

"Kollisionen von Freibleitungen mit Hochspannungsfreileitungen, Unfallmechanismen und Ansätze für technische Schutzmassnahmen"

Inhalt

1. Einleitung: Allgemeine Informationen über Freileitungen
2. Unfallmechanismen: Vielfalt der möglichen Szenarien, entscheidende Parameter
3. Ansätze für technische Schutz- und Warnmöglichkeiten

1 Einleitung: Allgemeine Informationen über Freileitungen

Die elektrische Energieversorgung wird durch ein über ganz Mitteleuropa reichendes zusammenhängendes Leitungsnetz bewerkstelligt. Von den Kraftwerken bis zu den Verbrauchersteckdosen wird dieses Netz mit einer synchronen Wechselspannung der Frequenz 50 Hz betrieben. Dabei können vier Bereiche von Spannungsebenen unterschieden werden, welche über Transformatoren verbunden sind. Die Spannungsbereiche und die Aufgabe der einzelnen Netzebenen können der Abbildung 1 entnommen werden.

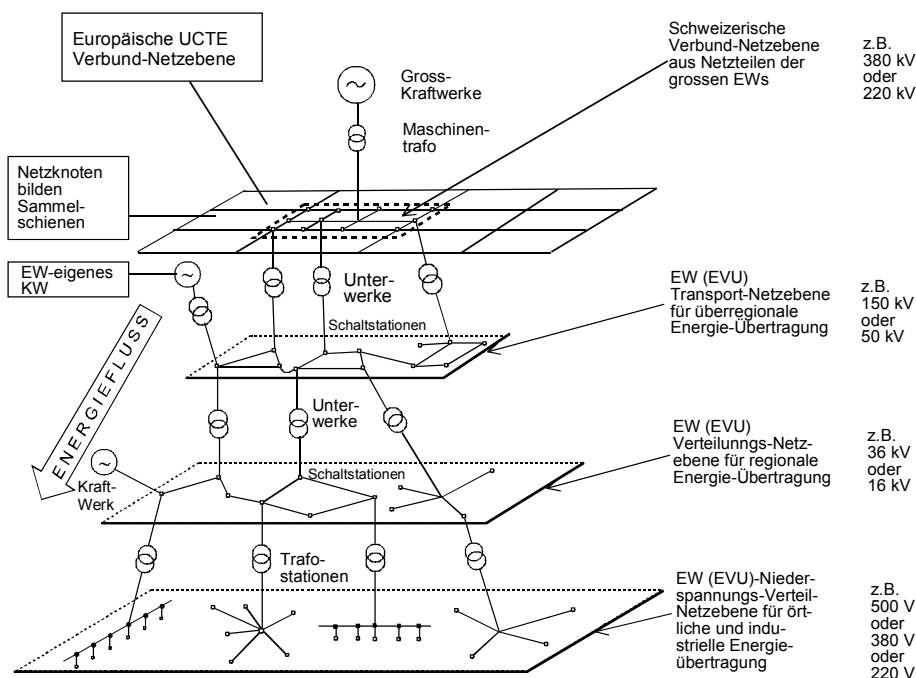


Abbildung 1 Spannungsebenen des elektrischen Energieversorgungsnetzes

Während die länderverbindende Höchstspannungsebene zu über 99% als Freileitungsnetz besteht, wird in den untersten Spannungsebenen (Mittelspannung bis 36 kV und Niederspannung 400 V / 230 V) der weitaus grösste Teil (zu über 80%)

in Form von Kabeln unterirdisch geführt. Wegen der enormen Netzgrösse in den unteren Spannungsebenen, weist der Anteil der Niederspannungsfreileitungen vor allem in landschaftlichen Gebieten dennoch den grössten Anteil der Freileitungen aus (weit mehr als 100'000 km).

