

Projekt	Ostbayernring – Ersatzneubau 380/110 kV Höchstspannungsleitung Redwitz-Schwandorf einschließlich Rückbau der Bestandsleitung
Abschnitt	Umspanwerk Etzenricht – Umspanwerk Schwandorf (Ltg. Nr. B161)

Planfeststellungsunterlage Unterlage 9.1

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern mit Minimierungsbetrachtung nach 26.BImSchV

Änderungshistorie		
	Name/Unterschrift	Datum
Aufgestellt	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">  Lars Fischer </div> <div style="text-align: center;">  Thomas Ehrhardt-Unglaub </div> </div>	17.08.2018

Inhaltliche Bearbeitung durch:

Logo	Anschrift
	<p>Omexom Hochspannung GmbH Schulstraße 124 29664 Walsrode</p> <p>Ersteller: Veit Kühnemund Datum: 17.08.2018</p> <p><i>Nachweis der Sachkunde durch langjährige Erfahrung in der Erstellung von Immissionsberechnungen und Berichten für Genehmigungsverfahren von Hochspannungsleitungen sowie entsprechende Schulung im Umgang mit der verwendeten Software WinField. (Qualitätsgesichertes Unternehmen nach ISO 9001:2008 und ISO 14001:2004)</i></p>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergrund	5
2	Rechtliche Grundlagen und Anforderungen	6
2.1	Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen.....	6
2.2	Anforderungen zur Vorsorge.....	8
3	Technische Grundlagen und Hintergründe	10
3.1	Elektrische Felder.....	10
3.2	Magnetische Felder.....	10
3.3	Trassenkonstellationen.....	11
3.3.1	Systemanzahl.....	11
3.3.2	Mastkopfgeometrie.....	11
3.3.3	Phasenanordnung.....	12
3.3.4	Erdseilkonfiguration.....	12
4	Nachweismethodik	13
4.1	Ermittlung der elektrischen Konfiguration.....	14
4.2	Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte und der maßgeblichen Minimierungsorte.....	18
4.3	Nachweis der Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen.....	20
4.4	Nachweis der Anforderungen zur Vorsorge.....	21
5	Darstellung und Bewertung der Ergebnisse	22
5.1	Berechnung zu den elektrischen Konfigurationen.....	22
5.2	Prüfung des Minimierungsgebotes.....	24
5.2.1	Abstandsoptimierung.....	24
5.2.2	Elektrische Schirmung.....	25
5.2.3	Minimieren der Seilabstände.....	25
5.2.4	Optimierung der Mastkopfgeometrie.....	26
5.2.5	Optimieren der Leiteranordnung.....	27
6	Zusammenfassung und Fazit	28
	Abkürzungsverzeichnis	29

Verzeichnis der Anhänge.....	29
Tabellenverzeichnis	30
Literaturverzeichnis	30

1 Einleitung und Hintergrund

Das Projekt Ostbayernring, d. h. der Ersatzneubau der 380/110-kV-Höchstspannungsleitung Redwitz – Schwandorf einschließlich Rückbau der Bestandsleitung, ist ein Teil der Leitungsbauprojekte in Bayern. Zur Umsetzung dieses Projekts werden Planfeststellungsverfahren zu einzelnen Teilabschnitten durchgeführt. Der hier vorliegende Bericht ist Bestandteil der Planfeststellungsunterlagen für den Abschnitt von Etzenricht nach Schwandorf. Eine ausführliche Beschreibung des Projekts, seines geplanten räumlichen Verlaufs sowie eine technische Beschreibung der geplanten Anlage sind im Erläuterungsbericht (Unterlage 1) enthalten. Eine kartographische Darstellung ist den Übersichtsplänen (Unterlage 2.1) zu entnehmen.

Elektrische Freileitungen erzeugen aufgrund der unter Spannung stehenden und Strom führenden Leiter elektrische und magnetische Felder. Es handelt sich hierbei um Wechselfelder mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz). Diese Frequenz ist dem Niederfrequenzbereich zugeordnet. Physikalischer Hintergrund ist die Theorie der klassischen Elektrodynamik, die seit Mitte des 19. Jahrhunderts mithilfe der nach James Clerk Maxwell benannten Maxwell-Gleichungen beschrieben wird.

Das elektrische Feld resultiert aus der Betriebsspannung der Leitung und ist deshalb vom Betrag nahezu zeitlich konstant. Elektrische Feldlinien können als sternförmig vom Leiter abgehende Feldlinien veranschaulicht werden. Die Dichte der Feldlinien und somit auch die elektrische Feldstärke nehmen mit dem Abstand zum Leiterseil ab. Die Stärke der elektrischen Felder wird gemessen in Kilovolt pro Meter (kV/m). Elektrische Felder werden durch Gebäude und Bewuchs, wie z.B. Bäumen, sehr gut abgeschirmt.

Das magnetische Feld resultiert aus dem Stromfluss in der Leitung. Die Feldlinien verlaufen in konzentrischen Ringen um die Leiterseile. Die magnetische Feldstärke wird in Ampere pro Meter (A/m) angegeben. Bei niederfrequenten Feldern wird als zu bewertende Größe die magnetische Flussdichte, gemessen in Tesla (T), herangezogen. Die Feldstärke ist abhängig von der Stromstärke und nimmt mit zunehmenden Abständen zu den Leiterseilen deutlich ab. Magnetische Felder werden durch Gebäude praktisch nicht abgeschirmt.

2 Rechtliche Grundlagen und Anforderungen

Im Rahmen der Planfeststellung sind auch die Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1] zu beachten. Bei einer Höchstspannungs-Freileitung handelt es sich nicht um eine nach § 4 Abs. 1 BImSchG in Verbindung mit der 4. BImSchV genehmigungsbedürftige Anlage. Insofern richten sich die immissions-schutzrechtlichen Anforderungen an die Freileitung nach § 22 BImSchG (Betreiberpflichten für nicht – nach dem BImSchG – genehmigungsbedürftige Anlagen).

Gemäß § 22 Abs. 1 Nr. 1, 2 BImSchG sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach Stand der Technik vermeidbar sind, bzw. dass nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Schädliche Umwelteinwirkungen sind nach § 3 Abs. 1 BImSchG Immissionen, die nach Art, Ausmaß und Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder Nachbarschaft herbeizuführen.

Für die Planfeststellung sind die mit dem Vorhaben verbundenen Immissionen darzustellen und hinsichtlich der Einhaltung vorgeschriebener Grenz- und Richtwerte zu beurteilen. Für eine Höchstspannungs-Freileitung handelt es sich hier wie einleitend beschrieben unter anderem um elektrische und magnetische Felder, die von der Leitung erzeugt werden.

Eine Konkretisierung der rechtlichen Anforderungen in diesem Zusammenhang erfolgt vor allem durch die Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) [2]. Diese Verordnung enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder. Die Regelungen der 26. BImSchV sind nach deren § 1 Abs. 2 Nr. 2 für die Errichtung und den Betrieb von Niederfrequenzanlagen mit Nennspannungen größer 1000 V gültig und sind somit auf das hier zu beurteilende Freileitungsvorhaben anzuwenden.

2.1 Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen

Die 26. BImSchV enthält zunächst in § 3 Anforderungen an Niederfrequenzanlagen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen. So sind nach § 3 Abs. 2 der 26. BImSchV neue Niederfrequenzanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass sie bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, die im Anhang 1a der 26. BImSchV bestimmten Grenzwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte nicht überschreiten. Dabei sind nach § 3 Abs. 3 auch Immissionen durch andere Niederfrequenzanlagen sowie durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz zu berücksichtigen. Somit sind für das vorliegende Vorhaben folgende Immissionsgrenzwerte relevant:

- Elektrische Feldstärke: 5 kV/m
- Magnetische Flussdichte: 100 μT (50 % von 200 μT)

Die in der Verordnung genannten Grenzwerte basieren auf den im Jahr 2010 von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) vorgeschlagenen Grenzwerten und sollen dem Schutz und der Vorsorge der Allgemeinheit vor den Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern dienen. Die Werte werden ebenfalls vom Rat der Europäischen Gemeinschaft empfohlen. Auf Basis des derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstandes hat ICNIRP ihre Grenzwertempfehlung für niederfrequente magnetische Wechselfelder im Jahr 2010 auf 200 μT angehoben. In Deutschland wird demgegenüber am niedrigeren Grenzwert von 100 μT festgehalten.

