

Technischer Bericht

**Erwärmungsberechnungen für die 380-kV-Kabel-
verbindung zum Netzanschluss des Gaskraftwerks
Leipheim**

Dr.-Ing. Winfried Fricke

Frettchenweg 31A

12623 Berlin

Germany

fon: +49 (0)30 9831 8213

fax: +49 (0)30 9831 8234

mobile: +49 (0)1577 8925 229

eMail: wfricke@fricke-engineering.de

www.fricke-engineering.de

Textseiten / Anlagen
12 / 4 (33 Seiten)

Datum: 14.07.2017

Inhalt

- 1. Einführung**
- 2. Aufbau des 380-kV-Übertragungssystems**
 - 2.1. Aufbau der Kabelsysteme**
 - 2.2. Trassenprofile**
 - 2.3. Strombelastung**
- 3. Thermische Kennwerte des Erdbodens**
- 4. Berechnungsverfahren**
 - 4.1. Berechnung der Restströme in den Kabelschirmen**
 - 4.2. Berechnung der Erwärmung**
- 5. Berechnungsergebnisse**
 - 5.1. Ströme in den Kabelschirmen**
 - 5.2. Erwärmung der Kabel**
 - 5.2.1. Erwärmung für Trassenabschnitte in offener Bauweise**
 - 5.2.2. Erwärmung für Trassenabschnitte in HDD-Bauweise**
 - 5.3. Erwärmung des umgebenden Erdbodens**
- 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**
- 7. Quellenverzeichnis**

1. Einführung

Im Bereich eines Gewerbegebietes der Stadt Leipheim ist die Errichtung eines neuen Gaskraftwerks geplant. Zur Netzanbindung dieses Gaskraftwerks soll unter anderem eine aus 2 Systemen bestehende, ca. 2,8 km lange 380-kV-Kabelverbindung errichtet werden. Zur Minimierung der Verluste sollen die Kabelschirme elektrisch ausgekreuzt werden (Cross-Bonding). Wegen der nicht exakt gleichen Teillängen sowie der wechselnden Trassenprofile ist damit zu rechnen, dass trotz der Auskreuzung noch induzierte Restströme in den Kabelschirmen fließen werden.

Die Kabelverbindung soll vorzugsweise in offener Bauweise errichtet werden, wobei die Kabel in vorab installierte Schutzrohre eingezogen werden sollen. An insgesamt vier Stellen wird die Kabeltrasse existierende Straßen und Wege sowie die Bundesautobahn A8 unterqueren. Diese Abschnitte sollen in grabenloser Bauweise mit Hilfe von Spülbohrungen (Horizontal Directional Drilling, nachfolgend als „HDD“ bezeichnet) ausgeführt werden.

Für die Kabeltrasse wurden bereits Standard-Trassenprofile für die in offener Bauweise und die in HDD-Bauweise auszuführenden Abschnitte festgelegt. Für diese Standard-Trassenprofile sollten Erwärmungsberechnungen für eine vorgegebene maximale Last durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die zulässigen Kabelgrenztemperaturen überall eingehalten werden. Im Zuge dieser Berechnungen sollte auch die maximal zulässige Legetiefe ermittelt werden, bei der in dem jeweiligen Trassenprofil die maximal zulässige Kabeltemperatur gerade erreicht wird.

Da die Kabeltrasse zum großen Teil über landwirtschaftlich genutzte Flächen führt, sollte auch untersucht werden, wie groß die maximal zu erwartende zusätzliche Erwärmung des Erdbodens durch die Kabel im Bereich der Trasse in verschiedenen Tiefen werden kann. Außerdem sollte abgeschätzt werden, wie groß die Bodenbereiche in unmittelbarer Nähe der Kabel werden können, in denen unter Umständen eine kabelbedingte Bodenaustrocknung auftreten kann.

Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse von Berechnungen der Restströme in den Kabelschirmen und der Erwärmungen der Kabel sowie ihrer Umgebung in allen relevanten Trassenprofilen (offene Bauweise und HDD) im Dauerbetrieb für die geplante Kabelverbindung zusammengefasst.

2. Aufbau des 380-kV-Übertragungssystems

2.1. Aufbau der Kabelsysteme

Für die 380-kV-Kabelverbindung sollen zwei parallel verlaufende Kabelsysteme aus VPE-isolierten 400-kV-Kabeln zum Einsatz kommen. Im Trassenquerschnitt existieren somit 6 Einzelkabel, die in ebener Anordnung geführt werden sollen. Für die Berechnungen wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber ein Kabelaufbau angenommen, der auf der typischen Konstruktion eines VPE-isolierten 400-kV-Kabels mit Kupferdrahtschirm und Aluminium-Schichtenmantel beruht (Anlage 1). Auf einen Aluminiumleiter mit 1000 mm² Nennquerschnitt und leitfähiger Bandage folgt eine extrudierte VPE-Isolierung mit innerer und äußerer Leitschicht. Es schließt sich ein leitfähiges Polster sowie ein Kupfer-Drahtschirm mit Gegenwendel an. Der Drahtschirm hat einen Nennquerschnitt von 250 mm². Nach einer Bettung folgt ein Aluminium-Schichtenmantel als Querwassersperre sowie ein PE-Außenmantel mit leitfähiger Außenschicht.

Zur Minimierung der Zusatzverluste in den Kabelschirmen kommt für beide Systeme das Cross-Bonding-Verfahren zum Einsatz. Dabei werden die Kabelschirme elektrisch jeweils nach ca. 1/3 der Länge eines sogenannten Hauptabschnitts der Trasse zyklisch auf die jeweils nächste Kabelphase getauscht. Auf diese Weise kann man innerhalb eines Hauptabschnitts, der aus drei Teilabschnitten besteht, eine weitgehende Kompensation der in den Kabelschirmen induzierten Spannungen erreichen. Somit können die drei Kabelschirme am Ende des Hauptabschnitts wieder gemeinsam geerdet werden, ohne dass hohe Zirkulationsströme in den Schirmen fließen.

Ein Hauptabschnitt besteht in der Regel aus drei physischen Kabellängen. Im vorliegenden Fall existiert nur ein Cross-Bonding-Hauptabschnitt, der die gesamte Kabeltrasse umfasst. An den Muffen, an denen eine Auskreuzung der Kabelschirme erfolgt, sind Mantelspannungsbegrenzer vorzusehen. Diese müssen so ausgelegt werden, dass sie bei den maximalen induzierten betriebsfrequenten Schirmspannungen im Kurzschlussfall noch nicht leitfähig werden, jedoch transiente Überspannungen noch wirksam begrenzen können.

Die Phasenordnung der beiden Systeme wurde gemäß Vorgabe spiegelsymmetrisch angenommen. Bild 1 zeigt das elektrische Schema der Kabelverbindung mit den Cross-Bonding-Muffen für beide Systeme. Es ist darauf zu achten, dass die Auskreuzungssequenz in beiden Systemen jeweils gleich ist (d.h. der Schirm welcher ankommenden Phase an der Muffe auf den Schirm welcher weiterführenden Phase ausgekreuzt wird).

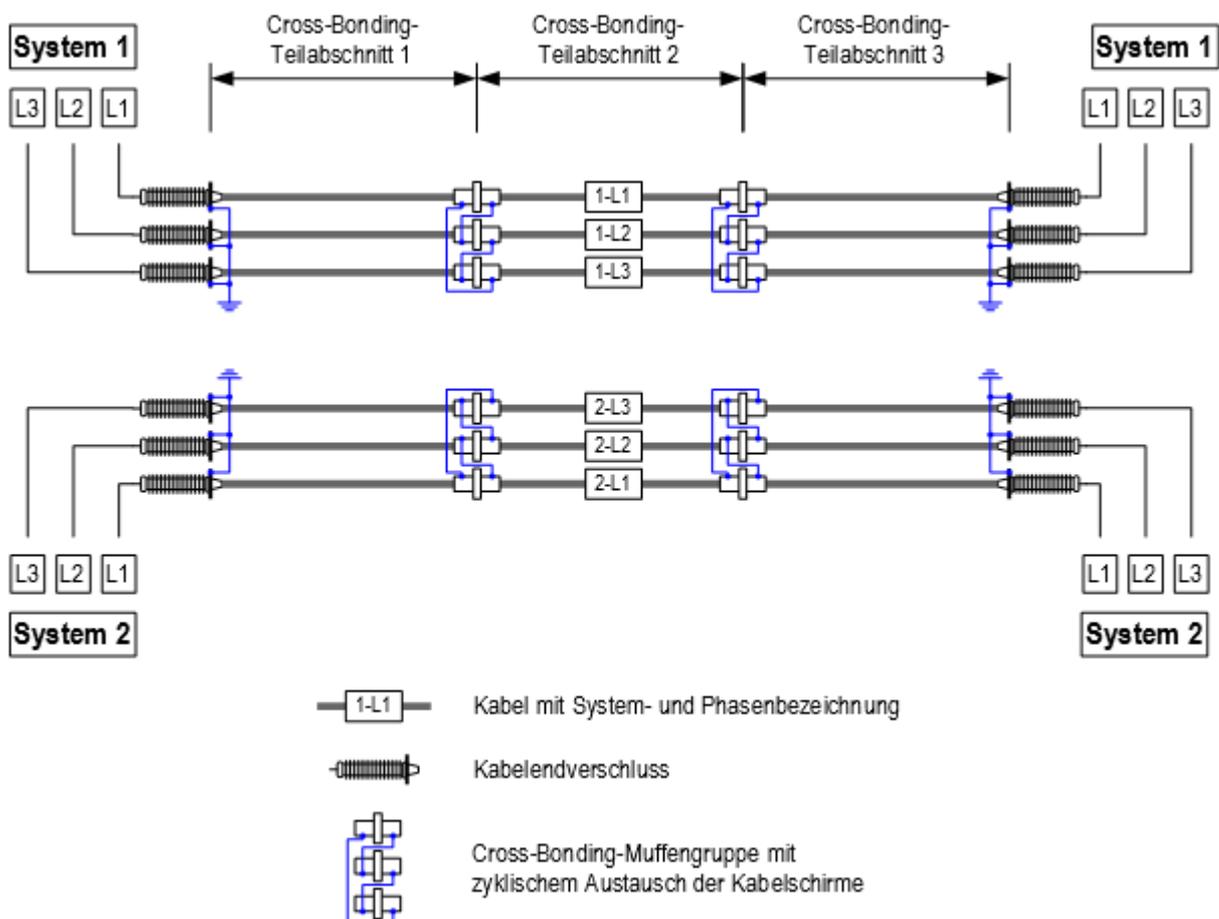


Bild 1: Elektrisches Schema der 380-kV-Kabelverbindung (vereinfacht)

2.2. Trassenprofile

In allen Trassenprofilen werden die Kabel grundsätzlich in ebener horizontaler Anordnung nebeneinander verlaufen. Die Kabel sollen einzeln in HDPE-Rohre mit 250 mm Außendurchmesser eingezogen werden. Für die in offener Bauweise zu errichtenden Abschnitte sind Rohre mit den Abmessungen 250 x 14,2 mm, SDR 17,6 nach DIN 8074 vorgesehen. Im Regelprofil für die Abschnitte in offener Bauweise wird sich die Unterseite der Rohre in einer Tiefe von 2,1 m befinden. Für die Rohrachse würde somit eine Legetiefe von $H = 1,975$ m gelten (Anlage 2). Der horizontale Achsenabstand der Kabelschutzrohre beträgt $a = 0,4$ m. Der Mittenabstand beider Systeme ergibt sich daraus zu $s = 1,2$ m. Eine thermisch stabile Bettung ist nicht vorgesehen, sie ist nach den Berechnungsergebnissen auch nicht erforderlich (siehe Kapitel 5).

Insgesamt vier Straßen- bzw. Wegekreuzungen sollen nicht in offener Bauweise errichtet werden. Auf diesen Abschnitten werden die Kabelschutzrohre vorab mit Hilfe des HDD-Verfahrens in den Boden eingebracht. Auf Grund der zu erwartenden höheren mechanischen Belastung beim Einziehen in die Bohrung müssen hier dickwandigere Rohre zum Einsatz kommen. Geplant ist der Einsatz von Rohren aus HDPE mit den Abmessungen 250 x 22,7 mm, SDR 11 nach DIN 8074. Der horizontale Achsenabstand der Kabelschutzrohre beträgt im Bereich der HDD-Profile einheitlich $a = 2,0$ m (Anlage 2), der Mittenabstand der Systeme ergibt daraus zu $s = 6,0$ m. Für die Erwärmungsberechnungen soll für die Kreuzungen „Kr GZ 4“, „St2020“ und die Wegkreuzung ca. beim Trassenpunkt 2+030 km eine Legetiefe von 4 m angenommen werden, für die Kreuzung der Bundesautobahn A8 gilt eine Legetiefe von 7 m (maximaler Wert der Legetiefe für die Kabelschutzrohre im Bereich eines aufgeschütteten Walls neben der Autobahn).

2.3. Strombelastung

Beide Kabelsysteme müssen im Normalbetrieb einen Laststrom von maximal 542 A als Dauerlast (Belastungsgrad $m = 1,0$) tragen können. Diese Belastung entspricht dem Phasenschieberbetrieb mit 375 MVar pro System bei 400 kV Netzspannung. Die Systeme sollen als unabhängig betrachtet werden, sie müssen die angegebene Last also gegebenenfalls gleichzeitig übertragen. Dieser Fall stellt hinsichtlich der Erwärmung den ungünstigsten Fall dar.

3. Thermische Kennwerte des Erdbodens

Der spezifische Wärmewiderstand des Erdbodens ist neben der Erdbodentemperatur ein wesentlicher Umgebungsparameter, der die Strombelastbarkeit einer Kabelverbindung bestimmt. In DIN VDE 0276-1000 wird allgemein für Böden in Deutschland ein oberer Grenzwert des spezifischen Wärmewiderstandes des Erdbodens im normal durchfeuchteten Zustand von 1,0 Km/W für Belastbarkeitsberechnungen angegeben [1]. Je nach Zusammensetzung des Erdbodens kann es durch die Verlustleistung der Kabel über einen längeren Zeitraum dazu kommen, dass die Feuchtigkeit im Boden aus der unmittelbaren Umgebung der Kabel durch Diffusionsvorgänge abwandert. Es bildet sich eine Trockenzone aus, in der der spezifische Wärmewiderstand deutlich größer sein kann. In DIN VDE 0276-1000 wird für diese Trockenzone ein Wert von 2,5 Km/W genannt [1].

Die temperaturabhängige Bodenaustrocknung wird für die Belastbarkeitsberechnungen mit dem sogenannten Zweischichtmodell nachgebildet [2]. Dabei wird angenommen, dass der Boden innerhalb einer Grenzisothe mit einer bestimmten Temperaturdifferenz zum unbeeinflussten Boden austrocknet. Innerhalb des Austrocknungsbereiches gilt der höhere spezifische Wärmewiderstand von 2,5 Km/W, außerhalb werden weiterhin 1,0 Km/W angesetzt. Der Wert der kritischen Temperaturdifferenz, ab der die Bodenaustrocknung auftritt, ist in der Literatur abhängig vom Belastungsgrad der Kabel angegeben [1], [2]. Je geringer der Belastungsgrad ist, umso höher ist die kritische Erwärmung.

Für die Belastbarkeitsberechnungen der vorliegenden 380-kV-Kabelverbindung soll Dauerlast (Belastungsgrad $m = 1$) angenommen werden. Bei diesem Belastungsgrad gilt eine Grenzerwärmung des Bodens für die Austrocknung von 15 K [1], [2]. Die unbeeinflusste Bodentemperatur wurde mit 15 °C angenommen.

4. Berechnungsverfahren

4.1. Berechnung der Restströme in den Kabelschirmen

Eine vollständige Kompensation der in den Kabelschirmen induzierten Spannungen lässt sich nur unter idealen Bedingungen erreichen (symmetrische Dreiecksanordnung der Kabel, exakt gleiche Längen und gleiche Trassenprofile bei allen Cross-Bonding-Teilabschnitten). Diese idealen Bedingungen sind in der Praxis in der Regel nicht erfüllt, so dass in den Kabelschirmen trotz Auskreuzung immer noch gewisse Restströme fließen.

Die Berechnung der Schirmströme erfolgten mit Hilfe eines Berechnungsmodells nach dem Knotenspannungsverfahren, das die Selbst- und gegenseitigen Impedanzen (ohmsch und induktiv) aller beteiligten stromführenden Aufbauelemente der Kabel (d.h. Leiter und Kabelschirme) berücksichtigt (Details u.a. in [3], [4]). Da lineare Verhältnisse vorausgesetzt werden können (d.h. die prozentuale Stromaufteilung ist nicht abhängig von der Höhe des Stromes), genügt es, die induzierten Schirmströme für einen einzigen vorgegebenen Wert des Laststromes zu berechnen. Eine proportionale Umrechnung auf andere Werte des Laststromes ist dann gegebenenfalls ohne weiteres möglich.

4.2. Berechnung der Erwärmung

Zur Berechnung der Erwärmung erdverlegter Kabel existieren etablierte Verfahren, die in der Fachliteratur sowie in nationalen und internationalen Standards beschrieben sind [1], [2], [5]. Diese Verfahren verwenden im Allgemeinen eine Reihe von Annahmen und Näherungen, um die komplexen Vorgänge des Wärmetransports von den Kabeln in die Umgebung mittels handhabbarer Formeln bzw. Tabellen mathematisch erfassen und nachbilden zu können. Diese Einschränkungen führen jedoch in bestimmten Fällen dazu, dass z.B. Konfigurationen mit komplexer Geometrie, unterschiedlichen Materialien oder einer Vielzahl unterschiedlich belasteter Kabel nicht oder nur mit hohem Aufwand hinreichend genau berechnet werden können. Für diese Fälle bieten sich numerische Berechnungsverfahren wie die Finite-Elemente-Methode (FEM) an. Der Aufwand zur Erstellung der Berechnungsmodelle ist zwar recht hoch, jedoch lassen sich mit diesem Verfahren auch sehr komplexe Konfigurationen mit hoher Genauigkeit berechnen. Auch die Modellierung zeitabhängiger Erwärmungsvorgänge für solche Anordnungen ist möglich.

Obwohl die Anordnung im vorliegenden Fall noch nicht so komplex ist, dass sie mit klassischen Verfahren nicht mehr berechnet werden könnte, kam für die Erwärmungsberechnungen im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchungen dennoch die Finite-Elemente-Methode (Programm ANSYS) zu Einsatz. Aus Aufwandgründen sowie zur besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen konventioneller Berechnungen erfolgten die Berechnungen mit Hilfe eines kombinierten Modells. Dabei wurden die Umgebung der Kabel (Erdboden, Kabelschutzrohre) und die Kabel selbst durch ein FEM-Modell nachgebildet, während für die Berechnungen des Wärmetransportes im Raum zwischen Kabeloberfläche und Innenwand des Kabelschutzrohres die Formeln aus [2] genutzt wurden.

Aus dem Finite-Elemente-Modell wurden auch die Werte der von den Kabeln im Betrieb verursachten Erwärmung des Erdbodens in verschiedenen Tiefen abgeleitet.

5. Berechnungsergebnisse

5.1. Ströme in den Kabelschirmen

Die Berechnungen der induzierten Schirmströme erfolgten nach dem in Abschnitt 4.1 genannten Verfahren. Dafür wurden die Trassenprofile und Abschnittslängen gemäß dem Planungsstand vom April 2017 angesetzt.

Der höchste Wert des Schirmstroms wurde mit 29,6 A berechnet, das sind nur etwas mehr als 5 % des Leiterstroms. Die Zusatzverluste durch die induzierten Schirmströme sind proportional zum Quadrat der Ströme und zum Verhältnis der Widerstände, sie liegen daher im vorliegenden Fall nur bei ca. 0,6 % der Leiterverluste und sind in der Praxis bedeutungslos. Die Verluste durch Wirbelströme im Aluminiumschichtenmantel sind demgegenüber deutlich größer. Insgesamt bleiben die stromabhängigen Zusatzverluste in den Kabelschirmen jedoch gering (im Mittel ca. 2 % der Leiterverluste).

Die für die einzelnen Cross-Bonding-Teilabschnitte berechneten Schirmströme sind in den Bildern 2, 3 und 4 dargestellt.