Sieht man von den Niederspannungs- und Telekommunikationsfreileitungen ab, ergeben sich für die Schweiz folgende Längen für das Hochspannungsfreileitungsnetz¹:

- Mittelspannungsnetze (1 ... 35 kV) 26'000 km
- Hochspannungs-Transportleitungen (>35 kV ... 150 kV) 8'000 km
- Höchstspannungs-Verbundnetz (>150 kV) 6'000 km

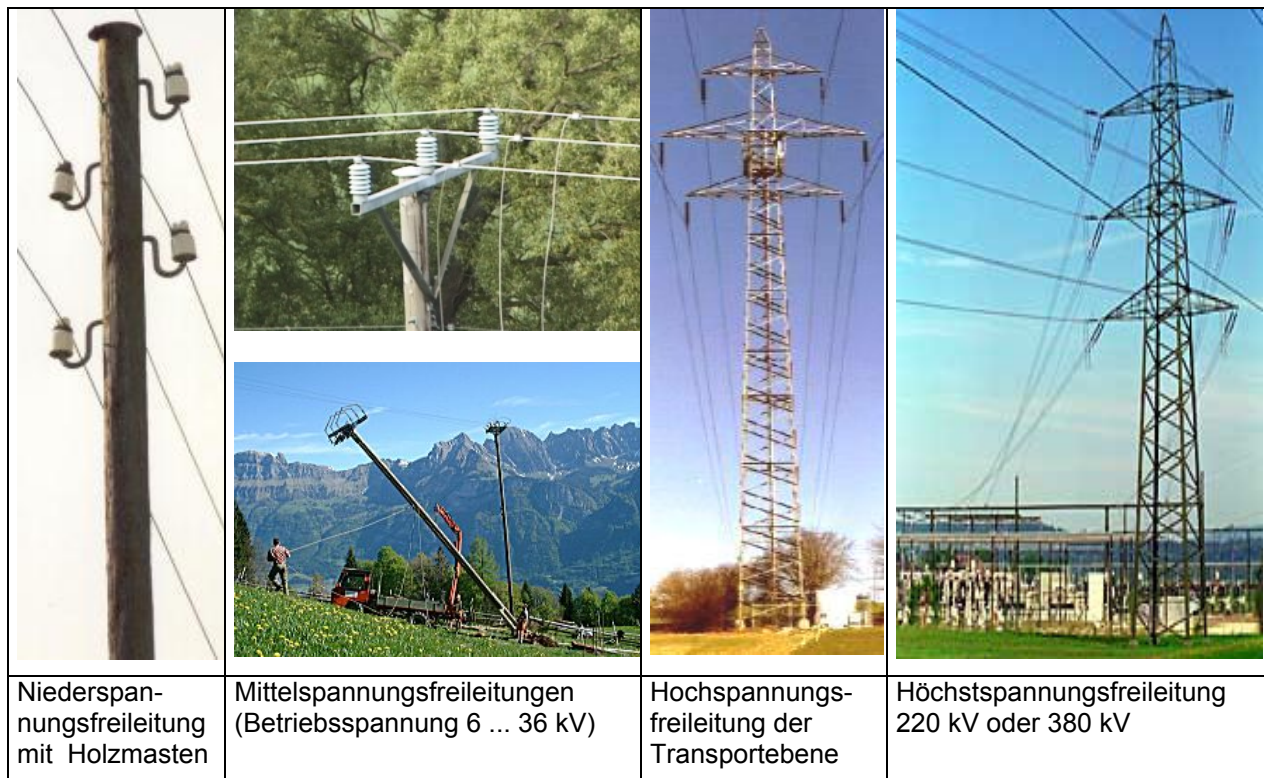


Abbildung 2 Erscheinungsbilder von Freileitungen und deren Masten entsprechend den vier Spannungsebenen in Abbildung 1

Betrachtet man einen Korridor mit beidseitigem Abstand einer Freileitung von 100 m als Gefahrenbereich, so resultiert gesamtschweizerisch eine Gefahrenfläche durch Hochspannungsfreileitungen von 8'000 km². Die Fläche dürfte sich aufgrund der allgemein angestrebten Zusammenlegung von Hochspannungsfreileitungen aber um etwa die Hälfte verringern, womit sie schliesslich etwa 10% der Fläche der Schweiz ausmacht (41'300 km²). Diese grobe Betrachtungsweise soll die Relevanz des Problems Freileitungen unterstreichen ohne auf weitere gefahrenbestimmende Faktoren einzugehen (Topographie, Konzentration von Leitungen in Tälern, Einfluss von Grossagglomerationen, etc.).