Von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) wurde eine Richtlinie zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder erstellt [3]. In dieser Richtlinie sind im Kapitel II.3.1 die Einwirkbereiche von Niederfrequenzanlagen und die maßgeblichen Immissionsorte beschrieben, wie sie nach § 3 der 26. BImSchV relevant sind. Der Einwirkungsbereich einer Niederfrequenzanlage beschreibt demnach den Bereich, in dem die Anlage einen signifikanten und von der Hintergrundbelastung abhebenden Immissionsbeitrag verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. Maßgebliche Immissionsorte sind Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind und sich im genannten Bereich der Anlage befinden. Dieser Bereich der Anlage ist für Freileitungen abhängig von der Betriebsspannung der Leitung und bemisst sich als ein an den ruhenden äußeren Leiter angrenzenden Streifen der Breite

- 20 m bei 380 kV-Freileitungen
- 15 m bei 220 kV-Freileitungen
- 10 m bei 110 kV-Freileitungen
- 5 m bei Freileitungen mit Spannung kleiner 110 kV

Nach Kapitel II.3.2 der LAI-Durchführungshinweise dienen dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen Gebäude und Grundstücke, in oder auf denen nach der bestimmungsgemäßen Nutzung Personen regelmäßig länger – mehrere Stunden – verweilen können. Dementsprechend dienen dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt insbesondere Wohngebäude, Krankenhäuser, Schulen, Schulhöfe, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze und Kleingärten. Bei diesen Nutzungen sind in der Regel sowohl die Gebäude als auch die Grundstücke zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt. Auch Gaststätten, Versammlungsräume, Kirchen, Marktplätze mit regelmäßigem Marktbetrieb, Turnhallen und vergleichbare Sportstätten sowie Arbeitsstätten, z. B. Büro-, Geschäfts-, Verkaufsräume oder Werkstätten, können dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen. Nur zum vorübergehenden Aufenthalt

von Menschen dienen dagegen Orte, an denen die Verweilzeit des Einzelnen in der Regel gering ist. Hierzu zählen beispielsweise Gebäude und Räume, die nur zur Lagerung von Waren oder Aufbewahrung von Gegenständen dienen, auch Garagen. Auch Orte, an denen sich zwar ständig Menschen aufhalten, die Verweilzeit des Einzelnen aber in der Regel gering ist, wie beispielsweise Bahnsteige und Bushaltestellen, dienen im Sinne der Verordnung nur dem vorübergehenden Aufenthalt.

2.2 Anforderungen zur Vorsorge

Die 26. BImSchV enthält darüber hinaus in § 4 auch über den Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen hinausgehende Anforderungen zur Vorsorge. Diese beinhalten, dass für neu zu errichtende Anlagen die kurzzeitigen und kleinräumigen Überschreitungen der oben genannten Grenzwerte in keinem Fall mehr zulässig sind, unabhängig von der Nähe zu besonders schutzwürdigen Bereichen (Gebäude und Grundstücke von Wohnungen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Kinderhorten, Spielplätzen oder ähnlichen Einrichtungen). Des Weiteren gilt nach § 4 Abs. 3 der 26. BImSchV für die Neuerrichtung von Freileitungen mit einer Nennspannung von 220 kV und mehr ein Überspannungsverbot von Gebäuden oder Gebäudeteilen, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.

Darüber hinaus sind nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV bei der Neuerrichtung einer Freileitung die Möglichkeiten auszuschöpfen, welche von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren vermögen. Näheres dazu regelt die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV) [4]. Demnach sind Minimierungsmaßnahmen zu prüfen, wenn sich mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort im Einwirkungsbereich der Anlage befindet. Dabei ist der Einwirkungsbereich im Sinne der Minimierung weiter gefasst als der oben genannte Bereich im Sinne des Schutzes vor schädlichen Umwelteinwirkungen. Der für die Minimierung zu betrachtende Einwirkungsbereich beträgt für Freileitungen mit 380 kV Nennspannung 400 m, gemessen ab ruhendem äußerem Leiter der Freileitung. Zur Ermittlung der zu prüfenden Minimierungsmaßnahmen ist zwischen einer individuellen Minimierungsprüfung und einer Prüfung nur an den Bezugspunkten zu unterscheiden. Eine individuelle Minimierungsprüfung ist für alle maßgeblichen Minimierungsorte durchzuführen, die sich im unmittelbaren Nahbereich der Leitung, also innerhalb des Bewertungsabstandes befinden. Dieser beträgt bei 380-kV-Freileitungen 20 m ab ruhendem äußerem Leiter. Für alle anderen Minimierungsorte, die sich zwischen dem Bewertungsabstand und der Grenze des Einwirkungsbereichs befinden, wird das Minimierungspotential nur an den Bezugspunkten ermittelt (siehe [4], Anhang II zu Ziffer 3.2.2.1 und Anhang III zu 3.2.2.2). Die Prüfung möglicher Minimierungsmaßnahmen erfolgt individuell für die geplante Anlage einschließlich ihrer geplanten Leistung und für die festgelegte Trasse. Das Minimierungsgebot verlangt gemäß Kapitel 3.1 der 26. BImSchVVwV keine Prüfung nach

dem im Energiewirtschaftsrecht verankerten sogenannten NOVA-Prinzip – Netzoptimierung vor Netzverstärkung vor Netzausbau - und keine Alternativenprüfung, wie zum Beispiel Erdkabel statt Freileitung, alternative Trassenführung oder Standortalternativen. Die für eine Drehstrom-Freileitung zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung sind in der 26. BImSchVVwV vielmehr in Kapitel 5.3 betriebsmittelspezifisch definiert:

- Abstandsoptimierung
- Elektrische Schirmung
- Minimieren der Seilabstände
- Optimieren der Mastkopfgeometrie
- Optimieren der Leiteranordnung

Im letzten Teilschritt der Maßnahmenbewertung ist die Verhältnismäßigkeit der ermittelten technischen Möglichkeiten zur Minimierung zu bewerten. In die Bewertung mit einzubeziehen sind zum Beispiel die Wirksamkeit der Maßnahmen, die Auswirkung auf die Gesamtimmission an den maßgeblichen Minimierungsorten, die zu erreichende Immissionsreduzierung an den maßgeblichen Minimierungsorten, die Investitions- und Betriebskosten der Maßnahmen sowie die Auswirkungen auf die Wartung und Verfügbarkeit der Anlagen.

Dabei kommen nur Maßnahmen in Betracht, die mit generell vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand und Nutzen umgesetzt werden können. Dieser Aufwand kann erheblich davon abhängen, ob eine Minimierungsmaßnahme auf die gesamte Anlage oder nur auf einen Teil, zum Beispiel einen Leitungsabschnitt, angewendet wird.

Bei der Auswahl der in Betracht kommenden Minimierungsmaßnahmen sind zudem mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen. Hierbei sind zum einen sämtliche fachrechtlichen Vorgaben, zum Beispiel die Regelungen des Naturschutzes, insbesondere des Gebiets- und Artenschutzes, die Regelungen der TA Lärm oder des Arbeitsschutzes, zu beachten.

3 Technische Grundlagen und Hintergründe

3.1 Elektrische Felder

Wie bereits einleitend erwähnt resultiert das elektrische Feld der Freileitung aus grundlegenden physikalischen Gesetzen. Für einen einzelnen Leiter können die elektrischen Feldlinien als sternförmig vom Leiter abgehende Linien veranschaulicht werden. Die Stärke des elektrischen Feldes nimmt dabei mit dem Abstand vom Leiter ab. Für die Freileitung ist das gesamte elektrische Feld eine Überlagerung der Felder der einzelnen Leiter.

