

# Programm zur Berechnung induktiver Beeinflussungen

Masterarbeit



Institut für Elektrische Anlagen  
Technische Universität Graz

Vorgelegt von  
Wolfgang Emmer, BSc  
0730448

Betreuer  
DI Dr.techn. Ernst Schmutzner  
DI Christian Raunig

Institutsleiter: Univ.-Prof. DI Dr.techn. Lothar Fickert

A - 8010 Graz, Inffeldgasse 18-I  
Telefon: (+43 316) 873 – 7551  
Telefax: (+43 316) 873 – 7553  
<http://www.ifea.tugraz.at>  
<http://www.tugraz.at>

Graz / März – 2014



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich vorab für die Unterstützung bedanken, die mir von vielen Seiten entgegengekommen ist.

Zuerst möchte ich mich bei Dr. Schmutzler bedanken: Danke, Ernst, für deine Geduld und (mindestens) ein offenes Ohr, auch wenn du oft sehr viel um die Ohren gehabt hast. Auch möchte ich mich für die Hilfe und Freundlichkeit meines zweiten Betreuers, DI Raunig, bedanken: Christian, danke, dass du mir so viele deiner wertvollen Stunden für meine Fragen geopfert hast und damit auch den Ernst entlastet hast. Auch bedanke ich mich bei all den fleißig (!!!) Arbeitenden im Dissertanten-/Diplomandenseminarraum: Die Gemeinschaft war immer sehr nett und hilfreich. Überhaupt ist das Arbeitsklima am Institut immer angenehm gewesen: Danke!

Natürlich darf ich auch meine Eltern und meine Geschwister nicht vergessen, die mir immer zur Seite gestanden sind und noch immer stehen: Danke, für jedes ermutigende und motivierende Wort!

Ich spreche auch meinen herzlichsten Dank an all die Menschen – Freunde, Verwandte und Bekannte – aus, die ich hier nicht aufgezählt habe, die mir aber, wenn auch oft nur im Kleinen, geholfen haben. Aber auch die kleinste Hilfe ist groß: Danke!

Einen ausgesprochen besonderen Dank möchte ich an meine liebe Verlobte Kinga, die ich in der Zeit des Masterarbeitschreibens besser kennen- und lieben gelernt habe, aussprechen: Danke für deine Liebe, Fürsorge und Aufmerksamkeit, die du mir jeden Tag schenkst. Und danke für deine Verbesserungsarbeit v.a. des englischen Textes.

Mein größter Dank gilt jedoch Gott, der mich nie im Stich lässt und mir auch alle oben erwähnten Personen als Hilfe geschickt hat, auch wenn sie es manchmal gar nicht wussten. Danke, himmlischer Vater, ohne dich wäre diese Arbeit nicht fertig geworden. Dir sei Lob und Dank!

*Wenn der HERR nicht das Haus baut,  
dann arbeiten umsonst, die daran bauen;  
wenn der HERR nicht die Stadt behütet,  
dann wacht der Wächter umsonst.*

*Es ist umsonst, dass ihr früh aufsteht und  
spät aufbleibt und sauer erworbenes Brot  
esst; solches gibt ER seinem Geliebten  
im Schlaf!*

*(Psalm 127,1.2)*

DANKE!!!

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 13. März 2014

Wolfgang Emmer, BSc

# Einleitung

## Ziel

Hauptziel dieser Arbeit war es, das Programm „Induktive Beeinflussung elektrischer Leiter mit einem G(raphical)U(ser)I(nterface)“, kurz IBEL-GUI, zur Berechnung von niederfrequenten induktiven Beeinflussungen von Leitern mit Erdrückleitung zu entwickeln und eine ausführliche Programmdokumentation zu verfassen, um weiterführende Arbeiten auf diesem Gebiet zu unterstützen. Mit Hilfe des Programms IBEL-GUI können sowohl Freileitungen als auch Kabel berücksichtigt werden. Ausführliche Programmtests und einfache Analysen schließen diese Masterarbeit ab.

## Methode

Nach der Einarbeitung in das Thema der induktiven Beeinflussung und der Analyse bereits bestehender Programme am Institut für elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz wurden die neu einzuschlagenden Wege der Berechnungen festgelegt und eine sinnvolle und übersichtliche Datenstruktur dem neuen Programm zugrundegelegt.

Mithilfe von MATLAB in der Version R2011b und unter Ausnutzung der Möglichkeit, in MATLAB eine graphische Oberfläche zu bilden, wurde dann ein Programm geschaffen, das die umfangreichen Dateneingaben sowie die Analysen vereinfacht.

Zu Testzwecken wurden einige übliche Beeinflussungskonfigurationen zusammengestellt, deren Berechnungen weitere Erkenntnisse im Bereich der induktiven Beeinflussungen bringen sollten.

## Ergebnisse

Ergebnis dieser Arbeit ist das Erreichen des Hauptziels, des funktionstüchtigen Programmes, mit dessen Hilfe induktive Beeinflussungen von Freileitungs- und Kabelsystemen unter Berücksichtigung von Reduktionsleitern unter modernen Gesichtspunkten berechnet werden können.

Allgemeine Beispiele im Anhang zeigen die Anwendungsmöglichkeiten dieses Programms und helfen außerdem bei der Beurteilung von induktiven Beeinflussungen durch verschiedene Freileitungen und Kabelsysteme im Normalbetrieb und im Fehlerfall.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Dieses Programm stellt einen wichtigen Schritt bei der Entwicklung eines flexiblen und zugleich benutzerfreundlichen Beeinflussungsprogramms dar. Die Berechnung induktiver Beeinflussungen wird mit diesem Programm stark vereinfacht, und allgemeine Aussagen hinsichtlich der Beeinflussungsparameter und den Wechselwirkungen zwischen aktiven und passiven Systemen bei induktiver Beeinflussung können einfach getroffen werden.

Die ersten Tests mit diesem Programm verliefen erfolgreich, in Zukunft muss aber die Entwicklung weiter verfolgt werden um einerseits die Richtigkeit der Ergebnisse in allen möglichen Fällen der induktiven Beeinflussung zu verifizieren und andererseits sowohl die Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit als auch den Funktionsumfang zu steigern.

# **Abstract**

## **Motivation**

The main motivation of this thesis was developing the programme „Induktive Beeinflussung elektrischer Leiter mit einem G(raphical)U(ser)I(nterface)“, in short IBEL-GUI, to calculate inductive influencing of low-frequency of infinite long conductors with earth return and to write a detailed documentation of the programme, this all to support further reseach work in the topic of inductive influencing. With the aid of IBEL-GUI both overhead lines and cables can be taken in account. Detailed debugging and simple analysis are the final part of this Master's thesis.

## **Approach**

After dealing with the topic of inductive influencing carefully and analysing the already existing programmes at the „Institut für elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz“ new approaches of calculating were set and a reasonable and clear data structure was taken as a basis.

With the aid of MATLAB in version R2011b and using the ability of MATLAB to create a graphical user interface, a programme, which simplifies large data inputs and analysis, should be implemented.

For tests several common configurations of influencing were assembled, whose calculations should support further understanding in the field of inductive influencing.

## **Results**

The result of this thesis is achieving the main aim, the workable programme, whereby it will be possible to calculate inductive influences of overhead lines and cables under consideration of reduction lines in a modern way.

In attachment of this, general examples show the possibilities of the programme's application and additionally they help in the evaluation process of inductive influences because of diverse overhead lines and cables in normal operation as well as in the case of an error.

## **Conclusion and Perspective**

This programme is an important step in the development of a flexible and at once end-user friendly programme for calculating inductive influences. The calculation of inductive influences is simplified and general statements concerning the parameters of influencing and the interactions between active and passive systems in the case of inductive influences will be simplified.

First tests with this programme were successful. However, the development of the programme must go on, on the one hand to prove the validity of the calculation results in all possible cases

of inductive influencing and on the other hand to increase the flexibility and end-user friendliness as well as the range of functionality.

## Vorwort

Die vorliegende Masterarbeit stellt die Dokumentation des Programmes IBEL-GUI zur Berechnung der induktiven Beeinflussung von parallelen elektrischen Leitungen durch Freileitungen und Kabel dar. Sie beinhaltet neben der Erklärung der graphischen Oberfläche auch die theoretischen Grundlagen und Literaturverweise zu diesen sowie Angaben und Ergebnisse und deren Analysen von Beeinflussungskonfigurationen, die mit dem Programm zu Testzwecken durchgerechnet wurden.

Das Programm ermöglicht es, induktive Beeinflussungen in Form von induzierten Spannungen und Strömen durch parallel geführte Freileitungen und/oder Kabel zu berechnen. Dieses Programm stellt eine weiterentwickelte Version der vom Institut für elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz erstellten Programme im Bereich der induktiven Beeinflussung, an denen u.a. Dr. Ernst Schmutzner und DI Christian Raunig sowie DI Andreas Steinkellner und DI Wolfgang Sporer mitgewirkt haben, dar. Schon in den 80er Jahren wurde am Institut ein Beeinflussungsprogramm namens KABEIN erstellt. Das im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit geschriebene Programm IBEL-GUI deckt einen Funktionsteil dieses in den 80er Jahren in FORTRAN programmiertem KABEIN ab, jedoch in einer mit MATLAB kreierte neuen Programmumgebung.

Das Programm IBEL-GUI soll ein weiterer Entwicklungsschritt hin zu einem flexiblen, modularen, modernen und an die neuen praktischen Anforderungen angepassten Berechnungstool sein.

Wolfgang Emmer

Graz, im März 2014



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zeichenerklärungen, Begriffe und Definitionen .....</b>	<b>1</b>
1.1	<i>Systematik der Formelzeichen.....</i>	1
1.2	<i>Formelzeichen und Abkürzungen .....</i>	1
1.3	<i>Allgemeine Begriffe und Definitionen .....</i>	1
<b>2</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Allgemeine Beeinflussungskonfiguration.....</b>	<b>13</b>
3.1	<i>Freileitungsanordnung .....</i>	13
3.1.1	<i>Bedeutung der Abkürzungen .....</i>	13
3.1.1.1	<i>Komponenten .....</i>	13
3.1.1.2	<i>Größen .....</i>	14
3.1.1.3	<i>Indizes .....</i>	14
3.2	<i>Kabelanordnung.....</i>	16
3.2.1	<i>Bedeutung der Abkürzungen .....</i>	16
3.2.1.1	<i>Komponenten .....</i>	16
3.2.1.2	<i>Größen .....</i>	16
3.2.1.3	<i>Indizes .....</i>	17
<b>4</b>	<b>Theorie.....</b>	<b>19</b>
4.1	<i>Die Impedanzmatrix .....</i>	20
4.2	<i>Formeln zur Berechnung von Selbst- und Koppelimpedanzen.....</i>	21
4.2.1.1	<i>Die Selbstimpedanzen.....</i>	21
4.2.1.2	<i>Die Koppelimpedanzen .....</i>	23
4.2.2	<i>Weitere benötigte Formeln.....</i>	24
4.3	<i>Die Hybridmatrix.....</i>	28
<b>5</b>	<b>Einführung in das Programm .....</b>	<b>30</b>
5.1	<i>Start.....</i>	30
5.2	<i>Die Toolbar.....</i>	31
5.3	<i>Der Eingabebereich .....</i>	32
5.3.1	<i>Netzdaten .....</i>	32
5.3.2	<i>Abschnittsdaten.....</i>	35
5.3.3	<i>Seildatenbank .....</i>	37
5.4	<i>Die Menüleiste .....</i>	39
5.4.1	<i>Start.....</i>	40
5.4.2	<i>Bearbeiten.....</i>	42

5.4.2.1	Netzdaten bearbeiten .....	42
5.4.2.2	Abschnittsdaten .....	49
5.5	<i>Das Mastkopfbild</i> .....	53
5.6	<i>Die Abschnittsdarstellung</i> .....	54
5.7	<i>Die Berechnung</i> .....	55
<b>6</b>	<b>Summierung der Induktionsbeiträge der diversen Phasen</b> .....	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>Beispiele</b> .....	<b>59</b>
7.1	<i>Standardparameterwerte</i> .....	59
7.2	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb</i> .....	61
7.3	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb mit 2 Erdseilen</i> .....	63
7.4	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb bei Vorhandensein eines Reduktionsleiters</i> .....	65
7.5	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 2-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb bei unterschiedlichen Phasenbelegungen</i> .....	68
7.6	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Falle eines einpoligen Kurzschlusses</i> .....	75
7.7	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch zwei 380-kV-Kabelsysteme in Dreieckanordnung im Normalbetrieb</i> .....	79
7.8	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch zwei 380-kV-Kabelsysteme in Dreieckanordnung im Normalbetrieb bei Vorhandensein eines zusätzlichen Reduktionsleiters</i> .....	82
7.9	<i>Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch zwei 380-kV-Kabelsysteme in Dreieckanordnung im Normalbetrieb bei unterschiedlicher Phasenbelegung</i> .....	85
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick</b> .....	<b>100</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>102</b>

# 1 Zeichenerklärungen, Begriffe und Definitionen

Dieses Kapitel dient zur Erklärung verschiedener Zeichen und Begriffe, wie sie in der vorliegenden Arbeit vorkommen und verwendet werden.

## 1.1 Systematik der Formelzeichen

- X Skalar
- $\underline{X}$  komplexe Größe
- $\mathbf{X}$  Matrix
- $X_{xy}$  Kopplung des Leiters y auf den Leiter x

## 1.2 Formelzeichen und Abkürzungen

- U Spannung in V
- I Strom in A

*Alle hier nicht erwähnten Formelzeichen werden in der vorliegenden Arbeit unterhalb der Formeln angeführt und aufgezählt.*

## 1.3 Allgemeine Begriffe und Definitionen

Im Folgenden werden einige relevante Begriffe im Sinne dieser Arbeit angeführt, die teils wortwörtlich aus der angegebenen Literatur genommen wurden:

Unter **Beeinflussung** wird die elektrische Einwirkung einer Starkstromanlage auf andere Einrichtungen (Fernmeldeeinrichtungen, Steuerleitungen, Rohrleitungen usw.) oder auf den Menschen durch Kopplung durch das elektrische, magnetische oder durch das stationäre elektrische Strömungsfeld im Erdreich verstanden; die Ausführungen in dieser Arbeit beschränken sich auf die elektrische Beeinflussung durch Kopplung über induktive Widerstände. Hinsichtlich der Dauer der Einwirkung der Beeinflussung ist zwischen Langzeit- und Kurzzeitbeeinflussung zu unterscheiden. [1]

**Beeinflussungen** sind die Einwirkungen einer Bahnanlage oder einer Drehstromanlage auf eine Fernmeldeanlage durch Kopplungen über kapazitive, induktive oder ohmsche Widerstände. [ÖVE-B1/1976]

Unter **elektrischer Beeinflussung** im klassischen Sinn wird die Einwirkung einer Starkstromanlage auf andere Einrichtungen oder auf den Menschen verstanden, wobei diese Einwirkung durch Kopplung über das magnetische Feld oder durch Kopplung über das stationäre elektrische Strömungsfeld im Erdreich entsteht. [2]

Die **Gleichstrombeeinflussung** behandelt vor allem die elektrochemische Wirkung von Gleichströmen im Erdreich auf Anlagen und Betriebsmittel und umfasst das Gebiet der sogenannten „Streustromkorrosion“. [2]

**Elektrochemische Beeinflussung** ist die Beeinflussung anderer Anlagen durch die korrosive Wirkung von Gleich- und Wechselströmen. [eigene Definition]

**Niederfrequente Beeinflussung** ist eine elektrische und magnetische Beeinflussung von Anlagen durch Leitungen in einem Frequenzbereich von 16,7 Hz bis 10 kHz. [eigene Definition]

**Ohmsche Beeinflussung** ist die Beeinflussung durch das niederfrequente Strömungsfeld im Erdreich. [eigene Definition]

**Induktive Beeinflussung** ist die Beeinflussung durch das niederfrequente magnetische Feld einer elektrischen Anlage. [eigene Definition]

**Kapazitive Beeinflussung** ist die Beeinflussung durch das niederfrequente elektrische Feld einer elektrischen Anlage. [eigene Definition]

**Beeinflussung durch Abstrahlung** ist die Beeinflussung durch das hochfrequente elektromagnetische Feld einer elektrischen Anlage. [eigene Definition]

Die **Langzeitbeeinflussung** ist eine dauernd auftretende Beeinflussung, z.B. durch den Normalbetrieb einer Hochspannungsleitung oder eine häufig, abhängig von Ort und Zeit der Einwirkung in der Stärke veränderliche Beeinflussung, z.B. durch induzierende Ströme in Bahnfahrleitungen im Normalbetrieb. [1]

Unter **Kurzzeitbeeinflussung** versteht man eine seltene Einwirkung im Fehlerfall, z.B. bei Erdkurzschlüssen, die selbsttätig abgeschaltet wird.<sup>1</sup> [1]

Der **Erwartungsfaktor  $w$**  ist ein Wahrscheinlichkeitsfaktor, der für den bei Beeinflussungsuntersuchungen zugrunde zu legenden Strom anzuwenden ist. Werte kleiner als 1 berücksichtigen, dass ein Zusammentreffen aller ungünstigen Umstände gemäß Statistik praktisch nicht vorkommt. [1]

Der **Reduktionsfaktor  $r$**  gibt an, wie stark die in eine beeinflusste Anlage induzierte Spannung durch Kompensationswirkung von Strömen verringert wird, die durch Kopplung über induktive Widerstände in den reduzierenden Leitern fließen. [1]

---

<sup>1</sup> Im Sinne der ÖVE-B1/1976 liegt eine Langzeitbeeinflussung vor, wenn die Einwirkdauer größer als 0,5 Sekunden ist; bei Kurzzeitbeeinflussung soll die Einwirkdauer unter 0,5 Sekunden, möglichst aber unter 0,2 Sekunden liegen.

Der **Einflussbereich** einer Hochspannungsanlage ist der Bereich, in dem Beeinflussungen von Fernmeldeanlagen, Rohrleitungen usw. durch Bahn- oder Drehstromanlagen verursacht werden können. Er wird im Allgemeinen durch den Grenzabstand beschränkt und wird dann **Näherungsbereich** genannt. [1]

Der **Grenzabstand** ist jener größte Abstand in [m] zwischen einer Leitung der Wechselstromanlage und einer beeinflussten Leitung, bis zu dem im Allgemeinen Beeinflussungen zu berechnen sind. [1]

Eine **Näherung** ist das Zusammentreffen einer Starkstromleitung mit einer beeinflussten Leitung innerhalb des Einflussbereiches. [1]

Der **Näherungsabschnitt** ist ein Abschnitt des Einflussbereiches, der durch zwei parallele, senkrecht zur beeinflussenden Leitung stehenden Ebenen begrenzt wird und innerhalb dessen mit gleichbleibenden anderen Einflussgrößen gerechnet werden darf. Der Abstand dieser Ebenen ist die wirksame Länge des Näherungsabschnittes. Die Näherungslänge ist die Summe der wirksamen Länge der Näherungsabschnitte (= **Abschnittslänge**) einer Näherung. [1]

Eine **Gefährdung** ist die Möglichkeit der Schädigung von Personen oder Sachen durch elektrische Einwirkung der Wechselstromanlage. [1]

Eine **Störung** ist die Beeinträchtigung der Funktion von beeinflussten Anlagen. [1]

**Grenzabstand** ist jener größte Abstand von der beeinflussenden Leitung, bis zu welchem im Allgemeinen Beeinflussungen zu berechnen sind. [ÖVE-B1/1976]

**Näherung** ist das Zusammentreffen einer Bahn- oder Drehstromanlage mit einer Fernmeldeanlage innerhalb des Einflussbereiches. [ÖVE-B1/1976]

**Näherungsabschnitt** ist ein Abschnitt des Einflussbereiches, innerhalb dessen mit einem Mittelwert des Abstandes zwischen der beeinflussenden und der beeinflussten Leitung sowie mit gleichbleibenden andere Einflussgrößen gerechnet werden darf. Er wird durch zwei parallele, senkrecht zur beeinflussenden Leitung stehende Ebenen begrenzt. Der Abstand dieser Ebenen ist die Länge des Näherungsabschnittes (= **Abschnittslänge**). [ÖVE-B1/1976]

**Gefährdung** ist die Möglichkeit einer gesundheitlichen Schädigung von Personen durch elektrische oder akustische Einwirkungen beeinflusster Fernmeldeanlagen (Personengefährdung) sowie einer Beschädigung der Fernmeldeanlage (Anlagengefährdung). [ÖVE-B1/1976]

**Störung** ist die Beeinträchtigung der Fernmeldeübertragung durch die im Betrieb einer Bahn- oder Drehstromanlage auftretenden Ströme und Spannungen. [ÖVE-B1/1976]

**Wechselstromanlagen** sind Anlagen der öffentlichen Stromversorgung und Bahnanlagen mit Wechselstrombetrieb. [eigene Definition]

**Bahnanlagen** umfassen Bahnübertragungsleitungen, Fahr- und Speiseleitungen, Kraftwerke, Umformerwerke, Umspannanlagen und Schaltanlagen, welcher der Energieversorgung von Bahnen zuzuordnen sind. [ÖVE-B1/1976]

**Bahnübertragungsleitungen** sind erdsymmetrisch mit Einphasenstrom betriebene Leitungen zwischen Umformerwerken und Umspannanlagen. [1]

**Bahnübertragungsleitungen** sind mit Einphasenstrom betriebene Leitungen zwischen Kraftwerken, Umformerwerken und Umspannanlagen (Netzkupplungsanlagen und Unterwerke). Sie werden erdsymmetrisch betrieben. [ÖVE-B1/1976]

**Unterwerke** sind Umspannanlagen, in denen die Übertragungsspannung auf die Fahrleitungsspannung herabgesetzt wird. [1, ÖVE-B1/1976]

**Fahrleitungen** sind die erdunsymmetrisch betriebenen, zur Stromabnahme durch die Fahrzeuge dienenden Leitungen. Zu ihnen gehören auch Umgehungs- und Verstärkungsleitungen. [1]

**Fahrleitungen** sind die zur Stromabgabe an Fahrzeuge dienenden Leitungen einschließlich der unter Spannung stehenden Teile ihrer Aufhängungsvorrichtungen. Zu ihnen gehören auch Umgehungs- und Verstärkungsleitungen. Sie werden erdunsymmetrisch betrieben. [ÖVE-B1/1976]

**Speiseleitungen** sind erdunsymmetrisch betriebene Verbindungsleitungen zwischen Unterwerken und Fahrleitungen. [1]

**Speiseleitungen** sind Verbindungsleitungen zwischen Unterwerken (bzw. direkt speisenden Kraftwerken) und Fahrleitungen. Sie haben die gleiche Spannung wie die Fahrleitung, werden erdunsymmetrisch betrieben und können ohne eigene Rückleitung verlaufen. [ÖVE-B1/1976]

**Drehstromanlagen** umfassen Drehstromleitungen (Freileitungen und Kabelleitungen), Kraft-, Umspann- und Schaltwerke mit Nennspannungen über 1 kV. Sie werden als erdsymmetrisch betrieben angesehen. [ÖVE-B1/1976]

**Neutraler Punkt** (Mittelpunkt) ist ein Punkt, der allen gleichwertigen Strombahnen eines erdsymmetrisch betriebenen Starkstromsystems gemeinsam ist. [ÖVE-B1/1976]

Der **Neutralpunkt** ist der gemeinsame Punkt eines in Stern geschalteten Mehrphasensystems oder der Mittelpunkt eines Einphasensystems. [DKE-IEV]

**Netze mit isoliertem neutralen Punkt** liegen vor, wenn die neutralen Punkte von Transformatoren, Generatoren und Mittelpunktsbildnern betriebsmäßig nicht an eine

Erdungsanlage angeschlossen sind (ausgenommen Meß- und Schutzeinrichtungen). [ÖVE-B1/1976]

**Netze mit Erdschlusskompensation** liegen vor, wenn der neutrale Punkt eines oder mehrerer Transformatoren oder Mittelpunktsbildner über Erdschlussspulen so geerdet ist, dass die Induktivität dieser Anordnung weitgehend auf die Erdkapazität des Netzes abgestimmt ist. [ÖVE-B1/1976]

**Netze mit niederohmiger Erdung** des neutralen Punktes liegen vor, wenn der neutrale Punkt eines oder mehrerer Transformatoren oder Mittelpunktsbildner unmittelbar oder über strombegrenzende Widerstände geerdet ist und Netz und Schutz so ausgebildet sind, dass es bei Erdschluss an einer beliebigen Stelle zu einer selbsttätigen Abschaltung kommen muss. [1]

**Netze mit vorübergehender niederohmiger Erdung** liegen vor, wenn der neutrale Punkt eines oder mehrerer Transformatoren oder Mittelpunktsbildner unmittelbar oder über strombegrenzende Widerstände geerdet ist und Netz und Schutz so ausgebildet sind, dass es bei Erdschluss an einer beliebigen Stelle zu einer selbsttätigen Abschaltung kommen muss. [ÖVE-B1/1976]

Unter **Normalbetrieb** wird der fehlerfreie Betrieb der Starkstromanlage verstanden. Der Betriebsstrom ist der im Normalbetrieb eines elektrischen Netzes fließende Strom. [1]

**Normalbetrieb** ist der fehlerfreie Betrieb der Starkstromanlage. [ÖVE-B1/1976]

Die **Beeinflussungsspannung** ist die von einer Starkstromanlage in einer beeinflussten Leitung hervorgerufene Spannung. [1]

**Beeinflussungsspannung** ist die von einer Bahn- oder Drehstromanlage an einer beeinflussten elektrischen Anlage durch induktive Kopplung hervorgerufene Spannung. [ÖVE-B1/1976]

Die **Berührungsspannung** ist der Teil der Spannung, der von Menschen überbrückt werden kann, wobei der Stromweg über den menschlichen Körper von Hand zu Fuß oder von Hand zu Hand verläuft. [1]

Die **Erdungsspannung** ist die zwischen einer Erdungsanlage und fernen Erde (Bezugserde) auftretende Spannung. [1]

**Starkstromanlage** ist eine Anlage zur Erzeugung, Transformierung, Umformung, Fortleitung, Verteilung und zum Gebrauch der Elektrizität, die mit Strömen betrieben werden oder bei denen in voraussehbaren Störfällen Störme auftreten, die Personen gefährden oder Sachbeschädigungen verursachen können. In der Praxis sind dies Netze mit Spannungen größer als 50 V und Strömen größer als 2 A. Die verschiedenen Spannungsbereiche unterteilt man in:

- Hochspannungsanlagen: Wechselspannungen > 1000 V, Gleichspannung > 1500 V,
- Niederspannungsanlagen: Spannungsbereich II > 50 V bis 1000 V und
- Kleinspannungsanlagen: Spannungsbereich I < 50 V. [NIN 2000]

**Anlage** ist die Zusammenstellung von elektrischen Betriebsmitteln zur Erzeugung, Übertragung, Umwandlung, Verteilung und Anwendung elektrischer Energie. [DKE-IEV<sup>2</sup>]

**Rohrleitungen** sind alle metallenen oder metallarmierten Rohrleitungen wie Gas-, Wasser-, Öl-, Heiz- und Luftleitungen, einschließlich der mit ihnen in Verbindung stehenden metallenen Bauteile (Behälter u. dgl.). [ÖVE-B5/1969]

Die **induzierte Spannung** ist die skalare Größe gleich dem Linienintegral einer Vektorgröße längs eines Weges C von Punkt a nach Punkt b, auf dem sich Ladungsträger bewegen können:

$$U_i = \int_{r_a(C)}^{r_b} \left( -\frac{\partial A}{\partial t} + v \times B \right) \cdot dr \quad - \quad U_i = Z_{ik} \cdot I$$

Dabei ist an einem Punkt des Weges **A** ein magnetisches Vektorpotential und **B** die magnetische Flussdichte; **v** ist die Geschwindigkeit, mit der dieser Punkt sich bewegt; **r** ist der Ortsvektor und **t** die Zeit.<sup>3</sup> [DKE-IEV]

Der **induzierte Strom** ist der elektrische Strom, der durch Bewegung von Ladungsträgern aufgrund einer induzierten Spannung entsteht. [DKE-IEV]

**Phasenspannung** (= Spannung Außenleiter – Erde) ist die Spannung zwischen einer Phase und Bezugserde an einem gegebenen Punkt eines Stromkreises. [DKE-IEV]

**Längsspannungsabfall** ist der Spannungsabfall an den Leiterlängsimpedanzen. [eigene Definition]

Die **Quellenspannung** ist die idealisierte Versorgungsspannung für den Außenleiter. [eigene Definition]

**Höhenkorrektur** ist die Berücksichtigung der Leiterhöhen über dem Erdboden bei Berechnung der Leiter- und Koppelimpedanzen für Leiter mit Erdrückleitung nach Carson und Pollaczek. [3]

Der **spezifische Bodenwiderstand** ist die Resistivität (spezifischer elektrischer Widerstand) einer typischen Erdprobe. [DKE-IEV]

Die äquivalente **Erdstromtiefe** ist eine Hilfsgröße, mit der man die Tiefe des gedachten Rückleiters im Erdboden angibt, damit die mathematischen Formelsysteme zur Berechnung elektromagnetischer Felder tatsächliche Werte annehmen. [eigene Definition]

Ein **Bündelleiter** ist eine Gruppe einzelner, parallel verbundener Leiter, die in einer einheitlichen geometrischen Form angeordnet sind und die einen Außenleiter oder einen Pol einer Leitung bilden. [DKE-IEV]

<sup>2</sup> Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik-International Electrotechnical Vocabulary

<sup>3</sup> Die induzierte Spannung ist gleich der zeitlichen Ableitung des verketteten Flusses, der dem Weg zugeordnet ist, und hat ein positives oder negatives Vorzeichen gemäß den Vereinbarungen in IEC 60375.



Der **Durchhang** ist der größte vertikale Abstand in einem Freileitungs-Spannfeld zwischen einem Leiter und der Geraden, die dessen Befestigungspunkte verbindet. [DKE-IEV]

**Netz** ist die Gesamtheit der Leitungen und Stationen zur Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, begrenzt durch die geographische Lage, Eigentumsverhältnisse, Spannung usw. [DKE-IEV]

Die **Verdrillung** ist eine Änderung der gegenseitigen Lage der Außenleiter einer Leitung. [DKE-IEV]

Der **Leiter** ist ein zum Führen des elektrischen Stroms geeigneter Draht oder eine Kombination nicht gegeneinander isolierter Drähte. [DKE-IEV]

Ein **Leitungssystem** besteht aus einer Drehstromleitung mit den Phasen L1, L2 und L3 bzw. einer Bahnstromleitung (L1 und L2 oder L). [eigene Definition]

Eine **Leitung** ist eine Anordnung von Leitern, Isolierstoffen und Zubehörteilen zur Übertragung von Elektrizität zwischen zwei Punkten eines **Systems**, das aus der Gesamtheit der zusammengehörigen Außenleiter, Erd- bzw. Kompensationsleiter sowie Masten besteht. [DKE-IEV]

**Einseitig geerdet** bedeutet, dass die erforderlichen Verbindungen hergestellt wurden, damit die Potentialdifferenz zwischen dem einen Ende des Leiters und Erde so klein wie möglich wird. [DKE-IEV]<sup>4</sup>

**Beidseitig geerdet** bedeutet, dass die erforderlichen Verbindungen hergestellt wurden, damit die Potentialdifferenz zwischen den beiden Enden des Leiters und Erde so klein wie möglich wird. [eigene Definition]

**Nicht geerdet** bedeutet, dass keine Verbindung hergestellt wurde, damit die Potentialdifferenz zwischen einem Punkt des Leiters und Erde so klein wie möglich wird. [eigene Definition]

**Aktiv** bezeichnet ein leitfähiges Teil, das unter Spannung steht. [DKE-IEV]

**Inaktiv** bezeichnet ein leitfähiges Teil, das spannungsfrei ist. [DKE-IEV]

Der **Mastabstand** gibt die Entfernung zwischen zwei Masten an. [eigene Definition]

Der **Masterdungswiderstand** ist der Widerstand der Erdverbindung des Mastes. [DKE-IEV]

**Phase** bzw. **Außenleiter** ist die Bezeichnung von Leitern oder Leiterbündeln einer mehrphasigen Wechselstromleitung, die bei Normalbetrieb zu Spannungsführung vorgesehen sind. [DKE-IEV]

Die **Phasenbelegung** gibt die gegenseitige Lage der Phasen (Außenleiter) einer Hochspannungsleitung an. [eigene Definition]

**Isolierumhüllung** von Rohrleitungen oder Kabeln (im Sinne dieser Arbeit) ist deren elektrische Isolierung gegen das umgebende Erdreich (auch Wasser) oder gegen Bauteile,

---

<sup>4</sup> siehe unter Begriff „erden“

und zwar aus Werkstoffen, die einen dauernden Schutz gegen elektrolytische Korrosion erwarten lassen. [ÖVE-B5/1969]

Unter **Freileitungen** werden elektrische ein- oder mehrphasige Leitungen, deren Isolationsmaterial die sie umgebende Luft ist und die im Normalfall elektrische Energie übertragen, verstanden. [eigene Definition]

Eine **Freileitung** ist eine Energieübertragungsleitung, deren Leiter oberhalb des Erdbodens über Isolatoren an Stützpunkten befestigt sind. [DKE-IEV]

**Erdseile** sind mehrfach geerdete elektrische Leiter, die nicht direkt der Leistungsübertragung dienen, sondern die Freileitungen vor Blitzeinschlägen schützen, die induktive Beeinflussung benachbarter Leitungssysteme reduzieren und die Erdungsverhältnisse allgemein verbessern sollen. [eigene Definition]

Ein **Erdseil** ist ein geerdeter oder wenig isolierter Leiter, der an geeigneter Stelle oberhalb der Außenleiter einer Leitung oder einer Station zur Abschirmung dieser Außenleiter gegen Blitzeinschläge angebracht ist. [DKE-IEV]

Im Gegensatz zu Freileitungen sind **Kabel** elektrische ein- oder mehrphasige Leitungen, die für die Bodenverlegung vorgesehen sind und dementsprechend isoliert sind. Grundsätzlich dienen sie der Übertragung elektrischer Energie. Kabel bestehen üblicherweise aus einem Innenleiter, Isolier- und Potentialsteuerschichten und einem Schirm. [eigene Definition]

**Kabel** sind solche mit Metallbewehrung oder Metallmantel. Ausgenommen sind solche Kabel, bei denen ein äußerer Isoliermantel genügender Dicke den mechanischen und Feuchtigkeitsschutz auch nach der Verlegung übernimmt. [ÖVE-B5/1969]

**Kabel** sind Energieübertragungsleitungen mit isolierten Leitern zur Verlegung im Erdreich, in Schächten, in Rohren usw. [DKE-IEV]

Energietechnische Kabel haben üblicherweise einen Schirm. **Kabelschirme** dienen als Leiter der Ableit- und Ausgleichsströme. Die stromtragfähigen Kabelschirme reduzieren die induktive Beeinflussung im Normalbetrieb und im Fehlerfall und verbessern die Erdungsverhältnisse elektrischer Systeme. [eigene Definition]

Der **Kabelschirm** ist eine geerdete metallene Umhüllung zur Begrenzung des elektrischen Feldes auf das Kabelinnere und/oder zum Schutz des Kabels vor äußeren elektrischen Beeinflussungen. [DKE-IEV]

**Reduktionsleiter** werden verlegt (zB in der Nähe von Signalkabeln), um ohmsche, induktive und kapazitive Beeinflussungswirkungen zu reduzieren. Sie sind beidseitig geerdet. [eigene Definition]

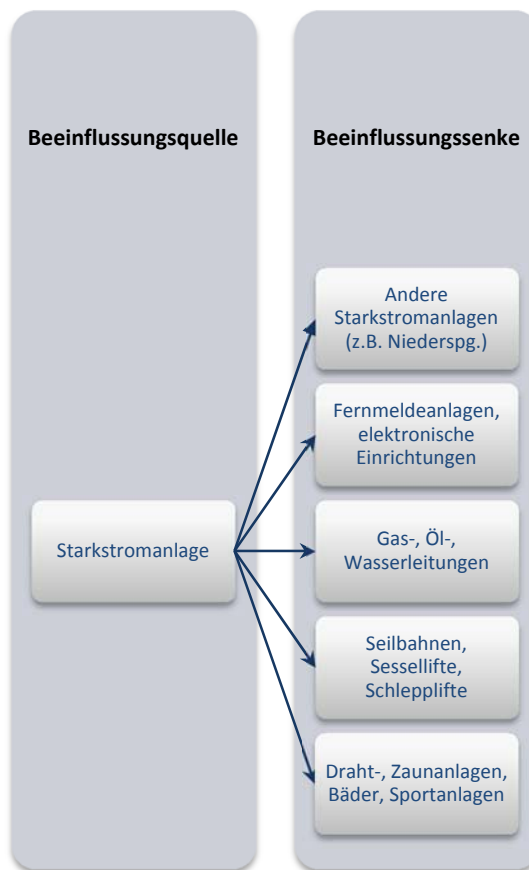
Blanke erdfühlig verlegte Leiter, die der Verbesserung der Erdungsverhältnisse bei niederfrequenten und transienten Ereignissen dienen, werden **Begleiter** genannt. In der vorliegenden Arbeit sind sie jedoch als isoliert gegen Erde angenommen. [eigene Definition]

**Isolierte Leiter** sind durch eine Isolierumhüllung geschützt und dienen der Übertragung von Signalen (z.B. Telefonleitung). Im Modell wird angenommen, dass diese Leiter (z.B. Telekommunikationsleiter) einseitig geerdet sind. [eigene Definition]

## 2 Allgemeines

Die folgenden Passagen sind größtenteils aus der Vorarbeit (Bakkalaureatsarbeit) des Autors, Vergleich von Formeln zur Berechnung induktiver Beeinflussungen (Kapitel 2), entnommen.

Das elektrische Versorgungsnetz mit allen Komponenten, vom Erzeugungspunkt bis zum Verbraucher (z.B. Haushalt), hat die Aufgabe die Elektrizität je nach Bedarf zu verteilen und dem Endverbraucher zur Verfügung zu stellen. Dies bringt jedoch auch ungewollte Nebeneffekte mit sich.



**Abbildung 2.1: Allgemeines Beeinflussungsschema<sup>5</sup>**

Stromführende Anlagen können andere Anlagen, wie z.B. Fernmeldeleitungen, Rohrleitungen auf und unter der Erde und Elektrozäune<sup>6</sup>, beeinflussen und sowohl zur Gefährdung von Personen als auch von Betriebsmitteln führen bzw. Störungen hervorrufen. Diese Beeinflussungen sind unter dem Begriff „Elektrische Beeinflussung“ zusammengefasst.

