



## Fachtechnische Stellungnahme

# Fachtechnische Stellungnahme EMV-Bewertung Umrichterwerk Göhl zur Entwurfs- und Genehmigungsplanung der DB Energie GmbH

Dokument: 18-56030-TT.TVP 24(5)-FS-1805-V1.0  
Datum: 06.09.2018

Fachabteilung: TT.TVP 24(5)  
EMV, LST, ETCS und Übertragungstechnik



Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Bericht beschriebenen Sachverhalte. Dieser Bericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung des im Bericht genannten Auftragnehmers

## 1 Änderungsindex

Version	Datum	Änderungsinhalte
1.0	06.09.2018	Ersterstellung

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	<b>Änderungsindex</b>	2
2	<b>Angaben zum Auftrag</b>	5
3	<b>Zweck</b>	6
4	<b>Quellenverzeichnis / Literaturverzeichnis</b>	6
5	<b>Projektbeschreibung</b>	9
6	<b>Gesetzliche und normative Vorgaben</b>	13
6.1	<b>Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU), Elektromagnetische Felder (EMF)</b>	13
6.1.1	<b>Öffentlichkeitsschutz</b>	14
6.1.2	<b>Arbeitnehmerschutz</b>	16
6.1.3	<b>Schutz von Trägern aktiver medizinischer Implantate</b>	19
6.2	<b>Schutz vor elektrischem Schlag</b>	20
6.3	<b>Elektromagnetische Verträglichkeit zwischen technischen Einrichtungen (EMV)</b>	21
6.3.1	<b>Rückwirkungen auf die Spannungsqualität</b>	23
6.3.2	<b>Beeinflussung der Umgebung durch niederfrequente Felder</b>	25
6.3.3	<b>Beeinflussung der Umgebung durch hochfrequente Felder</b>	27
6.4	<b>Vergleich Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU)</b>	27
7	<b>Allgemeine Sachverhalte der Elektromagnetische (Umwelt-)Verträglichkeit</b>	28
8	<b>Projektbezogene Elektromagnetische (Umwelt-)Verträglichkeit</b>	29
8.1	<b>Galvanische Kopplung</b>	29
8.1.1	<b>Verknüpfungspunkt im 110 kV/50 Hz-Netz der Schleswig-Holstein Netz AG</b>	30
8.1.2	<b>Verknüpfungspunkt im 10 kV/50 Hz-Netz der Schleswig-Holstein-Netz AG</b>	31
8.2	<b>Kapazitive Kopplung</b>	32

<b>8.3</b>	<b>Induktive Kopplung</b>	<b>32</b>
<b>8.3.1</b>	<b>Magnetische Felder</b>	<b>33</b>
<b>8.3.2</b>	<b>Induktive Beeinflussung</b>	<b>38</b>
<b>8.3.3</b>	<b>Bewertung</b>	<b>39</b>
<b>8.4</b>	<b>Wellenbeeinflussung</b>	<b>39</b>
<b>8.5</b>	<b>Strahlungsbeeinflussung</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>40</b>
<b>10</b>	<b>Unterschriften</b>	<b>40</b>

### Verzeichnis der Abkürzungen

26. BImSchV	Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
A	Ampere
AfK	Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen
BL	Bahnstromleitung
Bf	Bahnhof
CE	Communauté Européenne (Europäische Gemeinschaft)
dUrw	dezentrales Umrichterwerk
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
EMF	Elektromagnetische Felder
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EMVU	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
ICNIRP	International Commission on non-ionizing radiation protection
kV	Kilovolt
$\lambda$	Lambda, Wellenlänge
LED	Light Emitting Diode (Licht Emittierende Diode)
LWL	Lichtwellenleiter
$\mu$ T	Mikrotesla
m	Meter
MHz	Megahertz
mT	Millitesla
SfB	Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen
Tk	Telekommunikation
Urw	Umrichterwerk
V	Volt
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektrik und Informationstechnik

VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.
Vg	Verbindungsleitung
VNB	Verteilnetzbetreiber
VPN	Virtual Private Network
W	Watt
z.B.	zum Beispiel
zUrw	zentrales Umrichterwerk

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des geplanten Umrichterwerks Göhl (Quelle: www.openstreetmap.org) .....	9
Abbildung 2: Lageplan des geplanten Umrichterwerks Göhl .....	10
Abbildung 3: Grundriss des geplanten Umrichterwerks Göhl.....	12
Abbildung 4: Lageplan der simulierten Felder im geplanten Umrichterwerk Göhl.....	35
Abbildung 5: Auszug aus der EMF-Datenbank der BNetzA (Stand 27.07.2018) .....	38

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzwerte der 26. BImSchV .....	15
Tabelle 2: Expositionsbereich 2 der GUV-R B11 .....	17
Tabelle 3: Expositionsbereich 1 der GUV-R B11 .....	17
Tabelle 4: Bereich erhöhter Exposition 2 h/d der GUV-R B11 .....	18
Tabelle 5: Auslöseschwellen, elektrische Felder EMFV.....	18
Tabelle 6: Auslöseschwellen, magnetische Induktion EMFV .....	18
Tabelle 7: Referenzwerte gemäß 1999/519/EG .....	19
Tabelle 8: Auslöseschwellen für statische Magnetfelder, Implantatschutz EMFV.....	19
Tabelle 9: Maximal zulässige Berührungsspannungen $U_{te, max}$ bei Wechselstrombahnen in Abhängigkeit der Zeitdauer gemäß DIN EN 50122-1, Kurzzeitvorgänge .....	20
Tabelle 10: Maximal zulässige Berührungsspannungen $U_{te, max}$ bei Wechselstrombahnen in Abhängigkeit der Zeitdauer gemäß DIN EN 50122-1, Langzeitvorgänge .....	20
Tabelle 11: Verträglichkeitspegel für die Grenzabweichung der Spannung, Spannungsunsymmetrie und Schwankungen der Netzfrequenz gemäß DIN EN 61000-2-4, Klasse 2 (öffentliche Netze) .....	24
Tabelle 12: Verträglichkeitspegel für Oberschwingungen - Oberschwingungsanteile der Spannung gemäß DIN EN 61000-2-4, Klasse 2 (öffentliche Netze).....	24
Tabelle 13: Verträglichkeitspegel für Gesamtverzerrung gemäß DIN EN 61000-2-4, Klasse 2 (öffentliche Netze) .....	25
Tabelle 14: Spannungsunsymmetrie gemäß VDN Technisch Regeln zu Beurteilung von Netzurückwirkungen.....	25
Tabelle 15: Spannungsschwankungen und -änderungen gemäß VDN Technisch Regeln zu Beurteilung von Netzurückwirkungen, Mittelspannungsnetze .....	25
Tabelle 16: Grenzwerte für eingekoppelte Spannungen (Effektivwerte) in Telekommunikationsleitungen gemäß DIN VDE 0845-6-1 in Abhängigkeit der Zeitdauer ..	26
Tabelle 17: Grenzwerte für das Rohrleitungspotential bei 16,7 Hz und 50 Hz gemäß DVGW GW 22 (A), TE7 bzw. AfK 3.....	26
Tabelle 18: Störempfindlichkeit von elektrischen und elektronischen Geräten und Einrichtungen .....	27
Tabelle 19: Magnetische Flussdichte (simuliert) am Zaun (SP2 bis SP8) und 5 m vor dem Zaun (SP1) des Umrichterwerks in Höhe 1 m für 16,7 Hz und 50 Hz, sowie die Summenbewertung .....	36

## 2 Angaben zum Auftrag

Die DB Energie GmbH beabsichtigt den Neubau des dezentralen Umrichterwerks Göhl. Zur Entwurfs- und Genehmigungsplanung wird dazu eine EMV-Bewertung benötigt, welche die zu erwartenden elektromagnetischen Auswirkungen der geplanten Anlage zur Entscheidungsfindung durch die Träger öffentlicher Belange und gegenüber Dritten aufzeigt.

Die DB Systemtechnik GmbH wurde mit dem Schreiben vom 03.05.2018 beauftragt, eine fachtechnische Stellungnahme zur elektromagnetischen Bewertung des geplanten Neubaus zu erstellen.

Auftraggeber:

DB Netz AG  
Technik Fehmarnbeltquerung  
I.NG-N-F  
Hammerbrookstraße 44  
20097 Hamburg

Herr Lars Lederer  
Tel.: +49 (0)40 39188270  
E-Mail: [Lars.Lederer@deutschebahn.com](mailto:Lars.Lederer@deutschebahn.com)

Auftragnehmer:

DB Systemtechnik GmbH  
TT.TVP 24(5)  
Völckerstraße 5  
D-80939 München

Ansprechpartner: Herr Markus Hößl  
Tel.: +49 (0)89 1308 - 7401  
E-Mail: [markus.hoessl@deutschebahn.com](mailto:markus.hoessl@deutschebahn.com)

Verteiler des Berichtes:

Siehe oben, Auftragnehmer und Auftraggeber je ein Exemplar (digital)

### 3 Zweck

Für das Projekt „Schienenanbindung der Festen Fehmarnbeltquerung – (FBQ)“ wird zur Absicherung der energetischen Versorgung der Oberleitungsanlage der neu zu elektrifizierenden Ausbau-/Neubaustrecke unter anderem ein neues dezentrales Umrichterwerk in Göhl benötigt. Der Neubau des Umrichterwerks soll in Göhl an der Gemeindegrenze Göhl und Oldenburg entstehen.

Im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung werden hierzu Einschätzungen zu den zu erwartenden elektromagnetischen Auswirkungen des geplanten Neubaus in Form von EMV-Betrachtungen benötigt. Dieses Dokument dient im Rahmen des Planungsverfahrens zur Vorlage bei Trägern öffentlicher Belange sowie betroffenen Dritten. Es dient nicht als Nachweis der Grenzwerteinhaltung bei Abnahmeprüfungen.

### 4 Quellenverzeichnis / Literaturverzeichnis

- [1] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV), BGBl. I S. 3266, 21.08.2013
- [2] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz; Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) beschlossen am 23.10.2014
- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV); Bundesanzeiger vom 03.03.2016
- [4] Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz) (1999/519/EG)
- [5] Richtlinie 2013/35/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder)
- [6] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV) vom 15. November 2016 (BGBl. I Nr. 54, S. 2531) in Kraft getreten am 19. November 2016
- [7] GUV-R B 11, Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz, „GUV-Regel Elektromagnetische Felder“ Stand 07/2002, Gesetzliche Unfallversicherung
- [8] DIN EN 50500, Messverfahren für magnetische Felder, die durch elektronische und elektrische Geräte in der Bahnumgebung erzeugt werden, hinsichtlich der Exposition von Personen, Stand 03/2009
- [9] DIN EN 50500/A1, Messverfahren für magnetische Felder, die durch elektronische und elektrische Geräte in der Bahnumgebung erzeugt werden, hinsichtlich der Exposition von Personen, Stand 08/2015 (Aktualisierung der Referenzen)
- [10] DIN EN 50499, Verfahren für die Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektromagnetischen Feldern, Stand 11/2009

- [11] DIN EN 50413, Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz), Stand 08/2009
- [12] DIN EN 50527-1, Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern - Teil 1: Allgemeine Festlegung, Stand 12/2017
- [13] DIN EN 50527-2-1, Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern - Teil 2-1: Besondere Beurteilung für Arbeitnehmer mit Herzschrittmachern, Stand 12/2017
- [14] DIN EN 62110, Elektrische und magnetische Felder, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden - Messverfahren im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung, Stand 08/2010
- [15] DIN EN 62110 Berichtigung 1, Elektrische und magnetische Felder, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden - Messverfahren im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung, Stand 07/2015
- [16] DIN EN 62311, Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz), Stand 09/2008
- [17] DIN EN 50522, Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV, Stand 11/2011
- [18] DIN EN 50122-1, Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag, Stand 10/2017
- [19] DIN VDE 0100-410, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4.41: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag, Stand 06/2007
- [20] DIN VDE 0100-410/A1, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4.41: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag, Stand 09/2016
- [21] DIN EN 45502-2-1, Aktive implantierbare medizinische Geräte - Teil 2-1: Besondere Festlegungen für aktive implantierbare medizinische Geräte zur Behandlung von Bradyarrhythmie (Herzschrittmacher), Stand 08/2004
- [22] DIN VDE 0228-3, Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen, Beeinflussung durch Wechselstrom-Bahnanlagen, Stand 09/1988
- [23] DIN VDE 0845-6, Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen, Normenreihe, Stand 2013 bis 2014
- [24] DIN EN 50121, Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit, Normenreihe, Stand 11/2017
- [25] DIN EN 50124-1, Bahnanwendungen - Isolationskoordinaten - Teil 1: Grundlegende Anforderungen - Luft- und Kriechstrecken für alle elektrischen und elektronischen Betriebsmittel, Stand 12/2017
- [26] DIN EN 50160, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Stand 02/2011
- [27] DIN EN 50160/A1, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Stand 02/2016
- [28] DIN EN 50163, Bahnanwendungen - Speisespannung von Bahnnetzen, Stand 07/2005