Wesentliche Parameter für die Stärke des elektrischen Feldes sind die elektrischen Betriebsparameter der Freileitung, hier insbesondere die Betriebsspannung. Darüber hinaus spielt für die bodennahe Feldstärke in der Umgebung der Freileitung die Anzahl, Abstände und Anordnung der Systeme zueinander (Mastkopfgeometrie) sowie die Zuordnung der Phasen eine wichtige Rolle. In geringem Maße hat auch die verwendete Beseilung (Aufbau und Dimension der Leiterseile) sowie die Anzahl und Anordnung der Erdseile Einfluss auf die bodennahe elektrische Feldstärke. Durch diese Parameter wird insbesondere der Verlauf der Feldstärke in unmittelbarer Nähe der Freileitung bestimmt. Mit zunehmendem Abstand von der Freileitung nimmt die Feldstärke ab und auch der Einfluss dieser Parameter wird immer geringer.

Die Stärke eines elektrischen Feldes wird als elektrische Feldstärke in V/m bzw. in kV/m angegeben.

Elektrische Felder können mithilfe elektrisch leitfähiger Materialien oder durch Bewuchs gut abgeschirmt werden.

3.2 Magnetische Felder

Auch das magnetische Feld resultiert auf denselben grundlegenden physikalischen Gesetzen wie das elektrische Feld. Das magnetische Feld eines stromdurchflossenen Leiters ist abhängig von der Richtung des elektrischen Stromes und kann für einen einzelnen Leiter als konzentrischer Kreis um den Leiter betrachtet werden. Auch das magnetische Feld ist gerichtet. Das Gesamtfeld der Freileitung ist wieder eine Überlagerung der Felder der einzelnen Leiter.

Wesentlicher Parameter für die Stärke des magnetischen Feldes ist die Stromstärke, welche in Abhängigkeit der Belastungssituation der Freileitung zeitlichen Schwankungen unterliegt. Ansonsten sind es wieder dieselben Einflussgrößen wie oben für das elektrische Feld beschrieben, die das magnetische Feld in der Umgebung der Freileitung bestimmen. Auch hier gilt wieder, dass mit zunehmendem Abstand von der Freileitung die Feldstärke abnimmt.

Bei niederfrequenten Feldern wird als zu bewertende Größe die magnetische Flussdichte B angegeben. Die Maßeinheit der magnetischen Flussdichte ist Tesla (T), die Werte werden zweckmäßigerweise in Mikrottesla (μT) angegeben.

Im Gegensatz zu den elektrischen Feldern durchdringen magnetische Felder organische und anorganische Materialien jedoch nahezu ungestört.

3.3 Trassenkonstellationen

Bei den oben genannten Einflussgrößen auf die Feldstärke von elektrischen und magnetischen Feldern gibt es einige Parameter, die über den gesamten Trassenverlauf als konstant anzusehen sind. Dies sind insbesondere die elektrischen Betriebsparameter der Freileitung (Spannung und Stromstärke). Aber auch der verwendete Leitertyp (Viererbündel für 380-kV-Systeme) ist über den Trassenverlauf unverändert. Andere Parameter dagegen variieren entlang des Trassenverlaufs, was zu verschiedenen elektrischen Konfigurationen führt. Diese Parameter sind die Systemanzahl, die Mastkopfgeometrie, die Phasenordnung sowie der Erdseilkonfiguration. Dies wird im Folgenden näher erläutert.

3.3.1 Systemanzahl

Der neu zu errichtende Ostbayernring ist für zwei 380-kV-Systeme mit je drei Phasen ausgelegt, die je als Viererbündel ausgeführt sind. In Teilbereichen des bestehenden Ostbayernrings existieren Mitführungen von 110-kV-Systemen, die für die neu zu errichtende Leitungsanlage ebenfalls wieder herzustellen sind. Dies bedeutet, dass auf den Masten in den betroffenen Bereichen zwei zusätzliche elektrische Systeme mit jeweils drei Phasen auf einer weiteren Traverse aufgelegt werden. Die 110-kV-Phasen sind dabei in der Regel je als Einfachseil ausgeführt.

Diese zusätzlichen Systeme haben Einfluss auf die von der Leitungsanlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder. Das Auf- und Abspringen der 110-kV-Systeme im Bereich der neu zu errichtenden Trasse führt damit zu einer Unterteilung in Abschnitte unterschiedlicher Anzahl zu berücksichtigender Systeme.

3.3.2 Mastkopfgeometrie

In Bereichen mit zwei 380-kV-Systemen wird in der Regel mit einem Gestänge vom Typ „Donau“ gearbeitet, d. h. hier sind die Phasen eines Systems in einer Dreiecksanordnung. In Teilbereichen kommt aber auch ein Gestänge vom Typ „Tonne“ zum Einsatz, das sich durch die vertikale Phasenordnung der beiden Systeme vom Typ „Donau“ unterscheidet.

In den Leitungsabschnitten der 110-kV-Mitnahmen wird das Gestänge „Donau“ durch eine zusätzliche Traverse ergänzt, so dass dort der Masttyp „Donau-Einebene“ Verwendung findet.

Abbildungen dieser verschiedenen Mastkopfgeometrie sind im Erläuterungsbericht (Unterlage 1) enthalten, detaillierte Angaben sind in den Mastprinzipzeichnungen (Unterlage 8.2) zu finden.

Diese verschiedenen Anordnungen und die damit verbundenen verschiedenen Abstände der Phasen und Systeme zueinander beeinflussen die elektrische Feldstärke sowie die magnetische Flussdichte insbesondere in der direkten Umgebung der Anlage. Daher erfolgen für Abschnitte mit unterschiedlicher Mastkopfgeometrie separate Betrachtungen.

3.3.3 Phasenordnung

Um einen gleichmäßigen kapazitiven Belag innerhalb der Leitung zu gewährleisten, sollte jeder der drei Phasenleiter eines Systems einmal an jedem Gestängeplatz aufliegen. Dies ist durch entsprechende Verdrillungen der Phasen an den Masten zu realisieren. Die Verdrillungspunkte liegen dabei typischerweise bei etwa $1/6$, $3/6$ und $5/6$ der Leitungslänge zwischen den Schaltanlagen.

Aus dem Wechsel der Phasenordnung bei Verdrillung resultieren Veränderungen in den Ausprägungen der elektrischen Feldstärke sowie der magnetischen Flussdichte, insbesondere im Nahbereich der Anlage. Diese sind in der Prüfung der Immissionen der Leitungsanlage zu berücksichtigen.

3.3.4 Erdseilkonfiguration

Abhängig von weiteren technischen Anforderungen besitzen die Maste des neuen Ostbayernrings eine einfache Erdseilspitze oder eine geteilte Erdseilstütze. Im ersten Fall wird dann auch nur ein Erdseil (Erdseil-Luftkabel) zwischen den Masten geführt, im zweiten Fall sind es zwei parallele Erdseile (Erdseil-Luftkabel und einfaches Erdseil) auf gleicher Höhe.

In Bereichen der 110-kV-Mitführung ist ergänzend ein weiteres Erdseil-Luftkabel auf Höhe der unteren Traverse vorgesehen.

Auch diese Erdseile beeinflussen in gewissem Ausmaß die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte und sind daher in den Analysen zu berücksichtigen.

4 Nachweismethodik

Entsprechend den Regelungen in § 5 der 26. BImSchV [2] sind für die Ermittlung der Feldstärke- und Flussdichtewerte an den maßgeblichen Einwirkungsorten keine Messungen erforderlich, wenn die Einhaltung der Grenzwerte durch Berechnungsverfahren festgestellt werden kann. Dementsprechend wird die hier verwendete Nachweismethodik auf Berechnungsverfahren mit der zertifizierten Software WinField (siehe Anhang 2) aufgebaut, die den Anforderungen an Mess- und Berechnungsverfahren nach DIN EN 50413 entspricht. Hierzu wird in dem Berechnungsprogramm die Anlage als Feldquelle modellhaft dargestellt. Für die Berechnung der Immissionswerte an einem bestimmten Ort sind weitere Randbedingungen festzulegen, die durchgehend mit konservativen Ansätzen ermittelt werden. Dadurch ermittelt diese Rechenmethode Feldstärkewerte die über den tatsächlich vorhandenen Werten liegen. Da damit dennoch die Einhaltung aller Anforderungen nach Kapitel 2 belegt werden kann, ist diese konservative Vorgehensweise ausreichend und angemessen.

