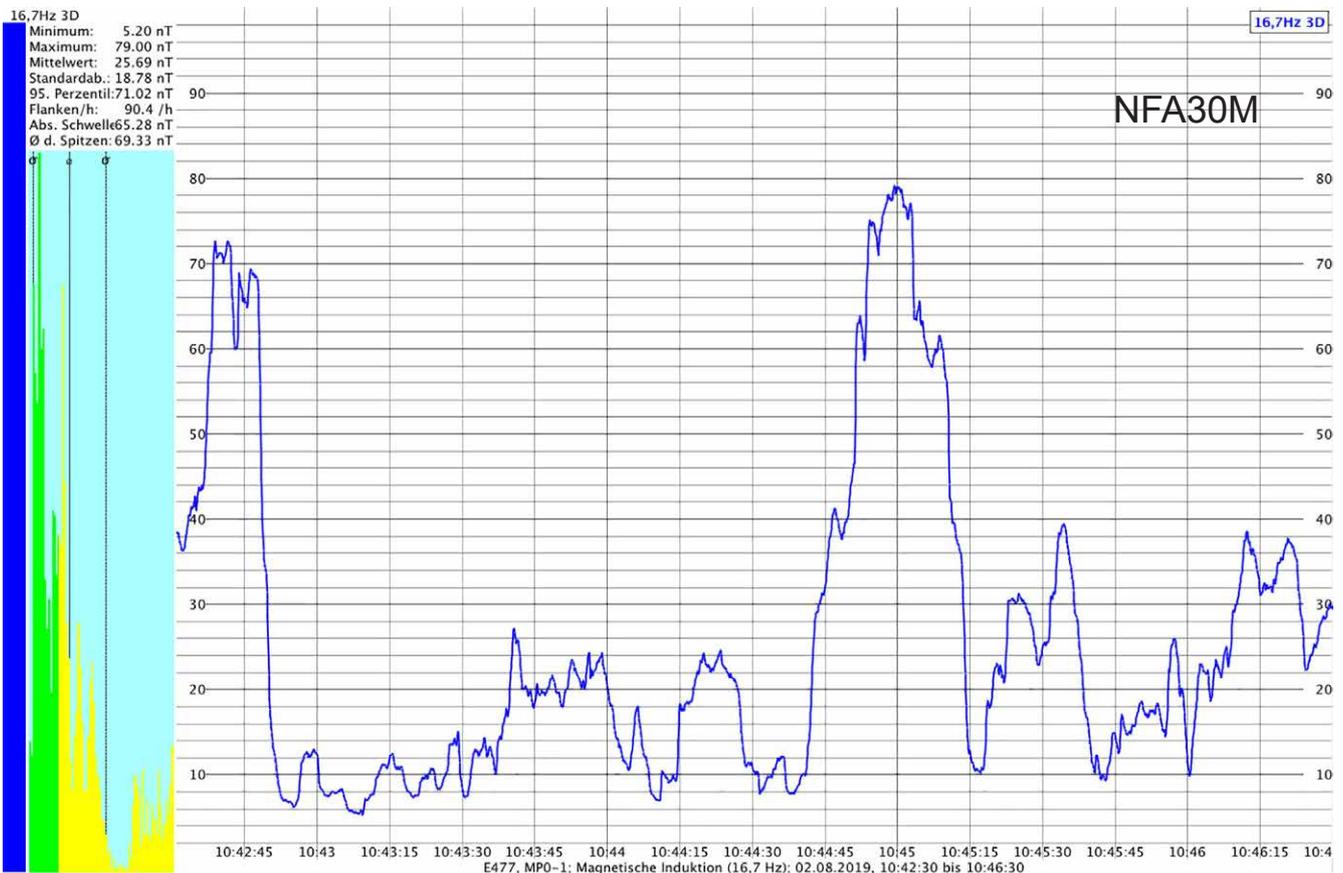
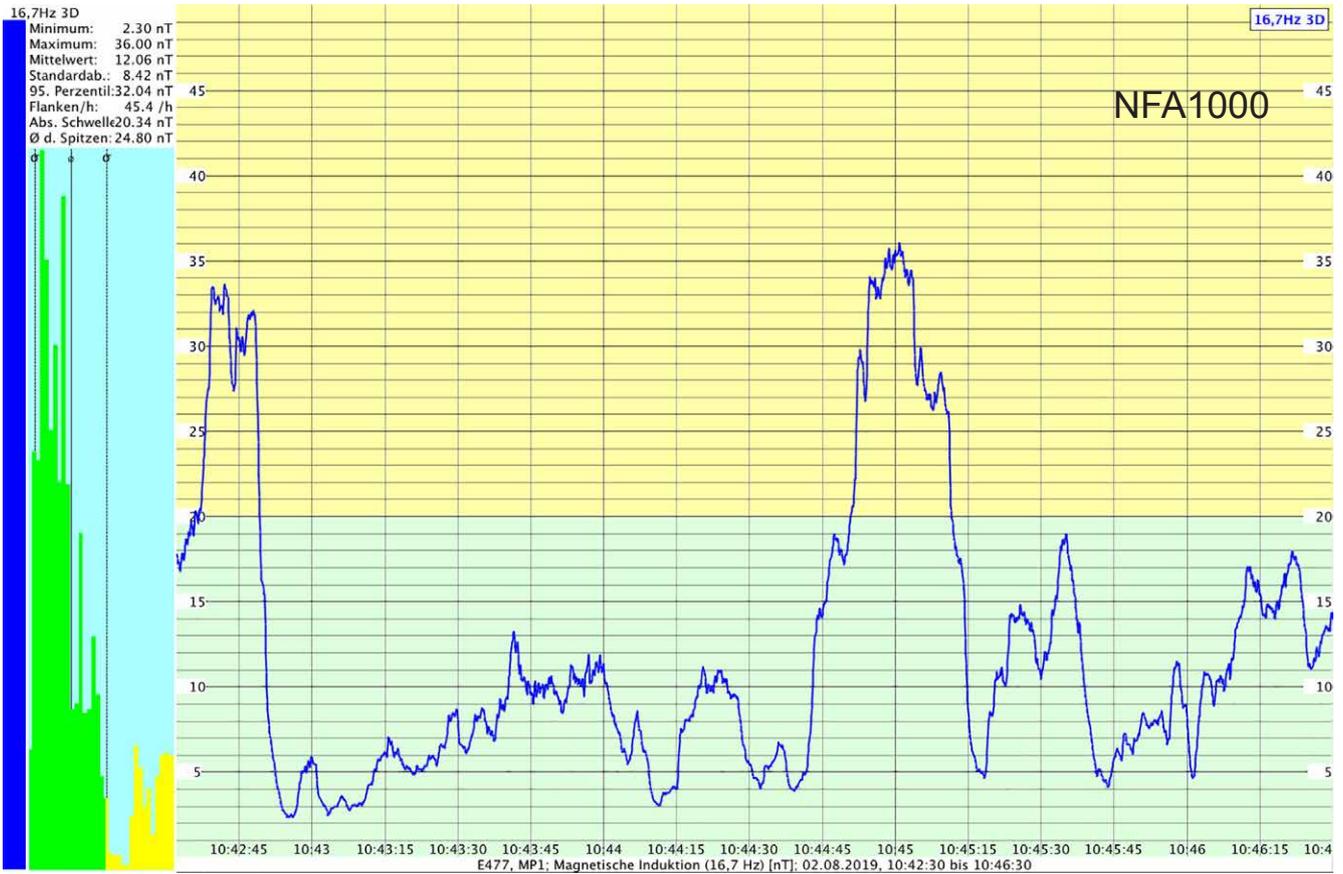


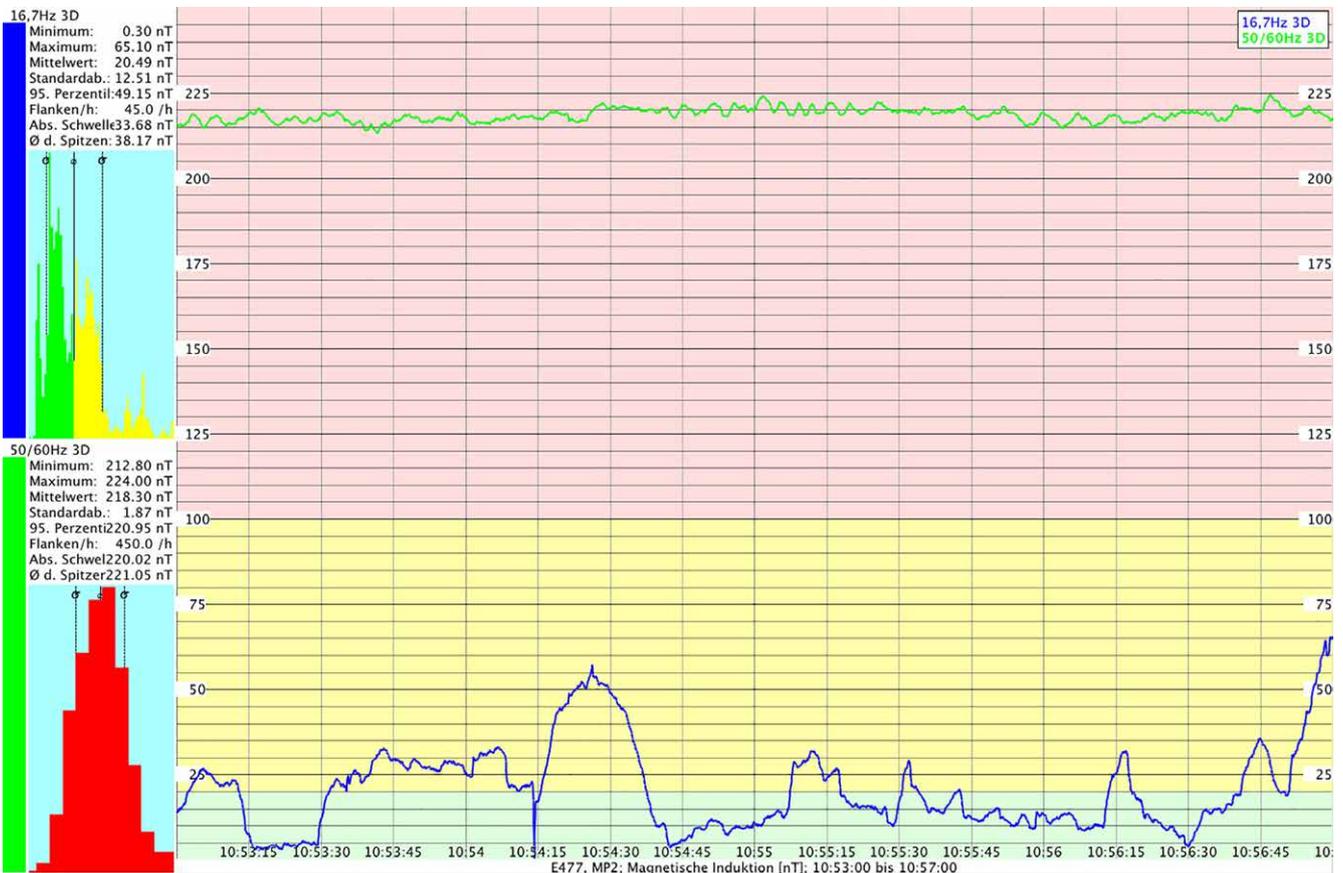
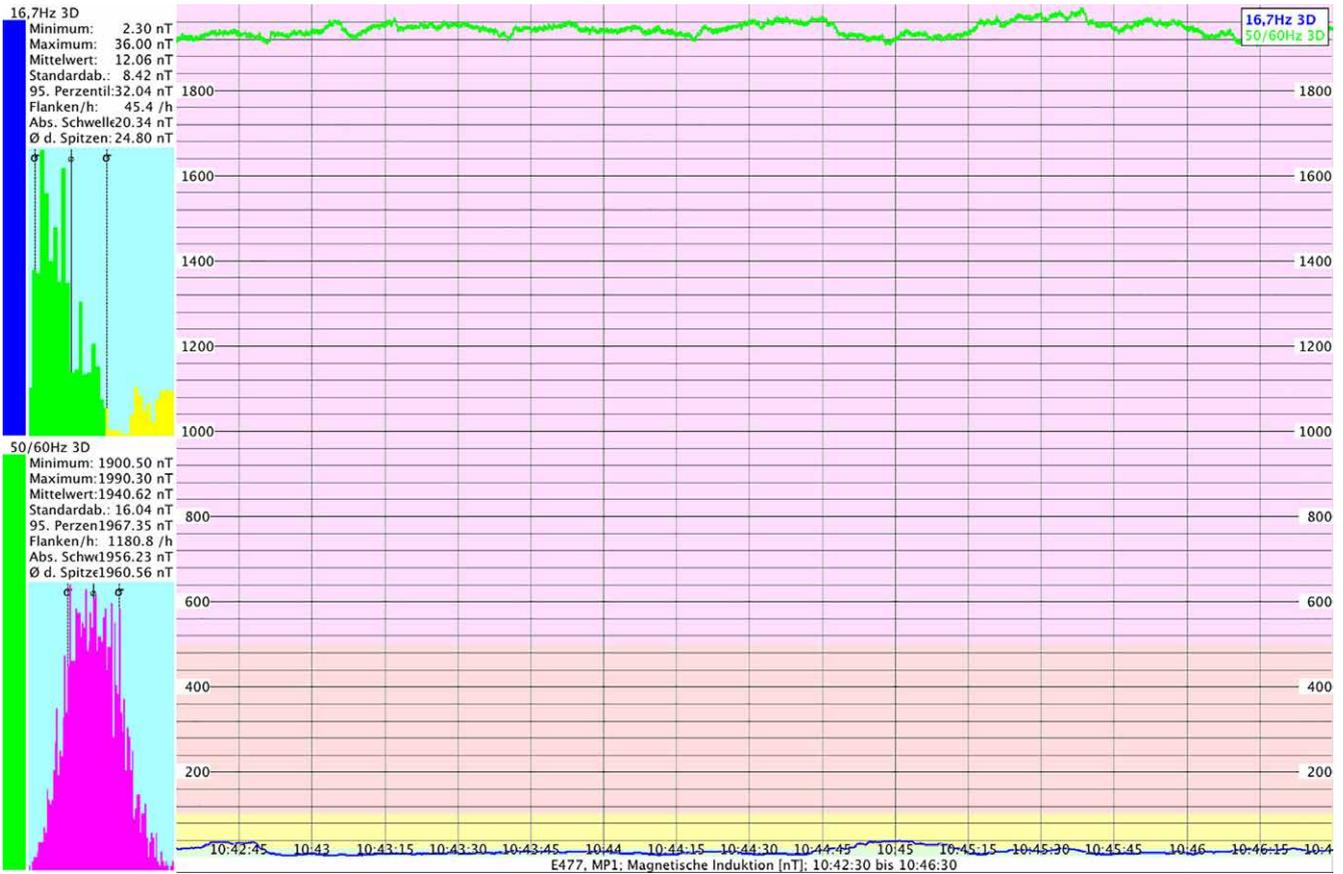
**MP23**