- [29] DIN EN 50163/A1, Bahnanwendungen – Speisespannung von Bahnnetzen, Stand 02/2008
- [30] DIN EN 50163 Berichtigung 1, Bahnanwendungen – Speisespannung von Bahnnetzen, Stand 11/2010
- [31] DIN EN 50163 Berichtigung 2, Bahnanwendungen – Speisespannung von Bahnnetzen, Stand 09/2014
- [32] DIN EN 50443, Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen, Stand 08/2012
- [33] DIN EN 55024, Einrichtungen der Informationstechnik – Störfestigkeitseigenschaften – Grenzwerte und Prüfverfahren, Stand 05/2016
- [34] DIN EN 55103, Elektromagnetische Verträglichkeit – Produktfamiliennorm für Audio-, Video- und audiovisuelle Einrichtungen sowie für Studio-Lichtsteuereinrichtungen für professionellen Einsatz, Normenreihe, Stand 2010 bis 2013
- [35] DIN EN 61000-2, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 2: Umgebungsbedingungen, Normenreihe
- [36] DIN EN 61000-3, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 3: Grenzwerte Oberschwingungsströme, Grenzwerte Flicker, Grenzwerte Spannungsschwankungen, Grenzwerte Spannungsänderungen, Normenreihe
- [37] Richtlinie 2014/30/EU des europäischen Parlaments und des Rats vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung)
- [38] Commission Guide to the Directive 2014/30/EU, March 2018
- [39] VDEW/VDN, Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW, Kompendium Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen, Stand 02.08.2007
- [40] SfB, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, Technische Empfehlungen Nr. 1 bis Nr. 3
- [41] DVGW GW 22 (A), Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen; textgleich mit der AfK-Empfehlung Nr. 3 und der Technischen Empfehlung Nr. 7 der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, Stand Februar 2014
- [42] Richtlinien DB / BDEW, Gas- und Wasserkreuzungsrichtlinien DB (Deutsche Bahn AG) / BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.) (Richtlinien 2012); DB Richtlinie 877
- [43] CCITT / ITU, Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Volume I – IX
- [44] EMVG, Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeits-Gesetz – EMVG) vom 14. Dezember 2016
- [45] Technischer Erläuterungsbericht Entwurfsplanung , 'Schiienenanbindung der Festen Fehmarnbeltquerung, Fehmarnbeltquerung (FBQ), Göhl, dUrw, Neubau; Entwurf 25.07.2018
- [46] Lageplan dUrw, „DB\_Energie\_Urw\_Göhl-1\_1000.pdf“ vom 23.07.2018
- [47] Lageplan dUrw, „Göhl, „DB\_Energie\_Urw\_Göhl.pdf“ vom 23.07.2018
- [48] Lageplan dUrw, „DB\_Energie\_Urw\_Göhl-dünn.pdf“ vom 23.07.2018



Das umzäunte Areal des geplanten Umrichterwerks beträgt etwa 49 m x 67 m. Nördlich des geplanten Umrichterwerks verläuft die neue Trasse der Bahnstrecke 1100. Die nächstgelegene Bebauung ist in ca. 510 m Entfernung zum geplanten Werkszaun in nördlicher Richtung eine Biogasanlage und in ca. 575 m Entfernung in nordwestlicher Richtung eine Wohnbebauung bzw. Arbeitsstätte.

Zur Versorgung des neuen Umrichterwerks sind zwei 110 kV/50 Hz-Drehstromkabelsysteme von dem neu zu errichtenden Umspannwerk der Firma Schleswig-Holstein Netz AG zum Umrichterwerk geplant. Diese Kabel enden im Umspannwerk an zwei Kundenfeldern (rosa Farbe in Abbildung 2), die Eigentum der DB Energie sein werden und von der Firma Schleswig-Holstein Netz AG betrieben werden. Die beiden 110 kV/50 Hz-Drehstromkabelsysteme sind ebenfalls Eigentum der DB Energie und werden von der Firma Schleswig-Holstein Netz AG betrieben.

Abbildung 2 zeigt den Lageplan des Umrichterwerks (rote Farbe) und des Umspannwerks (hellblaue Farbe). Die geplante neue Trasse der Bahnstrecke 1100 ist ebenfalls in hellblauer Farbe nördlich des Umrichterwerks eingezeichnet.

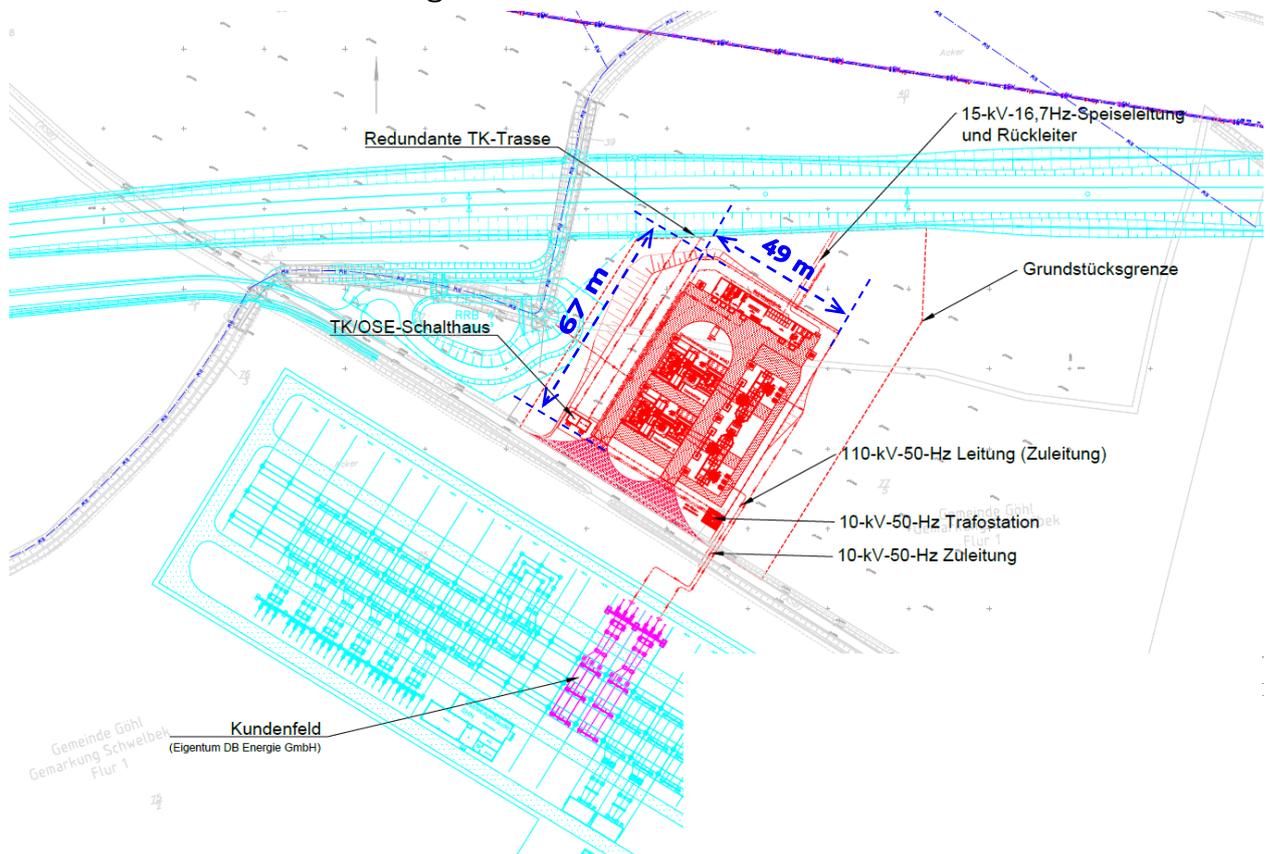


Abbildung 2: Lageplan des geplanten Umrichterwerks Göhl

Die Einspeisung beider Kabelsysteme erfolgt auf eine 110 kV/50 Hz-Freiluftschaltanlage. Die 110 kV/50 Hz-Schaltanlage besteht aus zwei Längstrennungen, zwei Kabel-Speisefeldern und zwei Umrichterabgangsfeldern. Sie ist als Einfachsammlerschienen ausgeführt, wobei Hybridmodule zum Einsatz kommen. Die zwei Umrichtermodule sind über Freileitungssysteme, die auf dem Gelände des Umrichterwerks verlaufen, an die 110 kV/50 Hz-Schaltanlage angeschlossen.

Die Umrichtermodule bestehen im Wesentlichen aus einem 110 kV/50 Hz-Transformator, Umrichtereinheiten mit Steuereinheiten, je nach Hersteller einem 15 kV/16,7 Hz-Transformator, Filtern und Drosseln, sowie einer Kühlmittelanlage. Die Umrichtertechnik ist entweder in Contai-

nern aus Stahlblech oder Betonfertigteilen untergebracht. Im Fall von Fertigbetonteilen wird deren Bewehrung elektrisch leitend miteinander und mit der Erdungs- und Potenzialausgleichsanlage des Umrichterwerks verbunden, wodurch ein wirksamer Blitzschutz existiert und das elektrische Feld abgeschirmt wird.

Die Anbindung der Umrichtermodule an die 15 kV/16,7 Hz-Schaltanlage erfolgt über Erdkabel. Die 15 kV/16,7 Hz-Schaltanlage ist als Innenraumschaltanlage ausgeführt und befindet sich in einem Betongebäude. Sie besteht aus 8 Schalt- bzw. Abzweigzellen. Von der 15 kV/16,7 Hz-Schaltanlage aus erfolgt die Ausspeisung auf 15 kV-Ebene auf der Gebäudenordseite über Erdkabel hin zur Bahnstrecke. Dort erfolgt eine Parallelverlegung zur geplanten Bahntrasse der Strecke 1100 in Form von Speisekabeln. Die Rückleiterkabel werden in gemeinsamer Trasse mit den Speisekabeln zur Bahntrasse geführt.

Das geplante Umrichterwerk soll die nachfolgenden drei Oberleitungseinspeisungen versorgen:

- Bad Schwartau (2 Speisekabel)
- Bf Göhl (2 Speisekabel)
- Puttgarden (2 Speisekabel)

Die Rückleiter der Umrichtermodule sowie die Bahnrückstromkabel münden in einem Rückleiterschrank, der sich auf dem Gelände des geplanten Umrichterwerks befindet.

Abbildung 3 zeigt einen Grundriss des geplanten Neubaus des Umrichterwerks.

Die Eigenversorgung des Umrichterwerks geschieht mittels eines Mittelspannungsanschlusses mit der zugehörigen Transformatorstation aus dem Netz der Schleswig-Holstein Netz AG im Ring. Derzeit beträgt die Spannung im Mittelspannungsnetz der Schleswig-Holstein Netz AG 6 kV; sie soll zukünftig auf 10 kV erhöht werden. Es wird davon ausgegangen, dass zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme bereits die Umstellung auf 10 kV im Mittelspannungsnetz erfolgt ist.

Die Transformatorstation ist als nicht begehbare Kompaktstation vorgesehen, die eine Transformatorleistung von 630 kVA besitzt. Die Mittelspannungseinspeisung erfolgt über Kabelanschluss. Niederspannungsseitig werden die Niederspannungsverteilungen für den Eigenbedarf - Hilfseinrichtungen im Urw - versorgt. Die Transformatorstation befinden sich aufgrund der erforderlichen Zugänglichkeit südlich außerhalb der Umzäunung des Umrichterwerks.

Aus Redundanzgründen für die Eigenbedarfsversorgung verfügt das geplante Umrichterwerk zusätzlich über einen Eigenbedarfsumrichter. Bei Ausfall der Mittelspannungsversorgung bezieht dieser seine Energie aus dem 15 kV/16,7 Hz-Oberleitungsnetz und setzt die Spannung und die Frequenz auf 400 V/50 Hz um, womit die elektrischen Einrichtungen des Umrichterwerks dann betrieben werden können.

Der Eigenbedarfsumrichter mit Trafo ist in separaten Räumen des Betongebäudes auf dem Gelände des Umrichterwerks untergebracht. Ebenfalls in separaten Räumen des Betongebäudes befinden sich der Leittechnikraum, der Eigenbedarfsraum mit separatem Batterieraum und ein Geräteraum. Alle Räume besitzen Türen nach außen.

Außerhalb des umzäunten Geländes des Umrichterwerks befindet sich ein Gebäude mit zwei Räumen, die der Telekommunikationsanbindung des Werks dienen. Parallel zu den

110 kV/50 Hz Erdkabeln verläuft ein optisches Kommunikationskabel, um Signale für den Anlagenschutz zu übertragen.

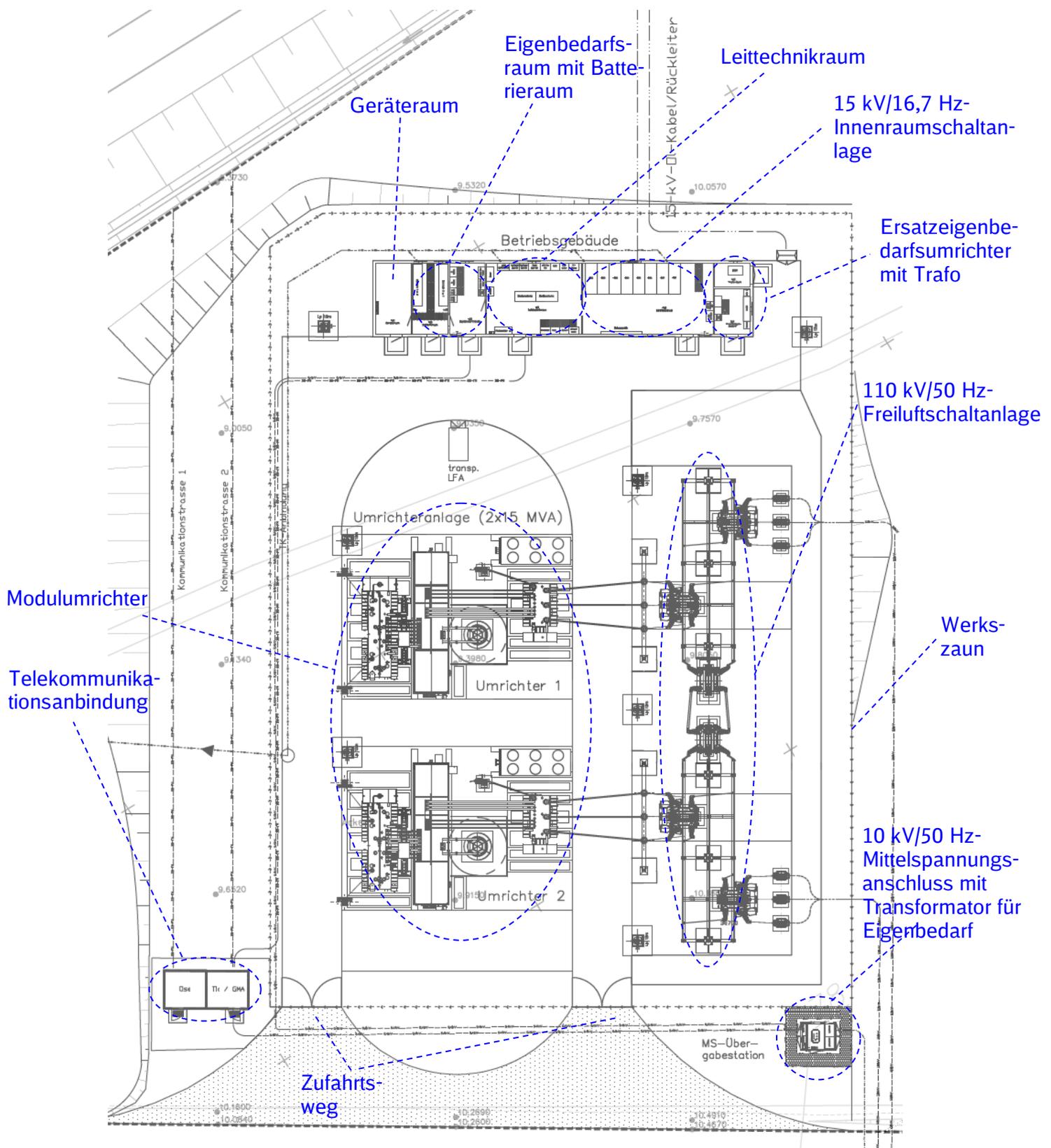


Abbildung 3: Grundriss des geplanten Umrichterwerks Göhl

Zusammengefasst verfügt das geplante Umrichterwerk über die nachfolgenden Schnittstellen:

- 110 kV/50 Hz- Drehstromkabelsysteme
- 15 kV/16,7 Hz-Speisekabel
- Rückleiterkabel
- 10 kV/50 Hz-Eigenbedarfsversorgung
- Telekommunikationskabel
- Optisches Kommunikationskabel parallel zu den 110 kV/50 Hz-Erdkabeln

## 6 Gesetzliche und normative Vorgaben

Die Anforderungen zur Elektromagnetischen Verträglichkeit lassen sich in zwei Teilbereiche untergliedern:

- Elektromagnetische Verträglichkeit zwischen technischen Einrichtungen (EMV) und
- Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU), welche sich auf den Einfluss auf Menschen bezieht (auch als Elektromagnetische Felder – EMF – bezeichnet).

Im Nachfolgenden werden die Anforderungen aus beiden Aspekten genauer ausgeführt.

### 6.1 Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU), Elektromagnetische Felder (EMF)

In Bezug auf die Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen und die Umwelt sind in Deutschland die nachfolgenden Vorschriften und Normen von Bedeutung.

Diese lassen sich formal in den Bereich öffentlich zugänglicher Orte (Öffentlichkeitsschutz) und den Bereich der Arbeitsstätten (Arbeitnehmerschutz) unterteilen. Darüber hinaus gelten für besonders schutzbedürftige Personen mit aktiven medizinischen Implantaten (z.B. Herzschrittmachern) zusätzliche Anforderungen.

Im Einzelnen:

- DIN EN 50500 [8] / DIN EN 50500/A1 [9]  
Messverfahren für magnetische Felder, die durch elektronische und elektrische Geräte in der Bahnumgebung erzeugt werden, hinsichtlich der Exposition von Personen
- DIN EN 50499 [10]  
Verfahren für die Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektromagnetischen Feldern
- DIN EN 50413 [11]  
Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)
- DIN EN 50527-1 [12]  
Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern – Teil 1: Allgemeine Festlegung
- DIN EN 50527-2-1 [13]  
Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren

medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern – Teil 2-1: Besondere Beurteilung für Arbeitnehmer mit Herzschrittmachern

- DIN EN 62110 [14] / DIN EN 62110 Berichtigung 1 [15]  
Elektrische und magnetische Felder, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden – Messverfahren im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung
- DIN EN 62311 [16]  
Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)
- DIN EN 50522 [17]  
Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
- DIN EN 50122-1 [18]  
Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung – Teil 1: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag
- DIN VDE 0100-410 [19] / DIN VDE 0100-410/A1 [20]
- DIN EN 45502-2-1 [21]  
Aktive implantierbare medizinische Geräte – Teil 2-1: Besondere Festlegungen für aktive implantierbare medizinische Geräte zur Behandlung von Bradyarrhythmie (Herzschrittmacher)

### 6.1.1 Öffentlichkeitsschutz

Für den Schutz in öffentlich zugänglichen Bereichen gelten in Deutschland die nachfolgenden Anforderungen:

- 26. BImSchV [1]
- LAI-Hinweise [2]
- 26. BImSchVVwV [3]

Bei der Exposition für Menschen in elektrischen und magnetischen Feldern von Niederfrequenzanlagen und Gleichstromanlagen ist die 26. BImSchV [1] zu beachten. Sie schreibt für Niederfrequenzanlagen in deren Umfeld die Einhaltung von Grenzwerten an Orten vor, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, siehe § 3, 26. BImSchV [1].

Zur Nachweisführung für die Einhaltung der dort vorgegebenen Grenzwerte für die elektrischen Felder und die magnetische Induktion sind die jeweiligen Feldstärken unter Berücksichtigung der Vorgaben aus „Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder“ (LAI) [2] zu bestimmen.

Gemäß den beiden Bestimmungen sind die elektrische Feldstärke und die magnetische Induktion (magnetische Flussdichte) am Umrichterwerkszaun und in einem Streifen mit einer Entfernung von 5 m dazu zu ermitteln (Bereich möglicher maßgeblicher Immissionsorte eines Umspannwerks/Unterwerks gemäß LAI [2], Abschnitt II.3.1), sofern sich in diesem Bereich maß-

gebliche Immissionsorte befinden. Die dabei erfasste magnetische Induktion ist auf die Nennleistung, bzw. den maximal dauerhaften Strom der Anlage zu beziehen und hochzurechnen.

Die 26. BImSchV [1] schreibt im Anhang 1a nachfolgende Grenzwerte vor:

Frequenz (f) in Hertz (Hz)	Grenzwerte	
	Elektrische Feldstärke in Kilovolt pro Meter (kV/m) (effektiv)	Magnetische Flussdichte in Mikrottesla (µT) (effektiv)
0	-	500
1 - 8	5	40 000/f <sup>2</sup>
8 - 25	5	5 000/f
25 - 50	5	200
50 - 400	250/f	200
400 - 3 000	250/f	80 000/f
3 000 - 10 000 000	0,083	27

Tabelle 1: Grenzwerte der 26. BImSchV

Davon abweichend darf die magnetische Flussdichte laut § 3 (1) und § 3 (2) der 26. BImSchV [1] bei einer Frequenz von 50 Hz lediglich die Hälfte des zugehörigen Grenzwertes ausschöpfen - dies entspricht 100 µT.

Gemäß Anhang 2a von [1] müssen alle vorhandenen Felder der Frequenzen von 1 Hz bis 10 MHz gemäß nachfolgender Formel für die E-Felder und für die B-Felder überlagert werden:

**Elektrische Felder:**

$$\sum_{1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{I_{E,i}}{G_{E,i}} \leq 1$$

mit

$I_{E,i}$  = Immissionsbeitrag des elektrischen Feldes bei Frequenz  $i$  im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz,

$G_{E,i}$  = Grenzwert der elektrischen Feldstärke bei Frequenz  $i$  im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz

**Magnetische Felder:**

$$\sum_{1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{I_{M,i}}{G_{M,i}} \leq 1$$

mit

$I_{M,i}$  = Immissionsbeitrag des magnetischen Feldes bei Frequenz  $i$  im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz,

$G_{M,i}$  = Grenzwert der magnetischen Flussdichte bei Frequenz  $i$  im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz

Bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte und der Durchführung der Überlagerung der Felder bei unterschiedlichen Frequenzen sind gemäß 26. BImSchV

[1], § 3 (3) alle Immissionen zu berücksichtigen, die durch andere Niederfrequenzanlagen sowie ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz, die einer Standortbescheinigung bedürfen, entstehen.

Anforderungen zur Vorsorge werden gemäß 26. BImSchV [1], § 4(2), bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen sowie Gleichstromanlagen derart definiert, dass die Möglichkeiten auszuschöpfen sind, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Dazu wurde die Verwaltungsvorschrift 26. BImSchVVwV [3] erlassen, welche die Anforderungen des Minimierungsgebots näher definiert.

Befindet sich in einem Streifen mit einer Entfernung von 20 m vom Umrichterwerkszaun ein maßgeblicher Minimierungsort gemäß Abschnitt 2.11 der 26. BImSchVVwV [3], so ist eine Ermittlung von Minimierungsmaßnahmen gemäß Abschnitt 3.2.2 der 26. BImSchVVwV [3] durchzuführen.

Für den Fall, dass sich ein maßgeblicher Minimierungsort gemäß Abschnitt 2.11 der 26. BImSchVVwV [3] in einem Streifen mit einer Entfernung von 5 m vom Umrichterwerkszaun befindet, so ist zusätzlich eine individuelle Minimierungsprüfung gemäß Abschnitt 3.2.2.2 der 26. BImSchVVwV [3] durchzuführen.

Bei der Minimierungsprüfung ist in diesen Fällen das Minimierungspotential der folgenden in § 5.2.4 der 26. BImSchVVwV [3] für Bahnstromnebenanlagen genannten technischen Möglichkeiten zu prüfen:

#### Abstandsoptimierung:

Feldverursachende Anlagenteile werden innerhalb des Betriebsgeländes oder des Betriebsgebäudes mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten errichtet; hierzu zählt auch die Erhöhung der Portale für zu- und abführende Freileitungen.

#### Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln:

Betriebsmittel oder Betriebsmittelelemente werden möglichst nah zusammen kompakt aufgebaut, damit sich die elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit werden die in Frage kommenden Minimierungsmaßnahmen bewertet und festgelegt.

### **6.1.2 Arbeitnehmerschutz**

Für den Schutz von Arbeitnehmern gelten in Deutschland die nachfolgenden Anforderungen:

- 2013/35/EU [5]
- EMFV [6]
- GUV-R B11 [7].

Die Richtlinie der europäischen Union 2013/35/EU [5] stellt eine Mindestvorschrift zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) dar. Sie wurde national in Deutschland als Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdung durch elektromagnetische Felder EMFV [6] umgesetzt. Um diese Verordnung umsetzen zu können, wird derzeit ein Leitfaden erstellt, der, unter anderem, die Rahmenbedingungen für die Ermittlung der Felder (Durchführung von Messungen) enthält.

Dieser Leitfaden fehlt derzeit noch. Bis zu dessen Veröffentlichung wird weiterhin die Unfallverhütungsvorschrift der Berufsgenossenschaft GUV-R B11 [7] angewendet.

Die GUV-R B11 [7] sieht eine Staffelung der Grenzwerte in Expositionsbereiche vor. Bei Einhaltung der Grenzwerte des Expositionsbereichs 2 brauchen vom Arbeitgeber keine besonderen Schutzmaßnahmen getroffen werden. Bei elektrischen oder magnetischen Feldern, die die Grenzwerte des Expositionsbereichs 2 überschreiten, jedoch die des Expositionsbereichs 1 einhalten, ist unter anderem eine Kennzeichnung und Unterweisung der Arbeitnehmer nötig. Überschreiten die Felder den Grenzwert des Expositionsbereichs 1 und halten den Expositionsbereich „erhöhter Exposition 2h/d“ ein, so ist unter anderem lediglich ein Aufenthalt eines Arbeitnehmers für 2 Stunden pro Tag (Schicht) in diesem Bereich erlaubt. Bereiche, in denen die Felder den Grenzwert für den Expositionsbereich „erhöhter Exposition 2 h/d“ überschreiten, dürfen bei Betrieb der Anlage nicht betreten werden.

Nachfolgende Tabellen geben die für Niederfrequenzanlagen relevanten Grenzwerte wieder:

Frequenzbereich f in Hz	Expositionsbereich 2	
	Effektivwert elektrische Feldstärke E in kV/m	Effektivwert magnetische Induktion B in mT
0 - 1	20	21,22
1 - 16,67	20	21,22 / f
16,67 - 1000	333,3 / f	21,22 / f
1000 - 29000	$333,3 \cdot 10^{-3}$	$21,22 \cdot 10^{-3}$
29000 - 91000	$333,3 \cdot 10^{-3}$	$21,22 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 2: Expositionsbereich 2 der GUV-R B11

Frequenzbereich f in Hz	Expositionsbereich 1	
	Effektivwert elektrische Feldstärke E in kV/m	Effektivwert magnetische Induktion B in mT
0 - 1	30	67,9
1 - 35,53	30	67,9 / f
35,53 - 66,67	1066 / f	67,9 / f
66,67 - 1000	1066 / f	67,9 / f
1000 - 29000	1,066	$67,9 \cdot 10^{-3}$
29000 - 48500	1,066	$67,9 \cdot 10^{-3}$
48500 - 91000	1,066	$67,9 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 3: Expositionsbereich 1 der GUV-R B11

Frequenzbereich f in Hz	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d	
	Effektivwert elektrische Feldstärke E in kV/m	Effektivwert magnetische Induktion B in mT
0 - 1	30	127,3
1 - 66,67	30	127,3 / f
66,67 - 1000	2000 / f	127,3 / f
1000 - 29000	2	127,3 * 10 <sup>-3</sup>
29000 - 48500	2	127,3 * 10 <sup>-3</sup>
48500 - 91000	97 / f	6,176 / f

Tabelle 4: Bereich erhöhter Exposition 2 h/d der GUV-R B11

Demgegenüber beschreibt das Schutzkonzept der EMFV [6] „untere Auslöseschwellen“ und „obere Auslöseschwellen“, die in den nachfolgenden Tabellen für die für Umrichteranlagen relevanten Frequenzbereiche wiedergegeben sind. Je nach Überschreitung dieser Auslöseschwellen sind vom Arbeitgeber entsprechende Maßnahmen einzuleiten, um den Schutz des Arbeitnehmers zu gewährleisten.

