SIEMENS
Ingenuity for life

Beeinflussungsgutachten

Ingenieurbüro Dr. Lüth GmbH
PV Park SP Edeka Valluhn

Projektnummer	if200276
Datum	22.09.2022
Bearbeiter	Schnieders
Freigabe (Techn.)	Schmidt

Anschrift	Siemens AG, SI DG PTI Smart Infrastructure Digital Grid Power Technologies International Freyeslebenstr. 1 91058 Erlangen, Deutschland
Telefon	+49 (0)9131 / 17 - 38490
E-Mail	matthias.schnieders@siemens.com

PM_TE_Report_de Ver.4.07

Restricted © Siemens AG, 2020 Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **2**

1 Aufgabenstellung **3**

2 Daten **3**

2.1 380-kV-Freileitung 3

2.2 110-kV-Freileitung 5

2.3 Beeinflusster Leiter 5

2.4 Spezifischer Erdwiderstand 6

2.5 Umweltreduktionsfaktor 6

3 Zulässige Grenzwerte **7**

3.1 Rohrleitungen 7

3.2 Telekommunikationskabel 7

4 Berechnete Beeinflussungen **8**

4.1 Induktive Beeinflussung im Normalbetrieb der Freileitung 8

4.2 Induktive Beeinflussung bei Kurzschluss auf der Freileitung 9

4.3 Induktive Beeinflussung bei einpolige AWE 9

4.4 Kapazitive Beeinflussung 10

5 Zusammenfassung und Bewertung **11**

Literaturangaben **13**

Anhang **14**

1 Aufgabenstellung

Das Ingenieurbüro Dr. Lüth GmbH errichtet entlang der Bundesautobahn 24 in der Gemeinde Lüttow-Valluhn einen Photovoltaikpark. Der Park wird eine Fläche von ca. 133.700 m^2 einnehmen und über eine Leistung von 18,066 MWp verfügen

Der PV-Park wird unter der 380-kV-Freileitung Krümmel – Güstrow der 50Hertz Transmission GmbH und zwei 110-kV Systemen der WEMAG Netz GmbH, die auf der gleichen Trasse mitgeführt werden, errichtet. Dadurch kommt es zu Beeinflussungen von Telekommunikationskabeln, Rohrleitungen und Stahlkonstruktionen des PV-Parks durch Betriebs- und Fehlerströme dieser 380-kV- und 110-kV-Freileitung.

Siemens PTI wurde beauftragt, ein Gutachten zu diesen Beeinflussungen zu erstellen.

2 Daten

2.1 380-kV-Freileitung

Der Photovoltaikpark wird unter der 380-kV-Doppelleitung Krümmel – Güstrow errichtet. Er liegt zwischen den Masten 115 und 117 dieser Leitung.

Für die Freileitung sind für den Bereich der Überquerung des PV-Parks SP Edeka Valluhn die folgenden Daten gegeben:

Anzahl Stromkreise:	2
Stromkreis 1:	419 (Krümmel – Görries)
Stromkreis 2:	420 (Krümmel–Wessin)
Nennspannung:	380 kV
Nennfrequenz:	50 Hz
Leiterseile	4er Bündel 264-AL1/34-ST1A
Erdseil (Mastspitze)	264-AL1/34-ST1A
LWL1 (untere 380-kV-Traverse):	AL3/A20SA 212/36-21,6
LWL2 (110-kV-Traverse):	AL3/A20SA 212/36-21,6
Mastbild:	siehe Anhang 1
Durchhang in Spannfeldmitte:	21,70 m

Phasenanordnung	siehe Anhang 1
Maximaler Laststrom:	2720 A (je Stromkreis)
Wetter Abhängiger Freileitungs-Betrieb (WAFB) Laststrom	4000 A (je Stromkreis, geplant)

Kurzschlussstromdiagramme zeigen die bei einem Erdkurzschluss auf der Leitung von beiden Leitungsenden zum Fehlerort fließenden Nullströme ($3 \times I_0$) in Abhängigkeit des Fehlerortes entlang der Leitung. Diese Kurzschlussstromdiagramme sind für den Stromkreis 419 (Krümmel – Görries) in Anhang 3 und für den Stromkreis 420 (Krümmel –Wessin) in Anhang 4 angegeben. In diesen Diagrammen ist jeweils die Lage des PV-Parks und die maximalen, über die Freileitung fließenden Nullströme ($3 \times I_0$) in diesem Bereich angegeben. Für beide Stromkreise der Freileitung wird der maximale Nullstrom ($3 \times I_0$) aus Richtung der Umspannanlage Neuenhagen gespeist. Er liegt bei beiden Stromkreisen in der gleichen Größenordnung. Der maximale, über den Beeinflussungsbereich fließende Fehlerstrom beträgt:

Maximaler Nullstrom ($3 \times I_0$) :	9,8 kA
Reduktionsfaktor der Erdseile:	$r_E = 0{,}38$
Fehlerdauer bei Erdkurzschluss:	0,15 s

Bei einem Erdkurzschluss auf der Freileitung wird der fehlerbehaftete Leiter beidseitig abgeschaltet und nach einer Pausenzeit automatisch wiedereingeschaltet (AWE). Während dieser Pausenzeit ist aufgrund des Fehlens eines Leiterstromes die Leitung unsymmetrisch mit Betriebsströmen belastet.