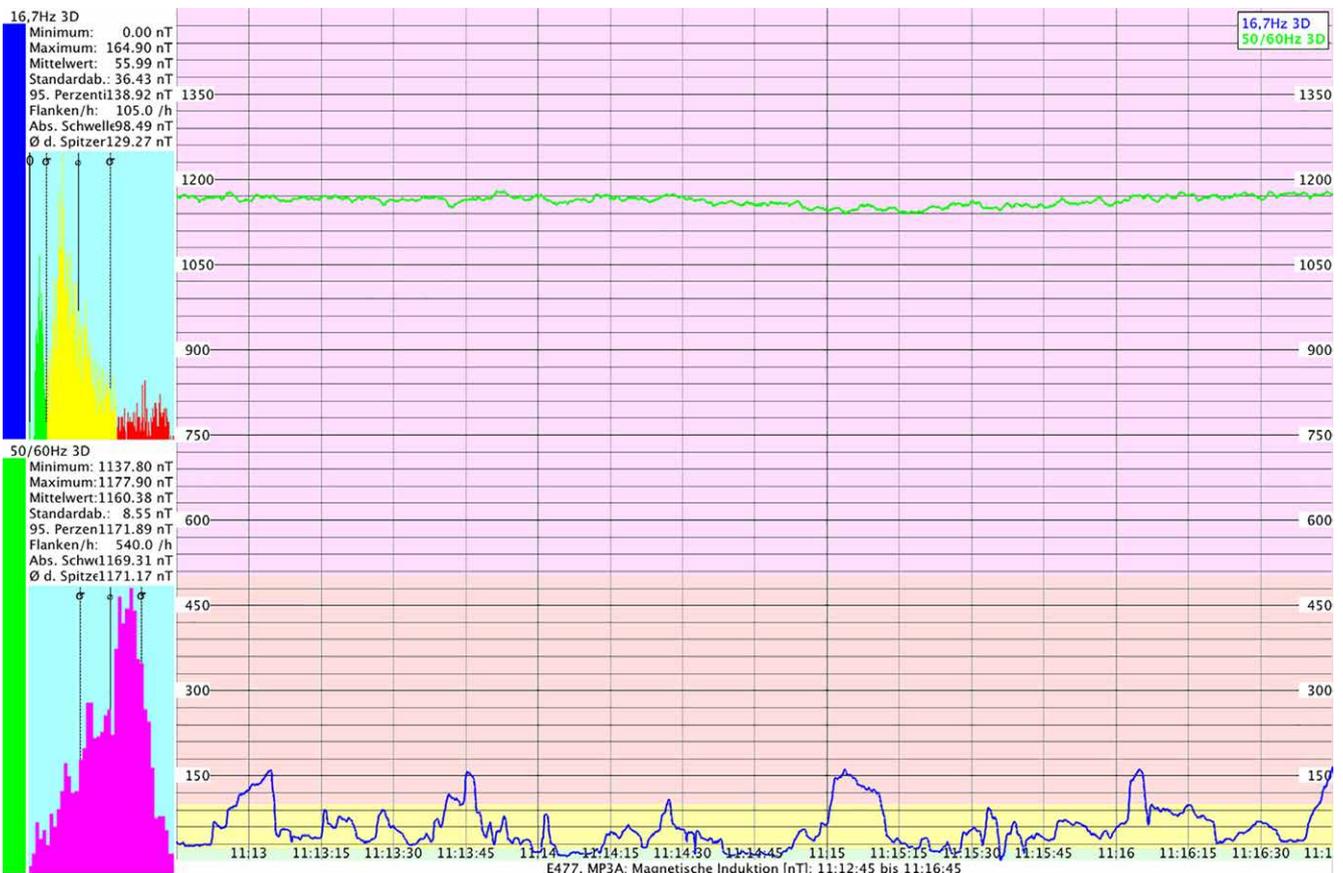
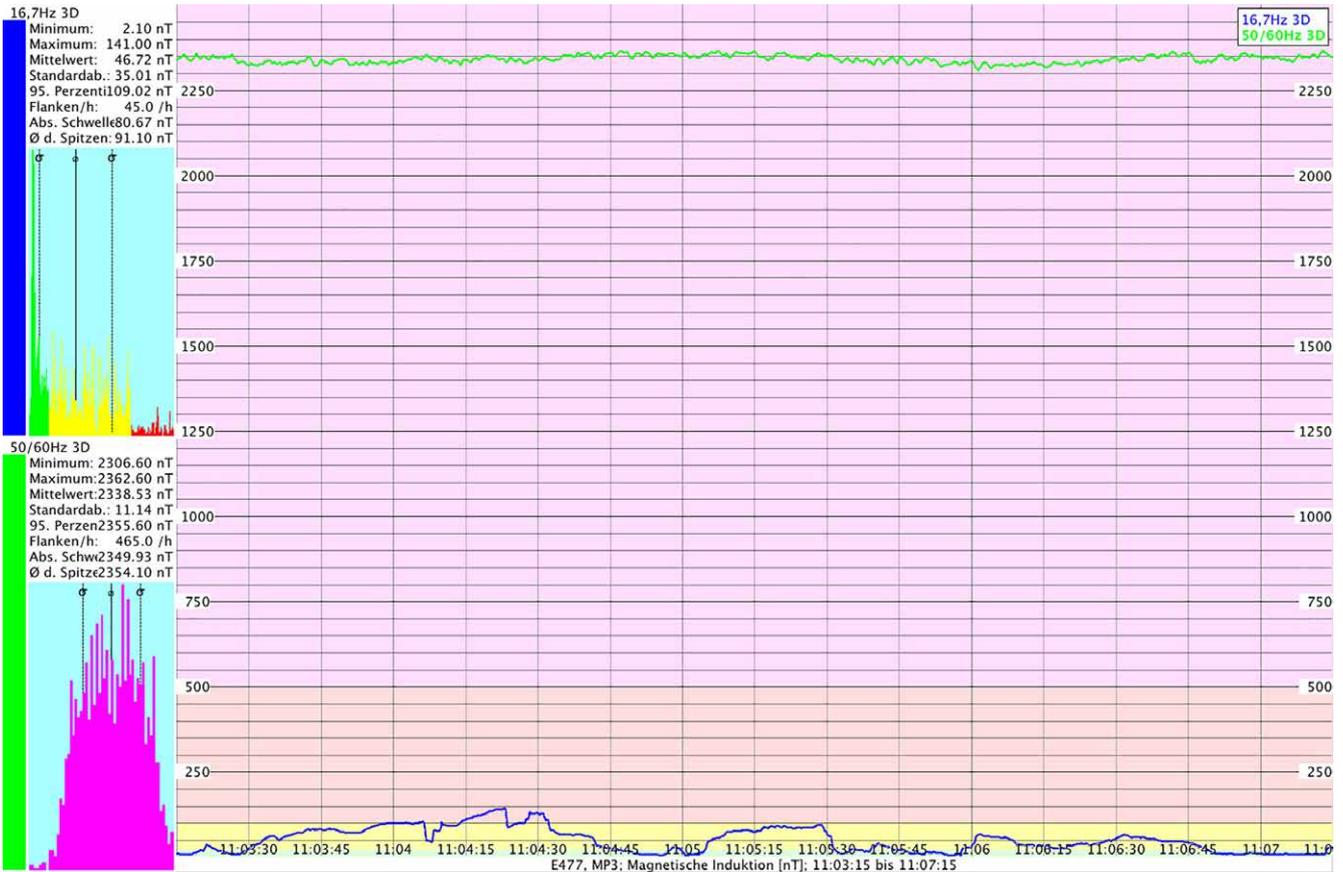


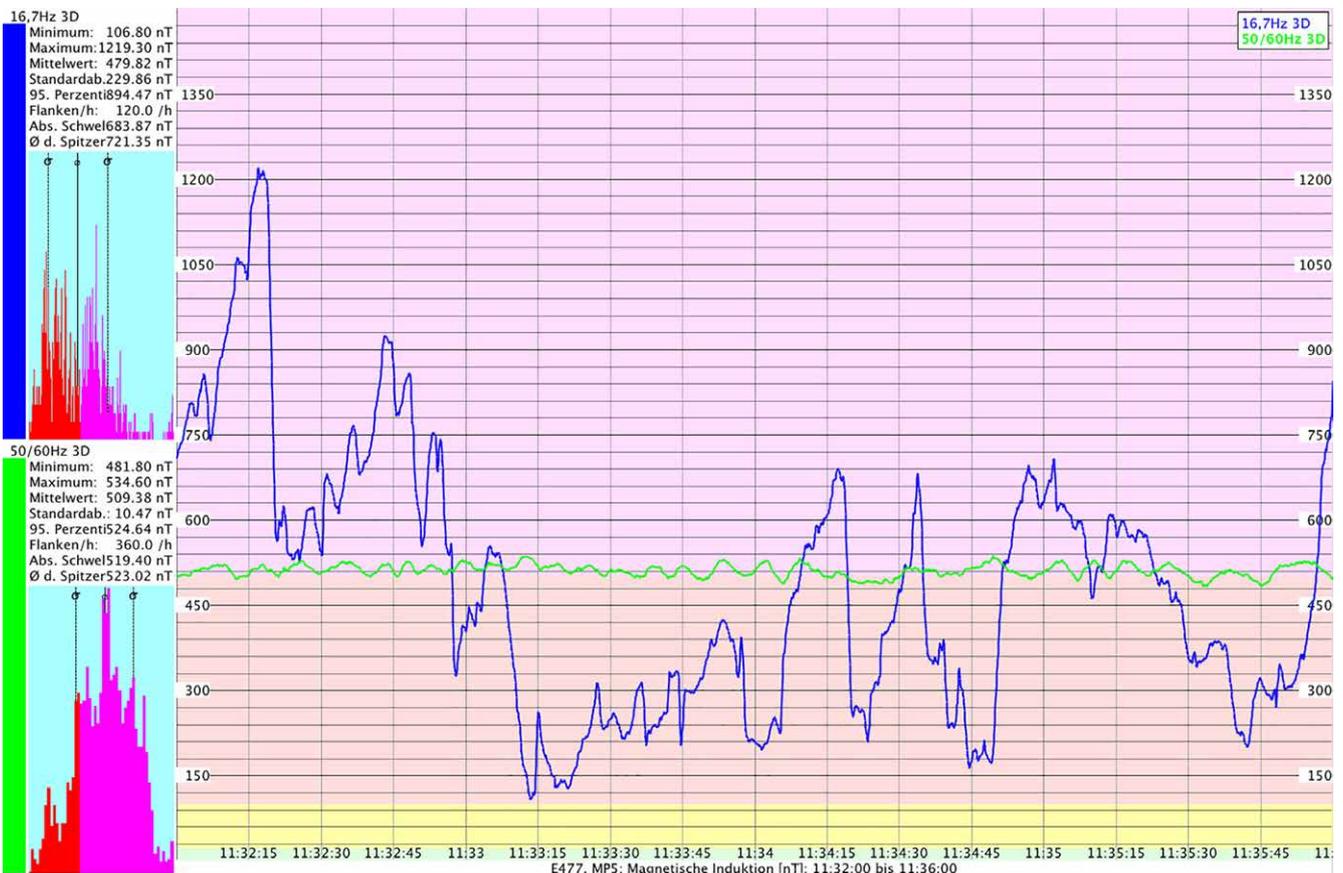
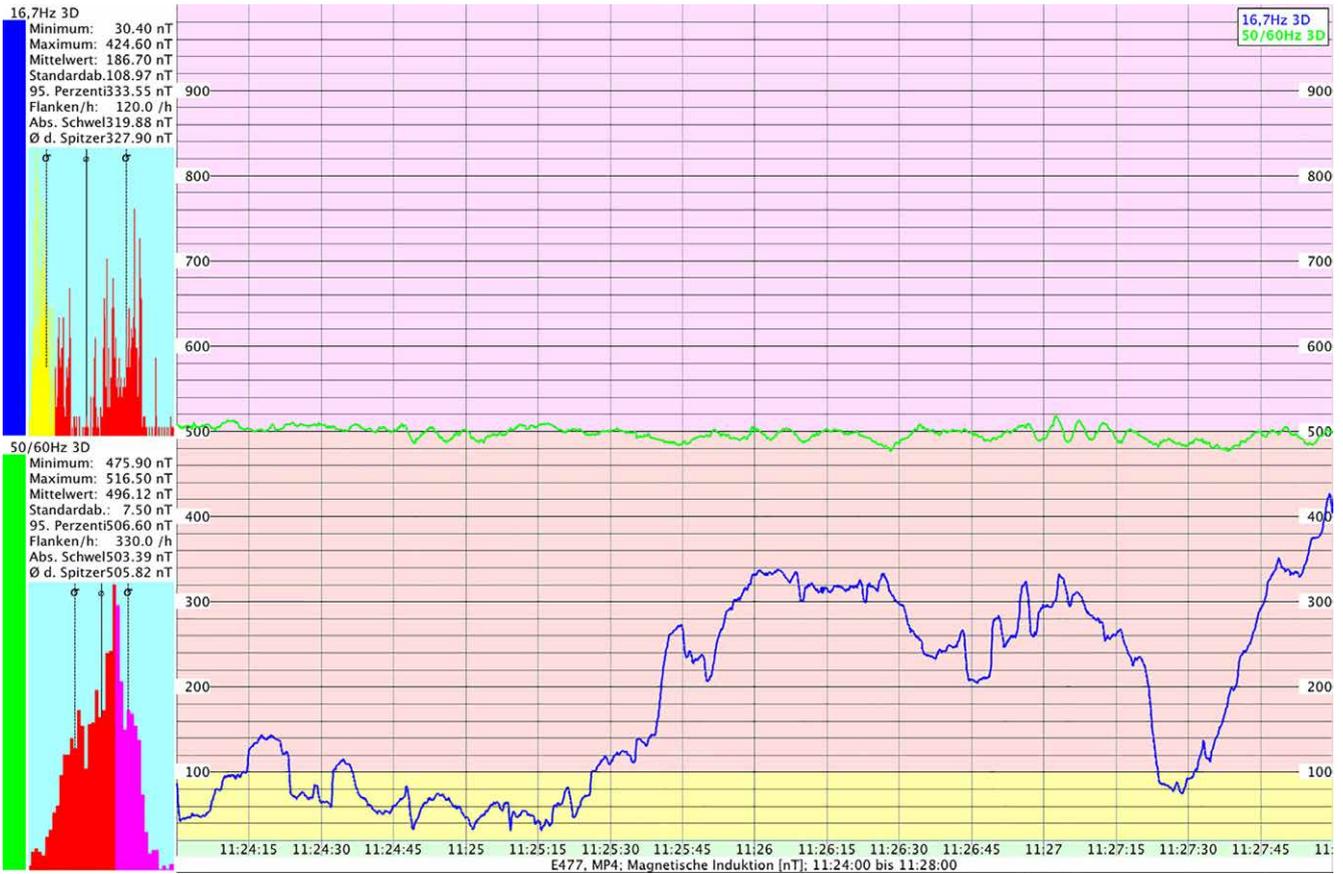


