

**Unterlage (22)**  
**Fachtechnische Stellungnahme EMF 26.**  
**BImSchV Batterie-Oberleitungsbussen in**  
**Marburg**

zum

**Erläuterungsbericht**

zum

**Planfeststellungsverfahren**  
**zur Umstellung ausgewählter Buslinien**  
**auf einen Betrieb mit**  
**Batterie-Oberleitungsbussen in Marburg**

Erstellt durch:

**ARGE BOB Marburg IFB-VI**

für die



vertreten durch

Stadtwerke Marburg Consult GmbH

Dresden, den **22.08.2024**

Gefördert durch:



Projektbegleitung durch:



**Fachtechnische Stellungnahme EMF 26. BImSchV  
Batterie-Oberleitungsbussen in Marburg**

**Bericht Nr. 2023-618600-689.1**

Auftraggeber: Magistrat der Universitätsstadt Marburg, Marburg

Dresden, 22. August 2024

Projektleiter:  
Dipl.-Ing. Eckert Fritz

Bearbeiter:  
Dr.-Ing. Jochen Hietzge  
Heidi Hietzge

## Inhalt

1	Ausgangssituation.....	3
2	Untersuchungsgegenstand elektromagnetische Felder EMF .....	3
3	Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts .....	5
4	Nachweis der Grenzwerteinhaltung .....	5
5	Anforderung zur Vorsorge.....	8
6	Fazit.....	10
7	Literatur.....	11
8	Abkürzungen.....	12
	<b>Anlage 1 EMF-Lageskizzen.....</b>	<b>13</b>

Revisionsnummer	Datum	Verfasser	Kommentar
0	09.08.2023	DJH, DHH	Release
<b>1</b>	<b>22.08.2024</b>	<b>DJH, DHH</b>	<b>Planänderung</b>

## 1 Ausgangssituation

Die Universitätsstadt Marburg plant zusammen mit den Stadtwerken Marburg die Errichtung eines Batterie-Oberleitungsbussystems (BOB Marburg), dass die Altstadt mit der Südstadt und dem Universitäts- und Klinikgelände auf den Lahnbergen verbinden soll. Zum Einsatz sollen dabei Doppelgelenk-Batterieoberleitungsbusse mit einer Batteriekapazität von 90 kWh (brutto) kommen. So soll die Fahrt abschnittsweise oberleitungsfrei zurückgelegt werden können. Die Ringlinie 27 (Hauptbahnhof – Studentendorf – Klinikum – Campus Nord – Südbahnhof – Wilhelmplatz – Hauptbahnhof) wird dabei im südlichen Abschnitt vom Hauptbahnhof über Südbahnhof zum Klinikum durch die Linie 7 verstärkt. Beide Linien verkehren in der Hauptverkehrszeit (HVZ) jeweils im 30-Minuten-Takt, sodass sich im südlichen Abschnitt ein 15-Minuten-Takt einstellt.

In diesem Dokument wird die Betroffenheit durch elektrische und elektromagnetische Felder nach den Vorgaben der *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes* (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) in der Fassung vom August 2013 untersucht. Die EMF-Untersuchungen zur 26. BImSchV unterteilen sich in die Grenzwerteinhaltung §3 und die Vorsorgemaßnahmen §4 26. BImSchV. Hierfür werden entlang der Strecke alle Expositionen des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts in Relation zu den relevanten feldemittierenden elektrotechnischen Anlagen ermittelt und ihre jeweilige Feldbeaufschlagung bestimmt. Die Umsetzung des Minimierungsgebotes erfolgt unter Berücksichtigung der seit März 2016 geltenden Verwaltungsvorschrift zur 26. Bundesimmissionsschutzverordnung.

## 2 Untersuchungsgegenstand elektromagnetische Felder EMF

Durch elektrotechnische Anlagen, wie sie für den Betrieb der elektrischen Oberleitungsbusse benötigt werden, entstehen in deren Umfeld elektrische und magnetische Felder. Beide Felder sind Kraftfelder die durch unterschiedliche physikalische Effekte hervorgerufen werden. Elektrische Felder werden durch elektrische Ladungen hervorgerufen. Zwischen den unterschiedlich geladenen Körpern bauen sich elektrische (Kraft-) Felder auf. Elektrische Felder können durch Schirmung (z.B. Wirkungsweise Faraday'scher Käfig) abgeschwächt werden.

Das magnetische Feld hat seine Ursache in bewegten Ladungen durch Stromfluss in den elektrotechnischen Anlagen oder bei Permanentmagneten innerhalb der atomaren Struktur. Magnetische Felder durchdringen die Körper und können nicht adäquat zu den elektrischen Feldern geschirmt werden.

Durch die Einwirkung elektrischer oder magnetischer Felder auf den Menschen werden weitere elektrische Felder oder Ströme im menschlichen Organismus erzeugt. Diese Wirkung im Körper ist für die gesundheitliche Bewertung entscheidend.

Bei Gleichfeldern ist hauptsächlich von Kraftwirkungen der Felder auszugehen. Hier werden nach jetzigem Erkenntnisstand z.B. magnetische Felder der Magnet-Resonanz-Tomographie bis 4 T (Tesla) als nicht gesundheitsgefährdend bewertet. Das Erdmagnetfeld ist ebenfalls ein Gleichfeld und hat im Gebiet von Mitteleuropa eine

Stärke von ungefähr 48  $\mu\text{T}$ . Um diese Feldstärke zu erreichen ist in einem Abstand von 5 m ein Stromfluss von 1.200 A erforderlich.

Neben den Kraftwirkungen können durch Wechselfelder innere Felder Ströme hervorrufen, deren Wärmewirkung maßgeblich die Begrenzungen der Grenzwerte bestimmt. Diese Wirkung verstärkt sich je schneller das Feld wechselt, also je höher die Frequenz ist. Deshalb gelten für Gleich- und Wechselfelder unterschiedliche Grenzwerte. Für Hochfrequenzfelder sind weitere Effekte relevant, die in den jeweiligen Grenzwerten Berücksichtigung finden. Für die betrachteten Frequenzen gelten die Betrachtungen für Gleich- bzw. niederfrequente Felder.

Zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder werden Anforderungen für die Errichtung und den Betrieb von Hochfrequenzanlagen, Niederfrequenzanlagen und Gleichstromanlagen durch die Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) formuliert.

Die 26. BImSchV reflektiert den aktuellen Kenntnisstand zur Wirkung der elektrischen und magnetischen Felder auf den menschlichen Organismus und gibt die restriktivsten Grenzwerte vor.

Sie berücksichtigt nicht die Wirkung der elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Felder auf elektrisch oder elektronisch betriebene Implantate. Zu den Niederfrequenzanlagen gehören die ortsfesten Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität mit einer Nennspannung von 1.000 Volt und mehr. Die Gleichspannungsanlagen kleiner 2.000 V finden durch die 26. BImSchV keine Berücksichtigung. Die Einhaltung der Grenzwerte gilt für die Gesamtheit aller im Bewertungsabstand wirkenden Felder. Also der Felder der zu untersuchenden Anlage bei größter (dimensionierter) Anlagenauslastung zuzüglich der Felder von Anlagen Dritter und der Feldanteile von Hochfrequenzanlagen zwischen 9 kHz bis 10 MHz, die einer Standortgenehmigung im Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen.

Gegenstand der Untersuchungen sind die Anbindungen der Gleichrichterunterwerke (GUW) im gegenständlichen Projekt an das Mittelspannungsnetz. Dabei werden die Unterwerke einspeiseseitig als Ortsnetzumspannungstation betrachtet. Die DC-Fahrleitungsanlagen sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen.

Die Grenzwerte liegen für 50 Hz Anlagen im Bewertungsabstand

- für das elektrische Feld bei 5 kV/m und
- für die magnetische Induktion bei 100  $\mu\text{T}$ .

Informativ: der Grenzwert für Gleichstromanlagen mit einer Nennspannung über 2.000 V liegt für die magnetische Induktion bei 500  $\mu\text{T}$ .

Der Bewertungsabstand für Ortsnetzstationen liegt bei 1 m von der Anlagengrenze. Das Vorgehen zur Bewertung erfolgt entsprechend der Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder des Länderausschusses für Immissionsschutz LAI 2014 [2].

### 3 Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts

Der Einwirkungsbereich einer Niederfrequenzanlage ist der Bereich, in dem die Elektromagnetischen Felder der Anlage sich signifikant von der Hintergrundbelastung abheben.

Im Einwirkungsbereich der Anlage sind alle Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts für Menschen als Immissionsorte zu bestimmen. Dies ist Grundlage für die weiteren Untersuchungen der elektromagnetischen Felder.

Der Einwirkungsbereich von den für die Gleichrichterunterwerke relevanten Ortsnetzumspannstationen wird mit 10 m Abstand zur Einhausung um die zu errichtende Anlage verwendet [2]. Die Bewertung der Grenzwerteinhaltung erfolgt im Bewertungsabstand von 1 m zur Einhausung. Immissionsorte innerhalb des Bewertungsabstands sind maßgebliche Immissionsorte und bedürfen einer detaillierten separaten Prüfung.

In Anlage 1 sind die zu untersuchenden Unterwerke mit ihren jeweiligen Bewertungsabständen und Einwirkbereichen dargestellt.

Durch Berücksichtigung der Optimierungsmöglichkeiten während der Planungsphase wurde ein maßgeblicher Minimierungsort am Standort Amtsgericht vermieden. Damit liegen keine Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts mindestens im Einwirkungsbereich einer betrachteten Anlage.

### 4 Nachweis der Grenzwerteinhaltung

Der Nachweis der 26. BImSchV §3 Grenzwerteinhaltung erfolgt in den nachfolgend benannten Schritten:

- Ermittlung von Orten „zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt“ unter Beachtung der LAI 2014 [2].
- Ermittlung von Einflussbereichen anderer niederfrequenter (NF) Immissionen relevanter NF-Anlagen Dritter.
- Summenbildung von elektrischen und magnetischen Feldern aller Felder der ermittelten relevanten NF-Anlagen.
- Ermittlung relevanter hochfrequenter (HF) Emissionen nach 26.BImSchV §3(3)

Im Ergebnis der Untersuchungen nach Kapitel 3 liegen keine relevanten Expositionen des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts im Untersuchungsgebiet vor. Der Immissionsort am Standort Amtsgericht wurde in der Planung durch Abstandsoptimierung aufgehoben. Am Standort ehemalige Feldfabrik kann sich bei Umwidmung der Immobilie in ein schützenswertes Objekt ein maßgeblicher Immissionsort ergeben, dies ist aber derzeit nicht gegeben.

Für die vorliegende Planung sind keine maßgeblichen Immissionsorte nach [2] vorhanden. Es sind somit keine Erhebungen von Feldern Dritter im Einwirkungsbereich der Anlagen erforderlich.

Eine weitere zu prüfende Feldbeaufschlagung durch Dritte für Feldanteile von Hochfrequenzanlagen zwischen 9 kHz bis 10 MHz, die einer Standortgenehmigung im Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen, wird auf Grundlage der Datenbank der Bundesnetzagentur erfasst und dokumentiert.

Es ist keine derartige Anlage in einem Abstand größer 300 m vom Bewertungsabstand aller untersuchten Anlagen vorhanden. Damit ist keine weitere Betrachtung notwendig. In der Kartendarstellung sind die relevanten Anlagen wie in der Legende als Funkanlagen  $\leq 10$  Mhz dargestellt.



Abbildung 1: Prüfung auf Funkanlagen  $\leq 10$  Mhz im Anlagenbereich

Da keine weiteren Felder Dritter für die zu betrachtenden Anlagen vorliegen wird bei der Grenzwertprüfung nur von den von den Anlagen selbst emittierten Feldern ausgegangen.

Da noch keine abgeschlossenen Planungen vorliegen, werden die Ergebnisse der Grenzwertabschätzung mittels ermittelter Felder einer nicht optimierten Anlage illustriert.

