

**Unterlage 20.1**

EMV Gutachten inkl. Anlagen

# Projekt Stuttgart 21

Vorhaben:

Unterlage 20.1

## Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart

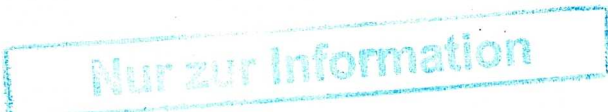
Ausbau- und Neubaustrecke Stuttgart - Augsburg

Bereich Stuttgart - Wendlingen mit Flughafenanbindung

Planfeststellungsabschnitt 1.6b, Abstellbahnhof Untertürkheim



## EMV-Gutachten „Nur zur Information“

Vorhabenträger: DB Netz AG Großprojekte Südwest Schwarzwaldstraße 82 76137 Karlsruhe  11.12.2018 Datum                      Unterschrift	
Vertreter des Vorhabenträgers: DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  Räpplenstraße 17 70191 Stuttgart  11.12.2018 Datum                      Unterschrift	Verfasser: Ingenieurbüro Gerhard Maier  Reuteweg 12 73760 Ostfildern
Genehmigungsvermerk Eisenbahn-Bundesamt  	

Planungsstand: ~~11.12.2018~~ 24.07.2020

1. Änderung im Verfahren „Ersatzflächen Panoramabahn“

# EMV-Gutachten

## Stuttgart 21, PFA 1.6b Abstellbahnhof Untertürkheim

Beratungs-/Gutachterleistungen  
„EMV“

Unterlage 20.1

**Auftraggeber:**

DB PSU GmbH  
Räpplenstr. 17  
70191 Stuttgart

**Auftragnehmer :**

Ingenieurbüro Gerhard Maier  
Reuteweg 12  
D-73760 Ostfildern  
Tel. 07158 65012  
Email: gmaier@sv-maier.de

Nur zur Information

## Änderungsübersicht

Ausgabe	Datum	Bearbeiter(in)	Beschreibung
01	06.07.2020	Maier	Erstausgabe
02	30.07.2020	Maier	Redaktionelle Änderungen nach Prüfdurchlauf

Nur zur Information

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Allgemeines	4
1.1 Kurzbeschreibung der im PFA 1.6b geplanten Maßnahmen	4
1.2 EMV-relevante Merkmale der geplanten Maßnahmen	4
1.3 Leistungsbild dieses Gutachtens	5
2. EMV-Grundsätze	5
2.1 Grundlagen des Gutachtens	5
2.2 Allgemeines	7
2.3 Grenzwerte	8
2.4 Anzunehmende Ströme auf den Leitern	10
2.5 Inhaltliche Grundlagen der EMV-Bewertung	12
2.6 Kritische Bereiche in unmittelbarer Nachbarschaft	15
2.7 Magnetische und elektrische Felder im Bereich des Abstellbahnhofs Untertürkheim	16
3. Ergebnisse und Empfehlungen	17
3.1 Allgemein	18
3.2 Empfehlungen für die Gleisvermaschung	19
4. Zusammenfassung der Ergebnisse	19
5. Anlagenverzeichnis	20
6. Abkürzungsverzeichnis	21

Nur zur Information

## 1. Allgemeines

### 1.1 Kurzbeschreibung der im PFA 1.6b geplanten Maßnahmen

Der Planfeststellungsabschnitt 1.6a/1.6b ist Bestandteil des Bahnprojekts Stuttgart 21 und umfasst die Abstell-, Reinigungs- und Instandhaltungsanlagen des Abstellbahnhofs Untertürkheim (UTH).

Die in Untertürkheim vorhandenen Gleise der S-Bahn (15 kV; 16,7 Hz) und der Regional- und Fernbahn bleiben weitgehend unverändert.

Der Abstellbahnhof UTH wird im Bereich des derzeitigen Güterbahnhofs Untertürkheim realisiert.

Der Abstellbahnhof UTH erhält eine Innenreinigungsanlage (IRA) und ein IRA-Technikgebäude.

### 1.2 EMV-relevante Bestandteile und Merkmale der geplanten Maßnahmen:

- Stromversorgung 15kV/16,7Hz aus dem bestehenden DB-Oberleitungsnetz
- Zusätzliche Speiseleitungen zu/vom Schaltposten Bad Cannstatt
- Kettenwerksüberleitung
- Zugsicherung mit Achszählern und ESTW, dadurch können beide Schienen geerdet werden.
- Im Abstellbahnhof UTH ist eine Funkanlage vorhanden. Diese wird während der Bauzeit versetzt und anschließend wieder neu aufgebaut.
- Die Schienenform ist innerhalb der Anlagen unterschiedlich und wurden in den Querschnitten berücksichtigt.
- Die Bestandsanlagen (Durchfahrtgleise) sind nicht mit Rückleiterseilen ausgerüstet. Für die Abstellanlagen sind ebenfalls keine Rückleiterseile geplant. Rückleiterseile sind nur im Einmündungsbereich der Tunnelstrecke von Stuttgart – Hbf vorhanden.
- Die Gleisanlagen haben einen Schotteroberbau. Davon ausgenommen sind im Abstellbahnhof UTH die Einmündung der Tunnelstrecke vom Hbf Stuttgart, die mit Fester Fahrbahn versehen ist, sowie einige Bereiche im Wartungsbereich, welche mit Straßenfahrzeugen befahren werden können, weshalb die Gleise im Straßenplanum liegen.
- Für die Bewertung des Personenschutzes nach der 26.BImSchV werden für alle Überleitungen und Speiseleitungen die thermischen Grenzströme (560A) zugrunde gelegt.
- Für die Bewertung der Beeinflussung von benachbarten technischen Anlagen werden Überleitungsströme entsprechend den Angaben DB E&C verwendet.

Nur zur Information

### 1.3 Leistungsbild dieses Gutachtens

Gegenstand dieses Gutachtens sind Vorplanungsleistungen für die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in Bezug auf den Personenschutz sowie den Geräte- und Anlagenschutz einschließlich der Angaben zur Bahnstromrückführung, Bahnertung und Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag.