<sup>5</sup> Vgl. E. Schmutzer, *Niederfrequente Beeinflussung technischer Systeme durch Elektrische Anlagen*, Graz, Kapitel 1, S. 2

<sup>6</sup> Vgl. Dietrich Oeding and Bernd R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 6th ed. Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2004, S. 289

„Unter elektrischer Beeinflussung im klassischen Sinn wird die Einwirkung einer Starkstromanlage auf andere Einrichtungen oder auf den Menschen verstanden, wobei diese Einwirkung durch Kopplung über das magnetische Feld oder durch Kopplung über das stationäre elektrische Strömungsfeld im Erdreich entsteht.“<sup>7</sup>

Neben der im Betriebsfall vorliegenden Beeinflussung ist besonders auch die spannungsinduzierende Wirkung von Erdkurzschlussströmen oder Doppelerdkurzschlussströmen von Bedeutung.

Abbildung 2.2 gibt einen Überblick über die Kategorisierung verschiedener elektrischer Beeinflussungen.

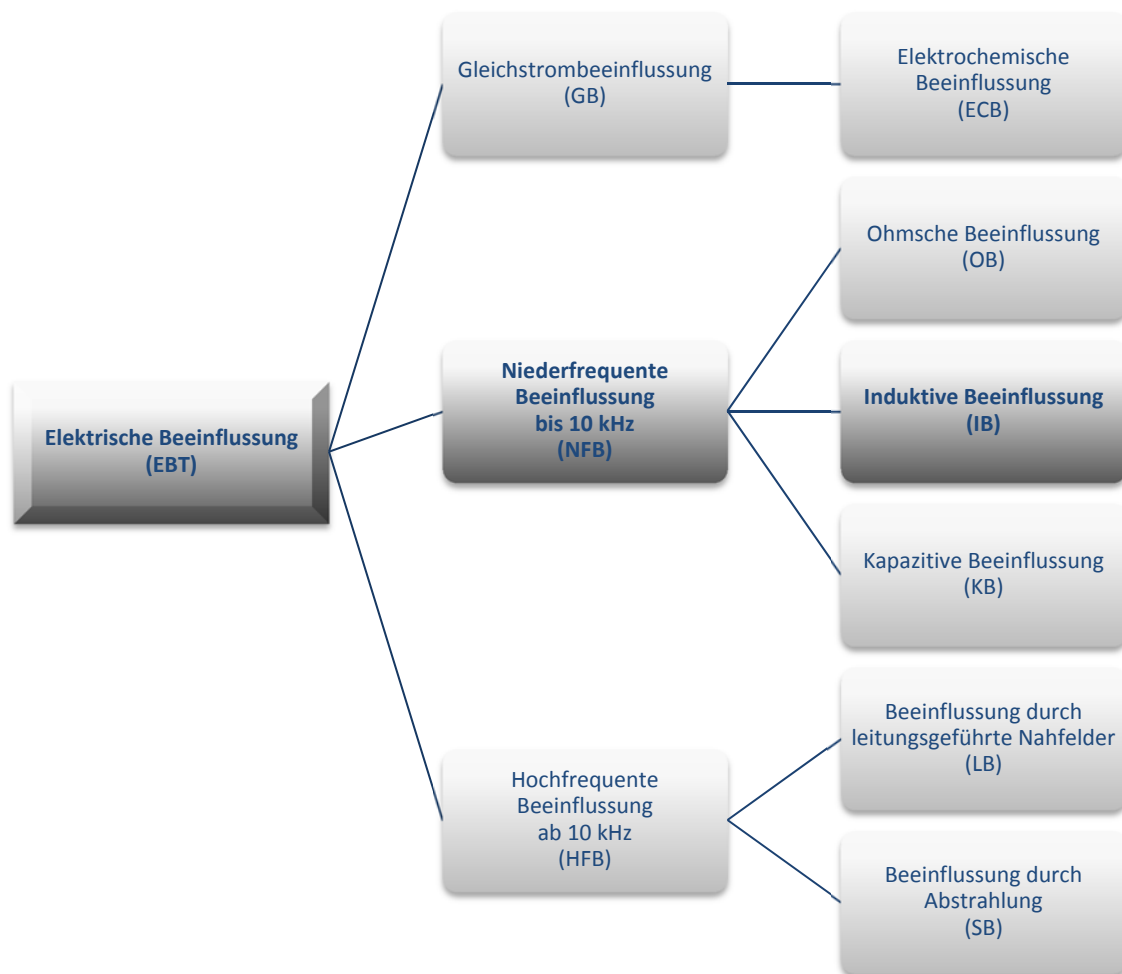


Abbildung 2.2: Übersicht über die verschiedenen Arten der elektrischen Beeinflussung<sup>8</sup>

<sup>7</sup> E. Schmutzner, *Niederfrequente Beeinflussung technischer Systeme durch Elektrische Anlagen*, Graz, Kapitel 1, S. 2

<sup>8</sup> Vgl. E. Schmutzner, *Niederfrequente Beeinflussung technischer Systeme durch Elektrische Anlagen*, Graz, Kapitel 1, S. 2

*Diese Arbeit befasst sich mit der niederfrequenten Beeinflussung durch Starkstromanlagen, die durch Kopplung über das magnetische Feld entsteht – „Induktive Beeinflussung“.*

*Da der Forschungsbereich „Induktive Beeinflussung“ aufgrund der besonders im elektrischen Bereich dichter werdenden Infrastruktur und der daraus folgenden immer aufwendiger gestalteten Sicherheitssysteme einen bedeutenden Teil der Elektrotechnik abdeckt, beschäftigt sich die TU Graz schon seit geraumer Zeit mit diesem Thema im Rahmen des Forschungsprojekts „Induktive Beeinflussung von Fernmeldeanlagen, Pipelines usw.“.*

Zur Forschung im Bereich der „Induktiven Beeinflussung“ werden Simulationswerkzeuge benötigt. Die vorliegende Arbeit stellt eine Dokumentation eines solchen Simulationswerkzeuges dar. Es wurde aus schon bestehenden Berechnungsprogrammen der induktiven Beeinflussung für Freileitungen einerseits und Kabeln andererseits ein weiteres Programm erstellt, welches Beeinflussungen durch Freileitungen und Kabel kombiniert. Mit diesem Programm wurden zu Test- und Forschungszwecken diverse Beeinflussungskonfigurationen berechnet, die im 7. Kapitel näher erläutert werden.

Zu beachten ist jedenfalls, dass das im Rahmen dieser Arbeit erarbeitete Programm nicht als abgeschlossen gesehen werden kann, sondern in Zukunft noch weiteren Veränderungen und Verbesserungen unterliegen wird und an neue Aufgabenstellungen angepasst werden muss.

### 3 Allgemeine Beeinflussungskonfiguration

Zum besseren Verständnis der induktiven Beeinflussung sollen im Folgenden zwei jeweils für Freileitungen bzw. Kabel typische Anordnungen näher erklärt werden.

#### 3.1 Freileitungsanordnung

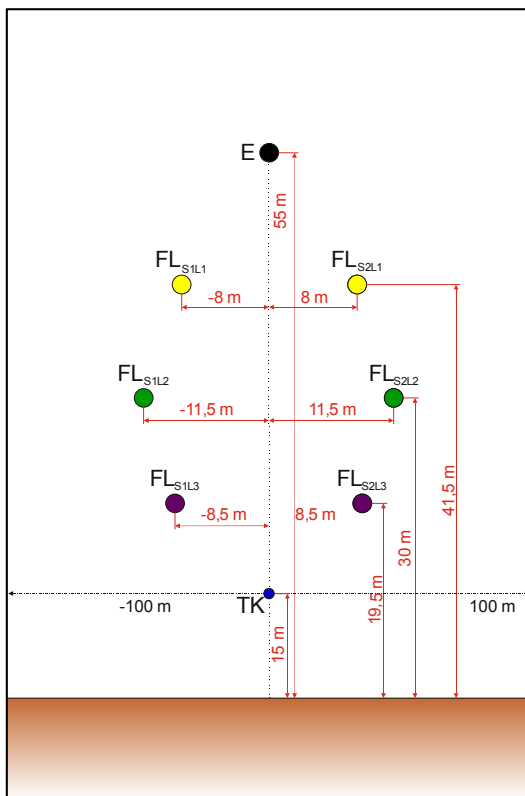


Abbildung 3.1: Mastkopfbild der Freileitungsanordnung

In Abbildung 3.2 ist eine typische Freileitungsbeeinflussungssituation, wie sie in der Praxis vorkommen kann, dargestellt. Das beeinflusste System, z.B. ein Telekommunikationsleiter befindet sich im Näherungsbereich des beeinflussenden Systems, bestehend aus zwei Freileitungssystemen (durch die Blau- bzw. Grüntöne zu unterscheiden), die an Tonnenmasten mit einem Erdseil (Mastkopfbild siehe Abbildung 3.1) geführt werden. Wie die Pfeile zwischen den Leitern zeigen, befindet sich zwischen den einzelnen Leitern jeweils eine gegenseitige Kopplung. Diese gegenseitigen Kopplungen werden neben der Leitergeometrie auch durch andere Parameter, wie dem spezifischen Bodenwiderstand und der Länge des Näherungsabschnittes, bestimmt. Abbildung 3.2 zeigt, dass durch die gegenseitige induktive Kopplung der Leiter untereinander, auch die nicht bespannten Leiter unter Spannung stehen. Diese nicht gewollte Spannung wird als induzierte Spannung bezeichnet.

#### 3.1.1 Bedeutung der Abkürzungen

##### 3.1.1.1 Komponenten

E	Erdseil
FL <sub>S1L1</sub>	1. Phase des 1. Freileitungssystems
FL <sub>S1L2</sub>	2. Phase des 1. Freileitungssystems
FL <sub>S1L3</sub>	3. Phase des 1. Freileitungssystems
FL <sub>S2L1</sub>	1. Phase des 2. Freileitungssystems
FL <sub>S2L2</sub>	2. Phase des 2. Freileitungssystems
FL <sub>S2L3</sub>	3. Phase des 2. Freileitungssystems
TK	Telekommunikationsleiter

### 3.1.1.2 Größen

I	Strom
l	Länge
R	ohmscher Widerstand <sup>9</sup>
U	Spannung
Z	Impedanz
$\rho$	spezifischer Bodenwiderstand

### 3.1.1.3 Indizes

i	induziert
ix	induzierte Spannung des x-ten Abschnittes
lx	Längsspannung des x-ten Abschnittes
Lx	x-te Phase
M	Mast
Ph	Phase
q	Quelle
Sx	x-tes System
SxLx	x-te Phase des x-ten Systems
x	x-ter Abschnitt

---

<sup>9</sup> Der Mastwiderstand  $R_M$  wird aus Gründen der Vereinfachung bei der Berechnung im IBEL-GUI vernachlässigt.



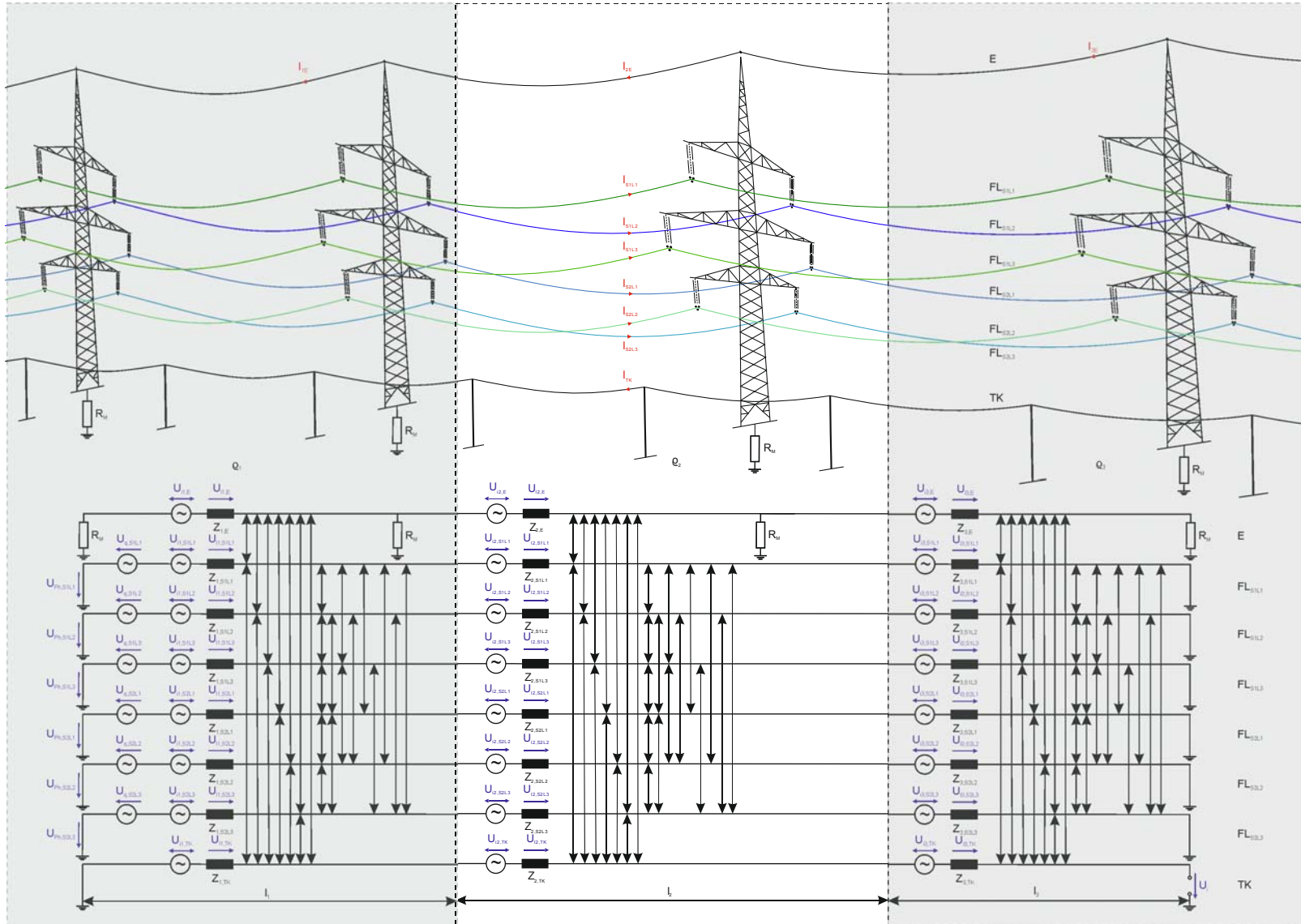


Abbildung 3.2: Typische Beeinflussungssituation mit Freileitungen

## 3.2 Kabelanordnung

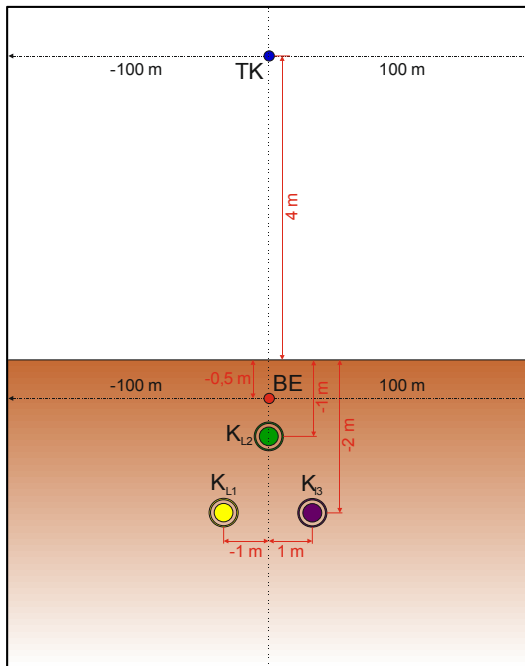


Abbildung 3.3: Verlegeprofil der Kabelanordnung

Die in Abbildung 3.4 dargestellte Beeinflussungssituation zeigt einen Telekommunikationsleiter, der von einem dreiphasigen Kabelsystem (Verlegeprofil in Abbildung 3.3) beeinflusst wird. Zur Verbesserung der Erdungsverhältnisse wird außerdem noch ein Begleiterder parallel dazu gelegt. Weiters ist zu erkennen, dass die Kabelschirme miteinander verdreht sind, um die Symmetrieverhältnisse zu verbessern. Auch hier stellen die Pfeile zwischen den Leitern die gegenseitigen Kopplungen zwischen diesen dar.

### 3.2.1 Bedeutung der Abkürzungen

#### 3.2.1.1 Komponenten

BE	Begleiterder
$K_{L1}$	1. Phase des Kabelsystems
$K_{L2}$	2. Phase des Kabelsystems
$K_{L3}$	3. Phase des Kabelsystems
$K_{L1, \text{Schirm}}$	Schirm der 1. Phase des Kabelsystems
$K_{L2, \text{Schirm}}$	Schirm der 2. Phase des Kabelsystems
$K_{L3, \text{Schirm}}$	Schirm der 3. Phase des Kabelsystems
TK	Telekommunikationsleiter

#### 3.2.1.2 Größen

$I$	Strom
$l$	Länge
$U$	Spannung
$Z$	Impedanz
$\rho$	spezifischer Bodenwiderstand

### 3.2.1.3 Indizes

i	induziert
ix	induzierte Spannung des x-ten Abschnittes
lx	Längsspannung des x-ten Abschnittes
Lx	x-te Phase
Ph	Phase
q	Quelle
x	x-ter Abschnitt

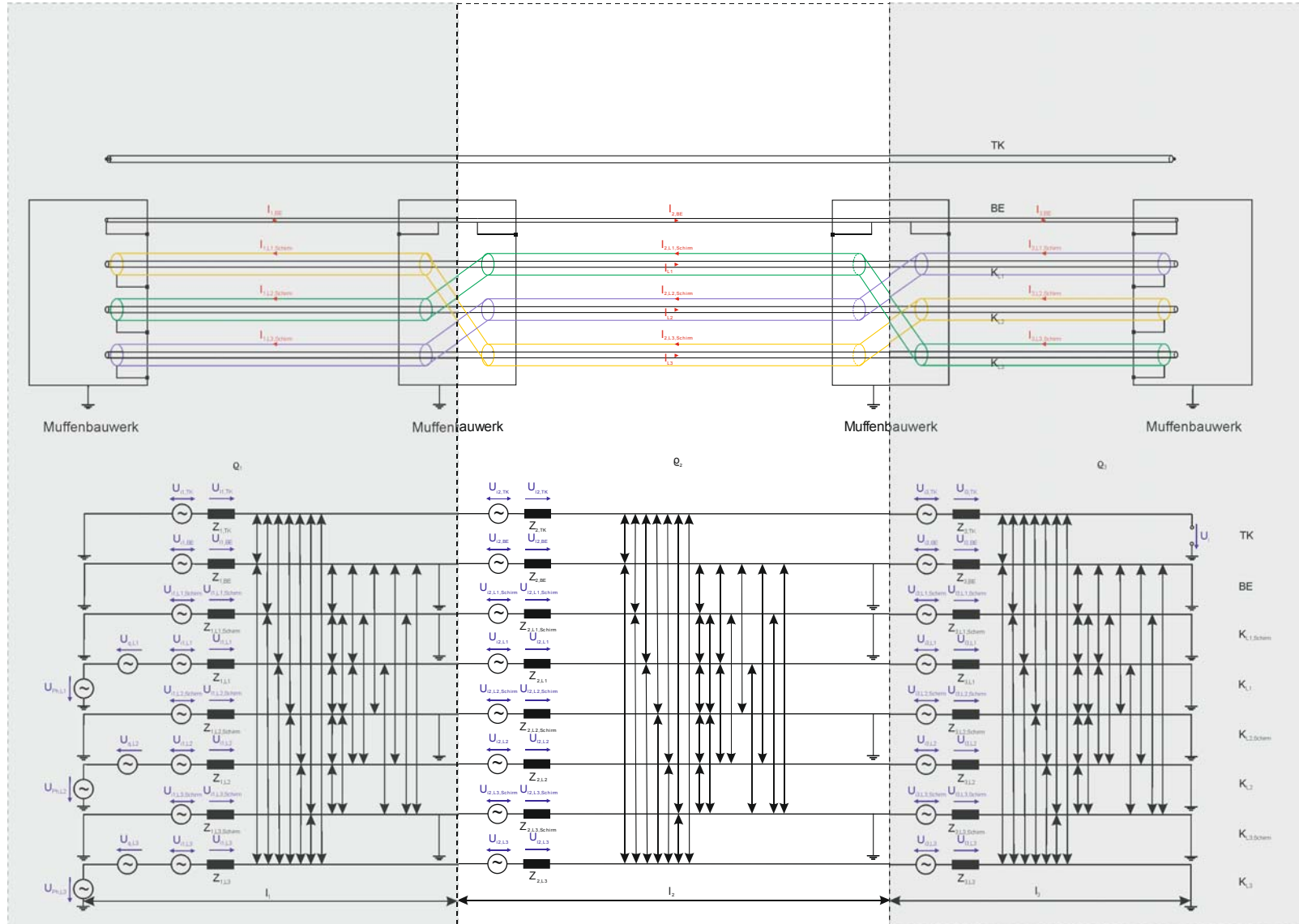


Abbildung 3.4: Typische Beeinflussungssituation mit Kabeln

## 4 Theorie

Das Ziel des vorliegenden Programmes ist die Berechnung der gegenseitig induzierten Spannungen und Ströme von parallelgeführten Leitungssystemen (Näheres dazu in [1]). Im Fokus steht dabei das folgende Gleichungssystem, das es zu lösen gilt:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \vdots \\ \underline{U}_i \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Z}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \vdots \\ \underline{I}_i \end{bmatrix}$$

Formel 4-1

$\underline{I}_1 \dots \underline{I}_i$	induzierender Strom im Leiter i in A
$\underline{U}_1 \dots \underline{U}_i$	Längsspannungen im Leiter i in V
$\underline{\mathbf{Z}}$	Impedanzmatrix in $\Omega$

Der größte Aufwand bei der Lösung dieses Gleichungssystems besteht in der Aufstellung der Impedanzmatrix durch Berechnung ihrer einzelnen Komponenten, nämlich die Selbstimpedanzen und die Koppelimpedanzen.

Neben der Impedanzmatrix und der Möglichkeit die Admittanzmatrix aus der Impedanzmatrix zu ermitteln, um statt induzierter Spannungen induzierte Ströme zu berechnen, wird das Konzept der Hybridmatrix verwendet. Die Hybridmatrix ist eine Kombination aus Impedanz- und Admittanzmatrix und hat den Vorteil gegenüber den beiden anderen Matrixarten, induzierte Spannungen und induzierte Ströme in einem Schritt zu berechnen.<sup>10</sup> Das daraus resultierende umgeformte Gleichungssystem mit der sogenannten Hybridmatrix  $\underline{\mathbf{H}}$  stellt sich folgendermaßen dar:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_a \\ \underline{I}_b \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_a \\ \underline{U}_a \end{bmatrix}$$

Formel 4-2

$\underline{I}_a$	vorgegebene Ströme in A
$\underline{I}_b$	resultierende/induzierte Ströme in A
$\underline{U}_a$	resultierende/induzierte Spannungen in V
$\underline{U}_b$	vorgegebene Spannungen in V
$\underline{\mathbf{H}}$	Hybridmatrix

<sup>10</sup> Bei einem Erdseil ist zB der Strom nicht bekannt. Am Erdseil liegt im Normalbetrieb nämlich keine Spannung an, jedoch wird aufgrund der induktiven Beeinflussung durch die naheliegenden, stromdurchflossenen Leiter ein Strom in diesem fließen, der aber nicht bekannt ist. Demnach muss hier die Spannung des Erdseils auf 0 gesetzt werden und das Gleichungssystem so umgeformt werden, dass der unbekannte Strom im Ergebnisvektor aufscheint.

In diesem Kapitel werden nun die theoretischen Grundlagen für die Beeinflussungsberechnung erarbeitet.

## 4.1 Die Impedanzmatrix

Formel 4-3 beschreibt die allgemeine Form der Impedanzmatrix:

$$\underline{\underline{\mathbf{Z}}} = \begin{bmatrix} \underline{Z}'_{11} & \dots & \underline{Z}'_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{Z}'_{ik} & \dots & \underline{Z}'_{ii} \end{bmatrix} \cdot l$$

Formel 4-3

$l$	Länge des Parallellaufes in m
$\underline{\underline{\mathbf{Z}}}$	Impedanzmatrix in $\Omega$
$\underline{Z}'_{ji}$	Selbstimpedanzen je Längeneinheit in $\Omega/m$
$\underline{Z}'_{ik}$	Koppelimpedanzen je Längeneinheit in $\Omega/m$

Die Impedanzmatrix besteht aus den Selbstimpedanzen und aus den Koppelimpedanzen. Jeder einzelne Leiter besitzt eine Selbstimpedanz  $\underline{Z}'_{ji}$  und hat zu jedem anderen vorhandenen Leiter eine Koppelimpedanz  $\underline{Z}'_{ik}$ . Zur Ermittlung der Impedanzen wird auf die grundlegenden Arbeiten von J.R. Carson und F. Pollaczek zurückgegriffen. Die Impedanzen sind längenbezogene Größen; die aus den Formeln ermittelten Impedanzen sind jeweils auf 1 m bezogen. Im nächsten Abschnitt werden die verwendeten Formeln für Selbst- und Koppelimpedanz aufgelistet.

## 4.2 Formeln zur Berechnung von Selbst- und Koppelimpedanzen

Die im Programm verwendeten Formeln für Selbst- und Koppelimpedanzen zum Aufbau der Impedanzmatrix werden nachfolgend angegeben.

### 4.2.1.1 Die Selbstimpedanzen

Die Formel der Selbstimpedanz für Leiter über der Erde wurde aus [2]<sup>11</sup> genommen und lautet:

$$\underline{Z}'_{ii} = (r_e - \Delta_{ii} + R) + j(x_{ii} + \Delta_{ii} + x_{(i)i}) \quad \text{Formel 4-4}$$

$D_e = \frac{\sqrt{2e}}{\gamma} \delta_E$	äquivalenter Abstand zum Erdrückleiter = Erdstromtiefe in m
f	Frequenz in Hz
h	Höhe des Leiters über dem Erdboden in m
$r_e = \frac{\omega\mu_0}{8}$	Erdwiderstand je Längeneinheit in $\Omega/m$
R	ohmscher Widerstand des Leiters je Längeneinheit in $\Omega/m$
$R_i$	wirksamer Halbmesser des Leiters in m
$x_{ii} = \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \frac{D_e}{R_i}$	Selbstreaktanz der Schleife Leiter-Erde je Längeneinheit in $\Omega/m$
$x_{(i)i} = \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\mu_r}{4}$	innere Reaktanz des Leiters i je Längeneinheit in $\Omega/m$
$\underline{Z}'_{ii}$	Selbstimpedanz in $\Omega/m$
$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{\rho}}$	in $1/m$
$\gamma = 1,7811$	Besselsche Konstante
$\Delta_{ii} = \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{4h}{3\delta_E}$	Höhenkorrektur in $\Omega/m$
$\delta_E = \frac{1,8514}{\alpha}$	Erdstromtiefe bei unendlich langem Leiter in m
$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$	Induktionskonstante in $Vs/Am$
$\mu_r$	relative Permeabilität
$\rho$	spezifischer Bodenwiderstand in $\Omega m$
$\omega = 2\pi f$	Kreisfrequenz in $1/s$

<sup>11</sup> Blatt: II-3.1/10

Da nach [2] bei Leitern, die im Boden liegen (Kabel),  $h = 0$  gesetzt werden kann, fehlt im Gegensatz zu Formel 4-4 die Höhenkorrektur:<sup>12</sup>

$$\underline{Z}'_{ii} = (r_e + R) + j(x_{ii} + x_{(i)i}) \quad \text{Formel 4-5}$$

$D_e = \frac{\sqrt{2e}}{\gamma} \delta_E$	äquivalenter Abstand zum Erdrückleiter = Erdstromtiefe in m
$f$	Frequenz in Hz
$h$	Höhe des Leiters über dem Erdboden in m
$r_e = \frac{\omega\mu_0}{8}$	Erdwiderstand je Längeneinheit in $\Omega/\text{m}$
$R$	ohmscher Widerstand des Leiters je Längeneinheit in $\Omega/\text{m}$
$R_i$	wirksamer Halbmesser des Leiters in m
$x_{ii} = \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \frac{D_e}{R_i}$	Selbstreaktanz der Schleife Leiter-Erde je Längeneinheit in $\Omega/\text{m}$
$x_{(i)i} = \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\mu_r}{4}$	innere Reaktanz des Leiters $i$ je Längeneinheit in $\Omega/\text{m}$
$\underline{Z}'_{ii}$	Selbstimpedanz in $\Omega/\text{m}$
$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{\rho}}$	in $1/\text{m}$
$\gamma = 1,7811$	Besselsche Konstante
$\delta_E = \frac{1,8514}{\alpha}$	Erdstromtiefe bei unendlich langem Leiter in m
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$	Induktionskonstante in $\text{Vs}/\text{Am}$
$\mu_r$	relative Permeabilität
$\rho$	spezifischer Bodenwiderstand in $\Omega\text{m}$
$\omega = 2\pi f$	Kreisfrequenz in $1/\text{s}$

Für die Selbstimpedanz der Kabelschirme muss Formel 4-5 herangezogen werden, da auch diese im Boden verlegt werden. Jedoch ergibt sich aufgrund der Hohlleiterform für die Selbstreaktanz<sup>13</sup>

$$x_{ii} = \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \frac{D_e}{r_a \cdot e^{\frac{4}{3} \left( \frac{r_i \cdot (r_a - r_i)}{(2 \cdot r_i + r_a - r_i)^2} \right)}} \quad \text{Formel 4-6}$$

<sup>12</sup> Vgl. R. Muckenhuber, *Elektrische Anlagen 1, Teil 1*, Vorlesungsunterlagen zur gleichnamigen Vorlesung am Institut für Bau und Betrieb elektrischer Anlagen der TU Graz, 1987, S. 3.1-15

<sup>13</sup> Vgl. G. Herold, *Elektrische Energieversorgung II: Parameter elektrischer Stromkreise, Leitungen, Transformatoren*, 2. Auflage, Wilburgstetten, Deutschland: J. Schlembach-Fachverlag, 2008



$D_e = \frac{\sqrt{2e}}{\gamma} \delta_E$	äquivalenter Abstand zum Erdrückleiter = Erdstromtiefe in m
f	Frequenz in Hz
$r_a$	Außenradius des Leiters in m
$r_i$	Innenradius des Leiters in m
$x_{ij}$	Selbstreaktanz der Schleife Leiter-Erde je Längeneinheit in $\Omega/m$
$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{\rho}}$	in $1/m$
$\gamma = 1,7811$	Besselsche Konstante
$\delta_E = \frac{1,8514}{\alpha}$	Erdstromtiefe bei unendlich langem Leiter in m
$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$	Induktionskonstante in $Vs/Am$
$\rho$	spezifischer Bodenwiderstand in $\Omega m$
$\omega = 2\pi f$	Kreisfrequenz in $1/s$

und die innere Reaktanz  $x_{(j)}$  (Formel 4-16) andere Werte einzusetzen.

#### 4.2.1.2 Die Koppelimpedanzen

Für induktive Kopplungen zwischen Freileitungen, Kabeln, Kabelschirmen, Erdseilen, Reduktionsleitern, isolierten Leitern und Begleiterdern wurde die Näherung von Dubanton verwendet:<sup>14</sup>

$$Z'_{ik} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{(h_i + h_k + 2p)^2 + x_{ik}^2}}{d_{ik}} \quad \text{Formel 4-7}$$

$$\underline{p} = \frac{1}{\sqrt{\frac{j\omega\mu_0}{\rho}}} = e^{-j\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega\mu_0}{\rho}}} = (1-j) \frac{\delta_E/\sqrt{2}}{1,85137} \quad \text{Formel 4-8}$$

$$d_{ik} = \sqrt{x_{ik}^2 + (h_i - h_k)^2} \quad \text{Distanz zwischen den gekoppelten Leitern in m}$$

f                      Frequenz in Hz

<sup>14</sup> Dietrich Oeding and Bernd R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 6th ed. Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2004, S. 277 bzw.

*Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines*, ITU-T, 1998, S. 160 bzw.

W. Emmer, *Vergleich von Formeln zur Berechnung induktiver Beeinflussungen*, Graz, Kapitel 3, S. 156-168

$h_i$	Höhe des induzierenden Leiters in m
$h_k$	Höhe des induzierten Leiters in m
$\underline{p}$	komplexe Erdstromtiefe in m
$x_{ik}$	horizontale Distanz zwischen den gekoppelten Leitern in m
$Z'_{ik}$	Koppelimpedanz in $\Omega/m$
$\alpha = \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{\rho}}$	in $1/m$
$\delta_E = \frac{1,8514}{\alpha}$	Erdstromtiefe bei unendlich langem Leiter in m
$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$	Induktionskonstante in $Vs/Am$
$\rho$	spezifischer Bodenwiderstand in $\Omega m$
$\omega = 2\pi f$	Kreisfrequenz in $1/s$

#### 4.2.2 Weitere benötigte Formeln

Die folgenden Formeln werden zur Berechnung der Selbst- und Koppelimpedanzen benötigt. Ist der Leiterradius nicht bekannt, erfolgt die Berechnung der Leiterradien über den angegebenen Querschnitt:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi}}$$

Formel 4-9

Q	Leiterquerschnitt in $m^2$
r	Leiterradius in m

Wenn Freileitungen, u.a. zur Minimierung der Verluste, als Bündelleiter angeordnet werden, muss ein Ersatzradius bestimmt werden:<sup>15</sup>

$$r_B = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot r_T^{n-1}}$$

Formel 4-10

n	Anzahl der Teilleiter
r	Leiterradius in m
$r_B$	wirksamer Ersatzradius des Bündelleiters in m
$r_T$	Radius, auf dem die Teilleiter liegen in m

<sup>15</sup> Vgl. Dietrich Oeding and Bernd R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 7. Auflage, Berlin Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2011, S. 284

Der Längswiderstand eines Leiters berechnet sich folgendermaßen:<sup>16</sup>

$$R = \frac{\rho \cdot l}{Q}$$

**Formel 4-11**

$l$	Leiterlänge in m
$Q$	Leiterquerschnitt in mm <sup>2</sup>
$R$	Widerstand des Leiters in $\Omega$
$\rho$	spezifischer Widerstand des Leitermaterials in $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Der temperaturabhängige Widerstand berechnet sich zu:<sup>17</sup>

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_0))$$

**Formel 4-12**

$R_0$	Widerstand des Leiters bei Bezugstemperatur in $\Omega$
$R_{\vartheta}$	Widerstand des Leiters bei der Temperatur $\vartheta$ in $\Omega$
$\alpha$	linearer Temperaturkoeffizient des Widerstandes in $\text{K}^{-1}$
$\vartheta_0$	Bezugstemperatur in K
$\vartheta$	Temperatur in K

Sind die Freileitungen als Bündelleiter angeordnet, so berechnet sich der zugehörige Widerstand mit:<sup>18</sup>

$$R_B = \frac{R}{n}$$

**Formel 4-13**

$n$	Anzahl der Teilleiter
$R$	Widerstand des Leiters in $\Omega$
$R_B$	wirksamer Ersatzwiderstand der Bündelleiter in $\Omega$

<sup>16</sup> Vgl. H. Czichos, Manfred Hennecke, Hütte – Das Ingenieurwissen, 33. Auflage, Berlin, Deutschland: Springer-Verlag, 2007, S. B164

<sup>17</sup> Vgl. R. Muckenhuber, *Elektrische Anlagen 1, Teil 1*, Vorlesungsunterlagen zur gleichnamigen Vorlesung am Institut für Bau und Betrieb elektrischer Anlagen der TU Graz, 1987, S. 3.1-1

<sup>18</sup> Vgl. Dietrich Oeding and Bernd R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 7. Auflage, Berlin Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2011, S. 284

Die innere Reaktanz von Leitern kann mithilfe folgender Formel bestimmt werden:<sup>19</sup>

$$X_i = \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2\pi} \cdot \frac{\mu_r}{4}$$

**Formel 4-14**

f	Frequenz in Hz
$X_i$	innere Reaktanz des Leiters in $\Omega$
$\mu_0=4\pi 10^{-7}$	Induktionskonstante in Vs/Am
$\mu_r$	relative Permeabilität
$\omega=2\pi f$	Kreisfrequenz in 1/s

Wenn die Leiter als Bündelleiter angeordnet sind, so wird die zugehörige innere Reaktanz folgend bestimmt:<sup>20</sup>

$$X_{iB} = \frac{X_i}{n}$$

**Formel 4-15**

n	Anzahl der Teilleiter
$X_i$	innere Reaktanz des Leiters in $\Omega$
$X_{iB}$	wirksame innere Reaktanz der Bündelleiter in $\Omega$

Ist der Leiter ein Hohlleiter, so ist Formel 4-14 um einen Term zu erweitern:<sup>21</sup>

$$X_i = \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}{2\pi} \cdot \frac{\mu_r}{4} \cdot \left[ 1 - \frac{2r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} + \left( \frac{2r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \right)^2 \cdot \ln \frac{r_a}{r_i} \right]$$

**Formel 4-16**

f	Frequenz in Hz
$r_a$	Radius des Leiters in m
$r_i$	Radius des Hohlraumes im Leiter in m
$X_i$	innere Reaktanz des Leiters in $\Omega$

<sup>19</sup> Vgl. R. Muckenhuber, *Elektrische Anlagen 1, Teil 1*, Vorlesungsunterlagen zur gleichnamigen Vorlesung am Institut für Bau und Betrieb elektrischer Anlagen der TU Graz, 1987, S. 3.1-4

<sup>20</sup> Vgl. Dietrich Oeding and Bernd R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 7. Auflage, Berlin Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2011, S. 285

<sup>21</sup> Vgl. R. Muckenhuber, *Elektrische Anlagen 1, Teil 1*, Vorlesungsunterlagen zur gleichnamigen Vorlesung am Institut für Bau und Betrieb elektrischer Anlagen der TU Graz, 1987, S. 3.1-4

$\mu_0=4\pi 10^{-7}$	Induktionskonstante in $\text{Vs}/\text{Am}$
$\mu_r$	relative Permeabilität
$\omega=2\pi f$	Kreisfrequenz in $1/\text{s}$

Die Höhe von freihängenden Leitern muss aufgrund ihres Durchhanges korrigiert werden:<sup>22</sup>

$$h = h_{\text{Mast}} - 0,7 \cdot f_{\text{max}}$$

**Formel 4-17**

$h$	mittlere Höhe des Leiters über dem Erdboden in m
$h_{\text{Mast}}$	Höhe des Leiterseils an der Mastaufhängung in m
$f_{\text{max}}$	Maximum der Durchhangskurve in m

---

<sup>22</sup> Vgl. Dietrich Oeding and Bernd R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 6th ed. Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2004, S. 262

### 4.3 Die Hybridmatrix

Ausgehend von der in 4 Quadranten unterteilten Impedanzmatrix  $\underline{Z}$ :

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{AA} \\ \underline{Z}_{BA} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{AB} \\ \underline{Z}_{BB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{array}{ccc|ccc} \underline{Z}_{-11} & \dots & \underline{Z}_{-1j} & \underline{Z}_{-1,j+1} & \dots & \underline{Z}_{-1i} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{Z}_{-j1} & \dots & \underline{Z}_{-jj} & \underline{Z}_{-j,j+1} & \dots & \underline{Z}_{-ji} \\ \hline \underline{Z}_{-j+1,1} & \dots & \underline{Z}_{-j+1,j} & \underline{Z}_{-j+1,j+1} & \dots & \underline{Z}_{-j+1,i} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{Z}_{-i1} & \dots & \underline{Z}_{-ij} & \underline{Z}_{-i,j+1} & \dots & \underline{Z}_{-ii} \end{array} \end{bmatrix} \quad \text{Formel 4-18}$$

$\underline{Z}_{AA}$	Teilmatrix des 1. Quadranten AA mit den Selbst- und Koppelimpedanzen der Leiter in $\Omega$
$\underline{Z}_{AB}$	Teilmatrix des 2. Quadranten AB mit den Koppelimpedanzen der Leiter in $\Omega$
$\underline{Z}_{BA}$	Teilmatrix des 3. Quadranten BA mit den Koppelimpedanzen der Leiter in $\Omega$
$\underline{Z}_{BB}$	Teilmatrix des 4. Quadranten BB mit den Selbst- und Koppelimpedanz der Leiter in $\Omega$
$\underline{Z}_{-ii}$	Selbstimpedanzen in $\Omega$
$\underline{Z}_{-ik}$	Koppelimpedanzen in $\Omega$

hat die Hybridmatrix nach Hybridisierung der Impedanzmatrix die in Formel 4-19 stehende Form:

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} \underline{H}_{AA} \\ \underline{H}_{BA} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{H}_{AB} \\ \underline{H}_{BB} \end{bmatrix} \quad \text{Formel 4-19}$$

$\underline{H}_{AA}$	Hybridmatrizelement in $\Omega$
$\underline{H}_{AB}$	Hybridmatrizelement
$\underline{H}_{BA}$	Hybridmatrizelement
$\underline{H}_{BB}$	Hybridmatrizelement in S

mit  $\underline{H}_{AA} = \underline{Z}_{AA} - \underline{Z}_{AB} \cdot \underline{Z}_{BB}^{-1} \cdot \underline{Z}_{BA}$  Formel 4-20

$\underline{H}_{AB} = \underline{Z}_{AB} \cdot \underline{Z}_{BB}^{-1}$  Formel 4-21

$$\underline{H}_{BA} = -\underline{Z}_{BB}^{-1} \cdot \underline{Z}_{BA}$$

Formel 4-22

$$\underline{H}_{BB} = \underline{Z}_{BB}^{-1}$$

Formel 4-23

Die Hybridmatrix wird im vorliegenden Programm zur Lösung des Gleichungssystems der induktiven Beeinflussung gebildet, da je nach Komponententyp und dessen Systemzustand sowohl  $\underline{U}$  oder auch  $\underline{I}$  bekannt sein kann.