Eckdaten für die GUW sind:

Betriebsmäßige elektrische Leistung: 1 MW

Spannung der Speisung: 10 kV

Spannung der Unterspannung im UW: 630 V

Beispielquerschnitt UW (HxB): 3,0 m x 3,4 m

In den folgenden Bildern sind für eine fiktive GUV-Anordnung die Feldverläufe durch die Wechselströme der Einspeisung und des Wechselrichters mit oben genannten Daten dargestellt. Die Verläufe der magnetischen Induktion sind in  $\mu\text{T}$  und die des elektrischen Feldes in  $\text{V/m}$  dargestellt. Dabei sind die Kabel der Oberspannungsseite an der Außenwand rechts und die der Unterspannungsseite an der Wand links angeordnet. Die bauliche Hülle hat ihre Bodenprojektion bei den Koordinaten  $x,y; 0;0$  bis  $3,4;0$ .

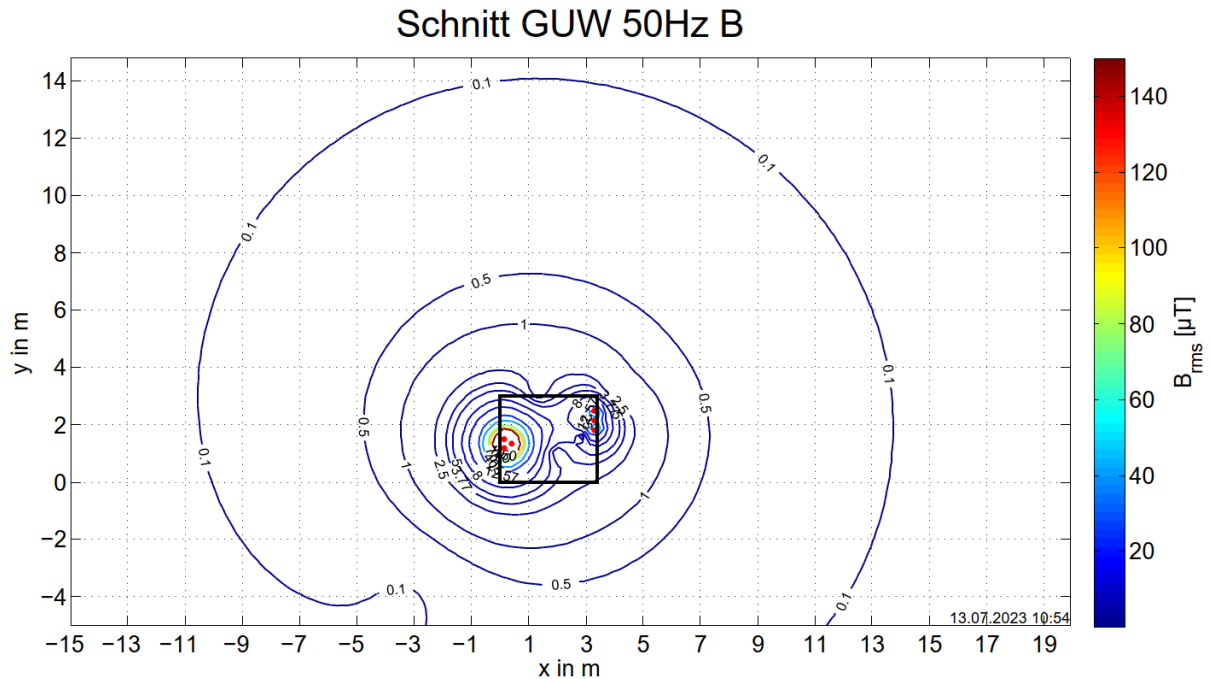


Abbildung 2: Feldverlauf der magnetischen Induktion einer Beispielanordnung

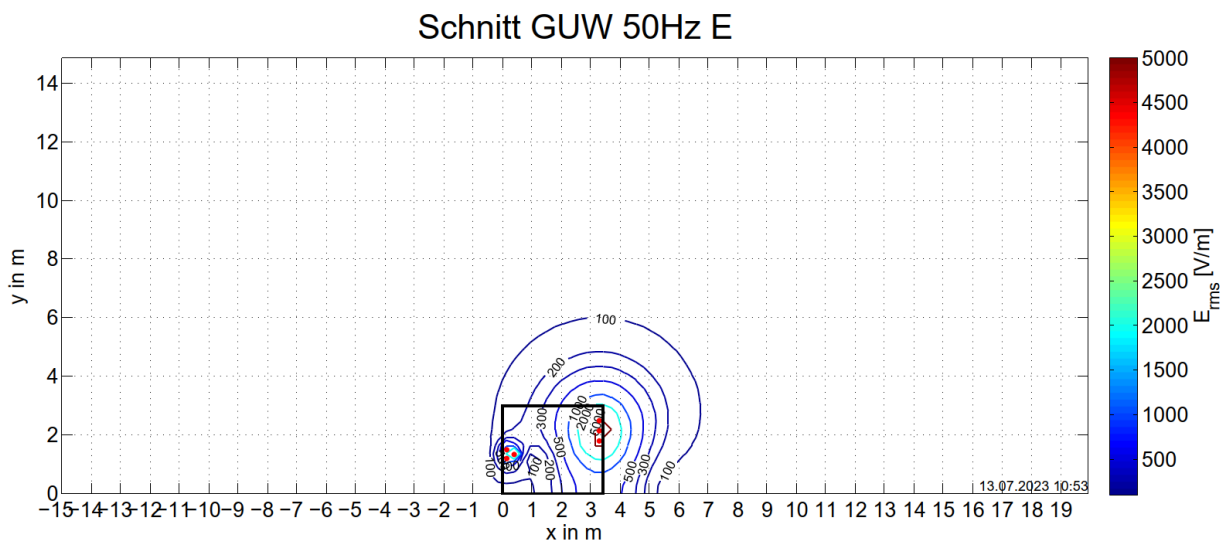


Abbildung 3: Feldverlauf des elektrischen Feldes einer Beispielanordnung

Im Bewertungsabstand (1 m) zur baulichen Hülle werden Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen 50 Hz eingehalten.

Tabelle 1: Grenzwerteinhaltung fiktive Beispielapplikation

Feld	Grenzwert 50 Hz	Feldwert Bsp.-Applikation	Ausnutzung
magnetische Induktion	100 $\mu$ T	15 $\mu$ T	15 %
elektrisches Feld	5 kV/m	1,2 kV	25 %

Die Grenzwertausnutzung ist gering, sie beträgt für diese fiktive Beispielkonfiguration 15 % für das magnetische Feld und 24 % für das elektrische Feld.