Im Gutachten wird das nach der 26.BImSchV (2013), §3 (3) vorgesehene Summierungsgebot (Berücksichtigung aller Immissionen, auch von ortsfesten Hochfrequenzanlagen zwischen 9 kHz und 10 MHz) nicht berücksichtigt, da im Bereich des Abstellbahnhofs in diesem Frequenzbereich keine Hochfrequenzanlagen vorhanden sind und auch keine errichtet werden.

Für den Bereich der Bahnstromversorgung (15 kV; 16,7 Hz) werden die bestehenden Anlagen, die geplanten Anlagen des PFA 1.6b sowie die Anlagen des PFA 1.6a (für den Tunnelanschluss in UTH) gemeinsam betrachtet und berechnet.

## 2. EMV-Grundsätze

Folgende Unterlagen und Informationen standen zur Verfügung:

### 2.1 Grundlagen des Gutachtens

- Oberleitungs-Lagepläne Abstell-Bf Untertürkheim
  - EbsL\_4700\_AVBB\_BS2-EbsL 4700 AR,
  - EbsL\_4700\_AVBB\_BS2-EbsL 4700 AS
  - EbsL\_4700\_AVBB\_BS2-EbsL 4700 AZ
  - EbsL\_4700\_AVBB\_BS2-EbsL 4700 BA
  - EbsL\_4700\_AVBB\_BS2-EbsL 4700 BB
  - EbsL\_4700\_AVBB\_BS2-EbsL 4700 BC
  - EbsL\_4700\_AVBB\_BS2-EbsL 4700 BD
- Minimierungsbereiche (100 m entspr. Ril 997.0100 A2)
  - UTH mit eingetragenen Schnitten
- Gesetzliche Vorgaben (26. BundesImmissionschutzverordnung (2013))
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26.BImSchV vom 18.12.2015 (26.BImSchVVwV)

- DIN/VDE- und EN-Normen in den aktuellen Fassungen
- Richtlinien der DB, insbesondere 997.0100A1 und A2, 997.02ff und 804
- Angaben zur den realen Oberleitungsströmen der DB E&C vom 24.5.2019
- Charakteristische Querprofile
  - UTH Abstellbahnhof km 0,625 (Q1)
  - UTH Abstellbahnhof km 1,320 (Q2)
  - UTH Abstellbahnhof km 1,6313 (Q3)
- Die Blickrichtung aller Querprofile ist Richtung Osten (Plochingen).
- Angaben zu den 50 Hz-Anlagen im Bereich
  - EeaL BS02 -Trafostation \_ Endverbraucher\_Blatt 1
  - EeaL BS02 -Trafostation \_ Endverbraucher\_Blatt 2
  - EeaL BS02 -Trafostation \_ Endverbraucher\_Blatt 3
  - EeaL BS02 -Trafostation \_ Endverbraucher\_Blatt 4
  - EeaL BS02 -Trafostation \_ Endverbraucher\_Blatt 5
  - EeaL BS02 -Trafostation \_ Endverbraucher\_Blatt 6
  - EeaL BS02 -Trafostation \_ Endverbraucher\_Blatt 7



## 2.2 Allgemeines

In der Umgebung von elektrischen Bahnen treten sowohl elektrische als auch magnetische Felder auf. Die elektrischen Felder beeinflussen die Umgebung durch kapazitive Kopplung (Influenz) und die magnetischen Felder beeinflussen die Umgebung durch induktive Kopplung (Induktion). Influenz und Induktion wiederum können in leitfähigen Strukturen Spannungen und Ströme aufbauen. Die Höhe der elektrischen Feldstärke hängt von der Fahrdrachtspannung (15kV), die der magnetischen Feldstärke vom Strom in der Fahrleitung ab. Beide nehmen mit dem Abstand zur Quelle ab.

Der Strom in der Fahrleitung (Hinstrom, Triebstrom) fließt zum Triebfahrzeug und über die Fahrschienen und Erde (als Rückstrom) zum speisenden Unterwerk zurück. Die Fahrschienen weisen eine gewisse Erdfähigkeit auf. Dadurch gelangt ein Teil des Rückstroms in das Erdreich. Befinden sich im Erdreich leitfähige Strukturen, so werden in diesen Strukturen Teilrückströme fließen. Stehen elektrische Anlagen mit diesen Strukturen in Verbindung (z.B. über Erdungsanlagen), so kann es zu einer Beeinflussung der Anlagen durch galvanische Kopplungen kommen.

Der Hinstrom in der Fahrleitung baut ein Magnetfeld auf. Das Magnetfeld des Rückstroms in den Fahrschienen kompensiert das Magnetfeld des Hinstroms teilweise. Das resultierende Magnetfeld (aus Hin- und Rückstrom) reicht über die Bahngrenze hinaus.

Dabei kommt es aber nicht zu einer vollständigen Kompensation, weil der Schienenrückstrom infolge des über Erde fließenden Teils des Rückstroms geringer als der Hinstrom ist. Zusätzlich hat die geometrische Lage der stromführenden Leiter Einfluss auf die Ausbildung der Magnetfelder. Dieses, nur unvollständig kompensierte Magnetfeld tritt auch im Anliegerbereich auf. Es kann dadurch dort zu einer induktiven Beeinflussung kommen.

Der Rückstrom in den Fahrschienen baut in diesen ein elektrisches Potential auf, welches sich gegen Erde als Berührungsspannung (z.B. durch Berühren des Wagenkastens oder von Fahrleitungsmasten oder von Geländern) abgreifen lässt.

Die elektrische Bahn erreicht dann den Zustand – Elektromagnetisch Verträglich –, wenn die beschriebenen Beeinflussungen Technik, Mensch (und Tier) in der Bahnumgebung nicht in einer unzulässigen Weise beeinträchtigen oder gar gefährden. Dieser Zustand muss durch den Einsatz technischer Mittel und Maßnahmen sichergestellt werden.