## 5 Einführung in das Programm<sup>23</sup>

Dieses Kapitel soll eine Hilfestellung für die Benutzer des vorliegenden Programmes IBEL-GUI sein. Es soll sowohl eine verständliche Einführung des Programmes zum selbständigen Erlernen des Umganges mit jenem als auch ein nützliches Nachschlagewerk darstellen.

Reine Anwender des Programmes werden mit diesem Kapitel inklusive dem vorhergehenden und nachfolgenden Kapitel ihr Auskommen finden. Personen, die im Sinne haben, das Programm umzugestalten oder zu erweitern, verweise ich auf die Dokumentation des Programmaufbaus sowie den Programmcode, der vom Institut für elektrische Anlagen bereitgestellt wird.

### 5.1 Start

Nach Aufruf des Programmes in MATLAB erscheint der Startbildschirm, wie in Abbildung 5.1 zu sehen, der im Folgenden näher betrachtet werden soll.

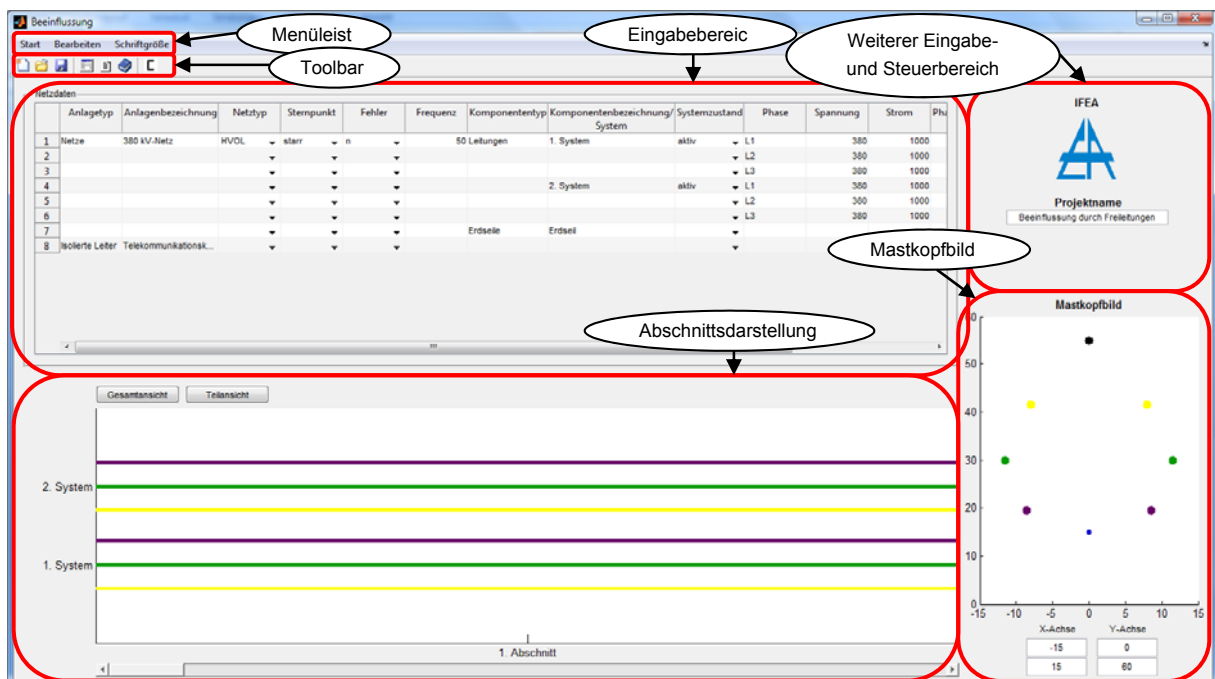


Abbildung 5.1: Der Startbildschirm

Der Startbildschirm ist in 6 Bereiche eingeteilt. Diese Einteilung gilt in weiterer Folge für alle anderen Untermenüs.

<sup>23</sup> Die Beeinflussungsanordnung, anhand deren Hilfe die Programmoberfläche erklärt wird, findet sich in Kapitel 4 Abbildung 3.2 und Abbildung 3.4.



Diese 6 Bereiche sind, in Reihenfolge ihrer Erklärung:

1. Toolbar
2. Eingabebereich
3. Menüleiste
4. Weiterer Eingabe- und Steuerbereich (dieser Bereich wird in der Beschreibung der anderen Bereiche erklärt)
5. Mastkopfbild
6. Abschnittsdarstellung

## 5.2 Die Toolbar

Die Toolbar ist der zentrale Steuerungsbereich zwischen den 3 Untermenüs. Außerdem bringt sie die Möglichkeit mit sich, Projekte einfach zu verwalten. Auch der Startknopf zur Beeinflussungsberechnung befindet sich in der Toolbar.



Abbildung 5.2: Die Toolbar


Anhand von Abbildung 5.2 werden die Elemente der Toolbar von links nach rechts folgend aufgelistet:

1. **„Neues Projekt“**   
Es wird ein neues Projekt erstellt.
2. **„Projekt öffnen“**   
Es wird ein vorhandenes Projekt geöffnet.
3. **„Projekt speichern“**   
Es wird das geöffnete Projekt gespeichert.
4. **„Netzdaten“**   
Es wird zum Untermenü „Netzdaten“ gesprungen.
5. **„Abschnittsdaten“**   
Es wird zum Untermenü „Abschnittsdaten“ gesprungen.
6. **„Seildatenbank“**   
Es wird zum Untermenü „Seildatenbank“ gesprungen.
7. **„Berechnung“**   
Es wird die induktive Beeinflussungsgleichung gelöst und dargestellt.

## 5.3 Der Eingabebereich

Der Eingabebereich besteht aus 3 verschiedenen Abschnitten: Netzdaten, Abschnittsdaten und Seildatenbank. Hier werden die relevanten Kenndaten für die angelegten Komponenten angegeben. In Tabelle 1 ist die Zuordnung der relevanten Kenndaten für diese Komponenten ersichtlich.

### 5.3.1 Netzdaten

Beim Start des Programmes bzw. bei Klick auf das „Netzdaten“-Symbol  in der Toolbar wird das Untermenü „Netzdaten“ aufgerufen.

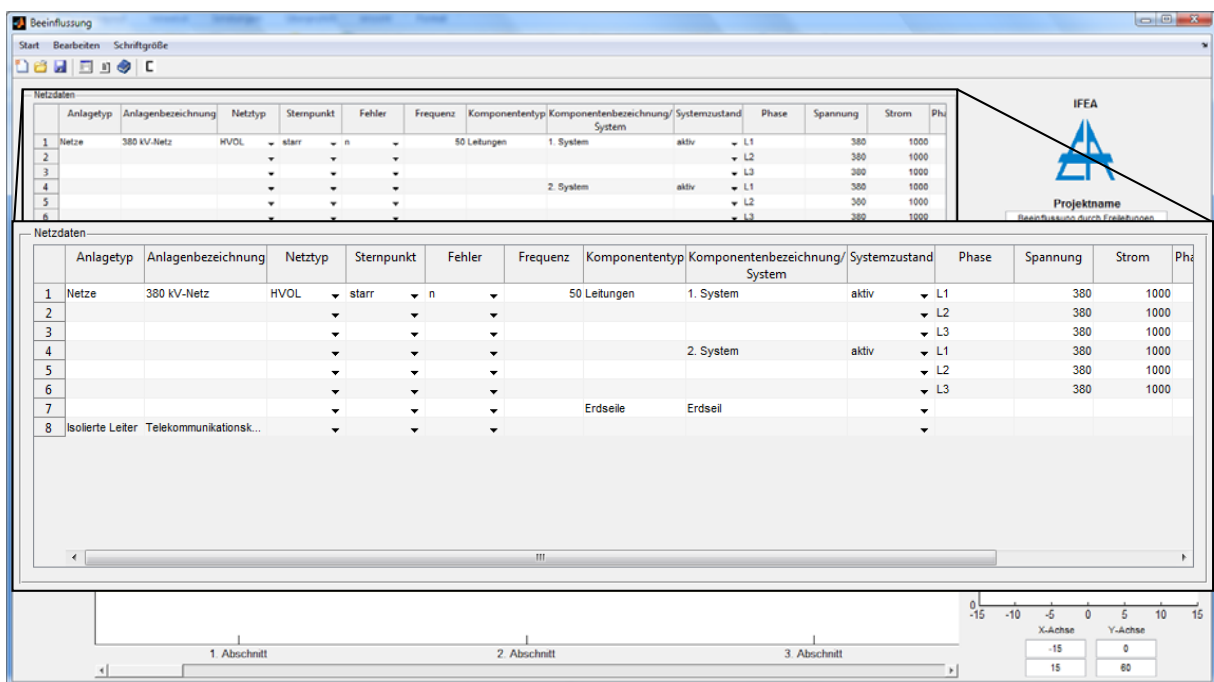


Abbildung 5.3: Das Untermenü "Netzdaten"

Dieses Untermenü besteht aus einer Tabelle mit allen für das vorliegende Projekt benötigten Komponenten. Folgende Komponenten können angelegt werden:

- Netze
  - Freileitungen
  - Erdseile
  - Kabel
  - Kabelschirme
- Reduktionsleiter
- Isolierte Leiter
- Begleiterder

	Eigenschaften	Freileitung	Kabel	Kabelschirm	Erdseil	Reduktions- leiter	Isolierter Leiter	Begleiterder
<b>System</b>	Systemzustand	✓	✓	✓	-	-	-	-
	1-phasig/2-phasig/3-phasig	✓	✓	✓	-	-	-	-
	Frequenz	✓	✓	-	-	-	-	-
	Spannung	✓	✓	-	-	-	-	-
	Strom	✓	✓	-	-	-	-	-
	Phasenwinkel	✓	✓	-	-	-	-	-
<b>Abschnittsdaten</b>	Spezifischer Erdwiderstand	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Abschnittslänge	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Temperatur</b>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Geometrische Anordnung der Leiter</b>	Durchhang	✓	-	-	✓	-	-	-
	Verdrillung	✓	✓	✓	-	-	-	-
	Horizontaler Abstand	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Höhe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Anzahl der Bündelleiter	✓	-	-	-	-	-	-
	Abstand der Bündelleiter	✓	-	-	-	-	-	-
<b>Material-eigenschaften</b>	Ohmscher Widerstand	✓	-	-	✓	-	-	-
	Spezifische Reaktanz	✓	-	-	✓	-	-	-
	Spezifischer Widerstand	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
	Relative Permeabilität	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
	Temperaturkoeffizient	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
	Material	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
	Relative Dielektrizitätszahl	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
<b>Geometrische Abmessungen</b>	Leiterradius	✓	-	-	✓	-	-	-
	Querschnitt	-	✓	-	-	✓	✓	✓
	Innenradius	-	-	✓	-	-	-	-
	Außenradius	-	-	✓	-	-	-	-

Tabelle 1: Auflistung der einzelnen Leiterkenndaten

Die „Netzdaten“-Tabelle besteht aus mehreren Spalten, welche in Tabelle 2 näher ausgeführt werden.

Spalte	Beschreibung	gebraucht für folgende Komponenten
Anlagentyp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Anlagenbezeichnung	Name der jeweiligen Anlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Netztyp	wird für eine spätere Erweiterung des Programmes benötigt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> </ul>
Sternpunkt	wird für eine spätere Erweiterung des Programmes benötigt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> </ul>
Fehler	wird für eine spätere Erweiterung des Programmes benötigt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> </ul>
Frequenz	Frequenz des jeweiligen Netzes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> </ul>
Komponententyp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> <li>• Erdseile</li> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze</li> </ul>
Komponentenbezeichnung/ System	Name der jeweiligen Komponente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Freileitungen</li> <li>○ Erdseile</li> <li>○ Kabel</li> <li>○ Kabelschirme</li> </ul> </li> </ul>
Systemzustand	Zustand der jeweiligen Komponente bzw. des jeweiligen Systems  5 Zustände: <ul style="list-style-type: none"> <li>• aktiv</li> <li>• inaktiv</li> <li>• einseitig geerdet</li> <li>• beidseitig geerdet</li> <li>• nicht geerdet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Freileitungen</li> <li>○ Kabel</li> <li>○ Kabelschirme</li> </ul> </li> </ul>
Phase	Bezeichnung der jeweiligen Phase eines Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Freileitungen</li> <li>○ Kabel</li> </ul> </li> </ul>
Spannung	Spannungswert der jeweiligen Phase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Freileitungen</li> <li>○ Kabel</li> </ul> </li> </ul>

<b>Strom</b>	Stromwert der jeweiligen Phase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Freileitungen</li> <li>○ Kabel</li> </ul> </li> </ul>
<b>Phasenwinkel</b>	Phasenwinkel der jeweiligen Phase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netze             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Freileitungen</li> <li>○ Kabel</li> </ul> </li> </ul>
<b>Betrieb</b>	wird für eine spätere Erweiterung des Programmes benötigt	
<b>Erdung</b>	wird für eine spätere Erweiterung des Programmes benötigt	

Tabelle 2: Spaltenbeschreibung

### 5.3.2 Abschnittsdaten

Bei Klick auf das „Abschnittsdaten“-Symbol  in der Toolbar wird das Untermenü „Abschnittsdaten“ aufgerufen.

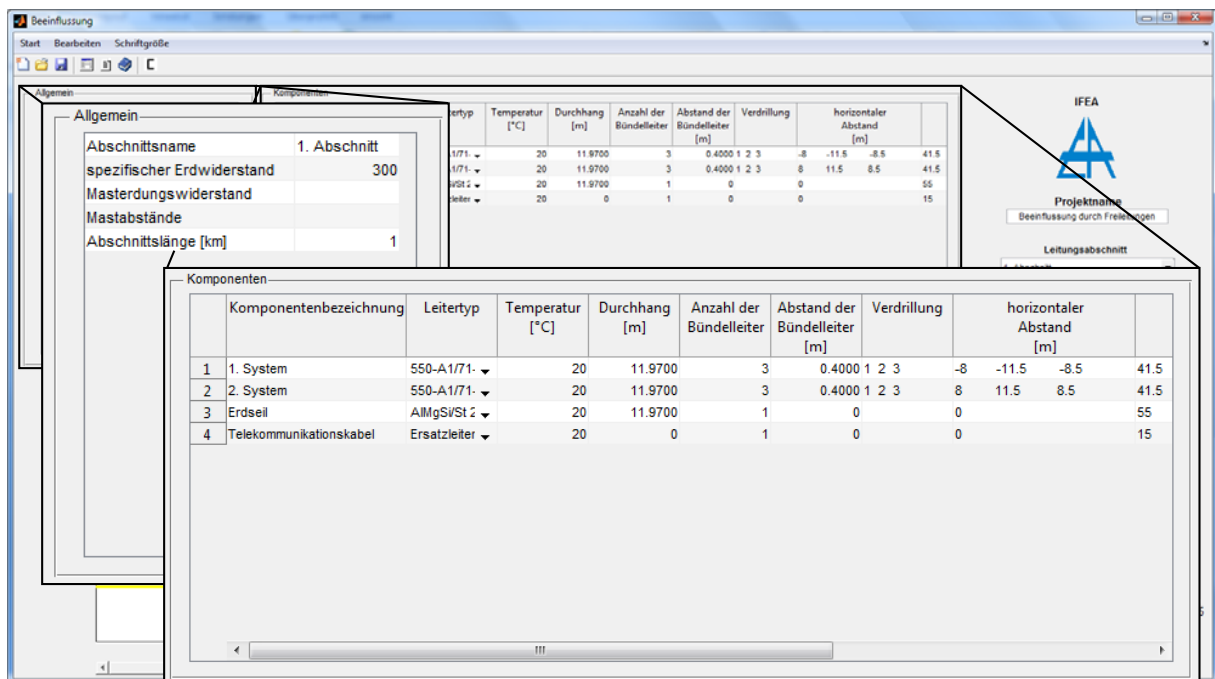


Abbildung 5.4: Untermenü "Abschnittsdaten"

Dieses Untermenü besteht aus zwei Tabellen. Die Tabelle „Allgemein“ beinhaltet die allgemeinen Abschnittsdaten und die Tabelle „Komponenten“ alle Komponenten bzw. Leiter aus den Netzdaten, die dem Abschnitt hinzugefügt wurden.

Nähere Ausführungen zu den Tabellen sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 zu finden.

Zeile	Beschreibung
Abschnittsname	Name des ausgewählten Abschnittes
Spezifischer Erdwiderstand	Spezifischer Erdbodenwiderstand des ausgewählten Abschnittes
Masterdungswiderstand	wird für eine spätere Erweiterung des Programmes benötigt
Mastabstände	wird für eine spätere Erweiterung des Programmes benötigt
Abschnittslänge	Länge des Abschnittes in km

Tabelle 3: Beschreibung der Tabelle „Allgemein“

Spalte	Beschreibung	gebraucht für folgende Komponenten
Komponentenbezeichnung	Name der dem Abschnitt hinzugefügten Komponente	alle
Leitertyp	Auswahl des Leiters aus der Seildatenbank für die jeweilige Komponente	alle
Temperatur	Temperatur der jeweiligen Komponente	alle
Durchhang	Durchhang der jeweiligen Komponente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> <li>• Erdseile</li> </ul>
Anzahl der Bündelleiter	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> </ul>
Abstand der Bündelleiter	Abstand der Bündelleiter untereinander	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> </ul>
Verdrillung	vertauschen der Phasen der jeweiligen Komponente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> </ul>
horizontaler Abstand	horizontaler Abstand des Leiters vom Nullpunkt (für Darstellung)	alle
Höhe	Höhe des Leiters ausgehend vom Erdboden (für Darstellung)	alle
horizontaler Abstand (original)	horizontaler Abstand des Leiters vom Nullpunkt (für Berechnung)	alle
Höhe (original)	Höhe des Leiters ausgehend vom Erdboden (für Berechnung)	alle

Tabelle 4: Beschreibung der Tabelle „Komponenten“

Im weiteren Eingabe- und Steuerbereich kann zwischen den verschiedenen Leitungsabschnitten umgeschaltet werden.

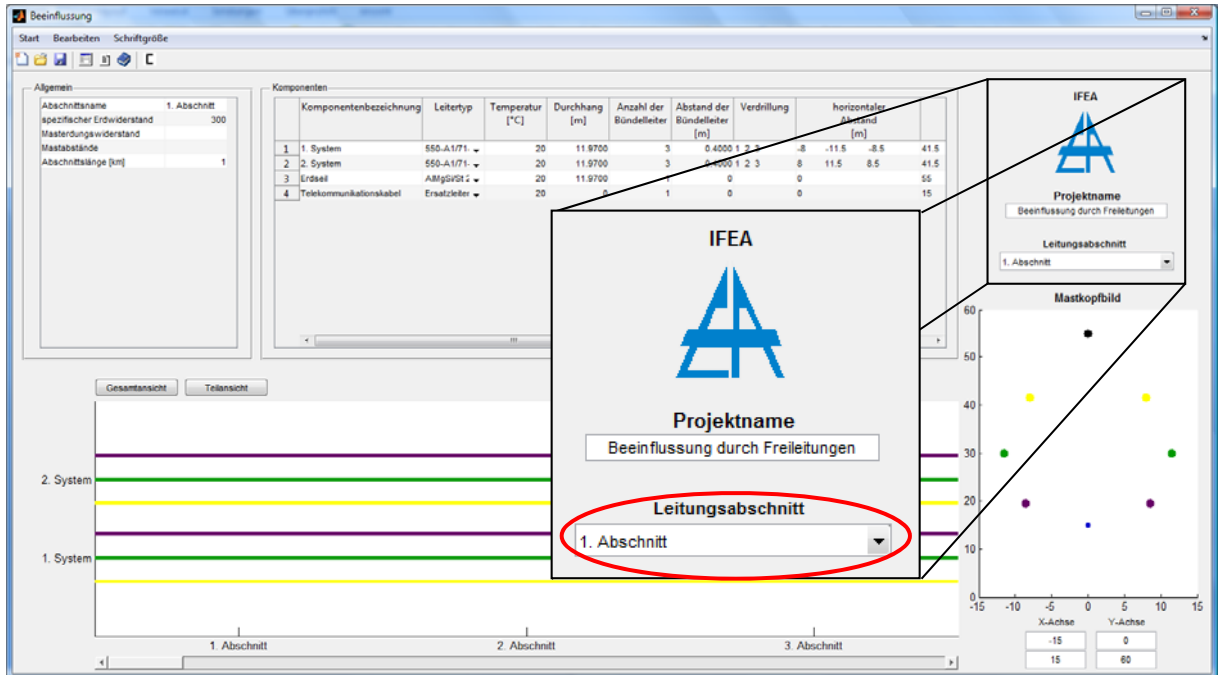



Abbildung 5.5: weiterer Eingabe- und Steuerbereich

### 5.3.3 Seildatenbank

Bei Klick auf das „Seildatenbank“-Symbol  in der Toolbar wird das Untermenü „Seildatenbank“ aufgerufen.

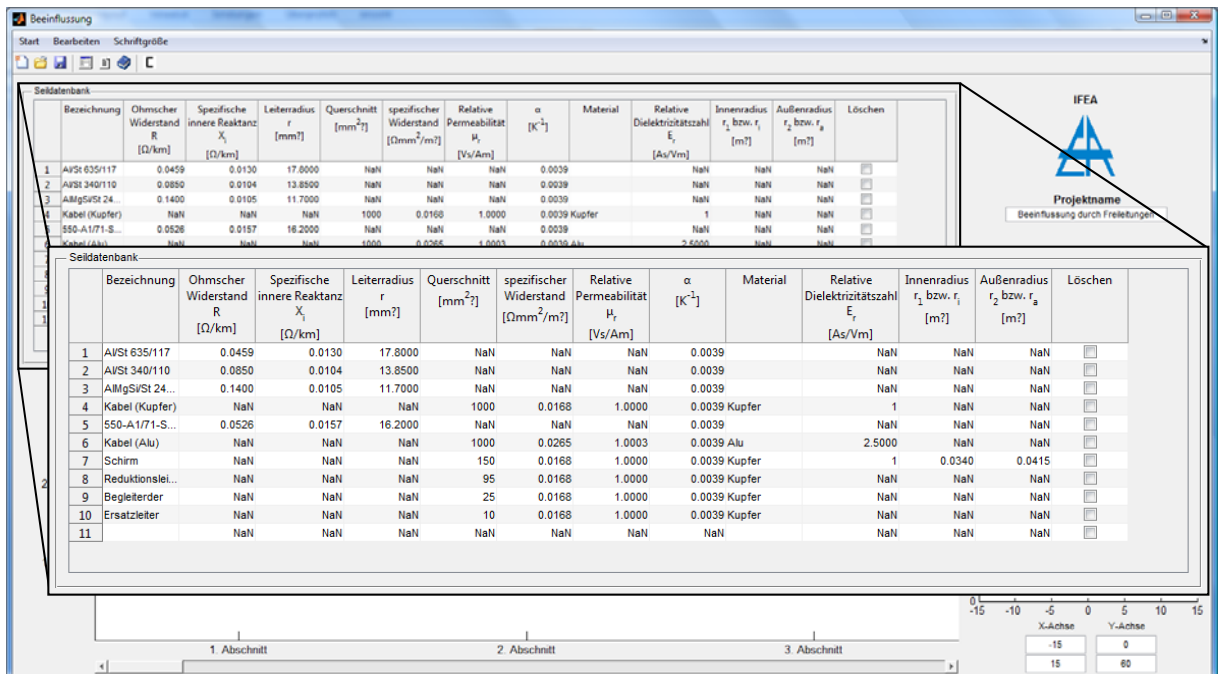


Abbildung 5.6: Untermenü "Seildatenbank"

Dieses Untermenü besteht wiederum nur aus einer Tabelle. Hier können die verschiedensten Leitertypen angelegt werden.

Die „Seildatenbank“-Tabelle besteht aus mehreren Spalten, welche in Tabelle 5 näher ausgeführt werden.

Spalte	Beschreibung	gebraucht für folgende Komponenten
Bezeichnung	Name des Seil-/Leitertyps	alle
Ohmscher Widerstand	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> <li>• Erdseile</li> </ul>
Spezifische innere Reaktanz	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> <li>• Erdseile</li> </ul>
Leiterradius	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freileitungen</li> <li>• Erdseile</li> </ul>
Querschnitt	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Spezifischer Widerstand	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Relative Permeabilität	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Temperaturkoeffizient	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Material	Material des Leiters	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Relative Dielektrizitätszahl	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
Innenradius	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> </ul>



Außenradius	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabel</li> <li>• Kabelschirme</li> <li>• Reduktionsleiter</li> <li>• Isolierte Leiter</li> <li>• Begleiterder</li> </ul>

Tabelle 5: Beschreibung der Tabelle „Seildatenbank“

## 5.4 Die Menüleiste

Die Hauptfunktion der Menüleiste besteht in der Neuanlage von Netzkomponenten und Abschnittskomponenten. Sie besteht aus den 3 Hauptmenüpunkten:

1. Start
2. Bearbeiten
3. Schriftgröße

Diagramm 1 stellt das ganze Menü dar.

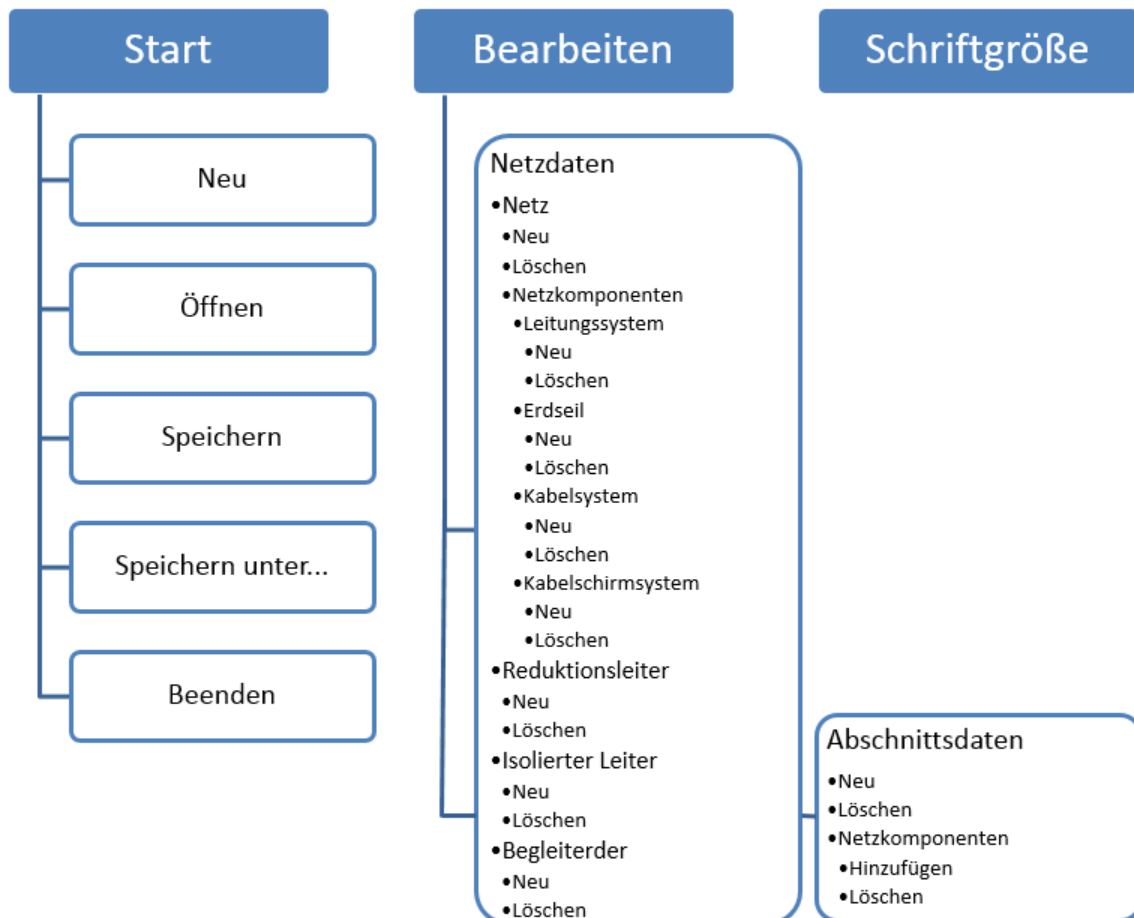


Diagramm 1: Die Menüleiste

### 5.4.1 Start

Bei Klick auf die Menüschaftfläche „Start“ werden mehrere Optionen zur Projektdateiverwaltung angezeigt. Außerdem ist es auch möglich über den Befehl „Beenden“ das Programm zu schließen.

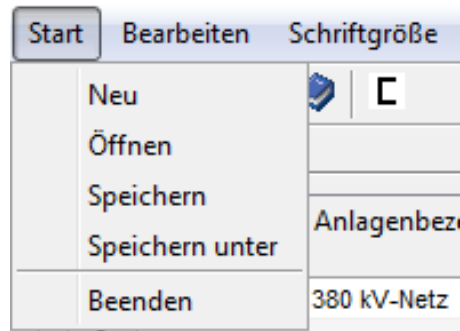


Abbildung 5.7: Optionen unter der Menüschaftfläche "Start"

Folgende Befehlsoptionen stehen unter „Start“ zur Verfügung:

#### 1. Neu

Bei Klick auf den Befehl „Neu“ wird ein neues Projekt erstellt. Zuerst erscheint ein Fenster, über welches der Name des Projektes festgelegt wird (siehe Abbildung 5.8).

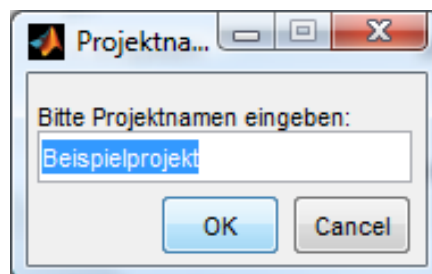


Abbildung 5.8: Übergabe des Namens für das neue Projekt

Nach Übergabe des Projektnamens werden die Standarddaten für ein neues Projekt geladen und angezeigt.

#### 2. Öffnen

Bei Klick auf den Befehl „Öffnen“ kann ein vorhandenes, abgespeichertes Projekt geöffnet werden. Es erscheint ein Fenster, über das die gewünschten Projektdaten, die in einer .mat-Datei abgespeichert sind, ausgewählt werden können.

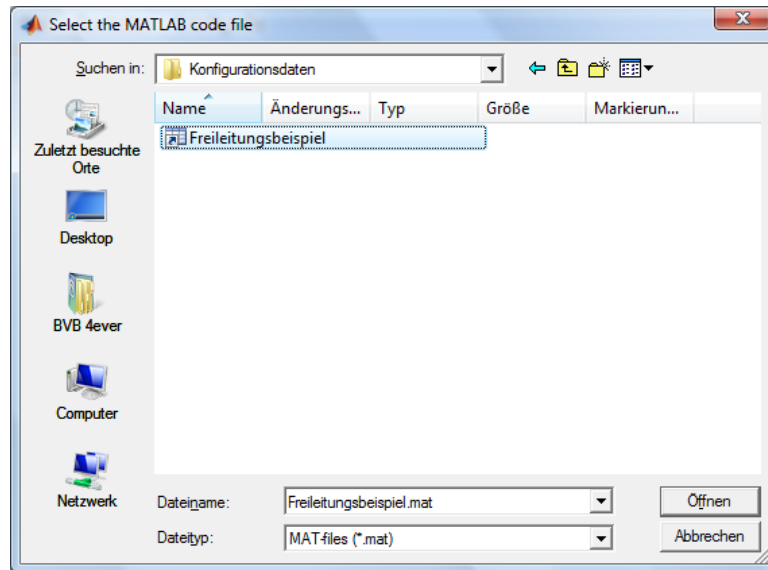


Abbildung 5.9: Auswahlfenster für das Öffnen eines schon vorhandenen Projektes

Nach Betätigen der Schaltfläche „Öffnen“ wird das ausgewählte Projekt geladen und angezeigt.

### 3. Speichern

Bei Klick auf den Befehl „Speichern“ wird das geöffnete Projekt unter dem Projektnamen in dem geöffneten Verzeichnis abgespeichert.

### 4. Speichern unter...

Bei Klick auf den Befehl „Speichern unter ...“ kann das geöffnete Projekt unter einem beliebigen Dateinamen in einem beliebigen Verzeichnis abgespeichert werden. Es erscheint ein Fenster, in dem sowohl das Verzeichnis als auch der Dateiname für die Projektdaten ausgewählt werden können.

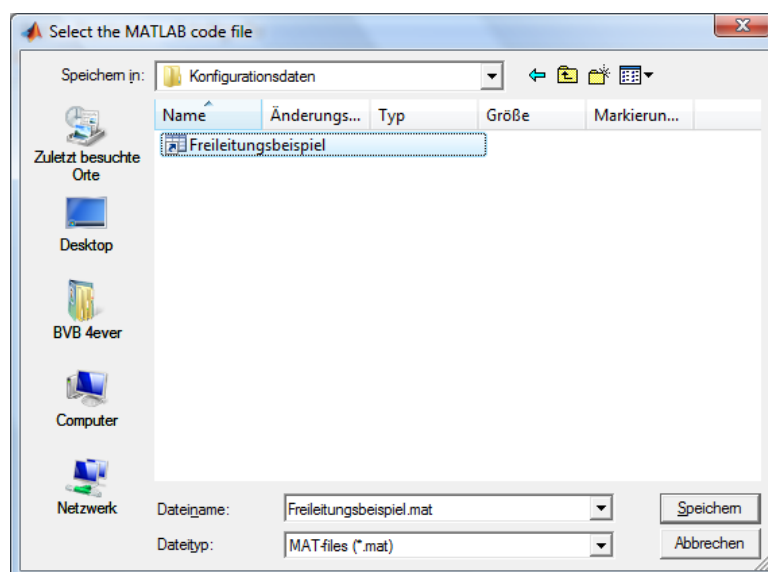


Abbildung 5.10: Auswahlfenster für das Speichern des geöffneten Projektes

Ist der gewählte Dateiname in dem gewünschten Verzeichnis schon vorhanden, wird noch eine Bestätigung des Speichervorganges verlangt.

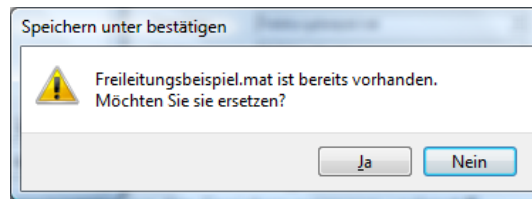


Abbildung 5.11: Speicherbestätigung

## 5. Beenden

Bei Klick auf den Befehl „Beenden“ wird schließlich das gesamte Programm beendet.

### 5.4.2 Bearbeiten

Die Menüschaftfläche „Bearbeiten“ beherbergt Optionen zum Hinzufügen von Projektdaten. Weiters sind auch Optionen zum Löschen bereits vorhandener Projektdaten zu finden.

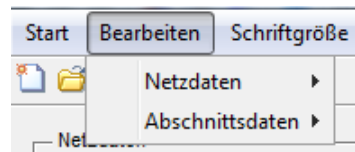


Abbildung 5.12: Optionen unter der Menüschaftfläche "Bearbeiten"

Die Optionen sind in 2 Bereiche unterteilt:

1. Netzdaten: für das Untermenü „Netzdaten“
2. Abschnittsdaten: für das Untermenü „Abschnittsdaten“

#### 5.4.2.1 Netzdaten bearbeiten

Die Schaltfläche „Netzdaten“ unter „Bearbeiten“ ermöglicht es, die Daten im Untermenü bzw. in der Tabelle „Netzdaten“ zu bearbeiten.