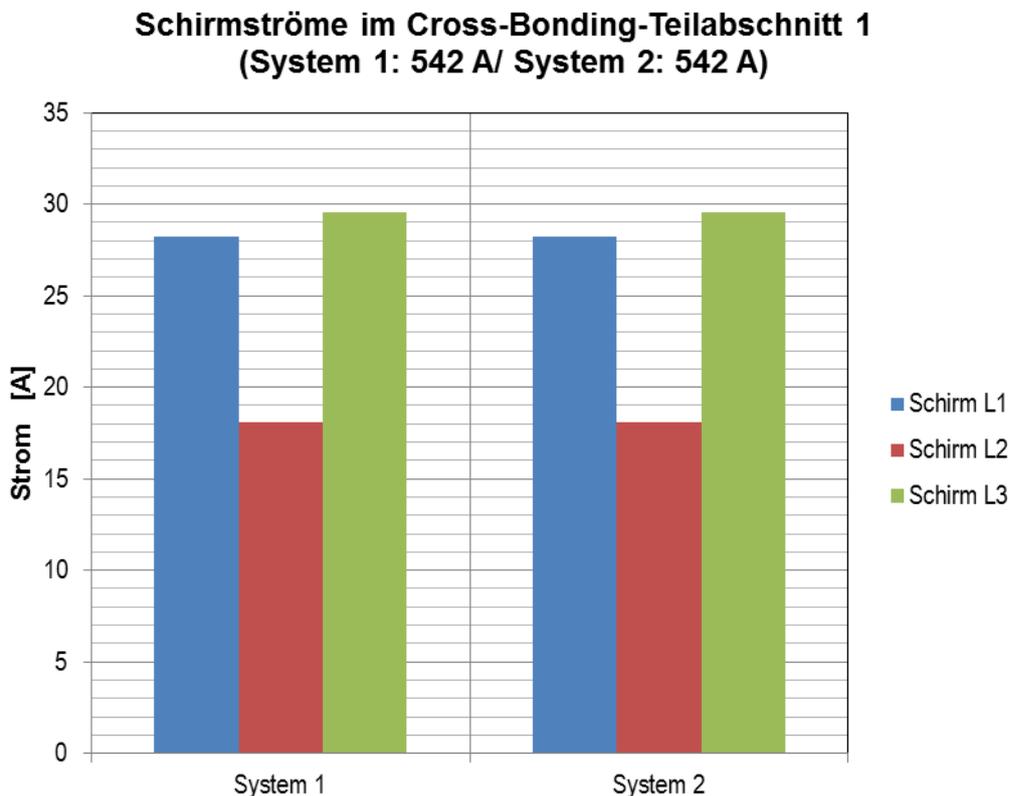


Bild 2: Berechnete Schirmströme im Cross-Bonding-Abschnitt 1 für eine Strombelastung von 542 A pro System

Schirmströme im Cross-Bonding-Teilabschnitt 2 (System 1: 542 A/ System 2: 542 A)

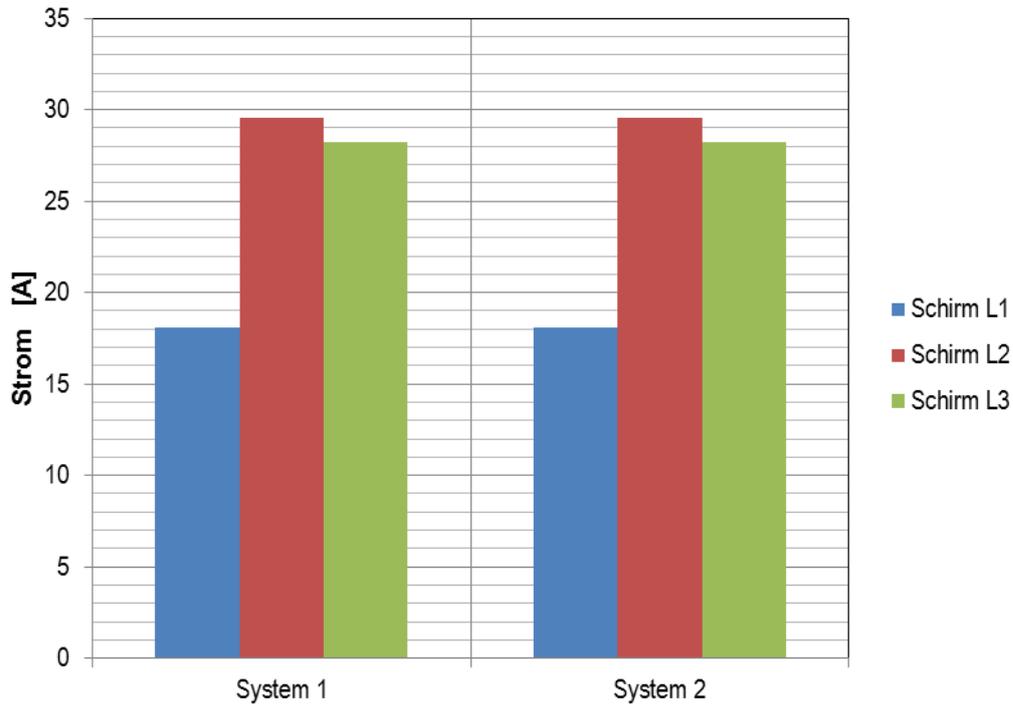


Bild 3: Berechnete Schirmströme im Cross-Bonding-Abschnitt 2 für eine Strombelastung von 542 A pro System

Schirmströme im Cross-Bonding-Teilabschnitt 3 (System 1: 542 A/ System 2: 542 A)

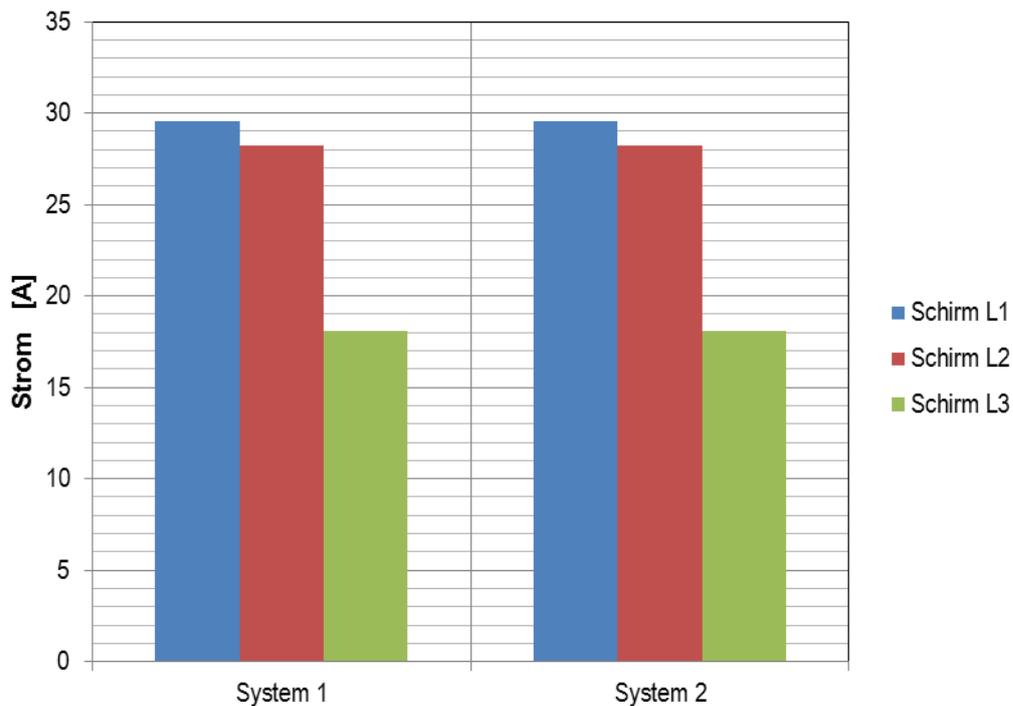


Bild 4: Berechnete Schirmströme im Cross-Bonding-Abschnitt 3 für eine Strombelastung von 542 A pro System

5.2. Erwärmung der Kabel

Die in den vorgegebenen Regelprofilen zu erwartende Erwärmung der Kabel wurde für die Abschnitte in offener Bauweise für alle drei Cross-Bonding-Teilabschnitte sowie für die vier Abschnitte in HDD-Bauweise berechnet. Da die Leitertemperaturen in allen Fällen deutlich unter dem zulässigen Grenzwert von 90 °C lagen, wurde in einem zweiten Schritt für alle Trassenprofile die aus thermischer Sicht maximale zulässige Legetiefe bestimmt, bei der die Leitertemperatur des wärmsten Kabels gerade den zulässigen Grenzwert erreicht.

5.2.1. Erwärmung für Trassenabschnitte in offener Bauweise

Für die in offener Bauweise zu errichtenden Trassenabschnitte mit einem Profil nach Anlage 2 (oberes Bild) wurden Erwärmungsberechnungen mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode für die vorgegebene Dauerlast mit 542 A pro System durchgeführt. Dabei wurden Berechnungen für alle drei Cross-Bonding-Teilabschnitte durchgeführt, bei denen zwar die gleichen Leiterströme aber unterschiedliche Schirmströme fließen. Auf Grund der sehr kleinen Schirmströme sind die Unterschiede der berechneten Temperaturen jedoch sehr gering.

Anlage 3.1 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für die drei Cross-Bonding-Teilabschnitte. Dargestellt sind jeweils die Leiter- und Schirmströme aller Kabel, die maximalen Temperaturen der Kabelschutzrohre und der Leiter sowie die Kabelverluste. Zur Veranschaulichung ist auch das Temperaturfeld im Trassenquerschnitt in der Umgebung der Kabelsysteme dargestellt.

Eine weitere Abbildung zeigt die Bereiche im Boden, in denen die Grenztemperatur für eine durch die Kabelverluste bedingte Bodenaustrocknung überschritten wird (rot dargestellte Bereiche im Übersichtsbild). Diese Grenztemperatur beträgt hier 30 °C, sie ergibt sich aus der Bodentemperatur von 15 °C und der sogenannten Grenzüberbertemperatur nach VDE 0276 Teil 1000 [1], die für einen Belastungsgrad von $m = 1,0$ bei 15 K liegt. Die Grenze zwischen den blauen und roten Bereichen in dieser speziellen Darstellung markiert genau diese Grenztemperatur. Bei Böden, die auf Grund ihrer Struktur und Zusammensetzung anfällig für Bodenaustrocknung sind, kann es in diesen rot dargestellten Bereichen unter Umständen zu einer Bodenaustrocknung kommen. Im umgekehrten Fall, wenn der betreffende Bodenbereich z.B. in unmittelbarer Nähe bzw. sogar unterhalb des Grundwasserspiegels liegt, ist eine Bodenaustrocknung auch dann ausgeschlossen, wenn die betreffende Grenztemperatur überschritten wird.

Die folgenden maximalen Leitertemperaturen wurden für das Regelprofil in offener Bauweise mit 1,975 m Legetiefe (bezogen auf die Achse des Kabelschutzrohres) berechnet:

Cross-Bonding-Teilabschnitt 1, Legetiefe 1,975 m:	71,6 °C
Cross-Bonding-Teilabschnitt 2: Legetiefe 1,975 m:	71,6 °C
Cross-Bonding-Teilabschnitt 3: Legetiefe 1,975 m:	71,5 °C

Die thermische Reserve bis zur maximalen dauerhaft zulässigen Leitertemperatur von 90 °C liegt somit bei mehr als 18 K.

In einem weiteren Berechnungsschritt wurde für alle drei Cross-Bonding-Teilabschnitte untersucht, bei welcher Legetiefe die zulässige Leitertemperatur von 90 °C unter den gegebenen Umgebungsbedingungen und bei unveränderten Kabelabständen erreicht wird. Die Ergebnisse sind in Anlage 3.2 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die Legetiefe (bezogen auf die Achse der Kabelschutzrohre bis auf 3,2 m vergrößert werden dürfte. Bei dieser Legetiefe würden folgende Kabeltemperaturen erreicht:

Cross-Bonding-Teilabschnitt 1, Legetiefe 3,2 m (Rohrachse):	89,8 °C
Cross-Bonding-Teilabschnitt 2, Legetiefe 3,2 m (Rohrachse):	89,8 °C
Cross-Bonding-Teilabschnitt 3, Legetiefe 3,2 m (Rohrachse):	89,7 °C

5.2.2. Erwärmung für Trassenabschnitte in HDD-Bauweise

Für die vier vergleichsweise kurzen Trassenabschnitte in HDD-Bauweise (Profil gemäß Anlage 2, unteres Bild) wurden ebenfalls Erwärmungsberechnungen für 542 A Dauerlast pro System durchgeführt. Dabei wurde die Zuordnung zum jeweiligen Cross-Bonding-Teilabschnitt entsprechend der Lage des jeweiligen HDD-Abschnitts im Trassenverlauf berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Anlage 4.1 zusammengestellt. Für die vorgegebenen Regelprofile mit 4 m bzw. 7 m Legetiefe wurden folgende maximale Leitertemperaturen der Kabel berechnet:

HDD-Abschnitt 1 (Kreuzung „KR GZ 4“), Legetiefe 4,0 m:	52,3 °C
HDD-Abschnitt 2 (Kreuzung „BAB A8“), Legetiefe 7,0 m:	70,8 °C
HDD-Abschnitt 3 (Kreuzung „St2020“), Legetiefe 4,0 m:	52,3 °C
HDD-Abschnitt 4 (Wegkreuzung bei 2+030 km), Legetiefe 4,0 m:	52,2 °C

Durch den großen Rohrabstand sind die thermischen Reserven trotz deutlich größerer Legetiefe noch immer höher als im Bereich der in offener Bauweise errichteten Trassenabschnitte. Die Tabellen und Temperaturfelddarstellungen in Anlage 4.1 sind in der gleichen Art und Weise aufgebaut und enthalten die gleichen Informationen wie in Anlage 3.1. Aus den Temperaturfelddarstellungen lassen sich wieder die Temperaturen im Boden in der Umgebung der Kabel sowie die Größe des austrocknungsgefährdeten Bodenbereichs ermitteln.

Auch für die vier HDD-Abschnitte wurde in einem weiteren Berechnungsschritt die aus thermischer Sicht maximal zulässige Legetiefe bestimmt (d.h. die Legetiefe, bei der die Leitertemperatur des wärmsten Kabels gerade den zulässigen Grenzwert von 90 °C erreicht. Für alle vier HDD-Abschnitte ergab sich dabei die gleiche maximal zulässige Legetiefe von 11,5 m (Anlage 4.2).

Folgende maximale Leitertemperaturen wurden berechnet:

HDD-Abschnitt 1 (Kreuzung „KR GZ 4“), Legetiefe 11,5 m:	90,0 °C
HDD-Abschnitt 2 (Kreuzung „BAB A8“), Legetiefe 11,5 m:	90,0 °C
HDD-Abschnitt 3 (Kreuzung „St2020“), Legetiefe 11,5 m:	90,0 °C
HDD-Abschnitt 4 (Wegkreuzung bei 2+030 km), Legetiefe 11,5 m:	89,9 °C

5.3. Erwärmung des umgebenden Erdbodens

Zur Einschätzung möglicher Einflüsse auf die Vegetation wurde die Erwärmung des Erdbodens durch die Kabel für Bodenbereiche in verschiedenen Tiefen untersucht. Dabei wurden nur die Trassenabschnitte in offener Bauweise berücksichtigt. Die vier vergleichsweise kurzen HDD-Abschnitte befinden sich alle im Bereich von Straßen- und Wegekreuzungen bzw. der Unterquerung der Bundesautobahn BAB A8. Mögliche Temperatureinflüsse auf die Vegetation sind in diesen Bereichen sehr wahrscheinlich nicht von Interesse, außerdem werden die Erwärmungen im Vergleich zu den Abschnitten in offener Bauweise ohnehin deutlich kleiner sein, da die Legetiefe und der horizontale Abstand der Kabel in den HDD-Profilen erheblich größer sind.

Wie bereits für die Berechnung der Kabeltemperaturen wurde auch hier Dauerbetrieb mit der höchsten Strombelastung von 542 A pro System angenommen. Diese Betriebsweise stellt bereits den angenommenen ungünstigsten Fall für den Normalbetrieb dar, in der Realität ist erfahrungsgemäß mit geringeren Lasten zu rechnen, vor allem bei Betrachtung über längere Zeiträume hinweg. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Anlage 3.1 in Form von Diagrammen für einen 20 m breiten Bereich symmetrisch zur Mittelachse der Kabeltrasse dargestellt. Folgende Maximalwerte der Erwärmungen wurden berechnet:

20 cm Tiefe im Boden:	2,4 K
40 cm Tiefe im Boden:	4,8 K
60 cm Tiefe im Boden:	7,2 K
80 cm Tiefe im Boden:	9,7 K

Die Unterschiede zwischen den drei Cross-Bonding-Teilabschnitten sind deutlich kleiner als 0,1 K und somit vernachlässigbar. Unmittelbar über der Kabeltrasse sind die Erwärmungen am größten, sie werden jedoch mit zunehmender Entfernung von der Kabeltrasse schnell kleiner.

Zu berücksichtigen ist, dass die berechneten Werte für die angenommenen spezifischen Wärmewiderstände des Erdbodens gemäß DIN VDE 0276-1000 [1] berechnet wurden (siehe auch Kapitel 3). Daraus ergibt sich ein vergleichsweise konservativer Ansatz (d.h. vergleichsweise hohe spezifische Wärmewiderstände). In der Realität werden insbesondere landwirtschaftlich genutzte Böden erfahrungsgemäß bessere (kleinere) Werte aufweisen, wodurch die realen Erwärmungen wahrscheinlich kleiner ausfallen werden als hier berechnet. Aus den dargelegten Gründen sind die in Anlage 3.1 dargestellten Werte der Bodenerwärmung als obere Grenzen zu betrachten, die in der Realität auch deutlich unterschritten werden können.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Für eine 380-kV-Kabelverbindung zum Netzanschluss des geplanten Gaskraftwerks im Bereich eines Gewerbegebietes der Stadt Leipheim wurden Untersuchungen zur Erwärmung der Kabel und des umgebenden Erdbodens durchgeführt. Die Kabelverbindung soll aus zwei parallelen Systemen bestehen. Alle Kabel sollen in HDPE-Schutzrohre eingezogen werden.

Zur Minimierung der Kabelverluste sollen die Kabelschirme elektrisch ausgekreuzt werden (Cross-Bonding). Die Schirmströme werden damit wirksam verringert, jedoch ist mit verbleibenden Restströmen zu rechnen. Diese Restströme wurden ebenfalls vorab ermittelt und in allen Berechnungen berücksichtigt.

Die Kabelanlage soll vorzugsweise in offener Bauweise errichtet werden, wobei weitgehend ein definiertes Regelprofil zum Einsatz kommen soll. An insgesamt vier Stellen sind im Bereich von Weg- und Straßenkreuzungen sowie der Unterquerung der Bundesautobahn A8 kurze Trassenabschnitte in HDD-Bauweise geplant.

Für alle nach gegenwärtigem Planungsstand vorgesehenen Trassenprofile wurden unter Berücksichtigung der vorab ermittelten Restströme in den Kabelschirmen Erwärmungsberechnungen durchgeführt. Dabei ergaben sich in allen Fällen deutliche thermische Reserven. Auf den in offener Bauweise zu errichtenden Trassenabschnitten erreicht die Leitertemperatur der Kabel bei einer Dauerlast von 542 A pro System maximal 71,6 °C. Im Bereich der HDD-Abschnitte werden je nach Legetiefe zwischen 52,2 °C und 70,8 °C erreicht. Die dauernd zulässige Leitertemperatur beträgt für VPE-isolierte Kabel 90 °C.

Die thermischen Reserven würden gegebenenfalls auch größere Legetiefen der Kabel bei unveränderten horizontalen Abständen erlauben. Auf den Trassenabschnitten in offener Bauweise wäre eine Legetiefe von bis zu 3,2 m zulässig, für die HDD-Abschnitte sogar bis zu 11,5 m. Bei diesen Werten der Legetiefe würde das wärmste Kabel gerade die zulässige Leitertemperatur von 90 °C erreichen.

Durch die Verluste der Kabel im Betrieb wird der umgebende Erdboden erwärmt. Die Erwärmung des Erdbodens ist direkt über der Kabeltrasse am größten, sie steigt außerdem mit zunehmender Tiefe an. Mit größer werdendem Abstand zur Kabeltrasse wird die kabelbedingte Erwärmung des Bodens schnell kleiner.

Aus thermischer Sicht ist die Ausführung der Kabelverbindung in der für die vorliegenden Berechnungen spezifizierten Art und Weise und mit den vorgegebenen Parametern somit ohne weiteres möglich. Hinsichtlich der Kabeltemperaturen existieren noch signifikante thermische Reserven.