Hier zur Information

## 2.3 Grenzwerte

### 2.3.1 Elektrische und magnetische Felder

Die Beeinflussungsgrenzwerte in Bezug auf magnetische Felder werden teilweise in Form der magnetischen Feldstärke  $H$  in A/m (Ampere pro Meter) oder in Form der magnetische Flussdichte  $B$  in T (T – Tesla) angegeben. In nichtmagnetischen Stoffen (Luft, Erdreich, Gestein) besteht zwischen  $H$  und  $B$  folgender Zusammenhang

$B = \mu_0 * H$ , mit  $\mu_0 = 4 \pi * 10^{-7}$  Vs/Am als Materialkonstante des nichtmagnetischen Stoffs.

Demzufolge entspricht hier einer magnetischen Feldstärke von 1 A/m einer magnetischen Flussdichte (Induktion) von 1,256  $\mu$ T ( $1,256 * 10^{-6}$  T).

Die zulässigen Beeinflussungsgrenzwerte für Technik und Mensch sind in folgenden Gesetzen, Verordnungen und Normen festgelegt:

#### 2.3.1.1 Personenschutz

- 26. BImSchV (2015) für den Personenschutz mit den Grenzwerten von 300  $\mu$ T für das magnetische Feld bei 16,7 Hz und 5 kV/m für das elektrische Feld.  
Bei 50 Hz liegt der Grenzwert für das magnetische Feld bei 100  $\mu$ T und für das elektrische Feld bei 5 kV/m.
- Ergänzend wird in der „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26.BImSchV vom 18.12.2015 (26.BImSchVVwV)“ gefordert, dass die von der Bahnanlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik im Einwirkungsbereich zu minimieren sind, und zwar unabhängig ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. Ein maßgeblicher Minimierungsort ist ein im Einwirkungsbereich der Anlage liegender Bereich mit Wohnungen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten etc. sowie mit Gebäuden, welche nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist. Dabei ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren, indem Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen betrachtet werden.  
Für Bahnoberleitungen wird der Einwirkungsbereich mit 100 m festgelegt. Der Bewertungsabstand wird für Bahnoberleitungen mit 10 m festgelegt.  
Minimierungsmaßnahmen müssen mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand und Nutzen umgesetzt werden können.
- Als technische Möglichkeiten zur Minimierung werden für Bahnstromoberleitungen mit 16,7 Hz genannt:
  - o Abstandsoptimierung
  - o Minimierung der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Auto-Transformatoren. Diese Maßnahme ist bei einer Anlage wie dem Abstellbahnhof nicht sinnvoll anwendbar.

- Minimierung der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Booster-Transformatoren. Diese Maßnahme ist bei einer Anlage wie dem Abstellbahnhof nicht sinnvoll anwendbar.
- Minimierung der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Rückleiterseilen. Diese Maßnahme ist bei einer Anlage wie dem Abstellbahnhof anwendbar.
- Minimierung des Fahrstroms durch zweiseitige Speisung. Diese Maßnahme ist beim PFA 1.6a/1.6b bereits vorgesehen. Sie spielt beim Abstellbereich jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

### 2.3.1.2 Geräte- und Anlagenschutz

- EN 61000-4-8 (2010). Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen. Dort werden verschiedene Prüfschärfgrade angegeben. Für die Umgebung der geplanten Abstellflächen kommen die Bereiche Wohnung, Büros (Prüfschärfegrad 3 A/m entspr. 3,8  $\mu$ T) und Geschäfts- und Gewerbebereiche (Prüfschärfegrad 10 A/m entspr. 12,5  $\mu$ T) in Frage. Der Prüfschärfegrad 1 A/m ist nur für Bereiche gültig, in denen Geräte mit Elektronenstrahlen arbeiten. Dies sind z.B. Röhrenmonitore (heute weitestgehend durch Flachbildschirme verdrängt) oder auch Elektronenstrahlmikroskope und medizinische Geräte.
- EN 61000-6-1 (2019) Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe. Dort wird für die magnetischen Felder bei energietechnischen Frequenzen ein Grenzwert der Störfestigkeit von 3 A/m (3,8  $\mu$ T) angegeben. Für Industriebereiche (EN 61000-6-2 (2005) erhöht sich der Wert auf bis zu 30 A/m (38  $\mu$ T)!
- Anlagen für medizinische Anwendungen (z.B. EEG, MRT) weisen eine z.T. erheblich geringere Störfestigkeit auf. Hier muss damit gerechnet werden, dass bereits ab einer magnetischen Induktion von
  - 0,1  $\mu$ T bei einem offenen Kernspintomographen
  - 0,1  $\mu$ T bei EEG (Elektroenzephalografie)
  - 0,7  $\mu$ T bei geschlossenen KernspintomographenBildstörungen bzw. Messwertverfälschungen auftreten. Bei Kernspintomographen kommen noch Störungen des statischen Magnetfelds (Erdmagnetfeld und Magnetfeld des MRT) durch große bewegte Metallmassen (Zug) hinzu.
- Für die weitere Betrachtung der Störfestigkeit von technischen Einrichtungen in unmittelbarer Nähe zur geplanten Bahntrasse wird deshalb von folgenden Werten ausgegangen:
  - für den Wohnbereich von einer Störfestigkeit von 3 A/m (3,8  $\mu$ T)
  - für den allgemeinen Gewerbebereich (z.B. Supermarkt, Lagerhallen) ebenfalls von 3 A/m (3,8  $\mu$ T). Dieser Wert soll auch für Gewerbebereiche mit empfindlicher Technik gelten.
  - für den Industriebereich je nach Definition von 10 A/m (12,5  $\mu$ T) oder 30 A/m (38  $\mu$ T).

Dabei wird berücksichtigt, dass eine kurzzeitige und seltene Störung, wie sie als Maximalwert für das Magnetfeld der Bahn (z.B. bei einem Fahrleitungskurzschluss) angenommen wird, im normalen Bürobereich entweder gar nicht bemerkt wird oder aber nur zu einer vorübergehenden Störung (im Sekundenbereich, z.B. kurzzeitige Reduzierung der Datenübertragungsrate im LAN) führt. Im Produktionsprozess einer Firma mit sensiblen Einrichtungen kann jedoch bereits eine kurzzeitige Störung zu einer Unterbrechung des Betriebsablaufs und damit zu nicht akzeptablen Zuständen führen.

