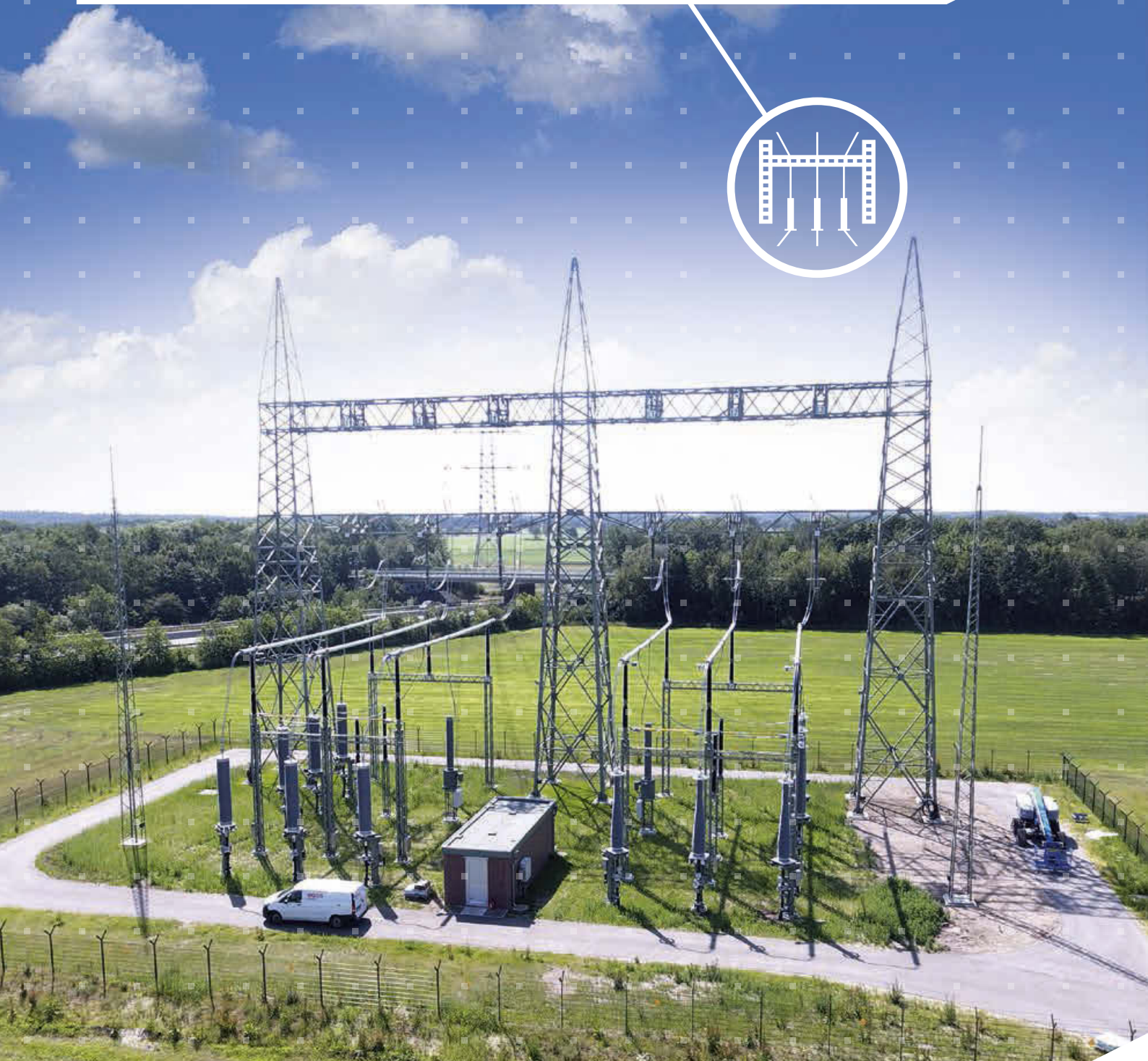
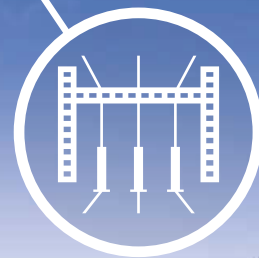


Kabelübergangs- anlagen

Die Verbindung zwischen Freileitung und Erdkabel

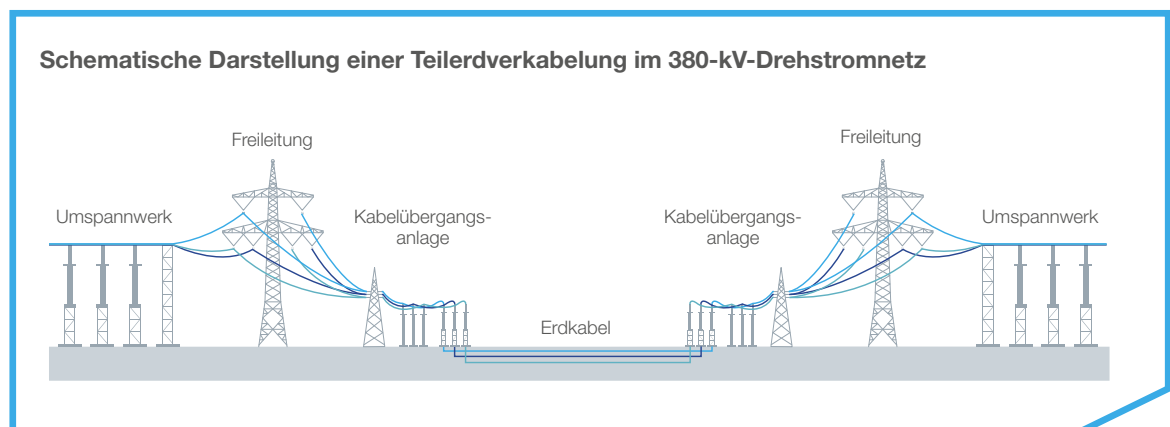


Notwendigkeit von Kabelübergangsanlagen

Zwischen einem Erdkabel- und einem Freileitungsabschnitt einer Stromleitung werden Übergangsbauwerke, sogenannte „Kabelübergangsanlagen“ benötigt. Diese enthalten alle technischen Komponenten um den Übergang von Freileitungen auf Erdkabel und umgekehrt zu ermöglichen. Darum werden für jeden Erdkabelabschnitt prinzipiell zwei Kabelübergangsanlagen benötigt.