7. Quellenverzeichnis

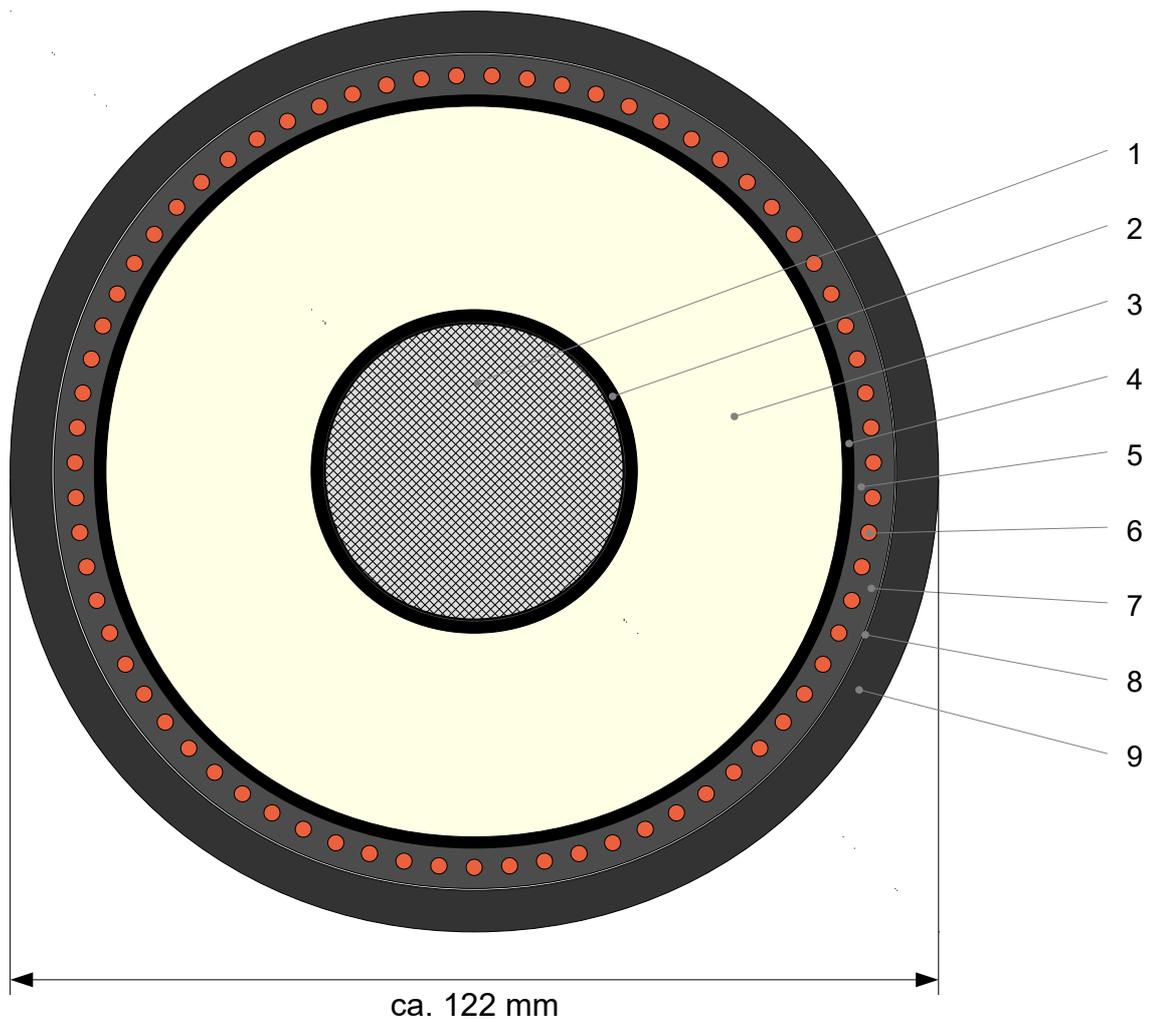
- [1] - DIN VDE 0276 – Starkstromkabel
Teil 1000: Strombelastbarkeit, Allgemeines
Umrechnungsfaktoren
Juni 1995

- [2] Heinhold, L.
Stubbe, R. Kabel und Leitungen für Starkstrom
Publicis MCD Verlag, Erlangen, 1999
ISBN 3-89578-088-X
VDE-Verlag, Berlin und Offenbach, 1985

- [3] - Special Bonding of High Voltage Power Cables
Technical Brochure No. 283, CIGRE Working Group B1.18,
October 2005

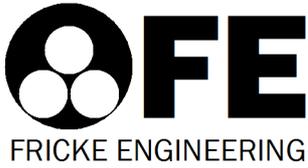
- [4] - Earth Potential Rises in Specially Bonded Screen Systems
Technical Brochure No. 347, CIGRE Working Group B1.26,
June 2008

- [5] - Standardreihe IEC 60287
Electric cables – Calculation of the current rating



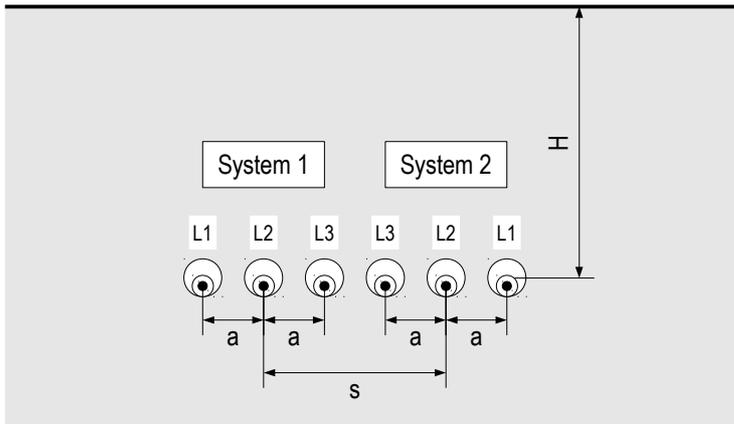
(fiktive Musterkonstruktion mit typischen Aufbaudaten)

Pos.	Bezeichnung	Nennstärke [mm]	Durchmesser [mm]
1	Verdichteter mehrdrähtiger Al-Leiter, Nennquerschnitt 1000 mm ²		39,3
2	Bebänderung und extrudierte innere Leitschicht	0,3 + 1,5	42,9
3	VPE-Isolierung	27,0	96,9
4	Extrudierte äußere Leitschicht	1,5	99,9
5	Schwachleitendes Quellvlies	1,5	102,9
6	Cu-Drahtschirm, Nennquerschnitt 250 mm ² (71 x Ø 2,13 mm)	2,13	107,6
7	Schwachleitendes Quellvlies	1,5	110,6
8	Al-Schichtenmantel (0,2 mm Al + 0,05 mm PE-Beschichtung)	0,25	111,1
9	PE-Mantel mit schwachleitender Beschichtung	5,5	122,1

Verantwortliche Abteilung -	Technische Referenz -	Erstellt durch Dr.-Ing. W. Fricke	Genehmigt von -	
		Dokumententyp Querschnittszeichnung	Dokumententyp freigegeben	Massstab -
		Titel Hochspannungskabel A2XS(FL)2Y 1x1000RM/250 230/400 kV		Dokumententyp Anlage 1
		Rev A	Ausgabedatum 05.07.2017	Sprache DE

380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim

Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise



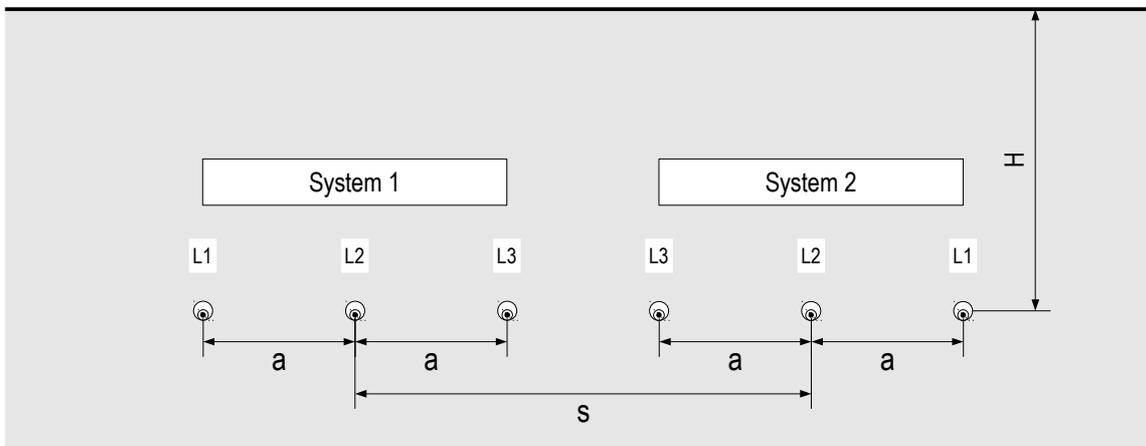
Kabel in PEHD-Rohren 250 x 14,2 mm (SDR 17,6)

$H = 1,975 \text{ m}$

$a = 0,4 \text{ m}$

$s = 1,2 \text{ m}$

Trassenprofil für Abschnitte in HDD-Bauweise



Kabel in PEHD-Rohren 250 x 22,7 mm (SDR 11)

$H = 4,0 \text{ m}$ bzw. $7,0 \text{ m}$

$a = 2,0 \text{ m}$

$s = 6,0 \text{ m}$

Verantwortliche Abteilung	Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von	
-	-	Dr.-Ing. W. Fricke	-	
		Dokumentenart	Dokumentenstatus	Massstab
		-		-
		Titel		Dokumenten-Nr.
Trassenprofile für Abschnitte in offener Bauweise und in HDD-Bauweise		Anlage 2		
Rev	Ausgabedatum	Sprache	Blatt	
A	06.07.2017	DE	1/1	

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 1,975 m

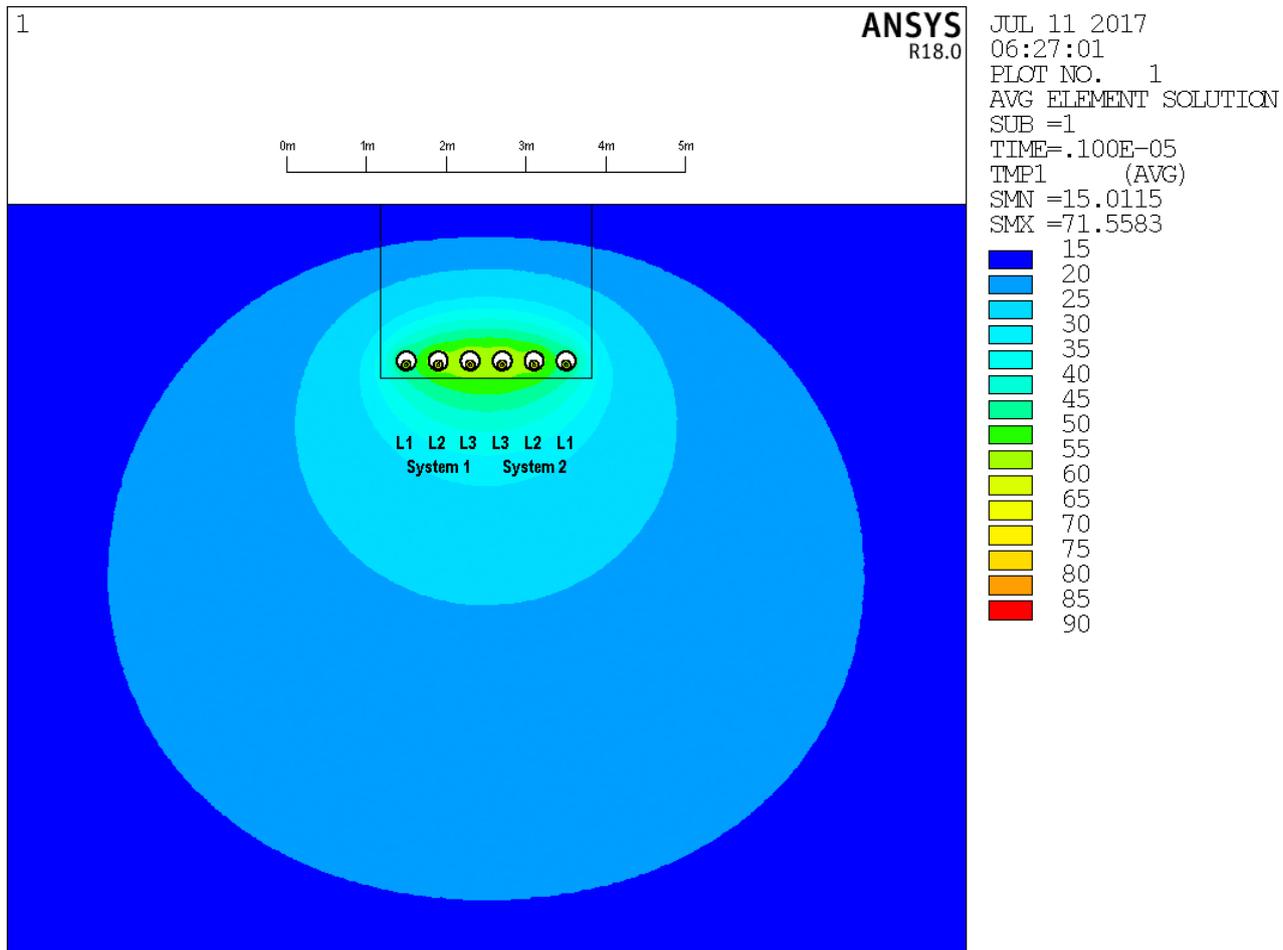
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur [°C]	Rohr	49,6	56,6	59,8	59,8	56,6	49,6
	Leiter	61,4	68,4	71,6	71,6	68,3	61,4
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,5	13,7	13,8	13,8	13,7	13,5



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

1,975 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

0,40 m

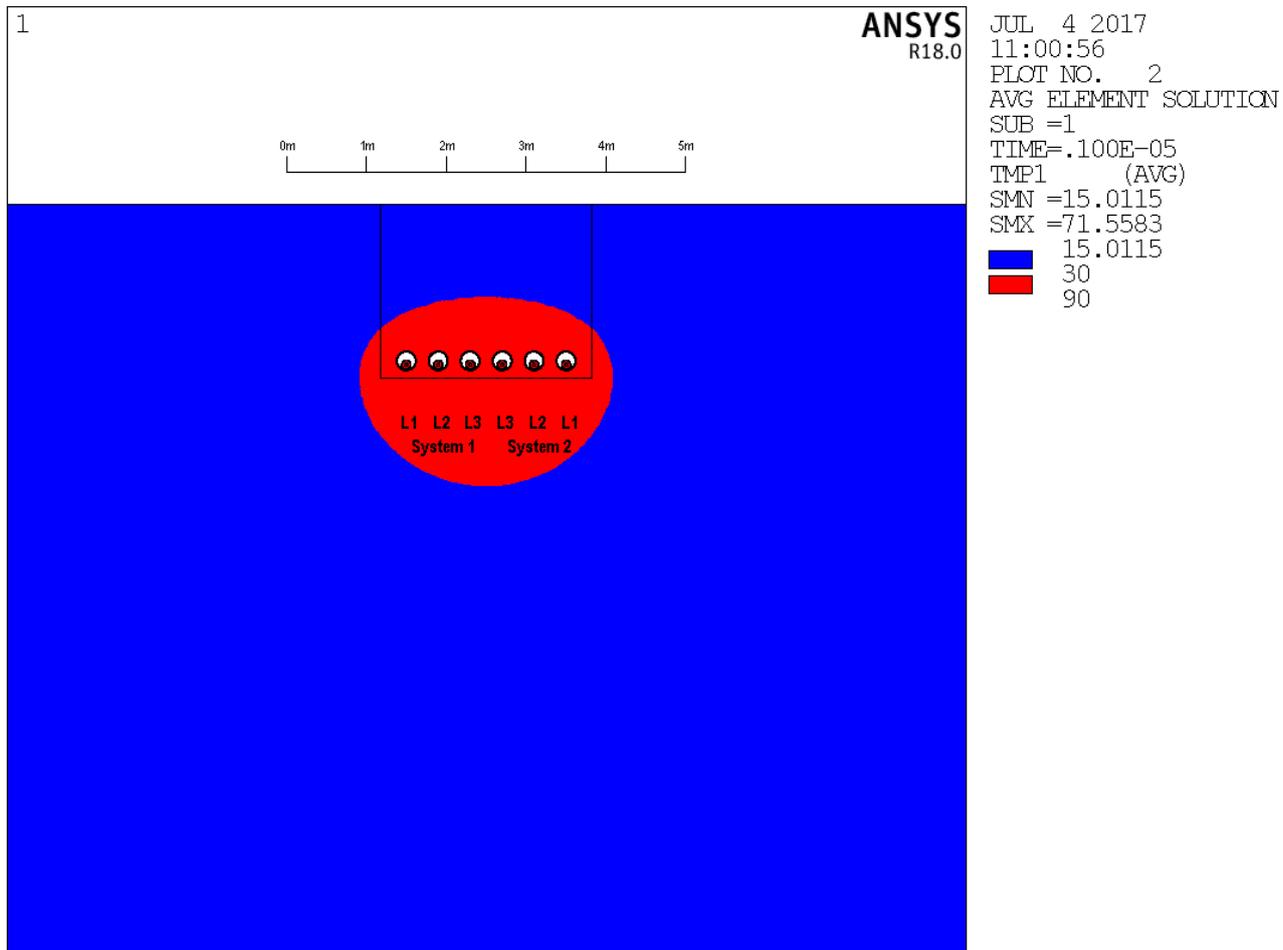
Mittenabstand der Systeme („s“):

1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur [°C]	Rohr	49,6	56,6	59,8	59,8	56,6	49,6
	Leiter	61,4	68,4	71,6	71,6	68,3	61,4
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,5	13,7	13,8	13,8	13,7	13,5



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

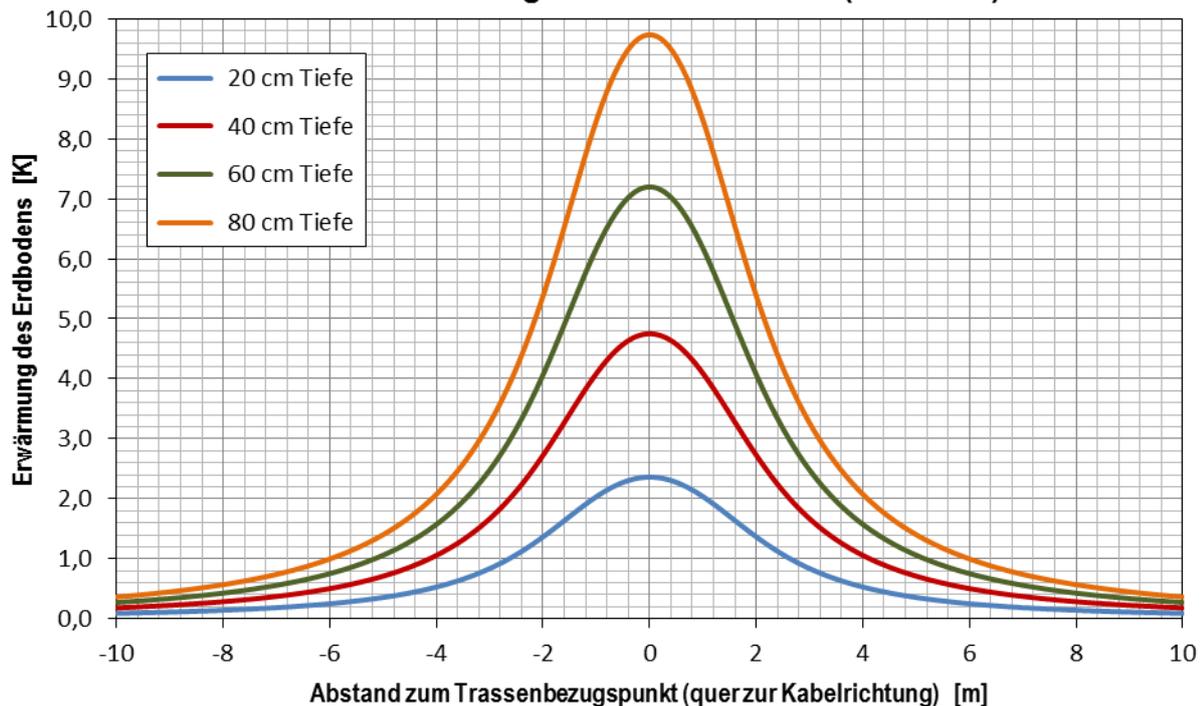
Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:	15 °C
Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Legetiefe (Rohrachse):	1,975 m
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):	0,40 m
Mittenabstand der Systeme („s“):	1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 20 cm Tiefe:	2,4 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 40 cm Tiefe:	4,8 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 60 cm Tiefe:	7,2 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 80 cm Tiefe:	9,7 K

**Erwärmung des Erdbodens in unterschiedlichen Tiefen
durch die Kabelanlage im Normalbetrieb (2 x 542 A)**



**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 1,975 m

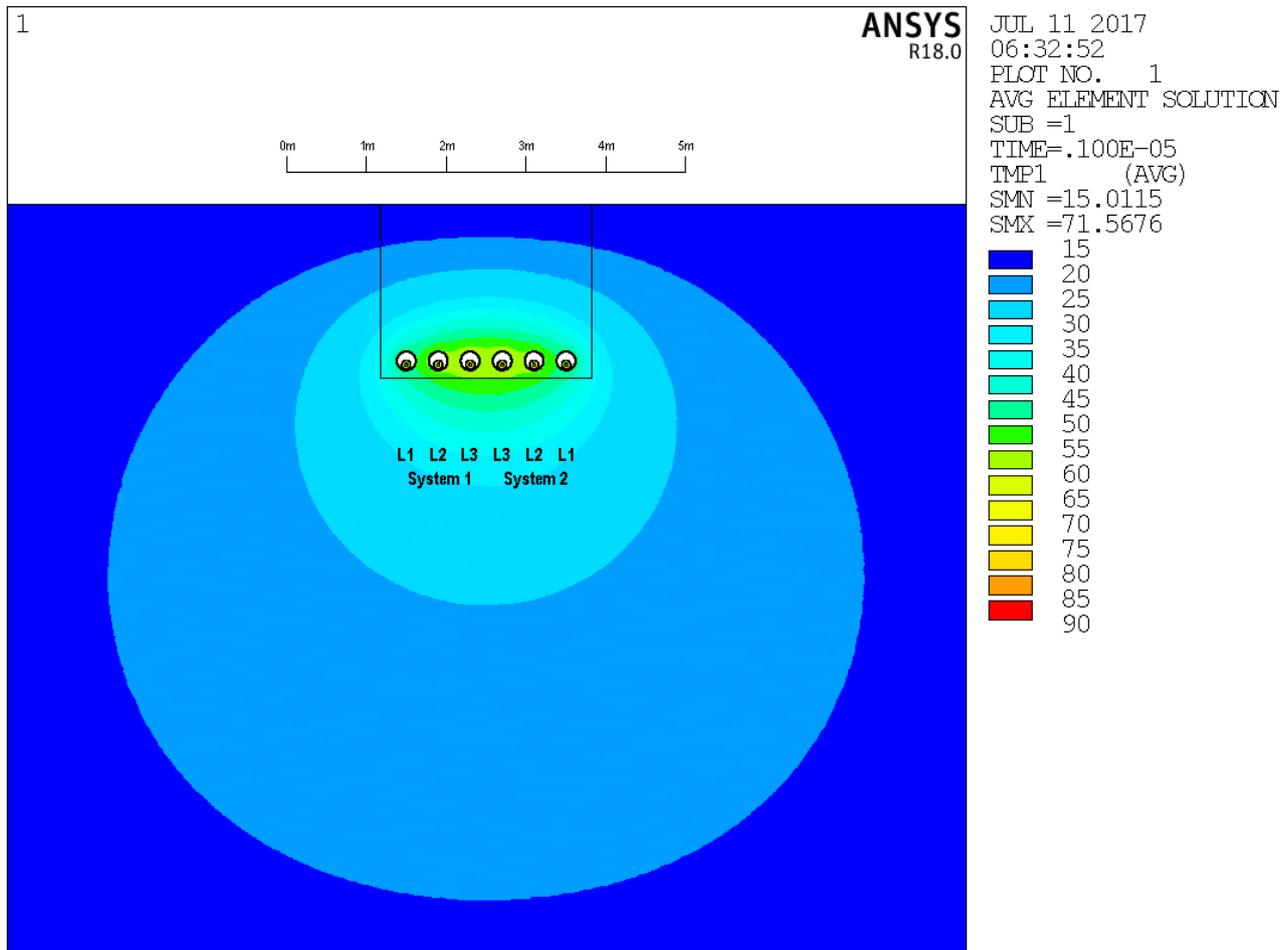
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	49,6	56,6	59,8	59,8	56,6	49,5
	Leiter	61,3	68,4	71,6	71,6	68,4	61,3
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,5	13,8	13,8	13,8	13,8	13,5