### 2.3.2 Berührungsspannung

- EN 50122-1: Berührungsspannung max. 60 V. Durch den Trieb-Rückstrom in den Schienen entsteht ein Spannungsfall, welcher als Berührungsspannung abgegriffen werden kann. Für die Dauerbeeinflussung gilt eine abgreifbare Spannung von 60 V als unkritisch.

Da die Bestandsgleise (S-Bahn und Durchgangsgleise) bereits die Anforderungen dieser Richtlinie erfüllen müssen, wird die abgreifbare Berührungsspannung durch die parallel geschalteten Gleise der Abstellanlagen deutlich niedriger werden.

## 2.4 Anzunehmende Ströme auf den Leitern

Nach Abstimmungen (DB-intern und mit dem EBA) und entsprechend der neuen RiL 997.0100A1 und A2 (Stand 1.4.2020) wurden für die Bewertung des Personenschutzes nach der 26.BImSchV Festlegungen getroffen:

- 560 A als thermischer Grenzstrom gleichzeitig für **alle** Fahrleitungen und Speiseleitungen

Diese Werte gelten gleichzeitig für alle Leitungen des Bahnstromsystems (Fahrleitungen und Speiseleitungen).

Dabei werden die maximalen Leistungen der beteiligten Unterwerke nicht berücksichtigt, sodass alle Betrachtungen mit diesen Werten „worst-case“-Betrachtungen sind. Nicht betrachtet werden dabei auch die Energie-Flussrichtungen in den verschiedenen Leiter, welche im Allgemeinen zu Kompensationseffekten führen können.

Die in Realität auftretenden magnetischen Felder werden mit Sicherheit geringer sein.

Für die Bewertung des Schutzes von technischen Einrichtungen wurden Ströme nach dem eisenbahnbetrieblichen Konzept anhand der nutzbaren freien Fahrwege je 2 S-Bahn- und 2 Fernbahnzüge im beschleunigten Betrieb für die stärkste örtliche Belastung angesetzt.

Diese sind für die drei Querschnitte des Abstellbahnhof UTH (Q1, Q2 und Q3) wie folgt:

km 0,625 Q1	Gleis 122	200 A
	Gleis 121	200 A
	Gleis 111	540 A
	Gleis 107 (Ringbahn)	450 A
	Gleis 106 (Ringbahn)	450 A
	SL beim Gleis 107	450 A
	SL beim Gleis 106	450 A
	F-Bahn von Plochingen	490 A
	F-Bahn von Cannstatt	490 A
	S-Bahn von Plochingen	490 A
	S-Bahn von Cannstatt	490 A
km 1,320 Q2	Gleis 219	200 A
	Gleis 238	200 A
	Gleis 205	540 A
	Gleis 204	450 A
	Gleis 203	450 A
	S-Bahn von Plochingen	490 A
	S-Bahn von Cannstatt	490 A
	SL 1	450 A
	SL 2	450 A
km 1,631 Q3	Gleis 216	200 A
	Weiche 315	200 A
	Gleis 205 (IRK)	540 A
	Gleis 204	450 A
	Gleis 203	450 A
	SL 1	450 A
	SL 2	450 A
	S-Bahn von Plochingen	490 A
S-Bahn von Cannstatt	490 A	



## 2.5 Inhaltliche Grundlagen der EMV - Bewertung

### 2.5.1 Abstellbahnhof Untertürkheim (UTH)

Die geplante Anlage UTH besteht aus einem Abstellbereich und einem Wartungsbereich mit Innenreinigungsanlage (IRA) und dem zugehörigen Technikgebäude und mehreren Weichenheizstationen und Zugvorheizstationen.

In den Anlagen 22.5.1 ist der Lageplan und in Anlagen 22.5.2.1 bis 22.5.2.3 sind drei Querschnitte dargestellt. Der Lageplan (Anlage 22.5.1) enthält auch die Positionen der Querschnitte.

Es sind bis zu 20 parallele Gleise vorhanden. Die vorgesehenen Schientypen sind in den Querschnitten angegeben.

Im Nord-Osten wird die Anlage durch die 2-gleisige Stadtbahnlinie (SSB, Gleichstrom mit Oberleitung) und die Augsburgener Straße mit anschließender Bebauung begrenzt. Der Abstand zwischen dem nächstgelegenen Gleis des Abstellbahnhofs liegt meist bei mehr als 49 m.

Im Südwestbereich schließt in einem großen Bereich eine Straße (Benzstraße) und anschließende Industriefläche (Daimler AG) an.

Der minimale Abstand zum nächstgelegenen S-Bahn-Gleis beträgt ca. 6 m im Gewerbebereich zwischen S- und F-Bahngleisen (beim Querschnitt Q2).

Im Bereich der Benzstr. / Gaggenauer Str. beträgt der Abstand zu Wohngebäuden nur ca. 23 m zum nächstgelegenen S-Bahn-Gleis.

### 2.5.2 Elektrische Bahn (15 kV; 16,7 Hz) als Störquelle

Eine elektrische Wechselstrombahn kann auf verschiedene Arten als Störquelle wirken:

#### 2.5.2.1 Elektrisches Feld

Das elektrische Feld einer Bahnstrom-Fahrleitung wird durch die Spannung der Fahrleitung gegen Erde bestimmt. Bei 15kV Nennspannung und einer Fahrdrahthöhe von mind. 5m ergeben sich theoretisch Feldstärken von ca. 3kV/m. Bei größerem seitlichem Abstand zur Fahrleitung ergeben sich größere Abstände zur Fahrleitung und entsprechend geringere elektrische Feldstärken.

Kennzeichnend für die elektrische Feldstärke ist, dass

- sie weitgehend unabhängig von der Strom-Belastung der Fahrleitung ist
- sie leicht abhängig vom Wetter (Luftfeuchtigkeit) ist
- sie durch Gebäude stark abgeschirmt und durch andere Einrichtungen (Masten, Bäume etc.) stark verzerrt wird. Innerhalb eines Gebäudes ist die elektrische Feldstärke deshalb wesentlich geringer als außerhalb.