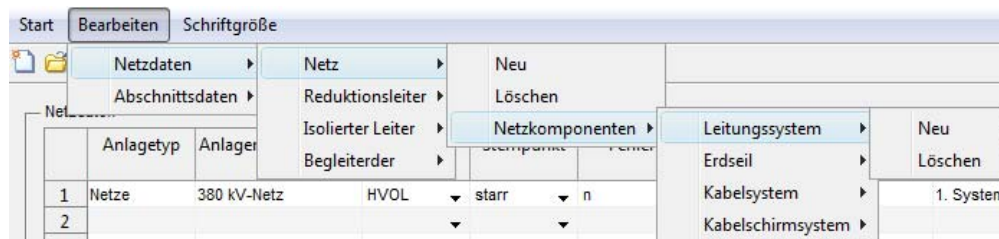


Abbildung 5.13: Das Bearbeiten der Netzdaten – Anlage und Löschen von Komponenten

Wie in Abbildung 5.13 zu sehen ist, können somit alle Komponenten, nämlich

- Netze
  - Freileitungen
  - Erdseile
  - Kabel
  - Kabelschirme
- Reduktionsleiter
- Isolierte Leiter
- Begleiterder

über dieses Menü verwaltet werden, dh sie können sowohl neu angelegt als auch wieder gelöscht werden.

Unter der Menüschaftfläche „Netz“ können Netze neu angelegt oder gelöscht werden sowie Komponenten den Netzen hinzugefügt oder aus den Netzen gelöscht werden. Die Komponenten Reduktionsleiter, isolierter Leiter und Begleiterder haben gesonderte Menüschaftflächen, da sie keinem Netz zugeordnet werden.

Nachfolgend werden die Neuanlage und das Löschen der Komponenten näher erklärt.

## 1. Netze

### a. Neu

Bei Klick auf „Neu“ unter „Netz“ kann ein neues Netz erstellt werden. Bei der Anlage muss jedoch zuvor noch der Name des neuen Netzes angegeben werden (Abbildung 5.14).

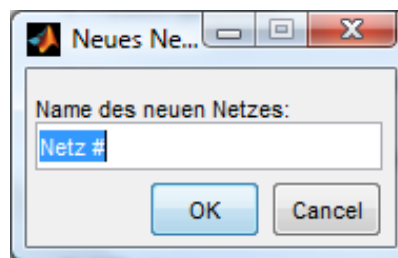


Abbildung 5.14: Fenster zur Namensvergabe des neuen Netzes

### b. Löschen

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Netz“ kann ein oder mehrere vorhandene(s) Netz(e) gelöscht werden. Durch Drücken der „Strg“-Taste kann mithilfe des Cursors die Netzauswahl getroffen werden oder mit „Select all“ gleich alle Netze zum Löschen vorgesehen werden.

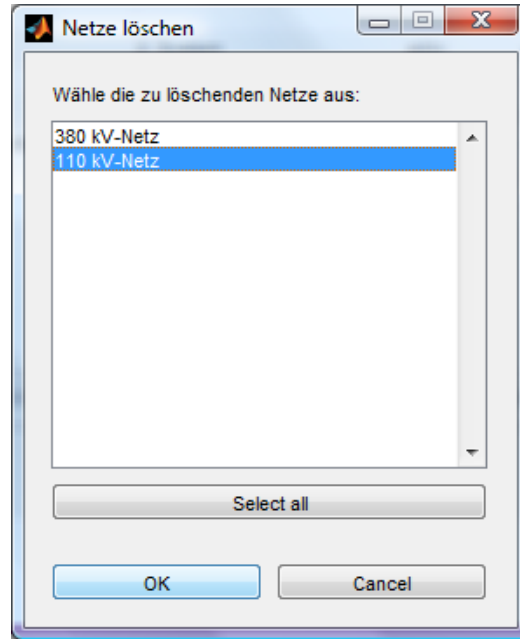


Abbildung 5.15: Fenster zur Auswahl der zu löschenden Netze

Das Drücken der Schaltfläche „OK“ löscht dann die ausgewählten Netze mit allen ihren Komponenten aus dem gesamten Projekt inklusive des Löschens aus den Abschnitten.

## 2. Freileitungen

### a. Neu

Bei Klick auf „Neu“ unter „Leitungssystem“ kann ein neues Freileitungssystem erstellt werden. Bei der Anlage wird noch der Name des neuen Netzes vergeben (Abbildung 5.16).

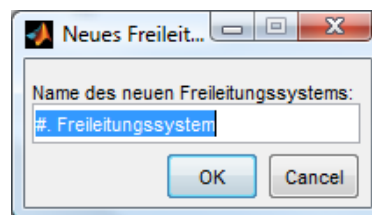


Abbildung 5.16: Fenster zur Namensvergabe des neuen Freileitungssystems

Weiters wird auch noch abgefragt, wieviele Phasen das System haben soll (Abbildung 5.17).

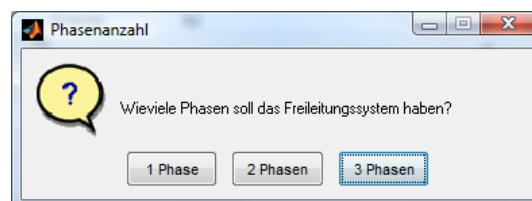


Abbildung 5.17: Auswahlfenster für die Phasenanzahl

Es kann maximal ein dreiphasiges System angelegt werden. Jedoch ist es natürlich auch möglich ein mehrphasiges System aus ein-, zwei- und/oder dreiphasigen Systemen zusammenzustellen.

Zu guter Letzt muss noch angegeben werden, welchem Netz das Freileitungssystem zugeordnet werden soll (Abbildung 5.18).

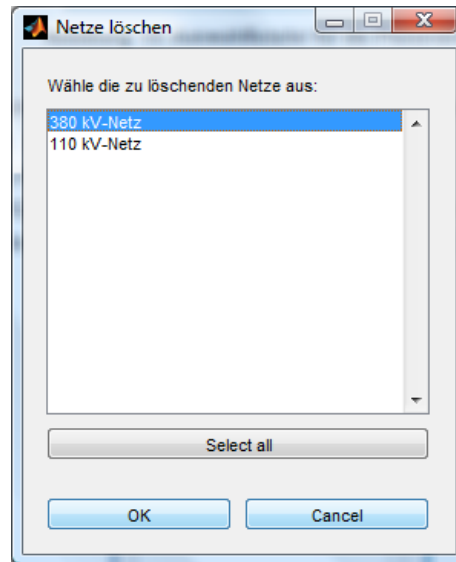


Abbildung 5.18: Zuordnung der Netzkomponente zu einem vorhandenen Netz

*b. Löschen*

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Leitungssystem“ kann ein oder mehrere vorhandene(s) Freileitungssystem(e) gelöscht werden. Zuerst muss das Netz ausgewählt werden, dem das Freileitungssystem zugeordnet wurde (Abbildung 5.19).

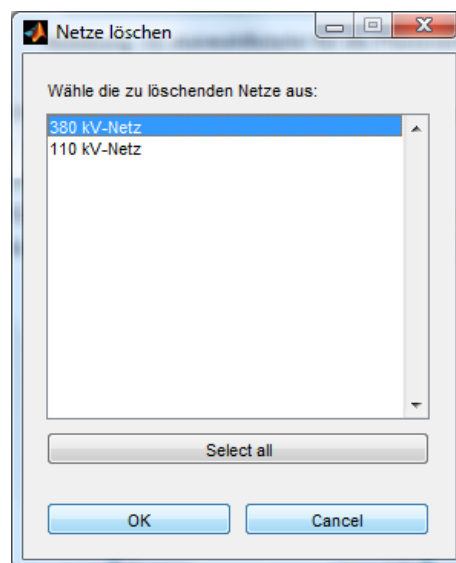
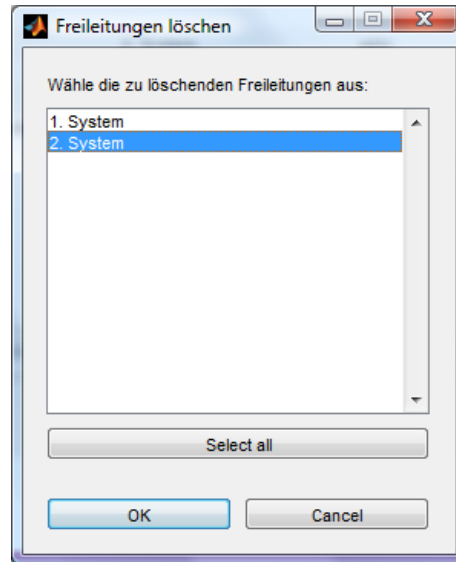


Abbildung 5.19: Fenster zur Auswahl der zu löschenden Netze

Durch Drücken der „Strg“-Taste kann im nächsten Fenster (Abbildung 5.20) mithilfe des Cursors die Systemauswahl (eins oder mehrere) getroffen werden oder mit „Select all“ gleich alle Systeme zum Löschen vorgesehen werden.



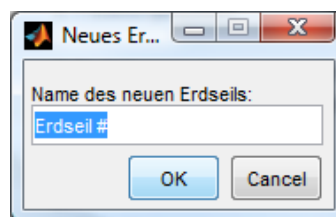
**Abbildung 5.20: Auswahl der zu löschenden Freileitungssysteme**

Das Drücken der Schaltfläche „OK“ löscht dann die ausgewählten Freileitungssysteme aus dem gesamten Projekt inklusive des Löschens aus den Abschnitten.

### 3. Erdseil

#### a. Neu

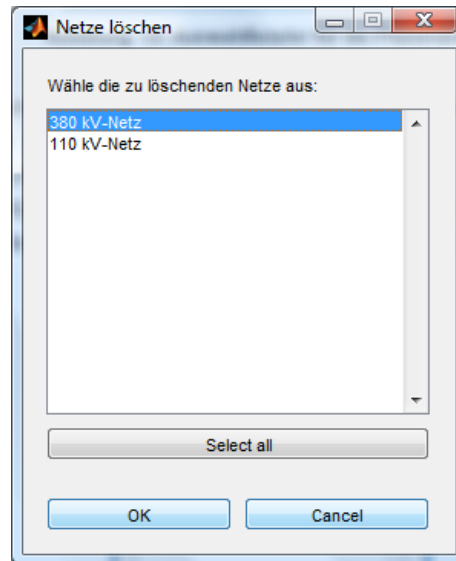
Bei Klick auf „Neu“ unter „Erdseil“ kann ein neues Erdseil angelegt werden. Bei der Anlage wird der Name des neuen Erdseils vergeben (Abbildung 5.21).



**Abbildung 5.21: Fenster zur Namensvergabe des neuen Erdseils**

Dann muss noch angegeben werden, welchem Netz das Erdseil zugeordnet werden soll (Abbildung 5.22).

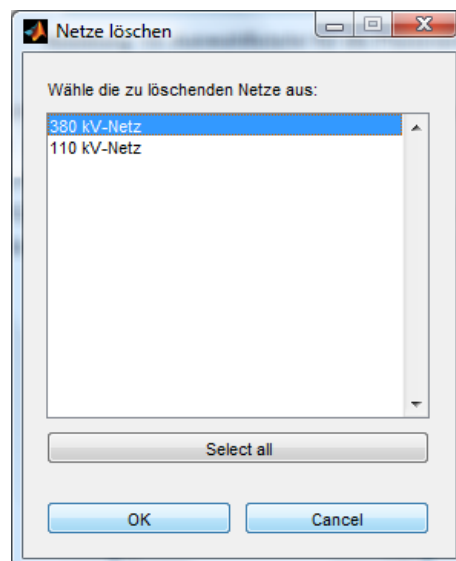




**Abbildung 5.22: Zuordnung der Netzkomponente zu einem vorhandenen Netz**

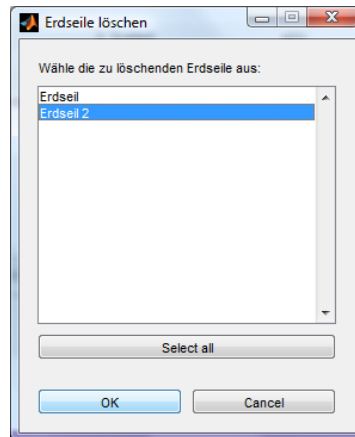
*b. Löschen*

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Erdseil“ kann ein oder mehrere vorhandene(s) Erdseil(e) gelöscht werden. Zuerst muss das Netz ausgewählt werden, dem das Erdseil zugeordnet wurde (Abbildung 5.23).



**Abbildung 5.23: Fenster zur Auswahl des Netzes, dem das Erdseil zugeordnet wurde**

Durch Drücken der „Strg“-Taste kann im nächsten Fenster (Abbildung 5.24) mithilfe des Cursors die Erdseilauswahl (eins oder mehrere) getroffen werden oder mit „Select all“ gleich alle Erdseile zum Löschen vorgesehen werden.



**Abbildung 5.24: Auswahl der zu löschenden Erdseile**

Das Drücken der Schaltfläche „OK“ löscht dann die ausgewählten Erdseile aus dem gesamten Projekt inklusive des Löschens aus den Abschnitten.

#### 4. Kabel

##### a. Neu

Bei Klick auf „Neu“ unter „Kabelsystem“ kann ein neues Kabelsystem erstellt werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie bei der Anlage eines Freileitungssystems (siehe Seite 44).

##### b. Löschen

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Kabelsystem“ kann ein oder mehrere vorhandene(s) Kabelsystem(e) gelöscht werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie beim Löschen eines Freileitungssystems (siehe Seite 45).

#### 5. Kabelschirme

##### a. Neu

Bei Klick auf „Neu“ unter „Kabelschirmsystem“ kann ein neues Kabelschirmsystem erstellt werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie bei der Anlage eines Freileitungssystems (siehe Seite 44).

##### b. Löschen

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Kabelschirmsystem“ kann ein oder mehrere vorhandene(s) Kabelschirmsystem(e) gelöscht werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie beim Löschen eines Freileitungssystems (siehe Seite 45).

#### 6. Reduktionsleiter

##### a. Neu

Bei Klick auf „Neu“ unter „Reduktionsleiter“ kann ein neuer Reduktionsleiter erstellt werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie bei der Anlage eines Netzes (siehe Seite 43).

*b. Löschen*

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Reduktionsleiter“ kann ein oder mehrere vorhandene(r) Reduktionsleiter gelöscht werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie beim Löschen eines Netzes (siehe Seite 43).

## 7. Isolierter Leiter

*a. Neu*

Bei Klick auf „Neu“ unter „Isolierter Leiter“ kann ein neuer isolierter Leiter erstellt werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie bei der Anlage eines Netzes (siehe Seite 43).

*b. Löschen*

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Isolierter Leiter“ kann ein oder mehrere vorhandene(r) isolierter Leiter gelöscht werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie beim Löschen eines Netzes (siehe Seite 43).

## 8. Begleiterder

*a. Neu*

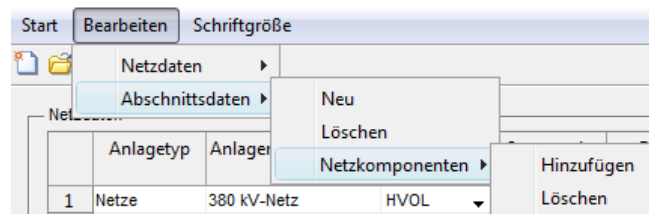
Bei Klick auf „Neu“ unter „Begleiterder“ kann ein neuer isolierter Begleiterder erstellt werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie bei der Anlage eines Netzes (siehe Seite 43).

*b. Löschen*

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Begleiterder“ kann ein oder mehrere vorhandene(r) Begleiterder gelöscht werden. Die Vorgangsweise ist hierbei dieselbe wie beim Löschen eines Netzes (siehe Seite 43).

### 5.4.2.2 Abschnittsdaten

Die Schaltfläche „Abschnittsdaten“ unter „Bearbeiten“ ermöglicht es, die Daten im Untermenü „Abschnittsdaten“ zu bearbeiten.



**Abbildung 5.25: Das Bearbeiten der Abschnittsdaten – Anlage und Löschen von Komponenten**

Wie in Abbildung 5.25 zu sehen ist, können somit neue Abschnitte, in der Reihenfolge ihrer Anlage, angelegt werden, vorhandene Abschnitte gelöscht und angelegte Netzkomponenten Abschnitten hinzugefügt bzw. aus den Abschnitten gelöscht werden.

Nachfolgend werden die vorhandenen Befehlsoptionen für die Abschnitte näher erklärt.

## 1. Abschnitte

### a. Neu

Bei Klick auf „Neu“ unter „Abschnittsdaten“ kann ein neuer Abschnitt erstellt werden. Bei der Anlage muss jedoch zuvor noch der Name des neuen Abschnittes angegeben werden (Abbildung 5.26).

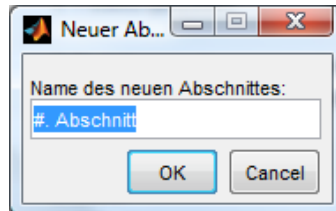


Abbildung 5.26: Fenster zur Namensvergabe des neuen Abschnittes

### b. Löschen

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Abschnittsdaten“ können ein oder mehrere vorhandene(s) Abschnitte(e) gelöscht werden. Durch Drücken der „Strg“-Taste kann mithilfe des Cursors die Abschnittsauswahl getroffen werden oder mit „Select all“ gleich alle Abschnitte zum Löschen vorgesehen werden.

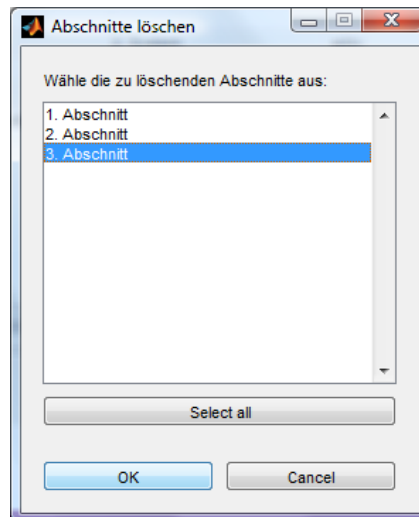


Abbildung 5.27: Fenster zur Auswahl der zu löschenden Abschnitte

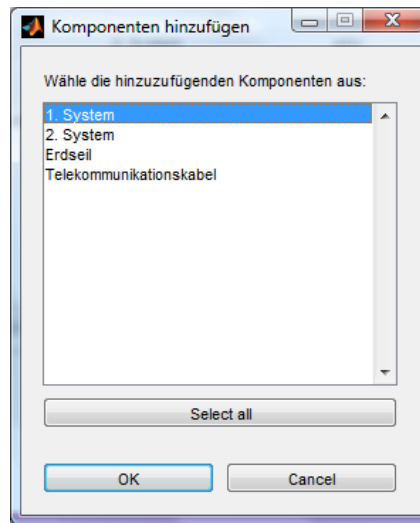
Das Drücken der Schaltfläche „OK“ löscht dann die ausgewählten Abschnitte mit allen ihren Komponenten.

## 2. Netzkomponenten

### a. Hinzufügen

Bei Klick auf „Hinzufügen“ unter „Netzkomponenten“ können vorhandene Komponenten den diversen Abschnitten hinzugefügt werden. Dazu öffnet sich ein

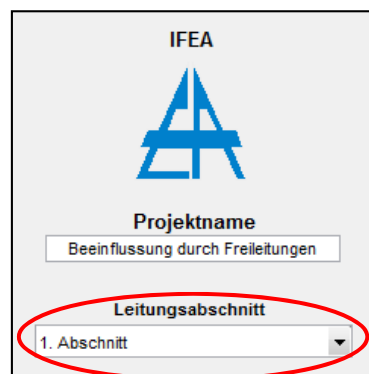
Fenster (Abbildung 5.28) mit allen Komponenten, die im Untermenü „Netzdaten“ angelegt wurden.



**Abbildung 5.28: Auswahlfenster für das Hinzufügen von Komponenten zu einem Abschnitt**

Durch Drücken der „Strg“-Taste kann mithilfe des Cursors die Komponentenauswahl (eine oder mehrere) getroffen werden oder mit „Select all“ gleich alle Komponenten für das Hinzufügen ausgewählt werden.

Durch Klicken auf „OK“ werden die gewählten Komponenten dem aktuell in der Dropdown-Liste „Leitungsabschnitt“ (Abbildung 5.29) ausgewählten Abschnitt hinzugefügt.

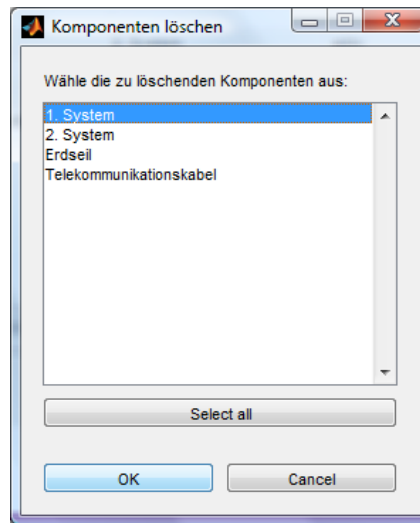


**Abbildung 5.29: weiterer Eingabe- und Steuerbereich mit Dropdown-Liste "Leitungsabschnitt"**

*b. Löschen*

Bei Klick auf „Löschen“ unter „Netzkomponenten“ können eine oder mehrere dem aktuell in der Dropdown-Liste „Leitungsabschnitt“ (Abbildung 5.29) ausgewählten Abschnitt hinzugefügte(n) Komponente(n) aus diesem Abschnitt entfernt werden.

Diese Komponenten werden in einem Fenster (Abbildung 5.30) angezeigt, um sie dort auszuwählen.



**Abbildung 5.30: Fenster zur Auswahl der zu löschenden Abschnittskomponenten**

Durch Drücken der „Strg“-Taste kann mithilfe des Cursors die Komponentenauswahl (eins oder mehrere) getroffen werden oder mit „Select all“ gleich alle Komponenten zum Löschen vorgesehen werden.

Das Drücken der Schaltfläche „OK“ löscht dann die ausgewählten Komponenten aus dem entsprechenden Abschnitt.

## 5.5 Das Mastkopfbild

Das Mastkopfbild (Abbildung 5.31) soll die Übersicht über die Abschnitte durch Visualisierung erleichtern. Es zeigt die Anordnung der Leiter des in der Dropdown-Liste „Leitungsabschnitt“ ausgewählten Abschnittes.

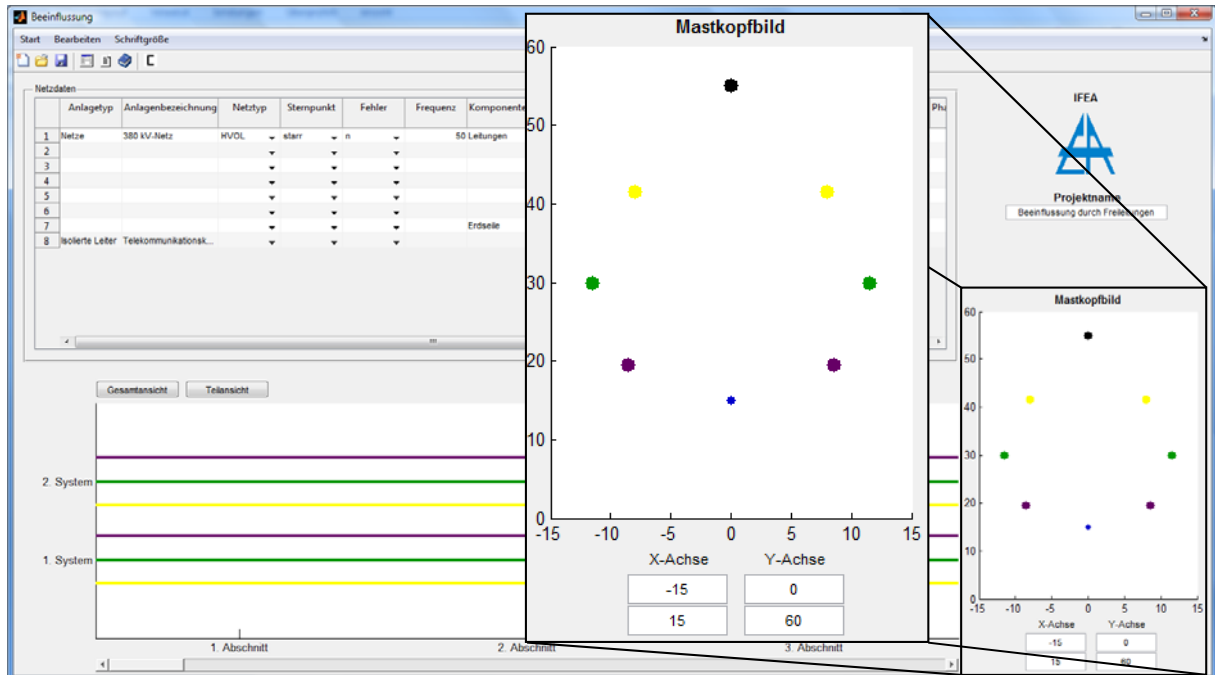


Abbildung 5.31: Das Mastkopfbild

Wie in Abbildung 5.31 zu sehen, haben die Leiter unterschiedliche Farben:

- Gelb für Phase 1,
- Grün für Phase 2,
- Violett für Phase 3,
- Schwarz für Erdseile,
- Blau für isolierte Leiter,
- Rot für Reduktionsleiter und Begleiterder.

Kabelschirme werden durch einen Kreis um die Kabelleiter dargestellt.

Mithilfe der Textfelder unter dem Mastkopfbild kann der Anzeigebereich der Grafik verändert werden.

Weiters besteht die Möglichkeit sich die Bezeichnungen der Leiter im Mastkopfbild anzeigen zu lassen (Abbildung 5.32). Klickt man nämlich auf den gewünschten Leiter mit der linken Maustaste, erscheint dessen Bezeichnung. Ist die Anzeige der Leiterbezeichnung nicht mehr

erwünscht, muss nur auf die jeweilige Bezeichnung mit der linken Maustaste geklickt werden und die Bezeichnung wird wieder ausgeblendet.

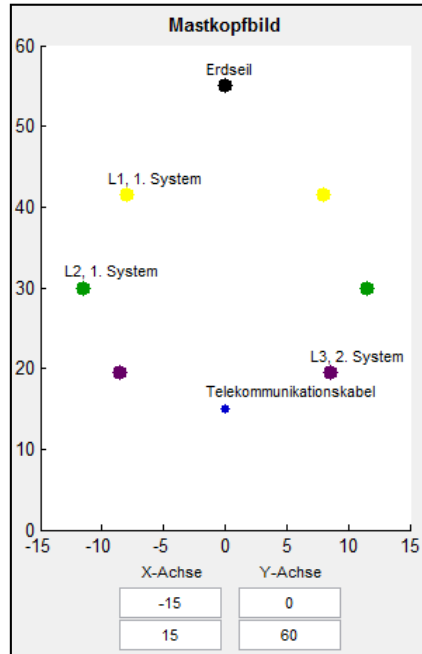


Abbildung 5.32: Mastkopfbild mit Anzeige von Leiterbezeichnungen

## 5.6 Die Abschnittsdarstellung

Die Abschnittsdarstellung (Abbildung 5.33) soll ebenso wie das Mastkopfbild die Übersicht über die Abschnitte durch Visualisierung erleichtern. Es zeigt die Verdrillung der aktiven Leiter des in der Dropdown-Liste „Leitungsabschnitt“ ausgewählten Abschnittes.

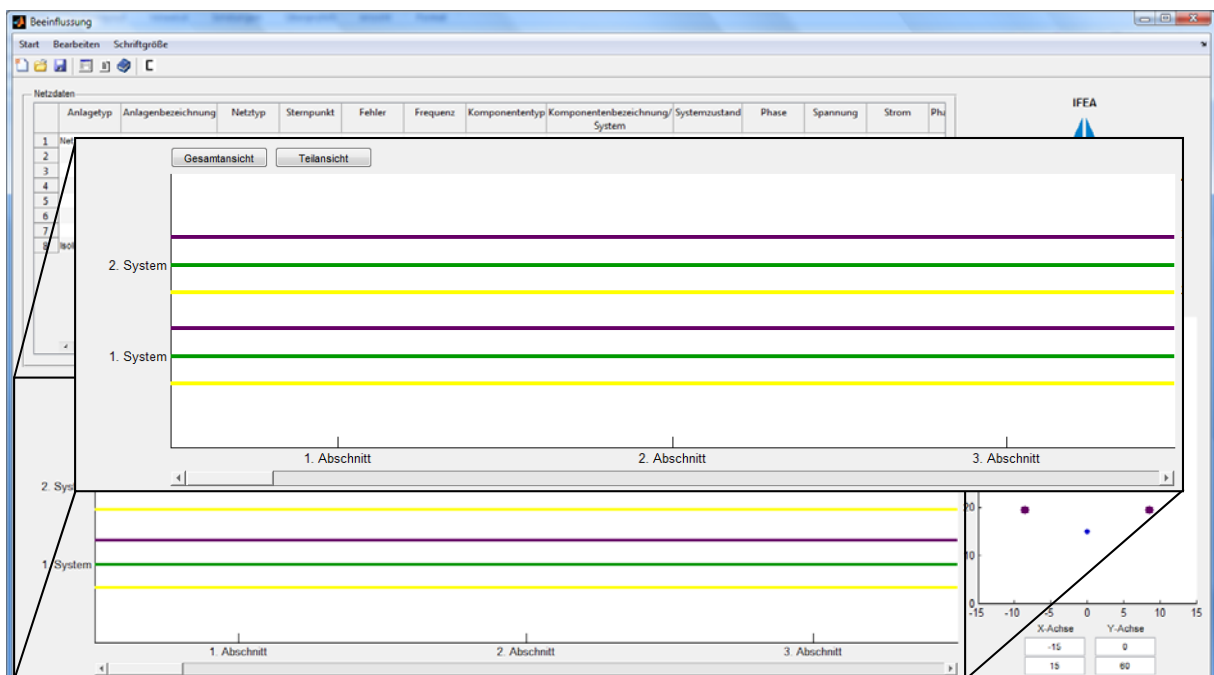


Abbildung 5.33: Die Abschnittsdarstellung




Hier gilt der gleiche Farbkodex für die Leiter wie beim Mastkopfbild. Kabelschirme werden durch eine strichlierte Linie dargestellt.

Die Schaltfläche „Gesamtansicht“ zeigt alle Abschnitte zugleich an.

Die Schaltfläche „Teilansicht“ zeigt 10 Abschnitte zugleich an. Mithilfe des horizontalen Scrollbalkens kann man dann sich durch die Abschnitte durchklicken.

## 5.7 Die Berechnung

Beim Klick auf das „Berechnung“-Symbol  in der Toolbar wird die Impedanzmatrix<sup>24</sup> aufgestellt, diese zu einer Hybridmatrix umgeformt und das Gleichungssystem für die induktive Beeinflussung der eingegebenen Leiterkonfiguration gelöst.

Zuletzt wird das gelöste Gleichungssystem in einem zweiten Fenster, dem Ergebnisfenster, angezeigt.

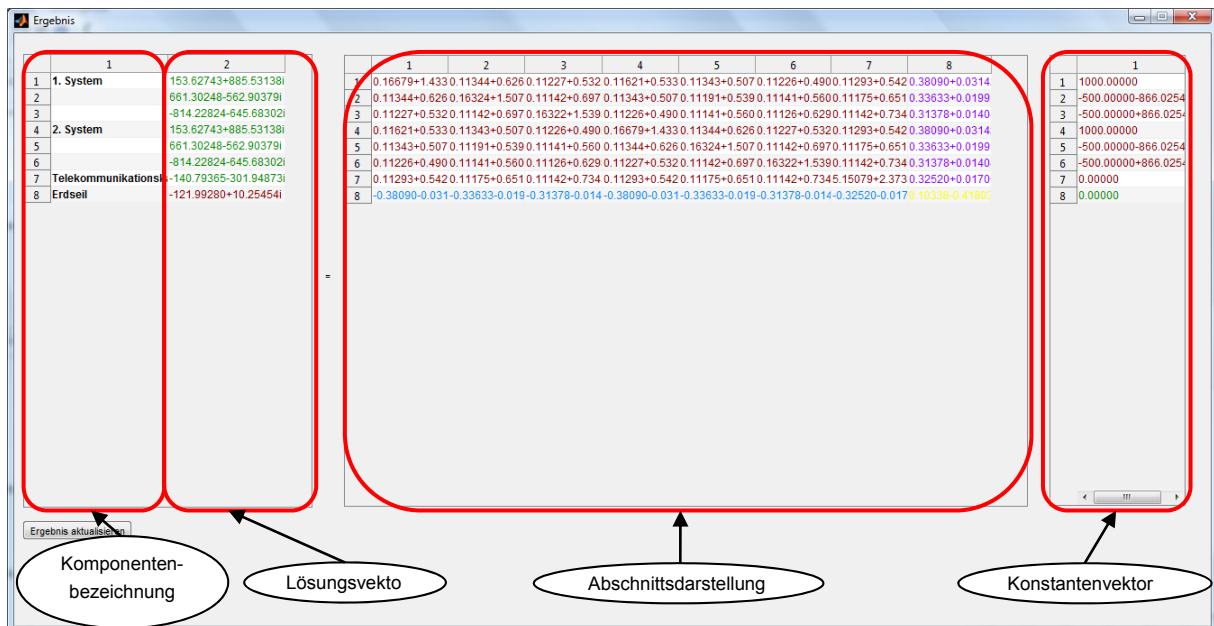


Abbildung 5.34: Das Ergebnisfenster

Die grünen Zahlen in den Vektoren (Lösungsvektor und Konstantenvektor) bezeichnen die Spannungen, die roten Zahlen die Ströme.

In der Matrix bezeichnen die roten Elemente das 1. Viertel der Hybridmatrix, die violetten Elemente das 2. Viertel, die blauen Elemente das 3. Viertel und die gelben Elemente das 4. Viertel.

Mit der Schaltfläche „Ergebnis aktualisieren“ ist nach jeder neuen Berechnung das neue Ergebnis zu aktualisieren.

<sup>24</sup> Es ist die weitere Verwendung der Impedanzmatrix in weiterführenden Berechnungen sowie anderen vorhandenen oder zukünftigen institutseigenen Programmen vorgesehen.

## 6 Summierung der Induktionsbeiträge der diversen Phasen

In diesem Kapitel soll kurz die Vorgehensweise der Berechnung der induzierten Spannung in einem beeinflussten Leiter dargestellt und die Notwendigkeit der Mitberücksichtigung des Phasenwinkels hervorgehoben werden.

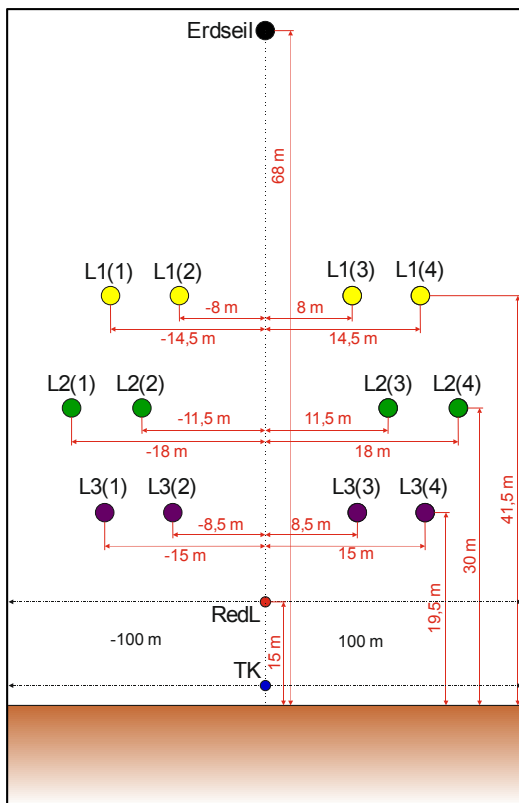


Abbildung 6.1: Beeinflussungsanordnung

Zu diesem Zweck wird nebenstehende Beeinflussungsanordnung (Abbildung 6.1) verwendet. Dabei handelt es sich um einen 4-systemigen Tonnenmast, welcher einen Telekommunikationsleiter beeinflusst. Zusätzlich befindet sich zu Reduktionszwecken ein Reduktionsleiter in 15 m Höhe im Ursprung der horizontalen Achse. Der Telekommunikationsleiter wird dann von -100 m bis 100 m verschoben und die jeweiligen positionsabhängigen  $U_i$ -Werte aufgezeichnet.

Wie in Abbildung 6.2 zu sehen, trägt jede Phase sowie auch das Erdseil und der Reduktionsleiter einen Teil zur induzierten Spannung im Telekommunikationsleiter bei. Wichtig ist jedoch zu beachten, den Phasenwinkel der verschiedenen Beiträge mitzubersichtigen. Geschieht dies nicht, werden nur die Absolutwerte der Induktionsbeiträge summiert, wobei es, wie in Abbildung 6.3 zu sehen, zu einer beträchtlichen

Abweichung zur Summenkurve, mit Berücksichtigung des Phasenwinkels, in Abbildung 6.2 kommt.