#### Elektrische Felder:

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke $E_e$ (V/m)	
	Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle
$0 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,82 \cdot 10^4$	$2,82 \cdot 10^4$
$25 \text{ Hz} \leq f < 50 \text{ Hz}$	$7,07 \cdot 10^5 / f$	$2,82 \cdot 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,635 \text{ kHz}$	$7,07 \cdot 10^5 / f$	$1,41 \cdot 10^6 / f$
$1,635 \text{ kHz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$7,07 \cdot 10^5 / f$	$8,62 \cdot 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$2,36 \cdot 10^2$	$8,62 \cdot 10^2$

Tabelle 5: Auslöseschwellen, elektrische Felder EMFV

#### Magnetische Flussdichte:

Frequenzbereich	Spitzenwert der magnetischen Flussdichte B (T)		
	Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle	Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen
$0 \text{ Hz} \leq f < 0,0175 \text{ Hz}$	2	2	8
$0,0175 \text{ Hz} \leq f < 0,1575 \text{ Hz}$	$35 \cdot 10^{-3} / f$	2	8
$0,1575 \text{ Hz} \leq f < 0,21 \text{ Hz}$	$35 \cdot 10^{-3} / f$	2	$1,26 / f$
$0,21 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$35 \cdot 10^{-3} / f$	$0,42 / f$	$1,26 / f$
$25 \text{ Hz} \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,42 / f$	$1,26 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$0,42 / f$	$0,42 / f$	$1,26 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$0,14 \cdot 10^{-3}$	$0,14 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 6: Auslöseschwellen, magnetische Induktion EMFV

### 6.1.3 Schutz von Trägern aktiver medizinischer Implantate

Für den Schutz von besonders schutzbedürftigen Personen gelten die nachfolgenden Anforderungen:

- 1999/519/EU [4]
- EMFV [6]

Für besonders schutzbedürftige Personen mit aktiven medizinischen Implantaten (z. B. Herzschrittmacher) führt die Norm DIN EN 50527-2-1 [13] im Abschnitt 4.1.1 aus, „dass entsprechend EN 45502-2-1 [21] und ISO 14117 davon ausgegangen wird, dass ein Schrittmacher unbeeinflusst arbeitet, solange die in der Ratsempfehlung 1999/519/EG [4] angegebenen Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nicht überschritten sind“.

Die in der Ratsempfehlung 1999/519/EG [4] für die Allgemeinbevölkerung angegebenen Referenzwerte bei den für Niederfrequenzanlagen zu betrachtenden Frequenzen sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Frequenzbereich	Stärke des E-Felds (V/m)	Stärke des H-Felds (A/m)	B-Feld (μT)	Entsprechende Leistungsdichte ebener Wellen $S_{eq}$ (W/m <sup>2</sup> )
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	—
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10 000	$4\,000/f$	$5\,000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—

Tabelle 7: Referenzwerte gemäß 1999/519/EG

Die Norm EN 45502-2-1 [21] schreibt im Abschnitt 27.6, dass implantierbare Impulsgeber von statischen Magnetfeldern mit einer Flussdichte von bis zu 1 mT nicht beeinflusst werden dürfen.

Die EMFV [6] definiert gemäß Schutzkonzept die nachfolgenden Auslöseschwellen für die magnetische Flussdichte bei statischen Magnetfeldern für Arbeitnehmer mit aktiven medizinischen Implantaten bzw. für am Körper getragene medizinische Geräte.

Magnetische Flussdichte $B$ (mT)	
Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle
0,5	1

Tabelle 8: Auslöseschwellen für statische Magnetfelder, Implantatschutz EMFV

## 6.2 Schutz vor elektrischem Schlag

An Starkstrom- und Bahnstromanlagen dürfen keine gefährlichen Spannungen abgegriffen werden können und keine gefährlichen Berührungsspannungen auftreten, um den Schutz gegen einen elektrischen Schlag und somit die Sicherheit zu gewährleisten. Die maximal zulässigen Berührungsspannungen hängen von der Dauer der Berührung bzw. der Dauer der anstehenden Spannung ab.

Die nachfolgenden Tabellen geben die Werte der maximal erlaubten Berührungsspannungen für 50 Hz-Starkstromanlagen und 16,7 Hz-Bahnstromanlagen gemäß DIN EN 50122-1 [18] wieder. Diese Grenzwerte für Kurzzeitvorgänge und Langzeitvorgänge dürfen nicht überschritten werden.

Zeitdauer in sec	Zulässige Berührungsspannung $U_{te, max}$ in V
0,02	865
0,05	835
0,1	785
0,2	645
0,3	480
0,4	295
0,5	220
0,6	180
< 0,7	155

Tabelle 9: Maximal zulässige Berührungsspannungen  $U_{te, max}$  bei Wechselstrombahnen in Abhängigkeit der Zeitdauer gemäß DIN EN 50122-1, Kurzzeitvorgänge

Zeitdauer in sec	Zulässige Berührungsspannung $U_{te, max}$ in V
0,7	90
0,8	85
0,9	80
1,0	75
300	65
> 300	60

Tabelle 10: Maximal zulässige Berührungsspannungen  $U_{te, max}$  bei Wechselstrombahnen in Abhängigkeit der Zeitdauer gemäß DIN EN 50122-1, Langzeitvorgänge

Die Norm DIN VDE 0100-410/A1 [20] gibt als maximal dauernd zulässige Berührungsspannung bei Wechselstromanlagen einen Wert von 50 V an.

### 6.3 Elektromagnetische Verträglichkeit zwischen technischen Einrichtungen (EMV)

Um ein beeinträchtigungsfreies Funktionieren der einzelnen technischen Einrichtungen einer elektrotechnischen Anlage, z.B. eines Umrichterwerks, zu gewährleisten und andere technische Einrichtungen außerhalb der Anlage bzw. des Umrichterwerks nicht unzulässig zu beeinflussen, sind schon während der Anlagenplanung unter anderem die nachfolgenden Normen, Richtlinien und Vorschriften zu berücksichtigen.

- DIN VDE 0228-3 [22]  
Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen, Beeinflussung durch Wechselstrom-Bahnanlagen
- DIN VDE 0845-6 [23]  
Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen, Normenreihe
- DIN EN 50121 [24]  
Bahnanwendungen – Elektromagnetische Verträglichkeit, Normenreihe
- DIN EN 50124-1 [25]  
Bahnanwendungen – Isolationskoordinaten – Teil 1: Grundlegende Anforderungen – Luft- und Kriechstrecken für alle elektrischen und elektronischen Betriebsmittel
- DIN EN 50160 [26] / DIN EN 50160/A1 [27]  
Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen
- DIN EN 50163 [28] / DIN EN 50163/A1 [29] / DIN EN 50163 Berichtigung 1 [30] / DIN EN 50163 Berichtigung 2 [31]  
Bahnanwendungen – Speisespannung von Bahnnetzen
- DIN EN 50443 [32]  
Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen
- DIN EN 55024 [33]  
Einrichtungen der Informationstechnik – Störfestigkeitseigenschaften – Grenzwerte und Prüfverfahren
- DIN EN 55103 [34]  
Elektromagnetische Verträglichkeit – Produktfamiliennorm für Audio-, Video- und audiovisuelle Einrichtungen sowie für Studio-Lichtsteuereinrichtungen für professionellen Einsatz, Normenreihe
- DIN EN 61000-2 [35]  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 2: Umgebungsbedingungen, Normenreihe
- DIN EN 61000-3 [36]  
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 3: Grenzwerte Oberschwingungsströme, Grenzwerte Flicker, Grenzwerte Spannungsschwankungen, Grenzwerte Spannungsänderungen, Normenreihe
- Richtlinie 2014/30/EU [37]  
des europäischen Parlaments und des Rats vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung

der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung)

- Commission Guide to the Directive 2014/30/EU [38]
- VDEW/VDN [39]  
Kompendium Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen
- SfB [40]  
Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, Technische Empfehlungen Nr. 1 bis Nr. 3
- DVGW GW 22 (A) [41]  
Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen; textgleich mit der AfK-Empfehlung Nr. 3 und der Technischen Empfehlung Nr. 7 der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen
- Richtlinien DB / BDEW [42]  
Gas- und Wasserkreuzungsrichtlinien DB (Deutsche Bahn AG) / BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.) (Richtlinien 2012); DB Richtlinie 877
- CCITT / ITU [43]  
Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines
- EMVG [44]  
Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeits-Gesetz - EMVG)

Unter dem Begriff der elektromagnetischen Verträglichkeit versteht man zum einen die Störfestigkeit einer Einrichtung, d.h. die Einrichtung funktioniert in ihrer vorgesehenen elektromagnetischen Umgebung ohne unzulässige Beeinträchtigungen und zum anderen die Störaussendung einer Einrichtung, d.h. die Einrichtung beeinflusst keine anderen Einrichtungen in ihrer Umgebung auf unzulässige Art und Weise durch die von ihr ausgehenden Störgrößen.

Die elektromagnetische Verträglichkeit ist auf europäischer Ebene mittels der EMV - Richtlinie 2014/30/EU [37] des europäischen Parlaments und des europäischen Rats geregelt. Dazu hat die europäische Kommission einen Leitfaden (Commission Guide to the Directive 2014/30/EU [38]) veröffentlicht. Die nationale Umsetzung der Richtlinie stellt das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln EMVG [44] dar. Die darin enthaltenen Forderungen an technische Einrichtungen und Systeme sind sehr abstrakt und allgemein gehalten. Daher werden diese im Rahmen von Normen genauer präzisiert. Auf europäischer Ebene ist für EMV das Normungskomitee CENELEC zuständig, welches europäisch harmonisierte Normen erarbeitet. Auf nationaler Ebene in Deutschland ist dies die Deutsche Kommission für Elektrotechnik Informationstechnik im DIN und VDE (DKE), welche die europäischen Normen national herausgibt und gegebenenfalls eigene nationale Normen erstellt.

Die EMV - Richtlinie 2014/30/EU [37] behandelt sowohl Produkte (Geräte), die an jeden Ort verbracht werden können, als auch ortsfeste Anlagen, die eine Gesamtheit von Geräten darstellen und an einem bestimmten Ort installiert sind. Der Hersteller von Geräten hat die Pflicht, die Konformität mit der EMV - Richtlinie 2014/30/EU [37] und somit dem EMVG [44] nachzuweisen. Das Konformitätsbewertungsverfahren bietet hierzu zwei Möglichkeiten:

1. Interne Fertigungskontrolle  
Nachweis unter anderem durch die Einhaltung der entsprechenden harmonisierten Normen und entsprechende Dokumentation

oder

2. EU-Baumusterprüfung  
Nachweis mit Hilfe einer Benannten Stelle, welche den technischen Entwurf des Geräts untersucht und prüft.

Da Anlagen aus verschiedenen Komponenten, Bauteilen, Apparaten und Systemen aufgebaut sind, die eventuell für sich noch nicht die elektromagnetische Verträglichkeit nachgewiesen haben, wird oft erst durch fachkundige Zusammenschaltung unter Berücksichtigung der anerkannten Regeln der Technik die elektromagnetische Verträglichkeit erreicht.

Mit Hilfe eines Konformitätsnachweises muss bei ortsfesten Starkstromanlagen, wie z.B. die elektrotechnischen Anlagen eines Bahnhofs, Haltepunkts oder Umrichterwerks, die Erfüllung der Anforderungen aus dem EMVG [44] sichergestellt werden. Dies geschieht auf Basis der EMV-Dokumentation, welche die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik beim Errichten der Anlage dokumentiert. Diese Dokumentation weist die Erfüllung der Anforderungen nach, die sich aus der Umgebung der Anlage ergeben.

Die technischen Schnittstellen des gesamten Umrichterwerks in die Außenwelt und damit dessen elektromagnetische Verträglichkeit sind in diesem Dokument vorrangig zu betrachten. Diese Anforderungen können grob in die nachfolgenden Teilbereiche untergliedert werden, die nachfolgend näher erläutert werden:

- Rückwirkungen auf die Spannungsqualität
- Beeinflussung der Umgebung durch niederfrequente Felder
- Beeinflussung der Umgebung durch hochfrequente Felder

### **6.3.1 Rückwirkungen auf die Spannungsqualität**

Starkstromanlagen wie ein Umrichterwerk der Bahn besitzen prinzipiell zweierlei Verbindungen in das öffentliche Stromnetz, einerseits einen Mittelspannungsanschluss, der die Eigenbedarfsanlagen des Umrichterwerks mit elektrischer Energie versorgt und andererseits einen Hoch- bzw. Höchstspannungsanschluss, der die zur Umrichtung in Bahnstrom nötige elektrische Energie bereitstellt. Durch Rückwirkungen des Umrichterwerks kann die Spannungsqualität dieser Netzanschlüsse negativ beeinflusst werden. Dadurch kann die Spannungsqualität in den öffentlichen Netzen verschlechtert werden, was sich auf benachbarte Verbraucher und Anlagen auswirkt und unter Umständen zu einer Erhöhung der Übertragungsverluste und einer Reduktion der Lebensdauer dieser Anlagen oder von Geräten führen kann. Durch die Beachtung der Vorgaben der Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber bei der Planung und dem Betrieb des Umrichterwerks können unakzeptable Störungen in öffentlichen Versorgungsnetzen als Rückwirkung der Einrichtungen und Anlagen des Umrichterwerks vermieden werden. Nationale und europäische Normen sowie technische Anschlussbedingungen der Netzbetreiber regeln entsprechende Vorgaben.

