

# Fachtechnische Stellungnahme zur Umsetzung der 26. BImSchV



**DB Systemtechnik**

## Fachtechnische Stellungnahme

**FSQ**

**Querung des Fehmarnsunds**

**22.3 Elektromagnetische Felder**

**Fachtechnische Stellungnahme zur Umsetzung  
der 26. BImSchV**

Dokument: 22-69880-T.TVP26-BE-1901-V4

Datum: 3.6.2025

Fachabteilung: Prüfungen EMV, ETCS



**Kofinanziert von der Fazilität  
„Connecting Europe“ der Europäischen Union**

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

## Änderungsindex

Version	Datum	Änderungsinhalte
1.0	20.06.2023	Ersterstellung
2.0	6.12.2024	Einarbeitung der Prüfanmerkungen
3.0	24.4.2025	Einarbeitungen von Anmerkungen
4	3.6.2025	Einarbeitung von Anmerkungen

## Inhaltsverzeichnis

Seite

<b>1</b>	<b>Angaben zum Auftrag</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Stellungnahme</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Beschreibung der geplanten Anlage</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Gesetzliche Anforderungen</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Ermittlung der relevanten Immissionsorte im Projektbereich</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Betrachtung der elektrischen und magnetischen Felder</b>	<b>9</b>
6.1	Grundlegende Zusammenhänge	9
6.2	Auswirkungen auf Personen	10
6.3	Nachweisführung	11
<b>7</b>	<b>Berücksichtigung anderer Niederfrequenzanlagen</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Berücksichtigung von Hochfrequenzanlagen (9 kHz – 10 MHz)</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>Anforderungen zur Vorsorge</b>	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>Ergebnisse und Zusammenfassung</b>	<b>23</b>
<b>11</b>	<b>Unterschriften</b>	<b>23</b>

## Verzeichnis der Anlagen

Anhang 1: Übersicht über alle maßgeblichen Immissionsorte und maßgeblichen Minimierungsorte im Projekt FSQ

Anhang 2: Dokumentation zur Kategorisierung der Orte in Anhang 1 anhand von Kartenausschnitten der Planunterlagen

**Verzeichnis der Abkürzungen**

Abb.	Abbildung
ABS	Ausbaustrecke
AT	Autotransformator
BlmSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
26. BlmSchVVwV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BlmSchV
26. BlmSchV	Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder)
B	Formelzeichen für magnetische Flußdichte
BA	Bewertungsabstand
Bau-km	Baukilometer
BT	Boostertransformator
DB	Deutsche Bahn
DEGES	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
E	Formelzeichen für elektrische Feldstärke
EB	Einwirkungsbereich
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EMF	elektromagnetische Felder
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
FBQ	Feste Fehmarnbeltquerung
HS	Hochspannung
HSM	Herzschrötmacher
kV	Kilovolt
LAI	Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder [2]
LVA	Landesvermessungsamt
m	Meter
MMO	maßgeblicher Minimierungsort
MS	Mittelspannung
$\mu$ T	Mikrotesla
NBS	Neubaustrecke
NS	Niederspannung
OL	Oberleitung
OLA	Oberleitungsanlage
PFA	Planfeststellungsabschnitt
r	Formelzeichen für Abstand
S	Schiene
SL	Speiseleitung
TK	Telekommunikation
UG	Umgehungsleitung
Urw	Umrichterwerk
ÜSt	Überleitstelle
VL	Verstärkungsleitung

## Quellenverzeichnis

- [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 in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung, 17./18.09.2014, mit Beschluss der 54. Amtschefkonferenz vom 23.10.2014 (LAI)
- [3] Zustimmung des Eisenbahnbundesamtes zum Standardnachweis gemäß § 3 für Oberleitungsanlagen; Geschäftszeichen 22.17-22sav/080-2205#002 vom 18.10.2017
- [4] EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur (BNetzA) (<http://emf3.bundesnetzagentur.de/karte/Default.aspx>)
- [5] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV) vom 26.02.2016; veröffentlicht im Bundesanzeiger vom 03.03.2016
- [6] Bekanntmachung der Begründung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV); Bundesanzeiger vom 03.03.2016
- [7] Bericht: Niederfrequente elektrische und magnetische Felder bei elektrifizierten Bahnstrecken – Betrachtungen zur Umweltverträglichkeit; Dok.-Nr. 14-22168-T.TVI34(1)-1903-V2.0 vom 18.11.2015
- [8] Weitere vom Auftraggeber übergebene Projektunterlagen:
  - Lagepläne Kombierter Absenktunnel Fehmarnsund, 12.6.2023
  - Bebauungspläne, Flächennutzungspläne (inkl. digitaler Shape-Dateien)
- [9] Schienenanbindung der Festen Fehmarnbeltquerung, Strecke 1100 (Bad Schwartau – Puttgarden); Scopingunterlage: Planfeststellung; Unterlage zur Festlegung des vorläufigen Untersuchungsrahmens (§ 5 UVPG), DB Netze, 28.11.2014
- [10] Leitfaden zur Umsetzung der 26. BImSchV bzw. 26. BImSchVVwV bei Planrechtsverfahren der DB InfraGO AG (Oberleitungsanlagen), Ausgabe A0 vom 15.11.2017
- [11] Auszug aus dem Entwurf des Erläuterungsberichts „Kombierter Absenktunnel Fehmarnsund“; Stand vom 12.6.2023
- [12] Plan „Trasse T06.3BS, Planfall C, Endzustand, Bereich Fehmarn, Tunnelportal“, Planzeichen Nr. ATc\_VP\_T06.3BS\_153\_E, Vorabzug Plotdatum 10.5.2019

## 1 Angaben zum Auftrag

### Aufgabenstellung:

Im September 2008 wurde mit einem Staatsvertrag zwischen dem Königreich Dänemark und der Bundesrepublik Deutschland (BRD) der Bau einer „Festen Fehmarnbeltquerung“ beschlossen. Während Dänemark sich zum Bau des Tunnels durch den Fehmarnbelt verpflichtet hat, ist die Bundesrepublik Deutschland verantwortlich für die Herstellung einer leistungsfähigen landseitigen Straßen- und Schienenanbindung für das Bauwerk auf deutscher Seite (Hinterlandanbindung).

Für den Ausbau der Eisenbahnstrecke Lübeck – Puttgarden wurde die DB InfraGO AG (vor dem 01.01.2024 DB Netz AG) im Jahr 2008 auf der Grundlage des Bundesschienenwegeausbaugesetzes (BSWAG) vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, vormals BMVI) beauftragt. Die vorhandene Eisenbahnstrecke Lübeck – Puttgarden (DB-Strecken-Nr. 1100) soll auf ca. 88 km zweigleisig ausgebaut, elektrifiziert und streckenweise auf eine maximale Geschwindigkeit von 200 km/h ertüchtigt werden. Als Ergebnis eines vom Land Schleswig-Holstein durchgeführten Raumordnungsverfahrens (ROV) werden durch Umfahrungen davon 55 km als Neubaustrecke realisiert.

Gemäß Bundesverkehrswegeplan 2030 und dem Gesetz zur Änderung des Fernstraßenausbaugesetzes vom 23.12.2016 wird die B 207 mit einem vierstreifigen Querschnitt zwischen Heiligenhafen-Ost und Puttgarden ausgebaut. Der Planfeststellungsbeschluss für den Ausbau der B 207 wurde 2015 erlassen. Dieser ist seit dem 25.08.2021 bestandskräftig. Die DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (nachfolgend kurz DEGES) wurde im Jahr 2019 vom Land Schleswig-Holstein beauftragt, den Ausbau der B 207 zu realisieren.

Im Zuge der Anbindung des Fehmarnbelt-Tunnels an das deutsche Schienen- und Straßennetz ist ein leistungsfähiger Ersatz bzw. eine Erweiterung für die bestehende Fehmarnsundquerung zwischen der Insel Fehmarn und dem ostholsteinischen Festland notwendig. Im Jahr 2010 durchgeführte Belastungstests haben gezeigt, dass die Fehmarnsundbrücke von 1963 den künftigen Belastungen des Verkehrs von Straße und Schiene nicht mehr gewachsen ist.

Deshalb wurden nachgelagert zum Projektauftrag von 2008 ab dem Jahr 2014 in einem aufwändigen Verfahren zahlreiche Varianten (Bohr- und Absenktunnel sowie kombinierte und getrennte Brücken) für eine leistungsfähigere Sundquerung untersucht. Der auf Ebene der Vorplanung durchgeführte Variantenvergleich hat als Vorzugsvariante einen „Kombinierten Absenktunnel“ für den zukünftigen Straßen- und Eisenbahnverkehr ergeben.

Die Tunnellösung mit Erhalt der Fehmarnsundbrücke trägt den verkehrlichen Erfordernissen im Hinblick auf Leichtigkeit und Sicherheit Rechnung und entspricht zudem der im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung vom „Dialogforum Feste Fehmarnbeltquerung“ erarbeiteten Konsensvariante.

Der kombinierte Absenktunnel für Schiene und Straße wird gemeinsam von den Vorhabenträgerinnen DB InfraGO AG und Bundesrepublik Deutschland, letztgenannte vertreten durch das Land Schleswig-Holstein, vertreten durch die DEGES, geplant und realisiert. Die Ertüchtigung der Fehmarnsundbrücke für die langsamen Verkehre wird durch die DEGES im Auftrag des Landes Schleswig-Holstein als eigenständiges Projekt realisiert.

Die Oberleitungsanlage wird im Projektbereich des kombinierten Absenktunnels (vgl. Abb. 1) komplett neu errichtet. Bestandteil des Auftrags ist die Nachweisführung zur Einhaltung der in der 26. BImSchV (Stand 14.08.2013, veröffentlicht am 21.08.2013 im Bundesgesetzblatt) enthaltenen Vorgaben bzgl. der Immissionen durch elektromagnetische Felder nach Identifizierung der relevanten Immissionsorte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (Auftrag 22-69880). Es werden Minimierungsmaßnahmen auf Grundlage der 26. BImSchVVwV (Stand: 3.3.2016) empfohlen.



Abb. 1: Skizze des Projektbereichs FSQ

Auftraggeber:  
DB InfraGO AG  
Regionalbereich Nord  
Großprojekt Hinterlandanbindung FBQ  
Beim Strohhause 17  
20097 Hamburg

Auftragnehmer:  
DB Systemtechnik GmbH  
Prüfungen EMV, ETCS  
Völckerstraße 5  
80939 München

## 2 Grundlagen der Stellungnahme

Der vorliegenden Stellungnahme zur Betrachtung der elektromagnetischen Feldbelastung liegen folgende Schriftstücke zugrunde:

- Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes, 26. BImSchV (Stand vom 14.08.2013) [1]
- Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, 128. Sitzung, 17./18. Sept. 2014 [2]
- Zustimmung des Eisenbahn-Bundesamtes zum Standardnachweis gemäß § 3 für Oberleitungsanlagen; Geschäftszeichen 22.17-22sav/080-2205#002 vom 18.10.2017 [3]
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV, Stand 26.02.2016) [5]
- Leitfaden zur Umsetzung der 26. BImSchV bzw. 26. BImSchVVwV bei Planrechtsverfahren der DB InfraGO AG (Oberleitungsanlagen), Ausgabe A0 vom 15.11.2017 [10]

Die Aussagen dieser fachtechnischen Stellungnahme basieren auf den Projektunterlagen [8] und [11].