### 2.5.2.2 Magnetisches Feld

Kennzeichnend für die magnetische Induktion ist, dass

- sie direkt proportional zur Belastung der Fahrleitung, also zum Strom in der Oberleitung, ist
- sie unabhängig vom Wetter oder sonstigen äußeren Einflüssen ist,
- sie Gebäude weitgehend ungedämpft durchdringt. Eine merkliche Verringerung des magnetischen Felds tritt bei 16,7 Hz nur durch massive metallene Gebilde auf (z.B. dicke Aluminium-Bleche oder Stahlplatten).

Das magnetische Feld eines Bahnstromsystems wird durch den Traktionsstrom in der Oberleitung und den Traktions-Rückstrom in den Schienen, der Erde und evtl. weitere metallische Leiter, welche Rückstrom führen können, bestimmt. Je größer der Abstand zwischen Hinleiter (Oberleitung) und Rückleiter ist, desto größer ist auch das magnetische Feld. Da die Eindringtiefe eines 16,7 Hz-Rückstroms im Erdreich sehr groß ist, ist auch der Abstand zwischen Hinleiter (Oberleitung) und Erd-Rückleiter (ein Teil des Rückstroms fließt im Erdreich) sehr groß. Zur Reduzierung der magnetischen Induktion muss deshalb versucht werden, den Erdstrom zu reduzieren. Der Abstand zwischen der Oberleitung und den rückstromführenden Fahrschienen lässt sich, technisch bedingt, nicht verringern; aber es ist möglich, durch Einbeziehung vieler Fahrschienen (Parallelschaltung) in das Rückstromsystem den Erdstrom zu verringern. In kritischen Fällen werden auch sogenannte Rückleitungsseile (in Parallelschaltung zu den Fahrschienen) eingesetzt, die sich relativ nahe zur Oberleitung anbringen lassen und zu einer starken Magnetfeldkompensation führen.

Zusätzlich zum durch den Traktionsstrom verursachten magnetischen Feld werden bei einem Abstellbahnhof auch durch Hilfseinrichtungen Felder erzeugt. Dabei spielt die Zugvorheizung durch die hohen Lasten (bis 125 kVA pro Zug bei 1000 V/16,7 Hz Betriebsspannung) eine besondere Rolle. Die Rückleitung des Stroms erfolgt wie beim Traktionsstrom über die Schienen.



### 2.5.2.3 Bahn-Rückströme im Erdreich und in Potentialausgleichssystemen

Die Bahn benutzt die Schienen (und evtl. vorhandene Rückleiter, z. B. Rückleitungsseile) als Rückleiter für den Fahrstrom. Da die Schienen einer Wechselstrombahn aus Gründen der Personensicherheit (Berührungsspannungen) geerdet sein müssen, wird immer ein Teil des Gesamt rückstroms über die Erde fließen. Der Anteil des Erd-Rückstroms am Gesamt-Rückstrom ist auch abhängig vom spezifischen Bodenwiderstand.

Diese Erdrückströme können in andere metallene Installationen (z.B. Rohrleitungen, Kabelmäntel, Potentialausgleichssysteme etc.), wenn sie parallel zur Bahntrasse verlaufen, eintreten und an anderer Stelle wieder austreten. Dadurch kann es innerhalb dieser Anlagen zu Potentialdifferenzen und lokal erhöhten magnetischen Feldern mit Störpotential für technische Einrichtungen kommen.

### 2.5.2.4 Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung der magnetischen Felder und des Erd-Rückstroms:

In der Durchführungsverordnung zur 26.BImSchV werden bereits mehrere Möglichkeiten zur Minimierung der Immission einer elektrifizierten Bahnstrecke beschrieben (siehe Abschnitt 2.3.1.1). Für den Abstellbahnhof kommt nur die Maßnahme „Rückleiterseile“ in Frage.

Wie bereits beschrieben kann das magnetische Feld eines Bahnstromsystems dadurch reduziert werden, dass der Rückstrom aus den geerdeten Schienen und aus dem Erdreich in Leiter verlagert wird, welche nur einen möglichst geringen Abstand zur Fahrleitung haben. Dies kann durch Rückleitungsseile geschehen, welche möglichst nahe an der Fahrleitung angeordnet werden. Durch die magnetische Kopplung zwischen Fahrleitung und Rückleitungsseil wird ein möglichst großer Teil des Rückstroms aus den Schienen und dem Erdreich "herausgesaugt". Dadurch wird das magnetische Feld und gleichzeitig der Erd-Rückstrom reduziert.

Die Wirksamkeit ist davon abhängig, wie das Verhältnis zwischen wirksamem Rückleiter-Querschnitt und anderen Rückleitern ist. Beim Abstellbahnhof mit seinen vielen parallelen Gleisen, welche alle Rückstrom führen können, sind die Querschnitte der Schienen, abhängig vom Schientyp, im Vergleich zu einem Rückleiterseil sehr hoch:

Schientyp	Gewicht Kg/m	Querschnitt mm <sup>2</sup>	Ohmscher Widerstand bei $\rho_{Fe} = 0,1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
S49	49	6297	15,9 E-6
S54	54	6948	14,4 E-6
UIC 60	60	7686	13,0 E-6
Rückleiterseil			Ohmscher Widerstand bei $\rho_{Al} = 0,03 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Al		240	125,0 E-6

Aus diesen Werten zeigt sich, dass der Einsatz von Rückleiterseilen bei einer vielgleisigen Trasse nicht sehr wirkungsvoll sein kann, insbesondere dann, wenn alle Schienen geerdet werden können.





Minimierungsmaßnahmen müssen verhältnismäßig sein. Durch die Vielzahl an Gleisen mit hohem Querschnitt können RLS keine große Wirkung erzielen.