Pausenzeit bis zur AWE:	1,2 s

2.2 110-kV-Freileitung

Der PV-Park wird unter der Trasse Krümmel – Güstrow errichtet. Er liegt zwischen den Masten 115 und 117 dieser Leitung.

Auf der Trasse im Bereich der Überquerung des PV-Parks werden zwei 110-kV-Systeme der WEMAG Netz GmbH mitgeführt. Die folgenden Daten sind gegeben:

Anzahl Stromkreise:	2
Nennspannung:	110 kV
Nennfrequenz:	50 Hz
Leiterseile	1er Bündel 264-AL1/34-ST1A
Mastbild:	siehe Anhang 1
Durchhang in Spannfeldmitte:	21,50 m
Phasenanordnung	siehe Anhang 1
Maximaler Laststrom:	680 A (je Stromkreis gemäß DIN EN 50182 Tab. F19)

Das 110-kV Netz der WEMAG Netz GmbH wird mit Erdschlusskompensation betrieben. Daher ist eine Untersuchung der induktive Kurzzeitbeeinflussung gemäß VDE 0845-6-2 [2] nicht notwendig

2.3 Beeinflusster Leiter

Innerhalb des PV-Parks gibt es eine ganze Reihe von Kabeln, Rohrleitungen und metallischen Konstruktionsteilen, die unterschiedliche Längen haben und auf unterschiedlichen Trassen verlegt werden. Während der Verlegearbeiten muss zudem davon ausgegangen werden, dass Kabelschirme noch nicht beidseitig geerdet sind.

Für die Berechnungen wird deshalb ein ungeschirmter Leiter modelliert, der hinsichtlich Parallelführungslänge und Abstand zur Freileitung, die für eine induktive Beeinflussung ungünstigste Lage hat.

Der modellierte Leiter verläuft über eine Länge von ca. 630 m parallel zur Freileitung (siehe Anhang 2). Im Bereich der Parallelführung wurde ein horizontaler Abstand von 5 m zur Achse der Freileitung angenommen. Dies ist hinsichtlich der durch Lastströme in beiden Stromkreisen der Freileitung induzierten Spannungen die ungünstigste Lage. Es wurde angenommen, dass der Leiter knapp über der Erdoberfläche verläuft (z.B. während der Verlegung).

2.4 Spezifischer Erdwiderstand

Der spezifische Erdwiderstand hat einen Einfluss auf die Koppelimpedanzen zwischen beeinflussender und beeinflusster Leitung. Für den spezifischen Erdwiderstand wurden folgende Richtwerte [1] verwendet:

Beeinflussung durch 50-Hz-Leitungen $\rho_E = 50\ \Omega m$

2.5 Umweltreduktionsfaktor

Der Umweltreduktionsfaktor beschreibt die reduzierende Wirkung aller unbekannten metallenen Leiter im Erdreich. Entsprechend der VDE 0845-6-1 [1] können in Abhängigkeit der Art des Geländes bzw. der Bebauung Umweltreduktionsfaktoren im Bereich von $r_X = 0{,}05$ (Tunnelstrecken im Stadtbereich) bis $r_X = 1{,}00$ (freies Gelände ohne Straßen) berücksichtigt werden.

Für die Berechnung der induktiven Beeinflussung des PV-Parks SP Edeka Valluhn des Ingenieurbüros Dr. Lüth GmbH wurde kein Umweltreduktionsfaktor (bzw. $r_X = 1{,}00$) berücksichtigt. Die Berechnungen enthalten deshalb einen Sicherheitsfaktor.

3 Zulässige Grenzwerte

3.1 Rohrleitungen

Für die Beeinflussung von Rohrleitungen sind Grenzwerte der Beeinflussungsspannung (Querspannungen Rohrleitung gegen Erde bzw. Längsspannung über Isolierstöße einer Rohrleitung) in VDE 0845-8 [3] gegeben. Dabei wird unterschieden zwischen Fehlerbedingungen und fehlerfreiem Betrieb der beeinflussenden Hochspannungsanlage. Für die Langzeitbeeinflussung im fehlerfreien Normalbetrieb und für die Kurzzeitbeeinflussung im Kurzschlussfall sind dabei folgende Grenzwerte einzuhalten:

Langzeitbeeinflussung:	60 V
Kurzzeitbeeinflussung bei Fehlerdauer 0,15s:	1500 V

Die Beeinflussung während der Pausenzeit bis zu einer automatischen Wiedereinschaltung (AWE) wird in VDE 0845-8 [3] nicht betrachtet, sondern lediglich in TE7-B1 [9] erwähnt. Für eine Pausenzeit von 1,2 s würde nach VDE 0845-8 [3] folgender Grenzwert der zulässigen Kurzzeitbeeinflussung gelten:

Kurzzeitbeeinflussung während AWE-Pausenzeit von 1,2 s:	150 V

3.2 Telekommunikationskabel

Für Telekommunikationskabel sind Grenzwerte der Beeinflussungsspannung (induzierten Längsspannung) in VDE 0845-6-1 [1] gegeben. Die Grenzwerte sind dabei von der Dauer der Beeinflussung abhängig.