## 5 Anforderung zur Vorsorge

In dieser Untersuchung werden alle Grenzwerte gemäß der „Anforderungen zur Vorsorge“ (§ 4 26. BImSchV) verwendet. Dies dient dem besonderen Schutz von Bereichen mit Wohnungen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Kinderhorten, Spielplätzen oder ähnlichen Einrichtungen.

Es besteht die Forderung bei Errichtung oder maßgeblicher Änderung von Niederfrequenzanlagen oder Gleichstromanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik zu minimieren. Es sind die Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu berücksichtigen. Das Vorgehen ist in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchV VwV) beschrieben.

Die Umsetzung des Minimierungsgebotes erfolgt in den Schritten:

- Vorprüfung,
- Ermittlung der Minimierungsmaßnahme,
- Bewertung der Maßnahme.

Die Durchführung und die Ergebnisse der Minimierungsprüfung werden in diesem Kapitel nachfolgend dokumentiert. Liegen „maßgebliche Minimierungsorte“ vor, also Expositionen des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts innerhalb des Einwirkungsbereichs, werden Minimierungsmaßnahmen ermittelt. Weiterhin erfolgt die Prüfung, ob maßgebliche Minimierungsorte sich zwischen Anlage und Bewertungsabstand befinden. Die erfordert dann eine individuelle Minimierungsprüfung.

Die Vorprüfung ergibt, dass die Übergangsbestimmung nicht wirksam ist.

Somit erfolgt die Statusprüfung. Da es sich um einen Neubau handelt erfolgt die Prüfung auf Minimierungsorte der Mittelspannungsanlagen der Gleichrichter-

unterwerke. Die Einwirkungsbereiche der Unterwerke leiten sich von denen von Ortsnetzumspannstationen ab und betragen jeweils 10 m ab Umhausung.

Durch Berücksichtigung der Optimierungsmöglichkeiten während der Planungsphase wurde ein maßgeblicher Minimierungsort am Standort Amtsgericht vermieden.

Damit liegen keine maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich vor. Weiterhin liegen auch keine maßgeblichen Minimierungsorte innerhalb des Bewertungsabstands (1 m) vor, die einer individuellen Minimierungsprüfung bedürfen.

Die ehemalige Feldfabrik wird nicht untersucht, da hier keine Nutzung als Exposition des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts vorliegt.

Die Minimierungsprüfung erfolgt nach Punkt 5.3.4 26. BImSchV VwV [3] für Ortsnetzumspannstationen. Es bestehen folgende technischen Möglichkeiten der Minimierung:

- Abstandsoptimierung (5.3.4.1)
- Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung (5.3.4.2)
- Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung (5.3.4.3)

Zur generellen Minimierung der Feldbelastung kann durch Anwendung aller drei technischen Möglichkeiten zur Minimierung im Rahmen der Ausführungsplanung eine weitere Optimierung zu einem technisch möglichen Minimum der elektrischen und insbesondere magnetischen Felder erreicht werden.

## 6 Fazit

Die Untersuchung zu Elektromagnetischen Feldern nach 26. BImSchV wurde für die Planung des Batterieoberleitungsbus Marburg durchgeführt. Untersuchungsgegenstand sind die Gleichrichterunterwerke mit ihren Mittelspannungseinspeisungen. DC-Fahrstromanlagen, Energieverteilungsanlagen und Fahrleitungen haben eine Nennspannung von 750 V und fallen nicht in den Geltungsbereich der 26. BImSchV. Es wurden alle Expositionen zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalts in den Einwirkungsbereichen der Unterwerke ermittelt. Die Speisekabel der Mittelspannungsversorgung der Unterwerke liegen nicht in Bereichen der ermittelten Expositionen. Weitere Kabelplanungen liegen in diesem Projekt nicht vor.

Die Gleichrichterunterwerke werden wegen ihrer Mittelspannungseinspeisung mittels Transformators als Ortsnetzumspannstation betrachtet. Es erfolgt eine Überprüfung der Grenzwerteinhaltung für die Gleichrichterunterwerke im Bewertungsabstand von einem Meter von der Einhausung. Die Einschätzung erfolgt auf Erfahrungswerten mit Dokumentation von Feldern einer nicht optimierten Kabelführung im GUV-Querschnitt. Es sind Grenzwertausnutzungen von 15 % für das magnetische Feld und 24 % für das elektrische Feld dokumentiert. Die Grenzwerte werden von den Unterwerken bei Aufbau nach Stand der Technik eingehalten.

In den Unterlagen zu Leitungen Dritter wurden keine Hinweise auf Leitungen Dritter und damit zusätzliche Hintergrundfelder durch Überlagerung identifiziert.

Im Rahmen der Planungen wurde unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge der GUV-Standort am Amtsgericht verschoben. Somit liegen keine maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich aller geplanten Mittelspannungsschaltanlagen vor. Zwischen Anlagen und jeweiligen Bewertungsabstand befinden sich auch keine maßgeblichen Minimierungsorte. Somit entfällt eine individuelle Minimierungsprüfung.

Unabhängig davon ist durch Beachtung der technischen Möglichkeiten der Feldminimierung [3], Abstandsoptimierung (5.3.4.1), Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung (5.3.4.2) und Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung (5.3.4.3) im Prozess der Ausführungsplanung ein Minimum der elektromagnetischen Felder nach Stand der Technik anzustreben.