Eine Beeinträchtigung der Spannungsqualität wirkt sich generell in den nachfolgenden Phänomenen aus:

- Spannungsabweichungen
- Spannungseinbrüche und Kurzzeitunterbrechungen
- Spannungsunsymmetrien
- Zeitweilige Schwankungen der Netzfrequenz
- Oberschwingungen
- Zwischenharmonische – können zu Flicker führen (Flackern in Beleuchtungsanlagen)
- Spannungsanteile oberhalb der 50. Harmonischen
- Transiente Überspannungen
- Gleichanteil

Nicht für alle dieser Phänomene werden in den Normen und Anschlussbedingungen der Netzbetreiber verbindliche Grenzwerte vorgegeben. Die nachfolgenden Tabellen geben Grenzwerte aus entsprechenden europäischen Normen und Grenzwerte des Verbands deutscher Netzbetreiber (VDN) beim VDEW wieder.

Eigenschaft	zulässiger Wertebereich
Abweichung bezogen auf Nennspannung $U_N$ ( $\Delta U/U_N$ )	$\pm 10 \%$
Spannungsunsymmetrie $U_{neg}/U_{pos}$	2 %
Abweichungen von der Netzfrequenz $\Delta f/f_N$	$\pm 1$ Hz

Tabelle 11: Verträglichkeitspegel für die Grenzabweichung der Spannung, Spannungsunsymmetrie und Schwankungen der Netzfrequenz gemäß DIN EN 61000-2-4, Klasse 2 (öffentliche Netze)

Ungeradzahlige Oberschwingungen, keine Vielfachen von 3		Ungeradzahlige Oberschwingungen, Vielfache von 3		Geradzahlige Oberschwingungen	
Oberschwingungsordnung h	Oberschwingungsspannung %	Oberschwingungsordnung h	Oberschwingungsspannung %	Oberschwingungsordnung h	Oberschwingungsspannung %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,4	6	0,5
13	3	21	0,3	8	0,5
17	2	$21 < h \leq 45$	0,2	10	0,5
$17 < h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$			$10 < h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$

Tabelle 12: Verträglichkeitspegel für Oberschwingungen – Oberschwingungsanteile der Spannung gemäß DIN EN 61000-2-4, Klasse 2 (öffentliche Netze)

Eigenschaft	zulässiger Wert
Gesamtverzerrungsfaktor oder (THD)	8 %

Tabelle 13: Verträglichkeitspegel für Gesamtverzerrung gemäß DIN EN 61000-2-4, Klasse 2 (öffentliche Netze)

Zulässiger Unsymmetriegrad	zulässiger Wert
Im gesamten Netz (alle Verbraucher am Einspeisepunkt / Verknüpfungspunkt*) im Netz)	$k_U \leq 2 \%$
Einzelne Verbraucher über 10 Minuten gemittelt	$k_{U,i} = 0,7 \%$

Unsymmetriegrad  $k_U = \text{Gegenkomponente} / \text{Mitkomponente} = U_{\text{neg}}/U_{\text{pos}}$

\*) Punkt im Versorgungsnetz, der mit der zu untersuchenden Last verbunden ist und an dem noch weitere Verbraucher angeschlossen sind/werden können

Tabelle 14: Spannungsunsymmetrie gemäß VDN Technisch Regeln zu Beurteilung von Netzurückwirkungen

Wiederholrate $r \text{ min}^{-1}$	Relative Spannungsänderung $d = \Delta U/U_N$
$r \leq 0,1$	$d \leq 2 \%$
$0,01 \leq r < 0,1$	$d \leq 2 \%$
$r < 0,01$	$d \leq 3 \%$

Tabelle 15: Spannungsschwankungen und -änderungen gemäß VDN Technisch Regeln zu Beurteilung von Netzurückwirkungen, Mittelspannungsnetze

### 6.3.2 Beeinflussung der Umgebung durch niederfrequente Felder

Starkstromanlagen wie ein statisches Umrichterwerk der Bahn verursachen in ihrer Umgebung elektrische und magnetische Felder im Niederfrequenzbereich. Diese sind am stärksten bei den verwendeten Grundfrequenzen ausgeprägt, also 50 Hz aus der öffentlichen Energieversorgung und 16,7 Hz aus der Bahnenergie-technik. Die Beeinflussung durch elektrische Felder spielt bei einem Umrichterwerk eine untergeordnete Rolle. Durch Potenzialausgleich, Erdung und Masung kann ihre Wirkung vermindert werden.

Die Auswirkungen der Magnetfelder lassen sich in zwei Bereiche unterteilen:

- Spannungsinduktion in metallische Leiter
- Störwirkung durch die magnetischen Felder bzw. magnetischen Flussdichten selbst

Die Spannungsinduktion beruht auf den sich ändernden magnetischen Feldern beim Vorhandensein elektrischer Leiter (Leitungen). Dies können z.B. Telekommunikationsleitungen oder Rohrleitungen (z.B. Wasserleitungen, Gasleitungen) sein.

Die nachfolgenden Tabellen geben für beide Fälle einzuhaltende Berührungsspannungen entsprechend nationaler Normen bzw. Richtlinien wieder.

Dauer / s	Spannung (Effektivwert) / V
$t \leq 0,2$	1030
$0,2 < t \leq 0,5$	650
$0,5 < t \leq 1$	430
$1 < t \leq 3$	150
$t > 3$	60

Tabelle 16: Grenzwerte für eingekoppelte Spannungen (Effektivwerte) in Telekommunikationsleitungen gemäß DIN VDE 0845-6-1 in Abhängigkeit der Zeitdauer

Art der Beeinflussung	Grenzwert für das Rohrleitungspotential
Langzeit	$U_R \leq 60 \text{ V}$
Kurzzeit nur im Fehlerfall	$U_R \leq 1000 \text{ V}$

Tabelle 17: Grenzwerte für das Rohrleitungspotential bei 16,7 Hz und 50 Hz gemäß DVGW GW 22 (A), TE7 bzw. AfK 3

Hinweis: Bei den Anforderungen in den Tabelle 16 und Tabelle 17 handelt es sich vorrangig um Personenschutzanforderungen, bei Tabelle 16 auch um Anforderungen aufgrund der Störfestigkeit von Geräten/Anlagen. Da die Spannungen jedoch nicht von den Anlagen selbst erzeugt werden, sondern von der Beeinflussung benachbarter Anlagen stammen, sind die Anforderungen im Abschnitt EMV aufgeführt.

Die Störwirkung durch die magnetischen Felder bzw. magnetischen Flussdichten selbst kann bei Röhrenmonitoren und Röhrenfernsehgeräten bereits bei magnetischen Flussdichten von wenigen  $\mu\text{T}$  zu Bildbeeinträchtigungen führen. Dazu definiert die Norm DIN EN 55103-2 [34] frequenzabhängige Prüfpegel bei Frequenzen von 50 Hz bis 10 kHz für Geräte, die z.B. im Wohnbereich oder in der Schwerindustrie eingesetzt werden. Die Norm DIN EN 50121-4 [24] gibt mögliche Beeinflussungen von ungeschirmten Monitoren mit Kathodenstrahlröhren für die Frequenzen 0 Hz, 16,7 Hz und 50 Hz ab  $1,26 \mu\text{T}$  an. Diese Störfestigkeitsgrenzwerte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Umgebung	Grenzwert in $\mu\text{T}^{1)}$	Grenzwert in $\mu\text{T}^{1)}$	Grenzwert in $\mu\text{T}$
Frequenz f	0 Hz	16,7 Hz	50 Hz
Wohnbereich	1,26 $\mu\text{T}$	1,26 $\mu\text{T}$	1,26 $\mu\text{T}$
Schwerindustrie	12,6 $\mu\text{T}^{2)}$	12,6 $\mu\text{T}^{2)}$	12,6 $\mu\text{T}$

1) Die Grenzwerte bei den Frequenzen 0 Hz und 16,7 Hz sind der Aussage der Norm EN 50121-4 entnommen, wonach ungeschirmte Monitore mit Kathodenstrahlröhren bei magnetischen Feldstärken oberhalb 1 A/m Störbeeinflussungen zeigen können.

2) Diese Werte sind aus dem Grenzwert für 50 Hz übernommen.

Tabelle 18: Störempfindlichkeit von elektrischen und elektronischen Geräten und Einrichtungen

### 6.3.3 Beeinflussung der Umgebung durch hochfrequente Felder

Da in statischen Umrichterwerken elektronische Leistungsschalter zur Umrichtung der Frequenz zum Einsatz kommen, können in derartigen Starkstromanlagen auch Frequenzen erzeugt werden, die über den Niederfrequenzbereich hinausgehen. Mit steigender Frequenz nehmen die erzeugten Pegel der entstehenden Frequenzen in der Regel stark ab. Sie können jedoch konstruktionsbedingt bei anlagentypischen Frequenzen dennoch vorhanden sein.

Bei ortsfesten Anlagen und Einrichtungen der Bahnenergieversorgung ist der Teil 5 der DIN EN 50121 - DIN EN 50121-5 [24] und gegebenenfalls auch der Teil 2 - DIN EN 50121-2 [24] anzuwenden.

Die Norm DIN EN 50121-2 [24] gibt für Umrichterwerke der Bahn, deren Hauptfunktion in der Versorgung einer Fahrleitung besteht, verbindliche Grenzwerte vor, währenddessen die Norm DIN EN 50121-5 [24] für Umrichterwerke der Bahn, deren Hauptfunktion nicht in der Versorgung einer Fahrleitung besteht, keine verbindlichen Grenzwerte enthält. Sie zeigt jedoch auf, mit welcher Höhe der auftretenden elektrischen und magnetischen Felder innerhalb der Grenzen dieser Anlagen zu rechnen ist. Inwieweit diese Felder durch Abstrahlung in die Umgebung abgegeben werden, hängt sehr stark von den entstehenden Frequenzen, den eingesetzten Filtermaßnahmen und den Abstrahlcharakteristika der Leitungs- und Leiteranordnungen ab.

In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass die entstehenden hochfrequenten Felder eines Umrichterwerks eher weniger direkt vom Umrichterwerk in die Umgebung abgestrahlt werden, sondern eher zusammen mit den niederfrequenten Anteilen zur Rückwirkung auf die Spannungsqualität (Netzurückwirkung) beitragen.

### 6.4 Vergleich Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU)

Ein Vergleich der gesetzlichen und normativen Vorgaben der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit - Personenschutz (siehe Kapitel 6.1 dieses Dokuments) mit den entsprechenden Anforderungen der elektromagnetischen Verträglichkeit - Schutz von technischen Einrichtungen (siehe Kapitel 6.3 dieses Dokuments), zeigt, dass die Anforderungen zum Schutz von technischen Einrichtungen weit restriktiver ausfallen.

Letztlich resultieren die Grenzwerte für den Personenschutz auf Erkenntnissen und Angaben der WHO und der internationalen Strahlenschutzkommission zum Schutz vor nichtionisierender

Strahlung (ICNIRP) und beinhalten hohe Sicherheitsfaktoren. Die ICNIRP-Empfehlungen und die EU-Richtlinie 1999/519/EG [4] unterscheiden zwischen Basisgrenzwerten und Referenzgrenzwerten. Werden die Referenzgrenzwerte eingehalten, so schließt dies auch die Einhaltung der Basisgrenzwerte mit ein. Eine Überschreitung der Referenzgrenzwerte hingegen bedeutet nicht zwangsläufig auch eine Überschreitung der Basisgrenzwerte. Es sollte dann jedoch geprüft werden, ob die Expositionswerte unter den Basisgrenzwerten liegen.

Die Anforderungen zum Schutz von technischen Einrichtungen beruhen auf einer sinnvollen Abwägung der gegenseitigen Störaussendungen und Störfestigkeiten der Anlagen und Geräte zueinander, sowie von Störaussendungen und vorhandenen Nutzsignalfeldstärken bzw. Nutzsinalspannungen in der Kommunikations- und Informationstechnik. Dabei spielt die Verkopplung der Anlagen und Geräte miteinander, sowie das Umfeld, in dem eine Anlage bzw. ein Gerät bestimmungsgemäß betrieben werden soll, eine wichtige Rolle.

## 7 Allgemeine Sachverhalte der Elektromagnetische (Umwelt-)Verträglichkeit

Die elektromagnetische Verträglichkeit und die elektromagnetische Umweltverträglichkeit zeichnen sich durch drei Eigenschaften aus:

- Physikalische Eigenschaften der Beeinflussungsquelle, hier das Umrichterwerk
- Physikalische Eigenschaften der elektromagnetischen Kopplung zwischen Beeinflussungsquelle und Beeinflussungssenke
- Physikalische Eigenschaften der Beeinflussungssenke, hier Personen, Geräte und Anlagen in der Nachbarschaft des Umrichterwerks

Die elektromagnetische Kopplung lässt sich in die nachfolgenden Arten unterteilen:

- Galvanische Kopplung: Sie besteht aus einer direkten, elektrisch leitfähigen Verbindung zwischen der Beeinflussungsquelle und der Beeinflussungssenke.
- Kapazitive Kopplung: Sie beruht auf dem elektrischen Feld in Form von Influenz.
- Induktive Kopplung: Sie beruht auf dem magnetischen Feld in Form von Induktion.
- Wellenbeeinflussung: Sie tritt bei höheren Frequenzen auf und beruht auf dem Überkoppeln zwischen Leitungen entsprechend der vorhandenen Koppelimpedanz.
- Strahlungsbeeinflussung: Sie beruht auf dem elektromagnetischen Feld, wobei sowohl die Quelle, bzw. Teile der Quelle, als auch die Senke, bzw. Teile der Senke, als Antennen wirken (vgl. Funkempfang).

Die elektromagnetische Verträglichkeit gilt als hergestellt, wenn die Beeinflussungssenke – hier vor allem das Umfeld des Umrichterwerks – durch die Beeinflussungsquelle – hier vor allem das

Umrichterwerk – nicht unzulässig beeinflusst/beeinträchtigt wird. Im Umkehrschluss dürfen die Bahnanlagen auch nicht unzulässig durch Geräte und Anlagen im Umfeld beeinflusst/beeinträchtigt werden.

Ziel ist immer, die elektromagnetische Verträglichkeit herzustellen. Dies kann durch die nachfolgenden Maßnahmen erreicht werden:

- Die Störaussendungen (Störintensität) der Beeinflussungsquelle wird reduziert.
- Der Kopplung zwischen Beeinflussungsquelle und Beeinflussungssenke wird verringert.
- Die Störfestigkeit der Senke wird erhöht.

