



SACHSEN-ANHALT

Gutachten

**Untersuchungen zur Wirksamkeit der Vorsorgeregelung
des § 4 der Verordnung über elektromagnetische Felder
(26. BImSchV)**

**Berechnung und Messung
der elektrischen und magnetischen Felder
von Stromversorgungsanlagen**

Auftraggeber: Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt
des Landes Sachsen-Anhalt
Olvenstedter Straße 4
39108 Magdeburg

Fachliche Begleitung: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Dezernat 5.4 Physikalische Umweltfaktoren
Reideburger Straße 47
06116 Halle (Saale)

Auftragnehmer: ECOLOG
Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH
Nieschlagstraße 26
30449 Hannover

**Untersuchungen zur Wirksamkeit der Vorsorgeregulung
des § 4 der Verordnung über elektromagnetische Felder
(26. BImSchV)**

**Berechnung und Messung
der elektrischen und magnetischen Felder
von Stromversorgungsanlagen**

Bearbeitet von

Hartmut Voigt
H.-Peter Neitzke

für

**Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt
Sachsen-Anhalt**

November 1997

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Auftrag	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Übersicht über die untersuchten Anlagen und das Untersuchungsprogramm	5
2 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	6
3 Verfahren, Rechenprogramm und Messgeräte zur Berechnung und Messung elektrischer und magnetischer Felder.....	12
3.1 Berechnungsverfahren und Rechenprogramm.....	12
3.2 Messverfahren und Messgeräte.....	12
Anhang 1 a:.....	14
Ergebnisse der Berechnung elektrischer und magnetischer Felder an Stromversorgungsanlagen, graphische Darstellung und Übersichten	14
A 1: 380-kV-Freileitung, Hohenwarsleben, Wohnpark Hohe Börde	14
A 2: 220-kV-Freileitung, Wolmirstedt, Glindenberger Chaussee	32
A 3: 110-kV-Freileitung, Harbke (Doppeltrasse mit Gabelung)	48
A 4: Kabeltrasse (2 x 110 kV, 1 x 10 kV), Magdeburg, Ebendorfer Chaussee.....	75
A 5: Umspannwerk, Magdeburg, Diesdorfer Graseweg	85
A 6: Umspannwerk, Magdeburg, Nordwest	96
A 7: Transformatorstation, Turmbauweise	104
A 8: Transformatorstation, begehbar	121
A 9: Transformatorstation, nicht begehbar (Kompaktstation)	135
Anhang 1 b:.....	152
Ergebnisse der Messung und vergleichenden Berechnung magnetischer Felder an Stromversorgungsanlagen, graphische Darstellung und Übersichten	152
A 10: 110-kV-Freileitung, Magdeburg, Holzweg	152
A 11: 110-kV-Erdkabel, Magdeburg, August-Bebel-Damm.....	161
A 12: Transformatorstation, Magdeburg, Ziolkowsky Str. 10.....	168

Verwendete Abkürzungen und Symbole:

all. zg.	allgemein zugänglich(e Bereiche)
akt.	aktuell(e)
B	magnetische Induktion
bgb.	begehbar
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
Daufb.	Daueraufenthaltsbereich
3-D	dreidimensionale Darstellung (Darstellung der Berechnungs- bzw. Messgröße als 'Gebirge' über der Berechnungsfläche)
E	elektrisches Feld
EVM	Energie Versorgung Magdeburg
Hz	Hertz
kV	Kilovolt
kV/m	Kilovolt pro Meter
kVA	Kilo Volt Ampere
Lstg	Leistung
mag.	magnetische(s)
Mgd	Magdeburg
MVA	Mega Volt Ampere
MSpSch	Mittelspannungsschiene
μ T	Mikrotesla
n. bgb.	nicht begehbar
NW	Nordwest
NSpV	Niederspannungsverteilung
RMS	Root Mean Square (beschreibt das Mittelungsverfahren zur Bestimmung des Effektivwertes)
R S T	Bezeichnung der drei Phasen des Drehstromes
SWM	Städtische Werke Magdeburg
UW	Umspannwerk
VEAG	Vereinigte Energiewerke Aktiengesellschaft