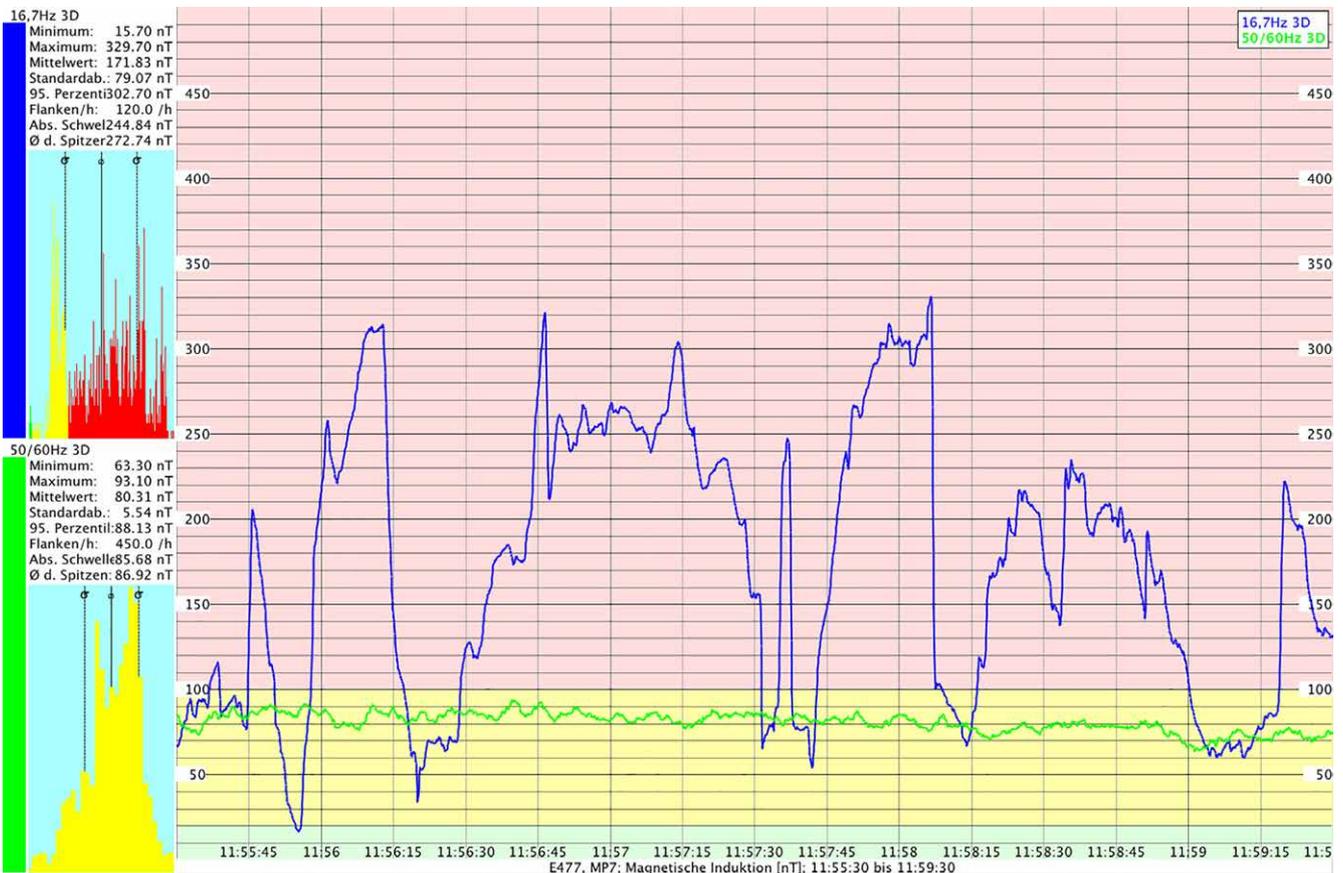
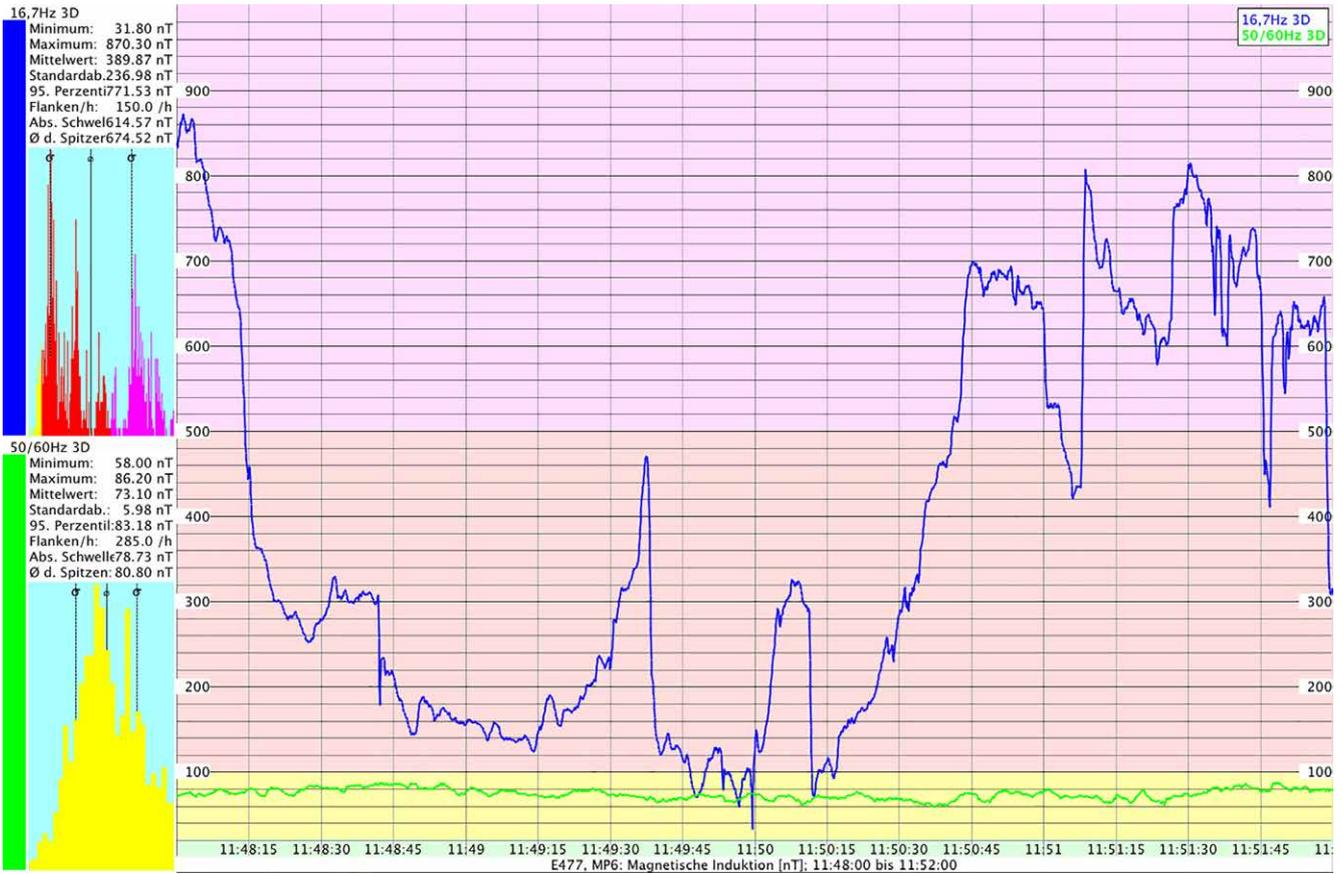


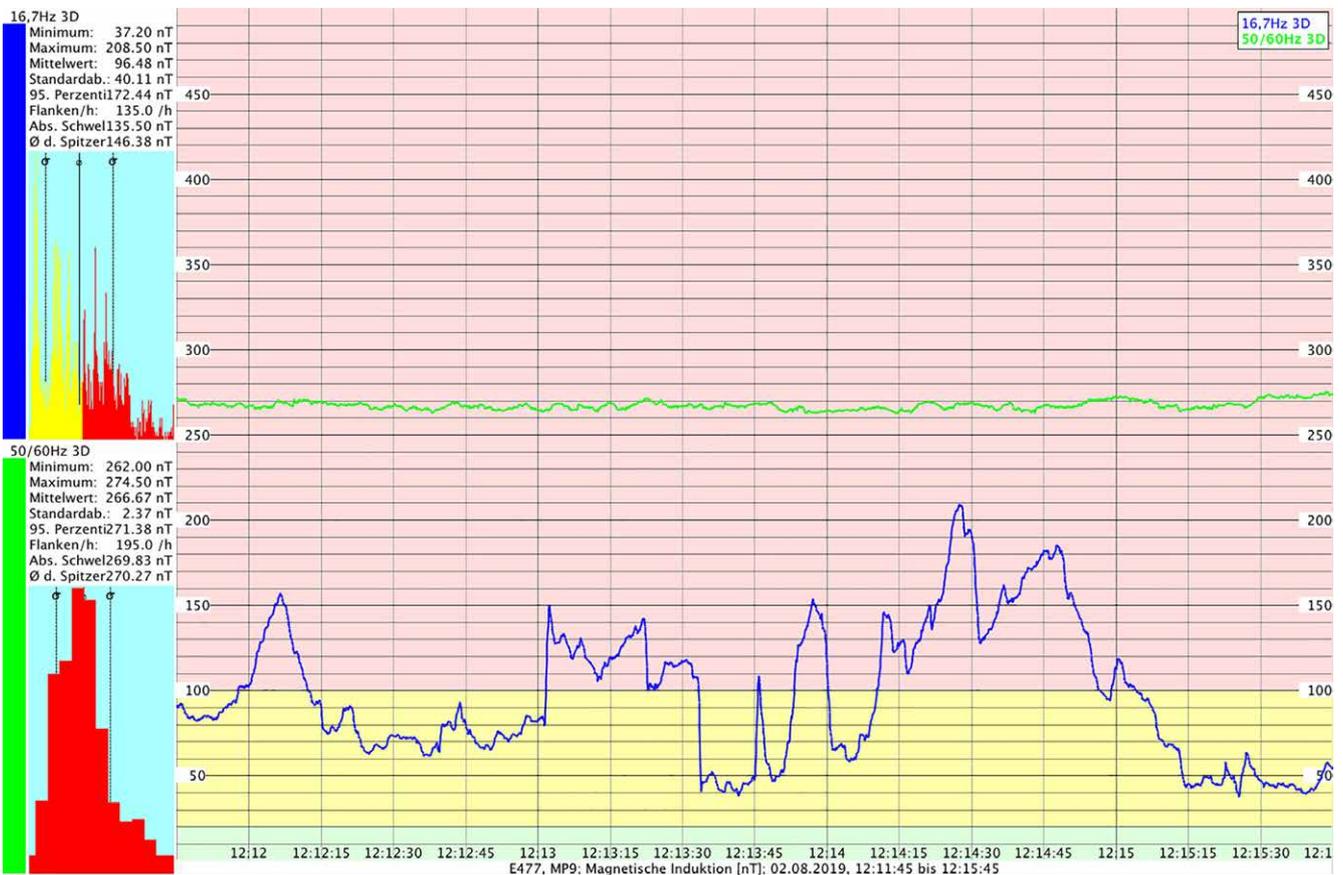
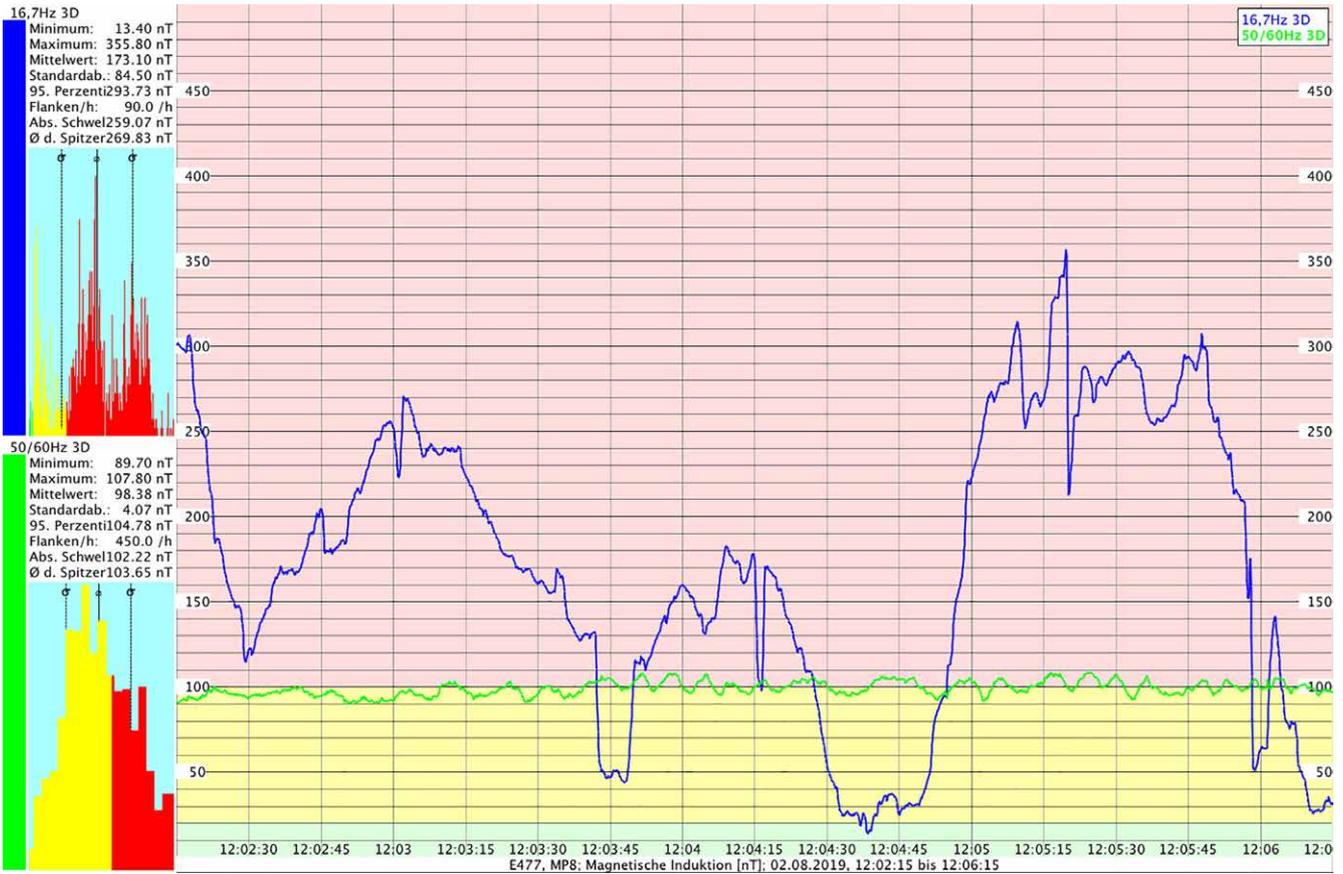