Für verschiedene Bereiche des geplanten Abstellbahnhofs wurden die magnetischen Felder berechnet. Die Berechnung wurde mit einem seit vielen Jahren bewährten Rechner-Programm durchgeführt. Dieses berechnet aus den beteiligten elektrischen Leitern (Hinleiter wie Oberleitungen, Fahrstrom-Rückleiter wie Schienen, Erde, Rückleitungsseile, vorhandene Metallkonstruktionen) zuerst die Stromverteilung unter Berücksichtigung der gegenseitigen magnetischen Kopplungen.

Anschließend wird das magnetische Feld an beliebigen Punkten komplex nach dem Gesetz von Biot-Savart ermittelt.

#### 2.5.2.5 Beeinflussung von langen elektrischen Leitungen (Kabel) und metallische Strukturen (Zäune, Rohrleitungen)

Elektrische Leitungen und metallische Strukturen, welche parallel zur Bahntrasse verlegt sind, können durch den elektrischen Bahnbetrieb beeinflusst werden.

Die Beeinflussung kann auf galvanischem Weg (ohmsche Kopplung über gemeinsame Erdbeziehung) und/oder auf induktivem Weg (induzierte Längsspannung im elektrischen Leiter) erfolgen.

Eine Beeinflussung durch das elektrische Feld der Bahn (Influenz) kann vernachlässigt werden, wenn die elektrischen Leiter geschützt verlegt und die metallischen Strukturen erdfühlig sind, d.h. direkten Kontakt mit der Erde haben.

#### 2.5.2.6 Signaltechnik

Die Signaltechnik wird mit Achszählern ausgerüstet, sodass Gleisstromkreise entfallen. Dadurch können beide Schienen eines Gleises geerdet werden.

### 2.6 Kritische Bereiche in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Abstellbahnhöfen

Im Folgenden sind alle Bereiche aufgeführt, welche kritisch sein können in Bezug auf Beeinflussung durch magnetische Felder und Rückströme der Bahn und der Stromversorgungsanlagen. Dabei werden die Minimierungsbereiche (100 m entspr. Ril 997.0100 A2) berücksichtigt.

Weitere Bewertungskriterien sind dabei:

- Ortslage der Objekte
- Beeinflussungsfestigkeit
- Personenschutz nach 26.BImSchV
- Personenschutz (Berührspannungsschutz)
- Lage im Oberleitungsrissbereich
- Lage im Stromabnehmerbereich
- Verschleppung von Bahnpotential in weiter entfernte Bereiche

Der Abstellbahnhof liegt in Flächen der DB AG, meist sind bereits alte Gleisanlagen vorhanden, welche umgebaut und erweitert werden.

Bereiche im Oberleitungs-Rissbereich oder im Stromabnehmerbereich außerhalb des DB-Bereichs sind nicht vorhanden oder sind bereits Bestand.

Auch die Verschleppung von Bahnpotential in weiter entfernte Bereiche tritt beim Abstellbahnhof UTH nicht auf.

Der Berührungsspannungsschutz für den Personenschutz außerhalb der Anlagen trifft ebenfalls nicht zu. Der Berührungsspannungsschutz für Personen innerhalb der Abstellanlagen wird durch den Potentialausgleich hergestellt und muss im Erdungskonzept geplant werden.

Somit muss nur die Beeinflussung von Personen, Anlagen und Geräten außerhalb der Bahnanlagen durch die elektrischen und magnetischen Felder der Bahn untersucht und bewertet werden.

## **2.7 Magnetische und elektrische Felder im Bereich des Abstellbahnhofs Untertürkheim**

Für die Berechnung der magnetischen Felder der Oberleitungsanlagen wurde von einem spezifischen Bodenwiderstand von  $100 \Omega\text{m}$  ausgegangen. Alle Schienen sind elektrisch durch Gleisverbinder miteinander verbunden und damit an der Rückstromführung beteiligt.

Für den Abstellbahnhof UTH wurden die magnetischen Felder für drei Querschnitte berechnet (km-Angaben siehe Anlage 22.5.1):

Querschnitt 1, km 0,6+25.0 UTH-1

Querschnitt 2, km 1,3+20.0 UTH-2

Querschnitt 3, km 1,6+31.3 UTH-3

### **2.7.1 Personenschutz**

Für die drei Querschnitte wurden für den Personenschutz nach 26.BImSchV und der Ril 997.0100A1 und A2 die thermischen Grenzströme von 560 A pro Kettenwerk verwendet.

Für alle Berechnungen wurde als geometrischer Nullpunkt des Berechnungsmodells das äußerste Gleis der Stadtbahn (SSB, Gleichstrombahn) gewählt, um für alle Berechnungen einen gemeinsamen Bezugspunkt zu haben.

Zu Bebauungen ergeben sich folgende Abstände zu den nächstgelegenen Gleisen der Wechselstrombahn mit den dort zu erwartenden Maximalwerten der Induktion:

Anlage	Querschnitt	Westseite (S-Bahn), meist Industrie	Induktion	Ostseite (Stadtbahn), meist Wohnbebauung	Induktion
22.5.2.1	Q1	55 m	< 3 $\mu$ T	67 m	< 3 $\mu$ T
	Q1	23 m Wohnbebauung Gaggenauerstr.	< 10 $\mu$ T		
22.5.2.2	Q2	81 m	< 2,5 $\mu$ T	67 m	< 4,5 $\mu$ T
	Q2	Zwischen S- und F-Bahn- Gleisen	bis > 20 $\mu$ T		
22.5-2.3	Q3	53 m	< 3,5 $\mu$ T	59 m	< 3 $\mu$ T