## 3 Beschreibung der geplanten Anlage

Die Oberleitungsanlage soll für die Strecke 1100 in der DB-Bauart Re 200 (Fahrdrabt Ri 100, Tragseil Bz 50, 100K) errichtet werden (15 kV, 16,7 Hz), vereinzelt auch mit Re 250 Auslegern. Die Fahrdrabthöhe und Systemhöhe wird für den Tunnel (Fahrdrabthöhe von 5,25 m im Tunnel und 5,5 m auf der freien Strecke, Systemhöhe von 1,10 m im Tunnel und 1,80 m auf der freien Strecke) an den Tunnelportalen abgesenkt. Die Einteilung gemäß 26. BImSchV erfolgt als Niederfrequenzanlage, die nach dem 22. August 2013 errichtet werden soll. Es werden zwei Verstärkungsleitungen bis zu den Masten 6142/6243 mitgeführt [11]).

Der zu elektrifizierende Streckenabschnitt im Projekt FBQ gliedert sich in 10 Planfeststellungsabschnitte (PFA Lübeck, PFA1.1, PFA 1.2, PFA 2, PFA 3, PFA 4, PFA 5.1, PFA 5.2, PFA FSQ und PFA 6). Die Aufteilung der Planfeststellungsabschnitte im Projekt FBQ ist wie folgt:

- |              |  |
|--------------|--|
| • PFA Lübeck | Lübeck   |
| • PFA1.1     | Bad Schwartau                                      |
| • PFA1.2     | Ratekau, Timmendorfer Strand, Scharbeutz           |
| • PFA2       | Sierksdorf, Neustadt in Holstein, Altenkrempe      |
| • PFA3       | Schashagen, Beschendorf, Manhagen, Lensahn, Damlos |
| • PFA4       | Oldenburg (i. H.), Göhl                            |
| • PFA5.1     | Heringsdorf, Neukirchen                            |
| • PFA5.2     | Großenbrode  |
| • PFA FSQ    | Fehmarnsund Absenktunnel                           |
| • PFA6       | Fehmarn  |

Zur Energieversorgung der Bahn-Infrastruktur im Tunnel der FSQ wird DB InfraGO eine Energieversorgungsanlage 50 Hz aufbauen. Die Einspeisung erfolgt festlandseitig vom lokalen Netzbetreiber SH-Netz auf 11 kV-Ebene aus einem isolierten Dreiphasennetz mit gelöschter Mittelpunktbehandlung (RESPE). Das 11 kV-Netz wird als MS-Bypaß ab einer festlandseitigen Mittelspannungsschaltanlage durch die FSQ geführt und inselseitig auf eine weitere Mittelspannungsschaltanlage geführt. Zur Energieversorgung der Straßen-Infrastruktur des Tunnels der FSQ wird DEGES eine Energieversorgungsanlage 50 Hz aufbauen. Die Einspeisung erfolgt analog zu derjenigen der Bahn festlandseitig vom lokalen Netzbetreiber SH-Netz auf 11 kV-Ebene aus demselben Mittelspannungsnetz aber ab eigenen Übergabestellen. Die Netze von Straße und Bahn können auf 11 kV-Seite auch gekuppelt werden



Die Einteilung der 50 Hz-MS-Anlage erfolgt als Niederfrequenzanlage gemäß 26. BImSchV, die nach dem 22. August 2013 errichtet werden soll.

Die Betrachtungen in diesem Dokument beschränken sich auf den PFA FSQ und beginnen in Bau-km 170,4+22 und enden im Bau-km 176,5+50,5. Von Beginn des PFA FSQ auf dem Festland bis zu den Masten 6142/6143 (Schalter 205) in der Nähe der ÜSt Struckkamp auf der Insel Fehmarn werden 2 Verstärkungsleitungen (teilweise verkabelt) mitgeführt. Im gesamten Tunnelbereich werden Rückleiter zweiseitig (einer je Gleis) vorgesehen. Es wird im Tunnelbereich eine brandgeschützt geführte verkabelte Umgehungsleitung für Redundanzzwecke im Havariefall mitgeführt.

#### 4 Gesetzliche Anforderungen

Für die zu errichtende genannte Oberleitungsanlage gelten § 3 Abs. 2 der 26.BImSchV (Stand 14.08.2013) und die Grenzwerte nach Anhang 1a der 26. BImSchV:

elektrische Feldstärke, effektiv [kV/m]	5
magnetische Flussdichte, effektiv [µT] bei 16,7 Hz	300
magnetische Flussdichte, effektiv [µT] bei 50 Hz	100

Diese Immissionsgrenzwerte gelten für Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung. Die maßgeblichen Immissionsorte der OLA befinden sich gemäß LAI II.3.1 [2] in einem Streifen von 10 m Breite von Gleismitte, der jeweils zu beiden Seiten an das elektrifizierte Gleis angrenzt. Die maßgeblichen Immissionsorte der 11 kV-MS-Kabelanlage befinden sich in einem Radius von 1 m um das 50 Hz-Kabel. Für Netzstationen wird in der LAI ein relevanter Abstand von 1 m definiert.

§ 3 Abs. 3 der 26. BImSchV [1] schreibt dabei die Berücksichtigung von Immissionen durch andere Niederfrequenzanlagen und bestimmte Hochfrequenzanlagen gemäß der Formeln in Anhang 2 der 26. BImSchV [1] vor.

Da für die geplante Anlage am 04.03.2016 noch kein vollständiger Planfeststellungsantrag vorlag, gilt die 26. BImSchVVwV (Stand 26.02.2016 [5]). Diese fordert für Oberleitungsanlagen die Prüfung der folgenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung der elektromagnetischen Immissionen an maßgeblichen Minimierungsorten (Gebäude oder Grundstücke mit besonders schützenswerter Nutzung gemäß § 4 der 26. BImSchV [1] sowie alle Gebäude(-teile) mit einer Bestimmung zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen im Einwirkungsbereich – im Abstand bis 100 m von der elektrifizierten Bahntrasse):

1. Abstandsoptimierung
2. Einsatz von Auto-Transformatoren
3. Einsatz von Booster-Transformatoren
4. Installation eines Rückleiterseils
5. Minimieren des Fahrstroms durch zweiseitige Speisung.

Für die 50 Hz-Drehstromkabel gilt ein Einwirkungsbereich von 10 m. Ggf. sind die folgenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung der elektromagnetischen Immissionen zu prüfen:

1. Minimieren der Kabelabstände
2. Optimieren der Leiteranordnung
3. Optimieren der Verlegegeometrie
4. Optimieren der Verlegetiefe.

Für die Ortsnetzumspannstationen gilt ein Einwirkungsbereich von 10 m. Ggf. sind die folgenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung der elektromagnetischen Immissionen zu prüfen:

1. Abstandsoptimierung

2. Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung
3. Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung.

## 5 Ermittlung der relevanten Immissionsorte im Projektbereich

Der Projektbereich FSQ wurde entlang der Strecke auf relevante Orte hin überprüft. Alle Orte im relevanten Streckenbereich, welche evtl. zu betrachten sind, wurden zunächst tabellarisch erfasst (siehe Anhang 1 und 2). Daraufhin wurden diese Orte dahingehend bewertet, ob es sich um Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen handelt. In einem solchen Fall erfolgte eine weitere Kategorisierung in maßgebliche Immissionsorte (gemäß LAI II.3.1 [2]) sowie in maßgebliche Minimierungsorte. Anhang 1 stellt diese Kategorisierung tabellarisch dar und in Anhang 2 sind die kategorisierten Orte bzgl. ihrer Lage zur Bahn-/Leitungstrasse dargestellt.

Ergebnis: Es wurden zwei maßgebliche Immissionsorte (FSQ-3a und FSQ-3b) und mehrere maßgebliche Minimierungsorte (lfd. Nr. FSQ-1, FSQ-4 und FSQ-5) entlang der Strecke identifiziert.

## 6 Betrachtung der elektrischen und magnetischen Felder

### 6.1 Grundlegende Zusammenhänge

Im folgenden finden sich tiefergehende Betrachtungen zur Umweltverträglichkeit von niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern bei elektrifizierten Bahnstrecken.

Physikalisch bedingt, baut sich um eine unter Spannung stehende Oberleitung (bei der DB beträgt die Spannung i. a. 15 kV / 16,7 Hz) gegenüber Schiene bzw. Erde ein elektrisches Feld auf (vgl. Abb. 2). In unmittelbarer Nähe eines Leiters nimmt die Feldstärke reziprok mit der Entfernung zum Leiter ab ( $E \sim r^{-1}$ ) und ist in einem Abstand von 1 m von einem in Regelhöhe gespannten Fahrdrabt schon auf einen Wert, der etwa der Hälfte des Vorsorgegrenzwerts der 26. BImSchV von 5 kV/m entspricht, abgefallen. Im Gleisbereich direkt unter der Oberleitung kann das elektrische Feld bis zu etwa 2 kV/m betragen, unabhängig von der Anzahl der Leiter im darüber befindlichen Kettenwerk und solange keine 110 kV-Bahnstromleitungen mitgeführt werden. Nach außen nähert sich das Abstandsgesetz für das unbeeinflusste Feld in größerer Entfernung einer quadratischen Abnahme ( $E \sim r^{-2}$ ), da die durch Influenz im Erdboden hervorgerufene gegenpolige Ladung bei größeren Abständen eine Kompensation bewirkt. Das elektrische Feld wird durch in ihm befindliche Hindernisse (z. B. Wände, Wälle, Bewuchs) mehr oder weniger stark verzerrt bzw. abgeschirmt. Innerhalb von Bauwerken tritt erfahrungsgemäß eine beträchtliche Abschirmwirkung um etwa den Faktor 20 auf.

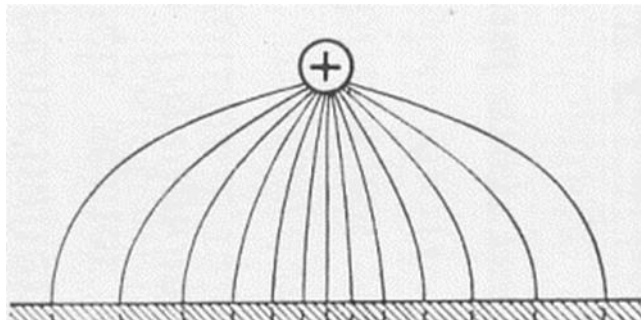


Abb. 2: Feldlinien des elektrischen Feldes zwischen einem unter Spannung stehenden Leiter und Erde

Unter diesen Gesichtspunkten kann das elektrische Feld einer Oberleitung folglich im Hinblick auf die Einhaltung des Grenzwerts von 5 kV/m bei 16,7 Hz (26. BImSchV) vernachlässigt werden (vgl. Kap. 6.3).

Für 50 Hz-MS-Kabel kann das elektrische Feld im Hinblick auf die Einhaltung des Grenzwerts von 5 kV/m bei 50 Hz (26. BImSchV) ebenfalls vernachlässigt werden, da die Kabel geschirmt ausgeführt werden und die Kabelschirmung das elektrische Feld effektiv abschirmt.

Sobald ein Oberleitungssystem, bestehend aus dem Oberleitungskettenwerk als Hinleiter und den Fahrschienen als Rückleiter, stromdurchflossen ist, entstehen konzentrisch um die einzelnen Leiter magnetische Wechselfelder mit Netzfrequenz (bei der DB mit 16,7 Hz). Die Stärke des magnetischen Feldes eines Leiters fällt reziprok mit der Entfernung zum Leiter ab ( $B \sim r^{-1}$ ) (vgl. Abb. 3). Sie ist proportional zum Strom und folgt somit in gleichem Maße den bahntypisch kurzzeitigen Stromschwankungen.

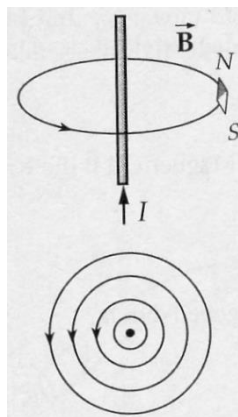


Abb. 3: Feldlinien des magnetischen Feldes um einen stromdurchflossenen Leiter

Die Felder mehrerer Leiter addieren sich vektoriell, wobei sich ab einer gewissen Entfernung von der Oberleitungsanlage die Felder durch den „Hinstrom“ und den „Rückstrom“ teilweise kompensieren. Insbesondere für 50 Hz-Drehstromkabel führt die Kompensation der Felder der einzelnen Leiter im Kabel zu einer effektiven Feldreduktion. Die Stärke des magnetischen Feldes Drehstromkabels fällt quadratisch mit der Entfernung zum Kabel ab ( $B \sim r^{-2}$ ).