Langzeitbeeinflussung:	60 V
Kurzzeitbeeinflussung bei Fehlerdauer 0,15 s:	1030 V

Eine Berechnung der Beeinflussung von Telekommunikationskabeln während der Pausenzeit bis zur AWE eines einphasig unterbrochenen Drehstromsystems wird in VDE 0845-6-1 [1] und VDE 0845-6-2 [2] nicht gefordert. Entsprechend der zeitabhängigen Grenzwerte der Beeinflussungsspannungen würde sich für die Dauer der Pausenzeit folgende zulässige Spannung ergeben:

Kurzzeitbeeinflussung während AWE-Pausenzeit von 1,2 s:	150 V

Für die kapazitive Beeinflussung von ungeschirmten Telekommunikationskabeln ist in VDE 0845-6-1 [1] ein Grenzwert für den bei Berührung des Kabels bei gleichzeitiger Erdberührung über den menschlichen Körper fließenden kapazitiven Stromes gegeben.

Grenzwert des kapazitiven Entladestromes:	9 mA

4 Berechnete Beeinflussungen

4.1 Induktive Beeinflussung im Normalbetrieb der Freileitung

Durch Lastströme von 2720 A je 380-kV Stromkreis bzw. 680 A je 110-kV Stromkreis werden in dem modellierten Leiter die folgenden Längsspannungen induziert:

380-kV-Stromkreis 419:	19,3 V	Winkel -59 °
380-kV-Stromkreis 420:	17,9 V	Winkel 110 °
110-kV-Stromkreis 1:	3,9 V	Winkel -68 °
110-kV-Stromkreis 2:	3,1 V	Winkel 125 °

Bei Annahme gleicher oder ähnlicher Phasenlage der Lastströme in den beiden 380-kV-Stromkreisen kompensieren sich die durch die beiden Stromkreise induzierten Spannungen teilweise. Das gleich gilt auch für die beiden 110-kV-Stromkreise. Die vektorielle Addition der durch die 380-kV- und die 110-kV-Stromkreise induzierten Spannungen führt zu folgenden Werten:

Langzeitbeeinflussung 380-kV (beide Stromkreise in Betrieb):	3,8 V
Langzeitbeeinflussung 110-kV (beide Stromkreise in Betrieb):	1,1 V

In diesem Fall kommt es zu den maximalen induzierten Spannungen, wenn jeweils einer der beiden Stromkreise abgeschaltet ist:

Langzeitbeeinflussung 380-kV (Ausfall Stromkreis 420):	19,3 V
Langzeitbeeinflussung 110-kV (Ausfall Stromkreis 2):	3,9 V

Die resultierende Langzeitbeeinflussung ergibt sich nach VDE 0845-6-2 [2] als Wurzel aus den Quadraten, der durch die beiden Spannungsebenen induzierten Spannungen:

Resultierende Langzeitbeeinflussung:	19,7 V

Diese, für einen 630 m langen, ungeschirmten Leiter berechnete Langzeitbeeinflussung liegt deutlich unter den Grenzwerten von 60 V für die Beeinflussung von Rohrleitungen und Telekommunikationskabeln.

Nach Einführung des witterungsabhängigen Freileitungsbetriebs (WAFB) können Lastströme bis zu 4000 A in den 380-kV Stromkreisen fließen. Die durch die 380-kV-Stromkreise induzierten Spannungen erhöhen sich proportional zum Anstieg des Laststromes. Zur maximalen Beeinflussung kommt es wieder bei Abschaltung je eines 380-kV- und 110-kV-Systems:

Langzeitbeeinflussung 380-kV (Ausfall Stromkreis 420):	28,4 V
Langzeitbeeinflussung 110-kV (Ausfall Stromkreis 2):	3,9 V

Die resultierende Langzeitbeeinflussung ergibt sich wieder als Wurzel aus den Quadraten, der durch die beiden Spannungsebenen induzierten Spannungen:

Resultierende Langzeitbeeinflussung:	28,7 V

Nach Einführung des WAFB wir der Grenzwert der Langzeitbeeinflussung ebenfalls bei einer Parallelführungslänge von 630 m eingehlaten.

4.2 Induktive Beeinflussung bei Kurzschluss auf der Freileitung

Der Erdkurzschluss auf der Freileitung führt zu der maximalen induktiven Kurzzeitbeeinflussung [2] [3] [9]. Bei einem über die Freileitung im Erdkurzschlussfall fließenden Nullstrom von 3 x I_0 = 9,8 kA wird in den modellierten Leiter die folgende Spannung induziert:

Kurzzeitbeeinflussung (0,15 s):	713 V

Diese, für einen 630 m langen, ungeschirmten Leiter berechnete Kurzzeitbeeinflussung liegt unter den für eine Fehlerdauer von 0,15 s geltenden Grenzwert von 1030 V für die Beeinflussung von Telekommunikationskabeln.