1 Auftrag

1.1 Aufgabenstellung

Im § 3 der 26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) werden Grenzwerte für die elektrischen und magnetischen Felder von Niederfrequenzanlagen festgelegt. Für die 50-Hz-Felder von Stromversorgungsanlagen sind die Grenzwerte für die elektrische Feldstärke 5 kV/m und für die magnetische Flussdichte (magnetische Induktion) 100 μT .

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollte geklärt werden,

1. ob die Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte an Stromversorgungs-Anlagen (50 Hz) in der Nähe von Wohnbereichen und Bereichen für Kinder und Kranke die Grenzwerte überschreiten und
2. wie hoch diese Spitzenwerte sind.

Ferner sollte überprüft werden,

3. inwieweit ein aus den Bestimmungen des § 4 der 26. BImSchV "zur Vorsorge" abgeleiteter Wert von 10 μT für das magnetische Feld von Niederfrequenzanlagen in der Nähe von Wohnungen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Kinderhorten, Spielplätzen oder ähnlichen Einrichtungen erreicht wird.

Hierzu waren

- für ausgewählte Anlagen (Hochspannungsfreileitungen, Erdkabel, Umspannanlagen und Transformatorstationen, siehe Abschnitt 1.2) die Verteilungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flußdichte für ausgewählte Lastzustände zu berechnen.

Ferner sollten anhand der Ergebnisse der Untersuchung "Modellhafte Vermessung der Emissionen und Immissionen von technischen Quellen elektrischer und magnetischer Felder im Großraum Magdeburg im Frequenzbereich 0 bis 30 kHz", die die Firma Metronix GmbH, Braunschweig, im Jahr 1994 im Auftrage des Ministeriums für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt durchgeführt hat, drei Anlagen ausgewählt werden, an denen die magnetische Ersatzflussdichte den Wert von 10 μT überschreitet.

- An diesen Anlagen waren Dauermessungen (48 Stunden) der magnetischen Flußdichte vorzunehmen. Parallel zu den Messungen waren die jeweiligen elektrischen Stöme durch die Betreiber der Anlagen aufzuzeichnen. Für diese Anlagen war ebenfalls die Verteilung der magnetischen Flußdichte zu berechnen.

1.2 Übersicht über die untersuchten Anlagen und das Untersuchungsprogramm

Anlage	Ort	Messungen	Berechnungen	
		B	E	B
380-kV-Freileitung Donauanordnung, 6 Leiter	Hohenwarsleben, Wohnpark "Hohe Börde" zwischen Masten Nr. 322 und 333		symm. Last Nennspannung	symm. Last 100 %, 50 %, 30 %, 10 % maximaler Betriebsstrom
220-kV-Freileitung Einebenenordnung, 6 Leiter	Wolmirstedt, Glindenberger Chaussee		dto.	dto.
110-kV-Freileitung Doppel-Ebenen- anordnung, 6 Leiter	Harbke, zwischen den Masten Nr. 4 und 5, in der Gabelung hinter Mast Nr. 5		dto.	dto.
Erdkabeltrasse mit zwei 110-kV-Systemen und einem 10-kV-System	Magdeburg, Ebendorfer Chaussee			dto.
Umspannwerk 110-kV-Freileitung - 30-kV-Erdkabel	Magdeburg, Diesdorfer Graseweg			100 %, 50 %, 30 %, 10 % Nennleistung
Umspannwerk 110-kV-Freileitung - 10-kV-Erdkabel	Magdeburg, Nordwest			dto.
Trafostation 30 kV-Erdkabel - 10 kV-Freileitung	Standard- Turmstation			dto.
Trafostation 10 kV-Freileitung - 380 V-Erdkabel	begehbare Standardstation			dto.
Trafostation, Hochhaus 10-kV-Erdkabel - 380-V-Kabel	nicht begehbare Standardstation (Kompaktstation)			dto.
110-kV-Leitung Anlage M3 $B_{\max} = 0,29 \mu\text{T}$	Magdeburg, Holzweg	2 x 24 h		s. o.
110-kV-Erdkabel Anlage M5 $B_{\max} = 1,85 \mu\text{T}$	Mgdeburg, August-Bebel- Damm,	dto.		s. o.
Transformatoren- und Verteilstation Anlage M8 $B_{\max} = 2,74 \mu\text{T}$	Magdeburg, Ziolsowsky Str. 10, Hochhaus	dto.	s. o.	s. o.