Der Einsatz von Kabelübergangsanlagen geht mit dem Einsatz von Erdkabeln im 380-kV-Drehstromnetz einher. Im Rahmen des Energieleitungsausbaugesetzes (EnLAG) und dem Bundesbedarfsplangesetzes (BBPlG) wurden Pilotprojekte* festgelegt sowie Kriterien eingeführt, die die Option für einen abschnittweisen Erdkabeleinsatz vorsehen. Dadurch entsteht die Notwendigkeit, die unterirdisch verlegten Kabel mittels Kabelübergangsanlagen mit der oberirdischen Freileitung zu verbinden.

Der genaue Einsatzbereich von Kabelabschnitten wird bei jedem Projekt im Einzelfall und in Abhängigkeit der netzplanerischen sowie der planungsrechtlichen Aspekte analysiert. Dementsprechend unterschiedlich können die Längen der einzelnen Kabelabschnitte ausfallen. Abgestimmt auf Länge und Einsatzort des Erdkabelabschnitts im vermaschten Drehstromnetz werden Ausgestaltung und Betriebsmitteleinsatz der entsprechenden Kabelübergangsanlagen geplant.



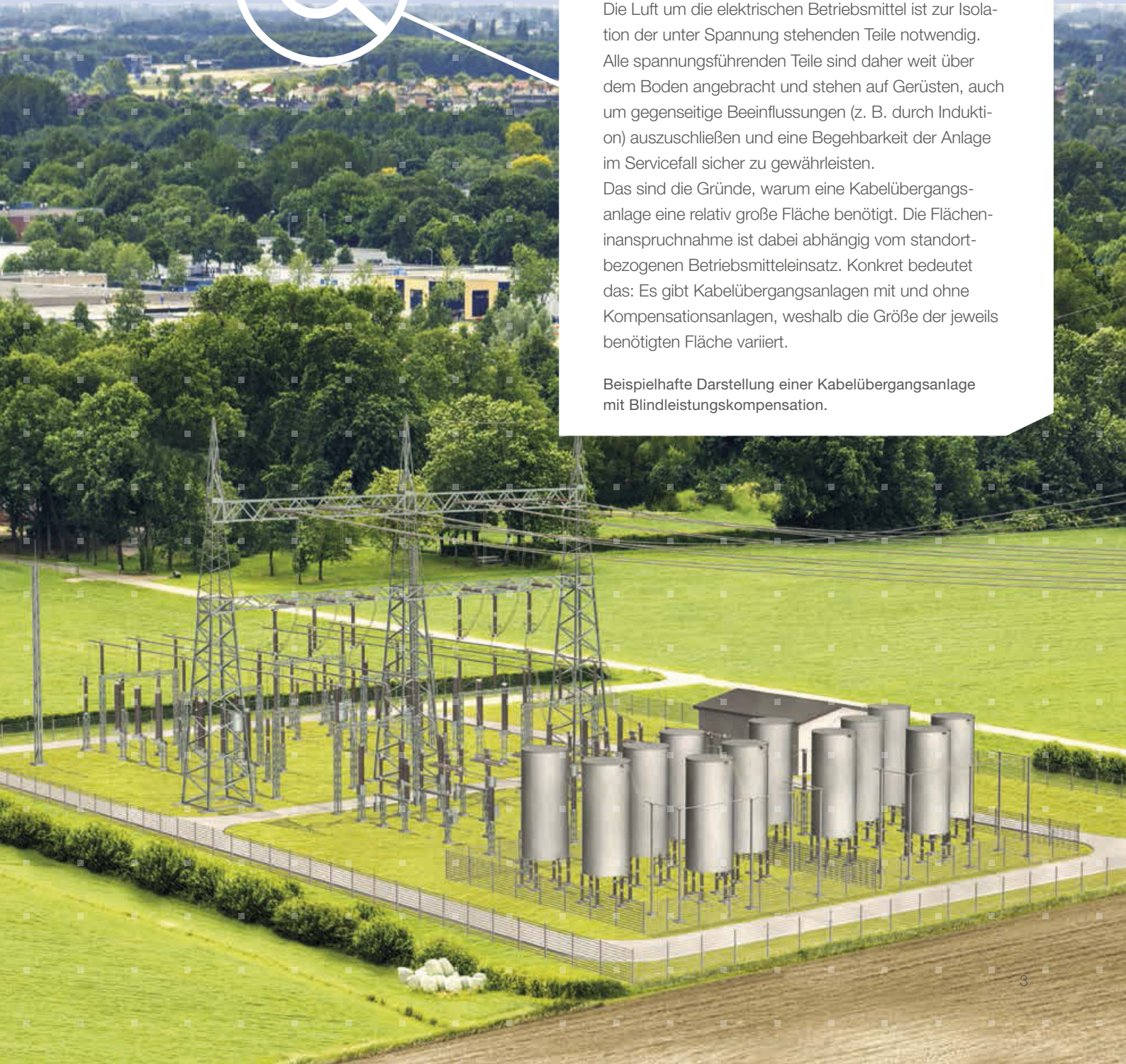
Die Anlage im Detail



Jedes Anlagenteil in einer Kabelübergangsanlage erfüllt eine spezifische Funktion. Auch der große Abstand zwischen den einzelnen Elementen hat seinen Sinn: Die Luft um die elektrischen Betriebsmittel ist zur Isolation der unter Spannung stehenden Teile notwendig. Alle spannungsführenden Teile sind daher weit über dem Boden angebracht und stehen auf Gerüsten, auch um gegenseitige Beeinflussungen (z. B. durch Induktion) auszuschließen und eine Begehrbarkeit der Anlage im Servicefall sicher zu gewährleisten.