## **7 Literatur**

- [1] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes, 26. BImSchV, vom 14.08.2013
- [2] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder des Länderausschusses für Immissionsschutz, Beschluss der 54. Amtschefkonferenz in der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 17.09.2014 und 18.09.2014
- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder-26. BImSchV (26. BImSchV VwV) vom 26.02.2016

## 8 Abkürzungen

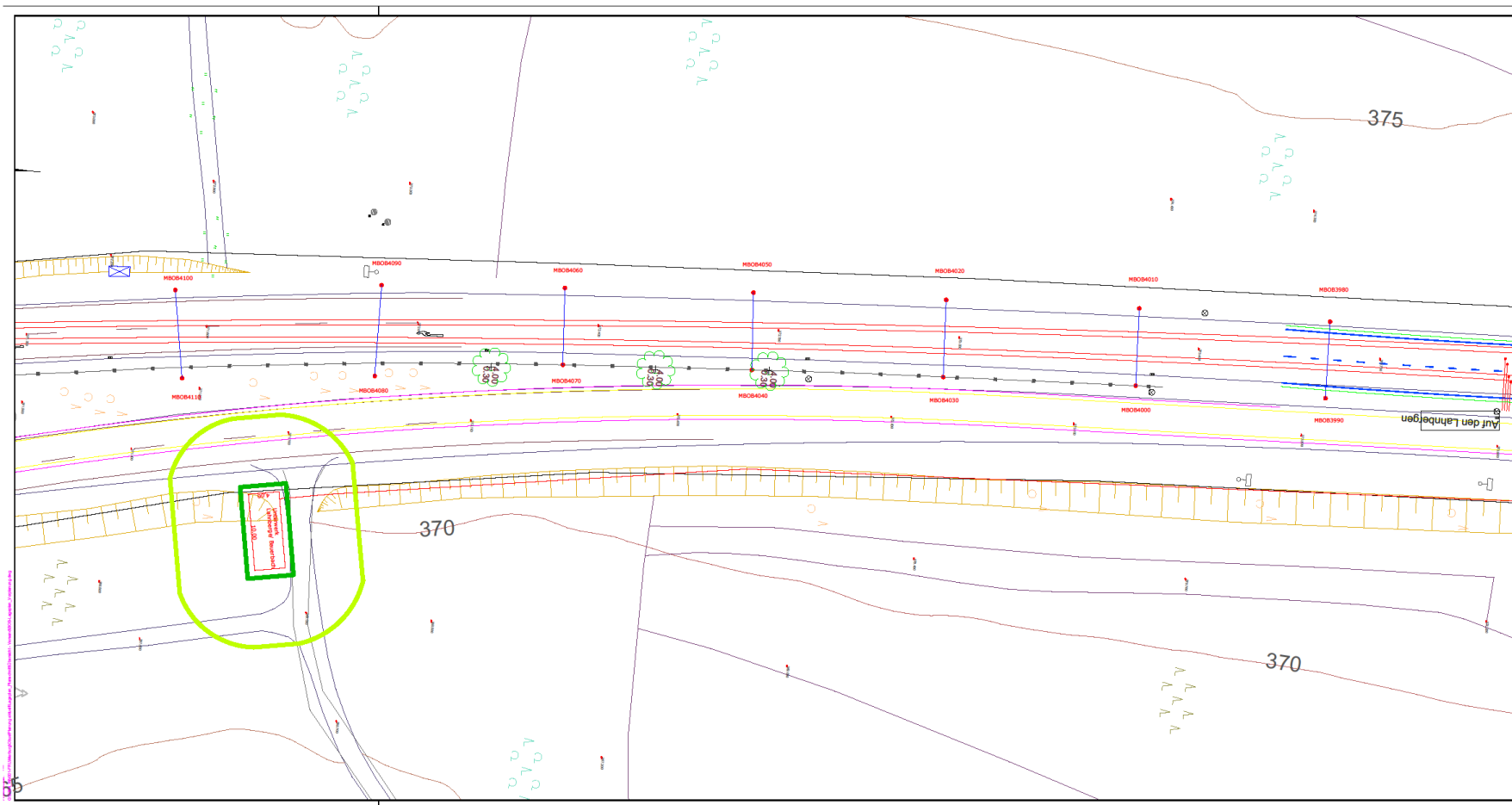
BlmSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
VwV	Verwaltungsvorschrift
EMF	Elektromagnetische Felder
BOB	Batterie-Oberleitungsbus
GUW	Gleichrichterunterwerk
UW	Unterwerk
MHz	Megahertz, Frequenz
Hz	Hertz
kV	Kilovolt
$\mu$ T	Mikro Tesla, Einheit der magnetischen Induktion



### Lahnberge / Seite Bauerbach Gemarkung, Bauerbach



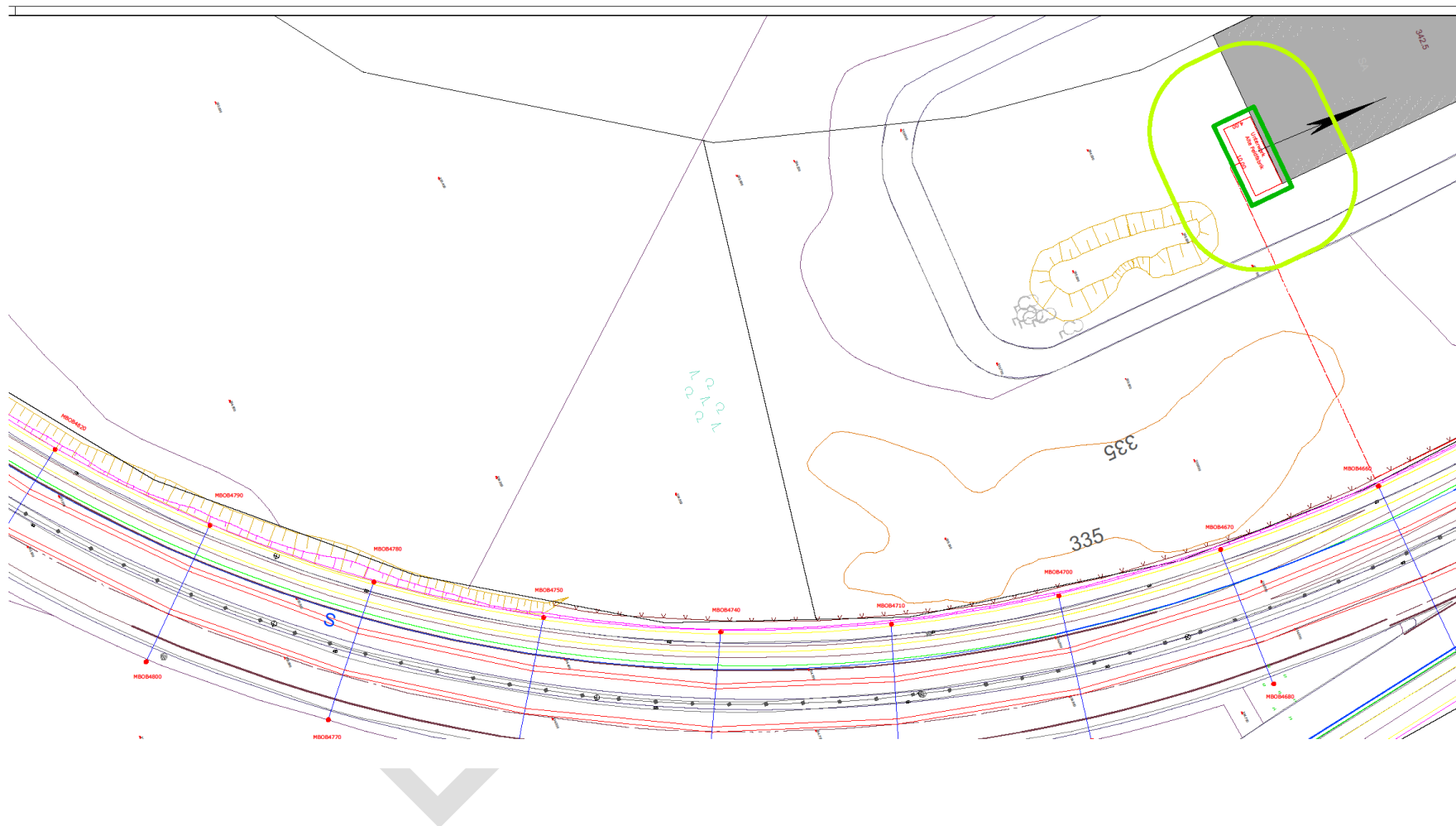
GUW  
Lahnberge / Seite Bauerbach  
Blatt 20