2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Beschreibungen der einzelnen Anlagen, die Kartenausschnitte der Umgebung, die Konfigurationsskizzen, die den Berechnungen zugrunde lagen, sowie die graphischen Darstellungen der jeweiligen Ergebnisse sind in den Anhängen A 1 bis A 12 enthalten:

- Anhang A 1: 380-kV-Freileitung, Hohenwarsleben, Wohnpark 'Hohe Börde'
- Anhang A 2: 220-kV-Freileitung, Wolmirstedt, Glindenberger Chaussee
- Anhang A 3: 110-kV-Freileitung, Harbke
- Anhang A 4: Erdkabeltrasse (2 x 110 kV, 1 x 10 kV), Magdeburg, Ebendorfer Chaussee
- Anhang A 5: Umspannwerk (110 kV auf 30 kV und 10 kV), Magdeburg, Diesdorfer Graseweg
- Anhang A 6: Umspannwerk (110 kV auf 10 kV), Magdeburg, Nordwest
- Anhang A 7: Standard-Turmstation (10-kV-Freileitung auf 400-V-Erdkabel),
- Anhang A 8: begehbare Standard-Trafostation (10-kV-Erdkabel auf 400-V-Erdkabel)
- Anhang A 9: Standard-Kompaktstation (10-kV-Erdkabel auf 400-V-Erdkabel)
- Anhang A 10: 110-kV-Freileitung, Magdeburg, Holzweg (Metronix 3)
- Anhang A 11: 110-kV-Erdkabel, Magdeburg, August-Bebel-Damm (Metronix 5)
- Anhang A 12: Trafostation im Hochhaus, Magdeburg, Ziolkowsky Str.10 (Metronix 8)

Für die Anlagen A 1 bis A 9 wurden lediglich Berechnungen der magnetischen und bei den Freileitungen der elektrischen Felder durchgeführt. An den Anlagen A 10 bis A 12 wurden zusätzlich die Felder vermessen. Für die Anlage A 9 sind zwei Versionen berechnet worden. Version 1 entspricht den Angaben des Betreibers (SWM) mit langen Wegen für die Niederspannungsverbindung zwischen dem Transformator und der Niederspannungsverteilung. In der Version 2 ist der Transformator 'umgedreht', so dass die Niederspannungsanschlüsse des Transformators auf der Seite der Niederspannungsverteilung liegen und die Niederspannungsverbindungen damit wesentlich kürzer sind.

Die Auswertungen der Berechnungen und Messungen im Hinblick auf die im Kapitel 1.1 aufgeführten Fragestellungen ergaben die in den Tabellen 2.1 bis 2.12 zusammengestellten Ergebnisse. Hier sind jeweils für verschiedene Lastzustände die in allgemein zugänglichen Bereichen (allg. zg.) bzw. in Daueraufenthaltsbereichen (Daufb., z.B. angrenzende Wohngebiete oder Gartenanlagen mit Lauben) erreichten Werte für die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion aufgeführt. Außerdem ist angegeben, ob die Grenzwerte der 26. BImSchV (5 kV/m bzw. 100 μ T) bzw. der aus den Bestimmungen des § 4 der 26. BImSchV "zur Vorsorge" abgeleitete Wert von 10 μ T überschritten, erreicht, fast erreicht oder nicht erreicht wird.