4.3 Induktive Beeinflussung bei einpolige AWE

Während der einpoligen Unterbrechung ist der Strom in der beidseitig unterbrochenen Phase Null. Gleichzeitig können in den beiden anderen Phasenleitern Ströme in nahezu unveränderter Höhe fließen. In der Praxis wird sich der Phasenwinkel der Ströme in den beiden nicht unterbrochenen Leitern im Vergleich zum fehlerfreien Betrieb etwas ändern. Für eine worst-case-Betrachtung kann der Strom in den beiden fehlerfreien Phasenleitern jedoch als unverändert gegenüber dem störungsfreien Betrieb angenommen werden.

In diesem Fall entspricht der im fehlerbehafteten Phasenleiter unterbrochene Laststrom dem über die Leitung fließenden Nullstrom $3 \cdot I_0$.

Es wurden die induzierten Spannungen während der einpoligen Unterbrechung mit Berücksichtigung des maximalen Laststromes von z.Z. 2720 A bzw. 4000 A nach Einführung des WAFB als Nullstrom $3 \cdot I_0$ der 380-kV-Freileitung berechnet. Die maximale Beeinflussungsspannung auf den modellierten Leiter während der Pausenzeit vor einer automatischen Wiedereinschaltung eines abgeschalteten Leiters beträgt:

Kurzzeitbeeinflussung (1,20 s) bei 2720 A Laststrom:	102 V

Kurzzeitbeeinflussung (1,20 s) bei 4000 A Laststrom:	150 V

Diese berechneten Kurzzeitbeeinflussungen halten den Grenzwert von 150 V für eine Pausenzeit von 1,2 s für die Beeinflussung von Rohrleitungen ein.

4.4 Kapazitive Beeinflussung

Kapazitiv beeinflusst werden nur ungeschirmte Leiter, Rohrleitungen und metallische Konstruktionsteile, die sich über der Erdoberfläche befinden und nicht geerdet sind. Dies können z.B. Konstruktionsteile sein, die durch einen Kran angehoben werden, der auf elektrisch isolierenden Reifen steht.

Für die Bewertung der kapazitiven Beeinflussung wird der Normalbetrieb der Freileitung mit symmetrischen Betriebsspannungen in allen Stromkreisen und ein Bodenabstand der unteren Seile von 9 m berücksichtigt.

Metallische Teile, die nicht geerdet sind und sich direkt unter der Freileitung in einer Höhe von nur einem halben Meter über dem Boden befinden, nehmen bereits Spannungen von über 1 kV an. Bei kleinen Metallteilen sind diese Spannungen aber ungefährlich für den Menschen, da sie beim Berühren nur vernachlässigbare Ströme über den menschlichen Körper verursachen. Die Ströme, die beim Berühren eines solchen Metallteils über den menschlichen Körper fließen, werden umso größer je größer das Metallteil ist und je länger es unter der Freileitung entlangführt. Eine 10 m lange und 1 m breite Metallplatte (oder ein 10 m langes Rohrstück) würde bei einer Höhe von 0,5 m über dem Erdboden einen kapazitiven Entladestrom von 0,1 mA verursachen. Der Grenzwert der VDE 0845-6-1 [1] von 9 mA wird dabei deutlich eingehalten.

Wird ein ungeerdetes Metallteile direkt unter der Freileitung auf eine Höhe von 5 m über dem Erdboden angehoben, beträgt die eingekoppelte Spannung bereits 10 kV. Eine 10 m lange und 1 m breite Metallplatte würde bei dieser Höhe über dem Erdboden einen kapazitiven Entladestrom von 0,5 mA verursachen. Der Grenzwert der VDE 0845-6-1 [1] von 9 mA wird also auch bei dieser Höhe über dem Erdboden eingehalten.

Da der kapazitive Entladestrom direkt von der Länge des nicht geerdeten Metallteils abhängig ist, würde der Grenzwert des über den menschlichen Körper fließenden Entladestromes der VDE 0845-6-1 [1] von 9 mA erst bei einem in 5 m Höhe befindlichen Metallteil erreicht, welches sich über einer Länge von mehr als 180 m parallel unter der Freileitung befindet.

5 Zusammenfassung und Bewertung

Die Berechnung der induktiven Beeinflussung von metallischen Leitern, Rohrleitungen und ausgedehnten Konstruktionsteilen des PV-Parks SP Edeka Valluhn des Ingenieurbüros Dr. Lüth GmbH wurde unter Annahme ungünstigster Bedingungen durchgeführt.

Die Berechnungen für einen, über die gesamte Länge des Geländes von 630 m unter der Freileitung verlaufenden, ungeschirmten Leiter ergaben sowohl im Normalbetrieb der Freileitung, mit einem Laststrom von aktuell 2720 A und nach Einführung des WAFB mit bis zu 4000 A, als auch im Kurzschlussfall induzierte Spannungen, die unter den hinsichtlich des Personenschutzes geltenden Grenzwerten für beeinflusste Rohrleitungen [3] und Telekommunikationskabel [1] [2] liegen.