### Ehem. Feldfabrik, botanischer Garten, Gemarkung Marburg



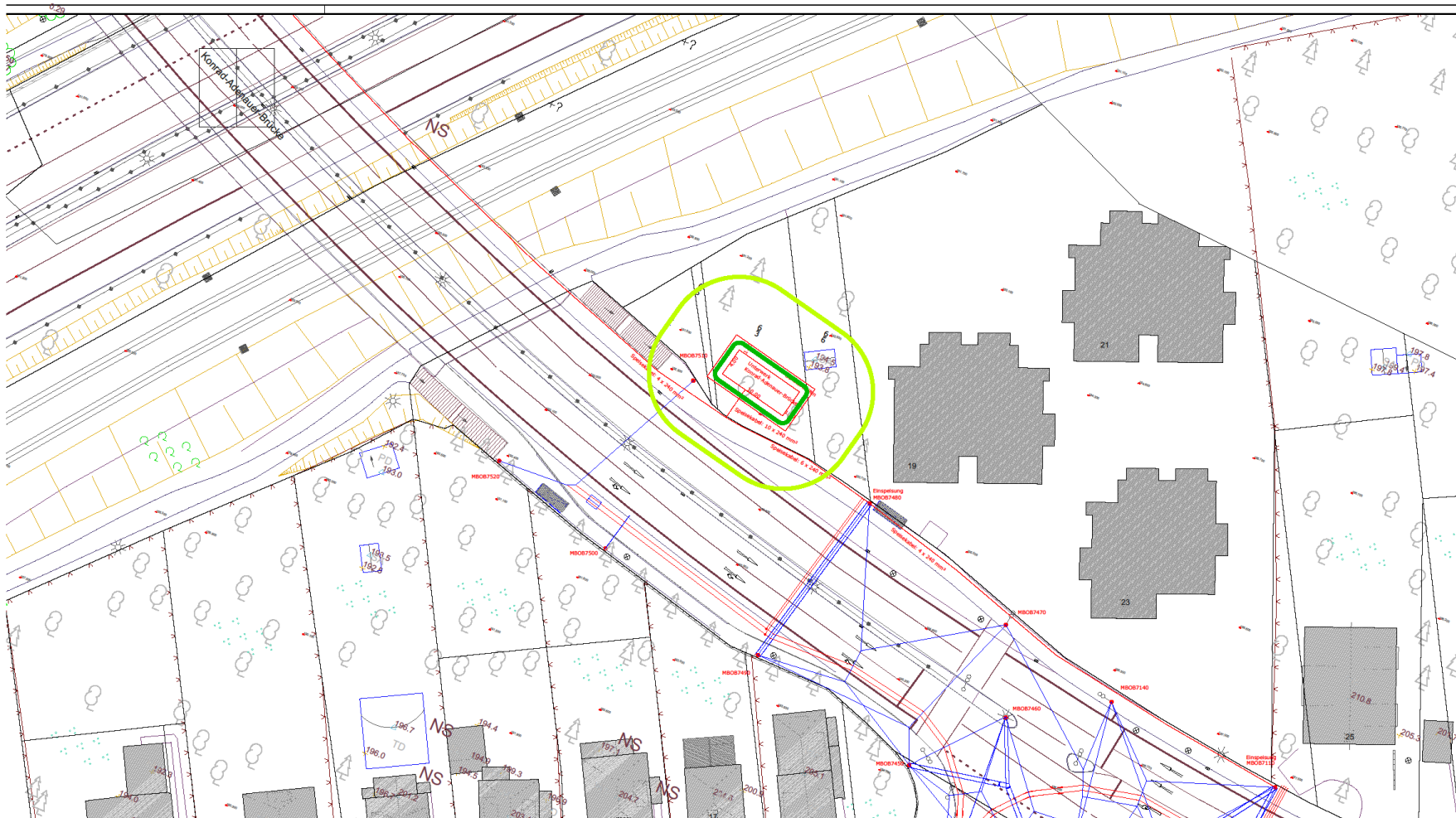
GUV  
Ehem. Feldfabrik, botanischer Garten  
Blatt 15