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 1,975 m

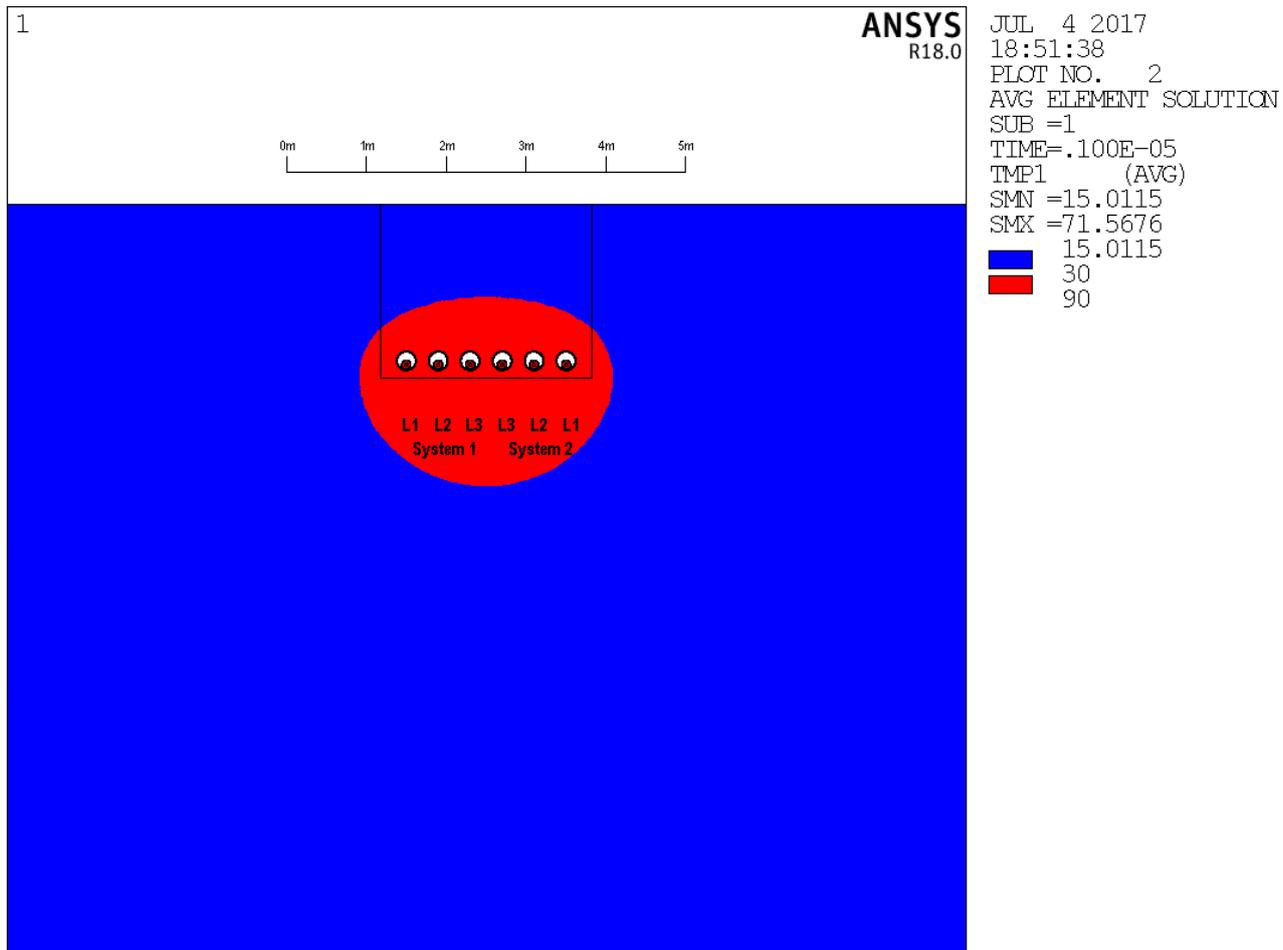
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur [°C]	Rohr	49,6	56,6	59,8	59,8	56,6	49,5
	Leiter	61,3	68,4	71,6	71,6	68,4	61,3
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,5	13,8	13,8	13,8	13,8	13,5



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

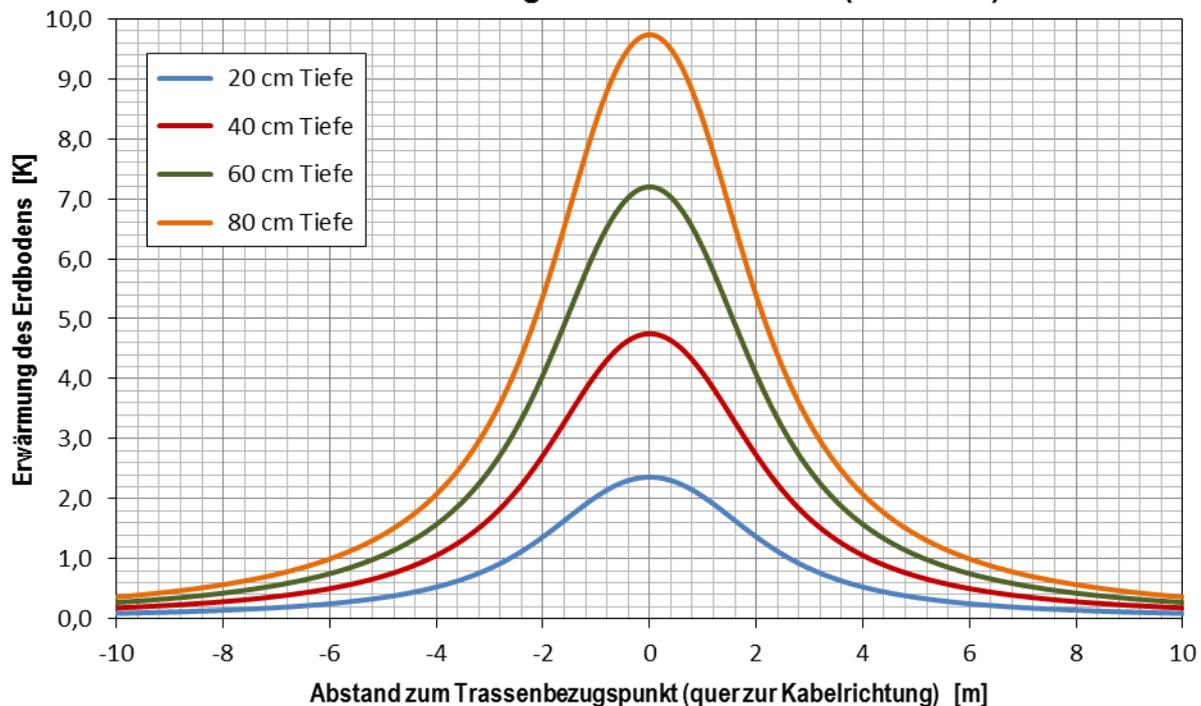
Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:	15 °C
Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Legetiefe (Rohrachse):	1,975 m
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):	0,40 m
Mittenabstand der Systeme („s“):	1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 20 cm Tiefe:	2,4 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 40 cm Tiefe:	4,8 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 60 cm Tiefe:	7,2 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 80 cm Tiefe:	9,7 K

**Erwärmung des Erdbodens in unterschiedlichen Tiefen
durch die Kabelanlage im Normalbetrieb (2 x 542 A)**



**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 1,975 m

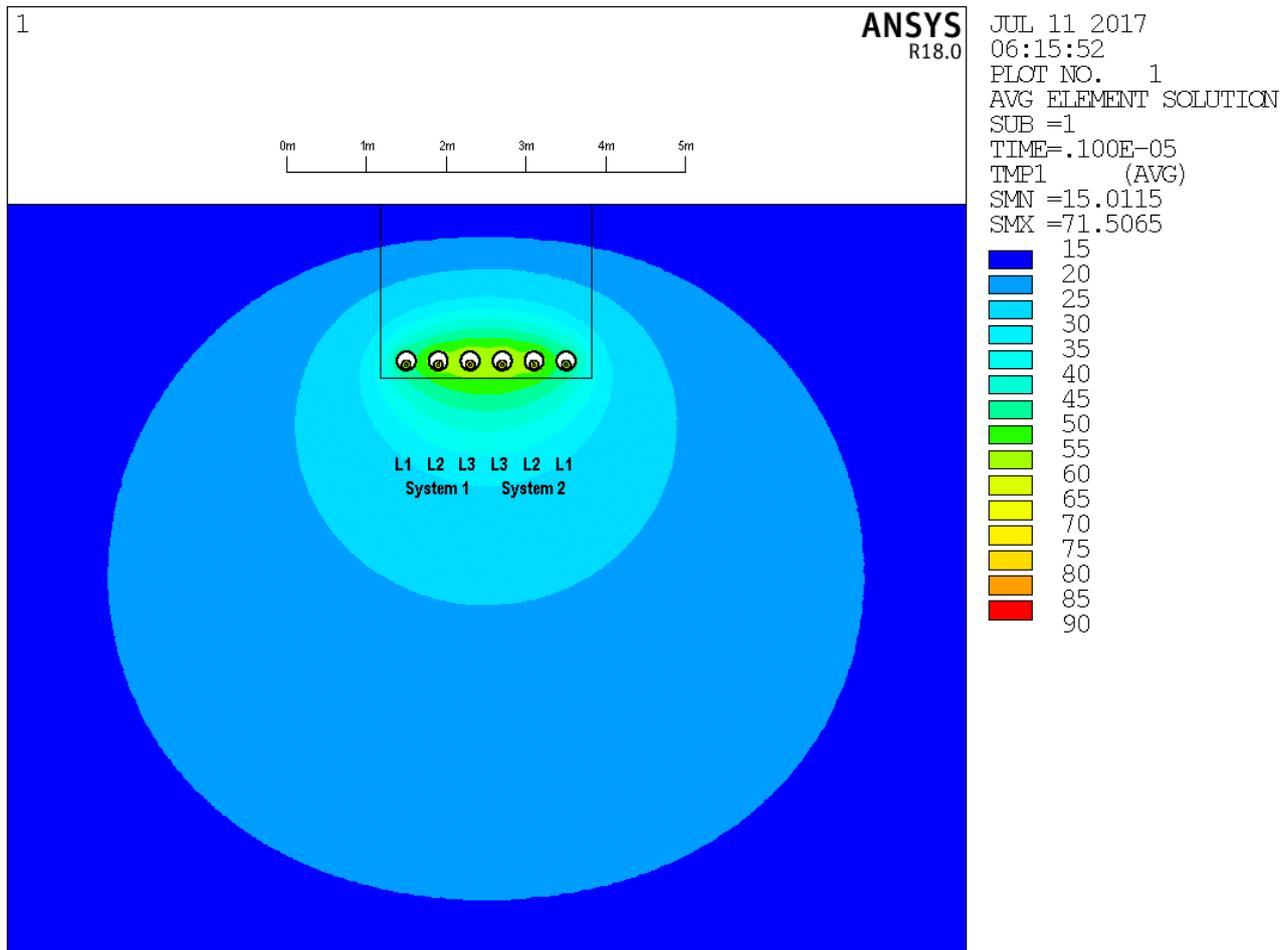
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur [°C]	Rohr	49,6	56,6	59,7	59,7	56,6	49,6
	Leiter	61,4	68,4	71,5	71,5	68,4	61,4
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,5	13,8	13,8	13,8	13,8	13,5



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 1,975 m

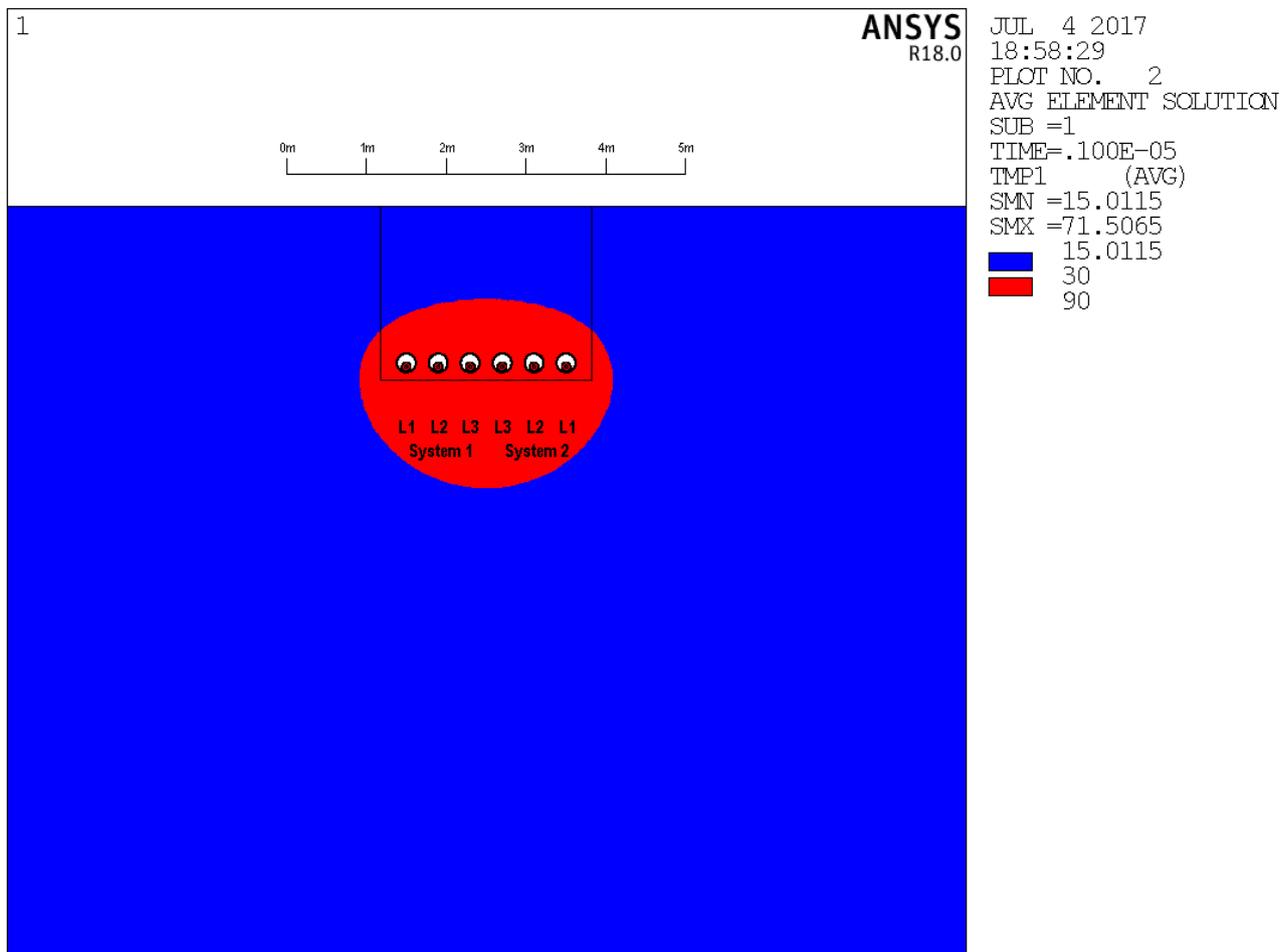
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur [°C]	Rohr	49,6	56,6	59,7	59,7	56,6	49,6
	Leiter	61,4	68,4	71,5	71,5	68,4	61,4
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,5	13,8	13,8	13,8	13,8	13,5



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

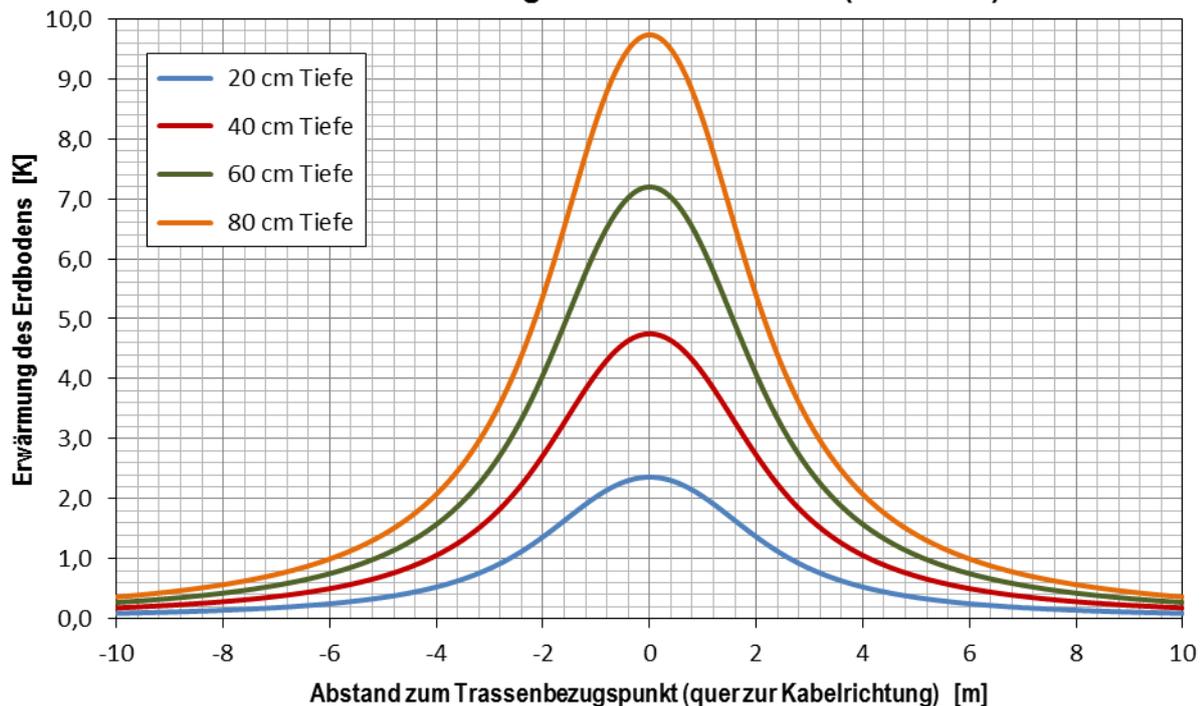
Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:	15 °C
Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Legetiefe (Rohrachse):	1,975 m
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):	0,40 m
Mittenabstand der Systeme („s“):	1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 20 cm Tiefe:	2,4 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 40 cm Tiefe:	4,8 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 60 cm Tiefe:	7,2 K
Maximale Erwärmung des Erdbodens über der Kabeltrasse in 80 cm Tiefe:	9,7 K

**Erwärmung des Erdbodens in unterschiedlichen Tiefen
durch die Kabelanlage im Normalbetrieb (2 x 542 A)**



**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 3,20 m

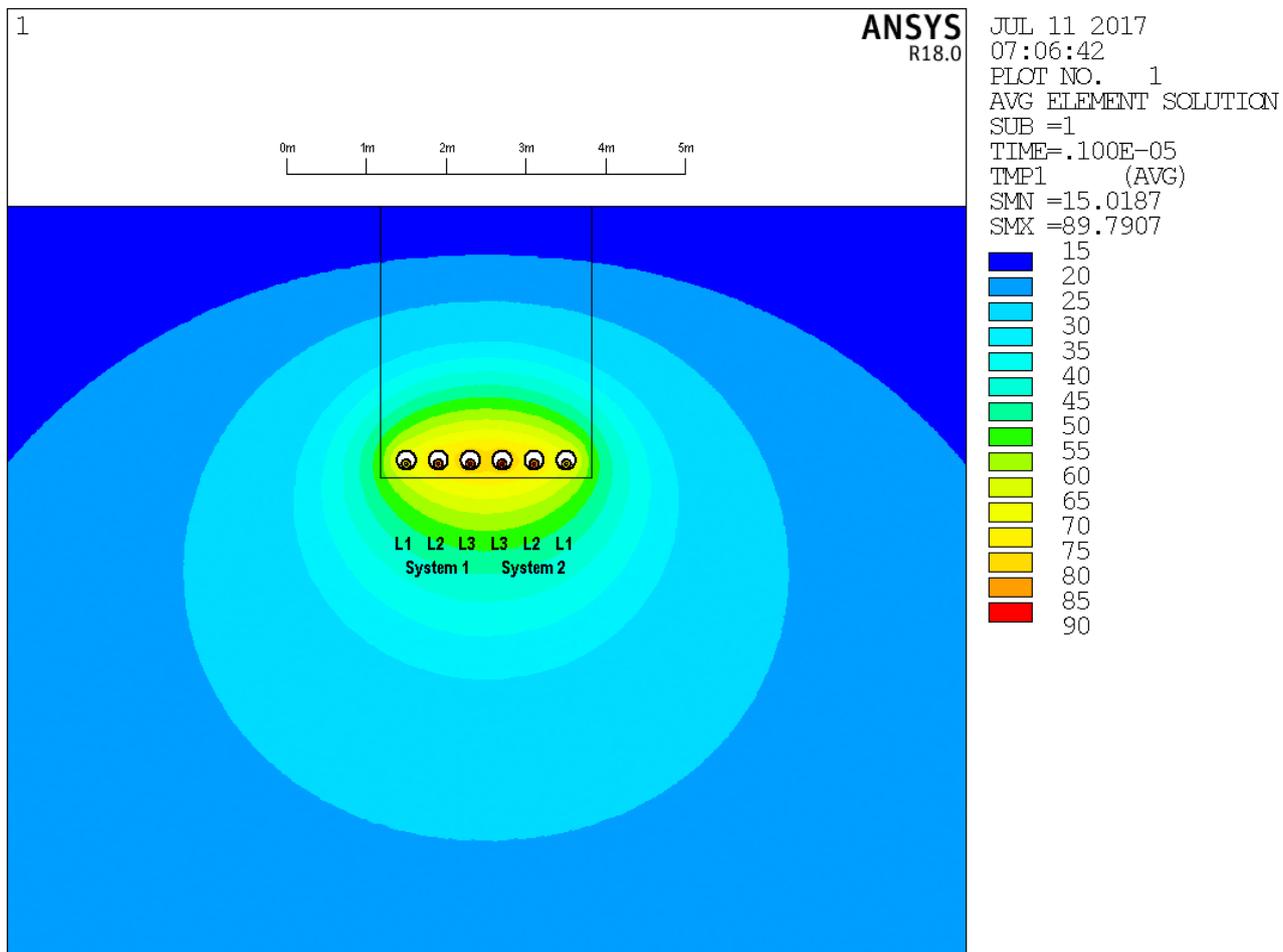
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur	Rohr	66,8	74,4	78,0	78,0	74,4	66,8
	Leiter [°C]	78,6	86,3	89,8	89,8	86,3	78,6
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,1	14,3	14,4	14,4	14,3	14,1