Die Berücksichtigung einer kurzzeitigen einpoligen Unterbrechung eines Leiters der 380-kV-Freileitung nach einem Erdkurzschluss und vor der automatischen Wiedereinschaltung wird in den Normen und Regeln nur für Rohrleitungen gefordert [9]. Da sich aber während der Errichtungsphase des PV-Parks viele Personen auf der Anlage befinden und an beeinflussten Leitern arbeiten, wird empfohlen, während der Errichtungszeit eine mögliche Gefährdung durch eine einpolige Unterbrechung vor einer AWE für alle beeinflussten metallischen Leiter mit zu betrachten. Beim derzeitigen Laststrom der 380-kV-Freileitung von 2720 A wird die zulässige Beeinflussungsspannung während der kurzzeitigen einpoligen Unterbrechung bei einem metallischen Leiter, der über eine Länge von 630 m parallel zur Freileitung verläuft, eingehalten. Sollte während der Errichtungszeit des PV-Parks der WAFB für die 380-kV-Leitung bereits eingeführt werden, darf die Läng des Leiters 630 m parallel zur Freileitung nicht überschreiten.

Auch unterhalb der zulässigen Grenzwerte für Beeinflussungsspannungen kann es zu fühlbaren Berührungsspannungen durch induktive Einkopplung kommen. Diese können unter Umständen zum Erschrecken und damit zu Sekundärunfällen führen. Das eingesetzte Personal sollte deshalb auf die Besonderheiten der Anlage und mögliche, durch Induktion hervorgerufen Spannungen hingewiesen werden.

Neben der induktiven Beeinflussung wurde auch die kapazitive Beeinflussung von nicht geerdeten metallischen Teilen über dem Erdboden betrachtet. Dies können z.B. Konstruktionsteile oder Rohre sein, die während der Bauphase durch einen, auf isolierenden Reifen stehenden Kran angehoben werden. In solche metallischen Teile wird kapazitiv eine Spannung eingekoppelt. Für den Personenschutz ist dabei aber nicht die Höhe der Spannung, sondern der bei einer Berührung dieses Metallteils über den menschlichen Körper fließende Entladestrom entscheidend. Die Betrachtungen ergaben, dass selbst bei ungünstigsten Annahmen (180 m langes Metallteil, direkt parallel unter der Freileitung verlaufend, auf eine Höhe von 5 m über dem Erdboden angehoben) der Grenzwert des Entladestromes [1] nicht überschritten wird.

Auch bei der kapazitiven Einkopplung besteht die Gefahr des Erschreckens und daraus resultierender Sekundärunfälle. Um diese Gefahr zu reduzieren, sollte mindestens für große Metallteile (Ausdehnung von 10 m und mehr), die höher als 2 m über den Erdboden angehoben werden, eine Erdung vorgesehen werden. Dies kann z.B. durch eine Erdverbindung über den Kran bzw. das Hebezeug gewährleistet werden (metallische Tragseile bzw. -ketten und Erdung des Körpers des Krans bzw. Hebezeugs).

Falls im zukünftigen PV-Park SP Edeka Valluhn Telekommunikationskabel mit Kupferadern mit einer Parallelführungslänge zur Freileitung von mehr als 630 m oder metallische Rohrleitung mit äußerer isolierender Umhüllung mit einer Parallelführungslänge von ebenfalls mehr als 630 m betrieben werden, muss für diese eine Detailuntersuchung unter Berücksichtigung der genauen Lage und weiterer technischer Angaben erfolgen.

Im Rahmen des Gutachtens erfolgte keine Betrachtung der Beeinflussung von längeren Rohrleitungen und Telekommunikationskabeln, die von außen kommend in die Anlage des PV-Parks hineinführen.

Literaturangaben

[1] DIN VDE 0845-6-1: Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 1: Grundlagen, Grenzwerte, Berechnungs- und Messverfahren, April 2013

[2] DIN VDE 0845-6-2: Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 2: Beeinflussung durch Drehstromanlagen, September 2014

[3] DIN EN 50443 (VDE 0845-8): Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungswechselstrombahnen und/oder Hochspannungsanlagen auf Rohrleitungen; Deutsche Fassung EN 50443:2011, August 2012

[4] DIN EN 50182: Leiter für Freileitungen, Leiter aus konzentrisch verseilten runden Drähten; Deutsche Fassung EN 50182:2001, Dezember 2001

[5] Technische Empfehlung Nr. 1: Anleitung zur Berechnung der in Telekommunikations-(TK-) Leitungen durch Starkstromleitungen induzierten Spannungen, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, Juni 2006

[6] Technische Empfehlung Nr. 2: Richtlinie über hochspannungsbeeinflusste Nachrichtenanlagen (außer Blockleitungen) für den Bahnbetrieb, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, November 2004

[7] Technische Empfehlung Nr. 3: Richtlinie für Schutzmaßnahmen an Tk-Anlagen gegen Beeinflussung durch Netze der elektrischen Energieübertragung, -verteilung sowie Wechselstrombahnen, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, April 2005

[8] Technische Empfehlung Nr. 7: Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, Oktober 2006

[9] Technische Empfehlung Nr. 7 – B1: Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen, Beiblatt 1: Ergänzende Hinweise zu Betriebszuständen von Hochspannungsfreileitungen und Maßnahmen, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, April 2017

[10] Technische Empfehlung Nr. 8: Anleitung zur rechnerischen und messtechnischen Ermittlung der Reduktionswirkung von Kompensationsleitern, Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen, März 1980

[11] CIGRE Working Group 36.02: Guide on the Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines, 1995