## 6.2 Auswirkungen auf Personen

Die Influenz von elektrischen Ladungen auf der Körperoberfläche durch das elektrische Feld (E-Feld) bewirkt einen Stromfluss im Körper. Auch durch Magnetfeldänderungen werden im menschlichen Körper Ströme induziert. Durch die in der 26. BImSchV festgelegten Vorsorgewerte wird sichergestellt, dass die Schwellenstromdichten, ab denen eine Reizung bzw. Beeinträchtigung auftritt oder gar eine Gefahr zu befürchten ist, nicht überschritten werden.

Ein Vergleich mit den festgelegten Grenzwerten der 26. BImSchV (5 kV/m für das E-Feld und 300  $\mu$ T bei 16,7 Hz bzw. 100  $\mu$ T bei 50 Hz für das magnetische Feld (B-Feld)) zeigt, dass selbst unmittelbar unter der Oberleitung – auch auf stark frequentierten Strecken – diese noch deutlich unterschritten werden.

Durch die entfernungsabhängige Abnahme sind in der Nachbarschaft einer elektrifizierten Strecke die magnetischen Felder schon so stark abgesunken, dass diese nach derzeitiger Erkenntnislage auch für schutzbedürftige Personengruppen (z. B. HSM-Träger) keine Beeinträchtigung darstellen.

Aus Sicht des Personenschutzes vor den Wirkungen von elektromagnetischen Feldern ist eine Ausweitung der aus anderen Gründen ohnehin erforderlichen Mindestabstände von Oberleitungsanlagen / Gleisen nicht erforderlich.

Nach dem heutigen internationalen, medizinisch-wissenschaftlichen Erkenntnisstand sind durch magnetische Felder dieser Größenordnung keine Stimulanzen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten.

### 6.3 Nachweisführung

Gesetzlich ist der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte des § 3 Abs. 2 der 26. BImSchV, wie in Kap. 4 dargestellt, für die maßgeblichen Immissionsorte zu führen:

Die elektrische Ausrüstung der Strecke 1100 im PFA FSQ ist außerhalb des Tunnels als eine zweigleisige OLA nach Standardbauweise Re200 (teilweise mit Verstärkungsleitungen und Umgehungsleitung) geplant. Beidseitig werden Rückleiterseile mitgeführt. Für zweigleisige Strecken dieser Standard-Bauart wurde die Einhaltung der Grenzwerte des § 3 Abs. 2 der 26. BImSchV bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung sowohl für das elektrische als auch das magnetische Feld bereits nachgewiesen und dieser allgemeingültige Nachweis vom Eisenbahn-Bundesamt anerkannt (Geschäftszeichen 22.17-22sav/080-2205#002 [3]). Mit der damit nachgewiesenen Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte genügt die geplante Bahnanlage außerhalb des Tunnelbereichs den Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen [7].

#### Betriebsgebäude

Von Bau-km 172,6 bis Bau-km 174,8 verläuft die Bahnstrecke im Tunnel. Für die beiden maßgeblichen Immissionsorte FSQ-3a und FSQ-3b (Betriebsgebäude am nördlichen und südlichen Tunnelportal) wird im folgenden ein expliziter Nachweis zur Einhaltung der Grenzwerte des § 3 Abs. 2 der 26. BImSchV durchgeführt. Dieser Nachweis erfolgt durch Simulationsrechnungen des magnetischen Feldes. Für das elektrische Feld wird keine Simulationsrechnung durchgeführt, da dieses stark durch die Decke der Tunnelröhren abgeschirmt wird und damit keinen nennenswerten Immissionsbeitrag in den Betriebsgebäuden liefert.

In Tunnel-Bereich ist die Regelfahrdrahthöhe auf 5,25 m abgesenkt und die Systemhöhe beträgt 1,10 m [11]. In der Simulation wird je Gleis eine Verstärkungsleitung und ein Rückleiterseil berücksichtigt. Die weiteren Parameter für die Simulation entsprechen der Regelbauart Re200. Das Ergebnis der Simulation wird in Abb. 4 wiedergegeben.

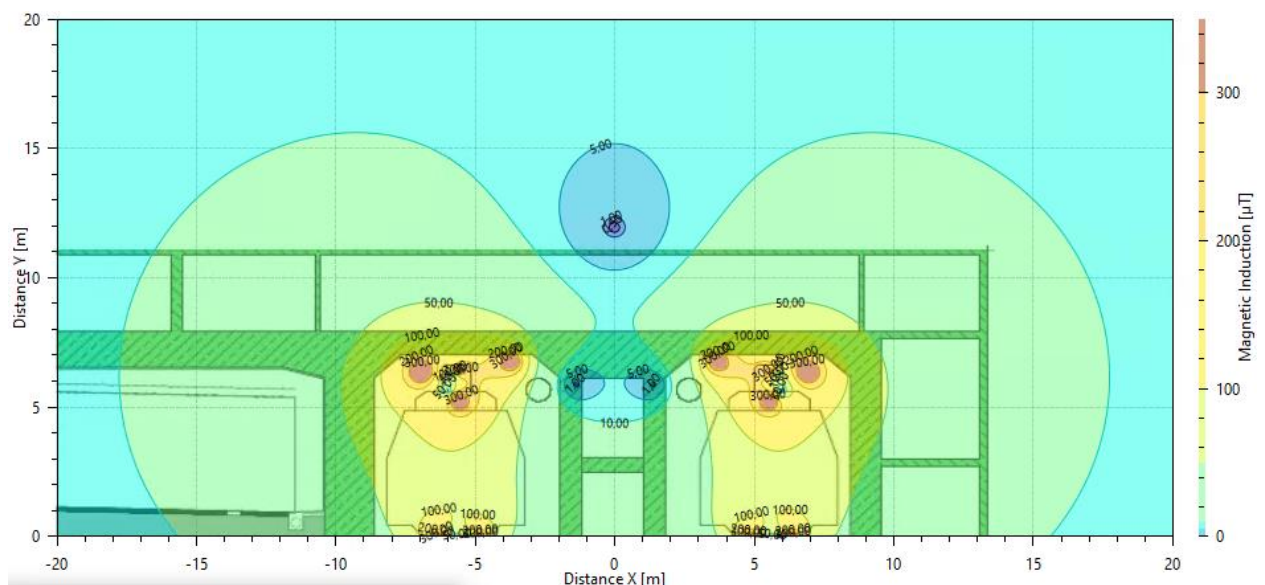


Abb. 4: Isolinienschnitt diagramm der magnetischen Flußdichte im Bereich der Betriebsgebäude FSQ-3a und FSQ-3b.

Wie in Abb. 4 ersichtlich ist, werden die Grenzwerte für das magnetische Feld in den Räumen des Betriebsgebäudes oberhalb der Bahnlinie mit max. ca. 50 µT weit unterschritten. Mit der

damit nachgewiesenen Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte genügt die geplante Bahnanlage auch innerhalb des Tunnelbereichs den Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen [7].

Insgesamt kann festgestellt werden, dass generell keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch die magnetischen und elektrischen Felder der erwarteten Größenordnung im Bereich der geplanten Bahntrasse hervorgerufen werden und die Immissionsgrenzwerte des § 3 Abs. 2 und des Anhangs 1a der 26. BImSchV deutlich unterschritten werden.

## 7 Berücksichtigung anderer Niederfrequenzanlagen

Gemäß § 3 Abs. 3 der 26. BImSchV sind bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte zusätzlich alle Immissionen zu berücksichtigen, die durch andere Niederfrequenzanlagen ( $> 1000 \text{ V}$ ), sowie durch ortsfeste 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, entstehen. Zur Bewertung enthält Anhang 2a der 26. BImSchV eine Summenformel.

Relevant zur Vorbelastung an den maßgebenden Immissionsorten tragen in der Regel nur andere Niederfrequenzanlagen bei, wenn der maßgebliche Immissionsort zugleich auch in einem der in Abschnitt II.3.1 der LAI [2] definierten Bereiche um diese andere Niederfrequenzanlage liegt. Dies bedeutet, dass für Bahnstromoberleitungsanlagen lediglich in einem 10 m-Bereich von der Gleismitte des elektrifizierten Gleises eventuelle Einwirkungsbereiche aus anderen Anlagen zu berücksichtigen sind. Dies weiterhin nur, wenn sich in diesen „Überlappungsbereichen“ gleichzeitig Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt (§ 3 Abs. 2 der 26. BImSchV) befinden. Der relevante Bereich um Stromkabel ist dort auf einen Radius von 1 m festgelegt. Für Netzstationen ist ein Bereich von 1 m festgelegt.

Im Bereich des PFA FSQ wurden zwei maßgebliche Immissionsorte identifiziert (Betriebsgebäude FSQ-3a, FSQ-3b). Innerhalb der Betriebsgebäude sind insbesondere die Kommunikationsräume, Kontrollräume, Küchen, Pausenräume und Besprechungsräume schützenswerte Orte gemäß 26. BImSchV (vgl. Abb. 5). Relevante Niederfrequenzanlagen befinden sich in den Mittelspannungs- und Transformatorräumen und ggf. in den Kabelräumen.

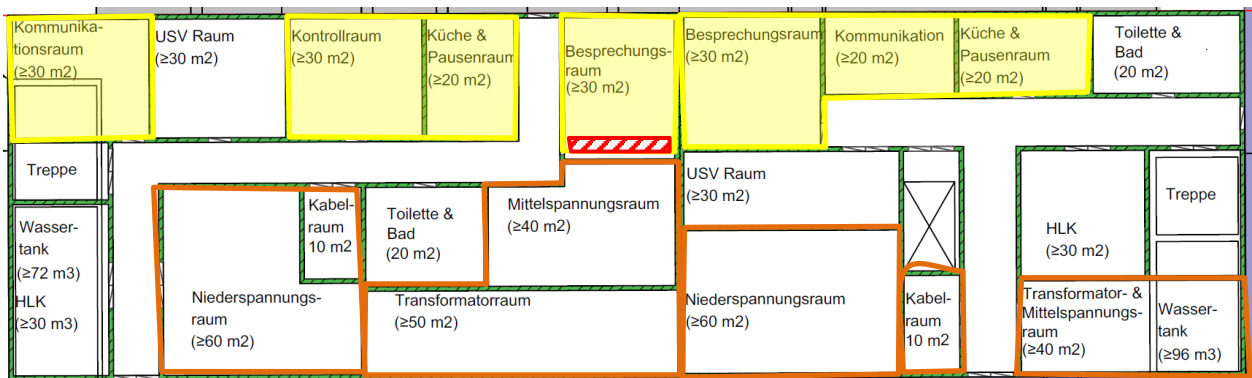


Abb. 5: Betriebsgebäude, Raumbelegung, links: Betriebsräume Straße, rechts: Betriebsräume Schiene; Räume mit Niederfrequenzanlagen bzw. immissionsrelevanten Komponenten sind orange umrandet, die relevanten Immissionsorte sind gelb markiert. Der Bereich mit einer ggf. relevanten Überlagerung von Immissionen aus Niederfrequenzanlagen ist rot schraffiert

Als relevanter Abstand für die Mittelspannungs- und Transformatorräume innerhalb des Betriebsgebäudes, innerhalb dessen die elektromagnetischen Immissionen aus den Mittelspannungsanlagen mit den Immissionen der Oberleitung zu überlagern sind, wird der Abstand, wie er für Netzstationen definiert ist – also 1 m – herangezogen. Dieser Bereich, in welchem ein relevanter Immissionsbeitrag an maßgeblichen Immissionsorten sowohl aus der Oberleitung als

auch dem Mittelspannungsraum vorherrschen kann, ist in Abb. 5 rot schraffiert. Insbesondere entlang der Wand zum Mittelspannungsraum kann es im Besprechungsraum der Betriebsräume Straße zu relevanten Immissionen kommen. Um die Anforderungen der 26. BImSchV auch in Überlagerung mit den Immissionen der Oberleitungsanlage sicher einhalten zu können, sollten daher die stromführenden Mittelspannungskomponenten in diesem Mittelspannungsraum auf der dem Besprechungsraum gegenüberliegenden Seite installiert werden.