Das sind die Gründe, warum eine Kabelübergangsanlage eine relativ große Fläche benötigt. Die Flächeninanspruchnahme ist dabei abhängig vom standortbezogenen Betriebsmitteleinsatz. Konkret bedeutet das: Es gibt Kabelübergangsanlagen mit und ohne Kompensationsanlagen, weshalb die Größe der jeweils benötigten Fläche variiert.

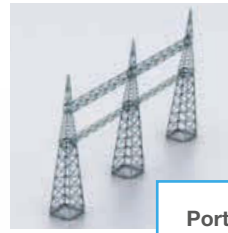
Beispielhafte Darstellung einer Kabelübergangsanlage mit Blindleistungskompensation.





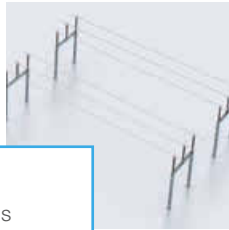
Betriebsgebäude

Im Betriebsgebäude laufen die Informationen aus allen Steuer- und Messeinrichtungen der Kabelübergangsanlage zusammen. Alle Steuer- und Messwerte werden an die zentrale Schaltleitung übermittelt. Bei Bedarf können die elektrischen Geräte auch vor Ort überwacht und gesteuert werden. In den Schaltleitungen fließen die Informationen aus allen Umspannwerken, Leitungen und Kabelübergangsanlagen zusammen.



Portal

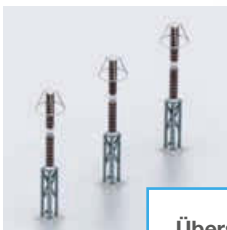
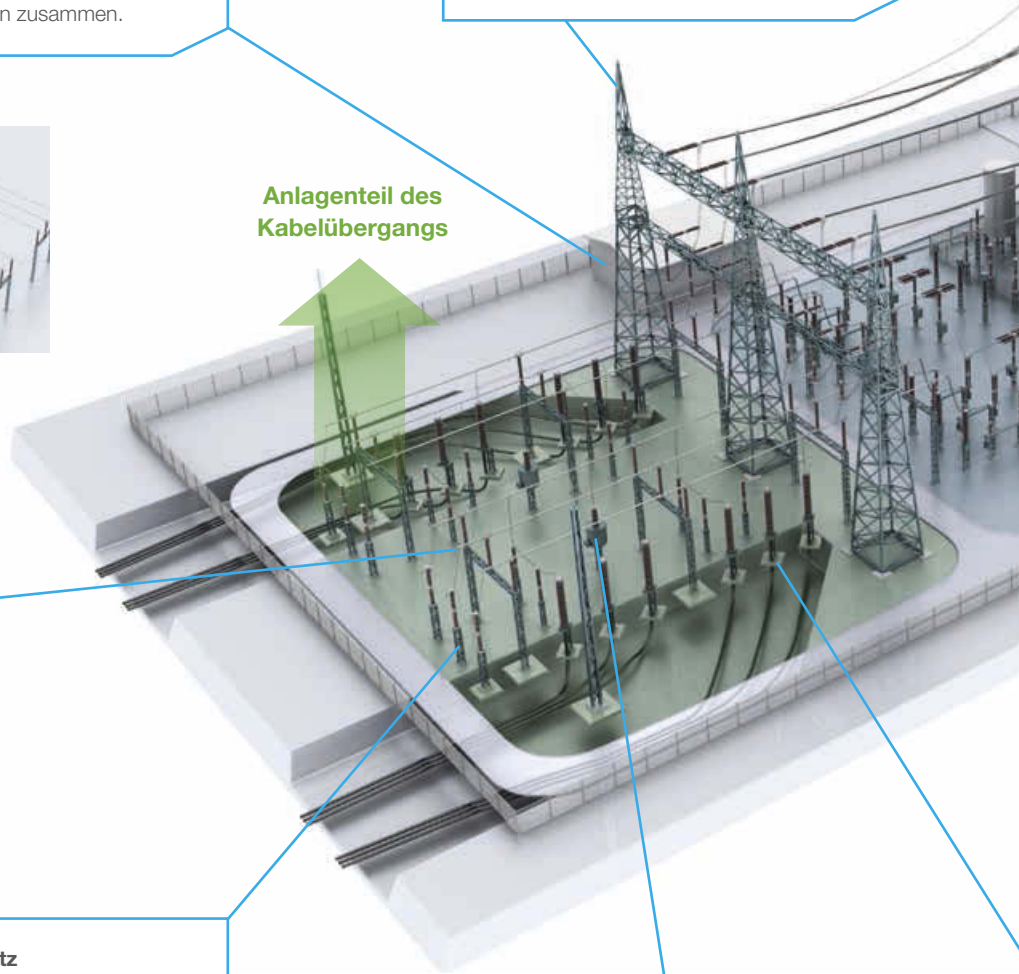
Als Portal wird ein Metallgerüst bezeichnet, das rund 27 Meter hoch ist und das Ende einer Freileitung und den Eingang zur Kabelübergangsanlage darstellt. Die gebündelten Freileitungsseile werden am Portal einzeln angehängt und weiter auf die Rohrverbindung geführt. Auf dem Portal werden drei etwa 10 Meter hohe Blitzschutzstangen montiert.



Rohrverbindung

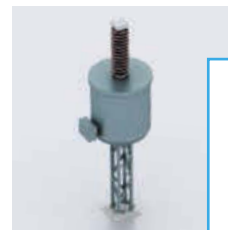
Eine Rohrkonstruktion aus Aluminium stellt die elektrische Verbindung zwischen Freileitungsseil, Kabelendverschluss und ggf. Kompensationsspule her. Optional werden diese mit Trenn- und Leistungsschalter ergänzt, um Schalthandlungen in der Kabelübergangsanlage zu ermöglichen. Dies kann erforderlich sein, um das Netz sicher zu betreiben.