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

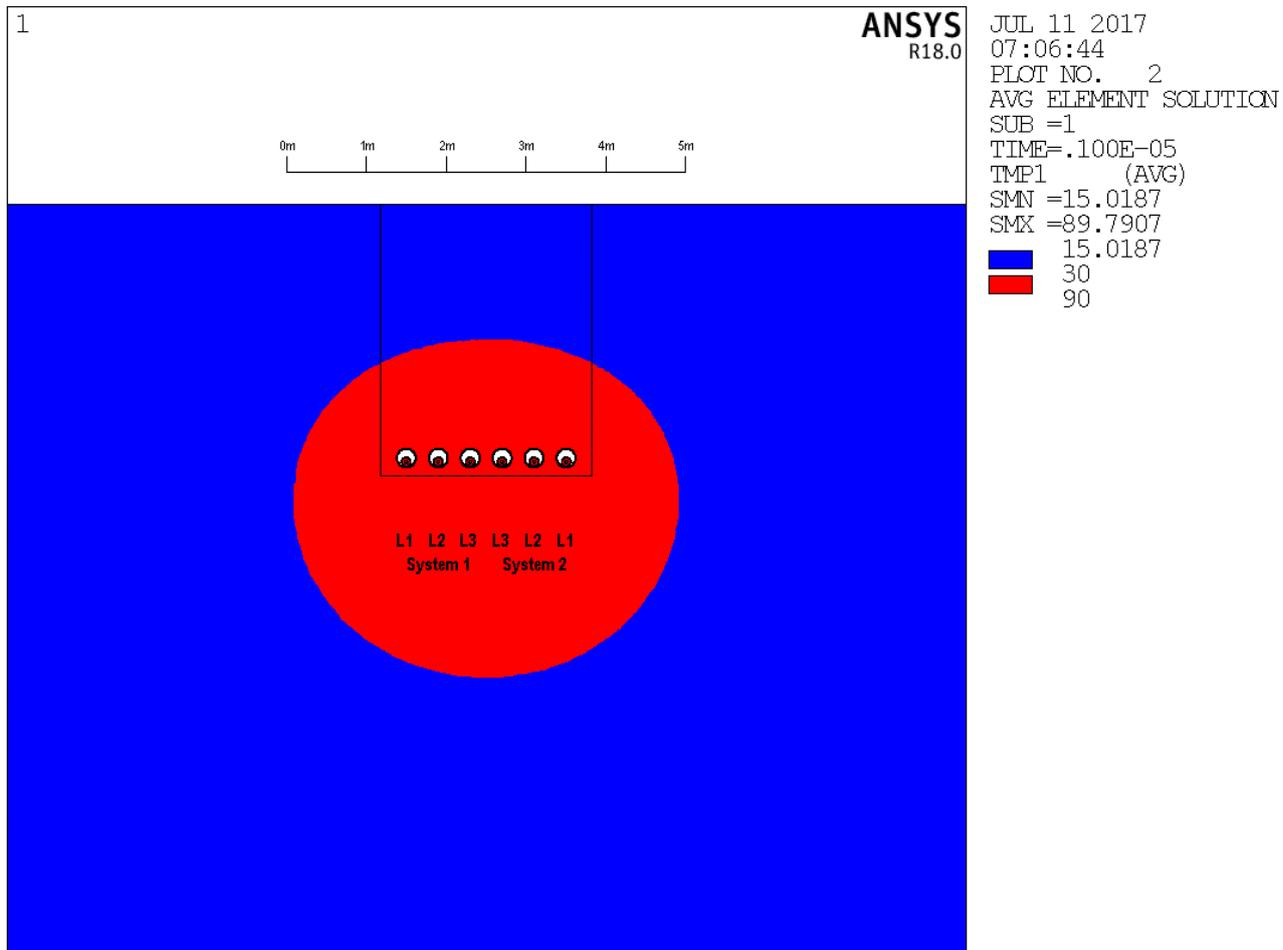
Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:	15 °C
Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet):	1,0 / 2,5 Km/W
Legetiefe (Rohrachse):	3,20 m
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):	0,40 m
Mittenabstand der Systeme („s“):	1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur [°C]	Rohr	66,8	74,4	78,0	78,0	74,4	66,8
	Leiter	78,6	86,3	89,8	89,8	86,3	78,6
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,1	14,3	14,4	14,4	14,3	14,1



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 3,20 m

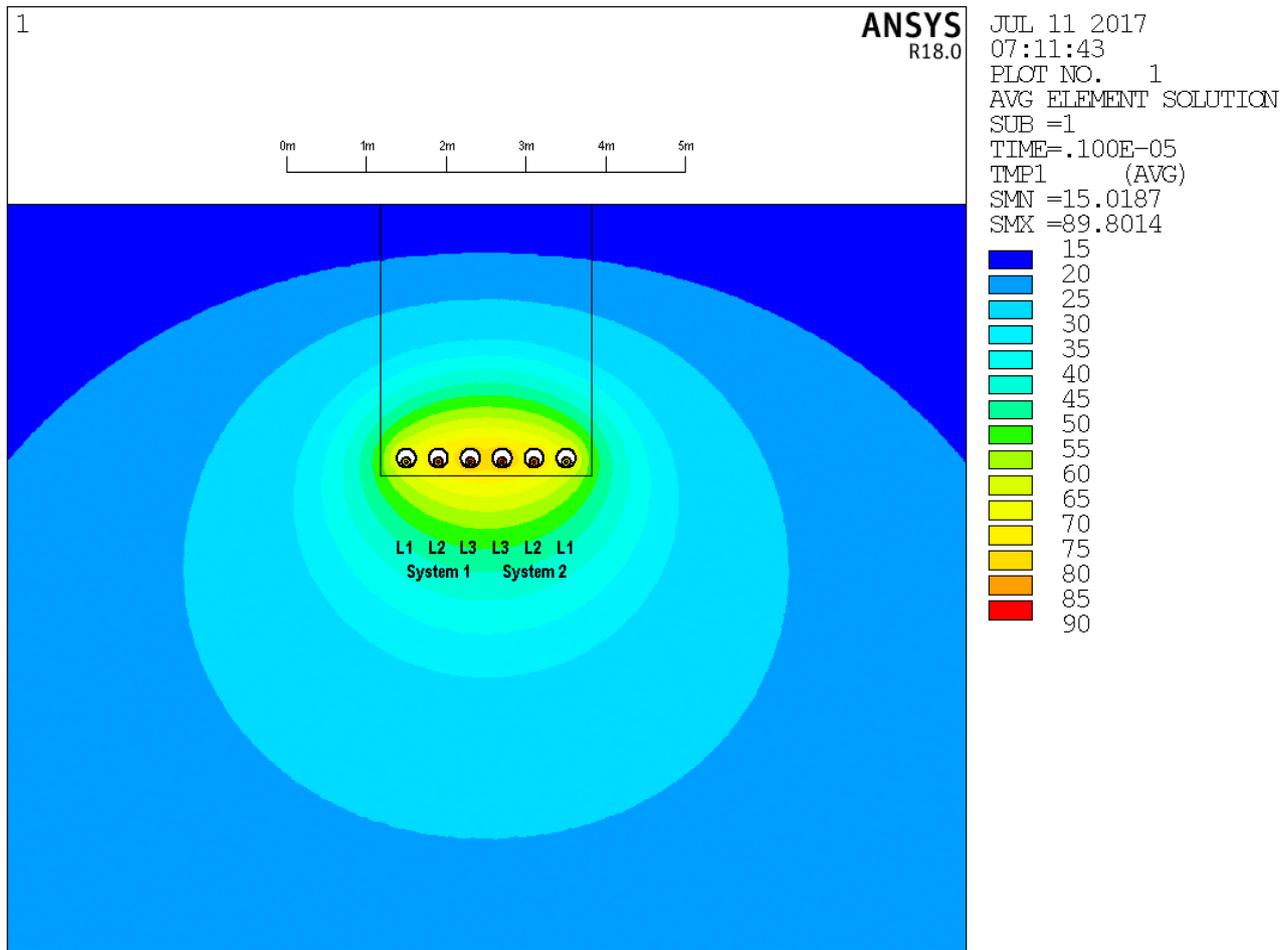
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	66,8	74,5	78,0	78,0	74,5	66,8
	Leiter [°C]	78,6	86,3	89,8	89,8	86,3	78,6
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,0	14,4	14,4	14,4	14,4	14,0



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 3,20 m

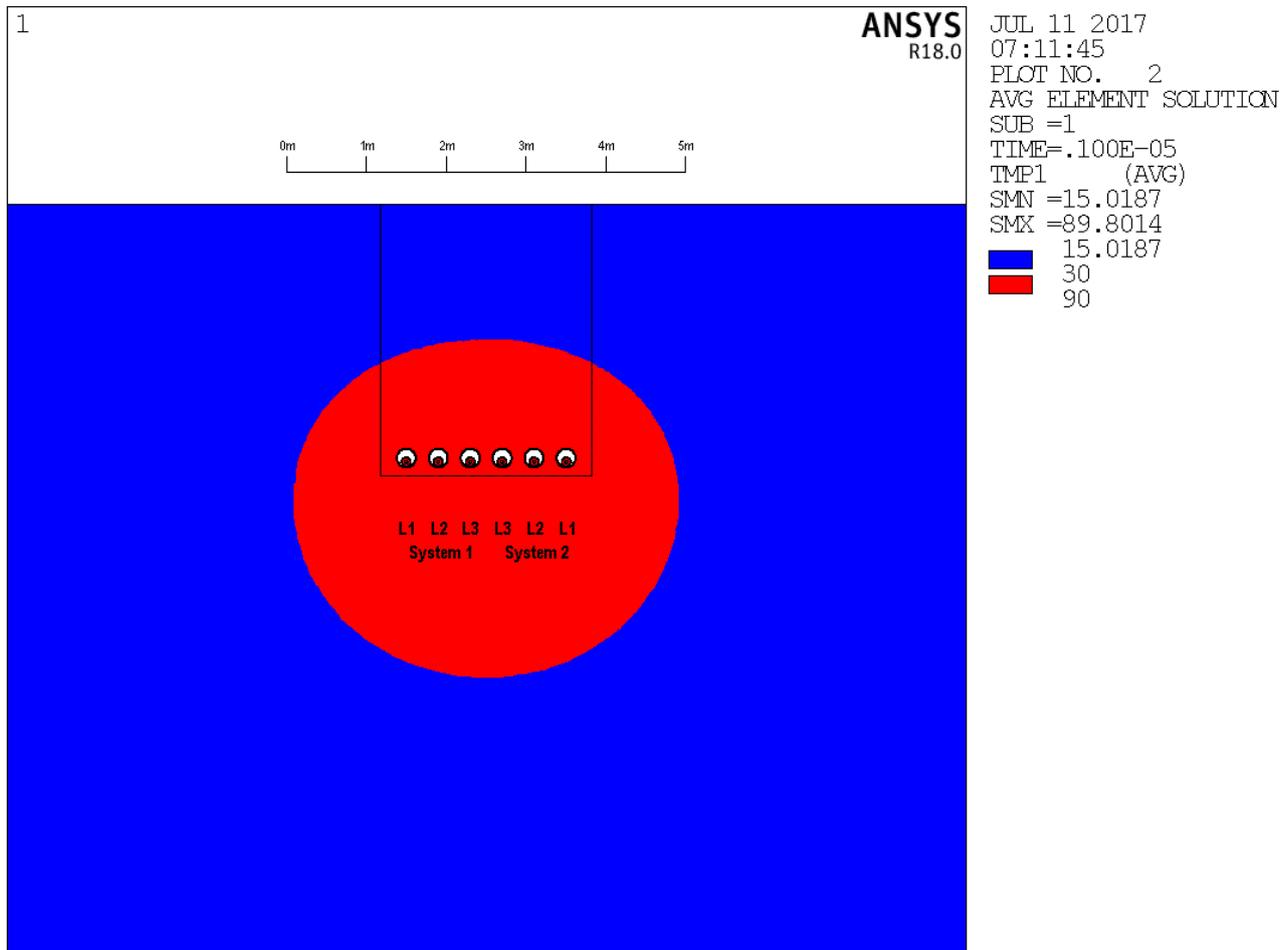
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	66,8	74,5	78,0	78,0	74,5	66,8
	Leiter	78,6	86,3	89,8	89,8	86,3	78,6
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,0	14,4	14,4	14,4	14,4	14,0



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

3,20 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

0,40 m

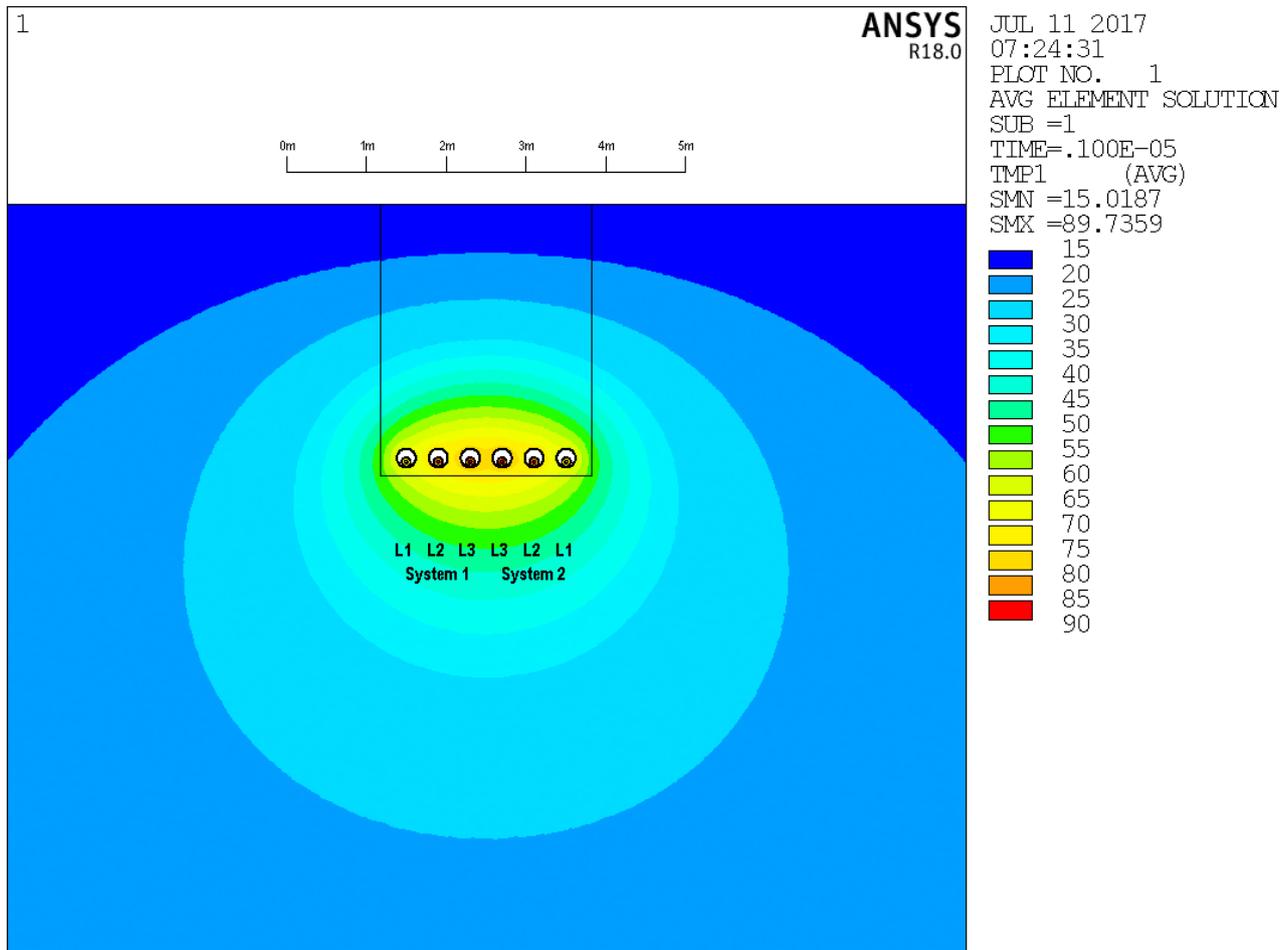
Mittenabstand der Systeme („s“):

1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur	Rohr	66,8	74,5	77,9	77,9	74,5	66,8
	Leiter	78,6	86,3	89,7	89,7	86,3	78,6
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,1	14,4	14,4	14,4	14,4	14,1



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Abschnitte in offener Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 14,2 mm (SDR 17,6), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Boden im Kabelgraben (feucht/ ausgetrocknet): 1,0 / 2,5 Km/W

Legetiefe (Rohrachse): 3,20 m

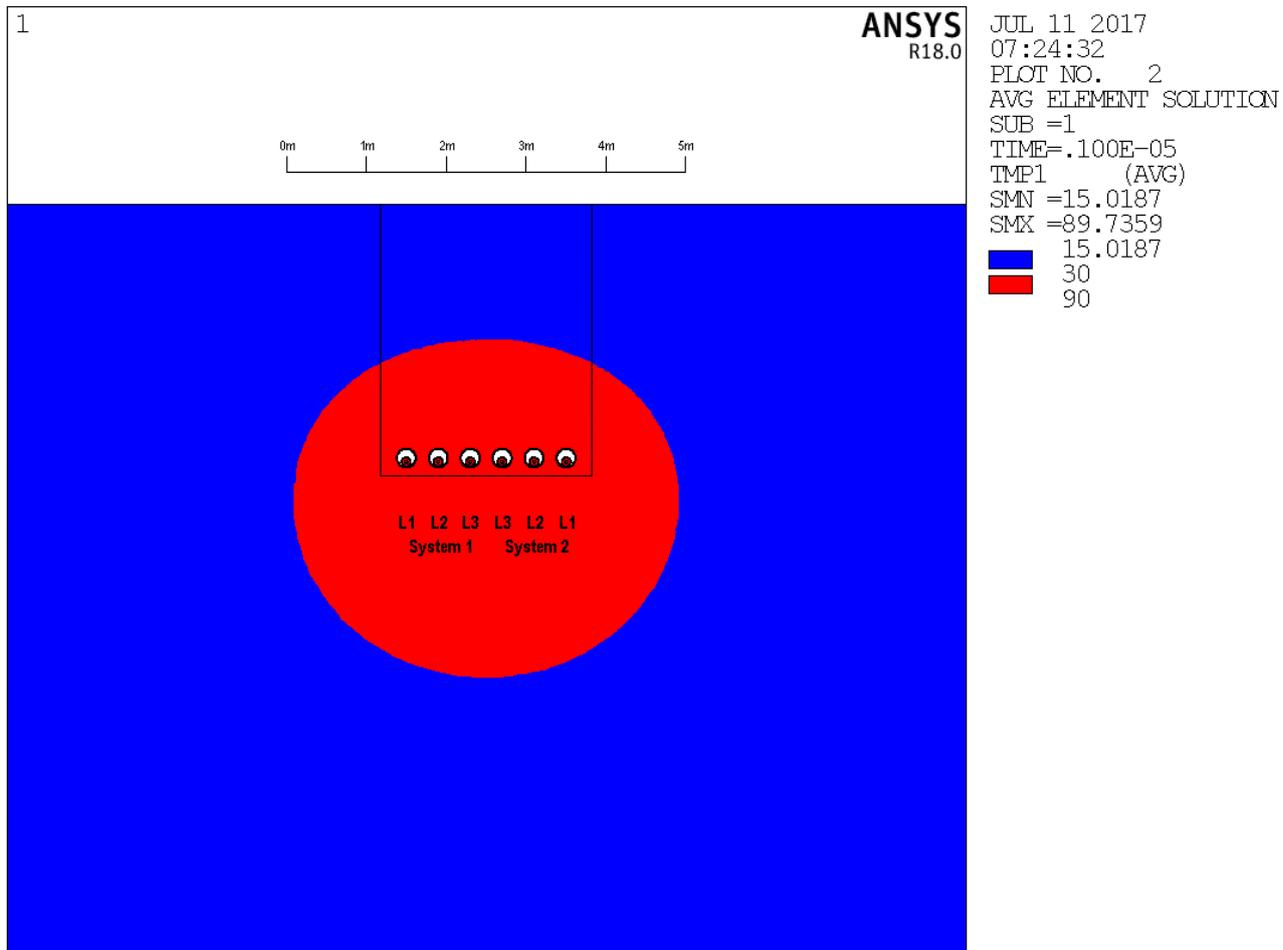
Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“): 0,40 m

Mittenabstand der Systeme („s“): 1,20 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur [°C]	Rohr	66,8	74,5	77,9	77,9	74,5	66,8
	Leiter	78,6	86,3	89,7	89,7	86,3	78,6
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,1	14,4	14,4	14,4	14,4	14,1



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „Kr GZ 4“ in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