Falls die stromtragenden Komponenten im Mittelspannungsraum der Betriebsräume Straße auf der dem Besprechungsraum gegenüberliegenden Raumseite installiert werden, kann von einer Einhaltung des § 3 Abs. 3 der 26. BImSchV zur Überlagerung der Immissionen aus dieser geplanten OLA mit Immissionen aus anderen Niederfrequenzanlagen ausgegangen werden.

**Auflage:** Falls auch entlang der Wand des Mittelspannungsraums zum Besprechungsraum stromtragende Mittelspannungskomponenten installiert werden, ist ein expliziter Nachweis zur Einhaltung der Anforderungen des § 3 Abs. 3 der 26. BImSchV zu führen.

## **8 Berücksichtigung von Hochfrequenzanlagen (9 kHz – 10 MHz)**

Gemäß § 3 Abs. 3 der 26. BImSchV sind bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte zusätzlich alle Immissionen zu berücksichtigen, die durch andere Niederfrequenzanlagen, sowie durch ortsfeste 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, gemäß Anhang 2a der 26. BImSchV [1] entstehen.

Zur Ermittlung der sich im Projektbereich befindenden relevanten Hochfrequenzanlagen dient die Datenbank der Bundesnetzagentur (<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/TK/Funktechnik/EMF/start.html>). Die für die Überlagerung relevanten Funkanlagen werden dort mit einem blauen Dreieckssymbol mit schwarzem „i“ (▲) dargestellt. Nicht relevant sind die blauen Dreieckssymbol mit weißem „i“ (▲) dargestellten Hochfrequenzanlagen (Frequenzen über 10 MHz).

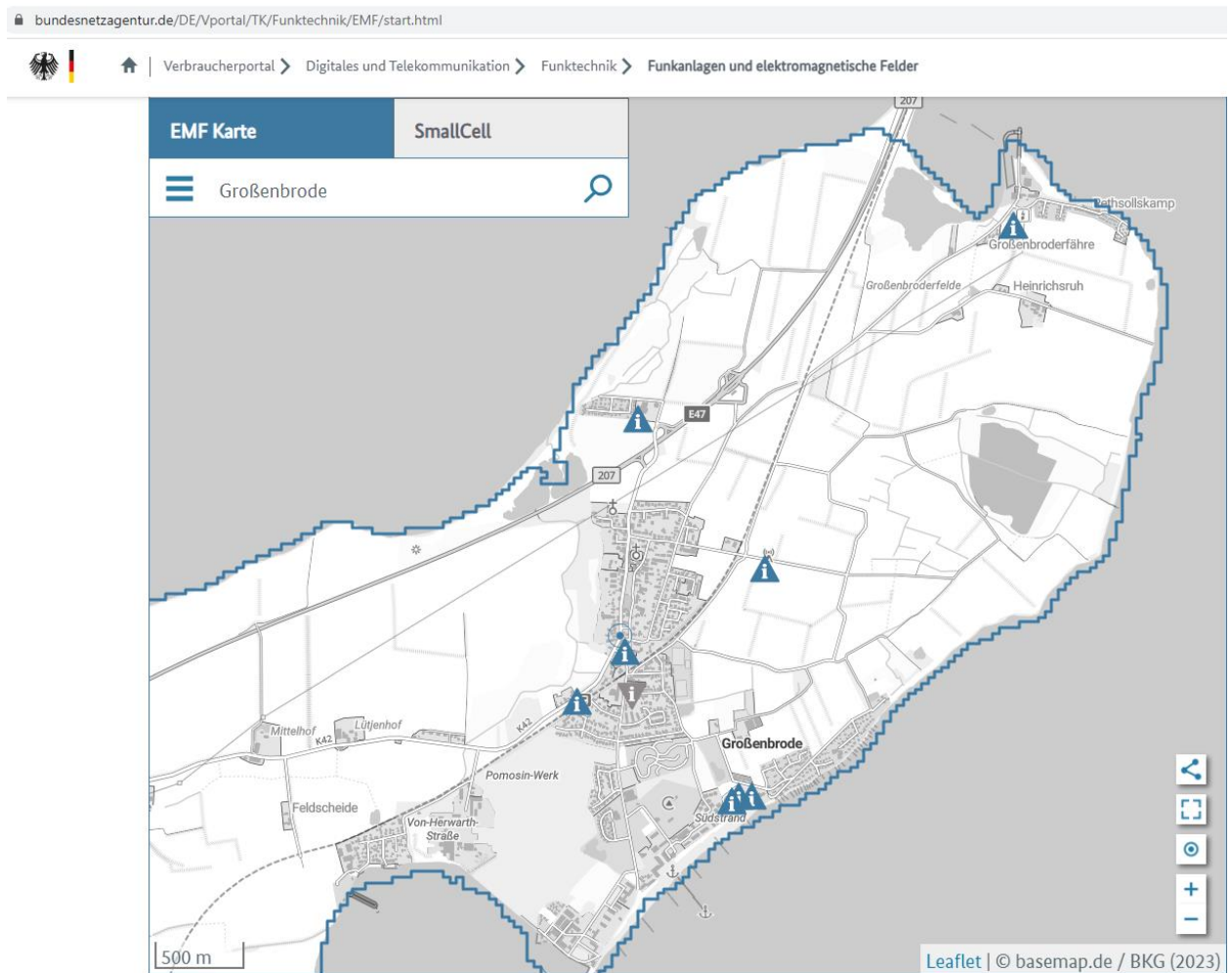




Abb. 6: Auszug der EMF-Datenbankauswertung im PFA FSQ im kleinen Maßstab - Teil Festland (20.6.2023)

 relevante Hochfrequenzanlage

 nicht relevante Hochfrequenzanlagen (Frequenzen über 10 MHz)



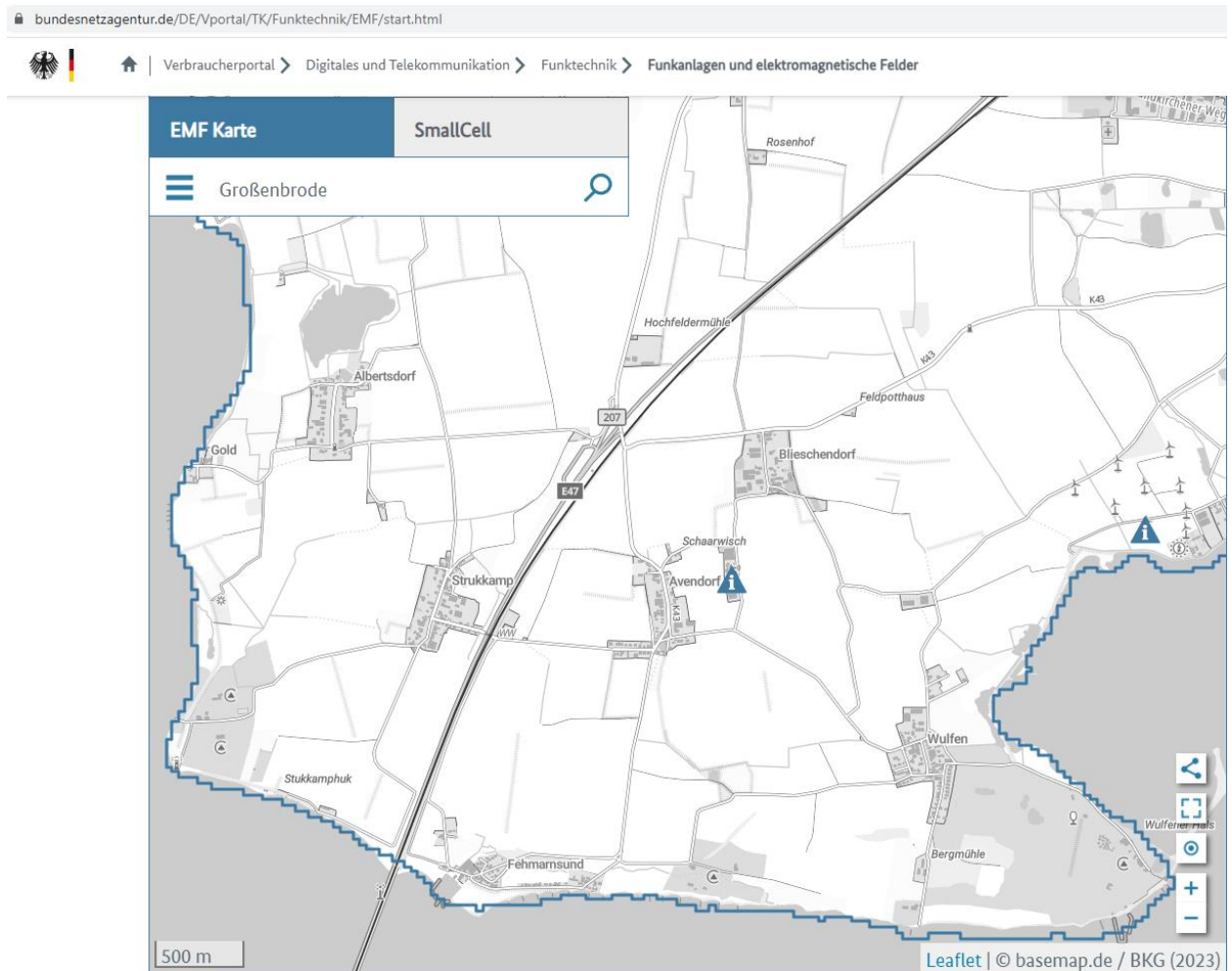


Abb. 7: Auszug der EMF-Datenbankauswertung im PFA FSQ im kleinen Maßstab – Teil Insel Fehmarn (20.6.2023)

relevante Hochfrequenzanlage

nicht relevante Hochfrequenzanlagen (Frequenzen über 10 MHz)

Es gibt **keine relevante Funkanlage** in der Nähe des Projektbereichs des PFA FSQ.

Die nächste Hochfrequenzanlage (bis 10 MHz) bei Heringsdorf (Standortbescheinigungs-Nr.: 320388) ist mehr als 10 km vom betrachteten Streckenbereich entfernt und trägt damit nicht relevant zur Vorbelastung bei.

Nachfolgend ist ein Auszug im großen Maßstab, der den gesamten PFA FSQ dargestellt, bei dem die nächste ortsfeste Funkanlage mit einer Frequenz von weniger als 10 MHz bei Heringsdorf ersichtlich ist.