Anlagenteil des Kabelübergangs



Überspannungsschutz

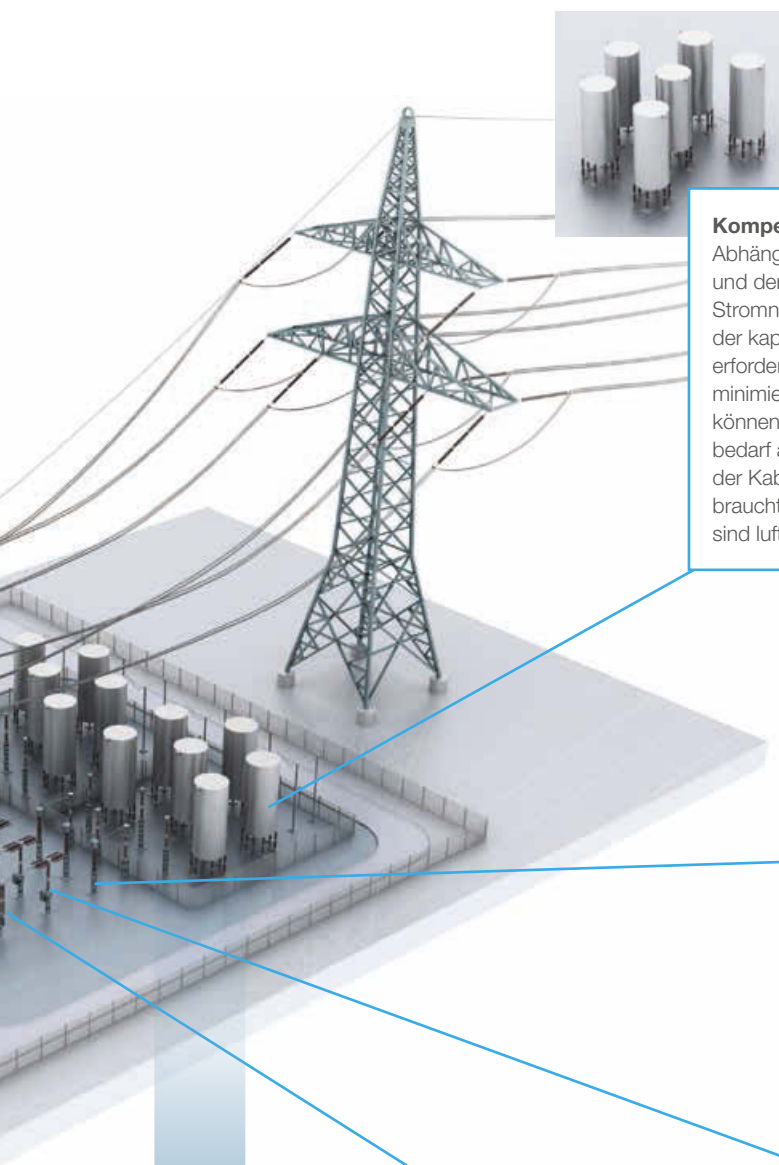
Überspannungsableiter erfüllen eine wichtige Schutzfunktion. Bei Gewitter werden atmosphärische Überspannungen infolge eines Blitzeinschlags mit Ableitern begrenzt. Dies sichert die Langlebigkeit der Kabelanlage und bewahrt Betriebsmittel und Verbindungselemente vor Schäden infolge zu hoher elektrischer Spannung. Darüber hinaus leiten Blitzschutzmasten in der Nähe der Kabeldurchführungen die Blitzeinschläge direkt zur Erde ab.



Eigenbedarfsversorgung

Der Betrieb der Prozess-, Leit- und Schutztechnik sowie diverser Nebenanlagen innerhalb der Kabelübergangsanlagen erfolgt über eine autarke Energieversorgung. Diese wird mittels sogenannter Power Voltage Transformer* aus dem Höchstspannungsnetz bereitgestellt. Dadurch kann grundsätzlich auf einen Anschluss an das örtliche Niederspannungsnetz verzichtet werden.

* engl. Bezeichnung für einen Spannungswandler, welcher speziell für die Eigenbedarfsversorgung von elektrischen Energieverteilanlagen konzipiert ist.



Kompensationsspule
 Abhängig von der Länge des Kabelabschnitts und der Beschaffenheit des angrenzenden Stromnetzes muss ggf. eine Kompensation der kapazitiven Blindleistung erfolgen. Dies ist erforderlich, um die Übertragungsverluste zu minimieren und das Netz sicher betreiben zu können. Hierzu werden an den Blindleistungsbedarf angepasste induktive Drosseln mit der Kabelanlage verschaltet. In diesem Fall braucht die Anlage mehr Platz (dargestellt sind luftisolierte Kompensationsspulen).



Strom- und Spannungswandler
 Strom- und Spannungswandler sind Instrumente, die den Stromfluss und die Spannung messen. Sie sind in die Anlage integriert und geben die erfassten Werte über die Prozess- und Leittechnik an die Schutzeinrichtung, Zähler und Schalteinrichtung weiter.



Leistungsschalter
 Mit dem Leistungsschalter werden die einzelnen elektrischen Verbindungen im Betrieb ein- und ausgeschaltet. Dabei werden nicht nur die Betriebsströme, sondern auch die im Fehlerfall sehr hohen Kurzschlussströme, sicher unterbrochen. Der Schalter trennt bzw. stellt elektrische Verbindungen im Millisekundenbereich her, indem die Kontakte mit sehr hoher Geschwindigkeit bewegt werden.



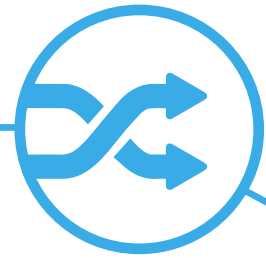
Anlagenteil der Blindleistungskompensation



Kabelendverschluss
 Mit dem Kabelendverschluss wird das unterirdisch verlegte Kabel mit der Rohrkonstruktion verbunden. Dabei wird das Kabel an einem Stahlgerüst aus dem Erdboden geführt und die Verbindung zur Rohrschiene über einen Isolator hergestellt. Der Isolator sorgt für den notwendigen Abstand, um elektrische Überschlüge zu vermeiden. Gleichzeitig werden hier die im Kabel mitgeführten Lichtwellenleiter separiert.