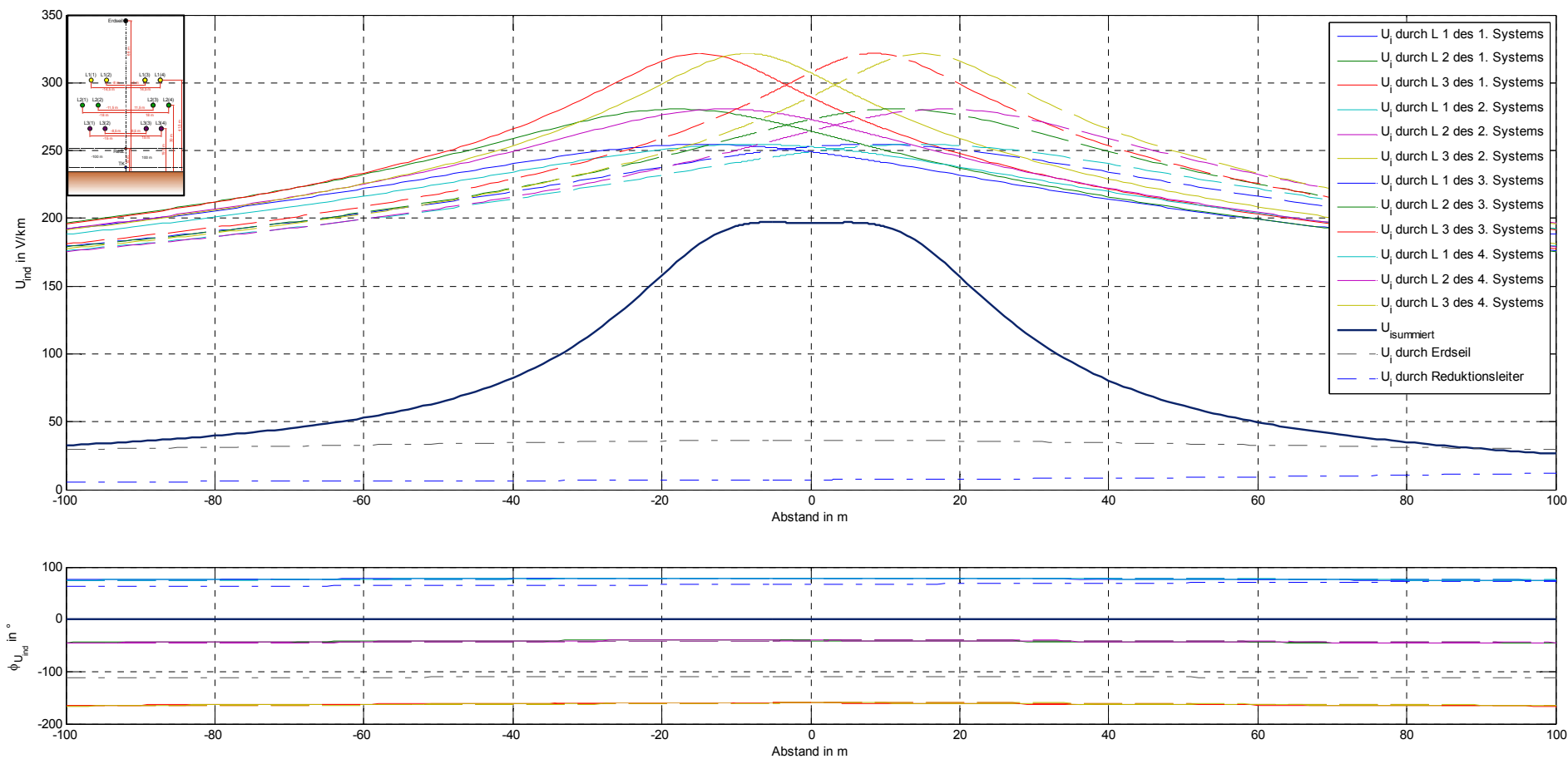


Abbildung 6.2: Darstellung der jeweiligen Phasenbeiträge zur induzierten Spannung inklusive der Summierung jener mit Berücksichtigung des Phasenwinkels

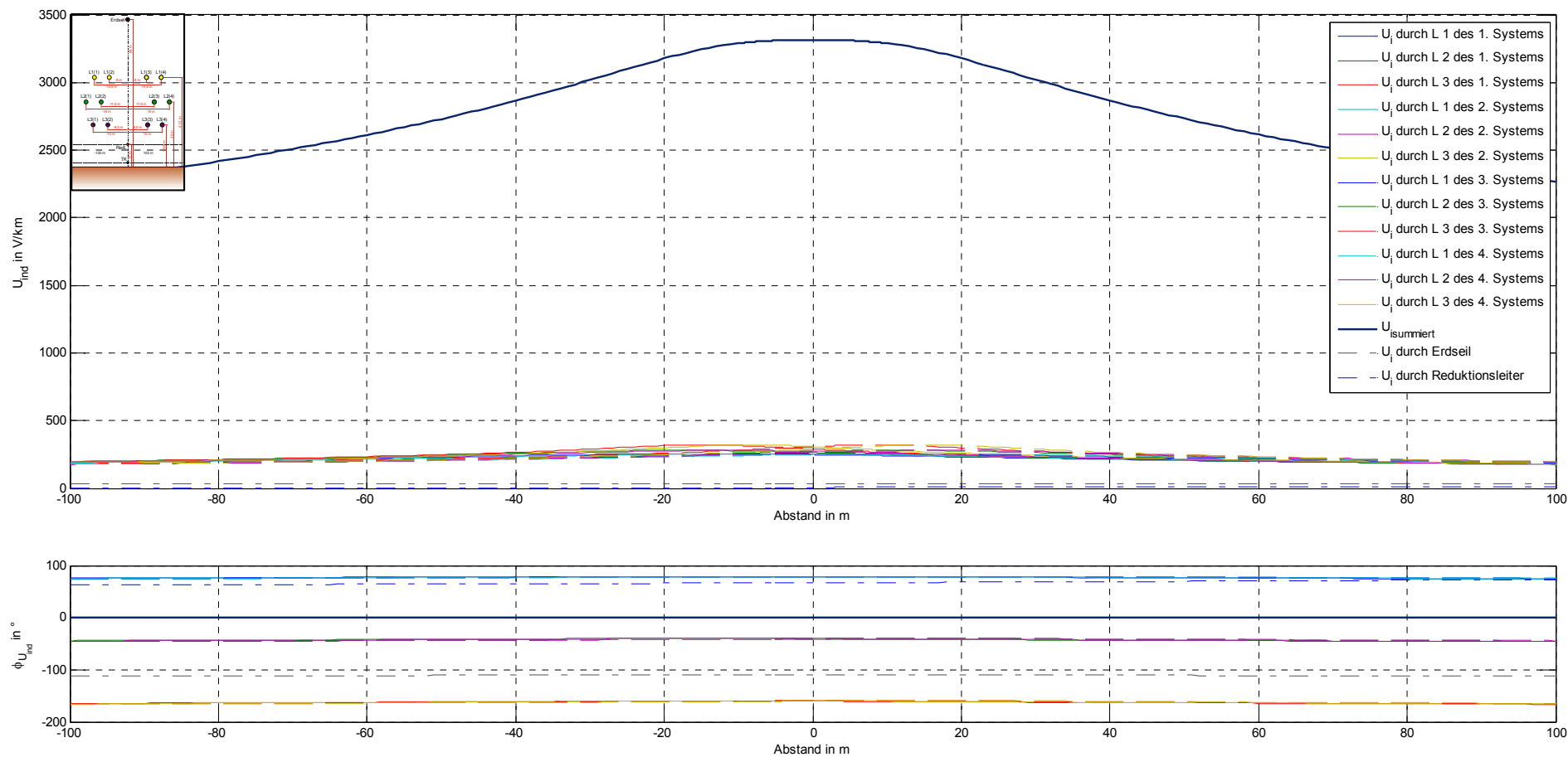


Abbildung 6.3: Darstellung der jeweiligen Phasenbeiträge zur induzierten Spannung inklusive der Summierung jener ohne Berücksichtigung des Phasenwinkels

## 7 Beispiele

In diesem Kapitel werden die zu Testzwecken zusammengestellten und mit dem Programm IBEL-GUI berechneten Beeinflussungskonfigurationen beschrieben und die Ergebnisse zusammengefasst. Vor den einzelnen Beispielen werden in einem Extrakapitel zunächst die für die Beispiele verwendeten Parameter der Leiter aufgelistet. Diese vordefinierten Parameter werden nur in Einzelfällen verändert; ist dies der Fall, wird darauf gesondert beim jeweiligen Beispiel hingewiesen.

In Summe werden 8 Beispiele angegeben und analysiert. Bei jedem Beispiel wird die Beeinflussungsanordnung dargestellt und beschrieben sowie die Werte der induzierten Ströme von Erdseilen und Reduktionsleitern sowie des beeinflussten Leiters bei 5 verschiedenen Abständen des Mittelpunktes der jeweiligen Beeinflussungsanordnung angegeben. Weiters wird auch die induzierte Spannung (Betrag und Phase) im beeinflussten Leiter graphisch dargestellt.

### 7.1 Standardparameterwerte

In diesem Unterkapitel werden die für die vorliegende Arbeit standardmäßig in den Beispielen verwendeten Parameterwerte angegeben.

In jedem Beispiel wird von einem spezifischen Bodenwiderstand von  $300 \Omega\text{m}$  ausgegangen. Jede Beeinflussungsanordnung hat eine Länge von 1 km.

Die Netzdaten für die beeinflussenden Leiter, die in Tabelle 6 angegeben sind, sind sowohl für Freileitungen und Kabel dieselben. Die beeinflussenden Leiter bestehen immer aus 3 Phasen.

In Tabelle 7 sind die Daten der Freileitungssysteme und Erdseile zu finden. Jedes Freileitungssystem und Erdseil hat die gleichen Daten.

Die Daten der Kabelsysteme (Leiter und Schirme) können aus Tabelle 8 herausgelesen werden. Auch hier hat jedes System die gleichen Daten.

Die für den beeinflussten Leiter und Reduktionsleiter verwendeten Daten stehen in Tabelle 9.

	Frequenz in Hz	Spannung in kV	Strom in A	Phasenwinkel in °
Phase 1	50	380	1000	0
Phase 2	50	380	1000	-120
Phase 3	50	380	1000	120

**Tabelle 6: Netzdaten für die Beispiele**

	System-zustand	Temperatur in °C	Durchhang in m	Anzahl der Bündelleiter	Abstand der Bündelleiter	Ohmscher Widerstand in Ω/km	Spezifische innere Reaktanz in Ω/km	Leiterradius in mm
Freileitungssystem Erdseil	aktiv	20	11,97	2	0,4	0,0526	0,0157	16,2
	beidseitig geerdet	20	11,97	1	–	0,1400	0,0105	11,7

**Tabelle 7: Freileitungs- und Erdseildaten für die Beispiele**

	System-zustand	Temperatur in °C	Querschnitt in mm <sup>2</sup>	Spezifischer Widerstand in Ωmm <sup>2</sup> /m	Relative Permeabilität Vs/Am	α in K <sup>-1</sup>	Material	Innenradius in m	Außenradius in m
Kabelleiter	aktiv	20	1000	0,0265	1,000257	0,0039	Alu	–	–
Kabelschirm	beidseitig geerdet	20	150	0,0168	0,9999936	0,0039	Kupfer	0,0340	0,0415

**Tabelle 8: Kabelsystemdaten für die Beispiele**

	System-zustand	Temperatur in °C	Querschnitt in mm <sup>2</sup>	Spezifischer Widerstand in Ωmm <sup>2</sup> /m	Relative Permeabilität Vs/Am	α in K <sup>-1</sup>	Material
Beeinflusster Leiter Reduktionsleiter	einseitig geerdet	20	10	0,0168	0,9999936	0,0039	Kupfer
	beidseitig geerdet	20	95	0,0168	0,9999936	0,0039	Kupfer

**Tabelle 9: Daten des beeinflussten Leiters und Reduktionsleiters für die Beispiele**

## 7.2 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb

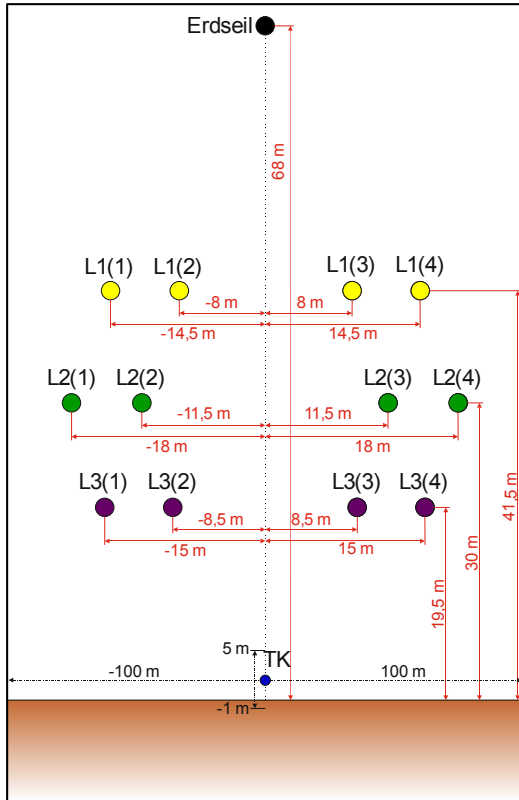


Abbildung 7.1: Beeinflussungsanordnung

Die Beeinflussungsanordnung des Beispiels ist in Abbildung 7.1 abgebildet.

Es handelt sich um einen 4-systemigen Tonnenmast. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts. In 68 m Höhe wird außerdem ein Erdseil angenommen, um den Schutzwinkel des Erdseils einzuhalten.

Dieser Tonnenmast bildet nun als Gesamtes das beeinflussende System für den Telekommunikationsleiter, welcher sich im Näherungsbereich des Mastkopfbildes befindet. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes in 1 m Schritten bis zu einem Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes verschoben. Dies wurde außerdem für verschiedene Höhen (-1 m, 1 m, 3 m und 5 m) des Telekommunikationsleiters durchgeführt. Die

berechnete induzierte Spannung im Telekommunikationsleiter ist in Abbildung 7.2 dargestellt. In Tabelle 10 werden jeweils 5 Werte an bestimmten Punkten für den Telekommunikationsleiter in den diversen Höhen bei einem induzierten Strom im Erdseil von  $157,22 \angle 173,1^\circ$  A angegeben.

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Telekommunikationsleiter in -1 m Höhe $U_j$ in V/km	36,95	-113,4	193,73	-125,2	197,63	-125,6	193,73	-125,2	36,95	-113,4
Telekommunikationsleiter in 1 m Höhe $U_j$ in V/km	36,21	-113,2	205,10	-125,7	205,64	-125,9	205,10	-125,7	36,21	-113,2
Telekommunikationsleiter in 3 m Höhe $U_j$ in V/km	35,44	-112,9	218,62	-126,4	212,95	-126,1	218,62	-126,4	35,44	-112,9
Telekommunikationsleiter in 5 m Höhe $U_j$ in V/km	34,65	-112,6	235,23	-127,2	218,56	-126,1	235,23	-127,2	34,65	-112,6

Tabelle 10: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten

**Bemerkung:** In Abbildung 7.2 sieht man den Einfluss der Position des Telekommunikationsleiters. Je kleiner der Abstand des Telekommunikationsleiters zur beeinflussenden Starkstromanlage ist, desto größer wird die beeinflusste Spannung.

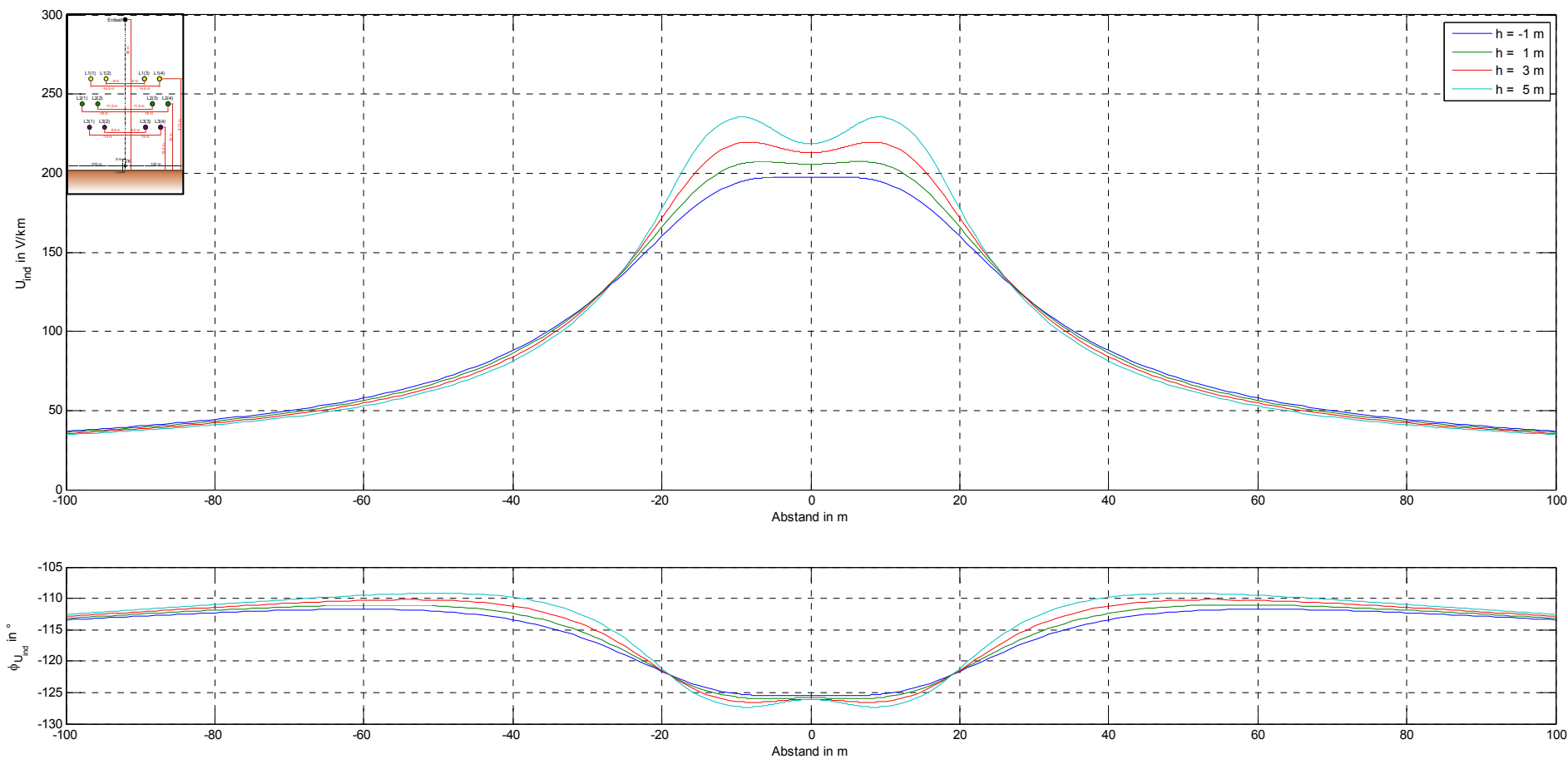


Abbildung 7.2: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 4-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert



### 7.3 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb mit 2 Erdseilen

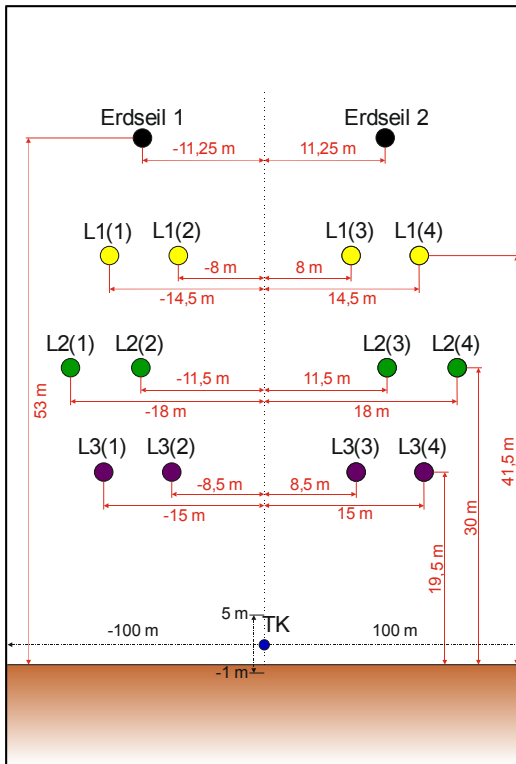


Abbildung 7.3: Beeinflussungsanordnung

Wie in Abbildung 7.3 zu sehen, besteht das beeinflussende System aus einem 4-systemigen Tonnenmast. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts. In 53 m Höhe befinden sich außerdem zwei Erdseile symmetrisch angeordnet, zum Beispiel um die Phase-seile gegen atmosphärische Entladungen zu schützen.

Diese Anordnung beeinflusst nun einen Telekommunikationsleiter, welcher sich im Näherungsbereich des Tonnenmasts befindet. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes in 1 m Schritten bis zu einem Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes verschoben. Dies wurde außerdem für verschiedene Höhen (-1 m, 1 m, 3 m und 5 m) des Telekommunikationsleiters durchgeführt. Die berechnete induzierte Spannung im

Telekommunikationsleiter ist in Abbildung 7.4 dargestellt. In Tabelle 11 werden jeweils 5 Werte an bestimmten Punkten für den Telekommunikationsleiter in den diversen Höhen. Die induzierten Ströme in den beiden Erdseilen betragen  $160,54 \angle 173,6^\circ$  A.

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Telekommunikationsleiter in -1 m Höhe $U_j$ in V/km	67,26	112,4	232,51	122,1	236,58	122,5	232,51	122,1	67,26	112,4
Telekommunikationsleiter in 1 m Höhe $U_j$ in V/km	66,59	112,2	244,21	122,7	244,98	122,8	244,21	122,7	66,59	112,2
Telekommunikationsleiter in 3 m Höhe $U_j$ in V/km	65,90	112,0	258,05	123,4	252,73	123,0	258,05	123,4	65,90	112,0
Telekommunikationsleiter in 5 m Höhe $U_j$ in V/km	65,17	111,9	274,95	124,2	258,83	123,0	274,95	124,2	65,17	111,9

Tabelle 11: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten

**Bemerkung:** In Abbildung 7.4 sieht man, dass, im Vergleich zum Mast mit nur 1 Erdseil (siehe Abbildung 7.2), der Mast mit 2 Erdseilen bei gleichen Abständen des Telekommunikationsleiters zur beeinflussenden Starkstromanlage einen größeren Einfluss auf den Telekommunikationsleiter aufweist.

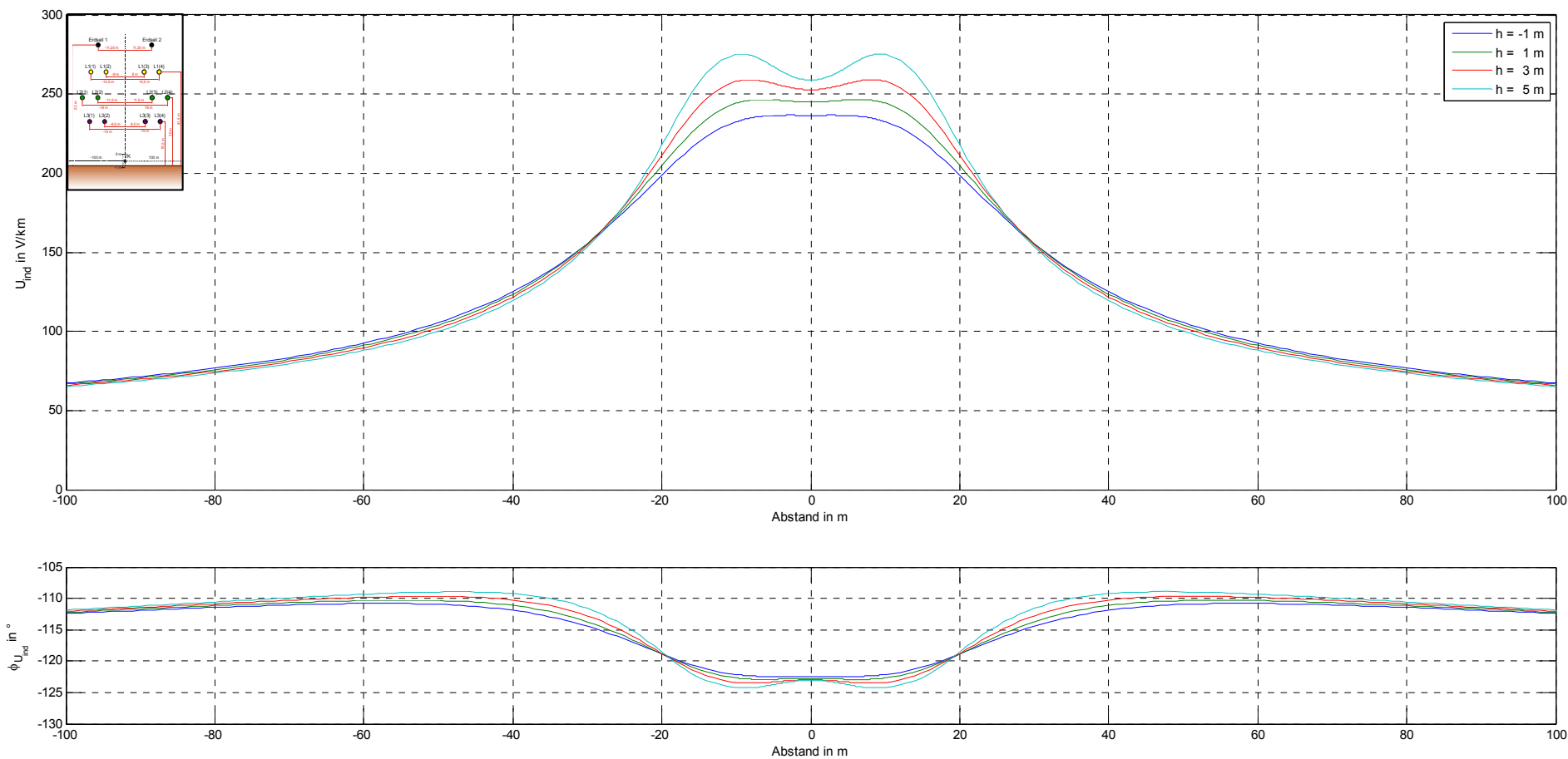


Abbildung 7.4: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 4-systemigen Tonnenmast mit 2 Erdseilen induziert

### 7.4 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb bei Vorhandensein eines Reduktionsleiters

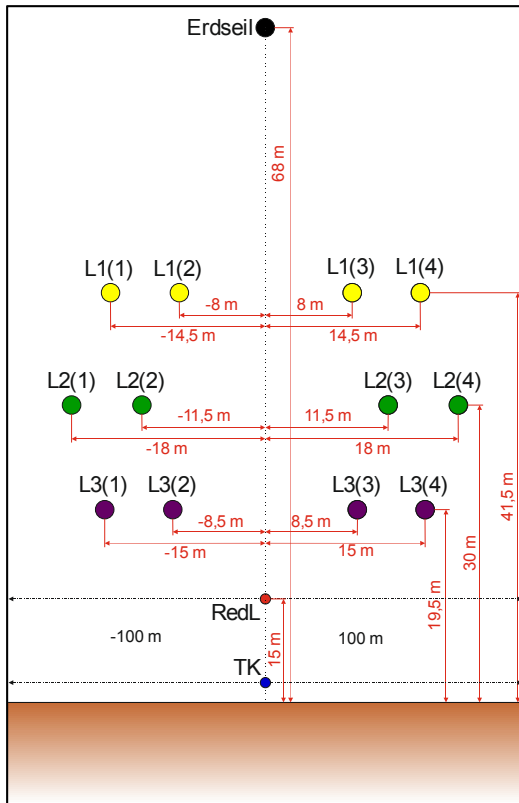


Abbildung 7.5: Beeinflussungsanordnung

Die Beeinflussungsanordnung besteht, wie in Abbildung 7.5 zu erkennen, aus einem 4-systemigen Tonnenmast. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts. In 68 m Höhe wird außerdem ein Erdseil angenommen.

Dieser Tonnenmast bildet nun als Gesamtes das beeinflussende System für den Telekommunikationsleiter, welcher sich im Näherungsbereich des Tonnenmasts befindet. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter ( $h = 0 \text{ m}$ ) in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes in 1 m Schritten bis zu einem Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes verschoben.

Zusätzlich wird zur Reduktion der Beeinflussung ein weiterer Leiter ( $h = 15 \text{ m}$ ) in die Nähe der beeinflussenden Leiter gebracht. Dabei wird die Berechnung bei vier verschiedenen Querschnitten

des sogenannten Reduktionsleiters durchgeführt. Die vier unterschiedlichen Verläufe der berechneten induzierten Spannungen im Telekommunikationsleiter sind in Abbildung 7.6 dargestellt. In den Tabellen 12, 13, 14 und 15 werden bei diversen Leiterquerschnitten des Reduktionsleiters jeweils 5 Werte an bestimmten Punkten für die induzierte Spannung im Telekommunikationsleiter sowie die induzierten Ströme im Reduktionsleiter und im Erdseil angegeben.

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Erdseil $I_i$ in A/km	159,71	174,1	179,64	-179,1	175,91	179,2	179,64	-179,1	159,71	174,1
Reduktionsleiter $I_i$ in A/km	15,94	43,0	106,04	40,5	84,62	37,4	106,04	40,5	15,94	43,0
Telekommunikationsleiter $U_j$ in V/km	34,57	-119,2	190,78	-132,4	193,78	-131,1	190,78	-132,4	34,57	-119,2

Tabelle 12: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 10 \text{ mm}^2$

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Erdseil $I_i$ in A/km	163,19	174,1	210,19	-179,8	200,42	178,5	210,19	-179,8	163,19	174,1
Reduktionsleiter $I_i$ in A/km	28,31	20,2	190,99	18,0	152,48	14,9	190,99	18,0	28,31	20,2
Telekommunikationsleiter $U_i$ in V/km	30,84	-121,3	169,87	-136,2	176,34	-133,5	169,87	-136,2	30,84	-121,3

**Tabelle 13: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 25 \text{ mm}^2$**

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Erdseil $I_i$ in A/km	165,81	173,3	233,22	174,7	218,45	173,6	233,22	174,7	165,81	173,3
Reduktionsleiter $I_i$ in A/km	36,92	-1,4	252,52	-3,9	201,69	-7,1	252,52	-3,9	36,92	-1,4
Telekommunikationsleiter $U_i$ in V/km	27,29	-118,1	145,66	-134,5	157,54	-131,6	145,66	-134,5	27,29	-118,1

**Tabelle 14: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 70 \text{ mm}^2$**

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Erdseil $I_i$ in A/km	166,32	173,0	238,01	172,5	222,03	171,7	238,01	172,5	166,32	173,0
Reduktionsleiter $I_i$ in A/km	39,03	-7,9	267,78	-10,6	213,09	-13,8	267,78	-10,6	39,03	-7,9
Telekommunikationsleiter $U_i$ in V/km	26,47	-116,1	139,13	-132,6	152,75	-130,0	139,13	-132,6	26,47	-116,1

**Tabelle 15: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 120 \text{ mm}^2$**

**Bemerkung:** Abbildung 7.6 zeigt den reduzierenden Einfluss des Reduktionsleiters. Außerdem kann man erkennen, dass mit größer werdendem Querschnitt die reduzierende Wirkung des Reduktionsleiters relativ zur Querschnittsänderung kleiner wird.

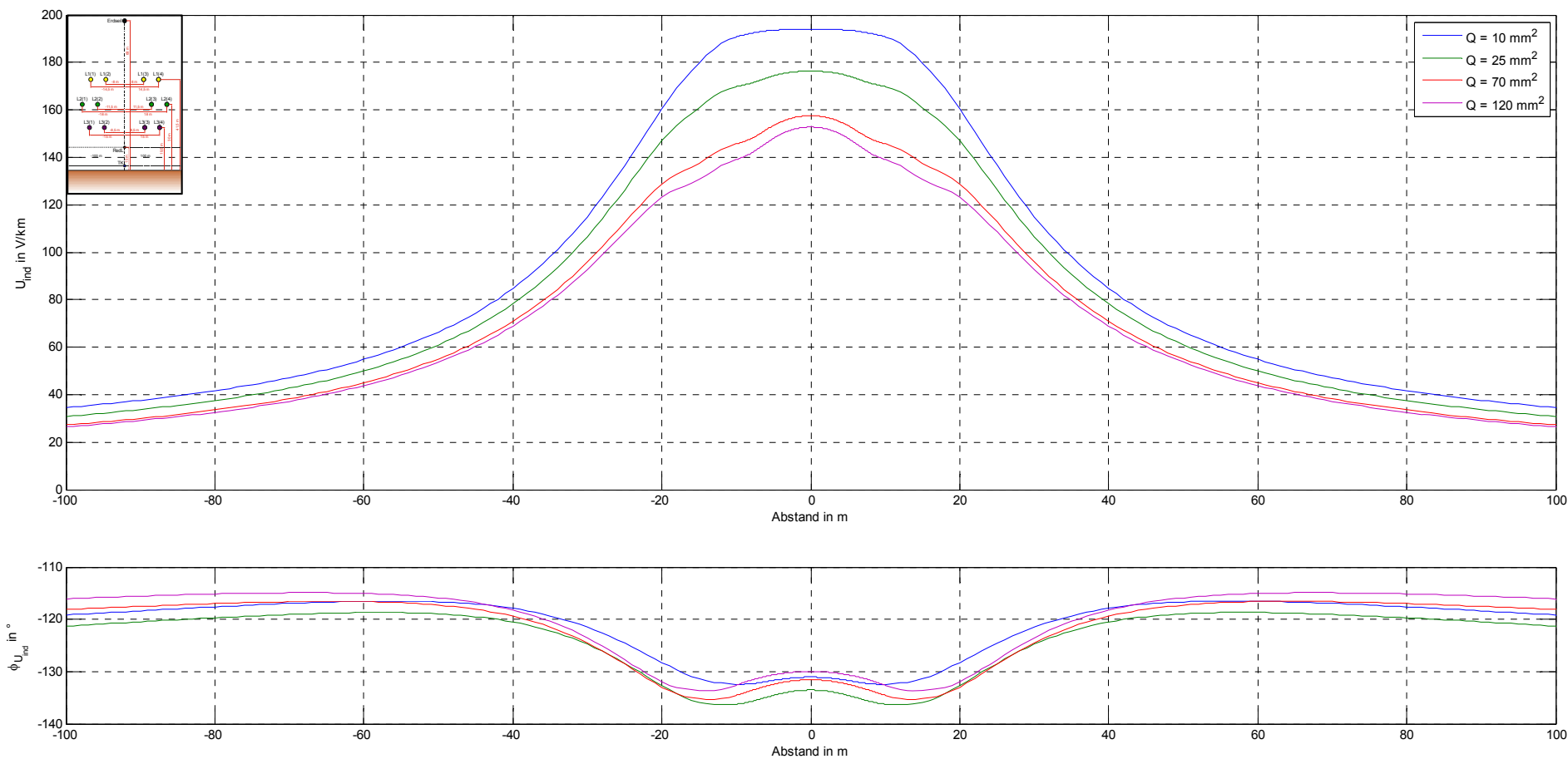


Abbildung 7.6: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 4-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert bei Vorhandensein eines Reduktionsleiters mit verschiedenen Leiterquerschnitten

## 7.5 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 2-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Normalbetrieb bei unterschiedlichen Phasenbelegungen

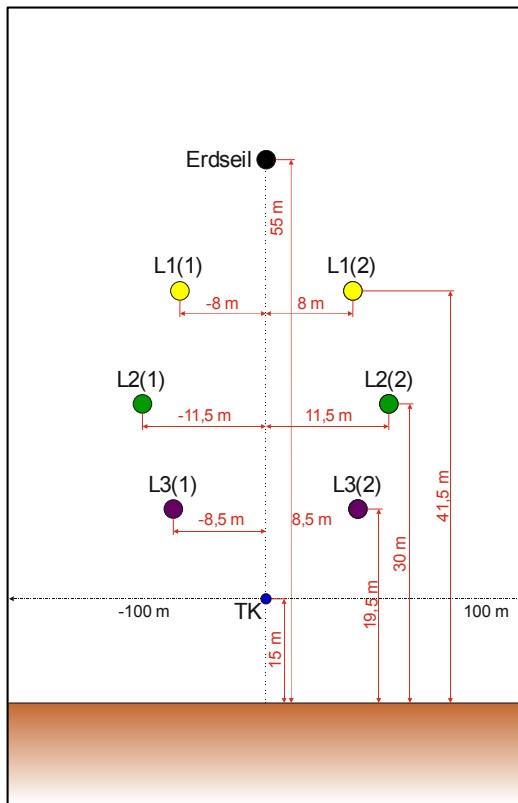


Abbildung 7.7: Beeinflussungsanordnung  
Abbildungen 7.8 bis 7.13 dargestellt.

Die Beeinflussungsanordnung (Abbildung 7.7) besteht aus einem Tonnenmast mit zwei 380-kV-Systemen. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts. In 55 m Höhe wird außerdem ein Erdseil angenommen.

Dieser Tonnenmast bildet nun als Gesamtes das beeinflussende System für den Telekommunikationsleiter, welcher sich im Näherungsbereich des Tonnenmasts befindet. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes in 1 m Schritten bis zu einem Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes verschoben.

Zur Beurteilung des Einflusses von verschiedenen Phasenbelegungen wird für jede Phasenbelegungsvariante eine solche Berechnung durchgeführt, insgesamt also 36. Es werden dabei jeweils 6 Phasenbelegungskategorien in einer der

**Bemerkung:** Es lassen sich nach dem Betrag 6 Phasenbelegungskategorien unterscheiden. In jeder der folgenden Abbildungen ist jede Phasenbelegungskategorie vertreten. Der Phasenbelegungskategorien wurden bestimmte Farben zugewiesen. In den Abbildungen 7.8 bis 7.10 verändert sich der Betragsverlauf einer Phasenbelegungskategorie nicht. Jedoch lässt sich im Vergleich dazu in den Abbildungen 7.11 bis 7.13 eine, wenn auch nur geringe, Betragsverlaufveränderung erkennen (die „Höcker“ der Verläufe werden asymmetrischer, dh, dass sich die Maximalbeträge der Verläufe vergrößern).

Bezüglich des Phasenwinkelverlaufs zeigt sich ein deutlich größerer Unterschied zwischen den einzelnen Konfigurationen einer Kategorie als bei den Betragsverläufen. Jedoch ist der Verlauf innerhalb einer Kategorie, wenn auch nicht quantitativ so doch qualitativ, gleich, wobei sich in den Abbildungen 7.11 bis 7.13 ein um die x-Achse spiegelsymmetrischer Verlauf des Phasenwinkels zeigt, verglichen mit den Abbildungen 7.8 bis 7.10.