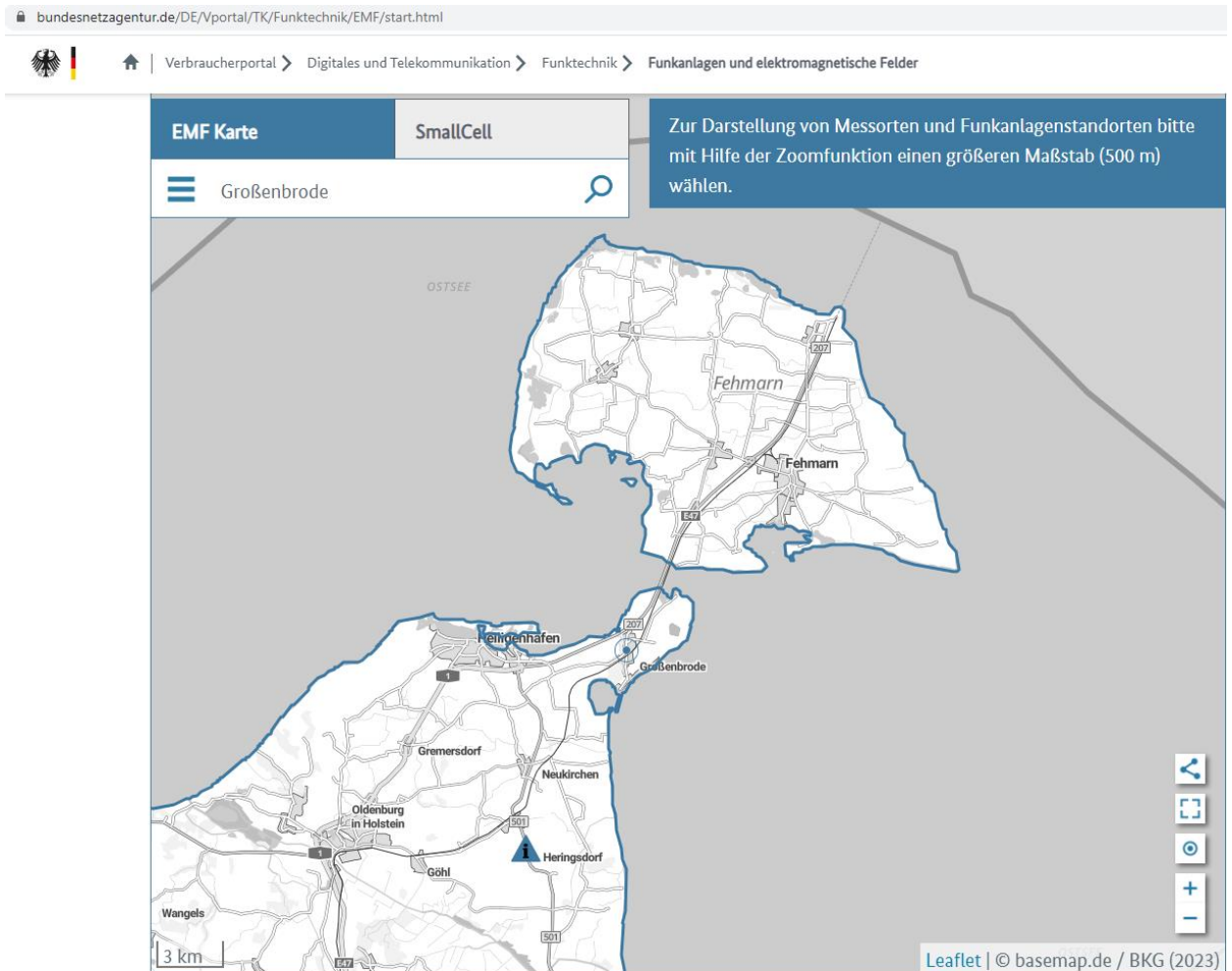



Abb. 8: EMF-Datenbank-Auszug, großer Maßstab (20.6.2023)

**i** relevante Hochfrequenzanlage

 nicht relevante Hochfrequenzanlagen (Frequenzen über 10 MHz) – in diesem Bild ausgeblendet

## 9 Anforderungen zur Vorsorge

Die 26. BImSchV [1] regelt im § 4 Anforderungen zur Vorsorge. Absatz 2 dieses Paragraphen schreibt bei der Errichtung und bei wesentlichen Änderungen von Niederfrequenzanlagen sowie Gleichstromanlagen vor, die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik - unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich - zu minimieren. Näheres regelt eine Verwaltungsvorschrift gemäß § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Diese Verwaltungsvorschrift ist die 26. BImSchVVwV [6].

Im Rahmen zur Untersuchung des Minimierungsgebots sind die Schritte Vorprüfung, Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen und Maßnahmenbewertung durchzuführen.

Die 26. BImSchVVwV legt im Abschnitt 3.2.1.2 den Einwirkungsbereich von Bahnüberleitungen mit einem Abstand von 100 m und von Erdkabeln und Ortsnetzstationen mit 10 m fest. Abschnitt 2.11 der 26. BImSchVVwV definiert den *maßgeblichen Minimierungsort*. Ein maßgeblicher Minimierungsort ist eine im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage liegendes Gebäude oder Grundstück im Sinne des § 4 Abs. 1 der 26. BImSchV – das sind Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze oder ähnliche Einrichtungen mit den

dazu-gehörigen Gebäuden und Grundstücken - sowie jedes Gebäude oder Gebäudeteil, das zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dient.

Der Bewertungsabstand für Oberleitungsanlagen wird im Abschnitt 3.2.2 der 26. BImSchVVwV für Bahnoberleitungen mit 10 m von Erdkabeln und Ortsnetzstationen mit 1 m festgelegt. Befindet sich kein maßgeblicher Minimierungsort innerhalb des Bereichs zwischen Anlagenmitte / Trassenachse und des Bewertungsabstandes, so ist das Minimierungspotential nur an den Bezugspunkten zu ermitteln.

Der Bezugspunkt ist laut Abschnitt 2.4 der 26. BImSchVVwV ein Punkt, der für maßgebliche Minimierungsorte, die außerhalb des Bewertungsabstandes liegen, ermittelt wird. Er liegt im Bewertungsabstand auf der kürzesten Geraden zwischen dem jeweiligen maßgeblichen Minimierungsort und der jeweiligen Anlagenmitte / Trassenachse. Der Bezugspunkt ist so gewählt, dass durch eine auf diesen Punkt bezogene Minimierung die Feldstärken in größeren Abständen ebenfalls minimiert werden.

Liegt mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort zwischen der Anlagenmitte / Trassenachse und dem Bewertungsabstand, so ist eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich. Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden. Im Fall I befinden sich alle maßgeblichen Minimierungsorte im Bereich zwischen der Anlagenmitte / Trassenachse und dem Bewertungsabstand; im Fall II liegen sowohl innerhalb als auch außerhalb dieses Bereiches maßgebliche Minimierungsorte.

Im Fall I ist das Minimierungspotential für die innerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorte zu ermitteln.

Im Fall II ist das Minimierungspotential für die innerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorte und an den Bezugspunkten für die außerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorte zu ermitteln. Bei dichter Bebauung mit einer Vielzahl von Bezugspunkten, können stattdessen ein oder mehrere repräsentative Bezugspunkte gewählt werden (Abschnitt 3.2.2.1 f.).

Bei der individuellen Minimierungsprüfung ist zusätzlich zu prüfen, ob eine Minimierungsmaßnahme zu einer Erhöhung der Immissionen an innerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorten führen würde.

Für die jeweilige Anlage ist bezogen auf die festgelegten Bezugspunkte und maßgeblichen Minimierungsorte das Minimierungspotential zu prüfen. Dazu listet die 26. BImSchVVwV im Abschnitt 5.2.3 die nachfolgenden Minimierungsmaßnahmen für OLA auf:

#### Abstandsoptimierung:

Feldverursachende Anlagenteile, wie Verstärkungs- oder Speiseleitungen, sind innerhalb des Betriebsgeländes mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten zu errichten. Möglich ist zum Beispiel die erhöhte Anbringung und geeignete Ausrichtung von Querträgern.

#### Minimierung der Distanz zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch den Einsatz von Auto-Transformatoren:

Ein möglichst hoher Anteil des Rückstroms wird aus Gleis und Erdreich ferngehalten und mit möglichst geringer Distanz zu den Anlagenteilen geführt, die die höchsten zufließenden Ströme leiten wie Speise- und Verstärkungsleitungen sowie Fahrdrähte.

#### Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Booster-Transformatoren ohne Isolierstöße:

Ein möglichst hoher Anteil des Rückstroms wird aus Gleis und Erdreich ferngehalten und mit möglichst geringer Distanz zu den Anlagenteilen geführt, die die höchsten zufließenden Ströme leiten wie Speise- und Verstärkungsleitungen sowie Fahrdrähte.

#### Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Installation eines Rückleiterseils ohne Isolierstöße:

Ein möglichst hoher Anteil des Rückstroms wird aus Gleis und Erdreich ferngehalten und mit möglichst geringer Distanz zu den Anlagenteilen geführt, die die höchsten zufließenden Ströme leiten wie Speise- und Verstärkungsleitungen und Fahrdrähte.

Minimierung des Fahrstroms:

Die Streckenabschnitte werden zweiseitig gespeist.

Für Drehstromerkabel listet die 26. BImSchVVwV im Abschnitt 5.3.2 die nachfolgenden Minimierungsmaßnahmen auf:

Minimieren der Kabelabstände

Die Kabel werden mit möglichst geringem Abstand zueinander verlegt; hierzu gehört auch die Minimierung der Kabelabstände innerhalb eines Stromkreises und zu anderen Stromkreisen.

Optimieren der Leiteranordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Anordnung der einzelnen Kabel wird die Anschlussreihenfolge der Drehstromleiter an die Erdkabel so gewählt, dass sich die von den Kabeln ausgehenden magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Optimieren der Verlegegeometrie

Kabel werden so verlegt, dass die relative Position der einzelnen Kabel eine bestmögliche Kompensation der entstehenden magnetischen Felder ermöglicht. Sie können in einer Ebene – horizontal oder vertikal – oder im Dreieck verlegt werden. Für die Kompensation ist eine Anordnung im Dreieck günstig. Zusätzlich können Kabel mit kleinerem Kabelquerschnitt verdreht werden.

Optimieren der Verlegetiefe

Die Erdkabel werden tief im Boden verlegt.

Für Ortsnetzumspannstationen listet die 26. BImSchVVwV im Abschnitt 5.3.4 die nachfolgenden Minimierungsmaßnahmen auf:

Abstandsoptimierung

Feldverursachende Anlagenteile werden innerhalb des Betriebsraums mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten errichtet; hierzu gehören die Ausrichtung der Niederspannungsseite von Transformatoren auf eine von maßgeblichen Minimierungsorten abgewandten Seite des Betriebsraums sowie das Verlegen von Leitungen auf kurzmöglichstem Weg an den von maßgeblichen Minimierungsorten am weitesten entfernten Wänden oder am Fußboden der Anlage. Bei Maststationen zählt die Erhöhung des Mastes zu den Maßnahmen.

Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung

Betriebsmittel oder Betriebsmittelelemente, die Spannungen und Ströme mit unterschiedlicher Phase führen, werden möglichst nah zusammen kompakt aufgebaut, damit sich die elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung

An der Niederspannungsverteilung wird der Anschluss der Leitung vom Transformator so platziert, dass die magnetfeldverursachenden Ströme auf der Niederspannungsverteilung minimiert werden. Die Mitte der Niederspannungsverteilung ist ein günstigerer Anschlussort als deren Seiten.

Die Prüfung möglicher Minimierungsmaßnahmen erfolgt individuell für die geplante Anlage einschließlich ihrer geplanten Leistung und für die festgelegte Trasse. Ein Variantenvergleich der Trassierungs-Varianten aus der Umweltverträglichkeitsstudie [8] bzw. dem Gesamterläuterungsbericht Teil A zur Planfeststellung (Ausbau der Bestandstrasse, Trassenverlauf aus Betroffenheitsanalyse, Trassenverlauf aus landesplanerischem Abschluß, Antragstrasse) ist im Rahmen der Nachweisführung zur Einhaltung von § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV [1] und der 26. BImSchVVwV [5] vom Gesetzgeber also ausdrücklich nicht vorgesehen.