Der Grenzwert für die elektrische Feldstärke wird an der 380-kV-Freileitung überschritten und an der 220-kV-Leitung fast erreicht. Überschreitungen des Grenzwertes für die magnetische Induktion (100 μ T) sind im Nahbereich von Transformatorstationen bei maximaler Auslastung möglich. Der abgeleitete Wert von 10 μ T wird sowohl in den allgemein zugänglichen Bereichen der 380-kV-Trasse bis hinunter zu 30 % der Maximallast, an der 220-kV-, einer 110-kV- und einer Kabel-Trasse jeweils bei Maximallast als auch im Nahbereich der Umspannwerke überschritten.

Tabelle 2.13 zeigt noch einmal im Überblick, an welchen Anlagen und welchen jeweiligen Auslastungsgraden (Prozent der Maximallast) die Grenzwerte nach 26. BImSchV bzw. der abgeleitete Wert von 10 μ T überschritten werden.

Tabelle 2.1: 380-kV-Freileitung, Hohenwarsleben, Wohnpark 'Hohe Börde'
 Maximalwerte der berechneten Feldstärken für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.) und den Daueraufenthaltsbereich (hier: eine mögliche zukünftige Bebauung)

Bereich	Leitungshöhe [m]	elektrische Feldstärke		
		E_{RMS} [kV/m]	5 kV/m	
allg. zg.	9,7	8,4	überschritten	
	Strom	magnetische Induktion		
	[% von 2520 A]	B_{RMS} [μ T]	100 μ T	10 μ T
allg. zg.	100	48,7	nicht erreicht	überschritten
	50	20,9	nicht erreicht	überschritten
	30	11,7	nicht erreicht	überschritten
	10	3,8	nicht erreicht	nicht erreicht
Daufb.	100	18,7	nicht erreicht	überschritten
	50	9,5	nicht erreicht	fast erreicht
	30	5,7	nicht erreicht	nicht erreicht
	10	1,9	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 2.2: 220-kV-Freileitung, Wolmirstedt, Kleingartenanlage
 Maximalwerte der berechneten Feldstärken für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.) und den Daueraufenthaltsbereich (hier: Kleingärten und mit Gartenlauben)

Bereich	Leitungshöhe [m]	elektrische Feldstärke		
		E_{RMS} [kV/m]	5 kV/m	
allg. zg.	8,1	4,8	fast erreicht	
	Strom	magnetische Induktion		
	[% von 1070A]	B_{RMS} [μ T]	100 μ T	10 μ T
allg. zg.	100	15,4	nicht erreicht	überschritten
	50	7,1	nicht erreicht	nicht erreicht
	30	4,2	nicht erreicht	nicht erreicht
	10	1,4	nicht erreicht	nicht erreicht
Daufb.	100	13,6	nicht erreicht	überschritten
	50	6,3	nicht erreicht	nicht erreicht
	30	3,7	nicht erreicht	nicht erreicht
	10	1,2	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 2.3: 110-kV-Freileitung, Harbke, Wohngebiet

Maximalwerte der berechneten Feldstärken für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.) und den Daueraufenthaltsbereich (hier: Wohnhäuser im Trassenbereich)

Bereich		elektrische Feldstärke		
	Leitungshöhe [m]	E_{RMS} [kV/m]	5 kV/m	
allg. zg.	12	0,6	nicht erreicht	
	Strom	magnetische Induktion		
	[% von 4 x 680 A]	B_{RMS} [μ T]	100 μ T	10 μ T
allg. zg. + Daufb.	100	16,5	nicht erreicht	überschritten
	50	7,4	nicht erreicht	nicht erreicht
	30	3,9	nicht erreicht	nicht erreicht
	10	1,4	nicht erreicht	nicht erreicht
	Strom	magnetische Induktion		
	[% von 3 x 680 A]	B_{RMS} [μ T]	100 μ T	10 μ T
allg. zg.	100	12,1	nicht erreicht	überschritten
Daufb.	100	6,4	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 2.4: Kabeltrasse (2 x 110 kV, 1 x 10 kV), Magdeburg, Ebendorfer Chaussee