Trennschalter
 Trennschalter sind mechanische Schaltgeräte, die eine deutlich sichtbare, räumliche Trennstrecke zwischen den elektrischen Komponenten herstellen. Diese Trennstrecke stellt sicher, dass kein elektrischer Überschlag stattfinden kann und Anlagenbereiche somit sicher voneinander getrennt sind. Die Trennung erfolgt nach dem Unterbrechen der elektrischen Verbindung mithilfe des Leistungsschalters, also im stromlosen Zustand. Benötigt werden Trennschalter in erster Linie, um das sichere Arbeiten an den elektrischen Anlagen zu gewährleisten.

Technische Varianten



Blindleistungskompensation

Je nach Einsatzort im vermaschten Drehstromnetz sowie resultierender Kabellänge und sich daraus ergebenden elektrotechnischen Erfordernissen sind in Kabelübergangsanlagen auch Kompensationsspulen zu integrieren. Im Bedarfsfall werden diese durch den Einsatz von Schaltgeräten (Leistungsschalter und Trennschalter) schaltbar an das Drehstromnetz angebunden.

Die dabei grundsätzlich ähnlich aufgebauten technischen Ausführungsvarianten lassen sich wie folgt unterscheiden:

- KÜA ohne Kompensationsspulen
- KÜA mit Kompensationsspulen
- KÜA mit schaltbar angebundener Kompensationsspulen.

Der Bedarf an Blindleistungskompensation

Für den Betrieb im elektrischen Drehstromnetz ist der kontinuierlich wechselnde Auf- sowie Abbau von elektromagnetischen Feldern für die Funktionsweise essentiell. Hierzu wird Blindleistung benötigt. Dies gilt auch für Erdkabel. Sie können erst zur Stromübertragung genutzt werden, wenn die elektrischen Leiter die entsprechenden magnetischen und elektrischen Felder aufgebaut haben. Erst danach ist es möglich, über die Kabel Wirkleistung zu transportieren. Ziel ist es, den Wirkleistungstransport zu maximieren und Blindleistungsflüsse zu minimieren. Aus diesem Grund wird versucht, Blindleistung dort bereitzustellen, wo diese benötigt wird.

Erdkabel stellen überwiegend Kapazitäten dar. Je nach Länge des Erdkabels muss deshalb vor Ort induktive Blindleistung zur Kompensation zur Verfügung gestellt werden. Dies geschieht mittels Spulen am Anfang oder/und am Ende des Erdkabelabschnitts. Also bei

den Kabelübergangsanlagen. Die Kompensationsspulen stellen induktive Blindleistung zur Verfügung, die der kapazitiven Blindleistung entgegenwirkt. Je nachdem, ob ein Erdkabel leicht belastet (geringe Wirkleistungsübertragung) oder voll belastet (hohe Wirkleistungsübertragung) wird, ist naturgemäß mehr oder auch weniger Blindleistung für den sicheren Betrieb notwendig. Zusätzlich wird die Betriebsspannung durch die übertragene Wirkleistung sowie durch die zur Verfügung gestellte Blindleistung beeinflusst. Die Betriebsspannung muss zudem in einem Toleranzband von 360 kV bis 420 kV gehalten werden.

Der Blindleistungsbedarf im Übertragungsnetz ist nicht konstant. Er variiert u. a. mit dem Einsatz von Kraftwerken, der Belastung des Netzes und der aktuellen Netztopologie. Aufgrund des wechselnden Bedarfs und in Abhängigkeit der Erdkabellänge, der übertragenen Wirkleistung, der Lage des Erdkabels im Übertragungsnetz und der in besagtem Toleranzband zu haltenden Betriebsspannung, werden schaltbare oder nicht schaltbare Spulen eingesetzt.

In Abhängigkeit vom Erdkabelabschnitt wird die Ausführungsvariante jeder Kabelübergangsanlage unter Berücksichtigung des sicheren Netzbetriebes individuell festgelegt.

Es ist praktisch nicht möglich, die für Erdkabelabschnitte ggfs. benötigte Blindleistung immer vor Ort, d. h. über Netzknoten (wie Umspannwerke) bereitzustellen. Deshalb sollte Blindleistung im näheren Umfeld des Erdkabelabschnitts zugeführt werden, um einen sicheren Netzbetrieb dauerhaft zu gewährleisten und höhere Übertragungsverluste zu vermeiden.

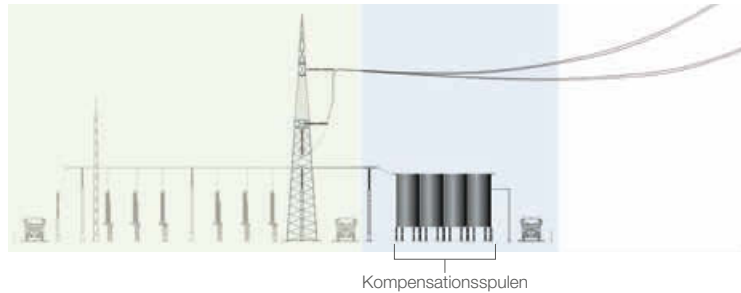
Ohne Kompensationsspulen

Bei dieser Ausführungsvariante wird nur der Anlagenteil des Kabelübergangs realisiert.