¹ Quelle: Statistik 1999 über die Verfügbarkeit der Elektrizitätsversorgung der Schweiz, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE/AES.

2 Unfallmechanismen: Vielfalt der möglichen Szenarien, entscheidende Parameter

Die möglichen Abläufe bei einer Kollision eines Ballons mit einer Freileitung und die daraus entstehenden Unfallszenarien sind sehr vielfältig und hängen von verschiedenen Gegebenheiten und Faktoren ab.

Es sei vorweggenommen, dass bei einer Ballonkollision mit einer Freileitung rein statistisch den mechanischen Schadensmechanismen ein höheres Gefahrenpotential beikommt, als den elektrischen Effekten. Die wichtigsten mechanischen Gefährdungen bestehen in einem möglichen Durchtrennen der Korbaufhängung bzw. in einer Zerstörung der Ballonhülle. Der Thematik folgend wird sich der vorliegende Beitrag allerdings thematisch auf Informationen zu den „elektrischen“ Unfallmechanismen beschränken.

Das durch elektrische Wirkungen mögliche Schadensausmass steigt naheliegenderweise mit zunehmendem Spannungsniveau der betreffenden Freileitung an. Wesentlich dabei ist nicht nur die Spannungshöhe selbst, sondern auch die in Netzen mit hoher Betriebsspannung sehr grossen Kurzschlussströme und die beim Kurzschluss durch Lichtbogen freiwerdende Energie (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3

Zu Demonstrationszwecken an einer Mittelspannungsfreileitung künstlich ausgelöster 3-phasiger Kurzschluss mit Erdberührung über das Blitzschutzseil

Für das Unfallgeschehen sind unter anderem folgende Einflussparameter entscheidend:

Einflüsse der Freileitung

- *Spannungsniveau*
- *Sternpunktbehandlung (Art der Netzerdung)*
- *Fehlerströme (bei Kurzschluss und Erdschluss und Fehlerabschaltzeiten)*
- *Fehlerdetektionsgrenzen des Ausschaltrelais, Wiedereinschaltregeln nach einem Fehler*
- *Geometrie: Phasenabstände und Phasenordnung*

Einflüsse des Ballons und dessen Flug

- *Flughöhe relativ zu den Seilen, Teil des Ballons, welcher zuerst berührt*
- *Brennbarkeit von Materialien, Füll- und Brenngase, Behälter, Brenner, Leitungen*
- *Elektrische Materialeigenschaften: Metallteile (Thermofühlerleitungen), Potentialausgleich zwischen den metallischen Komponenten*
- *Oberflächenfeuchtigkeit.*

Die elektrischen Vorgänge und ein mögliches Szenario ist in Figuren 4 bis 8 schematisch illustriert:

Bei Annäherung eines Ballons an eine Hochspannungsleitungen finden durch das elektrische Feld bereits vor einer Kollision Aufladungsphänomene und Potentialbeeinflussungen über das elektrische Feld statt. Diese Beeinflussungen, lösen auch schwache Verschiebungsströme im System aus Ballon und Korb aus (Abbildung 4).

Bei hohen Spannungen finden durch das elektrische Aufladevermögen des Ballons gegenüber der Erde (durch die sog. Erdkapazität) schon unmittelbar vor der Berührung Entladungen im Rhythmus der doppelten Netzfrequenz (2×50 Hz) statt (Abbildung 5). Nach erfolgtem Kontakt mit einem Leiterseil bleibt die Entladungsaktivität je nach Beschaffenheit der berührten Ballon-, Seil- oder Korboberfläche in Form von Oberflächenentladungen erhalten oder sie verschwindet.