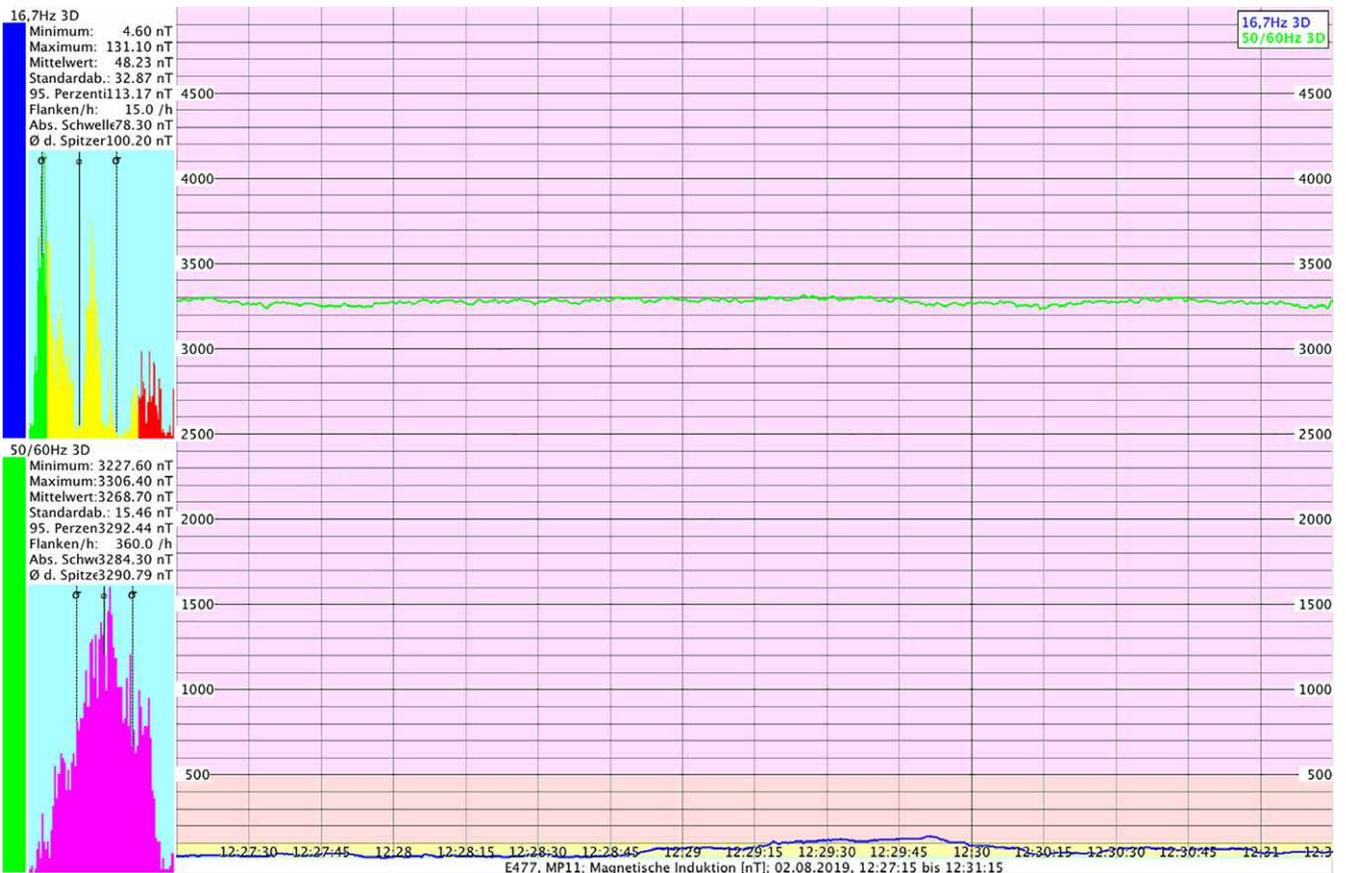
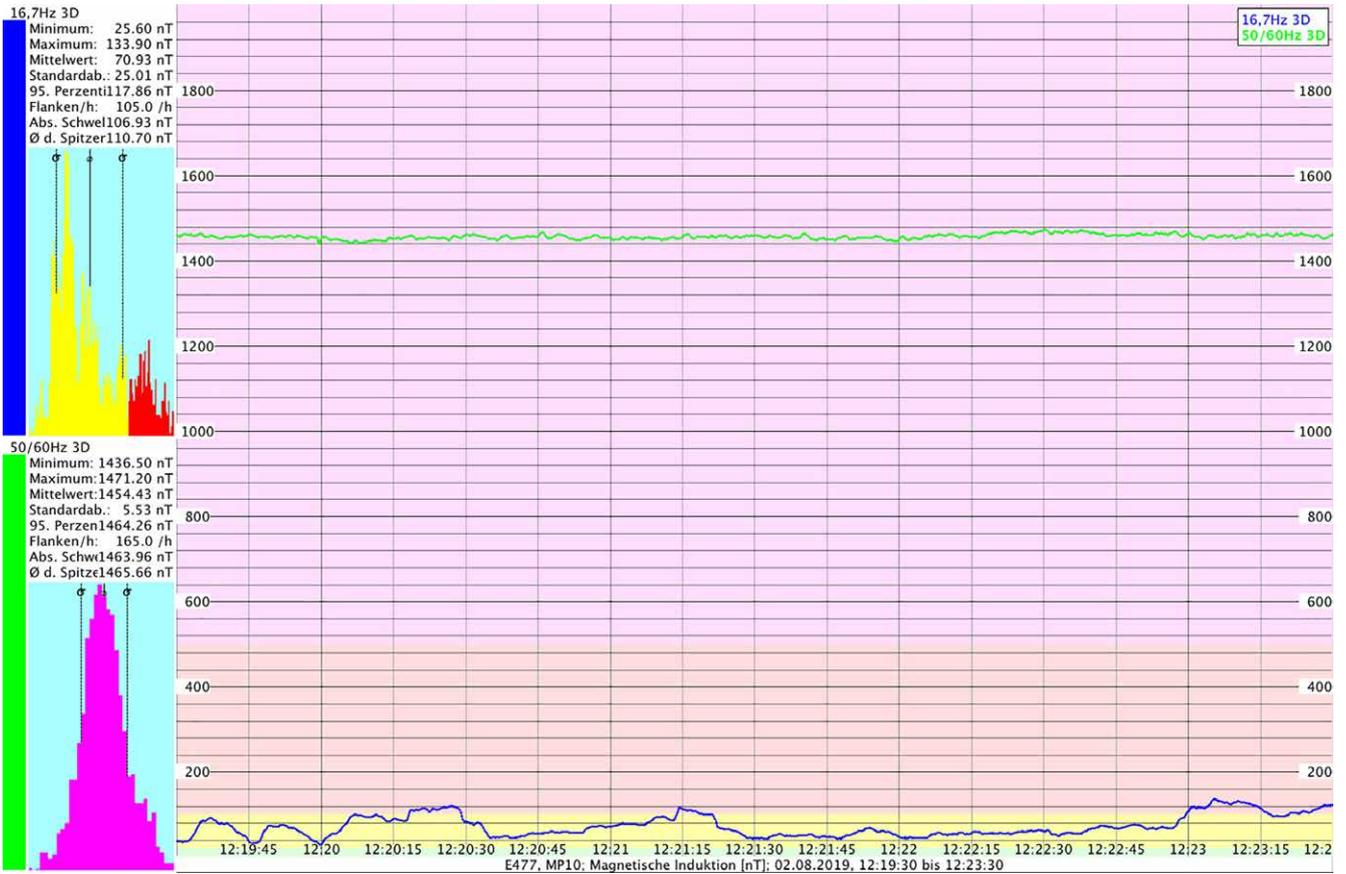


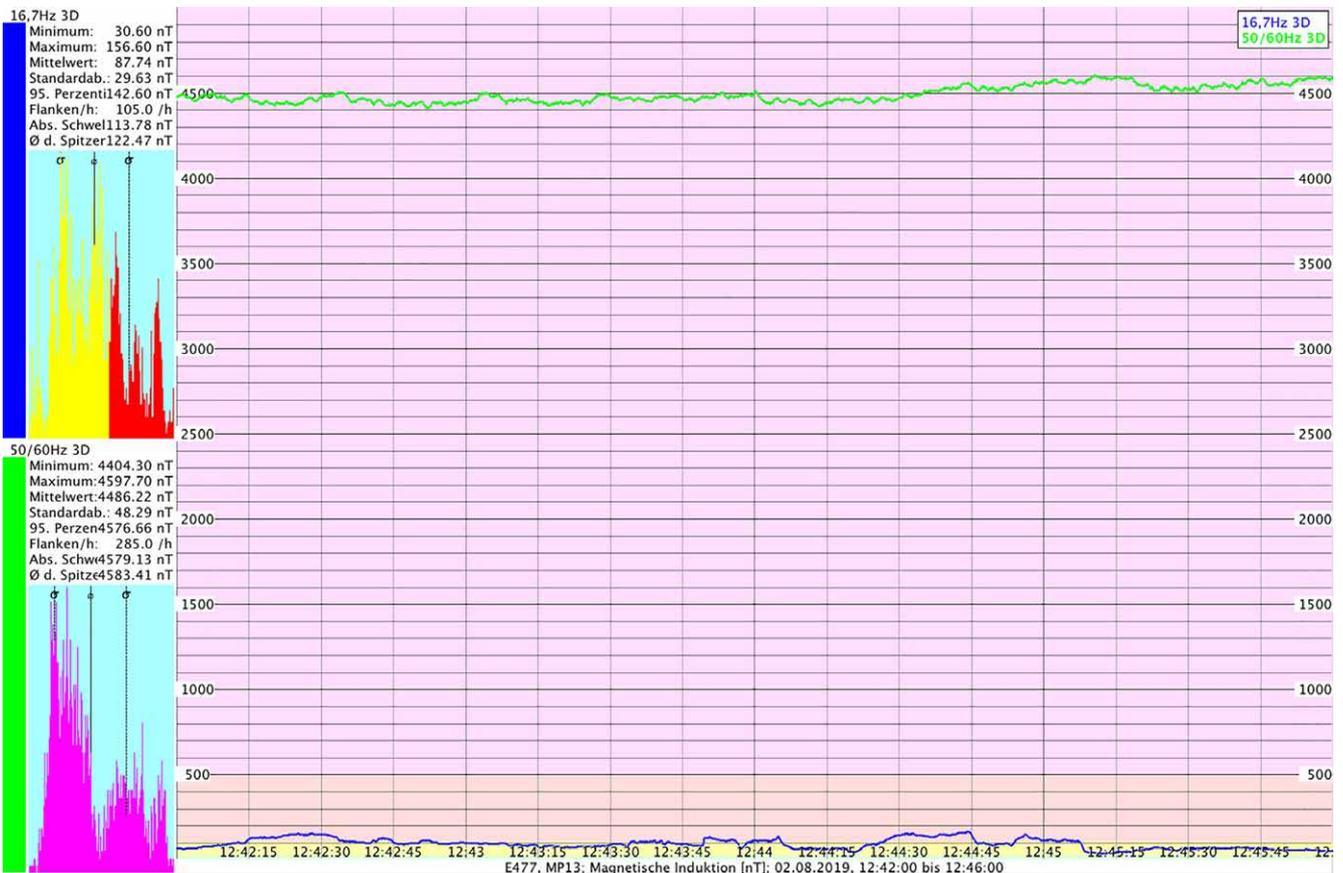
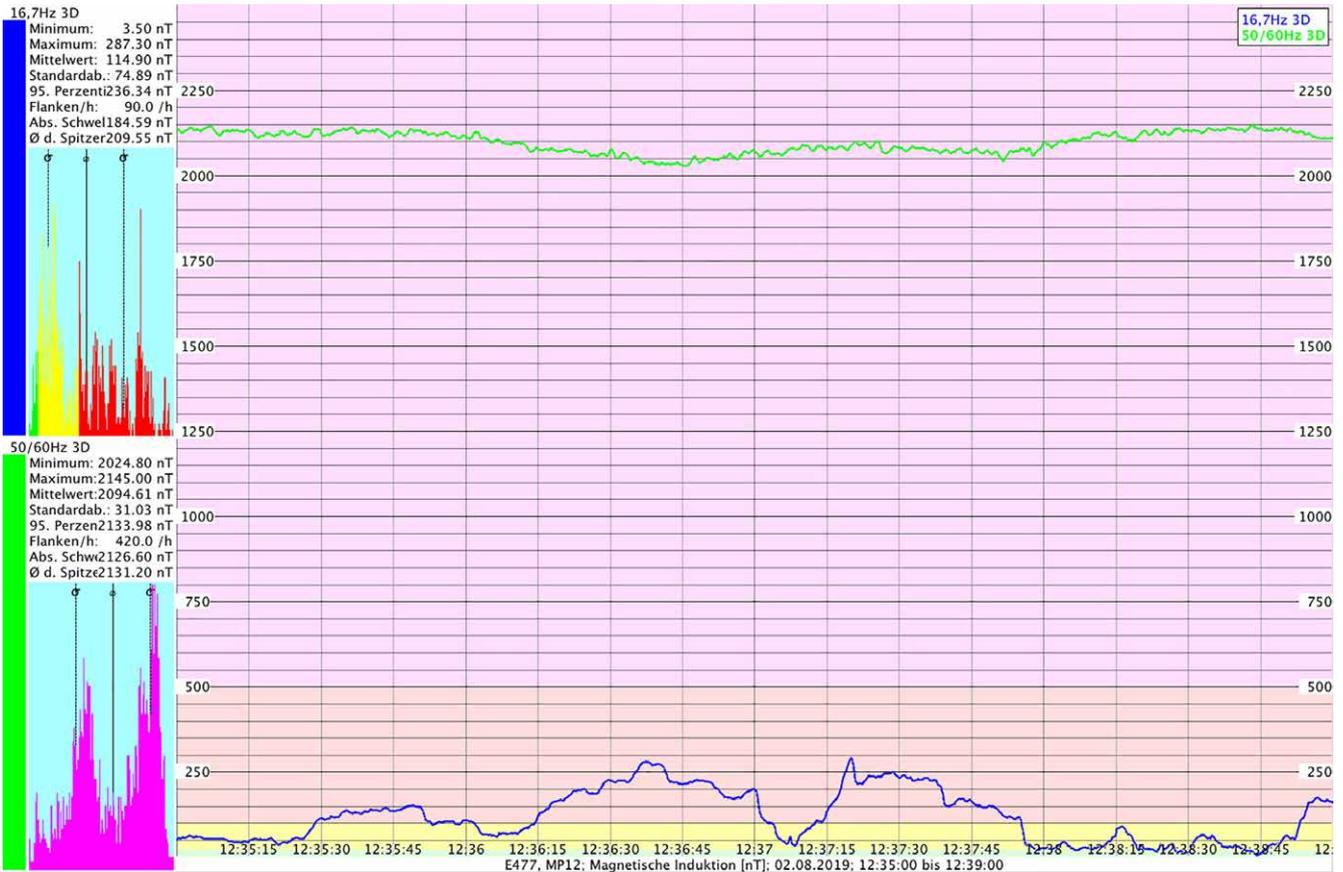