4,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

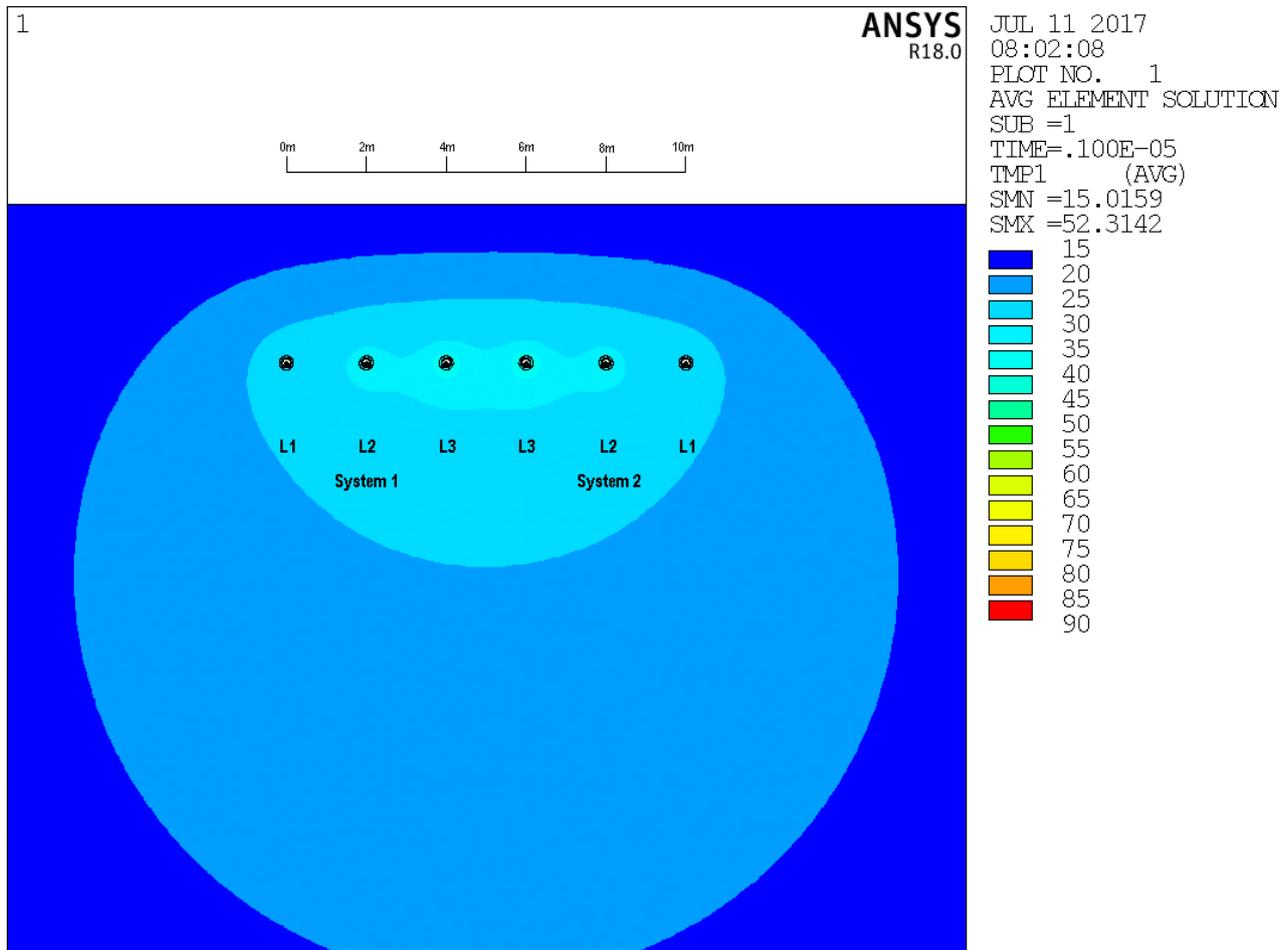
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur	Rohr	32,0	37,9	40,5	40,5	37,9	32,0
	Leiter [°C]	43,9	49,7	52,3	52,3	49,7	43,9
Verluste pro Kabel	[W/m]	12,9	13,0	13,2	13,2	13,0	12,9



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „Kr GZ 4“ in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

4,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

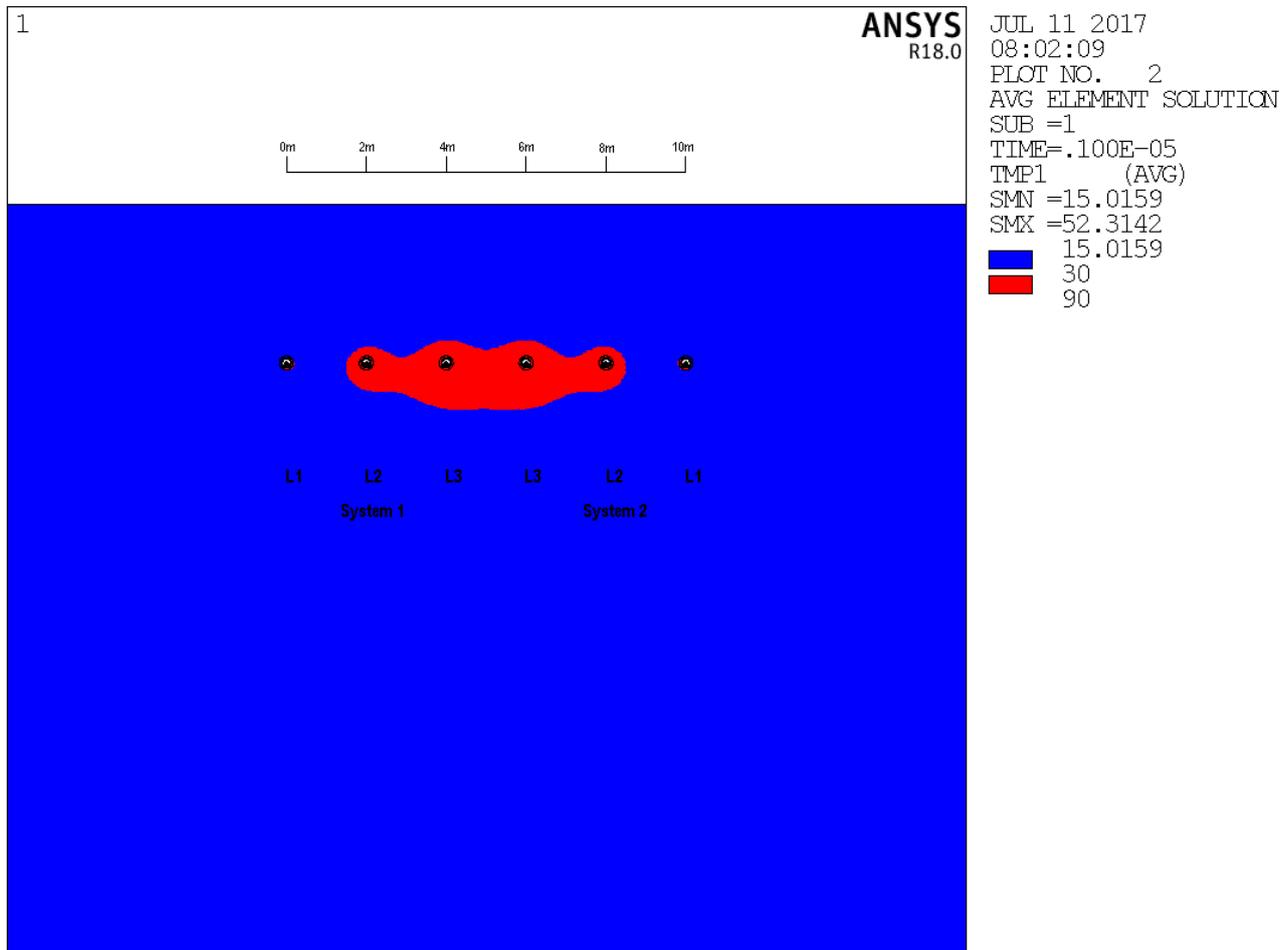
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur	Rohr	32,0	37,9	40,5	40,5	37,9	32,0
	Leiter	43,9	49,7	52,3	52,3	49,7	43,9
Verluste pro Kabel	[W/m]	12,9	13,0	13,2	13,2	13,0	12,9



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Kreuzung „BAB A8“ in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

7,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

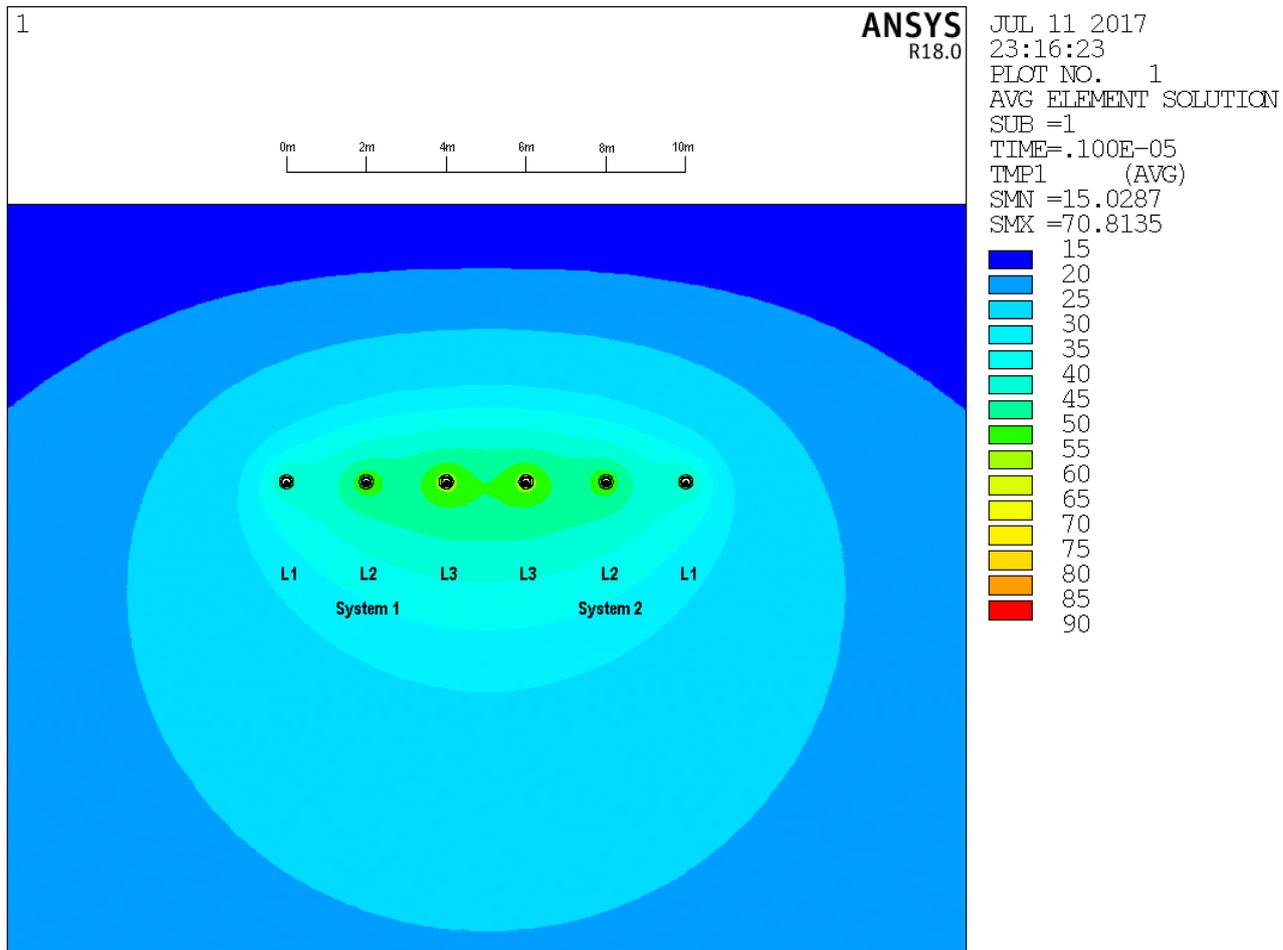
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur [°C]	Rohr	47,6	55,7	59,1	59,0	55,6	47,7
	Leiter	59,4	67,4	70,8	70,8	67,4	59,4
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,3	13,7	13,8	13,8	13,7	13,3



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „BAB A8“ in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

7,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

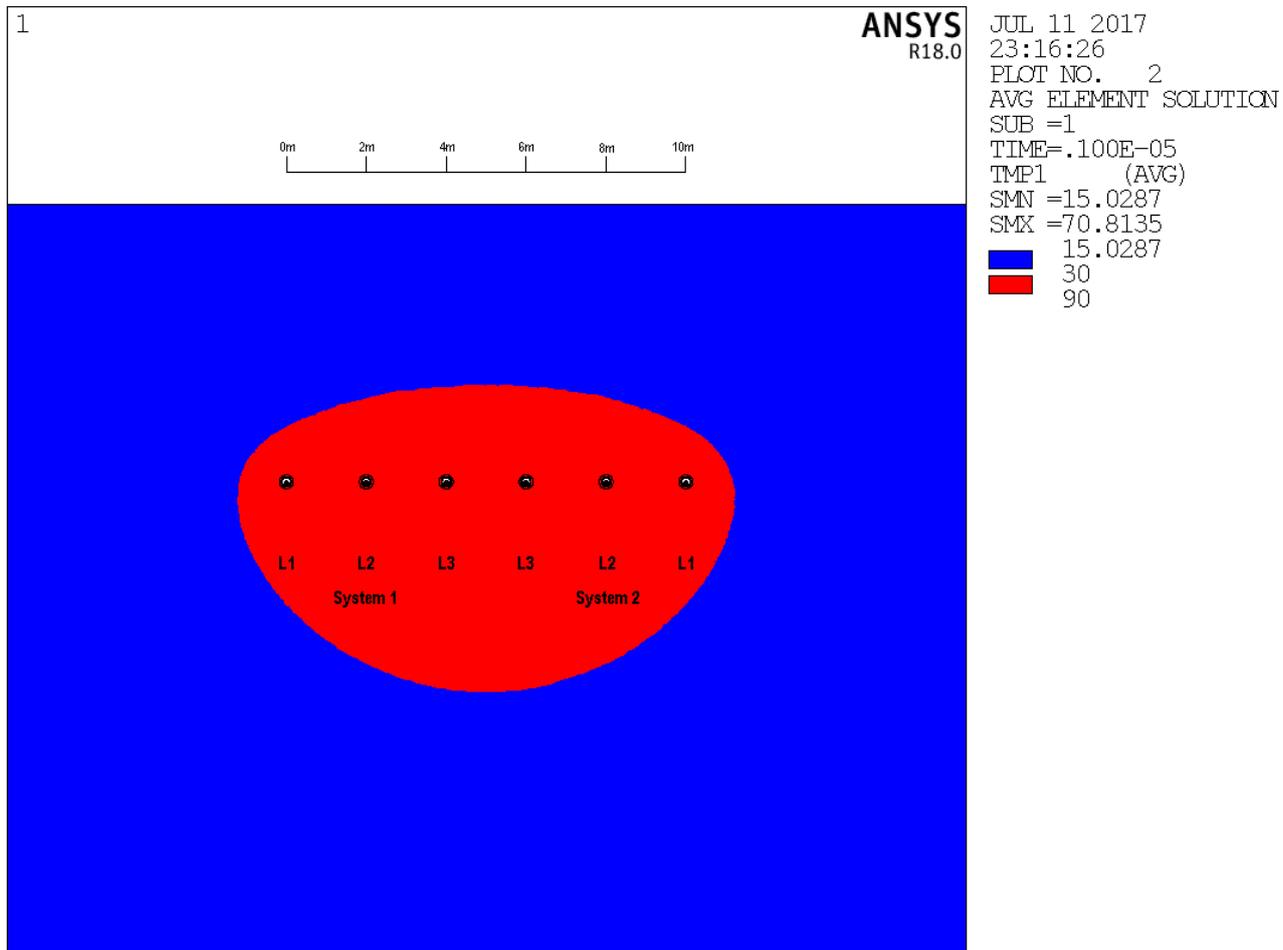
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur [°C]	Rohr	47,6	55,7	59,1	59,0	55,6	47,7
	Leiter	59,4	67,4	70,8	70,8	67,4	59,4
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,3	13,7	13,8	13,8	13,7	13,3



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „St2020“ in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

4,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

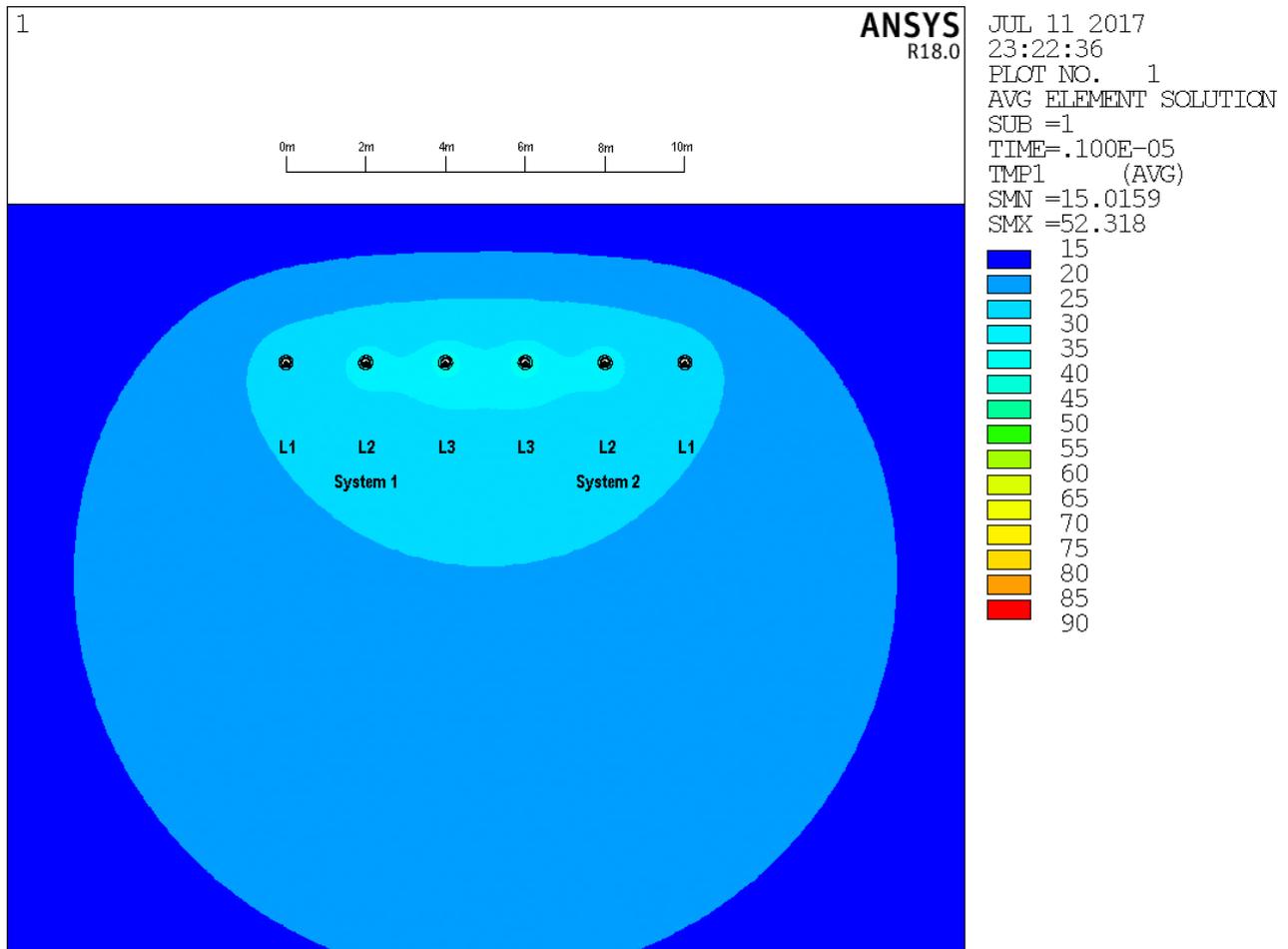
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	32,0	38,0	40,5	40,5	38,0	32,0
	Leiter	43,9	49,8	52,3	52,3	49,8	43,9
Verluste pro Kabel	[W/m]	12,8	13,1	13,2	13,2	13,1	12,8



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „St2020“ in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

4,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

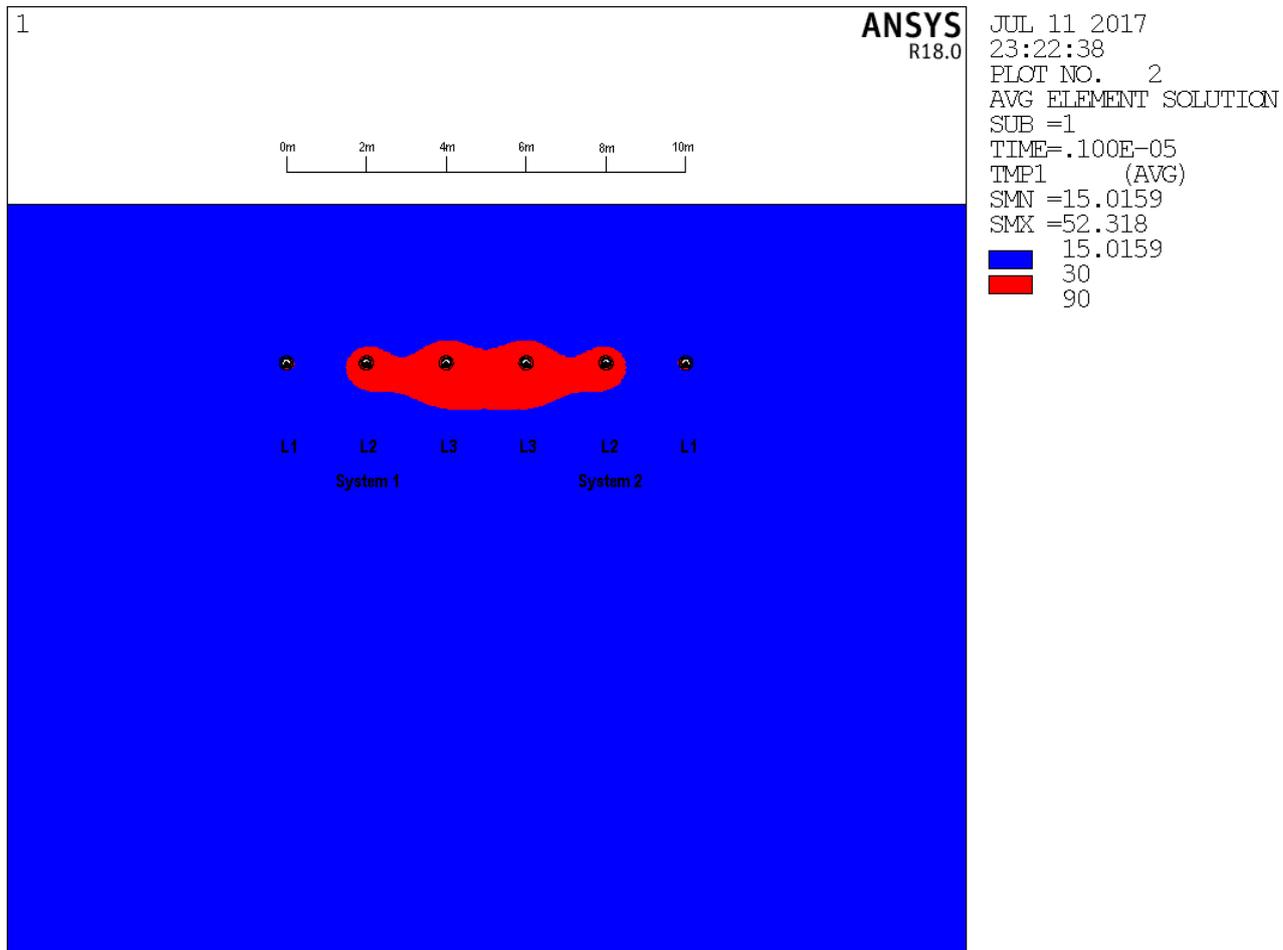
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur [°C]	Rohr	32,0	38,0	40,5	40,5	38,0	32,0
	Leiter	43,9	49,8	52,3	52,3	49,8	43,9
Verluste pro Kabel	[W/m]	12,8	13,1	13,2	13,2	13,1	12,8