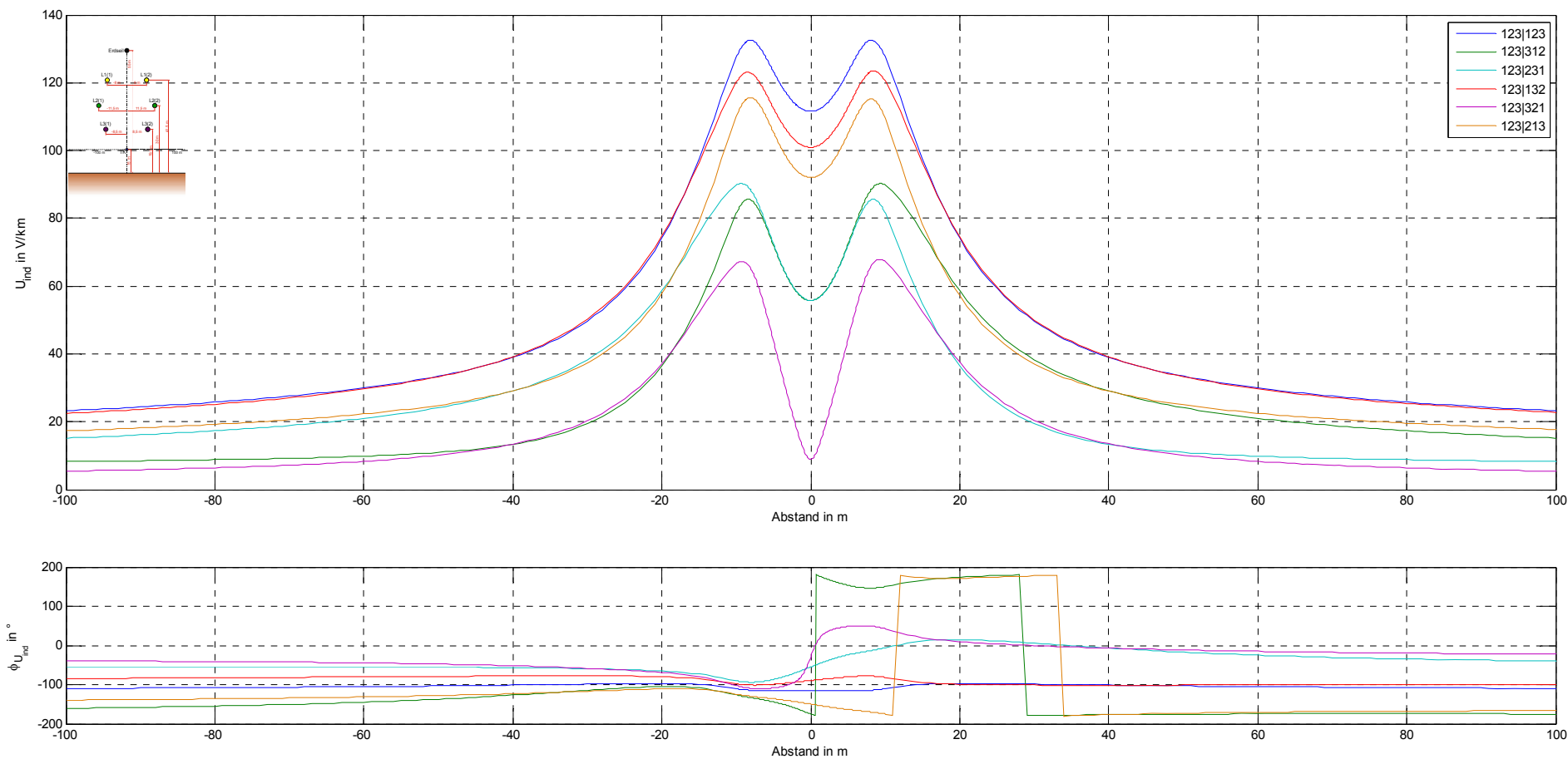


Abbildung 7.8: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 2-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen

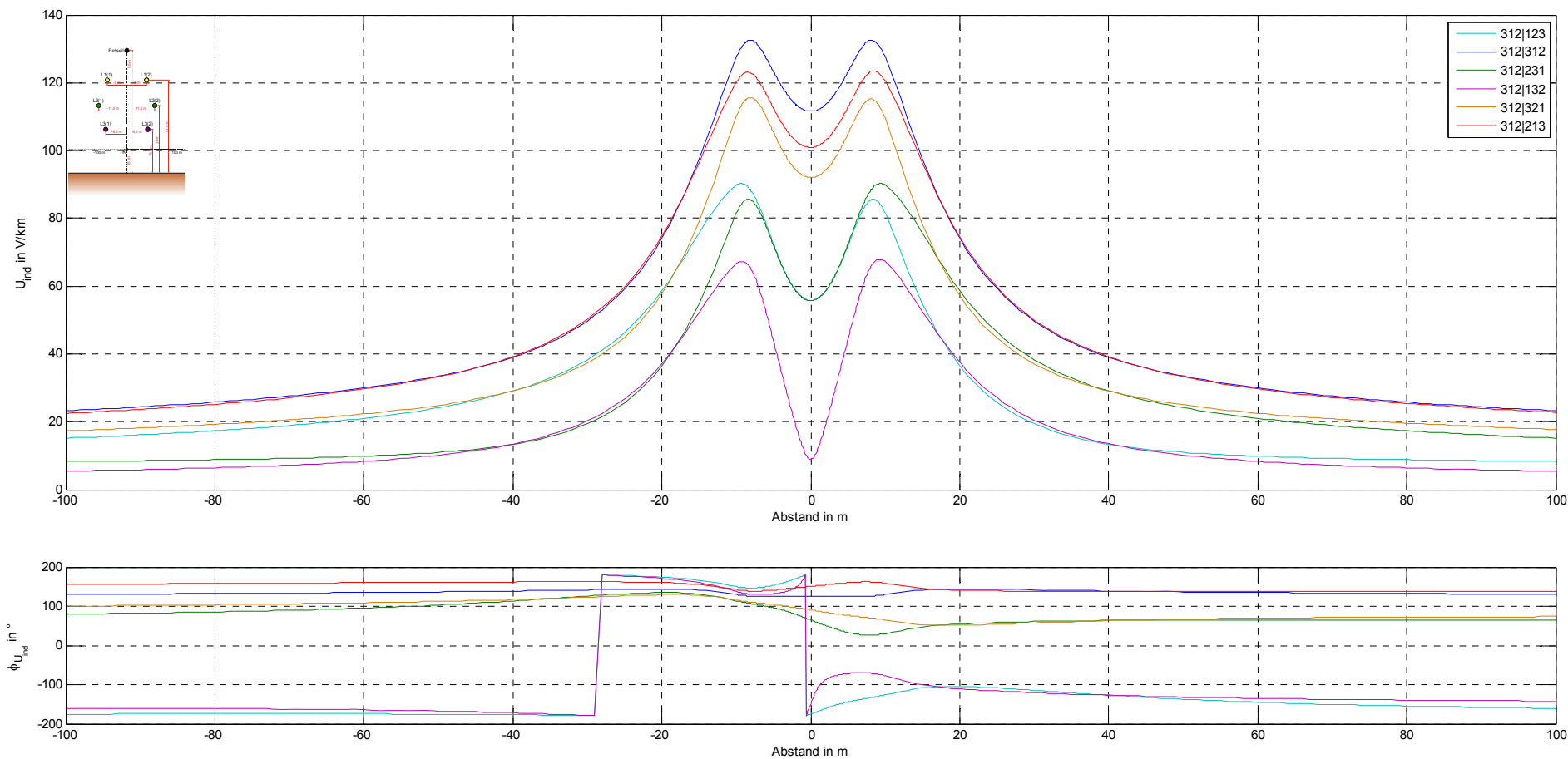
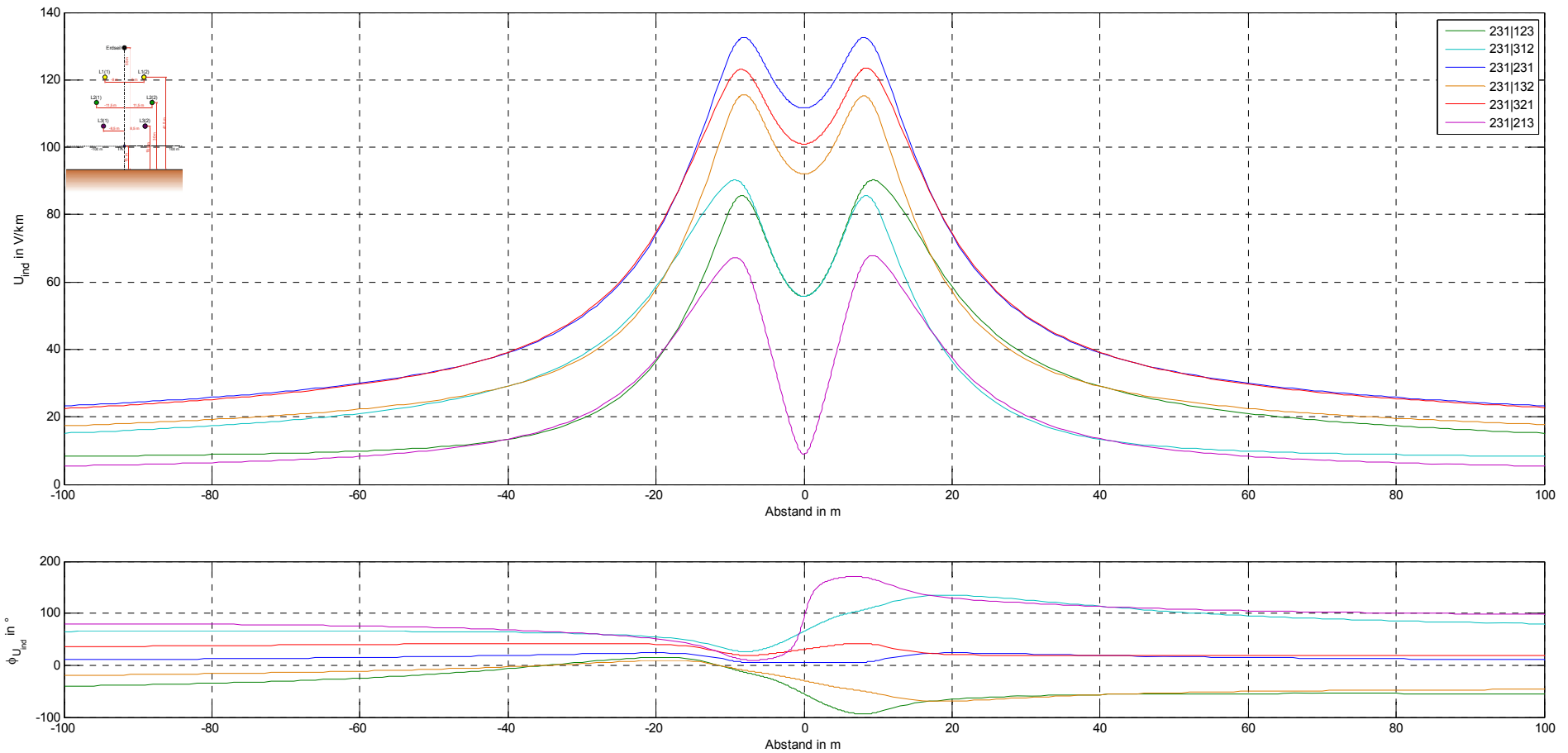


Abbildung 7.9: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 2-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen





**Abbildung 7.10: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 2-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen**

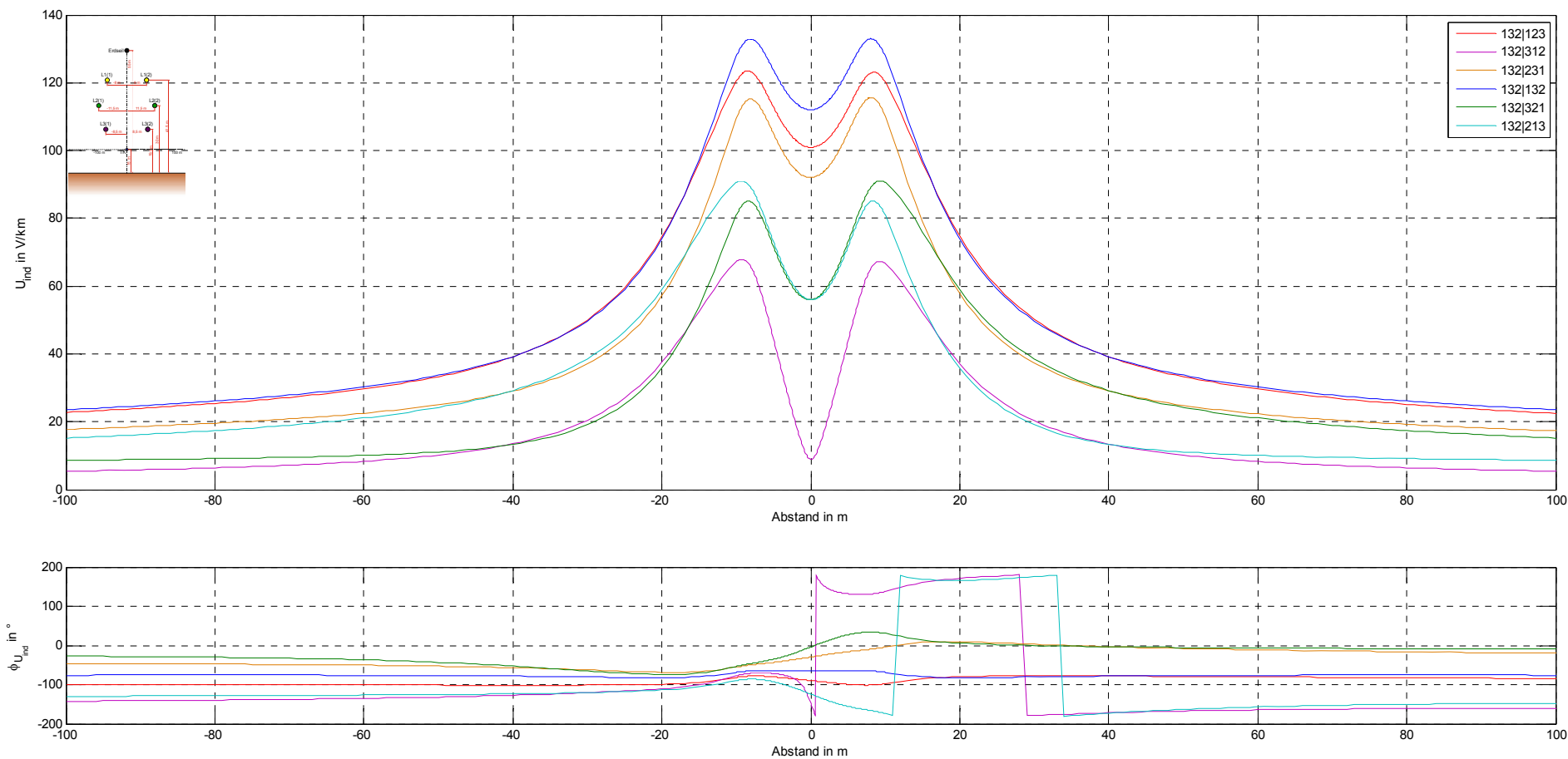


Abbildung 7.11: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 2-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen

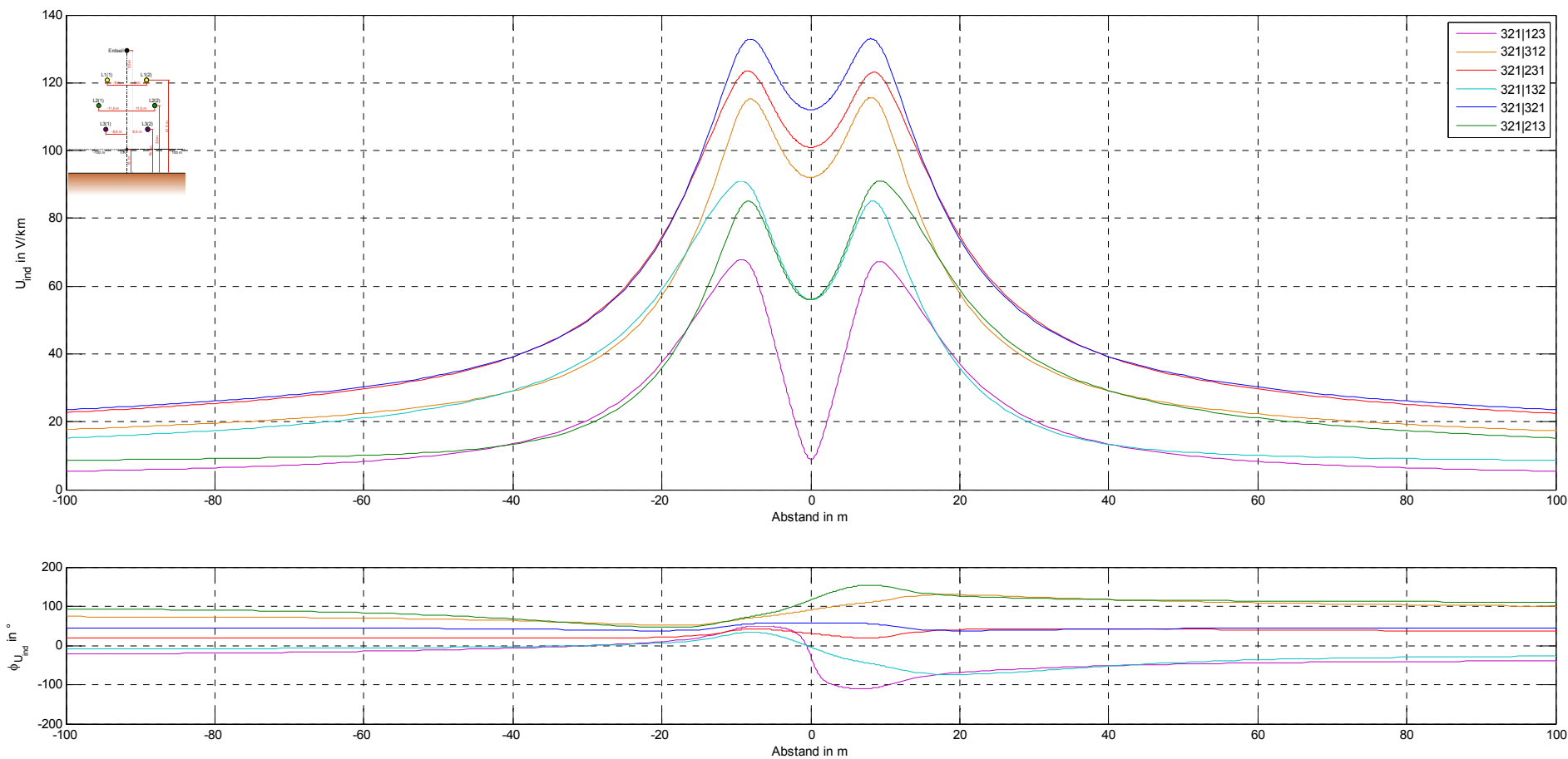


Abbildung 7.12: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 2-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen

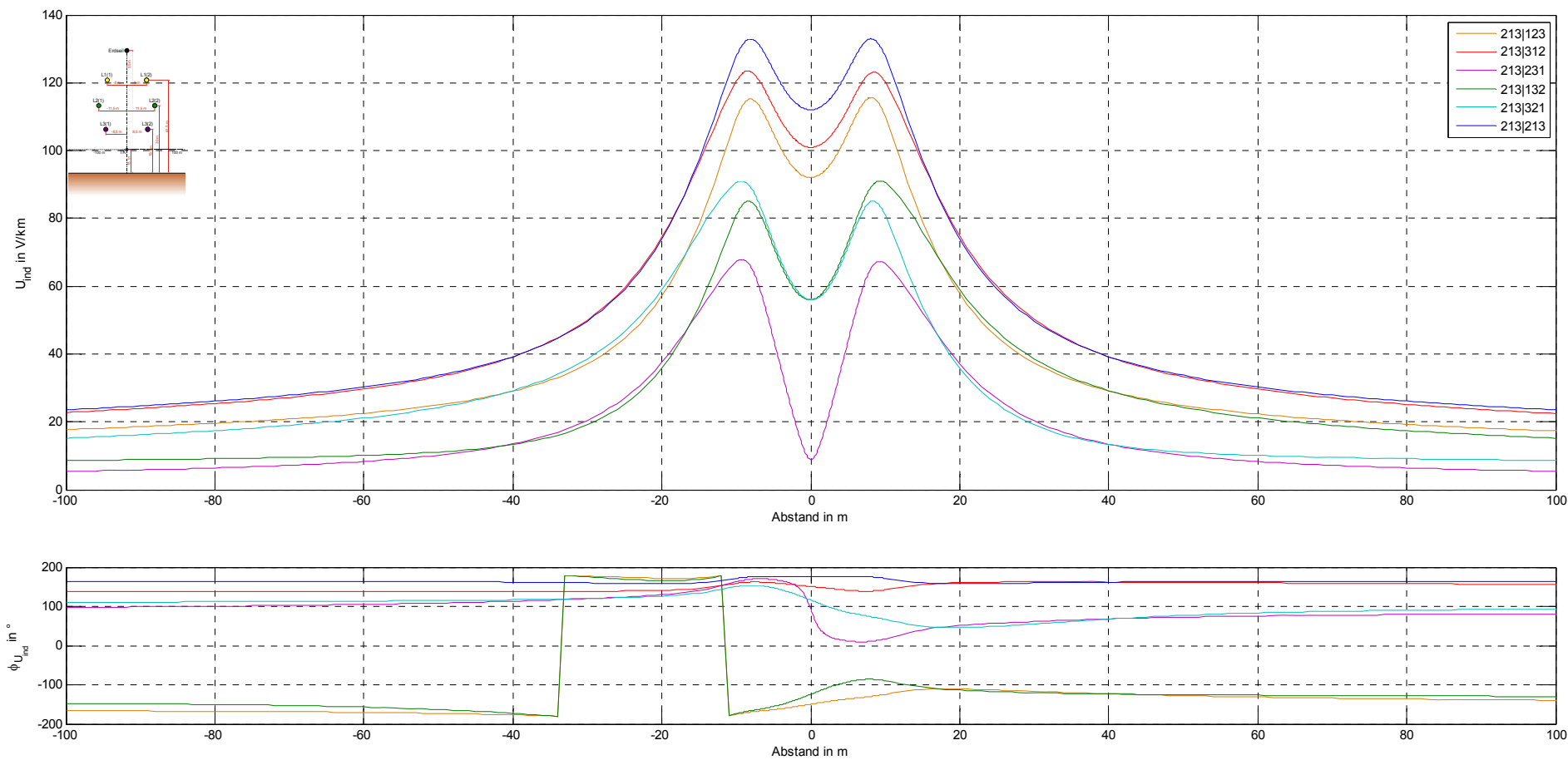


Abbildung 7.13: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 2-systemigen Tonnenmast mit 1 Erdseil induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen

## 7.6 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch einen 4-systemigen 380-kV-Tonnenmast im Falle eines einpoligen Kurzschlusses

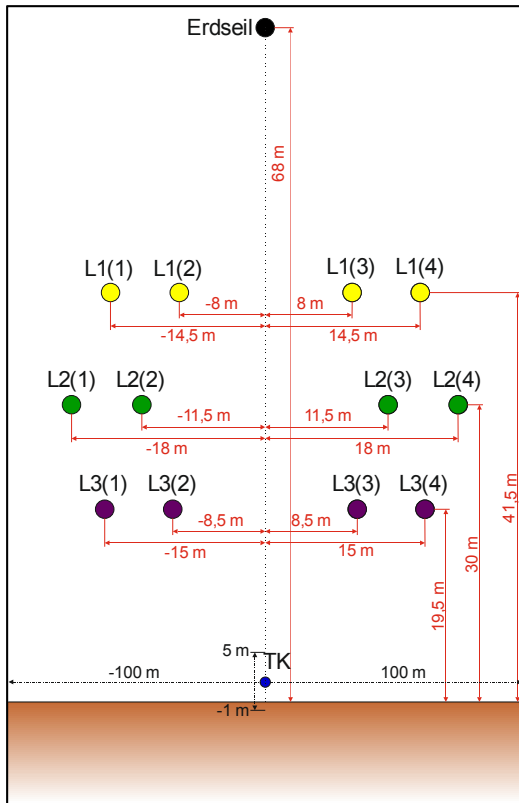


Abbildung 7.14: Beeinflussungsanordnung

Die Beeinflussungsanordnung des Beispiels (Abbildung 7.14) ist dieselbe, die schon in Beispiel 1 verwendet wurde.

Es handelt sich um einen 4-systemigen Tonnenmast. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts. In 68 m Höhe wird außerdem ein Erdseil angenommen.

Dieser Tonnenmast bildet nun als Gesamtes der beeinflussende System für das Telekommunikationsleiter, welcher sich im Näherungsbereich des Tonnenmasts befindet, wobei nacheinander in jeder einzelnen Phase ein einpoliger Kurzschluss (= 10.000 A) angenommen wird und die jeweiligen  $U_i$ -Verläufe in Abbildung 7.16 dargestellt werden. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes in 1 m Schritten bis zu einem

Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Mastkopfbildes verschoben. Die Höhe des Telekommunikationsleiters wird für Abbildung 7.15 variiert. Die berechnete induzierte Spannung im Telekommunikationsleiter im Falle eines Kurzschlusses in der 3. Phase des 1. Systems ist in Abbildung 7.15 dargestellt und in Tabelle 16 noch jeweils 5 Werte an bestimmten Punkten für den Telekommunikationsleiter in den diversen Höhen angegeben. Der im Erdseil fließende induzierte Strom hat eine Größe von  $2.546 \angle -61,0^\circ$  A.

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Telekommunikationsleiter in -1 m Höhe $U_i$ in V/km	1.315	-163,5	2.394	-156,0	2.179	-156,6	1.972	-157,3	1.152	-165,4
Telekommunikationsleiter in 1 m Höhe $U_i$ in V/km	1.315	-163,5	2.484	-155,7	2.217	-156,4	1.995	-157,1	1.151	-165,4
Telekommunikationsleiter in 3 m Höhe $U_i$ in V/km	1.315	-163,5	2.587	-155,4	2.251	-156,3	2.017	-157,0	1.150	-165,4
Telekommunikationsleiter in 5 m Höhe $U_i$ in V/km	1.314	-163,5	2.703	-155,1	2.280	-156,1	2.039	-156,8	1.149	-165,5

Tabelle 16: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten

**Bemerkung:** Man erkennt eine 10- bis 25-fache größere induzierte Spannung im Telekommunikationsleiter und den Einfluss der Position der kurzgeschlossenen Phase. Außerdem ist in Abbildung 7.16 noch zu erkennen, dass die Vereinfachung eines angenommenen einzelnen Ersatzleiters (in einer Höhe von 19,5 m im Ursprung der horizontalen Achse des Mastkopfbildes, gespeist durch einem Strom von 10.000 A) der gesamten Leiterkonfiguration für die Kurzschlussfallberechnung zu großen Abweichungen von den Ergebnissen im Vergleich mit der tatsächlichen Leiterkonfiguration führt.

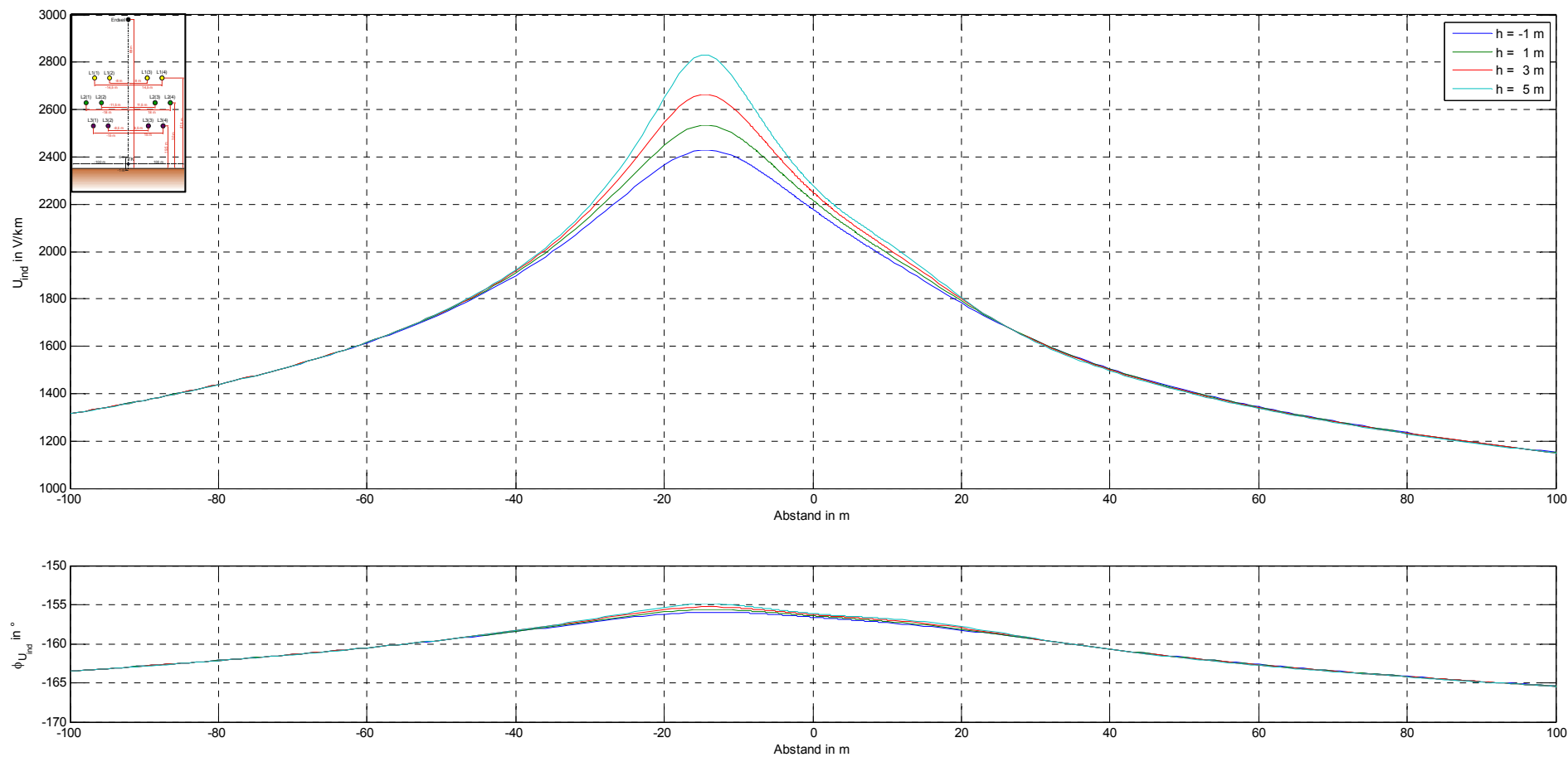


Abbildung 7.15: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch einen 4-systemigen Doppeltonnenmasten mit 1 Erdseil induziert bei Kurzschluss der Phase 3 im 1. System

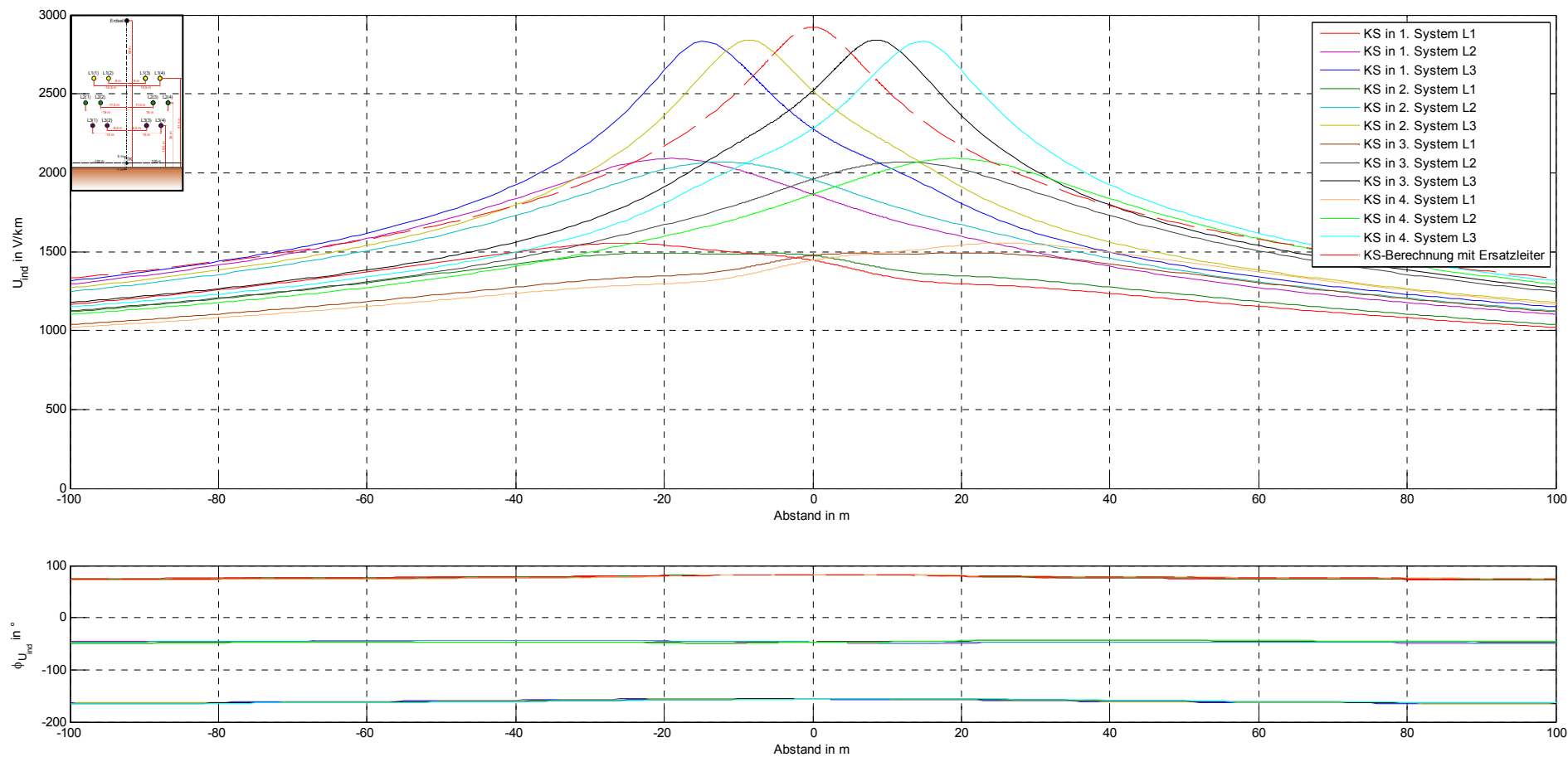


Abbildung 7.16: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter ( $h = 5$  m) durch einen 4-systemigen Doppeltonnenmasten mit 1 Erdseil induziert bei Kurzschluss der verschiedenen Phasen im 1. System



## 7.7 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch zwei 380-kV-Kabelsysteme in Dreieckanordnung im Normalbetrieb

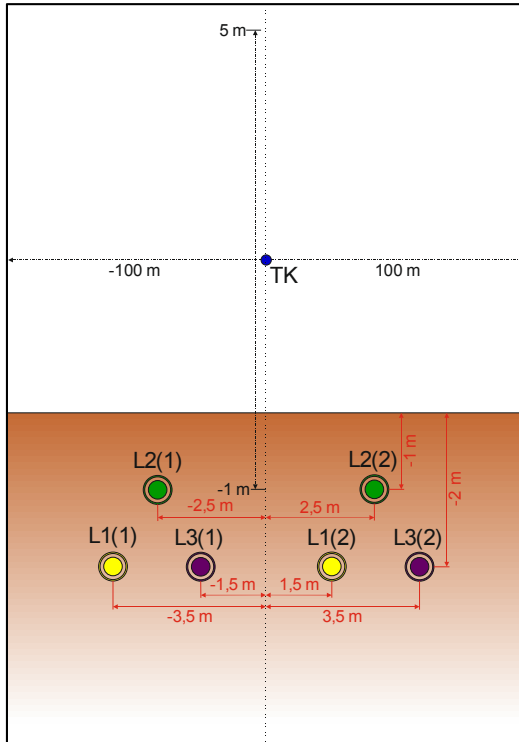


Abbildung 7.17: Beeinflussungsanordnung

Die Beeinflussungsanordnung des Beispiels ist in Abbildung 7.17 abgebildet.

Es handelt sich um zwei 380-kV-Kabelsysteme in Dreieckanordnung. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts.

Diese Kabelsysteme bilden nun als Gesamtes das beeinflussende System für den Telekommunikationsleiter, welches sich im Näherungsbereich der Kabelsysteme befindet. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Verlegeprofils in 1 m Schritten bis zu einem Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Verlegeprofils verschoben. Dies wurde außerdem für verschiedene Höhen (-1 m, 1 m, 3 m und 5 m) des Telekommunikationsleiters durchgeführt. Die berechnete induzierte Spannung im Telekommunikationsleiter ist in Abbildung 7.18 dargestellt.

In Tabelle 17 werden jeweils 5 Werte an bestimmten Punkten für den Telekommunikationsleiter in den diversen Höhen angegeben.

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Schirm L1 des 1. Systems $I_{i,Schirm,S1L1}$ in A/km	864,46	-156,3	864,46	-156,3	864,46	-156,3	864,46	-156,3	864,46	-156,3
Schirm L2 des 1. Systems $I_{i,Schirm,S1L2}$ in A/km	890,57	87,2	890,57	87,2	890,57	87,2	890,57	87,2	890,57	87,2
Schirm L3 des 1. Systems $I_{i,Schirm,S1L3}$ in A/km	880,82	-33,0	880,82	-33,0	880,82	-33,0	880,82	-33,0	880,82	-33,0
Schirm L1 des 2. Systems $I_{i,Schirm,S2L1}$ in A/km	877,73	-153,4	877,73	-153,4	877,73	-153,4	877,73	-153,4	877,73	-153,4
Schirm L2 des 2. Systems $I_{i,Schirm,S2L2}$ in A/km	856,46	86,8	856,46	86,8	856,46	86,8	856,46	86,8	856,46	86,8
Schirm L3 des 2. Systems $I_{i,Schirm,S2L3}$ in A/km	916,04	-34,8	916,04	-34,8	916,04	-34,8	916,04	-34,8	916,04	-34,8
Telekommunikationsleiter in 0 m Höhe $U_i$ in V/km	1,27	46,7	7,48	2,4	7,29	-91,0	7,72	165,4	1,24	118,3
Telekommunikationsleiter in 2 m Höhe $U_i$ in V/km	1,26	46,4	6,48	-6,9	9,34	-91,0	6,49	174,2	1,23	118,5
Telekommunikationsleiter in 4 m Höhe $U_i$ in V/km	1,26	46,1	5,47	-14,8	7,15	-91,0	5,32	-177,9	1,22	118,7
Telekommunikationsleiter in 6 m Höhe $U_i$ in V/km	1,25	45,8	4,59	-21,0	5,33	-90,9	4,36	-171,3	1,21	118,9

Tabelle 17: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten

**Bemerkung:** Auch bei der Beeinflussung durch ein Kabelsystem, wie in Beispiel 1 bei Beeinflussung durch ein Freileitungssystem, erkennt man den Einfluss der Position des beeinflussten Leiters zum beeinflussenden System.