Die Auswertung der Diagramme ergibt, dass

- Im 100m-Minimierungsbereich auf der Ostseite Induktionen kleiner 5  $\mu$ T erreicht werden.
- In der Wohnbebauung Benzstraße / Gaggenauer Straße (laut Bebauungsplan ist dieser Bereich ein Industriebereich!) liegt der Abstand zwischen den S-Bahn-Gleisen und den Wohnhäusern bei nur 23 m. Dort können Induktionen von ca. 10  $\mu$ T auftreten. Allerdings wird die Situation in diesem Bereich durch die Änderung der Durchfahrts-gleise (S- und F-Bahn) nicht verändert, da die magnetische Induktion im Wesentlichen durch die S-Bahn bestimmt wird und damit durch die Änderungen im PFA 1.6a oder PFA 1.6b nicht verändert wird. Durch den Ausbau des Abstellbahnhofs wird das magnetische Feld im Bereich der Wohnhäuser durch die zusätzlichen Gleise sogar noch reduziert werden. Damit können die zusätzlichen Gleise des Abstellbahnhofs auch als Minimierungsmaßnahme aufgefasst werden.
- Das Gewerbegebiet am S-Bahn Haltepunkt Neckarpark liegt zwischen den S-Bahn-Gleisen und den F-Bahn-Gleisen. Dort können Induktionen bis 20  $\mu$ T auftreten. Auch hier wird die Situation im Wesentlichen durch die Bestandsgleise S-Bahn und F-Bahn bestimmt, wobei die zusätzlichen Gleise des Abstellbahnhofs reduzieren wirken und somit auch als Minimierungsmaßnahme aufgefasst werden können.

**Die Berechnungen haben in Bezug auf den Personenschutzgrenzwert der 26.BImSchV von 300  $\mu$ T gezeigt, dass dieser in den öffentlich zugänglichen Bereichen bei weitem nicht erreicht wird. Auch Werte von 100  $\mu$ T werden teilweise nur direkt an der Bahntrasse erreicht.**

#### 2.7.2 Minimierungsmöglichkeiten in Bezug auf den Personenschutz

Für die Bestandsgleise auf der Westseite der Bahntrassen ist der Einsatz von Rückleiterseilen an den bestehenden Oberleitungsanlagen nicht sinnvoll möglich, da diese dafür statisch nicht ausgelegt sind und eine Neuerrichtung nicht mehr verhältnismäßig wäre.

Auf der Ostseite wird die Minimierung bereits durch den relativ großen Abstand erreicht.

Eine Beispielrechnung mit Rückleiterseilen am neuen Gleis 205 (IRK), am Oberleitungsmast zwischen Gleis 206 und 207 und am Oberleitungsmast Gleis 219 des Querschnitts Q2 zeigt, dass sich die Induktion am Beginn der Bebauung an der Augsburgersstraße von 3,98  $\mu\text{T}$  auf 3,19  $\mu\text{T}$  verringert (Anlage 22.5.2.4).

Auf der Westseite (Industrie) ist die Reduktion minimal.

Insgesamt zeigt sich, dass die Ausrüstung mit Rückleiterseilen nicht effektiv und damit auch nicht verhältnismäßig wäre.

### 2.7.3 Geräteschutz

- auf der Westseite werden Induktion von weniger als 2  $\mu\text{T}$  auftreten. Die Grenzwerte für den Industriebereich (10 A/m entspr. 12,5  $\mu\text{T}$ ) werden bei weitem nicht erreicht.
- in der Wohnbebauung Benzstraße / Gaggenauer Straße (laut Bebauungsplan ist dieser Bereich ein Industriebereich!) liegt der Abstand zwischen den S-Bahn-Gleisen und den Wohnhäusern bei nur 23 m. Dort können mit Induktionen von über 5  $\mu\text{T}$  die Störfestigkeitsgrenzwerte von Einrichtungen in Wohnungen und Kleingewerbe von 3,8  $\mu\text{T}$  knapp überschritten werden. Allerdings wird die Situation in diesem Bereich durch die Änderungen der Durchfahrtsgleise nicht verändert, da die magnetische Induktion im Wesentlichen durch die S-Bahn bestimmt wird und damit durch die Änderungen im PFA 1.6a oder PFA 1.6b nicht verändert wird. Durch den Ausbau des Abstellbahnhofs wird das magnetische Feld im Bereich der Wohnhäuser durch die zusätzlichen Gleise sogar noch reduziert werden.
- auf der Ostseite (Augsburger Straße mit Wohnbebauung) sind Induktionen von weniger als 1  $\mu\text{T}$  zu erwarten. Störungen an technischen Geräten / Anlagen sind deshalb ebenfalls nicht zu erwarten.

## 3. Ergebnisse und Empfehlungen

### 3.1 Allgemein

Wie bereits in Abschnitt 2.6 gezeigt, ist der Personenschutz im gesamten Bereich gewährleistet, die magnetische Induktion liegt in den Minimierungsbereichen bei max. 20  $\mu\text{T}$  und damit deutlich unter dem Grenzwert von 300  $\mu\text{T}$  (16,7 Hz) bzw. 100  $\mu\text{T}$  (50 Hz). Für die elektrische Feldstärke werden konstruktiv bedingt direkt unter der Fahrleitung nur 2 kV/m erreicht, der Grenzwert nach der 26.BImSchV liegt bei 5 kV/m. In Bereichen für den dauernden Aufenthalt von Personen (z.B. ehemalige Bahnhofsgebäude) werden höchstens 1,6 kV/m (Abstand mind. 7,5 m) erreicht. Innerhalb von Gebäuden liegen die Werte durch die (für das elektrische Feld !) abschirmende Wirkung von Gebäuden noch wesentlich niedriger.



### 3.2 Empfehlungen für die Gleisvermaschung

Es wird empfohlen, die Gleisvermaschung besonders eng auszuführen, um möglichst alle Schienen an der Rückstromführung zu beteiligen. Auch dies gilt unabhängig von Grenzwerten der magnetischen Felder.

## 4. Zusammenfassung der Ergebnisse

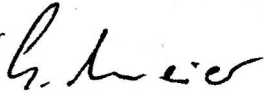
Die Grenzwerte und Vorgaben zur Elektromagnetischen Verträglichkeit und Elektrosicherheit dieses Projektes werden im Bereich UTH auch ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen eingehalten und erfüllt.