Maximalwerte der berechneten Feldstärke für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.)

allg.zg.	Strom	magnetische Induktion		
Höhe [m]	[% von 1170 A]	B_{RMS} [μ T]	100 μ T	10 μ T
0	100	33,0	nicht erreicht	überschritten
1	100	10,0	nicht erreicht	erreicht
	50	5,0	nicht erreicht	nicht erreicht
	30	3,0	nicht erreicht	nicht erreicht
	10	1,0	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 2.5: Umspannwerk (110 kV auf 30 kV und 10 kV), Magdeburg, Diesdorf

Maximalwerte der berechneten Feldstärke für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.)

allg.zg.	Leistung	magnetische Induktion		
Höhe [m]	[% von 103 MVA]	B_{RMS} [μ T]	100 μ T	10 μ T
0	100	51,1	nicht erreicht	überschritten
1	100	13,3	nicht erreicht	überschritten
	50	6,4	nicht erreicht	nicht erreicht
	30	3,9	nicht erreicht	nicht erreicht
	10	1,3	nicht erreicht	nicht erreicht
	[% von 63 MVA]	B_{RMS} [μ T]	100 μ T	10 μ T
	100	8,7	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 2.6: Umspannwerk (110 kV auf 10 kV), Magdeburg, Nordwest
Maximalwerte der berechneten Feldstärke für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.)

allg. zg.	Leistung	magnetische Induktion		
		Höhe [m]	B_{RMS} [μT]	100 μT
	[% von 103 MVA]			
0	100	60,0	nicht erreicht	überschritten
1	100	13,3	nicht erreicht	überschritten
	50	6,6	nicht erreicht	nicht erreicht
	30	3,8	nicht erreicht	nicht erreicht
	10	1,3	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 2.7: Trafostation in Turmbauweise, Standard
Maximalwerte der berechneten Feldstärke für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.)

allg. zg.	Leistung	magnetische Induktion		
		Höhe [m]	B_{RMS} [μT]	100 μT
	[% von 630 kVA]			
1,25	100	212	überschritten	überschritten
1	100	200	überschritten	überschritten
	50	100	erreicht	überschritten
	30	60	nicht erreicht	überschritten
	10	20	nicht erreicht	überschritten

Tabelle 2.8: Trafostation, begehbar, Standard
Maximalwerte der berechneten Feldstärke für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.)

allg. zg.	Leistung	magnetische Induktion		
		Höhe [m]	B_{RMS} [μT]	100 μT
	[% von 630 kVA]			
1,42	100	215	überschritten	überschritten
1	100	130	überschritten	überschritten
	50	67	nicht erreicht	überschritten
	30	40	nicht erreicht	überschritten
	10	13	nicht erreicht	überschritten

Tabelle 2.9: Trafostation, nicht begehbar (Version 1), Standard
Maximalwerte der berechneten Feldstärke für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.)

allg. zg.	Leistung	magnetische Induktion		
		Höhe [m]	B_{RMS} [μT]	100 μT
	[% von 630 kVA]			
1,45	100	1160	überschritten	überschritten
1	100	600	überschritten	überschritten
	50	300	überschritten	überschritten
	30	180	überschritten	überschritten
	10	60	nicht erreicht	überschritten
(Version 2: 'umgedrehter' Trafo: kurze Niederspannungsverbindungen)				
allg. zg.	Leistung	magnetische Induktion		
		Höhe [m]	B_{RMS} [μT]	100 μT
	[% von 630 kVA]			
1	100	180	überschritten	überschritten