Erreicht werden können diese Maßnahmen durch technische Charakteristika, Geometrieanordnung und Materialeigenschaften.

## **8 Projektbezogene Elektromagnetische (Umwelt-)Verträglichkeit**

Das Umrichterwerk besteht aus energietechnischen Anlagen (z.B. Umrichtermodulen, Hoch- und Mittelspannungskomponenten usw.), die wegen ihrer hohen Leistungen („Starkstromanlagen“) als Beeinflussungsquelle angesehen werden müssen und selbst kaum beeinträchtigt werden, sowie aus Telekommunikations-, Leit-, Steuer-, Schutz- und Messeinrichtungen, die wegen ihrer geringen Leistung („Schwachstromanlagen“) im Vergleich zu den energietechnischen Anlagen nicht nennenswert zum Störpotential des Umrichterwerks beitragen.

Die elektromagnetische Verträglichkeit der „Schwachstromkomponenten“ innerhalb des Umrichterwerks wird erreicht, wenn CE gekennzeichnete Komponenten verwendet werden, die fachgerecht geplant und entsprechend dem Stand der Technik errichtet und betrieben werden.

Für die EMV – Bewertung innerhalb dieses Dokuments sind ausschließlich die energietechnischen Anlagen („Starkstromanlagen“) des Umrichterwerks von Belang. Im nachfolgenden werden die unter Kapitel 7 dieses Dokuments benannten elektromagnetischen Koppelmechanismen für das Umrichterwerk konkretisiert.

### **8.1 Galvanische Kopplung**

Das Umrichterwerk besitzt die nachfolgenden galvanischen Kopplungen mit dem öffentlichen Stromnetz, an das noch weitere Verbraucher angeschlossen sind:

- Verknüpfungspunkt der beiden dreiphasigen 110 kV/50 Hz-Systeme der 110 kV-Erdkabel zum geplanten Umspannwerk der Firma Schleswig-Holstein Netz AG
- Verknüpfungspunkt des dreiphasigen 10 kV/50 Hz-Mittelspannungsanschlusses im Ring mit dem Mittelspannungsnetz der Schleswig-Holstein Netz AG, das der Versorgung der zugehörigen Transformatorstation der Eigenbedarfsanlage des Umrichterwerks dient

Formal stellt der Verknüpfungspunkt einen Punkt im Versorgungsnetz dar, der mit dem zu untersuchenden Verbraucher (hier das Bahnumrichterwerk und Eigenbedarfsversorgung) galvanisch verbunden ist. An diesem Punkt können noch weitere Verbraucher angeschlossen sein. Die Rückwirkung durch die an den Verknüpfungspunkten angeschlossenen Verbraucher (das Bahnumrichterwerk und Eigenbedarfsversorgung) beeinflusst die Spannungen an diesen Punkten, wodurch weitere Anlagen und Verbraucher, die an diesen Punkten angeschlossen sind,

ebenfalls beeinflusst werden können. Dieses Phänomen wird als Netzurückwirkung bezeichnet. Es beruht auf der galvanischen Kopplung verschiedener Verbraucher an den Verknüpfungspunkten und kann im Allgemeinen zu Spannungsschwankungen, Flicker, Unsymmetrien und Störungen durch Oberwellen führen, siehe hierzu Kapitel 6.3.1 dieses Dokuments.

### **8.1.1 Verknüpfungspunkt im 110 kV/50 Hz-Netz der Schleswig-Holstein Netz AG**

Generell können die nachfolgenden Punkte eine Netzurückwirkung am Verknüpfungspunkt des 110 kV/50 Hz-Versorgungsnetzes verursachen:

- Umrichtersteuerung und Umrichterregelung
- Größe der Last des Umrichterwerks
- Änderungen der Last des Umrichterwerks
- Oberschwingungen.

Durch die Umrichtersteuerung und Umrichterregelung können möglicherweise unsymmetrische Belastungen, merkliche Spannungsschwankungen und Spannungsänderungen hervorgerufen werden. Um diese Auswirkungen zu vermeiden, muss eine ausreichend große Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich trägt eine entsprechende Auslegung der Umrichtersteuerung und Umrichterregelung zur Vermeidung unakzeptabler Spannungsschwankungen bzw. Spannungsänderungen sowie unakzeptabler unsymmetrischer Belastungen bei.

Die Spannungsänderungen am Verknüpfungspunkt sind vom Verhältnis der Umrichterwerkslast zur Kurzschlussleistung bzw. der Netzkapazität am Verknüpfungspunkt abhängig. Eine ausreichend große Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt reduziert somit die Änderung der Spannung am Verknüpfungspunkt auf ein akzeptables Maß.

Während der Planungsphase sind sowohl die benötigte Versorgungssicherheit als auch die vorhandene Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt zu überprüfen, um daraus die Anforderungen an die 110 kV/50 Hz-Einspeisung ableiten und festlegen zu können. Durch eine eventuell nötige Erhöhung der Verfügbarkeit und der Netzkapazität im Versorgungsnetz in Abstimmung zwischen der Planungsstelle des Umrichterwerks und dem Netzbetreiber kann eine ausreichende Reserve für die benötigte Umrichterwerksleistung mit der erforderlichen Versorgungssicherheit gewährleistet werden. Diese Parameter müssen beim Neubau des Umspannwerks der Firma Schleswig-Holstein Netz AG, das unter anderem der Versorgung des Umrichterwerks dienen wird, Beachtung finden.

Im Gegensatz zu reinen Umspannwerken werden bei statischen Umrichterwerken durch die leistungselektronischen Bauelemente der Umrichtermodule Schaltvorgänge durchgeführt, um die Frequenz der Spannung und des Stroms entsprechend umzusetzen. Dies führt unweigerlich zu Oberschwingungen. Diese Oberschwingungen können durch Filtermaßnahmen und den Aufbau des Umrichters (oberschwingungsarme Umrichtertopologie) selbst vermindert werden. Eine Kombination aus beiden Maßnahmen schließt – bei richtiger Dimensionierung/Auslegung – eine diesbezüglich unakzeptable Netzurückwirkung des Umrichterwerks aus.

Generell lassen sich unakzeptable galvanische Beeinflussungen am Verknüpfungspunkt des 110 kV/50 Hz-Netzes verhindern, indem die Einhaltung entsprechender Normen, Richtlinien

und Anschlussbedingungen des Netzbetreibers während der Planungsphase, der Ausführung und des Betriebs des Umrichterwerks Beachtung finden.

### **8.1.2 Verknüpfungspunkt im 10 kV/50 Hz-Netz der Schleswig-Holstein-Netz AG**

Prinzipiell können die nachfolgenden Punkte eine Netzurückwirkung am Verknüpfungspunkt des 10 kV/50 Hz-Versorgungsnetzes verursachen:

- Größe der Last durch den Eigenbedarf des Umrichterwerks
- Änderungen der Last durch den Eigenbedarf des Umrichterwerks
- Oberschwingungen auf der Mittelspannungsseite der Transformatorstation

Die Spannungsänderungen am Verknüpfungspunkt sind vom Verhältnis der Mittelspannungslast des Umrichterwerks zur Kurzschlussleistung bzw. der Netzkapazität am Verknüpfungspunkt abhängig. Eine ausreichend große Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt reduziert somit die Änderung der Spannung am Verknüpfungspunkt auf ein akzeptables Maß und vermeidet damit negative Auswirkungen wie z.B. Flicker.

Eine sorgfältige Aufteilung der Lasten des Eigenbedarfs auf die drei Phasen während der Planungsphase des Umrichterwerks minimiert mögliche Störungen durch unsymmetrische Belastungen am Verknüpfungspunkt des 10 kV/50 Hz-Versorgungsnetzes, wodurch eine entsprechende Beeinflussung durch die Netzurückwirkung der Eigenbedarfsanlage des Umrichterwerks weitestgehend – bei richtiger Dimensionierung/Auslegung – ausgeschlossen werden kann.

Durch Energieversorgungsgeräte für Rechner, Leit-, Steuerungs-, Schutz- und Informationstechnik, die meist als Schaltnetzteile ausgeführt sind, werden trotz geringem Leistungsbedarf teilweise relativ hohe Frequenzen erzeugt, die im zweistelligen Kilohertzbereich, mitunter auch im dreistelligen Kilohertzbereich liegen. Ähnliches gilt für Beleuchtungsanlagen mittels Leuchtstoffröhren oder LEDs. Die Amplituden dieser Oberschwingungen fallen in der Regel, verglichen zur Nennleistung der vorgesehenen Mittelspannungstransformatorstation relativ gering aus. Aufgrund der Höhe der Frequenz im zwei- bis dreistelligen Kilohertzbereich können sie recht gut mit Filtern bedämpft werden, was meist schon ausreichend durch die Induktivitäten der Eigenversorgungsanlage des Umrichterwerks geschieht. Sofern Komponenten eingesetzt werden, die der EMV - Richtlinie 2014/30/EU [37] unterliegen, dürfen diese ohnehin keine unzulässigen Störbeeinflussungen verursachen. Zusätzlich werden unzulässige Oberschwingungen durch die Eigenbedarfsverbraucher, durch den bestimmungsgemäßen Betrieb der Verbraucher und eine fachmännische Planung und Errichtung der Anlage vermieden.

Generell lassen sich unakzeptable galvanische Beeinflussungen am Verknüpfungspunkt des 10 kV/50 Hz-Netzes verhindern, indem die entsprechenden Normen, Richtlinien und Anschlussbedingungen des Verteilnetzbetreibers (VNB) während der Planungsphase, der Ausführung und des Betriebs der Mittelspannungstransformatorstation Beachtung finden. Da die Planungen der Transformatorstation ohnehin mit dem Verteilnetzbetreiber gemeinsam erfolgt, sind unakzeptable Netzurückwirkungen auf den Verknüpfungspunkt des 10 kV/50 Hz-Versorgungsnetzes praktisch ausgeschlossen.

## 8.2 Kapazitive Kopplung

Unter Spannung stehende Leiter verursachen durch die einhergehenden elektrischen Felder mittels Influenz die Aufladung benachbarter metallischer Leiter. Dies betrifft die 110 kV/50 Hz-Einrichtungen, die 15 kV/16,7 Hz-Einrichtungen und die 10 kV/50 Hz-Eigenbedarfseinrichtung des Umrichterwerks. Der Effekt der Influenz wird zuverlässig durch eine fachgerecht geplante und ausgeführte Erdung sowie eine fachgerechte Umsetzung der Maßnahmen zum Potentialausgleich vermieden. Der Werkszaun des Umrichterwerks gewährleistet in der Regel, dass die innerhalb des Umrichterwerks auftretenden niederfrequenten elektrischen Felder im Außenbereich des Umrichterwerks die gesetzlichen Vorschriften und Regeln einhalten, die in den Tabellen der Kapitel 6.1.1 und 6.1.3 für den Schutz der Öffentlichkeit bzw. von Trägern aktiver medizinischer Implantate angegeben sind.

Der 110 kV/50 Hz-Anschluss des Umrichterwerks wird mittels zweier dreiphasiger Hochspannungserdkabelsysteme realisiert. Diese Kabel besitzen einen geerdeten, metallischen Schirm und sind in der Erde verlegt. Dadurch gehen von dieser Kabeltrasse im Außenraum des Umrichterwerks keine niederfrequenten elektrischen Felder aus, die die vorgeschriebenen Grenzwerte überschreiten. Nach dem Übergang von Erdkabel auf Hochspannungsleiterseile zum Anschluss an die 110 kV/50 Hz-Freiluftschaltanlage innerhalb des umzäunten Geländes des Umrichterwerks gewährleistet der genügend große Abstand der Leiterseile zum Werkszaun, dass die vorgeschriebenen Grenzwerte für niederfrequente elektrische Felder außerhalb des Zauns eingehalten werden.

Die 15 kV/16,7 Hz-Ausspeisungen des Umrichterwerks sind mittels Erdkabel realisiert. Diese Kabel besitzen einen geerdeten, metallischen Schirm und sind in der Erde verlegt. Dadurch gehen von dieser Kabeltrasse im Außenraum des Umrichterwerks keine niederfrequenten elektrischen Felder aus, die die vorgeschriebenen Grenzwerte überschreiten. Die 15 kV/16,7 Hz-Kabel führen direkt in die 15 kV-Schaltanlage. Die Schaltanlage ist metallisch gehaust und befindet sich in einem Raum eines Betongebäudes innerhalb der Umzäunung des Umrichterwerks. Dadurch ist sichergestellt, dass außerhalb der Umzäunung des Umrichterwerks die vorgeschriebenen Grenzwerte für niederfrequente elektrische Felder von den von der 15 kV/16,7 Hz-Schaltanlage herrührenden Immissionen nicht überschritten werden.

Der 10 kV/50 Hz-Anschluss des Umrichterwerks wird mittels dreiphasiger Kabelsysteme im Ring ausgeführt. Diese Kabel besitzen einen geerdeten, metallischen Schirm und sind in der Erde verlegt. Dadurch gehen von dieser Kabeltrasse im Außenraum des Umrichterwerks keine niederfrequenten elektrischen Felder aus, die die vorgeschriebenen Grenzwerte überschreiten. Die Kabel führen direkt in die nicht begehbare Trafostation. Die Trafostation befindet sich außerhalb der Umzäunung des Umrichterwerks. Sie stellt einen Betonbau dar, der die innerhalb der Trafostation auftretenden niederfrequenten elektrischen Felder derart abschirmt, dass sichergestellt ist, dass außerhalb der Trafostation die vorgeschriebenen Grenzwerte nicht überschritten werden.