Für die elektrotechnischen Parameter wird immer die höchste betriebliche Anlagenauslastung zu Grunde gelegt. Dies bedeutet für 380-kV-Systeme, dass eine Betriebsspannung von 420 kV in die Berechnungen einfließt. Die maximale Stromstärke des neuen Ostbayernrings beträgt 4000 A pro 380-kV-System. Für mitgeführte oder in der Nähe verlaufende 110-kV-Systeme wird als Berechnungsspannung 123 kV angenommen. Die maximalen Stromstärken der 110-kV-Systeme variieren je nach Leitung, die jeweiligen in die Berechnungen eingeflossenen Werte sind bei der Darstellung der elektrischen Konfigurationen in Tabelle 1 mit angegeben.

Entsprechend den derzeit vorherrschenden und auch zukünftig hauptsächlich zu erwartenden Lastflüssen in Deutschland von Nord nach Süd wurde diese Stromrichtung auch für die vorliegenden Berechnungen für den Ostbayernring gewählt, d.h. die Stromrichtung wird im vorliegenden Fall von Etzenricht nach Schwandorf angesetzt.

In den Berechnungen werden die Immissionen der Grundfrequenz (50 Hz) ermittelt. In Hoch- und Höchstspannungsnetzen sind Oberwellenanteile (z.B. 100 Hz, 150 Hz) sehr gering, daher sind deren zusätzliche Immissionsbeiträge gegenüber den Immissionen der Grundfrequenz zu vernachlässigen und werden daher im Weiteren nicht betrachtet.

Die Berücksichtigung der Immissionsbeiträge anderer Niederfrequenzanlagen, dies sind insbesondere andere Freileitungen, erfolgt durch zusätzliche Modellierung dieser Anlagen in den entsprechenden elektrischen Konfigurationen (siehe Abschnitt 4.1). Nach den Ausführungen in den LAI-Durchführungshinweisen [3] tragen Hochfrequenzanlagen ab einem Abstand von 300 Metern nicht relevant zur Vorbelastung bei. Für den Trassenverlauf des Ostbayernrings sind keine entsprechenden Hochfrequenzanlagen in diesem Abstand vorhanden, so dass dieser Aspekt nicht weiter zu betrachten ist.

4.1 Ermittlung der elektrischen Konfiguration

Die Freileitungstrasse wird zunächst in sogenannte elektrische Konfigurationen unterteilt. Diese können dann entweder Ballungsräume (direkte Umgebung der Umspannwerke, An-/Absprünge der 110-kV-Mitführungen) direkt darstellen oder repräsentativ für einen bestimmten Streckenabschnitt sein. Dabei sind insbesondere die Einflussfaktoren nach Kapitel 3.3 zu beachten. Eine Analyse des Trassenverlaufs zwischen Etzenricht und Schwandorf ergab die Aufteilung des gesamten Verlaufs in 13 elektrische Konfigurationen, wie sie in Tabelle 1 dargestellt sind.

Für die genauen Bemaßungen der Maste in den einzelnen elektrischen Konfigurationen sei an dieser Stelle auf die Mastliste (Unterlage 7.2) sowie die Mastprinzipzeichnungen (Unterlage 8.2) verwiesen. In den Längenprofilplänen (Unterlage 4.2) sind zudem Angaben zu den Bodenabständen in einzelnen Spannungsfeldern zu finden. Eine exakte Verortung der geplanten Maste ist über die Angaben der geographischen Koordinaten in der Koordinatenliste (Unterlage 7.3) gegeben.

Bei 380-kV-Stromkreisen werden als Phasen sogenannte Bündelleiter, bestehend aus je vier quadratisch angeordneten Leiterseilen mit einem Abstand von 400 mm, verwendet. Die Ausführung der einzelnen Leiterseile ist als Aluminium-Stahl-Verbundseile vom Typ 565-AL1/72-ST1A geplant. Das Seil hat somit einen Querschnitt von 565 mm² Aluminium und 72 mm² Stahl, der Gesamtdurchmesser beträgt 33 mm.

Bei 110-kV-Stromkreisen bestehen die Phasen aus Einfachseilen – ebenfalls aus Aluminium-Stahl-Verbundseilen vom Typ 565-AL1/72-ST1A.

Detaillierte Angaben zu den verwendeten Leiterseilen, insbesondere auch bei den An-/Absprünge der 110-kV-Mitführungen, sowie der verwendeten Erdseilen und Erdseilluftkabeln ist in den Längenprofilplänen (Unterlagen 4.2 und 4.3) enthalten.

**Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen
Feldern mit Minimierungsbetrachtung nach 26. BImSchV**
Ostbayernring, UW Etzenricht – UW Schwandorf (Ltg. Nr. B161)



Laufenden Nr. Elektrische Konfiguration	Trassenbereich	Leitungs- nummer	Gestängetyp	Erdseilkonfiguration	Elektrische Systeme	Phasenordnung	Stromstärken
						L1 ● L2 ● L3 ●	
1 Ballungsbereich UW Etzenricht	Portale UW Etzenricht – Mast 1	B161	Donau	Geteilte Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
2	Mast 1 – Mast 10	B161	Donau	Geteilte Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
3	Mast 10 – Mast 19	B161	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
4	Mast 19 – Mast 20	B161	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
5	Mast 20 – Mast 29 Mast 33 – Mast 36	B161	Tonne	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
6	Mast 29 – Mast 33 Mast 36 – Mast 55	B161	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
7	Mast 55 – Mast 58 Mast 81 – Mast 90	B161	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
8	Mast 58 – Mast 81	B161	Donau	Geteilte Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A

**Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen
Feldern mit Minimierungsbetrachtung nach 26. BImSchV**
Ostbayernring, UW Etzenricht – UW Schwandorf (Ltg. Nr. B161)



9 Ballungsbereich An-/Absprung O6	Mast 91 – Mast 26N	O6	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 110 kV		1108 A
	Vor Mast 90	B161	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
	Mast 90 – Mast 91	B161	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
	Nach Mast 91	B161	Donau- Einebene	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV 2 Systeme 110 kV		4000 A 1108 A
10	Mast 91 – Mast 96 Mast 97 – Mast 100	B161	Donau- Einebene	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380-kV		4000 A
					2 Systeme 110-kV		1108 A
11 Ballungsbereich An-/Absprung O6B an das UW Naab	Mast 96 – Mast 17N	O6B	Einebene	Einfache Erdseilspitze	1 System 110 kV		1108 A
	Mast 17N – Mast 97	O6B	Einebene	Einfache Erdseilspitze	1 System 110 kV		1108 A
	Vor Mast 96	B161	Donau- Einebene	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380-kV		4000 A
					2 Systeme 110-kV		1108 A
	Mast 96 – Mast 97	B161	Donau- Einebene	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380-kV		4000 A
1 System 110-kV					1108 A		
Nach Mast 97	B161	Donau- Einebene	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 380-kV		4000 A	
				2 Systeme 110-kV		1108 A	
12	Mast 100 – Mast 106	B161	Donau- Einebene	Geteilte Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
					2 Systeme 110 kV		1108 A

**Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen
Feldern mit Minimierungsbetrachtung nach 26. BImSchV**
Ostbayernring, UW Etzenricht – UW Schwandorf (Ltg. Nr. B161)



13 Ballungsbereich UW Schwandorf	Mast 106 – Mast 5N	O6A	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 110-kV		1108 A
	Mast 5N – Portale UW Schwandorf (Parallelleitung)	O6A (Bestand)	Donau	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 110-kV		890 A
	Vor Mast 106	B161	Donau- Einebene	Geteilte Erdseilspitze	2 Systeme 380 kV		4000 A
					2 Systeme 110 kV		1108 A
	Mast 106 – Portale UW Schwandorf	B161	Donau	Geteilte Erdseilspitze	2 Systeme 380-kV		4000 A
Kreuzende Leitung dann Parallelleitung	O21	Einebene	Einfache Erdseilspitze	2 Systeme 110-kV		547 A	

Tabelle 1: Elektrische Konfiguration für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf (Phasenlage bezogen auf Leitungsrichtung B161)