[12] CCITT – The international Telegraph and Telephone Consultative Committee: Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrical railway lines.
Volume II – Calculating induced voltages and currents in practical cases, Geneva 1989

Anhang

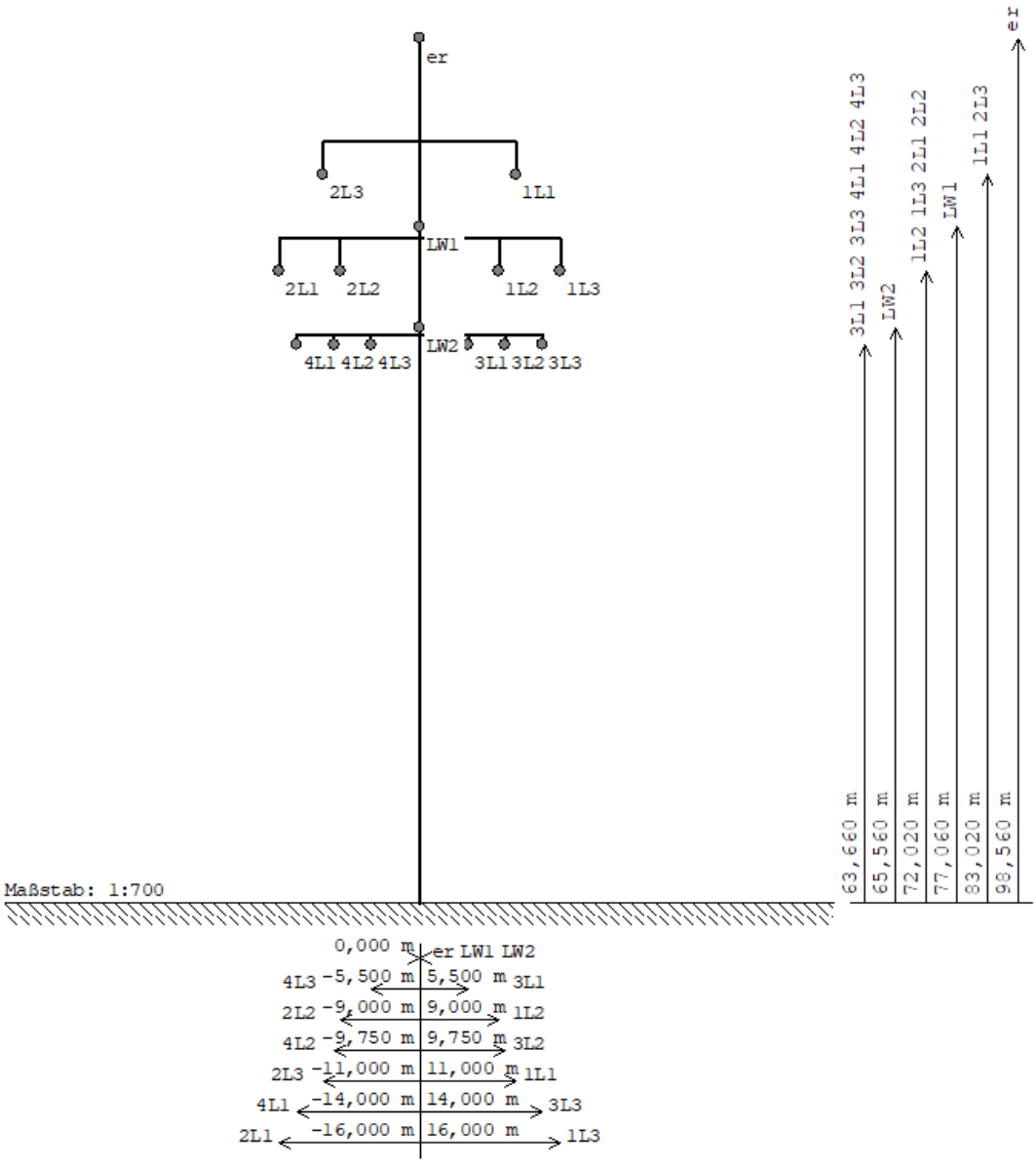
Anhang 1 Mastbild der 380-kV-Freileitung Krümmel – Güstrow einschließlich der beiden 110-kV-Systeme , Phasenanordnung im Bereich des PV-Parks (Mast 121 – Mast 126 der Freileitung) 15

Anhang 2 Lageplan des PV-Parks der Naturstrom AG mit dem Verlauf der Freileitung und der ungünstigsten Beeinflussungsstrecke 16