Falls sich durch die beschriebenen ersten Funkenentladungen kein Material entzündet hat, wird es in der Folge entscheidend sein, ob eine Berührung mit einem zweiten Phasenseil oder mit dem Blitzschutzseil oder dem Erdboden (mit dem Korb) erfolgt (Abbildung 6). Bei solchen zweiseitigen Berührungen steht die hohe Betriebsspannung zwischen den berührten Ballonteilen an. Liegen leitfähige Strecken zwischen den berührenden Stellen vor (Thermofühler, Seile mit Drahtflechtungen etc.), so ist die Auslösung eines Phasen- oder Erdschlusses durch Lichtbogen leicht möglich, was zu den bereits genannten schwerwiegenden Folgen führt (Abbildung 7).

Bei ausschliesslichem Vorhandensein von Kunststoffen und trockenen organischen Materialien dürfte die Wahrscheinlichkeit eines Überschlags mit anschließendem Lichtbogen eher gering sein. Die Phasenabstände sind mit mehr als 2cm pro 1000V der Betriebsspannung so bemessen, dass isolierende Oberflächen schwer überschlagen werden können. Die Breite der verbindenden Fläche (z.B. der Ballonhaut) zwischen den zwei Phasen sowie auch die Berührungszeit ist hier allerdings sehr entscheidend. Feuchte Seile oder Kunststoffgewebe, über welche Hochspannung anliegt, können durch auftretende Kriechströme leicht verbrennen und damit reißen oder zum Überschlag führen.

Kann der Korb ohne Überschlag und Lichtbogen auf den Boden gebracht werden, so bestehen gute Chancen den Ballon heil verlassen zu können. Bleibt der Ballon dabei mit den Leiterseilen in Berührung, so besteht nun die Gefahr der Potentialverschleppung über die Seile zum Korb, was zu Differenzspannungen im Korb bzw. zwischen Korb und Erdboden führt. Berührt ein Insasse auseinanderliegende Teile, insbesondere solche aus Metall, so besteht die Gefahr der Elektrisierung. Ob der Korb nun mit dem berühmten Sprung auf den Erdboden zu verlassen ist oder ob die Ausschaltung der Leitung abzuwarten ist, soll von der Frage abhängig gemacht werden, ob eine akute Brand- oder Explosionsgefahr besteht.

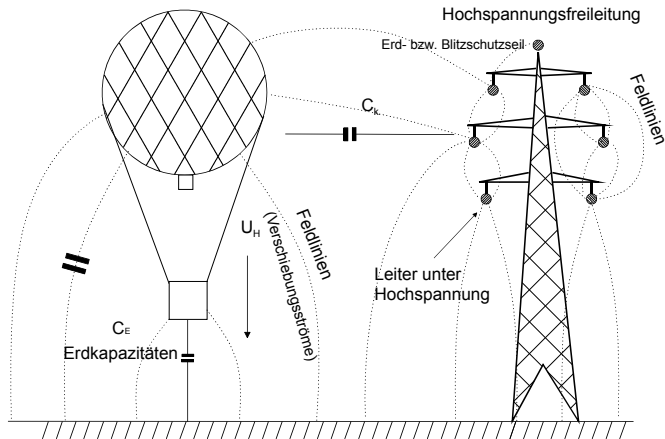


Abbildung 4
Kapazitive Beeinflussung eines Freiballons, welcher sich einer Hochspannungsfreileitung annähert. Dieser Effekt, löst sehr feine Verschiebungsströme über den Freiballon aus