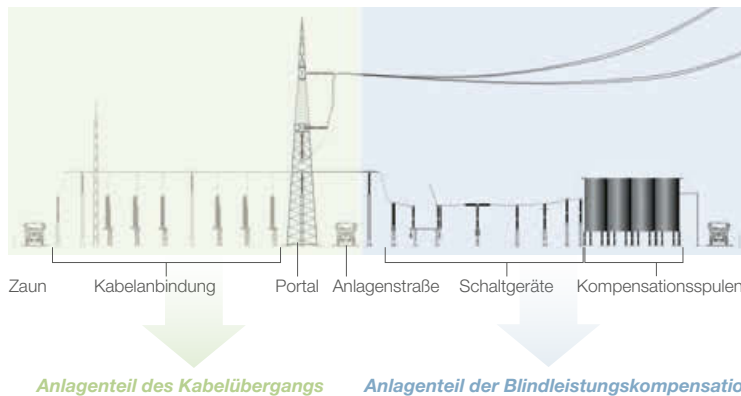
Mit Kompensationsspulen

Bei dieser Ausführungsvariante wird neben dem Anlagenteil des Kabelübergangs eine permanent verbundene Blindleistungskompensation realisiert.



Mit schaltbar angebundenen Kompensationsspulen

Bei dieser Ausführungsvariante wird neben dem Anlagenteil des Kabelübergangs eine zu- und abschaltbare Blindleistungskompensation realisiert.



Phasenauskreuzung

Zusätzlich zu den bisher aufgeführten Ausführungsvarianten kann die Kabelübergangsanlage mit einer sogenannten Phasenauskreuzung ausgestattet werden.

Darunter wird die konkrete Anordnung der Kabelendverschlüsse verstanden, die eine Veränderung der Reihenfolge der drei Phasen zwischen Kabel und Freileitung gewährleistet. Diese Maßnahme kann in Abhängigkeit von Leitungslänge und -verlauf notwendig werden, um eine Leitung symmetrisch auszuliegen. Diese Symmetrie wird dann erreicht, wenn die

drei Leiter/Phasen über die gesamte Länge der Leitung gesehen jede der drei Leiterpositionen über jeweils ein Drittel der Länge einnehmen. Dieser symmetrische Wechsel der Leiterpositionen ist aus elektrotechnischen Gründen für den sicheren Betrieb der Leitung von Bedeutung.

Genehmigung und Bau

Kabelübergangsanlagen sind Bestandteil von Höchstspannungsleitungen und werden im jeweiligen Planfeststellungsverfahren durch die zuständige Behörde genehmigt.

Die Kabelübergangsanlagen werden beginnend beim Raumordnungsverfahren, in dem die Teilerdverkabelungsabschnitte identifiziert werden, bis zur grundstücksgenauen Planung im Planfeststellungsverfahren berücksichtigt. Der Antrag auf Genehmigung der Anlage enthält in der Regel neben einem Schallgutachten und einem Gutachten zu elektrischen und magnetischen Feldern auch baurechtlich relevante Unterlagen. Darüber hinaus werden auch naturschutzfachliche Vorgaben berücksichtigt.

Standortkriterien

Die Eignung eines Standorts für eine Kabelübergangsanlage hängt von verschiedenen technischen, wirtschaftlichen, umweltfachlichen und raumstrukturellen Kriterien ab. Für die Planung neuer Anlagen prüft TenneT zunächst, an welcher Stelle entlang der Trasse unbebaute Flächen verfügbar sind. Aus baulichen und sicherheitstechnischen Gründen kommen Moorflächen, Überschwemmungsgebiete und Steilhänge nicht in Frage, aus Naturschutzgründen auch keine zusammenhängenden Naturdenkmäler oder geschützte Waldbereiche. TenneT sucht stets nach Grundstücken, die eine geeignete Kabel- und Freileitungsanbindung ermöglichen. Idealerweise sind diese bereits an die Verkehrsinfrastruktur angebunden oder lassen eine Anbindung zu.

Auswirkungen in der Bauphase

Während der Bauzeit lassen sich kurzzeitige Beeinträchtigungen auf den Zufahrtsstraßen nicht immer vermeiden. Selbstverständlich versucht TenneT, diese möglichst gering zu halten. Entstehen trotzdem Schäden auf Flurstücken oder an Verkehrswegen, werden diese behoben und falls erforderlich, auch entschädigt. Typischer Baulärm ist leider nicht auszuschließen, denn es müssen Betriebsgebäude errichtet, Fundamente gesetzt oder Pfahlgründungen vorgenommen werden. Bei einem Großteil der Arbeiten handelt es sich jedoch um Kranarbeiten, da die Montage der Anlagenteile in der Regel in einigen Metern Höhe erfolgt.

Aus der Ferne alles im Griff

Die fertige Kabelübergangsanlage ist nicht mit Bedienpersonal besetzt. Nach der Bauphase befinden sich Mitarbeiter nur zu Kontrollen sowie bei Bau- oder Instandhaltungsmaßnahmen in der Kabelübergangsanlage. Überwacht wird der Kabelabschnitt und die beiden Kabelübergangsanlagen mit ihren Betriebsmitteln trotzdem rund um die Uhr: Dies geschieht durch eine der beiden zentralen Schaltleitungen in Niedersachsen und in Bayern. Die Mitarbeiter der TenneT-Servicegruppen können die technischen Einrichtungen in den Kabelübergangsanlagen bei Bedarf auch manuell vor Ort steuern.



Auswirkungen auf die Umgebung



Geräusentwicklung

Wird eine neue Kabelübergangsanlage geplant, sorgt man sich in den Gemeinden oft um die Auswirkungen vor Ort. Im Betrieb sind die Einflüsse auf das erweiterte Umfeld einer Kabelübergangsanlage sehr gering, da die gesetzlichen Grenzwerte für die Geräusentwicklung und für die elektromagnetischen Felder eingehalten werden.

Für die Geräuschimmissionen einer Kabelübergangsanlage gibt es vorgegebene Richtwerte, die TenneT einhalten wird. Diese sind für alle Gewerbe- und Industrieanlagen in der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) geregelt. Die TA Lärm hat ihre rechtliche Grundlage im § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.

Wie entstehen die Geräusche in der Kabelübergangsanlage?