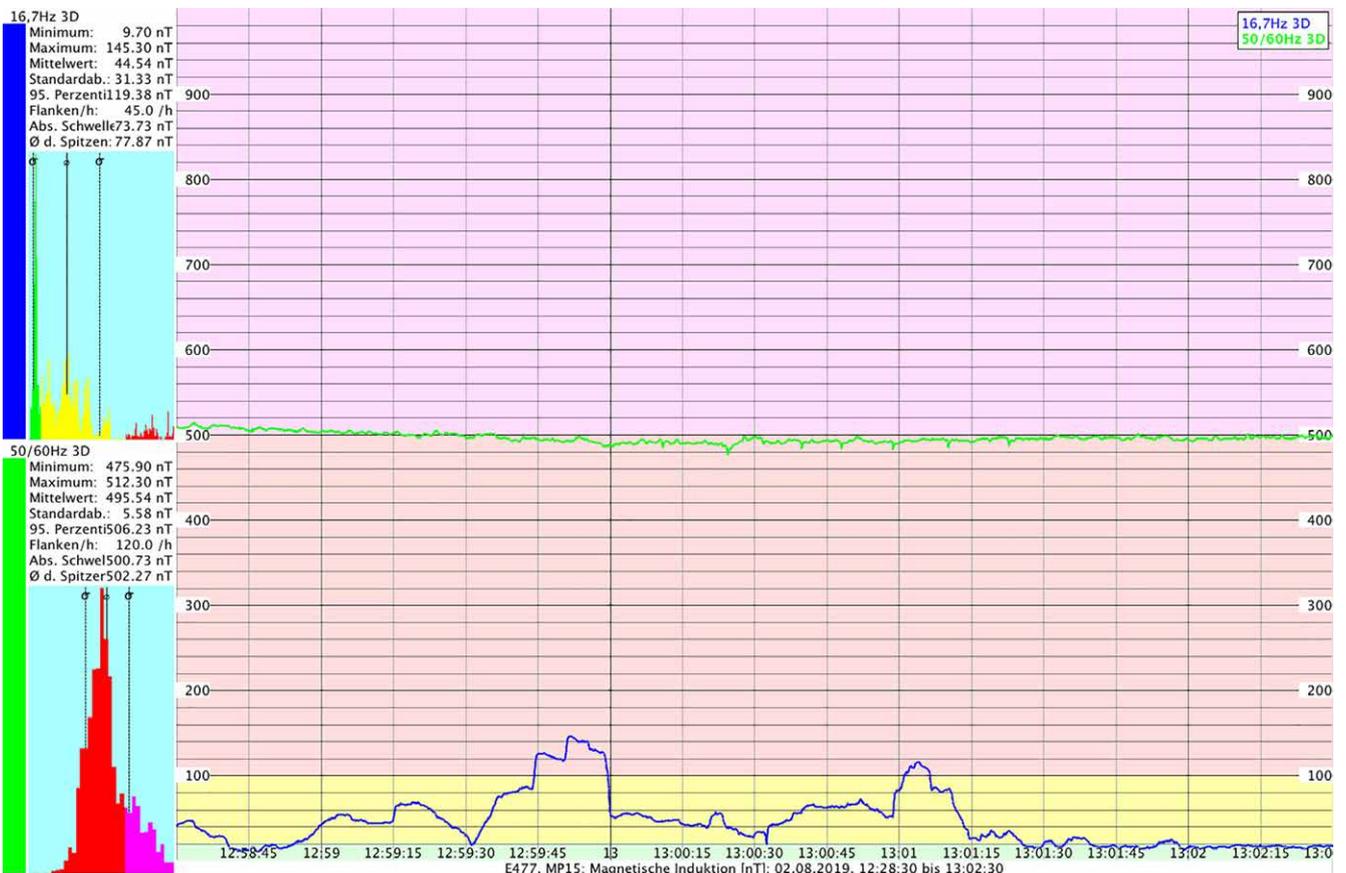


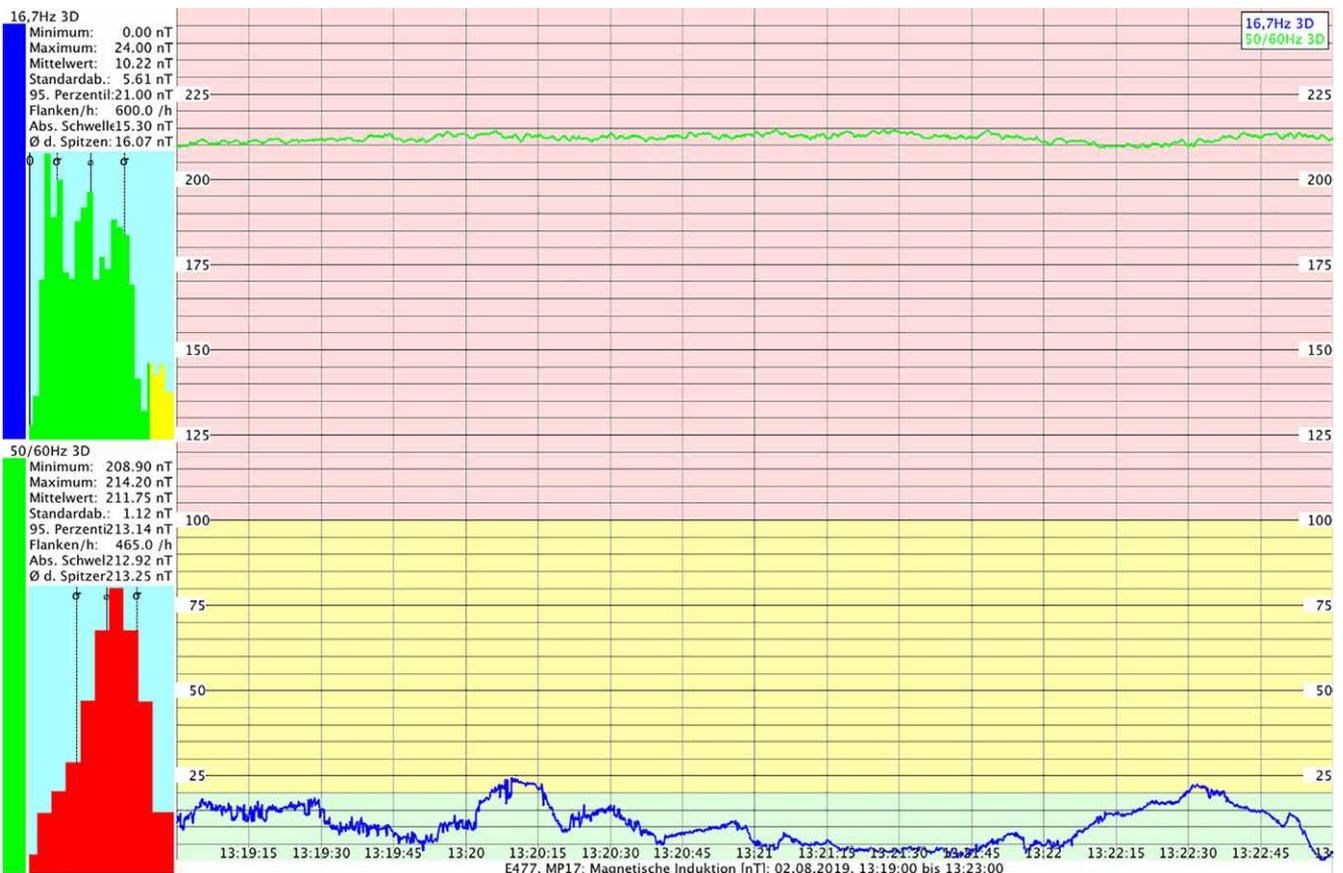
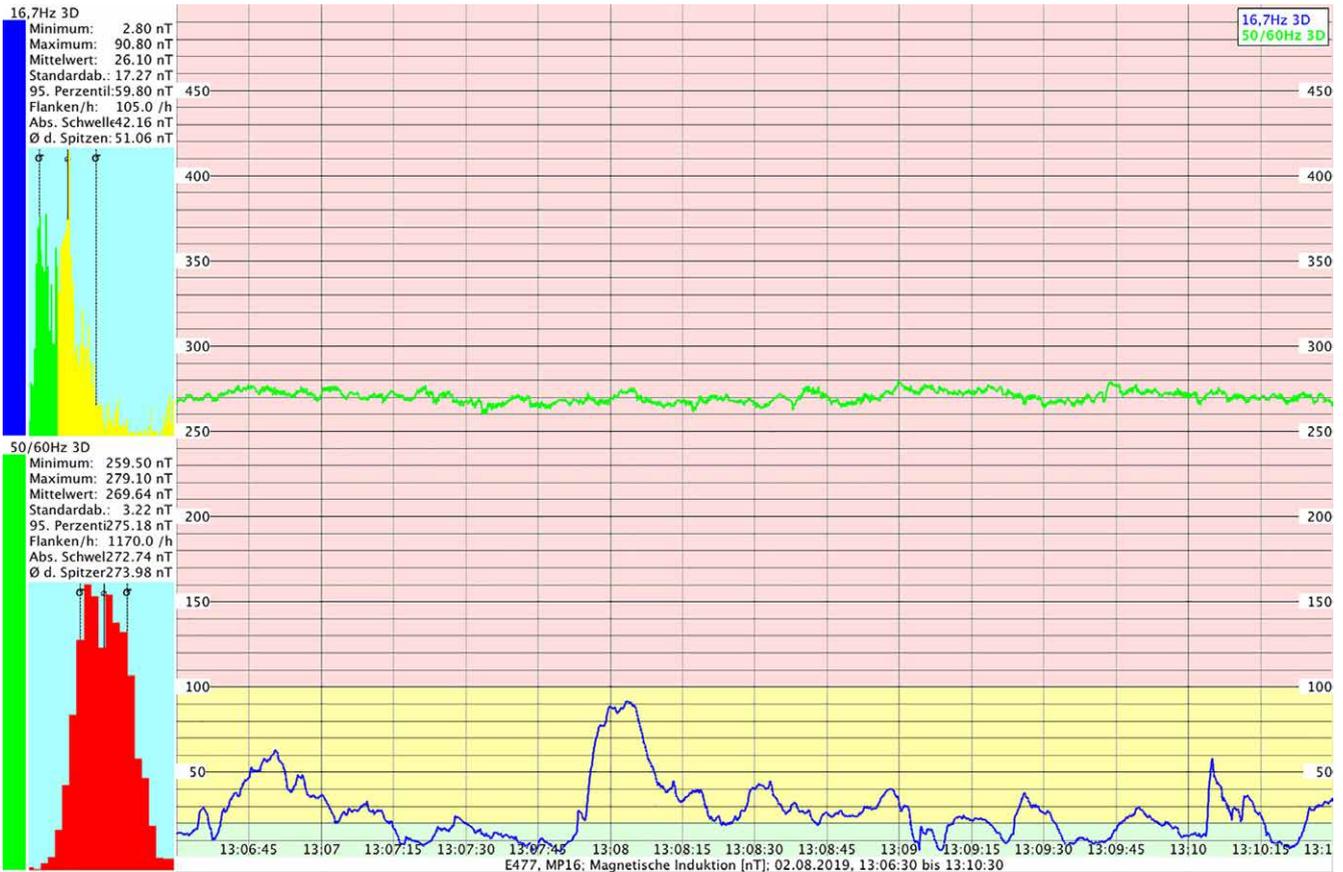