Tabelle 2.10: 110-kV-Freileitung, Magdeburg, Parkplatz am Holzweg, berechnete magnetische Induktion und gemessene Werte am Messort

allg. zg.	Strom [% von 680 A]	magnetische Induktion		
		B_{RMS} [μT]	100 μT	10 μT
Rechnung	100	5,90	nicht erreicht	nicht erreicht
	8,7	0,39	nicht erreicht	nicht erreicht
Messung				
Mittelwert	7,5	$0,27 \pm 0,13$	nicht erreicht	nicht erreicht
Vergleichs- zeitraum*	8,7	$0,37 \pm 0,03$	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 2.11: 110-kV-Kabeltrasse, Magdeburg, August-Bebel-Damm, berechnete magnetische Induktion und gemessene Werte am Messort

allg. zg.	Strom [% von 435 A]	magnetische Induktion		
		B_{RMS} [μT]	100 μT	10 μT
Rechnung	100	2,70	nicht erreicht	nicht erreicht
	26,7	0,98	nicht erreicht	nicht erreicht
	5,7	0,21	nicht erreicht	nicht erreicht
Messung				
Mittelwert	23,4	$0,71 \pm 0,32$	nicht erreicht	nicht erreicht
Vergleichs- zeitraum*	26,7	$0,94 \pm 0,04$	nicht erreicht	nicht erreicht
	5,7	$0,25 \pm 0,08$	nicht erreicht	nicht erreicht

*Tabelle 2.12: Trafostation im Hochhaus, Magdeburg, Ziolkowsky Str. 10
Maximalwerte der berechneten Feldstärke für den allgemein zugänglichen Bereich (allg. zg.)
und den Daueraufenthaltsbereich (hier: Wohnung über der Trafostation),
berechnete magnetische Induktion und gemessene Werte am Messort*

	Bereich	Leistung [% von 400 kVA]	magnetische Induktion		
			B_{RMS} [μT]	100 μT	10 μT
Rechnung					
	allg. zg.	100	160,0	überschritten	überschritten
		13,6	20,0	nicht erreicht	überschritten
	Daufb.	100	16,8	nicht erreicht	überschritten
		13,6	2,1	nicht erreicht	nicht erreicht
	Messort	100	4,2	nicht erreicht	nicht erreicht
		13,6	0,54	nicht erreicht	nicht erreicht
Messung					
Mittelwert	allg. zg..	11,2	$0,59 \pm 0,12$	nicht erreicht	nicht erreicht
Vergleichs- zeitraum*		13,6	0,56	nicht erreicht	nicht erreicht
Metronix- Studie	Daufb.	-	Mittel: 1,57 Max: 2,21	nicht erreicht	nicht erreicht

* Zusammen mit der Messung der magnetischen Induktion wurden gleichzeitig die Ströme durch die Anlagenbetreiber aufgezeichnet. Dies ermöglichte einen Vergleich zwischen Messung und Berechnung. Dazu wurde ein Vergleichszeitraum ausgewählt, in dem die gemessenen Größen möglichst geringe Schwankungen aufzeigten. Für diesen Zeitraum wurden die Berechnungen mit den realen Strömen wiederholt.

Tabelle 2.13: Überschreitungen der Grenzwerte aus der 26. BImSchV und des 10- μ T-Wertes