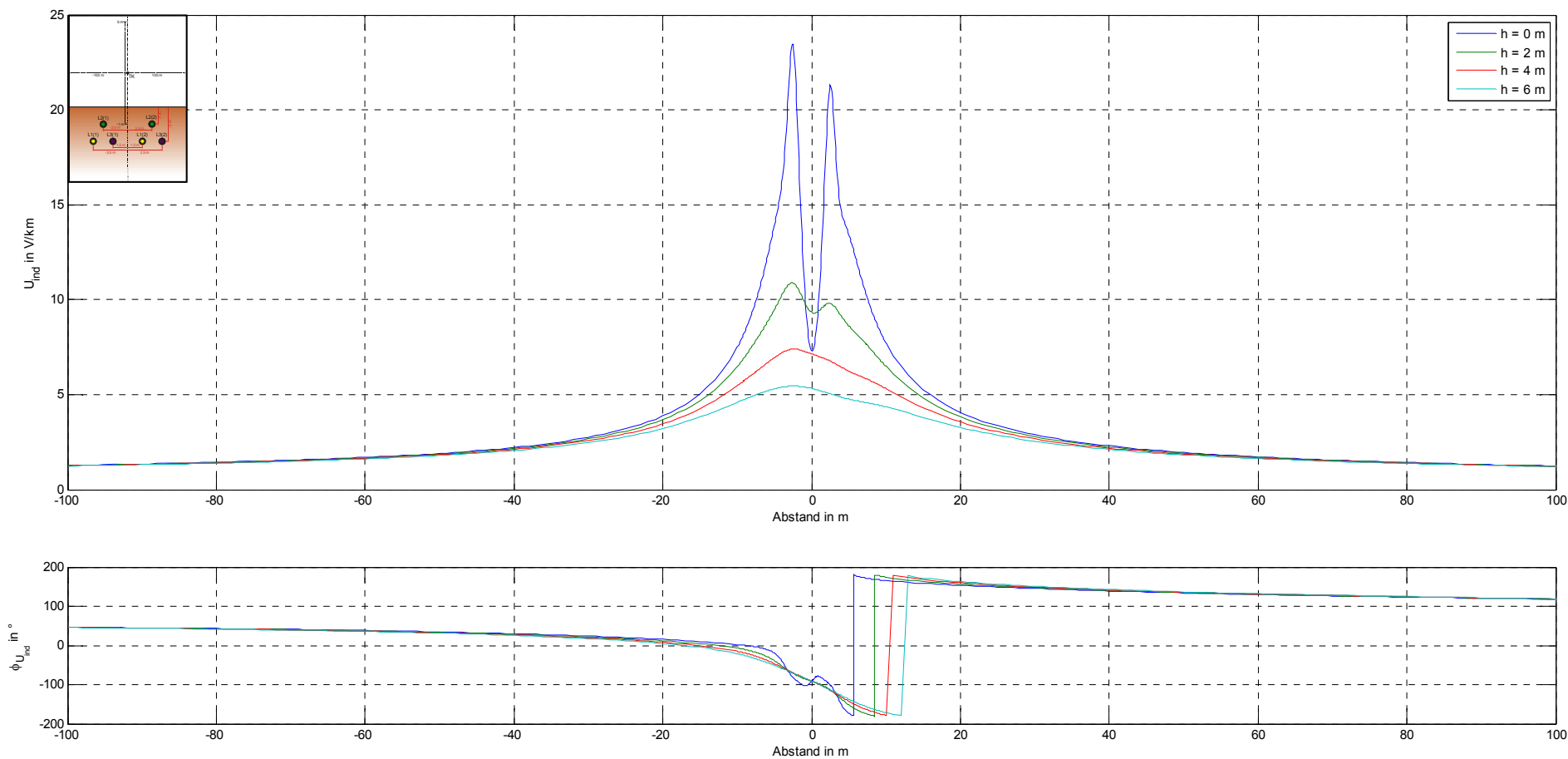
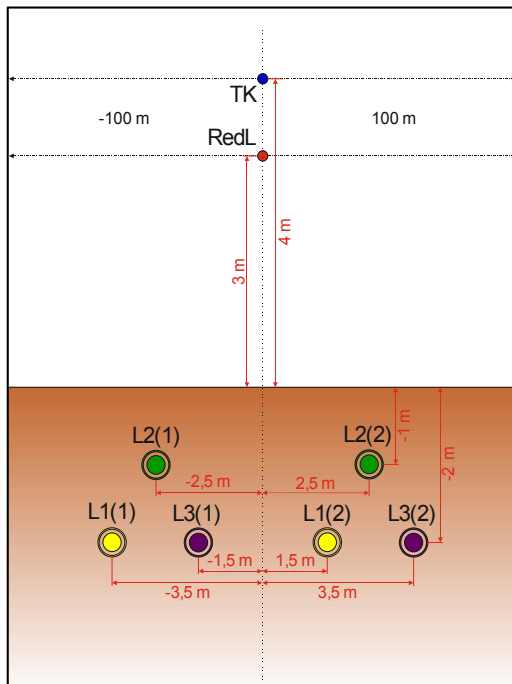


Abbildung 7.18: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert

## 7.8 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch zwei 380-kV-Kabelsysteme in Dreieckanordnung im Normalbetrieb bei Vorhandensein eines zusätzlichen Reduktionsleiters



Die Beeinflussungsanordnung besteht, wie in Abbildung 7.19 zu erkennen, aus zwei 380-kV-Kabelsystemen in Dreieckanordnung. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts.

Diese Kabelsysteme bilden nun als Gesamtes das beeinflussende System für den Telekommunikationsleiter, welches sich im Näherungsbereich der Kabelsysteme befindet. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter ( $h = 4 \text{ m}$ ) in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Verlegeprofils in 1 m Schritten bis zu einem Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Verlegeprofils verschoben.

Abbildung 7.19: Beeinflussungsanordnung

Zusätzlich wird zur Reduktion der Beeinflussung ein weiterer Leiter ( $h = 15 \text{ m}$ ) in die Nähe des

Telekommunikationsleiters gebracht. Dabei wird die Berechnung bei vier verschiedenen Querschnitten des sogenannten Reduktionsleiters durchgeführt. Die vier unterschiedlichen Verläufe der berechneten induzierten Spannungen im Telekommunikationsleiter sind in Abbildung 7.20 dargestellt. In den Tabellen 18, 19, 20 und 21 werden bei diversen Leiterquerschnitten des Reduktionsleiters jeweils 5 Werte an bestimmten Punkten für die induzierte Spannung im Telekommunikationsleiter sowie die induzierten Ströme im Reduktionsleiter angegeben.

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Reduktionsleiter $I_j$ in A/km	0,67	-159,1	3,29	148,1	4,62	70,2	3,24	-22,6	0,65	-86,7
Telekommunikationsleiter $U_j$ in V/km	1,15	34,4	5,25	-22,9	6,86	-97,3	5,00	174,2	1,12	107,0

Tabelle 18: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 10 \text{ mm}^2$

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Reduktionsleiter $I_i$ in A/km	1,21	178,0	6,47	127,0	9,40	50,4	6,38	-43,6	1,18	-109,7
Telekommunikationsleiter $U_i$ in V/km	0,93	27,1	4,60	-29,4	6,12	-102,5	4,28	168,7	0,91	99,8

**Tabelle 19: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 25 \text{ mm}^2$**

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Reduktionsleiter $I_i$ in A/km	1,60	155,5	9,37	102,4	14,35	25,2	9,23	-68,2	1,56	-132,1
Telekommunikationsleiter $U_i$ in V/km	0,67	30,5	3,54	-29,7	4,86	-102,1	3,26	171,2	0,65	103,3

**Tabelle 20: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 70 \text{ mm}^2$**

	-100 m		-10 m		0 m		10 m		100 m	
	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase	Betrag	Phase
Reduktionsleiter $I_i$ in A/km	1,69	148,7	10,16	94,1	15,80	16,2	10,01	-76,5	1,65	-139,0
Telekommunikationsleiter $U_i$ in V/km	0,60	35,3	3,20	-26,6	4,44	-98,9	2,97	175,7	0,59	108,2

**Tabelle 21: Berechnungsergebnisse bei 5 verschiedenen Aufpunkten für einen Reduktionsleiterquerschnitt  $Q = 120 \text{ mm}^2$**

**Bemerkung:** Siehe Bemerkung bei Beispiel 3.

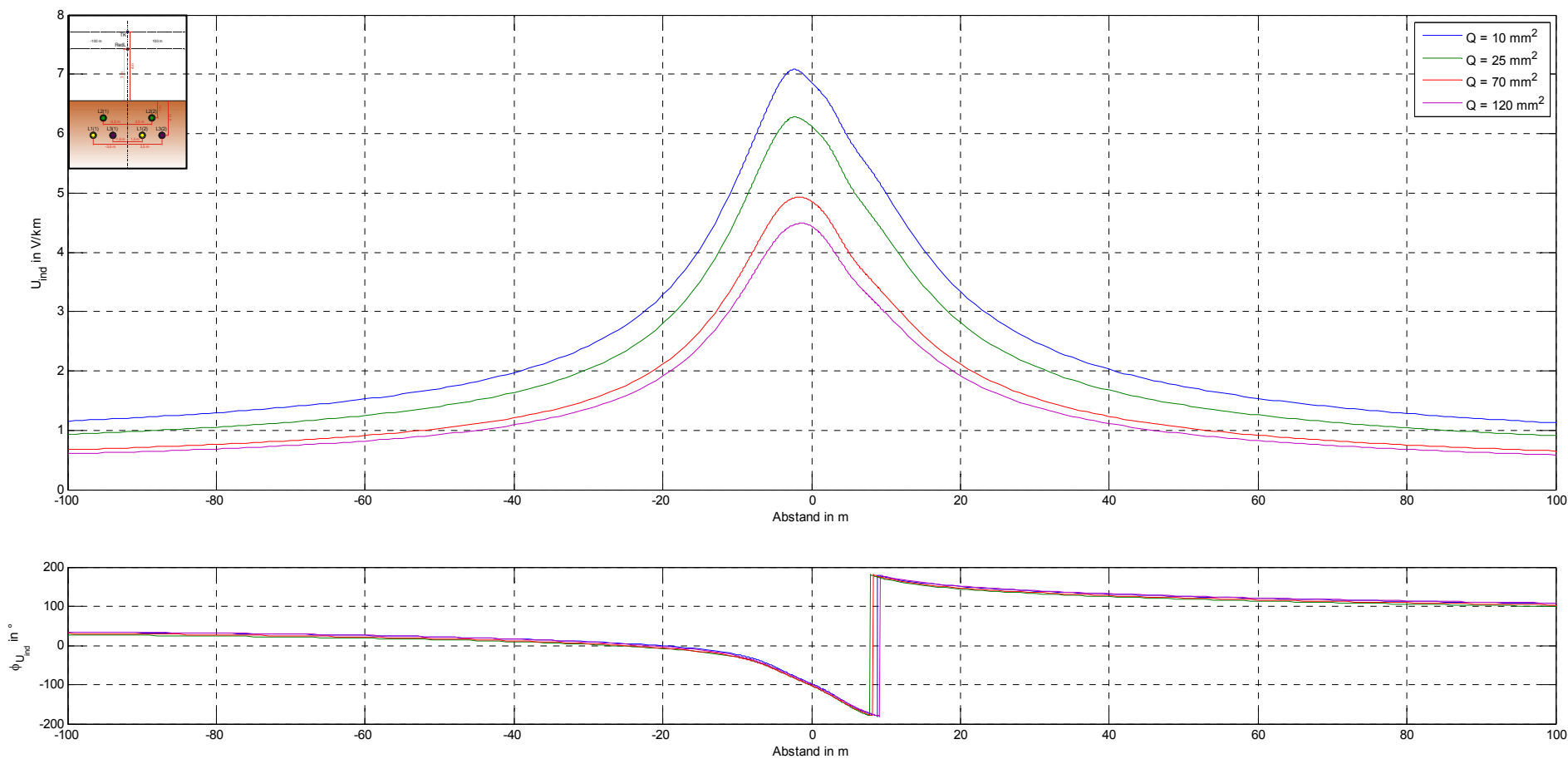


Abbildung 7.20: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch zwei Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei Vorhandensein eines Reduktionsleiters mit verschiedenen Leiterquerschnitten

## 7.9 Beeinflussung eines Telekommunikationsleiters durch zwei 380-kV-Kabelsysteme in Dreieckanordnung im Normalbetrieb bei unterschiedlicher Phasenbelegung

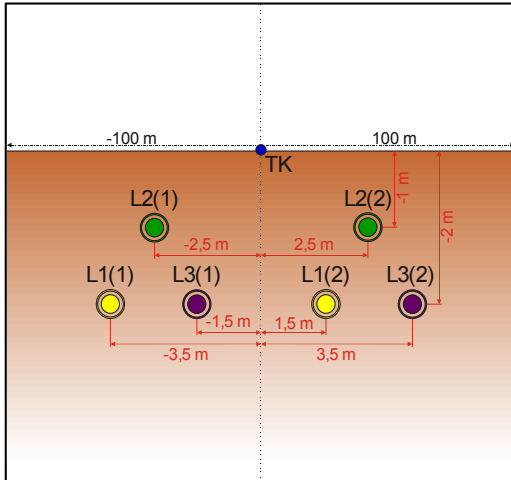


Abbildung 7.21: Beeinflussungsanordnung

Die Beeinflussungsanordnung (Abbildung 7.21) besteht aus zwei 380-kV-Kabelsystemen. Die Nummerierung der Systeme geschieht von links nach rechts.

Diese Kabelsysteme bilden nun als Gesamtes das beeinflussende System für den Telekommunikationsleiter, welcher sich im Näherungsbereich der Kabelsysteme befindet. Bei der Berechnung der Beeinflussung wird der Telekommunikationsleiter in 100 m Abstand linker Hand des Ursprungs des Verlegeprofils in 1 m Schritten bis zu einem Abstand 100 m rechter Hand des Ursprungs des Verlegeprofils verschoben.

Zur Beurteilung des Einflusses von verschiedenen Phasenbelegungen wird für jede Phasenbelegungsvariante eine solche Berechnung durchgeführt, insgesamt also 36. Es werden dabei jeweils 6 Phasenbelegungskategorien in einer der Abbildungen 7.24 bis 7.35 dargestellt. Die Abbildungen 7.22 und 7.23 zeigen alle Phasenbelegungsvarianten auf einen Blick zum besseren Vergleich.

**Bemerkung:** Siehe Bemerkung bei Beispiel 4.

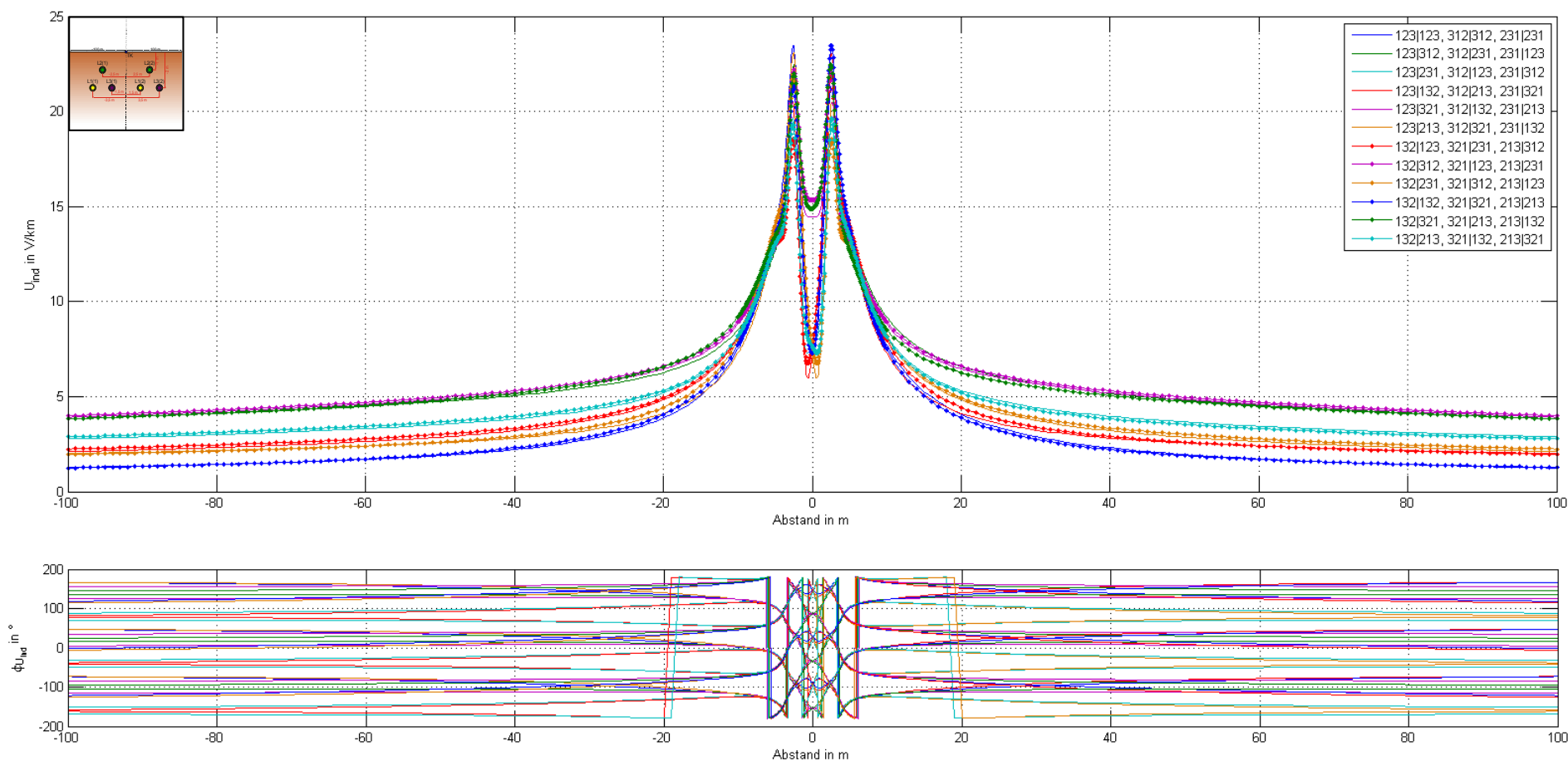


Abbildung 7.22: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-100 m – 100 m)



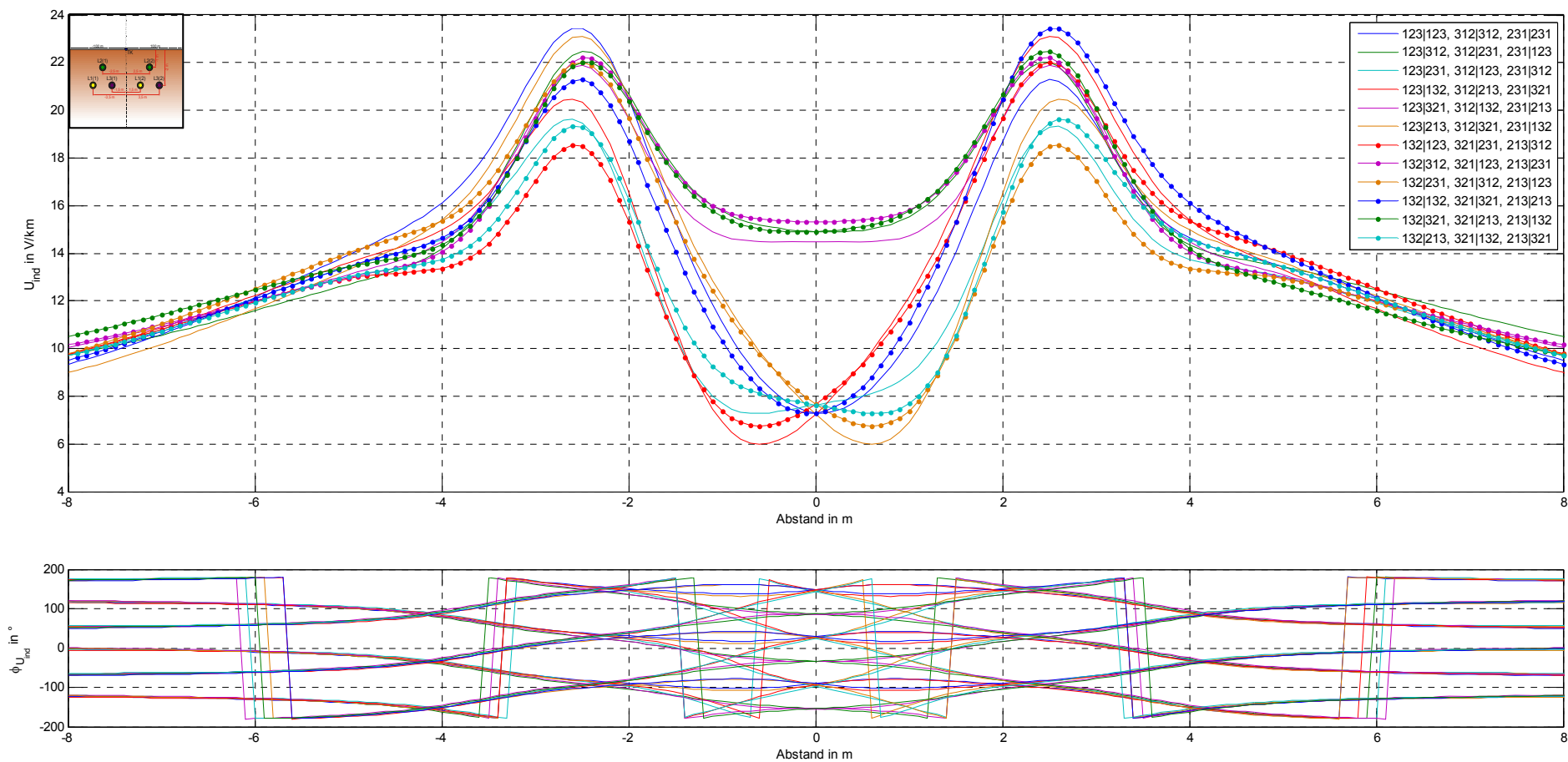


Abbildung 7.23: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-8 m – 8 m)

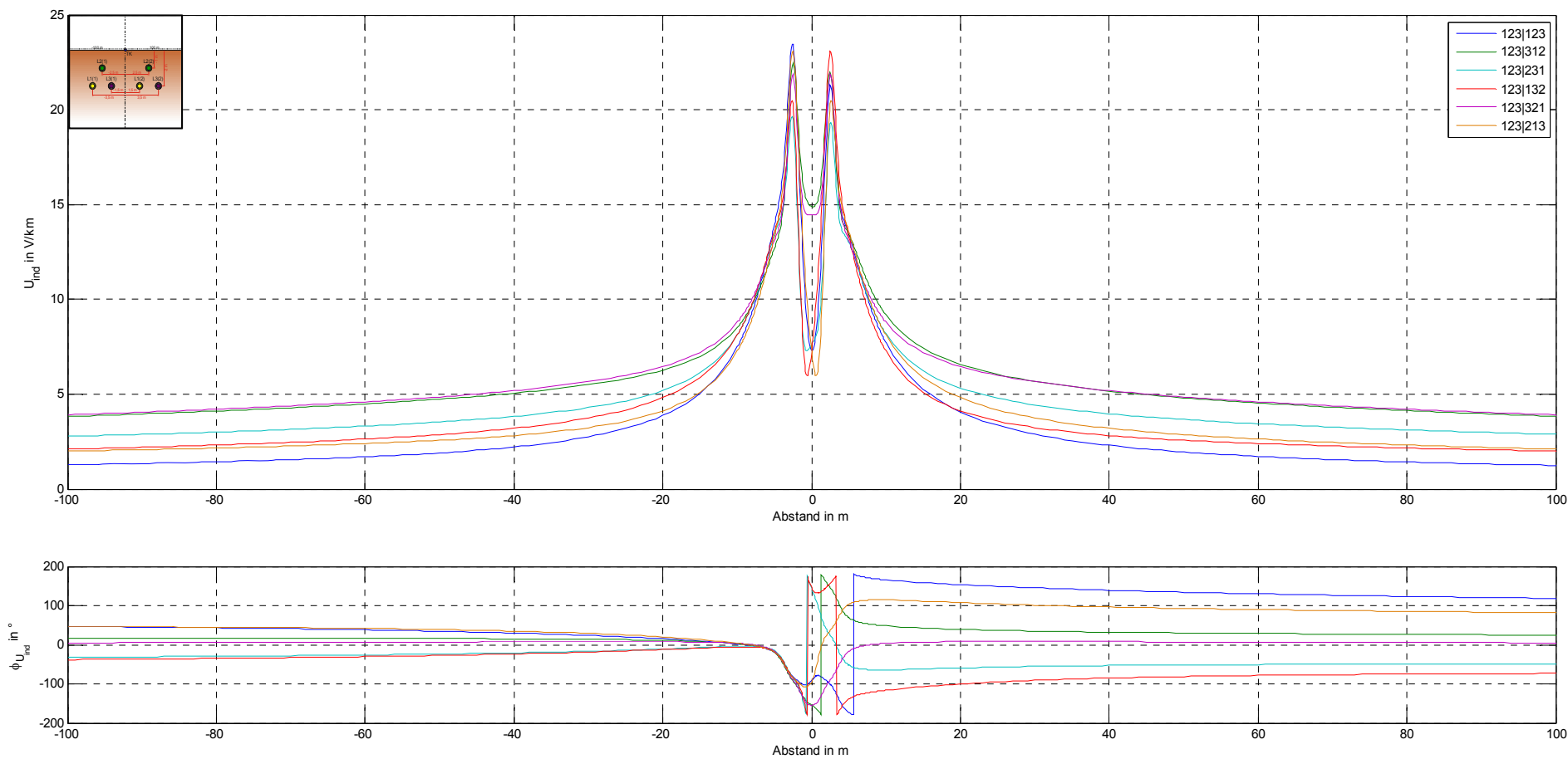


Abbildung 7.24: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-100 m – 100 m)

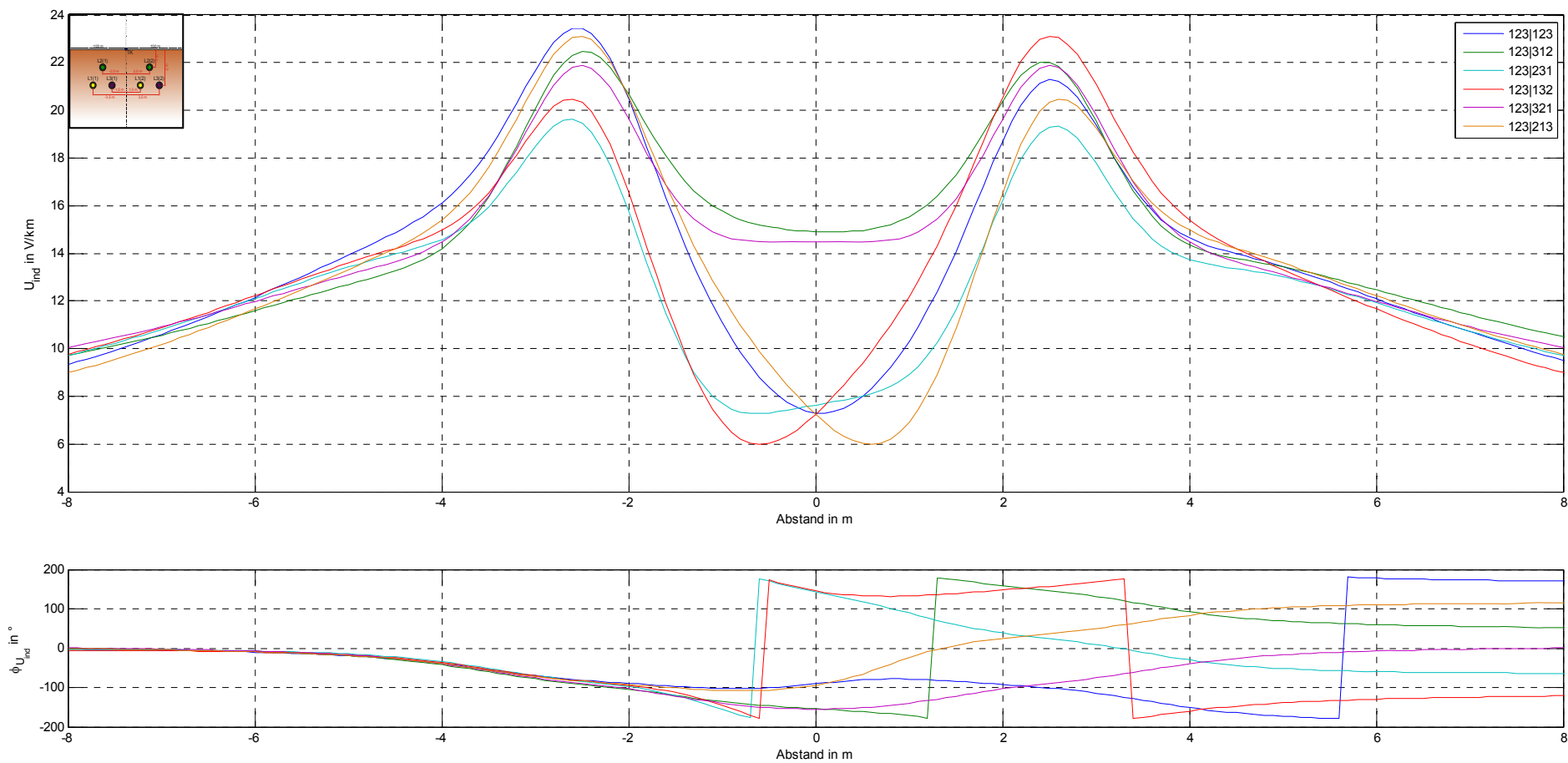


Abbildung 7.25: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-8 m – 8 m)

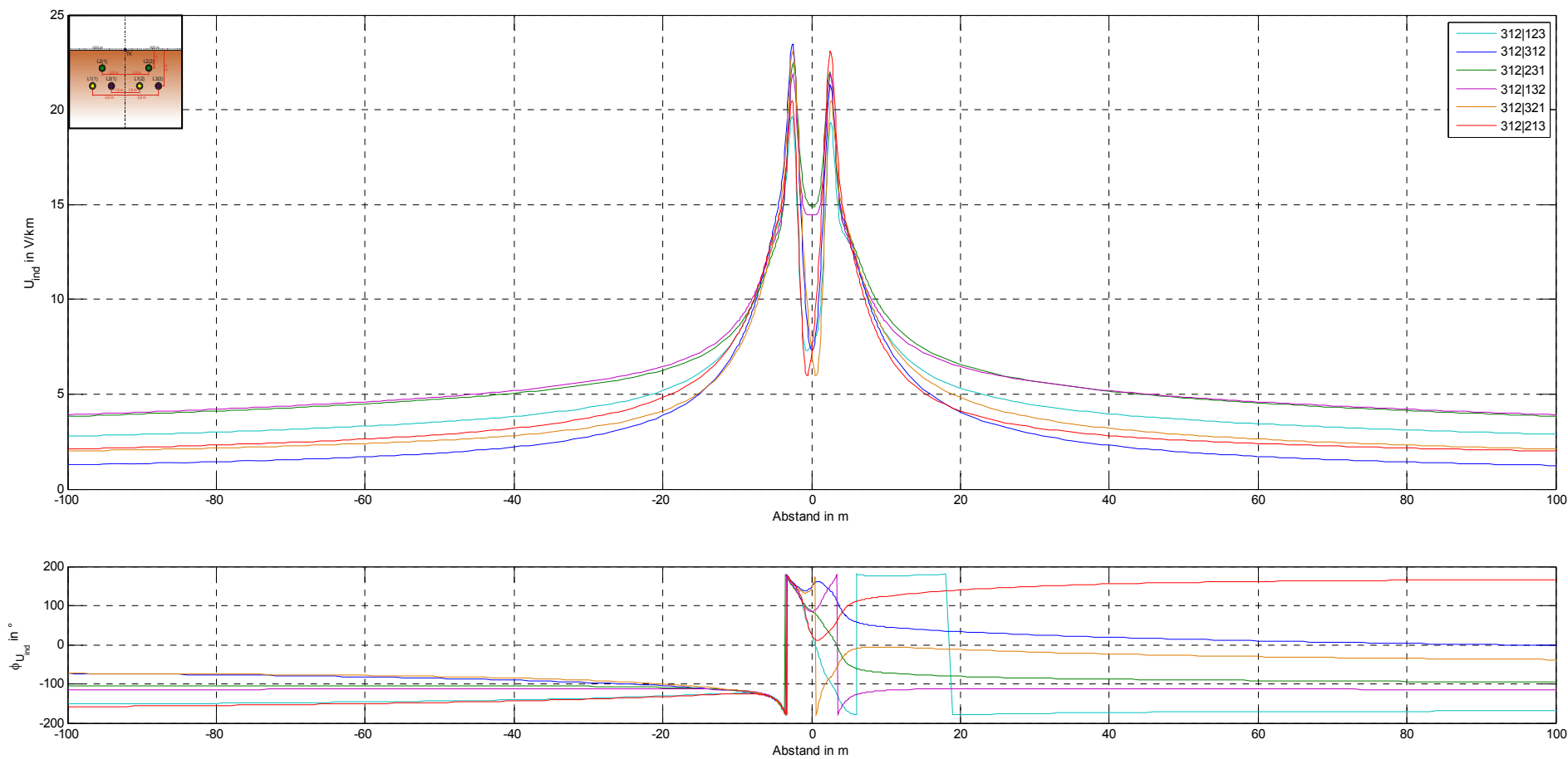


Abbildung 7.26: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-100 m – 100 m)

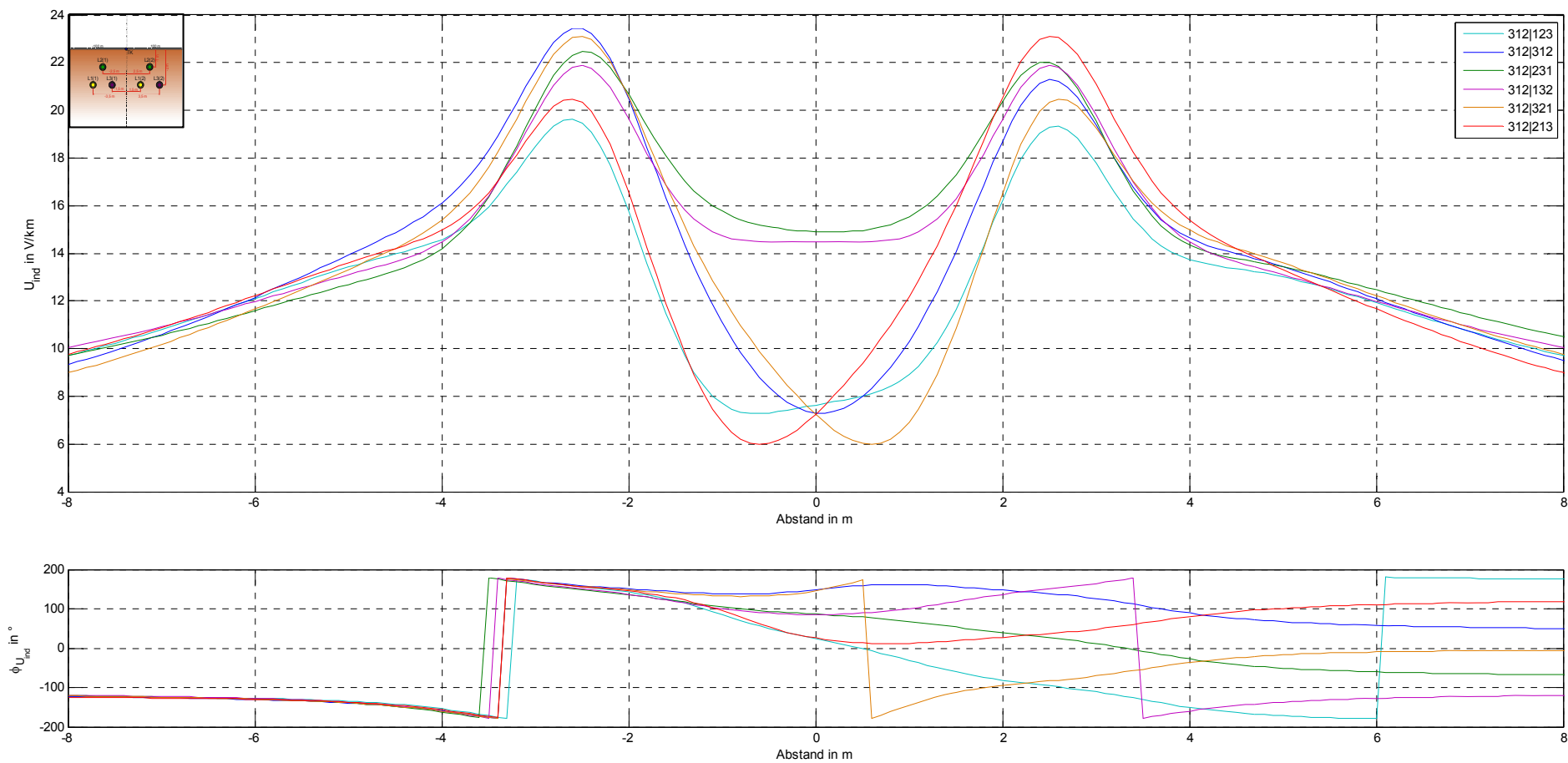


Abbildung 7.27: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-8 m – 8 m)