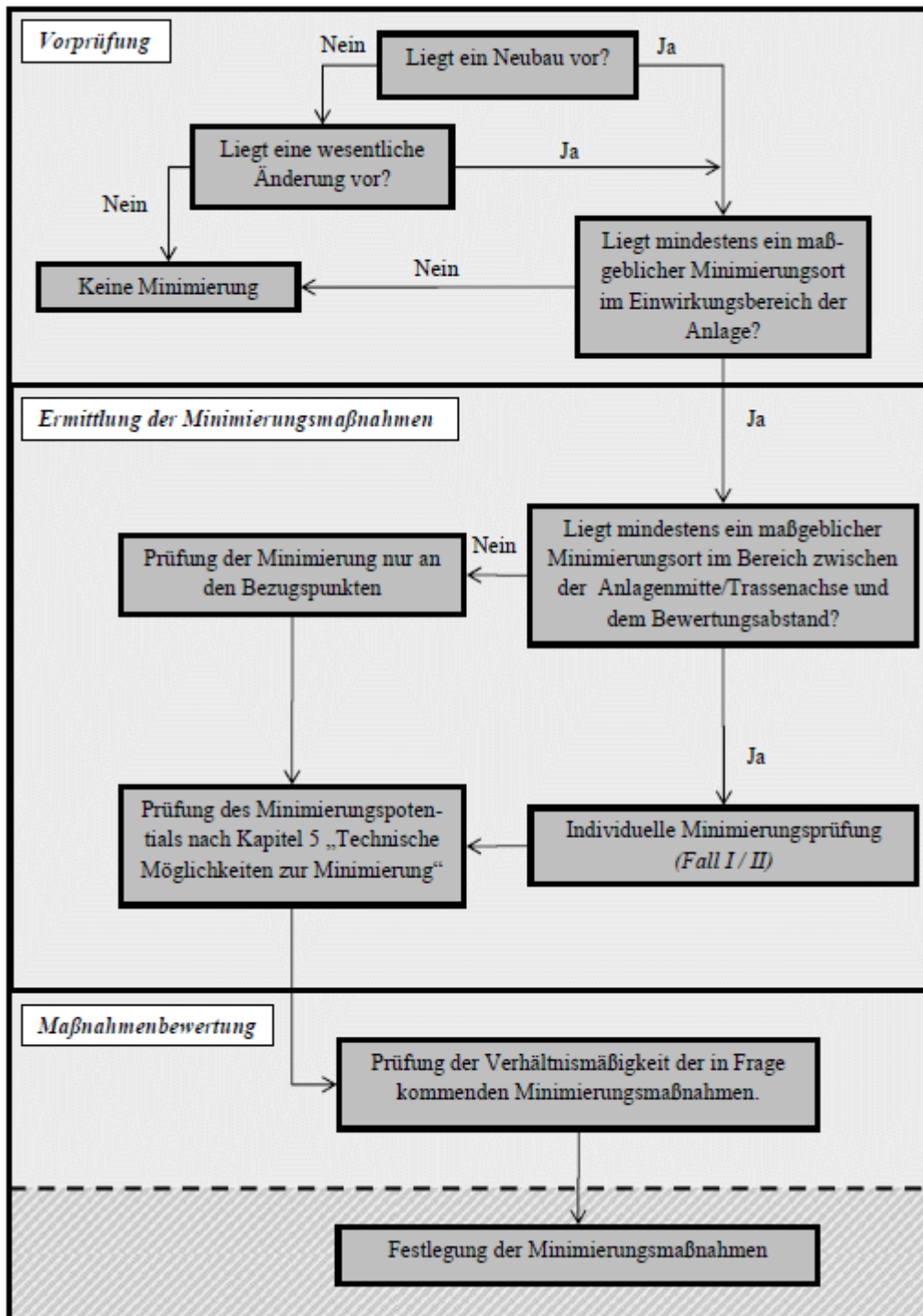
Es sind immer sämtliche Minimierungsmaßnahmen zu prüfen, da eine Anwendung mehrerer Minimierungsmaßnahmen in Betracht kommen kann.

Das Vorgehen zur Umsetzung des Minimierungsgebots ist in drei Teilabschnitte unterteilt:

- **Vorprüfung:**  
Die Vorprüfung dient der Feststellung, ob für die jeweilige Anlage überhaupt eine Minimierung durchzuführen ist und damit eine Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen erforderlich wird.
- **Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen:**  
Die Prüfung der Minimierung ist von der Lage der maßgeblichen Minimierungsorte in Bezug auf den Bewertungsabstand abhängig. Es wird zwischen einer Prüfung nur an den Bezugspunkten und einer individuellen Minimierungsprüfung unterschieden.
- **Maßnahmenbewertung, Festlegung der Minimierungsmaßnahmen:**  
Im letzten Teilschritt 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.  
Es 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.  
Abschließend erfolgt die endgültige Festlegung der Minimierungsmaßnahmen.

Dazu stellt die 26. BImSchVV im Anhang I ein Flussdiagramm bereit, welches den Ablauf grafisch darstellt. Es ist im Nachgang wiedergegeben.

Flussdiagramm zum Vorgehen zur Umsetzung des Minimierungsgebots (Quelle: 26. BImSch-VVwV, Anhang I):



Vorprüfung:

Bei der Elektrifizierung der Schienenanbindung der Festen Fehmarnbeltquerung im PFA FSQ liegt eine Neuelektrifizierung vor. Dies entspricht einem Neubau einer Niederfrequenzanlage gemäß 26. BImSchV.

Im Anhang 1 werden die maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich der Anlage tabellarisch aufgelistet. Die Tabelle unterscheidet dabei bereits zwischen maßgeblichen Minimierungsorten, die sich aufgrund ihrer Lage innerhalb bzw. außerhalb des Bewertungsabstands von der Anlage entfernt befinden.

Damit ist die Vorprüfung gemäß 26. BImSchVVwV abgeschlossen.

Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen:

Die erste Aufgabe bei der Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen besteht darin, festzustellen, ob maßgebliche Minimierungsorte im Bereich zwischen der Anlagenmitte / Trassenachse und dem Bewertungsabstand liegen. Die Eingruppierung der maßgeblichen Minimierungsorte wurde bereits in der Vorprüfung durchgeführt. Das Ergebnis ist in der Tabelle in Anlage 1 mit eingetragen.

Als nächster Schritt werden aus der Tabelle in Anhang 1 als Ergebnisse die Orte, für welche eine Prüfung des Minimierungspotentials durchzuführen ist (sog. maßgebliche Minimierungsorte), extrahiert. Geeignete maßgebliche Minimierungsorte konnten dabei zusammengefasst werden, solange sich die Streckencharakteristik im Verlauf nicht wesentlich ändert. Aufgrund des Einwirkungsbereichs von 100 m der Oberleitungsanlage können bei dieser Zusammenlegung ggf. auch Bereiche im Trassenverlauf von bis zu ca. 100 m ohne maßgeblichen Minimierungsort ignoriert werden.

Die Prüfung und Bewertung der fünf Minimierungsvarianten wurde für Standardoberleitungsanlagen bereits allgemein durchgeführt und mit dem EBA als Planfeststellungsbehörde abgestimmt [3]. Die Ergebnisse dieser Abstimmung mit dem EBA fließen mit in den Leitfaden [10] ein, der für die Prüfung und Bewertung der technischen Möglichkeiten zur Minimierung heranzuziehen ist.

Die Ergebnisse der Prüfung und Bewertung der Minimierungsvarianten gemäß Leitfaden ist in Tab. 2 als Übersicht gelistet.

lfd. Nr. gemäß Anhang 1	Beschreibung	Nutzungsart	Minimierungsmaßnahme
FSQ-1	MMO bzgl. OLA bahnrechts im Be- reich Bau-km 170,41 - 170,46	Wohnen	Installation eines Rückleiterseils bahnrechts über mind. eine komplette Nachspannlänge von Abspannmast zu Abspannmast (mindestens von Bau-km 170,41 - 170,46

lfd. Nr. gemäß Anhang 1	Beschreibung	Nutzungsart	Minimierungsmaßnahme
FSQ-3a, FSQ-3b	MMO bzgl. OLA und Mittelspan- nungsraum	Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installation von je einem Rückleiter in beiden Bahn-Tunnelröhren über mind. eine komplette Nachspannlänge von Abspannmast zu Abspannmast</li> <li>- Abstandsoptimierung der feldverursachenden Komponenten in den Betriebsräumen zu maßgeblichen Minimierungsorten (siehe Text unten)</li> <li>- Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung</li> <li>- Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung</li> </ul>
FSQ-4, FSQ-5	MMOe bzgl. OLA beidseits im Be- reich Bau-km 175,67 - 175,76	Arbeit, Wohnen	Installation von Rückleiterseilen beidseits über mind. eine komplette Nachspannlänge von Abspannmast zu Abspannmast (mindestens von Bau-km 175,67 - 175,76)

Tab. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Prüfung der Minimierungsmaßnahmen an maßgeblichen Minimierungsorten

Es wird die Installation von Rückleiterseilen beidseits (in Bereichen, in denen sich nur auf einer Trassenseite maßgebliche Minimierungsorte befinden, allerdings nur auf der den maßgeblichen Minimierungsorten zugewandten Trassenseite) empfohlen. Die Rückleiterseile werden immer mindestens über eine komplette Nachspannlänge von Abspannmast zu Abspannmast geführt. Anfang und Ende der Rückleiterseile sind jeweils regelwerkskonform an die Schienen anzuschließen. Im gesamten Tunnelbereich wird je Gleis ein Rückleiter mitgeführt.

Für die Betriebsgebäude werden folgende Maßnahme empfohlen: Feldverursachende Anlagenteile werden innerhalb der Betriebsräume (Mittelspannungsraum, Transformatorraum, Niederspannungsraum, Kabelraum) mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten (Kontrollraum, Besprechungsraum, Pausenraum, Küche, Kommunikationsraum) errichtet; hierzu gehören die Ausrichtung der Niederspannungsseite von Transformatoren auf eine von maßgeblichen Minimierungsorten abgewandten Seite des Betriebsraums, die Installation stromtragender Komponenten auf einer von maßgeblichen Minimierungsorten abgewandten Seite des Betriebsraums sowie das Verlegen von Leitungen auf kurzmöglichstem Weg an den von maßgeblichen Minimierungsorten am weitesten entfernten Wänden oder am Fußboden der Anlage. Weil von den Leitern der Niederspannungsseite höhere Magnetfelder als von Leitern der Mittelspannungsseite ausgehen, sind Maßnahmen, die die Distanz von Anlagenteilen der Niederspannungsseite zu maßgeblichen Minimierungsorten erhöhen, in der Regel effektiver. Betriebsmittel oder Betriebsmittelelemente, die Spannungen und Ströme mit unterschiedlicher Phase führen, werden möglichst nah zusammen kompakt aufgebaut, damit sich die elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren. An der Niederspannungsverteilung wird der Anschluss der Leitung vom Transformator so platziert, dass die magnetfeldverursachenden Ströme auf der Niederspannungsverteilung minimiert werden. Die Mitte der Niederspannungsverteilung ist ein günstigerer Anschlussort als deren Seiten.

## 10 Ergebnisse und Zusammenfassung

Es erfolgte eine Betrachtung der geplanten Anlage hinsichtlich magnetischer und elektrischer Felder.

Aufgrund der Elektrifizierung ist generell von keinen gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch die magnetischen oder elektrischen Felder der erwarteten Größenordnung im Bereich der geplanten Bahntrasse auszugehen. Die Grenzwerte der 26. BImSchV werden deutlich unterschritten.

Die Untersuchung zur Berücksichtigung anderer Niederfrequenzanlagen oder ortsfester Hochfrequenzanlagen gemäß § 3 Abs. 3 der 26. BImSchV ergab, dass keine relevanten, zu berücksichtigenden ortsfesten Hochfrequenzanlagen im Projektbereich vorhanden sind.