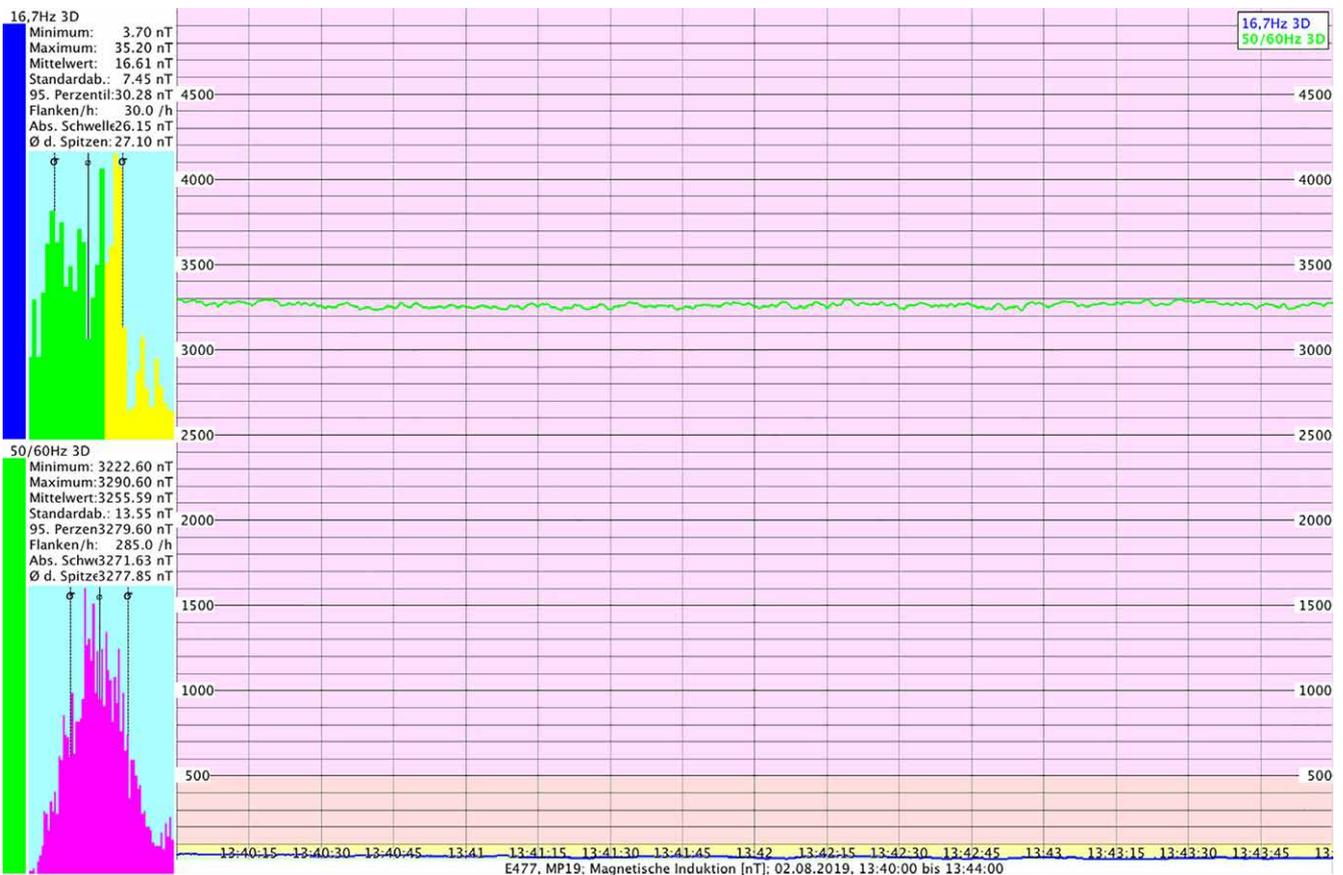
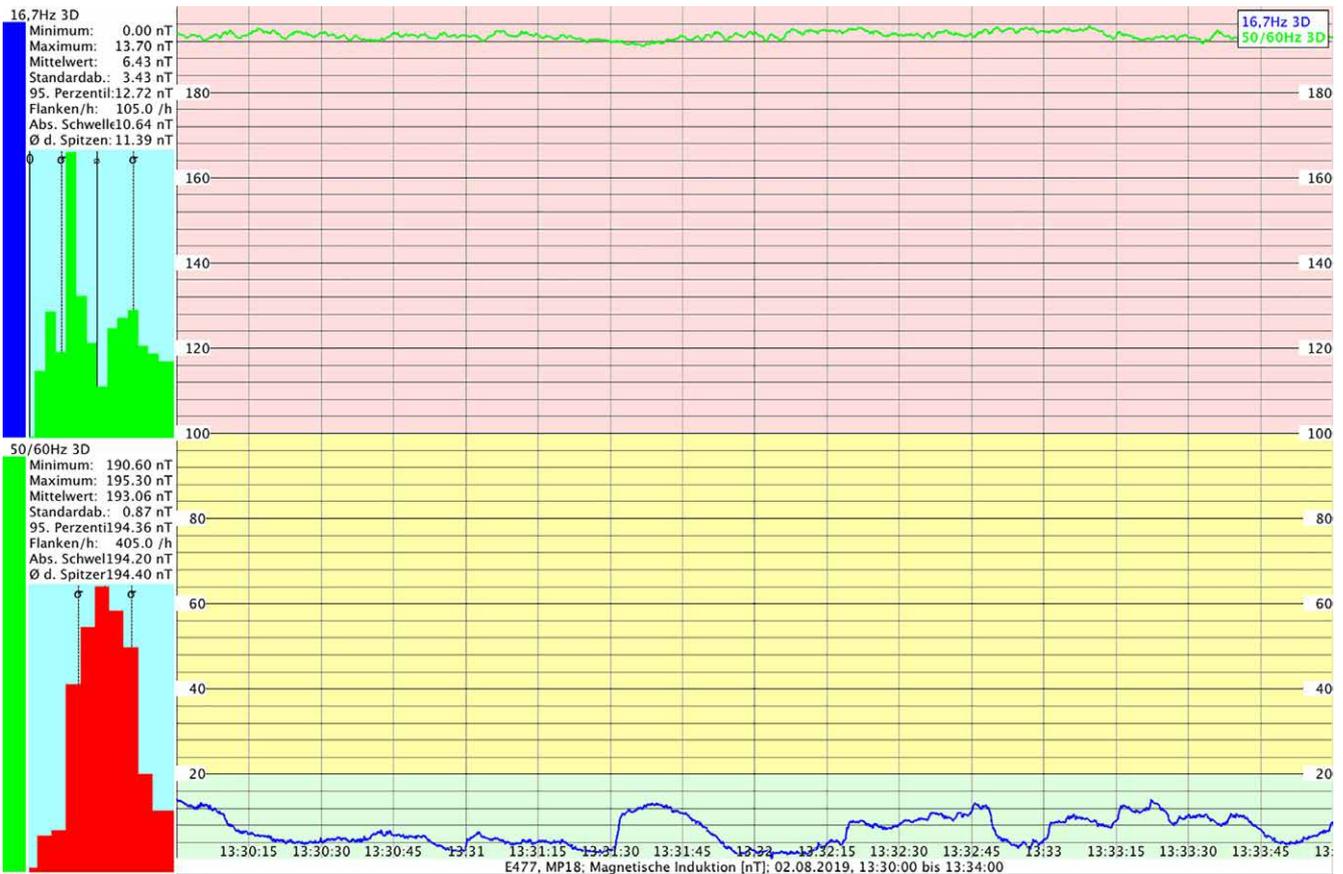


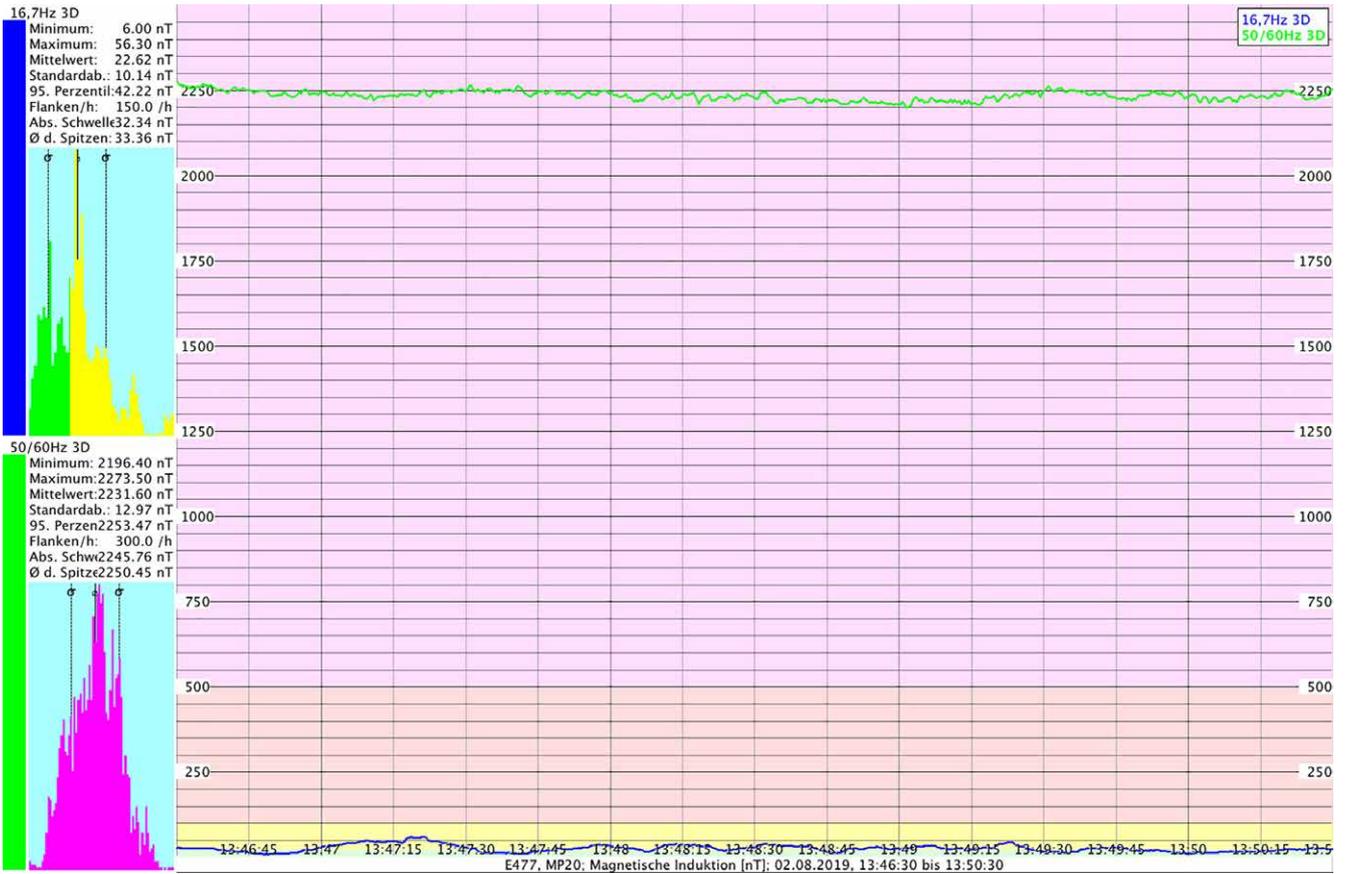


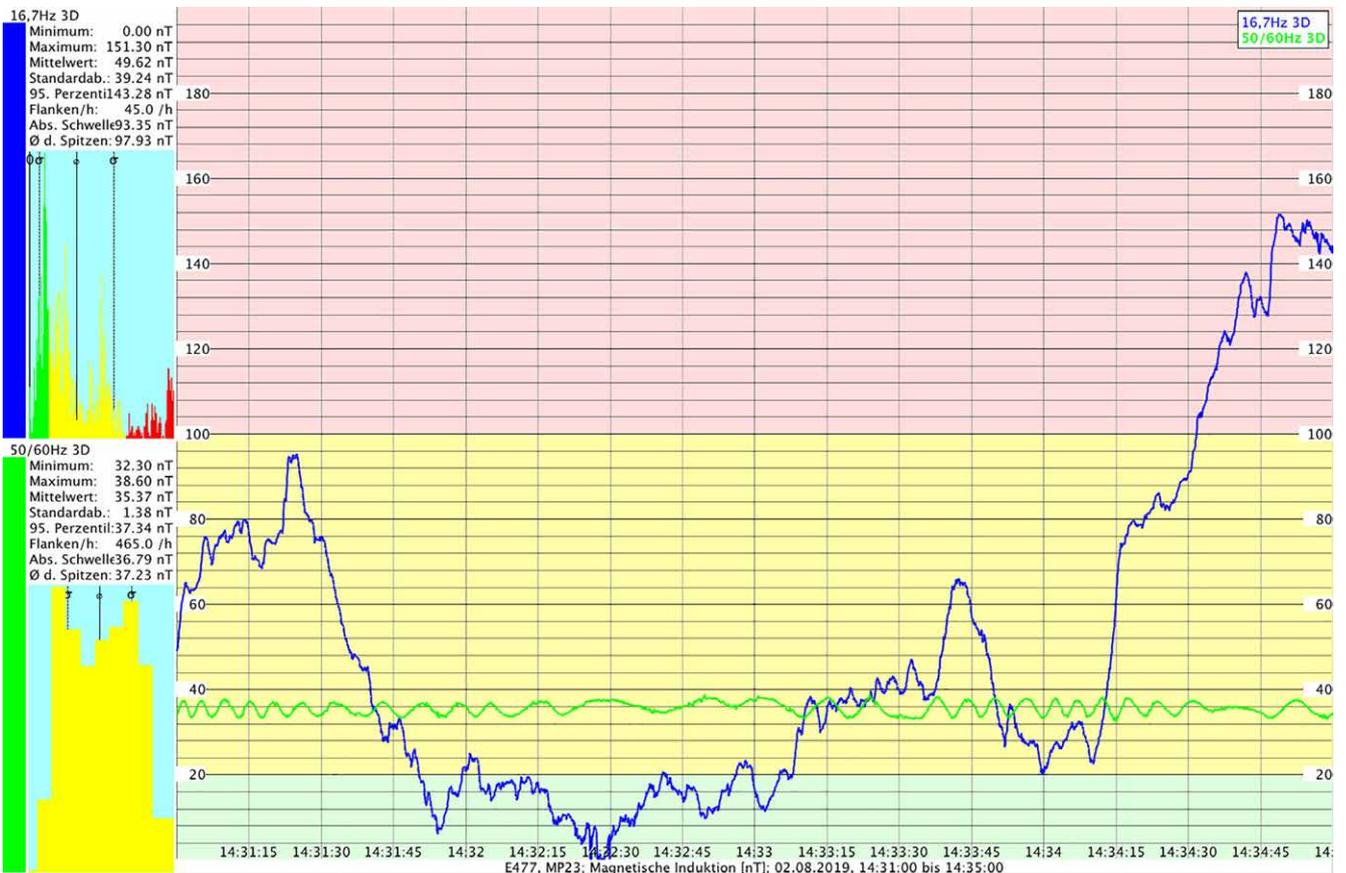
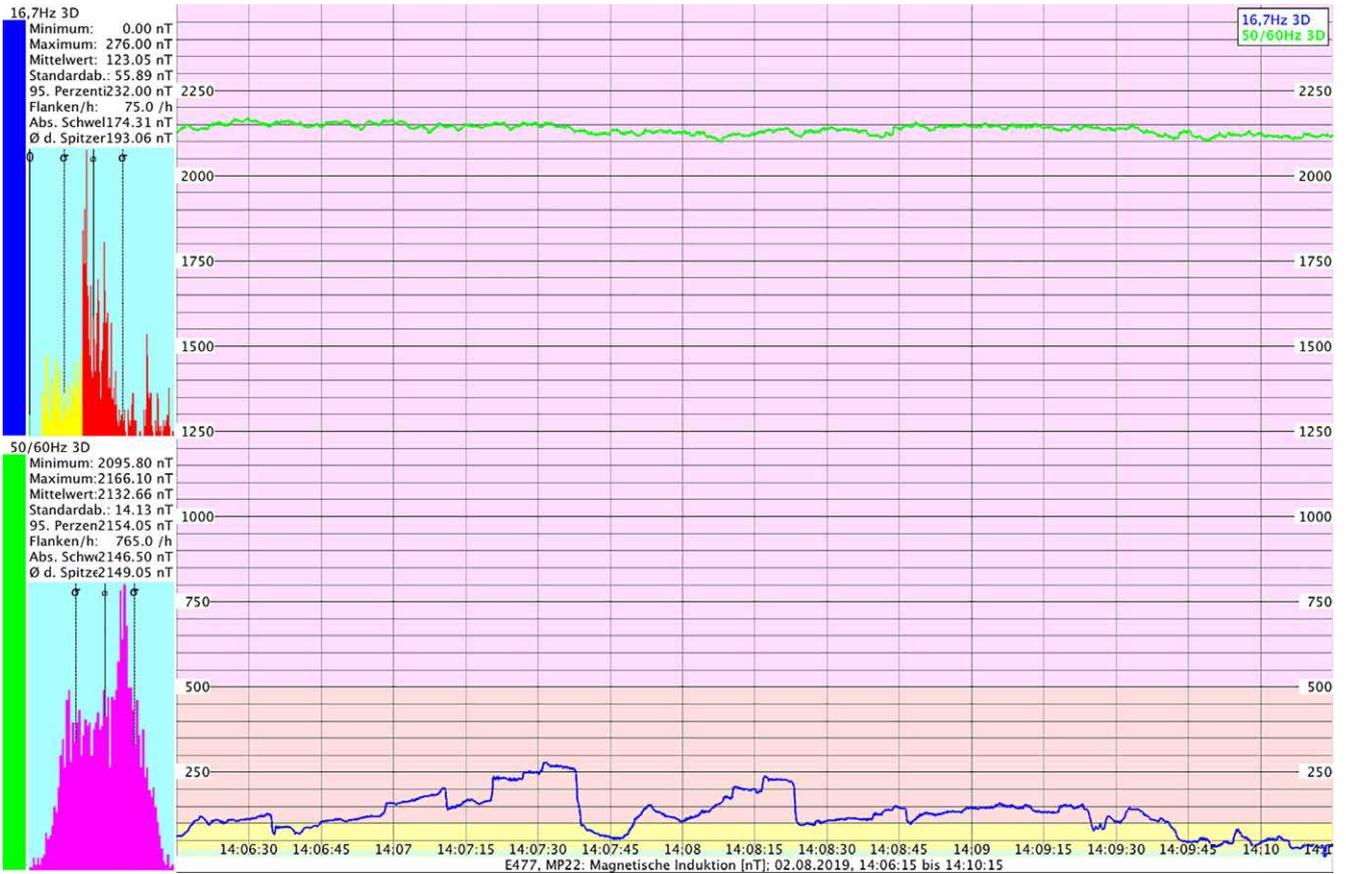