Aufgestellt

Ostfildern, 06.07.2020

Geändert 30.07.2020

Gerhard Maier



## 5. Anlagen

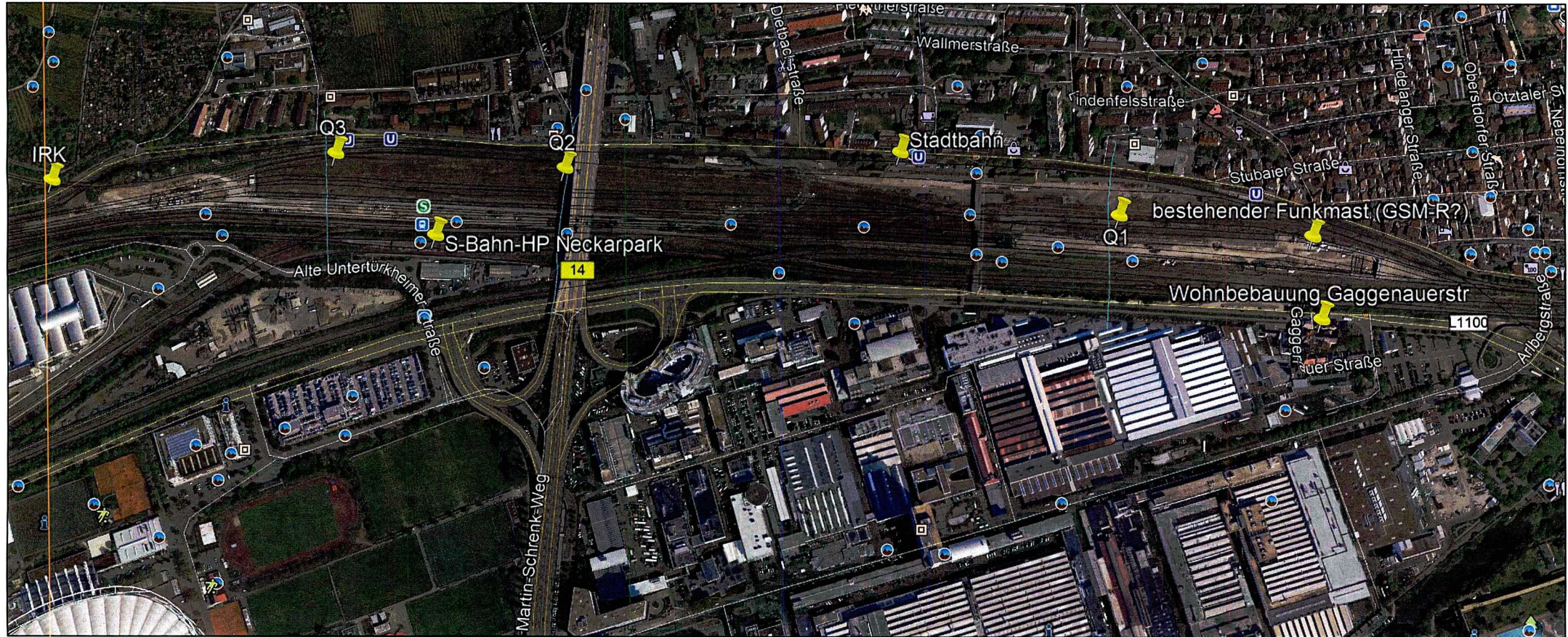
- Anlage 20.1.1: Lageplan UTH mit eingetragenen Schnitten 1-3, Blatt 1 – 2
- Anlage 20.1.2.1: Magnetfeld-Isolinien UTH Schnitt Q1
- Anlage 20.1.2.2: Magnetfeld-Isolinien UTH Schnitt Q2
- Anlage 20.1.2.3: Magnetfeld-Isolinien UTH Schnitt Q3
- Anlage 20.1.2.4: Magnetfeld-Isolinien UTH Schnitt Q2 mit 3 RLS



## 6. Abkürzungsverzeichnis

AE	- Aussenerder (Ringerder)
ARA	- Außenreinigungsanlage
BE	- Bänderder
Biot-Savart	- französischer Mathematiker
Bf	- Bahnhof
BNetzA	- Bundesnetzagentur
BSH	- Betonschaltheus
Ebs	- Richtzeichnungssatz der DB
EK	- Erdungskonzept
EMV	- Elektromagnetische Verträglichkeit
EPS	- Erdungs- und Potentialausgleichssystem
EV	- Elektrischer Verbinder
FF	- Feste Fahrbahn
GV	- Gleisverbinder
GSM-R	- GSM-Mobilfunknetz für Bahnanwendungen
Hbf	- Hauptbahnhof
HES/HPAS	- gekoppelte Haupterdungs-, Hauptpotentialausgleichsschiene
Iso-Linien	- Linien gleicher Eigenschaften, in diesem Fall gleicher magnetischer Induktion
IF	- Fahrstrom
IK	- Kurzschlußstrom
IRA	- Innenreinigungsanlage
NS	- Niederspannung 50Hz (230/400V)
OL	- Oberleitung, Oberleitungsbereich
PA	- Potentialausgleich, Potentialausgleichsleiter
PAS	- Potentialausgleichsschiene
PE	- Schutzleiter (protective earth)
QV	- Querverbinder
RLS	- Rückleitungsseil
SV	- Schienenquerverbinder
TK	- Telekommunikation (Telekommunikationstechnik, -anlagen)
TT-Netz	- Niederspannungsstromversorgungsnetz in TT-Form
TNC-Netz	- Niederspannungsstromversorgungsnetz in TNC-Form
TNS-Netz	- Niederspannungsstromversorgungsnetz in TNS-Form
TNC-S-Netz	- Niederspannungsstromversorgungsnetz in gemischter TNC- und TNS-Form
Tu	- Tunnel
UTH	- Untertürkheim
OTH	- Obertürkheim

**Nur zur Information**



**Nur zur Information**

PFA 1.6b Abstellbahnhof Untertürkheim				<b>Gerhard Maier</b> Ingenieurbüro Reuteweg 12 D-73760 Ostfildern +49 (0)7158 65012 gmaier@sv-maier.de
Inhalt : EMV-Gutachten Übersicht Bestandsanlage				
M: ohne	Datum : 15.06.2020	Gez. : Kas	Gepr. : Ma	Plan Nr. : Anlage 20.1.1