Um die Anzahl der elektrischen Konfigurationen noch einigermaßen übersichtlich und handhabbar zu gestalten, werden hierbei einige kleine Vereinfachungen gemacht. So wird z. B. an den Übergängen von einfacher und geteilter Erdseilspitze das Übergangsspannfeld behandelt wie ein Standard-Spannfeld mit geteilter Erdseilstütze, da auch im Übergangsfeld bereits zwei Erdseile vorhanden sind. Diese verlaufen hier zwar nicht parallel wie im Standard-Spannfeld, diese Vereinfachung hat aber nur marginale Auswirkungen auf die Feldstärkeberechnungen, insbesondere da sich in diesen Fällen keine maßgeblichen Immissionsorte im Nahbereich der Anlage befinden (siehe Kapitel 4.2). Eine weitere konservative Vereinfachung wird an den Übergängen der Mastkopfgeometrie „Donau“ und „Tonne“ gemacht. Auch in diesen Übergangsfeldern verlaufen die Leiterseile nicht wie ansonsten parallel. Dies hat aber nur in unmittelbarer Umgebung der Anlage signifikante Auswirkungen auf die Feldstärkewerte. Da sich wie in Kapitel 4.2 ausführlich dargestellt in diesen Spannfeldern keine Immissionsorte im nahen Bereich der Freileitung befinden werden diese Übergangsfelder dem Bereich „Donau“ zugeschlagen, da hier die äußeren Leiter etwas weiter von der Trassenachse entfernt und damit etwas näher an potentiellen Immissionsorten im weiter entfernten Bereich der Anlage liegen. Dies führt daher an diesen Orten zu tendenziell etwas höheren Werten und ist daher eine konservative Vereinfachung.

4.2 Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte und der maßgeblichen Minimierungsorte

Bei der Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte zum Schutz und der maßgeblichen Minimierungsorte zur Vorsorge sind die Anforderungen der 26. BImSchV [2] und die zugehörigen Ausführungen in den LAI-Durchführungshinweisen [3] sowie der Verwaltungsvorschrift [4] zu beachten (siehe auch Kapitel 2).

Wie in Kapitel 2.1 ausführlich dargestellt befinden sich maßgebliche Immissionsorte bei einer 380-kV-Freileitung in einem Bereich bis zu 20 m Abstand vom äußersten ruhenden Leiter. Bei den hier verwendeten Mastkopfgeometrien sind die entsprechenden Abstände von der Trassenachse also maximal 38,5 m für die „Donau“-Maste und 32,6 m für die „Tonnen“-Maste.

Für die Ermittlung der maßgeblichen Minimierungsorte ist ein weiterer Bereich zu erfassen, dieser erstreckt sich wie in Kapitel 2.2 dargestellt bis zu einem Abstand von 400 m zum äußersten ruhenden Leiter. Bei den vorliegenden Mastkopfgeometrien sind dies 418,5 m Abstand zur Trassenachse im Falle der „Donau“-Maste und 412,6 m im Falle der „Tonnen“-Maste.

Um für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf (eine kartographische Darstellung der Anlage ist in den Übersichtsplänen (Unterlage 2.1) zu finden) die maßgeblichen Immissionsorte und Minimierungsorte zu ermitteln wurde der gesamte Verlauf auf entsprechende Orte abgesucht. Dabei zeigt sich, dass durch den gewählten Trassenverlauf, bei dessen Festlegung ein möglichst großer Abstand zur Wohnbebauung bereits als wichtiges Kriterium eingeflossen ist, nur ein einziger maßgeblicher Immissionsort im Sinne der 26. BImSchV zu finden ist.

Dies betrifft das Gewächshaus einer Gärtnerei im randlichen Stadtgebiet von Schwandorf (Am Steig, 92421 Schwandorf, Spannfeld zwischen den Masten 94 und 95 in der

elektrischen Konfiguration 10). Diese Gärtnerei wird derzeit sowohl von der Bestandsleitung des Ostbayernrings als auch von der 110-kV-Leitung des Bayernwerks (Leitung O6) überspannt. Das Bayerwerk unterhält auch einen Mast auf dem Betriebsgelände der Gärtnerei. Der zukünftige Verlauf des Ostbayernrings unter Mitnahme der 110-kV-Stromkreise ist südlich des Betriebsgeländes; das der Leitung nahe stehende Gewächshaus hat dabei einen Abstand von 25 m zur Trassenachse. Somit beträgt der horizontale Abstand zum äußersten ruhenden Leiter der Stromkreise 10 m.

In fast allen Bereichen sind maßgebliche Minimierungsorte vorhanden, was sich durch die Großräumigkeit des Bereichs und die regionale Bebauungsstruktur nicht verhindern lässt. Zur Übersichtlichkeit und Darstellbarkeit der entsprechenden Orte wurde für jede der nach Kapitel 4.1 definierten elektrischen Konfiguration der Immissionsort mit dem geringsten Abstand zur Trassenachse in diesem Bereich ermittelt. Dieser Ort ist dann repräsentativ für alle anderen Orte in der gleichen elektrischen Konfiguration, d. h. an allen anderen Orten sind die Immissionen durch elektrische und magnetische Felder der Freileitung gleich oder geringer als am repräsentativen Ort. Eine Auflistung der repräsentativen Orte ist in Tabelle 2 enthalten. Die exakten Koordinaten dieser Orte sind in Anhang 3 aufgelistet.

Laufende Nr. Elektrische Konfiguration	Immissionsort	Art der Gebäude-nutzung	Abstand Gebäude zur Trassenachse	Abstand Grundstück zur Trassenachse
1	kein Immissionsort im Einwirkungsbereich			
2	Haselhöhe 30, 92706 Luhe-Wildenau	Betriebs-gebäude	142 m	118 m
3	Schöningerstraße 21, 92706 Luhe-Wildenau	Betriebs-gebäude	165 m	154 m
4	kein Immissionsort im Einwirkungsbereich			
5	Gebäude auf Flst. 1704 an der Grünauer Straße, 92706 Luhe-Wildenau	Vereinsheim Imkerverein	259 m	237 m
6	Kettnitzmühle 23, 92533 Wernberg-Köblitz	Schützenheim	64 m	39 m
7	Hutweg 1, 92521 Schwarzenfeld	Wohnhaus	181 m	141 m
8	Weiherhaus 1, 92521 Schwarzenfeld	Feldscheune mit Werkstatt	88 m	62 m
9	Irlachinger Straße 30, 92421 Schwandorf	Wohnhaus	203 m	160 m

10	Am Steig, 92421 Schwandorf	Gärtnerei Gewächshaus	25 m	19 m
11	Wiesenstraße 7, 92421 Schwandorf	Wohnhaus	117 m ¹	103 m ¹
12	Turnerstraße 8, 92421 Schwandorf	Sportgelände TuS Dachelhofen	197 m	120 m
13	Bayernwerk 20, 92421 Schwandorf	Betriebs- gebäude	186 m	167 m

Tabelle 2: Repräsentative Immissionsorte für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf

4.3 Nachweis der Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen

Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 2.1 ist zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen der Nachweis zu erbringen, dass im Einwirkungsbereich der Freileitung an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, entsprechende Grenzwerte für die Feldstärken der elektrischen und magnetischen Felder eingehalten werden. Wie in Kapitel 4.2 dargelegt befindet sich im vorliegenden Fall nur ein entsprechender Ort im Einwirkungsbereich der Freileitung, daher ist formal gesehen nur für diesen ein rechnerischer Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte notwendig. Dennoch werden auch für alle anderen repräsentativen Immissionsorte entsprechende Berechnungen durchgeführt, um die Immissionsauswirkungen des Ostbayernrings auch quantitativ darzustellen.

Da es bei der Bewertung der Immissionen immer um Orte geht, die auch dem Aufenthalt von Menschen ermöglichen, werden die Berechnungen am Erdboden, genauer in 1 m Höhe über Erdoberkante, ausgewertet. Wie bereits dargelegt sind die Feldstärken stark abstandsabhängig, d. h. die größten Feldstärken werden bei geringstem Abstand des betrachteten Ortes von den Feldquellen, d. h. den Leiterseilen erreicht. Für ein zu betrachtendes Spannfeld ist dies jeweils am Ort des geringsten Bodenabstands der Leiterseile der Fall. Dies ist somit von der örtlichen Topographie abhängig, wird in der Regel aber am Ort des stärksten Seildurchhangs, also etwa in Spannfeldmitte, erreicht.