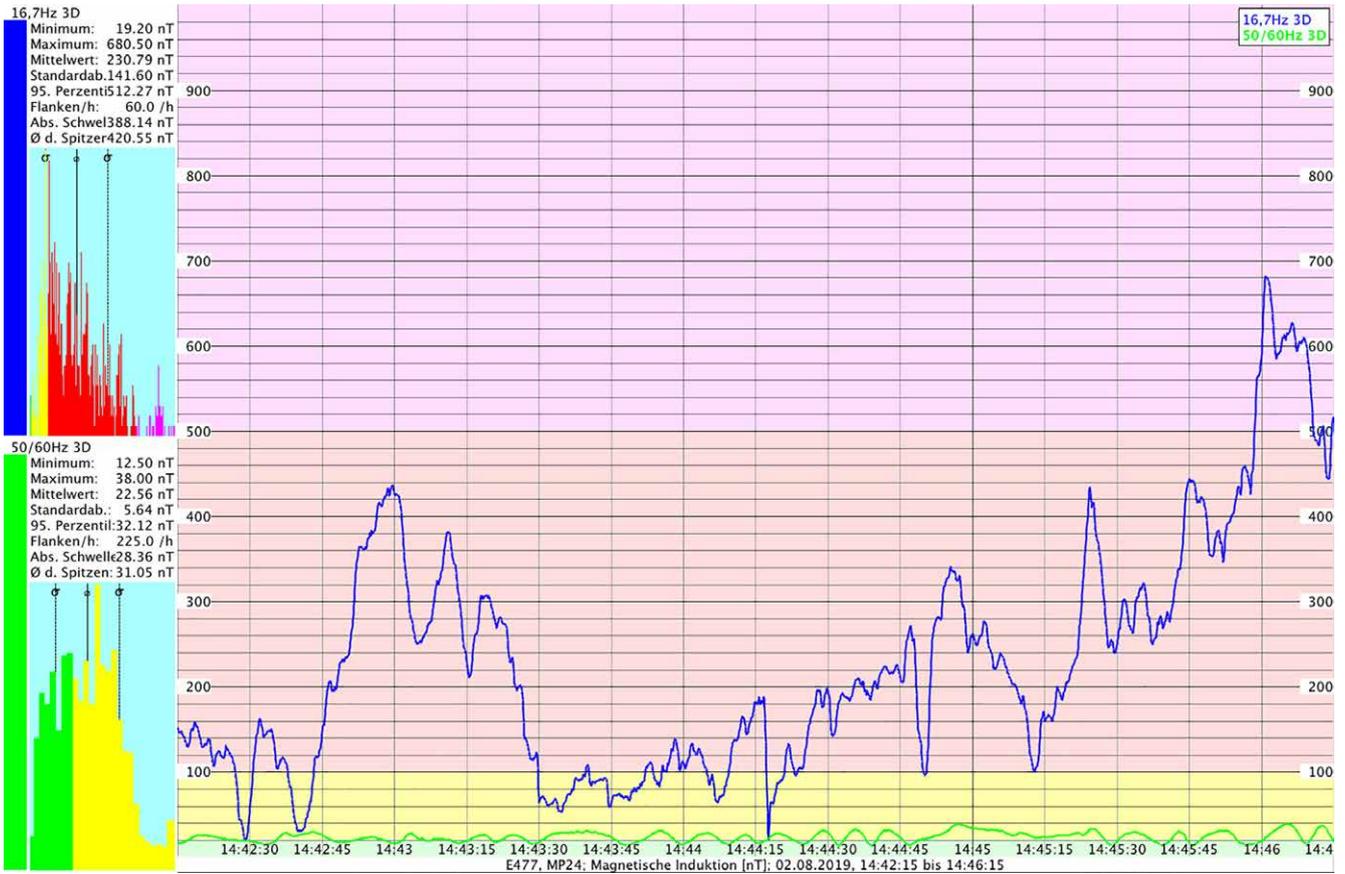














E477														
Para. No.	Number Segments		Startpoint			Endpoint			Number		dx-Size	dy_Size	Number	
	Ropes	p.Ropes	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	Points	[m]	[m]	of Rows		
0	232	1	-200.0	-650.0	1.5	1500.0	150.0	1.5	1701	1.0	1.0	801		
No. Rope	Startcoordinates			Endcoordinates			Height	Voltage	Current	Phase	Rope Radius	No. Subr.	Dist. Subr.	Frequency
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	[m]	[kV]	[A]	[°]	[mm]		[m]	[Hz]
1 X	-400.0	12.7	18.2	0.0	12.7	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
2 X	-400.0	9.9	27.2	0.0	9.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
3 X	-400.0	7.4	18.2	0.0	7.4	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
4 X	-400.0	-7.4	18.2	-0.0	-7.4	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
5 X	-400.0	-9.9	27.2	-0.0	-9.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
6 X	-400.0	-12.7	18.2	-0.0	-12.7	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
7GX	-400.0	0.0	41.5	0.0	0.0	41.5	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
8 X	0.0	12.7	18.2	323.0	12.7	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
9 X	0.0	9.9	27.2	323.0	9.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
10 X	0.0	7.4	18.2	323.0	7.4	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
11 X	-0.0	-7.4	18.2	323.0	-7.4	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
12 X	-0.0	-9.9	27.2	323.0	-9.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
13 X	-0.0	-12.7	18.2	323.0	-12.7	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
14GX	0.0	0.0	41.5	323.0	-0.0	41.5	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
15 X	323.0	12.7	18.2	529.0	12.7	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
16 X	323.0	9.9	27.2	529.0	9.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
17 X	323.0	7.4	18.2	529.0	7.4	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
18 X	323.0	-7.4	18.2	529.0	-7.4	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
19 X	323.0	-9.9	27.2	529.0	-9.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
20 X	323.0	-12.7	18.2	529.0	-12.7	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
21GX	323.0	-0.0	41.5	529.0	0.0	41.5	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
22 X	529.0	12.7	18.2	659.0	-9.9	18.0	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
23 X	529.0	9.9	27.2	659.9	-15.0	18.0	10.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
24 X	529.0	7.4	18.2	660.8	-20.1	18.0	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
25 X	529.0	-7.4	18.2	663.2	-33.9	18.0	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
26 X	529.0	-9.9	27.2	664.1	-39.0	18.0	10.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
27 X	529.0	-12.7	18.2	665.0	-44.1	18.0	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
28GX	529.0	0.0	41.5	662.0	-27.0	18.0	31.0	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
29 X	659.0	-9.9	18.0	764.0	8.9	18.0	18.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
30 X	659.9	-15.0	18.0	764.9	3.8	18.0	18.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
31 X	660.8	-20.1	18.0	765.8	-1.3	18.0	18.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
32 X	663.2	-33.9	18.0	768.2	-15.1	18.0	18.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
33 X	664.1	-39.0	18.0	769.1	-20.2	18.0	18.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
34 X	665.0	-44.1	18.0	770.0	-25.3	18.0	18.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
35GX	662.0	-27.0	18.0	767.0	-8.2	18.0	18.0	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
36 X	764.0	8.9	18.0	971.2	9.7	18.2	18.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
37 X	764.9	3.8	18.0	969.4	7.6	27.2	18.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
38 X	765.8	-1.3	18.0	967.8	5.7	18.2	18.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
39 X	768.2	-15.1	18.0	958.2	-5.7	18.2	18.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
40 X	769.1	-20.2	18.0	956.6	-7.6	27.2	18.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
41 X	770.0	-25.3	18.0	954.8	-9.7	18.2	18.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
42GX	767.0	-8.2	18.0	963.0	0.0	41.5	26.0	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
43 X	971.2	9.7	18.2	1228.2	-184.1	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50



E477															
Para. No.	Number Segments		Startpoint			Endpoint			Number			dx-Size dy_Size		Number	
	Ropes	p.Ropes	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	Points	[m]	[m]	of Rows			
0	232	1	-200.0	-650.0	1.5	1500.0	150.0	1.5	1701	1.0	1.0	801			
No. Rope	Startcoordinates			Endcoordinates			Height	Voltage	Current	Phase	Rope Radius	No. Subr.	Dist. Subr.	Freq- uency	
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	[m]	[kV]	[A]	[°]	[mm]		[m]	[Hz]	
44	X	969.4	7.6	27.2	1226.4	-186.2	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
45	X	967.8	5.7	18.2	1224.8	-188.1	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
46	X	958.2	-5.7	18.2	1215.2	-199.5	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
47	X	956.6	-7.6	27.2	1213.6	-201.4	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
48	X	954.8	-9.7	18.2	1211.8	-203.5	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
49	GX	963.0	0.0	41.5	1220.0	-193.8	41.5	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
50	X	1228.2	-184.1	18.2	1490.2	-381.3	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
51	X	1226.4	-186.2	27.2	1488.4	-383.4	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
52	X	1224.8	-188.1	18.2	1486.8	-385.3	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
53	X	1215.2	-199.5	18.2	1477.2	-396.7	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
54	X	1213.6	-201.4	27.2	1475.6	-398.6	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
55	X	1211.8	-203.5	18.2	1473.8	-400.7	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
56	GX	1220.0	-193.8	41.5	1482.0	-391.0	41.5	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
57	X	-400.0	-28.3	18.2	0.0	-28.3	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
58	X	-400.0	-31.1	27.2	0.0	-31.1	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
59	X	-400.0	-33.6	18.2	0.0	-33.6	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
60	X	-400.0	-48.4	18.2	-0.0	-48.4	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
61	X	-400.0	-50.9	27.2	-0.0	-50.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
62	X	-400.0	-53.7	18.2	-0.0	-53.7	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
63	GX	-400.0	-41.0	41.5	0.0	-41.0	41.5	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
64	X	0.0	-28.3	18.2	277.0	-28.3	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
65	X	0.0	-31.1	27.2	277.0	-31.1	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
66	X	0.0	-33.6	18.2	277.0	-33.6	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
67	X	-0.0	-48.4	18.2	277.0	-48.4	18.2	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
68	X	-0.0	-50.9	27.2	277.0	-50.9	27.2	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
69	X	-0.0	-53.7	18.2	277.0	-53.7	18.2	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
70	GX	0.0	-41.0	41.5	277.0	-41.0	41.5	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
71	X	277.0	-28.3	18.2	517.0	-28.3	28.7	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
72	X	277.0	-31.1	27.2	517.0	-31.1	37.7	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
73	X	277.0	-33.6	18.2	517.0	-33.6	28.7	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
74	X	277.0	-48.4	18.2	517.0	-48.4	28.7	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
75	X	277.0	-50.9	27.2	517.0	-50.9	37.7	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
76	X	277.0	-53.7	18.2	517.0	-53.7	28.7	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
77	GX	277.0	-41.0	41.5	517.0	-41.0	52.0	33.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
78	X	517.0	-28.3	28.7	675.2	-84.9	18.2	20.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
79	X	517.0	-31.1	37.7	675.7	-87.7	27.2	29.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
80	X	517.0	-33.6	28.7	676.1	-90.1	18.2	20.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
81	X	517.0	-48.4	28.7	678.7	-104.7	18.2	20.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
82	X	517.0	-50.9	37.7	679.1	-107.1	27.2	29.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
83	X	517.0	-53.7	28.7	679.6	-109.9	18.2	20.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
84	GX	517.0	-41.0	52.0	677.4	-97.4	41.5	43.3	0.0	15.4	330.9	5.7	1	0.0	50
85	X	675.2	-84.9	18.2	891.4	-38.2	30.3	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
86	X	675.7	-87.7	27.2	889.5	-41.6	39.3	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50