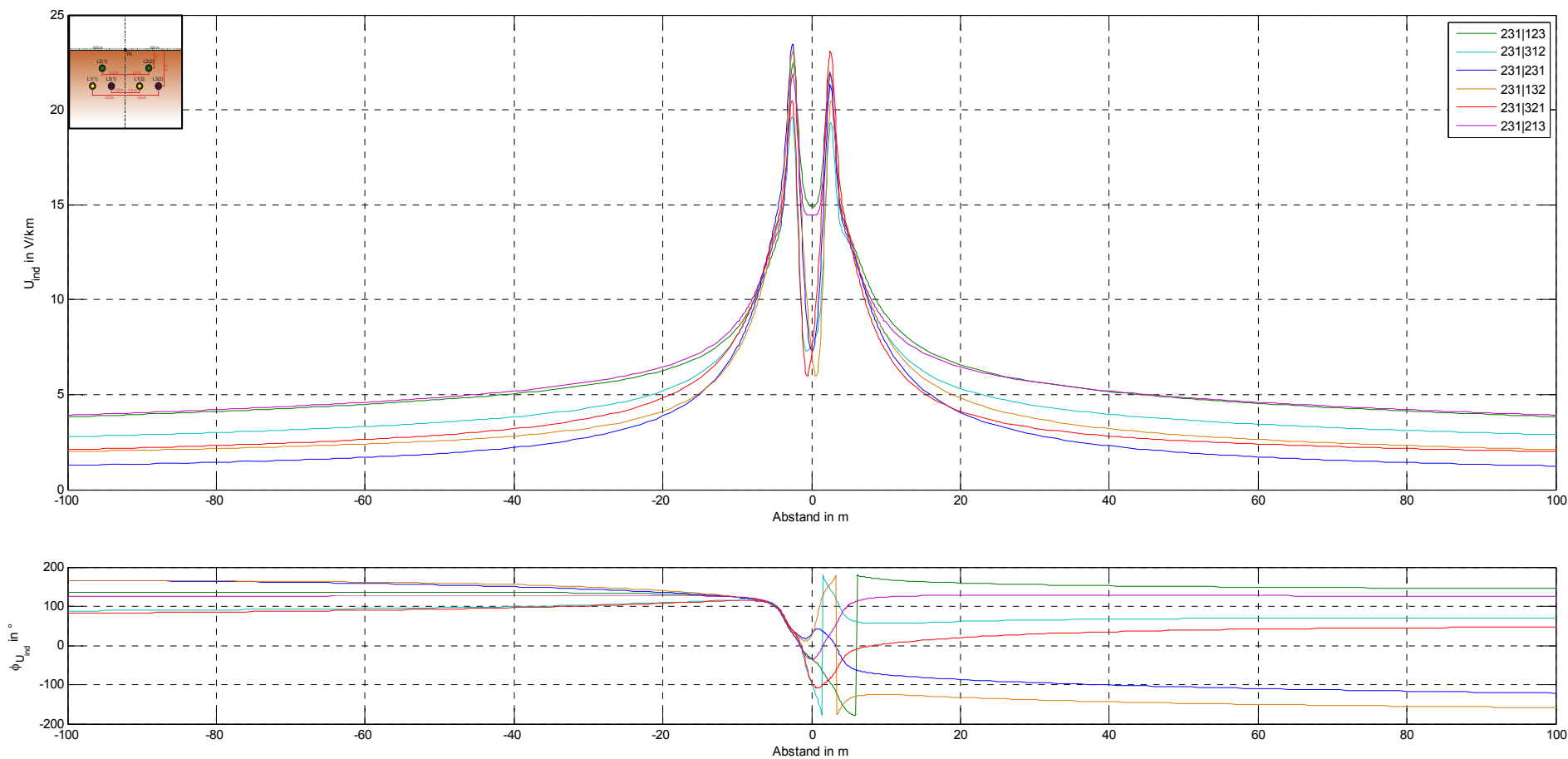


Abbildung 7.28: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-100 m – 100 m)

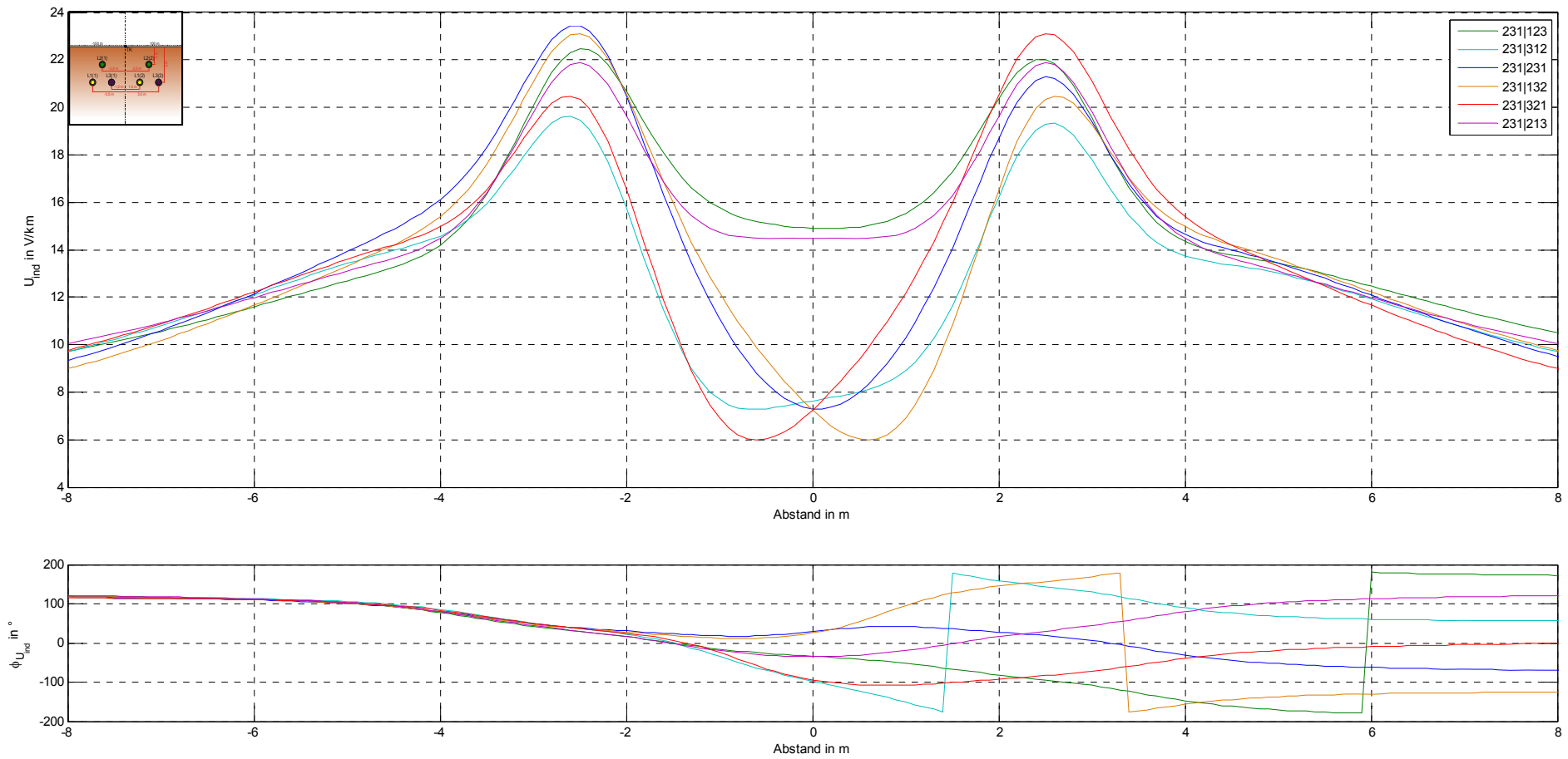


Abbildung 7.29: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-8 m – 8 m)

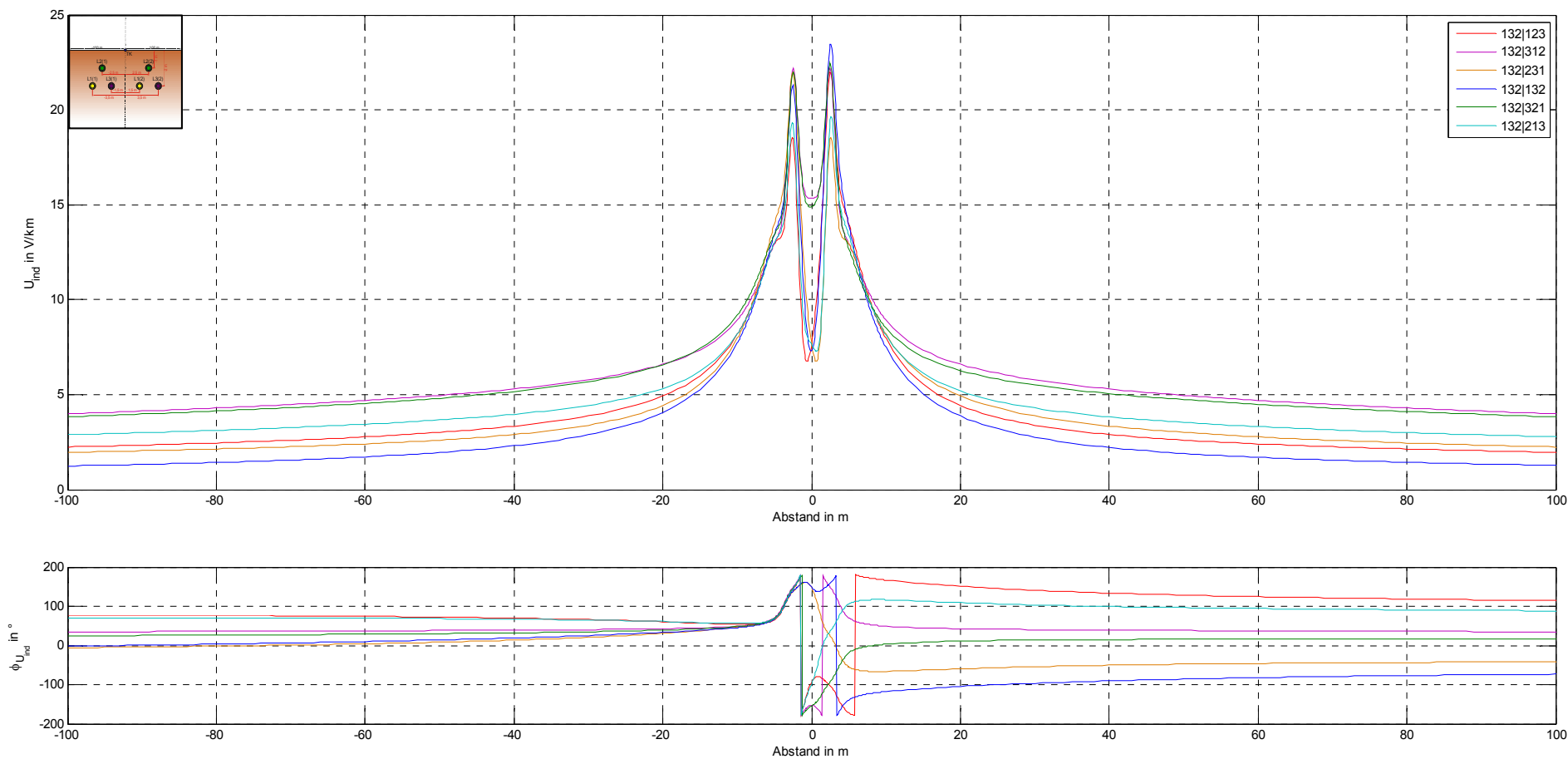


Abbildung 7.30: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-100 m – 100 m)



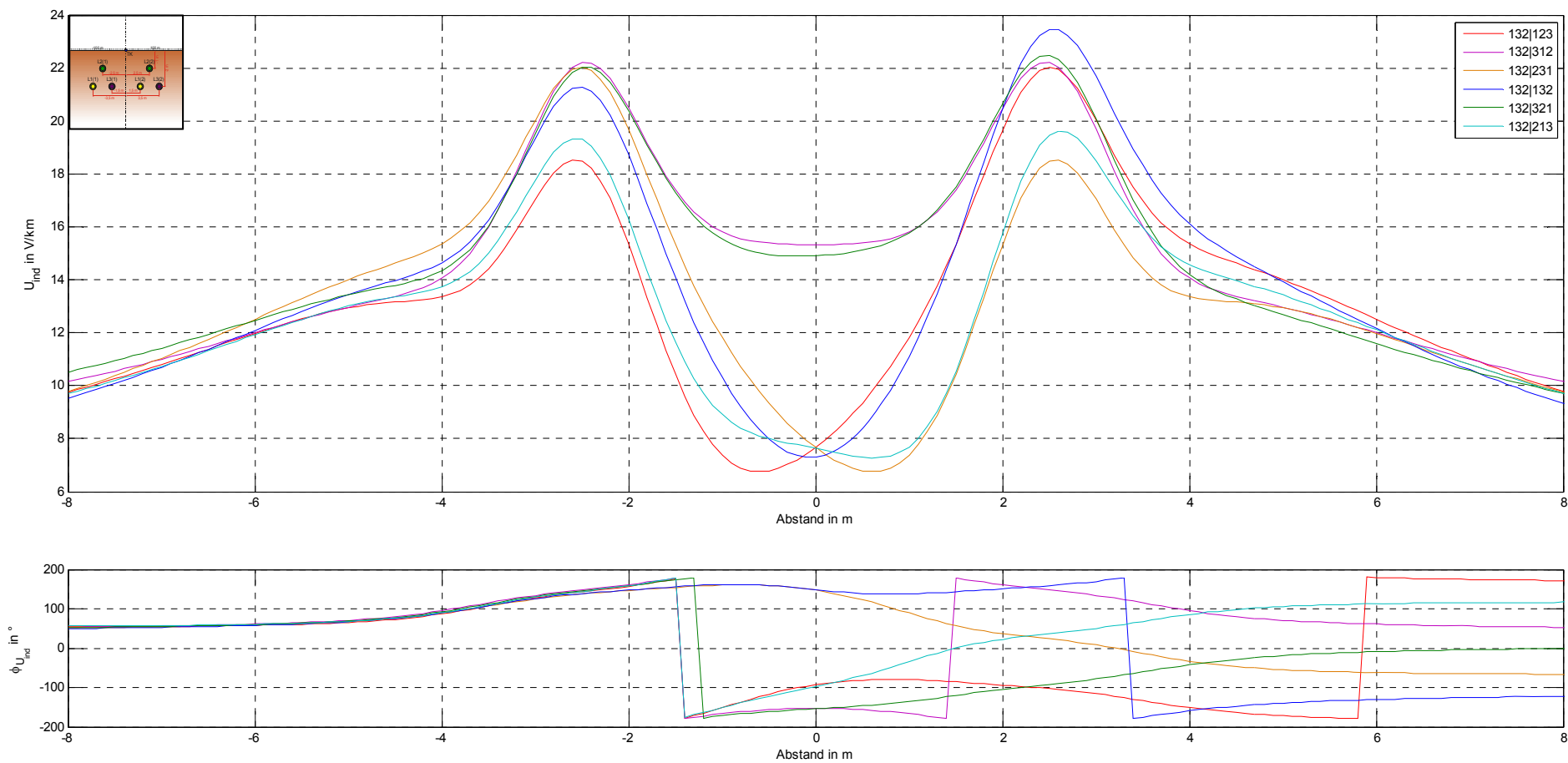


Abbildung 7.31: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-8 m – 8 m)

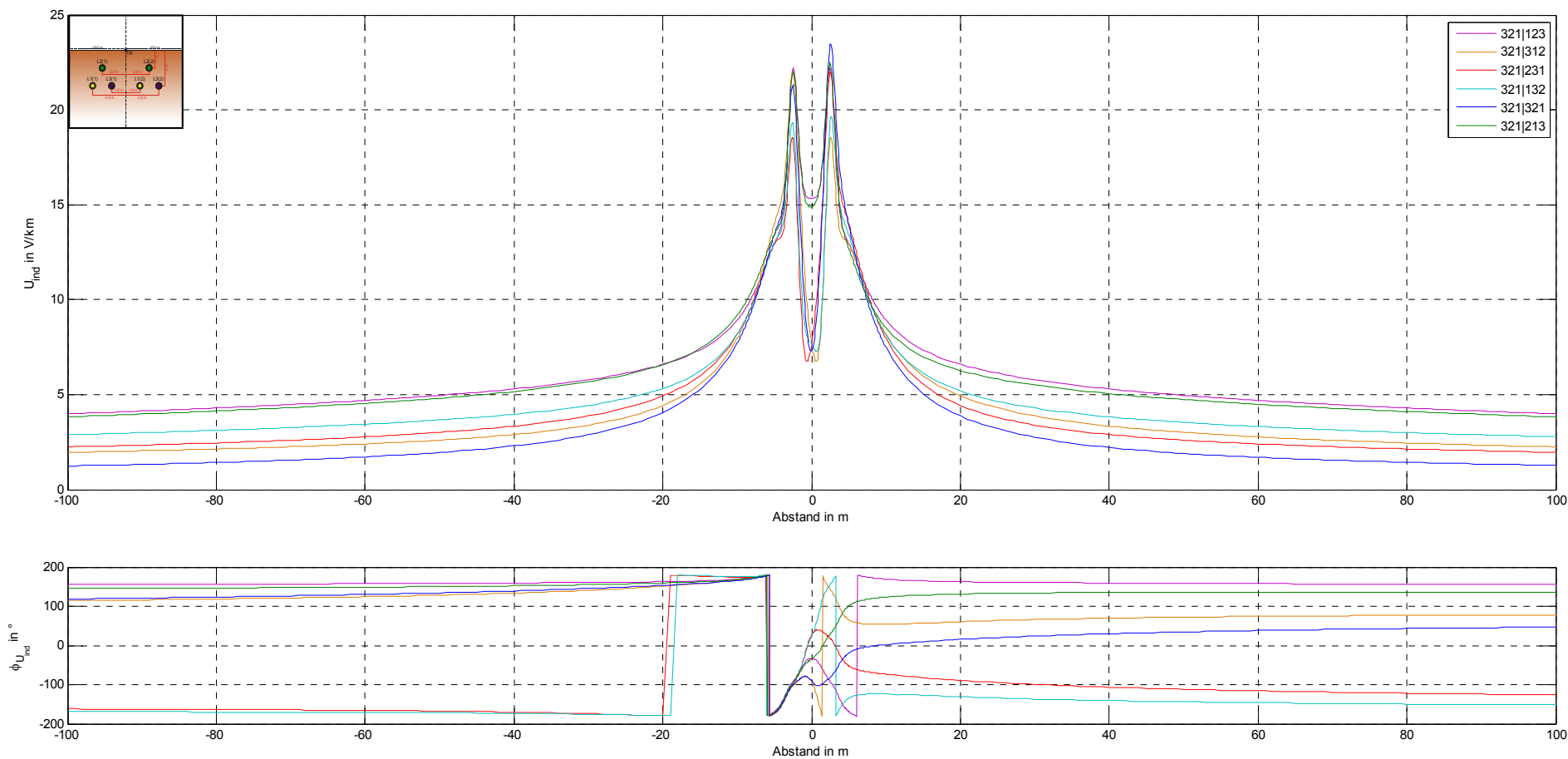


Abbildung 7.32: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-100 m – 100 m)

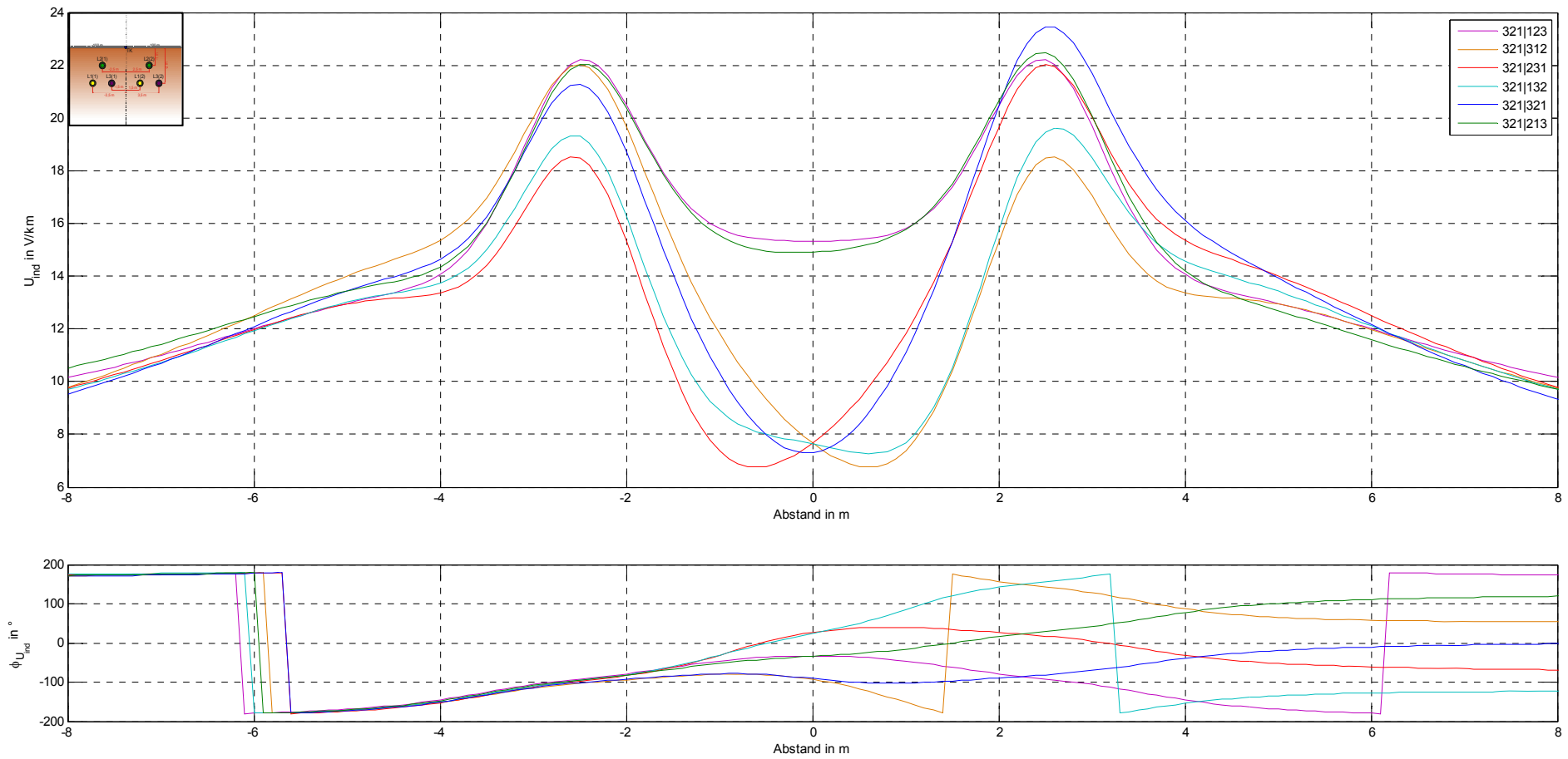


Abbildung 7.33: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-8 m – 8 m)

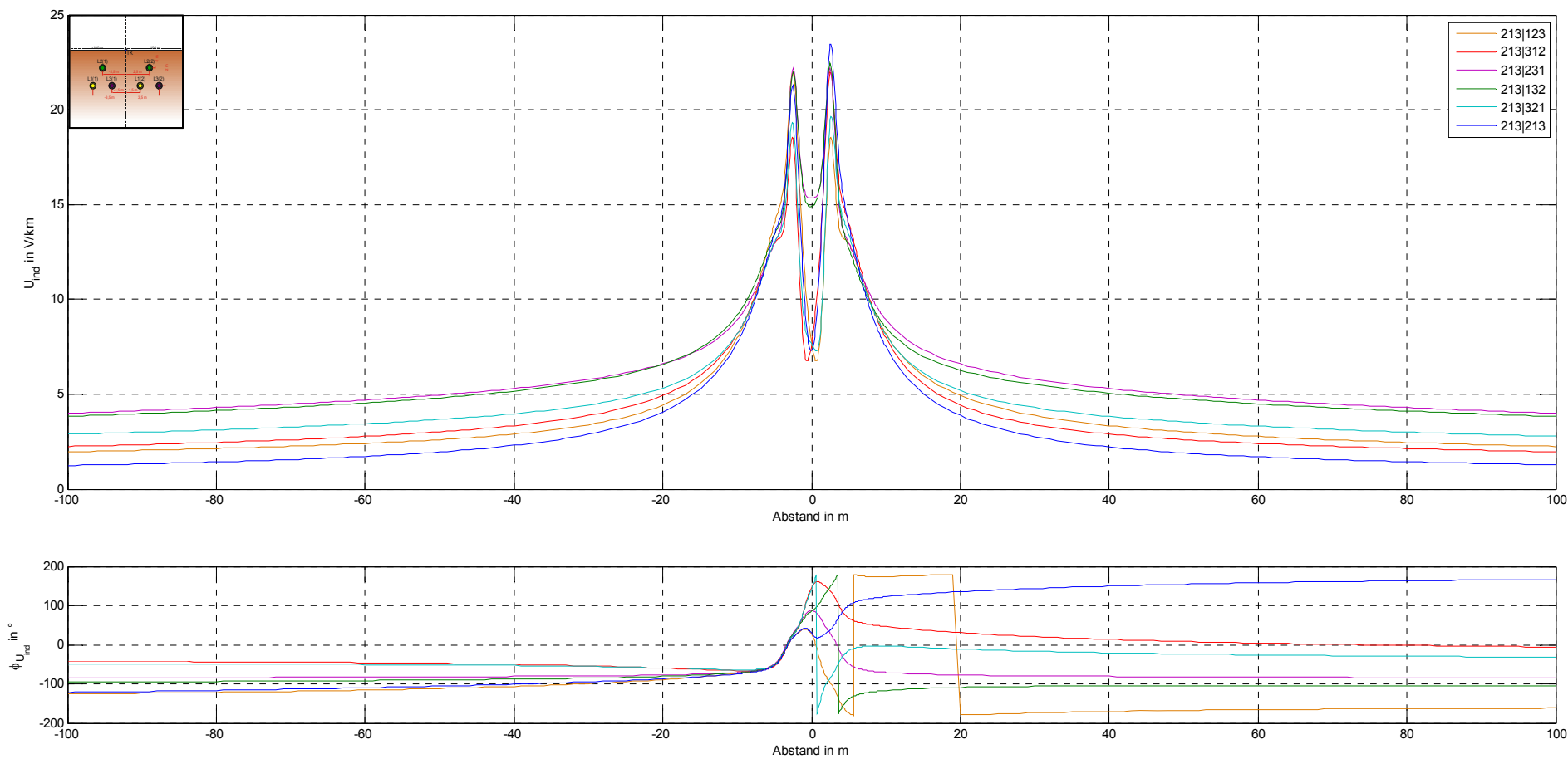


Abbildung 7.34: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-100 m – 100 m)

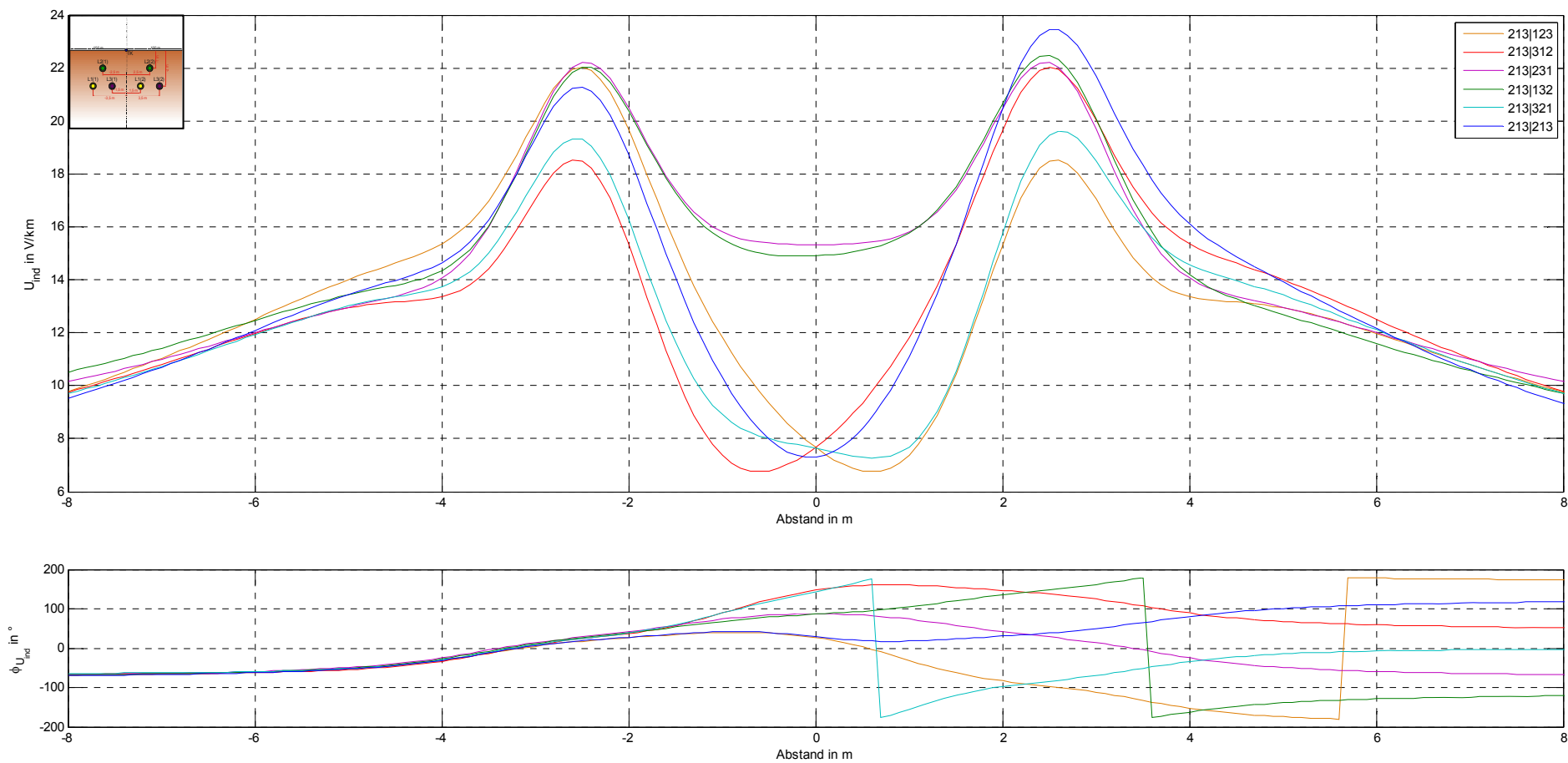


Abbildung 7.35: Betrag und Winkel der induzierten Spannung in einem Telekommunikationsleiter durch 2 Kabelsysteme in Dreieckanordnung induziert bei verschiedenen Phasenbelegungen (-8 m – 8 m)

## 8 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Das Programm „Induktive Beeinflussung elektrischer Leiter mit einem G(raphical)U(ser)I(nterface)“, oder kurz auch IBEL-GUI genannt, wurde plangemäß im vereinbarten Funktionsumfang dem Institut betriebsbereit übergeben. Nach den ersten Testläufen und Berechnungen mit dem in MATLAB programmierten IBEL-GUI kann schon von einem ersten wichtigen Schritt bei der Entwicklung eines flexiblen und dabei benutzerfreundlichen Programms zur Berechnung von niederfrequenten induktiven Beeinflussungen von unendlich langen Leitern mit Erdrückleitung unter Berücksichtigung sowohl von Freileitungen als auch Kabeln inklusive Reduktionsleitern gesprochen werden.

Für die Testläufe wurden einige übliche Beeinflussungskonfigurationen sowohl mit Freileitungen als auch Kabeln zusammengestellt, deren Berechnungen weitere Erkenntnisse im Bereich der induktiven Beeinflussungen bringen sollten und auch brachten (siehe Kapitel 7). Es konnte mithilfe der Ergebnisse v.a. gezeigt werden, dass nicht nur die Beträge bei Beeinflussungsberechnungen mitberücksichtigt werden müssen, sondern auch die Phasenwinkel der Beeinflussungsgrößen. Eng mit der Berücksichtigung des Phasenwinkels verbunden ist als weitere Folge der Ergebnisse auf die wichtige Rolle der Phasenbelegung der beeinflussenden Systeme Rücksicht zu nehmen. Auch konnte die Reduktionswirkung von Reduktionsleitern und der Einfluss von unterschiedlichen Querschnitten von Reduktionsleitern dargestellt sowie die Auswirkung des Vorhandenseins von Erdseilen gezeigt werden. Weitere Aussagen konnten im Kurzschlussfall darüber getroffen werden, dass keine Vereinfachung durch Verwendung eines Ersatzleiters für die beeinflussende Leitung erlaubt ist, da der Berechnungsfehler je nach Position des kurzgeschlossenen Leiters mehr oder weniger unzulässig wäre. Als letzte wichtige Erkenntnis ist auf den Unterschied in der Beeinflussung durch Freileitungen und Kabelleitungen hinzuweisen. Durch die reduzierende Wirkung der Kabelschirme sind die Beeinflussungsspitzen bei Kabeln sehr viel geringer als bei Freileitungen.

Diese ersten Tests von IBEL-GUI verliefen erfolgreich und dienten neben dem Zweck der Fehlerfindung und -ausbesserung der Demonstration der Anwendungsmöglichkeiten von IBEL-GUI.

In Zukunft muss nun die Entwicklung von IBEL-GUI weiter verfolgt werden um einerseits die Richtigkeit der Ergebnisse in allen möglichen Fällen der induktiven Beeinflussung zu verifizieren und andererseits sowohl die Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit als auch den Funktionsumfang zu steigern. Da wäre einerseits die Implementierung der Möglichkeit der Berechnung von Beeinflussungen durch Systeme unterschiedlicher Frequenzen zu erwähnen und andererseits die Flexibilisierung des Programmes durch Einsatz von Programmmodulen je nach Fall der Anwendung und Ergebnisdarstellung. Dieser Erweiterung des Funktionsumfangs muss auch eine Hand-in-Hand-Erweiterung der graphischen Oberfläche in Bezug auf Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit einhergehen. Als weitere Verbesserung des Programms sollte die Möglichkeit der Veränderung der Abschnittsreihenfolge in der graphischen Oberfläche angestrebt werden sowie bei Vorhandensein von mehreren ähnlichen

Abschnitten, vorhandene Abschnitte aus Effektivitätsgründen kopierfähig zu machen. Schließlich sollten noch die Für und Wider einer Optimierung des zugrunde liegenden Beeinflussungsmodells als weiterer Entwicklungsschritt von IBEL-GUI überlegt werden, indem an das Kettenleitermodell gedacht wird.

Zusammenfassend sind also alle anfänglich definierten Ziele der Masterarbeit erreicht worden vor allem in Hinblick des Hauptziels, des funktionstüchtigen Programmes, mit dessen Hilfe induktive Beeinflussungen von Freileitungs- und Kabelsystemen unter Berücksichtigung von Reduktionsleitern unter modernen Gesichtspunkten berechnet werden können. Schon die ersten Ergebnisse mit dem Programm IBEL-GUI, welchem auch die Programmdokumentation beiliegt, zeigten neue sowohl erwartete als auch unerwartete Ergebnisse und lassen unter der Voraussetzung, dass das Programm weiterentwickelt wird, darauf hoffen, dass weiterführende Arbeiten im Gebiet der induktiven Beeinflussung vorangetrieben werden.

## 9 Literatur

- [1] E. Schmutzger, „Die kartografische Aufnahme und Berechnung von induktiven Einfach- und Mehrfachbeeinflussungen durch Hochspannungsfreileitungen und -kabel im Fehlerfall und im Normalbetrieb,“ Graz, 1990.
- [2] E. Schmutzger, Niederfrequente Beeinflussung technischer Systeme durch Elektrische Anlagen, Graz.
- [3] R. Muckenhuber, Elektrische Anlagen 1, Teil 2, Graz, 1978.
- [4] F. Pollaczek, „Über das Feld einer unendlich langen wechselstromdurchflossenen Einfachleitung,“ *Elektrische Nachrichtentechnik*, Bd. 3, Nr. 9, 1926.
- [5] K. Feist, „Über den Reduktionsfaktor von Starkstromkabeln,“ *Siemens Zeitschrift*, Nr. 1, pp. 61-67, 1965.
- [6] H. Dommel, Ein digitales Rechenverfahren zur Lösung transienter Vorgänge in ein- und mehrphasigen elektrischen Netzen, Habilitationsschrift, 1967.
- [7] J. Carson, „Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return,“ *Bell System Technical Journal*, Nr. 5, pp. 539-554, 1926.
- [8] D. Oeding und B. R. Oswald, Elektrische Kraftwerke und Netze, Heidelberg: Springer-Verlag, 2004.
- [9] „IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems,“ 1991.
- [10] E.-P. Meyer, „Impedanzbeläge von endlich langen Leitern mit Erdrückleitung,“ *etz Archiv*, Bd. 6, pp. 91-97, 1984.
- [11] „Directives concerning the Protection of Telecommunication Lines against Harmful Effects from Electricity Lines,“ 1963.
- [12] E. Schmutzger, „Die Berechnung der Koppelimpedanz zweier Leiterschleifen mit Erdrückleitung mit dem Digitalprogramm "KOPPEL",“ Graz, 1984.
- [13] W. Gellert, H. Küstner, M. Hellwich und H. Kästner, „Kleine Enzyklopädie der Mathematik,“ Pfalz Verlag Basel, 1965, p. 645.
- [14] „Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines,“ 1998.
- [15] W. G. 36.02, „Guide on the influence of high voltage AC power systems on metallic pipelines,“ 1995.



- [16] A. Déri und G. Tevan, „Mathematical Verification of Dubanton's Simplified Calculation of Overhead Transmission Line Parameters and its Physical Interpretation,“ *Archiv für Elektrotechnik*, Bd. 63, pp. 191-198, 1981.
- [17] R. Iskra, Erweiterung des Digitalprogrammes KABEIN zur Berechnung von induktiven Beeinflussungen durch Hochspannungskabel, Institut für elektrische Anlagen TU-Graz, Hrsg., Graz: Diplomarbeit, 1990.
- [18] H. Breitwieser, Numerische Analyse der elektrischen Beeinflussung von Freileitungs-Erdungsanlagen, Institut für elektrische Anlagen TU-Graz, Hrsg., Graz: Diplomarbeit, 2010.
- [19] L. Heinold, Kabel & Leitungen für Starkstrom, Teil 1, Siemens AG, 1987.
- [20] H. Czichos und M. Hennecke, Hütte - Das Ingenieurwissen, Berlin: Springer, 2007.
- [21] G. Herold, Elektrische Energieversorgung II: Parameter elektrischer Stromkreise, Freileitungen und Kabel, Transformatoren, Wilburgstetten, Deutschland: J. Schlembach-Fachverlag, 2008.
- [22] C. Raunig, E. Schmutzner, L. Fickert und W. Emmer, „Die Bestimmung induzierter Spannungen und Ströme verursacht durch parallel geführte Leitungssysteme,“ Graz, 2014.
- [23] ÖVE-B1/1976, "Beeinflussungen von Fernmeldeanlagen durch Wechselstromanlagen mit Nennspannungen über 1kV", Eigenverlag Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Wien, 1976
- [24] ÖVE-B5/1969, "Maßnahmen zum Schutze von Rohrleitungen und Kabeln gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen", Eigenverlag Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Wien, 1969
- [25] NIN 2000, "Niederspannungs-Installations-Norm", Electrosuisse – SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik, Fehrltorf, 2000
- [26] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN IEC 60050: Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch, Beuth, Berlin Juni 2009, [www.dke.de/de/Online-Service/DKE-IEV/Seiten/IEV-Woerterbuch.aspx](http://www.dke.de/de/Online-Service/DKE-IEV/Seiten/IEV-Woerterbuch.aspx) (01.02.2014)