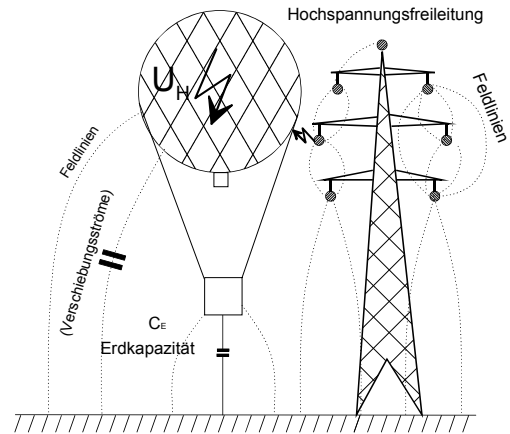


Abbildung 5
Vorentladungen auf einen Freiballon, kurz vor der Berührung mit einer Phase einer Hochspannungsfreileitung

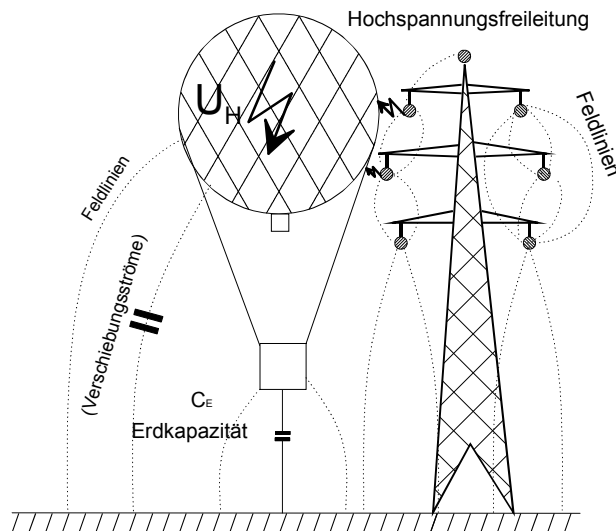


Abbildung 6
Zunächst Entladungen auf eine zweite Phase der Freileitung, danach Berührung mit zwei Phasen

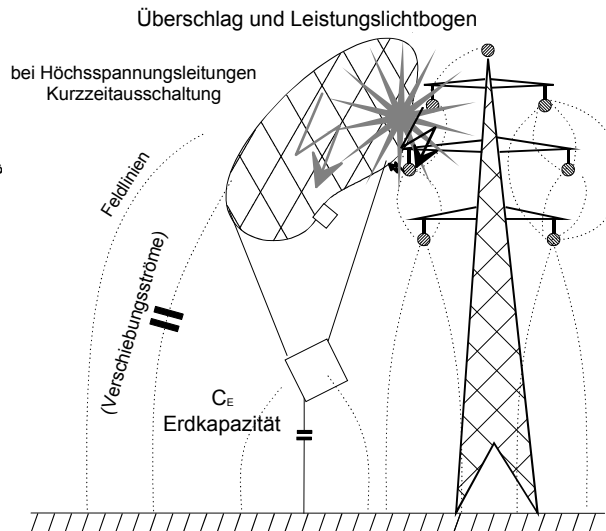


Abbildung 7
Möglicher Phasenschluss über die Ballonhaut, falls durch die Ballonberührung zwischen den Phasen leitfähige Pfade entstehen. Ein Phasen oder ein Erdschluss kann auch durch die Seile oder den Korb ausgelöst werden, wenn die Leitungsberührung an diesen Teilen erfolgt

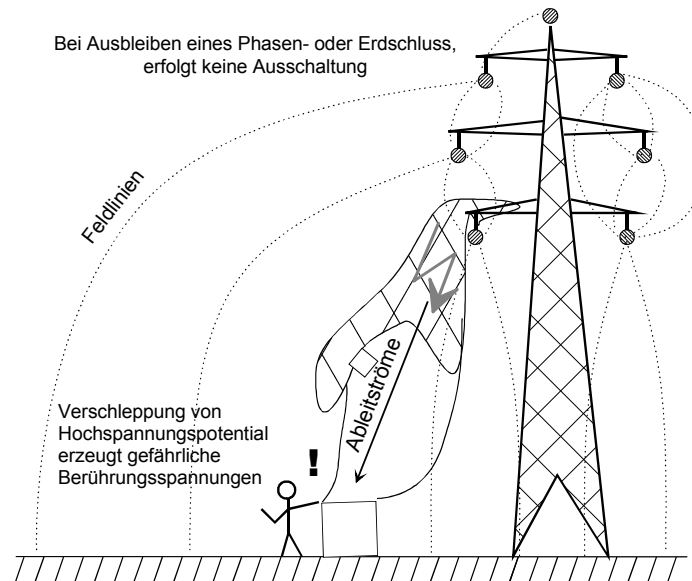


Abbildung 8 Gefahr durch Berührungsspannungen bei bleibendem Kontakt von Ballonteilen mit den spannungsführenden Leitern