E477															
Para. No.	Number Segments		Startpoint			Endpoint			Number		dx-Size	dy_Size	Number		
	Ropes	p.Ropes	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	Points	[m]	[m]	of Rows			
0	231	1	-200.0	-650.0	1.5	1500.0	150.0	1.5	1701	1.0	1.0	801			
No. Rope	Startcoordinates			Endcoordinates			Height	Voltage	Current	Phase	Rope Radius	No. Subr.	Dist. Subr.	Freq- uency	
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	[m]	[kV]	[A]	[°]	[mm]		[m]	[Hz]	
87	X	676.1	-90.1	18.2	888.7	-42.9	30.3	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
88	X	678.7	-104.7	18.2	879.3	-59.1	30.3	10.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
89	X	679.1	-107.1	27.2	878.5	-60.4	39.3	19.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
90	X	679.6	-109.9	18.2	876.6	-63.8	30.3	10.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
91	GX	677.4	-97.4	41.5	884.0	-51.0	52.0	33.3	0.0	15.8	330.9	5.7	1	0.0	50
92	X	891.4	-38.2	30.3	1223.8	-232.5	28.7	22.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
93	X	889.5	-41.6	39.3	1222.3	-234.9	37.7	31.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
94	X	888.7	-42.9	30.3	1221.1	-237.1	28.7	22.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
95	X	879.3	-59.1	30.3	1213.7	-249.9	28.7	22.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
96	X	878.5	-60.4	39.3	1212.5	-252.1	37.7	31.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
97	X	876.6	-63.8	30.3	1211.1	-254.5	28.7	22.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
98	GX	884.0	-51.0	52.0	1217.4	-243.5	52.0	43.3	0.0	10.7	30.9	5.7	1	0.0	50
99	X	1223.8	-232.5	28.7	1483.3	-445.8	28.7	20.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
100	X	1222.3	-234.9	37.7	1481.9	-448.2	37.7	29.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
101	X	1221.1	-237.1	28.7	1480.7	-450.4	28.7	20.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
102	X	1213.7	-249.9	28.7	1473.3	-463.2	28.7	20.0	380.0	390.0	120.0	10.9	4	0.4	50
103	X	1212.5	-252.1	37.7	1472.1	-465.4	37.7	29.0	380.0	390.0	240.0	10.9	4	0.4	50
104	X	1211.1	-254.5	28.7	1470.7	-467.8	28.7	20.0	380.0	390.0	0.0	10.9	4	0.4	50
105	GX	1217.4	-243.5	52.0	1477.0	-456.8	52.0	43.3	0.0	10.2	30.9	5.7	1	0.0	50
106	X	-400.0	-110.0	24.4	0.0	-110.0	24.4	16.1	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
107	X	-400.0	-111.5	18.3	0.0	-111.5	18.3	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
108	X	-400.0	-112.0	31.1	0.0	-112.0	31.1	22.6	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
109	X	-400.0	-122.0	31.1	0.0	-122.0	31.1	22.6	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
110	X	-400.0	-122.5	18.3	0.0	-122.5	18.3	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
111	X	-400.0	-124.0	24.4	0.0	-124.0	24.4	16.1	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
112	GX	-400.0	-117.0	40.3	0.0	-117.0	40.3	31.1	0.0	10.8	150.9	5.7	1	0.0	50
113	X	0.0	-110.0	24.4	282.0	-106.5	21.3	16.1	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
114	X	0.0	-111.5	18.3	282.0	-109.0	27.8	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
115	X	0.0	-112.0	31.1	282.0	-111.5	21.3	22.6	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
116	X	0.0	-122.0	31.1	282.0	-122.5	21.3	22.6	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
117	X	0.0	-122.5	18.3	282.0	-125.0	27.8	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
118	X	0.0	-124.0	24.4	282.0	-127.5	21.3	16.1	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
119	GX	0.0	-117.0	40.3	282.0	-117.0	40.0	31.1	0.0	1.9	150.9	5.7	1	0.0	50
120	X	282.0	-106.5	21.3	517.0	-24.5	18.2	10.0	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
121	X	282.0	-109.0	27.8	517.0	-29.5	18.2	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
122	X	282.0	-111.5	21.3	517.0	-34.5	18.2	10.0	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
123	X	282.0	-122.5	21.3	517.0	-47.5	18.2	10.0	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
124	X	282.0	-125.0	27.8	517.0	-52.5	18.2	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
125	X	282.0	-127.5	21.3	517.0	-57.5	18.2	10.0	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
126	GX	282.0	-117.0	40.0	517.0	-41.0	27.7	17.0	0.0	3.8	330.9	5.7	1	0.0	50
127	X	517.0	-24.5	18.2	660.5	-27.5	10.0	10.0	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
128	X	517.0	-29.5	18.2	661.0	-30.1	10.0	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
129	X	517.0	-34.5	18.2	661.4	-32.7	10.0	10.0	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50



E477															
Para. No.	Number Segments		Startpoint			Endpoint			Number	dx-Size	dy_Size	Number			
	Ropes	p.Ropes	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	Points	[m]	[m]	of Rows			
0	232	1	-200.0	-650.0	1.5	1500.0	150.0	1.5	1701	1.0	1.0	801			
No. Rope	Startcoordinates			Endcoordinates			Height	Voltage	Current	Phase	Rope Radius	No. Subr.	Dist. Subr.	Freq- uency	
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	[m]	[kV]	[A]	[°]	[mm]		[m]	[Hz]	
130	X	517.0	-47.5	18.2	662.6	-39.3	10.0	10.0	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
131	X	517.0	-52.5	18.2	663.0	-41.9	10.0	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
132	X	517.0	-57.5	18.2	663.5	-44.5	10.0	10.0	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
133GX		517.0	-41.0	27.7	662.0	-36.0	10.0	17.0	0.0	2.2	150.9	5.7	1	0.0	50
134	X	660.5	-27.5	10.0	753.5	-11.5	10.0	10.0	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
135	X	661.0	-30.1	10.0	754.0	-14.1	10.0	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
136	X	661.4	-32.7	10.0	754.4	-16.7	10.0	10.0	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
137	X	662.6	-39.3	10.0	755.6	-23.3	10.0	10.0	220.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
138	X	663.0	-41.9	10.0	756.0	-25.9	10.0	10.0	220.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
139	X	663.5	-44.5	10.0	756.5	-28.5	10.0	10.0	220.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
140GX		662.0	-36.0	10.0	755.0	-20.0	10.0	10.0	0.0	2.2	150.9	5.7	1	0.0	50
141	X	668.8	6.8	10.0	761.8	24.8	10.0	10.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
142	X	669.2	4.6	10.0	762.2	22.6	10.0	10.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
143	X	669.6	2.5	10.0	762.6	20.5	10.0	10.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
144	X	670.4	-2.5	10.0	763.4	15.5	10.0	10.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
145	X	670.8	-4.6	10.0	763.8	13.4	10.0	10.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
146	X	671.2	-6.8	10.0	764.2	11.2	10.0	10.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
147GX		670.0	-0.0	10.0	763.0	18.0	10.0	10.0	0.0	0.6	330.9	5.7	1	0.0	50
148	X	761.8	24.8	10.0	890.3	-40.2	12.0	8.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
149	X	762.2	22.6	10.0	888.5	-43.2	12.0	8.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
150	X	762.6	20.5	10.0	886.8	-46.2	12.0	8.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
151	X	763.4	15.5	10.0	881.3	-55.8	12.0	8.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
152	X	763.8	13.4	10.0	879.5	-58.8	12.0	8.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
153	X	764.2	11.2	10.0	877.8	-61.8	12.0	8.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
154GX		763.0	18.0	10.0	884.0	-51.0	0.0	8.0	0.0	0.6	330.9	5.7	1	0.0	50
155	X	890.3	-40.2	12.0	890.8	-39.3	20.0	16.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
156	X	888.5	-43.2	12.0	888.8	-42.8	20.0	16.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
157	X	886.8	-46.2	12.0	886.8	-46.2	20.0	16.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
158	X	881.3	-55.8	12.0	881.3	-55.8	20.0	16.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
159	X	879.5	-58.8	12.0	879.3	-59.2	20.0	16.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
160	X	877.8	-61.8	12.0	877.3	-62.7	20.0	16.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
161GX		884.0	-51.0	0.0	884.0	-51.0	0.0	0.0	0.0	0.6	330.9	5.7	1	0.0	50
162	X	890.8	-39.3	20.0	1223.0	-233.8	20.0	12.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
163	X	888.8	-42.8	20.0	1221.0	-237.3	20.0	12.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
164	X	886.8	-46.2	20.0	1219.0	-240.8	20.0	12.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
165	X	881.3	-55.8	20.0	1215.8	-246.2	20.0	12.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
166	X	879.3	-59.2	20.0	1213.8	-249.7	20.0	12.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
167	X	877.3	-62.7	20.0	1211.8	-253.2	20.0	12.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
168GX		884.0	-51.0	0.0	1217.4	-243.5	0.0	0.0	0.0	0.6	330.9	5.7	1	0.0	50
169	X	1223.0	-233.8	20.0	1482.6	-447.1	20.0	12.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50
170	X	1221.0	-237.3	20.0	1480.6	-450.6	20.0	12.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
171	X	1219.0	-240.8	20.0	1478.6	-454.1	20.0	12.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
172	X	1215.8	-246.2	20.0	1475.4	-459.5	20.0	12.0	110.0	390.0	0.0	10.9	1	0.0	50



E477															
Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint			Endpoint			Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows			
0	232	1	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	1701	1.0	1.0	801			
No. Rope	Startcoordinates			Endcoordinates			Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Rope Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Frequency [Hz]	
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]									
173	X	1213.8	-249.7	20.0	1473.4	-463.0	20.0	12.0	110.0	390.0	120.0	10.9	1	0.0	50
174	X	1211.8	-253.2	20.0	1471.4	-466.5	20.0	12.0	110.0	390.0	240.0	10.9	1	0.0	50
175GX		1217.4	-243.5	0.0	1477.0	-456.8	0.0	0.0	0.0	0.6	330.9	5.7	1	0.0	50
176	X	665.8	22.8	10.0	759.8	40.8	10.0	10.0	110.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
177	X	666.2	20.6	10.0	760.2	38.6	10.0	10.0	110.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
178	X	666.6	18.5	10.0	760.6	36.5	10.0	10.0	110.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
179	X	667.4	13.5	10.0	761.4	31.5	10.0	10.0	110.0	200.0	0.0	10.9	1	0.0	50
180	X	667.8	11.4	10.0	761.8	29.4	10.0	10.0	110.0	200.0	120.0	10.9	1	0.0	50
181	X	668.2	9.2	10.0	762.2	27.2	10.0	10.0	110.0	200.0	240.0	10.9	1	0.0	50
182GX		667.0	16.0	10.0	761.0	34.0	10.0	10.0	0.0	2.6	150.9	5.7	1	0.0	50
183	X	759.8	40.8	10.0	807.2	67.8	14.0	8.0	110.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
184	X	760.2	38.6	10.0	807.8	66.8	18.2	12.2	110.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
185	X	760.6	36.5	10.0	808.3	65.9	22.4	16.4	110.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
186	X	761.4	31.5	10.0	811.7	60.1	22.4	16.4	110.0	200.0	0.0	10.9	1	0.0	50
187	X	761.8	29.4	10.0	812.2	59.2	18.2	12.2	110.0	200.0	120.0	10.9	1	0.0	50
188	X	762.2	27.2	10.0	812.8	58.2	14.0	8.0	110.0	200.0	240.0	10.9	1	0.0	50
189GX		761.0	34.0	10.0	810.0	63.0	30.0	23.9	0.0	1.6	150.9	5.7	1	0.0	50
190	X	807.2	67.8	14.0	935.7	345.6	14.0	8.0	110.0	200.0	0.0	10.9	2	0.4	50
191	X	807.8	66.8	18.2	936.6	344.8	18.2	12.2	110.0	200.0	120.0	10.9	2	0.4	50
192	X	808.3	65.9	22.4	937.5	344.1	22.4	16.4	110.0	200.0	240.0	10.9	2	0.4	50
193	X	811.7	60.1	22.4	942.5	339.9	22.4	16.4	110.0	200.0	0.0	10.9	1	0.0	50
194	X	812.2	59.2	18.2	943.4	339.2	18.2	12.2	110.0	200.0	120.0	10.9	1	0.0	50
195	X	812.8	58.2	14.0	944.3	338.4	14.0	8.0	110.0	200.0	240.0	10.9	1	0.0	50
196GX		810.0	63.0	30.0	940.0	342.0	30.0	23.9	0.0	1.3	150.9	5.7	1	0.0	50
197	X	-252.7	-685.0	0.0	-2.7	-658.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
198	X	-251.3	-685.0	0.0	-1.3	-658.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
199	X	-252.0	-685.0	5.5	-2.0	-658.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
200	X	-247.3	-685.0	0.0	2.7	-658.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
201	X	-248.7	-685.0	0.0	1.3	-658.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
202	X	-248.0	-685.0	5.5	2.0	-658.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
203	X	-2.7	-658.0	0.0	242.3	-605.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
204	X	-1.3	-658.0	0.0	243.7	-605.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
205	X	-2.0	-658.0	5.5	243.0	-605.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
206	X	2.7	-658.0	0.0	247.7	-605.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
207	X	1.3	-658.0	0.0	246.3	-605.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
208	X	2.0	-658.0	5.5	247.0	-605.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
209	X	242.3	-605.0	0.0	439.3	-546.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
210	X	243.7	-605.0	0.0	440.7	-546.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
211	X	243.0	-605.0	5.5	440.0	-546.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
212	X	247.7	-605.0	0.0	444.7	-546.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
213	X	246.3	-605.0	0.0	443.3	-546.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
214	X	247.0	-605.0	5.5	444.0	-546.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
215	X	439.3	-546.0	0.0	694.3	-445.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17



E477															
Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint			Endpoint			Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows			
			X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]							
0	232	1	-200.0	-650.0	1.5	1500.0	150.0	1.5	1701	1.0	1.0	801			
No. Rope	Startcoordinates			Endcoordinates			Height	Voltage	Current	Phase	Rope Radius	No. Subr.	Dist. Subr.	Freq- uency	
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	[m]	[kV]	[A]	[°]	[mm]		[m]	[Hz]	
216	X	440.7	-546.0	0.0	695.7	-445.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
217	X	440.0	-546.0	5.5	695.0	-445.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
218	X	444.7	-546.0	0.0	699.7	-445.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
219	X	443.3	-546.0	0.0	698.3	-445.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
220	X	444.0	-546.0	5.5	699.0	-445.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
221	X	694.3	-445.0	0.0	964.3	-300.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
222	X	695.7	-445.0	0.0	965.7	-300.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
223	X	695.0	-445.0	5.5	965.0	-300.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
224	X	699.7	-445.0	0.0	969.7	-300.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
225	X	698.3	-445.0	0.0	968.3	-300.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
226	X	699.0	-445.0	5.5	969.0	-300.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
227	X	964.3	-300.0	0.0	1432.3	-13.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
228	X	965.7	-300.0	0.0	1433.7	-13.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
229	X	965.0	-300.0	5.5	1433.0	-13.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17
230	X	969.7	-300.0	0.0	1437.7	-13.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
231	X	968.3	-300.0	0.0	1436.3	-13.0	0.0	0.0	0.0	-120.0	0.0	97.2	1	0.0	17
232	X	969.0	-300.0	5.5	1437.0	-13.0	5.5	5.5	15.0	250.0	0.0	12.0	1	0.0	17