Bei den in Kapitel 4.1 dargestellten elektrischen Konfigurationen gibt es zum einem den Typ des Ballungsraums. Hier werden alle an der Örtlichkeit vorhandenen Freileitungen im Rechenmodell abgebildet, so dass auch die in der 26. BImSchV geforderte Berücksichtigung anderer Niederfrequenzanlagen gegeben ist. Diese Methodik wird insbesondere in der Umgebung der Umspannwerke verwendet, da hier meist mehrere Freileitungen räumlich eng

¹ Dieser Abstand ist zur 110-kV-Leitung O6B (Anbindung UW Naab) gemessen

zusammentreffen. Aber auch an den An-/Absprüngen der 110-kV-Mitführungen wird diese Art der Modellierung im Rechenmodell angewandt.

Neben den Ballungsräumen kann die Freileitung über weite Strecken durch repräsentative Spannungsfelder dargestellt werden. Dabei wird für jede der elektrischen Konfigurationen dieses Typs dasjenige Spannungsfeld als repräsentativ modelliert, das den geringsten Bodenabstand aufweist. Dies ist dann für alle anderen Spannungsfelder der gleichen elektrischen Konfiguration eine konservative Vereinfachung, die hier die Feldstärken bei gleichem Abstand zur Trassenachse gleiche oder geringere Feldstärkewerte aufweisen.

Hinsichtlich des Gebots zur Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden entsprechend § 3 Abs. 4 der 26. BImSchV [2] ist in den LAI-Durchführungshinweisen [3] als Anhaltspunkt angegeben, dass entsprechende Phänomene erst bei elektrischen Feldstärken ab 5 kV/m bis 10 kV/m auftreten. In Abschnitt 5.1 wird dargelegt, dass auch im unmittelbaren Nahbereich der Leitung die elektrischen Felder deutlich unterhalb dieses Bereichs liegen. Damit sind Funkenentladungen und ähnliche Wirkungen nicht zu erwarten.

4.4 Nachweis der Anforderungen zur Vorsorge

Durch den Nachweis der strikten Einhaltung der Grenzwerte nach Kapitel 4.3 ist auch die Anforderung zur Vorsorge nach 26. BImSchV § 4 Abs. 1 mit erfüllt. Das Überspannungsverbot nach 26. BImSchV § 4 Abs. 3 ist – mit Ausnahme der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95 - durch den Nachweis, dass sich kein maßgeblicher Immissionsort im Nahbereich der Anlage befindet, bereits abgehandelt. Für den speziellen Fall der Gärtnerei handelt es sich jedoch nicht um Gebäude, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Daher ist hier das Überspannungsverbot nach 26. BImSchV § 4 Abs. 3 nicht anzuwenden (vgl. auch LAI-Durchführungshinweisen [3]). Somit verbleibt noch der Nachweis zur Minimierung nach 26. BImSchV § 4 Abs. 2 (siehe auch Kapitel 2.2).

Als erster Schritt ist dabei zu prüfen, ob und in welcher Entfernung sich maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich der Freileitung befinden. Dies ist in Kapitel 4.2 bereits erfolgt. Wie sich dabei zeigt befindet sich nur ein maßgeblicher Minimierungsort im Nahbereich der Anlage, d.h. zwischen der Trassenachse und dem Bewertungsabstand. Daher ist nur für diesen Ort eine individuelle Minimierungsprüfung durchzuführen. Allerdings befinden sich für fast alle elektrischen Konfigurationen maßgebliche Minimierungsorte im weiteren Einwirkungsbereich (400 m bei 380-kV-Systemen) der Freileitung. Daher sind die nach 26. BImSchVVwV Kapitel 5.3 zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung zu prüfen und zu bewerten. Dies erfolgt in Kapitel 5.2.

5 Darstellung und Bewertung der Ergebnisse

5.1 Berechnung zu den elektrischen Konfigurationen

Wie in Kapitel 4.3 dargelegt, sind mit Ausnahme der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95 eigentlich keine rechnerischen Nachweise zur Einhaltung der Grenzwerte zu erbringen, da sich keine weiteren maßgeblichen Immissionsorte im Einwirkungsbereich der Anlage befinden. Um dennoch die Immissionsauswirkungen des Ostbayernrings in allen Bereichen auch quantitativ darzustellen wurden für jede elektrische Konfiguration entsprechende Analysen durchgeführt. Die entsprechenden Ergebnisse für jede elektrische Konfiguration sind in Anhang 1 grafisch dargestellt. Zudem wurden die maximal zu erwartende Stärken des elektrischen Feldes und der magnetischen Flussdichte direkt unterhalb der Leitung ausgewertet und angegeben. Die Werte belegen, dass auch im unmittelbaren Nahbereich der Leitung die Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder unterschritten werden. Über die Anforderungen der 26. BImSchVVwV hinausgehend werden auch die an den Bezugspunkten einer möglichen Minimierung berechneten Feldstärken explizit angegeben. Alle diese Werte sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

Laufende Nr. Elektrische Konfiguration	Maximalwert unterhalb der Leitung		Werte am Bezugspunkt	
	Elektrische Feldstärke	Magnetische Flussdichte	Elektrische Feldstärke	Magnetische Flussdichte
1	2,6 kV/m	22 µT	1,4 kV/m	12 µT
2	4,3 kV/m	37 µT	1,4 kV/m	18 µT
3	4,1 kV/m	36 µT	1,3 kV/m	16 µT
4	2,9 kV/m	26 µT	1,2 kV/m	13 µT
5	4,6 kV/m	38 µT	1,0 kV/m	18 µT
6	4,0 kV/m	34 µT	1,4 kV/m	15 µT
7	4,3 kV/m	39 µT	1,4 kV/m	17 µT
8	4,3 kV/m	38 µT	1,2 kV/m	18 µT
9	3,7 kV/m	33 µT	1,5 kV/m	16 µT
10	2,0 kV/m	32 µT	1,2 kV/m	14 µT
11	2,0 kV/m	27 µT	0,6 kV/m	8 µT
12	2,1 kV/m	31 µT	0,6 kV/m	11 µT

13	4,5 kV/m	40 μ T	1,0 kV/m	10 μ T
----	----------	------------	----------	------------

Tabelle 3: Berechnungsergebnisse der maximalen Feldstärken unterhalb der Leitung und am Bezugspunkt für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf

Die expliziten Berechnungen am maßgeblichen Immissionsort der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95 zeigen, dass hier Werte von 0,6 kV/m für die elektrische Feldstärke bzw. 10 μ T für die magnetische Flussdichte am Gebäude vorliegen. Die Maximalwerte auf dem zugehörigen Grundstück betragen 0,7 kV/m bzw. 12 μ T. Dies belegt, dass auch hier die Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder deutlich unterschritten werden.

Zur Erhöhung der Transparenz und als weiterführende Information wurden für alle in Tabelle 2 enthaltenen repräsentativen Immissionsorte die entsprechenden maximalen Feldstärken ermittelt. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Diese Werte zeigen auf, dass insgesamt an den Immissionsorten nur sehr geringe Feldstärken vorliegen. An den Werten für die elektrische Konfiguration 10 zeigt sich zudem die Konservativität der Berechnungsmethode (vgl. Kapitel 4.3), da die hier angegebenen Werte – gerechnet mit dem geringsten Bodenabstand in dieser Konfiguration – doch merklich höher liegen als die Werte der expliziten Berechnung für den gleichen Ort.