Die immissionsrelevanten, stromtragenden Komponenten im Mittelspannungsraum des Betriebsgebäudeteils Straße sollten auf der dem Besprechungsraum abgewandten Raumseite installiert werden (Empfehlung), ansonsten ist ein expliziter Nachweis gemäß § 3 Abs. 3 der 26. BImSchV zur Überlagerung der Immissionen der OLA und der Komponenten im Mittelspannungsraum zu erbringen (siehe Auflage).

Für die Anforderungen zur Vorsorge gemäß § 4 der 26. BImSchV wird nach eingehender Prüfung des Minimierungspotentials und der Bewertung der Maßnahmen die Installation von Rückleiterseilen empfohlen.

Für die feldverursachenden Komponenten in den Mittelspannungsräumen, Transformatorräumen, Niederspannungsräumen und Kabelräumen werden die Abstandsoptimierung, das Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung und das Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung empfohlen.

## 11 Unterschriften

freigegeben:

erstellt:

.....  
Markus Hößl

.....  
Dr. Walter Gutscher



# **Anhang 1:** Übersicht über alle maßgeblichen Immissionsorte und maßgeblichen Minimierungsorte im Projekt FSQ (Fehmarnsundquerung)

lfd. Nr.	Strecke	PFA	Bau-km.	Beschreibung	Abstand [m] <sup>*4)</sup>	Nutzungsart	Kategorisierung gem. 26. BImSchV		Kategorisierung gemäß 26. BImSchVVwV		Bemerkung <sup>*5)</sup>
							Aufenthalt nicht nur vorübergehend	LAI §11.3.1 <sup>*3)</sup>	maßgeblicher Minimierungsort		
									im EB <sup>*1)</sup>	im BA <sup>*2)</sup>	
FSQ -1	1100	FSQ	170,41-170,46 rechts	Wohnhaus mit Grundstück	>62	Wohnen	x	-	x	-	
FSQ -2	1100	FSQ	170,50 - 170,57 rechts	Friedhof	>80	Bestatten	-	-	-	-	n. r.: Friedhof i. A. kein Ort zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt
FSQ -3	1100	FSQ	171,38 rechts	Gebäude	>79	Unbekannt	-	-	-	-	n. r.: Kein Ort zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt
FSQ -3a	1100	FSQ	172,67 oberhalb	Betriebsgebäude	0	Arbeiten	X	X	X	X	Nicht dauerhaft und nur zu Wartungszwecken und bei Ereignissen besetzt; keine Öffentlichkeit/Nachbarschaft
FSQ -3b	1100	FSQ	174,80 oberhalb	Betriebsgebäude	0	Arbeiten	X	X	X	X	Nicht dauerhaft und nur zu Wartungszwecken und bei Ereignissen besetzt; keine Öffentlichkeit/Nachbarschaft
FSQ -4	1100	FSQ	175,67 - 175,70 links	Wohngrundstücksteil	>90	Wohnen	x	-	x	-	Nur ein Teil des Wohngrundstücks ist noch relevant

lfd. Nr.	Strecke	PFA	Bau-km.	Beschreibung	Abstand [m] <sup>*4)</sup>	Nutzungsart	Kategorisierung gem. 26. BImSchV		Kategorisierung gemäß 26. BImSchVVwV		Bemerkung <sup>*5)</sup>
							Aufenthalt nicht nur vorübergehend	LAI §II.3.1 <sup>*3)</sup>	maßgeblicher Minimierungsort		
									im EB <sup>*1)</sup>	im BA <sup>*2)</sup>	
FSQ -5	1100	FSQ	175,72 - 175,76 rechts	Pumpstation	>16	Arbeiten	x	-	x	-	
FSQ -6	1100	FSQ	ca. 176,6 links	Wohngebäude mit Grundstück	>127	Wohnen	-	-	-	-	n. r., da Abstand > 100 m

\*1) im EB: innerhalb des Einwirkungsbereichs der Niederfrequenzanlage (OLA)

\*2) im BA: innerhalb des Bewertungsabstands der Niederfrequenzanlage (OLA)

\*3) LAI §II.3.1: maßgeblicher Immissionsort gemäß LAI §II.3.1

\*4) Abstand [m] von Gleismitte des elektrifizierten Gleises

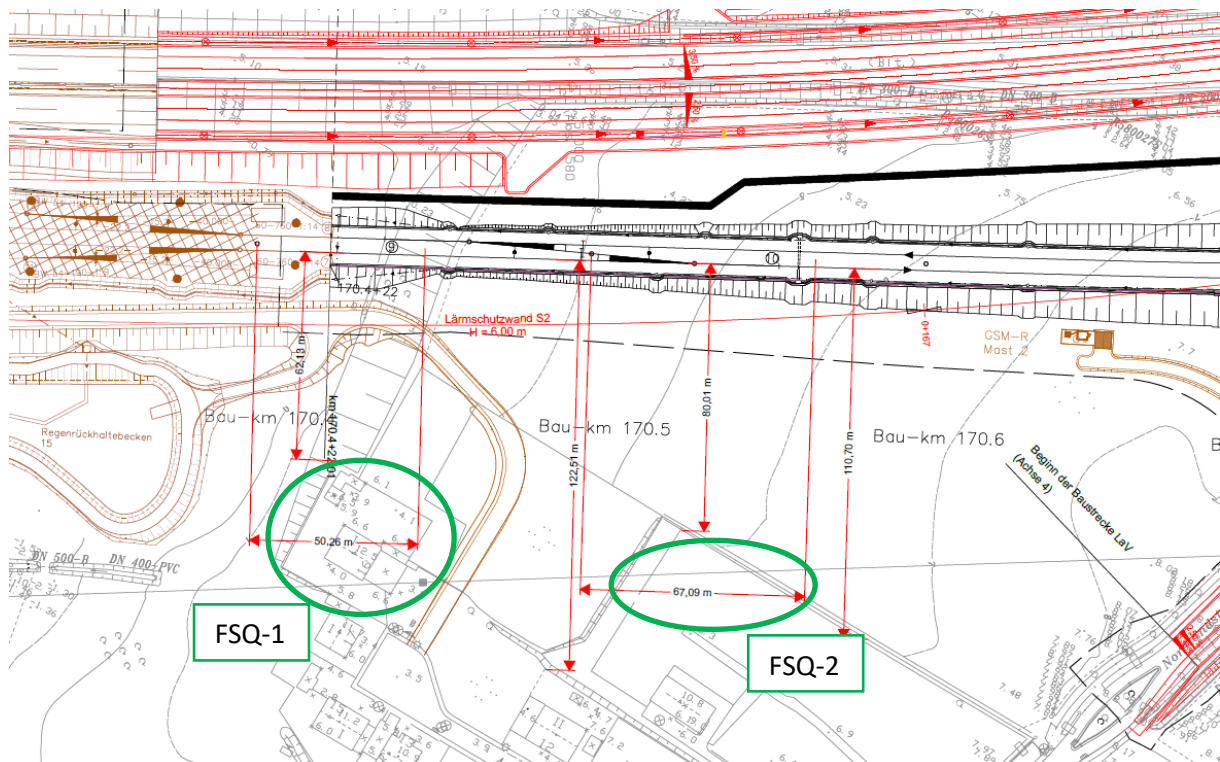
\*5) n. r.: nicht relevant

## Anhang 2: Dokumentation zur Kategorisierung der Orte in Anhang 1 anhand von Kartenausschnitten der Planunterlagen

Lfd. Nr. FSQ-1 und FSQ-2 in Anhang 1:

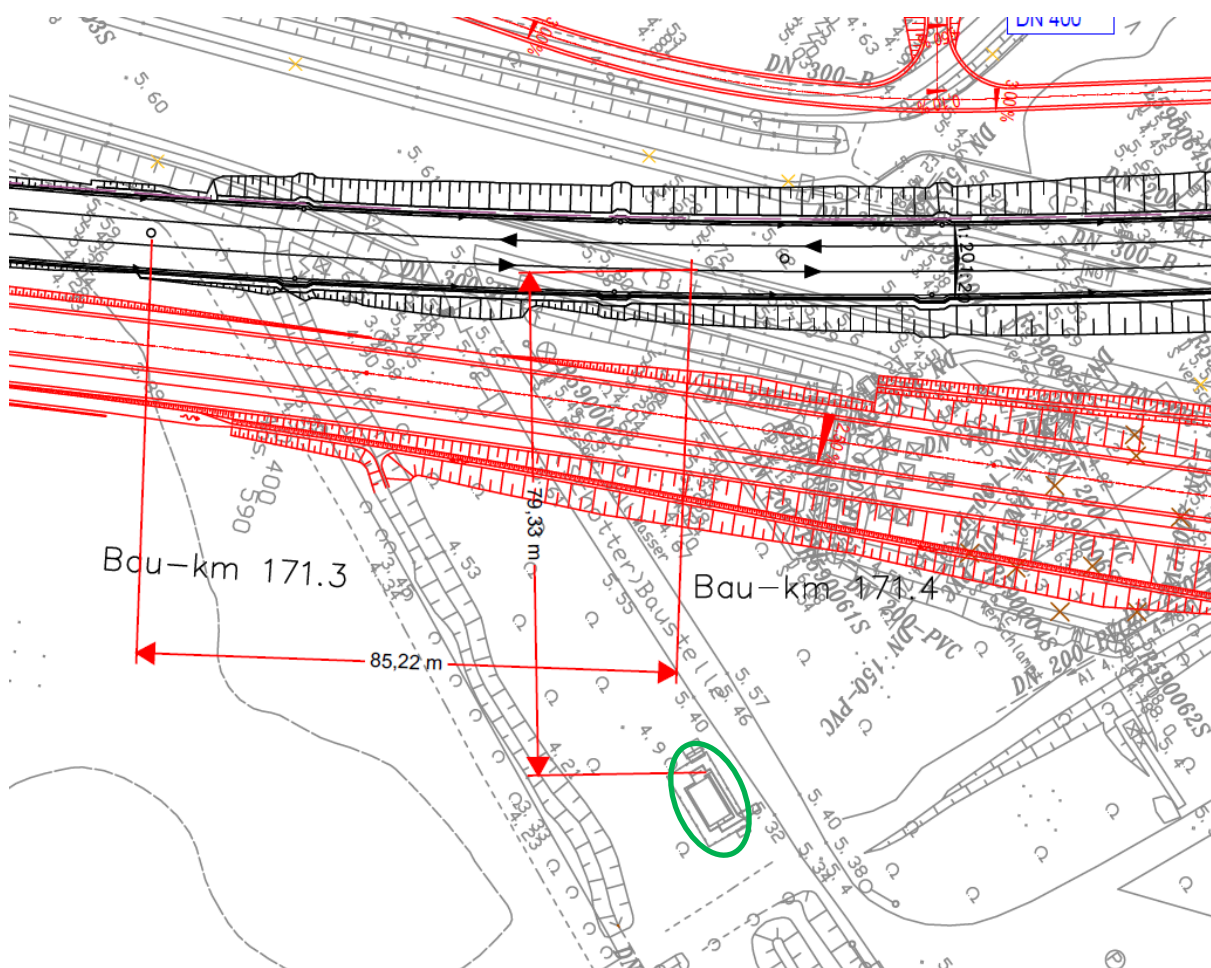
FSQ-1: Wohnhaus mit Grundstück im Bereich Bau-km 170,41 – 170,46 bahnrechts