3 Ansätze für technische Schutz- und Warnmöglichkeiten

In diesem Abschnitt sollen Ansätze für technische Massnahmen genannt werden, welche zukünftig zur Reduktion des Kollisionsrisikos mit Freileitungen in Frage kommen. Die genannten Ideen berücksichtigen sowohl konstruktive Massnahmen sowie auch Mittel zur Warnung des Ballonpiloten.

3.1 Konstruktive Massnahmen aus Sicht des elektrischen Schadenpotentials:

- Das wichtigste konstruktive Kriterium bei allen elektrischen Sicherheitsmassnahmen ist die Vermeidung eines Phasenschlusses oder eines Erdschlusses durch einen Lichtbogen, welcher durch grosse Hitzeentwicklung ein hohes Gefahrenpotential für Brandauslösung und Körperverbrennungen aufweist.
 - Entsprechend sollen ausgedehntere leitende Objekte, welche zwei Phase oder eine Phase und Erde verbinden oder teilweise überbrücken können vermieden werden.
- Zweitwichtigste Überlegung ist die Risikoverringung für eine Elektrisierung der Insassen.
 - Sie kann durch einen lokalen Potentialausgleich im Korbbereich, d.h. durch elektrische Verbindung aller Metallteile verringert werden. Der Potentialausgleich könnte allenfalls durch einen elektrisch angebundenes metallischen Standplatz und einen Rahmen z.B. aus Alu-Profil ergänzt werden.

3.2 Warneinrichtungen:

Warnungen vor Freileitungen sind insbesondere auf optischen und elektrischen Wegen möglich. So existieren beispielsweise optische Beobachtungsinstrumente, die das Spektrum des sichtbaren Lichts erweitern und so die Distanz für die Erkennung von Freileitungen deutliche erweitern können. In erster Linie können Infrarotbeobachtungsgeräte in Betracht gezogen werden, mit welchen sich die durch Verluste erwärmten Leiterseile vom Hintergrund deutlich abheben.

Hinsichtlich der rein elektrischen Warnprinzipien ist die Detektion von Emissionen verschiedener Komponenten des elektromagnetischen Felds denkbar:

1. Detektion des elektrischen 50-Hz-Felds, verursacht durch die Betriebsspannung
2. Detektion des 50-Hz-Magnetfelds, verursacht durch den Betriebsstrom
3. Detektion des hochfrequenten elektromagnetischen Felds, verursacht durch Koronaentladungen

Am vorteilhaftesten erscheint hier die Nutzung des elektrischen Felds, welches bei eingeschalteter Leitung stets konstant vorhanden ist.

Das Magnetfeld weist den Nachteil auf, dass es stark variiert und von der momentanen Strombelastung abhängt. Hochfrequente Felder durch Koronaentladungen sind nur bei Leitungen mit Betriebsspannungen über 110 kV signifikant vorhanden und sind ausserdem stark abhängig vom Wetter. Bei schönem Flugwetter ist die Entladungsaktivität besonders gering.