Anlage	geringste Last in % der maximalen Anlagenauslastung, bei der der Grenzwert noch erreicht oder überschritten wird						
	magnetische Induktion B_{RMS}						elektrisches Feld E_{RMS}
	100 μ T		10 μ T				5 kV/m
			allgemein zugänglicher Bereich	Daueraufenthaltsbereich			
		%		%		%	
380 kV	nicht erreicht	100	überschritten	30	fast erreicht	50	überschritten
220 kV	nicht erreicht	100	überschritten	100	überschritten	100	fast erreicht
110 kV	nicht erreicht	100	überschritten	100	überschritten	100	nicht erreicht
Kabeltrasse	nicht erreicht	100	überschritten	100	entfällt	100	entfällt
UW, Diesdorf	nicht erreicht	100	überschritten	100	entfällt	100	entfällt
UW, Mgb, NW	nicht erreicht	100	überschritten	100	entfällt	100	entfällt
Trafo, Turm	erreicht	50	überschritten	10	entfällt	100	entfällt
Trafo, bgb.	überschritten	100	überschritten	10	entfällt	100	entfällt
Trafo, n. bgb							
Vers.1	überschritten	30	überschritten	10	entfällt	100	entfällt
Vers.2.	überschritten	100	überschritten	10	entfällt		
M3: 110 kV	nicht erreicht	100	nicht erreicht	100	nicht erreicht	100	entfällt
M5: Kabel	nicht erreicht	100	nicht erreicht	100	entfällt	100	entfällt
M8: Trafo	überschritten	100	überschritten	100	überschritten	100	entfällt
	nicht erreicht	real	nicht erreicht	real	nicht erreicht	real	

3 Verfahren, Rechenprogramm und Messgeräte zur Berechnung und Messung elektrischer und magnetischer Felder

3.1 Berechnungsverfahren und Rechenprogramm

Die Berechnungen wurden mit dem Rechenprogramm WinField der Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie GmbH (FGEU), Berlin, erstellt. Mit WinField kann aufgrund des dreidimensionalen Lösungsansatzes nach Biot-Savart jede quasistationäre Aufgabenstellung im niederfrequenten Bereich bei Abwesenheit von ferromagnetischen Materialien gelöst werden. Die Induktionsströme auf Erdseilen einer Hochspannungsleitung werden automatisch berechnet. Dagegen wird die Wirbelstrominduktion in metallischen Materialien vernachlässigt. Die Wirkung von leitenden Gegenständen auf das elektrische Feld, z.B. von Gebäuden, wird berücksichtigt.

Mit WinField werden die jeweiligen Feldstärken in zweidimensionalen Schnitten berechnet:

- zum Einen in der x-y-Ebene in fester Höhe z (mit $z = 1$ m und u. U. in der Wohnhöhe des Obergeschosses benachbarter Gebäude) und
- zum Anderen für x-z-Schnitte (bei Leitungen und Kabeln senkrecht zur Trasse, in Mastfeldmitte oder am Ort von Gebäuden).

Die für diese Schnitte errechneten Feldstärkewerte sind zwei- und dreidimensional dargestellt. Die zweidimensionalen Abbildungen sind als Isolinien- oder Farbverlaufsdarstellungen ausgeführt. Die Farbgebung ist in allen Abbildungen so, dass die niedrigen Werte mit gelben oder orangen Tönen beginnen. Mit steigenden Feldstärken ändern sich die Farben über Grün und Blau zu Rot. Der abgeleitete Werte von $10 \mu\text{T}$ für die RMS-Mittelwerte sowie die Grenzwerte von $100 \mu\text{T}$ beim Magnetfeld für die Spitzenwerte (Peak) bzw. 5 kV/m beim elektrischen Feld sind in allen Darstellungen durch die Farbe Schwarz gekennzeichnet. Da die betrachteten Flächen oft sehr lang und schmal sind, sind in den Abbildungen die beiden Längenskalierungen nicht immer gleich groß, sondern oft sind die Abbildungen senkrecht zur Trasse gedehnt.

In der dreidimensionalen Darstellung ist die Feldstärke in fester Höhe als 'Gebirge' über der x-y-Ebene aufgetragen. In dieser Darstellung ist in interessanten Fällen das Bodenprofil unterlegt.