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Wegkreuzung bei 2+030 km in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

4,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

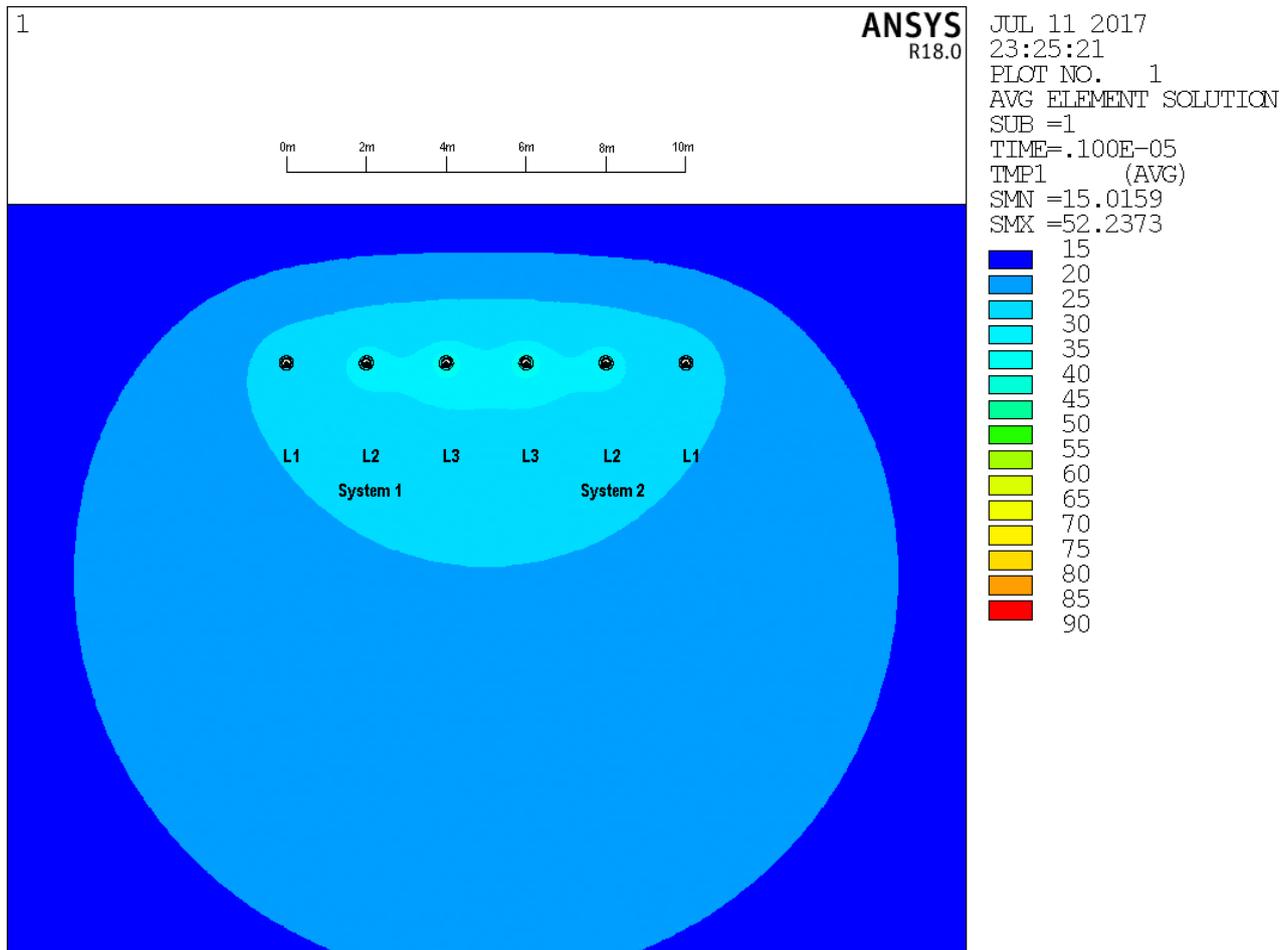
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur	Rohr	32,1	38,0	40,4	40,4	38,0	32,1
	Leiter	43,9	49,8	52,2	52,2	49,8	43,9
Verluste pro Kabel	[W/m]	12,9	13,1	13,1	13,1	13,1	12,9



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Wegkreuzung bei 2+030 km in HDD-Bauweise, spezifizierte Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

4,0 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

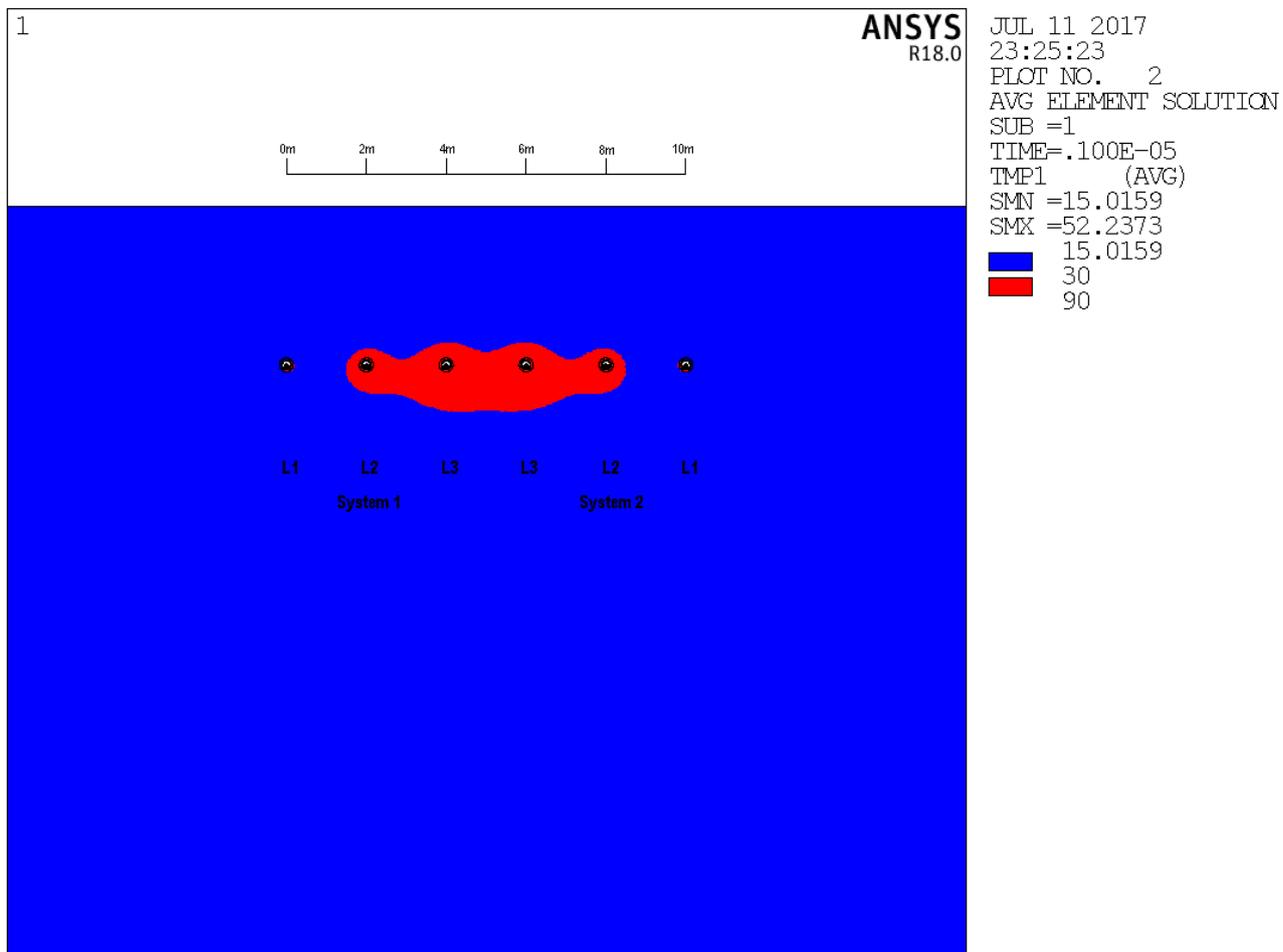
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur	Rohr	32,1	38,0	40,4	40,4	38,0	32,1
	Leiter	43,9	49,8	52,2	52,2	49,8	43,9
Verluste pro Kabel	[W/m]	12,9	13,1	13,1	13,1	13,1	12,9



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „Kr GZ 4“ in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

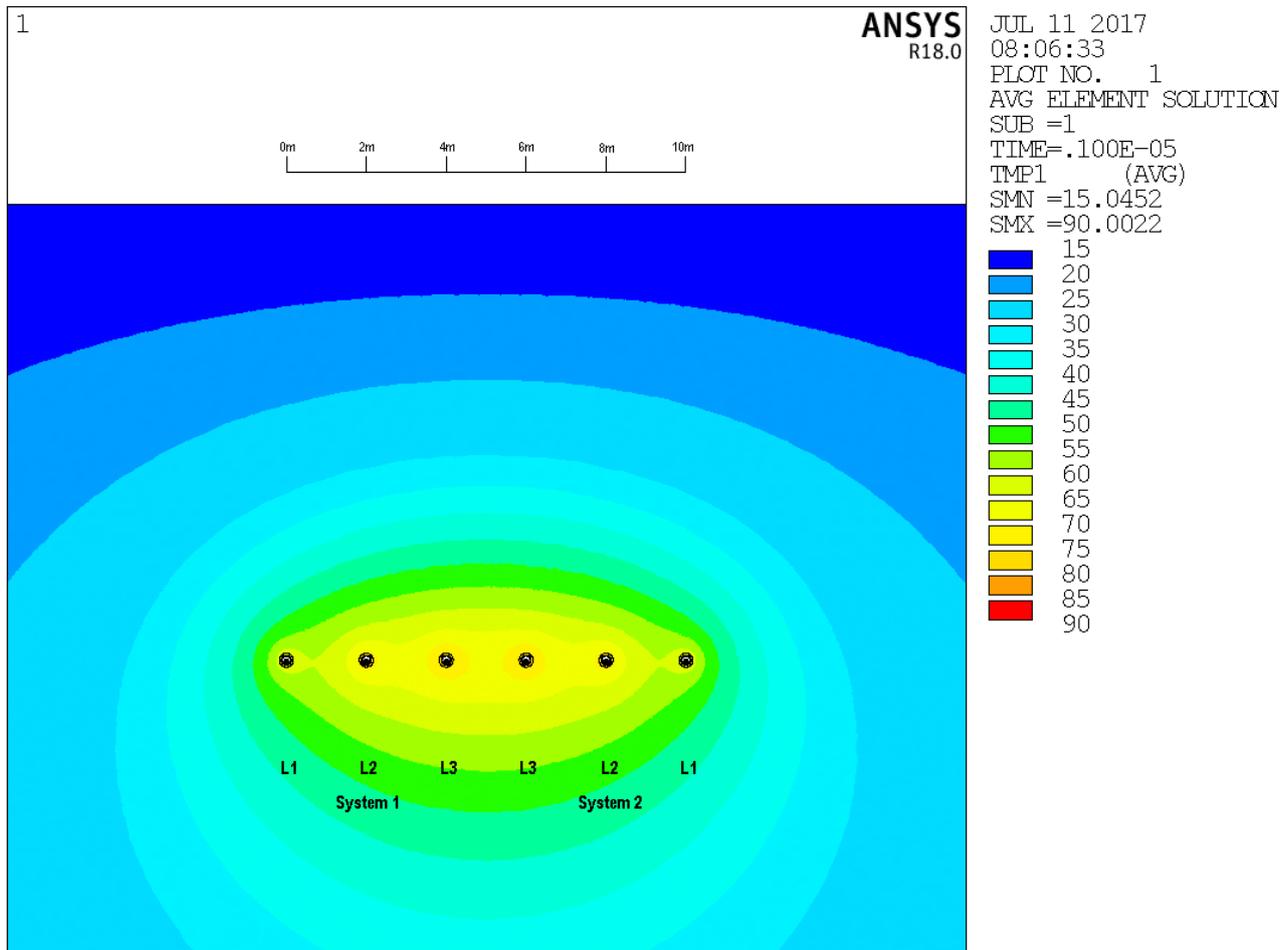
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur	Rohr	65,3	74,2	78,2	78,2	74,2	65,3
	Leiter [°C]	77,1	86,0	90,0	90,0	86,0	77,1
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,0	14,2	14,4	14,4	14,2	14,0



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „Kr GZ 4“ in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

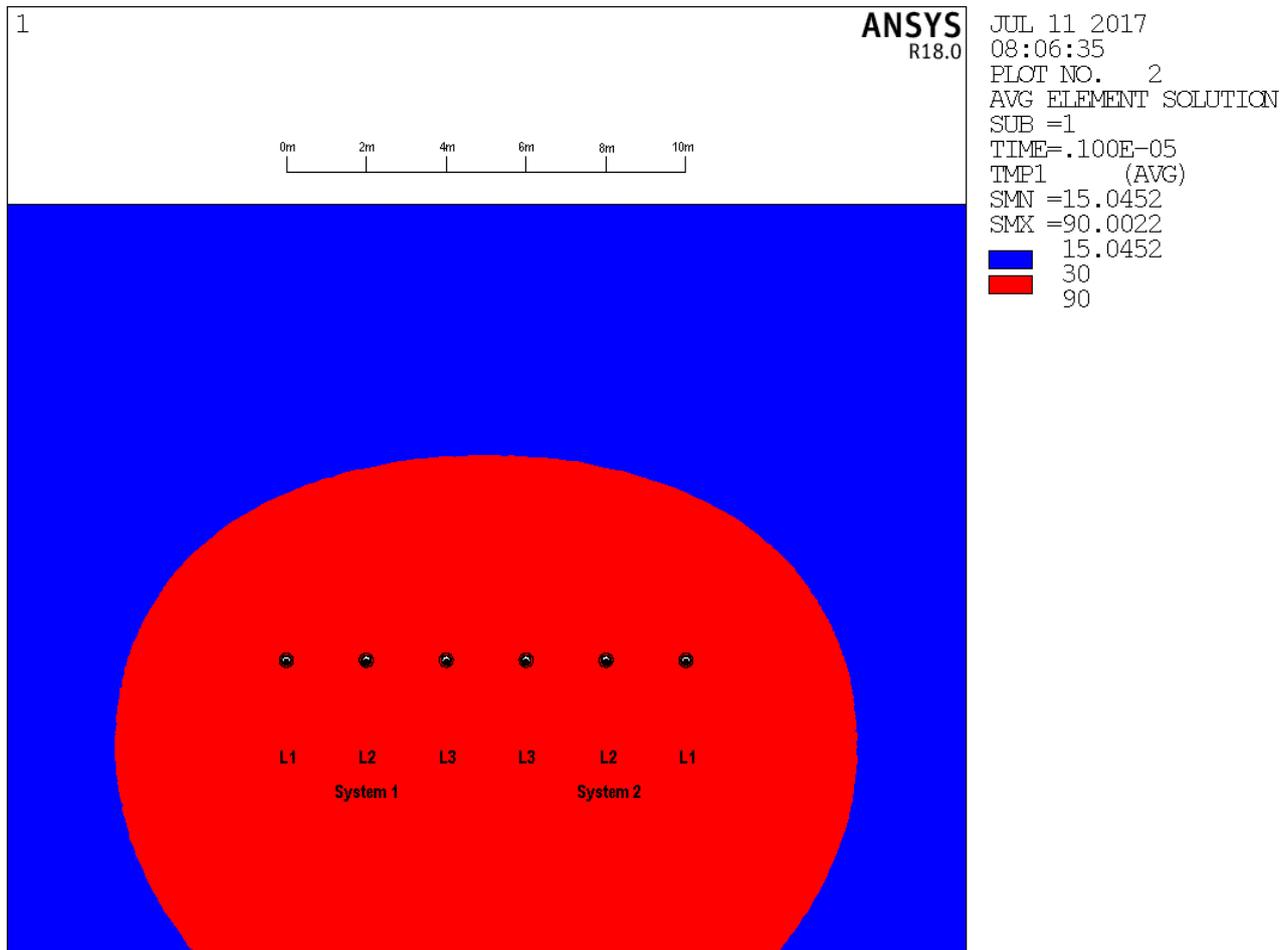
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 1

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	28,2	18,1	29,6	29,6	18,1	28,2
Max. Temperatur [°C]	Rohr	65,3	74,2	78,2	78,2	74,2	65,3
	Leiter	77,1	86,0	90,0	90,0	86,0	77,1
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,0	14,2	14,4	14,4	14,2	14,0



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „BAB A8“ in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

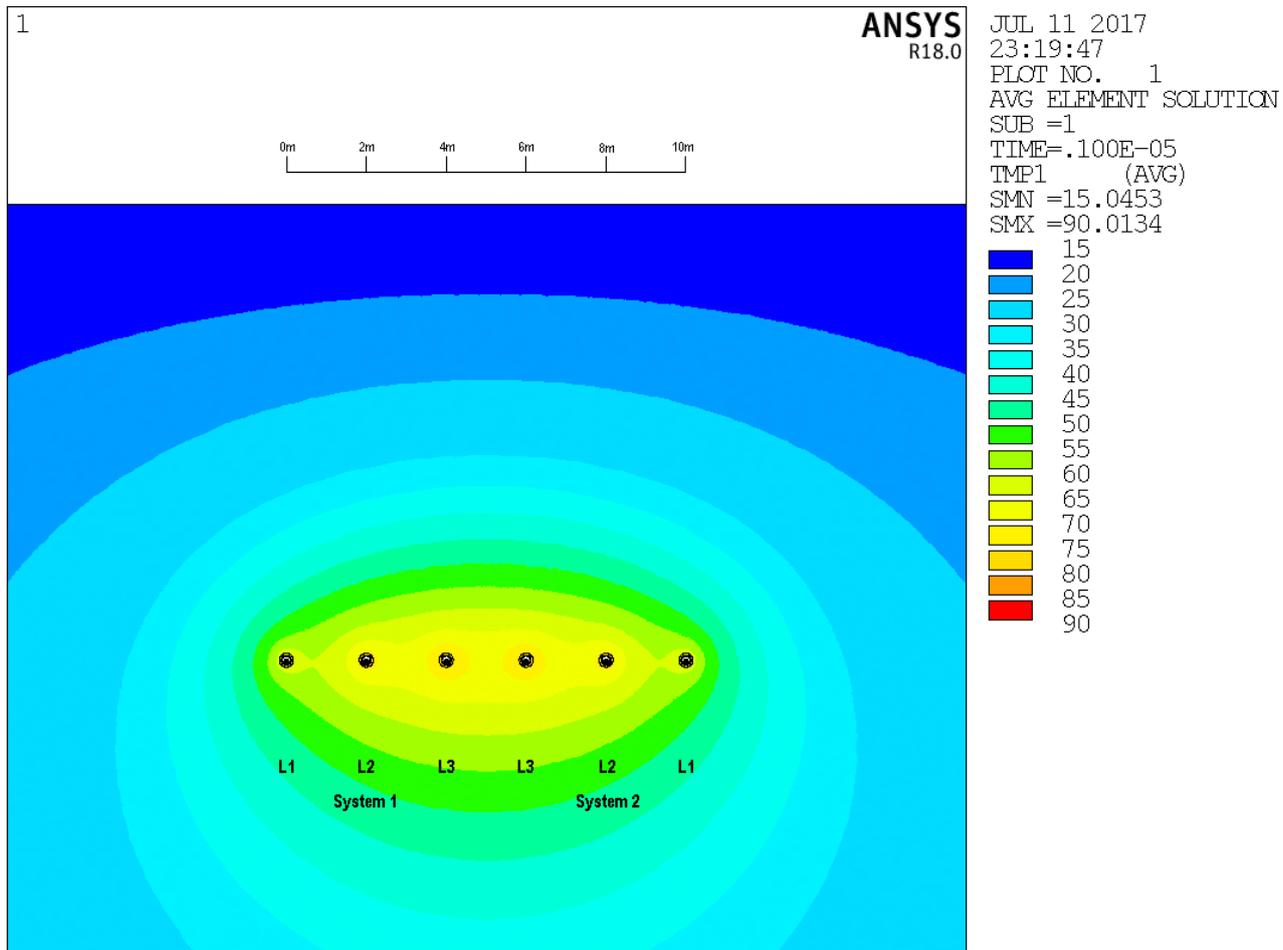
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	65,3	74,3	78,2	78,2	74,3	65,3
	Leiter [°C]	77,0	86,1	90,0	90,0	86,1	77,0
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,9	14,3	14,4	14,4	14,3	13,9