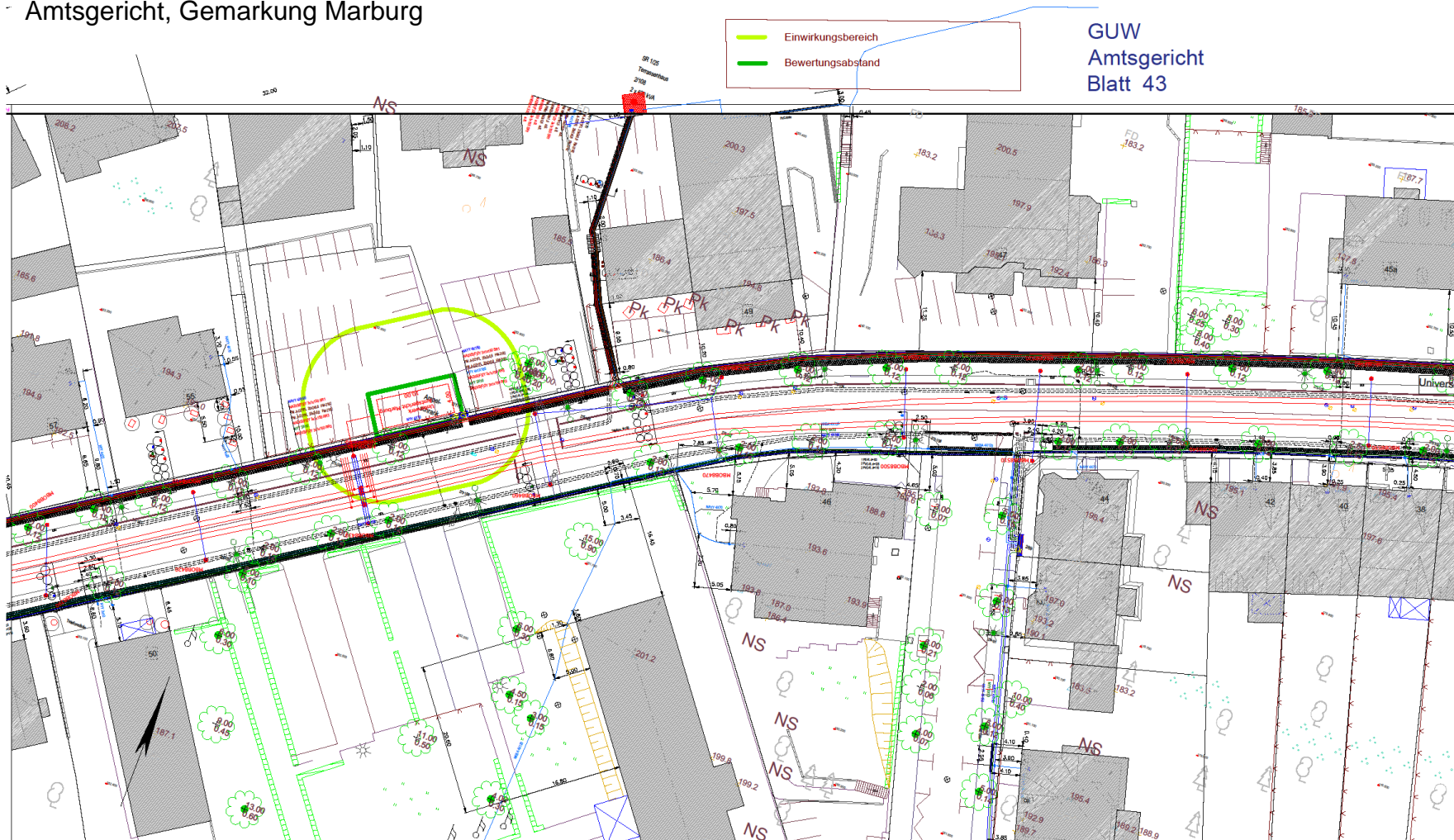
### Konrad-Adenauer-Brücke, Gemarkung Marburg