## 8.3 Induktive Kopplung

Wechselstromführende elektrische Leiter verursachen durch die einhergehenden magnetischen Wechselfelder mittels Induktion eine Spannung in benachbarten elektrischen Leitern. Die Höhe dieser Spannung ist unter anderem von der Höhe der magnetischen Wechselfelder und somit von der Höhe des fließenden Stroms, also der Auslastung des Umrichterwerks abhängig. Da-

neben spielen auch die Art der Quelle - z.B. Freileitung, Erdkabel, Transformator, Filterdrossel - sowie die Kopplung der Leiter zueinander - Entfernung der Leiter, Länge der Parallelführung, Anordnung von Hin- und Rückleiter zueinander - eine entscheidende Rolle.

### 8.3.1 Magnetische Felder

Die dominierenden magnetischen Wechselfelder des Umrichterwerks, welche in seiner unmittelbaren Umgebung feststellbar sind, treten bei den Frequenzen 16,7 Hz (Bahnstromfrequenz) und 50 Hz (Netzfrequenz der öffentlichen Energieversorgung, die das Umrichterwerk versorgt) auf.

Die magnetischen Wechselfelder bei der Frequenz von 16,7 Hz sind sehr stark von der Auslastung des Umrichterwerks abhängig. So ist in den Hauptverkehrszeiten des Zugbetriebs im Gegensatz zu den Schwachlastzeiten mit vergleichsweise höheren magnetischen 16,7 Hz-Wechselfeldern an der Umzäunung des Umrichterwerks zu rechnen.

Südlich des geplanten Umrichterwerks plant die Firma Schleswig-Holstein Netz AG die Errichtung eines Umspannwerks, das das Umrichterwerk per Erdkabel zukünftig versorgt. Durch das Vorhandensein dieses Werks können gemessene magnetische Wechselfelder bei der Frequenz von 50 Hz südlich des geplanten Umrichterwerks eventuell nicht eindeutig dem Umrichterwerk zugeordnet werden, da sie auch vom Umspannwerk emittiert worden sein können.

Die magnetischen Felder nehmen generell mit zunehmender Entfernung von der Feldquelle gemäß physikalischer Gesetzmäßigkeiten ab. Bei einem einzelnen stromdurchflossenen Leiter geschieht diese Feldabnahme indirekt proportional zur Entfernung vom Leiter. Bei zwei Leitern, die gegenphasig stromdurchflossen sind, geschieht die magnetische Feldabnahme - ab einem gewissen Abstand - mit der zweiten Potenz des Abstands zu diesen Leitern. Dies ist bei Sammelschienen und den Schaltanlagen der Umrichtermodule für Orte außerhalb des Umrichterwerks der Fall. Mit der dritten Potenz des Abstands reduzieren sich die Felder von Transformatoren und Drosselspulen außerhalb des Umrichterwerks.

Zur Abschätzung der zu erwartenden Magnetfeldstärken wurden die hauptsächlichen Feldquellen des Urws und dessen Anbindung mit Hilfe eines Simulationsprogramms berechnet. Dabei wurden konservative Eingabeparameter herangezogen, so dass die realen Felder darunter liegen sollten. Für die Ströme wurden die folgenden Werte berücksichtigt:

- Ausgangsstrom 16,7 Hz der Umrichter: 2 x 1111 A (entspricht 2 x 15 MW mit  $\cos \varphi = 0,9$ )
- Strom in der Sammelschiene 16,7 Hz: 2222 A
- 2222 A thermischer Grenzstrom, bzw. Gesamtausspeisung des Umrichterwerks
- 110 kV/50 Hz-Anbindung: 175 A (Betrieb nur aus einem 110 kV-System - worst case)
- Strom in der 110 kV/50 Hz-Sammelschiene: 175 A
- Strom in den beiden Leitungsanbindungen der 50 Hz-Sammelschiene an die Umrichter jeweils: 87,5 A

Die Verlegetiefe der 15 kV/16,7 Hz-Ausspeisekabel wird mit 0,3 m angesetzt, der Abstand zwischen Ausspeisekabeln und Rückleitungsanschlußkabel gemäß Lageplan [47] mit 1 m.

Die 110 kV/50 Hz-Anbindung erfolgt über zwei dreiphasige Hochspannungskabelsysteme.

Die Tabelle 19 listet die dort in der Simulation berechneten Feldwerte auf.

Die verschiedenen Feldquellen werden im folgenden erläutert:

Bei Vollast der beiden Umrichtermodule (2 x 15 MW bei  $\cos \varphi = 0,9$ ) können die von der 110 kV/50 Hz-Anbindung inkl. Schaltfeld und Umrichter-Anbindung erzeugten 50Hz-Magnetfeldanteile - bei den zu Grunde gelegten worst-case Annahmen direkt über den vom Umspannwerk kommenden Anbindungskabeln bis zu  $67 \mu\text{T}$  in 0,2 m Höhe erreichen. An diesem Punkt SP1 sowie den anderen Punkten, an denen die 50 Hz-Magnetfeldanteile überwiegen (das sind die weiteren Punkte SP2, SP3, SP4 und SP8) werden die Grenzwerte der 26. BImSchV für 50 Hz-Magnetfelder sowie für die Summe aus 16,7- und 50 Hz-Magnetfeldern eingehalten.

Aufgrund des Abstands der Umrichtermodule von mehr als 6 m vom Zaun des Umrichterwerks, kann davon ausgegangen werden, dass die elektromagnetischen Immissionen durch die Umrichtermodule außerhalb des Zauns eingehalten werden. Eine definitive Aussage zu den zu erwartenden Feldern am westlichen Zaun (Felder der Umrichtermodule nicht in der Simulation berücksichtigt) kann nach Festlegung auf einen Lieferanten der Umrichtermodule von diesem getroffen werden. Da in der Nähe (20 m) des westlichen Zauns keine Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt vorzufinden sind, werden hier die Anforderungen der 26. BImSchV [1] sicher eingehalten.

Die 16,7 Hz-Feldanteile, die durch die zugehörige Schaltanlage und die Ausspeisungen in die 15 kV/16,7 Hz-Erdkabel resultieren, können am Zaun in 20 cm Höhe direkt über den zu den Gleisen führenden Erdkabeln (Punkt SP7 in Abbildung 4) die in der 26. BImSchV definierten Grenzwerte ( $300 \mu\text{T}$  bei 16,7 Hz) deutlich überschreiten, während ansonsten am nördlichen Zaun (z. B. an dem Punkt SP6) und am östlichen Zaun (z. B. am Punkt SP5) aufgrund der großen Abstände der Ausspeisekabel und der den Rückstrom führenden Kabel zum Zaun die Grenzwerte unterschritten bleiben. Am nördlichen Zaun direkt über der Ausspeisung werden die Grenzwerte deutlich um ein Vielfaches des Grenzwerts überschritten, da hier die feldkompensierende Wirkung einer Parallelführung mit dem Rückstrom nur schlecht gegeben ist (Abstand zwischen Ausspeisekabel und Rückleitungsanschlusskabel von 1 m in der Simulation). Die Kabeltrasse zu den Gleisen ist nicht durch einen Zaun abgegrenzt, so dass auch außerhalb des Zauns der Grenzwert überschritten wird. Durch eine Optimierung der Leiterverlegung (Abstandsoptimierung zwischen parallelverlaufenden Ausspeisekabeln und Rückleitungsanschlusskabeln bzw. tiefere Verlegung der Kabel) lassen sich hier die Feldanteile deutlich senken. Da sich jedoch in der Umgebung (20 m Abstand) des nördlichen Zauns und entlang der Ausspeisekabeltrasse keine Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt befinden (Errichtung auf dem freien Feld), ergeben sich hier keine Anforderungen aus der 26. BImSchV.

Die Anbindung der Ausgänge der Umrichtermodule an die 15 kV/16,7 Hz-Schaltanlage erfolgt über Erdkabel. Im vorliegenden Plan [47] ist deren Verlauf noch nicht eingezeichnet, so dass diese Anbindung in der Simulation unberücksichtigt blieb. Da diese Kabel aber bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung einen mit 1111 A je Umrichter sehr hohen Strom tragen, müssen diese Kabel für die Beurteilung der Immissionssituation auf jeden Fall mit berücksichtigt werden. Ein mit 1111 A beaufschlagtes Erdkabel erzeugt ein Magnetfeld, das in 75 cm Entfernung von diesem Kabel eine Stärke von  $300 \mu\text{T}$  einnimmt und in 1,5 m Entfernung einen Wert von  $150 \mu\text{T}$  (entsprechend  $300 \mu\text{T}$  bei zwei zusammen geführten Kabeln in 1,5 m Entfernung) erreicht. D. h. unterschreitet der Abstand dieser Erdkabel zum Zaun diese Werte, so können u.

U. am Zaun Magnetfelder von  $300 \mu\text{T}$  auftreten, wenn nicht die Rückstromführung parallel zu den Erdkabeln erfolgt. Durch eine geeignete Trassierung (Abstand vom Zaun, Tiefe der Kabeltrasse) der Verbindungskabel der Umrichter­ausgänge mit der  $15 \text{ kV}/16,7 \text{ Hz}$ -Schaltanlage innerhalb des Zauns evtl. auch in Parallelführung mit den den Rückstrom tragenden Kabeln lässt sich jedoch ein Überschreiten der Grenzwerte außerhalb des Zauns zuverlässig verhindern.

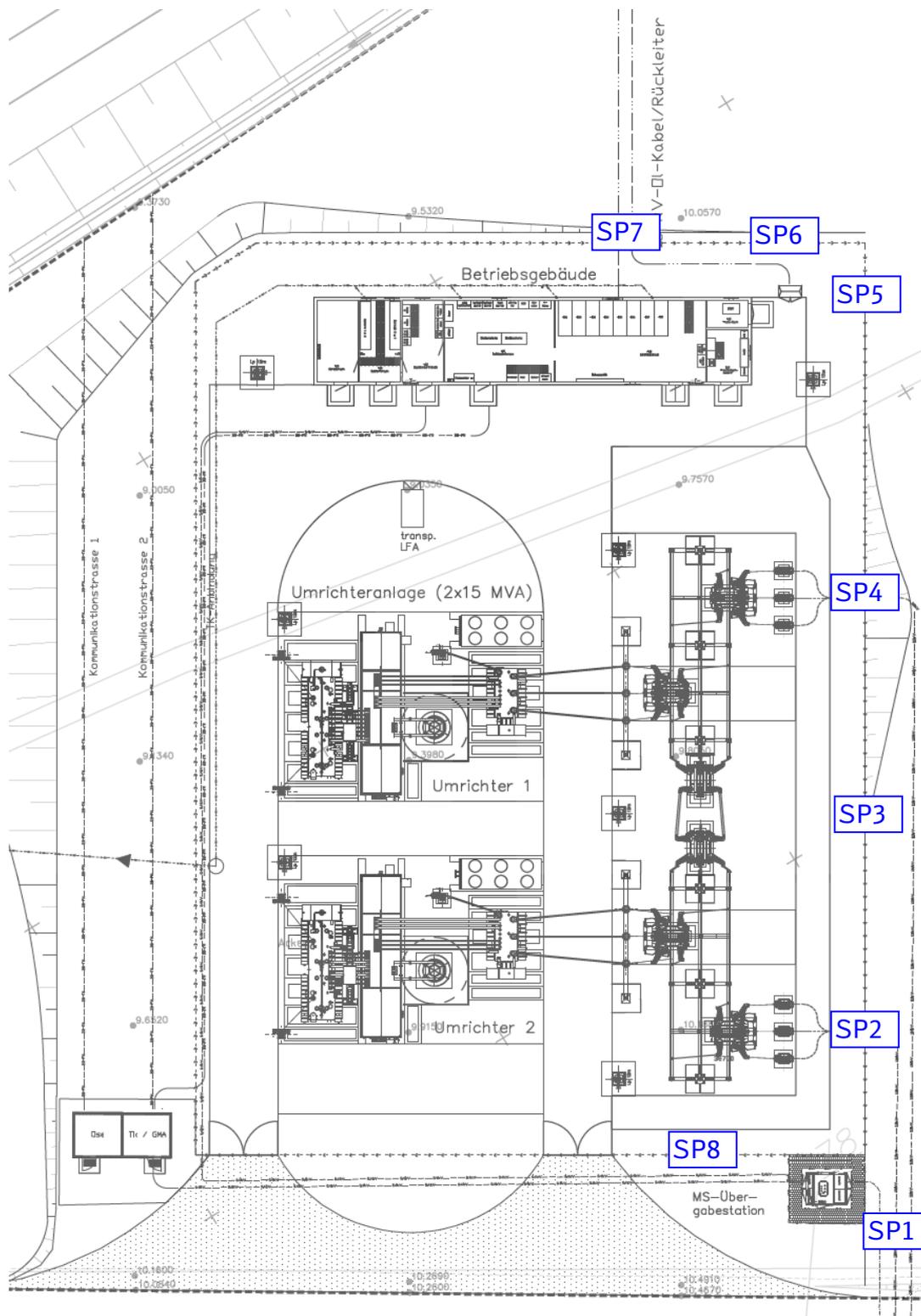


Abbildung 4: Lageplan der simulierten Felder im geplanten Umrichterwerk Göhl

Ort (gemäß Abbildung 4)	B-Feld mit 16,7 Hz / $\mu\text{T}$	B-Feld mit 50 Hz / $\mu\text{T}$	Summenformel in %
SP1	0,7 0,7 <sup>*)</sup>	10 67 <sup>*)</sup>	11 68 <sup>*)</sup>
SP2	1,1 1,1 <sup>*)</sup>	6 31 <sup>*)</sup>	6,5 31 <sup>*)</sup>
SP3	2,0 2,0 <sup>*)</sup>	2,7 3,1 <sup>*)</sup>	3,4 3,8 <sup>*)</sup>
SP4	4,3 4,3 <sup>*)</sup>	5,2 31 <sup>*)</sup>	6,7 32 <sup>*)</sup>
SP5	17 18 <sup>*)</sup>	0,2 0,2 <sup>*)</sup>	5,8 6,2 <sup>*)</sup>
SP6	120 139 <sup>*)</sup>	0,14 0,14 <sup>*)</sup>	40 53 <sup>*)</sup>
SP7	185 860 <sup>*)</sup>	0,2 0,2 <sup>*)</sup>	62 278 <sup>*)</sup>
SP8	0,9 0,9 <sup>*)</sup>	1,9 1,8 <sup>*)</sup>	2,2 2,1 <sup>*)</sup>

\*) Höhe 0,2 m über Grund

Tabelle 19: Magnetische Flussdichte (simuliert) am Zaun (SP2 bis SP8) und 5 m vor dem Zaun (SP1) des Umrichterwerks in Höhe 1 m für 16,7 Hz und 50 Hz, sowie die Summenbewertung

Der 10 kV/50 Hz-Mittelspannungsanschluss besitzt eine Kompaktstation in nicht begehbarer Ausführung mit einem 630 kVA-Transformator, siehe Kapitel 5. Direkt an den Außenwänden der nicht begehbaren Trafostationen kann es bei Volllast - je nach Herstellertyp der Trafostation - zur Ausschöpfung des Grenzwerts für magnetische Wechselfelder der 26. BImSchV [1] - oder sogar zur Überschreitung des Grenzwerts - kommen. In 1 Meter Abstand von den Transformatorstationen ist der Grenzwert für magnetische Wechselfelder der 26. BImSchV [1] sicher eingehalten. Da es sich in den Bereichen bis zu 1 Meter um die Kompaktstationen nicht um Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, (siehe LAI [2], Abschnitt II.3.2) handelt, werden die Anforderungen der 26. BImSchV [1] dennoch erfüllt.