FSQ-2: Friedhof im Bereich Bau-km 170,50 – 170,57 bahnrechts



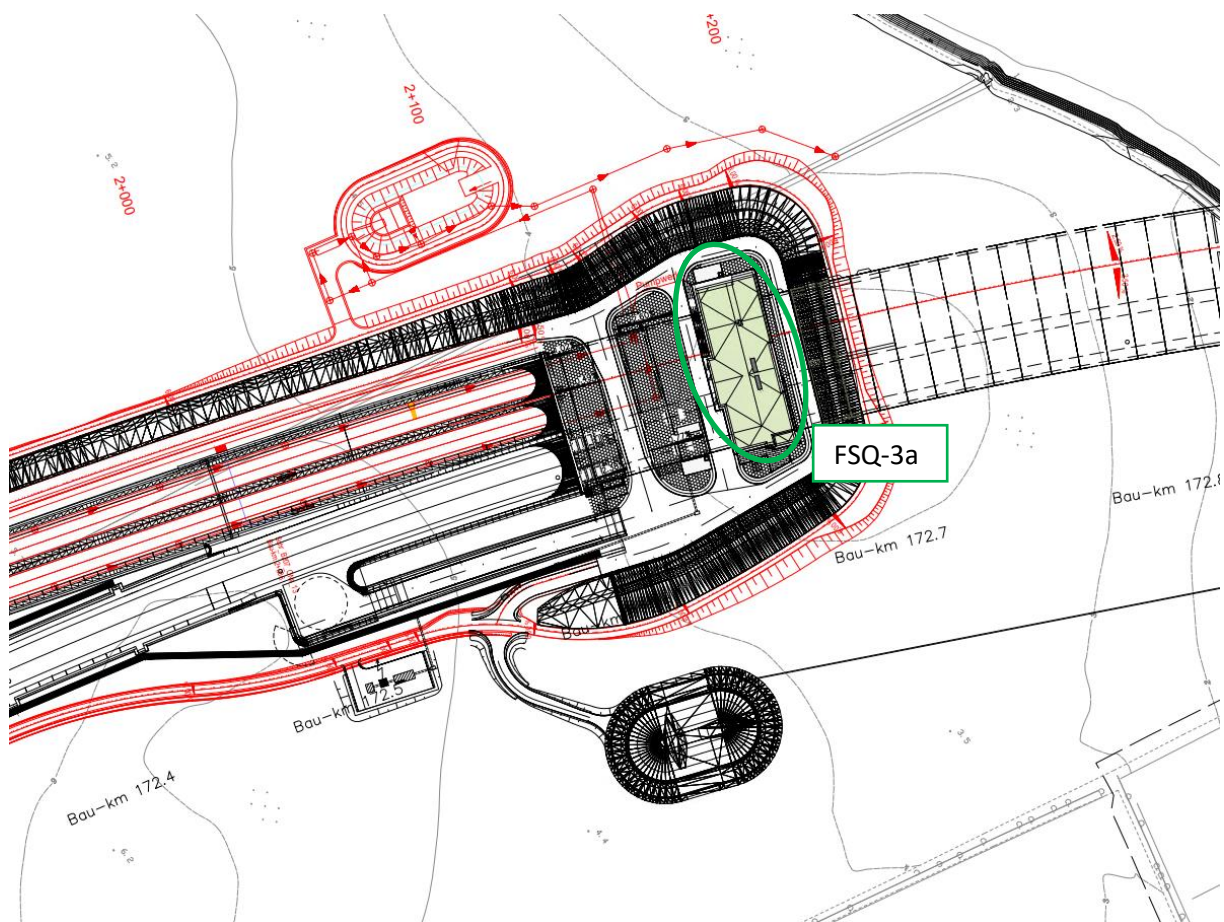
Lfd. Nr. FSQ-3 in Anhang 1:

## Gebäude in Bereich Bau-km 171,38 bahnrechts



Lfd. Nr. FSQ-3a in Anhang 1:

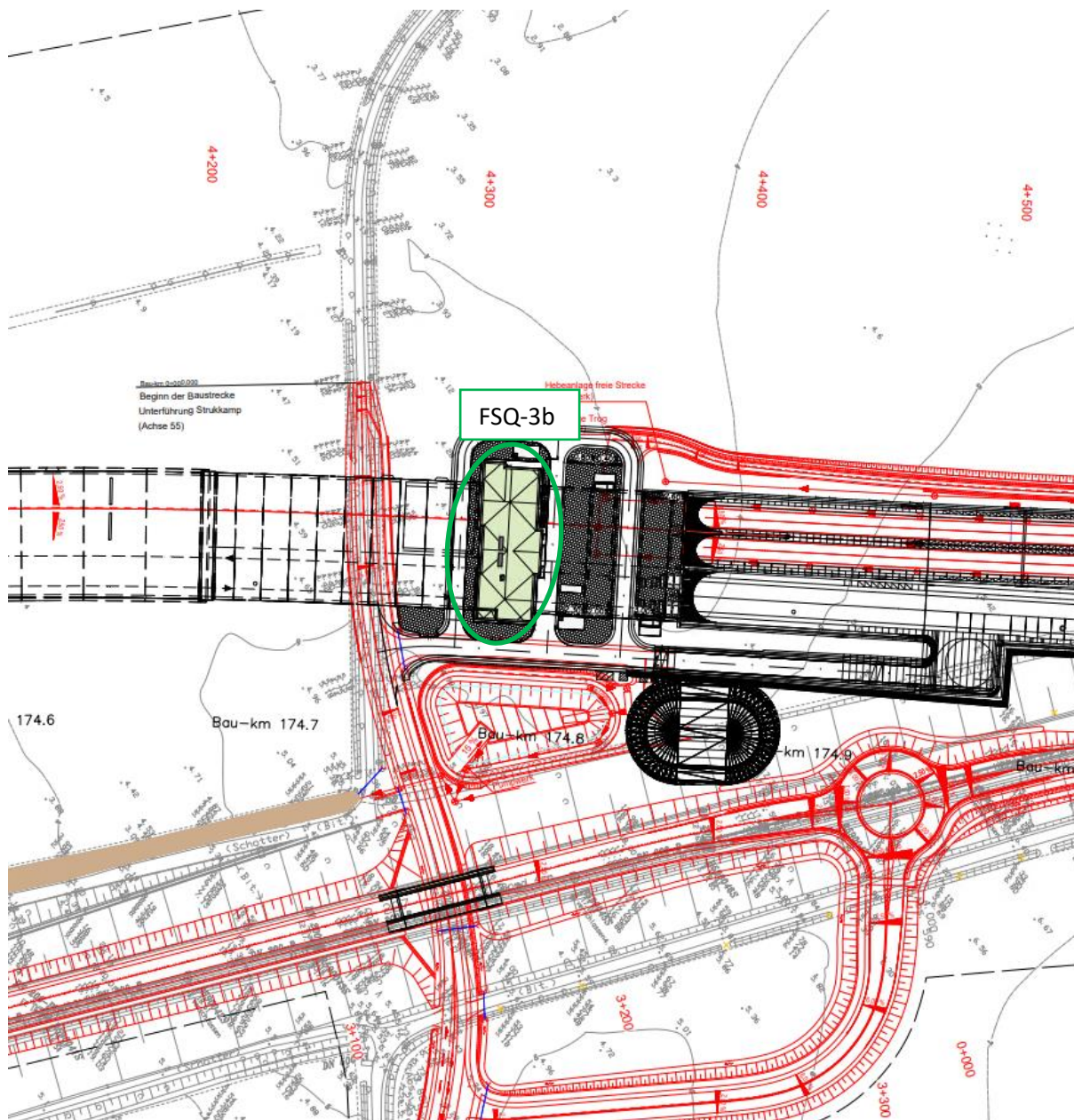
Betriebsgebäude in Bereich Bau-km 172,67 oberhalb





Lfd. Nr. FSQ-3b in Anhang 1:

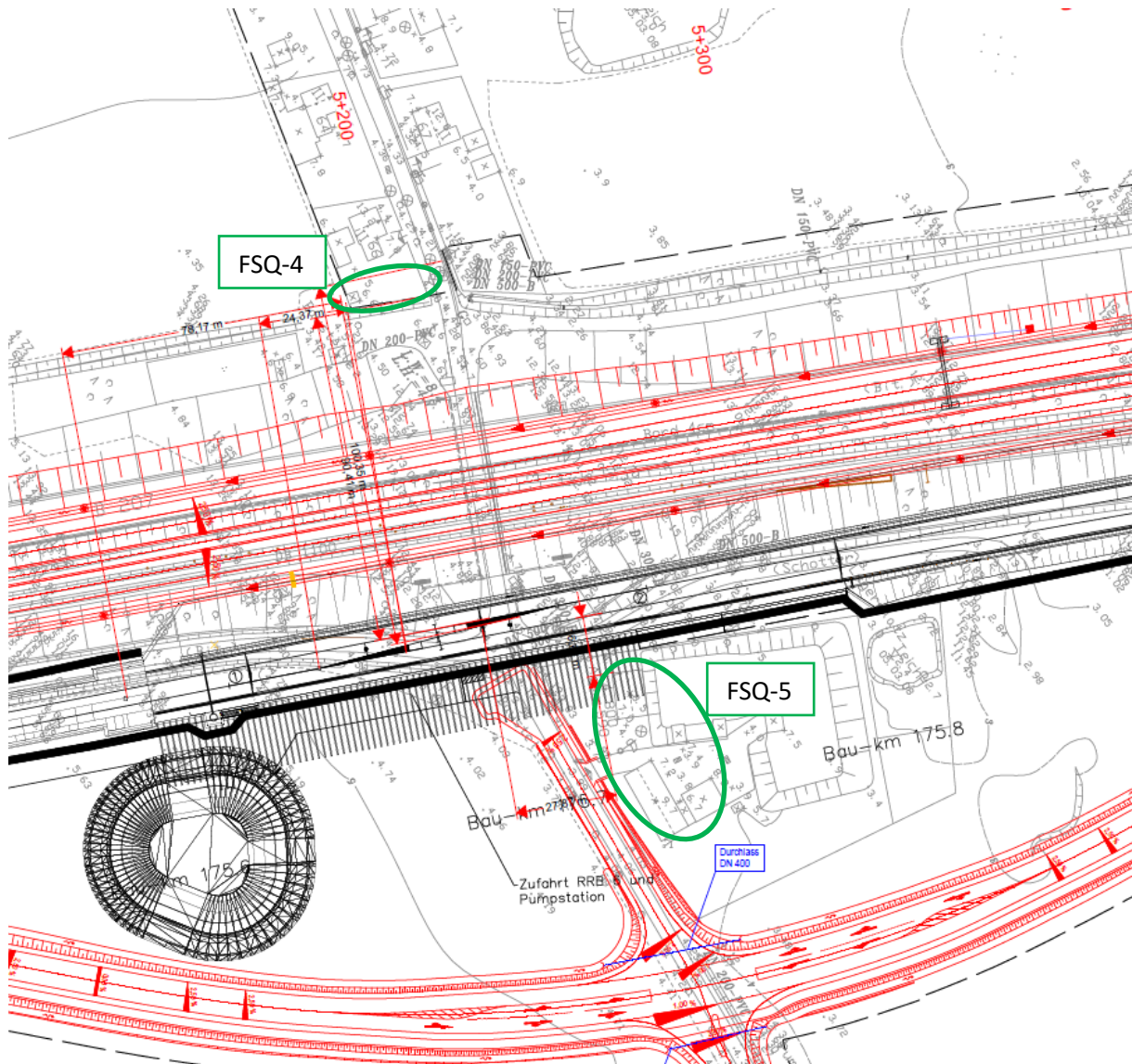
Betriebsgebäude in Bereich Bau-km 174,80 oberhalb



Lfd. Nr. FSQ-4 und FSQ-5 in Anhang 1:

FSQ-4: Wohngrundstücksteil in Strukkamp im Bereich Bau-km 175,67 - 175,70 bahnlinks

FSQ-5: Pumpstation im Bereich Bau-km 175,72 - 175,76 bahnrechts



Lfd. Nr. FSQ-6 in Anhang 1:

Wohngebäude mit Grundstück in Bau-km ca. 176,6 bahnlinks