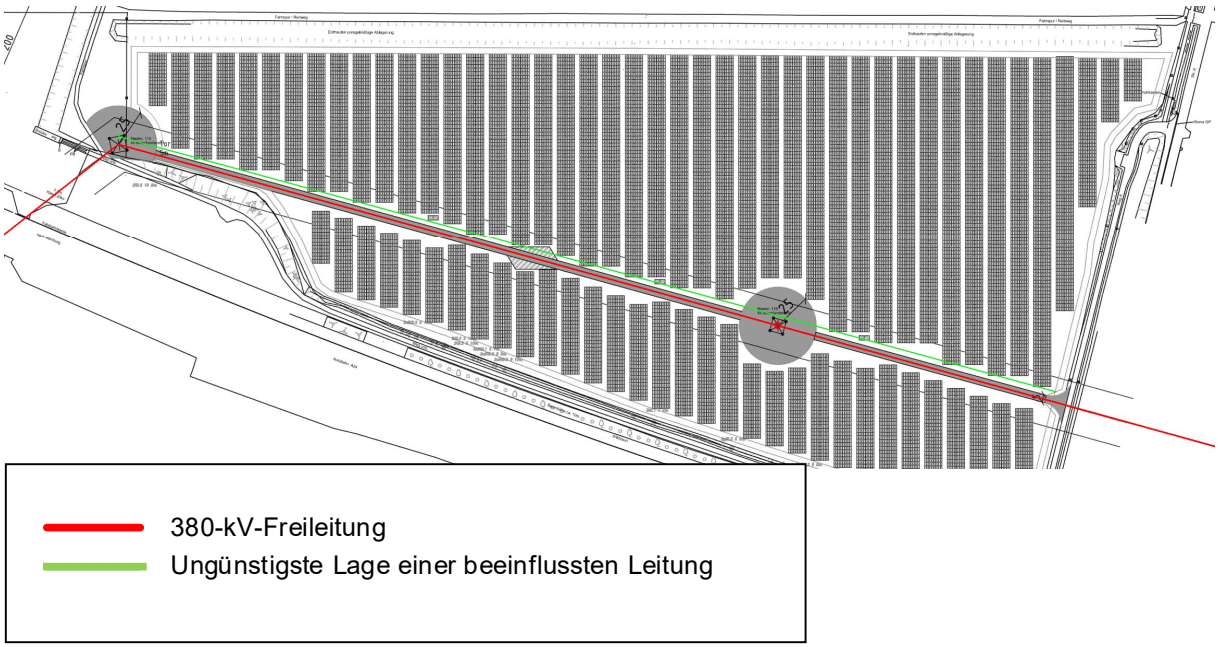
Anhang 3 Kurzschlussstrom-Diagramm (3 x I_0) des Systems 420 (Krümmel – Wessin) der 380-kV-Freileitung mit Angabe der Kurzschlussströme (3 x I_0) im Bereich des PV-Parks der Naturstrom AG 17

Anhang 4 Kurzschlussstrom-Diagramm (3 x I_0) des Systems 419 (Krümmel – Görries) der 380-kV-Freileitung mit Angabe der Kurzschlussströme (3 x I_0) im Bereich des PV-Parks der Naturstrom AG 18

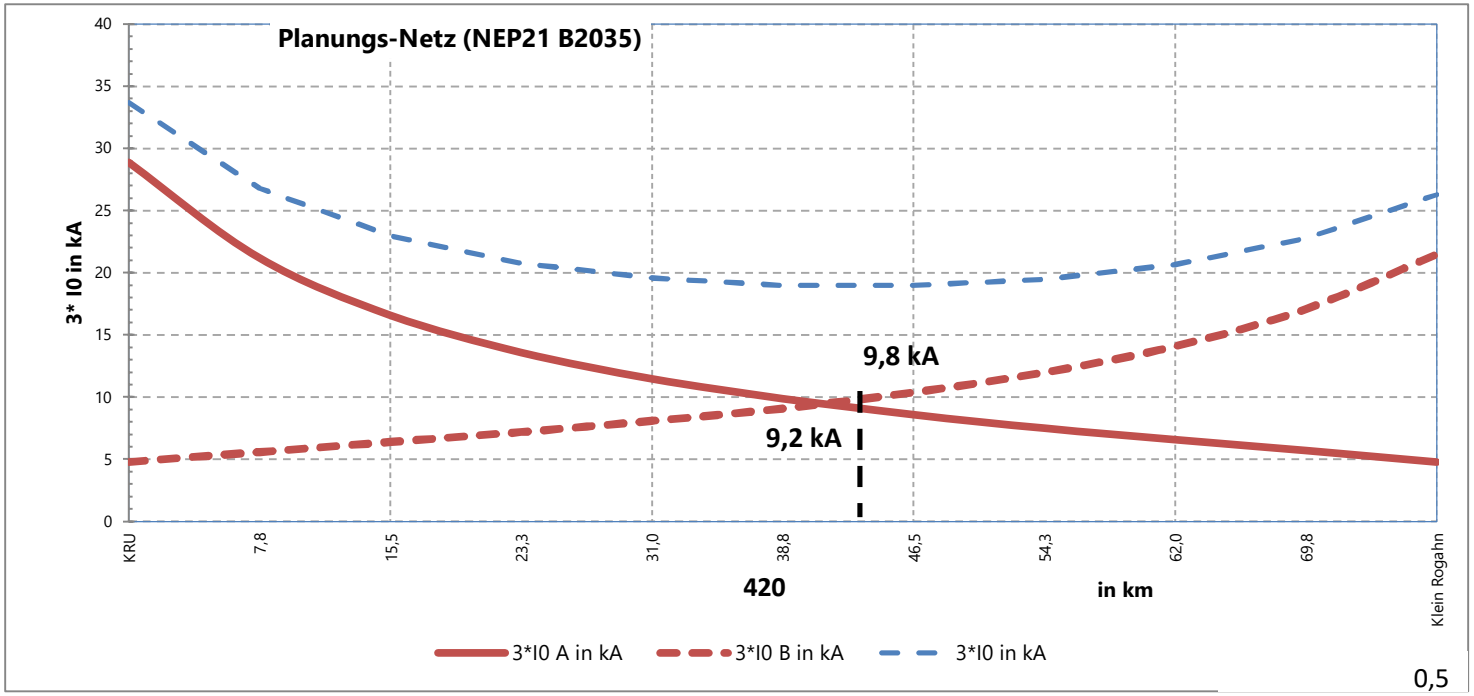
Anhang 1 **Mastbild der 380-kV-Freileitung Krümmel – Güstrow einschließlich der beiden 110-kV-Systeme, Phasenanordnung im Bereich des PV-Parks (Mast 115 – Mast 117 der Freileitung)**