Geräusche können durch die Kompensationsspulen verursacht werden. Für jede Kabelübergangsanlage mit Kompensationsspulen wird ein schalltechnisches Gutachten erstellt, in dem nachgewiesen wird, dass die Richtwerte eingehalten werden. TenneT berücksichtigt bei der Planung neuer Kabelübergangsanlagen grundsätzlich die für die Nacht geltenden strengeren Immissionsrichtwerte. Sollten durch die Kompensationsspulen – bedingt durch die umgebende Bebauung und bereits bestehende Geräuschquellen vor Ort – die Richtwerte ausgereizt werden, so realisiert TenneT Schallschutzmaßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte.

Immissionsrichtwerte in Dezibel (dB_A)

	tags (6:00 bis 22:00 Uhr)	nachts (22:00 bis 6:00 Uhr)
Industriegebiete	70	70
Gewerbegebiete	65	50
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	60	45
Allgemeine Wohngebiete	55	40
Reine Wohngebiete	50	35
Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35

Zum Vergleich:

- 30 Dezibel entsprechen dem Ticken einer leisen Uhr oder feinem Landregen
- 40 Dezibel entsprechen etwa einem nahen Flüstern oder einer ruhigen Wohnstraße
- 50 Dezibel entsprechen der normalen Unterhaltungssprache
- 60 Dezibel entsprechen Bürolärm

(Quelle: Bundesministerium für Umwelt)

Elektrische und magnetische Felder

Jedes elektrisch durchströmte, leitfähige Objekt erzeugt ein elektrisches Feld. Bewegte elektrische Ladungen emittieren zusätzlich zum elektrischen ein magnetisches Feld. Derartige Felder kommen auch in der Natur vor, wie etwa das Erdmagnetfeld oder das bei Gewitter verstärkt auftretende elektrische Feld. Im Haushalt (Mixer, Bohrmaschine, Fernseher, Mobiltelefone etc.) begegnen sie uns Tag für Tag. Kein Radio- oder Fernsehgerät, keine Küchengeräte, Lampen oder Mobiltelefone könnten ohne elektrische und magnetische Felder funktionieren.

Nieder- und hochfrequente Felder

Bei den Feldern, die die elektrischen Betriebsmittel in den Kabelübergangsanlagen umgeben, handelt es sich um sogenannte „niederfrequente Felder“. Sie wirken – anders als hochfrequente Felder, mit denen Mobilfunk oder Fernsehsender arbeiten – nur in der unmittelbaren Umgebung des Stromleiters. Zum Vergleich: Das deutsche Stromnetz arbeitet mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz), bei Mobilfunkanlagen sind Frequenzen von einigen hundert bis über tausend Megahertz (1 MHz = 1.000.000 Hz) üblich.

Gesetzliche Grenzwerte

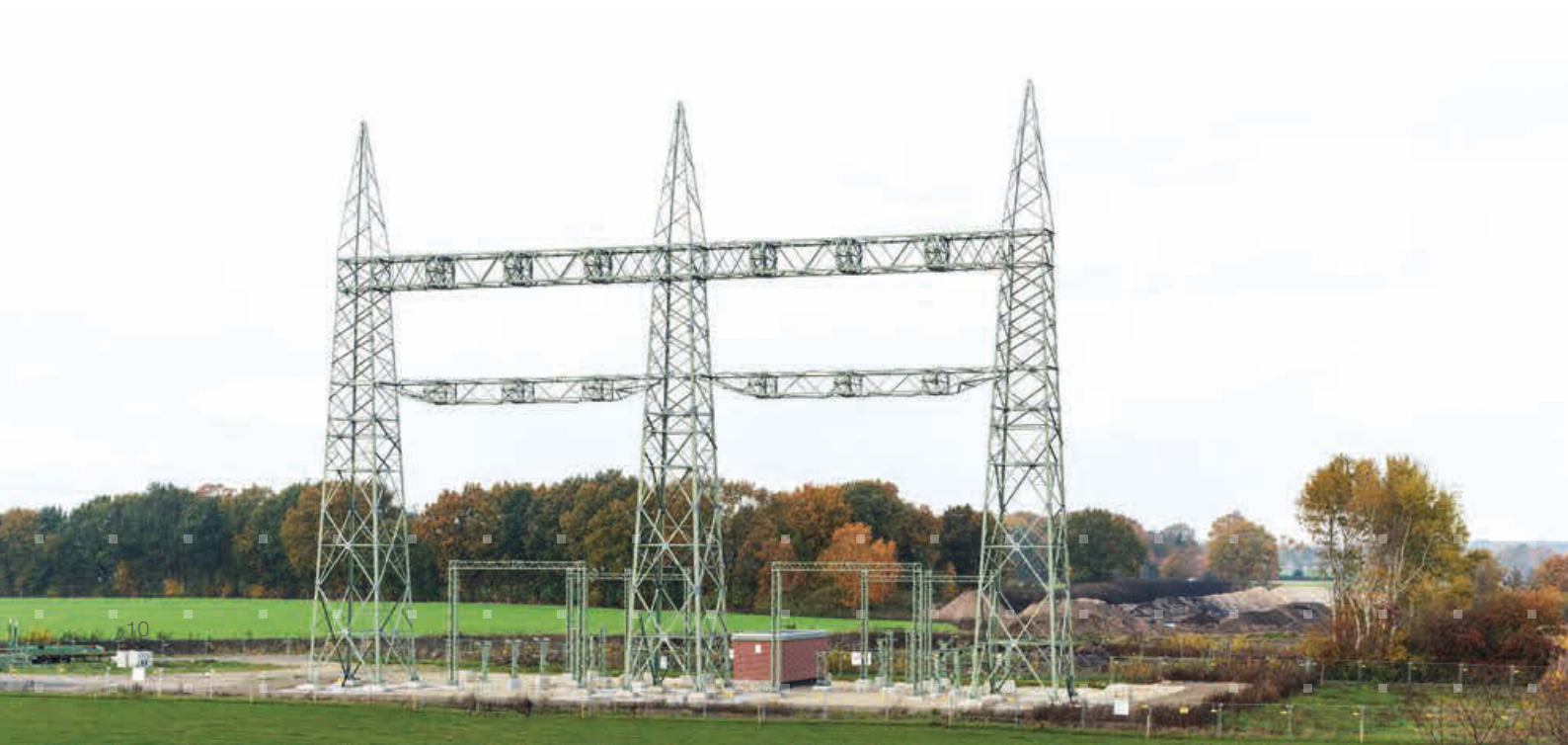
Auch für die Stärke der elektrischen und magnetischen Felder gibt es in Deutschland gesetzliche Grenzwerte, die durch die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) festgelegt wurden. Sie betragen bei einer Frequenz von 50 Hertz für öffentlich zugängliche Orte, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind:

- für das elektrische Feld 5 Kilovolt pro Meter (kV/m) und
- für das magnetische Feld 100 Mikrottesla (μT).