Die Kompaktstation wird über Mittelspannungsspeisekabel versorgt. Die räumlich enge Anordnung der Leiter im Dreiphasen 10 kV-Kabel führt, bei halbwegs symmetrischer Auslastung der drei Phasen, in einem Abstand von wenigen Metern zur nahezu vollständigen Kompensation der magnetischen Felder der Ströme der einzelnen Leiter/Phasen. Bei Einhaltung der gültigen Verlegestandards für Kabel in öffentlichen Bereichen kann damit eine unakzeptable Belastung durch magnetische Wechselfelder, hervorgerufen durch die Speisekabel des Mittelspannungsanschlusses für den Eigenbedarf des Umrichterwerks, praktisch ausgeschlossen werden.

Bzgl. der Vorbelastung durch andere Niederfrequenzanlagen in der Nähe des Urws lässt sich folgendes aussagen:

Südlich des geplanten Standorts des Umrichterwerks plant die Firma Schleswig-Holstein Netz AG den Neubau eines Umspannwerks. Dieses Umspannwerk dient unter anderem der Versorgung der geplanten Umrichterwerks mit elektrischer Energie, siehe Kapitel 5. Zwischen beiden Anlagen befindet sich der Qualser Weg bzw. Brookamp. Der Abstand beider Anlagen voneinander beträgt ca. 31 Meter. Laut LAI [2], Abschnitt II.3.1 stellt der Bereich für mögliche maßgebliche Immissionsorte um Umspannanlagen, bzw. Unterwerke - und ein Umrichterwerk stellt ein Unterwerk im Sinne dieses Dokuments dar - einen an die Anlage angrenzenden Streifen mit der Breite von 5 Meter dar. Da sich die Streifen mit der Breite von 5 Meter um beide Anlagen nicht überschneiden, tragen laut LAI [2], Abschnitt II.3.4 die beiden Anlagen gegenseitig nicht relevant zur Vorbelastung der jeweils anderen Anlage bei. Folglich trägt der geplante Neubau des Umspannwerks nicht relevant zur Vorbelastung bei.

Bei der Erstellung dieses Dokument sind weder die Trassenverläufe der Hochspannungsfreileitungen noch die technischen Parameter der Hochspannungsfreileitungen, die zum geplanten Umspannwerk führen, bekannt, daher konnten bei den vorstehend durchgeführten Berechnungen mögliche Feldeinträge durch die Hochspannungsfreileitungen am Standort des Umrichterwerks nicht als Vorbelastung mit berücksichtigt werden.

Da es sich jedoch bei dem an das Umrichterwerk angrenzenden Streifen der Breite von 5 Metern nicht um Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen handelt, ist eine Berücksichtigung der möglichen Feldeinträge der Hochspannungsfreileitungen gemäß LAI [2], Abschnitt II.3.4 im Bereich des Umrichterwerks nicht relevant.

Bzgl. der Vorbelastung durch Hochfrequenzanlagen bis 10 MHz in der Nähe des geplanten Umrichterwerks lässt sich folgendes aussagen:

Nach Recherche in der EMF-Datenbank der BNetzA ergab sich, dass die nächstgelegene relevante Hochfrequenzanlage in einer Entfernung von über 5,5 km östlich vom Standort des Urw liegt (siehe Abbildung 5). Laut LAI [2], Abschnitt II.3.4 tragen Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz, die einer Standortbescheinigung nach §§ 4 und 5 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen, ab einem Abstand von 300 Metern nicht relevant zur Vorbelastung bei und machen daher eine gezielte Vorbelastungsermittlung entbehrlich. Damit muss diese Funkanlage bei der Ermittlung der Gesamtmissionen nicht berücksichtigt werden.

Für das geplante Urw ist die 26. BImSchVV [3] gültig, da am 4.3.2016 noch kein vollständiger Planfeststellungsantrag bei der zuständigen Behörde eingereicht war. Da jedoch keine maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich des geplanten Umrichterwerks vorliegen, kann auf eine Prüfung der Möglichkeiten zur Minimierung der magnetischen (und elektrischen) Immissionen verzichtet werden.

The screenshot displays the EMF-Datenbank (EMF Database) interface. On the left, there is a search bar with fields for 'Straße' (Street), 'PLZ' (Postal Code), and 'Ort' (Location). Below the search bar are navigation links for 'Erläuterungen' (Explanations) and 'Kartensymbole' (Map Symbols). The main area shows a map of the Göhl region in Holstein, Germany. A red 'X' marks the location of the 'Umrichterwerk' (converter station). A blue information icon is placed near the 'Standortbescheinigungsnummer 320388' (Site Certificate Number 320388). A red warning box at the top of the map area reads: 'Zur Darstellung von Messorten und Funkanlagenstandorten bitte mit Hilfe der Zoomfunktion einen größeren Maßstab (200 m) wählen.' (For the display of measurement locations and radio facility locations, please use the zoom function to select a larger scale (200 m)).

Abbildung 5: Auszug aus der EMF-Datenbank der BNetzA (Stand 27.07.2018)

### 8.3.2 Induktive Beeinflussung

Durch das Phänomen der induktiven Kopplung, siehe Kapitel 8.3, können mittels der magnetischen Wechselfelder, die mit den Strömen in den Anlagen (Umrichterwerk) und Freileitungen einhergehen, Spannungen in Telekommunikationsleitungen, Telekommunikationskabeln, metallischen Rohrleitungen (Gasleitungen, Wasserleitungen) induziert werden. Abhängig vom Abstand dieser Leiter zu den Anlagen und Freileitungen und der Länge, über welche diese parallel zueinander verlaufen, ist es möglich, dass die induzierten Spannungen einen Wert erreichen, der die zulässigen Berührungsspannungen überschreitet, siehe Kapitel 6.3.2, oder zu technischen Beeinträchtigungen bei Telekommunikationsanlagen führt. Induktionsspannungen in energietechnische Anlagen sind in diesem Zusammenhang meist unbedeutend, da diese Anlagen berührungsgeschützt sind und eine hohe Isolation aufweisen.

Das Umrichterwerk Göhl soll laut der Kurzfassung des technischen Erläuterungsberichts [45] über zwei Telekommunikationsanbindungen – eine davon als Redundanz – verfügen. Je nach deren technischer Ausführung sind entsprechende Vorschriften einzuhalten. Zusätzlich verfügt es über eine LWL-Anbindung, die parallel zu den 110 kV/50 Hz-Hochspannungskabeln verläuft.

Bei LWL-Kabeln, die keine metallische Armierung besitzen, kann keine unzulässige Spannung durch Beeinflussung induziert werden. Für alle weiteren Tk-Anschlüsse ist gemäß der Technischen Empfehlungen der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen [40] durch Planung sicherzustellen und nachzuweisen, dass keine unzulässigen Spannungen durch die Beeinflussung dieser Tk-Anschlüsse entstehen. Die Normenreihe DIN VDE 0845-6 [23] ist ebenfalls zu beachten.

### 8.3.3 Bewertung

Die am Umrichterwerkszaun ermittelten Werte für die magnetische Flussdichte wurden unter sehr konservativen Randbedingungen, allerdings ohne Berücksichtigung der Immissionen der Umrichtermodule und der Verbindungskabel zwischen Umrichterausgängen und der 15 kV/16,7 Hz-Schaltanlage bzw. dem Rückleitschrank berechnet. An dem kritischen Ort, an dem sich die so erhaltenen Werte dem Grenzwert nähern und diesen auch ggf. überschreiten, kann durch verschiedene Maßnahmen die Feldbelastung deutlich reduziert werden. Besonders im Bereich über den zur Bahnstrecke führenden 16,7 Hz-Speisekabeln, die zusammen mit den Rückstrom führenden Kabeln in derselben Trasse verlegt werden, werden aufgrund der hohen Stromwerte und der geringen Tiefe der Kabeltrasse (0,3 m) die Grenzwerte der 26. BImSchV am nördlichen Zaun und im Verlauf bis zu den Gleisen zum Teil deutlich überschritten. Wenn die Verbindungskabel zwischen den Ausgängen der Umrichtermodule zu der 15 kV/16,7 Hz-Schaltanlage bzw. zum Rückleitschrank entsprechend minimiert erfolgt, werden auch die Immissionen durch diese Kabel die Grenzwerte außerhalb des Zauns einhalten. Die Anforderungen an den Immissionsschutz gelten für Niederfrequenzanlagen - wie das Urw Göhl - nur an Orten zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt. Da weder in der Nähe (20 m) der Mittelspannungskompaktstation noch in der Nähe (20 m) des nördlichen Zauns oder über der Trasse der Streckenspeisekabel Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt vorzufinden sind, werden die Anforderungen der 26. BImSchV [1] für das Urw eingehalten. Durch den Erwerb eines 20 m breiten Streifens um den Werkszaun kann verhindert werden, dass hier in Zukunft Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt entstehen.

Die Störfestigkeit der Anlagen und Einrichtungen sowohl des Umrichterwerks als auch des südlich geplanten Umspannwerks, siehe Abbildung 1 und Abbildung 2, ist als sehr hoch einzustufen, da diese Anlagen in einer aus EMV-technischer Sicht rauen Umgebung betrieben werden. Aufgrund dieser Tatsache sind keine gegenseitigen unzulässigen und störenden Beeinflussungen der Einrichtungen und Anlagen beider Werke (Umrichterwerk und Umspannwerk) untereinander zu erwarten.

### 8.4 Wellenbeeinflussung

Aufgrund der im Umrichterwerk entstehenden Frequenzen erscheint eine Wellenbeeinflussung durch das Umrichterwerk als Quelle nur über die angeschlossenen 16,7 Hz-Mittelspannungs- bzw. 50 Hz-Hochspannungskabel möglich.

Durch den Verbau entsprechender Filtermaßnahmen und eine entsprechende Ansteuerung der Umrichtermodule im Umrichterwerk kann die Entstehung entsprechender Frequenzen reduziert, bzw. bedämpft werden, wodurch die Einhaltung der entsprechenden Normen und Vorschriften, siehe Kapitel 6.3.1 für die Rückwirkung auf die Spannungsqualität bzw. Kapitel 6.3.3 für die Beeinflussung durch höhere Frequenzen erreicht werden kann.

### 8.5 Strahlungsbeeinflussung

Die Strahlungsbeeinflussung beruht auf der direkten Abstrahlung und Ablösung eines elektromagnetischen Felds von entsprechenden Leitern. Für eine effektive Abstrahlung müssen diese Leiter eine Antennencharakteristik aufweisen, das heißt, ihre geometrische Größe muss in bestimmter Beziehung zur Wellenlänge  $\lambda$  der vorhandenen Frequenzen stehen, z.B.  $\lambda/4$  oder  $\lambda/2$ .

Die im Umrichterwerk relevant entstehenden Frequenzen sind relativ niedrig und weisen somit lange Wellenlängen auf. Ihre Entstehung lässt sich durch eine entsprechende Ansteuerung der Umrichtermodule im Umrichterwerk reduzieren. Durch entsprechende Filtermaßnahmen können sie ggf. weiter reduziert werden. Da die elektrischen Leiter im Umrichterwerk eine relativ geringe geometrische Länge besitzen, ist eine direkte unzulässige Strahlungsbeeinflussung vom Umrichterwerk selbst eher unwahrscheinlich, siehe Kapitel 6.3.3.

## 9 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Durch eine den geltenden Vorschriften, Gesetzen und Normen entsprechende Errichtung und einen entsprechenden Betrieb des Umrichterwerks kann gewährleistet werden, dass vom zukünftigen Umrichterwerk Göhl keine unzulässigen Beeinträchtigungen ausgehen.

Die Anforderungen der 26. BImSchV [1] bzgl. EMF-Immissionsschutz können vom geplanten Urw Göhl eingehalten werden. An den identifizierten kritischen Orten mit hohen EM-Feldern lassen sich durch verschiedene gängige Maßnahmen die elektromagnetischen Immissionen merklich reduzieren und die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen erreichen. Zudem liegen weder in der Nähe (10 m Umfeld) der Mittelspannungskompaktstation noch in der Nähe (20 m Umfeld) der Umzäunung des Umrichterwerks Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen vor, d.h. es sind hier auch keine Anforderungen aus der 26. BImSchV [1] bzw. 26. BImSchVVwW [3] für das Umrichterwerk einzuhalten.

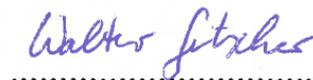
## 10 Unterschriften

geprüft:

  
.....

Markus Hößl

erstellt:

  
.....

Dr. Walter Gutscher