Abbildung 9 zeigt ein Querprofil der elektrischen Feldstärke einer 220-kV-Freileitung. Zur Detektion eignet sich insbesondere die Vertikalkomponente des Felds, wobei diese in einem Kilometer Entfernung von der Freileitung noch 20 mV/m aufweist. Solche Feldstärken lassen sich mit einfachen Vorrichtungen leicht messen. Im übrigen eignet sich die grosse Ausdehnung von Freiballonen vortrefflich für die Installation von Drahtantennen zur empfindlichen Erfassung von elektrischen Feldern. Die Realisierung einer Warneinrichtung über das elektrische Feld dürfte damit einfach zu bewerkstelligen sein. Es stellt sich aber die Frage, ob in Anbetracht der Vielfalt von Betriebsspannungen und Freileitungsgeometrien sinnvolle Pegelschwellen für eine zuverlässige Warnung gefunden werden können.

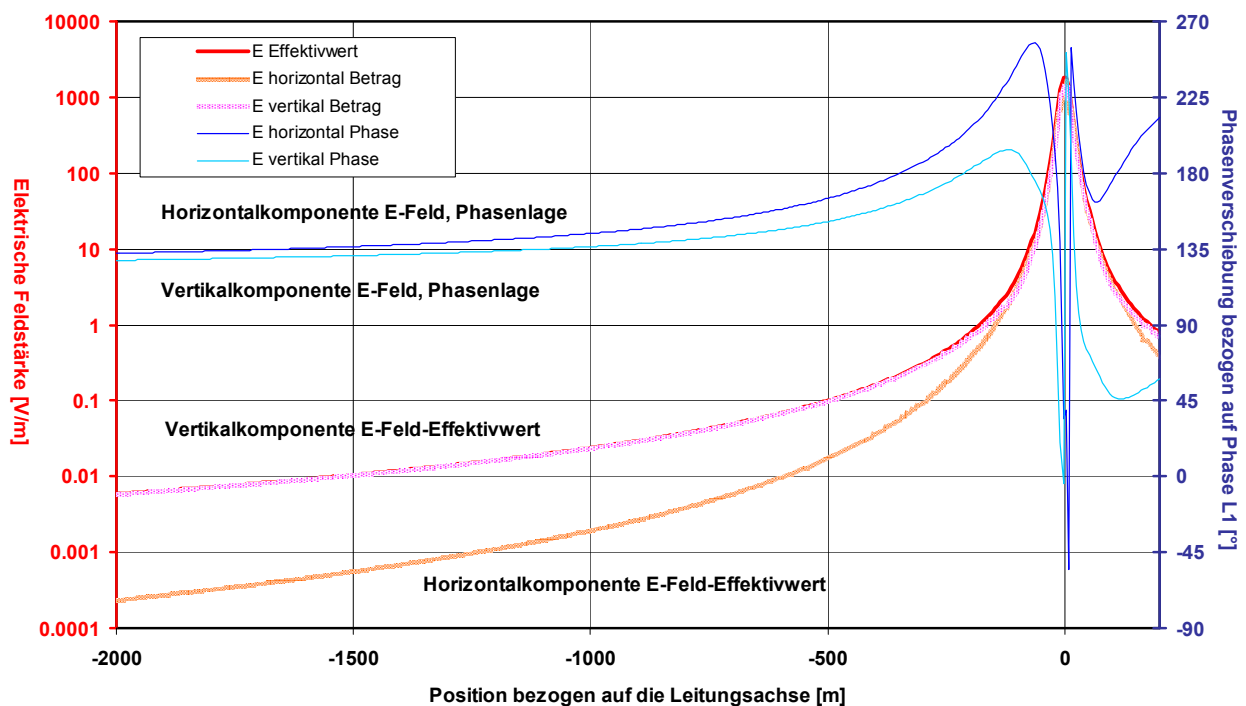


Abbildung 9 Querprofil der elektrischen Feldstärke einer 220-kV-Leitung mit Doppelstrang in Tonnenanordnung in 30 m Höhe über dem Erdboden

Literatur

Broschüre: „Freiballon und Freileitungen“ des DFSV und DaeC, 2. Auflage 1998
(www.daec.de/flusi/material.htm),
siehe Literaturangaben in dieser Broschüre

J. Keller, EStI, 8320 Fehraltorf: „Stolperdrähte der Luft – höchste Gefahr für
Hängegleiterpiloten und Retter“.