Lfd. Nr. Elektr. Konfig.	Immissionsort	Maximalwert an Gebäudeecke		Maximalwert auf Grundstück	
		Elektrische Feldstärke	Magnetische Flussdichte	Elektrische Feldstärke	Magnetische Flussdichte
1	kein Immissionsort im Einwirkungsbereich				
2	Haselhöhe 30, 92706 Luhe-Wildenau	0,1 kV/m	1 μ T	0,1 kV/m	1 μ T
3	Schöningerstraße 21, 92706 Luhe-Wildenau	0,0 kV/m	1 μ T	0,1 kV/m	1 μ T
4	kein Immissionsort im Einwirkungsbereich				
5	Gebäude auf Flst. 1704 an der Grünauer Straße, 92706 Luhe-Wildenau	0,0 kV/m	0 μ T	0,0 kV/m	0 μ T
6	Kettnitzmühle 23, 92533 Wernberg- Köblitz	0,3 kV/m	3 μ T	0,5 kV/m	7 μ T
7	Hutweg 1, 92521 Schwarzenfeld	0,0 kV/m	1 μ T	0,1 kV/m	1 μ T

8	Weierhaus 1, 92521 Schwarzenfeld	0,2 kV/m	2 μ T	0,3 kV/m	4 μ T
9	Irlachinger Straße 30, 92421 Schwandorf	0,0 kV/m	0 μ T	0,1 kV/m	1 μ T
10	Am Steig, 92421 Schwandorf	1,6 kV/m	19 μ T	2,1 kV/m	28 μ T
11	Wiesenstraße 7, 92421 Schwandorf	0,0 kV/m	0 μ T	0,0 kV/m	0 μ T
12	Turnerstraße 8, 92421 Schwandorf	0,0 kV/m	0 μ T	0,1 kV/m	1 μ T
13	Bayernwerk 20, 92421 Schwandorf	0,0 kV/m	0 μ T	0,0 kV/m	0 μ T

Tabelle 4: Berechnungsergebnisse der maximalen Feldstärken an den repräsentativen Immissionsorten für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf

5.2 Prüfung des Minimierungsgebotes

Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4.4 sind die nach Kapitel 5.3 der 26. BImSchVVwV zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung zu prüfen und zu bewerten. Entsprechend den in Kapitel 2.2 vorgegebenen Randbedingungen zur Prüfung erfolgt diese für die festgelegte Trasse, d. h. eine alternative Trassenführung oder Standortalternativen der Maste sind ausdrücklich nicht Bestandteil der Minimierungsprüfung. Dennoch sei an dieser Stelle angemerkt, dass durch die Wahl der Trassenführung, insbesondere durch die im Vergleich zur Bestandstrasse zum Teil deutlich erhöhten Abstände zur Wohnbebauung, nur sehr geringe Feldstärkewerte an den maßgeblichen Minimierungsorten vorhanden sind (vgl. Tabelle 4).

5.2.1 Abstandsoptimierung

Ziel dieser Maßnahme ist es, die Distanz der Leiterseile zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist grundsätzlich im Nahbereich der Trasse hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab. Da sich - mit Ausnahme der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95 - keine weiteren maßgeblichen Minimierungsorte sehr nahe der Trasse des Ostbayernrings befinden, bietet diese Maßnahme kein nennenswertes Minimierungspotential. Dennoch kann durch eine entsprechende Trassenplanung (Erhöhung der Maste, Beschränkung der Spannungsfeldlängen) mit Beschränkung des minimalen Bodenabstands der Leiterseile erreicht werden, dass bereits im unmittelbaren Nahbereich der Anlage (in 1 m Höhe über Erdoberkante direkt unter den Leiterseilen) die Grenzwerte für elektrische und magnetische Feldstärken eingehalten werden. Für den Ostbayernring wird daher die Trassierung nicht mit den nach Norm DIN EN

50341 geforderten Mindestbodenabständen von 7,8 m für 380-kV-Systeme bzw. 6,0 m für 110-kV-Systeme durchgeführt, sondern die Mindestbodenabstände werden bei 380-kV-System auf 12,0 m beim Gestängetyp „Donau“ bzw. 14,0 m beim Gestängetyp „Tonne“ erhöht. Bei Mitführung von 110-kV-Systemen wurde mit einem minimalen Bodenabstand von 8,5 m geplant, durch den Stockwerksabstand von 12,0 m zwischen der 110-kV- Traverse und der untersten 380-kV- Traverse ergeben sich für die 380-kV-Systeme noch deutlich größere Bodenabstände.

Wie in Kapitel 5.1 ausführlich dargestellt werden mit dieser Maßnahme auch im direkten Nahbereich der Freileitung die Grenzwerte der 26. BImSchV mit 5 kV/m für elektrische und 100 μ T für magnetische Felder unterschritten.

Eine darüber hinausgehende Erhöhung der Bodenabstände durch Masterhöhungen hätte, insbesondere aufgrund der großen Entfernung zu den maßgeblichen Minimierungsorten, keine nennenswerte Immissionsreduzierung zur Folge und ist aufgrund des damit verbundenen Aufwandes und den negativen Auswirkungen auf andere Schutzgüter (Landschaftsbild, Eingriff in den Boden) unverhältnismäßig.

Eine Ausnahme bildet hier nur die Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95. Um hier dem Minimierungsgebot zu entsprechen wurde insbesondere der Mast 94 deutlich angehoben, so dass der minimale Bodenabstand in diesem Spannungsfeld statt der üblichen 8,5 m (Mitführung 110-kV-Stromkreise) hier 23,5 m beträgt. Diese Maßnahme verringert die elektrische Feldstärke auf dem Grundstück um 1,9 kV/m und die magnetische Flussdichte um 22 μ T. Damit wurde für diesen Ort eine individuelle Minimierungsprüfung hinsichtlich des Abstands durchgeführt und umgesetzt.

5.2.2 Elektrische Schirmung

Die Maßnahme der elektrischen Schirmung umfasst das zusätzliche Anbringen von Schirmflächen- oder Leitern unterhalb oder seitlich der spannungsführenden Leiter. Eine Schirmung beeinflusst ausschließlich das elektrische Feld und hat eine eher geringe Wirksamkeit. Die Umsetzung der Maßnahme würde in der Regel eine zusätzliche Traverse erfordern, was durch die Notwendigkeit einer damit verbundenen Masterhöhung auch auf das Landschaftsbild und den Eingriff in den Boden (Fundamentverstärkung) auswirken würde. Aufgrund der geringen Wirksamkeit, dem äußerst geringen Minimierungspotential und in Anbetracht der sehr geringen Immissionswerte für die elektrischen Felder wird die Maßnahme als unverhältnismäßig im Sinne von Kapitel 3.1 der 26. BImSchVVwV bewertet. Dies gilt auch für den Fall der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95. Eine elektrische Schirmung wird daher nicht vorgesehen.

5.2.3 Minimieren der Seilabstände

Bei dieser Maßnahme sollen die Abstände zwischen den Leiterseilen minimiert werden, hierzu gehört auch die Minimierung der Seilabstände innerhalb eines Stromkreises und zu

anderen Stromkreisen. Dabei sind aber Mindestisolierluftstrecken zwischen den Seilen, zwischen Leiterseilen und dem Mast sowie anderen geerdeten Anlagenteilen oder zum Boden entsprechend DIN EN 50341 einzuhalten. Zudem ist zu beachten, dass verringerte Abstände zwischen elektrischen Bauteilen die Geräuschemission durch Koronaeffekte fördern und besondere Maßnahmen bei der Wartung, zum Beispiel bei der Besteigbarkeit der Maste nach sich ziehen. Die Wirksamkeit der Maßnahme ist im Nahbereich der Anlage hoch, wird aber auch durch andere Parameter (Mastkopfgeometrie, Phasenordnung) stark beeinflusst und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Anlage ab.

Die beim Ostbayernring verwendeten Gestängetypen („Donau“, „Tonne“ und „Donau-Einebene“) wurden in ihrer Entwicklung bereits in Hinblick auf diese Abstände optimiert, d. h. die dort verwendeten geometrischen Abmessungen orientieren sich an den normativen Mindestabständen und wurden nur dort um das notwendige Maß vergrößert wo betriebliche Anforderungen (Besteigbarkeit bei Wartung) und Anforderungen der Arbeitssicherheit dies erforderlich machen. Darüber hinaus wurden bei der Trassierung extrem weite Spannungsfelder weitestgehend vermieden; auch dadurch können die gegenseitigen Abstände der Phasen gering gehalten werden, da das Ausschwingverhalten der Leiter hierdurch begrenzt wird.

Weitergehende Maßnahmen zur Minimierung der Seilabstände hätten aufgrund der großen Abstände zwischen der Freileitung und den maßgeblichen Minimierungsorten und den ohnehin sehr geringen Immissionswerten nur eine äußerst geringe zusätzliche Reduktion der Feldstärken an den Minimierungsorten zur Folge und sind daher nicht mehr verhältnismäßig im Sinne von Kapitel 3.1 der 26. BImSchVVwV. Dies gilt auch für den Fall der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95.