Diese Grenzwerte liegen bereits um den Faktor fünf bis fünfzig unter den Werten, bei denen laut aktuellem Forschungsstand überhaupt mögliche negative Auswirkungen auftreten können. Elektrische Haushaltsgeräte, wie zum Beispiel ein Föhn oder ein Rasierapparat, können bei einer Entfernung von 3 cm zum Körper magnetische Flussdichten von über 1.000 Mikrottesla erzeugen. (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz)

Weit unter den Grenzwerten

Die von einer Kabelübergangsanlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder liegen außerhalb des Anlagenzauns, also in dem für die Öffentlichkeit zugänglichen Bereich, deutlich unter diesen Grenzwerten.



Die Nutzung von Grundstücken



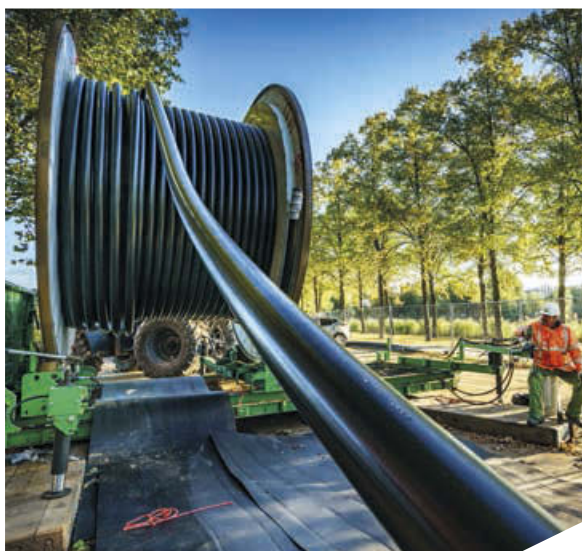
Der minimale Flächenbedarf (Zaunabmessung) einer Kabelübergangsanlage, d. h. ohne Blindleistungskompensation und ohne Phasenauskreuzung umfasst mindestens ca. 50 m x 65 m. Werden Kompensationsanlagen am Standort notwendig, erhöht sich der Flächenbedarf auf 125 m x 85 m. Innerhalb der Kabelübergangsanlage werden rund 30 Prozent der Fläche versiegelt.


Für den Zugang zur Kabelübergangsanlage ist eine dauerhafte Zuwegung für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sowie den Störfall erforderlich. Entlang des Zaunes einer Kabelübergangsanlage wird ein begehbare Grünstreifen abhängig von der Geländebeschaffenheit angelegt. Die für eine Kabelübergangsanlage notwendige Fläche umfasst das Betriebsgelände innerhalb der Anlagenumzäunung sowie den begehbaren Grünstreifen und wird von TenneT grundwerblich gesichert.

Während der Bauzeit kann es kurzzeitig zu Behinderungen auf angrenzenden Wegen kommen. Selbstverständlich gestaltet TenneT den Bau so, dass möglichst wenig temporäre Arbeitsflächen benötigt und die land-

wirtschaftliche Nutzung so wenig wie möglich beeinträchtigt wird. Zur Sicherstellung der umweltfachlichen Auflagen werden die Baumaßnahmen durch einen ökologischen Fachgutachter begleitet, der im Auftrag der Vorhabensträgerin die baubedingten ökologischen Eingriffe begleitet und prüft.

Die bei der Vorbereitung und Durchführung der Baumaßnahmen gegebenenfalls entstehenden Schäden an Straßen, Wegen und Flurstücken werden behoben. Der ursprüngliche Zustand wird in Abstimmung mit den Eigentümern bzw. Nutzern wieder hergestellt oder auf Wunsch finanziell entschädigt.





TenneT ist ein führender europäischer Netzbetreiber, der sich für eine sichere und zuverlässige Stromversorgung einsetzt – 24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr. Wir gestalten die Energiewende für eine nachhaltige Energiezukunft. Als erster grenzüberschreitender Übertragungsnetzbetreiber planen, bauen und betreiben wir ein fast 24.000 km langes Hoch- und Höchstspannungsnetz in den Niederlanden und Deutschland und sind einer der größten Investoren in nationale und internationale Stromnetze, an Land und auf See. Jeden Tag geben unsere 5.700 Mitarbeiter ihr Bestes und sorgen mit Verantwortung, Mut und Vernetzung dafür, dass sich mehr als 42 Millionen Endverbraucher auf eine stabile Stromversorgung verlassen können.

Lighting the way ahead together.

TenneT TSO GmbH
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth
Deutschland

Telefon +49 921 50740-0
Fax +49 921 50740-4095

E-Mail info@tennet.eu
Twitter@TenneT_DE
Instagram@tennet_de
www.tennet.eu

© TenneT TSO GmbH - Juli 2021

Titelfoto: ESG Engineering-Service-Gesellschaft mbH

Nichts aus dieser Ausgabe darf ohne ausdrückliche Zustimmung der TenneT TSO GmbH vervielfältigt oder auf irgendeine andere Weise veröffentlicht werden.

Aus dem Inhalt des vorliegenden Dokuments können keine Rechte abgeleitet werden.