3.2 Messverfahren und Messgeräte

Es wurden drei verschiedene Werte aufgenommen:

1. Im ganzen Messzeitraum (zwei Tagesgänge) wurde der 50-Hz-Beitrag (RMS) aufgezeichnet, der von der 50-Hz-Grundfrequenz des Stromnetzes verursacht wird, (RMS ~ 'Root Mean Square', bezeichnet das Mittelungsverfahren). Diese Werte sind in den Abbildungen und in den Tabellen im Anhang wiedergegeben.
2. Für einen Tagesgang wurde auch der 'Breitbandwert' (RMS), der die Gesamtmagnetfeldstärke im jeweiligen Frequenzbereich des Messgerätes angibt, gemittelt über den Messzeitraum pro Einzelmesswert, festgehalten. Aus dem Verhältnis der Mittelwerte konnten die Beiträge anderer Frequenzen zu den Feldern (Oberschwingungen und u. U. $16 \frac{2}{3}$ Hz von der Deutschen Bahn) bestimmt werden.
3. Im letzteren Zeitraum wurde auch der Spitzenwert (PEAK) nach DIN/VDE, der die Amplitude der Wechselfelder (ohne Berücksichtigung der relativen Phasenlage der einzelnen Komponenten) und kurzzeitige Spitzen, die z. B. durch Schaltvorgänge entstehen können, wiedergibt, gemessen und davon der Maximalwert bestimmt.

Wenn nicht anders bezeichnet, sind im Folgenden alle Angaben zur Stärke der Magnetfelder RMS-Werte, die Angabe erfolgt in Mikrottesla [μT].

Zur Anwendung kamen zwei Messgeräte der Firma Physical Systems Laboratories unterschiedlicher Spezifikation.

Die technischen Daten der Geräte:

HFR1200 (Serial No. 93100401)

magnetische Felder:

Messmethode	: Induktionsstrom und Integration
Messsonde	: drei orthogonale Spulen, Querschnittsfläche 100 cm ²
Messbereich	: 1 nT - 50 μT , Auflösung 1 nT
Frequenzbereich	: 10 Hz - 500 Hz
Genauigkeit	: $\pm 1\%$
Messdauer pro Wert	: $\frac{1}{4}$ Sekunde
Datum der letzten Kalibrierung	: April 1997

Signalverarbeitung

Ausgabe : für den Vektor der magnetischen Induktion:
Mittelwert über alle Frequenzen
Maximalwert der magnetische Induktion über alle Frequenzen nach DIN/VDE
0848 (PEAK VDE)
gefilterter Mittelwert (50-Hz-Filter)

FW1A (Serial No. 94110801)

Langzeitmessung in 3-sekundigem Rhythmus

Messmethode	: Induktionsstrom und Integration
Messsonde	: drei orthogonale Kernspulen
Messbereich	: 10 nT - 5 μT , Auflösung 10 nT
Frequenzbereich	: 16 Hz - 300 Hz, 50-Hz-Filter
Messdauer pro Wert	: 1 Sekunde
Genauigkeit	: $\pm 2\%$
Datum der letzten Kalibrierung	: Juli 1997

Signalverarbeitung

Ausgabe: RMS-Wert des Vektors der magnetischen Induktion, (50-Hz-Filter)
Mittelwert über 10 Einzelmessungen: 1/2 - Minutenmittelwert

Die Messungen wurden aneinander anschließend mit beiden Messgeräten durchgeführt. Dabei wurde beim Wechsel der Geräte einige Zeit mit beiden Geräten gleichzeitig gemessen, um einen nahtlosen Übergang zu erhalten und die Geräte miteinander abzugleichen. Die beiden Messungen im Freien, unter der 110-kV-Freileitung (auf dem Parkplatz der Kleingarten-Anlage am Holzweg in Magdeburg) und über dem 110-kV-Kabelsystem (am August-Bebel-Damm in Magdeburg) wurden aus Sicherheitsgründen im Auto vorgenommen, in einer Höhe von 1 m über dem Erdboden. Die Abschirmwirkung der Karosserie wurde in beiden Fällen bestimmt und in den dargestellten Ergebnissen berücksichtigt.