5.2.4 Optimierung der Mastkopfgeometrie

Die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen Mastkopfgeometrien bestehen in der geometrischen Anordnung der Phasen eines Stromkreises, die horizontal, vertikal oder dreieckförmig sein kann. Dabei ist laut 26. BImSchVVwV Kapitel 5.3.1.4 für die Kompensation von elektrischen und magnetischen Feldern grundsätzlich eine vertikale Anordnung vorteilhaft, was aber streng genommen nur im Bereich des Bewertungsabstands und für einzelne Phasenordnungen gilt. Direkt unter der Leitung weisen vertikale Anordnung in der Regel sogar höhere Maximalwerte der elektrischen Feldstärke als andere Anordnungen auf. Bei weiterer Entfernung von der Anlage, typischerweise ab Abständen von 100 m und mehr von der Trassenachse, sind nur noch marginale Unterschiede zwischen den Mastkopfgeometrien nachweisbar. Bei Mitführung mehrerer Systeme sind die Wahlmöglichkeiten hinsichtlich der Mastkopfgeometrie ohnehin stark eingeschränkt.

Daher ist beim Ostbayernring die Donauanordnung die Vorzugbauweise, da diese deutliche Vorteile hinsichtlich der elektrischen Symmetrie, dem Verhältnis aus Masthöhe und Trassenbreite, dem Landschaftsbild sowie der Anforderungen an das Gestänge und die Gründung bietet. Der Gestängetyp „Tonne“ wird ebenfalls eingesetzt, jedoch insbesondere aus Gründen der Minimierung der Trassenbreite in Waldbereichen. In Bereichen der 110-kV-

Mitführung ist die mögliche Mastkopfgeometrie auf den Gestängetyp „Donau-Einebene“ eingeschränkt.

Weitergehende Optimierungen hinsichtlich der Auswahl der Mastkopfgeometrie sind nicht vorgesehen, da sie aufgrund der großen Abstände zwischen der Freileitung und den maßgeblichen Minimierungsorten und den ohnehin schon sehr niedrigen Immissionswerten nur noch ein äußerst geringes Minimierungspotential bieten. In Hinblick auf andere Schutzgüter werden sie daher als nicht mehr verhältnismäßig im Sinne von Kapitel 3.1 der 26. BImSchVVwV erachtet. Dies gilt auch für den Fall der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95, hier ist durch die Mitführung der 110-kV-Systeme ohnehin der Gestängetyp „Donau-Einebene“ alternativlos.

5.2.5 Optimieren der Leiteranordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Anordnung der Systeme (horizontal, vertikal oder dreieckförmig) entscheidet die Anschlussreihenfolge (Auflageplatz am Gestänge) der Phasen des Drehstromsystems inwieweit sich die von den einzelnen Leiterseilen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder gegenseitig kompensieren oder verstärken. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist im Nahbereich der Anlage hoch, wird aber auch von anderen Anlagenparametern, wie dem Mastkopfbild oder dem Leiterseilabstand beeinflusst. Ihre relative Wirksamkeit ist abhängig vom Abstand zu den Leiterseilen und lässt außerhalb des Bemessungsabstands rasch nach. Sie ist vor allem im Nahbereich der Anlage örtlich sehr unterschiedlich und kann punktuell deutlich schwanken. Die optimale Leiteranordnung ist daher stark vom betrachteten Immissionsort abhängig und kann für das elektrische und magnetische Feld und für den Nah- und den Fernbereich unterschiedlich sein.

In der technischen Auslegung des Ostbayernrings wurden einige Phasenordnungen ausgeschlossen, um die in der Umgebung der Anlage auftretenden maximalen Feldstärken zu begrenzen. Außerhalb des Bewertungsabstandes sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Phasenordnungen sehr gering. Daher bietet eine weitere Optimierung, insbesondere mit Hinblick auf die großen Abstände zwischen der Freileitung und den maßgeblichen Minimierungsorten und den ohnehin schon niedrigen Immissionswerten kein nennenswertes Minimierungspotential. Dies gilt auch für den Fall der Gärtnerei im Spannungsfeld der Maste 94 und 95. Zudem stellen die in Tabelle 1 dargestellten Phasenordnungen den derzeit gültigen Plan dar, im Verlauf des Betriebs der Anlage könnten sich andere betriebliche Erfordernisse ergeben, die eine Anpassung der Phasenanordnung mit sich bringen. In diesem Sinne ist die den Berechnungen zugrunde gelegte Phasenanordnung als exemplarisch zu betrachten. Eine weitere Optimierung hinsichtlich der maßgeblichen Minimierungsorte ist daher aus genannten Gründen nicht mehr verhältnismäßig im Sinne von Kapitel 3.1 der 26. BImSchVVwV.

6 Zusammenfassung und Fazit

Elektrische Freileitungen erzeugen aufgrund der unter Spannung stehenden und Strom führenden Leiter elektrische und magnetische Felder. Daher sind in der Planfeststellung die Vorschriften des BImSchG [1] zu beachten bzw. die Einhaltung der konkreten Anforderungen der 26. BImSchV [2] für Niederfrequenzanlagen dazulegen. Diese Verordnung enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder.

Im vorliegenden Bericht wird der Ersatzneubau des Ostbayernrings im Abschnitt Umspannwerk Etzenricht bis Umspannwerk Schwandorf auf alle Anforderungen hin geprüft. Dabei wird durch Berechnungen nachgewiesen, dass die Feldstärken der elektrischen und magnetischen Felder des Ostbayernrings unterhalb der zulässigen Grenzwerte liegen und damit alle Schutzanforderungen erfüllt sind. An allen maßgeblichen Immissionsorten werden die Grenzwerte weit unterschritten. Auch die Anforderungen zur Vorsorge und das darin enthaltene Minimierungsgebot der 26. BImSchVVwV [4] werden umfassend erfüllt. Somit ist festzuhalten, dass der Ostbayernring allen gesetzlichen Vorschriften hinsichtlich der Immission von elektrischen und magnetischen Feldern gerecht wird.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
A	Ampere (Einheit für die Stromstärke)
A/m	Ampere pro Meter (Einheit für die magnetische Feldstärke)
BImSchG	Bundesimmissionschutzgesetz
26. BImSchV	26. Bundesimmissionschutzverordnung
26. BImSchVVwV	Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder
Hz	Hertz (Einheit für die Frequenz)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
kV	Kilovolt (Einheit für die elektrische Spannung, 1 kV = 1000 V)
kV/m	Kilovolt pro Meter (Einheit für die elektrische Feldstärke)
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
T	Tesla (Einheit für die magnetische Flussdichte)
UW	Umspannwerk
WHO	Weltgesundheitsorganisation
μT	Mikrotesla (Einheit für die magnetische Flussdichte, $1 \mu\text{T} = 1 \times 10^{-6} \text{T}$)

Verzeichnis der Anhänge

Nummer	Beschreibung
Anhang 1	Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse
Anhang 2	Hersteller Zertifikat für Software WinField
Anhang 3	Koordinatenliste der Berechnungspunkte

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Elektrische Konfiguration für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf (Phasenlage bezogen auf Leitungsrichtung B161).....	17
Tabelle 2: Repräsentative Immissionsorte für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf	20
Tabelle 3: Berechnungsergebnisse der maximalen Feldstärken unterhalb der Leitung und am Bezugspunkt für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf	23
Tabelle 4: Berechnungsergebnisse der maximalen Feldstärken an den repräsentativen Immissionsorten für den Trassenverlauf zwischen Etzenricht und Schwandorf	24

Literaturverzeichnis

- [1] *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)*, Neugefasst durch Bek. v. 17.5.2013 I 1274; zuletzt geändert durch Art. 3 G v. 18.7.2017 I 2771.
- [2] *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, Neugefasst durch Bek. v. 14.8.2013 I 3266.
- [3] LAI, *Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder*, mit Beschluss der 54. Amtschefkonferenz in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18. September 2014 in Landshut.
- [4] *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV)*, 2015.