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „BAB A8“ in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

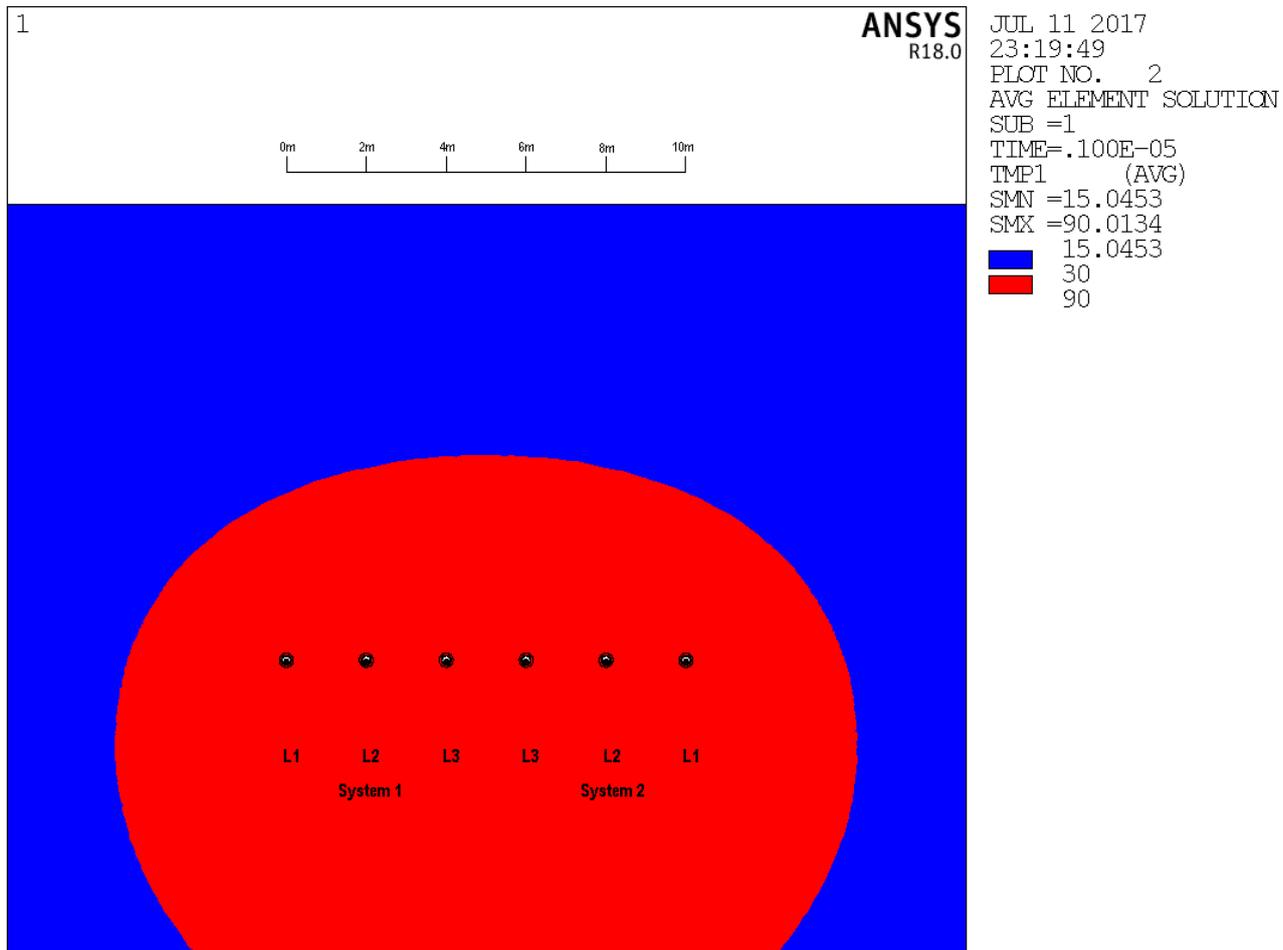
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	65,3	74,3	78,2	78,2	74,3	65,3
	Leiter	77,0	86,1	90,0	90,0	86,1	77,0
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,9	14,3	14,4	14,4	14,3	13,9



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „St2020“ in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

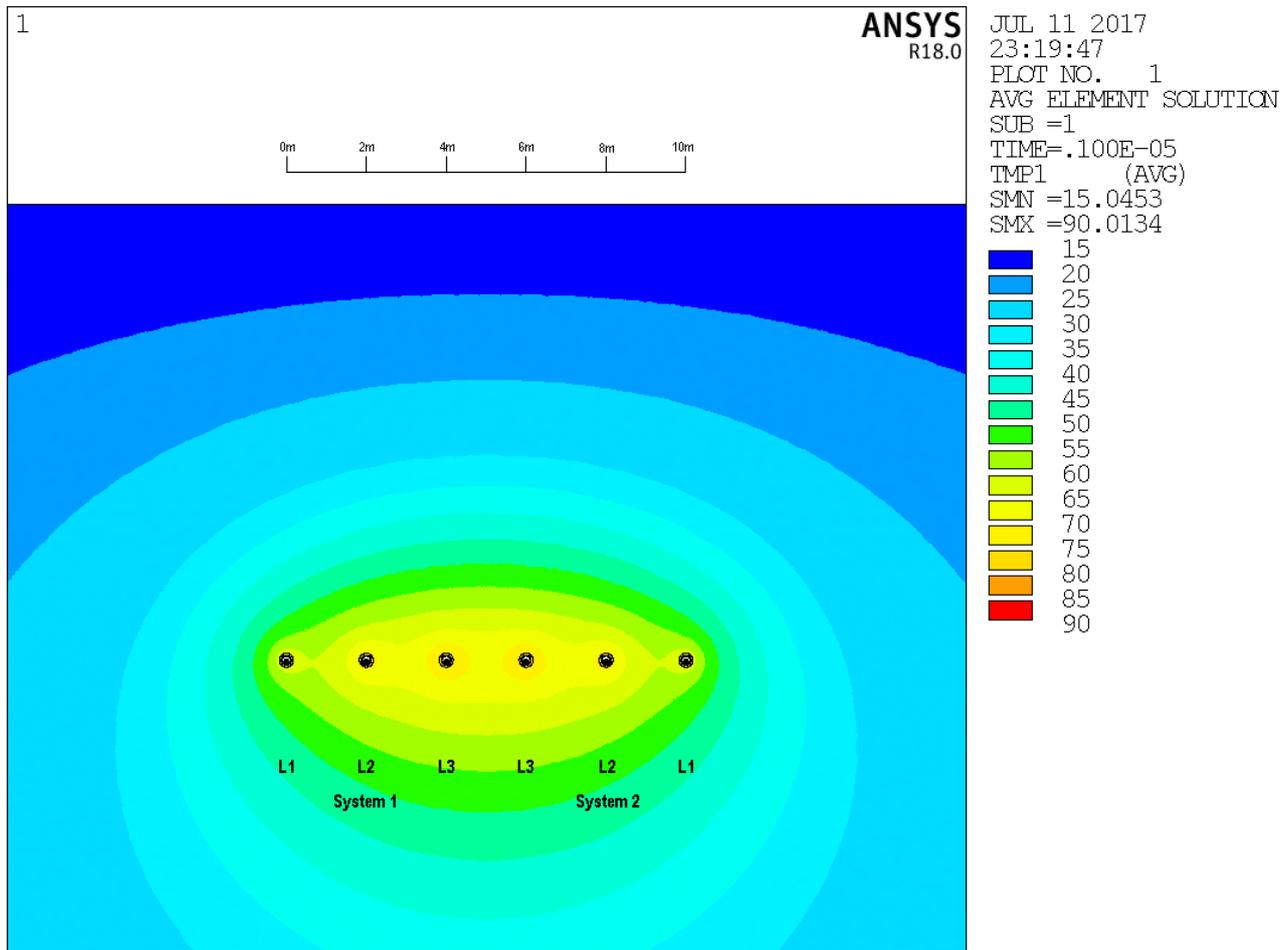
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	65,3	74,3	78,2	78,2	74,3	65,3
	Leiter [°C]	77,0	86,1	90,0	90,0	86,1	77,0
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,9	14,3	14,4	14,4	14,3	13,9



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Kreuzung „St2020“ in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

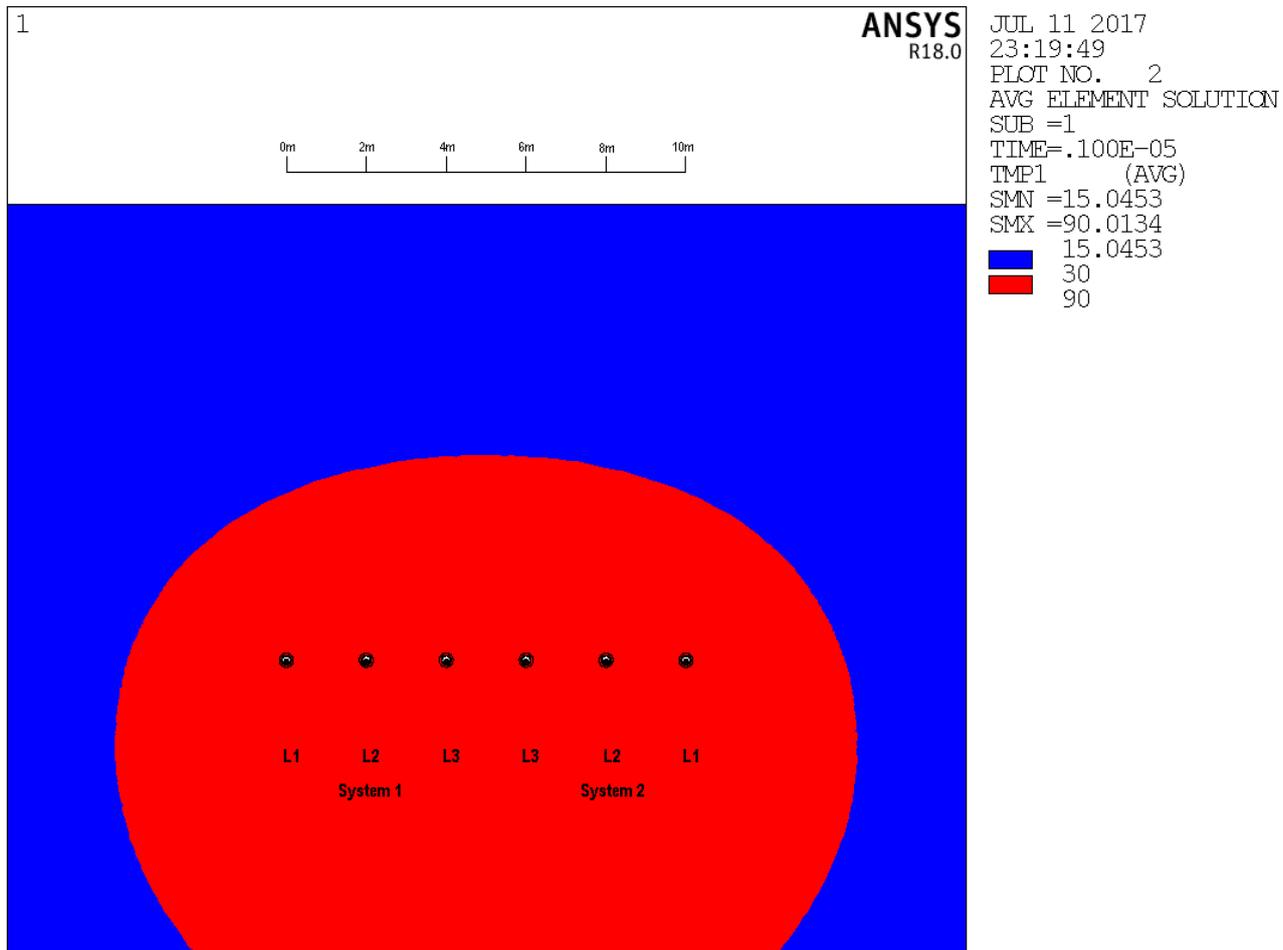
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 2

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	18,1	29,6	28,2	28,2	29,6	18,1
Max. Temperatur	Rohr	65,3	74,3	78,2	78,2	74,3	65,3
	Leiter [°C]	77,0	86,1	90,0	90,0	86,1	77,0
Verluste pro Kabel	[W/m]	13,9	14,3	14,4	14,4	14,3	13,9



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipheim,
Trassenprofil für Wegkreuzung bei 2+030 km in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

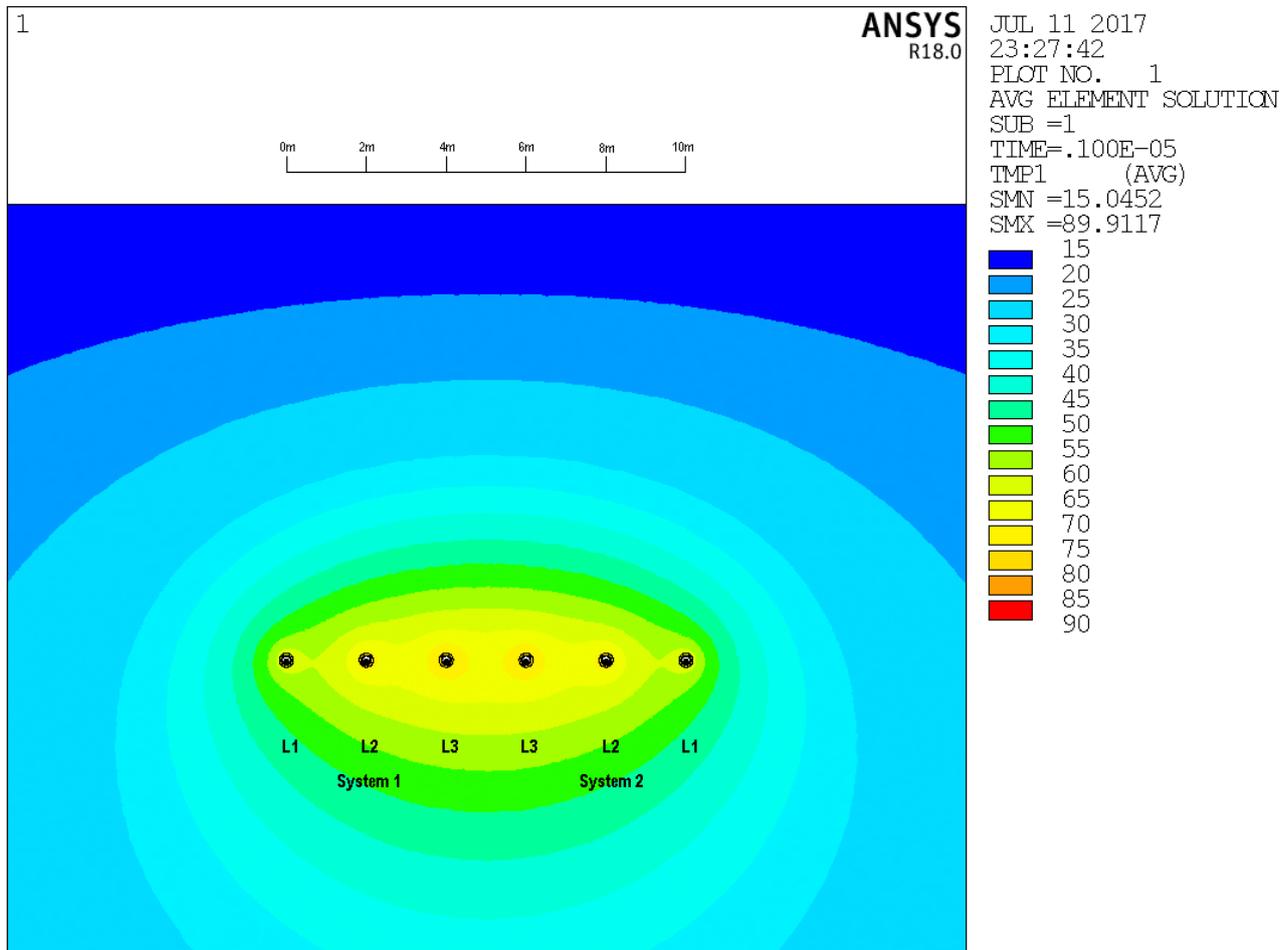
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur	Rohr	65,3	74,3	78,1	78,1	74,3	65,3
	Leiter [°C]	77,1	86,1	89,9	89,9	86,1	77,1
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,0	14,3	14,3	14,3	14,3	14,0



Temperaturverteilung bei 2 x 542 A Last (m = 1,0)

**380-kV-Kabelverbindung Gaskraftwerk Leipzig,
Trassenprofil für Wegkreuzung bei 2+030 km in HDD-Bauweise, maximal zulässige Legetiefe**

Kabel einzeln im PE-Rohr 250 x 22,7 mm (SDR 11), nicht verfüllt

Bodentemperatur:

15 °C

Spezif. Wärmewiderst. Boden außerhalb Bohrung (feucht/ ausgetrocknet):

1,0 / 2,5 Km/W

Spezif. Wärmewiderst. Ringraumfüllung (feucht/ ausgetrocknet):

1,2 / 1,2 Km/W

Legetiefe (Rohrachse):

11,5 m

Achsenabstand der Kabelrohre im System („a“):

2,0 m

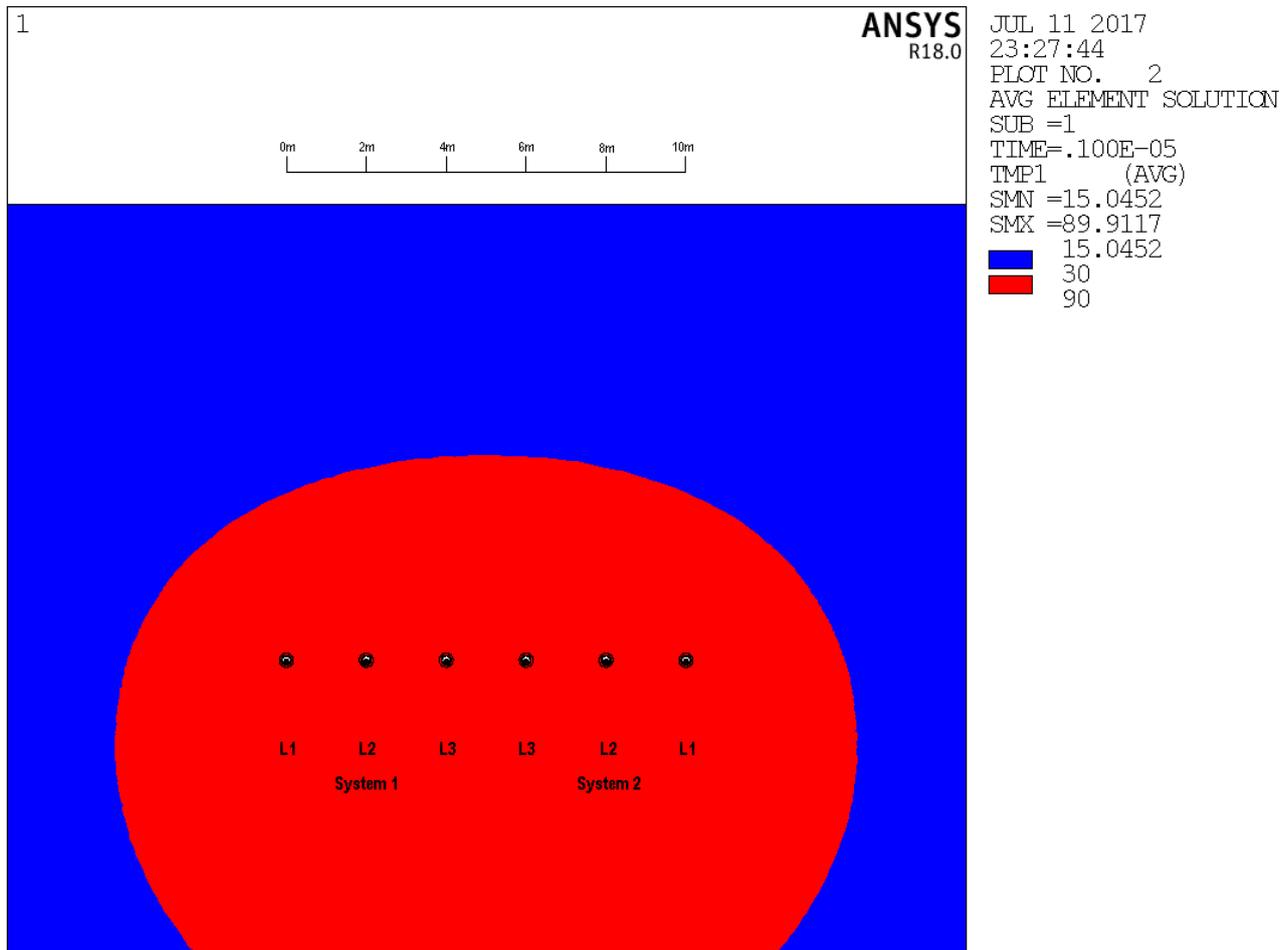
Mittenabstand der Systeme („s“):

6,0 m

Betrieb mit Dauerlast (2 x 542 A, m = 1,0), Cross-Bonding-Teilabschnitt 3

Kabelströme, Leitertemperaturen und Verluste bei 2 x 542 A:

Kabel		1/L1	1/L2	1/L3	2/L3	2/L2	2/L1
Leiterstrom	[A]	542	542	542	542	542	542
Schirmstrom	[A]	29,6	28,2	18,1	18,1	28,2	29,6
Max. Temperatur	Rohr	65,3	74,3	78,1	78,1	74,3	65,3
	Leiter	77,1	86,1	89,9	89,9	86,1	77,1
Verluste pro Kabel	[W/m]	14,0	14,3	14,3	14,3	14,3	14,0



Bereiche mit Temperaturen oberhalb der Austrocknungsgrenze für Erdboden (rot, Angaben in °C, Austrocknung in rot dargestellten Bodenbereichen potentiell möglich)