G UW  
Konrad-Adenauer-Brücke  
Blatt 2



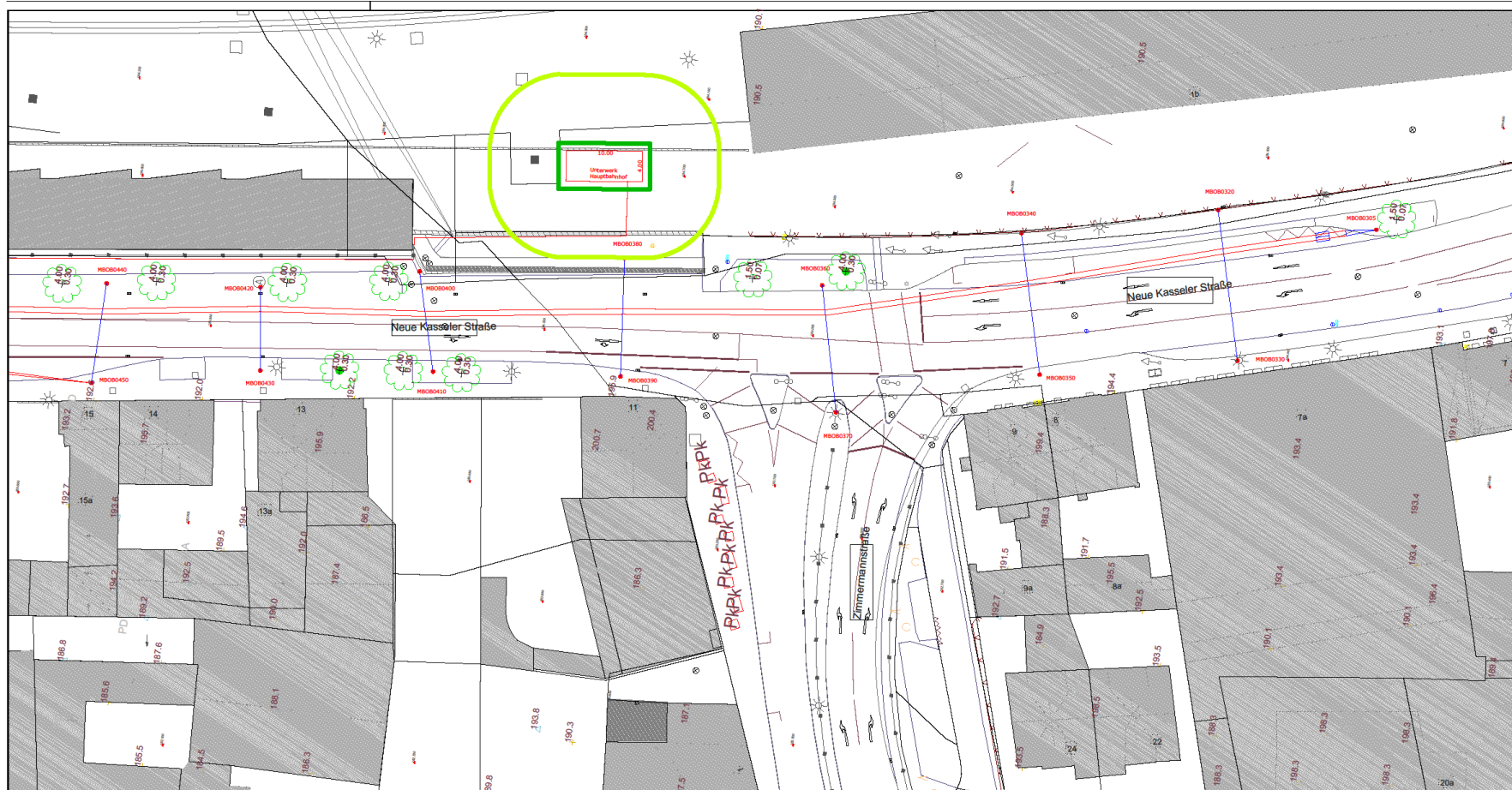
Amtsgericht, Gemarkung Marburg



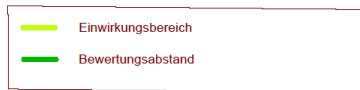
### Hauptbahnhof / Parkplatz, Gemarkung Marburg



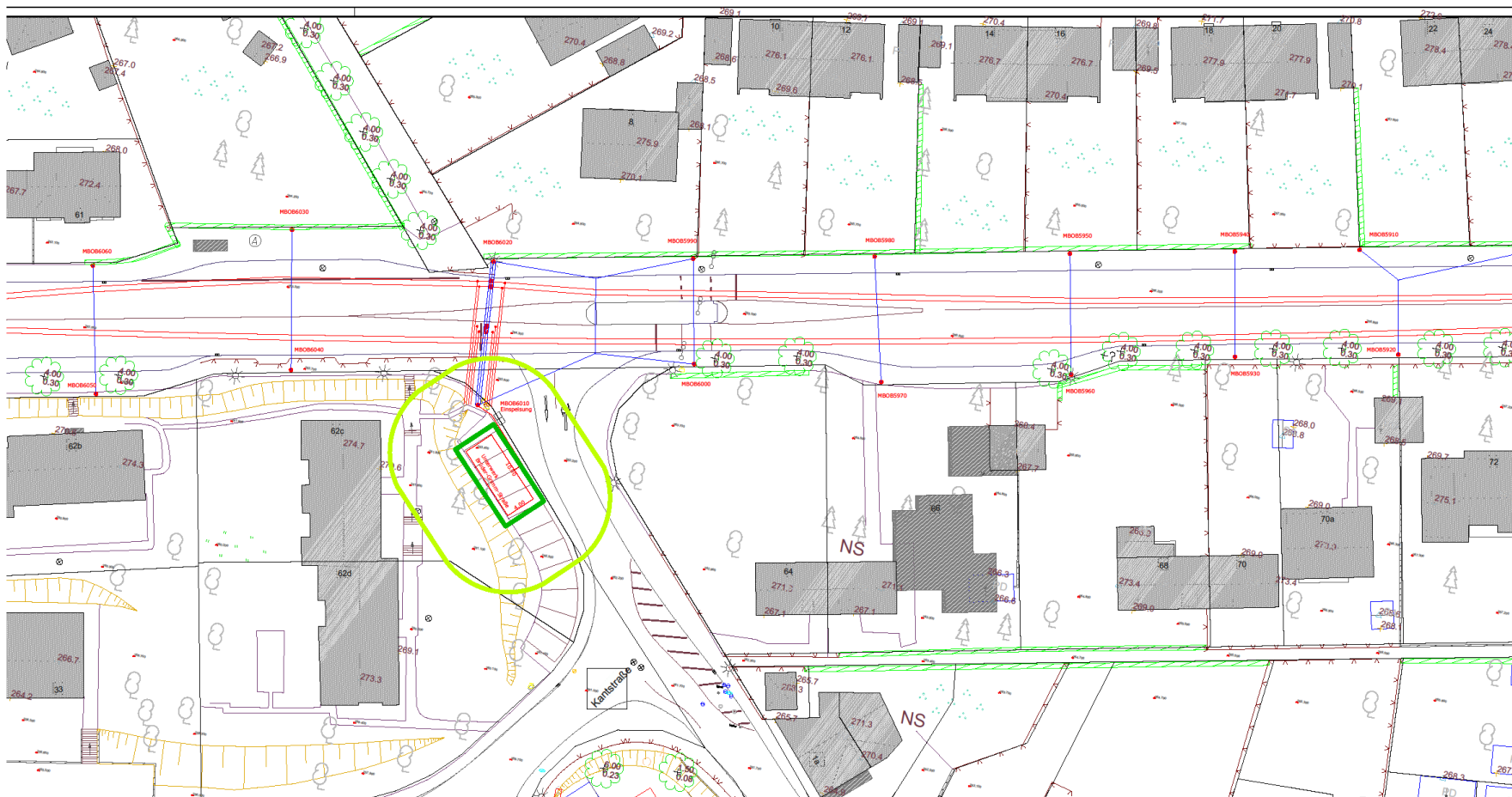
GUV  
Hauptbahnhof Parkplatz  
Blatt 40



### Brüder-Grimm-Straße, Gemarkung Marburg



GUV  
Brüder-Grimm-Straße  
Blatt 8



### Ginseldorfer Weg, Gemarkung Marburg



GUW  
Ginseldorfer Weg  
Blatt 35