Anhang 2 Lageplan des PV-Parks des Ingenieurbüros Dr. Lüth GmbH mit dem Verlauf der Freileitung und der ungünstigsten Beeinflussungsstrecke



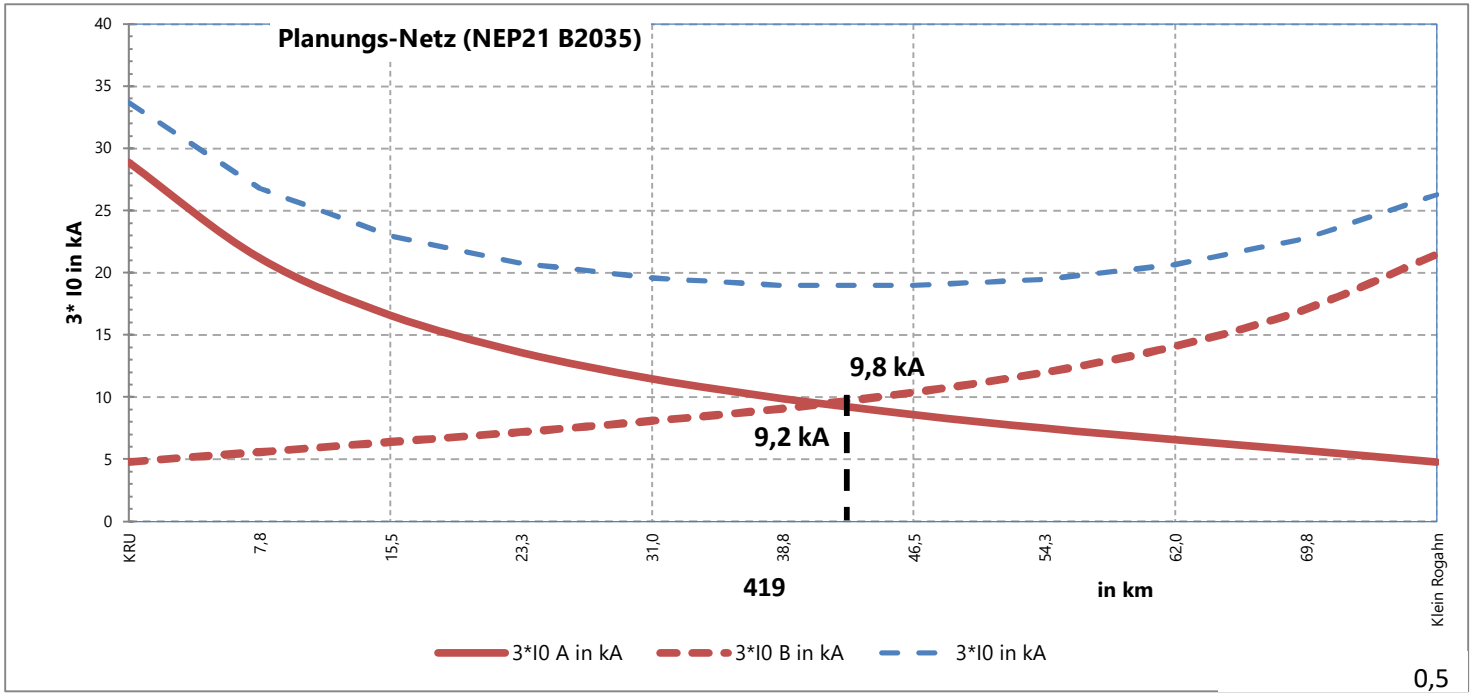
Anhang 3 **Kurzschlussstrom-Diagramm (3 x I_0) des Systems 420 (Planungs-Netz (NEP21 B2035)) der 380-kV-Freileitung mit Angabe der Kurzschlussströme (3 x I_0) im Bereich des PV-Parks des Ingenieurbüros Dr. Lüth GmbH**



Krümmel

Klein Roghan

Anhang 4 **Kurzschlussstrom-Diagramm (3 x I_0) des Systems 419 (Planungs-Netz (NEP21 B2035)) der 380-kV-Freileitung mit Angabe der Kurzschlussströme (3 x I_0) im Bereich des PV-Parks des Ingenieurbüros Dr. Lüth GmbH**



Krümmel **Klein Roghan**